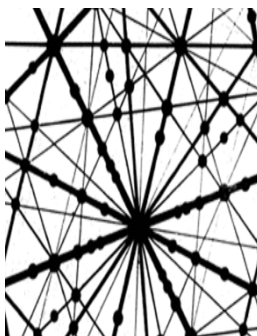


МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ
ФИЗИКИ имени Д.В. СКОБЕЛЬЦЫНА

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

(Москва 25 мая – 27 мая 2021)

Памяти Михаила Игоревича Панасюка посвящается



Москва 2021

УДК 539.1.01.08

ББК 22.37.

T29

Под общей редакцией проф. Н.Г. Чеченина

Редколлегия: А.М. Борисов, Ю.А. Ермаков, А.С. Кубанкин, В.С. Куликаускас, Е.С. Машкова, В.С. Черныш, Н.Г. Чеченин

T29 Тезисы докладов 50-й международной Тулиновской конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами / Под ред. проф. Н.Г. Чеченина

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

ПРОГРАММА 50-й МЕЖДУНАРОДНОЙ ТУЛИНОВСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ ПО ФИЗИКЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С КРИСТАЛЛАМИ.

1-й день, вторник 25 мая

10⁰⁰-10²⁰ Открытие конференции. Вступительное слово. Регламент конференции

Секция I

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
УСКОРЕННЫХ ЧАСТИЦ С ВЕЩЕСТВОМ**

Председатель В.С. Черныш

10 ²⁰ -11 ⁰⁰ Н.Г. Чеченин, А.В. Грунин, Н.В. Новиков, А.А. Шемухин. Особенности воздействия космического излучения на компоненты бортовой электроники планарной и 3D-технологий.....	3
11 ⁰⁰ -11 ³⁰ Б.Л. Оксенгендлер, А.Ф. Зацепин, Н.Н. Тураева, С.Х. Сулейманов, Х.Б.Ашуров. Концепция «сложности» в радиационной физике.....	4
11 ³⁰ -12 ⁰⁰ В.П. Попов, С.Н. Подлесный, И.Н. Куприянов. Длительная когерентность NV-центров после горячей имплантации и НРНТ отжига алмаза.....	5

II

1-й день, вторник 25 мая

Секция II

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

1-е заседание, 12⁰⁰-13¹⁵

КЛАСТЕРНЫЕ ИОНЫ

Председатель А.М. Борисов

12 ⁰⁰ -12 ¹⁵ А.И. Стручков, К.В. Карабешкин, А.И. Титов, П.А. Карасев, А.Ю. Азаров, Д.С. Гогова. Роль молекулярного эффекта в накоплении повреждений в оксиде галлия.....	9
12 ¹⁵ -12 ³⁰ Н.Г. Коробейщиков, И.В. Николаев, В.В. Атучин, И.П. Просвирин. Селективное распыление поверхности монокристаллов трибората лития ионно-кластерным пучком аргона.....	10
12 ³⁰ -12 ⁴⁵ Д.С. Киреев, М.О. Рябцев, А.Е. Иешкин, В.С. Черныш. Эволюция нанорельефа поверхности кремния при наклонной кластерной бомбардировке.....	11
12 ⁴⁵ -13 ⁰⁰ Д.В. Широкопад, Г.В. Корнич, С.Г. Буга. Модификация янусоподобных двухкомпонентных кластеров под действием частиц Ag ₁ и Ag ₁₃ низких энергий.....	12

13⁰⁰-13¹⁵ Общее фотографирование on-line

13¹⁵-14¹⁵ перерыв на обед

2-е заседание, 14¹⁵ -16⁰⁰

АТОМАРНЫЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ИОНЫ

Председатель Н.Г. Чеченин

14 ¹⁵ -14 ³⁰ - В.Е. Пуха, П.А. Карасев, Е.Д. Федоренко, И.И. Ходос. Облучение молекулярных слоев фуллерена ускоренными ионами C ₆₀	13
14 ³⁰ -14 ⁴⁵ Н.Н. Андрианова, А.М. Борисов, Е.С. Машкова, М.А. Овчинников, М.А. Тимофеев. Формирование наностеночной морфологии при высокодозном ионном облучении стеклоуглерода и углеродного волокна.....	14
14 ⁴⁵ -15 ⁰⁰ Ф.Ф. Умаров, Д.В. Алябьев, И.Д. Ядгаров. Торцевое рассеяние атомов водорода на углеродных нанотрубках и угловое распределение рассеянных атомов.....	15

III

15 ⁰⁰ -15 ¹⁵ А.А. Никольская, Д.С. Королев, А.Н. Михайлов, А.А. Конаков, Д.А. Павлов, Д.И. Тетельбаум. Изменение фотoluminesцентных свойств фазы 9R-Si при вариации условий ионного синтеза.....	16
15 ¹⁵ -15 ³⁰ А.М. Борисов, Е.С. Машкова, М.А. Овчинников, Р.Х. Хисамов, Р.Р. Мулюков. Эрозия и ионно-электронная эмиссия наноструктурного никеля при облучении ионами аргона с энергией 30 кэВ.....	17
15 ³⁰ -15 ⁴⁵ В.А. Загайнов, В.В. Максименко, Н.П. Калашников, В.Д. Чаусов, Д.К. Загайнов, И.Е. Аграновский. Возгонка металлов при коронном разряде и образование частиц.....	18
15 ⁴⁵ -16 ⁰⁰ А.И. Кудюкин, М.Н. Махмудов, Е.Н. Моос. Перераспределение атомов сплавных электродов в зоне воздействия дугового разряда.....	19

16⁰⁰-16³⁰ Перерыв

16³⁰-18⁰⁰ Обсуждение стендовых докладов

Стендовые доклады

1. А.М. Борисов, Е.С. Машкова, М.А. Тимофеев, М.А. Овчинников. Модифицирование поверхности углеродного волокна высокодозным облучением ионами углерода.....	20
2. А.В. Назаров, А.Д. Завильгельский, В.С. Черныш. Влияние сорта атомов кластера на взаимодействие кластеров инертных газов с поверхностью твёрдого тела.....	21
3. П.А. Пушко, М.Е. Беляев, Д.С. Киреев, Ю.А. Ермаков, А.Е. Иешкин. Особенности коэффициентов распыления газовыми кластерными ионами.....	22
4. М.Н. Махмудов, Е.Н. Моос. Атомы молекул водорода в масс-спектрах.....	23
5. В.М. Студзинский, К.В. Карабешкин, А.И. Титов, П.А. Карасёв. Синтез наночастиц золота на полимерной подложке методом ионной бомбардировки.....	24
6. А.А. Бельмесов, В.Е. Пуха, Е.Н. Кабачков, И.И. Ходос. Влияние ионов C ₆₀ высоких энергий на структуру и связи углеродных покрытий.....	25
7. Ф.Ф. Умаров, Д.В. Алябьев, И.Д. Ядгаров. Рассеяние низкоэнергетических атомов углерода, димеров углерода на молекулах фуллерена.....	26
8. F. Umarov, I. Yadgarov, A. Ulukmuradov. Sputtering of graphene by hydrogen-carbon clusters: CH, CH ₂ , CH ₃ and CH ₄	27
9. В.П. Кошечев, Ю.Н. Штанов. Зависимость электронных термов двухатомных молекул от вида атомного форм-фактора.....	28
10. В.И. Шульга. Энергетические спектры водорода и дейтерия низких энергий при отражении от двухслойных мишеней.....	29
11. А.А. Сычева, Е.Н. Воронина. Особенности распыления кремниевых наносфер ионами инертных газов низкой энергии.....	30

12.	И.В. Николаев, Н.Г. Коробейщиков, П.В. Гейдт, В.И. Струнин. Особенности обработки кластерными ионами аргона поликристаллических плёнок AlN на подложках из ситалла и Si....	31
13.	В.Н. Черник, В.П. Петухов. Источник фемтоамперных пучков протонов.....	32
14.	Б.Е. Умирзаков, Д.А. Ташмухамедова, Э. Раббимов, Ш.А. Толипова, С.Т. Гулямова, З.М. Собиров. Влияние методов создания нанопленок MoO ₃ /Mo (111) на их свойства.....	33
15.	А.Ш. Раджабов, Д.Т. Усманов. Исследование взаимосвязи между инерционностью и линейно динамическим диапазоном поверхностно-ионизационных детекторов.....	34
16.	А.Ш. Раджабов, Д.Т. Усманов, С.С. Исхакова, А.С. Халматов, Ш.Т. Тоиров. Исследование инерционности поверхностно-ионизационных детекторов.....	35
17.	Д.С. Мелузова, П.Ю. Бабенко, А.Н. Зиновьев. Моделирование распыления W ионами Ne и Be методом молекулярной динамики...	36
18.	А.И. Мусин, Г.В. Корнич, В.Н. Самойлов. Исследование механизмов фокусировки атомов, распыленных с поверхности грани (001) Ni ионами Ag низкой энергии.....	37
19.	Д.В. Терентьева, Л.А. Святкин, Р.С. Лаптев. Особенности формирования гелий-вакансионного комплекса на границе раздела в металлических слоях Zr/Nb: Расчеты из первых принципов.....	38
20.	Ш.М. Ахмедов, Ш.Дж. Ахунов, Д.Т. Усманов. Исследование закономерности поверхностной ионизации инсектицида карбарила.	39
21.	Е.В. Окулич, В.И. Окулич, Д.И. Тетельбаум, А.Н. Михайлов. О возможности использования молекулярно-динамического моделирования для расчёта кластерообразования при постимплантационном отжиге полупроводников.....	40
22.	В.И. Кристя, Мьо Ти Ха, М.Р. Фишер. Моделирование влияния термополевой электронной эмиссии из катода с тонкой диэлектрической пленкой на его эмиссионные характеристики в тлеющем разряде.....	41
23.	Р. Джаббарганов, Б.Г. Атабаев, А.С. Халматов. Влияние термодесорбции атмосферного окисла меди на распыление отрицательно-ионных легированных примесями кластеров.....	42
24.	Б.Г. Атабаев, Р. Джаббарганов, Ф.Р. Юзикаева, М.А. Пермухамедова, У.Б. Халилов. Температурные зависимости распыления отрицательно-ионных карбин-кремниевых кластеров поверхности 3C-SiC/Si (100).....	43
25.	Ш.Дж. Ахунов, Д.Т. Усманов, Ш.М. Ахмедов. Исследование ионно-фотонной эмиссии при бомбардировке Ta мишени кластерными и многозарядными ионами.....	44
26.	А.И. Толмачев, Л. Форлано. Поведение коэффициента распыления при скользящем падении ионов на мишень.....	45
27.	Л.А. Жилияков, В.С. Куликаускас. Полуэмпирический подход к объяснению механизма самоизоляции пучков протонов, скользящих вдоль диэлектрической поверхности.....	46

28.	В.П. Афанасьев, П.С. Капля, Л.Г. Лобанова. Влияние процессов многократного упругого рассеяния в многокомпонентных мишенях на формирование сигналов ISS и электронного RBS.....	47
29.	А.Д. Завильгельский, А.В. Назаров, В.С. Черныш. Моделирование распыления сплавов NiPd газовыми кластерными ионами методом молекулярной динамики.....	48
30.	Б. Батгэрэл, И.В. Пузынин, Т.П. Пузынина, И.Г. Христов, Р.Д. Христова, З.К. Тухлиев, З.А. Шарипов. Моделирование процессов взаимодействия нанокластеров меди с металлическими мишенями со структурой реальных кристаллов.....	49
31.	С.С. Волков, С.В. Николин, М.В. Чиркин. Взаимодействие ионов низких энергий со свободным электронным газом поверхности.....	50
32.	Г.В. Нечаев, В.Е. Пуха, Е.Н. Кабачков, И.И. Ходос. Формирование полимеров при совместном осаждении ускоренных ионов и молекул C ₆₀	51

2-й день, 26 мая

Секция III

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

**1-е заседание ИЗЛУЧЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ УСКОРЕННЫХ
ЧАСТИЦ В ВЕЩЕСТВЕ И ВНЕШНИХ ПОЛЯХ**

Председатель **Н.В. Новиков**10⁰⁰-10²⁰ Объединенный доклад:

А.В. Бердниченко, И.Е. Внуков, Ю.А. Гопонов, Р.А. Шатохин, К. Sumitani, Y. Takabayashi. Влияние асимметрии отражения на выход параметрического рентгеновского излучения электронов в кристаллах..... 55

А.В. Бердниченко, И.Е. Внуков, Ю.А. Гопонов, Р.А. Шатохин, К. Sumitani, Y. Takabayashi. Определение размера электронного пучка по угловым распределениям рентгеновского излучения электронов в кристалле кремния..... 56

10²⁰-10⁴⁰ Объединенный доклад:

С.В. Блажевич, М.В. Бронникова, А.В. Носков, О.Ю. Шевчук. Индикация расходимости пучка релятивистских электронов по угловому распределению ДПИ в мишени с периодической слоистой структурой..... 57

С.В. Блажевич, А.В. Носков. Ионизационно-рекомбинационный процесс как средство индикация степени сфокусированности пучка заряженных частиц или ионизирующего излучения..... 58

10⁴⁰-10⁵⁵ **М.В. Булгакова, В.С. Малышевский, Г.В. Фомин.** Угловое распределение поляризованного рентгеновского черенковского излучения при скользящих углах вылета..... 59

10⁵⁵-11¹⁰ **В.В. Сыщенко, А.И. Тарновский, В.И. Дроник, А.Ю. Исупов.** Расщепление уровней энергии поперечного движения позитронов при каналировании в направлении [100] кристалла кремния..... 60

11¹⁰ -11³⁰ Перерыв

11³⁰-12⁴⁰ 2-е заседание**ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ и ДИНАМИКА ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ ИОНОВ**Председатель А.С. Кубанкин

11 ³⁰ -11 ⁴⁵ П.Ю. Бабенко, А.Н. Зиновьев. Ядерные тормозные способности для потенциалов с притягивающей ямой	61
11 ⁴⁵ -12 ¹⁰ Объединенный доклад: Н.В. Максютя, В.И. Высоцкий, С.В. Ефименко. Особенности каналирования заряженных частиц в кристаллах с гексагональной структурой	62
Н.В. Максютя, В.И. Высоцкий, С.В. Ефименко, Ю.А. Слинченко. Расчет кильватерных потенциалов при осевом каналировании слабoreлятивистских протонов в ионных кристаллах.....	63
12 ¹⁰ -12 ²⁵ Н.Н. Михеев. Тормозная способность вещества для пучка моноэнергетических протонов с энергией 1.0 кэВ – 1.0 ГэВ	64
12 ²⁵ -12 ⁴⁰ Н.В. Новиков, Н.Г. Чеченин, А.А. Широкова. Неаддитивность потерь энергии электронов и протонов в многослойной мишени.....	65

12⁴⁵-14⁰⁰, 3-е заседание**ИЗЛУЧЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЧАСТИЦ.**Председатель Г.В. Корнич

12 ⁴⁵ -13 ⁰⁰ Объединённый доклад Н.П. Калашников, А.С. Ольчак. Явление каналирования как модель атома пониженной размерности в сопутствующей системе отсчета.....	66
С.Б. Дабагов, Н.П. Калашников, А.С. Ольчак. Комбинированное тормозное излучение релятивистских частиц при движении в кристалле.....	67
13 ⁰⁰ -13 ¹⁵ Н.П. Калашников, А.С. Ольчак. Классическое и квантовое описание эффекта каналирования как взаимодополняющие приближения.	68
13 ¹⁵ -13 ³⁰ Е.А. Мазур Кинетические явления в полупроводнике, возбуждаемом ориентированным пучком быстрых заряженных частиц.	69
13 ³⁰ -13 ⁴⁵ Н.Н. Михеев. Статистическая модель дискретных процессов многократного рассеяния заряженных частиц в слое вещества.....	70
13 ⁴⁵ -14 ⁰⁰ М. Kh. Khokonov, I.Z. Bekulova, V.S. Lomonosov. Radiation in oriented crystals and in the field of powerful lasers.....	71

14⁰⁰ – 15⁰⁰ Перерыв

Секция IV-1**МОДИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ
ИОННЫМИ И ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ****15⁰⁰-16⁰⁰, 1-е заседание****Председатель Ташлыкова-Бушкевич И.И.**

15 ⁰⁰ -15 ¹⁵ Р. Веделль, Х. Брайт, А. Ерко. Новые методы и экспериментальное оборудование для УФ и рентгеновской спектроскопии.....	75
15 ¹⁵ -15 ³⁰ И.К. Аверкиев, О.Р. Бакиева, Д.В. Сурнин. Изменения в локальной атомной структуре титана в результате термического воздействия: исследование методом ExEELS.....	76
15 ³⁰ -15 ⁴⁵ В.И. Бачурин, Л.А. Мазалецкий, Д.Э. Пухов, М.А. Смирнова, А.Б. Чурилов, А.С. Рудый. Особенности формирования волнообразного рельефа на поверхности кремния при облучении ионным пучком галлия	77
15 ⁴⁵ -16 ⁰⁰ А.Н. Киряков, А.Ф. Зацепин, Б.Л. Оксенгендлер. Плазмонные наноструктуры меди в керамиках и пленках MgAl ₂ O ₄	78
16 ⁰⁰ -16 ¹⁵ В.К. Егоров, Е.В. Егоров, М.С. Афанасьев. Модификация метода протон-индуцированной рентгеновской эмиссии применением плоских рентгеновских волноводов-резонаторов.....	79

16¹⁵ – 16³⁰ Перерыв**16³⁰ - 17³⁵, 2-е заседание****Председатель В.В. Козловский**

16 ³⁰ -16 ⁵⁰ Объединенный доклад: С.М. Тарков, В.И. Вдовин, И.Е. Тыщенко, В.П. Попов. Синтез изолирующих слоев в кремнии имплантацией молекулярных ионов CO ⁺	80
И.Е. Тыщенко, М. Voelskow, Ч. Сы, В.П. Попов. Взаимная диффузия ионно-имплантированных атомов In и As в SiO ₂	81
16 ⁵⁰ -17 ⁰⁵ В.С. Ковивчак, А.А. Парыгин. Влияние предварительного УФ-облучения на формирование наноструктурированного углерода на поверхности хлорполимеров при воздействии мощного ионного пучка.....	82
17 ⁰⁵ -17 ²⁰ В.В. Козловский, А.Э. Васильев, А.А. Лебедев, М.Е. Левинштейн. Роль низкотемпературного отжига в модифицировании карбида кремния пучками заряженных частиц.....	83

17 ²⁰ -17 ³⁵ Д.С. Королев, А.Н. Терещенко, А.А. Никольская, А.Н. Михайлов, А.И. Белов, Д.И. Тетельбаум. Дислокационная фотолуминесценция в кремнии при вариации типа исходной подложки и легирующей примеси.....	84
--	----

17⁴⁰-19⁰⁰ Обсуждение стендовых докладов

Стендовые доклады

1. П.И. Глуховцев, Р.Г. Назмитдинов, Э. Г. Никонов. Численное исследование процессов самоорганизации заряженных частиц в двумерных потенциалах с круговой симметрией.....	85
2. Н.В. Новиков, Н.Г. Чеченин, А.А. Широкова. Накопление избыточного заряда при прохождении через кремний быстрых ионов.....	86
3. В.П. Петухов. Управление ускоренными заряженными частицами с помощью изогнутых диэлектрических трубок.....	87
4. С. В. Блажевич, А.В. Носков, И.Р. Сиднина, А.Э. Федосеев, К.С. Люшина. Когерентное рентгеновское излучение пучка релятивистских электронов в составной мишени.....	88
5. С. В. Блажевич, А.В. Носков, Н.С. Тимошук, А.Э. Федосеев. Влияние многократного рассеяния на когерентное рентгеновское излучение пучка релятивистских электронов в монокристалле.....	89
6. Ю.А. Белкова. Изменение неравновесного и равновесного среднего заряда ионов в зависимости от толщины пройденного слоя вещества.....	90
7. З.А. Исаханов, Б.Е. Умирзаков, Р.М. Ёркулов, Р. Курбанов. Энергетические зависимости потерей энергии ионов Na ⁺ прошедших через тонкие свободные нано плёнки Si.....	91
8. К.А. Вохмянина, Л.В. Мышеловка, В.С. Сотникова, А.Д. Пятигор. Прохождение 10 кэВ-ных электронов через керамический канал.....	92
9. В. И. Алексеев, А. Н. Елисеев, Е.Ю. Киданова, И.А. Кишин, А. С. Кубанкин, А. С. Ключев, Р.М. Нажмудинов. Параметрическое рентгеновское излучение релятивистских электронов в нано порошковых мишенях.....	93
10. И.Е. Внуков, В.В. Колодочкин, А.С. Складорова, Р.А. Шатохин. Влияние мозаичности кристаллов на характеристики излучения быстрых электронов.....	94
11. В.В. Сыщенко, А.И. Тарновский. Спектральная жесткость уровней энергии поперечного движения каналированных электронов.	95
12. А.А. Кленин, А.Н. Олейник, А.С. Кубанкин, О.О. Иващук, А.С. Чепурнов, М.А. Кирсанов. Создание источников ионов для компактных генераторов нейтронов.....	96

13.	Р.М. Нажмудинов, А.А. Кубанкина, И.А. Кишин, А.С. Кубанкин, Е.В. Болотов. Система измерений пространственных характеристик пучков ионизирующих излучений на основе рентгенофлуоресцентного проволочного сканера.....	97
14.	П.В. Каратаев, И.А. Кишин, А. С. Кубанкин, Р.М. Нажмудинов, А.С. Парахин. Эффект трансформации конуса излучения вавилова-черенкова в рентгеновском диапазоне – предложение эксперимента.....	98
15.	А.Н. Олейник, Е.В. Болотов, М.Э. Гильц, О.О. Иващук, А.А. Кленин, А.С. Кубанкин, А.В. Щагин. Зависимость максимальной энергии рентгеновского излучения от величины предварительного изменения температуры при работе пирозлектрического источника в импульсном режиме.....	99
16.	А.Н. Олейник, П.В. Каратаев, А.А. Кленин, А.С. Кубанкин, К.В. Федоров, А.В. Щагин. Электризация боковой поверхности Z-ориентированного монокристалла ниобата лития при пирозлектрическом эффекте.....	100
17.	И.А. Кишин, А. С. Кубанкин, Р.М. Нажмудинов, Д.Г. Фирсов, Ю.С. Кубанкин, Е.В. Болотов, С.М. Пиядин. Энергодисперсионный томограф на основе мягкого рентгеновского излучения для контроля качества конструкционных элементов из лёгких материалов.....	101
18.	К.А. Вохмянина, Л.В. Мышеловка, В.С. Сотникова. Поворот электронов с энергией 10 кэВ на 360° с помощью трубки ПВХ.....	102
19.	А. Арышев, К.А. Вохмянина, А.С. Кубанкин, И.А. Кишин, N. Terunuma, J. Urakawa. Фокусировка банчированного релятивистского электронного пучка диэлектрическим капилляром.....	103
20.	И.О. Кондрацкий, В.М. Медвецкова, А.В. Эпельфельд, Б.Л. Крит. Исследование морфологии покрытий и параметров электролитов для микродугового оксидирования ультралёгкого магниевое сплава.....	104
21.	О.А. Подсвиров, Д.А. Кирпиченко, А.И. Сидоров. Электронное облучение кристаллического кварца и кварцевого стекла, оптические и структурные свойства.....	105
22.	И.К. Аверкиев, О.Р. Бакиева. Исследование физико-химических характеристик слоистой системы Ti-Al-C методами электронной и фотоэлектронной спектроскопии.....	106
23.	Н.В. Ткаченко, А.И. Каменских, С.А. Тюфтяков, А.А. Назаров. Исследование порошковых материалов методом ядерного обратного рассеяния.....	107
24.	В.В. Привезенцев, А.П. Сергеев, А.А. Фирсов, В.С. Куликаускас, В.В. Затекин, А.Н. Терещенко. Исследование слоев SiO ₂ , имплантированных Zn, как активной среды мемристоров.....	108

25.	С.Ж. Ниматов, Ф.Я. Худайкулов, Б.Е. Умирзаков. Исследование методом дифракции медленных электронов (ДМЭ) поверхности Si (111) в зависимости от режимов термообработки и энергии.....	109
26.	С.Ж. Ниматов, Б.Е. Умирзаков, Ф.Я. Худайкулов. Прибор для исследования поверхностных и приповерхностных свойств многослойных систем на основе кремния.....	110
27.	У.В. Юрина, Д.А. Кирпиченко, О.А. Подсвиров, А.И. Сидоров. Электронное облучение кристаллического кварца: оптические и структурные свойства	111
28.	А.А. Абдувайитов, Х.Х. Болтаев, Д.А. Ташмухамедова. Электронная и кристаллическая структура силицидов Pd и Ba, полученных методом ионной имплантации.....	112
29.	Т.В. Панова, В.С. Ковивчак. Модификация поверхностных слоев магния под действием мощного ионного пучка.....	113
30.	С.Ж. Ниматов, Ф.Я. Худайкулов, Б.Е. Умирзаков. Исследование методом дифракции электронов средних энергий (ДЭСЭ) структуры приповерхностных слоев монокристалла....	114
31.	Д.А. Кирпиченко, О.А. Подсвиров, А.И. Сидоров. Оптические и структурные свойства кварцевого стекла после электронного облучения.	115
32.	И.А. Анохина, И.Е. Анимца, Т.Е. Куренных, В.Б. Выходец. Исследование кислородной не стехиометрии и концентрации лития в $Gd_{1.7}Li_{0.3}Zr_2O_{6.7}$ и $Gd_2Zr_{1.7}Li_{0.3}O_{6.55}$ методом ядерного микроанализа.....	116
33.	Е.Д. Северюхина, Л.Ю. Немирович-Данченко, Л.А. Святкин, В.С. Сыпченко, Н.Н. Никитенков, Ю.И. Тюрин, И.П. Чернов. Влияние примеси серебра на взаимодействие водорода с палладием.....	117
34.	Г.В. Потемкин, О.К. Лепакова, В.Д. Китлер, М.В. Жидков, М.С. Сыртанов, А.Е. Лигачёв. Воздействие мощного импульсного пучка ионов углерода на структуру феррованадия.....	118
35.	О.Г. Бобровиц, С.М. Барайшук. Морфология и смачиваемость поверхностного слоя, формируемого методом вакуумного осаждения молибдена на стеклянную подложку.....	119
36.	Л.Ю. Немирович-Данченко, Л.А. Святкин, И.П. Чернов. Перераспределение электронной плотности при растворении водорода в палладии: расчеты из первых принципов.....	120
37.	Б.М. Абдурахманов, Х.Б. Ашуров, Ш.К. Кучканов, С.Ж. Ниматов. Генерация ЭДС и токов в плёночных Si/Si структурах, полученных осаждением из частично ионизованных потоков.....	121
38.	И.А. Столяр, В.Г. Шепелевич, Е. Wendler, A. Undisz. Ядерный микроанализ эволюции микроструктуры фольг сплава системы Al–Mg–Li при высокотемпературном отжиге.....	122
39.	В.А. Быков, О.В. Вихрова, Ю.А. Данилов, Ю.А. Дудин, Д.А. Здравейцев, Ю.А. Кузнецов, А.В. Нежданов, А.Е.	

