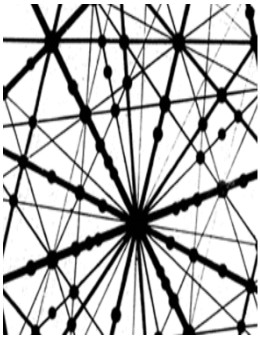
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ
ФИЗИКИ имени Д.В. СКОБЕЛЬЦЫНА

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
53-й международной Тулиновской конференции
ПО ФИЗИКЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С КРИСТАЛЛАМИ

(Москва 28 – 30 мая 2024)



Москва 2024

УДК 539.1.01.08
ББК 22.37
Т29

Под общей редакцией проф. Н.Г. Чеченина

Редколлегия: А.М. Борисов, Ю.А. Ермаков,
Е.А. Воробьева, А.А Шемухин

Т29 **Тезисы докладов 53-й международной Тулиновской конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами** / Под ред. проф. Н.Г. Чеченина — 196 с

Сборник содержит тезисы докладов, отобранные оргкомитетом для представления на конференции.

Конференция проведена при поддержке гранта
Министерства науки и высшего образования
Российской Федерации
№ 075-15-2021-1353.

© МГУ имени М.В. Ломоносова, 2024

ПРОГРАММА 53-й МЕЖДУНАРОДНОЙ ТУЛИНОВСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО ФИЗИКЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С КРИСТАЛЛАМИ.

1-й день, вторник 28 мая

9^{00}-10^{00} Регистрация

10^{00}-10^{20} Вступительное слово. Регламент конференции

Секция I

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УСКОРЕННЫХ ЧАСТИЦ С ВЕЩЕСТВОМ (ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ С ОБЗОРОМ НОВЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ)

Председатель: **Н.Г. Чеченин**

10^{20}-10^{50} **Н.Г. Чеченин, В.С. Куликаускас.** Анатолий Филиппович Тулинов и формирование физики взаимодействия ускоренных частиц с кристаллами. 2

10^{50}-11^{20} **П.Ю. Бабенко, А.Н. Зиновьев, А.П. Шергин.** Развитие представлений о торможении и рассеянии атомов кэв энергий в веществе. 3

1-й день, вторник 28 мая

Секция II

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИОНОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ И НАНОСТРУКТУРАМИ (РАССЕЯНИЕ, РАСПЫЛЕНИЕ, НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ И ЭМИССИЯ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ)

1-е заседание, 11^{20}-12^{50}

Председатели: **В.С. Черныш, В.С. Ковивчак**

11^{20}-11^{35} **К.П. Карасев, Д.А. Стрижкин, П.А. Карасев, Е.Д. Федоренко, А.И. Титов, В.Е. Пуха.** Исследование механизмов увеличения распыления в районе границы между областями, облучаемыми ионами C_{60} и закрытыми маской. 7

11^{35}-11^{50} **В.Е. Пуха, Е.Н. Кабачков, И.Н. Лукина, Е.И. Дроздова, О.П. Черногорова, М.И. Петржик, И.И. Ходос.** Формирование сверхтвердых покрытий из ионов C_{60} в атмосфере азота. 8

11^{50}-12^{05} **А.Е. Иешкин, Ю.А. Ермаков, В.С. Черныш, А.И. Базлов, Б.Р. Сенатулин, Е.А. Скрылева.** Модификация высокоэнтропийных сплавов при облучении атомарными и кластерными ионами аргона. 9

12^{05}-12^{20} **И.В. Николаев, Н.Г. Коробейщиков, А.В. Лапега.** Ионно-кластерная обработка поверхности монокристаллических кремния и германия. 10

12^{20}-12^{35} **А.А. Соловых, Е.Н. Воронина.** Воздействие молекулярных ионов N_2^+ и O_2^+ на монослои MoS_2. 11

12^{35}-12^{50} **С.С. Москаленко, Ю.А. Мелкозерова, И.К. Гайнуллин.** Расчет поверхностной энергии связи в тефлоне с помощью функционала плотности. 12

12^{50}-13^{10} Перерыв

2-е заседание, 13^{10}-14^{40}

Председатели: **А.М. Борисов, А.А. Шемухин**

14^{15}-14^{30} **Р.Х. Хисамов, Н.Н. Андрианова, А.М. Борисов, М.А. Овчинников, Р.Р. Мулюков.** Влияние размера зерна и текстуры поликристаллического вольфрама на его ионно-лучевое распыление. 13

14^{30}-14^{45} **С.Д. Федорович, В.П. Будаев, Ю.В. Мартыненко, М.К. Губкин, Д.И. Кавыршин.** Эффект насыщения при росте наноструктурного слоя на поверхности вольфрама в гелиевой плазме. 14

14^{45}-15^{00} **К.Н. Лобзов, М.А. Смирнова, Д.Э. Пухов, Л.А. Мазалецкий, А.Е. Иешкин, В.И. Бачурин, А.Б. Чурилов.** Угловые зависимости распыления полупроводников группы A_3B_5 фокусированным пучком ионов галлия. 15

15^{00}-15^{15} **М.А. Смирнова, В.И. Бачурин, К.Н. Лобзов, Л.А. Мазалецкий, Д.Э. Пухов, А.Б. Чурилов.** Механизмы зарождения периодического рельефа поверхности при наклонном облучении кремния ионами галлия. 16

15^{15}-15^{30} **Т.З. Гусейнов, О.Р. Бакиева, Р.Г. Валеев, А.Н. Бельтюков.** Распыление тонких пленок 3d-металлов потоком Ar+ малых энергий. 17

15^{30}-15^{45} **М.А. Негодаев, А.С. Русецкий, А.В. Огинов, К.В. Шпаков, Г.Е. Седов, М.А. Кирсанов, С.Г.Климанов, Д.Е. Карманов, В.Н. Амосов, С.А. Мовчун.** Исследование инициирования ядерных реакций в боросодержащих мишенях пучком ионов дейтерия с энергией < 50 кэВ на ионном ускорителе ГЕЛИС. 18

14^{40} -15^{20} Учебная тревога

15^{20}-16^{10} Перерыв на обед

16^{10}-18^{00} Обсуждение стендовых докладов

Стендовые доклады секции «Модификация и анализ приповерхностных слоев ионными и электронными пучками» (секция №1)

Председатели: **В.П. Афанасьев, Н.Г. Чеченин**

1. **Е.А. Созонтов, Э.А. Грешников, П.Г. Гайдуков, С.Н. Малахов, И.Н. Трунькин, О.А. Кондратьев.** ИК-спектроскопия и комплементарные методы в комплексном анализе перстневых вставок XIV века из раскопок немецкого двора в Великом Новгороде. 19
2. **М. Нормурадов, И. Бекпулатов, К. Довранов, Д. Нормуродов.** Анализ ширины запрещенной зоны тонких пленок CrSi, полученных ионно-плазменным методом. 20

3. **А.Е. Калядин, К.Ф. Стельмах, Е.И. Шек, Н.А. Соболев.** Влияние имплантации ионов кислорода на дислокационную фотолюминесценцию в кремнии. 21
4. **Е.Д. Федоренко, А.И. Клевцов, В.Д. Андреева, А.Л. Шахмин, А.И. Титов, П.А. Карасев.** Модификация приповерхностных слоев α -Ga_2O_3 высокодозным ионным облучением. 22
5. **А.А. Абдуваитов, Д.А. Ташмухамедова, Х.Х. Болтаев, Ж.Б.Хужаниязов, В.Х. Халмухамедова, С.Т. Гулямова.** Влияние электронной бомбардировки на состав пленок CaF_2/Si (111). 23
6. **З.А. Исаханов, Б.Е. Умирзаков, Р.М. Ёркулов, М.М. Махмудов, М.А. Махмудов.** Изучение состава и структуры наноразмерных фаз и слоев силицидов в приповерхностной области Si (111). 24
7. **Р.И. Баталов, Б.А. Хабибуллин, В.В. Базаров, В.А. Шустов, К.Н. Галкин, И.Б. Чистохин, Ф.Ф. Комаров, О.В. Мильчанин, И.Н. Пархоменко.** Ионно-лучевой синтез наночастиц InSb в Si и исследование их оптических и фотоэлектрических свойств. 25
8. **Ф.Г. Нешов, Г.И. Сметанин, Д.В. Райков, Е.К. Городничий.** Влияние подложки на бактерицидность наноразмерных алмазоподобных плёнок, легированных медью. 26
9. **В.Б. Выходец, О.А. Нефедова, Т.Е. Куренных, С.Е. Данилов.** Исследование квантовой диффузии дейтерия в индии с помощью ускорительной методики ядерных реакций. 27
10. **В.В. Привезенцев, А.А. Фирсов, В.С. Куликаускас, В.В. Затекин, Е.П. Кириленко, А.В. Горячев.** Исследование пленок SiO_2, легированных ионами Zn. 28
11. **Г.Х. Аллаярова, Н. Буронов.** Исследование ультрадисперсных порошков из системы Nb-N методом ОЭС. 29
12. **К.С. Матюнина, Д.С. Королев, А.А. Никольская, А.А. Сушков, Д.А. Павлов, Д.И. Тетельбаум.** Исследование фотолюминесцентных свойств ионно-синтезированных нанокристаллов Ga_2O_3. 30
13. **А.В. Носков, О.В. Алексеева, Д.Н. Яшкова, А.В. Агафонов, М.Н. Шипко, М.А. Степович, Е.С. Савченко.** Модификация свойств бентонита наночастицами оксидов железа. 31
14. **О.В. Подорожний, А.В. Румянцев, Н.И. Боргардт, Д.К. Миннебаев, А.Е. Иешкин.** Исследование аморфизации кремния ионами ксенона методами просвечивающей электронной микроскопии. 32
15. **Н. Ж. Одилова.** О роли структурах дефектов в процессе нагрева носителей заряда в эпитаксиалных n-p кремниевых структурах. 33
16. **В.В. Поплавский, И.Л. Поболь, А.Н. Дробов, О.Г. Бобрович, В.Г. Матыс.** Модифицирование поверхности сплавов титана в процессах ионно-плазменного азотирования и ионно-ассистируемого осаждения металлов. 34
17. **Е.В. Серегина, М.А. Степович, М.Н. Филиппов.** О диффузии и рекомбинации неравновесных неосновных носителей заряда, генерированных электронным зондом в однородной полупроводниковой мишени, при наличии двух каналов рекомбинации. 35

18. **М.А. Степович, Д.В. Туртин, М.Н. Филиппов, В.В. Калманович.** Об оценке необходимости учёта радиационных потерь при моделировании явлений теплопереноса в электронно-зондовых технологиях. 36
19. **Н.В. Новиков, Н.Г. Чеченин, А.А. Широкова.** Прохождение тяжелых продуктов ядерной реакции в кремнии. 37
20. **М.А. Кирсанов, С.Г. Климанов, М.А. Негодаев, С.А. Мовчун.** Исследование насыщения дейтерием поликристаллической CVD-алмазной мишени на пучке ускорителя ГЕЛИС. 38
21. **Д.А. Соколова, О.А. Подсвиров, У.В.Юрина А.И. Сидоров.** Особенности спектров оптической плотности кристаллов NaCl и KCl, заключающиеся в появлении дополнительных полос поглощения. 39
22. **М.Н. Шипко, М.А. Степович, А.В. Хлюстова, Т.П. Каминская, А.В. Стулов, Е.С. Савченко.** Об использовании подводной плазмы для модификации поверхности ленточных аморфных сплавов FeSiBNb. 40
23. **С.М. Барайшук, И.А. Павлович, В.А. Занько.** Потенциал индуцированная деградация покрытий для фотоэлектрических преобразователей. 41
24. **И.В. Богданов, Л.А. Святкин, И.П. Чернов.** Роль валентного заряда в процессе распространения возмущений в водородной подсистеме в системах титан-водород и никель-водород. 42
25. **В.Н. Арустамов, И.Х. Худайкулов, У.Ф. Бердиев, Б.Р Кахрамонов.** Получение многостенной углеродной нанотрубки вакуумно-дуговым методом. 43
26. **В.В. Козловский, А.Э. Васильев, Е.Е. Журкин, А.А. Лебедев, М.Е. Левинштейн, Д.А. Малевский, А.В. Сахаров, А.Е. Николаев.** Роль каскадных процессов в образовании радиационных дефектов в GaN при протонной бомбардировке. 44
27. **С.М. Планкина, О.В. Вихрова, В.А. Власова, Ю.А. Данилов, Ю.А. Дудин, А.В. Нежданов, А.Е. Парафин, Е.А. Питиримова.** Свойства слоев GaAs, облученных ионами железа. 45
28. **К.А. Вохмянина, А.Д. Пятигор.** Стабилизация процесса фокусировки пучка электронов с помощью конических каналов. 46
29. **С.А. Горбунов, М.В. Горшенков, Р.А. Рымжанов, А.Е. Волков, Г.В. Калинина.** Формы нанопор, синтезируемых при травлении треков быстрых тяжёлых ионов, в зависимости от кристаллической ориентировки образцов. 47
30. **Н.М.Мустафоева, Н.М.Мустафоева.** Ширина запрещенной зоны скрытых нанокристаллов $NiSi_2$, созданных в приповерхностной области si методом ионной имплантации. 48
31. **Ф.Д. Акбарова, У.Б. Шаропов.** Формирование заряда на поверхности кристаллов оксида цинка при электронном облучении. 49
32. **Ф.Д. Акбарова, А.Р. Кахрамонов, У.Б. Шаропов.** Прогнозирование образования дефектов в LiF методом нелинейного регрессионного анализа. 50

33. **И.В. Кузив.** Применение позитронной аннигиляционной спектроскопии для исследования монокристаллических алмазных пластин. 51
34. **Mahmoud A. Ibrahim, Roman Laptev.** Estimation of radiation damage using the range and stopping of ions in matter. 52
35. **Б.Е. Умирзаков, Ж. М. Жумаев, И.Р. Бекпулатов, И.Х. Турапов.** Состав, структура и физические свойства Si, имплантированного ионами CO при различных температурных режимах. 53
36. **Р.Х. Хасаншин, Л.С. Новиков, С.П. Никитин.** Электростатические разряды при совместном воздействии на стекло К-208 электронов и электромагнитного излучения. 54
37. **Н.Ж. Одилова.** Элементарный и химический состав субоксидов Si (111). 55
38. **А.А. Татаринцев, Е.Ю. Зыкова, А.Е. Иешкин, Н.Г. Орликовская, В.А. Киселевский.** Кинетика электризации монокристаллического оксида магния. 56
39. **З.А. Исаханов, Ж.М. Жумаев, Р.М. Ёркулов, А.А. Ахмедов.** Электронная структура и свойства многослойных фаз и слоев, созданных на поверхности нанопленок Si/Cu (111), Si/Al (111), Ge/Cu (111) Ge/Al (111). 57
40. **З.Ш. Шаймарданов, Ш.З. Уролов, Р.Р. Жалолов, Б.Н. Рустамова, Б.К. Собирова Б.Г. Атабаев.** Влияние вакуумного отжига на фотолюминесцентные свойства нанокристаллов оксида цинка. 58
41. **Б.Г. Атабаев, З.Ш. Шаймарданов, Р.Р. Жалолов, Ш.З. Уролов Х.Н. Жураев.** Влияние вакуумного отжига на ультрафиолетовую и дефектную фотолюминесценцию 4H-SiC кристаллов. 59
42. **Е.С. Керсновский, К.А. Барков, И.В. Польшин, Д.Н. Нестеров, С. А. Ивков, В.А. Терехов, А.В. Ситников.** Анализ электронного строения поверхностных слоев пленок Cu-Si методом ультрамягкой рентгеновской эмиссионной спектроскопии при возбуждении спектра электронным пучком. 60
43. **Д.В. Кузенко.** Взаимодействие поверхности сегнетоэлектрика с заряженными частицами при активации доменной структуры. 61
44. **А.В. Степанов, А.С. Сабиров, Д.И. Тетельбуам.** Расчеты имплантации примесных атомов в оксид галлия методом молекулярной динамики с применением потенциалов, полученных методом машинного обучения. 62
45. **А.И. Толмачев, Л. Форлано.** Применение малоуглового приближения в теории прохождения заряженных частиц через вещество. 63
46. **Р.И. Баталов, Р.Ф. Камалов.** Трёхмерное моделирование импульсного лазерного нагрева монокристалла кремния. 64
47. **В.С. Ковивчак.** Воздействие мощного ионного пучка наносекундной длительности на AlN керамику. 65

18^{30}-21^{00} Конференционный ужин

2-й день, среда 29 мая

Секция III

ОРИЕНТАЦИОННЫЕ И РЕЛЯТИВИСТСКИЕ ЭФФЕКТЫ, ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ, ИЗМЕНЕНИЕ ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ ЧАСТИЦ

10^{00}-11^{00} 1-е заседание

Председатели: **А.С. Кубанкин, В.С. Малышевский**

10^{00}-10^{15} **А.Н. Олейник, М.Э. Гильц, А.С. Кубанкин, Ю.С. Шаблов, П.Г. Шаповалов.** Влияние вторичной электронной эмиссии на генерацию частиц в пироэлектрическом ускорителе. 69
10^{15}-10^{30} **Н.Н. Михеев.** Зависимость зарядового состояния ионов периодической системы элементов от скорости заряженных частиц. 70
10^{30}-10^{45} **О.В. Богданов, С.В. Брагин, П.О. Казинский.** Особенности генерации закрученных фотонов релятивистскими электронами в поляризованных лазерных полях. 71
10^{45}-11^{00} **Д.И. Зайнутдинов, Р.А. Воронков, С.А. Горбунов, Н. Медведев, Р.А. Рымжанов, М.В. Сорокин, А.Е. Волков.** Температурный порог образования треков быстрых тяжелых ионов в SiC. 72

11^{00}-11^{30} Перерыв

11^{30}-12^{30} 2-е заседание

Председатели: **А.Н. Зиновьев, Н.П. Калашников**

11^{30}-11^{45} **В.В. Сыщенко, А.И. Тарновский, А.С. Парахин, А.Ю. Исупов.** Волновые функции позитронов при каналировании в направлении [111] кристалла кремния. 73
11^{45}-12^{00} **Н.П. Калашников.** Заполнение состояний в режиме плоскостного каналировапния. Квантовый расчет и оценка в классическом приближении. 74
12^{00}-12^{15} **Н.П. Калашников, А.С. Ольчак.** О возможности резонансного захвата релятивистских электронов в режим аксиального каналировапния в монокристалле. 75
12^{15}-12^{30} **Е.А. Мазур.** Затухание недиагональных элементов матрицы плотности и дифракция как механизмы объемного захвата быстрых заряженных частиц в изогнутом монокристалле. 76

12^{30}-13^{00} Обсуждение стендовых докладов

Стендовые доклады секции «Ориентационные и релятивистские эффекты, потери энергии, изменение зарядового состояния частиц» (секция №2).

Председатели: **П.А. Карасёв, А.П. Евсеев**

1. **М.М. Рычков, В.В. Каплин, В.А. Смолянский.** Аномалия во взаимодействии микрофокусного тормозного излучения нового источника на основе 18 МэВ бетатрона с острым краем стальной пластины. 77
2. **Б.Е. Умирзаков, С.Б. Донаев, Г.М. Ширинов.** Влияние различных воздействий на объемное и поверхностное удельное сопротивления GaP. 78
3. **С.Б. Донаев, Б.Е. Умирзаков, Г.М Ширинов.** Получение многослойных наноразмерных гетероэпитаксиалных систем на основе арсенида A^3B^5 и перспективы их применения. 79
4. **А.С. Кубанкин, И.А. Кищин, Р.М. Нажмудинов, Е.Ю. Киданова.** Интерферометр мартина- для ТГЦ и субТГЦ диапазона излучения. 80
5. **О.В. Богданов, Т.А. Тухфатуллин.** Каналирование релятивистских ионов в полуволновых кристаллах. 81
6. **А.В. Носков, С.В. Блажевич, В.К. Киперша, В.А. Дмитриева.** Когерентное рентгеновское излучение пучка релятивистских электронов в периодической слоистой среде в геометрии рассеяния Лауэ. 82
7. **А.В. Носков, С. В. Блажевич, А.В. Коноваленко, Д.Д. Мачукаев.** Когерентное рентгеновское излучение пучков релятивистских электронов в составной мишени. 83
8. **А.В. Носков, С. В. Блажевич, И.Н. Бардакова.** Параметрическое рентгеновское излучение в периодической слоистой среде в направлении скорости релятивистского электрона. 84
9. **А.В. Носков, С. В. Блажевич, А.И. Чуева, А.А. Жуков.** Параметрическое рентгеновское излучение пучка релятивистских электронов в периодической слоистой среде с тремя слоями на периоде. 85
10. **А.В. Носков, С. В. Блажевич, А.В. Коноваленко.** Эффекты динамической дифракции в когерентном излучении релятивистских электронов в периодической слоистой среде. 86
11. **В.В. Сыщенко, А.И. Тарновский, В.И. Дроник.** Распределение быстрых надбарьерных электронов в кристалле кремния в условиях аномальной диффузии. 87
12. **Л.А. Жиляков, В.С. Куликаускас, А.А. Пронкин.** Расчет электромагнитного излучения пучков ускоренных электронов при скользящем взаимодействии с диэлектрической поверхностью. 88
13. **М.В. Булгакова, В.С. Малышевский, Г.В. Фомин.** Черенковское и переходное излучение в терагерцовом диапазоне в мишенях с нарушенной азимутальной симметрией. 89
14. **Н.Н. Михеев.** Простая физическая модель нелинейной зависимости тормозной способности гелия от скорости ионов водорода низких энергий. 90

13^{00}-14^{00} Перерыв на обед
Секция IV

МОДИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ИОННЫМИ И ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ

14^{00}-15^{15}, 1-е заседание

Председатели: **В.С. Ковивчак, В.П. Попов**

14^{00}-14^{15} **Д.И. Тетельбаум.** Проблемы ионной имплантации оксида галлия. 93

14^{15}-14^{30} **И.И. Ташлыкова-Бушкевич.** Эволюция наноструктуры в процессе роста тонких пленок сплавов алюминия на стекле при ионно-ассистированном осаждении. 94

14^{30}-14^{45} **В.К. Егоров, Е.В. Егоров, Т.В. Сеткова.** Коррозионная устойчивость исходной и модифицированной оболочек твэла в предсверхкритическом состоянии пароводяной фазы. 95

14^{45}-15^{00} **К.А. Барков, В.А. Терехов, С.А. Ивков, Д.Н. Нестеров, С.И. Курганский, В.Р. Радина, А.В. Ситников.** Анализ фазового состава поверхности пленок Al-Si по ультрамягким рентгеновским эмиссионным спектрам при возбуждении электронным пучком. 96

15^{00}-15^{15} **А.Л. Степанов.** Формирование слоев нанопористого германия при облучении ионами индия. 97

15^{15}-15^{30} Перерыв

15^{30}-16^{45}, 2-е заседание

Председатели: **Д.И. Тетельбаум**, **И.И. Ташлыкова-Бушкевич**

15^{30}-15^{45} **Т.В. Панова, В.С. Ковивчак, Т.В. Черникова.** Влияние облучения мощным ионным пучком на окисление поликристаллического магния. 98

15^{45}-16^{00} **А.А. Никольская, Д.С. Королев, К.С. Матюнина, А.И. Белов, А.В. Кудрин, В.Н. Трушин, М.Н. Дроздов.** Влияние радиационного воздействия и химической природы ионов на структурные и электрические свойства β-Ga_2O_3 при ионной имплантации. 99

16^{00}-16^{15} **Д.С. Королев, К.С. Матюнина, А.А. Никольская, Р.Н. Крюков, А.А. Сушков, Д.А. Павлов, Д.И. Тетельбаум** Ионно-синтезированные нанокристаллы Ga2O3: состав, структура оптические свойства. 100

16^{15}-16^{30} **Н.П. Калашников.** Возгонка ионов металла поверхностным кильватерным потенциалом. 101

16^{30}-16^{45} **И.А. Столяр, В.Г. Шепелевич, И.И. Ташлыкова-Бушкевич, E. Wendler, R. Wu.** Ядерно-физический анализ фольг сплава системы Al−Mg−Li при отжиге. 102

16^{45}-17^{00} Перерыв

17^{00}-18^{15}, 3-е заседание

Председатели: **П.А. Карасев, В.В. Углов**

17^{00}-17^{15} **М. Нормурадов, Х Давранов, М. Давлатов, Н. Бозорова.** Рентгеновский анализ полупроводникового соединения $CaTiO_3$. 103

17^{15}-17^{30} **В.А. Ячук, А.В. Лубенченко, Д.А. Иванов, О.И. Лубенченко.** Влияние поверхностных эффектов на энергетический фотоэлектронный спектр. 104

17^{30}-17^{45} **В.П. Афанасьев, Г.С. Бочаров, А.В. Елецкий, Л.Г. Лобанова, К.И. Маслаков, М.А. Семенов-Шефов.** Анализ РФЭС спектров ВОПГ с угловым разрешением. 105

17^{45}-18^{00} **Д.С. Лукьянцев, А.В. Лубенченко, Д.А. Иванов, О.И. Лубенченко, О.Н. Павлов.** Исследование многокомпонентных наноструктурированных металл-оксидных тонких плёнок методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением. 106

18^{00}-18^{15} **М.И. Кафтаранова, Н.В. Артюхова, С.Г. Аникеев, С.М. Барайшук, В.И. Митюк.** Исследование структурных особенностей тонких нитей на основе TiNi. 107

18^{15}-18^{30} Перерыв

18^{30}-19^{00} Обсуждение стендовых докладов

Стендовые доклады «Взаимодействие ионов с поверхностью и наноструктурами (рассеяние, распыление, наноструктурирование и эмиссия вторичных частиц)» (секция №3).

Стендовые доклады

1. **Д.С. Киреев, К.Ф. Миннебаев, А.Е. Иешкин, Д.Р. Бессмертный, И.Н. Кутлусурин.** Изменение топографии поверхности аддитивных материалов под действием ионного облучения. 108
2. **С.Т. Абраева, Ж. М. Жумаев, И.Р. Бекпулатов, И.Х. Турапов.** Изучение зависимости степени разупорядочения поверхностных слоевмонокристаллов Si (111) и Ge при бомбардировке. 109
3. **Г.Х. Аллаярова, Н. Буронов, Ш. Зарипов.** Исследование ионно-электронной эмиссии пленок Cs на гранях (110) и (111) монокристаллов молибдена. 110
4. **Т.Л. Бобровский, А.Ф. Гурбич, П.С. Прусаченко, М.В. Боховко.** Исследование тормозной способности альфа-частиц в оксидном топливе. 111
5. **У.Б. Улжаев, Ш.Р. Уринов, А.Н. Улукмурадов.** Моделирование адсорбции атомов водорода на углеродных нанотрубках. 112
6. **А.И. Мусин, В.Н. Самойлов.** Об особенностях формирования полярного распределения распыленных атомов в МД-модели распыления грани (001) Ni. 113
7. **Г.Е. Седов, Д.Е. Карманов, И.А. Кудряшов, М.А. Негодаев, С.А. Мовчун.** Спектрометр для измерения параметров продуктов ядерных реакций синтеза (на примере DD-реакции). 114
8. **Ю.А. Мелкозерова, С.С. Москаленко, И.К. Гайнуллин.** Трехмерное теоретическое исследование резонансного электронного обмена между ионом H- и поверхностью Cu(111), покрытой адсорбатом Na^+. 115
9. **Э.Г. Никонов, Р.Г. Назмитдинов, П.И. Глуховцев.** Эволюция гексатической фазы с ростом числа частиц в двумерных системах с циркулярной симметрией. 116
10. **Н.Н. Андрианова, А.М. Борисов, М.А. Овчинников.** Эффекты слоистой структуры графита при высокодозном ионно-лучевом распылении. 117
11. **Н.Е. Ефимов, Д.Н. Синельников, М.В. Гришаев, И.А. Никитин.** Учёт аппаратной функции электростатических энергоанализаторов при спектроскопии рассеяния ионов низких энергий. 118
12. **И.З. Уролов, И.Д. Ядгаров, Д.В. Алябьев.** Адсорбция фуллерена C_{20} реконструированной поверхностью Si (100). 119

13. **Ш.А. Муминова, У.Б. Улжаев, И.Д. Ядгаров.** Взаимодействие атомов бора с двухслойными углеродными нанотрубками. 120
14. **И.Д. Ядгаров, Ш.Й. Аминов, А.С. Косимов.** Моделирование структуры C_{20} - линейный кластер C_n - графеновый лист. 121
15. **А.Н. Пустовит.** Аналитическая теория рассеяния ионов низких и средних энергий поверхностными атомами мишени при распылении. 122
16. **Ф.Я. Худайкулов, Б.Е. Умирзаков, Д.А. Ташмухамедова, М.Б. Юсупжанова, Х.Э. Абдиев, А.У. Хужаниязова.** Влияние имплантации ионов Ba^+ на структуру и свойства пленок WO_2. 123
17. **Г.Г. Бондаренко, М.Р. Фишер, В.И. Кристя.** Влияние неравномерности толщины диэлектрической пленки вдоль поверхности катода на его нагрев в тлеющем разряде. 124
18. **А.В. Смаев, В.С. Михайлов, А.Н. Зиновьев.** Влияние размера кристаллита на коэффициенты распыления и отражения. 125
19. **Н.М. Мустафоева, А.К. Ташатов.** Гетероструктуры Si/NiSi2/Si, полученных методом твердофазного осаждения. 126
20. **В.Е. Пуха, Г.В. Нечаев, Е.Н. Кабачков, И.Н. Лукина, Е.И. Дроздова.** Изменение структуры и свойств фторуглеродных покрытий при облучении ускоренными ионами C_{60}. 127
21. **М.Б. Юсупжанова, А.Н. Урокова, С.Т. Абраева, Х.Э. Абдиев, Ш.М. Мамасидикова, Д.А. Ташмухамедова.** Изучение электронных свойств ультратонких пленок PdSi/Si. 128
22. **В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашуров, И.Х. Худайкулов, Б.Р. Кахрамонов, В.П. Харьяков.** Ионная бомбардировка вакуумно-дугового разряда поверхности металлов. 129
23. **Ш.М. Ахмедов, Ш.Дж. Ахунов, Д.Т. Усманов.** Исследование закономерности поверхностной ионизации инсектицида хлордимеформа. 130
24. **Б.Г. Атабаев, Р. Джаббарганов, А.С. Халматов.** Исследование отрицательно ионного распыления алюмосиликатного катода ионами цезия. 131
25. **П.Г. Кахрамонова, Р.Р. Мавланов, М.М. Назаров, Ш.Д. Ахунов, Д.Т. Усманов.** Исследование процесса образования больших углеродных кластеров при бомбардировке графита кластерными и молекулярными ионами Sb_m^+, Au_m^-, $CuPc^+$. 132
26. **В.П. Кощеев, Ю.Н. Штанов.** Компьютерное моделирование каналирования атома и иона углерода в (100) плоскостном канале кристалла алмаза. 133
27. **М.Р. Рузметова, Д.Т. Усманов.** Масс-спектрометрические исследования десорбции и ионизации аминокислот аргинина. 134
28. **С.С. Исхакова, А.Ш. Ражабов, У. Хасанов, З.А. Улашева, Т.Х. Эрова, Д.Т. Усманов.** Мономолекулярные распады колебательно-возбужденных ионов при термоэмиссии многоатомных молекул психотропных препаратов – производных бутирофенона. 135
29. **М.Т. Нормуродов, А.Р. Кодиров, Н. Бозорова.** Нанотехнологии в солнечной энергетике. 136

30. **В.И. Шульга.** О средних энергиях распыленных атомов. 137

31. **С.В. Устинов, М.В. Чиркин, В.Ю. Мишин, В.А. Кочкин.** Определение границ неустойчивости и надежности лазерного гироскопа при длительной эксплуатации в широком диапазоне температур. 138

32. **Р. Джаббарганов, Б.Г. Атабаев, А.С. Халматов.** Отрицательное ионное распыление гексаборида лантана LaB_6 ионами Cs^+. 139

33. **В.Н. Арустамов, И.Х. Худайкулов.** Оценка поверхности металла после процесса прямого воздействия вакуумно-дугового разряда. 140

34. **И.В. Польшин, К.А. Барков, Е.С. Керсновский, В.А. Терехов, Д.Н. Нестеров, С.А. Ивков, А.В. Ситников.** Особенности формирования пленок Cu_xSi_{1-x} при распылении составной мишени Cu-Si ионным пучком. 141

35. **В.Н. Черник, Л.С. Новиков, С.П. Соколова, А. О. Куриленок, Ю.В. Поручикова.** Распыление полимерных покрытий при высокофлюенсном облучении потоком кислородной плазмы. 142

36. **М.С. Шилов, А.В. Назаров, В.С. Черныш.** Расчет поверхностной энергии связи атомов в никель-палладиевых сплавах с помощью метода молекулярной динамики. 143

37. **А.К. Ташатов, Н.М. Мустафоева.** Состав и структура поверхности пленок $NiSi_2$/Si, полученных методом твердофазной эпитаксии. 144

38. **В.В. Углов, С.В. Злоцкий, И.В. Сафронов, И.А. Иванов, А.Е. Рысқулов, Б.С. Аманжулов, А.Е. Курахмедов.** Структурно-фазовые превращения в высокоэнтропийном сплаве HfNbZrTi после высокотемпературного облучения низкоэнергетическими ионами гелия и криптона. 145

39. **А.А. Соловых, А.А. Сычева, Е.Н. Воронина.** Удаление метильных групп с поверхности low-k диэлектриков плазмой различного состава. 146

40. **С.В. Николин, С.С. Волков.** Физические процессы зажигания и перемещения дугового разряда в трехэлектродном разряднике. 147

41. **K.K. Mehmonov, A.A. Ergasheva, U.B. Uljaev, U.B. Khalilov.** Candidate for synthesizing endohedral graphene nanoribbon with precise chirality. 148

42. **А.Е. Лигачев М.В. Жидков, Г.В. Потемкин, Б.Л. Бобрышев, Г.Е. Ремнев, Е.А. Лигачев.** Топография поверхности магния после его обработки импульсным потоком ионов углерода. 149

43. **D. Husanova, K. Mehmonov, U. Khalilov.** Nanoparticles for perylene clustering retardation. 150

44. **Ф.Д. Акбарова, У.Б. Шаропов.** Двухслойная модель зарядки поверхности при электронной бомбардировке полупроводниковой мишени. 151

3-й день, четверг, 30 мая

Секция V

РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В НАНОСТРУКТУРАХ (НАНО- И БИО- ОБЪЕКТЫ). ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, СИНХРОТРОННЫЕ И НЕЙТРОННЫЕ МЕТОДЫ

10^{00}-12^{30}, 1-е заседание

Председатели: **А.А. Шемухин, В.В. Козловский**

10^{00}-10^{15} **В.А. Андрианов**, **А.Л. Ерзинкян, А.А. Буш, П.А. Федин, К.Е. Прянишников, Т.В. Кулевой.** Мессбауэровские исследования радиационных повреждений в магнетите. 155

10^{15}-10^{30} **И.К. Аверкиев**, **О.Р. Бакиева.** Система интегральных уравнений для совместного анализа EXAFS и EXELFS данных. 156

10^{30}-10^{45} **О.А. Подсвиров**, **Д.А. Соколова.** Физическая модель, объясняющая неоднородное распределение по глубине металлических наночастиц в диэлектриках, подвергнутых электронному облучению. 157

10^{45}-11^{00} **А.И. Клевцов**, **К.В. Карабешкин, П.А. Карасев.** Некоммутативность накопления дефектов в альфа-оксиде галлия при последовательной имплантации ускоренных ионов. 158

11^{00}-11^{15} **В.М. Студзинский**, **А.И. Клевцов, М.В. Мишин, Е.Д. Федоренко, П.А. Карасев.** Особенности ионно-стимулированого формирования наночастиц золота на поверхности полимерной пленки. 159

11^{15}-11^{30} **А.Н. Турундаевский**, **Д.М. Подорожный, К.Р. Рахимчанова.** Радиационные эффекты в продуктах питания при перелете к луне с использованием двигателей малой тяги. 160

11^{30}-11^{45} **Е.А. Большевич**, **А.В. Шабалина, Н.В. Артюхова, М.И. Кафтаранова, С. Пахолкина, С.Г. Аникеев.** Исследование коррозионного поведения биосовместимых композитных материалов на основе никелида титана. 161

11^{45}-12^{00} **М.Е. Калиекперов**, **Д.И. Шлимас.** Эффективность экранирования $CuBi_2O_4$ тонких пленок от γ-излучения. 162

12^{00}-12^{15} **М.М. Михайлов, Д.С. Федосов, В.А. Горончко, А.Н. Лапин, С.А. Юрьев.** Исследование радиационной стойкости оптических свойств микропорошка ZrO_2, модифицированного наночастицами MgO. 163

12^{15}-12^{30} **Emad M. Elsehly, N.G. Chechenin.** The performance of ion irradiated multi-walled carbon nanotubes-based filters for methylene blue removal from water resources. 164

12^{30}-12^{45} Перерыв

12^{45}-13^{15} Обсуждение стендовых докладов

Стендовые доклады «Радиационные эффекты в наноструктурах (нано- и биообъекты). Ядерно-физические методы исследования, синхротронные и нейтронные методы» (секция №4).

Председатели: Ю.В. Балакшин, Е.А. Воробьева

Стендовые доклады

1. **Д.С. Федосов, В.В. Нещименко, М.М. Михайлов, С.А.Юрьев.** Влияние излучения уф и видимого диапазона спектра на оптические свойства покрытий на основе двухслойных полых частиц SiO_2/ZnO. 165
2. **И.В. Верхотурова, В.В. Нещименко, М.М. Михайлов.** Влияние облучения электромагнитного излучения солнца на оптические свойства микро-, субмикро- и нанопорошки ZnO. 166
3. **Д.В. Андреев, С.А. Корнев, В.В. Андреев.** Изменение зарядового состояния МОП-структур при радиационном облучении и сильнополевой инжекции в режиме постоянного напряжения. 167
4. **Б.Е. Умирзаков, А.А. Абдувайитов, Д.А. Ташмухамедова, Х.Х.Болтаев, Г.А. Розиков, Ш.А. Толипова.** Морфология и состав поверхности тонких пленок CdS/Mo. 168
5. **А.А. Никольская, Д.С. Королев, А.Н. Яблонский, Д.В. Юрасов, В.Е. Захаров, Б.А. Андреев, А.А. Конаков, Д.И. Тетельбаум.** Образование и свойства светоизлучающих дефектов в кремнии, полученных с помощью ионной имплантации. 169
6. **П.А. Бабаев, Р.А. Воронков, А.Е. Волков.** Повреждение вдоль треков быстрых тяжелых ионов в полиэтилене. 170
7. **Э.Ф. Хаметова, О.Р. Бакиева.** Проблема анализа нескольких сигналов в EXAFS спектроскопии на примере $BaTiO_3$. 171
8. **U. Turaeva and U. Khalilov.** Controlling nickel oxide/nickel interface roughness with precursors. 172
9. **Б.Л. Оксенгендлер, Н.Н. Тураева, С.Е. Максимов, С.Х. Сулейманов, И. Нуритдинов, Н.Н. Никифорова, Ф.А. Искандарова, Г.С. Нуждов, З.И. Каримов.** Об особенностях радиационной физики топологических изоляторов. 173
10. **T. Juraboev, N. Esanturdiyeva and U. Khalilov.** Low and high index surfaces for graphene synthesis. 174
11. **А.В. Бибиков, А.В. Николаев, П.В. Борисюк, Е.В. Ткаля.** Изучение проникновения атомов бора и бериллия внутрь фуллерена C_{60} ab-initio методами (DFT) 175

13^{15}-13^{30} Дискуссия. Конкурс молодых ученых

13^{30}-13^{55} Объявление победителей. Заключительное слово

Секция I

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УСКОРЕННЫХ ЧАСТИЦ С ВЕЩЕСТВОМ (ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ С ОБЗОРОМ НОВЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ)

АНАТОЛИЙ ФИЛИППОВИЧ ТУЛИНОВ И ФОРМИРОВАНИЕ ФИЗИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УСКОРЕННЫХ ЧАСТИЦ С КРИСТАЛЛАМИ

Н.Г. Чеченин*, В.С. Куликаускас
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
*e-mail: nchechenin@yandex.ru

24 сентября 2024 г. исполняется 100 лет со дня рождения Анатолия Филипповича Тулинова, выдающегося ученого, педагога и организатора науки. Важнейшие этапы жизненного и творческого пути Анатолия Филипповича описаны в книге /1/. Сфера его деятельности обширна и описать ее в докладе, ограниченного временными рамками в приемлемой полноте не представляется возможным. В докладе мы остановимся на роли Анатолия Филипповича в становлении и развитии физики взаимодействия ускоренных заряженных частиц с кристаллами и, прежде всего, ориентационных эффектов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Анатолий Филиппович Тулинов. Серия «Выдающиеся ученые физического факультета МГУ» Вып. XVII/Под ред. Е.А. Крыловой – М: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2014, 150с.

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ТОРМОЖЕНИИ И РАССЕЯНИИ АТОМОВ КЭВ ЭНЕРГИЙ В ВЕЩЕСТВЕ

П.Ю. Бабенко*), А.Н. Зиновьев, А.П. Шергин
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
*) e-mail: babenko@npd.ioffe.ru

Методы компьютерного моделирования в сочетании с анализом эксперимента позволили существенно уточнить представления о взаимодействии пучков атомных частиц с веществом, а также предложить задачи новых экспериментов.

При выборе потенциала взаимодействия рекомендуется использовать расчет потенциала для конкретных систем с применением приближения функционала плотности и учетом спектроскопических данных о параметрах потенциальной ямы.

Установлено, что в потенциал взаимодействия при столкновениях частиц с металлами необходимо ввести поправку, учитывающую взаимодействие с электронами проводимости.

Следует учитывать дополнительный максимум в сечениях ЯТС при малых энергиях, связанный с рассеянием частиц на потенциальной яме.

При выборе модели ЭТС для компьютерного моделирования при энергиях соударения менее 10 кэВ следует использовать в качестве параметра потерю энергии на единицу длины траектории, а также использовать экспериментальные данные, полученные из анализа спектра обратно рассеянных частиц.

При рассмотрении ЭТС необходимо также учитывать образование автоионизационных состояний при соударениях частиц, которое вносит доминирующий вклад в ионизацию частиц и в механизм формирования неупругих потерь энергии при медленных столкновениях.

Показано значительно влияние поверхностного потенциального барьера, шероховатости поверхности, структуры мишени на эффекты распыления и отражения частиц от поверхности, а также важен корректный учет ЭТС.

При анализе каналирования атомов D в кристаллическом вольфраме W(100) имеет место фокусировка пучка и предлагается эксперимент, позволяющий проверить модель непрерывного потенциала и особенности торможения частиц при движении вдоль оси канала.