XII

	Парафин, Е.А. Питиримова. Исследование свойств GaAs, облученного ионами марганца и железа.....	123
40.	А.А. Абдувайитов, Х.Х. Болтаев, Х. Содикова, Г. Розиков. Изучение состава и профиля распределения атомов по глубине системы Ni–GaP, применяемых в фотопреобразователях.....	124
41.	А.А. Абдувайитов, Х.Х. Болтаев, Г.А. Розиков. Изучение состава примесей и профилей их распределения на границе раздела металл-полупроводник.....	125
42.	V.V. Poplavsky, A.V. Dorozhko, V.G. Matys. Composition and corrosion properties of layers formed on aluminum substrates by ion beam assisted metals deposition from vacuum arc discharge plasma.....	126
43.	М.Н. Шипко, О.В. Алексеева, Д.Н. Смирнова, А.В. Носков, А.В. Агафонов, М.А. Степович. Особенности модификации физико-химических свойств поверхности алумосиликатных нанотрубок композит-галлуазита наночастицами магнетита и магнитными воздействиями.....	127
44.	Э.Г. Никонов, М. Поповичова, О.К. Никонова. Исследование зависимости проницаемости пористых материалов от геометрических характеристик внутренней поверхности нанопор.....	128
45.	М.Е. Калиекперов, А.Л. Козловский, Д.И. Шлимас. Исследование морфологии поверхности тонких пленок CuBi ₂ O ₄	129
46.	Б.Г. Атабаев, З.Ш. Шаймарданов, Х.Н. Жураев, В.А. Пак. Фотохимическое травление атмосферного окисла поверхности карбида кремния 4H-SiC.....	130
47.	В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашуров, И.Х. Худайкулов, А.М. Журавлёв. Комплексный процесс очистки поверхности изделия ионами плазмы тлеющего разряда и плазменного вакуумно-дугового осаждения покрытий.....	131
48.	В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашуров, И.Х. Худайкулов, А.М. Журавлев. Анализ нанесения покрытия на очищенную поверхность образца в одном технологическом цикле.....	132
49.	С.Б. Донаев, Б.Е. Умирзаков, Б.Д. Донаев. Зависимость параметров энергетических зон от глубины ионно-легированного слоя при ионной имплантации Si	133
50.	Ё.С. Эргашов, Б.Е. Умирзаков, Б.Д. Донаев. Электронная спектроскопия CdMeTe, созданных методом ионной бомбардировки.....	134
51.	А.И. Титов, К.В. Карабешкин, А.В. Архипов, А.И. Стручков, П.А. Карасев. Топография GaN при последовательном облучении молекулярными и атомарными ионами.....	135
52.	А.А. Никольская, Д.С. Королев, Т.Д. Муллагалиев, А.Н. Михайлов, А.И. Белов, А.В. Нежданов, В.Н. Трушин, Ю.И. Чигиринский, Д.Е. Николичев, М. Kumar, R. Giuliani, Д.И.	

XIII

Тетельбаум. Синтез наноструктур на основе оксида галлия неравновесными методами.....	136
--	-----

27 мая, четверг, 10⁰⁰ – 11¹⁵

Председатель В.В. Привезенцев

- 10⁰⁰–10¹⁵ **И.И. Ташлыкова-Бушкевич, Е. Wendler, М. Amati, L. Gregoratti, М. Kiskinova, В.Г. Шепелевич.** Применение ускоренных ионов гелия и синхротронного излучения для исследования роли хрома в формировании оксидной пленки на поверхности быстрозатвердевших сплавов алюминия..... 137
- 10¹⁵–10³⁰ **Ya.L. Shabelnikova, S.I. Zaitsev.** Ion beam lithography: sensitivity and contrast of PMMA resist determination..... 138
- 10³⁰–11⁰⁰, Объединенный доклад:
М.Т. Нормурадов, А.С. Рысбаев, К.Т. Довранов, И.А. Каримов, У.Ш. Расулов. Формирование тонких пленок на кремнии методом ионно-плазменного и ионно-лучевого нанесения..... 139
- М.Т. Нормурадов, А.С. Рысбаев, И.Р. Нормурадов, З.А. Турсунметова.** Формирование и свойства пленок дисилицида бария..... 140
- А.С. Рысбаев, М.Т. Нормурадов, И.Р. Бекпулатов, Д.А. Нормурадов.** О влиянии предварительной имплантации В⁺ на распределение Na⁺ в кремнии..... 141
- 11⁰⁰–11¹⁵ **А.И. Гумаров, И.В. Янилкин, Р.В. Юсупов, В.С. Столяров, В.Ф. Валеев, Л.Р. Тагиров, Р.И. Хайбуллин.** Влияние имплантации ионов железа на магнитные свойства эпитаксиальных пленок палладия..... 142

11¹⁵ – 11³⁰ Перерыв

Секция IV-2

Председатель В.С. Куликаускас

- 11³⁰–11⁴⁵ **Emad M. Elsehly, A.A. Shemukhin, A.P. Evseev, H.A. Motaweh, N.G. Chechenin.** He ion irradiation induced effects in CNT-based filters 143
- 11⁴⁵–12⁰⁰ **А.И. Титов, К.В. Карабешкин, А.И. Стручков, П.А. Карасев.** Особенности образования дефектов в GaN при последовательной имплантации ионов разных типов и энергий.. 144
- 12⁰⁰–12¹⁵ **4. В.А. Андрианов, К.А. Бедельбекова, А.Л. Ерзинкян, А.Л. Трегуб.** Исследование радиационных дефектов в металлических Mo и Ta методом EXAFS..... 145
- 12¹⁵–12³⁰ **3. Р.И. Баталов, Р.М. Баязитов, Г.А. Новиков, Н.И. Валиев, В.Ф. Г.Д. Ивлев, Ф.Ф. Комаров, К.Н. Галкин.** Оптические и фотоэлектрические свойства кремния, имплантированного примесями халькогенов и металлов..... 146

XV

12³⁰-12⁴⁵ В.В. Базаров, Н.М. Лядов, В.Ф. Валеев, И.А. Файзрахманов, К. Киржек, Н.М. Сулейманов. Наноструктурированный ионным облучением германий для анодов литий-ионных аккумуляторов.....	147
--	-----

12⁴⁵ - 13⁰⁰ Перерыв

13 ⁰⁰ – 14 ³⁰ Обсуждение стендовых докладов	
14 ³⁰ – 15 ⁰⁰ Собрание программного и организационного комитетов	
15 ⁰⁰ – 15 ³⁰ Дискуссия. Заключительное слово	

Стендовые доклады

1. А.В. Степанов, А.П. Попов, А.В. Коваленко, А.И. Димитриева, Д.С. Юманов, А.А. Шемухин, Е.А. Воробьева, А.П. Евсеев. Биointерфейсы для бактерий на основе ионно-модифицированных углеродных нанотрубок.....	148
2. А.В. Степанов, Д.И. Тетельбаум, Е.В. Окулич, А.С. Сабиров. Расчет зонной структуры β -Ga ₂ O ₃ с дефектами.....	149
3. М.В. Жидков, А.Е. Лигачев, С.А. Сорокин, Г.В. Потемкин, Ю.Р. Колобов. Топография поверхности магния после его обработки импульсным потоком рентгеновского излучения.....	150
4. А.Н. Дудин, В.В. Нещименко, Ли Чундун. Деградации оптических свойств двухслойных полых частиц ZnO/SiO ₂ при облучении протонами.....	151
5. В.С. Михайлов, Д.С. Мелузова, П.Ю. Бабенко, М.И. Миронов, А.П. Шергин, А.Н. Зиновьев. Энерговыделение при бомбардировке W, Be, C изотопами водорода.....	152
6. А. Омарова, К.К. Кадыржанов, А.Л. Козловский. Изучение морфологических особенностей тонких пленок CoCdSe подверженных облучению электронным пучком.....	153
7. Д.В. Андреев, Г.Г. Бондаренко, В.В. Андреев, А.А. Столяров. Влияние режимов сильнополевой инжекции электронов на накопление радиационно-индуцированных зарядов в подзатворном диэлектрике МОП-структур.....	154
8. А. Темір, А.Л. Козловский. Исследование эффективности экранирования гамма-излучения 0.5Bi ₂ O ₃ -(0.5-x)WO ₃ -xPbO стекол.....	155
9. М. Алин, А.Л. Козловский. Исследование радиационной стойкости керамик ZrO ₂ к облучению тяжелыми ионами.....	156
10. А. Зикирина, К.К. Кадыржанов, А.Л. Козловский. изучение кинетики радиационных повреждений в ZnCo ₂ O ₄ нанопроволок.....	157
11. А.В. Кононина, А.В. Назаров, Ю.В. Балакшин, А.А. Шемухин, В.С. Черныш, Ю.М. Спивак. Влияние ионно-индуцированных дефектов на фотолюминесценцию пористого кремния.....	158
12. Б.Л. Оксенгендлер, Н.Р. Ашуров, С.Е. Максимов, Ж.Т. Азимов, В.Ю. Соколов. Взаимодействие заряженных частиц с	

	гибридными материалами: органико-неорганический перовскит.....	159
13.	С.О. Огнев, А. Ломыгин, Л.А. Святкин, Р.С. Лаптев. Особенности поведения водорода в металлических слоях Zr/Nb.....	160
14.	З.А. Исаханов, И.О. Косимов, Р.М. Ёркулов, А.Ш. Усмонкулов. Морфология наноразмерных структур, созданных на поверхности свободной пленочной системы Si/Cu.....	161
15.	И.Н. Бажукова, Ф.Г. Нешов, Д.В. Райков. Влияние стерилизационного облучения на бактериационную способность углеродных алмазоподобных плёнок.....	162
16.	К. Тынышбаева, К.К. Кадыржанов, А.Л. Козловский. Оценка эффективности радиационного упрочнения карбида кремния низкоэнергетическими ионами Kr^{15+}	163
17.	Б.Ш. Касимов, Ш.Дж. Ахунов, Ш.М. Ахмедов, Д.Т. Усманов. Исследование наркотических стимуляторов методом поверхностной ионизации.....	164
18.	К. Егизбек, А.Л. Козловский. Применение электронных пучков для модификации оксидных наночастиц.....	165
19.	Л.Х. Антонова, А.В. Троицкий, Р.М. Баязитов, Р.И. Баталов, С.Н. Андреев. Изменение свойств ВТСП лент 2-го поколения при импульсном ионном воздействии.....	166
20.	А.П. Евсеев, Е.А. Воробьева, А.В. Степанов, А.В. Кононина, А.В. Назаров, Ю.В. Балакшин, А.Е. Иешкин, А.А. Шемухин. Влияние флюенса ионного облучения на структуру многостенных углеродных нанотрубок.....	167
21.	Ж.Ш. Содикжанов, Б.Е. Умирзаков, З.А. Исаханов, А.А. Ахмедов. Влияние ионов Ag^{+} на электронные и оптические свойства пленок CdS.....	168
22.	К.М. Mukashev, A.D. Muradov, F.F. Umarov, G.Sh. Yarmukhamedova. Radiation-induced elastic and inelastic effects in metals.....	169
23.	Д.А. Ташмухамедова, Б.Е. Умирзаков, Ё.С. Эргашов, М.А. Миржалилова, А.Н. Уроков, Ж.У. Усманов. Создание нанопаз на поверхности SiO_2 при бомбардировке ионами Ag^{+}	170
24.	М.Б. Юсупжонова, Д.А. Мирзаев, Д.М. Мурадкалилов, Ш.Ш. Хашимов, Д.А. Ташмухамедова, Б.Е. Умирзаков. Изменения электронных и оптических свойств Si (111) под влиянием бомбардировки ионами Ag^{+}	171
25.	В.В. Углов, С.В. Злоцкий, И.В. Сафронов, Н.А. Степанюк, Д.В. Есипенко. Структура многокомпонентных радиационно-стойких твердых растворов на основе системы Ti-Zr-Nb-Hf: эксперимент и моделирование.....	172
26.	В.В. Сафронов, Е.А. Созонтов. Фотоэлектронные процессы при облучении наночастицы магнетита монохроматическим рентгеновским пучком.....	173
27.	Т.М. Гладких, А.Л. Козловский. Гелиевое распухание керамик на основе нитрида алюминия.....	174

XVII

28. **В.В. Углов, К. Дзин, С.В. Злоцкий, И.В. Сафронов, Н.А. Степанюк, Д.В. Есипенко.** Структурно-фазовое состояние высокоэнтропийного сплава NiCoFeCrMn, облученного ионами гелия и криптона..... 175
29. **М.А. Степович, В.В. Калманович, Е.В. Серегина, Д.В. Тургин.** О моделировании диффузии, обусловленной широкими электронными пучками в однородных и многослойных полупроводниковых мишенях..... 176
30. **А.В. Шагин, О.О. Иващук, А.С. Кубанкин, М.Э. Гильц, А.Н. Олейник.** Трехэлектродный импульсный пироэлектрический источник рентгеновского излучения..... 177
31. **А.В. Шагин, О.О. Иващук, А.С. Кубанкин, М.Э. Гильц, А.А. Кленин, А.Н. Олейник, Е.В. Болотов.** Источник рентгеновского излучения на основе пьезоэлектрической зажигалки..... 178
32. **А.В. Шагин, О.О. Иващук, А.С. Кубанкин, М.Э. Гильц, И.А. Кишин, А.Н. Олейник.** Управляемый пироэлектрический дефлектор пучка заряженных частиц..... 179

Секция I

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
УСКОРЕННЫХ ЧАСТИЦ С ВЕЩЕСТВОМ**

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КОМПОНЕНТЫ БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ ПЛАНАРНОЙ И 3D-ТЕХНОЛОГИЙ

Н.Г. Чеченин^{*1)}, А.В. Грунин²⁾, Н.В. Новиков¹⁾, А.А. Шемухин¹⁾

¹⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾ РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, Россия

*e-mail: nchechenin@yandex.ru

Одна из причин сбоев бортовой электроники (БЭ) космического аппарата (КА) при воздействии ионизирующего излучения состоит в генерации избыточного заряда в чувствительном объеме компонентов БЭ. Величина этого заряда зависит от потерь энергии первичных и вторичных ионов, их пробегов /1/, а также от расположения и состава компонентов близи чувствительного объема.

В докладе дается обзор особенностей расположения чувствительных объемов в элементах электроники, выполненных в планарной и 3D-технологиях /2/. Анализируются механизмы генерации избыточного заряда ионами космического излучения и продуктами их взаимодействия с материалами БЭ. Приводятся оценки концентрации генерируемых носителей заряда, их пространственного распределения и характеристик чувствительного объема в зависимости от заряда, массы и энергии иона. Анализируются зависимости критического избыточного заряда, приводящего к сбою БЭ, от технологического масштаба, плотности и компоновки элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков Н.В., Чеченин Н.Г., Чувильская Т.В. и др. // Поверхность, 2020, N2, с.72-79.
2. Чуманов В. Я., Кадменский А. Г., Чеченин Н. Г. // Поверхность. 2013, № 3, с. 64–72.
3. Чуманов В. Я., Кадменский А. Г., Чеченин Н. Г. // Поверхность. 2014, № 12, с. 36-45.

КОНЦЕПЦИЯ «СЛОЖНОСТИ» В РАДИАЦИОННОЙ ФИЗИКЕ

Б.Л.Оксенгендлер^{1,2}, А.Ф.Зацепин², Н.Н.Тураева³, С.Х.Сулейманов⁴,
Х.Б.Ашуров¹

¹Институт ионно-плазменных и лазерных технологий Академии Наук
Республики Узбекистан, Ташкент;

²Физико-технологический институт Уральского Федерального
университета, Екатеринбург, Россия;

³Webster University, St Louis, USA;

⁴Институт материаловедения Академии Наук Республики Узбекистан,
Ташкент, Узбекистан

Одним из перспективных подходов в теоретическом описании эффектов в процессах взаимодействия заряженных частиц с кристаллами является использование новой методологии, называемой «сложностью», которая сформировалась в последней четверти 20 века в физике, химии и биологии для изучения различных явлений и лежащих в их основе механизмов. Универсальные концепции, используемые в сложности для понимания как живой, так и неживой материи, включают наномасштаб, фракталы, низкую размерность, хиральность, иерархию и синергетику [1]. Радиационно-усиленные процессы относятся к числу явлений, которые могут быть поняты в аспектах «сложности» из-за множества факторов при взаимодействии вещества с излучением, его постоянного присутствия во Вселенной и на Земле, а также его роли в эволюции. В работе примеры радиационно-усиленных явлений проанализированы с точки зрения сложности: (1) интерпретация радиационной аварии космического корабля «Фобос Грунт» (неживой системы); (2) радиационный фильтр, выделяющий легкие элементы в составе биополимеров (живых систем); (3) излучение, вызывающее повреждение вируса SARS-CoV-2 через каскад Оже и его возможную роль в подавлении вызванной вирусом пневмонии низкими дозами рентгеновского излучения (живые системы). Представлен анализ рассмотренных радиационных эффектов на основе теории катастроф.

Л И Т Е Р А Т У Р А

[1] B.L.Oksengendler, N.N.Turaeva etc. /in: Horizons in World Physics, edit A.Reimer, New York, Nova Science Publ., 2019, V.292, P.1.

ДЛИТЕЛЬНАЯ КОГЕРЕНТНОСТЬ NV-ЦЕНТРОВ ПОСЛЕ ГОРЯЧЕЙ ИМПЛАНТАЦИИ И НРНТ ОТЖИГА АЛМАЗА

В.П. Попов^{1*)}, С.Н. Подлесный¹⁾ И.Н. Куприянов²⁾

¹⁾ ИФП СО РАН, Новосибирск, Россия

²⁾ ИГМ СО РАН, Новосибирск, Россия

^{*)} e-mail: popov@isp.nsc.ru

Квантовые устройства на спинах NV центров и их ансамблях в алмазе работают при комнатных температурах, однако время спиновой релаксации T_2^* зависит от других дефектов и обычно $T_2^* \ll T_2$ – времени когерентной релаксации на соседних NV центрах. Проблемой остается создание ансамблей в заданной области с контролем числа NV центров в процессе имплантации из-за формирования других дефектов. Решить эту проблему можно двумя способами. Во-первых, формированием сверхрешеток узловых атомов с регулярными рельефом или сеткой напряжений, а затем захватом вакансий, сформированных при локальном облучении и нагреве сфокусированным пучком, в соседние с азотом узлы. Во-вторых, внедрением одиночных атомов имплантерами с регистрацией фотонной или электронной эмиссии от вошедшего в мишень иона или заряда на её поверхности, управляющих процессом переноса ионного пучка в новую точку. Ансамбли NV- центров создавались нами в высокочистом алмазе типа Па «горячей» имплантацией ионов азота N^+ при $T_{\text{imp}}=450^\circ\text{C}$ с энергиями 50, 100, 150, 200 кэВ флюенсами до концентраций азота $N_s \sim 150 \text{ ppm}$ в 200 нм слое, согласно расчетам C-SRIM, с отжигом при 1500°C под давлением 6 ГПа, устраняющим все оптически активные дефекты, кроме N_s^0 , NV, N_2V и N_3V центров, концентрации каждого из которых много меньше предыдущего. Данные импульсного оптически детектируемого магнитного резонанса показали, что время спиновой релаксации $T_2^* = 1.5 \text{ мкс}$ соответствует экспериментальной и теоретической зависимости для $(T_2)^{-1} = BN_s^0$, тогда как обычно экспериментально выполняется соотношение $T_2^* \ll T_2$ при теоретической величине $T_2/T_2^* \approx 16$ за счет ионизации неспаренного электрона доноров N_s^0 [J.F. Barry et al., Rev. Mod. Phys. 92 (2020) 015004].

Секция II

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

РОЛЬ МОЛЕКУЛЯРНОГО ЭФФЕКТА В НАКОПЛЕНИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ОКСИДЕ ГАЛЛИЯ

А.И. Стручков¹⁾, К.В. Карабешкин¹⁾, А.И. Титов¹⁾, П.А. Карасев¹⁾,
А.Ю. Азаров²⁾, Д.С. Гогова³⁾

¹⁾Политехнический ун-т Петра Великого, СПб, Россия

²⁾Университет Осло, Осло, Норвегия

³⁾Болгарская академия наук, София, Болгария

Бета-оксид галлия (β -Ga₂O₃) является перспективным материалом для электроники больших мощностей и оптоэлектроники в УФ диапазоне. Имплантация ионов всегда сопровождается накоплением в мишени радиационных повреждений. Плотность каскадов смещений может существенно влиять на эффективность накопления дефектов. В данной работе проводилось облучение β -Ga₂O₃ атомарными ионами F и F и молекулярными кластерами PF_n (n=2, 4) с целью выяснения влияния плотности каскадов на дефектообразование в β -Ga₂O₃. Полученные профили относительного разупорядочения приведены на рис. 1.

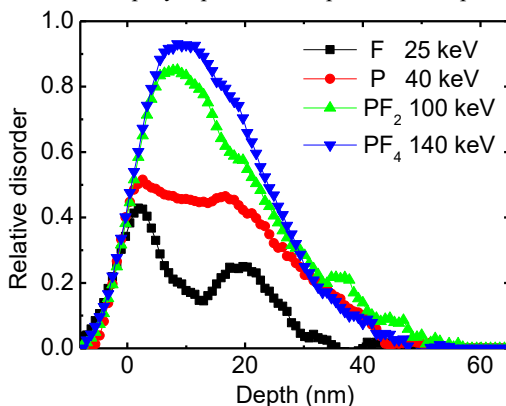


Рис.1 Профили относительного разупорядочения после облучения дозой 0.44 ДПА различными ионами.

Видно, что накопление повреждений при облучении молекулами особенно эффективно вблизи поверхности, где происходит перекрытие индивидуальных каскадов, т.е. проявляется молекулярный эффект. Работа поддержана грантом РНФ # 21-19-00196.

СЕЛЕКТИВНОЕ РАСПЫЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ
МОНОКРИСТАЛЛОВ ТРИБОРТА ЛИТИЯ ИОННО-КЛАСТЕРНЫМ
ПУЧКОМ АРГОНА

Н.Г. Коробейщиков^{*1)}, И.В. Николаев¹⁾, В.В. Атучин²⁾,
И.П. Просвирин³⁾

¹⁾ Новосибирский государственный университет,
Новосибирск, Россия,

²⁾ Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН,
Новосибирск, Россия

³⁾ Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН,
Новосибирск, Россия

^{*)} e-mail: korobei@ci.nsu.ru

Представлены результаты экспериментального исследования селективного распыления кластерными ионами аргона поверхности нелинейных монокристаллов трибората лития (LiB_3O_5 , LBO), широко используемых в мощных лазерных системах [1]. Работа проведена на экспериментальном стенде КЛИУС [2] в различных режимах обработки: при удельной энергии кластерных ионов $E/N=105$ и 10 эВ/атом. С использованием рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) установлено, что после бомбардировки кластерными ионами наблюдается преимущественное распыление атомов кислорода и бора, составляющих основу кристаллического каркаса. Это приводит к существенному (до 40%) повышению концентрации легкого лития в тонком приповерхностном слое мишени. Определены коэффициенты распыления и скорости травления поверхности монокристалла LBO кластерными ионами аргона.

ЛИТЕРАТУРА

1. W. Yao, R. He, X. Wang, Z. Lin, C. Chen, // Adv. Opt. Mater. 2014, Vol. 2 (5), P.411.
2. N.G. Korobeishchikov, I.V. Nikolaev, M.A. Roenko, // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B, 2019, Vol. 438, P. 1–5.

ЭВОЛЮЦИЯ НАНОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ ПРИ НАКЛОННОЙ КЛАСТЕРНОЙ БОМБАРДИРОВКЕ

Д. С. Киреев¹⁾, М. О. Рябцев²⁾, А.Е. Иешкин²⁾, В.С. Черныш²⁾

¹⁾ НИИЯФ МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²⁾ Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

E-mail: ieshkin@physics.msu.ru

Пучки ускоренных кластерных ионов нашли свое применение в таких областях, как полировка поверхности, имплантация частиц, исследование элементного состава и т.д. [1]. Одним из современных направлений исследования является возможность формирования самоорганизующихся упорядоченных структур при облучении поверхности кластерными ионами [2].

В настоящей работе изучаются эффекты, проявляющиеся при бомбардировке поверхности кремния пучками кластерных ионов, а также эволюция рельефа в зависимости от дозы облучения и прочих параметров. Экспериментально показано, что в определенном диапазоне углов на поверхности начинают появляться «волны», амплитуда и длина волны которых зависит от ионной дозы облучения. Получены волнообразные структуры на поверхности кремния при различных углах падения пучка от нормали. Исследование поверхности с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) показало уменьшение длин и амплитуды волн от места на поверхности, соответствующего центру падающего пучка, к периферии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yamada I. // Appl. Surf. Sci, B.V., 2014, V. 310, p. 77–88.
2. Ieshkin A., Kireev D., Ozerova K., Senatulin B.// Materials Letters, 2020, V. 270, p. 127829.

МОДИФИКАЦИЯ ЯНУСОПОДОБНЫХ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ КЛАСТЕРОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЧАСТИЦ Ag_1 И Ag_{13} НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ

Д.В. Широкоград¹⁾, Г.В. Корнич¹⁾, С.Г. Буга^{2),3)}

¹⁾Национальный университет «Запорожская политехника»,
Запорожье, Украина

²⁾ФГБНУ «Технологический институт сверхтвёрдых и новых
углеродных материалов», Троицк, Московская обл., Россия

³⁾Московский физико-технический институт (ГУ МФТИ),
Долгопрудный, Московская обл., Россия

Янусоподобные нанокластеры, их эволюция в оболочечные и другие упорядоченные структуры является перспективным направлением исследований в связи с применениями в катализе, наноэлектронике, фармацевтике, материаловедении [1]. В работе рассматривается эволюция янусоподобных кластеров Ni-Al, Cu-Au, Cu-Bi, состоящих из нескольких сотен атомов каждого из компонентов, при бомбардировке частицами Ag_1 и Ag_{13} до 2.0 кэВ в рамках классической молекулярной динамики. Сферические распределения концентраций компонентов после 100 и 500 пс показывают тенденцию к формированию кластеров с повышенным содержанием атомов Al, Au и Bi в поверхностном слое. При средних и высоких энергиях Ag_{13} , инициирующих интенсивное распыление и перемешивание, наблюдалось маскирование разной эффективности обогащения поверхностного слоя этими элементами. Температуры кластеров при этом оказались высокими и для анализа их состояния и идентификации механизмов распыления были проведены модельные эксперименты по определению температур плавления и кипения, соответствующих уединенных монокомпонентных долей в случае межатомного потенциала Аккланда.

ЛИТЕРАТУРА

1. S. Granick, Janus Particle Synthesis, Self-Assembly and Applications, Cambridge, Royal Soc. of Chem., 2012, 313 p.

ОБЛУЧЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СЛОЕВ ФУЛЛЕРЕНА
УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ C_{60} В.Е. Пуха¹⁾, П.А. Карасев²⁾, Е.Д. Федоренко²⁾, И.И. Ходос³⁾¹⁾ИПХФ РАН, Черноголовка, Россия²⁾СПбПУ Петра Великого, С.-Петербург, Россия³⁾ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия

Методами просвечивающей микроскопии (ПЭМ), комбинационного рассеяния (КР) и атомно-силовой микроскопии (АСМ) исследовано влияние облучения молекулярных слоев фуллерена толщиной от 10 до 40 нм ускоренными ионами C_{60} с энергией 5 и 7 кэВ при комнатной температуре. Ожидалось, что облучение ионами C_{60} поверхности фуллеренового слоя со слабыми Ван-дер-Ваальсовскими связями между молекулами приведет к интенсивному распылению молекул. Анализ изменения толщины слоя с увеличением дозы облучения и данных ПЭМ показал, что в начальный момент облучения происходит в основном не молекулярное распыление фуллерита, а разрушение молекул, то есть превращение их в более плотную и слабо распыляемую углеродную структуру. При облучении ионами C_{60} с энергией 7 кэВ слой молекул с ГЦК структурой толщиной 10 нм аморфизуется. При этом на картине микродифракции кроме аморфного гало, наблюдается дополнительное отражение, соответствующее межплоскостным расстояниям (002) графита. На спектрах комбинационного рассеяния были обнаружены пики, характерные для аморфных углеродных пленок, но не обнаружено пиков от молекулярного фуллерена. РФЭС исследования показали наличие алмазоподобной фазы.

При облучении ускоренными ионами C_{60} более толстого слоя фуллерита наблюдаются сходные эффекты. Однако, ионы не пробивают фуллерит до подложки, и под действием внутренних механических напряжений сжатия, возникших в алмазоподобной структуре, происходит отрыв фуллерита от подложки.

Работа поддержана грантом РФФИ 19-58-51016.

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОСТЕНОЧНОЙ МОРФОЛОГИИ ПРИ
ВЫСОКОДОЗНОМ ИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ СТЕКЛОУГЛЕРОДА И
УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА

Н.Н. Андрианова¹⁾, А.М. Борисов¹⁾, Е.С. Машкова²⁾,
М.А. Овчинников^{1,2)}, М.А. Тимофеев²⁾

¹⁾ МАИ (НИУ), Москва, Россия

²⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Представлены результаты воздействия высокодозного облучения ионами Ar^+ с энергией 30 кэВ на морфологию поверхности стеклоуглеродов и углеродного волокна из вискозы, имеющих существенно различную наноструктуру: наноглобулярную у стеклоуглерода и фибриллярную у углеродного волокна [1,2]. Облучение проводили в интервале температур от комнатной до 700 °С. РЭМ-изображения показывают, что при флюенсе облучения $\geq 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ происходит формирование сетчатой топографии из наноразмерных стенок как на углеродных волокнах, так и на стеклоуглероде. Толщина наностенок зависит от температуры и типа облучаемого материала и варьируется от 50 до 200 нм. Измерены и анализируются спектры комбинационного рассеяния света (КРС) для получаемых ионно-индуцированных структур. Так, для облученного стеклоуглерода СУ-2500 спектры КРС соответствуют разупорядоченной и динамически отожженной графитоподобным структурам модифицированного слоя при температурах $T > 200$ и 350 °С, соответственно. Формирование наностеночной морфологии связывается с ионным распылением и радиационно-индуцированными процессами в углеродных материалах. Обсуждаются также вопросы практического применения найденных структур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Искусственный графит // Островский В.С., и др., М.: Металлургия, 1986. 272с.
2. Harris P.J.F. // Phil. Mag. 2004. V.84. P. 3159.

ТОРЦЕВОЕ РАССЕЯНИЕ АТОМОВ ВОДОРОДА НА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ, УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАССЕЯННЫХ АТОМОВ

Ф.Ф. Умаров¹, Д.В. Алябьев², И.Д. Ядгаров²

¹Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан

²Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз. Ташкент, Узбекистан

Методами молекулярной динамики, нами рассмотрен процесс рассеяния пучка атомов водорода на углеродных нанотрубках (1000 сколлимированных атомов водорода с энергией 100 эВ/атом, на структурах, показанных на рис. 1). Направление рассеяния атомов вдоль осей нанотрубок.

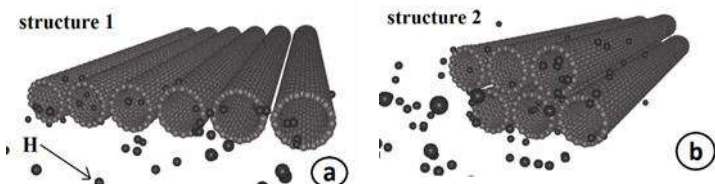


Рис. 1. а) линейные нанотрубки (structure 1), б) плотноупакованные нанотрубки (structure 2).

Как показывают результаты моделирования, часть атомов рассеивается торцами нанотрубок, часть атомов, пролетая внутри трубок и соударяясь с их стенками, рассеивается через стенки трубок, некоторые атомы пролетают сквозь трубки без рассеяния. Доля нерассеянных атомов составляет 40-45%.

ЛИТЕРАТУРА

1. D.W. Brenner, O.A. Shenderova, J.A. Harrison, S.J. Stuart, B. Ni, S.B. Sinnott. "A second-generation reactive empirical bond order (REBO) potential energy expression for hydrocarbons", J.Phys.: Condens. Matter, 14, pp.783-802 (2002)

ИЗМЕНЕНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ФАЗЫ 9R-Si ПРИ ВАРИАЦИИ УСЛОВИЙ ИОННОГО СИНТЕЗА

А.А. Никольская, Д.С. Королев, А.Н. Михайлов, А.А. Конаков,
Д.А. Павлов, Д.И. Тетельбаум

ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

Исследование гексагональных политипов кремния привлекает особое внимание ввиду их уникальных физических свойств по сравнению с традиционной кубической фазой Si. Так для некоторых гексагональных фаз продемонстрировано значительное улучшение излучательных свойств. Получение гексагональной фазы связано, прежде всего, с созданием неравновесных условий, при которых становится возможной перестройка атомных плоскостей с образованием новой фазы. В данных условиях важной задачей является получение стабильных политипов, устойчивых к изменению внешних условий.

В настоящей работе показана возможность получения светоизлучающих включений гексагонального кремния фазы 9R-Si в подложке кремния на границе с пленкой SiO₂. Такие включения были синтезированы путем облучения системы SiO₂/Si ионами K⁺ с последующим отжигом. В данном случае новая фаза формируется в матрице кубического кремния, что позволяет «стабилизировать» фазу 9R-Si. Обсуждается зависимость интенсивности линии при ~ 1240 нм, связанной с образованием фазы 9R-Si, от толщины оксидной пленки и связанным с этим изменением взаимного расположения профиля распределения ионов и границы раздела пленки с подложкой, а также от дозы ионов. Дана интерпретация полученных закономерностей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№20-32-90204), а также частично в рамках Гранта Президента РФ (МК-4092.2021.1.2).

ЭРОЗИЯ И ИОННО-ЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ
НАНОСТРУКТУРНОГО НИКЕЛЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИОНАМИ
АРГОНА С ЭНЕРГИЕЙ 30 кэВ

А.М. Борисов¹⁾, Е.С. Машкова²⁾, М.А. Овчинников^{1,2)}, Р.Х.Хисамов³⁾,
Р.Р. Мулюков³⁾

¹⁾МАИ (НИУ), Москва, Россия

²⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

³⁾Институт проблем сверхпластичности металлов РАН,
Уфа, Россия

Приведены результаты исследования эрозии и ионно-электронной эмиссии наноструктурного (НС) никеля при нормальном падении ионов Ar^+ с энергией 30 кэВ с флюенсом до $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ и при температурах мишени 45 и 120°C. НС образцы с размером зерна ~300 нм получили интенсивной пластической деформацией методом кручения под высоким давлением /1/. Для сравнения использовали мелкозернистые (МЗ) образцы с размером зерна ~4 мкм, полученные отжигом НС образцов при температуре 500°C. РЭМ-изображения показывают, что на облученном НС образце доминируют конические пирамидальные образования, тогда как на МЗ образце - ямки травления. Облучение образцов при 120°C по сравнению с облучением при 45°C сглаживает острые кромки рельефа, включая пирамиды, что приводит к уменьшению коэффициента ионно-электронной эмиссии γ . Для НС и МЗ образцов значения γ , измеренные при одной и той же температуре облучаемой мишени, являются близкими и составляют 2.15 эл./ион при температуре 45°C и 2.05 эл./ион при 120°C. Влияние морфологии поверхности обсуждается в рамках теории кинетической ионно-электронной эмиссии /2/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Khisamov R.K., Nazarov K.S., Irzhak A.V. et al.// Letters on Materials. 2019.V.9(2). P.212.
2. Borisov A.M., Mashkova E.S., Nemov A.S., Parilis E.S. // Nucl. Instrum Methods B. 2005 V.230. P.443.

ВОЗГОНКА МЕТАЛЛОВ ПРИ КОРОННОМ РАЗРЯДЕ И ОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТИЦ

В.А. Загайнов^{*1)}, В.В. Максименко¹⁾, Н.П. Калашников¹⁾, В.Д. Чаусов¹⁾,
Д.К. Загайнов²⁾, И.Е. Аграновский³⁾

¹⁾ НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

²⁾ НИТУ «МИСИС», Москва, Россия

³⁾ Университет Гриффитса, Брисбен, Австралия

*e-mail: vzagaynov@yandex.ru

В работе исследован механизм возгонки металлов при возникновении коронного разряда и образование в газовой фазе металлических частиц. Образование частиц регистрировалось диффузионным аэрозольным спектрометром. Размер образовавшихся частиц в интервале от 3 до 15 нм, размеры не зависят от вида металла. Эти результаты соответствуют данным, полученным в работе [1]. Предложена теория возгонки ионов металла из узлов кристаллической решётки. Модель включает два этапа: возбуждение плазмон-поляритона на поверхности металла за счет неупругого рассеяния падающих электронов или ионов и резонансное воздействие электромагнитного поля плазмон-поляритона на приповерхностный ион кристаллической решетки, приводящее к выходу иона металла в газовую среду. Расчёты теории соответствуют экспериментальным данным, которые свидетельствуют о том, что выход атомов металла в газовую фазу не зависит от заряда падающих ионов и электронов и от их массы. Интенсивность возгонки практически не зависит от энергии связи металла – практически одинаково возгоняются такие металлы, как Ag, Cu, W, Mo – зависимость проявляется только от силы тока коронного разряда.

Работа была поддержана проектом РФФИ 19-05-50007

ЛИТЕРАТУРА

1. A.A. Petrov, R.H. Amirov, I.S. Samoylov // IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE, 2009, VOL. 37, NO. 7, 1146 - 1149

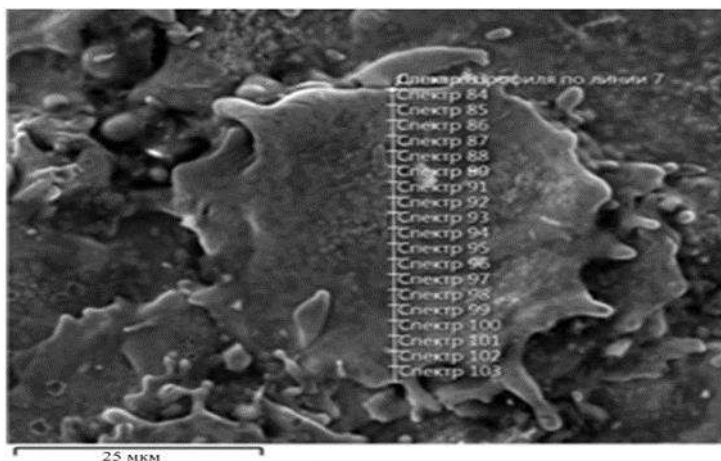
ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ АТОМОВ СПЛАВНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДУГОВОГО РАЗРЯДА

А.И. Кудюкин¹⁾, М.Н. Махмудов²⁾, Е.Н. Моос¹⁾

¹ Кафедра общей и теоретической физики, Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, г. Рязань, Россия

² Кафедра промышленной электроники, Рязанский государственный радиотехнический университет, г. Рязань, Россия
e_moos@mail.ru

Из представлений о дуговом разряде известен факт блуждания катодного пятна, но вопрос о перераспределении компонент внутри него для сплавных электродов нигде не обсуждался. В данной работе методом РСМА эта особенность разряда исследовалась на примере сплавного Cu - Cr электрода.



На рис.1 далее представлены результаты такого анализа, из которых следует, что в центре пятна (поз.92) атомов хрома больше в 1.74 - 1.84 раза чем на периферии, в то время концентрация меди к центру уменьшается в 1.34 - 1.37 раза (в исходном сплаве Cu - 40%Cr).

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА ВЫСОКОДОЗНЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ ИОНАМИ УГЛЕРОДА

А.М. Борисов¹⁾, Е.С. Машкова²⁾, М.А. Тимофеев²⁾,
М.А. Овчинников²⁾

¹⁾ МАИ (НИУ), Москва, Россия

²⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Представлены результаты воздействия высокодозного облучения ионами C^+ с энергией 30 кэВ на структуру и морфологию поверхности углеродных волокон ВМН-4 из полиакрилонитрила (ПАН) в составе композита КУП-ВМ. Флуенс облучения составлял $\sim 3 \cdot 10^{18}$ см⁻², температура облучения 200 - 600°C. Анализ РЭМ-изображений показывает, что облучение углеродных волокон собственными ионами не приводит, как в случаях облучения ионами неона, аргона и азота [1], к гофрированию поверхности волокна. Облучение при температурах $> 250^\circ C$ приводит к развитию и затем к постепенному сглаживанию наноразмерной шероховатости поверхности волокна. Исследования при помощи КР-спектроскопии показывают улучшение структуры модифицированного графитоподобного слоя с увеличением температуры облучения, схожее со случаями облучения ионами неона и аргона, когда наблюдается гофрирование [2]. Отсутствие гофрирования поверхности углеродного волокна при облучении ионами углерода связывается с ростом поверхностного слоя волокна, в противоположность его распылению при облучении ионами неона, аргона и азота, и значительным при этом различием формы профилей дефектообразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andrianova N. N., et. al., Horizons in World Physics. 280 (2013) 171–190.
2. Андрианова Н. Н., и др. // Изв. РАН Сер. Физ. 2018. — Т. 82, № 2. С. 140–145.

ВЛИЯНИЕ СОРТА АТОМОВ КЛАСТЕРА НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КЛАСТЕРОВ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ТВЁРДОГО ТЕЛА

А.В. Назаров^{*1)}, А.Д. Завильгельский²⁾, В.С. Черныш²⁾

НИИЯФ им. Д.В. Скобельщина, МГУ им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

²⁾ МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

^{*}e-mail: av.nazarov@physics.msu.ru

Пучки газовых кластерных ионов на данный момент являются широко используемым инструментом для обработки и анализа поверхности.

В данной работе изучено влияние сорта атомов кластера на процесс взаимодействия газового кластера с поверхностью твёрдого тела. Проведено компьютерное моделирование взаимодействия кластерных ионов Ar, Kr и Xe размером от 50 до 5000 атомов с энергией 20 кэВ с мишенями Mo и Cu методом молекулярной динамики.

Показано, что соотношение масс атомов, составляющих кластер, и атомов мишени оказывает влияние на интенсивность соударений атомов кластера между собой. Этот эффект оказывает влияние на глубину проникновения атомов кластера в мишень, термализацию атомов кластера, а также на передачу энергии от кластера к мишени. Данный эффект рассмотрен для различных диапазонов энергии на один атом кластера.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-19-00310).

ЛИТЕРАТУРА

1. V.S. Chernysh, A.E. Ieshkin, D.S. Kireev, A.V. Nazarov, A.D. Zavilgelsky // Surf. Coat. Tech. 2020, 388, 125608.
2. A.E. Ieshkin, A.V. Nazarov, A.A. Tatarintsev, D.S. Kireev, A.D. Zavilgelsky, A.A. Shemukhin, and V.S. Chernysh.// Surf. Coat. Tech. 2020, 404, 12650

ОСОБЕННОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСПЫЛЕНИЯ ГАЗОВЫМИ КЛАСТЕРНЫМИ ИОНАМИ.

П.А. Пушко¹⁾, М.Е. Беляев¹⁾, Д.С. Киреев²⁾, Ю.А. Ермаков²⁾,
А.Е. Иешкин¹⁾

¹⁾ Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

²⁾ НИИЯФ имени Д.В. Скобелевича МГУ имени М.В.
Ломоносова, Москва, Россия

Взаимодействие кластерных ионов с поверхностью твердого тела характеризуется рядом свойств, принципиально отличающихся от аналогичных для атомарных ионов [1]. В связи с этим актуальна задача по определению значений коэффициентов распыления поверхности твердых тел газовыми кластерными ионами, а также исследование их зависимости от условий облучения, таких как угол падения пучка и размер кластера [2].

В данной работе исследованы коэффициенты распыления металлических материалов газовыми кластерами при различных углах бомбардировки. Для измерения количества вещества, распыленного с поверхности образца, создана схема на основе кварцевого микробаланса. Данная методика обладает рядом преимуществ по сравнению с другими (взвешивание, измерение кратеров травления), так как относительно проста в реализации, имеет высокую чувствительность и не зависит от формирующегося на поверхности нанорельефа. Распределение кластеров по размеру определялось с помощью времяпролетных измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yamada I. // Appl. Surf. Sci, B.V., 2014, V. 310, p. 77–88.
2. Seki T., Murase T., Matsuo J. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B., 2006, V. 242, p.179-181.

АТОМЫ МОЛЕКУЛ ВОДОРОДА В МАСС-СПЕКТРАХ

М.Н. Махмудов¹⁾, Е.Н. Моос^{2*)}¹⁾ Рязанский радиотехнический университет, Рязань, Россия²⁾ Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,
Рязань, Россия

*) e-mail: e_moosl@mail.ru

Причиной данной работы послужило обнаружение трехатомной молекулы H_3 квадрупольной системой в масс-спектре вакуумной камеры, прошедшей отжиг в водороде (Рис.1).

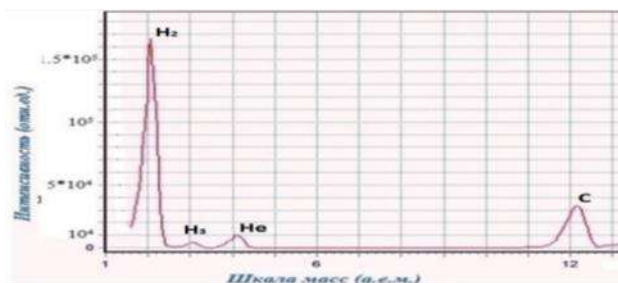


Рис.1. Масс-спектр КМС -250.

В то же время этот тип молекулярного соединения зарегистрирован группой Е.М. Окса с сотрудниками методом времяпролетной масс-спектрометрии (см., например /1, 2/) при определенных давлениях остаточного газа и тока разряда. Важным является возможность раздельного наблюдения этой линии в масс-спектре без наложения фона от линии H_2 . На существование такого молекулярного соединения указывал еще Дж. Дж. Томсон, а Г. Герцберг был первым, обнаружившим спектр оптического излучения нейтрального H_3 .

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Г. Николаев, Е.М. Окс, В.П. Фролова и др. // ЖТФ, 2017, том. 87. №5. С. 681- 687.
2. А.В. Визир, Е.М. Окс, М.В. Шандриков и др. // ЖТФ, 2017, том. 87. №3. С. 356 - 359.

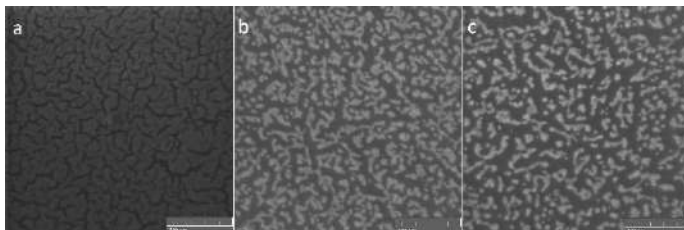
СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА НА ПОЛИМЕРНОЙ ПОДЛОЖКЕ МЕТОДОМ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ.

В.М. Студзинский^{1,2}, К.В.Карабешкин¹, А.И.Титов¹, П.А. Карасёв¹

¹ Политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия.

² Алферовский университет, Санкт-Петербург, Россия.

В работе исследовалась модификация морфологии пленки золота толщиной 5 нм, нанесённой на слой полиметилметакрилата (ПММА) на поверхности кремния при ее бомбардировке ионами Р и РF₄ с энергией 0.6 кэВ/а.е.м. Сравнение экспериментальных данных проводилось при одинаковом количестве смещений атомов золота (DPA). Рис.1 показывает морфологию исходной пленки Au и ее изменение после облучения ионами. Видно, что молекулярные ионы более эффективно формируют наночастицы по сравнению с атомарными (молекулярный эффект). Результаты сравнивались с данными по облучению плёнок на других подложках /1, 2/. Обнаружено, что для получения хорошо разделенных золотых наночастиц на ПММА требуются более высокие дозы, чем на кремнии. Причиной сворачивания пленки Au в наночастицы является вязкое течение /1/. Замедление этого процесса происходит вследствие радиационно-стимулированного заравнивания нанопор в слое ПММА



СЭМ-изображения исходной пленки (а) и пленки после облучения ионами Р (b) и РF₄ (c) до дозы $2.7 \cdot 10^{-1}$ DPA. Отрезок шкалы 200 нм.