Секция II

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИОНОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ И НАНОСТРУКТУРАМИ (РАССЕЯНИЕ, РАСПЫЛЕНИЕ, НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ И ЭМИССИЯ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ УВЕЛИЧЕНИЯ РАСПЫЛЕНИЯ В РАЙОНЕ ГРАНИЦЫ МЕЖДУ ОБЛАСТЯМИ, ОБЛУЧАЕМЫМИ ИОНАМИ C_{60} И ЗАКРЫТЫМИ МАСКОЙ

К.П.Карасев[1,2)], Д.А.Стрижкин[2)], П.А.Карасев[2*)],
Е.Д.Федоренко[2)], А.И.Титов[2)], В.Е.Пуха[3)].
[1)] Академический ун-т им. Ж.И.Алферова, СПб, Россия
[2)] Политехнический ун-т Петра Великого, СПб, Россия
[3)] ИПХФ РАН, Черноголовка, Россия
[*)] e-mail: platon.karaseov@spbstu.ru

Экспериментально было обнаружено, что в результате облучения поверхности кремния ускоренными ионами C_{60} с энергией 7-8 кэВ, в районе границы между областями мишени облучаемой и закрытой маской образуется протяженная траншея. Столкновение иона с боковой поверхностью маски и последующие процессы происходят за времена ~ 1 пс, поэтому для их анализа был выбран широко распространенный метод Молекулярно-Динамического (МД) моделирования. Расчеты проведены с помощью кода Lammps, взаимодействие между всеми типами атомов описано потенциалом Терсофа. Выполнено моделирование одиночных случаев и последовательного падения молекул C_{60} на боковую поверхность маски из Si. Проведено сравнение со случаем падения одноатомных ионов углерода.

По результатам расчетов обнаружено, что усиление распыления в граничной области при кластерном облучении возникает вследствие уплотнения атомов в молекуле фуллерена при скользящем соударении с боковой поверхностью маски. Данный механизм отличается от эффекта, возникающего при облучении атомарными ионами, когда увеличение распыления связано с локальным возрастанием потока бомбардирующих поверхность частиц в направлении облучаемой поверхности за счет отражения падающего пучка от боковой поверхности.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант №22-19-00166).

ФОРМИРОВАНИЕ СВЕРХТВЕРДЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ИОНОВ C_{60} В АТМОСФЕРЕ АЗОТА

В.Е. Пуха[1*)], Е.Н. Кабачков[1)], И.Н. Лукина[2)], Е.И. Дроздова[2)], О.П. Черногорова [2)], М. И. Петржик [3)] И.И. Ходос[3),]
[1)] ФИЦ ПХФ и МХ РАН Черноголовка, Россия
[2)] ИМЕТ РАН, Москва, Россия
[3)] НИТУ МИСиС, Москва, Россия
[3)] ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия
[*)] e-mail: pve@icp.ac.ru

Формирование сверхтвердых фаз в системе C - N при высоких давлениях и температурах (55 ГПа и 7000 К.) подтверждено экспериментально в /1/. Удар иона C_{60} с энергией 1-10 кэВ, создает такие же условия в течение 10^{-9} секунды в области размером несколько нанометров /2/.

Ионы C_{60} с энергией ~7 кэВ через масс-спектрометр осаждались на подложки из Si и Ti в вакуумной камере при давлении N_2~$2 \cdot 10^{-2}$ Па и температуре подложки (Ts) 100-400 ºС. Соотношение N_2:C_{60} варьировалось током ионов C_{60} на подложку. Структура, состав и химические связи покрытий исследовались методами комбинационного рассеяния света (КРС), рентгенофазового анализа (РФА), просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Механические свойства измерены методом наноиндентирования.

По данным ПЭМ и РФА при Ts < 200 ºС, структура покрытий аморфная, а при Ts ≥ 200 ºС формируются фуллереноподобные структуры (ФС). При Ts ~300°С в ФС матрице появляются нанокристаллические выделения и по данным РФЭС, соотношение sp^3/sp^2 имеет локальный максимум. Измерение механических свойств на покрытиях толщиной ~1 мкм показало, что в покрытиях имеются микрообласти, с твердостью до 92,5 ГПа и модулем Юнга 440 ГПа. Между ними находятся области с низкой твердостью и модулем Юнга, ~45 ГПа и 270 ГПа, соответственно.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. E. Stavrou et al//Chemistry of Materials, (2016) 28, 6925.
2. V.E. Pukha et al. // J. Nanosci. Nanotechnol., (2007), 7, No. 4-5, P. 1370.

МОДИФИКАЦИЯ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ АТОМАРНЫМИ И КЛАСТЕРНЫМИ ИОНАМИ АРГОНА

А.Е. Иешкин[1*)], Ю.А. Ермаков[2)], В.С. Черныш[1)], А.И.Базлов[3)], Б.Р. Сенатулин[3)], Е.А. Скрылева[3)]
[1)] Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[2)] НИИЯФ МГУ имени М.В. Ломоносова
[3)] НИТУ МИСИС, Москва, Россия
[*)] e-mail: ieshkin@physics.msu.ru

Высокоэнетропийные сплавы, то есть сплавы, содержащие не менее 4-5 компонентов в приблизительно равных соотношениях, привлекают внимание исследователей благодаря высоким конструкционным качествам, таким как твердость, жаростойкость, коррозионная стойкость, радиационная стойкость и т.д. /1/

В настоящей работе исследовано влияние облучения атомарными ионами аргона с энергией 3 кэВ и кластерными ионами аргона Ar_{2500}^{+} с энергией 20 кэВ на состав и структуру поверхности сплавов CoCrMnNi и AlNbTiV. Динамика состава поверхности в процессе ионного облучения определялась *in situ* методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Топография образцов до и после облучения контролировались с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) и атомно-силового микроскопа (АСМ).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10224, https://rscf.ru/project/21-79-10224/

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. E.P. George, D. Raabe, R.O. Ritchie // Nature Reviews Materials, 2019, vol. 4, p. 515.

ИОННО-КЛАСТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КРЕМНИЯ И ГЕРМАНИЯ

И.В. Николаев[1*)], Н.Г. Коробейщиков[1)], А.В. Лапега[1)]

[1)] Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
[*)] e-mail: i.nikolaev@nsu.ru

Монокристаллические кремний и германий широко используются в полупроводниковой продукции, благодаря относительно низкой ширине запрещенной зоны, отсутствию стабильного оксида, высокой подвижности электронов и дырок /1–3/. Ионно-кластерная обработка применяется для эффективной модификации поверхности материалов, при этом глубина приповерхностного поврежденного слоя материала составляет единицы нанометров /4–5/.

Представлены результаты обработки поверхности монокристаллических кремния и германия кластерными ионами аргона со средним размером 1000 атомов/кластер. Методом атомно-силовой микроскопии получены изображения топографии поверхности образцов. Определены параметры шероховатости поверхности до и после бомбардировки кластерными ионами. Оценены средние скорости травления и коэффициенты распыления мишени.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант №23-79-10061).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. S. Bao et al. // Journal of Semiconductors, 2021, Vol. 42, No. 2, 023106.
2. E.E. Haller // Materials Science in Semiconductor Processing, 2006, Vol. 8, Is. 4–5, P. 408–422.
3. A. Toriumi and T. Nishimura // Japan Journal of Applied Physics, 2018, Vol. 57, No. 1, 010101
4. N. Toyoda and I. Yamada // AIP Conference Proceedings, 2006, Vol. 866, P. 210–213.
5. N. G. Korobeishchikov et al. // Materials Research Bulletin, 2023, Vol. 158, 112082.

ВОЗДЕЙСТВИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ИОНОВ N_2^+ И O_2^+ НА МОНОСЛОИ MoS_2

А.А. Соловых[1,2*)], Е.Н. Воронина[1,2)]
[1)] МГУ имени М. В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, Россия
[2)] НИИ ядерной физики имени Д. В. Скобельцына МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия
[*)] e-mail: solovykh.aa19@physics.msu.ru

В настоящее время одним из наиболее перспективных полупроводниковых материалов для создания элементов наноэлектроники считается квазидвумерный дисульфид молибдена MoS_2, содержащий один или несколько монослоев. Важнейшим преимуществом данного материала является возможность направленного изменения его свойств посредством различных внешних воздействий /1/. Большинство технологических операций при производстве элементов электроники производится с помощью низкотемпературной плазмы, частицы которой (в первую очередь, ионы) способны вызывать значительное повреждение подобных ультратонких материалов и ухудшение их электронных свойств /1, 2/.

В настоящей работе было выполнено моделирование методом теории функционала плотности воздействия молекулярных ионов N_2^+ и O_2^+ низкой (от 5 до 40 эВ) энергии на монослой MoS_2 /3/. На основании полученных расчетных данных выявлены основные механизмы образования дефектов в монослоях MoS_2 под действием указанных ионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wang Z. M., MoS_2. Materials, Physics, and Devices, Switzerland, Springer, 2014.
2. Мележенко Д. Е., Лопаев Д. В., Зотович А. И., Воронина Е. Н. // Письма в Журнал технической физики, 2022, 48, № 22, 28.
3. Хлебников С. А., Соловых А. А., Манкелевич Ю. А., Воронина Е. Н. // Письма в Журнал технической физики, 2023, 49, № 18, 8.

РАСЧЕТ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ СВЯЗИ В ТЕФЛОНЕ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ

С.С. Москаленко[1)], Ю.А. Мелкозерова[1)], И.К. Гайнуллин[1*)]
[1)] Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия
[*)] e-mail: ivan.gainullin@physics.msu.ru

С помощью теории функционала плотности /1/ была рассчитана энергия связи в тефлоне. Моделируемая система представляла собой молекулу CF_2 (часть молекулы тефлона) в вакууме. Рассчитывалась энергия связи данной системы в нейтральном состоянии, после чего мы произвели аналогичный расчет для положительно ионизованной молекулы CF_2. Расчеты проводились в базисе плоских волн с локальной плотностью для обменно-корреляционного потенциала (LDA). Зона Бриллюэна была отобрана с использованием только одной Γ k-точки. Использовалась энергия отсечки 400 эВ. Расчеты показали, что энергия связи одной молекулы тефлона CF_2 в нейтральном состоянии равна 11,37 эВ, что соответствует экспериментальным данным с точностью до 25%. Для ионизованной молекулы значение энергии связи уменьшается почти в 4 раза до 2,93 эВ, а с учетом дипольного момента - до 0,8 эВ. Проведенные расчеты позволили построить объяснение экспериментальных данных по кратному увеличению сигнала положительных ионов при положительной зарядке поверхности /2/. Согласно теории Зигмунда, выход распыленных частиц примерно пропорционален обратной энергии связи. Соответственно, при кратном уменьшении энергии связи для положительных ионов, можно ожидать соразмерного увеличения их выхода.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Self-consistent equations including exchange and correlation effects // Kohn W., Sham L. J. // Physical review. – 1965., Т. 140., №. 4A., С. A1133.
2. Рассеяние и эмиссия ионов из диэлектрических плёнок // Е. Ю. Зыкова, А. Е. Иешкин, К. Ф. Миннебаев и др. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон. — 2023., № 2., С. 20-26.

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЗЕРНА И ТЕКСТУРЫ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ВОЛЬФРАМА НА ЕГО ИОННО-ЛУЧЕВОЕ РАСПЫЛЕНИЕ

Р.Х. Хисамов[1)], Н.Н. Андрианова[2,3)], А.М. Борисов[1,2,3)],
М.А. Овчинников[2)], Р.Р. Мулюков[1)]
[1)] ИПСМ РАН, Уфа, Россия
[2)] НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
[3)] МАИ (НИУ), Москва, Россия

Изучение поведения вольфрама с различной микроструктурой при ионном облучении актуально для стенок термоядерного реактора /1/. В данной работе исследовали влияние размера и текстуры зерен поликристаллического вольфрама на коэффициент распыления и морфологию поверхности при высокодозном облучении ионами Ar^+ с энергией 30 кэВ на масс-монохроматоре НИИЯФ МГУ /2/. В эксперименте использовали образцы с размером зерен от 300 нм /3/ до 10 мкм, текстурированные с ориентацией зерен (001) на поверхности и бестекстурные. Коэффициент распыления Y для бестекстурных образцов с различным размером зерен составил 3.4–3.6 ат./ион, для текстурированных образцов 1.8–2.0 ат./ион. Исследована морфология поверхности облученных образцов. Сопоставление экспериментальных данных говорит о малом влиянии размера зерна на распыление. Эксперимент с варьированием угла падения ионного пучка показал, что причиной двукратного снижения коэффициента Y для текстурированных образцов является эффект каналирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chen Z., Niu L.-L., Wang Z. et.al. // Acta Materialia. 2018. V.147. P. 100.
2. Mashkova E.S., Molchanov V.A., Medium-Energy Ion Reflection from Solids. North-Holland, Amsterdam, 1985.
3. Khisamov R.Kh., Andrianova A.A., Borisov A.M., Ovchinnikov M.A., Timiryaev R.R., Musabirov I.I., Mulyukov R.R. Physics of Atomic Nuclei. 2023. V.86. №.10. P. 2198.

ЭФФЕКТ НАСЫЩЕНИЯ ПРИ РОСТЕ НАНОСТРУКТУРНОГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОЛЬФРАМА В ГЕЛИЕВОЙ ПЛАЗМЕ

С.Д. Федорович[1,*)], В.П. Будаев[1,2)], Ю.В. Мартыненко[2)], М.К. Губкин[1)], Д.И. Кавыршин [1,3)]

[1)] НИУ «МЭИ», Москва, Россия
[2)] НИЦ Курчатовский институт, Москва, Россия
[3)] ИВТ РАН, Москва, Россия
[*)] e-mail: FedorovichSD@mail.ru

Наноструктуры типа «пух» на поверхности вольфрама образуются при облучении в стационарной гелиевой плазме при малой энергии ионов гелия (до 100 эВ) и высокой температуре мишени (до 1300 К). Диаметр нитей структуры 20 – 40 нм.

Цель исследования - уточнение условий модификации поверхности образцов вольфрама в стационарной гелиевой плазме на установке ПЛМ (НИУ «МЭИ»). В результате выполненных исследований получено экспериментальное подтверждение прекращения роста толщины слоя «пуха» на вольфраме при больших (выше $8 \cdot 10^{27}$ ион/м^2) флюенсах (дозах) ионов гелия на плазменной установке ПЛМ. Указание на близкий флюенс $1{,}1 \cdot 10^{28}$ ион/м^2 встречается только в работах на плазменной установке PISCES-B (США). Предложено объяснение этого факта с использованием теории миграции поверхностных адатомов /2/.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FSWF-2023-0016.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.П. Будаев, С.Д. Федорович, М.В. Лукашевский, Ю.В. Мартыненко, М.К. Губкин, А.В. Карпов, А.В. Лазукин, Е.А. Шестаков. // ВАНТ. Сер.Термоядерный синтез, 2017, т. 40, вып. 3, с. 23-25.
2. Мартыненко Ю.В., Нагель М.Ю. // Физика плазмы, 2012, т.38, №12, с.1082-1086.

УГЛОВЫЕ ЗАВИСИМОСТИ РАСПЫЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ГРУППЫ A_3B_5 ФОКУСИРОВАННЫМ ПУЧКОМ ИОНОВ ГАЛЛИЯ

К.Н. Лобзов[1,2*)], М.А. Смирнова[1,2)], Д.Э. Пухов[1)],
Л.А. Мазалецкий[2)], А.Е. Иешкин[3)], В.И. Бачурин[1)], А.Б. Чурилов[1)]
[1)]Ярославский филиал Физико-технологического института им. К.А. Валиева РАН, Ярославль, Россия
[2)]Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия
[3)]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, Россия
[*)] e-mail: kostya.lobzov@mail.ru

К настоящему моменту в литературе представлен достаточно большой объём как экспериментальных, так и теоретических данных, описывающих процесс распыления полупроводниковых материалов. Однако до сих пор существует крайне мало исследований, посвящённых ионному распылению полупроводников группы A_3B_5, в то время как они являются достаточно перспективными материалами современной нанотехнологии.

В работе получены экспериментальные угловые зависимости коэффициентов распыления InP, InSb и InAs при бомбардировке ионами галлия с энергией 30 кэВ. Угол падения ионов θ изменялся от 0 до 85º, флюенс $D = 5 \cdot 10^{17}$ см$^{-2}$. Методом ВИМС на установке IONTOF[5] измерено содержание имплантированных ионов в приповерхностном слое образцов при различных θ и D. Методами СЭМ (SUPRA 40) и АСМ (СММ-2000) исследована топография облучённой поверхности. Экспериментальные результаты сравниваются с данными математического моделирования в программе TRIDYN. Полученные результаты обсуждаются в рамках теории каскадного распыления П. Зигмунда и различных моделей связи атомов в составном веществе, а также сравниваются с имеющимися данными в литературе /1/ и /2/.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. K. A. Grossklaus, J. M. Millunchick // J. Appl. Phys.2011; 109 (1): 014319.
2. И.П. Сошников, Н.А. Берт // ЖТФ. 2000. Т. 70. Вып. 9. С.107.

МЕХАНИЗМЫ ЗАРОЖДЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ НАКЛОННОМ ОБЛУЧЕНИИ КРЕМНИЯ ИОНАМИ ГАЛЛИЯ

М.А. Смирнова[1*)], В.И. Бачурин[1)], К.Н. Лобзов[1,2)],
Л.А. Мазалецкий[1, 2)], Д.Э. Пухов[1)], А.Б. Чурилов[1)]
[1)]Ярославский филиал Физико-технологического института
им. К.А. Валиева РАН, Ярославль, Россия
[2)] Ярославский государственный университет
им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия
[*)] e-mail: masha_19957@mail.ru

Одним из наиболее перспективных и интересных способов наноструктурирования поверхности в последнее время является ионная бомбардировка. Интерес обусловлен тем, что данный метод позволяет работать с обширным набором систем ион-мишень. А также формировать поверхностные структуры различной геометрии с разной степенью периодичности за счет регулировки параметров облучения (энергия ионов, флюенс, угол падения ионного пучка и др.) /1/.

В работе представлены экспериментальные результаты облучения Si (100) 30 кэВ пучком ионов Ga^+. Формирование экспериментальных растров осуществлялось на установке Quanta 3D 200i, при углах падения ионов θ от 40 до 85° и флюенсах D от $5\cdot10^{17}$ до $2\cdot10^{19}$ $см^{-2}$. Установлено, что при θ от 40 до 70° и $D \geq 10^{18}$ $см^{-2}$ происходит формирование фасетированного периодического рельефа. Примечательно, что рельеф зарождается у края поверхности растра и распространяется по площади с увеличением флюенса (противоположно направлению падения ионов). Полученные результаты рассматриваются в рамках существующих теорий формирования и распространения рельефа поверхности, опирающихся на работу П. Зигмунда /2/.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. K. Höflich, G. Hobler, F.I. Allen, et. al. // Appl. Phys. Rev., 2023, Vol. 10, p. 041311.
2. P. Sigmund // J. Mater. Sci. 1973. Vol. 8. P.1545.

РАСПЫЛЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК 3D-МЕТАЛЛОВ ПОТОКОМ Ar+ МАЛЫХ ЭНЕРГИЙ

Т.З. Гусейнов[1)], О.Р. Бакиева[2*)], Р.Г. Валеев[2)], А.Н. Бельтюков[2)]
[1)] Удмуртский Государственный Университет, г. Ижевск, Россия
[2)] Удмуртский Федеральный Исследовательский Центр УрО РАН, г. Ижевск, Россия
*) e-mail: ftiran@mail.ru

Развитие высокоточных технологий привело к внедрению микро- и наноэлектронной аппаратуры в повседневную жизнь. Прогресс в области радиоэлектроники требует соответствующих методов диагностики новых материалов. Одним из методов анализа элементного состава вещества является оже-электронная спектроскопия. Это поверхностно-чувствительный метод, глубина анализа которого составляет 1-3 нм. Кроме того, электронный луч можно сфокусировать на площади вплоть до нанометрового масштаба, благодаря этому, становятся доступны исследования сильно локализованных особенностей в материале. Исследование методом оже-электронной спектроскопии в комплексе с поэтапным распылением ионами аргона малых энергией позволяет получить информацию о распределении химических элементов по глубине в заданной точке. Однако, в наноразмерных масштабах скорость распыления веществ может существенно отличаться от соответствующих объемных значений.

Целью настоящей работы являлось определение скорости распыления наноразмерных пленок на основе 3d-металлов (Ti, Co, Cr). Проведена серия работ по синтезу пленок, аттестации их сплошности и толщины. Элементный состав поверхности был определен методом оже электронной спектроскопии в комплексе с травлением ионами аргона. Для каждого образца проведено несколько циклов травления ионами аргона энергией 1 и 3 кэВ. Построены зависимости изменения концентрации химических элементов от глубины профилирования. Определены средние скорости распыления наноразмерных плёнок 3d-металлов (Ti, Co, Cr).

Исследования выполнены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (№ гос. регистрации 1022040600207-2).

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНИЦИИРОВАНИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ В БОРОСОДЕРЖАЩИХ МИШЕНЯХ ПУЧКОМ ИОНОВ ДЕЙТЕРИЯ С ЭНЕРГИЕЙ <50 КЭВ НА ИОННОМ УСКОРИТЕЛЕ ГЕЛИС

М.А. Негодаев[1*)], А.С. Русецкий[1)], А.В. Огинов[1)], К. В. Шпаков[1)], Г.Е. Седов[1)], М.А. Кирсанов[2)], С.Г.Климанов[2)], Д.Е. Карманов[3)], В.Н. Амосов[4)], С.А. Мовчун[1)]

[1)] Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН), Москва, Россия
[2)] Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Москва, Россия
[3)] Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
[4)] Частное учреждение Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» «Проектный центр ИТЭР», Москва, Россия,

[*)] negodaevma@lebedev.ru

Представлены экспериментальные данные по выходу продуктов ядерных реакций из боросодержащих кристаллических мишеней при их облучении пучком ионов дейтерия с энергией < 50 кэВ на ионном ускорителе ГЕЛИС (ФИАН). В качестве мишеней использовались природный бор и карбид бора (B_4C). Для сравнения, на этой же установке были проведены эксперименты по измерению выхода продуктов ядерных реакций при облучении боросодержащих мишеней потоком нейтронов от мишени-конвертера из Ti (99,99%). Для регистрации продуктов ядерных реакций использовались полупроводниковые детекторы, трековые детекторы CR-39, нейтронные сцинтилляционные спектрометры.

Показана возможность инициирования ядерной реакции $B^{10} + n \rightarrow Li^7 + \alpha$ +2.31 МэВ пучком ионов дейтерия с энергией <50 кэВ.

ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ И КОМПЛЕМЕНТАРНЫЕ МЕТОДЫ В КОМПЛЕКСНОМ АНАЛИЗЕ ПЕРСТНЕВЫХ ВСТАВОК XIV ВЕКА ИЗ РАСКОПОК НЕМЕЦКОГО ДВОРА В ВЕЛИКОМ НОВГОРОДЕ

Е.А. Созонтов[1*)], Э.А. Грешников [1)], П.Г. Гайдуков [2)], С.Н. Малахов [1)], И.Н. Трунькин [1)], О.А. Кондратьев [1)]
[1)] Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Москва, Россия
[2)] Институт археологии РАН, Москва, Россия
[*)] e-mail: esozontov@yahoo.com

Объектами нашего исследования были две перстневые вставки XIV века. Каждая вставка состоит из двух выпуклых пластинок прозрачного вещества, склеенных вместе. Внутри вставок визуально наблюдается вещество розоватого цвета.

Задачи исследования: определение материала прозрачных выпуклых пластин перстневых вставок, определение клеящего вещества, а также определение материала розового цвета, находящегося внутри вставок.

Методы: энергодисперсионный рентгеновский микроанализ, ИК-спектроскопия, рентгеновская дифрактометрия и комплементарные методы.

На основе литературных данных и наших экспериментальных измерений химического состава и структуры, наиболее вероятным материалом исследуемых перстневых вставок является стекло с высоким содержанием SiO_2 (~97масс. %); основные примеси: Al_2O_3 (~2масс. %), Na_2O (~1масс. %); микропримеси (<1масс. %): MgO, Cl_2O, Fe_2O_3, NiO. Лишь на одной половине вставки № 2221 был зафиксирован дифракционный пик (2Θ=67,74 град.), что соответствует рефлексам кварца (-3,2,1,-2). Следует отметить, что химический состав стекла исследуемых объектов, отличается от традиционных составов, используемых в средние века русскими мастерами. Красящей субстанцией, имитирующей драгоценный камень, наиболее вероятно является смола фисташкового дерева розоватой природной окраски, а клеящим веществом - клей животного происхождения.

АНАЛИЗ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ТОНКИХ ПЛЕНОК CrSi, ПОЛУЧЕННЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ

М. Нормурадов, И. Бекпулатов, К. Довранов, Д. Нормуродов
Каршинский государственный университет
e-mail: quvondiqdavronm@gmail.com

С помощью устройства магнетронного распыления впервые ионно-плазменным методом на поверхности монокристаллического кремния успешно сформированы тонкие пленки аморфного дисилицида хрома. Результаты СЭМ подтвердили, что поверхность $CrSi_2$ не была полностью покрыта первоначальным 30-секундным магнетронным распылением. После 60 секунд магнетронного распыления формировалась аморфная пленка $CrSi_2$, а после 120 секунд магнетронного распыления с образованием поликристаллической нанопленки $CrSi_2$ определялся оптимальный режим нагрева до 750 К в течение 1 часа.

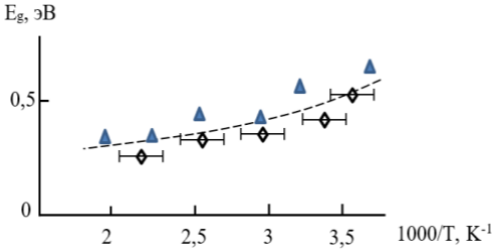


Рис. 1. Зависимость ширины запрещенной зоны поликристаллических и аморфных пленок $CrSi_2$ от градиента температуры.

В аморфной пленке ширина запрещенной зоны составляла 0,64 эВ при комнатной температуре и незначительно уменьшалась с ростом температуры. Нагрев аморфной пленки после магнетронного распыления показал, что ширина запрещенной зоны пленок поликристаллического силицида хрома равномерно уменьшается от 0,52 эВ до 0,34 эВ и проявляет короткозонные полупроводниковые свойства /1/.

Анализ формирования поликристаллической пленки $CrSi_2$ и температурной зависимости ее запрещенной зоны показал, что тонкие пленки $CrSi_2$ обладают высокой чувствительностью в видимой и ИК-областях света.

ЛИТЕРАТУРА

1. K.T. Dovranov, M.T. Normuradov, KH.T. Davranov, I.R. Bekpulatov. Formation of Mn_4Si_7/Si(111), $CrSi_2$/Si(111), and $CoSi_2$/Si(111) thin films and evaluation of their optically direct and indirect band gaps. Ukr. J. Phys. ISSN 2071-0186. 2024. Vol. 69, No. 1.

ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ КИСЛОРОДА НА ДИСЛОКАЦИОННУЮ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ В КРЕМНИИ

А.Е. Калядин[1*)], К.Ф. Стельмах[1)], Е.И. Шек[1)],
Н.А. Соболев[1)]
[1)] ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
[*)] e-mail: iosh_q@mail.ru

Среди большого разнообразия методов формирования светоизлучающих структур на основе Si с дислокационной люминесценцией (ДЛ) наибольший интерес представляют методы, основанные на использовании кислородных преципитатов /1/ и ионной имплантации /2/. В настоящей работе исследовано влияние имплантации ионов кислорода на ДЛ в Si, содержащем окисные преципитаты. Обнаружены особенности, возникающие в спектрах ДЛ в не имплантированном и имплантированном ионами кислорода кремнии, выращенном методом Чохральского. Окисные преципитаты формировались в процессе многостадийной термообработки, применяемой в микроэлектронике для создания внутреннего геттера. Центры ДЛ (так называемые линии D1 и D2 с длинами волн 1.530 и 1420 нм, соответственно) создавались на стадии заключительного отжига в хлорсодержащей атмосфере при 1000°C. В не имплантированном образце формировалась только одна D1 линия, при этом впервые наблюдалось увеличение ее интенсивности с ростом температуры измерения. Дополнительная имплантация ионов кислорода перед многостадийным отжигом сопровождается образованием D1 и D2 линий, а интенсивность D1 линии возрастает в два раза по сравнению с не имплантированным образцом. Получены аналитические зависимости интенсивностей ФЛ обеих линий от температуры.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. K. Bothe, R.J. Falster, J.D. Murphy, // Appl. Phys. Lett., 2012, v.101, 032107 (2012).
2. Н.А. Соболев, // ФТП, 2010, т.44, №1, с.3.

МОДИФИКАЦИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ α -Ga_2O_3 ВЫСОКОДОЗНЫМ ИОННЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ

Е.Д. Федоренко[*)], А.И. Клевцов, В.Д. Андреева, А.Л. Шахмин, А.И. Титов, П.А. Карасев.
Политехнический ун-т Петра Великого, СПб, Россия
[*)] e-mail: lizasever69@mail.ru

В последние годы активно проводится поиск полупроводниковых материалов для разработки нового поколения мощных электронных устройств и оптоэлектроники. Оксид галлия рассматривается как перспективный материал благодаря своим уникальным характеристикам, таким как широкая запрещенная зона (4.8 – 5.3 эВ в зависимости от кристаллической фазы) и высокие значения напряжения пробоя (~ 8 МВ/см). Ранее нами начато исследование образования радиационных дефектов в α-Ga_2O_3 облучением ионами с энергиями кэВ диапазона /1, 2/. В данной работе рассматриваются эффекты при бомбардировке α-Ga_2O_3 большими дозами.

Для облучения были использованы относительно легкие одноатомные ионы P, тяжелые молекулярные PF_4 и одноатомные ионы Ta с энергиями 40, 140 и 150 кэВ, соответственно. Дозы ионов составляли от 5 до 45 DPA. Исследование топографии поверхности показало, что с ростом дозы до 45 DPA среднеквадратичная шероховатость поверхности α- Ga_2O_3 пленок сохраняется практически на одном уровне от 0.7 до 0.5 нм, независимо от типа ионов. Для более мелкомасштабного рельефа заметны сглаживание и потеря деталей. При низких дозах (до 7 DPA) на распределениях структурных нарушений по глубине можно видеть как поверхностный, так и объемный максимумы дефектов. С увеличением дозы (от 7 до 45 DPA) эти пики уширяются и объединяются в один. Атомарные ионы, как P, так и Ta, создают аморфные слои на одинаковую глубину, значение которой больше, чем аморфный слой от молекулярных ионов PF_4.

Работа поддержана грантом РНФ № 22-19-00166.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. П.А. Карасев и др., ФТП, 56, вып. 9, с. 882-887 (2022)
2. A.I. Titov, et al., Vacuum 200, 111005, (2022)

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ НА СОСТАВ ПЛЕНОК $CaF_2/Si(111)$

А.А. Абдуваитов, Д.А. Ташмухамедова, Х.Х. Болтаев, Ж.Б.Хужаниязов, В.Х. Халмухамедова, С.Т. Гулямова
Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан
e-mail: ftmet@mail.ru

В создании перспективных приборов микро-, опто- и наноэлектроники на основе многослойных квантово-размерных структур и интегральных схем с трехмерной интеграцией является кремний на диэлектрике. В качестве диэлектрика, в основном используются фториды металлов /1-3/. Поэтому целью данной работы является изучение состава поверхности пленок CaF_2 с толщиной 600 Å, созданных на поверхности Si методом сверхвысоковакуумного осаждения.

Перед электронной бомбардировкой пленки $CaF_2/Si(111)$ обезгаживались в условиях сверхвысокого вакуума ($P = 10^{-7}$ Па) при оптимальной температуре $T = 1250$ К в течении 2 – 3 часов. После очистки поверхностная концентрация атомов Ca составляла ~ 34 ат.%, F ~ 65 ат.%, O ~ 1 ат.%.

В работе с применением метода оже-электронной спектроскопии изучено изменение состава поверхностных слоев CaF_2 при бомбардировке электронов с $E_e = 1 – 8$ кэВ. Показано, что заметное изменение состава поверхности CaF_2 начиная с $E_e = 2 – 3$ кэВ при дозе электронов $D \geq 10^{18}$ см$^{-2}$. Установлено, что при дозе $\leq 10^{18}$ см$^{-2}$ электроны падают на отдельные участки пленки CaF_2. С ростом D размеры этих участков увеличиваются и начиная с $D = 8 \cdot 10^{18}$ см$^{-2}$ границы соседних участков перекрывают друг друга. При этом поверхность полностью покрывается атомами Ca. После прогрева при $T = 900$ К формируется монокристаллическая пленка Ca.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. J.-P. Colinge. Silicon-on-Insulator Technology: Materials to VLSI / 2nd Edition, published, Kluwer Academic Publishers, USA, 1997.
2. Umirzakov B.E., Pugacheva T.S., Tashatov A.K., Tashmuchamedova D.A. // NIM – B. 2000. V. 166-167. P. 572.
3. Умирзаков Б.Е., Ташатов А.К., Ташмухамедова Д.А., Нормурадов М.Т. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2004. № 12. С. 90.

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ НАНОРАЗМЕРНЫХ ФАЗ И СЛОЕВ СИЛИЦИДОВ В ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ОБЛАСТИ Si (111)

З.А. Исаханов[1*)], Б.Е. Умирзаков[1,2)], Р.М. Ёркулов[3)], М.М. Махмудов[2)], М.А. Махмудов[1,2)]

[1)] Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, АН РУз, Ташкент, Узбекистан

[2)]ТГТУ Ташкент, Узбекистан

[3)] Экономико-педагогический университет, Узбекистан

[*)] e-mail: za.isakhanov@gmail.com

Наиболее тонкие пленки, многослойные системы различных типов и нанокристаллические фазы получают методом низкоэнергетической ($E_0 \leq 5$ кэВ) ионной имплантации с последующим отжигом при температуре образования соединении. Особый интерес представляют изменение свойства кремния при уменьшении его размеров до нескольких нанометров, направленные на изменения свойств нанопленок Si при различных воздействиях.

Изучались нанокристаллические фазы и слои $NiSi_2$, созданные на различных глубинах приповерхностной области Si и определено их размеры, кристаллические структуры и параметры зон, изменения состава и электронной структуры в переходном слое образующихся на границе гетероструктуры $NiSi_2$/Si. Имплантация проводились ионами Ni^+, с энергией E_0=25 кэВ при дозе насыщения ($Д_{нас}$), в сочетании с прогревом. $Д_{нас}$ для ионов Ni^+- $9 \cdot 10^{17}$ ион$\cdot$см$^{-2}$.

Получены профили распределения атомов Ni по глубине h для Si (111) имплантированного ионами Ni^+ с E_0=25 кэВ при Д=$8 \cdot 10^{16}$ см$^{-2}$ до и после прогрева при Т=900 К в течение 1 час. До нагрева кривая зависимости концентрации $C_{Ni(h)}$ имеет широкий максимум в области h=15-30 нм. При этом максимальное значение концентрации Ni сотавляет 20-22 ат.%. После прогрева CNi(h) в области максимума увеличивается до 30-35 ат. %, а ширина максимума сужается до 10-12 нм. Анализ показало, что в области максимума появляется монокристаллическая пленка $NiSi_2$ с толщиной 10-12 нм. Поэтому температура 900 К для системы является оптимальным.

ИОННО-ЛУЧЕВОЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ InSb В Si И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ОПТИЧЕСКИХ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Р.И. Баталов[1*)], Б.А. Хабибуллин[1)], В.В. Базаров[1)],
В.А. Шустов[1)], К.Н. Галкин[2)], И.Б. Чистохин[3)],
Ф.Ф. Комаров[4)], О.В. Мильчанин[4)], И.Н. Пархоменко[4)]
[1)]КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия
[2)]ИАПУ ДВО РАН, Владивосток, Россия
[3)]ИФП СО РАН, Новосибирск, Россия
[4)]БГУ, Минск, Беларусь
[*)]e-mail: batalov@kfti.knc.ru

Проблема расширения области поглощения и фоточувствительности Si на ближнюю и среднюю ИК-область (λ=1-5 мкм) представляет большой научный и практический интерес. Решение данной проблемы может быть реализовано путём создания наночастиц узкозонного InSb (E_g=0.17 эВ) в матрице Si. Формирование таких наночастиц может быть проведено ионно-лучевым синтезом, т.е последовательной имплантацией ионов In^+ и Sb^+ в Si с последующим термическим отжигом. В данной работе проведена последовательная имплантация монокристалла p-Si(111) ионами (In+Sb) с энергией 30 кэВ и дозой 2×10^{16} $см^{-2}$ с последующим импульсным ионным отжигом на ускорителе ТЕМП (C^+/H^+, 300 кэВ, 100 нс, 1.0 $Дж/см^2$) в жидкофазном режиме. Проведено моделирование глубинных профилей ионов In и Sb с учётом распыления. Метод RBS показал диффузию примесей вглубь Si после отжига. Методами Рамановской спектроскопии и рентгеновской дифракции подтверждено образование фазы InSb в виде наночастиц. ИК-спектры пропускания показали его сильное падение с ростом длины волны. В спектре ИК-отражения наблюдался плазменный минимум при λ=3.37 мкм, соответствующий концентрации электронов 10^{20} $см^{-3}$. Имплантированный слой образует n^+/p переход с подложкой Si. Измерения фототока при 300 К показали сдвиг края фоточувствительности к 1240 нм. Охлаждение образца до 77 К приводило к синему сдвигу края к 1120 нм.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №24-29-00069.

ВЛИЯНИЕ ПОДЛОЖКИ НА БАКТЕРИЦИДНОСТЬ НАНОРАЗМЕРНЫХ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПЛЁНОК, ЛЕГИРОВАННЫХ МЕДЬЮ

Ф.Г. Нешов*), Г.И. Сметанин, Д.В. Райков, Е.К. Городничий
УрФУ, Екатеринбург, Россия
*) e-mail: neshov@mail.ru

Несмотря на довольно длительное время исследования синтеза углеродных плёнок на поверхности твёрдых тел, мало внимания уделялось роли подложки в формировании структуры плёнок. Вместе с тем в последнее время было показано, что такая фундаментальная величина как работа выхода электрона из материала подложки влияет на структуру растущей углеродной плёнки.

В данной работе изучалась бактерицидность наноразмерных тетрагональных алмазоподобных углеродных плёнок, легированных ионами меди, нанесённых на металлические положки, образующих с углеродом различные химические связи. В работе использовались карбидообразующие титан и алюминий. Карбид титана обладает ковалентной связью, энергия которой самая высокая среди карбидов переходных металлов. Карбид алюминия характеризуется 100% ионной связью. В качестве подложек использовались титановая фольга толщиной 50 мкм марки ВТ1-0 и алюминиевые фольги толщиной 40 мкм. Плёнки наносились импульсно-плазменным методом на установке УВНИПА-1-001 путём распыления графитового катода марки МПГ-6 с медными вставками, занимающими 7% поверхности катода. Образцы для исследования имели площадь 300 мм^2, толщина плёнок составляла 40–50 нм. Бактерицидность плёнок исследовалась с помощью биосенсора «Эколюм» на основе штамма E. coli. Измерение биолюминесценции производилось на созданной в лаборатории установке на базе ФЭУ-118. Эффект подавления бактерий регистрировался по уменьшению выхода биолюминесценции. В течение 4 часов плёнки, нанесённые на титановую подложку, подавляли жизнедеятельность кишечной палочки в объёме 3 мл суспензии «Эколюм» на 40±10%. В аналогичном случае на алюминиевой подложке – 90±5%.

Предполагается, что выход меди в суспензию значительно выше из карбида с ионной связью.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.П. Иваненко, С.В. Краснощёков, А.В. Павликов, С.В. Дворяк, А.А. Дудин, В.В. Хвостов, Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2020, №12, с. 12–20.

ИССЛЕДОВАНИЕ КВАНТОВОЙ ДИФФУЗИИ ДЕЙТЕРИЯ В ИНДИИ С ПОМОЩЬЮ УСКОРИТЕЛЬНОЙ МЕТОДИКИ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

В.Б. Выходец[(1)], О.А. Нефедова[(2)], Т.Е. Куренных[(1)*],
С.Е. Данилов[(1)]
[1)] ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
[2)] ИМАШ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
[*)] e-mail: kurennykh@imp.uran.ru

Впервые квантовая диффузия наблюдалась в металле с кристаллической решеткой, отличной от ОЦК. Исследована диффузия дейтерия в индии. В интервале 200–350 К доминировал массоперенос по механизму надбарьерных прыжков атомов, от 80 до 120 К – по механизму туннелирования, а в диапазоне от 120 до 200 К имел место плавный переход от одного механизма миграции к другому. Сформулированы условия, которые необходимы для наблюдения квантовой диффузии водорода: достаточно низкие значения температуры Дебая металла, плотности упаковки атомов в решетке и расстояния между ближайшими равновесными позициями атомов водорода.

Впервые получены данные о влиянии точечных дефектов на скорость туннелирования водорода в кристаллической решетке. Установлено, что вакансии в индии при концентрации не выше 0.1 % увеличивают коэффициенты квантовой диффузии дейтерия примерно в 30 раз. Вакансии создавали облучением образцов дейтронами энергией 650 кэВ, коэффициенты квантовой диффузии дейтерия в интервале от температуры жидкого азота до 125 К определяли с помощью ускорительной методики ядерных реакций, тип дефектов, влияющих на скорость туннелирования, идентифицировали с помощью методики изохронных отжигов.

Работа выполнена в рамках государственного задания МИНОБРНАУКИ России (тема «Функция» номер госрегистрации 122021000035-6).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК SiO_2, ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ Zn

В.В. Привезенцев[1)], А.А. Фирсов[1)], В.С. Куликаускас[2)], В.В. Затекин[2)], Е.П. Кириленко[3)], А.В. Горячев[3)]

[1)] ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия
[2)] НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
[3)] ИНМЭ РАН, Москва, Россия

На кремниевых подложках плазмо-химическим методом (PECVD) формировались пленки оксида кремния толщиной 140 нм. Затем они легировались ионами $^{64}Zn^+$ с энергией 40 кэВ и дозой 7E16/см^2 и отжигались в кислороде в диапазоне от 400 до 800^{o}C с шагом 100^{o}C течение 1 часа на каждом шаге.

Исследование профилей Zn в процессе отжигов проводилось с помощью резерфордовского обратного рассеяния протонов с энергией 700 кэВ. Химическое состояние атомов цинка и фазовый состав пленки определялись с помощью электронной Оже-спектроскопии.

Установлено, что после имплантации профиль имплантированного цинка имеет нормальную форму с максимумом около 30 нм, что соответствует расчетам по программе SRIM. По мере отжигов происходит изменение профиля имплантированного цинка: вначале при низких температурах (до 600^{o}C) он смещается вглубь пленки, а при более высоких - (700^{o}C и выше) к поверхности пленки и расплывается. При отжигах происходит изменение химического состояния имплантированного цинка: его заряд изменяется от нейтрального (после имплантации) до 2^+ при 700^{o}C и выше, т.е. имеет место образование фазы оксида цинка ZnO.

ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ ИЗ СИСТЕМЫ NB-N МЕТОДАМ ОЭС

Г.Х. Аллаярова, Н. Буронов
Каршинский государственный университет, Карши, 180117 Узбекистан
*e-mail: allayarova5030@mail.ru

На рис. 1 приведены обзорные оже- спектры Nb до и после ионной очистки. Кроме пиков, обусловленных основными элементами Nb и N, на спектрах присутствует пики C (272 эВ), O(503 эВ) и F (647 эВ).

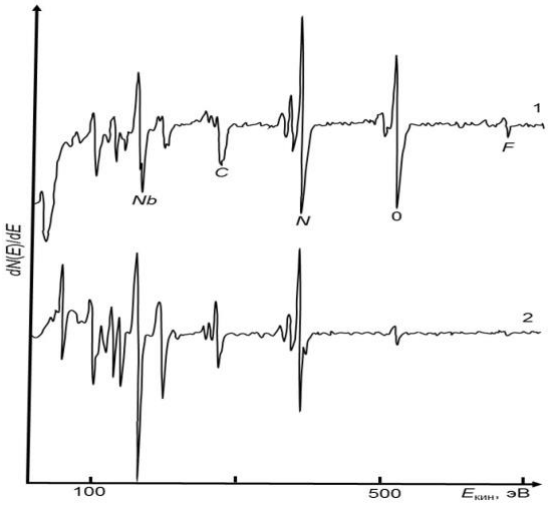


Рис. 1 Обзорные оже-спектры прессовки из УДП NbN_x (образцы № 1) до (1) и после (2) травления ионами Ar^+. Аналитические пики обозначены символом соответсвующего элемента.

Из рис. 1 видно также, что при травлении ионами Ar^+ происходит обеднение анализуруемого слоя атомами азота, т.е. уменьшение отношения $N/Nb_{ат.}$

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Mozalev A., Habazaki H., Hubalek J. ´ // Electrochim. Acta. 2012. Vol. 82. P. 90–97.
2. Pytlicek Z., Bendova M., Prasek J., Mozalev A. // Sensor Actuat. B-Chem. 2019. Vol. 284. P. 723–735.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ИОННО-СИНТЕЗИРОВАННЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ Ga_2O_3

К.С. Матюнина*), Д.С. Королев, А.А. Никольская, А.А. Сушков, Д.А. Павлов, Д.И. Тетельбаум
ННГУ им Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия
*) e-mail: matyunina.ks@gmail.com

Оксид галлия – один из наиболее перспективных широкозонных полупроводников, который может найти свое применение в силовой электронике и приборах фотоэлектроники. Ширина его запрещенной зоны (4,6-5,2 эВ) позволяет использовать этот материал в качестве детекторов ближнего ультрафиолетового излучения.

В нашей работе проводились исследования светоизлучающих свойств нанокристаллов оксида галлия, которые были получены путем ионно-лучевого синтеза: матрицы SiO_2/Si облучались ионами Ga^+ и O^+ с вариацией последовательности имплантации и условий постимплантационного отжига: температуры и атмосферы. Формирование нанокристаллических включений Ga_2O_3 подтверждалось методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ).

Исследование фотолюминесцентных свойств показало, что синтезированные структуры обладают люминесценцией в голубой части видимого диапазона электромагнитного излучения. Максимум на спектрах фотолюминесценции (ФЛ) синтезированных образцов совпадает с основной люминесцентной полосой Ga_2O_3 и может быть обусловлен излучательной рекомбинацией донорно-акцепторных пар. Изменение интенсивности и положения линии ФЛ может быть связано с образованием нанокристаллов Ga_2O_3 различных фаз, их частичным распадом или переходом в другие фазы при отжиге ионно-имплантированных образцов. Изучение спектров возбуждения ФЛ позволило установить оптимальные параметры возбуждения люминесценции в нанокристаллах и получить дополнительную информацию о ее природе.

Исследование выполнено при поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства науки и высшего образования РФ.

МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ БЕНТОНИТА НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА

А.В. Носков[1*)], О.В. Алексеева[1)], Д.Н. Яшкова[1)], А.В. Агафонов[1)], М.Н. Шипко[2*)], М.А. Степович[3)], Е.С. Савченко[4)]

[1)] Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Иваново, Россия
[2)] Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, Иваново, Россия
[3)] Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, Калуга, Россия
[4)] Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва, Россия
[*)] e-mail: avn@isc-ras.ru

Методами растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа исследован синтезированный композиционный порошкообразный материал бентонит/оксид железа. Установлено, что при модификации бентонита частицами магнетита/маггемита наблюдаются изменения в гранулометрическом составе, морфологии поверхности, кристаллической структуре, пористости. Полученные образцы композита состояли из агрегатов частиц алюмосиликата различной морфологии с включениями оксида железа. Исследованные порошки содержали элементы кремнекислородного и алюмокислородного каркаса бентонита (O, Si, Al). Кроме того, на рассмотренном участке магнетизированного материала был обнаружен Fe в количестве 26,4%.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Правительства Калужской области (проект № 23–21–10069, https://rscf.ru/project/23–21–10069/).

ИССЛЕДОВАНИЕ АМОРФИЗАЦИИ КРЕМНИЯ ИОНАМИ КСЕНОНА МЕТОДАМИ ПРОСВЕЧИВАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

О.В. Подорожний[1)*], А.В. Румянцев[1)], Н.И. Боргардт[1)], Д.К. Миннебаев[2)], А.Е. Иешкин[2)]
[1)] НИУ МИЭТ, Зеленоград, Москва, Россия
[2)] Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[*)] e-mail: lemi@miee.ru

Ускоренные ионы инертных газов, включая ксенон (Xe), широко применяются для модификации поверхности различных материалов, например с помощью систем с фокусированным ионным пучком (ФИП), оснащенных плазменным источником ионов. Появление такого оборудования стимулирует исследования взаимодействия ионов Xe с твердым телом.

В данной работе монокристаллический кремний Si(001) облучался в условиях сверхвысокого вакуума ионами Xe с энергией 5 или 8 кэВ и дозой около 10^{16} $см^{-2}$. Особенности атомарного строения Si после ионной бомбардировки изучались методами просвечивающей электронной микроскопии с использованием образцов поперечного сечения, приготовленных перпендикулярно направлению [110].

На изображениях визуализировались области аморфизованного ионами и кристаллического материала, переходная область между ними, а также кластеры имплантированных атомов Xe, состав которых подтверждался методом энергодисперсионного рентгеновского микроанализа. Анализ микрофотографий позволил установить, что размеры кластеров составляли около 1,5–2 и 3–4 нм, а толщины аморфизованных областей, равнялись примерно 16 и 23 нм для энергий пучка 5 и 8 кэВ соответственно. Полученные значения толщин хорошо согласовывались с результатами компьютерного моделирования методом Монте-Карло с применением модели критической плотности дефектов и были примерно на 10% меньше, чем в случае облучения ионами галлия, обычно используемыми в методе ФИП.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (соглашение № 23-19-00649).

О РОЛИ СТРУКТУРНЫХ ДЕФЕКТОВ ПРОЦЕССИИ ПРИ НАГРЕВЕ ЭДС И НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ Р-П КРЕМНИЕВЫХ СТРУКТУРАХ

Н.Ж. Одилова
Каршинский государственный университет, Карши, 180117 Узбекистан
e-mail: ezoza1408@mail.ru

Обнаружено, что облучение нейтронами существенно влияет на величину возникающих при нагреве тока короткого замыкания и напряжения, а также на сопротивление структур /1-2/.

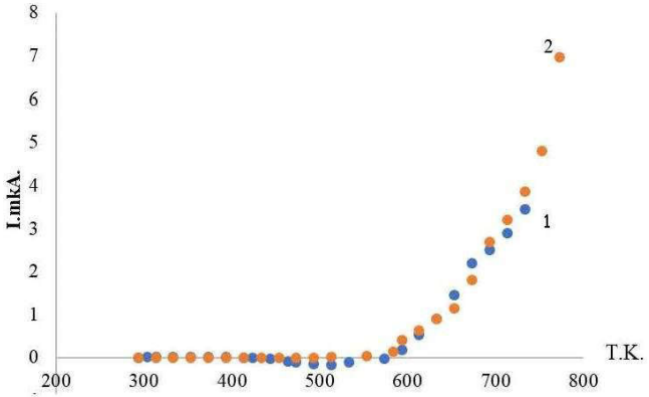


Рис.1. Генерация при нагреве носителей в эпитаксиальных пленочных кремниевых р-п – структура (пленка н- типа на подложке КДБ-10) 1-через 38 дней после облучения, 2- повторные измерение через 30 дней.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Рейви. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. // Под ред. С. Н. Горина, пер. с англ. –М.: Мир, 1984. – 475 с.
2. М.Ю. Ташметов, М.Каланов,. Медь кислородные нанокристаллиты в монокристаллах кремния, легированных медью // Узбекский физический журнал. –Ташкент, 2018, –Т.20, №2, с. 90-97.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ ТИТАНА В ПРОЦЕССАХ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ И ИОННО-АССИСТИРУЕМОГО ОСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

В.В. Поплавский[1*)], И.Л. Поболь[2)], А.Н. Дробов[2)], О.Г. Бобрович[1)], В.Г. Матыс[1)]

[1)] Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

[2)] Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь

[*)] e-mail: vasily.poplav@tut.by

Модифицированию подвергались сплавы титана ВТ1-0, ВТ6 и ОТ4-1. Ионно-плазменную обработку поверхности образцов проводили в среде состава 10 % N_2 + 90 % Ar при различных температурах в интервале от 650 °С до 900 °С и при различной длительности процесса. Осуществляли также легирование поверхности в процессе ионно-ассистируемого осаждения (IBAD) ряда металлов (Cr, Zr, Mo, W). Формирование легированных слоев проводили в режиме IBAD, при котором осаждение металла и перемешивание осаждаемого слоя с поверхностью подложки ускоренными (U = 10 кВ) ионами того же металла осуществляются соответственно из нейтральной фракции пара и плазмы вакуумного (~10^{-2} Па) дугового разряда импульсного электродугового ионного источника. Целью модифицирования является улучшение коррозионной стойкости сплавов при эксплуатации изделий из них в агрессивных условиях.

Проведены исследования микроструктуры, фазового состава и физико-химических свойств поверхности модифицированных образцов. Установлены особенности фазового состава слоев, формируемых на поверхности сплавов титана в процессе ионно-плазменного азотирования в зависимости от температуры и длительности процесса. Электрохимическими методами импедансной спектроскопии и регистрации поляризационных кривых и в растворе 1 М H_2SO_4 + $2{\cdot}10^{-6}$ М HF, моделирующем коррозионную среду в топливных элементах с полимерным мембранным электролитом Nafion, материал которого представляет собой фторуглеродный полимер, содержащий сульфогруппы, исследованы коррозионные свойства образцов. Установлена закономерность изменения электрического сопротивления компонентов поверхностного слоя, формируемого при ионно-плазменной обработке сплавов в азотсодержащей среде.

О ДИФФУЗИИ И РЕКОМБИНАЦИИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НЕОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА, ГЕНЕРИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫМ ЗОНДОМ В ОДНОРОДНОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ МИШЕНИ, ПРИ НАЛИЧИИ ДВУХ КАНАЛОВ РЕКОМБИНАЦИИ

Е.В. Серегина[1*)], М.А. Степович[2)], М.Н. Филиппов[3)]

[1)]Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Калужский филиал, Калуга, Россия
[2)]Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, Калуга, Россия
[3)]Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия
[*)] e-mail: evfs@yandex.ru

Ранее /1/ нами предложена математическая модель процесса нестационарной диффузии и рекомбинации неравновесных неосновных носителей заряда (ННЗ), генерированных электронным зондом в однородной полупроводниковой мишени, после прекращения воздействия электронного зонда на полупроводниковую мишень при двух различных каналах рекомбинации. В настоящей работе проведён анализ зависимостей концентраций генерированных ННЗ от параметров мишени. Обсуждается возможность аппроксимации экспериментальных зависимостей этих параметров от температуры и учёта этого явления при построении математической модели рассматриваемого процесса.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Правительства Калужской области (проект № 23–21–10069, https://rscf.ru/project/23–21–10069/).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Серегина Е.В., Степович М.А., Филиппов М.Н. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2023, № 3, С. 74-78.

ОБ ОЦЕНКЕ НЕОБХОДИМОСТИ УЧЁТА РАДИАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЯВЛЕНИЙ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ЭЛЕКТРОННО-ЗОНДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

М.А. Степович[1)], Д.В. Туртин[2)], М.Н. Филиппов[3*)], В.В. Калманович[1)]

[1)]Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, Калуга, Россия
[2)]Ивановский государственный университет, Иваново, Россия
[3)]Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия
[*)]e-mail: mn@filippov.org.ru

При взаимодействии заряженных частиц с конденсированным веществом в мишени возникают различные физические явления, одно из которых – нагрев мишени и связанное с этим излучение, выходящее из нагретой мишени в вакуум или в вакуумную камеру электронно-зондового устройства. При этом одним из важных вопросов является вопрос об оценке необходимости учёта радиационных потерь при проведении расчётов рассматриваемых явлений теплопереноса.

В настоящей работе методами математического моделирования проведены исследования процессов теплопереноса, обусловленных взаимодействием остро сфокусированных электронных пучков, электронных зондов, с конденсированным веществом. Для электронных зондов нагрев мишени без учёта потерь на излучение описывался стандартным стационарным уравнением теплопереноса, а для учёта потерь на излучение использовался закон Стефана-Больцмана.

Результаты проведённого математического моделирования показали, что для многих, практически важных, случаев учёт потерь, обусловленных излучением, является несущественным.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Правительства Калужской области (проект № 23–21–10069, https://rscf.ru/project/23–21–10069/).

ПРОХОЖДЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ ПРОДУКТОВ ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ В КРЕМНИИ

Н.В. Новиков*, Н.Г. Чеченин, А.А. Широкова
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
*e-mail: nvnovikov65@mail.ru

Тяжелые продукты ядерной реакции W(p,*X*) обладают высокой линейной передачей энергии *LET* > 5 МэВ см^2/мг, что может привести к накоплению избыточного заряда в чувствительных областях интегральной схемы и сбою в работе электроники. При энергии протонов $E_0 > 1$ ГэВ наряду с реакцией, когда образуется только один тяжелый ион (Z,A), где $A \geq 60$, возможна реакция деления ядра на два тяжелых фрагмента – (Z_1,A_1) и (Z_2,A_2), где $A_2 > A_1 \geq 6$.

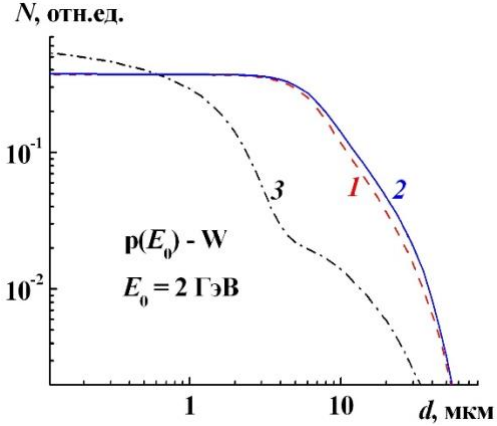


Рис.1 Количество тяжелых фрагментов ядерной реакции W(p,*X*) в столкновении протонов с энергией E_0=2 ГэВ после прохождения ими слоя кремния толщиной *d*: *1* – (Z_1,A_1), *2* – (Z_2,A_2), *3* – (Z,A).

При усреднении распределений ионов по Z и A получено, что ионы (Z_1,A_1) и (Z_2,A_2) обладают более высокой проникающей способностью по сравнению с ионами (Z,A) (рис.1). Эта особенность увеличивает размер области с избытком электрон – дырочных пар и вероятность одновременного сбоя нескольких бит электроники под действием одного протона.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАСЫЩЕНИЯ ДЕЙТЕРИЕМ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ CVD-АЛМАЗНОЙ МИШЕНИ НА ПУЧКЕ УСКОРИТЕЛЯ ГЕЛИС

М.А. Кирсанов[1*)], С.Г. Климанов[1)], М.А. Негодаев[2)], С.А. Мовчун[2)]

[1)] Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Москва, Россия
[2)] Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия
[*)] makirsanov@mephi.ru

В настоящей работе показаны результаты исследования насыщения ионами дейтерия текстурированной CVD-алмазной мишени. Имплантация дейтерия в поликристаллическую CVD-алмазную мишень проводилась пучком ионов дейтерия на ускорителе ГЕЛИС (ФИАН) при энергии ионов дейтерия 15 – 40 кэВ и токе пучка 10 - 100 мкА. Детектировались быстрые нейтроны, образующиеся в реакции синтеза ядер дейтерия в мишени. Регистрация нейтронов проводилась сцинтилляционными детекторами с органическими кристаллами. Калибровка сцинтилляционных детекторов была выполнена с использованием нейтронного генератора ИНГ-061.

В ходе экспериментов проведено несколько сеансов облучения CVD-алмазной мишени пучком ионов дейтерия. Измерялся выход нейтронов из мишени в зависимости от времени облучения, времени между сеансами облучения и параметров пучка ионов. Проведено моделирование прохождения ионов дейтерия в алмазе. По экспериментальным результатам и с учётом данных моделирования получены значения концентрации дейтерия в CVD-алмазе в зависимости от времени облучения, тока пучка и энергии ионов дейтерия.

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРОВ ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ КРИСТАЛЛОВ NACL И KCL, ЗАКЛЮЧАЮЩИЕСЯ В ПОЯВЛЕНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОЛОС ПОГЛОЩЕНИЯ

Д.А Соколова[1)], О.А. Подсвиров[1)], У.В.Юрина[1)] А.И. Сидоров[2)]
[1)] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия
[2)] Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

Облучение электронами с энергией 50 кэВ кристаллов NaCl и KCl приводит к образованию наночастиц (НЧ) и, как следствие, к появлению 2-х и 3-х дополнительных (к основной) полос поглощения в спектрах оптической плотности в видимой области спектра. Одной из причин их появления является гипотеза об интерференции, возникающей в слоистой структуре распределения плотности наночастиц по глубине параллельно поверхности. В такой структуре эффективный комплексный показатель преломления отличается от показателя преломления окружающей среды, что приводит к модуляции коэффициента пропускания. Проведенный расчет оптических свойств трехслойной интерференционной системы с композитным слоем с металлическими НЧ для NaCl и KCl проводился по формулам Френеля. Толщины слоев и измененные комплексные коэффициенты преломления в них подгонялись для лучшего соответствия экспериментальным данным. Существование такой слоистой структуры из НЧ наблюдалось нами ранее в электрономикроскопических исследованиях облученных стекол. Природа их появления, связанная с неоднородным распределением по глубине электрического заряда, представлена в другом докладе Подсвирова О.А. и Соколовой Д.А. на этой конференции.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОДВОДНОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕНТОЧНЫХ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ FeSiBNb

М.Н. Шипко[1*)], М.А. Степович[2)], А.В. Хлюстова[3)], Т.П. Каминская[4)], А.В. Стулов[5)], Е.С. Савченко[6)]

[1)] Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, Иваново, Россия
[2)] Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, Калуга, Россия
[3)] Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Иваново, Россия
[4)] Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[5)] ООО «Научно-производственный комплекс «Автоприбор», Владимир, Россия
[6)] Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия
[*)]e-mail: michael-1946@mail.ru

Модификация поверхности ленточных аморфных сплавов FeSiBNb, полученных методом сверхбыстрого охлаждения, осуществлялась в подводной плазме при использовании электродов из различных материалов и при различных режимах работы экспериментальной установки /1/. Анализ слоёв фольги методами растровой электронной и атомной силовой микроскопии и результаты измерений магнитных характеристик позволили оценить перспективность использования такого метода модификация приповерхностных слоёв аморфных сплавов.

Исследование выполнено за счет гранта РНФ и Правительства Калужской области № 23-21-10069.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Хлюстова А.В., Сироткин Н.А., Агафонов А.В. и др. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед., 2023, № 2, С. 57-62.

ПОТЕНЦИАЛ ИНДУЦИРОВАННАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

С.М. Барайшук*), И.А. Павлович, В.А. Занько.
Белорусский государственный аграрный технический университет,
Минск, Беларусь
*) e-mail: bear_s@rambler.ru

Ухудшение эффективности фотоэлементов, построенных на основе кристаллического кремния, в результате деградации, вызванной солнечным облучением в присутствии разности потенциалов между элементами конструкции и непосредственно фотопреобразователями, представляет особенный интерес из-за их массовости /1/. Деградация наблюдается и у конструкций на основе тонкопленочных покрытий. В работе изучались повреждения структуры систем покрытие подложка полученных ранее описанным способом /2/.

Испытание структур покрытие/кремний проводили при температуре 60 ± 4°С и относительной влажности 85 ± 5% в течение 196 ч, при постоянной энергетической освещенности 1000 Вт/м^2. После чего было проведено исследование поверхности покрытия и тыльной поверхности с помощью АСМ, СЭМ и изучение твердости и проводимости нанесенного покрытия /3/. Обнаруженное возникновение локальных дефектов поверхности подтверждается изменением ее состава в этих областях и уменьшением ее твердости. Получена корреляция между удельной площадью деградированной поверхности, условиями нанесения, и удельным сопротивлением покрытия.

Работа выполнена при поддержке министерства образования Республики Беларусь (№ ГР 20211250).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Hacke P., Harvey S., Luo W., & all //Energy and Environmental Science, 2017, T10(1), P. 43-68.
2. Ташлыков И. С, Барайшук С. М., Гременок В. Ф., Тульев В. В. // ФХОМ, 2011, №1, С. 66-70.
3. Бринкевич Д. И., Просолович, В. С., Янковский, Ю. Н. //Приборы и методы измерений, 2016, Т.7, №. 1, С. 77-84.

РОЛЬ ВАЛЕНТНОГО ЗАРЯДА В ПРОЦЕССЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ В ВОДОРОДНОЙ ПОДСИСТЕМЕ В СИСТЕМАХ ТИТАН-ВОДОРОД И НИКЕЛЬ-ВОДОРОД

И.В. Богданов[1*)], Л.А. Святкин[1)], И.П. Чернов[1)]
[1)] НИ ТПУ, г. Томск, Россия
[*)] e-mail: ivb34@tpu.ru

Согласно экспериментальным данным, атомы водорода в решётке металла могут образовывать собственную подсистему, способную к накоплению энергии при её возбуждении. В результате водород в процессе воздействия электромагнитным полем выходит из металлов при температуре ниже, чем при тепловом нагреве. В работе /1/ проведены сравнительные исследования электрического и теплового воздействия на выход водорода из никеля и титана. Из никеля при электрическом нагреве температура выхода H на 250ºC ниже, чем при тепловом, а из титана температура выхода такая же, как и при тепловом нагреве. Целью данной работы является изучение особенностей распределения валентной плотности при отклонении атома H из равновесного положения в междоузлии в системах Ni–H и Ti–H, вызванным электрическим полем, сопровождающим электрический нагрев.

Все расчеты выполнялись в рамках теории функционала электронной плотности методом псевдопотенциала, реализованным в пакете программ ABINIT. В работе рассчитан перенос заряда по Бадеру и силы, действующие на атомы в системах Ni–H и Ti–H при смещении атома H из равновесного положения в решетке металла. В работе показано, что в результате перераспределения валентного заряда, обусловленного смещением из положения равновесия атома H, силы, действующие на атомы водорода, ближайшие к смещаемому атому в решетке металла, превышают силы, возникающие на атомах Ni в системе Ni–H, и заметно меньше сил, действующих на атомы Ti в системе Ti–H.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yu.I. Tyurin, V.S. Sypchenko, N.N. Nikitenkov, Hongru Zha, I.P. Chernov, // Int. J. Hydrogen Energy, 2019, Vol. 4, p. 20223.

ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОСТЕННОЙ УГЛЕРОДНОЙ НАНОТРУБКИ ВАКУУМНО-ДУГОВЫМ МЕТОДОМ

В.Н. Арустамов[1)], И.Х. Худайкулов[1*)], У.Ф. Бердиев[1)], Кахрамонов Б.Р[1]
[1)] Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А.Арифова Академии наук Узбекистана, Узбекистан, 100125, г.Ташкент, ул. Дурмон йули, 33
[*)] e-mail: i_khudaykulov@mail.ru

В настоящее время получение наночастиц и их анализ является одной из актуальных проблем современной науки. Особое значение имеет получение односенных и многостенных углеродных нанотрубок и их применение в задачах электроники, микроэлектроники и хранения энергии [1].

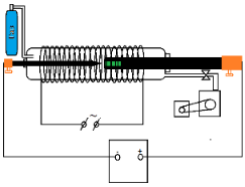


Рис.1. Устройство для получения многостенных нанотрубок

В устройстве, представленном на рисунке 1, во внутреннем пространстве герметизированной цилиндрической камеры из кварцевого стекла, размещены соосно трубчатые, графитовые стержни, диаметром 6мм и 13мм. В центре электрода большего диаметра в коаксиальном цилиндрическом отверстии, диаметром 13 мм, размещена капсула спрессованного материала из наночастиц оксида никеля и сажи (графитовый порошок). Во внутреннем пространстве стеклянной камеры создается вакуум (порядка 10^{-3} Па). Формируется рабочая атмосфера рабочего газа аргона. Между электродами искрой поджога инициируется дуговой разряд. В результате воздействия высокотемпературной (2500°С) разрядной углеродной плазмы на торцевую поверхность электрода с размещенным на его торце капсулы, осуществляется процесс взаимодействия углерода и оксида никеля, выступающим в роли катализатора, и как следствие процесса синтеза, образование много стенных углеродных нанотрубок.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Raccichini R. et al. The role of graphene for electrochemical energy storage //Nature materials. – 2015. – Т. 14. – №. 3. – С. 271-279.

РОЛЬ КАСКАДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ОБРАЗОВАНИИ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В GaN ПРИ ПРОТОННОЙ БОМБАРДИРОВКЕ

В.В.Козловский[1*)], А.Э.Васильев[1)], Е.Е.Журкин[1)], А.А.Лебедев[2)], М.Е.Левинштейн[2)], Д.А.Малевский[2)], А.В.Сахаров[2)], А.Е.Николаев[2)]

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия
[2)] Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия
[*)]e-mail: kozlovski@physics.spbstu.ru

В работе прямым гальваническим методом экспериментально измерены скорости удаления носителей заряда в образцах *n* – GaN при облучении протонами с энергией 15 МэВ. Установлено, что концентрация свободных носителей заряда в *n* – GaN уменьшается нелинейно с ростом дозы облучения. Это позволяет предположить, что основным механизмом процесса компенсации является образование вторичных радиационных дефектов, в состав которых входят атомы легирующей примеси и, например, вакансии в одной из подрешеток GaN. Путем компьютерного моделирования индивидуальных каскадов смещений рассмотрены особенности генерации пар Френкеля в GaN при торможении протонов с энергией 15 МэВ. Оказалось, что в данных условиях доля вакансий, созданных непосредственно протонами, составляет ~ 4% для подрешетки азота. Остальные 96% создаются атомами отдачи в каскадных процессах. Для подрешетки галлия эти цифры составляют 20 и 80%, соответственно. Необходимо заметить, что полученные значения для подрешетки азота косвенно указывают на неполную достоверность приводимого в литературе значения пороговой энергии образования пары Френкеля в подрешетки азота, равное 10.8 эВ.

Работа выполнена при поддержке Гранта РНФ № 22-12-00003.

СВОЙСТВА СЛОЕВ GaAs, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ ЖЕЛЕЗА

С.М. Планкина*[1)], О.В. Вихрова[1)], В.А. Власова[1)], Ю.А. Данилов[1)], Ю.А. Дудин[1)], А.В. Нежданов[1)], А.Е. Парафин[2)], Е.А. Питиримова[1)]

[1)]ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород, Россия
[2)] Институт физики микроструктур РАН, Н. Новгород, Россия
*) e-mail: plankina@phys.unn.ru

В работе /1/ показана возможность выращивания методом импульсного лазерного осаждения слоев GaAs:Fe со средней концентрацией Fe до 20 ат. %, являющихся однофазными полупроводниками с собственным ферромагнетизмом и температурой Кюри выше 295 K. В данной работе исследованы слои GaAs:Fe, полученные облучением пластин полуизолирующего GaAs (001) ионами Fe с последующим отжигом импульсом эксимерного KrF лазера (длина волны 248 нм, длительность импульса 30 нс) при плотности энергии от 200 до 400 мДж/см^2. Дозы имплантации ионами Fe варьировались от $1\cdot10^{15}$ до $3\cdot10^{16}$ см$^{-2}$. Исследованы гальваномагнитные свойства слоев. Методами спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) и дифракции электронов в режиме на отражение показано, что использованные параметры отжига достаточны для устранения нарушения кристаллической структуры слоев GaAs:Fe, а степень их восстановления зависит от дозы ионов Fe. На спектрах КР кроме фононных мод GaAs появляются дополнительные моды, предположительно связанные с образованием фазы твердого раствора GaFeAs. Величина наблюдаемого низкочастотного сдвига всех мод зависит от дозы ионов железа и плотности энергии лазерного импульса. Вытянутость точечных рефлексов на электронограммах в виде тяжей подтверждает наличие в слоях механических напряжений.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. A.V. Kudrin et al. //Semicond. Sci. Technol., 2020, 35, 125032.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОКУСИРОВКИ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ С ПОМОЩЬЮ КОНИЧЕСКИХ КАНАЛОВ

К.А. Вохмянина[1*)], А.Д. Пятигор[1)]
[1)]Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия
[*)] kristinav2005@yandex.ru

Эффект бесконтактного прохождения пучка заряженных частиц через диэлектрические каналы, впервые описанный для многозарядных ионов Ne7+ в 2002 году /1/, нашел практическое применение для управления и фокусировки пучков положительных ионов с помощью конусных стеклянных каналов /2/. Однако использование данного эффекта для пучков нерелятивистских электронов, также обнаруженное достаточно давно /3/, затруднено в связи с иными механизмами взаимодействия электронов с диэлектрическими поверхностями. Конусные диэлектрические каналы позволяют существенно увеличивать плотность электронного пучка, однако процесс прохождения электронов через канал, а, следовательно, и фокусировки оказывается нестабильным и сложно воспроизводимым. В данной работе исследована возможность стабилизации процесса фокусировки пучка электронов с энергией 10 кэВ с помощью стеклянного канала конусной формы. Предварительные результаты указывают на сильную зависимость эффекта от условий вхождения пучка электронов в диэлектрический канал.

Работа выполнена при финансовой поддержке конкурсной части госзадания по созданию и развитию лабораторий, проект № FZWG-2020-0032 (2019-1569).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. N.Stolterfoht [et al.], // Phys.Rev.Lett., 2002, V.88, с 133-201
2. T. Ikeda [et al.], // Appl. Phys. Lett., 2006, Vol. 89
3. W. Wang [et al.] // Physica Scripta., 2011., Vol.2011, №T144

ФОРМЫ НАНОПОР, СИНТЕЗИРУЕМЫХ ПРИ ТРАВЛЕНИИ ТРЕКОВ БЫСТРЫХ ТЯЖЁЛЫХ ИОНОВ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ОРИЕНТИРОВКИ ОБРАЗЦОВ

С.А. Горбунов[1,*)], М.В. Горшенков[2)], Р.А. Рымжанов[3)], А.Е. Волков[1)], Г.В. Калинина[1)]

[1)] Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской Академии Наук, Москва, Россия

[2)] Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Москва, Россия

[3)] Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия

[*)] e-mail: s.a.gorbunov@mail.ru

Мы исследовали форму поперечного сечения нанопор, синтезируемых при помощи травления треков быстрых тяжёлых ионов (БТИ, E>1МэВ/нукл, M>20а.е.м.) /1/ в кристаллическом оливине.

Транспортные и адсорбционные свойства таких пор существенным образом зависят от поперечного сечения /2-4/.

Мы подготовили образцы оливина, ориентированные вдоль основных кристаллических осей, облучили ионами Xe 156МэВ и травили в WN-растворе в течение 90 минут. Результаты исследований пор при помощи сканирующего электронного микроскопа представлены на рис. 1.

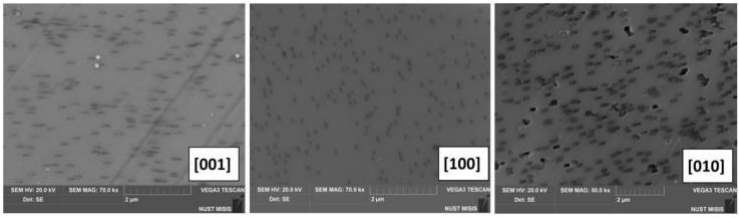


Рис.1 Поверхность оливина после травления треков.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. F. F. Komarov, // Physics-Uspekhi, 2017, 60, № 5, 435.
2. K. Wu, Z. Chen, X. Li // Chem. Eng. J., 2015, 281, 813.
3. S. Prakash, M. Pinti, K. Bellman // J. Micromechanics Microengineering, 2012, 22, 067002
4. L. Bruschi, G. Mistura, L. Prasetyo, et. al // J. Micromechanics Microengineering, 2018, Langmuir, 34, 106

ШИРИНА ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ СКРЫТЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ NiSi2, СОЗДАННЫХ В ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ОБЛАСТИ Si МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Н.М. Мустафоева[1*)], Н.М. Мустафоева[2)]
[1)] Каршинский институт ирригации и агротехнологий, г. Карши, Узбекистан
[2)] Каршинский институт ирригации и аг Каршинский инженерно - экономический институт, г. Карши, Узбекистан
[*)] e-mail: mustafoyevan@gmail.com

Видно, что граница раздела между слоями Si/$NiSi_2$ и $NiSi_2$/Si(111) резкая и толщина переходных слоев не перевышает 4-5 нм. Наши дальнейшее исследования показали, что в случае массивных пленок NiSi2 толщиной 500-600 нм, островки образуются при T≈1200 К.

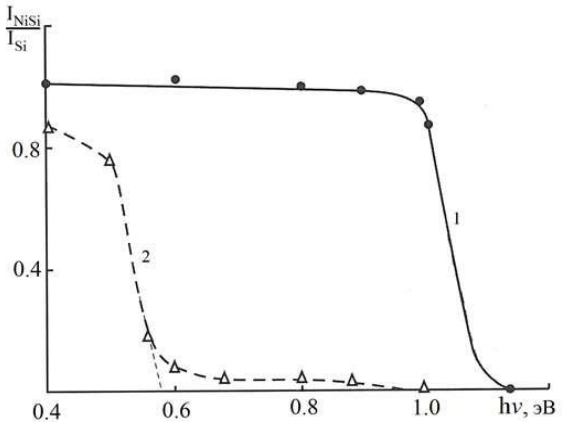


Рис. 1 Зависимость интенсивности приходящего света от энергии фотонов для 1-чистого Si (111); 2-системы Si/$NiSi_2$/Si (111). $d_{NiSi_2} = 20$ *нм*, d_{Si}=50 *нм*

Уменьшение толщины напыляемой пленки Si до 10 нм также позволило уменьшить температуру образования монокристаллической пленки до 950-1000 К. На рис 1 приведены зависимости интенсивности проходящего света I от энергии фотонов *hv* для Si(111) и системы Si/$NiSi_2$/Si(111). d_{NiSi2}=20 нм, d_{Si}=50 нм. Где $I=I_{NiSi2}/I_{Si}$; Принята что I_{Si}=1. Видно, что значение E_g для Si(111) составляет ~1,1 эВ, а для слоя $NiSi_2$ ≈ 0,57-0,58 эВ.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. A.K. Tashatov, N.M. Mustafoyeva, B.E. Umirzakov, D.A. Tashmuxamedova. Technical Phusics, Vol.64, Issue 5 (2019), pp. 708-710

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАРЯДА НА ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ ОКСИДА ЦИНКА ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

Ф.Д. Акбарова[1*)], У.Б. Шаропов[2)]

[1)]Институт материаловедения, АНРУз, Ташкент, Узбекистан
[2)]Физика технический институт, АНРУз, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: akbarovaferuza580@gmail.com

В наших работах по исследованию поверхностных состояний было обнаружено зарядка поверхности полупроводников и диэлектриков (ZnO, LiF, CuO) при облучении низкоэнергетическими первичными электронами [1]. В данной работе приведены исследования образование отрицательной зарядки на поверхности кристаллов оксида цинка в результате облучения низкоэнергетическими электронами (E=0÷600 эВ). Показано, что энергия первичного электрона имеет первостепенное значение для первичных процессов, которые могут быть активированы на поверхности оксида цинка. Определены энергетические пороги образования и удаления поверхностной зарядки, также образование вакансии кислорода на поверхности ZnO. Показано, что облучение стимулирует разные типа диссоциативных процессов в зависимости от энергии электронов, которые вызывают физико-химические процессы через диссоциацию, обрыв и образование связей, десорбцию, атомно - молекулярную перестройку поверхности образца. Полученные данные являются безусловно важным началом для получения нового поколения эпитаксиальных пленок двумерных структур под контролем поверхностного потенциала.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. U. B. Sharopov *et al.*, “Comparison of electron irradiation on the formation of surface defects in situ and post thin-film LiF/Si(111) deposition,” *Thin Solid Films*, vol. 735, p. 138902, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.tsf.2021.138902.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ В LiF МЕТОДОМ НЕЛИНЕЙНОГО РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Ф.Д. Акбарова[1*)], А.Р. Кахрамонов[1], У.Б. Шаропов[2)]

[1)]Институт материаловедения, АНРУз, Ташкент, Узбекистан
[2)]Физика технический институт, АНРУз, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: akbarovaferuza580@gmail.com

В данной работе мы предлагаем использовать нелинейный регрессионный анализ для изучения закономерностей дефектообразования в LiF. На разных стадиях воздействия методом спектроскопии полного тока исследовали образование пустот и коллоидов на поверхности пленок LiF: - при электронном взаимодействии и в процессе термического отжига, термической обработке также подвергались дефекты, созданные электронным облучением. По анализу экспериментальных данных показано, что образование дефектов в LiF зависит от температуры, облучения и концентрации примесей. Установлена физическая закономерность процесса агрегации и десорбции и получена математическая модель температурной зависимости относительной интенсивности пика V-центра методом нелинейного регрессионного анализа. Полученная регрессионная модель предсказывает температурную зависимость относительной интенсивности пика V-центра при отрицательных температурах. Полученные результаты могут быть использованы для разработки новых методов прогнозирования образования дефектов в LiF и улучшения его свойств. Полученная регрессионная зависимость:

$$h(T) = K + \frac{L\gamma\sqrt{2/\pi}}{\Delta T} e^{-2\times\gamma\left(\frac{T-T_m}{\Delta T}\right)^2},$$

где ΔT=118,9910549, Tm=75, γ=1,620583393, K=0,121409774, L=300, ΔT-предел ожидания агрегации, T_m- пиковая температура агрегации, γ-коэффициент отклонения регрессии, K-коэффициент, L-значение температуры, при которой не наблюдается агрегация. Полученная регрессионная зависимость на 98% правильно описывает полученные экспериментальные результаты температурных зависимостей V-центров.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ АЛМАЗНЫХ ПЛАСТИН

И.В. Кузив
Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В.Ломоносова, Архангельск, Россия
e-mail: i-kuziv@yandex.ru

Проведены исследования монокристаллических алмазных пластин, допированных NV центрами в различных экспериментальных условиях, методами позитронной аннигиляционной спектроскопии.

Исследования выполнены на серии пластин, вырезанных из монокристаллов HPHT лабораторно выращенного алмаза кристаллографической ориентации (111) с отличающимися концентрациями донорного азота (15, 36, 50, 80 и 140 ppm (в области однородного распределения), облученных электронным пучком 3МэВ с дозами от $10\times10^{17}e^-/см^2$ до $50\times10^{17}e^-/см^2$ и отоженных при температуре 1200°C в течение 24 часов.

Определены основные дефекты, концентрации дефектов, а также закономерности образования дефектов в зависимости от дозы облучения. Для анализа дефектов использовался метод допплеровского уширения аннигиляционной линии с использованием монохроматического пучка медленных позитронов и метод определения времени жизни позитронов.

ESTIMATION OF RADIATION DAMAGE USING THE RANGE AND STOPPING OF IONS IN MATTER

Mahmoud A. Ibrahim*, Roman Laptev
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
*mahmoud.alhelow7@gmail.com

Radiation damage refers to the localized disruption of the crystal lattice of solid by high charged and neutral elementary particles passing through it. when there is interaction of an energetic particle with a lattice, kinetic energy transfers to the lattice atom giving birth to primary knock on atom (PKA) which leads to displacement of the atom from lattice site (vacancy) then there is creation of secondary knock on (SKA) during the passage of (PKA) so we will find production of displacement cascade of point defects. In order to describe the radiation damage we need to calculate the energy loss by the moving particle travelled in the medium (stopping power) and measure the path length in the solid traversed by the particle from the point at which it no longer possesses energy (range).

A Monte Carlo based - binary collision approximation technique is the foundation of the software package stopping and Range of Ions in Matter (SRIM), which computes deposition profiles in materials subjected to energetic ion beams. The displacement or generation of vacancies that results is typically utilized to evaluate the irradiation effects generated by energetic charged particles in terms of structure and alterations of target composition and surface topography, as well as to estimate the local damage dose in displacement per atoms (dpa). There are two options for calculating damage: the full-cascade detailed damage calculation option and the quick calculation of damage (K-P) mode, which is a quick statistical estimate based on the Kinchin-Pease "K-P" formalism and merely follows the path of incident ions. There have been debates and worries over certain observed differences in the number of atomic displacements per ion generated by the two distinct SRIM computation approaches. In order to study and quantify the differences that would occur in each case, various ions with various energies were used in this study to calculate the displacement damage in targets using SRIM provide different damage calculation options in order to get more accurate results for the calculations.

СОСТАВ, СТРУКТУРА И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Si, ИМПЛАНТИРОВАННОГО ИОНАМИ Co ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМАХ

Б.Е. Умирзаков[1*)], Ж. М. Жумаев[1)], И.Р. Бекпулатов[2)], И.Х. Турапов[3)]
[1)] Ташкентский государственный технический университет, Университетская 2, 100095, Ташкент, Узбекистан
[2)] Каршинский государственный университет, Карши, Узбекистан
[3)] Университет образования Ренессанс, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: be.umirzakov@gmail.com

В настоявшее время хорошо изучены состав, структура и электронные свойства $CoSi_2$, полученных имплантацией ионов с последующим прогревом при температуре образования $CoSi_2$. В отдельных случаях для уменьшения степени аморфизации и распыления поверхности ионная имплантация осуществляется при определенной температуре подложки. Имеются ряд работ посвященных исследованию состава, структуры и свойств Si имплантированных ионами Co^+ с $E_0 = 0.5 \div 30$ кэВ. Однако, механизмы изменения состава, структуры поверхностных и приповерхностных слоев Si при ионной имплантации до конца не выяснены. В данном докладе приводятся результаты сравнительных исследовании закономерностей формирования наноразмерных фаз и пленок $CoSi_2$ при имплантации ионов Co^+ с $E_0 = 0.5 \div 5$ кэВ в Si при комнатной температуре и при $T \approx 600 \div 650$ К. Выбор температуры обусловлен тем, что при $T \approx 600$ К сохранялся высокий степень разупорядочения, а при $T \geq 650$ К резко уменьшалась концентрация Co в ионно – легированном слое даже при дозе насыщения. Результаты экспериментов, проведенных с помощью РЭМ и ДБЭ, показали, что разупорядычивается и имеет ионно – имплантированный слой полностью шероховатость размерами $10 \div 15$ Å.