Работы в Алферовском Университете выполнялись в рамках госзадания Минобрнауки №FSRM-2020-0011.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.С. Тужилкин и др. // ФТП, 2020, 54, с. 90-96.
2. R. Lo-Savio, et. al. // SolidStateComm., 2016, 240, p. 41.

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ C₆₀ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ НА СТРУКТУРУ И СВЯЗИ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙА.А. Бельмесов¹⁾, В.Е. Пуха¹⁾, Е.Н. Кабачков¹⁾, И.И. Ходос²⁾¹⁾ИПХФ РАН, Черноголовка, Россия²⁾ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия

В докладе представлены результаты исследования методами ПЭМ и РФЭС влияния высокоэнергичной компоненты ионного пучка C₆₀ (энергии ионов 7 и 14 кэВ) на структуру и химические связи углеродного покрытия. ПЭМ исследования установили появление нанокристаллов графита в аморфной алмазоподобной матрице при температуре осаждения 200°C. Структура химических связей определялась деконволюцией пика C1s и Оже-спектром C KLL (параметр D) с информационной глубиной 8,2 нм и 3,3 нм /1/. Сравнение соотношения sp^3/sp^2 для компонентов C1s пика и полученного из величины параметра D показало, что количество sp^3 уменьшается с глубиной покрытия, а в поверхностном слое покрытия, полученного из пучка ионов C₆₀ с энергией 7 кэВ на температуру 300°C sp^3 связи составляют 60%. Несмотря на появление нанокристаллов графита, при обработке ионами с энергией 14 кэВ количество sp^3 связей увеличивается в поверхностном слое до 77%.

Это подтверждается характеристиками смачивания, так угол смачивания после обработки поверхности ионами C₆₀ увеличился от 90° до 96°. Более высокий угол смачивания характерен для граней алмаза и алмазоподобных структур с высоким содержанием sp^3 связей. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-58-51016.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lesiak B. et al. //Applied Surface Science. – 2018. – Т. 452. – С. 223-231.

РАССЕЯНИЕ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ АТОМОВ УГЛЕРОДА
И ДИМЕРОВ УГЛЕРОДА НА МОЛЕКУЛАХ ФУЛЛЕРЕНАФ.Ф. Умаров¹, Д.В. Алябьев², И.Д. Ядгаров²¹Казахстанско-Британский технический университет,
Алматы, Казахстан² Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз.
Ташкент, Узбекистан

Рассматривается рассеяние идеально сколлимированного пучка атомов углерода и димеров углерода на группе молекул фуллеренов. За основу описания взаимодействий, нами был выбран потенциал Бреннера [1]. Скорости атомов структуры были заданы равными нулю, что соответствует нулевой температуре структуры. Обнуление температуры структуры определялось тем, что тепловые движения атомов не оказывают существенного влияния на процессы, которые мы хотим проанализировать. Плотность налетающего потока атомов определялась исключительно соображениями экономии машинного времени, хотя здесь надо действовать с определенной осторожностью – при слишком больших плотностях потока налетающих атомов, структура может разрушаться в результате локальных перегревов. Как показывают проведенные нами ранее для атомов водорода модельные эксперименты, энергию налетающих частиц следует варьировать в диапазоне 10-30эВ. Результаты модельных экспериментов показывают, что, по-видимому, получение эндоэдральных фуллеренов путем рассеяния на них атомов затруднено их возможным разрушением, а также адсорбцией рассеиваемых атомов.

ЛИТЕРАТУРА

1. D.W. Brenner, J. Phys: Condens. Matter, 14, pp.783-802. (2002)

SPUTTERING OF GRAPHENE BY HYDROGEN-CARBON CLUSTERS:
CH, CH₂, CH₃ and CH₄

E. Umarov¹, I. Yadgarov², A. Ulukmuradov²

¹Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan

²Ion-plasmas and Laser Technologies Institute after Arifov,
Tashkent, Uzbekistan

Computer model of graphene of rectangular form consisting of 112 carbon atoms in the planar hexagonal packing, was built with imposition of periodic conditions on boundary atoms along the plane of the structure with a corresponding "heating" up to 300 K. Computer models of CH, CH₂, CH₃ and CH₄ were built without imposition of periodic conditions and without the "heating". In these and subsequent simulations Brenner potential second generation (1) was used. Once the model of graphene was obtained, by computer simulation processes of sputtering of graphene at normal incidence with different energies of CH, CH₂, CH₃ and CH₄, also carbon atoms for comparison, were studied. At first the minimum kinetic energy for sputtering of graphene at normal incidence of carbon atoms has been identified and this energy was found to be 22.5 electron-volts. Then for different values of energy and types of the hydrogen-carbon clusters 100 of incidences onto a randomly chosen point of the surface the graphene was simulated.

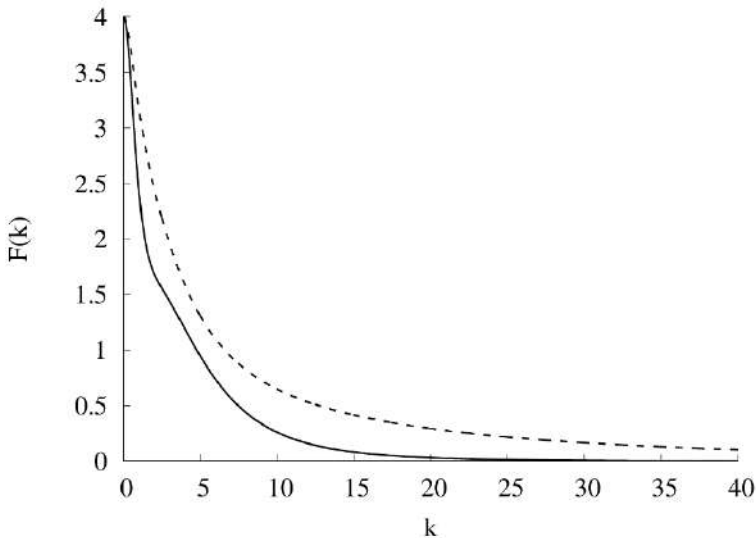
The minimum kinetic energies for sputtering of graphene by different types of the hydrogen-carbon clusters and changing of structure of graphene were obtained and discussed.

REFERENCE

1. D. W. Brenner, O. A. Shenderova, J. A. Harrison, S. J. Stuart, B. Ni, S. B. Sinnott // J. Phys: Condens. Matter. – 2002. – 14. – 783-802.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ ТЕРМОВ ДВУХАТОМНЫХ
МОЛЕКУЛ ОТ ВИДА АТОМНОГО ФОРМ-ФАКТОРАВ.П. Кощеев¹⁾, Ю.Н. Штанов²⁾¹⁾НИУ МАИ, филиал «Стрела», Жуковский, Россия²⁾ТИУ, филиал ТИУ в Сургуте, Сургут, Россия

На рисунке представлены результаты моделирования атомного форм-фактора изолированного атома Ве в приближении Мольер [1] (пунктирная линия) и волновых функций Хартри-Фока [2] (сплошная линия).



Обнаружено значительное влияние вида форм-фактора на значения потенциальной энергии взаимодействия атомов в молекуле.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 20-07-00236 а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Molière G. // Zeitschrift Naturforsch. T I. A. 1947. V. 2. P. 133.
2. Clementi E., Roetti C. // Atomic Data and Nuclear Data Tables. 1974. V. 14. P. 177-478.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ВОДОРОДА И ДЕЙТЕРИЯ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ ПРИ ОТРАЖЕНИИ ОТ ДВУХСЛОЙНЫХ МИШЕНЕЙ

В.И. Шульга

НИИЯФ МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Как известно, спектры отраженных ионов позволяют получать данные о сечении неупругого торможения частиц в веществе S . При облучении серебра изотопами водорода значения S , найденные этим методом /1/, оказались значительно ниже тех, что получены /2/ из спектров частиц, прошедших через тонкие пленки (рис. 1а). В данной работе методом компьютерного моделирования проведен расчет отражения ионов H и D с энергией 0.5-10 кэВ от двухслойной мишени Ag(211 Å)/Si, что соответствует условиям эксперимента /1/. В качестве $S(E)$ использованы зависимости, показанные на рис. 1а. Наилучшее согласие с экспериментом отмечено для зависимости $S(E)$, найденной /1/ с помощью компьютерной программы TRBS (рис. 1б). Одной из причин высоких значений S в работе /2/ может быть использование мишеней недостаточно тонких для изучения торможения в области низких энергий.

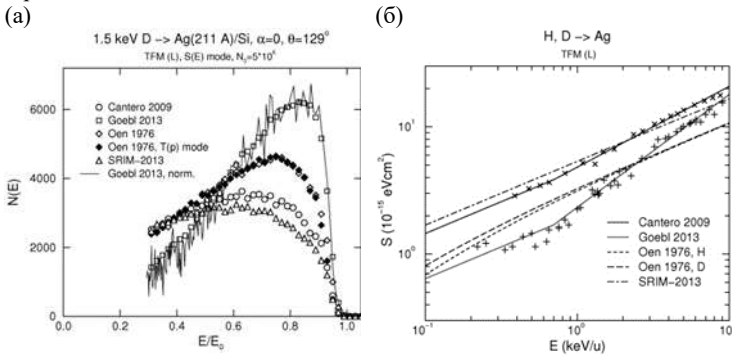


Рис.1. (а) Зависимости $S(E)$, использованные в данной работе.
(б) Спектры отражения для различных форм $S(E)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Goebel D. et al. // Phys. Rev. A. 2013. V. 87. P. 062903.
2. Cantero E.D. et al. // Phys. Rev. A. 2009. V. 80. P. 032904.

ОСОБЕННОСТИ РАСПЫЛЕНИЯ КРЕМНИЕВЫХ НАНОСФЕР
ИОНАМИ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ НИЗКОЙ ЭНЕРГИИА.А. Сычева^{*1)}, Е.Н. Воронина^{1,2)}¹⁾ НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²⁾ Московский государственный университет имени

М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

*) e-mail: sycheva.phys@gmail.com

При воздействии ионов на поверхность, обладающую сложным рельефом, процесс ее физического распыления может заметно отличаться от случая плоской мишени [1]. Причем в случае наноразмерных объектов интенсивность распыления в существенной степени зависит от кривизны их поверхности. Детальное изучение подобных эффектов позволит объяснить увеличение интенсивности распыления, обнаруженное при обучении нанопористых материалов ионами инертных газов низких энергий (до 200 эВ) [2].

С целью изучения влияния кривизны поверхности на механизмы распыления в данной работе выполнено моделирование методом молекулярной динамики воздействия ионов Ag и Xe низкой энергии на кремниевые наносферы с радиусом до 6 нм. Показано влияние массы иона на особенности процесса его взаимодействия с мишенями, обладающими различной кривизной, и дано объяснение возрастания коэффициента распыления при уменьшении радиуса сферы [3]. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-29-27001.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nietiadi M.L., Urbassek H.M. // Appl. Phys. Lett., 2013, 103, 113108.
2. Sycheva A.A., Voronina E.N., Rakhimova T.V., Rakhimov A.T. //, Appl. Surf. Sci., 2019, 475, 1021.
3. Сычева А.А. // ПЖТФ, 2020, 46, 23, 29.

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ КЛАСТЕРНЫМИ ИОНАМИ АРГОНА
ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЁНОК AlN НА ПОДЛОЖКАХ ИЗ
СИТАЛЛА И Si

И.В. Николаев^{*1)}, Н.Г. Коробейщиков¹⁾, П.В. Гейдт¹⁾, В.И. Струнин²⁾

¹⁾ НГУ, Новосибирск, Россия

²⁾ Институт радиофизики и физической электроники ОНЦ СО РАН,
Омск, Россия

^{*)} e-mail: i.nikolaev@nsu.ru

Плёнки на основе нитрида алюминия широко используются в современной оптике, биосенсорах микроэлектронике, оптоэлектронике и других приложениях (1, 2). Известно, что кластерные ионы эффективно применяются для сглаживания и травления поверхности мишени при минимальном повреждении обрабатываемого материала, глубиной единицы нанометров (3).

Приведены результаты экспериментального исследования по обработке поликристаллических плёнок AlN несепарированным ионно-кластерным пучком аргона (4). Продемонстрировано эффективное сглаживание микрокристаллитов, диаметром в сотни нанометров. Приведено сравнение результатов сглаживания плёнок AlN, выращенных на разных подложках: ситалле и кремнии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Y.Q. Fu et al. // Progress in Materials Science, 2017, Vol. 89, P.31–91.
2. V. S. Kudyakova et al. // Journal of the European Ceramic Society, 2017, Vol. 37, P. 1143–1156.
3. N. Toyoda and I. Yamada // AIP Conference Proceedings, 2006, Vol. 866, P. 210–213.
4. N. G. Korobeishchikov et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 2019, Vol. 438, P. 1–5.

ИСТОЧНИК ФЕМТОАМПЕРНЫХ ПУЧКОВ ПРОТОНОВ

В.Н. Черник, В.П. Петухов

НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Исследования энергетических спектров протонов в верхней атмосфере Земли производятся бортовыми анализаторами на космических аппаратах. Для их калибровки в лабораторных условиях применяются источники и ускорители заряженных частиц, формирующие пучки протонов в широком диапазоне энергий. При этом для предотвращения перегрузки вторично-электронных умножителей детекторов частиц пучки должны иметь низкую интенсивность в диапазоне от фемто- до пикоампер. Такие ионные токи характерны для масс-спектрометров разреженных газов. За основу выбран анализатор легких масс (1-4 а.е.м.) радиочастотного масс-спектрометра марки МХ-6407П типа Беннета. Принцип действия заключается в ионизации молекул рабочего газа ускоренными электронами, испущенными термоэмиссионным катодом с последующим выделением ионов нужной массы, основаном на избирательном действии трехсеточных каскадов с высокочастотным полем, пропускающих только ионы, движущиеся с синхронной скоростью, определяемой ускоряющим напряжением развертки и атомной массой иона. Для преобразования анализатора масс-спектрометра в источник ионов протоны необходимо вывести из анализатора наружу. Для этого его конструкция была изменена: штатный коллектор ионов и электрометрическая головка удалены и заменены приемником ионов с кольцевым коллектором, выполненным в виде диска диаметром 25 мм с центральным отверстием диаметром 5 мм, через которое формируется выходной протонный пучок. Его величина контролируется по ионному току на коллектор, измеряемым электрометрическим усилителем с входным сопротивлением $R=10^{12}$ ом на операционной микросхеме с ультранизким входным током типа LMC 6042. Проведена градуировка тока коллектора по току пучка на цилиндр Фарадея, измеряемому фемтоамперметром в диапазоне 5-120 фА при энергии протонов, регулируемой от 0,07 до 5 кэВ. В докладе приведены описание конструкции источника и результаты испытаний.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ НАНОПЛЕНОК MoO_3/Mo (111) НА ИХ СВОЙСТВА

Б.Е. Умирзаков, Д.А. Ташмухамедова, Э. Раббимов,
Ш.А. Толипова, С.Т. Гулямова, З.М. Собиров

Ташкентский государственный технический университет
им. Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан
e-mail: ftmet@mail.ru

Нами изучены эмиссионные и оптические свойства нанопленок MoO_3/Mo (111) разной толщины полученные термическим окислением и ионной имплантацией. Такие как максимальное значение коэффициента ВЭЭ σ_m , энергия первичных электронов E_{pm} соответствующая значению σ_m , коэффициент отражения света R и глубина зоны выхода истинно-вторичных электронов (ИВЭ) x' для системы MoO_3/Mo . Показано, что коэффициент отражения света с увеличением толщины пленки уменьшается, что связано с влиянием подложки: $R_{\text{Mo}} > R_{\text{MoO}_3}$. Значение σ_m и E_{pm} при $d \leq 300 \text{ \AA}$ с ростом d существенно увеличивается. Это обусловлено тем, что, во-первых, эмиссионная эффективность слоев MoO_3 больше, чем эмиссионная эффективность слоев Mo и, во-вторых, с ростом d увеличивается глубины выхода ИВЭ x' . Начиная с $d \approx 300 \text{ \AA}$ значения σ_m и E_{pm} заметно не меняется. При этом глубина выхода ИВЭ достигает своего максимального значения, которая называется глубиной зона выхода ИВЭ x' . Значения $x' = 250 \text{ \AA}$ удовлетворительно согласуются с расчетными данными, определяемыми по формуле [1]:

$$x'(\text{см}) = \frac{5.2 \cdot 10^{-6} A (Z_{\text{эффк}})}{\rho \cdot Z_{\text{эффк}}} \cdot E_{pm}^{1.4}$$

ρ – плотность MoO_3 , в г/см^3 , A – атомная масса, $Z_{\text{эффк}}$ – эффективное значение порядкового номера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бронштейн И.М., Фрайман Б.С. Вторичная электронная эмиссия. М.: Наука. 1969. 305с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ИНЕРЦИОННОСТЬЮ И ЛИНЕЙНО ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ ПОВЕРХНОСТНО-ИОНИЗАЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ

А.Ш. Раджабов*, Д.Т. Усманов

Институт Ионно-плазменных и лазерных технологий
имени У.А. Арифова Академии Наук Республики Узбекистан,
Ташкент, Узбекистан,
*e-mail: a.radjabov0217@gmail.com

В работе методом термодесорбционной спектрометрии экспериментальным путем исследовано взаимосвязь между инерционностью-быстродействием и линейно динамическим диапазоном поверхностно-ионизационных детекторов [1]. Разработано теоретические основы данной зависимости. Результаты экспериментальных и теоретических исследований показали, что наличие верхнего предела в линейно динамическом диапазоне обусловлена возникновением пороговой области поверхностной ионизаций [2]. Выявлено, что в условиях, когда инерционность детекторы велика, степен покрытия поверхности эмиттера увеличивается, что приводит к уменьшению его работы выхода. Уменьшение работы выхода эмиттера приводит к уменьшению тока ионов, из-за чего нарушается линейность между током ионов и концентрации анализируемых веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Iskhakova, S.S., Khasanov, U., Rasulev, U.K., Usmanov, D.T., // Technical Physics Letters, 2020, 46(12), стр. 1231–1234.
2. А.Ш. Раджабов, Г.Т. Рахманов, //Вестник ТашГТУ, 2017, №3, ст.56-63.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНЕРЦИОННОСТИ ПОВЕРХНОСТНО-ИОНИЗАЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ

А.Ш. Раджабов^{*1)}, Д.Т. Усманов¹⁾, С.С. Исакова¹⁾,
А.С. Халматов²⁾, Ш.Т. Тоиров²⁾

¹Институт Ионно-плазменных и лазерных технологий
имени У.А. Арифова Академии Наук Республики Узбекистан,
Ташкент, Узбекистан,

²Ташкентский государственный технический университет
имени И. Каримова, Ташкент, Узбекистан

*e-mail: a.radjabov0217@gmail.com

В работе методом термодесорбционной спектроскопией (ТД) [1] экспериментальным путем исследовано инерционность (быстродействия) поверхностно-ионизационных детекторов [2]. Найдено, что инерционность детектора зависит от температуры T_E поверхностно-ионизационного эмиттера и от скорости изменения потока dv/dt молекул исследуемых веществ, поступающих к детектору [2,3]. При определенных значений dv/dt инерционность детектора с увеличением T_E уменьшается. Также, при условии $T_E = const$, с уменьшением скорости изменения dv/dt инерционность детектора уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попова Н.М., Бабенкова Л.В., Савельева Г.А., Кульевская Ю.Г., Смирнова Н.Г., Солнышкова В.К., «О современном методе термодесорбции и его использовании в адсорбции и катализе», Алма-Ата: Издательство «Наука», 1985. 85 с.
2. Iskhakova, S.S., Khasanov, U., Rasulev, U.K., Usmanov, D.T., // Technical Physics Letters, 2020, 46(12), стр. 1231–1234.
3. Е.С. Каратаев, «Теоретические основы газовой хроматографии», Монография, Казань, издательство КНИТУ, 2015 г., 268 ст.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПЫЛЕНИЯ W ИОНАМИ Ne И Be МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Д.С. Мелузова*, П.Ю. Бабенко, А.Н. Зиновьев

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

*dmeluzova@gmail.com

Разработан код для моделирования распыления методом молекулярной динамики (MD). Для описания взаимодействия атомов твёрдого тела-вольфрама был использован многочастичный потенциал "ЕАМ-4" из [1]. Взаимодействие между налетающей частицей и W описывалось потенциалом, полученным в рамках теории функционала плотности [2]. Для описания структуры вольфрама была использована модель идеального аморфного тела [3]. Расстояние между частицами было выбрано равным 0.266 нм, что соответствует плотности W. Рассчитанные с помощью разработанного кода коэффициенты распыления Υ находятся в хорошем согласии с экспериментом [4].

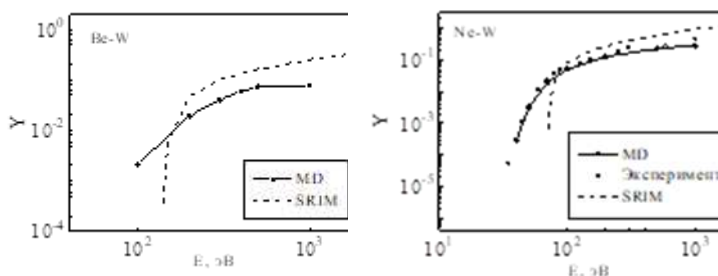


Рис.1 Зависимость коэффициента распыления Υ от энергии налетающих частиц для Ne-W и Be-W. Экспериментальные данные из работы [4] и расчёт программой SRIM [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Marinica M-C. et.al. //J.Phys.Cond.Matt. 2013 v.25 p.395502.
2. Meluzova D.S et.al. // NIMB 2019 v.460 p.4.
3. <https://users.cecs.anu.edu.au/~u9300839/>
4. Behrisch R., Eckstein W. Sputtering by Particle Bombardment Berlin Springer 2007.
5. Ziegler J. F., Biersack J. P. <http://srim.org>.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ФОКУСИРОВКИ АТОМОВ,
РАСПЫЛЕННЫХ С ПОВЕРХНОСТИ ГРАНИ (001) Ni ИОНАМИ Ag
НИЗКОЙ ЭНЕРГИИ

А.И. Мусин¹⁾, Г.В. Корнич²⁾, В.Н. Самойлов³⁾

¹⁾Московский государственный областной университет,
Москва, Россия

²⁾Национальный университет “Запорожская политехника”,
Запорожье, Украина

³⁾МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Исследована фокусировка распыленных атомов при бомбардировке грани (001) Ni ионами Ag с энергией 200 эВ. Расчеты проводились согласно молекулярно-динамической модели /1/. Выполнено моделирование падения около 76000 ионов. Рассчитаны вклады фокусированных и перефокусированных распыленных атомов в распределения распыленных атомов по углам (см. также /2/). Максимумы распределения распыленных атомов по азимутальному углу соответствуют наблюдаемым в экспериментах. Распределение всех распыленных атомов по начальному азимутальному углу, рассчитанному при пересечении атомом плоскости на высоте 0.3 Å над поверхностью кристалла, оказалось более широким, чем распределение по конечному азимутальному углу. Для перефокусированных распыленных атомов наблюдается аналогичное сужение распределения в процессе эмиссии атомов. Таким образом, распределение распыленных атомов по азимутальному углу формируется в большой степени на стадии эмиссии атомов с поверхности за счет фокусировки линзами из двух ближайших к вылетающему атому атомов поверхности (см. также /3/).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Kornich G.V., Betz G. // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B., 1998, V. 143, № 4, p. 455-472.
2. Самойлов В.Н., Мусин А.И., Ананьева Н.Г. // Известия РАН. Серия физическая, 2016, т. 80, № 2, с. 122-125.
3. Шпиньков В.И., Самойлов В.Н. // Поверхность, 2009, № 3, с. 73-79.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕЛИЙ-ВАКАНСИОННОГО
КОМПЛЕКСА НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
СЛОЯХ Zr/Nb: РАСЧЕТЫ ИЗ ПЕРВЫХ ПРИНЦИПОВ

Д.В. Терентьева^{*1)}, Л.А. Святкин¹⁾, Р.С. Лаптев¹⁾

¹⁾Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск, Россия

^{*)} e-mail: dvt17@tpu.ru

В ходе эксплуатации ядерных реакторов в циркониевых сплавах накапливается гелий, образующийся в активной зоне реактора в результате (n, α) ядерных реакций, что приводит к изменению механических свойств конструкционных материалов и уменьшение срока их эксплуатации. Для решения этой проблемы разрабатываются самовосстанавливающиеся покрытия на основе чередующихся мультислоев циркония и ниобия /1/. В настоящей работе проведено исследование из первых принципов особенностей влияния границы раздела между металлическими слоями Zr/Nb на энергию образования гелий-вакансионного комплекса.

В работе расчеты производились в рамках теории функционала электронной плотности методом оптимизированного сохраняющего норму псевдопотенциала Вандербиля, реализованным в пакете программ ABINIT. Установлено, что вакансиям и гелий-вакансионным комплексам энергетически наиболее выгодно скапливаться на границе раздела в первых двух атомных слоях циркония или ниобия. Выявлено, что энергия образования гелий-вакансионного комплекса на границе раздела между металлическими слоями Zr/Nb энергетически выгоднее в ниобии ($\sim 2,4$ эВ), чем в цирконии ($\sim 2,8$ эВ).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-79-10343).

ЛИТЕРАТУРА

1. H.S. Sen, T. Polcar // Journal of Nuclear Materials, Vol. 518, 2019, p. 11-20.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОЙ
ИОНИЗАЦИИ ИНСЕКТИЦИДА КАРБАРИЛА

Ахмедов Ш.М., Ш.Дж. Ахунов, Д.Т. Усманов*)

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, АН РУз,
Ташкент, Узбекистан*)e-mail: usmanov@iplt.uz

Термодесорбция многоатомных ионов органических соединений была обнаружена в 1967 года [1]. Активные органические соединения – наркотики, лекарственные препараты, пестициды и другие ядовитые вещества являются производными аминов. Исследования таких соединений методом поверхностно-ионизационной масс-спектрометрией (ПВИ/МС) при отдельной и совместной адсорбции представляют большой научный интерес фундаментального характера.

В работе обсуждаются экспериментальные результаты, полученные методом ПВИ/МС для выявления закономерности поверхностной ионизации (ПВИ) инсектицида карбарила. Получены ПВИ масс-спектров и температурные зависимости ионных токов карбарила. Масс-спектр состоял из линии квазимолекулярных иона $[M-H]^+$ и фрагментных ионов $[M-R]^+$. Фрагментный ион являлся основным ионом в масс-спектре карбарила. Исследованиями выявлены выходы гетерогенных реакций, происходящих на горячей поверхности термоэмиттера при адсорбции молекул карбарила, схемы адсорбции молекул на поверхности термоэмиттера и мономолекулярные распады термически возбужденных ионов, происходящих после отлета с горячей поверхности эмиттера, а также процессы скелетарных перегруппировок. В работе также оценена теплота сублимации $E_{\text{суб}}$ инсектицида карбарила.

ЛИТЕРАТУРА

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

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-
ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЁТА
КЛАСТЕРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПОСТИМПЛАНТАЦИОННОМ
ОТЖИГЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Е.В. Окулич^{1)*}, В.И. Окулич²⁾, Д.И. Тетельбаум¹⁾, А.Н. Михайлов¹⁾

¹⁾ ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

²⁾ НИУ филиал РАНХиГС, Нижний Новгород, Россия

*) e-mail: eokulich@nifti.unn.ru

Первопринципное моделирование дефектообразования при ионном облучении сложных полупроводников, в том числе Ga₂O₃, требует слишком больших компьютерных ресурсов. Решение этой проблемы было бы облегчено при использовании метода молекулярной динамики (МД). Нами разработана оригинальная методика МД расчетов эволюции системы дефектов при термическом отжиге ионно-облученных слоев с учетом исходных данных о дефектообразовании, полученных с помощью программы SRIM. Она апробирована на примере нестехиометрического оксида кремния SiO_{1.7}, облученного ионами Si⁺. Фиксируемые для разных времен отжига атомные координаты использовались для визуализации структуры, расчёта локальных плотностей и радиальной функции распределения кремния и кислорода.

Результаты для температуры отжига 1500К показали образование зародышей нанокластеров Si для экстремально малых времен отжига – порядка 10 нс, что согласуется с гипотезой, предложенной в экспериментальной работе [1].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (Грант № 19-57-80011).

ЛИТЕРАТУРА

1. Окулич Е.В., Окулич В.И., Тетельбаум Д.И., // ПЖТФ, 2020, т. 1, с. 24.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМОПОЛЕВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ
ЭМИССИИ ИЗ КАТОДА С ТОНКОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
ПЛЕНКОЙ НА ЕГО ЭМИССИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ

В.И. Кристя, Мьо Ти Ха, М.Р. Фишер

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана, Калужский филиал, Калуга, Россия

Одно из направлений усовершенствования дуговых газоразрядных ламп состоит в уменьшении промежутка времени до возникновения в них дугового разряда, что может быть достигнуто путем формирования на поверхности их электродов тонких диэлектрических пленок. При бомбардировке пленки на электроде, выполняющем функции катода, ионами в тлеющем разряде происходит накопление на ней положительного заряда, приводящее к возникновению в пленке электрического поля, достаточного для появления термополевой эмиссии электронов из металлической подложки катода в пленку. Часть таких электронов может преодолевать потенциальный барьер на границе пленки и выходить в разрядный объем, увеличивая эффективный коэффициент эмиссии электрода $/1/$ и разрядный ток, что обуславливает более быстрый разогрев электрода.

В данной работе предложена модель, позволяющая рассчитать зависимость эмиссионных характеристик катода с диэлектрической пленкой от его температуры и напряженности электрического поля в пленке. С ее использованием рассчитаны характеристики катодного слоя тлеющего разряда при наличии на поверхности катода тонкой диэлектрической пленки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bondarenko G.G., Kristya V.I., Savichkin D.O. // Vacuum, 2018, V. 149, P. 114.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОДЕСОРЦИИ АТМОСФЕРНОГО ОКИСЛА
МЕДИ НА РАСПЫЛЕНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНО-ИОННЫХ
ЛЕГИРОВАННЫХ ПРИМЕСЯМИ КЛАСТЕРОВ

Р. Джаббарганов¹⁾, Б.Г. Атабаев¹⁾, А.С. Халматов¹⁾

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУ,
Ташкент, Узбекистан

*) e-mail: atabaev.bg@gmail.com

Методом СВВ ВИМС исследованы температурные зависимости десорбции поверхностных примесных кластеров меди при бомбардировке поверхности ионами цезия. Показано, что в диапазоне температур до 700К масс-спектр содержит гидриды, окислы, карбиды и сульфиды меди, адсорбированные молекулы водорода, кислорода, углерода, углеводов, а также цепочечные углеродные кластеры-карбины. При температурах выше 800К с поверхности меди исчезают гидриды, гидроокислы и резко уменьшается количество окислов меди. Карбиды и сульфиды меди образуются за счет поверхностных углеводов и сегрегирующих к поверхности объемных углерода и серы. В диапазоне температур 800-1000К оксидное покрытие меди переходит в сульфидное. При длительном отжиге окислы серы десорбируются и происходит вакуумно-термическая очистка поверхности меди. В результате вторично-ионный масс спектр меди в основном содержит кластеры меди в зависимости от числа атомов согласно распределению 36:19:25:2:2.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ РАСПЫЛЕНИЯ
ОТРИЦАТЕЛЬНО-ИОННЫХ КАРБИН-КРЕМНИЕВЫХ КЛАСТЕРОВ
ПОВЕРХНОСТИ 3C-SiC/Si(100)

Б.Г. Атабаев¹⁾, Р. Джаббарганов¹⁾, Ф.Р. Юзикаева¹⁾,
М.А. Пермухамедова¹⁾, У.Б. Халилов¹⁾

¹⁾Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУ,
Ташкент, Узбекистан

*e-mail: atabaev.bg@gmail.com

Методом СВВ in-situ ВИМС исследованы температурные зависимости распыления отрицательно-ионных кластеров Sim-, Cn- и Sim-Cn- кластеров при бомбардировке эпитаксиальной пленки 3C-SiC/Si(100) ионами цезия с энергией 3 кэВ и плотностью тока 1 мкА/см². Распыление стехиометричного кластера SiC- (60) в диапазоне до 600 С слабо зависит от температуры подложки, уменьшается в два раза (30) в диапазоне 600-800С и возрастает до (120) при температуре 1000С. Блочный кластер SiC₂- (30) уменьшается до (20) в диапазоне 600-800 С и далее до (10) при 1000 С. Карбин-кремниевый кластер SiC₄- (20) распыляется только в диапазоне 100-300 С, а стехиометричный димер Si₂C₂- (5) - в диапазоне 200-300 С.

При температуре 1000С распыление поверхности 3C-SiC происходит в виде кластеров углерода –карбинов, димеров, триммеров и тетрамеров кремния, карбин-кремний димер кластеров и триммер кремний-углерод кластеров.

Экспериментальные результаты обсуждены с привлечением модели поверхностных сверхрешеток 2x1-3C-SiC и термостимулированного распыления цепочечных углеродных (карбин), карбин-кремниевых и кремниевых кластеров (Рb-центров) и блочных кремний-углеродных кластеров монокристалла карбида кремния.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОННО-ФОТОННОЙ ЭМИССИИ ПРИ БОМБАДИРОВКЕ Та МИШЕНИ КЛАСТЕРНЫМИ И МНОГОЗАРЯДНЫМИ ИОНАМИ

Ш.Дж. Ахунов*, Д.Т. Усманов, Ш.М. Ахмедов

Институт Ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз,
Ташкент, Узбекистан

*e-mail: a.shovkatjon@mail.ru

С целью изучения особенностей вторично-эмиссионных явлений в условиях существования плотных нелинейных каскадов при кластерной бомбардировке в настоящей работе проводятся экспериментальные исследования эмиссии возбужденных атомов, релаксация которых приводит к излучению фотонов или ионно-фотонной эмиссии (ИФЭ)[1,2].

Исследование проводилось на двух установках для исследования взаимодействия кластерных ионов с твердым телом, которая была модернизирована и дополнена системой измерения ионно-фотонной эмиссии, а также оснащенной монохроматором, источником ионов ксенона и ускорителем ионов до 40 кэВ исследованы оптические спектры ИФЭ тантала. Бомбардировка Та мишени ионами Xe^+ производилась по нормали к поверхности.

Проведены измерения интегрального по спектру выхода ИФЭ при бомбардировке Та мишени кластерными ионами Bi_m^+ ($m=1-4$) в диапазоне энергий 2-12 кэВ. Определенный неаддитивный рост интегральных коэффициентов ионно-фотонной эмиссии с увеличением количества атомов и энергии бомбардирующих ионов предположительно связан с неаддитивностью коэффициента распыления. Кроме этого возможно влияние режима тепловых пиков при кластерной бомбардировке на процесс возбуждения распыленных атомов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поп С.С., Белых С.Ф. Дробнич В.Г. Ферлегер В.Х. Ионно-фотонная эмиссия металлов. Ташкент: Фан, 1989. 200 с.
2. G.Gillen, A.Fahey // Appl. Surf. Sci. 203 (2003) 209.

ПОВЕДЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСПЫЛЕНИЯ
ПРИ СКОЛЬЗЯЩЕМ ПАДЕНИИ ИОНОВ НА МИШЕНЬА. И. Толмачев¹⁾, Л. Форлано²⁾¹⁾ Российский новый университет, Москва, Россия²⁾ Университет Калабрии, Козенца, Италия

Одной из важных характеристик распыления является зависимость коэффициента распыления от угла падения ионов на поверхность мишени. Коэффициент распыления сначала растет от своего значения при нормальном падении $Y(0)$ до максимального значения, а затем убывает до величины $Y(90^0)$ при скользющем падении /1/. Расчеты по программе SRIM дают конечные значения $Y(90^0)$, но в работе /2/ были получены нулевые значения $Y(90^0)$ при моделировании распыления кремния и германия ионами инертных газов. В настоящей работе задача об угловой зависимости коэффициента распыления рассматривается теоретически. Сформулирована система двух уравнений переноса – для рассеянных ионов и каскадных атомов. Система уравнений решается методом дискретных потоков, при котором область изменения направляющего косинуса в интеграле столкновений разбивается на N равных частей /3/. Показано, что для легких ионов коэффициент распыления при скользющем падении всегда принимает конечные значения. Отношение $Y(90^0)/Y(0)$ уменьшается с ростом массы ионов, а также при увеличении их энергии. Результаты теории проверены расчетами по программе компьютерного моделирования PAOLA /4/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов А.М., Машкова Е.С. Физические основы ионно-лучевых технологий. Распыление поверхности твердых тел. Москва, МАКС Пресс, 2013. – 196 с.
2. Shulga V.I. // Appl. Surface Science, 2018, v. 439, p. 456.
3. Толмачев А.И., Форлано Л. // ЖТФ, 2020, т. 90, с. 884.
4. Толмачев А.И., Форлано Л. // ЖТФ, 2018, т. 88, с. 1502.

ПОЛУЭМПИРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБЪЯСНЕНИЮ МЕХАНИЗМА САМОИЗОЛЯЦИИ ПУЧКОВ ПРОТОНОВ, СКОЛЬЗЯЩИХ ВДОЛЬ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ.

Л.А. Жилияков¹⁾, В.С. Куликаускас¹⁾

¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Исследования скользящего взаимодействия пучков ускоренных заряженных частиц с диэлектрической поверхностью [1,2] выявили ряд интересных особенностей, свойственных такому взаимодействию. В частности, здесь наблюдается самоорганизованная изоляция частиц пучка от стенок.

В настоящей работе на основе результатов компьютерного моделирования и реального физического эксперимента с пучками ускоренных протонов рассмотрен полуэмпирический механизм самоизоляции пучков от диэлектрической стенки. А именно: расчет проведен на основе теоретической модели, а численное значение коэффициентов получено экспериментально. Проведена оценка минимальной поверхностной плотности заряда, обеспечивающая изоляцию пучка от стенки. Полученные экспериментальные данные также позволяют оценить величину концентрации протонов в скользящих пучках как равную $10^{13} - 10^{14} \text{ м}^{-3}$ (при токе пучка 0,1 – 1 мкА), что практически равно пределу по объемному заряду для пучков при магнитном удержании.

ЛИТЕРАТУРА

1. N. Stolterfoht, V. Hoffmann, R. Hellhammer et al. // NIM. 2003. В 203. 246-253.
2. К.А. Вохмянина, Л.А. Жилияков, Г.П. Похил и др. // Известия РАН. Серия физическая. 2006. Т.70. №6. С.828-833.

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ МНОГОКРАТНОГО УПРУГОГО
РАССЕЯНИЯ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МИШЕНЯХ НА
ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ ISS И ЭЛЕКТРОННОГО RBS

В.П.Афанасьев¹⁾, П.С.Капля²⁾, Л.Г.Лобанова¹⁾

¹⁾«НИУ «МЭИ», Москва, Россия

²⁾Яндекс, Москва, Россия

^{*)} e-mail: vaf@vaf.su

Работа посвящена построению моделей расчета интенсивностей атомных частиц, упруго отраженных от многокомпонентных мишеней. Многократное упругое рассеяние существенно влияет на интенсивность пиков, кратно увеличивая сигнал в сравнении с интенсивностью однократного рассеяния [1,2]. Подробный анализ процесса выполнен для однокомпонентных мишеней [3]. Настоящая работа посвящена развитию малоугловых моделей упругого рассеяния атомных частиц в многокомпонентных мишенях. Полученные результаты апробируются на основе сравнения с результатами МК расчетов и численными решениями уравнений, лишенных приближенных упрощений.

Упругое рассеяние в многокомпонентных мишенях обладает заметными особенностями при резко различающихся атомных номерах компонент мишени и близкого к единице альбеда. Формирование упруго рассеянного потока атомных частиц, отраженных от легкой компоненты, наиболее эффективно происходит за счет упругих рассеяний на тяжелой компоненте, сечение которой в $(Z_2/Z_1)^2$ раз больше. Наибольший эффект многократное рассеяние вызывает в рассмотренных в настоящей работе ситуациях со специфической геометрией рассеяния.

ЛИТЕРАТУРА

1. V. P. Afanas'ev, P. S. Kaplya, L. G. Lobanova, // Journal of Physics: Conference Series, 2020, V. 1683, No. 3, P. 032004.
2. Vos M., Marmitt G.G., Grande P.L., // Surface and Interface Analysis. 2016, V. 48, No 7, p. 415.
3. Afanas'ev V.P., Efremenko D.S., Kaplya P.S., // Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, 2016, V. 210, p. 16-29.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПЫЛЕНИЯ СПЛАВОВ NiPd ГАЗОВЫМИ КЛАСТЕРНЫМИ ИОНАМИ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

А.Д. Завильгельский^{*1)}, А.В. Назаров²⁾, В.С. Черныш¹⁾

¹⁾МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет,
Москва, Россия

²⁾НИИЯФ им. Д.В. Скобельцина, МГУ им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

^{*}e-mail: zavilgelsky.ad15@physics.msu.ru

Пучки газовых кластерных ионов (GCIB) появились в последние десятилетия как новый объект исследований и широко используются в фундаментальных исследованиях и технологических процессах. Известно, что ионное облучение может изменять состав поверхности путем селективного распыления и радиационно-индуцированной сегрегации. В данной работе этот процесс изучается для кластерных ионов.

В работе [1] был исследован поверхностный состав и топография сплавов NiPd, распылённых кластерными ионами. Было показано, что облучённая поверхность обогащается элементами Ni.

В настоящей работе проводится компьютерное моделирование процесса облучения сплава NiPd кластерными ионами Ar. Обсуждаются механизмы, приводящие к насыщению поверхности более лёгким элементом, такие как селективное распыление и радиационно-индуцированная сегрегация.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-19-00310).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ieshkin A. E., Kireev D. S., Tatarintsev A. A., Chernysh V. S., Senatulin B. R., & Skryleva E. A. // Surface Science. – 2020, 700, 121637.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
НАНОКЛАСТЕРОВ МЕДИ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ МИШЕНЯМИ
СО СТРУКТУРОЙ РЕАЛЬНЫХ КРИСТАЛЛОВ

Б. Батгэрэл^{1,3)}, И.В. Пузынин¹⁾, Т.П. Пузынина¹⁾, И.Г. Христов²⁾,
Р.Д. Христова²⁾, З.К. Тухлиев¹⁾, З.А. Шарипов¹⁾

¹⁾Объединенный институт ядерных исследований,
Дубна, Россия

²⁾Софийский университет “Св. Климент Охридски”,
София, Болгария

³⁾Монгольский государственный университет науки и технологий,
Улан-Батор, Монголия

В работе методом молекулярной динамики проведено исследование процессов взаимодействия нанокластеров меди [1, 2] с энергиями из диапазона 1 эВ-1000 эВ с металлическими мишенями со структурой реальных кристаллов. Реальные кристаллы содержат в себе различные дефектные структуры типа пор, вакансии и дислокации. В работе получены результаты численного моделирования: пороговая плотность энергии, приводящие к образованию ударных волн и их воздействие на дефектные структуры облучаемой мишени в зависимости от энергии нанокластера. Проведена классификация возникающих структурных изменений в глубине мишени в зависимости от энергии нанокластера и размера мишени.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и МОКНСМ в рамках научного проекта №20-51-44001 и Полномочного представителя Республики Болгарии в ОИЯИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. B. Batgerel, S. Dimova, I. Puzynin et al. //EPJ Web Conf., 173 (2018) 06001.
2. B. Batgerel, I. Puzynin, T. Puzynina et al. //Lecture Notes in Computer Science, vol 11189. (2019)

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ СО СВОБОДНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ГАЗОМ ПОВЕРХНОСТИ

С.С. Волков^{*1,2)}, С.В. Николин³⁾, М.В. Чиркин^{2*)}

¹⁾ Рязанское высшее воздушно-десантное командное училище,
Рязань, Россия

²⁾ Рязанский государственный радиотехнический университет,
Рязань, Россия.

³⁾ АО «Плазма»,

Рязань, Россия

*) e-mail: volkovst@mail.ru

При взаимодействии с поверхностью твердых тел ионов инертных газов в диапазоне низких и гипертермальных энергий проявляются разные немонотонности /1/, которые в существенной мере выходят за пределы теоретических представлений электронной теории твердых тел. Целью данной работы являлось исследование нейтрализации ионов низких энергий при рассеянии, а также зарядового состояния атомов отдачи, распыляемых атомов и определение взаимосвязи нейтрализации с совокупностью других проявлений свободного электронного газа, в частности, взаимодействия свободных электронов с атомами кристаллической решетки. Исследования проводились на экспериментальных и промышленных спектрометрах рассеяния ионов низких энергий (в диапазоне 2 – 5000 эВ), спектрометрах атомов отдачи, низкоэнергетических вторично-ионных масс-спектрометрах квадрупольного типа. Эксперименты показывают, что нейтрализация ионов мало зависит от концентрации свободного электронного газа. Наличие пика отражения без потерь энергии наряду с пиком парного соударения при рассеянии указывает на значительную анизотропию потенциалов взаимодействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mamedov N.V., Kurnaev V.A., Sinelnikov D.N., Kolodko D.V., Sorokin I.A. // Ion-Surface Interactions ISI-2017. 2017. Vol.3, pp. 103-106.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРОВ ПРИ СОВМЕСТНОМ
ОСАЖДЕНИИ УСКОРЕННЫХ ИОНОВ И МОЛЕКУЛ C₆₀.Г.В. Нечаев¹⁾ В.Е. Пуха¹⁾, Е.Н. Кабачков¹⁾, И.И. Ходос²⁾¹⁾ ИПХФ РАН, Черноголовка, Россия²⁾ ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия

При совместном осаждение ускоренных ионов и молекул C₆₀ формируется твердый (H>20 ГПа) полимер, который обладает уникальными свойствами (динамическая твердость и самозалечивание повреждений) /1/. Расчеты /2/ выявили два возможных механизма возникновения ковалентных связей между молекулами: ударное воздействие иона C₆₀ (аналог полимеризации высоким давлением и температурой) и за счет интеркалирования активных атомов C, возникающих при ударе ускоренного фуллеренового иона. В докладе приводятся данные по формированию структуры пленок при росте из молекулярного пучка в условиях облучения ускоренными ионами C₆₀. Соотношение ионов и молекул 1:8, 1:15, 1:21 и 1:46 выбиралось в диапазоне, где по данным /1/ проявляется эффект «самозалечивания». Структура покрытий исследовалась методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и комбинационного рассеяния.

Показано, что эффект «самозалечивания» не связан с кристаллической структурой пленки (при соотношении ионов и молекул 1:21 и 1:46 формируется ГЦК структура, а при 1:8 и 1:15 пленки аморфны) и определяется связями между молекулами. Обнаружено, что пленки с кристаллической структурой имеют увеличенные межплоскостные расстояния. Это позволяет предположить, что полимеризация молекул происходит присоединением свободного атома углерода между молекулами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и НИФ в рамках научного проекта № 19-58-51016.

ЛИТЕРАТУРА

1. Penkov, V.E. Pukha, A.Y. Devizenko, H.J. Kim, D.E Kim //Nano letters. 2014, 14, 2536.
2. B. Czerwinski, A. Delcorte //The J. of Phys. Chem. C. 2013, 17, 3595.O.V.

Секция III

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

ВЛИЯНИЕ АСИММЕТРИИ ОТРАЖЕНИЯ НА ВЫХОД
ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ЭЛЕКТРОНОВ В КРИСТАЛЛАХ

А.В. Бердниченко¹⁾, И.Е. Внуков^{*1)}, Ю.А. Гопонов¹⁾, Р.А. Шатохин¹⁾, К.
Sumitani²⁾, Y. Takabayashi²⁾

¹⁾ НИУ «БелГУ», Белгород, Россия

²⁾ SAGA Light Source, Tosu, Saga 841-0005, Japan

^{*}e-mail: vnukov@bsu.edu.ru

В последнее время появился ряд теоретических работ /1,2/, посвященных влиянию асимметрии отражения поля частицы в кристалле $\varepsilon = \sin(\delta - \Theta_B) / \sin(\delta + \Theta_B)$, где δ – угол между поверхностью мишени и отражающими плоскостями а Θ_B – угол Брэгга, на выход параметрического рентгеновского излучения (ПРИ) электронов в кристаллах. В цитируемых работах в рамках динамической теории ПРИ показано, что асимметрия отражения значительно изменяет выход излучения по сравнению с предсказаниями кинематической теории ПРИ.

Для проверки этого утверждения на ускорителе Saga-LS /3/ с помощью рентгенографической пластины выполнены измерения угловых распределений ПРИ для энергии электронов 255 МэВ, двух ориентаций кристалла кремния и угла наблюдения 32.2 градуса. Отражающая плоскость (111) разворачивалась так, что в одном измерении асимметрия отражения была больше единицы, а в другом меньше. Сопоставление результатов измерений с расчетами показало, что кинематическая теория ПРИ /4/ адекватно описывает результаты измерений, что подтверждает отсутствия влияния динамических эффектов и асимметрии отражения на выход ПРИ.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 S.V. Blazhevich, A.V. Noskov // NIM B, 2008, V. 266, 3770.
- 2 S.V. Blazhevich, A.V. Noskov // NIM B, 2019, V.441, 119.
- 3 Y. Takabayashi et al. // NIM B, 2017, V. 402, 79.
- 4 H. Nitta, Phys. Lett. A, 1991, V. 158, 270.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ПО
УГЛОВЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯМ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ЭЛЕКТРОНОВ В КРИСТАЛЛЕ КРЕМНИЯ

А.В. Бердниченко¹⁾, И.Е. Внуков^{*1)}, Ю.А. Гопонов¹⁾, Р.А. Шатохин¹⁾,
K. Sumitani²⁾, Y. Takabayashi²⁾

¹⁾ НИУ «БелГУ», Белгород, Россия

²⁾ SAGA Light Source, Tosu, Saga 841-0005, Japan

^{*}e-mail: vnukov@bsu.edu.ru

С целью верификации предложенных ранее методик учета влияния поперечного размера пучка релятивистских электронов на регистрируемое угловое распределение их когерентного излучения в кристалле /1/ и определения размера пучка по результатам измерений угловых распределений излучения для двух расстояний между кристаллом и координатным детектором /1,2/ на линейном ускорителе Saga-LS /3/ проведен цикл измерений угловых распределений излучения электронов в кристалле кремния толщиной 20 микрон. Измерения выполнены для расстояний между кристаллом и координатным детектором 0.5 м и 1 м и отражающих плоскостей (110) и (111). В качестве координатного детектора была использована рентгенографическая пластина типа IPU /4/ с пространственным разрешением 35х35 мкм².