Зависимость C_{Co} от h для Si, имплантированного ионами Co^+ с энергией $E_0 = 1$ кэВ; после прогрева при различных температурах. Видно, что независимо от способа ионной имплантации после прогрева при 900 К формируется пленка $CoSi_2$ толщиной $3 \div 4$ нм.

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ ПРИ СОВМЕСТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА СТЕКЛО К-208 ЭЛЕКТРОНОВ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Р.Х. Хасаншин[1,2,*)], Л.С. Новиков[3)], С.П. Никитин[2)]
[1)] Акционерное общество “Композит” Королев, Московской обл., Россия
[2)] Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
[3)] Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[*)] e-mail: rhkhas@mail.ru

Исследованы условия возникновения электростатических разрядов (ЭСР) при раздельном и совместном воздействии электронов и электромагнитного излучения (ЭМИ) на образцы покровных стекол солнечных батарей и отражающих элементов терморадиаторов космических аппаратов (КА). Облучение проводилось электронами с энергией 30 кэВ в вакууме 10^{-4} Па при плотности потока частиц (φ) от $5\cdot10^{8}$ до $5\cdot10^{10}$ см$^{-2}\cdot$с$^{-1}$. Поток ЭМИ соответствовал 1 эквиваленту солнечной освещенности (1 ЭСО).

Экспериментально изучены зависимости частоты разрядов от времени электронного и последующего за тем совместного воздействия. Установлено, что при фиксированном значении параметра φ за время каждого цикла наблюдений, продолжительностью 30 минут, при электронном облучение частота разрядов в среднем оставалась стабильной, а при дальнейшем совместном облучении снижалась. Последний результат обусловлен двумя основными процессами: во-первых, фотоэмиссией электронов с приповерхностного слоя образца; во-вторых, действие ЭМИ сопровождалось также внутренним фотоэффектом и нагревом образца и, как следствие, повышением его проводимости, приводящим к росту контролируемого в экспериментах тока утечки на металлическую подложку, что также сокращает частоту разрядов.

Понимание механизмов радиационного повреждения материалов, аккумулирования в них инжектированного заряда и развития ЭСР имеет решающее значение для устранения или минимизации эксплуатационных аномалий КА.

ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СУБОКСИДОВ SI(111)

Н. Ж. Одилова
Каршинский государственный университет,
Карши, 180117 Узбекистан
*e-mail: ezoza1408@mail.ru

На рис 1 представлена рентгенограмма монокристаллического кремния марки КДБ-20. Из рис. видно, что в рентгненограмме наблюдается селективных структурных линии с различной по величиной интенсивностью /1-2/.

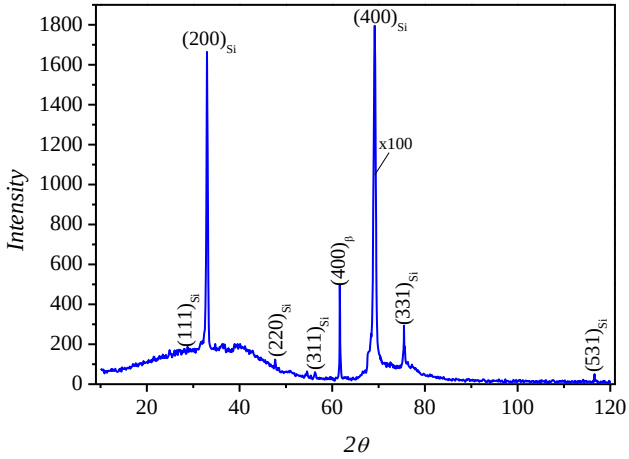


Рис. 1 Рентгенограмма монокристаллического кремния марки КДБ-20

Так, в работе было показано, что в некоторых выращенных кристаллах содержание кислорода в различных преципитатах может достигать 20 % от общей концентрации кислорода.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Рейви. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. // Под ред. С. Н. Горина, пер. с англ. –М.: Мир, 1984. – 475 с.
2. М.Ю. Ташметов, М.Каланов,. Медь кислородные нанокристаллиты в монокристаллах кремния, легированных медью // Узбекский физический журнал. –Ташкент, 2018, –Т.20, №2, с. 90-97.

КИНЕТИКА ЭЛЕКТРИЗАЦИИ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ОКСИДА МАГНИЯ

А.А. Татаринцев[*)], Е.Ю. Зыкова, А.Е. Иешкин,
Н.Г. Орликовская, В.А. Киселевский
Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[*)] e-mail: tatarintsev@physics.msu.ru

Изучение эффектов электризации диэлектриков вызывает широкий научный интерес и имеет большое практическое значение. В работе исследована кинетика процесса электризации монокристаллического оксида магния при облучении электронами с энергией до 20 кэВ. Обнаружена временная задержка в процессе зарядки образцов при облучении электронами с низкой энергией. Для объяснения такого поведения рассмотрено влияние на процесс зарядки высокой вторичной электронной эмиссии, а также растекания заряда в объеме образца. По результатам экспериментов и моделирования области взаимодействия электронов с оксидом магния выдвинуто предположение о локализации области накопления заряда. Изменение в процессе электронного облучения интенсивности линий катодолюминесценции, связанных с дефектами, позволило предположить, что облучение электронами влияет на структуру оксида магния. Высказано предположение, что уменьшение интенсивности линии 2,9 эВ, связанной с комплексами вакансий, при облучении электронами с энергией 15 кэВ связано с разрушением этих комплексов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-22-00083.

ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ФАЗ И СЛОЕВ, СОЗДАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ НАНОПЛЕНОК Si/Cu(111), Si/Al(111), Ge/Cu(111) Ge/Al(111)

З.А. Исаханов[1*)], Ж.М. Жумаев[2)], Р.М. Ёркулов[3)], А.А. Ахмедов[1)]
[1)] ИИПиЛТ АН РУз, 100125, Ташкент, Узбекистан
[2)] ТГТУ, 100095, Ташкент, Узбекистан
[3)]Унив. экономики и педагогики, Карши, Узбекистан
[*)] e-mail: za.isakhanov@gmail.com

В работе даны результаты исследований закономерностей формирования межфазной границы при напылении Si и Ge на поверхность монокристаллов Al(111) и Cu(111). Установлены оптимальные режимы напыления и отжига для получения систем полупроводник-металл, влияние имплантации ионов и адсорбции атомов бария на состав, морфологию электронных и кристаллических структур системы Si(Ge)/Cu(Al). Впервые установлено, что при напылении Si и Ge на поверхность Al и последующего отжига не происходит образования химической связи между атомами пленки и подложки, а в случае Cu после прогрева при T= 700-750 K образуются соединения типа CuSi и CuGe. При осаждении атомов Ba с θ = 1 монослой, значение работы выхода φ Ge уменьшается на ~ 1.9 эВ, а значение коэффициента ВЭЭ σ_m и квантового выхода фотоэлектронов Y увеличивается в 1.5−2 раза, происходит уменьшение E_g на ~ 0.3 эВ. Определены закономерности изменения состава, структуры поверхностных слоев Si/Me(111) и Ge/Me(111) имплантированных ионами активных металлов. В случае $\theta_{Si} \geq$ 15-20 монослоев прогрев при T=750 K приводит к увеличению толщины пленки CuSi на 2-3 монослоя, а поверхностная пленка Si имела структуру близкую к монокристаллической. Результаты ОЭС показали, что большая часть бария вступает в химическую связь с атомами матрицы и преимущественно образуются соединения типа BaGe. Впервые показано влияние осаждения атомов Ba до толщины $\theta \leq$3−4 монослоя и имплантации ионов Ba^+ с энергией E_0 = 0.5−2 кэВ на плотность состояний электронов валентной зоны, параметры энергетических зон, эмиссионные и оптические свойства Ge(111).

ВЛИЯНИЕ ВАКУУМНОГО ОТЖИГА НА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОКРИСТАЛЛОВ ОКСИДА ЦИНКА

З.Ш. Шаймарданов[1,2)*], Ш.З. Уролов[1,3)], Р.Р. Жалолов [1,2)], Б.Н. Рустамова[1)], Б.К. Собирова[1)] Б.Г. Атабаев[1)]

[1)] Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, Узбекистан,

[2)] Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан,

[3)] Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Узбекистан

[*)] e-mail: zshaymardanov@mail.ru

В наших исследованиях после нагрева нанокристаллов ZnO на открытом воздухе при температуре 200°C в течение часа в спектре ФЛ исчезла полоса излучения, связанная с избыточными атомами кислорода, а интенсивность полосы УФ-излучения увеличилась в 1,45 раза [1]. В ходе дальнейших исследований нами установлено, что после нагрева нанокристаллов ZnO в вакууме при температуре 200°C в течение часа интенсивность полосы УФ-излучения в их спектре ФЛ увеличивается в ~2,1 раза, а полоса излучения, связанная с кристаллографическими дефектами, исчезает.

Исследования показали, что при нагреве нанокристаллов ZnO в течение часа при температуре 200°C в вакууме 10^{-5}Па избыточные атомы кислорода покидают кристаллическую решетку. Также после синтеза, в результате взаимодействия нанокристаллов ZnO с внешней атмосферой, с поверхности десорбируется различные молекулы газов. В результате состояние поверхности и кристалличность нанокристаллов ZnO улучшаются. Это подтвердили результаты рентгеноструктурного анализа и фотолюминесцентной спектроскопии.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Z. Sh. Shaymardanov, B.N. Rustamova, R.R. Jalolov, Sh. Z. Urolov. Physica B: Physics of Condensed Matter. Volume 649, 15 January 2023, 414444 (https://doi.org/10.1016/j.physb.2022.414444).

ВЛИЯНИЕ ВАКУУМНОГО ОТЖИГА НА УЛЬТРАФИОЛЕТОВУЮ И ДЕФЕКТНУЮ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ 4H-SiC КРИСТАЛЛОВ

Б.Г. Атабаев[1*)], З.Ш. Шаймарданов[1)], Р.Р. Жалолов[1)], Ш.З. Уролов[1)]
Х.Н. Жураев[2)]
[1)] Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[2)] Физико-технический институт, АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: atabaev.bg@gmail.com

Анализ литературы показал, что химическое травление , нагрев в атмосфере, при ионной имплантации электронном облучении и диффузионном легировании кристаллов 4H-SiC приводит к появлению в спектрах фотолюминесценции дефектных полос и значительному подавлению ультрафиолетового межзонного пика.

Эксперименты проводились в модернизированной нами вакуумной установке УВН-75 с прямонакальной танталовой лодочкой и алюмель-хромелевой термопарой и пирометром для контроля температуры.

В качестве источника возбуждения был применен импульсный N2 лазер (λ = 337 нм, P ~ 20 кВт, η ~ 6 нс, частота повторения − 100 Гц). Экспериментальная установка по исследованию фотолюминесценции под воздействием импульсного N2 лазера включала в себя светосильный монохроматор МДР-23, высокочувствительный фотоприемник ФЭУ-87 (300−800 нм) и бокскаринтегратор ВСІ-280.

Нами впервые показано, что вакуумный отжиг 4H-SiC Cree Wlofspeed кристаллов при температуре 500 С приводит к увеличению отношения ультрафиолетовой люминесценции к дефектной, в то время как повышение температуры отжига до 700 С к уменьшению этого отношения. Таким образом определены оптимальная температура и время отжига дефектов и увеличения степени кристалличности 4H-SiC Cree Wolfspeed подложек.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННОГО СТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ПЛЕНОК Cu-Si МЕТОДОМ УЛЬТРАМЯГКОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ СПЕКТРА ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Е.С. Керсновский[1*)], К.А. Барков[1)], И.В. Польшин[1)], Д. Н. Нестеров[1)], С. А. Ивков[1)], В.А. Терехов[1)], А. В. Ситников[2)]
[1)] ВГУ, Воронеж, Россия
[2)] ВГТУ, Воронеж, Россия
[*)] e-mail: kersnovsky@phys.vsu.ru

Система Cu-Si имеет широкий спектр технологических применений, однако нанокомпозиты Cu-Si характеризуются сложными межфазными взаимодействиями внутри системы с сильным изменением электронного строения валентной зоны. В данной работе исследовались плёнки Cu-Si различного состава, полученные методом ионно-лучевого распыления. Исследование строения валентной зоны полученных композитов проводилось методом ультрамягкой рентгеновской эмиссионной спектроскопии [1]. В данном методе рентгеновский спектр возбуждается электронным пучком с энергией 1-6 кэВ, что влияет на длину свободного пробега электрона в образце. Это позволяет проводить послойное исследование структуры в пределах глубины анализа 10-120 нм.

Анализ полученных спектров показал, что в плёнках Cu-Si формируются фазы низших силицидов Cu_5Si и Cu_3Si. При этом в пленках с низким содержанием меди (Cu ~ 15%) в поверхностных слоях (10 нм) происходит незначительное окисление кремния с формированием субоксида $SiO_{0,47}$. Однако, в более глубоких слоях (35 нм и более) оксид не наблюдается, а кремний находится в аморфном состоянии. В тоже время в пленках с высоким содержанием меди (Cu ~ 68%), где основу пленки составляет фаза Cu_3Si, наблюдается эффект резонансного взаимодействия *s*- или *p*-электронов кремния с *d*-электронами меди во всем объеме исследуемого образца.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10294, https://rscf.ru/project/23-79-10294/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т.М. Зимкина, В.А. Фомичев Ультрамягкая рентгеновская спектроскопия (Изд-во Ленинградского университета) 132 с. (1971).

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОВЕРХНОСТИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА С ЗАРЯЖЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ ПРИ АКТИВАЦИИ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Д.В. Кузенко
ФГБНУ «НИИ «Реактивэлектрон», Донецк, РФ
e-mail: danil.kuzenko.84@yandex.ru

Процесс зарядки поверхности сегнетоэлектрика зависит как от вида облучения (электронного или ионного) так и от времени, дозы и энергии облучения /1,2/. Наличие доменной структуры приводит к появлению поверхностных электрических зарядов, влияющих на процесс взаимодействия поверхности сегнетоэлектрика с заряженными частицами. Температурная зависимость энергии активации доменной структуры сегнетоэлектрика $Pb(Zr,Ti)O_3$ /3/ определила условие для особенного взаимодействия заряженных частиц с поверхностью. В интервале между температурой активации доменной структуры T_d и температурой Кюри T_C ожидается увеличение глубины взаимодействия с заряженными частицами (Рис.1).

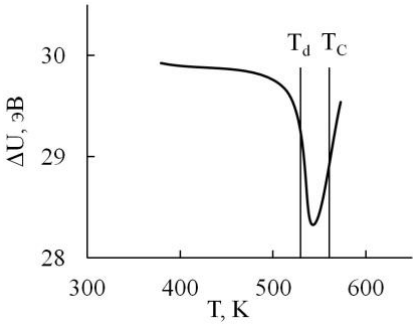


Рис.1 Температурная зависимость изменения энергии кристаллической решетки сегнетоэлектрика $Pb(Zr,Ti)O_3$

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FRRZ-2023-0001).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Коханчик Л.С., Пономарев Б.К. // Известия РАН. Серия физическая, 2005, Т. 69, № 4, С. 454-458.
2. Озерова К.Е., Татаринцев А.А., Рау Э.И. и др. // Известия РАН. Серия физическая, 2021, Т. 85, № 8, С. 1074-1081.
3. Kuzenko D.V. // Journal of Advanced Dielectrics, 2022, V. 12, No. 3, Art. No. 2250010.

РАСЧЕТЫ ИМПЛАНТАЦИИ ПРИМЕСНЫХ АТОМОВ В ОКСИД ГАЛЛЛИЯ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОТЕНЦИАЛОВ , ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

А.В. Степанов[1,2,*)], А.С. Сабиров[3)], Д.И. Тетельбуам[2)]
[1)] Чувашский ГАУ, Чебоксары, Россия
[2)] ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия
[3)] ЧГУ, Чебоксары, Россия
[*)] e-mail: for.antonstep@gmail.com

В работе методом машинного обучения создается потенциал взаимодействия под системы Ga_2O_3 с примесями для классической молекулярной динамики. Для создания потенциала используется код QUIP [1] и код VASP [2] для квантово-химических расчетов методом DFT. С помощью созданного потенциала с применением кода LAMMPS проводятся расчеты ионной имплантации Si в beta-Ga_2O_3.

В результате расчетов показаны наиболее вероятные распределения примесных атомов в кристалле beta-Ga_2O_3.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. James R Kermode // J. Phys.: Condens. Matter, 2020, 32, 30590.
2. ДG. Kresse and J. Hafner // Phys. Rev. B, 1993, 47 , 558.
3. S. Plimpton // J Comp Phys, 1995, 117, 1.

ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОУГЛОВОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ В ТЕОРИИ ПРОХОЖДЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ ВЕЩЕСТВО

А. И. Толмачев[1)], Л. Форлано[2)]

[1)] Российский новый университет, Москва, Россия
[2)] Университет Калабрии, Козенца, Италия
e-mail: tolmachev.alex@rambler.ru

Малоугловое приближение связано с предположением о том, что при упругом столкновении между налетающим ионом и неподвижным атомом мишени рассеяние иона происходит преимущественно на небольшие углы. Малоугловое приближение позволяет упростить интегро-дифференциальное транспортное уравнение, свести его к дифференциальному уравнению в частных производных и получить решение ряда задач в аналитическом виде /1–5/. В работе /2/ найдено распределение по пробегам электронов, достигших некоторой глубины D полубесконечной фольги. Однако, интегрирование распределения по пройденным расстояниям приводит к бесконечному среднему пробегу. Это связано с тем, что в полубесконечной мишени частица может многократно пересекать плоскость $x = D$, и средний пробег нарастает в то время, как координата частицы не меняется. Если же толщина мишени конечна и равна D, то частица может пересекать плоскость $x = D$ только один раз – в момент выхода этой частицы из мишени, и средний пробег становится конечным. В данной работе малоугловое приближение применено для решения задач об отражении и прохождении ионов через мишень конечной толщины.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Rossi B., Greisen K. // Reviews of Modern Physics, 1941, vol. 13, p. 240.
2. Yang G.N. // Physical Review, 1951, vol. 84, p. 599.
3. Фирсов О.Б. // Доклады АН СССР, 1966, т. 169, с. 1311.
4. Ремизович В.С., Рязанов М.И., Тилинин И.С. // ЖЭТФ, 1980, т. 79, с. 448.
5. Толмачев А.И. // ЖТФ, 1986, т. 56, с. 1297.

ТРЁХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО НАГРЕВА МОНОКРИСТАЛЛА КРЕМНИЯ

Р.И. Баталов*, Р.Ф. Камалов
КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия
*e-mail: batalov@kfti.knc.ru

Методика импульсного лазерного отжига имплантированных полупроводников (Si, Ge), приводящая к эпитаксиальной рекристаллизации имплантированного слоя и к высокой электрической активации примеси в результате быстрых процессов плавления и затвердевания, развита с начала 70-х годов. Тогда же появились первые работы по моделированию импульсного лазерного нагрева. При этом решалось одномерное уравнение теплопроводности с распространением тепла вглубь материала аналитически или методом конечных разностей. С развитием вычислительных ресурсов стало возможным трёхмерное моделирование лазерного нагрева. Удобным пакетом для моделирования таких процессов является Comsol Multiphysics. В данной работе проводилось моделирование нагрева Si пластины диаметром 10 мм при воздействии лазерных импульсов (τ=10 нс) первой (λ=1064 нм), второй (532 нм) и третьей (355 нм) гармоник Nd:YAG лазера с диаметром пучка 4 мм. Временная форма импульса задавалась Гауссовой. Учитывалось изменение теплофизических и оптических параметров Si с температурой. В результате моделирования получены данные по распределению температуры по времени (Рис.1) и по поверхности и объёму кристалла Si в зависимости от плотности энергии импульса (W = 0.2-2.0 Дж/см^2).

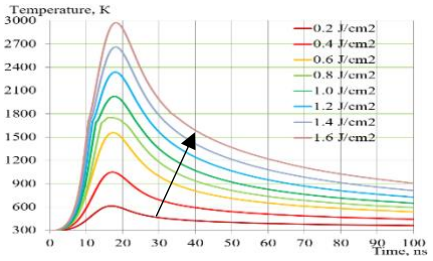


Рис.1. Температура на поверхности Si (λ=355 нм, τ=10 нс).

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №24-29-00069.

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ НА ОКИСЛЕНИЕ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАГНИЯ

Т.В. Панова*), В.С. Ковивчак, Т.В. Черникова
Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
Омск, Россия
*) e-mail: panovatv@omsu.ru

Одним из важных эксплуатационных свойств металлов и сплавов является сопротивление окислению и атмосферной коррозии, и облучение МИП может оказать на них значительное влияние. Целью настоящей работы являлось исследование влияния облучения МИП на окисление поликристаллического магния. Магний — это активно окисляющийся металл, который взаимодействует с различными газами, присутствующими в атмосфере, а так же с парами воды, что приводит к его высокой атмосферной коррозии. Окисление магния при повышенной температуре позволит снизить влияние паров воды на процессы коррозии и конкретизировать механизм ее протекания на поверхности облученного магния. Образцы магния облучались на ускорителе «Темп» ионным пучком (30% H^+ и 70% C^+) с энергией частиц E≈200 кэВ, длительностью импульса τ=60 нс в диапазоне плотностей тока пучка 50-150 А/см^2. Для ускорения окисления магния необлученные и облученные МИП образцы выдерживались на воздухе при температуре 230° С. Фазовый анализ образцов проводился на рентгеновском дифрактометре ДРОН 3М на $Cu_{K\alpha}$-излучении. Морфологию поверхности и элементный состав поверхностных слоев исследовали с помощью растровой электронной микроскопии (JSM-6610LV, “JEOL” с энергодисперсионным анализатором Inca-350). Обнаружено, что облучение МИП с различными плотностями ионного тока приводит к повышению сопротивления магния к окислению в воздушной среде при повышенных температурах. Полученный эффект анализируется с учетом увеличения концентрации углерода в поверхностном слое и протекания в зоне теплового влияния МИП интенсивной пластической деформации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Правительства Омской области № 23-22-10022.

Секция III

ОРИЕНТАЦИОННЫЕ И РЕЛЯТИВИСТСКИЕ ЭФФЕКТЫ, ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ, ИЗМЕНЕНИЕ ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ ЧАСТИЦ

ВЛИЯНИЕ ВТОРИЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ НА ГЕНЕРАЦИЮ ЧАСТИЦ В ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ УСКОРИТЕЛЕ

А.Н. Олейник[1, *], М.Э. Гильц[1], А.С. Кубанкин[1,2], Ю.С. Шаблов[1], П.Г. Шаповалов[1,3],

[1)]НИУ БелГУ, Белгород, Россия
[2)] ФИАН им. П.Н. Лебедева, Москва, Россия
[3)] НИЯУ МИФИ, Москва, Россия
[*)] e-mail: oleynik_a@bsu.edu.ru

Пироэлектрический ускоритель позволяет осуществлять генерацию потока электронов в довольно узком диапазоне энергии (например, от 70 до 100 кэВ), который сходится на определенном расстоянии от поверхности пироэлектрического кристалла, при изменении его температуры в вакууме. Использование мишени с отверстием позволяет коллимировать поток электронов и вырезать из него компоненту с определенной энергией.

Однако, вторичная электронная эмиссия как с поверхности мишени-коллиматора, так и поверхности стенок вакуумной камеры оказывает сильное влияние на динамику электронного потока, может ограничивать рост энергии электронов, вызывать лавинные процессы в пространстве между кристаллом и мишенью. В докладе обсуждаются вышеперечисленные процессы, которые были исследованы экспериментально и при помощи компьютерного моделирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке конкурсной части госзадания по созданию и развитию лабораторий, проект № FZWG-2020-0032 (2019-1569)

ЗАВИСИМОСТЬ ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ ИОНОВ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВ ОТ СКОРОСТИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Н.Н. Михеев

НИЦ “Курчатовский институт”, г. Калуга, Россия
e-mail: kmikran@spark-mail.ru

Представлены результаты решения задачи по описанию зависимости зарядового состояния пучка ионов от их скорости, которые требуются при расчете тормозной способности вещества для ионов средних и низких энергий. Примеры применения полученных формул для ионов аргона и урана при расчете S_e приведены на Рис. 1 и Рис. 2.

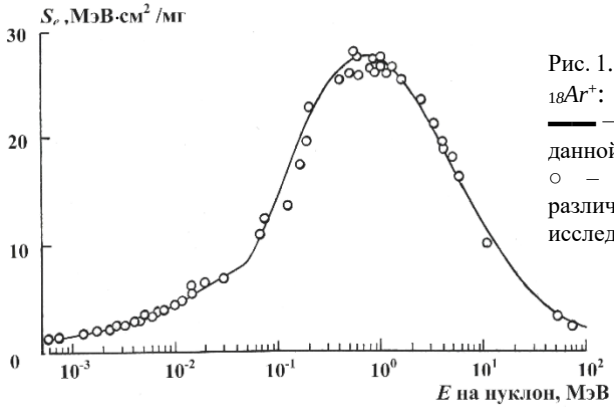


Рис. 1. S_e $_6C$ для ионов $_{18}Ar^+$:
▬▬ – расчёт данной работы;
○ – измерения S_e различных исследователей

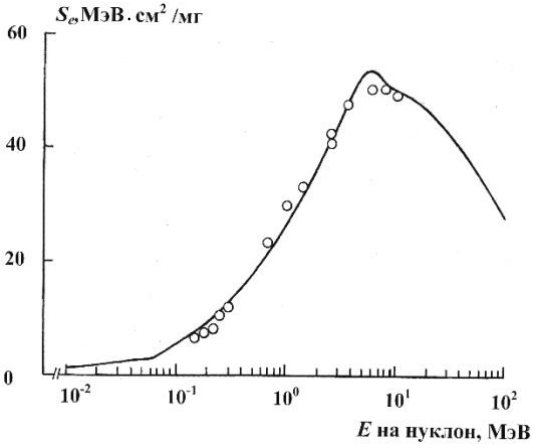


Рис. 2. S_e $_{79}Au$ для ионов $_{92}U^+$:
▬▬ – расчёт данной работы;
○ – измерения S_e различных исследователей

ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ЗАКРУЧЕННЫХ ФОТОНОВ РЕЛЯТИВИСТСКИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ В ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПОЛЯХ

О.В. Богданов[1)], С.В. Брагин[1*)], П.О. Казинский[2)]
[1)] Томский Политехнический Университет, Томск, Россия
[2)] Томский Государственный Университет, Томск, Россия
[*)] e-mail: svb38@tpu.ru

Задача генерации закрученных фотонов хорошо изучена теоретически и экспериментально /1/. Существует много способов получения электромагнитных волн с ненулевым орбитальным угловым моментом. Благодаря особым свойствам закрученных фотонов, вытекающим из того факта, что они являются квантами с определенной проекцией углового момента m, закрученные электромагнитные волны предоставляют новые инструменты для изучения и решения фундаментальных и технических задач.

Ранее были представлены результаты исследований по генерации закрученных фотонов релятивистскими частицами в сильных лазерных полях с круговой поляризацией. Расчеты спектров излучения закрученных фотонов проводились с учетом реакции излучения /2/.

В данной работе рассматривается другой способ генерации жестких закрученных фотонов в слабом параксиальном пределе при движении релятивистских электронов в поле лазерной волны с линейной поляризацией. Представлены результаты численного моделирования вероятности обнаружить закрученный фотон и орбитального углового момента на один фотон в зависимости от энергии фотона. Выявлены параметры, при которых генерация закрученных фотонов электронами в лазерной волне с линейной поляризацией может быть источником чистого излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. I.P. Ivanov, // Progress in Particle and Nuclear Physics, 2022, Volume 127, 103987
2. O.V. Bogdanov, P.O. Kazinski, G.Y. Lazarenko, // Physical Review D, 2019, 99, P.1-21

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ПОРОГ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕКОВ БЫСТРЫХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ В SiC

Д.И. Зайнутдинов[1*)], Р.А. Воронков[1)], С.А. Горбунов[1)], Н. Медведев[2)], Р.А. Рымжанов[3,4)], М.В. Сорокин[5)], А.Е. Волков[1,3,5)]
[1)]ФИАН имени П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия
[2)]Институты физики и физики плазмы АН ЧР, Прага, Чехия
[3)]ОИЯИ, Дубна, Россия
[4)]Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан
[5)]НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия
[*)] e-mail: d.zaynutdinov@lebedev.ru

Изучено влияние температуры облучения на формирование треков быстрых тяжелых ионов в радиационно-стойком при комнатных температурах SiC. Расчёты (код TREKIS /1/) для Bi 710 МэВ были проведены в интервале от 1800 К до 2200 К. Обнаружен температурный порог образования структурно-изменённых треков ~ 1800 К (Рис.1). Результаты работы показывают необходимость введения температурного критерия стойкости материалов к облучению тяжёлыми ионами, тормозящимися в режиме электронных потерь энергии.

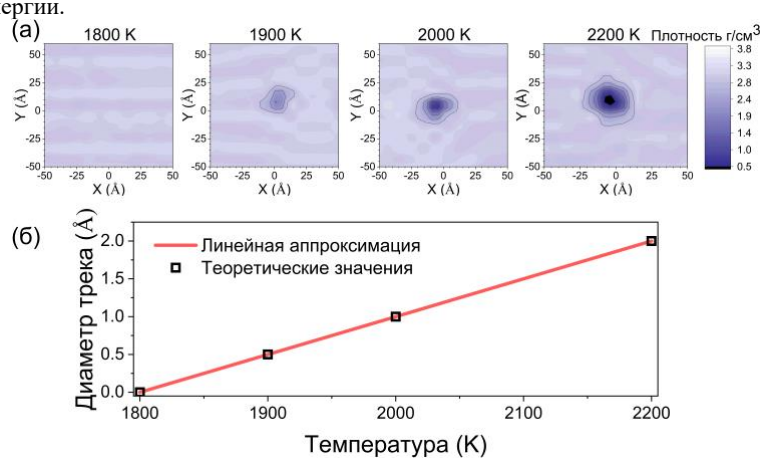


Рис.1 (а) Распределение плотности SiC через 300 пс после облучения ионом Bi 710 МэВ при 1800 К, 1900 К, 2000 К и 2200 К; (б) зависимость диаметра трека от температуры облучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. N. Medvedev, et al., // J. Appl. Phys., 2023, v. 133, p. 100701

ВОЛНОВЫЕ ФУНКЦИИ ПОЗИТРОНОВ ПРИ КАНАЛИРОВАНИИ В НАПРАВЛЕНИИ [111] КРИСТАЛЛА КРЕМНИЯ

В.В. Сыщенко[1*)], А.И. Тарновский[1)], А.С. Парахин[1)],
А.Ю. Исупов[2)],
[1)] НИУ «БелГУ», Белгород, Россия;
[2)] ЛФВЭ, ОИЯИ, Дубна, Россия;
[*)] e-mail: syshch@bsu.edu.ru

Потенциальная ямка, образуемая отталкивающими непрерывными потенциалами трех соседних цепочек [111] кристалла кремния, обладает симметрией равностороннего треугольника, описываемой группой C_{3v} /1/. С помощью разработанной ранее процедуры /2/ найдены все собственные значения энергии поперечного движения каналированных позитронов высокой энергии и соответствующие этим значениям волновые функции стационарных состояний. Обсуждается возможность использования полученных данных в исследованиях квантового хаоса.

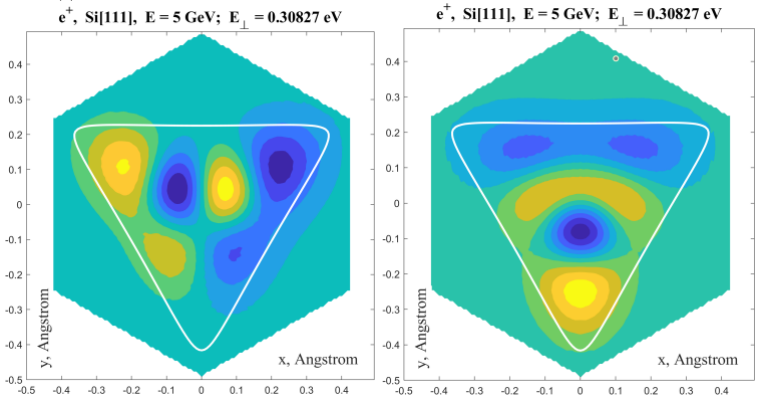


Рис. 1. Волновые функции поперечного движения двукратно вырожденного стационарного состояния позитрона с E = 5 ГэВ.. Белой линией обозначена классическая граница движения в ямке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика (нерелятивистская теория), М., Наука, 1989, 768 с.
2. Сыщенко В.В., Тарновский А.И., Парахин А.С., Исупов А.Ю. // Поверхность. 2024 *(в печати)*.

ЗАПОЛНЕНИЕ СОСТОЯНИЙ В РЕЖИМЕ ПЛОСКОСТНОГО КАНАЛИРОВАПНИЯ. КВАНТОВЫЙ РАСЧЕТ И ОЦЕНКА В КЛАССИЧЕСКОМ ПРИБЛИЖЕНИИ.

Н.П. Калашников*, А.С. Ольчак**
Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”,
Россия Москва, 115409, Каширское шоссе 31
*****e-mail: kalash@mephi.ru
******e-mail: asolchak@mephi.ru

Особенности прохождения пучка релятивистских заряженных частиц (электронов или позитронов) через монокристалл вдоль плотноупакованных кристаллографических плоскостей и характеристики возникающего при этом электромагнитного излучения в значительной мере определяются возможностью захвата частиц в режим плоскостного каналирования и их распределением по квантовым состояниям с разными энергиями поперечного движения. Точный квантовый расчет вероятностей заполнения разных состояний спектра поперечных энергий математически весьма затруднен и аналитически возможен только для простейших модельных потенциалов. Для реалистичных моделей потенциалов плоскостных каналов в кристалле возможны лишь приближенные оценки в классическом или квазиклассическом приближениях. В докладе приведены оценки вероятностей заполнения состояний, выполненные в этих приближениях и показано, что даже для коллимированных пучков частиц, для которых характерны высокие вероятности захвата частиц в канал, распределения частиц по поперечным энергиям в плоскостном канале размыты и близки к равновероятным

О ВОЗМОЖНОСТИ РЕЗОНАНСНОГО ЗАХВАТА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В РЕЖИМ АКСИАЛЬНОГО КАНАЛИРОВАПНИЯ В МОНОКРИСТАЛЛЕ.

Н.П. Калашников*, А.С. Ольчак**
Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”,
Россия Москва, 115409, Каширское шоссе 31
*e-mail: kalash@mephi.ru
**e-mail: asolchak@mephi.ru

Особенности прохождения пучка релятивистских электронов через монокристалл вдоль кристаллических осей и характеристики возникающего при этом электромагнитного излучения определяются возможностью захвата частиц в режим аксиального каналирования и их распределением по разным квантовым состояниям поперечного движения. Особенность аксиального каналирования (в отличие от плоскостного) состоит в том, что квантовые состояния поперечного движения различаются не только дискретными значениями энергии, но и значениями орбитального момента импульса, кратными постоянной Планка. Эта особенность создает возможность резонансного захвата в режим осевого каналирования для электронов, влетающих в монокристалл с нужными значениями момента импульса относительно кристаллических осей. В докладе приводятся оценки вероятностей захвата релятивистских электронов в аксиальный канал с учетом правила квантования Бора-Зоммерфельда.

ЗАТУХАНИЕ НЕДИАГОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МАТРИЦЫ ПЛОТНОСТИ И ДИФРАКЦИЯ КАК МЕХАНИЗМЫ ОБЪЕМНОГО ЗАХВАТА БЫСТРЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ИЗОГНУТОМ МОНОКРИСТАЛЛЕ

Е.А. Мазур[1,2*)]
[1)] Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия,
[2)] Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия
[*)]e-mail: eugen_mazur@mail.ru

Изучен эффект объемного захвата быстрых заряженных частиц в изогнутом кристалле. Исследованы потери поперечной энергии, эффект зависания и критерий объемного захвата быстрых заряженных частиц (БЗЧ). Рассмотрены возможные механизмы объемного захвата: 1) потери поперечной энергии вследствие возбуждения кристалла быстрой заряженной частицей (протоном, лептоном); 2) многократное рассеяние БЗЧ в изогнутом кристалле; 3) упругое рассеяние БЗЧ в изогнутом кристалле. Показано, что в области зависания отношение скоростей поперечных $\frac{dE_{\perp}}{dt}(\vec{r})$ и продольных $\frac{dE_{\parallel}}{dt}(\vec{r})$ потерь энергии БЗЧ существенно увеличивается по сравнению с отношением $E_{\perp}/E_{\parallel}$ и по порядку величины равно $Im\,\varepsilon^{-1}\left(\vec{q},\vec{q}+\vec{G}\right)/\,Im\,\varepsilon^{-1}\,(q)$, т.е., отношению недиагональных элементов ОМДП к диагональным. Установлено, что за эффект объемного захвата БЗЧ отвечают процессы дифракции протонов (лептонов) на изогнутом кристалле, а также эффекты затухания недиагональных элементов матрицы плотности БЗЧ. Предложенный дифракционный механизм основан на учете квантового когерентного рассеяния (дифракции) быстрого протона (лептона) в изогнутом кристалле.

АНОМАЛИЯ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МИКРОФОКУСНОГО ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НОВОГО ИСТОЧНИКА НА ОСНОВЕ 18 МэВ БЕТАТРОНА С ОСТРЫМ КРАЕМ СТАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ

М.М. Рычков, В.В. Каплин, В.А. Смолянский*)
Томский политехнический университет, Томск, Россия
*) e-mail: vsmol@tpu.ru

Приведен радиографический снимок острого края стальной пластины толщиной 0.4 mm, демонстрирующий аномалию во взаимодействии микрофокусного тормозного излучения нового источника на основе 18 МэВ бетатрона с острием пластины в виде узкой темной полосы на снимке вдоль изображения острия края. Аномалия на снимке, полученном с коэффициентом 2.43, в виде узкой темной полосы вдоль острия обеспечивает контраст его изображения, который вместе с высокой резкостью изображения из-за микрофокуса источника позволяет определить положение острия с высокой точностью. Эффект темной полосы не наблюдается при использовании излучений 450 и 45 keV рентгеновских трубок.

Темная полоса на снимке при микрофокусном излучении источника на основе бетатрона не объясняется поглощением излучения, а определяется рассеянием излучения острием, механизм которого с возможным участием волновых эффектов следует дополнительно исследовать.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00249, https://rscf.ru/project/22-79-00249/.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОБЪЕМНОЕ И ПОВЕРХНОСТНОЕ УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ GaP

Умирзаков Б.Е., Донаев С.Б., Ширинов Г.М
Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова г. Ташкент
e-mail: ganjimurod777@gmail.com

В данной работе изучены влияния ионной бомбардировки, электронной бомбардирни и лазерного отжига на объемное (ρ_V) и поверхностное удельное (ρ_C) сопротивления GaP.

Объектом исследования служили пленка GaP/Mo(111) с толщиной 1 мкм. Перед исследованиями пленки обезгаживались при T ≈ 950 K в течение 2 часа при вакууме ~ 10^{-7} Па. Имплантации проводились ионами Ar^+ и In^+ E_0 = 2 кэВ дозой D = D_H = $8\cdot10^{16}$ $см^{-2}$, электронная бомбардировки – при E_e = 5 кэВ с D_e = D_H = $5\cdot10^{19}$ $см^{-2}$, лазерный отжиг проводился с помощью твердотельного (Nd^{3+}) импульсного лазера типа ЛТИ – 403 с длиной волны 1,06 мкм при плотности энергии W ≈ 1,8 Дж/$см^2$. Результаты приведены в таблице 1.

Влияние различных воздействии на значении ρ_v и ρ_s GaP/Mo.
Таблица.1

Типы воздействия	GaP	$Ar^+ \rightarrow$GaP E_0 = 2 кэВ D_H = $8\cdot10^{16}$ $см^{-2}$	$In^+ \rightarrow$GaP E_0 = 2 кэВ D_H = $8\cdot10^{16}$ $см^{-2}$	E_e = 5 кэВ D_H = $5\cdot10^{19}$ $см^{-2}$	Лазерное облучение W=1,8 Дж/$см^2$
ρ_s, ом·см	2,6	$5\cdot10^{-2}$	$8\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-2}$	$6\cdot10^{-2}$
ρ_v ом·см	2,8	2,4	2,5	2,1	$5\cdot10^{-1}$

В работе даётся краткий анализ полученных результат.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. M. Shirinov, S. B. Donaev, B. Y. Umirzakov, V. V. Loboda. Emission, optical and electrical properties of GaInP/GaP nanofilms. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Physics and Mathematics. pp. 89-93. Vol. 16. No. 2, 2023.

ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОРАЗМЕРНЫХ ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ АРСЕНИДА A^3B^5 И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Донаев С.Б., Умирзаков Б.Е., Ширинов Г.М.
Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова г. Ташкент
e-mail: ganjimurod777@gmail.com

В настоящее время наиболее важной проблемой электроники и энергетики является создания новых видов надежных и возобновляемых источников энергии. При этом особое место занимает синтез новых материалов для различных фотоэлектрических приборов, в честности, солнечных элементов (СЭ). В последние годы в качестве фотоэлектрических преобразователей предлагается использовать тандемные солнечные элементы [1]. Исследование зависимости концентрации In по глубине GaP, полученные имплантацией ионов In^+ энергиями 25 и 1 кэВ в сочетании с отжигом показали, что на поверхности и на глубине ~ 25 – 30 нм концентрация In составляет ~ 20 – 22 ат.%, т.е. в этих слоях образуются соединения типа $Ga_{0,6}In_{0,4}P$ (рис.1). Между слоями $Ga_{0,6}In_{0,4}$ имеется слой GaP с толщиной 5÷7 нм а на границах раздела $Ga_{0,6}In_{0,4}$-GaP и GaP/$Ga_{0,6}In_{0,4}$ имеются переходные слои с толщиной 6÷8 нм (рис.1).