Сопоставление рассчитанных угловых распределений с учетом эффективности детектора, всех механизмов излучения и трех порядков отражения с измеренными распределениями подтвердило адекватность методики /1/. Проведено сопоставление полученных по методике /2/ значений поперечных размеров электронного пучка с результатами альтернативных способов измерения.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.Е. Внуков и др. // Поверхность, 2019, №6, 57.
2. Yu.A. Goponov et al. // Phys. Rev. Accel. Beams, 2019, V. 22, 082803.
3. Y. Takabayashi et al. // NIM B, 2017, V. 402, 79.
4. A.S.S. Silva et al. // X-Ray Spectrometry, 2019, 1.

ИНДИКАЦИЯ РАСХОДИМОСТИ ПУЧКА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ПО УГЛОВОМУ РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ДПИ В МИШЕНИ С ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

С.В. Блажевич¹⁾, М.В. Бронникова¹⁾, А.В. Носков^{1,2)}, О.Ю. Шевчук¹⁾

¹⁾Белгородский государственный университет,
Белгород, Россия

²⁾БГТУ им. В. Г. Шухова,
Белгород, Россия

В рамках динамической теории дифракции получено выражение, описывающее угловую плотность дифрагированного переходного излучения (ДПИ), возбуждаемого расходящимся пучком релятивистских электронов, пересекающих мишень с периодической слоистой структурой в геометрии рассеяния Брэгга. На основе полученного выражения предложены варианты определения параметров расходимости пучка электронов с использованием метода минимизации целевой функции, сформированной на основе двухпараметрической функции углового распределения электронов и измеренного углового распределения ДПИ. Показано преимущество использования мишени-радиатора с периодической слоистой структурой, связанное с существенным увеличением угловой плотности ДПИ в периодической слоистой среде по сравнению с ДПИ в монокристалле. Проведены расчеты ДПИ, возбуждаемого пучком релятивистских электронов в периодической слоистой среде C – Si, демонстрирующие эффективность предлагаемых алгоритмов.

ИОНИЗАЦИОННО-РЕКОМБИНАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС КАК
СРЕДСТВО ИНДИКАЦИИ СТЕПЕНИ СФОКУСИРОВАННОСТИ
ПУЧКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ИЛИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО
ИЗЛУЧЕНИЯ

С. В. Блажевич¹⁾, А.В. Носков^{1,2)}

¹⁾Белгородский государственный университет,
Белгород, Россия

²⁾ БГТУ им. В. Г. Шухова,
Белгород, Россия

В работе исследуется возможность использования сигнала ионизационной камеры в системах управления фокусировкой пучков заряженных частиц или ионизирующего излучения как средство индикации их максимальной сфокусированности. При фиксированном значении полного тока пучка (потока ионизирующего излучения) максимальная фокусировка определяется по минимальному значению ионизационного тока широкоапертурной ионизационной камеры.

УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ЧЕРЕНКОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ СКОЛЬЗЯЩИХ УГЛАХ ВЫЛЕТА

М.В. Булгакова, В.С. Малышевский, Г.В. Фомин

Южный федеральный университет,
Ростов-на-Дону, Россия

На основе уравнений макроскопической электродинамики [1] исследованы угловые и поляризационные характеристики рентгеновского Черенковского излучения, возникающего при прохождении быстрых заряженных частиц через поглощающую среду под скользящими углами. Рассчитано угловое распределение излучения, поляризованного как в плоскости, содержащей нормаль к поверхности и волновой вектор (плоскость излучения), так и ортогональной к ней (Рис.1).

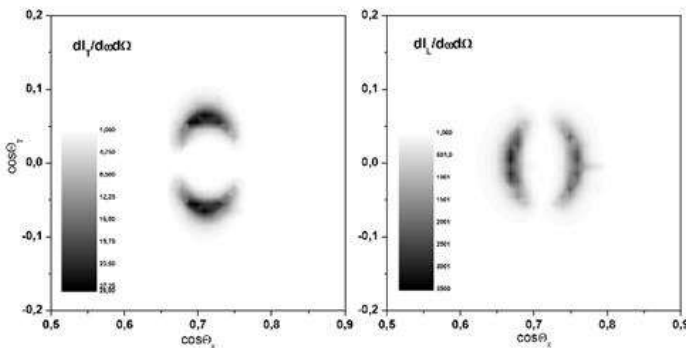


Рис.1 Угловое распределение поляризованного в плоскости излучения (справа) и ортогональной к ней (слева) рентгеновского Черенковского излучения ($\omega = 112$ эВ) релятивистских электронов ($\beta = 0.992$) при прохождении бериллиевой мишени под углом $\psi = 45^\circ$ к нормали.

Анализируется динамика углового распределения излучения различных поляризаций при увеличении угла вылета электронов к нормали.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.В. Булгакова, В.С. Малышевский, Г.В. Фомин // Известия ВУЗов. Физика. 2019, 62, №3, 31.

РАСЩЕПЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ЭНЕРГИИ ПОПЕРЕЧНОГО
ДВИЖЕНИЯ ПОЗИТРОНОВ ПРИ КАНАЛИРОВАНИИ
В НАПРАВЛЕНИИ [100] КРИСТАЛЛА КРЕМНИЯ

В.В. Сыщенко^{*1)}, А.И. Тарновский¹⁾, В.И. Дроник¹⁾,
А.Ю. Исупов²⁾,

НИУ «БелГУ»,
Белгород, Россия;

²⁾ ЛФВЭ, ОИЯИ,
Дубна, Россия

^{*)} e-mail: syshch@bsu.edu.ru

Статистические свойства массива уровней энергии квантовой системы, хаотической в классическом пределе, резко отличаются от таковых у интегрируемой системы, обладающей регулярной динамикой. Эти различия обусловлены тем обстоятельством, что уровни энергии интегрируемой системы не взаимодействуют друг с другом, в то время как между уровнями энергии неинтегрируемой (хаотической в классическом пределе) системы имеет место взаимодействие уровней, приводящее к их взаимному отталкиванию. Особый интерес в этой связи представляют системы, в которых области регулярного движения разделены в фазовом пространстве областью динамического хаоса. В [1] предполагалось, что такие области порождают две независимые друг от друга последовательности уровней. Однако, туннелирование между динамически изолированными друг от друга областями фазового пространства будет приводить к взаимодействию уровней энергии, порождаемых локализованными в таких областях состояниями. Учет влияния такого туннелирования на статистику уровней выполнен в [2]. В настоящей работе выполнена оценка матричных элементов таких переходов для случая каналирования позитронов высокой энергии в направлении [100] кристалла кремния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Berry M.V., Robnik M. // J. Phys. A.: Math. Gen. 1984. 17. P. 2413.
2. Podolskiy V.A., Narimanov E.E. // Phys. Lett. A. 2007. V. 362. P. 412.

ЯДЕРНЫЕ ТОРМОЗНЫЕ СПОСОБНОСТИ ДЛЯ ПОТЕНЦИАЛОВ С ПРИТЯГИВАЮЩЕЙ ЯМОЙ

П.Ю. Бабенко*, А.Н. Зиновьев

ФТИ им. А.Ф. Иоффе,
Санкт-Петербург, Россия
*babenko@npd.ioffe.ru

В [1] показано, что потенциалы, рассчитанные в DFT приближении, хорошо согласуются с экспериментами. Для этих потенциалов проведены расчеты ядерных тормозных способностей (ЯТС). Для коррекции параметров потенциальной ямы использовались данные об энергиях диссоциации двухатомных молекул. Полученные значения отличаются на 12-57% от данных, получаемых с помощью кода SRIM [2], где используется потенциал ZBL.

Показано, что описание ЯТС универсальной кривой возможно лишь в случае отсутствия притягивающей ямы в потенциале. При наличии ямы необходимо использовать индивидуальные кривые. Приведены данные для важных для термоядерных исследований случаев торможения водорода в вольфраме, бериллии и углероде.

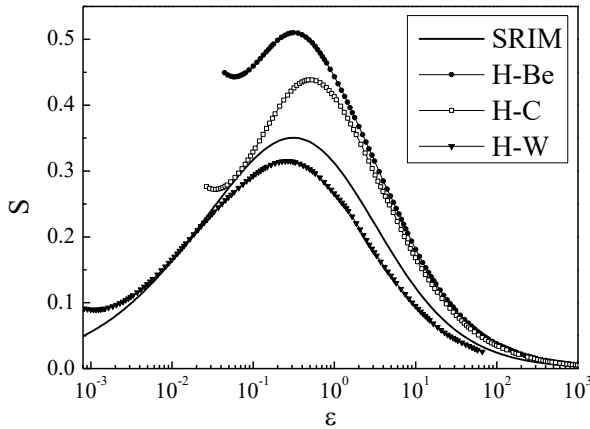


Рис.1 Зависимость ЯТС в универсальных координатах [3].

ЛИТЕРАТУРА

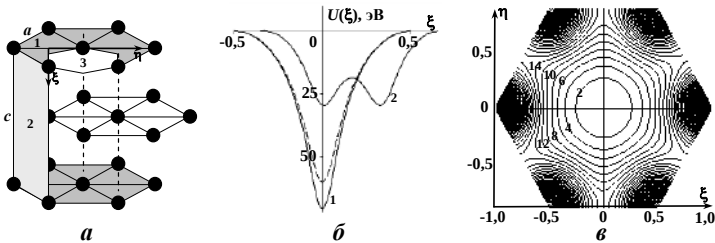
- 1 Zinoviev A.N., Nordlund K. // NIMB 2017 v.406 p.511.
- 2 Ziegler J.F., Biersack J.P., SRIM - <http://www.srim.org>.
- 3 Wilson W.D., Hagmark L.G., Biersack J.P. // PRB 1977 v.15 N5 p.2458.

ОСОБЕННОСТИ КАНАЛИРОВАНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В КРИСТАЛЛАХ С ГЕКСОГОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ

Н.В. Максютя, В.И. Высоцкий, С.В. Ефименко

КНУ имени Тараса Шевченко,
Киев, Украина

В этой работе исследуется ориентационное движение заряженных частиц (электронов, позитронов, протонов) в кристаллах с гексагональной плотноупакованной (ГПУ) структурой /1/. Рассчитаны потенциалы взаимодействия электронов с базисными (1) и призматическими (2) плоскостями (см. Рис. а). Показано, что потенциальные ямы в плоскостях типа 1 являются более глубокими, чем в плоскостях (100) кристаллов с ОЦК или ГЦК структурами, построенных из соседних по таблице Менделеева элементов. На Рис. б, приведен (в относительных единицах $\xi = x/d$, $d = c/2$) потенциал взаимодействия электронов в кристалле Zn (кривая 1), а штриховой кривой изображен потенциал взаимодействия с плоскостями (100) в ГЦК-кристалле Cu. В плоскостях же типа 2 в этих кристаллах возникают неунимодальные потенциальные ямы (см. кривую 2 на Рис. б для Zn).



Показано, что достаточно глубокие потенциальные ямы возникают для положительно заряженных частиц, движущихся вдоль с-оси (например, на Рис. в показаны эквипотенциальные линии для кристалла Zn).

В работе также рассчитываются спектры спонтанного излучения заряженных частиц в этих структурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела, Т. 1 – М.: Мир, 1979, 400 с.

РАСЧЕТ КИЛЬВАТЕРНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ПРИ ОСЕВОМ
КАНАЛИРОВАНИИ СЛАБОРЕЛЯТИВИСТСКИХ
ПРОТОНОВ В ИОННЫХ КРИСТАЛЛАХ

Н.В. Максютя, В.И. Высоцкий, С.В. Ефименко, Ю.А. Слинченко

КНУ имени Тараса Шевченко,
Киев, Украина

В работе производится расчет дипольных моментов, индуцируемых электрическими полями каналируемых слаборелятивистских протонов вдоль осей в ионных кристаллах (например, вдоль главных осей [100], [110] и [111]) в кристаллах со структурами типа NaCl и CsCl). Показано, что скалярный нестационарный потенциал, порождаемый этой системой нестационарных диполей, при стремлении затухания к нулю переходит в кильватерный потенциал, совпадающий по структуре с потенциалом, предложенным в работах /1, 2/ на основе плазменно-экситонных представлений.

Было также показано, что амплитуды этих скалярных потенциалов для всех исследуемых ионных кристаллов и при всех скоростях протонов v изменяются аналогичным образом, несмотря на различные математические выражения, которые их описывают.

В заключение следует отметить, что в случае ориентационного движения слаборелятивистских протонов возникающие скалярные потенциалы вносят определенный вклад в исходные потенциалы взаимодействия, а также приводят к заметным тормозным эффектам.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Neufeld, R.H. Ritchie. Passage of charged particles through plasma // Phys. Rev., 1955, V. 98, No. 6, pp. 1632 – 1642.
2. Ё.-Х. Оцуки Взаимодействие заряженных частиц с твердыми телами. – М.: Мир, 1985, 280 с.

ТОРМОЗНАЯ СПОСОБНОСТЬ ВЕЩЕСТВА ДЛЯ ПУЧКА
МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ
1.0 кэВ – 1.0 ГэВ

Н.Н. Михеев

ЛКМ ИК РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН,
Калуга, Россия

Представлено решение прямой задачи аналитического описания зависимости тормозной способности S вещества от энергии E_0 пучка моноэнергетических протонов. В качестве базовой концепции использована модель статистики [1,2], учитывающая дискретную природу процессов многократного рассеяния заряженных частиц в слое вещества (Discrete Slow Down Approximation).

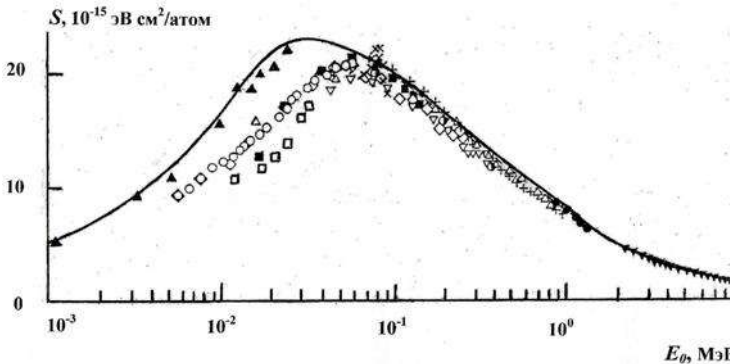


Рис. 1. Зависимость тормозной способности S алюминия для пучка протонов с энергией от 1 кэВ до 10 МэВ: сплошная кривая – расчёт по полученным в работе формулам; символы: $\circ$, Δ , $\square$, $\blacktriangle$, $\times$, $+$ и $\blacktriangledown$ – экспериментальные результаты различных исследователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михеев Н.Н. // Известия РАН, сер. физическая, 2000. Т. 64. № 11. С. 2137.
2. Михеев Н.Н. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2010. № 4. С. 25.

НЕАДДИТИВНОСТЬ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ И ПРОТОНОВ В МНОГОСЛОЙНОЙ МИШЕНИ

Н.В. Новиков*, Н.Г. Чеченин, А.А. Широкова

НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

*e-mail: nvnovikov65@mail.ru

Для прохождения электронов и протонов через двухслойную мишень из вольфрама и углерода получена зависимость поглощенной мишенью энергии от последовательности слоев.

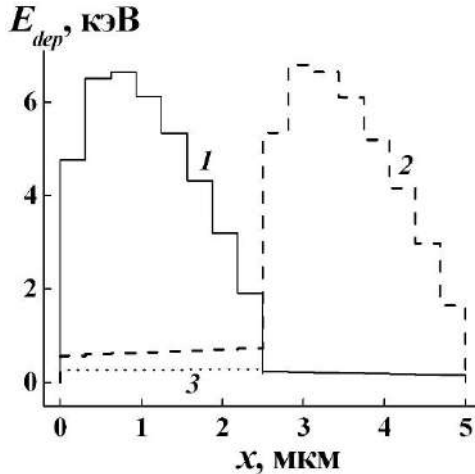


Рис.1 Распределение по глубине слоя x поглощенной мишенью энергии при прохождении электронов с энергией 80 кэВ через мишень из вольфрама и углерода. Результаты расчетов по программе GEANT4: 1 – двухслойная WC-мишень $d = 5$ мкм, 2 – двухслойная CW-мишень $d=5$ мкм, 3 – углеродная мишень $d = 2.5$ мкм.

Изменение в распределении поглощенной энергии от глубины слоя $E_{dep}(x)$ при $x \leq d$, где d – толщина мишени, приводит к соотношениям $E_{wc}(d) < E_{cw}(d)$ для электронов и $E_{wc}(d) > E_{cw}(d)$ для протонов. Эффект объясняется разной плотностью и отличиями в тормозной способности материалов соседних слоев, а также процессами отражения на границах раздела материалов многослойной мишени.

ЯВЛЕНИЕ КАНАЛИРОВАНИЯ КАК МОДЕЛЬ АТОМА
ПОНИЖЕННОЙ РАЗМЕРНОСТИ В СОПУТСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЕ
ОТСЧЕТА

Н.П. Калашников, А.С. Ольчак

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

Москва, Россия

e-mail: kalash@mephi.ru, asolchak@mephi.ru

Движение заряженной частицы в режиме каналирования удобно рассматривать в т.н. сопутствующей системе отсчета (ССО), движущейся вдоль направления каналирования со скоростью, равной продольной компоненте скорости каналированной частицы. В такой системе движение частицы финитно и подобно колебательному движению в одномерном потенциале (при плоскостном каналировании) или двумерному финитному движению в центральном поле (при каналировании осевом). Последний случай позволяет выстраивать аналогии как с нерелятивистской квантовой атомной физикой (квантование момента импульса и энергии), так и с релятивистской классической электродинамикой (электромагнитное излучение). Такие аналогии позволяют аналитически и количественно рассчитать спектры связанных состояний как в плоскостном, так и в осевом случае, оценить величины расщепления уровней за счет влияния магнитного поля и спин-орбитального взаимодействия, а также оценить вероятности электромагнитных процессов (излучения, рассеяния) с участием релятивистских (в лабораторной системе отсчета (ЛСО)) каналированных частиц.

КОМБИНИРОВАННОЕ ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЧАСТИЦ ПРИ ДВИЖЕНИИ В КРИСТАЛЛЕ

С.Б.Дабегов^{1,2} (sultan.dabagov@lnf.infn.it),

Н.П.Калашников² (kalash@mephi.ru),

А.С.Ольчак² (asolchak@mephi.ru)

¹INFN Laboratori Nazionali di Frascati,
Frascati, Italy

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Москва, Россия

Движение быстрых заряженных частиц в кристалле часто рассматривается как движение в некотором гладком непрерывном усредненном потенциале соответствующей кристаллической оси или плоскости. Нельзя, однако, забывать, что реальные кристаллические плоскости и оси состоят из отдельных атомов, причем периодически расположенных. Взаимодействие с периодическими неоднородностями усредненного потенциала цепочки атомов с периодом d неизбежно сопровождается передачей кристаллу дискретных значений продольного атомной цепочке импульса $\Delta p_{||} = 2\pi n\hbar/d$, $n = 1, 2, 3, \dots$ Такое взаимодействие в т.н. сопутствующей системе отсчета (ССО), движущейся равномерно со скоростью $V = \frac{p_{||}c^2}{E}$, вдоль цепочки атомов вместе с релятивистской частицей, можно трактовать как взаимодействие соответствующего периодическому полю цепочки виртуального фотона с частотой $\omega_n = 2\pi \frac{v}{d} \gamma n$ (здесь v и $\gamma = E/mc^2$ – скорость и Лоренц-фактор налетающей частицы) с движущейся только в поперечной плоскости заряженной частицей. Если частица находится в режиме каналирования, орбиты и энергии такого поперечного движения будут тоже дискретными и (вплоть до значений $\gamma = E/mc^2 \sim 10^4$) нерелятивистскими.

Виртуальный фотон, после рассеяния на заряженной частице, в лабораторной системе отсчета (ЛСО) наблюдается как реальный квант тормозного излучения. При этом, одновременное дискретное изменение продольного импульса и поперечной энергии частицы порождает сложный комбинированный характер дискретного спектра такого тормозного излучения. В силу эффекта Доплера, энергии излучаемых фотонов в ЛСО могут быть сравнимы с энергией исходной заряженной частицы.

Нерелятивистский характер движения заряженной частицы в ССО позволяет выполнить оценку вероятности такого комбинированного тормозного излучения по аналогии с комбинационным (Рамановским) рассеянием в атомной физике.

КЛАССИЧЕСКОЕ И КВАНТОВОЕ ОПИСАНИЕ ЭФФЕКТА КАНАЛИРОВАНИЯ КАК ВЗАИМОДОПОЛНЯЮЩИЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ

Н.П. Калашников, А.С. Ольчак

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

Москва, Россия

e-mail: kalash@mephi.ru, asolchak@mephi.ru

Движение заряженной частицы в режиме каналирования удобно рассматривать в т.н. сопутствующей системе отсчета (ССО), движущейся вдоль направления каналирования со скоростью, равной продольной компоненте скорости каналированной частицы. В такой системе движение частицы финитно и подобно колебательному движению в одномерном потенциале (при плоскостном каналировании) или двумерному финитному движению в центральном поле (при каналировании осевом). Для электронов достаточно больших (релятивистских) энергий такое движение можно рассматривать как в квантовом, так и в классическом приближении. При классическом рассмотрении удастся достаточно просто аналитически рассчитать такие важные характеристики движения и электромагнитного излучения как интенсивность возникающего электромагнитного излучения, его спектральные характеристики и характерные времена потери энергии электроном. Используя результаты классического расчета, удастся достаточно точно оценить характерные времена жизни квантовых каналированных состояний и вероятности переходов между ними, что непосредственно в квантовом подходе можно сделать только численно.

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКЕ,
ВОЗБУЖДАЕМОМ ОРИЕНТИРОВАННЫМ ПУЧКОМ БЫСТРЫХ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Е.А. Мазур^{1,2)}

НИИЯУ МИФИ,

Москва, Россия

²⁾ Национальный ИЦ «Курчатовский институт»,

Москва, Россия

e-mail: eugen_mazur@mail.ru

При воздействии на кристалл с центром симметрии импульсом быстрых частиц в магнитном поле возникает электрический ток (эффект Кикоина- Носкова [1]). При возбуждении кристалла пучком каналированных частиц эффекты повреждения кристалла быстрой частицей отсутствуют, а изменение энергии быстрых ориентированных заряженных частиц или их угла влета относительно кристаллографических плоскостей приводит к контролируемым изменениям уровня возбуждения кристалла и спектра генерируемых в кристалле возбуждений [2]. Показано, что прохождение каналированных частиц в кристалле без центра симметрии или в магнитном поле приводит к появлению тока (квазифотогальванический и квазифотомагнитный эффекты) и построена теория этих явлений. Исследована зависимость эффекта от состояния и квантовых переходов каналированной частицы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kikoin I.K., Noskov M.M. Photomagnetic effect// Phys. Zeitschrift Sowietunion, 1934. Vol. 5. P. 586-591.
2. Мазур Е.А. Возбуждение электронной и ионной подсистем полупроводника импульсом быстрых частиц // Кинетические явления в полупроводниках и диэлектриках. М.: Энергоатомиздат. 1985. С. 58-66.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИСКРЕТНЫХ ПРОЦЕССОВ МНОГОКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В СЛОЕ ВЕЩЕСТВА

Н.Н. Михеев

ЛКМ ИК РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника»
РАН,
Калуга, Россия

Представлены результаты применения принципиально нового подхода при описании процессов многократного рассеяния пучка заряженных частиц в слое вещества, основанного на использовании в качестве базового параметра среднего числа n взаимодействий, которые частицы испытали в пленке известной толщины. Это позволяет проводить расчеты энергетических и угловых распределений прошедших пленку частиц адекватно экспериментальным спектрам, как представлено на Рис. 1.

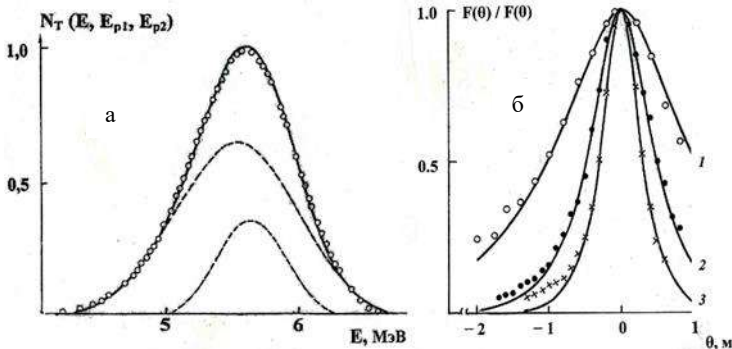


Рис. 1: а) энергетический спектр протонов с $E_0 = 19,68$ МэВ, прошедших толстую пленку алюминия: $\circ$ – спектр работы /1/; линии – результат модельных расчетов в двухпоточковом приближении;

б) спектры угловых отклонений протонов с $E_0 = 10,3$ МэВ, прошедших тонкую монокристаллическую пленку кремния: в режиме random – $\circ$, аксиального – $\bullet$ и плоскостного – $\times$ каналирования работы /2/; кривые 1, 2 и 3 – соответствующие этим режимам модельные расчеты.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 С. Tschalär, H.D. Maccabee // Phys. Rev. B. 1970. 1. P. 2863.
- 2 Г.Д. Ведьманов, Ю.Г. Лазарев, Л.И. Николайчук, В.И. Радченко, Н.А. Хижняк // Известия РАН. Серия физическая. 1995. Т. 59. № 10. С. 141.

RADIATION IN ORIENTED CRYSTALS AND IN THE FIELD OF
POWERFUL LASERS

M.Kh. Khokonov, I.Z. Bekulova, V.S. Lomanosov

Kabardino-Balkarian State University,
Nalchik, Russia
e-mail: khokon6@mail.ru

Penetration of high energy electrons and gamma quanta through oriented crystals and powerful petawatt laser beams is an effective tool for studying processes in a strong external field. Recently the test of the strong field QED close to the fully nonperturbative regime using oriented crystals has been proposed [1]. Some other exotic effects are also of interest [2,3].

We study the radiation in the field of linear polarized strong laser beam with taking into account non-linear and quantum effects in radiation and compare it with a planar channeling of positrons. We show that in both cases the radiation spectrum is defined by two Lorentz invariants, i.e. the parameter characterizing the quantum recoil and the “non-dipole” parameter which, in the case of lasers, coincides with the classical field parameter. In the limit where the constant field approximation is valid, both parameters combine as a product giving the Schwinger strong field invariant. Nevertheless, there is a significant difference between lasers and crystals due to different dependence of these invariants on the beam energy.

REFERENCES

1. A. Di Piazza, et. al., // Phys. Rev. Lett. 2020, V. 124, 044801.
2. M.Kh. Khokonov // Phys. Lett. B, 2019, V.791, P. 281.
3. T.N. Wistisen, A. Di Piazza, H.V. Knudsen, U.I. Uggerhoj // Nature Communications, 2018, V.9, P.795.

Секция IV

**МОДИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ
ИОННЫМИ И ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ**

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УФ И РЕНТГЕНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Р. Веделль, Х. Брайг, А. Ерко

Институт Прикладной Фотоники (ИПФ) Берлин (ФРГ)

Механизмы взаимодействия заряженных частиц с кристаллическими материалами могут быть изучены с помощью вторичных эффектов, возникающих при этом взаимодействии, как например флуоресцентное излучение в оптическом, ультрафиолетовом (УФ) и рентгеновском диапазоне энергий. Институт Прикладной Фотоники (ИПФ) занимается разработкой новых методов и экспериментального оборудования для УФ и рентгеновской спектроскопии в том числе для диагностики быстропротекающих процессов длительностью в единицы фемтосекунд. Основой новых методов и приборов являются уникальные оптические элементы, двумерные и трехмерные дифракционные решетки, изготавливаемые современными методами нанотехнологии с использованием электронной, лазерной литографии, ультрапрецизионного ионного травления и магнетронного нанесения металлических покрытий. Спектрометры и монохроматоры, разработанные в ИПФ с применением новой оптики, нашли применение в диагностике плазмы, изучения новых магнитных материалов для систем памяти, биологических материалов и материалов на основе графенов.

В докладе приводятся образцы созданных приборов и инструментов и обсуждаются особенности их конструкции, обсуждаются примеры применения спектрометров и монохроматоров в сочетании с УФ-рентгеновскими лазерно-плазменными источниками, генераторами высоких гармоник, синхротронным излучением и лазерами на свободных электронах.

ИЗМЕНЕНИЯ В ЛОКАЛЬНОЙ АТОМНОЙ СТРУКТУРЕ ТИТАНА В РЕЗУЛЬТАТЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ: ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ExEELFS

И.К. Аверкиев^{*}), О.Р. Бакиева, Д.В. Сурнин

УдмФИЦ УрО РАН, г. Ижевск, Россия

^{*}e-mail: averkiev1997@mail.ru

В работе проведено исследование локальной атомной структуры титана в соединении Ti_2AlC до и после термического воздействия.

Исследование локальной атомной структуры образцов было проведено XAFS-подобным методом: с помощью анализа протяженной тонкой структуры спектров энергетических потерь электронов (ExEELFS – Extended Electron Energy Loss Fine Structure). Получены экспериментальные $M_{2,3}$ EELFS спектры титана до и после термического воздействия. Спектры энергетических потерь электронов были получены в геометрии обратного рассеяния вторичных электронов от поверхности образца на Оже-микроанализаторе JAMP-10S (JEOL). Энергия падающего пучка составляла 1300 эВ, что соответствует глубине анализа ~ 10 нм.

Были определены параметры локальной атомной структуры (парциальные межатомные расстояния, координационные числа, параметры тепловой дисперсии атомов) исследуемого объекта.

Проведено численное моделирование протяженной тонкой структуры спектров энергетических потерь электронов в зависимости от температуры и проведен сравнительный анализ с экспериментальными данными.

Работа выполнена по плану НИР №121030100002-0. Работа была выполнена с использованием оборудования ЦКП «Поверхность и новые материалы» УдмФИЦ УрО РАН

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОЛНООБРАЗНОГО РЕЛЬЕФА НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИОННЫМ ПУЧКОМ ГАЛЛИЯ

В.И. Бачурин*), Л.А. Мазалецкий, Д.Э. Пухов,
М.А. Смирнова, А.Б. Чурилов, А.С. Рудый

Ярославский филиал ФТИ им. К.А. Валиева РАН,
Ярославль, Россия

*e-mail: vibachurin@mail.ru

Формированию наноструктур на поверхности твердых тел ионной бомбардировкой уделяется большое внимание в последнее время. Достаточно полный обзор экспериментальных и теоретических работ, посвященных формированию волнообразного рельефа (ripples) на поверхности полупроводниковых материалов, можно найти в работе /1/. Отмечается, что образование таких структур происходит в определенном диапазоне углов падения ионного пучка, а их появление при наборе определенной дозы, в зависимости от энергии и типа ионов.

В работе представлены результаты экспериментального изучения процесса формирования рельефа на поверхности кремния при бомбардировке ионами галлия с энергией 30 кэВ диапазоне углов падения от 0 до 50° с дозами облучения 10^{17} - $4 \cdot 10^{18}$ ион/см². Установлено, что формирование волнообразного рельефа происходит при углах падения ионов в узком диапазоне около 30°, начиная с доз $2 \cdot 10^{17}$ ион/см², а при $2 \cdot 10^{18}$ ион/см² наблюдается разрушение периодической структуры. Полученные результаты обсуждаются в рамках существующих моделей образования риплов /1/, и экспериментальных данных по угловым зависимостям распыления кремния ионным пучком галлия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Munoz-Garcia J, Vazquez L, Castro M, Gago R, Redono-Cubero A, Moreno-Barrado A and Cuerno R // *Mater. Sci. & Eng.* R 2014, V. 86, P. 1

ПЛАЗМОННЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ МЕДИ В КЕРАМИКАХ И ПЛЕНКАХ MgAl_2O_4

А.Н. Киряков^{1*)}, А.Ф. Зацепин¹, Б.Л. Оксенгендлер^{1,2}

¹⁾ Уральский Федеральный Университет,
Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт материаловедения «Физика-солнце» АН РУз,
Ташкент, Узбекистан

*) e-mail: arseny.kiriakov@urfu.ru

Выполнена ионно-лучевая бомбардировка оптически-прозрачных керамик, а также тонких пленок шпинели ионами Cu^{2+} . Проведена аттестация модифицированных объектов методами РФА, Рамановской спектроскопии, спектроскопии рентгеновских фотоэлектронов. Ионно-лучевое воздействие медью на матрицу MgAl_2O_4 ведет к модификации приповерхностного слоя как керамик, так и тонких пленок плазмонными наночастицами, рис. 1. Обнаружено, что плазмонные наночастицы представляют собой Core-Shell структуры. Формирование таких структур обусловлено пониженной энергией окисления наночастиц меди, в результате особенностей их геометрии, характеризующейся вытягиванием по направлению распространения пучка ионов.

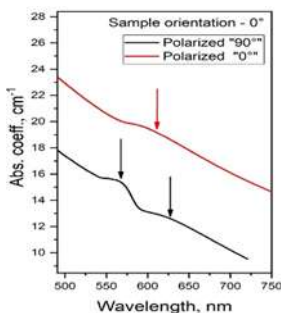


Рис. 1. Спектры поглощения имплантированной медью керамики шпинели в диапазоне поверхностного плазмонного резонанса при различных положениях поляризатора спектрометра

Предложена модель формирования эллипсоидальных плазмонных наноструктур обусловленная ростом частицы в выделенном направлении благодаря конкурирующим процессам диффузии ионов и усиления активности химических связей на искривлённой поверхности.

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ПРОТОН-ИНДУЦИРОВАННОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ЭМИССИИ ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛОСКИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ВОЛНОВОДОВ-РЕЗОНАТОРОВ

В.К. Егоров^{1*)}, Е.В. Егоров^{1,2,3)}, М.С. Афанасьев²⁾

¹⁾ ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия

¹⁾ ИРЭ РАН, Фрязино, Россия

³⁾ Финансовый университет при Правительстве РФ

*) e-mail: egorov@iptm.ru

В работе обсуждаются особенности эффекта протон-индуцированной рентгеновской эмиссии (PIXE) и возможности его использования для элементного анализа материалов. Дано сравнение метода PIXE с возможностями рентгенофлуоресцентной спектроскопии, выполняемой в условиях полного внешнего отражения потока жесткой рентгеновской радиации на изучаемой поверхности (РФА ПВО). Это сравнение показало, что PIXE измерения более эффективны при анализе содержания в материале элементов, характеризующихся низкими энергиями линий характеристического рентгенофлуоресцентного выхода, но характеризует элементный состав поверхностного слоя материала, толщина которого определяется глубиной проникновения пучка протонов. Поскольку при энергии протонов 1-1.5 МэВ глубина их проникновения для разных материалов составляет 5-15 мкм, PIXE в стандартном исполнении не может быть использован для элементного анализа поверхности. Для адаптации метода под исследование поверхности была создана схема возбуждения поверхностной рентгенофлуоресценции, включением в PIXE измерительную структуру плоского рентгеновского волновода-резонатора (ПРВР). Представлены экспериментальные результаты показавшие, что использование ПРВР в измерительной схеме протон-индуцированной рентгеновской эмиссии реализует возможности элементного анализа поверхности, знаменуя создание нового эффективного аналитического метода. Метод реализован в рамках эксплуатации ионно-пучкового аналитического комплекса Сокол-3.

СИНТЕЗ ИЗОЛИРУЮЩИХ СЛОЕВ В КРЕМНИИ ИМПЛАНТАЦИЕЙ
МОЛЕКУЛЯРНЫХ ИОНОВ CO^+ С.М. Тарков^{*1)}, В.И. Вдовин¹⁾, И.Е. Тыщенко¹⁾, В.П. Попов¹⁾¹⁾ ИФП СО РАН, Новосибирск, Россия^{*)} e-mail: popov@isp.nsc.ru

Протонная изоляция полупроводников за счет большой плотности радиационных дефектов применялась для изготовления радиочастотных устройств на арсениде галлия. В кремниевых КМОП приборах или солнечных элементах такие дефекты также захватывают носители заряда на границе с оксидом, что приводит к снижению проводимости и токов утечки, наведенных зарядами в оксиде. Недостатком этого метода является невозможность его использования в КМОП технологии из-за низкой термической стабильности. Мы создали наноразмерные включения широкозонных полупроводников и диэлектриков (квантовые антиоточки) вместо нестабильных радиационных дефектов. Подобные антиоточки формируют в окрестностях гетерограниц изгиб запрещенной зоны кремния, аналогичный изолирующему слою в p-n переходе, и гарантируют отсутствие подвижных носителей заряда при определенной концентрации антиоточек. Жизнеспособность этого метода для применения в СБИС была доказана на примере синтеза наноразмерных преципитатов карбида (SiC) и диоксида (SiO_2) кремния в низкоомном ($\sim 1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$) кремнии Чохральского (Cz-Si) n- и p-типа при имплантации молекулярных ионов CO^+ с энергией $\sim 100 \text{ кэВ}$, флюенсом $\sim 10^{16} \text{ см}^{-2}$ и последующем отжиге при температурах $\sim 1100^\circ\text{C}$. Сформированный высокоомный слой с антиоточками толщиной $\sim 2 \text{ мкм}$ сохранялся в подложке Si в процессах изготовления логических КМОП ячеек и оптоэлектронных фазовращателей. Подвижность носителей заряда в активных областях этих приборов практически не отличалась от исходной, как для структур кремний-на-изоляторе (КНИ), так и для пластин объемного кремния.

ВЗАИМНАЯ ДИФФУЗИЯ ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННЫХ
АТОМОВ In и As в SiO₂

И.Е. Тыщенко^{*1)}, М. Voelskow²⁾, Ч. Сы³⁾, В.П. Попов¹⁾

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН,
Новосибирск, Россия

²⁾ Institute of Ion-Beam Physics and Materials Research,
Dresden, Germany

³⁾ Новосибирский государственный университет,
Новосибирск, Россия

^{*}e-mail: tys@isp.nsc.ru

Изучена диффузия атомов индия и мышьяка, имплантированных в пленки SiO₂ в зависимости от энергии и дозы ионов As⁺ и температуры последующего отжига. Выбранные энергии ионов обеспечивали совпадение средних проективных пробег ионов As⁺ и In⁺, или их различие в 2 или в 2.8 раза. Температура последующего отжига была 700 – 1100 °С в течение 30 минут в атмосфере паров N₂. Исследования проводились методами резерфордовского обратного рассеяния и высокоразрешающей электронной микроскопии. Установлено, что атомы In практически не влияют на диффузионные свойства атомов As. Диффузия In, наоборот, оказываются сильно зависящей от присутствия в пленке атомов As и их энергии. В том случае, когда профили распределения индия и мышьяка совпадают, большая доля атомов In остается в связанном состоянии вплоть до температуры 1100 °С. И лишь около 10 % индия диффундирует в глубь пленки SiO₂ с коэффициентом диффузии, соответствующим миграции индия по междоузельному механизму. С увеличением энергии ионов As⁺ доля In в связанном состоянии с ростом температуры отжига падает, а диффузия In к поверхности SiO₂ доминирует уже при температуре 1000 °С. Обнаруженные эффекты объяснены формированием пар In-As в соседних замещающих положениях путем замещения атомами In и As атомов кремния и кислорода соответственно.

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УФ-ОБЛУЧЕНИЯ НА
ФОРМИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО УГЛЕРОДА НА
ПОВЕРХНОСТИ ХЛОРПОЛИМЕРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
МОЩНОГО ИОННОГО ПУЧКА

В.С. Ковивчак, Парыгин А.А.

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
Омск, Россия
Омский научный центр СО РАН, Омск, Россия

Механизм роста слоев наноструктурированного углерода на поверхности хлорполимеров при воздействии мощного ионного пучка в настоящее время не установлен и для его выяснения требуется более детальное исследование процесса роста.

Целью настоящей работы является исследование влияния предварительного УФ-облучения хлорированного поливинилхлорида (ХПВХ) с различными каталитическими добавками на рост углеродных нановолокон (УН) при воздействии мощного ионного пучка (МИП).

УФ-облучение выполнено на воздухе с использованием лампы ДРШ-250, при этом температура полимера при облучении не превышала 60° С. Длительность УФ-облучения варьировалась в диапазоне 0,5- 4 час. Ионное облучение проводилось на ускорителе «Темп» (30% Н⁺ +70% С⁺, E ~ 200 кэВ, j ≤ 150 А/см², τ=60 нсек).

Установлено, что УФ-облучение, вызывающее дегидрохлорирование ХПВХ (степень которого зависит от времени облучения), приводит к увеличению наиболее вероятного диаметра образующихся УН при временах облучения не менее 1 часа. При этом для ХПВХ с добавкой неорганических соединений железа наблюдается снижение пористости приповерхностного слоя. Проведено сравнение полученных результатов с данными по влиянию термообработки на рост УН. Предложен механизм роста УН на поверхности ХПВХ при воздействии МИП.

РОЛЬ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА В
МОДИФИЦИРОВАНИИ КАРБИДА КРЕМНИЯ ПУЧКАМИ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

В.В.Козловский^{1*)}, А.Э.Васильев¹⁾, А.А.Лебедев²⁾, М.Е.Левинштейн²⁾

¹⁾ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

²⁾ Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН,
Санкт-Петербург, Россия

^{*)}e-mail: kozlovski@physics.spbstu.ru

Термическая стабильность радиационных дефектов в полупроводниках является важнейшим и часто лимитирующим фактором в модифицирование материалов за счет введения любых радиационных дефектов -инженерии радиационных дефектов Radiation Defect Engineering /1/. Для карбида кремния (SiC) долгое время эта тема считалась недостаточно актуальной, т.к. основные радиационные дефекты Z1/Z2 и EH6/7 отжигаются при температурах $\sim 1000^{\circ}\text{C}$ /2/. Однако в последнее время стали появляться сообщения, свидетельствующие о некой низкотемпературной нестабильности радиационных дефектов, в частности введенных в политип n-4H-SiC (CVD) при облучении быстрыми электронами и протонами /2/. Целью настоящей работы было исследование влияния изохронного низкотемпературного отжига радиационных дефектов на параметры карбид-кремниевых диодов Шоттки, облученных электронами и протонами МэВ-ных энергий. В работе получены данные о режимах облучения и стабилизирующего низкотемпературного отжига для перспективного использования RDE n-4H-SiC.

ЛИТЕРАТУРА

1. V. Kozlovski, V. Abrosimova. Radiation Defect Engineering. World Scientific, Singapore - New Jersey - London – Hong Kong, (2005)
2. A.A. Lebedev. Radiation Effects in Silicon Carbide. Material Research Forum LLC, Millersville, PA 17551, USA, Volume 6 (2017)

ДИСЛОКАЦИОННАЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В КРЕМНИИ ПРИ ВАРИАЦИИ ТИПА ИСХОДНОЙ ПОДЛОЖКИ И ЛЕГИРУЮЩЕЙ ПРИМЕСИ

Д.С. Королев¹⁾, А.Н. Терещенко²⁾, А.А. Никольская¹⁾, А.Н. Михайлов¹⁾,
А.И. Белов¹⁾, Д.И. Тетельбаум¹⁾

¹⁾ ННГУ им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия

²⁾ ИФТТ РАН, Черноголовка, Россия

Перспектива применения материалов на основе кремния в устройствах современной фотоники сдерживается отсутствием эффективного источника света в силу непрямозонности энергетической структуры этого материала. Одним из возможных решений этой проблемы может быть использование дислокационной люминесценции (ДЛ), излучение основной спектральной линии D1 которой находится на длине волны ~ 1.5 мкм. Наиболее эффективным способом создания таких излучательных центров является имплантация ионов Si^+ в кремний с последующим отжигом. В данной работе исследовано влияние атомов бора (как исходно содержащихся в подложке, так и дополнительно имплантированных), а также ориентации исходной подложки на температурную зависимость спектров ДЛ.

В качестве исходных подложек использовался кремний, легированный как фосфором, так и бором, с различным удельным сопротивлением и отличающейся ориентацией поверхности. Дислокационная структура создавалась путем имплантации ионов Si^+ с последующим отжигом в смешанной атмосфере (кислород и азот) с различным содержанием компонентов в газовой смеси. Исследование спектров ДЛ, в том числе температурной зависимости линии D1, продемонстрировало существенное влияние условий синтеза и дополнительной ионно-лучевой и термической обработки на люминесцентные свойства образцов. Для некоторых условий синтеза удалось получить ДЛ при температурах, близких к комнатной.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (МК-4092.2021.1.2).

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
САМООРГАНИЗАЦИИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В
ДВУМЕРНЫХ ПОТЕНЦИАЛАХ С КРУГОВОЙ СИММЕТРИЕЙ

П.И. Глуховцев^{*1)}, Р.Г. Назмитдинов^{1,2)}, Э. Г. Никонов^{1,2)}

Государственный университет «Дубна»,
Дубна, Россия

²⁾ Объединённый институт ядерных исследований,
Дубна, Россия

^{*)} pavelgl2018@gmail.com

Исследования процессов кристаллизации конечного числа одинаково заряженных частиц в условиях конфайнмента со сферической и круговой симметрией /1, 2/ получили в последние годы новый импульс в связи с развитием нанотехнологий. Существуют большие ожидания в возможном применении данных процессов при создании дисплеев нового поколения, перспективной элементной базы наноэлектроники и новых продуктов биохимии. Настоящая работа посвящена молекулярно-динамическому исследованию условий, при которых происходит возникновение и плавление кристаллизации двумерных систем, состоящих из взаимодействующих посредством сил Кулона заряженных частиц одного сорта, запертых в круговой области с жесткой, непрозрачной границей. Авторами проведено последовательное сравнение различных физических характеристик, полученных в результате вариационного моделирования структурных конфигураций, и оценок, следующих из теоретических предсказаний /2/.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. M. Cerkaski, R. G. Nazmitdinov, and A. Puente // Phys. Rev. E 91, 032312 (2015).
2. R. G. Nazmitdinov, A. Puente, M. Cerkaski and M. Pons // Phys. Rev. E 95, 042603 (2017).

НАКОПЛЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОГО ЗАРЯДА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ
ЧЕРЕЗ КРЕМНИЙ БЫСТРЫХ ИОНОВ

Н.В. Новиков*, Н.Г. Чеченин, А.А. Широкова

НИИЯФ МГУ,
Москва, Россия

*e-mail: nvnovikov65@mail.ru

Для оценки количества электрон - дырочных пар на единице длины трека F_{eh} в кремнии обычно используется приближение $F_{eh} \approx S_e(E)/\epsilon_{Si}$, где $S_e(E)$ – неупругие потери энергии иона с энергией E , ϵ_{Si} – энергия связи электрона в атоме кремния. В этой оценке не учитываются вклады в неупругие потери энергии от процессов возбуждения иона и от колебаний решетки, которые приводят к локальному нагреву мишени. В ней также пренебрегается энергией, выбитого из атома мишени электрона и не учитывается заряд иона. Для вторичных ионов зависимость от их заряда важна. Выбитые первичным протоном из узлов кристаллической решетки атомы кремния и ионы Si^+ имеют одинаковые неупругие потери энергии $S_e(E)$. Однако, потенциал взаимодействия налетающего атома с одним из электронов мишени короткодействующий, и сечение ионизации в атом – атомных столкновений должно быть на порядок меньше чем в ион - атомном столкновении. Традиционное приближение для оценки F_{eh} не учитывает этой особенности и дает завышенные значения от атомов отдачи.

В работе предложен метод расчета F_{eh} на основе оценки сечения ионизации в приближении эффективного заряда иона, что позволяет получить более реалистические оценки накопленного в кремнии избыточного заряда.

УПРАВЛЕНИЕ УСКОРЕННЫМИ ЗАРЯЖЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ С ПОМОЩЬЮ ИЗОГНУТЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРУБОК

В.П. Петухов

НИИЯФ МГУ,
Москва, Россия

В последнее время взаимодействие заряженных частиц с диэлектрическими капиллярами активно изучается в связи с возможными практическими применениями.

Проведены измерения коэффициентов трансмиссии и энергетических спектров электронов в зависимости от углов поворота в процессе их прохождения через изогнутые стеклянные трубки. В работе показана возможность поворота пучка электронов изогнутыми диэлектрическими трубками с проводящими электродами на их внешней поверхности, что найдет применение в технике и научных исследованиях. Технический результат заключается в обеспечении возможности поворота пучка на большие углы без существенной потери интенсивности. Данная работа является продолжением исследований трансмиссии электронов с энергиями в области нескольких десятков кэВ через диэлектрические трубки /1/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петухов В.П., Петухов М.В. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2017, № 10, с. 64-68.

КОГЕРЕНТНОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПУЧКА
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В СОСТАВНОЙ МИШЕНИ

С. В. Блажевич¹⁾, А.В. Носков^{1,2)}, И.Р. Сиднина¹⁾,
А.Э. Федосеев¹⁾, К.С. Люшина¹⁾

¹⁾Белгородский государственный университет,
Белгород, Россия

²⁾БГТУ им. В. Г. Шухова,
Белгород, Россия

В работе развита динамическая теория когерентного рентгеновского излучения пучка релятивистских электронов, пересекающих трехслойную составную структуру аморфный слой-вакуум (воздух)-монокристалл.