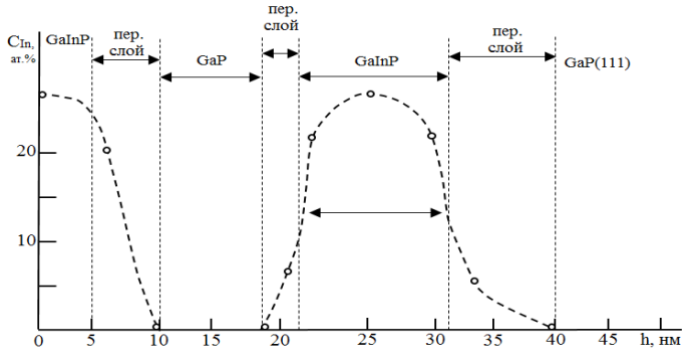


Рис.1. Концентрационные профили распределении In по глубине для GaP, имплантированного ионами In^+с E_0 = 25 кэВ и E_0 = 1 кэВ при D = 10^{17} $см^{-2}$. После каждого цикла имплантации проводился прогрев при T ≈ 950 K в течении 30 – 40 мин. и импульсный прогрев до T = 1100 K.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Н. Алешин. Солнечные элементы на основе полимерных и композитных (органика-неорганика) материалов. Конъюнктура прогнозы тенденции. Инновации №7 (165), 2012.

ИНТЕРФЕРОМЕТР МАРТИНА-ПУПЛЕТТА ДЛЯ ТГЦ И СУБТГЦ ДИАПАЗОНА ИЗЛУЧЕНИЯ

А.С.Кубанкин[1)], И.А.Кищин[1)], Р.М.Нажмудинов[1)], Е.Ю.Киданова[1)]
[1)] Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия
[*)] e-mail: 28kid nova28@gmail.com

Терагерцовое (ТГц) излучение — это электромагнитное излучение с частотой от 100 ГГц до 10 ТГц. ТГц-волны обладают уникальной способностью проникать через объекты, подобно рентгеновским лучам, но при этом их энергия намного ниже, что делает их неионизирующими. Это открывает возможности для различных приложений в медицине, биологии и спектроскопии материалов. Распространенным методом регистрации ТГц-излучения является интерферометрия [1]. Интерферометры, используемые в видимом свете, были адаптированы для работы в ТГц-диапазоне, наиболее распространенными из них являются интерферометры Маха-Цендера и Майкельсона.

В данной работе представлен интерферометр Мартина-Пуплетта для исследования ТГц и субТГц-излучения. Такие интерферометры ранее успешно использовались для измерения характеристик релятивистских банчированных пучков заряженных частиц [2]. В работе описаны основные компоненты созданного интерферометра и представлены результаты.

Работа выполнена при финансовой поддержке конкурсной части государственного задания по созданию и развитию лабораторий, проект №FZWG-2020–0032 (2019–1569).

Л И Т Е Р А Т У Р А

2. S. E. Ralph, D. Grischkowsky. THz spectroscopy and source characterization by optoelectronic interferometry // Applied Physics Letters, 1992, V. 60, Issue 9, P. 1070-1072.
2. K. Fedorov et al. Development of longitudinal beam profile monitor based on Coherent Transition Radiation effect for CLARA accelerator // JINST, 2020, V.15, C06008.

КАНАЛИРОВАНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ИОНОВ В ПОЛУВОЛНОВЫХ КРИСТАЛЛАХ

О.В. Богданов[1)], Т.А. Тухфатуллин[2*)]
[1)] Томский политехнический университет, Томск, Россия
[2)] Алматинский филиал НИЯУ МИФИ, Алматы, Казахстан
[*)] tta@tpu.ru

В полуволновом кристалле частица в условиях каналирования совершает половину колебания при движении вдоль плоскостей каналирования. Поэтому при каналировании в таких кристаллах наблюдается эффект «зеркального отражения». Данный эффект экспериментально наблюдался для протонов с энергией 400 ГэВ в CERN-SPS /1/ и для электронов с энергией 255 МэВ на ускорителе SAGA-LS /2, 3/. По сравнению с протонами и электронами в случае релятивистских тяжелых ионов (RHI) появляются два дополнительных параметра: заряд иона Ze и массовое число A. Компьютерное моделирование каналирования изотопов с низким Z в полуволновом кристалле выявило изотопический эффект /4/.

Ранее в работе /5/ были представлены результаты компьютерного моделирования каналирования RHI с большими Z (^{129}Xe, ^{208}Pb, ^{238}U) в кристаллах Si, Ge и W. А в работе /6/ была рассмотрена система из N веерно-расположенных полуволновых кристаллов, которая позволяет получить угол отклонения пучка ионов равный N критическим углам каналирования. Там же было показано, что эффективность отклонения пучка не зависит от энергии и вида ионов, и от типа кристалла, а зависит только от угловой расходимости ионного пучка. В данной работе представлены результаты моделирования в веерной системе учетом эффекта многократного рассеяния ионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Scandale W et al 2014 Phys. Lett. B 734, 1
2. Takabayashi Y et al 2015 Phys. Lett. B 751, 453
3. Takabayashi Y et al 2015 Nucl. Instr. and Meth. B 355, 188
4. Bogdanov O V et al 2020 Phys. Lett. B 802 135265
5. Bogdanov O V, Pivovarov Yu L, Tukhfatullin T A 2021 Nucl. Instr. and Meth. B 486 22
6. Bogdanov O V, Tukhfatullin T A 2024 Nucl. Instr. and Meth. A 1061 169122

КОГЕРЕНТНОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПУЧКА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СРЕДЕ В ГЕОМЕТРИИ РАССЕЯНИЯ ЛАУЭ

А.В. Носков[1)], С.В. Блажевич[2)], В.К. Киперша[3)], В.А. Дмитриева[1)]

[1)]Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия
[2)] Белгородский государственный национальный исследовательский Университет, Белгород, Россия
[3)]Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия

Развита динамическая теория когерентного рентгеновского излучения пучка релятивистских электронов, пересекающих мишень конечной толщины из периодической слоистой среды с двумя слоями на периоде в геометрии рассеяние Лауэ. В рамках двухволнового приближения динамической теории дифракции рентгеновских волн в периодической слоистой среде получены выражения, описывающие спектрально-угловые плотности ПРИ, ДПИ и их интерференцию. Исследована зависимость спектрально-угловых плотностей ПРИ, ДПИ и их интерференции от параметров периодической слоистой среды, расходимости электронного пучка и асимметрии отражения поля электрона относительно поверхности мишени. Показано влияние многократного рассеяния электронов атомами среды на спектрально-угловые плотности излучений и проявления эффектов динамической дифракции в когерентном рентгеновском излучении релятивистских электронов в периодической слоистой среде.

КОГЕРЕНТНОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПУЧКОВ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В СОСТАВНОЙ МИШЕНИ

А.В. Носков[1)], С. В. Блажевич[2)], А.В. Коноваленко[2)]
Д.Д. Мачукаев[3)]

[1)]Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия
[2)] Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия
[3)]Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия

Развита динамическая теория когерентного рентгеновского излучения, генерируемого пучком релятивистских электронов в составной мишени «аморфный слой-вакуум-периодическая слоистая среда». Периодическая слоистая среда состоит из периодически расположенных трех различных слоев, при этом слои расположены под произвольным углом к поверхности мишени. Когерентное рентгеновское излучение выходит через заднюю поверхность мишени, то есть излучение в периодической слоистой среде происходит в геометрии рассеяния Лауэ. В рамках двухволнового приближения динамической теории дифракции получены и исследованы выражения, описывающие спектрально-угловые плотности параметрического рентгеновского излучения (ПРИ) в периодической слоистой среде и дифрагированного переходного излучения (ДПИ). Показано, что вклад в суммарное ДПИ формируется из переходных излучений, сгенерированных в аморфном слое и на передней границы периодической слоистой структуры, которые при определенных условиях могут интерферировать как конструктивно, так и деструктивно. Далее переходное излучение отражается в слоистой среде в направлении рассеяния Брэгга, образуя ДПИ. Таким образом, можно увеличивать или уменьшать вклад ДПИ в суммарное когерентное рентгеновское излучение за счет конструктивной либо деструктивной интерференции переходных излучений. Исследовано влияние эффектов динамической дифракции при распространении излучения в периодической слоистой среде на спектрально-угловые характеристики излучений.

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СРЕДЕ В НАПРАВЛЕНИИ СКОРОСТИ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОНА

А.В. Носков[1)], С. В. Блажевич[2)], И.Н. Бардакова[2)]

[1)]Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия
[2)] Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Построена динамическая теория когерентного рентгеновского излучения, генерируемого пучком релятивистских электроном в периодической слоистой среде с тремя различными слоями на периоде в геометрии рассеяния Брэгга. Рассматривается общий случай асимметричного отражения поля электрона относительно поверхности мишени, когда угол между поверхностью мишени и слоями мишени имеет произвольное значение. В рамках двухволнового приближения динамической теории дифракции рентгеновских волн в периодической слоистой среде получены выражения, описывающие Фурье-образы напряженностей электрического поля параметрического рентгеновского излучения вблизи направления скорости релятивистского электрона (ПРИВ), переходного излучения (ПИ) и их интерференцию. Получены выражения, описывающие спектрально-угловые и угловые плотности ПРИВ, ПИ и их интерференцию. Исследовано влияние параметров периодической слоистой среды и электронного пучка на спектрально-угловые плотности ПРИВ, ПИ и их интерференцию. Показана возможность наблюдения ПРИВ пучка релятивистских электронов в периодической слоистой среде с тремя слоями на периоде. Исследовано влияние эффектов динамической дифракции на спектрально-угловые плотности излучений.

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПУЧКА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СРЕДЕ С ТРЕМЯ СЛОЯМИ НА ПЕРИОДЕ

А.В. Носков[1)], С. В. Блажевич[2)], А.И. Чуева[2)], А.А.Жуков[1)]

[1)]Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия
[2)]Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Развита динамическая теория параметрического рентгеновского излучения, возбуждаемого пучком релятивистских электронов, пересекающих периодическую слоистую среду с тремя слоями на периоде. В рамках двухволнового приближения динамической теории дифракции получены выражения, описывающие спектрально-угловые и угловые плотности параметрического рентгеновского излучения, дифрагированного переходного излучения и их интерференцию. Выражения получены в рамках двух волнового приближения динамической теории дифракции с учетом асимметрии дифракции рентгеновских волн и многократного рассеяния релятивистских электронов атомами вещества. На основе полученных выражений исследуется зависимость спектрально-угловых плотностей ПРИ, ДПИ и их интерференции от параметров электронного пучка и параметров периодической слоистой структуры мишени. Исследовано влияние многократного рассеяния пучка релятивистских электронов на спектрально-угловые плотности ПРИ, ДПИ и их интерференцию, а также на эффекты динамической дифракции в ПРИ релятивистских электронов в периодической слоистой среде с тремя слоями на периоде.

ЭФФЕКТЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ ДИФРАКЦИИ В КОГЕРЕНТНОМ ИЗЛУЧЕНИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СРЕДЕ

А.В. Носков[1)], С. В. Блажевич[2)], А.В. Коноваленко[2)]

[1)]Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия
[2)]Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Развита динамическая теория когерентного рентгеновского излучения (КРИ), генерируемого релятивистским электроном в периодической слоистой среде с тремя различными слоями на периоде в геометрии рассеяния Брэгга. В рамках двух волнового приближения динамической теории дифракции получены выражения, описывающие спектрально-угловые и угловые плотности параметрического рентгеновского излучения (ПРИ), дифрагированного переходного излучения (ДПИ) и их интерференцию. Исследуется возможность проявление эффектов динамической дифракции в КРИ релятивистских электронов в периодической слоистой среде с указанной структурой слоя. Показана зависимость спектрально-угловых и угловых плотностей ПРИ и ДПИ от асимметрии отражения поля электрона относительно поверхности мишени. Выявлено, что уменьшения угла между скоростью электрона и поверхностью мишени при фиксированном угле Брэгга приводит к значительному росту угловых плотностей ПРИ и ДПИ. Представлена зависимость ширины спектрального пика ДПИ от асимметрии отражения. Показано, что, меняя параметры слоев рассматриваемой трехслойной структуры, можно влиять на параметры динамического рассеяния рентгеновского излучения, и как следствие на спектрально-угловые и угловые плотности ПРИ и ДПИ. Показано, что при определенных условиях и параметрах слоистой структуры с тремя слоями на периоде, уменьшение поглощения второго слоя может привести к значительному увеличению спектрально-угловой плотности ПРИ. Этот эффект аналогичен эффекту аномального фотопоглощения (эффекту Бормана) в монокристалле и связан с расположением пучностей стоячей волны в слоистой среде на втором слое трехслойной структуры.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БЫСТРЫХ НАДБАРЬЕРНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В КРИСТАЛЛЕ КРЕМНИЯ В УСЛОВИЯХ АНОМАЛЬНОЙ ДИФФУЗИИ

В.В. Сыщенко*), А.И. Тарновский, В.И. Дроник,
НИУ «БелГУ», Белгород, Россия;
*) e-mail: syshch@bsu.edu.ru

Представлены результаты моделирования пространственного распределения электронов, движущихся в кристалле кремния вблизи направления [100] в условиях аномальной диффузии (что означает случайный процесс, при котором среднее значение квадрата смещения частицы от точки старта зависит от времени нелинейным образом /1, 2/).

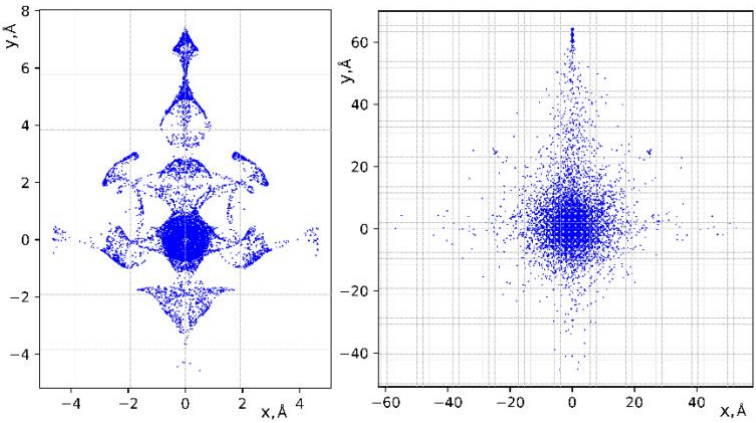


Рис. 1. Распределение надбарьерных электронов с E = 10 ГэВ в плоскости (100) кремния на глубине 0.4 мм (слева) и 4 мм (справа)

Результаты подтверждают вывод /1/ о том, что смещение частицы в поперечной атомным цепочкам плоскости обусловлено временным захватом частиц в плоскостные каналы.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Greenenko A.A., Chechkin A.V., Shul'ga N.F. // Phys. Lett. A. 2004. V. 324. P. 82.
2. Сыщенко В.В., Тарновский А.И., Дроник В.И. // Поверхность. 2024 *(в печати)*.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПУЧКОВ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ СКОЛЬЗЯЩЕМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Л.А. Жиляков[1)], В.С. Куликаускас[1)], А.А.Пронкин [2)]
[1)]НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
[2)] ОИВТ РАН, Москва, Россия
e-mail: zhiliakovla@mail.ru

В /1/ показано, что при гайдинге электронов (такой термин предложен в /2/ для протяженного скользящего взаимодействии пучков ускоренных заряженных частиц с диэлектрической поверхностью) должно генерироваться электромагнитное излучение При таком взаимодействии протонов, прижимаемых к плоской диэлектрической поверхности внешним электрическим полем, ускоренные протоны не испытывают ионизационных потерь энергии /3/. При взаимодействии электронов со стенками диэлектрического капилляра также наблюдается бесстолкновительное прохождение пучков через канал /4/. Согласно модели, предложенной в /5/ в поперечном электрическом поле заряженные частицы пучков, при протяженном скользящем взаимодействии с диэлектрической поверхностью, совершают колебательные движения в направлении поперек направления распространения пучка. При этом они движутся с поперечным ускорением и, следовательно, такие пучки должны генерировать электромагнитное излучение.

Расчет характеристик этого излучения представлен в данной работе.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Л.А. Жиляков, В.С. Куликаускас // В сб. Тезисы докладов 52 международной Тулиновской конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами , Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2023, С.186.
2. Л.А. Stolterfoht N., Yamazaki Y.// Physics Reports. 2016.V.629.P.1.
3. Жиляков, А.В. Костановский, Г.А. Иферов, В.С.Куликаускас, Г.П. Похил, И.В. Швей // Поверхность, 2002, №11, С.65.
4. Stolterfoht N., Bremer J.-H., Hoffmann V., Hellhammer R., Fink D., Petrov A., Sulik B. // Phys.Rev.Lett. 2002.V.88. P.133201.
5. Л.А. Жиляков, В.С.Куликаускас // Поверхность. 2022, №6, С.71

ЧЕРЕНКОВСКОЕ И ПЕРЕХОДНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ В МИШЕНЯХ С НАРУШЕННОЙ АЗИМУТАЛЬНОЙ СИММЕТРИЕЙ

М.В. Булгакова, В.С. Малышевский, Г.В. Фомин
Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: vsmalyshevsky@sfedu.ru

Проведен анализ спектрально-угловых характеристик черенковского излучения релятивистских частиц при наклонном падении на тонкие кварцевые мишени в диапазоне частот 800-900 mm. Для решения задачи использовались известные результаты, основанными на методе сшивок полей на границах раздела /1/. Угловая ширина черенковских максимумов не превышает 10^{-2} rad, а максимумы излучения с различной длиной волны разделены, что позволяет выделnm монохроматические линии в выбранном спектральном диапазоне.

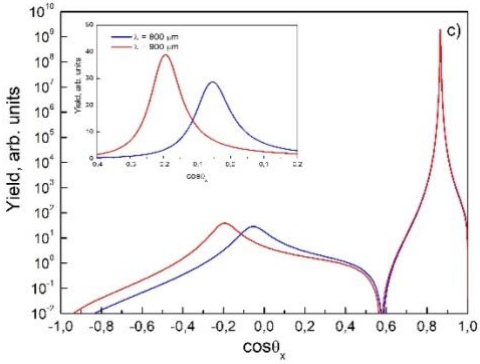


Рис.1 Расчитанное угловое распределение выхода излучения по полярному углу релятивистских частиц ($\gamma = 250$) в терагерцовом диапазоне, $\psi = 60^{o}$, $L = 10\lambda$.

Излучение, генерируемое в тонких кварцевых мишенях, может найти применение для создания монохроматических направленных источников излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тер-Микаелян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. Изд-во АН Арм. ССР, Ереван. 1969. 210 с.

ПРОСТАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТОРМОЗНОЙ СПОСОБНОСТИ ГЕЛИЯ ОТ СКОРОСТИ ИОНОВ ВОДОРОДА НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ

Н.Н. Михеев

НИЦ “Курчатовский институт”, г. Калуга, Россия
e-mail: kmikran@spark-mail.ru

Впервые учтена зависимость вероятности ионизации атомов гелия от скорости пучка ионов водорода низких энергий, когда потенциал ионизации атомов мишени превышает ионизационный потенциал атомов пучка заряженных частиц. Получена формула, описывающая зависимости тормозной способности S_e гелия от энергии E_0 пучка моноэнергетических протонов и дейтонов. Показано, что её применение позволяет проводить расчеты S_e адекватно имеющимся экспериментальным результатам, как это приведено на Рис. 1 для моноэнергетического пучка протонов p^+.

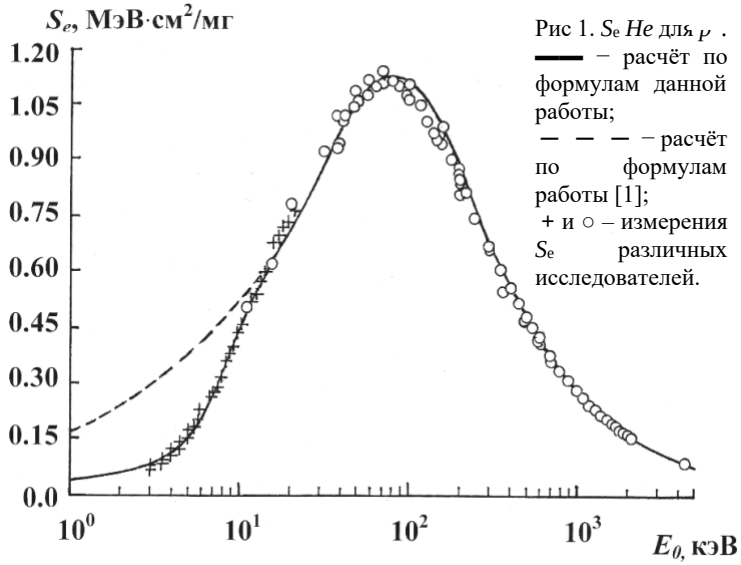


Рис 1. S_e *He* для p . ——— – расчёт по формулам данной работы; — — — – расчёт по формулам работы [1]; + и ○ – измерения S_e различных исследователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михеев Н.Н. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2022. № 3. С. 94.

Секция IV

МОДИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ИОННЫМИ И ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ

ПРОБЛЕМЫ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ОКСИДА ГАЛЛИЯ

Д.И. Тетельбаум
Университет Лобачевского, Н. Новгород, Россия
e-mail: tetelbaum@phys.unn.ru

Оксид галлия относится к разряду сверхширокозонных полупроводников, которые приобрели актуальность в последние 10-15 лет в связи с возросшими запросами ряда областей техники, таких как электроника высокой мощности, газовая и ультрафиолетовая сенсорика, спецсвязь, «зеленые» технологии и др. Использование метода ионной имплантации создает возможности существенного прогресса в технологии и экономике данного полупроводника. В настоящее время исследования в данной области находятся на начальной стадии, но уже сейчас выявлены серьезные проблемы, которые предстоит решить на этом пути.

В докладе рассмотрены последние достижения в исследовании физических и технологических проблем ионной имплантации Ga_2O_3, как в мировом масштабе, так и в ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Проанализированы перспективы ионной имплантации в решении одной из проблем, ограничивающих возможности полномасштабного применения данного материала – получение проводимости *p*-типа. Критически освещены соответствующие теоретические прогнозы и результаты последних экспериментальных исследований. Продемонстрированы интригующие эффекты, выявленные нами при ионном облучении и термообработке материала, в частности, аномальная электрическая активность примеси кремния. Проанализирована проблема адекватности интерпретации результатов первопринципного компьютерного моделирования электронной и атомной структуры Ga_2O_3, содержащего примеси и точечные дефекты.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-00052, https://rscf.ru/project/23-79-00052/.

ЭВОЛЮЦИЯ НАНОСТРУКТУРЫ В ПРОЦЕССЕ РОСТА ТОНКИХ ПЛЕНОК СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ НА СТЕКЛЕ ПРИ ИОННО-АССИСТИРОВАННОМ ОСАЖДЕНИИ

И.И. Ташлыкова-Бушкевич
Белорусский госуниверситет информатики
и радиоэлектроники, Минск, Беларусь
e-mail: iya.itb@bsuir.by

Оптические пленки металлов и сплавов, осажденные с помощью технологий ионно-ассистированного нанесения, находят применение в качестве функциональных элементов нано- и микроэлектроники, а также солнечной фотоэнергетики, где требуются тонкопленочные структуры с контролируемыми физико-химическими характеристиками, которые в свою очередь определяются химическим составом материала и особенностями структуры поверхности системы пленка/подложка.

Цель настоящей работы заключается в исследовании наноструктуры, морфологии, смачиваемости пленок сплавов алюминия и их зависимости от условий формирования, чтобы целенаправленно управлять свойствами поверхности изделий. Представлены данные сравнительного анализа тонких пленок сплавов Al–Fe и Al–Cr на стеклянных подложках, сформированных пассивным ионным и ионно-ассистируемым осаждением. Результаты получены методами сканирующей зондовой и растровой электронной микроскопии, а также методом покоящейся капли. Разработаны методология анализа топографических карт и система параметров шероховатости, что позволило определить влияние рельефа подложки на морфологию пленок и количественно описать процессы конусообразования. Впервые с использованием модели бигауссовой поверхности установлена связь нанорельефа пленок как с технологическими условиями синтеза, так и с гидрофильно-гидрофобным балансом поверхности. Обсуждается механизм гетерогенного смачивания пленок и переход из состояния Касси в гибридное состояние Касси-Венцеля (случай смешанного смачивания).

КОРРОЗИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ИСХОДНОЙ И МОДИФИЦИРОВАННОЙ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛА В ПРЕДСВЕРХКРИТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ПАРОВОДЯНОЙ ФАЗЫ

В.К. Егоров[1*)], Е.В. Егоров[1,2)], Т.В. Сеткова[3)]
[1)] ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия
[2)] ИРЭ РАН, Фрязино, Россия
[3)] ИЭМ РАН, Черноголовка, Россия
[*)] e-mail: egorov@iptm.ru

Критической деталью тепловыделяющего элемента (ТВЭЛа), представляющего собой базовую конструкцию современных водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР), является тонкостенная цилиндрическая оболочка, в которую помещается ядерное топливо. Стандартно она изготавливается из Zr, легированного Nb. В обычных эксплуатационных условиях ВВЭР оболочка ТВЭЛа контактирует с водяным теплоносителем первого контура при давлении 100 атм и температуре 350°C, что ниже сверхкритических параметров воды (373°C и 217 атм). Средний период устойчивого функционирования оболочки 17000 часов. Для повышения коррозионной стойкости представлялось эффективным модифицировать ее поверхность тонкослойным Cr покрытием [1].

В работе изучена коррозионная устойчивость исходной и модифицированной оболочек в условиях, приближенных к эксплуатационным условиям, компенсируя снижение времени экспериментального сеанса, составившего 600 часов, повышением температуры обработки до 400°C при давлении 100 атм. Ионно-пучковые и рентгеновские исследования показали, что толщина коррозионного слоя на поверхности исходной оболочки составила 40 мкм, в то время как для модифицированной 5 мкм. В последней зафиксировано наличие слоя с составом, близким $ZeCr_2O_{0.5}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.К. Егоров, Е.В. Егоров, Б.А. Калин, Д.А. Сафонов // ПТЭ, 2021, №1, С. 172-180.

АНАЛИЗ ФАЗОВОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК Al-Si ПО УЛЬТРАМЯГКИМ РЕНТГЕНОВСКИМ ЭМИССИОННЫМ СПЕКТРАМ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

К.А. Барков[1*)], В.А. Терехов[1)], С.А. Ивков[1)], Д.Н. Нестеров[1)], С.И. Курганский[1)], В.Р. Радина[1)], А.В. Ситников[2)]
[1)] ВГУ, Воронеж, Россия
[2)] ВГТУ, Воронеж, Россия
[*)] barkov @phys.vsu.ru

При нанесении нанокомпозитных плёнок Al-Si методом ионно-лучевого распыления могут образовываться метастабильные фазы [1]. Поэтому в данной работе исследовались пленки Al-Si с различным атомным составом, полученные ионно-лучевым распылением составной мишени. В результате рентгеноструктурных исследований плёнок с разным атомным составом $Al_{0.75}Si_{0.25}$, $Al_{0.62}Si_{0.38}$ и $Al_{0.55}Si_{0.45}$ было обнаружено образование упорядоченного твердого раствора Al_3Si со структурой типа Cu_3Au (Pm3m). При этом дальний порядок фазы Al_3Si достаточно устойчив к изменениям элементного состава от $Al_{0.75}Si_{0.25}$ до $Al_{0.55}Si_{0.45}$.

Анализ плотности электронных состояний в валентной зоне пленок Al-Si с помощью рентгеновских Al $L_{2,3}$- и Si $L_{2,3}$-спектров показывает, что распределение валентных состояний Si 3s в ионно-лучевых пленках напоминает распределение валентных состояний кремния в низших силицидах металлов. Теоретически рассчитанные рентгеновские спектры (DFT) для фазы Al_3Si хорошо согласуются с экспериментальными. Это еще раз подтверждает образование метастабильной фазы Al_3Si в тонких пленках.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10294, https://rscf.ru/project/23-79-10294/.

Л И Т Е Р А Т У Р А

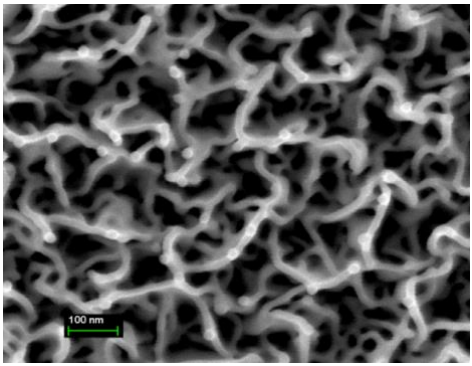
1. V.A. Terekhov et. al. // Thin Solid Films, 2023, 772, P. 139816.

ФОРМИРОВАНИЕ СЛОЕВ НАНОПОРИСТОГО ГЕРМАНИЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИОНАМИ ИНДИЯ

А.Л. Степанов
Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия
e-mail: aanstep@gmail.com

Исследовано порообразование на поверхности подложки монокристаллического *c*-Ge, облученной ионами $^{115}In^{+}$ в широком интервале доз $1.8 \cdot 10^{15}$ – $7.2 \cdot 10^{16}$ ион/см^2. Анализ морфологии поверхностей проводился методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и спектроскопии оптического отражения в сравнение с данными для других ионов металлов из работы /1/. Представлены новые результаты по особенностям образования, а также по физико-химическим характеристикам PGe слоев, в зависимости от параметров ионной имплантации. На Рис.1 приведен пример поверхности нанопористого Ge, сформированного облучением ионами $^{115}In^{+}$.

Рис.1 СЭМ-изображение поверхности нанопористого Ge после облучения c-Ge ионами $^{115}In^{+}$ с энергией 30 кэВ и дозой $7.2 \cdot 10^{16}$ ион/см^2



Работа выполнена при поддержке грантом РНФ № 19-79-10216.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Л. Степанов, В.И. Нуждин, В.В. Воробьев, А.М. Рогов, Формирование слоев пористого кремния и германия с металлическими наночастицами, Казань: ФИЦПРЕСС 2019.

ВОЗДЕЙСТВИЕ МОЩНОГО ИОННОГО ПУЧКА НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НА AlN КЕРАМИКУ

В.С. Ковивчак
Омский научный центр СО РАН (Институт радиофизики и физической электроники), Омск, Россия
e-mail: kvs_docent@mail.ru

Керамика на основе AlN обладает хорошими диэлектрическими и механическими свойства, высокой теплопроводностью и широко используется в качестве подложек для различных электронных компонентов. Для модификации поверхностных свойств подобной керамики могут использоваться различные виды концентрированных потоков энергии, наиболее перспективным из которых является мощный ионный пучок наносекундной длительности. Такой пучок имеет большую площадь сечения (до ~ 100 $см^2$), малую длительность, его взаимодействие с материалом слабо зависит от агрегатного состояния поверхностного слоя

Целью настоящей работы является исследование влияния воздействия мощного ионного пучка (МИП) наносекундной длительности на морфологию поверхности и элементный состав поверхностного слоя AlN керамики.

Облучение образцов AlN керамики, толщиной 1,5 мм проводилось на ускорителе «Темп» (30% H^+ +70% C^+, E ~ 250 кэВ, j ≤ 150 А/$см^2$, τ=60 нсек).

Установлено, что однократное облучение керамики с плотностью тока 150 А/$см^2$ приводит к появлению трещин в поверхностном слое, проходящих преимущественно по границам зерен. Характерный размер фрагментов разрушения составляет ~ 25 мкм. При этом может наблюдаться удаление некоторых фрагментов разрушения из поверхностного слоя. Для необлученного образца AlN усредненное отношения AlN в поверхностном слое по данным энергодисперсионного анализа составляет 1,02. При однократном воздействии МИП с плотностью тока 150 А/$см^2$ это отношение увеличивается до 1,13, что свидетельствует об обеднении поверхностного слоя азотом. Обсуждены возможные механизмы наблюдаемых эффектов.

Работа выполнена по государственному заданию Омского научного центра СО РАН № 075-00617-24-00.

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ИОНОВ НА СТРУКТУРНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА β-Ga_2O_3 ПРИ ИОННОЙ ИМПАЛАНТАЦИИ

А.А. Никольская[1,*)], Д.С. Королев[1)], К.С. Матюнина[1)], А.И. Белов[1)], А.В. Кудрин[1)], В.Н. Трушин[1)], М.Н. Дроздов[2)], П.А. Юнин[1,2)], А.В. Здоровейщев[1)], Д.И. Тетельбаум[1)]

[1)] Университет Лобачевского, Н. Новгород, Россия

[2)] ИФМ РАН, Н. Новгород, Россия

[*)] e-mail: nikolskaya@nifti.unn.ru

Оксид галлия (Ga_2O_3) – это сверхширокозонный полупроводник (ширина запрещенной зоны ~ 5 эВ), который является кандидатом для создания ряда электронных приборов следующего поколения. Такие приборы должны удовлетворять потребность в электронике высоких мощностей, быть радиационно, химически и термически стойкими, а также иметь возможность масштабирования. Для проверки соответствия этим критериям проводятся многочисленные исследования Ga_2O_3, однако, осталось еще много нерешенных вопросов. В частности, в начальной стадии находятся исследования по влиянию ионного облучения на свойства данного полупроводника. В настоящей работе выполнено исследование по влиянию факторов дефектообразования и химической природы внедряемых ионов на структурные и электрические характеристики монокристаллического β-Ga_2O_3.

Облучение пластин монокристаллического β-Ga_2O_3 проводилось как химически активными ионами, так и инертными газами. Структурные свойства образцов до и после постимплантационного отжига изучались методом рентгеновской дифракции, примесный состав методом вторично-ионной масс-спектрометрии, а электрические свойства методом измерения эффекта Холла.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-00052, https://rscf.ru/project/23-79-00052/.

ИОННО-СИНТЕЗИРОВАННЫЕ НАНОКРИСТАЛЛЫ Ga_2O_3: СОСТАВ, СТРУКТУРА, ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Д.С. Королев*), К.С. Матюнина, А.А. Никольская, Р.Н. Крюков, А.А. Сушков, Д.А. Павлов, Д.И. Тетельбаум
ННГУ им Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия
*) e-mail: dmkorolev@phys.unn.ru

Развитие современной электроники диктует необходимость применения новых материалов, одним из которых станет оксид галлия. Этот широкозонный полупроводник рассматривается в качестве базового материала четвертого поколения электроники и уже начинает находить применение в силовых устройствах, солнечно-слепых фотодетекторах и газовых сенсорах. Однако, традиционные технологические подходы сталкиваются с некоторыми фундаментальными трудностями, затрудняющими широкое практическое применение оксида галлия. В данной работе продемонстрирован новый способ создания наноматериалов на основе Ga_2O_3 – ионно-лучевой синтез нановключений данного материала в диэлектрической матрице, и проведено исследование состава, структурных особенностей и фотолюминесцентных свойства таких структур.

Ионный синтез нановключений проводился путем имплантации ионов галлия (80 кэВ) и кислорода (23 кэВ) в матрицы SiO_2/Si с последующим отжигом. Варьировались порядок имплантации и условия отжига (температура и атмосфера). Исследование методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии показало формирование связей Ga-O даже в отсутствие отжига, а отжиг при температуре 900 °C приводит к увеличению концентрации окисленного галлия. Формирование нанокристаллов Ga_2O_3 было подтверждено путем расшифровки картин высокого разрешения, полученных методом просвечивающей электронной микроскопии. В отожженных образцах обнаружена фотолюминесценция в области 400-500 нм, которая связывается с рекомбинацией электронно-дырочных пар в Ga_2O_3.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10233, https://rscf.ru/project/21-79-10233/.

ВОЗГОНКА ИОНОВ МЕТАЛЛА ПОВЕРХНОСТНЫМ КИЛЬВАТЕРНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ

Н.П. Калашников
НИЯУ МИФИ, Москва, Россия
kalash@mephi.ru

Рассматривается процесс распыления атомов металла при взаимодействии пучка заряженных частиц с металлической поверхностью. При движении быстрой заряженной частицы в среде, экранирование заряда происходит с запаздыванием в пространстве и во времени, что приводит к возникновению кильватерного потенциала. Ожидается, что флуктуации электронной плотности будут происходить вслед за быстро заряженной частицей, движущейся через конденсированное состояние. Возбужденные колебания кильватерного заряда приводят к появлению дополнительных сил. Исследуется кильватерный потенциал, связанный с прохождением быстрой заряженной частицы через вещество вблизи поверхности твердого тела. Потери энергии движущейся частицей на единице пути определяются работой, производимой силой торможения, которая действует на частицу со стороны создаваемого ею в среде кильватерного потенциала. В работе рассматривается воздействие поверхностного кильватерного потенциала на ионы металлической матрицы решетки. Используется известное выражение для кильватерного потенциала, возбуждаемого заряженной частицей, движущейся с энергией, большей энергии Ферми. Получено выражение для сечения распыления атомов металла под действием поверхностного кильватерного потенциала, возбужденного электронным пучком. Показано, что результат распыления не зависит от знака заряда падающей частицы (электрона или иона). Отмечается, что возбуждения поверхностных плазмонов играют важную роль, когда угол скольжения падающих пучков заряженных частиц на поверхность кристалла становится малым. Оценивается величина коэффициента распыления при взаимодействии электронного пучка с поверхностью серебра.

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФОЛЬГ СПЛАВА СИСТЕМЫ Al−Mg−Li ПРИ ОТЖИГЕ

И.А. Столяр[1*)], В.Г. Шепелевич[1)],
И.И. Ташлыкова-Бушкевич[2)], E. Wendler[3)], R. Wu[4)]
[1)] Белорусский госуниверситет, Минск, Беларусь,
[2)] Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь,
[3)] Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena, Germany
[4)] Harbin Engineering University, Harbin, China
[*)] e-mail: uyluana@gmail.com

Перспективность синтеза в условиях высокоскоростной кристаллизации многокомпонентного сплава Al−Mg–Li−Sc–Zr (1421) определяется использованием в нем редкоземельного металла Sc и переходного металла Zr в качестве модификаторов для повышения термической стабильности, а также прочностных и коррозионных свойств. Цель настоящей работы – изучить влияние высокотемпературного отжига на композиционный состав поверхности быстрозатвердевших фольг сплава 1421, включая эффект поверхностной сегрегации лития как функции времени выдержки при отжиге. Изучение процессов сегрегации проведено с помощью растровой электронной микроскопии с рентгеноспектральным микроанализом в дополнении к методу мгновенных ядерных реакций, основанному на использовании ядерной реакции на протонах (p,α) для определения концентрационных профилей Li в образцах. Обнаружена тенденция роста содержания Mg и Sc на поверхности фольг сплава 1421. Концентрация циркония остаётся неизменной. Установлено, что глубинное распределение лития характеризуется значительным пиком в приповерхностном слое до 1 мкм после высокотемпературного отжига в течение 1ч. С ростом времени выдержки толщина слоя, обогащенного литием, увеличивается. Более интенсивная диффузия Li в глубину фольг обнаружена в области поверхности, контактирующей с закалочным барабаном. Обсуждается связь структурно-фазового состава поверхностных слоев с процессами выделения и коагуляции частиц интерметаллидных фаз.

РЕНТГЕНОВСКИЙ АНАЛИЗ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ $CaTiO_3$

М. Нормурадов, Х. Давранов, М. Давлатов, Н. Бозорова
Каршинский государственный университет

В этой работе мы успешно изготовили соединение перовскита титаната кальция. Полученное соединение $CaTiO_3$ исследовали путем приготовления образцов путем его прессования в порошкообразном состоянии и с помощью устройства Пуссона. Соединение перовскита титаната кальция определяли с помощью рентгеновского дифрактометра, расстояние между плоскостями d_{hkl}, индексы Миллера (hkl), степень кристалличности и аморфизма, структуру и параметры решетки. Данные рентгеноструктурного анализа обрабатывали с помощью программы “Fullprof” [1].

Обработка полнопрофильным методом данных рентгеноструктурного анализа показала, что образец имеет орторомбическую структуру (пр. гр. Pbnm) со следующими параметрами решетки: a= 5,3064 Å, b= 5,3531 Å, c= 7,1760 Å и положениями , координаты атомов в элементарной ячейке.

Порошковая рентгеновская дифракция позволяет провести количественный элементный анализ. Степень кристалличности и аморфизма образцов оценивали методом рентгеноструктурного анализа с использованием программы Search and Match [2]. Для титаната кальция аморфная фаза составляет 71,35%, кристаллическая фаза – 28,65% соответственно. Фазовый состав образца, подготовленного для магнетронного напыления, соответствует 90,7 % перовскита ($CaTiO_3$), 3,8 % титана, 5,5 % кальция. Элементный анализ образцов с помощью программы Search and Match показывает, что образцы имеют следующий состав (в массовых процентах): 35,7% Ti, 32,2% Ca и 32,0% O.

По результатам этих измерений в будущем можно будет использовать полупроводниковые соединения для создания нанопленок методом магнетронного распыления.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Normuradov M.T., Khozhiev Sh.T., Dovranov K.T., Davranov Kh.T., Davlatov M.A., Khollokov F.K.//Development of a technology for the production of nano-sized heterostructured films by ion-plasma deposition. Structure of materials. Ukr. J. Phys. 2023. Vol. 68, No.3.

2. Qiang Fan, Jianhui Yang, Chi Deng, Jianping Zhang, Jin Cao, //Electronic structure and optical properties of $CaTiO_3$: An ab initio study, Proc. SPIE 9794, Sixth International Conference on Electronics and Information Engineering, 97942I (3 December 2015);

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭФФЕКТОВ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФОТОЭЛЕКТРОННЫЙ СПЕКТР

В.А. Ячук[*1)], А.В. Лубенченко[1)], Д.А. Иванов[1)], О.И. Лубенченко[1)]
[1)] НИУ МЭИ, Москва, Россия
[*)] e-mail: dr.yachuk@mail.ru

Для описания рассеяния электронов в твердых телах была установлена необходимость учета поверхностных эффектов, связанных с отличием электронной плотности у границ слоев образца, так как они оказывают сильное влияние на энергетическое распределение фотоэлектронов [1].

В данной работе предлагается методика описания процессов рассеяния и движения электронов в твердых телах, как в объеме, так и у границ слоев. Получено описание фотоэлектронной эмиссии из сложной, многослойной мишени. На основе полученной зависимости определены функции пропускания и рассеяния. Зная параметры этих функций, можно определять характеристики образов, например, толщины слоев, наличие неоднородностей и другие.

Модели, описывающие движение электронов в исследуемых объектах, часто не учитывают зависимость параметров рассеяния от глубины, например, сечения неупругого рассеяния. Либо, рассматривают однократное неупругое рассеяние [2].

Предлагаемая методика описывает эмиссию фотоэлектронов, испытавших многократное неупругое рассеяние, учитывая как поверхностные эффекты, так и зависимость сечения рассеяния и других параметров от глубины.

Расчет по предложенной модели, сравнивался с методом Монте-Карло.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chen Y. F. //Surface science. – 2002. – Т. 519. – №. 1-2. – С. 115-124.
Li Y. C. et al.//Surface

АНАЛИЗ РФЭС СПЕКТРОВ ВОПГ С УГЛОВЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

В.П. Афанасьев[1*)], Г.С. Бочаров[1)], А.В. Елецкий[1)], Л.Г. Лобанова[1)], К.И. Маслаков[2)], М.А. Семенов-Шефов[1)]
[1)] НИУ МЭИ, Москва, Россия
[1)] МГУ, Москва, Россия
[*)] e-mail: v.af@mail.ru

В работе исследуется высокоориентированный пиролитический графит (ВОПГ) на основе расшифровки спектров рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) с угловым разрешением. Восстанавливается дифференциальное сечение неупругого рассеяния фотоэлектронов, определяемое потерями энергии на возбуждение плазменных колебаний в электронном газе, позволяющее получить информацию о типах связи между графеновыми слоями.

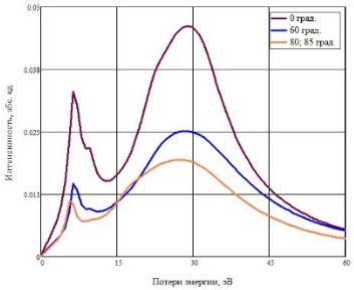


Рис. 1. Восстановление дифференциальное сечение неупругого рассеяния ВОПГ

Эксперименты выполнены на установке Kratos Axis Ultra DLD в геометрии magic angle. Угол детектирования составил 0°, 60°, 80°, 85°, что позволило менять число графеновых слоев, формирующих РФЭС сигнал. При детектировании под углом 0° вклад РФЭС сигнала нижележащих слоев составляет $I = I_0 \exp(-d/l_{in})$ (d – расстояние между слоями); при 80° - $I = I_0 \exp(-5.8d/l_{in})$, т.е. в 330 раз меньше. Восстановленные сечения для 80° и 85° оказались идентичны. В работе приводится методика восстановления сечения, анализируются полученные результаты.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (FSWF-2023-0016).

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МЕТАЛЛ-ОКСИДНЫХ ТОНКИХ ПЛЁНОК МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ С УГЛОВЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Д.С. Лукьянцев[1*)], А.В. Лубенченко[1)], Д.А. Иванов[1)], О.И. Лубенченко[1)], О.Н. Павлов[1)]

[1)] НИУ «МЭИ», Москва, Россия
[*)] e-mail: LukyantsevDS@mpei.ru

В настоящей работе представлено исследование многокомпонентных наноструктурированных металл-оксидных плёнок [1] неразрушающим методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением.

Расчёт химического послойного фазового состава металл-оксидных плёнок проводился по методам двум методам. Первый метод основан на модели мишени плоскопараллельных слоёв с гладкой поверхностью [2]. Второй метод – на модели многослойной мишени со стохастическим наноструктурированным поверхностным слоем.

Определены средние параметры наноразмерной шероховатости поверхности. Обнаружено, что металл-оксидные плёнки состоят из слоёв с различными фазами оксидов и субоксидов и интерфейсного слоя между металлом и металл-оксидами толщиной порядка 1 нм. Сравнение результатов анализа, проведённого по двум методам, показывает, что погрешность определения толщины слоёв может достигать до 50%, если не учитывать шероховатость поверхностного слоя.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FSWF-2023-0016.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. D. S. Lukiantsev et al. // 2021 3rd International Youth Conference on REEPE, 2021, pp. 1-4.
2. A. V. Lubenchenko et al. // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2018, T.12, C.692-700.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТОНКИХ НИТЕЙ НА ОСНОВЕ TiNi

М.И. Кафтаранова[1,*)], Н.В. Артюхова[1)], С.Г. Аникеев[1)], С.М. Барайшук[2)], В.И. Митюк[3)]

[1)] Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

[2)] Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь

[3)] НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь

[*)] e-mail: kaftaranovami@gmail.com

Настоящая работа посвящена исследованию структурных особенностей (микроструктуры, фазово-химического состава) тонких нитей на основе никелида титана (TiNi).

Монолитные слитки получили методом индукционного литья с использованием титановой губки и пластин электролитического никеля в атмосфере аргона. Получение тонкой проволоки проводили методами прокатки, ротационной ковки и волочения. Макро- и микроструктуру образцов исследовали методами оптической и растровой микроскопии. Фазовый состав определяли методом рентгеноструктурного анализа.

В ходе исследования проанализированы структурные особенности, а также фазово-химический состав тонких нитей на основе TiNi. Установлено, что тонкие нити имеют нанокристаллическое строение основного соединения TiNi, которое находится в двухфазном состоянии B2 и B19′. В зависимости от термомеханических обработок формируется развитый гранулярный поверхностный слой на основе оксида титана в рутиловой модификации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00735, https://rscf.ru/project/24-29-00735/.

ИЗМЕНЕНИЕ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТИ АДДИТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Д.С. Киреев[1*)], К.Ф. Миннебаев[1)], А.Е. Иешкин[1)],
Д. Р. Бессмертный[1)], И. Н. Кутлусурин[1)]
[1)] Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

[*)] e-mail: kireev.dmitriy@physics.msu.ru

Использование технологий АП позволяет снижать материальные затраты и время производства, получать детали сложной формы, изготовление которых другими методами затруднено. [1,2]. В настоящее время активно исследуются основные пути развития и тенденции отрасли АП, при этом сферы использования подобных изделий ограничены качеством поверхности – высокой степенью шероховатости, пористостью.

В данной работе исследована топография поверхности сплавов Ti6Al4V и AlSi10Mg, облученной пучком атомарных ионов Ar^+. Показано влияние ионной дозы облучения и энергии ионов на формирование рельефа поверхности. Также были получены коэффициенты распыления для данных материалов.

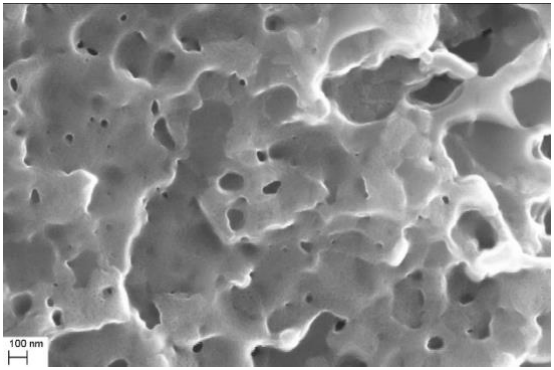


Рис.1. СЭМ изображение поверхности AlSi10Mg после облучения Ar^+ с энергией 9 кэВ при нормальном падении.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-01144.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.Н. Григорьев, И.Ю. //Инновации, 2013, №10, 180
2. S. Grigoriev, A. Metel, M. Volosova, Y. Melnik, E. Mustafaev. //Technologies, 2022, 10, 130.

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СТЕПЕНИ РАЗУПОРЯДОЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВМОНОКРИСТАЛЛОВ Si(111) И Ge ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ

С.Т. Абраева[1)], Ж. М. Жумаев[1)], И.Р. Бекпулатов[2)], И.Х. Турапов[3*)]
[1)] Ташкентский государственный технический университет, Университетская 2, 100095, Ташкент, Узбекистан
[2)] Каршинский государственный университет, Карши, Узбекистан
[3)] Университет образования Ренессанс, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: turapov_19_86@mail.ru

С использованием методов оже – электронной спектроскопии, регистрации угловых зависимостей коэффициента неупруго отраженных электронов η и спектроскопии упругоотраженных электронов изучены изменение состава, степени разупорядочение приповерхностных слоев Si(111) при бомбардировке ионами Ar^+ и K^+ с вариацией энергии $E_0 \sim$ от 1 до 10 кэВ, и доза ионов ~ от 10^{13} до 10^{17} $см^{-2}$. Обнаружено, что хотя атомы Ar и K обладают одинаковыми массами, при одинаковых энергиях ионов степень разупорядочения приповерхностных слое Si(111) существенно отличается. Наблюдаемый эффект объясняется существенным отличием их ионных радиусов.

Зависимость интенсивности первого максимума ΔI_η, от дозы облучения для Si (111) бомбардированного иона Ar^+ и K^+ с $E_0 = 3$ кэВ разными дозами. На зависимостях независимо от типа иона наблюдается три характерные участки: при малых дозах ΔI_η уменьщается слабо, затем происходит резкое уменщение и начиная с определенной дозы значение ΔI_η приближается к нулю, т.е. происходит полное разупорядочения (аморфизация) ионно – бомбардированных слоев. В случае ионов Ar^+ разупорядочение начинается с $D \approx 2 \cdot 10^{14}$ $см^{-2}$, а полная аморфизация происходит с $D \approx 6 \cdot 10^{14}$ $см^{-2}$. В случае Na^+ разупорядочение начинается с $D \approx 5 \cdot 10^{14}$ $см^{-2}$, а полная аморфизация с - $2 \cdot 10^{15}$ $см^{-2}$. Массы и атомные радиуси Ar^+ и K^+ мало отличаются друг от другу.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОННО-ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ ПЛЕНОК Cs НА ГРАНАХ (110) И (111) МОНОКРИСТАЛЛОВ МОЛИБДЕНА

Г.Х. Аллаярова, Н. Буронов, Ш.Зарипов
Каршинский государственный университет, Карши, 180117 Узбекистан
*) e-mail: allayarova5030@mail.ru

На рис.1 приведены результаты измерений φ и γ в зависимости от времени напыления t пленок Cs и Na на гранях (110) и (111) монокристаллов Mo при потоках n=2,8·1013 ат./(см2с) и na=3,4 ·1013 ат./(см^{2}с).

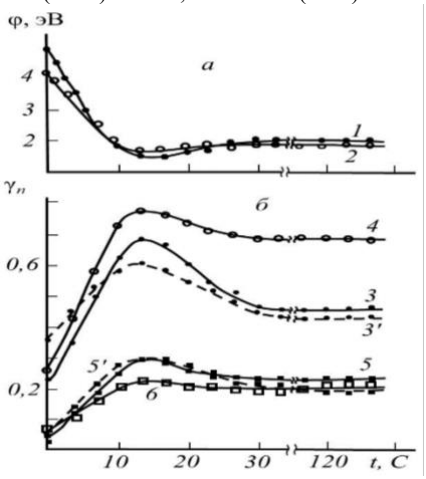


Рис.1. Зависимости φ(а) и γn (б) от времени t напыления атомов Cs на гранях (110) (1,3,5) и (111) (2,4,6) монокристаллов Mo при бомбардировке ионами Ar+ (3,4) и Kr+ (5,6). 3’ , 5‘- расчет по формуле (1) при бомбардировке пленок Cs на грани (110) ионами Ar+ при энергии E=0,1 кэВ

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Неволин В.К., -«Основе туннельно – зондовой нанотехнологии: // Учебное пособие» Москва.МГИЭТ(ТУ) 1996. 91 с.
2. Андреев В.Н., Никитин С Е., Климов В.А., Козырев С.В., Лещев Д.В., Штельмах К.Ф. Исследование фотохромных кластерных систем на основе оксидов Mo методом ЭПР-спектроскопии // Физика твердого тела. 2001.Т.43. №4. С.755.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОРМОЗНОЙ СПОСОБНОСТИ АЛЬФА-ЧАСТИЦ В ОКСИДНОМ ТОПЛИВЕ

Т. Л. Бобровский[1*)], А. Ф. Гурбич[1)], П. С. Прусаченко[1)], М. В. Боховко[1)]

[1)] АО "ГНЦ РФ-ФЭИ", г. Обнинск, Российская Федерация
[*)] e-mail: tbobrovskiy@ippe.ru

Тормозная способность α-частиц может оказывать влияние на реактивность, радиационные эффекты внутри ядерного реактора, распухание топлива. Обычно для расчетов используются полуэмпирические модели. Однако, известно, что для композитных веществ, в частности оксидов, может нарушаться правило Брэгга /1/. Данная работа посвящена проверке данного правила на примере оксида обедненного урана. Определение энергетической зависимости тормозной способности осуществлялось при помощи резонансного метода, описанного в работе /2/. Выбор данного метода обусловлен наличием кислорода в соединении, который имеет подходящие резонансы в реакции обратного рассеяния α-частицю, и возможностью использовать прессованные таблетки, аналогичные тем, которые применяются в реакторах.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. P. Sigmund, A. Schinner, Electronic stopping in oxides beyond Bragg additivity // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 415, 2018, Pages 110-116.
2. T.L. Bobrovskiy, M.V. Bokhovko, A.F. Gurbich, P.S. Prusachenko, Determination of stopping power for light ions using resonance backscattering // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 543, 2023, 165094.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДСОРБЦИИ АТОМОВ ВОДОРОДА НА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ.

У.Б. Улжаев[1,2*)], Ш.Р. Уринов[2], А.Н. Улукмурадов[3]
[1)] Институт ионно-плазменных и лазерных технологий
АН РУз. Ташкент, Узбекистан
[2)] Денауский институт предпринимательства и педагогики, Узбекистан
[3)] Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Узбекистан
[*)] e-mail: uub242526@gmail.com

В последнее время проведено множество экспериментальных работ по изучению адсорбции водорода на одностенных углеродных нанотрубках (ОУНТ) и улучшению адсорбционной способности трубок путем их легирования /1/. Однако эксперименты по хранению водорода в образцах нанотрубок противоречивы. В данной работе мы рассмотрели молекулярно-динамическое (МД) моделирование взаимодействия атомов водорода (т.е. 5 и 300) с углеродными нанотрубками. Объектом моделирования служила ОУНТ с киративностью (5,5) и диаметром 0,693 нм. На рис. 1 показано взаимодействие 5 (красная линия) и 300 (синий линия) атомов водорода с поверхностью углеродной нанотрубки. В диапазоне энергий 5 и 300 атомов водорода, 1-14 эВ и 0,7-6 эВ соответственно адсорбция атомов водорода происходит преимущественно на поверхности УНТ. При значениях энергии атомов водорода в диапазоне 9 эВ и 6 эВ в основном происходит инкапсуляция атома водорода внутрь углеродной нанотрубки.

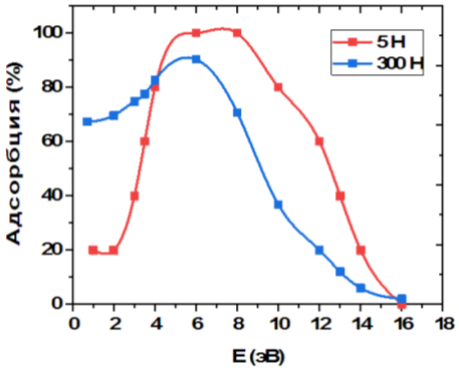


Рис. 1. Зависимости адсорбированных атомов водорода от их энергии.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. K.F. Kelly et all., Chem. Phys. Lett. 313, 445-450 (1999).

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЯРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАСПЫЛЕННЫХ АТОМОВ В МД-МОДЕЛИ РАСПЫЛЕНИЯ ГРАНИ (001) Ni

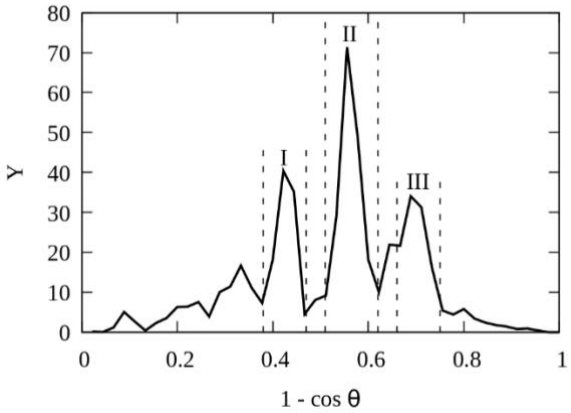
А.И. Мусин[1,2)], В.Н. Самойлов[3)]

[1)]Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, Россия
[2)]Государственный университет просвещения, Мытищи, Московская область, Россия
[3)]МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

В работе исследовались распределения атомов, распыленных с грани (001) Ni ионами Ar с энергией 200 эВ при 300 К. Расчеты выполнялись с помощью метода молекулярной динамики по модели /1/. Было рассчитано падение ~10^6 ионов.

В распределении атомов по полярному углу, наблюдаемых в интервале азимутальных углов φ [85.5°;88.5°] с энергией (2.5±0.1) эВ, выделяются отдельные максимумы, которые возникают из-за эффекта фокусировки (I) и перефокусировки (II и III).

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысоко-производительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова /2/.



Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Kornich G.V., Betz G. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B.,1998, V. 143, No. 4, p. 455-472.
2. Vl. Voevodin et al. // Supercomp. Front. Innov., 2019, V. 6, No. 2, p. 4-11.

СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОДУКТОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ СИНТЕЗА (НА ПРИМЕРЕ DD-РЕАКЦИИ)

Г.Е. Седов[1*)], Д.Е. Карманов[1)], И.А. Кудряшов[1)],
М.А. Негодаев[2)], С.А. Мовчун[2)]

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына НИИЯФ МГУ, 119234 Россия, Москва,
Ленинские горы, дом 1, строение 2.
[2)] Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской Академии Наук (ФИАН), 119991, Россия, Москва, Ленинский пр-т, 53
[*)] sge444@ya.ru

В рамках НИР с ФИАН им. Лебедева в лаборатории детекторных систем и электроники НИИЯФ МГУ был создан комплекс научной аппаратуры для регистрации заряженных частиц (продуктов ядерных реакций синтеза). Спектрометр предназначен для работы на ионном ускорителе ГЕЛИС и позволяет получать энергетические спектры в диапазоне энергий 0,1-8,8 МэВ с разрешением до 30 кэВ. В работе исследуется воздействие пучка ионов дейтерия на титановую мишень посредством регистрации продуктов выхода DD-реакции, идущей в поверхности облучаемой мишени по двум каналам: $D+D\rightarrow{}^3He+n$, $D+D\rightarrow T+p$. Обсуждается модель взаимодействия пучка ионов дейтерия с мишенью и возможных параметров, влияющих на поведение системы. По изменению темпа счёта можно судить о процессах диффузии дейтерия в титане. Для детектирования заряженных частиц были специально разработаны кремниевые датчики с тонким входным окном, использование которых позволило наблюдать пик ^3He в энергетическом спектре.

ТРЕХМЕРНОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ОБМЕНА МЕЖДУ ИОНОМ H^- И ПОВЕРХНОСТЬЮ Cu(111), ПОКРЫТОЙ АДСОРБАТОМ Na^+

Ю.А. Мелкозерова[1*)], С.С. Москаленко[1)], И.К. Гайнуллин[1)]
[1)] МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[*)] e-mail: melkozerova.ia16@physics.msu.ru

Резонансный электронный обмен имеет фундаментальное и практическое значение для различных областей физики и химии /1/. С точки зрения практического применения интерес представляет резонансный электронный обмен с кристаллографически неидеальными поверхностями, например, содержащими адсорбаты. В рамках данного исследования рассматривалась задача электронного обмена между атомной частицей H^- и поверхностью Cu (111) с адсорбатом Na^+. Было обнаружено, что возбужденные электронные состояния очень чувствительны к наличию адсорбатов на поверхности /2/. Изучалось влияние адсорбата на все электронные состояния, участвующие в процессе электронного обмена (состояние атомной частицы, поверхностное состояние Cu (111) и состояние заряда изображения). На графике зависимости энергии от расстояния межу атомной частицей и поверхностью был обнаружен минимум связанный с явлением квазипересечения состояний H^- и Cu (111)/Na^+. Таким образом, квазипересечение уровней накладывает ограничения на динамику электронной плотности. При отсутствии поверхностных адсорбатов электроны в состоянии изображения перемещаются почти свободно параллельно поверхности. Рассеяние на адсорбатах может латерально удерживать эти электроны, и энергетические состояния, возникающие в результате этого удержания, наблюдаются на спектрах плотности состояний /3/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brako R., Newns D.M.// Reports on Progress in Physics, 1989, 52, №. 6, 655.
2. Borisov A.G., Teillet-Billy D., Gauyacq J.P.// Physical review letters, 1992, 68, №. 18, 2842.
3. Bahrim B. et al. //Surface science, 2009, 603, №. 4, 703-708.

ЭВОЛЮЦИЯ ГЕКСАТИЧЕСКОЙ ФАЗЫ С РОСТОМ ЧИСЛА ЧАСТИЦ В ДВУМЕРНЫХ СИСТЕМАХ С ЦИРКУЛЯРНОЙ СИММЕТРИЕЙ

Э. Г. Никонов[1*)], Р.Г. Назмитдинов[1)], П.И. Глуховцев[1)],
[1)] Объединённый институт ядерных исследований, г. Дубна РФ
[*)] e.nikonov@jinr.ru

Фазовые переходы в квазидвумерных системах одинаково заряженных частиц с круговым запирающим потенциалом играют важную роль в функционировании различных физических и химических объектов и систем от вихревых структур в сверхпроводниках до латеральных квантовых точек. При исследовании фазовых переходов по числу частиц при нулевой температуре обнаружены ряд особенностей фазового перехода от гексагональной к гексатической фазе. В соответствии с теорией Березинского, Костерлица и Таулеса /1/ гексатическая фаза, образующаяся в результате перехода от гексагональной фазы в результате роста температуры, представляет собой жидкость с элементами упорядочения. При нулевой температуре с ростом числа частиц в исследуемых системах центрированная гексагональная решётка конформно деформируется, затем частично разрушается с формированием дисклинаций и дислокаций. В работе представлены результаты анализа ориентационного параметра порядка и топологического заряда, которые позволяют обнаружить рост величины частичной упорядоченности гексатической фазы в исследуемых системах заряженных частиц с ростом числа частиц при нулевой температуре.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. Н. Рыжов, Е. Е. Тареева, Ю. Д. Фомин, Е. Н. Циок // УФН 187, 921–951 (2017).

ЭФФЕКТЫ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ ГРАФИТА ПРИ ВЫСОКОДОЗНОМ ИОННО-ЛУЧЕВОМ РАСПЫЛЕНИИ

Андрианова Н.Н.[1,2*)], Борисов А.М.[1,2)], Овчинников М.А.[1)]

[1)] НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
[2)] МАИ (НИУ), Москва, Россия
[*]e-mail: andrianova_nn@mail.ru

Для высокоориентированного пиролитического графита (ВОПГ) при высокодозном распылении наблюдаются волнообразные, столбчато-игольчатые и наностеночные морфологические элементы [1,2]. В настоящей работе экспериментально изучали влияние слоистой двумерной структуры на рельеф поверхности ВОПГ при высокодозном распылении ионами аргона с энергией 10-30 кэВ по нормали к поверхности образцов при температуре аномально глубокого модифицирования 250°С [2]. При энергии ионов E = 10 кэВ (меньше энергетического порога глубокого модифицирования $E_п$ = 15 кэВ) характерными элементами рельефа являются одиночные конуса с высотой около 0.2 мкм. При аномально глубоком модифицировании поверхностного слоя при $E > E_п$ на поверхности доминируют субмикронные столбчато-игольчатые структурные элементы с существенно большей (1-2 мкм) высотой. Возрастающая с энергией ионов E высота ионно-индуцированных морфологических элементов в 4-5 раз больше аномальной глубины внедрённого в поверхностный слой аргона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Takahiro K., Zhang K., Rotter F. et al. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B. 2007. V. 256. P. 378.
2. Andrianova N.N., Borisov A.M., Mashkova E.S., et.al.// Nucl.Instrum.Methods in Phys.Res. B. 2013. V.315. P.117.

УЧЁТ АППАРАТНОЙ ФУНКЦИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЭНЕРГОАНАЛИЗАТОРОВ ПРИ СПЕКТРОСКОПИИ РАССЕЯНИЯ ИОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ

Н.Е. Ефимов[1*)], Д.Н. Синельников[1)], М.В. Гришаев[1)], И.А. Никитин[1)]
[1)] Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, 115409 Каширское шоссе, д. 31, Москва, Россия,
[*)] e-mail: NEEfimov@mephi.ru

Спектроскопия рассеяния ионов низких энергий (LEIS) – одна из наиболее чувствительных к поверхностным слоям методик компонентного и структурного неразрушающего анализа твёрдого тела. Одним из факторов, влияющих на точность проводимых количественных оценок, является искажение измеренных спектров ионов, рассеянных на интересующей поверхности, аппаратной функцией наиболее часто применяющихся в LEIS электростатических энергоанализаторов.

В работе проведён анализ влияния искажений, вносимых электростатическими спектрометрами, на точность количественных измерений при LEIS на примерах спектров, смоделированных в Монте-Карло коде «SDTrimSP_6.02» и измеренных экспериментально. Учёт искажений проведён на основе интегрального уравнения Фредгольма 1-го рода, предложенного в работе /1/. Изучена достижимая точность анализа при реализации ряда методов восстановления истинных распределений ионов по энергии, реализующих как аналитический /2/, так и численный /3/ подходы к решению задачи деконволюции. По результатам работы создан пакет моделирования искажений и восстановления спектров LEIS /4/.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Жабрев Г. И., Жданов С. К. // Письма в ЖТФ, 1979, Т. 49, С. 2450-2454.
2. Урусов В. А. Восстановление энергетических спектров при анализе потоков заряженных частиц: дис. канд. физ.-мат. наук: 01.04.08: 2012, Москва.
3. Twomey S. // J. ACM. 1963. V. 10, № 1. P. 97–101.
4. https://github.com/mauveferret/SpecRec

АДСОРБЦИЯ ФУЛЛЕРЕНА C_{20} РЕКОНСТРУИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ Si (100)

И.З. Уролов[1,2)], Д.В. Алябьев[1], И.Д. Ядгаров[1*)]
[1)] Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз.
Ташкент, Узбекистан
[2)] Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан
*e-mail: ishmuminyadgarov@gmail.com

Методом молекулярной динамики (МД) моделировались процессы адсорбции молекул фуллерена C_{20} реконструированной поверхностью кремния Si (100) с различными конфигурациями. Все расчеты МД-моделирования были выполнены с использованием потенциала Бреннера второго порядка [1] в программном пакете LAMMPS. Процессы адсорбции молекулы C_{20} поверхностью кремния (100) по рядам димеров и между двумя рядами димеров (траншей) рассматривались для 10 конфигураций путем минимизации энергии структуры C_{20} + подложка.

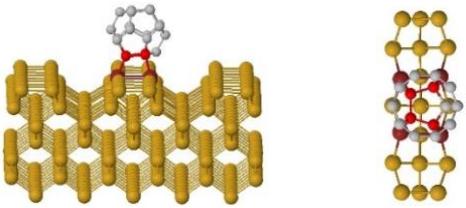


Рис. 1. Адсорбция молекул C_{20} поверхностью Si(100), вид сбоку и сверху (энергия связи 6 эВ)

Определены энергии адсорбции молекулы C_{20} реконструированной поверхностью Si (100) и длины образующихся связей Si-C (для различных конфигураций), путем сравнения результатов сделаны выводы о стабильных состояниях адсорбированных C_{20}.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. P. Erhart and K. Albe, Physical Review B, 71, 035211-1-14, (2005)

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТОМОВ БОРА С ДВУХСЛОЙНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

Ш.А. Муминова, У.Б. Улжаев, И.Д. Ядгаров*
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз.
Ташкент, Узбекистан
*e-mail: ishmuminyadgarov@gmail.com

Одним из простейших способов управления свойствами углеродных материалов является их функционализация, как пример - модификация sp^2-нанотрубок аналогичными гетероатомами (B, N, Ca, Pd, Pt) [1]. В данной работе методом МД с использованием потенциала ReaxFF исследовано взаимодействие атомов бора с поверхностью двустенной нанотрубки (5.5) и (10.10) (температура нанотрубки - 300К, 900К). Для систем 300 К и 900 К концентрация атомов бора, адсорбированных на поверхности ДУНТ с хиральностями (5,5), (10,10), менялась в зависимости от скорости (энергии) атомов B. На рис.1б показана зависимость парциальных зарядов от энергии атомов бора. На рис.1б видно, что максимальные парциальные заряды атомов углерода (C) и бора (B) при температурах 300 К и 900 К изменяются в зависимости от энергии (16*e* и -16*e* (18 эВ) и 20,6*e* и 20,6*e* (32 эВ).

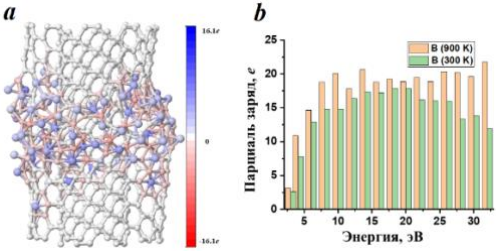


Рисунок 1. а) Показана адсорбция атомов бора поверхностью ДУНТ, атомы с положительным зарядом в системе - синий, с отрицательным - красный, незаряженные (0) атомы - белый. б) Динамика изменения парциальных зарядов адсорбированных атомов бора.

Увеличение концентрации бора приводит к увеличению положительных (p-типа) парциальных зарядов ДУНТ.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. G. Speranza et all., “Carbon Nanomaterials: Synthesis, Functionalization and Sensing Applications”, *Nanomaterials*, 11, 4 (2021)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ C_{20} - ЛИНЕЙНЫЙ КЛАСТЕР C_n - ГРАФЕНОВЫЙ ЛИСТ

Ш.Й. Аминов[1)] А.С. Косимов[1)] И.Д. Ядгаров[2*)]
[1)]Термезский государственный университет, Термез, Узбекистан
[2)] Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз.
Ташкент, Узбекистан
*)e-mail: ishmuminyadgarov@gmail.com

В настоящей работе основной процесс компьютерного моделирования углеродных структур проходил в 3 этапа с использованием метода минимизации энергии [1]. На первом этапе моделирования были построены компьютерные модели невзаимодействующих углеродных структур: линейных кластеров Cn ($1< n \leq 5$), бездефектного фуллерена C_{20}, который имеет 20 атомов углерода и идеального графена. В модели бездефектного фуллерена все атомы находятся на расстоянии R = 2.9 Å от центра фуллерена, который считаем радиусом бездефектного невзаимодействующего фуллерена. Компьютерная модель идеального графена определялась посредством прямоугольного 600-атомного с наложением периодических условий на граничные атомы

В данной работе выполнено теоретическое исследование свойств стабильных углеродных структур «фуллерен + Cn+ графен», где Cn — малый линейный кластер, играющий роль «мостика» между фуллереном и графеном. В процессе моделирования отдельно учитывалось влияние нековалентного взаимодействия фуллерена с графеном на стабильность, которое оказалось незначительным в случае соединения фуллерена C_{20} и графена с помощью кластеров, так как благодаря этим кластерам фуллерен отстоит от графена на расстояниях больших, чем равновесное расстояние нековалентного взаимодействия фуллерена с графеном.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. D. Yadgarov, V.G. Stel’makh, A.M. Rasulov, A. A. Dzhurakhalov. Tech. Phys. 2015, 60, №3, 474.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ РАССЕЯНИЯ ИОНОВ НИЗКИХ И СРЕДНИХ ЭНЕРГИЙ ПОВЕРХНОСТНЫМИ АТОМАМИ МИШЕНИ ПРИ РАСПЫЛЕНИИ

А.Н. Пустовит
ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия
*)e-mail: pustan@iptm.ru

Используя работы /1,2/, была разработана аналитическая теория рассеяния ионов поверхностными атомами мишени при распылении. Коэффициент рассеяния определяется по формуле:

$$R_{Ns} = \left(2\cos\beta\right)^{-1}\left(1+\sqrt{1+4/s}\right)^{2}\left(Z_1 Z_2 q^2 k_s \Big/ saE_0\right)^{2s}\left(a/d\right)^{2} \quad , (1)$$

где q - заряд электрона, $k_s=[(s-1)/e]^{s-1}$, s - степенной показатель, $a=0.8853a_0(Z_1^{2/3}+Z_2^{2/3})^{1/2}$- длинна экранирования, a_0- радиус Бора, d - межатомное расстояние в мишени, β - угол падения ионов.

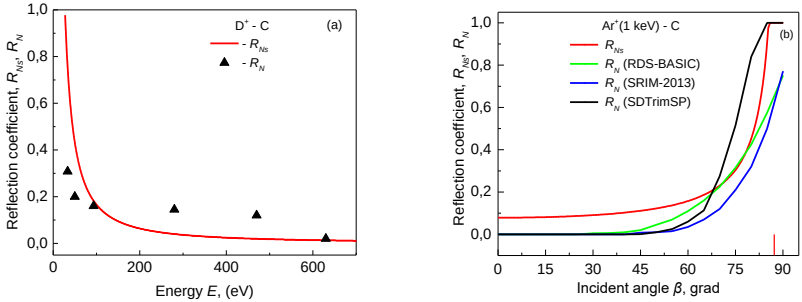


Рис. 1. Сравнение результатов энергетических (a) и угловых (b) зависимостей R_{Ns} с экспериментальными (a) и КМ (b) R_N.

Расчеты R_{Ns} можно использовать при $m_2/m_1 \geq 1$ *и* $m_2/m_1 \leq 1$. *Проведено с*равнение R_{Ns} с результатами R_N экспериментов и компьютерного моделирования (КМ) (рис. 1). Энергетические и угловые зависимости для R_{Ns} и экспериментальных R_N показали приемлемое совпадение даже в случае $m_2/m_1<1$, *а с* результатами КМ R_N редкое совпадение, особенно в областях $m_2/m_1<1$ и близких или равных пороговым энергиям $E_{th}(\beta)$ для разных β.

Работа выполнена в рамках государственного задания №075-00296-24-00.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А.Н. Пустовит // Поверхность. 2022. № 4. С. 106.
2. А.Н. Пустовит // Письма в ЖТФ. 2023. Т. 49. В. 1. С. 31.

ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ Ba^+ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПЛЕНОК WO_2

Ф.Я.Худайкулов[1*)], Б.Е.Умирзаков[2)], Д.А.Ташмухамедова[2)],
М.Б.Юсупжанова[2)], Х.Э.Абдиев[2)], А.У.Хужаниязова[2)]
[1)] СБУМИПТК, Карамурт-1, 100071, Ташкент, Узбекистан
[2)] Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан,
[*)] f.xudoyqulov@mail.ru

Интерес к получению и изучению свойств наноразмерных структур на основе тугоплавких металлов и их окислов, прежде всего, связан с использованием их в создании омических контактов и барьерных слоев в БИС и СБИС, вторично-эмиссионных и термоэмиссионных катодов, зондов для сканирующих зондовых микроскопов и др. [1]. В случае W и WO_2 в основном было изучено влияние ионной бомбардировки на их состав, коэффициенты вторичной электронной и ионной эмиссии [2]. В данной работе впервые изучено влияние имплантации ионов Ba^+ на структуру и эмиссионные свойства монокристаллического W(111) и W с окисной пленкой WO_2.

В таблице приведены параметры энергетических зон, значения коэффициента ВЭЭ σ_m и значение квантового выхода фотоэлектронов Y измеренный (при $h\nu = 6$ эВ) для W и WO_2, подвернутых имплантации ионов Ba^+ с E_0=1 кэВ и дозой $D=D_{нас}$.

Параметры энергетических зон, максимальное значение σ_m и Y (при $h\nu = 6$ эВ) для W и WO_2, имплантированных ионами Ba^+

Объекты исс.	E_v, эВ	E_F, эВ	χ, эВ	E_g, эВ	σ_m	Y
W(111)	4.3	4.3	4.3	0	1.4	$2.1\cdot10^{-5}$
$Ba^+ \rightarrow$ W(111)	2.3	2.3	2.3	0	2.9	$13.6\cdot10^{-5}$
WO_2	5.9	3.8	2.7	3.2	3.15	$4\cdot10^{-3}$
$Ba^+ \rightarrow WO_2$	5.6	3.1	2.9	2.7	4.8	$21\cdot10^{-3}$

Установлено, что на поверхности ионно-имплантированного WO_2 образуется слой BaO с толщиной ~ 0.3 атомных слоев, что приводит к уменьшению $e\varphi$ и увеличению σ_m и Y относительно WO_2.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Суровой Э.П., Борисова Н.В. // Журнал физической химии, 2008, Т. 82, С. 2120 – 2125.
2. Умирзаков Б.Е., Ташмухамедова Д.А., Худайкулов Ф.Я. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед., 2022, №11, с. 73–77.

ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ТОЛЩИНЫ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛЕНКИ ВДОЛЬ ПОВЕРХНОСТИ КАТОДА НА ЕГО НАГРЕВ В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ

Г.Г. Бондаренко[1)], М.Р. Фишер[2)], В.И. Кристя[2*)]
[1)] Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия
[2)] Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Калужский филиал, Калуга, Россия
[*)] e-mail: kristya@bmstu.ru

В состав катодов газоразрядных приборов часто включают оксиды металлов, что может приводить к формированию на их рабочей поверхности тонких диэлектрических пленок. В разряде на поверхности пленки накапливаются положительные заряды, что обусловливает возникновение в ней сильного электрического поля, достаточного для появления термополевой эмиссии электронов из металлической подложки катода в пленку. Часть таких электронов преодолевает потенциальный барьер на границе пленки и выходит в разрядный объем, увеличивая эффективный коэффициент ионно-электронной эмиссии электрода и снижая катодное падение потенциала разряда. Однако влияние этого фактора на характеристики разряда и, в частности, на динамику разогрева катода в разряде изучалось ранее лишь в предположении постоянной толщины пленки вдоль поверхности катода.

В данной работе сформулирована нестационарная модель тлеющего газового разряда при наличии на катоде диэлектрической пленки, толщина которой имеет различные значения на разных участках его поверхности Исследовано влияние этого фактора на изменение температуры катода, его эмиссионных свойств и характеристик разряда с течением времени. Показано, что основной вклад в увеличение усредненного по поверхности катода эффективного коэффициента ионно-электронной эмиссии дают его участки с наибольшей толщиной пленки.

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА КРИСТАЛЛИТА НА КОЭФФИЦИЕНТЫ РАСПЫЛЕНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ

А.В. Смаев*), В.С. Михайлов, А.Н. Зиновьев
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
*) e-mail: alexander.smaev@icloud.com

Проведены расчеты коэффициентов распыления Y и отражения Rn для столкновений Ar-W для энергий соударения 10 эВ÷100 кэВ. Рассматривались два варианта состояния поверхности: гладкая поверхность (плоскостной потенциальный барьер) и поверхность, состоящая из острий (сферический потенциальный барьер). Распыленными считались частицы, преодолевшие энергию связи с поверхностью E_s. Для гладкой поверхности брались частицы с энергией $E > E_s \cdot \cos^2\theta$, то есть использовался плоскостной потенциал. Для поверхности из острий применялся сферический потенциал ($E > E_s$). Размер кристаллита, выраженный в числе элементарных ячеек N, варьировался.

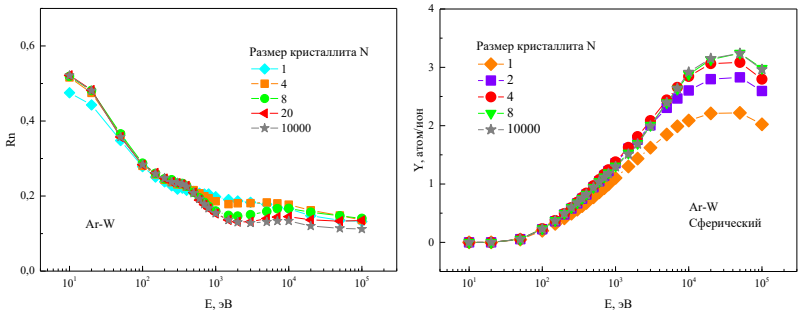


Рис.1 Зависимость коэффициентов распыления и отражения при столкновениях Ar-W от энергии соударения. Размер зерна кристаллита равен числу элементарных ячеек N. Постоянная решетки W равна 3.16 Å.

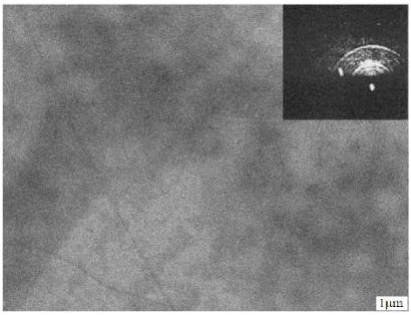
Как видно из рис.1, значение коэффициентов распыления и отражения заметно зависит от размера кристаллита. При дальнейшем росте размера кристаллита $N > 8$ зависимость Y стремится к насыщению. На наш взгляд полученная зависимость связана с проявлениями эффекта каналирования.

ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ $Si/NiSi_2/Si$, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ТВЕРДОФАЗНОГО ОСАЖДЕНИЯ

Н.М.Мустафоева[1*)], А.К.Ташатов[2)]
[1)] Каршинский институт ирригации и агротехнологий,
г. Карши, Узбекистан
[2)] Каршинский государственный университет, г. Карши, Узбекистан
[*)] e-mail: mustafoyevan@gmail.com

Для создания трехслойной системы на поверхности гетероэпитаксиалной структуры $NiSi_2/Si$ (111) при T=1000 K напылялась пленки Si с толщиной ~50 нм. Толщина NiSi2 составляла ~20 нм. Испарение кремния осуществлялось электронной бомбардировкой. На рис. 1 приведены РЭМ-изображения и ДБЭ-картина (вставка) поверхности $Si/NiSi_2/Si$ (111). Видно, что при T=1000 K растет сплошная поликристаллическая пленки.

Рис. 1. РЭМ- и ДБЭ (вставка) изображения поверхности системы $Si/NiSi_2/Si(111)$. Пленки Si напылялось при T≈1000 K с толщиной ~50 нм



Увеличение T до 1100-1150 K способствует получению монокристаллической пленки Si. Одноко, при этом из-за нарущение сплошности пленки $NiSi_2$ формируется островковие образования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tashatov A.K., Mustafoeva N.M. Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2020, Vol.14, No 1, pp. 81-84.

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ C_{60}

В.Е. Пуха[1*)], Г.В. Нечаев[1)] Е.Н. Кабачков[1,2)], И.Н. Лукина[3)], Е.И. Дроздова[3)], О.П. Черногорова [3)]
[1)] ФИЦ ПХФ и МХ РАН Черноголовка, Россия
[2)] ИФТТ РАН Черноголовка, Россия
[2)] ИМЕТ РАН, Москва, Россия
[*)] e-mail: pve@icp.ac.ru

Фторуглеродные полимеры обладают такими замечательными свойствами, как химическая инертность, гидрофобность, биосовместимость и низкий коэффициент трения. К сожалению, большинство из них обладает низкой механической прочностью и низкой износостойкостью, что затрудняет применение их в парах трения. Создание покрытий нанокомпозитной структуры со второй компонентой из твердого углерода может решить эти проблемы,

Покрытие осаждалось при комнатной температуре испарением политетрафторэтилена (ПТФЭ), (ООО Флуралит синтез, Россия) из эффузионной ячейки в вакууме не хуже $5 \cdot 10^{-5}$ Па. Нанокомпозитные структуры формировались облучением растущей пленки ПТФЭ ионами C_{60}^{+} с энергией 5 кэВ. Соотношение фтора и углерода в покрытии контролировалось кварцевыми микровесами и током ионов C_{60} на подложку. Покрытия исследовались методами РФЭС и КРС, были определены параметры смачивания и трибологические свойства, а также индентированием - твердость H и модуль Юнга E.

Анализ данных РФЭС и КРС показал, что в общем случае присутствие фтора, повышает содержание sp^2 связей в покрытии. С другой стороны, облученные ионами C_{60}^{+} покрытия, даже при содержании фтора ~8% ат., имели H=32 ГПа и E= 210 ГПа. Для этих покрытий характерен низкий износ ($<10^{-7}$ мм^3/Н·м) и в паре с шаром из Al_2O_3 коэффициент трения~ 0,1. Характеристики смачивания для исследованных покрытий различны. Для покрытий, полученных только из ионов C_{60} контактный угол θ~90°. У ПТФЭ покрытия без облучения θ~144°, а у облученного ионами C_{60} (8 ат. % фтора) θ~98°.

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЕНОК PdSi/Si

М.Б. Юсупжонова[a], А.Н. Уроков[a], С.Т. Абраева[a], Х.Э. Абдиев[a],
Ш.М. Мамасидикова[b], Д.А. Ташмухамедова[a]
[a] Ташкентский государственный технический университет Ташкент,
Узбекистан, e-mail: ftmet@mail.ru
[b] Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

В последние годы интенсивно развивается физика многослойных пленочных структур нанометровой толщины на различных подложках [1, 2]. В данной работе изучена электронная структура ультратонких пленок PdSi/Si (111).

Исследования параметров энергетических зон и коэффициентов прохождения проводились с использованием метода ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии и измерением коэффициента проходящего через образец света К.

В таблице приведены параметры энергетических зон для Si(111) и пленки PdSi/Si(111) с толщиной 250 Å. Положение E_v относительно вакуума определялось по формуле $\Phi = E_v = h\nu - \Delta E$, где ΔE – ширина спектра, значение сродства к электрону χ определяется по формуле $\chi = E_v - E_g$, Φ – фотоэлектронная работа выхода.

Параметры энергетических зон для Si(111) и пленки PdSi/Si(111) с толщиной 250 Å

Образец	E_v, эВ	E_g, эВ	χ, эВ	E_F, эВ	Коэффициент прохожде-ния I, при $h\nu$=0.4 эВ, %
Si(111)	5.2	1.1	4.1	4.7	76
PdSi/Si(111)	4	0.7	3.3	4	64

Из таблицы видно, что нанопленка PdSi является узкозонным вырожденным полупроводником р-типа. Коэффициент пропускания света PdSi значительно меньше, чем для Si. Таким образом в работе впервые изучены параметры энергетических зон нанопленок PdSi/Si(111).

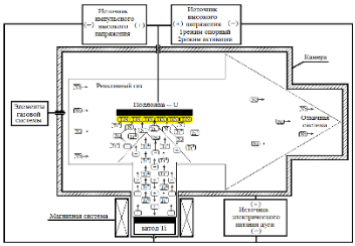
Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Procel P., Yang G., Isabella O., Zeman M. Solar energy materials and solar cells, 186. 66 (2018).
2. Ташмухамедова Д.А., Юсупжанова М.Б., Ташатов А.К., Умирзаков Б.Е. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2018. V. 9. P. 78.

ИОННАЯ БОМБАРДИРОВКА ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РАЗРЯДА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ

В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашуров, И.Х. Худайкулов, Б.Р. Кахрамонов, В.П. Харьяков.
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий им. Арифова У.А., АН РУз, Ташкент, Узбекистан;
v.arustamov@iplt.uz

Процесс осаждения покрытия из плазмы вакуумного дугового разряда совмещается с очисткой и активацией плазмой катодных пятен, в одном технологическом цикле, что обеспечивает достижение высоких парометров



наносимого защитного покрытия и прежде всего адгезии к основе. На схеме представлена вся совокупность технических систем и воздействий, в рамках которых осуществляется процесс синтеза осаждаемого материала при ионно-пламенного осаждения покрытий в условиях ионной бомбардировки в реактивном газе - инверторных источников электрического питания вакуумного дугового разряда с мощностью 10кВт ток до 500А, - инверторного источника питания для реализации процесса ионно-плазменной очистки и нагрева обрабатываемой поверхности изделия до 5 кВт, с плавной регулировкой напряжения от 50 до 1000 В;- импульсного высокочастотного источника питания для реализации процесса ионно-плазменного нанесения покрытий в режиме иммерсионного осаждения до 5 кВт, с плавной регулировкой напряжения от 50 до 1500В, частотой 30кГц. Напряжение на образце в режиме активации составляло 1000В при токе разряда 80А, длительность обработки 8-10 минут до достижения изделием температуры 300-350^{o}С. На рисунке представлен процесс генерации плазменного потока с торцевой поверхности дугового источника плазмы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ИОНИЗАЦИИ ИНСЕКТИЦИДА ХЛОРДИМЕФОРМА

Ш.М. Ахмедов*), Ш.Дж. Ахунов, Д.Т. Усманов
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, АН РУз, Ташкент, Узбекистан
*)e-mail: sherzod_in@mail.ru

Термическая десорбция многоатомных ионов органических соединений была открыта в 1967 г. [1]. Производными аминов являются активные органические соединения – лекарства, пестициды и другие вещества, представляющие угрозу для жизни человека. В частности, инсектицид формамид хлордимеформ является акарицидом, применяемый для борьбы с клещами и некоторыми насекомыми.

Следовательно, изучение накопления хлордимеформа в организме, определение ее метаболитов, а также количественный и структурный анализ остатков в пробах является одной из актуальных задач. Для решения этих задач целесообразно использовать метод поверхностной ионизации (ПИ). С помощью этого метода можно разработать эффективные методы определения следовых количеств веществ и одновременно оценить физические параметры вещества.

В данной работе мы исследовали ПИ хлордимеформа. Исследования проводились на масс-спектрометре МИ-1201В, модернизированный для работы методом ПИ.

Результаты показывают, что масс-спектр вещества состоит из линий фрагментных ионов $[M\text{-}R]^+$ и линий квазимолекулярных ионов $[M\text{-}H]^+$. Ион-фрагмент рассматривался как основной ион в масс-спектре, а также были получены графики зависимости линий ионов от температуры термоэмиттера и определены пороговые температуры образования ионов. Исследована схема адсорбции молекул и механизмы распада термически возбужденных мономолекулярных ионов после отлета от поверхности. В работе также оценена теплота сублимации $E_{суб}$ инсектицида хлордимеформа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зандберг Э.Я., Расулев У.Х., Шустров Б.Н., // Докл. АНСССР, 1967, Т.172, С. 885-886.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНО ИОННОГО РАСПЫЛЕНИЕ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО КАТОДА ИОНАМИ ЦЕЗИЯ.

Б.Г. Атабаев[1)*], Р. Джаббарганов[1)], А.С. Халматов[1)]
[1)] Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: atabaev.bg@gmail.com

Определение коэффициента ионизации при отрицательно-ионном распылении основана на возможности регистрации нейтрального компонента распыления посредством постионизации в отрицательные ионы в процессе рассеяния его вспомогательной поверхностью с экстремально малой работой выхода. Оказалось, что состояние наилучшей активировки поверхности ионизатора, которое достигается методом нанесения пленки щелочного металла оптимальной толщины, обладает хорошей воспроизводимостью. Методом вторично-ионной масс-спектрометрии впервые исследовалась возможность использования в качестве мишени-ионизатора, хорошо активированного алюмосиликатного ($2SiO_2$, Al_2, O_3, B_2, O_3, Mo, O_3) катода, поверхность которого обладает экстремально малой работой выхода. На различных стадиях активировки поверхности были получены масс-спектры продуктов отрицательно-ионного распыления этих катодов при бомбардировке их положительными ионами цезия в диапазоне энергии 0,5-3,0 кэВ. Полученные результаты показали устойчивость катода к ионной бомбардировке.

В процессе обезгаживания катода вплоть до полной активироки происходит уменьшение работы выхода поверхности и в активированном состоянии она приобретает экстремальное значение 1,8 эВ, при полной активировки алюмосиликатный катод превращается в эффективный термокатод. При использовании его в качестве термокатода он достаточно устойчив к ионной бомбардировке. Исследования показали, что обезгаживание катода вплоть до полной активировки не оказывает существенного влияния на масс-спектр отрицательно-ионного распыления алюмосиликатного катода.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ БОЛЬШИХ УГЛЕРОДНЫХ КЛАСТЕРОВ ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ ГРАФИТА КЛАСТЕРНЫМИ И МОЛЕКУЛЯРНЫМИ ИОНАМИ Sb_m^+, Au_m^-, $CuPc^+$

Кахрамонова П.Г., Мавланов Р.Р., Назаров М.М., Ш.Дж. Ахунов*,
Д.Т. Усманов**,
Институт Ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз,
Ташкент, Узбекистан
*e-mail: a.shovkatjon@mail.ru,**e-mail: usmanov@iplt.uz

Образование углеродных кластеров с количеством составляющих их атомов до 60 при распылении графита атомарными ионами наблюдалось в работах [1,2]. При этом выход вторичных кластерных ионов C_{60}^- не превышал 10^{-9} от выхода атомарных вторичных ионов углерода

В данной работе проведены исследования выхода кластерных ионов углерода с количеством составляющих их атомов до 100 при распылении графита кластерными ионами Sb_m^+ (m=1-4), Au_m^- (m=1-9) и молекулярными ионами фталоцианина меди $CuPc^+$ ¼ $CuPc^+$, $CuPc^{2+}$ в диапазоне энергий 3 -18 кэВ. Графитовая мишень бомбардировалась молекулярными ионами под углом 45^0 и вторичные ионы собирались вдоль нормали к поверхности.

Наблюдаются четно нечетные осцилляции выхода вторичных кластерных ионов C_n^+ в области $50 < n < 100$ с преимуществом более чем на порядок четных ионов. Характерно, что в целом наблюдается лишь слабое уменьшение выхода больших кластерных ионов C_n^+ в области $50 < n < 100$ с ростом n.. Выход ионов C_n^+ в области $50 < n < 100$ при бомбардировке ионами Sb_4^+ , $CuPc^+$, $CuPc^{2+}$ составляет в среднем 10^{-3} по сравнению с выходом атомарных ионов углерода. Сравнивая выход больших кластерных ионов углерода C_n^+ (n=50-100) при бомбардировке кластерными и молекулярными ионами с выходом этих ионов при бомбардировке атомарными ионами, можно сделать заключение об увеличении эффективности их генерации до 10^6 раз.

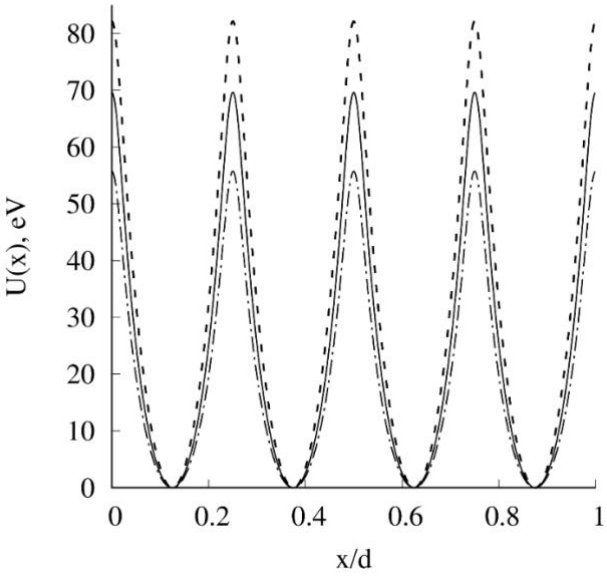
Л И Т Е Р А Т У Р А

1. A.D. Bekkerman, N.Kh. Dzhemilev, S.E. Maksimov, V.V. Solomko, S.V. Verkhoturov and I.V. Veryovkin, Vacuum, V 47, N 9, P 1073 (1996).
2. N.Kh. Dzhemilev, S.V. Verkhoturov, I.V. Veryovkin, S.E. Maksimov, V.V. Solomko, Izvestiya RAN, V62, N 10, P1922 (1998).

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛИРОВАНИЯ АТОМА И ИОНА УГЛЕРОДА В (100) ПЛОСКОСТНОМ КАНАЛЕ КРИСТАЛЛА АЛМАЗА

В.П. Кощеев[1,*)], Ю.Н. Штанов[2)]
[1)]НИУ МАИ, филиал «Стрела», г. Жуковский, Московской обл.
[2)]ФГБОУ ВО «ТИУ», филиал ТИУ в г. Сургуте, г. Сургут
* e-mail: koshcheev1@yandex.ru

На рисунке представлены результаты расчета потенциальной энергии взаимодействия C^{6+}(пунктирная линия), C^{+}(1s) (штрихпунктирная линия) и C(1s) (сплошная линия) в (100) плоскостном канале кристалла алмаза [1].



Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Koshcheev V.P., Shtanov Yu.N. // J. Surf. Invest.: X-ray, Synchrotron Neutron Tech., 2023, V. 17, N. 1, P. 266-270. DOI: 10.1134/S1027451023010317

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕСОРБЦИИ И ИОНИЗАЦИИ АМИНОКИСЛОТ АРГИНИНА

М.Р. Рузметова[1)], Д.Т. Усманов[2*)]
[1)]Ургенчский государственный университет, Ургенч, Узбекистан
[2)]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий,
АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[*)]email: usmanov@iplt.uz

Аминокислота аргинин является жизненно важной в организме человека. Поэтому исследование L- и D-изомеров аргинина является актуальной научной и практической задачей. Литературный анализ показал, что D-изомер аргинина менее исследован, чем L-изомер. В работе приведены результаты масс-спектрометрических исследований D-аргинина с использованием метода мгновенной десорбции и последующей ионизации при атмосферном воздухе. Эксперименты проводились с использованием времяпролетного масс-спектрометра и диэлектрического барьерного разрядного ионного источника, который детально описан в работе [1].

Образец порошка весом несколько миллиграмм был нанесен на металлическую пластину и измерен в диапазоне температур от 154°C до 733°C в положительном режиме. D-аргинин не ионизировался в отрицательном режиме масс-спектрометра при использовании этого метода. Ионные токи, исходящие от аргинина, начинали наблюдаться при 154°C и усиливались с увеличением температуры нити. В масс-спектре наблюдались только мономерные и фрагментные ионы, образующиеся в процессе термической деструкции молекул. Было выявлено, что низкая температура горячей нити позволяет во многих случаях получать информацию о молекулах без значительной фрагментации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Usmanov D.T., Ninomiya S., Hiraoka K. // J. Am. Soc. Mass Spectrom. 2013, 24 (11), 1727–1735.

МОНОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ РАСПАДЫ КОЛЕБАТЕЛЬНО-ВОЗБУЖДЕННЫХ ИОНОВ ПРИ ТЕРМОЭМИССИИ МНОГОАТОМНЫХ МОЛЕКУЛ ПСИХОТРОПНЫХ ПРЕПАРАТОВ –ПРОИЗВОДНЫХ БУТИРОФЕНОНА.

С.С. Исхакова, А.Ш. Ражабов, У. Хасанов, З.А. Улашева, Т.Х. Эрова, Д.Т. Усманов

Мономолекулярные распады метастабильных ионов, обнаруженные в масс-спектрах органических соединений, способствовали более глубокому пониманию механизма формирования масс-спектрального состава органических соединений при ударных способах ионизации молекул электронами и фотонами. При любом способе образования многоатомных ионов можно ожидать, что они будут эмитироваться в возбужденном состоянии. Возбужденные многоатомные частицы на пути движения от эмиттера до коллектора ионов могут испытать мономолекулярные распады $m^+ \rightarrow m^+_1 + m_2$ в зоне ускорения источника ионов, дающие в масс-спектре линию осколочного иона m^+_1, уширенную в сторону малых масс, а также в бесполевом пространстве масс-спектрометра между ускоряющим электродом источника и зоной магнитного поля, приводящего к появлению в масс-спектре диффузных линий ионов с кажущейся массой $m^* = m^2_1/m$. В работе исследованы мономолекулярные распады колебательно-возбужденных ионов при термоэмиссии молекул психотропных препаратов – нейролептиков производных бутирофенона галоперидола, трифлуперидола, дроперидола и азаперона с горячей поверхности эмиттера из оксида вольфрама. Установлены многоступенчатость обнаруженных распадов, корреляция между путями распадов и структурной особенностью ионов, а также их зависимости от характера локализации заряда в колебательно возбужденных ионах. Выявлены характерные особенности распада термически возбужденных ионов при термодесорбции молекул и их зависимости от температуры эмиттера, а также возможности определения по температурным зависимостям эффективности распадов колебательно-возбужденных ионов. Предложены предположительные схемы мономолекулярных распадов колебательно-возбужденных ионов психотропных препаратов.

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Нормуродов М.Т., Кодиров А.Р., Бозорова Н.

В последние годы мировая солнечная энергетика развивается высокими темпами. Можно ожидать, что в ближайшие десятилетия солнечная энергетика станет стимулом для экономического развития стран и регионов, обладающих максимальным солнечным ресурсом. Основная проблема фотовольтаика это высокая стоимость и невысокой коэффициент полезный действия (КПД). Исправление этих показателей – главные условие развития солнечных энергетики. С применением нанотехнологии могут решить обе проблемы. Уменьшать стоимость солнечной батарей можно, если использовать более дешевые материалы и более дешевые процессы производства.

Исторически первыми фотоэлектрическими СЭ стали элементы на основе поли и монокристаллического кремния. Принято считать элементами первого поколение, которые на данный момент составляют 90% всего рынка и обладают в среднем КПД около 20% [1]. Такие элементы имеют ряд недостатков: высокая стоимость материалов и их производства; токсичность процесса изготовления, большое количество токсичных отходов [2]. Попытки избавиться от этих недостатков привели к созданию альтернативных солнечных элементов в том числе тонкопленочных, многокомпонентных полупроводниковых материалов. В настоящея время в стадии разработки находится множество различных альтернативных органических и неорганических материалов: наноматериалы также привлекают к себе внимание как материалы для солнечных батарей. Нанотехнологии пока слабо используется в производстве солнечневых батарей. Однако они будут играть все возрастающую роль в будущем в разработке тонких пленок, слоев и поверхностей. Тонкие пленки, слои и поверхности, наиболее интенсивно используемые в производстве солнечных батарей материалы, за которыми следуют нанокристаллические материалы и наночастицы. Сегодня приложения нанотехнологией в области солнечных энергетики находятся на стадии фундаментальных исследований, за исключением тонких пленок и батарей на основа красителей и электролитов, находящихся на стадии первых производственных приложений.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Миличко В. А., Шапин А. С., Мухан И. С. идр. УФН. 2016, Т. 186. № 8, с 801-852
2. Green M.A. “Third Generation Photovoltaics” Berlin: Springer, 2003.

О СРЕДНИХ ЭНЕРГИЯХ РАСПЫЛЕННЫХ АТОМОВ

В.И. Шульга[1*)]
[1)] НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
[*)] e-mail: vish008@yandex.ru

Одной из характеристик потока распыленных частиц является их средняя энергия <*E*>, которая может быть рассчитана теоретически и измерена экспериментально. В работе методом компьютерного моделирования (программа OKSANA) проведен расчет энергетических спектров и угловых зависимостей <*E*> для ряда мишеней при распылении ионами инертных газов с энергией 1-10 кэВ. Результаты сравнивались с расчетами по другим программам, в частности ACAT /1/ и SRIM-2013 /2/ (Рис.1).

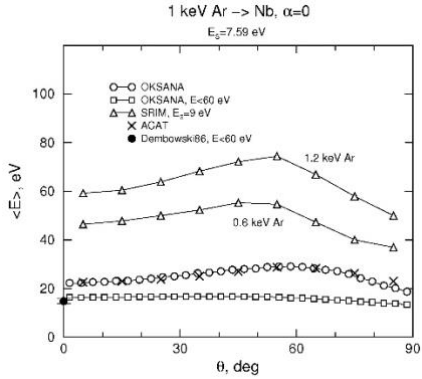


Рис.1. Зависимость <*E*> от угла вылета частиц θ для случая распыления Nb ионами Ar при угле падения $\alpha = 0$ (углы отсчитываются от нормали к поверхности). E_S – поверхностная энергия связи. • – эксперимент /1/, в котором регистрировались распыленные атомы с энергией $E < 60$ эВ.

Сравнение показало, что программа SRIM сильно завышает значения <*E*> в случаях, когда падающие частицы легче атомов мишени. В работе обсуждаются причины расхождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Dembowski, H. Oechsner, Y. Yamamura, M. Urbassek // NIMB, 1986, V.18, P.464.
2. N. Mahne, M. Čekada, M. Panjan // Coatings, 2023, V.13, P.1448.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ НЕУСТОЙЧИВОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ГИРОСКОПА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР

Чиркин М.В.[1], Устинов С.В.[2*], Мишин В.Ю.[1], Кочкин В.А.[2]
[1)]Рязанский Государственный Радиотехнический Университет имени В.Ф. Уткина,
г. Рязань, Россия.
[2)]Рязанское высшее воздушно-десантное командное училище имени В.Ф. Маргелова, г. Рязань, Россия.
[*)]ustinow62@yandex.ru

Цель работы. Обеспечить устойчивую работу кольцевого лазерного гироскопа в области малых токов разряда (I/r < 10 мА/см, I – ток в плече) в широком диапазоне изменения температуры окружающей среды.

Выявлено, что порог развития неустойчивости резко уменьшается с ростом температуры. Уменьшение постоянной составляющей тока в плече приводит к быстрому сжатию области устойчивого разряда [1]. Проведенные экспериментальные исследования величины и устойчивости критического тока в электрической цепи симметричного двухплечевого разряда в зависимости от величины напряжения горения, радиуса разрядного канала, температуры, состава и давления газовой смеси, частоты реакции Пеннинга, газового наполнения кольцевого гелий-неонового лазера, работы катода, активного и реактивного сопротивлений дополнительно показали, что уменьшение тока разряда лазера с холодным катодом:

- существенно снижает выделение тепловой энергии и уменьшает скорости деградации активного элемента лазера, а также позволяет снизить скорость катодного распыления;
- позволяет уменьшить скорость выделения посторонних примесей из стенок разрядного канала в газовое наполнение прибора, вызываемого ионной бомбардировкой;
- позволяет уменьшить дрейф характеристик активной среды в плечах разрядного промежутка и, как следствие, нестабильность дрейфа выходного сигнала кольцевого лазерного гироскопа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Климаков В.В., Мишин В.Ю., Серебряков А.Е., Чиркин М.В., Устинов С.В. Неустойчивость газового разряда в кольцевом лазере и эксплуатационная надежность лазерного гироскопа // XXXIII мультиконференция памяти Н.Н. Острякова. – Санкт-Петербург, 7-8 октября 2020 г. СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». – 2020. – С. 26 - 28.

ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ИОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ ГЕКСАБОРИДА ЛАНТАНА LaB_6 ИОНАМИ Cs^+.

Р. Джаббарганов[1) *], Б.Г. Атабаев[1)], А.С. Халматов[1)]
[1)] Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: rozmatdjabbarganov@gmail.com

Термоэлектронные катоды гексоборида редкоземельных металлов представляют большой практический интерес, в частности гексаборид лантана.

Катоды, изготовленные из гексаборидов редкоземельных металлов, не требуют специального активирования. Они достигают полной активности при нагреве в течение нескольких минут до 1400-1600^{0}С с целью обезгаживания. При этом гексаборид ланатана обладает большей эмиссией, чем окись тория. Эти катоды хорошо противостоят бомбардировке положительными ионами и не подвержены влиянию окислению на воздухе. Поэтому они нашли широкое применение в экспериментальных приборах. Большим достоинством катода этого типа является относительно низкая скорость испарения компонент катода при рабочих температурах.

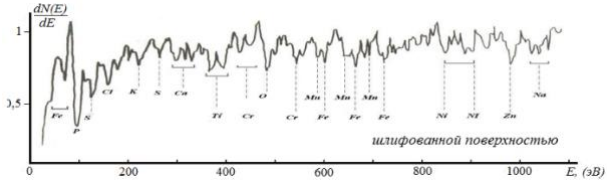
При масс-спектрометрическом исследовании отрицательно-ионного распыления гексаборида лантана получена информация о механизме активации и отравления катодов из LaB_6 и наличии на поверхности катодов электроположительных пленок. Поверхность с малой работой выхода использовалась нами в качестве материала – мишени для поисков отрицательных ионов бора и лантана при бомбардировке её положительными ионами цезия.

Масс-спектры отрицательно-ионного распыления гексаборида лантана после 30- ти минутного травления его поверхности ионами цезия с энергией 3,0 кэВ и плотностью тока 1 мка/см^2 показывают, что в составе продуктов распыления обнаруживаются атомарные и молекулярные ионы бора и его окислов: B, B_2^-, BO^-, B_2O^-, BO_2^-, BO_3^- и отсутствуют отрицательные ионы лантана.

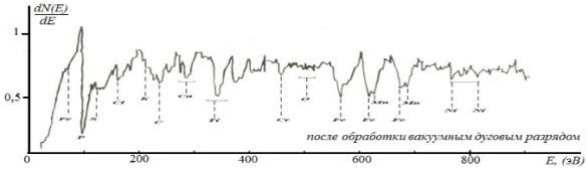
ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА ПОСЛЕ ПРОЦЕССА ПРЯМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РАЗРЯДА

Худайкулов И.Х[1)], В.Н. Арустамов[1*)]
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий им. У.А. Арифова
АН РУз, Ташкент, Узбекистан
v.arustamov@iplt.uz

Технологии очистки поверхности металлов от оксидов и загрязнений напрямую связаны с вакуумными ионно-плазменными технологиями. Он позволяет получить целенаправленно требуемые свойства поверхности материалов и обладает абсолютной экологической безопасностью. Работа посвящена изучению особенностей воздействия вакуумно-дугового разряда на поверхность металлов.



а



б

Рис.1. Энергетический спектр Оже-электронов, E_0=2,5 кэВ.

На рис.1а представлены энергетические спектры Оже-электронов, эмитированных поверхностью, стали после обработки образца дуговым разрядом в вакууме при начальной энергии электронов E_0=2,5кэВ.

Об этом свидетельствует уменьшение интенсивности Оже -пиков электронов P, S, Cl, Ka, Ca и других материалов, и, наоборот - рост интенсивности Оже-пиков Fe, Mn, Ni, Ti. Рост интенсивности Оже-пика электронов углерода и его форма указывают на то, что углерод на поверхности стального образца находится в связанном состоянии в виде карбидов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Moldahmetova, A. E., et al. "Vacuum-arc technology and equipment for cleaning and surface treatment of metal products operating under load." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 2388. No. 1. IOP Publishing, 2022.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛЕНОК Cu_xSi_{1-x} ПРИ РАСПЫЛЕНИИ СОСТАВНОЙ МИШЕНИ Cu-Si ИОННЫМ ПУЧКОМ

И.В. Польшин [1)], К.А. Барков [1], Е.С. Керсновский [1], В.А. Терехов [1], Д.Н. Нестеров [1], С.А. Ивков [1], А.В. Ситников [2]
[1)] ВГУ, Воронеж, Россия
[2)] ВГТУ, Воронеж, Россия
[*)] polshin@phys.vsu.ru

Система Cu-Si широко используется в микроэлектронике, катализе, а также представляет интерес в производстве нового типа литий-ионных аккумуляторов.

Исследуемые образцы пленок Cu_xSi_{1-x} были получены методом ионно-лучевого распыления составной мишени Cu-Si.Элементный состав пленок определялся методом обратного резерфордовского рассеяния. Был проведен анализ фазового состава, а также рассчитаны размеры нанокристаллов.

При содержании меди в пленке >36 вес. % основные дифракционные линии – это линии от высокотемпературных модификаций η-Cu_3Si и η”-Cu_3Si. Размер кристаллитов для них >100 и ~30 нм соответственно. Повышение концентрации Cu в пленке приводит к росту и перераспределению между собой интенсивностей этих рефлексов.

При содержании Cu ~51 вес. % размеры нанокристаллов изменяются до ~35 нм для фазы η-Cu_3Si и до ~45 нм для фазы η”-Cu_3Si, а при 60 вес. % до 40 и 25 нм соответственно. Дальнейшее увеличение концентрации до 68 вес. % к изменению размеров кристаллитов не приводит.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10294, https://rscf.ru/project/23-79-10294/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Li H. et al. The crystal structural evolution of nano-Si anode caused by lithium insertion and extraction at room temperature //Solid State Ionics. – 2000. – V. 135. – №. 1-4. – P. 181-191.

РАСПЫЛЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВЫСОКОФЛЮЕНСНОМ ОБЛУЧЕНИИ ПОТОКОМ КИСЛОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ

В.Н. Черник[1)], Л.С. Новиков[1)]
С.П. Соколова[2)], А. О. Куриленок[2)], Ю.В. Поручикова[2)]
[1)]НИИЯФ МГУ, Москва, Россия.
[2)]ПАО «РКК «Энергия», г. Королев, Россия
vlachernik@yandex.ru

Полимерные покрытия применяются на поверхности низкоорбитальных космических аппаратов (КА), где они подвергаются агрессивному воздействию набегающего потока атомарного кислорода (АК). При длительном пребывании на орбите (10-20 лет) флюенс АК достигает 10^{22} см$^{-2}$ и более. В таких условиях исходная поверхность большинства типов полимеров разрушается на глубину в несколько сотен микрон, что нарушает работоспособность материалов конструкций на наружных поверхностях КА. При создании перспективных стойких к АК материалов требуется проведение ускоренных экспериментальных исследований в лабораторных условиях в потоках АК. В данной работе проведены исследования перспективных полимерных покрытий, предполагаемых для применения на низкоорбитальных КА, с имитацией воздействия потоков с флюенсом до 10^{22} см$^{-2}$. Исследованы 3 типа покрытий на основе кремнийорганических полимеров: композиция ЭКТ-ПЦ, лак ЭКТ, герметик УФ-7-21. В таблице приведены коэффициенты эрозии покрытий **R**. 10^{-24} г/атом О при увеличении флюенса F, от (1,4 до 10,2) 10^{21} см$^{-2}$

F, 10^{21} см$^{-2}$		1.4	2.2	4.5	7.1	10.2
№1	ЭКТ-ПЦ	0.077	0.06	0.039	0.044	0.040
№2	Лак ЭКТ	0.24	0.067	0.036	0.031	0.032
№3	УФ-7-21	0.14	0.085	0.044	0.04	0.016

По сравнению с полиимидом, у которого **R**=4,2 10^{-24} г/ат О, наблюдается уменьшение **R** на 2 порядка и более. В докладе рассматривается методика облучения потоком кислородной плазмы с высоким флюенсом АК и проводится обсуждение и сравнение полученных результатов с известными экспериментальными данными.

РАСЧЕТ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ СВЯЗИ АТОМОВ В НИКЕЛЬ-ПАЛЛАДИЕВЫХ СПЛАВАХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МОЛЕКУЛЯНОЙ ДИНАМИКИ

М.С. Шилов[*1)], А.В. Назаров[2)], В.С. Черныш[1,2)]
[1)] МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет Москва, Россия
[2)] МГУ им. М.В. Ломоносова, научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына, Москва, Россия
[*)] e-mail: shilov.ms18@physics.msu.ru

Поверхностная энергия связи определяется как энергия, которую необходимо приложить для удаления атома с поверхности мишени на бесконечность. Знание этой величины необходима для расчёта коэффициента распыления. Зачастую в качестве приближения поверхностной энергии связи используется энергии когезии. Более того, для многокомпонентных мишеней в качестве энергии связи компонентов используются величины для соответствующих чистых материалов. Всё это приводит к значительным ошибкам при расчётах коэффициентов распыления.

В данной работе с помощью молекулярно-динамического (МД) моделирования была рассчитана поверхностная энергия связи атомов на поверхности сплавов Ni_xPd_y. Исследованы зависимости поверхностной энергии связи компонентов сплава от их концентрации. Данные зависимости рассчитаны для различных кристаллографических ориентаций поверхности.

Полученные результаты позволяют как более точно аналитически оценивать парциальные коэффициенты распыления при облучении многокомпонентных мишеней, так и могут быть использованы при моделировании распыления методом бинарных столкновений.

СОСТАВ И СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК $NiSi_2$/Si, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ТВЕРДОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ

А.К. Ташатов[1)], Н.М. Мустафоева[2*)]
[1]Каршинский государственный университет, г. Карши, Узбекистан
[2]Каршинский институт ирригации и агротехнологий, г. Карши, Узбекистан
[*]mustafoyevan@gmail.com

Данная работа посвящена изучению состава и электронной структуры нанопленок $NiSi_2$, полученных на поверхности Si(111) с использованием метода твердофазного осаждения.

На рис. приведены фотоэлектронные спектры Si(111) и Si с нанокристаллами и нанопленкой $NiSi_2$, полученные при $h\nu = 10.8$ эВ. Видно, что форма и положения основных пиков толстой пленки $NiSi_2$ (h = 200 Å) существенно отличаются от формы и положения пиков для Si. При этом в спектре обнаруживаются пики с энергиями $E_{св}$ = –0.3; –0.9; –2.2; –4.2 эВ. Анализ этого спектра и сравнение его со спектрами Si и Ni дает возможность предположить, что пик $E_{св}$ = –0.3 эВ формируется вследствие гибридизации M_3 состояний кремния и M_5 состояний Ni, пик $E_{св}$ = –0.9 эВ – вследствие гибридизации M_2 состояния Si и M_3 состояния Ni, пик $E_{св}$ = –2.2 эВ – вследствие гибридизации M_1 состояния Si и M_4 состояния Ni, а пик $E_{св}$ = –4.2 эВ, по-видимому, относится к Si.

Пленки $NiSi_2$ с h = 50 Å имеют островковый характер, поэтому в его спектре обнаруживаются пики, характерные как для Si, так и $NiSi_2$.

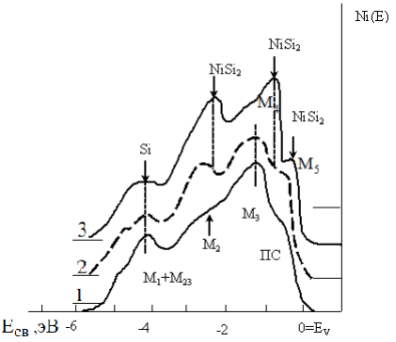


Рис. УФЭС Si с нанопленкой $NiSi_2$ толщиной, Å:0(*1*),50(*2*),200 (*3*).

Таким образом, на основе анализа экспериментальных результатов можно заключить, что в процессе твердофазного осаждения Ni в Si в сочетании с отжигом на поверхности Si формируются эпитаксиальные нанопленки $NiSi_2$. При толщинах $h \leq 150$ Å пленки имеют островковый характер. Из-за близости параметров решетки $NiSi_2$ и Si на границе $NiSi_2$/Si не возникает заметного напряжения и, следовательно, формируется сравнительно узкий переходной слой (50–60 Å). Показано, что ширина запрещенной зоны E_g нанослоев $NiSi_2$ равна ~0.58 eV.

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОМ СПЛАВЕ HfNbZrTi ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ ГЕЛИЯ И КРИПТОНА

В.В. Углов[*1)], С.В. Злоцкий[1)], И.В. Сафронов[1)], И.А. Иванов[2)], А.Е. Рыскулов[2)], Б.С. Аманжулов[2)], А.Е. Курахмедов[2)]
[1)]Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
[2)]Институт ядерной физики МЭ РК, Астана, Казахстан
[*)]e-mail: uglov@bsu.by

Высокоэтропийные (ВЭСы) сплавы HfNbZrTi были получены методом дуговой плавки с последующей гомогенизацией. Далее проводился отжиг на протяжении 24 ч и 72 ч при температуре 1150 °C с промежуточной холодной прокаткой до 85 % сокращения толщины. Образцы облучались на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-60 ионами гелия с энергией 40 кэВ с флюенсом 2×10^{17} см$^{-2}$ и ионами криптона с энергией 280 кэВ с флюенсом 5×10^{15} см$^{-2}$ при температуре 700°C.

Методом рентгеноструктурного анализа выявлено, что высокотемпературное облучение ионами гелия или криптона приводит к распаду твердого раствора (Hf,Nb,Zr,Ti) с образованием ГПУ и ОЦК фаз. При этом обнаружено, что облучение ионами гелия и последующий высокотемпературный отжиг приводит к другому характеру распада твердого раствора (Hf,Nb,Zr,Ti).

В работе обсуждаются механизмы образования и роста радиационных дефектов в ВЭСах при высокотемпературном облучении и при пострадиационном отжиге. Также было рассмотрено влияние стоков на структурно-фазовое состояние исходного метастабильного ВЭС HfNbTiZr с ОЦК решеткой.

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP19579188).

УДАЛЕНИЕ МЕТИЛЬНЫХ ГРУПП С ПОВЕРХНОСТИ LOW-K ДИЭЛЕКТРИКОВ ПЛАЗМОЙ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА

А.А. Соловых[*1,2)], А.А. Сычева[2)], Е.Н. Воронина[1,2)]
[1)] МГУ имени М. В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, Россия
[2)] НИИ ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия
[*)] e-mail: solovykh.aa19@physics.msu.ru

Диэлектрики с низкой диэлектрической проницаемостью k (low-k) являются наиболее перспективными межслойными изоляторами в сверхбольших интегральных схемах [1]. Для обеспечения низких значений k такие материалы содержат наноразмерные поры, поверхность которых покрыта гидрофобными метильными CH_3-группами. С целью предотвращения диффузии атомов меди, из которой изготавливаются проводящие элементы, на поверхность low-k пленок необходимо наносить ультратонкие барьерные слои, однако эта задача усложняется наличием на поверхности гидрофобных CH_3-групп.

Ранее в [2,3] на основе квантовомеханического моделирования было показано, что эффективным способом удаления метильных групп с low-k поверхности без повреждения пленки является воздействие ионов инертных газов низкой (10–20 эВ) энергии. В настоящей работе было исследовано воздействие ионов и радикалов плазмы N_2 и O_2 и выполнен сопоставительный анализ с полученными ранее результатами.

Работа выполнена при поддержке фонда «Базис» (грант № 23-2-9-53-1).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Baklanov M. R., Ho P. S., Zschech E. Advanced Interconnects for ULSI Technology, Wiley & Sons, 2012.
2. Voronina E. N., Sycheva A. A., Solovykh A. A., et al. // J Vac. Sci Technol. B, 2022, v. 40, no. 6, 062203.
3. Соловых А. А., Сычева А. А., Воронина Е. Н. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2023, № 2, 63.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЗАЖИГАНИЯ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДУГОВОГО РАЗРЯДА В ТРЕХЭЛЕКТРОДНОМ РАЗРЯДНИКЕ

С.В. Николин[2)], С.С. Волков[1)]
[1)]Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище, г. Рязань, Россия,
[2)]АО «Плазма», ул. Циолковского, 24, г. Рязань, Россия
volkovstst@mail.ru

Целью данной работы являлось исследование процессов зажигания дугового разряда и управления местоположением горения разряда, направленное на определение условий увеличения ресурса работы разрядника.

Для защиты сильноточного электрооборудования от токов коротких замыканий и атмосферных разрядов используют дуговые разрядники одноразового действия. Разработанные разрядники многоразового действия /1/ позволяют получить большой технико-экономический эффект, создают базу качественно новой надежности работы сильноточного электрооборудования в целом. В работе представлены результаты исследований начального процесса разряда, развивающегося в разряднике по двум видам: с участием атомов электрода и в полевом приповерхностном пространстве поджигающего электрода. При газовой составляющей тока, большей поверхностной составляющей, магнитное поле движущихся зарядов сжимает поток зарядов и отделяет его полностью от электрода поджига. Одновременно происходит перераспределение электрического поля между основными электродами от квазилинейного до типичного распределения начала самостоятельного разряда. Распределение поля переводит разряд от поджигающего электрода к основному внутреннему электроду разрядника. Это зависит от состава и от формы электрода /2/. В работе исследованы взаимодействия между электродами и плазмой стационарной дуги, а также перемещения разряда магнитным полем контура тока.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гайнутдинов К.С., Николин С.В., Николюкин Ю.В., Самородов В.Г. / Патент РФ №2366051 от 07.06.2008.
2. Николин С.В., Волков С.С., Китаева Т.И. // Известия РАН. Сер. физ. 2020. Т.84. № 6. С. 817.

CANDIDATE FOR SYNTHESIZING ENDOHEDRAL GRAPHENE NANORIBBON WITH PRECISE CHIRALITY

K.K Mehmonov[1*)], A.A. Ergasheva[1)], U.B. Uljaev[1)], and U.B. Khalilov[1,2)]
[1)]Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Tashkent, Uzbekistan
[2)]University of Antwerp, Antwerp, Belgium
[*)]e-mail: kamoliddin.mehmonov@iplt.uz

While current research enables the synthesis of graphene nanoribbons (GNRs) within single-walled carbon nanotubes (SWNTs) [1], achieving the synthesis of GNRs with precise chirality remains challenging. In this regard, we investigate the catalytic synthesis of endohedral GNRs from various hydrocarbon molecules using molecular dynamics simulations. A nickel cluster is introduced as a catalyst in the (10,10) tube. Preliminary results indicate the possibility of synthesizing a precise edge structure (e.g., 4-ZGNR) using the acetic acid (CH_3COOH) precursor (Fig. 1*a*). Specifically, after saturating the catalyst nanoparticle with dissolved carbon atoms, adsorbed and dissociated molecules/atoms contribute to the formation of incipient carbon nanostructures (Fig. 1*b*), similar to catalytic SWNT nucleation [2].

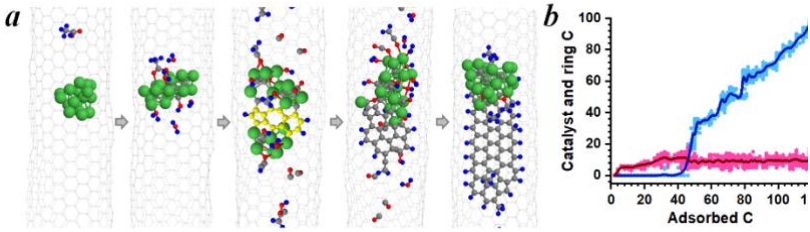


Fig.1 *a*) Growth process of GNR from acetic acid molecule. Here, Ni, C, O and H atoms in green, grey, red and blue colors, respectively. b) Distribution of adsorbed C atoms to the concentration of catalyst C atoms (pink) and ring-related C atoms (blue) during the growth of GNR

REFERENCES

1. U. Khalilov et al., Carbon 2021, **171**, 72.
2. U. Khalilov et al., Nanoscale Horizons 2019, **4**, 674.

ТОПОГРАФИЯ ПОВЕРХНОСТИ МАГНИЯ ПОСЛЕ ЕГО ОБРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫМ ПОТОКОМ ИОНОВ УГЛЕРОДА

А.Е.Лигачев[1*)], М.В.Жидков[2)], Г.В.Потемкин[3)], Б.Л.Бобрышев[4)], Г.Е.Ремнев[3)], Е.А. Лигачев [5)]
[1)]Институт общей физики РАН, Москва, Россия
[2)] ИПХФ РАН, Черноголовка, Россия
[3)] Томский политех. университет, Томск , Россия
[4)] МАИ, Москва, Россия
[5)]РАНХиГС
[*)] carbin@yandex.ru

Исследовано влияние импульсного потока ионов на на топографию поверхности технически-чистого магния. Облучение проводили с использованием ускорителя ионов углерода ТЕМП [1]. Длительность импульса излучения равнялась 100 нс, энергия, однозарядных ионов углерода E = 250 кэВ.

Установлено, что в результате плавления и последующего затвердевания на поверхности магния формируется кратеры и области с застывшими участками в виде волн жидкого металла. . Также, в результате быстрой кристаллизации жидкого поверхностного слоя на нем наблюдаются капли и области в виде крупных островков застывшего жидкого металла форма которых похожа на участки после лазерного воздействия на магний [2].

Л И Т Е Р А Т У Р А

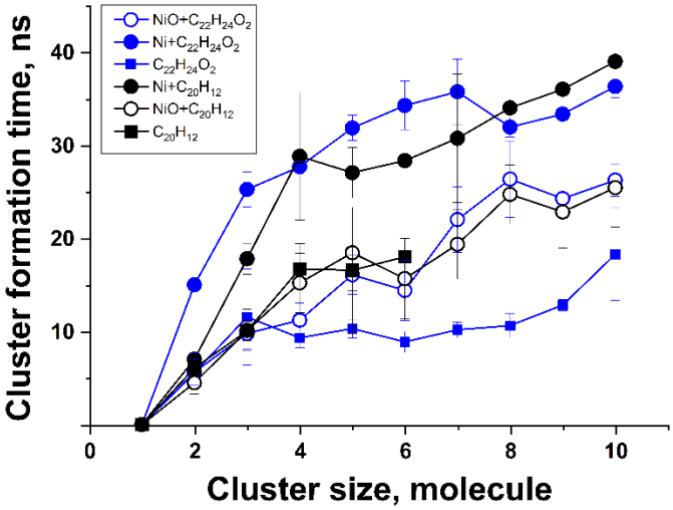
1. Ремнев Г.Е., Исаков И.Ф., Матвиенко В.М. Источники мощных ионных пучков для практического применения. Изв. вузов. Физика,1998, №4, с. 92-110.
2. И.А. Бакулин, С.И. Кузнецов, А.С. Панин, Е.Ю. Тарасова Лазерная ударная обработка сплава АМг6 без защитного покрытия. Физика и химия обработки материалов 2021, № 1,с.3-8.

NANOPARTICLES FOR PERYLENE CLUSTERING RETARDATION

D. Husanova[1,*], K. Mehmonov[1], U. Khalilov[1,2]
[1)] Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Tashkent, 100125, Uzbekistan
[2)] University of Antwerp, Antwerp, 2610, Belgium
[*)] e-mail: dilfuzahusanova75@gmail.com

The understanding of the cluster prenucleation stage is crucial for elucidating the nucleation stage of organic crystal growth [1, 2]. We found that the introduction of Ni or NiO catalyst nanoparticles into the perylene-based environment significantly delays cluster formation.

Fig.1 The relationship between cluster formation time and cluster size



Specifically, the clustering process is notably more delayed with Ni nanoparticles in comparison to NiO nanoparticles.

REFERENCES

1. D. Gebauer et al., Chemical Society Reviews 2014, 43, 2348.
2. D. Husanova, J. Ochilov, U. Khalilov, Chemical Physics 2024, 579, 112191

ДВУХСЛОЙНАЯ МОДЕЛЬ ЗАРЯДКИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРОННОЙ БОМБАРДИРОВКЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ МИШЕНИ

Ф.Д. Акбарова[1*)], У.Б. Шаропов[2)]

[1]Институт материаловедения, АНРУз, Ташкент, Узбекистан
[2]Физика технический институт, АНРУз, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: akbarovaferuza580@gmail.com

При низкоэнергетическом облучении электронами (E=0÷600 эВ) на поверхности кристаллов оксида цинка было обнаружено зарядка поверхности [1]. По нашему мнению, низкоэнергетическое облучении электронами поверхности кристаллов оксида цинка, стимулирует три типа диссоциативных процессов, которые происходят непосредственно в результате неупругих столкновений электронов с анионами и катионами поверхности.

К настоящему времени разработан двухслойная модель зарядки поверхности при электронной бомбардировке диэлектрической мишени, согласно которой, образуется слой положительного или отрицательного заряда из-за эмиссии вторичных электронов. Также по нашим данным, подложка ZnO ($000^{-}1$) имеет поверхность с высокой реакционной способностью (поверхность ограничено ионами кислорода), который при облучении электронами приводит к образованию дополнительного слоя зарядового барьера, создающий потенциал.

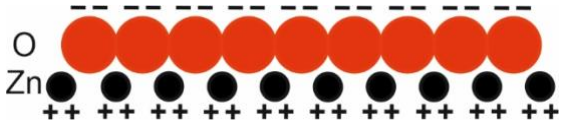


Рис.1 Двухслойная модель зарядки поверхности при электронной бомбардировке полупроводниковой мишени

РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В НАНОСТРУКТУРАХ (НАНО- И БИО-ОБЪЕКТЫ). ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, СИНХРОТРОННЫЕ И НЕЙТРОННЫЕ МЕТОДЫ

МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В МАГНЕТИТЕ

В.А. Андрианов[1*)], А.Л. Ерзинкян[1)], А.А. Буш[2)],
П.А. Федин [3)], К.Е. Прянишников[3)], Т.В. Кулевой[3)]
[1)] НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
[2)] МИРЭА, Москва, Россия
[3)] НИЦ “Курчатовский институт”, Москва, Россия
[*)] e-mail: andrva22@mail.ru

Радиационные повреждения в неорганических материалах заметно отличаются от повреждений в металлах и сплавах. При прохождении заряженных частиц в них образуются латентные треки и при больших дозах характерны аморфизация и разрушение материала. В настоящей работе кристаллы магнетита Fe_3O_4 облучались ионами Fe энергией 5.6 МэВ и флюенсом 10^{14} ионов/см^2. Облучение проводилось на ускорителе ТИПр в ИТЭФ. Согласно расчетам, первичные радиационные дефекты образовывались на глубине до 2.5 μм и имели концентрацию до 15 ат.%.

В работе были использованы метод конверсионной мессбауэровской спектроскопии (КЭМС) и метод рентгеновской мессбауэровской спектроскопии (Х-МС) на ядрах ^{57}Fe. Первый метод дает информацию о поверхностном слое толщиной ≈ 0.5 мкм, 2-ой – о слое толщиной до ≈ 36 мкм. Мессбауэровские спектры содержали стандартные секстеты ионов Fe в А и В подрешетках. Однако, спектр КЭМС облученного образца содержал также квадрупольные дублеты, отвечающие немагнитной фазе FeO. Эта фаза имела интенсивность около 10% и образовалась в поверхностном слое как результат радиационного воздействия.

В докладе рассматриваются детали эксперимента и возможности мессбауэровской спектроскопии в исследованиях радиационных дефектов.

СИСТЕМА ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ СОВМЕСТНОГО АНАЛИЗА EXAFS И EXELFS ДАННЫХ

И.К. Аверкиев, О.Р. Бакиева
УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Россия
*) e-mail: averkiev1997@mail.ru

Создание современных материалов требует комплексного подхода к исследованиям их структурных характеристик. Методы исследования, основанные на дифракционных явлениях в этих случаях не всегда применимы. Поэтому для исследования структурных характеристик, а именно локальной атомной структуры применяется метод EXAFS-спектроскопии, основанный на поглощении рентгеновского излучения и метод EXELFS-спектроскопии, основанный на электронном возбуждении. Поскольку спектры, полученные как с помощью рентгеновского, так и электронного возбуждения имеют одну природу – рассеяние вторичного электрона/фотоэлектрона на ближайшем окружении возбуждаемого атома, то анализ экспериментальных данных можно проводить в рамках решения одной задачи.

В работе представлен алгоритм объединения данных двух независимых экспериментов, EXAFS и EXELFS-спектроскопии, одну систему интегральных уравнений Фредгольма первого рода (обратная некорректно поставленная задача) и решении ее методом регуляризации по Тихонову. Предложенный алгоритм был апробирован на системах металл/легкий элемент (на соединениях Ti, TiH_2, TiC, Ti_2AlC). В ходе работ получены параметры локальной атомной структуры: длины химической связи, координационные числа, параметры тепловой дисперсии атомов. Предложенная методика определения параметров локальной атомной структуры может быть использована для широкого круга наноструктурированных материалов.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ №1022040600207-2. Исследования проводились в центре коллективного пользования «Поверхность и новые материалы» УдмФИЦ УрО РАН.

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ОБЪЯСНЯЮЩАЯ НЕОДНОРОДНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ГЛУБИНЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ В ДИЭЛЕКТРИКАХ, ПОДВЕРГНУТЫХ ЭЛЕКТРОННОМУ ОБЛУЧЕНИЮ

О.А. Подсвиров, Д.А. Соколова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия
olegpodsvir@mail.ru

В научной литературе, посвященной изучению формирования металлических наночастиц в оптических диэлектриках (стекла, кристаллы и др.) в результате облучения электронами, было отмечено неоднородное (слоистое) распределение плотности наночастиц по глубине (см. Рис.1)

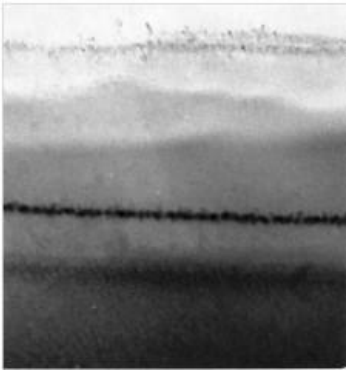


Рис.1 TEM изображение (поперечный срез) слоев наночастиц Ag в ФТР стекле после электронного облучения и термообработки: (E=30 keV, Q=100mC/cm^2, t=500ºC, 6h). [1]

Однако до настоящего времени разумного объяснения такой слоистости предложено не было.

В настоящей работе предлагается физическая модель, объясняющая появление неоднородностей плотности наночастиц по глубине. Это связано, во-первых, с неоднородным распределением по глубине внедренных электронов и, во-вторых, с одновременно протекающим процессом вторичной электронной эмиссии, приводящей к образованию у поверхности тонкого положительно заряженного слоя. Учитывая полевую миграцию металлических ионов и нейтрализованных атомов в таких полях, можно получить и окончательное распределении наночастиц по глубине, в том числе и после термообработки.

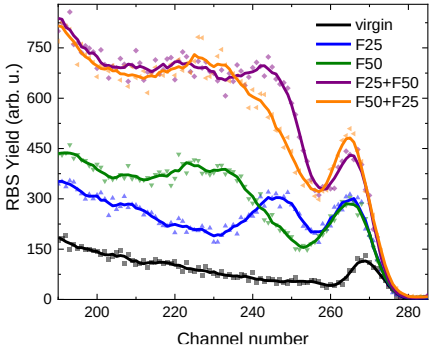
ЛИТЕРАТУРА

1. А.И. Игнатьев, А.В. Нащекин, В.М. Неведомский, О.А. Подсвиров, А.И. Сидоров, А.П. Соловьев, О.А. Усов, //Журнал Технической Физики 2011, том 81, вып. 5, с.75-80.

НЕКОММУТАТИВНОСТЬ НАКОПЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В АЛЬФА-ОКСИДЕ ГАЛЛИЯ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ УСКОРЕННЫХ ИОНОВ

А.И. Клевцов*, К.В. Карабешкин, П.А. Карасев,
Е.Д. Федоренко, А.И. Титов
Политехнический ун-т Петра Великого, СПб, Россия
*e-mail: klevtsovanton@rambler.ru

Во многих случаях накопление структурных нарушений является нелинейным процессом. В результате профиль их распределения при последовательном облучении ионами разных энергий и/или типов не являться просто суммой профилей дефектов, созданных имплантацией отдельных типов ионов с соответствующей энергией и дозой. Кроме того, результат зачастую зависит и от того, в какой последовательности осуществлялось облучение (см., напр., для Si /1/, для GaN /2/).



Мы исследовали накопление дефектов в α-Ga_2O_3 при последовательной имплантации ионов F и P разных энергий. Концентрация введенных дефектов определялась с помощью RBS/C. В качестве примера на рисунке показаны спектры для α-Ga_2O_3 облученного ионами F сначала с энергией 25 кэВ, а затем с энергией 50 кэВ до одинаковой дозы 1,5 dpa, и теми же ионами с теми же энергиями и дозой, но в обратном порядке. Видно драматическое различие в уровнях повреждения материала при изменении порядка бомбардировки.

Результаты сравниваются с облучением парой ионов F-P.

Работа поддержана грантом РНФ № 22-19-00166.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.А. Аброян и др.//ФТП, 1981, Т. 15, С. 165–168.
3. Titov A.I. et el.//Vacuum, 2020, Т. 173, С. 109149.

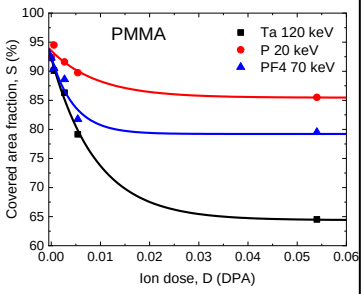
ОСОБЕННОСТИ ИОННО-СТИМУЛИРОВАНОГО ФОРМИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКИ

В.М.Студзинский[1,2], А.И.Клевцов[1], М.В.Мишин[2], Е.Д.Федоренко[1], П.А.Карасев[1]
[1] Политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия
[2] Алферовский университет, Санкт-Петербург, Россия

В работе исследовался процесс формирования наночастиц из слоя золота толщиной 5 нм на плёнках ПММА и полистирола толщиной 100 нм под действием облучения ионами P, PF_4 и Ta с энергией 0.6 кэВ/а.е.м. Сравнение экспериментальных данных проводилось при одинаковом количестве смещений атомов золота (DPA). Нами регистрировалась зависимость площади поверхности образца, занятой золотом, от дозы облучения (см. рис.). Значения были получены путем обработки исходных СЭМ изображений.

Установлено, что данная зависимость с хорошей точностью аппроксимируется функцией вида:

$$S(D)=C_1+C_2\cdot\exp(-D/C_3),$$



Зависимость площади занятой золотом на ПММА от дозы облучения ионами P, PF_4 и Ta.

описывающей уменьшение площади, занимаемой металлом на поверхности образца в ходе твердофазного сворачивания золота с ростом дозы ионов. Этот процесс обусловлен минимизацией поверхностной энергии вследствие ионно-стимулированного вязкого течения слоя металла по несмачиваемой поверхности при температуре значительно ниже плавления пленки. Кроме того, с ростом дозы облучения начинает играть роль модификация свойств полимера под действием ионной бомбардировки.

В докладе обсуждается влияние типа ионов и полимерной подложки на результат сворачивания, физический смысл коэффициентов модельной функции.

Работы в Алферовском Университете выполнялись в рамках госзадания Минобрнауки РФ № FSRM-2023-0009.

РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПРОДУКТАХ ПИТАНИЯ ПРИ ПЕРЕЛЕТЕ К ЛУНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛОЙ ТЯГИ

А.Н. Турундаевский[1*)], Д.М. Подорожный[1)], К.Р. Рахимчанова[1)]
[1)] НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
[*)] e-mail: turun1966@yandex.ru

В настоящее время рассматривается вопрос о возможности долговременной обитаемой станции на Луне. Важной проблемой является снабжение. Перспективным вариантом представляется применение аппаратов с двигателями малой тяги для доставки груза с меньшими затратами, чем с ЖРД. Но время полета может составлять до года /1/, причем значительное время аппарат находится внутри радиационных поясов. Груз подвергается длительному воздействию радиации. Радиационный фон формируется частицами радиационных поясов, а также потоками ГКЛ и СКЛ. Для оценки потоков использовалась программа COSRAD /2/.

Ранее были сделаны оценки поглощенных доз. Оказалось, что при отсутсвии дополнительной защиты дозы превышают предельные. Это вызывает химические изменения в продуктах.

Другая опасность – накопление в продуктах радионуклидов. Предварительное моделирование взаимодействия протонов космических лучей с веществом показало, что основным радионуклидом, накапливающимся в пищевых продуктах, является тритий. Энергия электронов, образующихся при его распаде мала (в среднем 5.7 кэВ), но при попадании трития в организм могут быть негативные последствия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Старинова О.Л. Расчет межпланетных перелетов космических аппаратов с малой тягой. Самара, СНЦ РАН, 2007, 196 стр.
2. Кузнецов Н.В., Малышкин Ю.М., Николаева Н.И. и др. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру, 2011, №2, С.72.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ БИОСОВМЕСТИМЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА

Е.А. Большевич[1*)], А.В. Шабалина[1)], Н.В. Артюхова[1)], М.И. Кафтаранова[1)], С. Пахолкина[1)], С.Г. Аникеев[1)]
[1)] Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
[*)] bolshevich-elena@mail.tsu.ru

Применение никелида титана (TiNi) для изготовления медицинских изделий обусловлено сочетанием высоких параметров биосовместимости, физико-механических характеристик и функциональных свойств, таких как эффект памяти формы и сверхэластичность. Тонкий слой оксидной пленки на поверхности материала на основе TiNi обеспечивает высокую коррозионную устойчивость. Тем не менее, потенциал пассивного разрушения такой пленки иногда очень низок из-за ее дефектной структуры, что приводит к активным процессам растворения. TiNi без оксидной пленки при длительной эксплуатации может подвергаться электрохимической коррозии, что может привести к выходу ионов никеля в организм человека, а также в охрупчиванию материала. В данной работе представлены результаты исследования коррозионной устойчивости новых композитных материалов на основе никелида титана в среде, имитирующей биологическую (0,9% NaCl).

По данным, полученным при анализе поляризационных кривых Тафеля, установлено, что электронно-пучковая обработка положительно влияет на коррозионную устойчивость материала: скорость коррозии необработанного образца на порядок больше образцов, подвергшихся обработке. Микроскопические исследования показали изменение структуры поверхности образцов после электрохимической обработки, а именно образование локальных разрушений поверхности: язв, питтингов. Наиболее заметны эти изменения на поверхности образца, не подвергшегося электронно-пучковой обработке, что подтверждает результаты электрохимических испытаний. Исследуемые композитные образцы имеют скорость коррозии ниже, чем у титановой пластины, а следовательно, перспективны для изготовления имплантатов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-79-10045, https://rscf.ru/project/19-79-10045/

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАНИРОВАНИЯ $CuBi_2O_4$ ТОНКИХ ПЛЕНОК ОТ γ-ИЗЛУЧЕНИЯ

М.Е. Калиекперов[1,2 *)], Д.И. Шлимас[1,2)]
[1)] ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
[2)] Астанинский филиал ИЯФ РК, Астана, Казахстан
[*)] e-mail: kaliekperov_mye_2@enu.kz

В данной работе была проведена оценка экранирующих параметров $CuBi_2O_4$ тонких пленок, полученных методом электрохимического осаждения, а также произведен сравнительный анализ слоя половинного поглощения (HVL) полученных образцов с другими композитными материалами из литературных данных при облучении γ квантами с энергиями 122, 662 и 1270 кэВ (см. Рис 1).

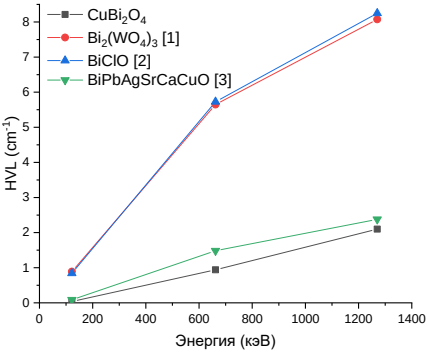


Рис.1. Сравнение величин HVL для различных материалов

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что $CuBi_2O_4$ тонкие пленки демонстрируют высокие показатели эффективности экранирования γ-излучения, превышающие аналогичные параметры у приведенных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yılmaz M., Akman F. //Applied Radiation and Isotopes, 2023, Т. 200, С. 110994.
2. Sharma A. et al. //Materials Chemistry and Physics, 2020, Т. 241, С. 122330.
3. Kaya S. //Applied Sciences, 2023, Т. 13, №. 14, С. 8358.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МИКРОПОРОШКА ZrO_2, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ MgO

М.М. Михайлов, Д.С. Федосов[*)], В.А. Горончко, А.Н. Лапин, С.А. Юрьев
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), Томск, Россия
[*)] e-mail: dmitrii.s.fedosov@tusur.ru

Для использования в терморегулирующих покрытиях (ТРП) космических аппаратов класса «оптические солнечные отражатели» особый интерес в качестве пигментов представляют порошки диоксида циркония (ZrO_2). Основной рабочей характеристикой ТРП являются интегральный коэффициент поглощения солнечного излучения (a_s). Эффективным способом увеличения радиационной стойкости оптических свойств материалов (как органических, так и неорганических) к различным видам излучений является их модифицирование наночастицами оксидных соединений.

В работе представлены результаты исследований коэффициента поглощения a_s и его изменений после облучения электронами (E=30 кэВ, Ф= $2 \cdot 10^{16}$ $см^{-2}$) микропорошка ZrO_2, модифицированного наночастицами оксида магния ($mZrO_2$/ nMgO) с концентрациями от 0,1 до 10 масс. %.

C, масс. %	Исх.	0,1	1	3	5	10
a_s	0,046	0,038	0,041	0,050	0,069	0,089
Δa_s	0,035	0,023	0,022	0,024	0,021	0,022

Таблица 1 – Зависимость коэффициента поглощения a_s порошка $mZrO_2$/nMgO и его изменений после облучения электронами Δa_s от концентрации наночастиц

Из таблицы следует, что по совокупности значений a_s и Δa_s оптимальной является концентрация наночастиц 0.1 масс. %

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 21-72-10032, https://rscf.ru/project/21-72-10032/.

THE PERFORMANCE OF ION IRRADIATED MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES-BASED FILTERS FOR METHYLENE BLUE REMOVAL FROM WATER RESOURCES

Emad M. Elsehly[1, *)], N.G. Chechenin[2])
[1)] Damanhour University, Egypt
[2)] SINP MSU, Russia
[*)] elsehlyfigo@yahoo.com

In the current investigation, the irradiation of the multi-walled carbon nanotubes (MWNTs-TM) is conducted to enhance the adsorption potential applications. Multiwalled carbon nanotubes (MWNTs) were irradiated by He^+ ions of the energy E=100 keV [1]. The irradiated tubes were investigated by scanning electron microscopy, and transmission electron microscopy to characterize the surface morphology of the irradiated MWNTs. Meanwhile, X-ray diffraction (XRD), and energy dispersive X-ray analysis (EDX) were employed to account for the structure and elemental composition, respectively. The data obtained from these investigations revealed a notable decrease in the diameter and length of the tubes. The adsorption efficiency of ion irradiated MWNTs was examined by removal of methylene blue from aqueous solutions. The results demonstrated that the removal percentage of the prepared samples could reach 85%. Irradiated MWNTs have greater surface area than pristine ones, which improves the efficiency of MWNTs-based filters for water purification applications. The ion irradiation process provides an effective approach to modify MWNTs and significantly control their adsorption efficiency.

REFERENCES

1. Elsehly, E.M., Chechenin, N.G., Makunin, A.V. et al. He ion irradiation effects on multiwalled carbon nanotubes structure. Eur. Phys. J. D 71, 79 (2017). https://doi.org/10.1140/epjd/e2017-70658-0.

ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ УФ И ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА СПЕКТРА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ДВУХСЛОЙНЫХ ПОЛЫХ ЧАСТИЦ SiO_2/ZnO

Д.С. Федосов[1)], В.В. Нещименко[*1,2)], М.М. Михайлов[1)], С.А.Юрьев

[1)] Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия
[2)] Амурский государственный университет, Благовещенск, Россия
[*)] e-mail: v1ta1y@mail.ru

В настоящей работе представлены исследования спектров диффузного отражения, их изменений после облучения квантами света УФ и видимого диапазона на оптические свойства покрытий на основе двухслойных полых частиц SiO_2/ZnO и кремнийорганического лака. Облучение осуществляли светом ксеноновой дуговой лампы, имитирующим спектр излучения Солнца, с интенсивностью 3 эсо. Полученные спектры диффузного отражения позволили установить, что исследуемые покрытия на основе двухслойных полых частиц SiO_2/ZnO имеют высокие значения коэффициента отражения во всем спектральном диапазоне по сравнению с покрытиями на основе сплошных объемных микрочастиц ZnO. Фотостойкость исследуемых полых частиц оценивали по разностным спектрам диффузного отражения ($\Delta\rho_E$). Анализировали значения интегрального коэффициента поглощения солнечного поглощения α_s. Из полученных спектров $\Delta\rho_E$ следует, что при воздействии ЭМИ в течении 15 часов интенсивность полос наведенного поглощения в покрытиях на основе полых частиц SiO_2/ZnO меньше, чем в покрытиях на основе сплошных микрочастиц ZnO, а расчет изменений значений α_s показал увеличение фотостойкости покрытий SiO_2/ZnO по сравнению с ZnO на 63 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Госзадание), № 122082600014-6 (FZMU-2022-0007) и №FEWM-2023-0012.

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИКРО-, СУБМИКРО- И НАНОПОРОШКИ ZnO

И.В. Верхотурова[*1)], В.В. Нещименко[1)], М.М. Михайлов[2)]

[1)] Амурский государственный университет, Благовещенск, Россия
[2)] Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия
[*)] e-mail: rusia@mail.ru

В работе представлены результаты исследования спектров диффузного отражения, их изменений после облучения электромагнитным излучением (ЭМИ) Солнца микро-, субмикро- и нанопорошков ZnO

Исследование спектров показало некоторую схожесть в изменении отражательной способности микро- и нанопорошков оксида цинка после воздействия на них ЭМИ Солнца. Отражательная способность субмикропорошков выше, чем у микро- и нанопорошков в области длин волн от края основного поглощения до ближней ИК-области.

Установлено, что основной вклад в формирование интегральной полосы поглощения, ответственной за деградацию оптических свойств микро- и нанопорошков дают в основном дефекты катионной подрешётки. В спектрах субмикропорошков ZnO наблюдается не сильное отличие в интенсивности полос поглощения дефектов катионной и анионных подрешеток, а также акцепторно-донорных пар.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Госзадание), № 122082600014-6 (FZMU-2022-0007).

ИЗМЕНЕНИЕ ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ МОП-СТРУКТУР ПРИ РАДИАЦИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ И СИЛЬНОПОЛЕВОЙ ИНЖЕКЦИИ В РЕЖИМЕ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Д.В. Андреев[1,*)], С.А. Корнев [1)], В.В. Андреев[1)]
[1)] МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал,
Калуга, Россия
[*)] e-mail: dmitrii_andreev@bmstu.ru

В данной работе проведено исследование изменение зарядового состояния МОП-структур с термическими пленками диоксида кремния при радиационном облучении и сильнополевой инжекции электронов, проводимой в режиме поддержания на структуре постоянного напряжения. В качестве ионизирующего излучения использовались α-частицы, протоны и гамма-излучение /1/. Изменение зарядового состояния МОП-структур контролировалось по временной зависимости инжекционного тока, протекающего через подзатворный диэлектрик.

Исследованы особенности накопления радиационно-индуцированного положительного заряда в пленке подзатворного диэлектрика при сильнополевой инжекции электронов в режиме постоянного напряжения. Определены условия, при которых можно использовать данный режим инжекции электронов для повышения дозовой чувствительности МОП и RADFET сенсоров радиационных излучений. Скорректированы модельные представления о физических процессах, протекающих в подзатворном диэлектрике и на границах раздела МОП-структур при одновременном воздействии радиационных излучений и сильнополевой инжекции электронов в режиме постоянного напряжения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Andreev D.V., Bondarenko G.G., Andreev V.V., Stolyarov A.A. // Sensors. 2020. V.20. Is.8. P.2382(1-11).

МОРФОЛОГИЯ И СОСТАВ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК CdS/Mo

Б.Е. Умирзаков, А.А. Абдувайитов, Д.А. Ташмухамедова, Х.Х.Болтаев, Г.А. Розиков, Ш.А. Толипова
Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан
e-mail: ftmet@mail.ru

В последние годы в центре внимания ученых находятся наногетероструктуры на основе однокомпонентных и бинарных полупроводников с контролируемым изменением их электронных и оптических параметров /1-3/. Наногетероструктуры на основе нанопленок CdS-Me оказались полезными в крупномасштабных (передовых в науке) приложениях, таких как химические датчики и биометрии, в фото управляемом производстве водорода, в устройствах памяти, в солнечных элементах CdS. В связи с этим данная работа посвящена исследованию морфологии и состава поверхности нанопленок CdS/Mo (111).

Объектами исследования являлись пленки CdS с толщиной от ~ 150 до 400 нм, выращенных на поверхности Mo (111) методом термического осаждения при вакууме 10^{-4} Па.

В работе, впервые с использованием методов оже-электронной спектроскопии и атомно-силовой микроскопии изучены состав и морфология поверхности нанопленок CdS, полученных на поверхности Mo (111) методом термического осаждения. Показано, что нанопленки CdS/Mo (111) имеют полукристаллическую структуру, состоящую из островков с поверхностными диаметрами 0.5–2 мкм. После очистки поверхности CdS в вакууме 10^{-7} Па шероховатость поверхности составляет ~2–3 нм.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ji P.F., Li Y., Song Y.L., Zhou F.Q., Tian M.L., Yuan S.Q. // Physics Letters A. 2019. V. 383. №. 26. P. 125841.
2. Umirzakov B.E., Tashmukhamedova D.A., Muradkabilov D.M., Boltaev K. // Technical Physics. 2013. V. 58. №. 6. P. 841-844.
3. Li F., Son D.I., Ham J.H., Kim B.J., Jung J.H., Kim, T.W. // Applied Physics Letters. 2007. V. 91. №. 16. P. 162109.

ОБРАЗОВАНИЕ И СВОЙСТВА СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДЕФЕКТОВ В КРЕМНИИ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

А.А. Никольская[*1)], Д.С. Королев[1)], А.Н. Яблонский[2)], Д.В. Юрасов[2)], В.Е. Захаров[2)], Б.А. Андреев[2)], А.А. Конаков[1)], Д.И. Тетельбаум[1)]
[1)] Университет Лобачевского, Н. Новгород, Россия
[2)] ИФМ РАН, Н. Новгород, Россия
[*)] e-mail: nikolskaya@nifti.unn.ru

Образование различных дефектов в кремнии при ионном облучение исследуется уже более полувека. Установлено, что при определенных режимах могут возникать светоизлучающие комплексы, которые обладают интенсивной люминесценцией по сравнению с межзонной. В последние годы интерес к таким комплексам дефектов возродился в связи с их возможным применением в квантово-оптических системах. Так, некоторые виды одиночных дефектов в кремнии могут быть эффективно использованы в качестве прототипа кубитов в квантовых процессорах.

В настоящей работе рассмотрена возможность ионно-лучевого формирования комплексов светоизлучающих дефектов в кремнии и проведены исследования микрофотолюминесценции таких дефектов. Установлено формирование центров люминесценции W^{M} и G при облучении подложек Si, а также структур SiO_2/Si и КНИ ионами разной природы. Определены оптимальные режимы имплантации и последующего отжига, при которых интенсивность люминесценции максимальна. Обсуждается проблема формирования одиночных дефектов указанных видов и создания W^{M} и G-центров в структурах КНИ, а также формирование W^{M} центров в кремнии без пленки SiO_2.

Работа поддержана государственным заданием FSWR-2023-0052.

ПОВРЕЖДЕНИЕ ВДОЛЬ ТРЕКОВ БЫСТРЫХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ В ПОЛИЭТИЛЕНЕ

П.А. Бабаев[*1)], Р.А. Воронков[1], А.Е. Волков[1,2)]
[1)] ФИАН им П.Н, Лебедева, Москва, Россия
[2)] НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия
[*)] e-mail: babaevpa@lebedev

Впервые получен профиль структурных и химических повреждений полиэтилена вдоль траекторий тяжёлых ионов, тормозящихся в режиме электронных потерь энергии. Для моделирования материала использовался код TREKIS-3 [1]. Силовое поле AIREBO-M, учитывающее разрывы/образование химических связей, использовалось для описания релаксации атомной структуры.

Продемонстрирован эффект скорости — положение на траектории иона в полиэтилене области максимального выделения энергии не совпадает с местом максимального повреждения (см. Рис.1).

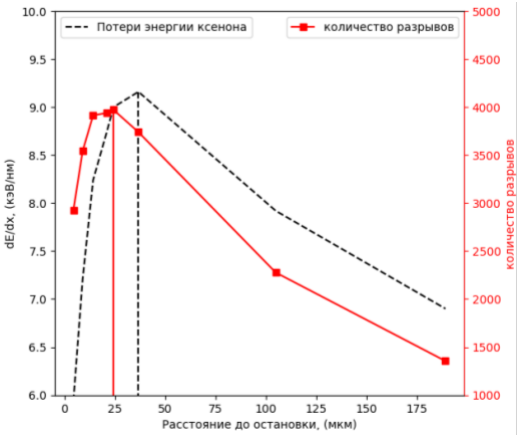


Рис.1 Количество поврежденных связей и потери энергии ксенона как функция остаточного расстояния до остановки в треке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Medvedev N. et al. //Journal of Applied Physics. – 2023. – Т. 133. – №. 10.

ПРОБЛЕМА АНАЛИЗА НЕСКОЛЬКИХ СИГНАЛОВ В EXAFS СПЕКТРОСКОПИИ НА ПРИМЕРЕ BaTiO3

Э.Ф. Хаметова*), О.Р. Бакиева
УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Россия
*) e-mail: elinaphanilevna851@gmail.com

В последние десятилетия в большинстве областей науки происходит усложнение объектов исследования. Появляются новые типы материалов, развиваются исследования сложных многокомпонентных систем. С середины 70-х годов для исследования структуры локального окружения заданного химического состава стало широко использоваться изучение дальней тонкой структуры рентгеновских спектров поглощения – (EXAFS-спектроскопия). В ходе проведения эксперимента регистрируется спектр, формирующийся в результате когерентного рассеяния фотоэлектрона на локальном окружении. Преимуществами метода являются: независимое получение кривой радиального распределения атомов (РРА) для локального окружения каждого из химических элементов исследуемого объекта; высокая чувствительность, благодаря использованию синхротронного излучения; возможность определять как межатомные расстояния и координационные числа в кривой РРА, так и вид атомов в окрестности изучаемого. Однако если в одном энергетическом диапазоне регистрируются сигналы поглощения нескольких атомов разной химической сортности, возникают проблемы при анализе таких спектров. В качестве примера можно рассмотреть титанат бария (BaTiO3). На спектре титаната бария наблюдается перекрытие Ti K (4965 эВ), Ba L3 (5247 эВ) и Ba L2 (5624 эВ).

Данная работа посвящена решению проблемы анализа EXAFS спектров, в которых происходит наложение сигналов нескольких химических элементов. Проведены модельные расчеты спектра BaTiO3 в диапазоне энергий 4961 – 7150 эВ, содержащих сигнал поглощения Ti K, Ba L3 и Ba L2.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ №1022040600207-2.

CONTROLLING NICKEL OXIDE/NICKEL INTERFACE ROUGHNESS WITH PRECURSORS

U. Turaeva [1,2] and U. Khalilov [2,3]
[1)] Bukhara State University, Bukhara, 200500, Uzbekistan
[2)] Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Tashkent, 100125, Uzbekistan
[3)] University of Antwerp, Antwerp, 2610, Belgium
*e-mail: turaevaulmasoy@gmail.com

The dependence between the 'parameter selectivity' of the surface of solar equipment and the roughness of the interface between nickel oxide and nickel has not been studied yet. To control the roughness of this interface, choosing the appropriate growth parameters is essential [1]. In this regard, we specifically investigated the concentration of diffusing oxygen atoms inside the nickel crystal concerning the oxygen content in the Ni_xO_y (Ni_2O, NiO, Ni_2O_3, NiO_2) precursor. Preliminary results indicate that the concentration of diffusing oxygen atoms increases with the rise in oxygen content in the precursors at both low (350 K) and high (1200 K) temperatures. Interestingly, in the case of the Ni_2O precursor (see Fig. 1), there is no oxidation of the pristine Ni(111) surface. This suggests that the growth of nickel oxide from the Ni_2O precursor maintains a very smooth interface between nickel and its oxide.

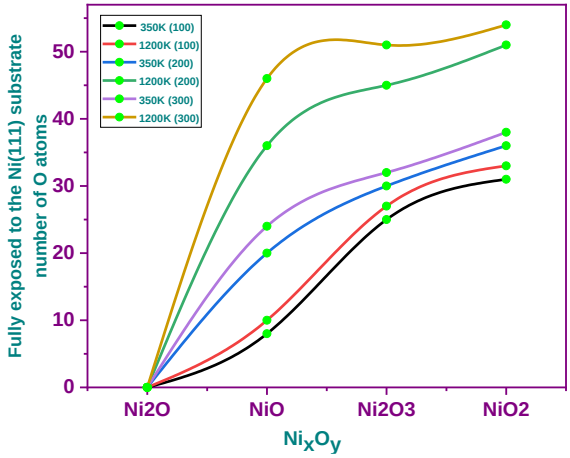


Fig.1. Concentration of diffusing oxygen atoms as a function of Ni_xO_y precursors

REFERENCES

1. Khalilov, U.; Neyts, E. C.; Pourtois, G.; van Duin, A. C. T. Can We Control the Thickness of Ultrathin Silica Layers by Hyperthermal Silicon Oxidation at Room Temperature? J. Phys. Chem. C 2011, 115, 24839−24848.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАДИАЦИОННОЙ ФИЗИКИ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОЛЯТОРОВ

Б.Л. Оксенгендлер[*1)], Н.Н. Тураева[1)], С.Е. Максимов[2)], С.Х. Сулейманов[1)], И. Нуритдинов[3)], Н.Н. Никифорова[1)], Ф.А. Искандарова[4)], Г.С. Нуждов[2)], З.И. Каримов[4)].
[1)]Институт Материаловедения АН РУз., Ташкент, Узбекистан
[2)]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова АН РУз., Ташкент, Узбекистан
[3)]Институт Ядерной Физики АН РУз., Ташкент, Узбекистан
[4)]Центр развития нанотехнологий при НУУ, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: oksengendlerbl@yandex.ru

Топологические изоляторы (ТИ) /1/ – почти неизведанная область новых материалов с точки зрения радиационной физики конденсированных сред (РФКС) /2/. Их принципиальная особенность - сильная корреляция между направлениями импульса электрона и его спина делает нетривиальными подпороговые эффекты в РФКС, где все каналы передачи энергии от радиации на атомные степени свободы дефекта идут через безизлучательные переходы. В качестве характерного примера рассмотрен «кулоновский взрыв» (КВ) на поверхности ТИ, инициированный К-ионизацией отрицательного иона, и последующего Оже-каскада, выносящего большой Оже-заряд ($Z \gg 1$) на валентные состояния локальной области. КВ осуществляется в конкуренции разлёта ионов (время $\tau_+ \sim 10^{-13} c$) и электронного «заливания» - нейтрализации (время $\tau_e \sim 10^{-14} c$) с вероятностью $\sim \exp(-\tau_+/\tau_e) \sim 10^{-4}$. При замене электронов на фермионы Майораны τ_e возрастает (как показывают оценки). В результате приходим к выводу, что в ТИ «кулоновский взрыв» более вероятен, чем в обычном изоляторе. Аналогичное рассмотрение для других элементарных процессов подтверждает вывод о существенной модификации всей РФКС в случае ТИ.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Hasan, M.Z. and C.L. Kane // Reviews of Modern Physics. 2010. V. 82. P. 3045-3067.
2. B.L. Oksengendler et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2022. V.512. P. 66-75.

LOW AND HIGH INDEX SURFACES FOR GRAPHENE SYNTHESIS

T. Juraboev[1,2], N. Esanturdiyeva [2] and U. Khalilov[1,2,3]
[1] Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies,
Tashkent, 100125, Uzbekistan
[2] Denau Institute of Entrepreneurship and Pedagogy, Denau, 190507, Uzbekistan
[3] University of Antwerp, Antwerp, 2610, Belgium
*) e-mail: tursunpulatjuraboev24@gmail.com

Low-index surfaces are commonly preferred in graphene synthesis due to their inherently low surface energy values [1]. Nevertheless, in recent times, there has been an increasing interest in high-index surfaces, which are considered to be better in terms of catalytic activity than low-index surfaces [2]. For this purpose, the surface energies of high-index (310), (311), (331) and low-index (100), (110), (111) nickel surfaces were calculated using molecular dynamics simulations. The results indicate that among the high-index surfaces, the Ni(331) surface exhibited the lowest value of 2.05 J/m², which is 0.01 J/m² less than the surface energy of the Ni(110) surface, which measured 2.06 J/m². These results suggest that high-index Ni(331) surface can be used in graphene synthesis as well as low-index surfaces.

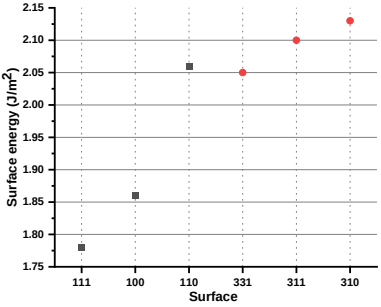


Fig.1 Surface energy values of high and low index nickel surfaces.

REFERENCES

1. Choi W. et al. Solid State and Materials Sciences. – 2010. – T. 35. – No. 1. – pp. 52-71.
2. Xiao, Chi, et al. Joule 4.12 (2020): 2562-2598.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОНИКНОВЕНИЯ АТОМОВ БОРА И БЕРИЛЛИЯ ВНУТРЬ ФУЛЛЕРЕНА C60 AB-INITIO МЕТОДАМИ (DFT)

А.В. Бибиков[1,*)], А.В. Николаев[1)], П.В. Борисюк[2)], Е.В. Ткаля[3)]
[1)] НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[2)] Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия
[3)] Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия
[*)]e-mail: bibikov@sinp.msu.ru

Методом DFT с функционалами B3LYP, PW91, PBE изучено проникновение атомов бора и бериллия внутрь фуллерена C60 по четырем наиболее характерным направлениям (через центр 6- и 5-угольного кольца, середины двойной и одинарной связей) - см. Рис.1. Построены графики энергии системы, получена высота барьера.

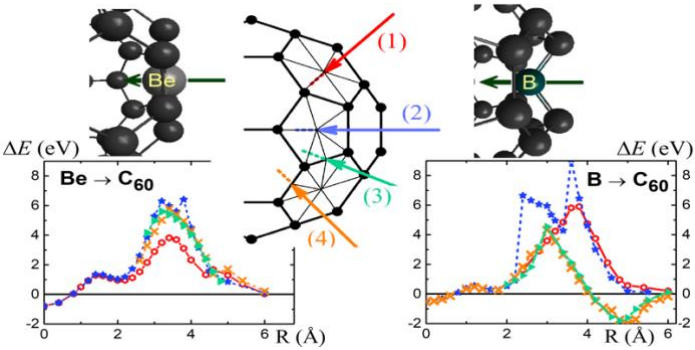


Рис.1 Проникновение атомов B и Be в фуллерен C60.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Bibikov A.V., Nikolaev A.V., Borisyuk P.V., Tkalya E.V. // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures (2024), DOI: 10.1080/1536383X.2024.2321293