Получены и исследованы выражения, описывающие спектрально-угловые и угловые характеристики ПРИ, ДПИ (и их интерференцию). Показан существенный вклад переходного излучения от аморфного слоя и интерференционного слагаемого переходного излучения от аморфного слоя и передней границы монокристаллического слоя в суммарную угловую плотность ДПИ. Показана возможность интерференции дифрагированного переходного излучения и параметрического рентгеновского излучения. Показано, что небольшие изменения толщин слоев не приводит к резкому изменению характера интерференции, наблюдаемой в угловой и спектрально-угловой плотностях, с конструктивного на деструктивный.

ВЛИЯНИЕ МНОГОКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ НА КОГЕРЕНТНОЕ
РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПУЧКА РЕЛЯТИВИСТИЧЕСКИХ
ЭЛЕКТРОНОВ В МОНОКРИСТАЛЛЕ

С. В. Блажевич¹⁾, А.В. Носков^{1,2)}, Н.С. Тимошук¹⁾,
А.Э. Федосеев¹⁾

¹⁾Белгородский государственный университет,
Белгород, Россия

²⁾БГТУ им. В. Г. Шухова,
Белгород, Россия

В рамках динамической теории дифракции исследуется когерентное рентгеновское излучение, возбуждаемое в монокристаллической пластинке пучком релятивистских электронов, пересекающих ее в геометрии рассеяния Брэгга а общем случае асимметричного отражения поля электрона относительно поверхности мишени. Когерентное рентгеновское излучение рассматривается в виде суммы вкладов параметрического рентгеновского излучения (ПРИ), дифрагированного переходного излучения (ДПИ) и слагаемого, представляющего результат их интерференции. Получены выражения, описывающие ПРИ и ДПИ с учетом многократного рассеяния электронов. Исследуется влияние начальной расходимости электронного пучка и многократного рассеяния электронов атомами среды на спектрально-угловые характеристики ПРИ, ДПИ и их интерференцию.

ИЗМЕНЕНИЕ НЕРАВНОВЕСНОГО И РАВНОВЕСНОГО СРЕДНЕГО ЗАРЯДА ИОНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОЛЩИНЫ ПРОЙДЕННОГО СЛОЯ ВЕЩЕСТВА

Ю.А.Белкова

НИИЯФ МГУ,
Москва, Россия
belkova-fiz@mail.ru

Зависимость зарядовых распределений и среднего заряда ионов от толщины мишени x традиционно рассматривалась в неравновесной области. При этом мишень считалась тонкой и изменением энергии ионов за счет торможения пренебрегалось. Тогда для среднего заряда можно записать выражение

$$\bar{i}(x) = \bar{i}_{eq} + (i_0 - \bar{i}_{eq}) \times \exp(-\alpha x),$$

где i_0 - начальный заряд иона, $\bar{i}_{eq}$ - средний равновесный заряд, а α зависит от сечений потери и захвата электрона.

Если не ограничиваться приближением тонкой мишени, а рассматривать торможение ионов до полной остановки, то убывание энергии иона в зависимости от толщины пройденного слоя вещества x требует учета изменения среднего равновесного заряда $\bar{i}_{eq}(x)$:

$$\bar{i}_{eq}(x) = Z \times (1 - \exp(a - bx)),$$

где коэффициенты a и b зависят от начальной энергии ионов E_0 , значений максимальных неупругих потерь энергии $S_{e\ max}$ данного иона в рассматриваемом веществе и энергии иона E_{max} , при которой потери энергии достигают максимального значения $/1/$. Так при $E_0 < E_{max}$ $a =$

$\sqrt{\frac{E_0}{E_{max}}}$, $b = \frac{S_{e\ max}}{2E_{max}}$ и зависимость $\bar{i}(x)$ может быть рассчитана аналитически во всей области изменения x от начала торможения до остановки иона в веществе.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ю.А.Белкова, Я.А.Теплова // Поверхность, 2021, №.3, С. 39.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ ИОНОВ
 Na^+ ПРОШЕДШИХ ЧЕРЕЗ ТОНКИЕ СВОБОДНЫЕ НАНОПЛЕНКИ
Cu

З.А. Исаханов^{*1)}, Б.Е. Умирзаков²⁾, Р.М. Ёркулов¹⁾, Р. Курбанов¹⁾

¹⁾ИИПИЛТ, Ташкент, Узбекистан,

²⁾ТГТУ, Ташкент, Узбекистан

* e-mail: za.isakhanov@gmail.com

Энергетические зависимости прошедших ионов исследованы с помощью вращающегося вокруг мишени анализатора Юза–Рожанского. Угловая апертура детектирования составляла $\sim 0.5^\circ$. Получены полярные диаграммы угловых распределений ионов Na^+ с $E_0=20, 25, 30, 35$ кэВ, прошедших через тонкую поликристаллическую пленку Cu с толщиной ~ 300 Å. Показано, что с увеличением энергии пучка ионов Na^+ , отклонение полярной диаграммы углового распределения прошедших ионов от косинусоидального закона становится все более значительным, распределения сужаются и вытягиваются вдоль направлений первичных ионов. При энергии $E_0=30$ кэВ максимум углового распределения, совпадающий с продолжением направления пучка первичных ионов на мишень, становится четко выраженным. Отклонение направления пучка ионов от нормали приводит к увеличению пути движения ионов по закону обратного косинуса $x=x_0/\cos\varphi$ и, соответственно, к резкому уменьшению количества прошедших ионов. Сравнение длины пробега ионов с определенной энергией указывает на то, что направление пучка первичных ионов, т.е. его импульс способствует их прохождению вдоль поликристаллическую пленку. Результаты исследования показывают, что в формировании вида (формы) углового распределения важную роль играет изменение доли ионов, испытавших многократные столкновения.

С увеличением начальной энергии ионов максимум энергетического распределения смещается в сторону больших энергий пропорционально E_0 . Видно, что значение ΔE с ростом E_0 от 10 до 40 кэВ для ионов Na^+ линейно растет, что свидетельствует об участии процессов упругих и неупругих торможений ионов в общей потере энергии.

ПРОХОЖДЕНИЕ 10 кэВ-ных ЭЛЕКТРОНОВ ЧЕРЕЗ
КЕРАМИЧЕСКИЙ КАНАЛК.А. Вохмянина^{*1)}, Л.В. Мышеловка¹⁾, В.С. Сотникова^{1,2)},
А.Д. Пятигор¹⁾¹⁾ БГНИУ, Белгород, Россия²⁾ БГТУ им. В. Г. Шухова,
Белгород, Россия^{*)} vokhmyanina@bsu.edu.ru

В работе продемонстрированы результаты экспериментального исследования прохождения электронов с энергией 10 кэВ через керамический макрокапилляр длиной 20 мм и внутренним диаметром 1.5 мм. Проведены измерения доли прошедших через канал электронов в зависимости от величины тока падающего в канал пучка и времени облучения канала. Ось канала расположена параллельно оси падающего пучка. Показано, что с увеличением падающего тока, ток прошедших электронов увеличивается до некоторого максимума, а затем уменьшается (Рисунок 1).

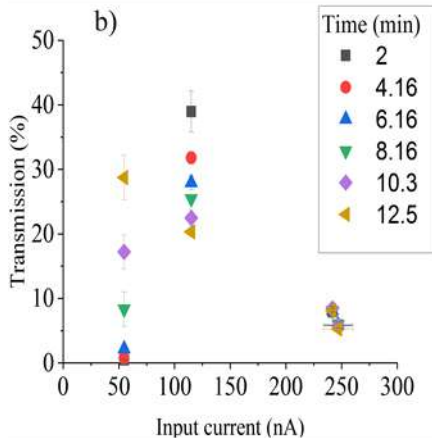


Рис.1 Зависимости пропускания канала от тока прямого пучка

ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В НАНОПОРОШКОВЫХ
МИШЕНЯХ

В. И. Алексеев¹⁾, А. Н. Елисеев¹⁾, Е.Ю. Киданова²⁾, И.А. Кишин^{*1,2)},
А. С. Кубанкин^{1,2)}, А. С. Ключев^{1,2)}, Р.М. Нажмудинов^{1,2)}

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН,
Москва, Россия

²⁾ БГНИУ, Белгород, Россия

^{*)} e-mail: ivan.kishin@mail.ru

В работе представлено продолжение исследований параметрического рентгеновского излучения (ПРИ) релятивистских электронов в порошковых мишенях. Впервые ПРИ в порошковых мишенях было исследовано в работах [1,2], но в качестве исследований был выбран вольфрамовый порошок с размером зерен около одного мкм. В данной работе представлено исследование ПРИ, образующегося в порошковых мишенях с размерами зерен менее 100 нм.

В качестве источника релятивистских электронов использовался микротрон с энергией 7 МэВ. Мишени были изготовлены из платинового порошка и из порошка оксида магния. Спектры ПРИ наблюдались под углами 150° и 180° относительно скорости движения электронов. Поверхность мишени была ориентирована перпендикулярно оси пучка. Были зафиксированы пики ПРИ в области энергий от 2 до 6 кэВ.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 V.I. Alekseev, A.N. Eliseyev, E. Irribarra, et al. // Parametric X-ray radiation from powders // Physics Letters A. 383 (2019) 770-773.
- 2 V.I. Alekseev, A.N. Eliseyev, E. Irribarra, et al. // Diffraction of virtual and real photons// Journal of Instrumentation. 15 (3). (2020) C03009

ВЛИЯНИЕ МОЗАИЧНОСТИ КРИСТАЛЛОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ
ИЗЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

И.Е. Внуков*), В.В. Колодочкин, А.С. СклЯрова, Р.А. Шатохин

НИУ «БелГУ»,
Белгород, Россия*)e-mail: vnukov@bsu.edu.ru

Известно, что мозаичность кристалла существенно влияет на характеристики излучения, возникающего при пролете через него релятивистских электронов, причем степень этого влияния зависит от механизма излучения. Интенсивность излучения под брэгговским углом резко возрастает за счет дополнительного вклада дифрагированных реальных фотонов переходного и тормозного излучений /1/, а пики в спектре когерентного тормозного излучения и излучения при каналировании, наоборот, становятся менее интенсивными, а их ширина увеличивается /2/. Влияние мозаичности кристалла на движение электронов, практически, не изучено.

С помощью прутковой ионизационной камеры проведено измерение угловых распределений мягкой компоненты тормозного излучения релятивистских электронов в монокристаллах и в мозаичных кристаллах пиролитического графита. Методика измерений и результаты для монокристаллов подробно описаны в работе /3/. Показано, что мозаичность приводит к значимому изменению углового распределения электронов в кристаллах большой толщины, вплоть до проявления эффекта «фокусировки».

ЛИТЕРАТУРА

1. Е.А. Bogomazova et al. // NIM B, 2003, V. 201, P. 276
2. И.Е. Внуков // Изв. ВУЗов "Физика", 2002, т.45, № 9, С. 66.
3. К.Ю. Амосов и др. // Изв. ВУЗов "Физика", 1991, т.34, № 6, С. 70.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ЖЕСТКОСТЬ УРОВНЕЙ ЭНЕРГИИ ПОПЕРЕЧНОГО ДВИЖЕНИЯ КАНАЛИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

В.В. Сыщенко^{*)}, А.И. Тарновский

НИУ «БелГУ»,
Белгород, Россия

^{*)} e-mail: syshch@bsu.edu.ru

Явление квантового хаоса проявляется в статистических свойствах массива уровней энергии квантовой системы, хаотической в классическом пределе /1/. Чаще всего исследуется распределение интервалов между соседними уровнями энергии. Для электронов, движущихся вблизи направления [110] кристалла кремния выше седловой точки двухъямного непрерывного потенциала, эта характеристика была исследована в /2/.

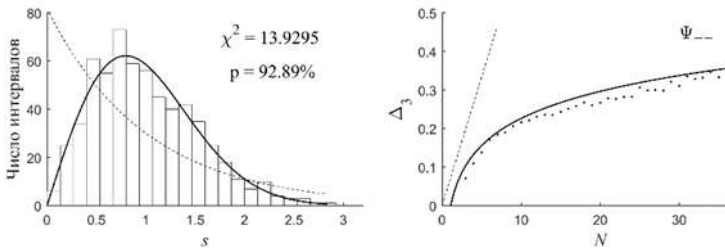


Рис. 1. Распределение межуровневых расстояний s (слева) и спектральная жесткость (справа) для каналированных в направлении [110] кристалла кремния электронов с энергией 500 МэВ. Пунктирные линии соответствуют предсказаниям теории для регулярных, сплошные линии – для хаотических в классическом пределе систем.

В настоящем докладе в тех же условиях исследуется другая характеристика спектра энергий поперечного движения каналированных электронов – так называемая спектральная жесткость или Δ^2 -статистика /1/. Результаты (рис. 1) согласуются с предсказаниями теории квантового хаоса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Штокман Х.-Ю. Квантовый хаос. М., Физматлит, 2004, 376 с.
2. Шульга Н.Ф., Сыщенко В.В., Тарновский А.И., Исупов А.Ю. // Поверхность (2015) № 7, 72.

СОЗДАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ИОНОВ ДЛЯ КОМПАКТНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НЕЙТРОНОВ

А.А. Кленин^{1,*}, А.Н. Олейник^{1,3}, А.С. Кубанкин^{1,2},
О.О. Иващук^{1,2}, А.С. Чепурнов^{1,4}, М.А. Кирсанов⁵

¹) Лаборатория радиационной физики, Белгородский
государственный национальный исследовательский университет,
Белгород, Россия

²) Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

³) John Adams Institute at Royal Holloway, University of London,
Egham, United Kingdom

⁴) Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В.
Скобелевца МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁵) Национальный исследовательский ядерный университет
"МИФИ", Москва, Россия

*) e-mail: StaRscReam046@gmail.com

Компактные источники быстрых нейтронов с габаритными размерами 100×30×30 мм и управляемым выходом до 1000 нейтронов в секунду, оборудованные встроенным высоковольтным источником питания, особо востребованы для калибровки современных детекторов нейтрино и тёмной материи.

Одним из важнейших элементов такого источника нейтронов является источник ионов дейтерия (ИИ), в котором возможно управление током ионов путем регулирования напряжения на эмиттере.

Отработаны конструкции трёх компактных ИИ, два из которых основаны на базе манометрических преобразователей ПМИ-10-2 и ПММ-28. Третий источник – оптимизированная, при помощи моделирования в Comsol mutliphysics, геометрия первого ИИ. Разработанные ИИ имеют возможность регулирования ионного тока в пределах от 1 нА до 10 мкА.

Испытания ИИ проводились на специально разработанном испытательном стенде, позволяющем контролировать такие основные параметры ИИ, как давление остаточного газа, тип газа, напряжение на эмиттере.

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПУЧКОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА
ОСНОВЕ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ПРОВОЛОЧНОГО
СКАНЕРА

Р.М. Нажмудинов^{*1,2)}, А.А. Кубанкина¹⁾,
И.А. Кишин^{1,2)}, А.С. Кубанкин^{1,2)}, Е.В. Болотов¹⁾

¹⁾ НИУ «БелГУ», Белгород, Россия

²⁾ ФИАН, Москва, Россия

^{*)} nazhmudinov@bsu.edu.ru

Представлена конструкция проволочного сканера, предназначенного для измерения параметров пучков релятивистских и нерелятивистских заряженных частиц, а также параметров пучков рентгеновского и гамма-излучения. Предлагаемый сканер /1,2/ содержит множество проволочек, выполненных из разных материалов, расположенных вдоль оси пучка и способных перемещаться в поперечном оси пучка направлении. В процессе сканирования в проволочках под действием пучка образуется характеристическое рентгеновское излучение, спектры которого регистрируются энергодисперсионным рентгеновским детектором. Измерив зависимость интенсивности излучения от прицельного параметра проволочек, можно восстановить поперечные профили исследуемого пучка. По значению энергии характеристического излучения определяется конкретная проволочка, которой соответствует поперечный профиль. На основе данных, полученных в процессе сканирования, определяются поперечные размеры, форма, траектория, расходимость и эмиттанс пучка.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ RU182076U1, 21.05.2018.
2. R.M. Nazhmudinov et al. // JINST, 2018, 13, P12012.

ЭФФЕКТ ТРАНСФОРМАЦИИ КОНУСА ИЗЛУЧЕНИЯ ВАВИЛОВА-ЧЕРЕНКОВА В РЕНТГЕНОВСКОМ ДИАПАЗОНЕ – ПРЕДЛОЖЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

П.В. Каратаев¹⁾, И.А. Кишин^{2,3)}, А. С. Кубанкин^{*2,3)},
Р.М. Нажмудинов^{2,3)}, А.С. Парахин³⁾

¹⁾ Колледж Ройял Холлоуэй, Эгам, Великобритания

²⁾ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

³⁾ Белгородский государственный национальный
исследовательский

университет, Белгород, Россия

*) e-mail: kubankin@bsu.edu.ru

Хорошо известно, что излучение Вавилова-Черенкова проявляется в различных спектральных диапазонах и наиболее хорошо изучено в оптической области, где нашло многочисленные приложения. К наиболее экзотическому случаю относится излучение Вавилова-Черенкова в рентгеновском диапазоне энергий фотонов в области аномальной дифракции вещества.

Одним из наиболее интересных эффектов, предсказанных теоретически /1/ для излучения Вавилова-Черенкова в рентгеновском диапазоне, является сужение конуса излучения при уменьшении угла падения излучающей частицы на плоскость раздела двух сред, при этом, угловая плотность излучения резко возрастает.

В настоящее время на основе линейного ускорителя электронов CLEAR (ЦЕРН) ведётся подготовка экспериментов по изучению эффекта трансформации конуса излучения Вавилова-Черенкова в рентгеновском диапазоне. В работе представлены расчёты исследуемого эффекта в рамках экспериментальной установки, а также приведено описание самой установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kubankin, N. Nasonov, V. Kaplin et al. // Radiation Physics and Chemistry, 2006, V. 75, P.913-919.

ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ РЕНТГЕНОВСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ РАБОТЕ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ИСТОЧНИКА В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

А.Н. Олейник^{*1,2)}, Е.В. Болотов¹⁾, М.Э. Гильц¹⁾, О.О. Иващук^{1,3)},
А.А. Кленин¹⁾, А.С. Кубанкин^{1,3)}, А.В. Шагин^{1,4)}

¹⁾ Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

²⁾ Колледж Ройял Холлоуэй, Эгам, Великобритания

³⁾ Физический институт им. П.Н. Лебедева, Москва, Россия

⁴⁾ Харьковский физико-технический институт, Харьков, Украина

^{*)} e-mail: andreyoleyunik92@mail.ru

Одним из малоизученных фундаментальных аспектов проявления пироэлектрического эффекта в условиях вакуума является определение корреляции между максимально возможным генерируемым электрическим потенциалом и диапазоном изменения температуры пироэлектрика. Как правило, величину максимального генерируемого электрического потенциала на поверхности пироэлектрика можно оценить по величине максимальной энергии спектра рентгеновского излучения /1/.

Представлены результаты исследования зависимости максимальной энергии рентгеновского излучения от величины предварительного изменения температуры монокристалла танталата лития (LiTaO_3). Полученная зависимость демонстрирует что максимальные возможности генерации рентгеновского излучения пироэлектрическим источником проявляются при применении импульсного режима генерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nagaychenko V.I., Sanin V.M., Yegorov A.M. and et.al // Prob. of At. Sci. and Tech, 2004, Vol. 412, № 2, P.214-220.

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ Z-ОРИЕНТИРОВАННОГО МОНОКРИСТАЛЛА НИОБАТА ЛИТИЯ ПРИ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ЭФФЕКТЕ

А.Н. Олейник^{*1,2,)}, П.В. Каратаев²⁾, А.А. Кленин¹⁾, А.С. Кубанкин^{1,3)},
К.В. Федоров⁴⁾, А.В. Щагин^{1,5)}

¹⁾ Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

²⁾ Колледж Ройял Холлоуэй, Эгам, Великобритания

³⁾ Физический институт им. П.Н. Лебедева, Москва, Россия

⁴⁾ Томский политехнический университет, Томск, Россия

⁵⁾ Харьковский физико-технический институт, Харьков, Украина

^{*)} e-mail: andreyoleynik92@mail.ru

Роль и влияние боковых поверхностей монокристалла ниобата лития на процессы генерации электрического поля при пироэлектрическом эффекте, а также ускорения и производства электронов и рентгеновского излучения остаются малоизученными.

В нашей работе экспериментально показано наличие электризации боковых поверхностей Z-ориентированного образца ниобата лития при пироэлектрическом эффекте. Описываются особенности электрического тока, протекающего через боковые грани монокристалла ниобата лития в зависимости от схемы заземления образца, скорости изменения его температуры, ориентации полярных осей. Также, экспериментально показано влияние заземления боковых граней на эффект генерации рентгеновского излучения при пироэлектрическом эффекте.

ЭНЕРГОДИСПЕРСИОННЫЙ ТОМОГРАФ НА ОСНОВЕ МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ЛЁГКИХ МАТЕРИАЛОВ

И.А. Кишин^{1,2,3*)}, А. С. Кубанкин^{1,2,3)}, Р.М. Нажмуудинов^{1,2)}, Д.Г. Фирсов³⁾, Ю.С. Кубанкин³⁾, Е.В. Болотов²⁾, С.М. Пиядин⁴⁾

- ¹⁾ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия
 - ²⁾ Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия
 - ³⁾ ООО «Вакуумные системы и технологии», Белгород, Россия
 - ⁴⁾ Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия
- *) e-mail: ivan.kishin@mail.ru

Контроль прочностных и массогабаритных характеристик конструкционных элементов является стандартной задачей при разработке элементов различных установок. Одним из распространённых методов для решения таких задач является рентгеновская дефектоскопия. При данном подходе исследуемые объекты должны в достаточной степени поглощать рентгеновское излучение, что делает данный метод неэффективным для исследования объектов слабо поглощающих рентгеновское излучение.

В настоящей работе разработана установка для исследования конструкционных элементов, изготовленных из лёгких материалов. Установка работает в мягком рентгеновском диапазоне до 10 кэВ в режиме энергодисперсионного анализа сигнала рентгеновского излучения, прошедшего через исследуемый объект и рассеянного объектом. Тесты, выполненные на трубе, изготовленной из углепластика, показали возможности построения карт распределения толщин стенки трубы с точностью лучше 10 мкм и примесных элементов с $Z > 20$. Измерения проводились в условиях атмосферы.

ПОВОРОТ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 10 кэВ НА 360° С ПОМОЩЬЮ ТРУБКИ ПВХ

К.А. Вохмянина^{*1)}, Л.В. Мышеловка¹⁾, В.С. Сотникова^{1,2)}

Белгородский государственный национальный исследовательский
университет, Белгород, Россия

²⁾ Белгородский государственный технологический университет
имени В. Г. Шухова, Белгород, Россия

^{*)} e-mail: vokhmyanina@bsu.edu.ru

В работе была измерена временная зависимость прохождения пучка электронов с энергией 10 кэВ и током пучка 1.8 мкА через ПВХ трубки, закрученные в кольца на 360° (см. Рис.1).

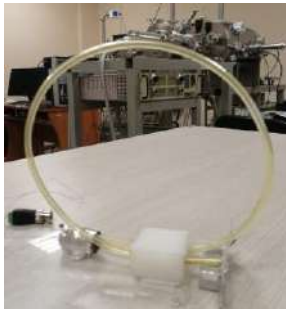


Рис.1 Фотография кольца из трубки ПВХ

Исследовались трубки со следующими параметрами: первая – внутренний диаметр трубки 2.8 мм, диаметр кольца 75 мм; вторая – внутренний диаметр 4 мм, диаметр кольца 150 мм. В обоих случаях фиксировался ток прошедших электронов, составивший порядка 15 % от величины тока падающего в трубку пучка. Измерение спектра электронов показало, что все прошедшие электроны теряют свою первоначальную энергию.

ФОКУСИРОВКА БАНЧИРОВАННОГО РЕЛЯТИВИСТСКОГО
ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ КАПИЛЛЯРОМ

А. Арышев¹⁾, К.А. Вохмянина^{*2)}, А.С. Кубанкин^{2,3)},
И.А. Кишин^{2,3)},
N. Terunuma¹⁾, J. Urakawa¹⁾

¹⁾ КЕК: Организация по изучению высокоэнергетических
ускорителей, Цукуба, Япония

²⁾ Белгородский государственный национальный
исследовательский
университет, Белгород, Россия

³⁾ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия
) e-mail: vokhmyanina@bsu.edu.ru

В настоящее время проводится большое число экспериментов по изучению возможности управления пучками электронов с энергиями порядка кэВ с помощью диэлектрических каналов. Однако существует привлекательность для реализации тех же методов для отклонения и фокусировки релятивистского банчированного электронного пучка с низким эмиттансом современного компактного линейного ускорителя. Чтобы проверить эту возможность, было проведено предварительное экспериментальное исследование на установке КЕК LUCX, где пучки электронных пучков со среднеквадратичной длительностью пс, зарядом нКл и энергией 8 МэВ передавались через многомодовый диэлектрический капилляр.

Капилляр длиной 60 мм состоит из колец с чередующимися внутренними диаметрами 4 мм и 4.4 мм, которые образуют продольный период структуры 250 мкм. Капилляр обернут заземленной медной трубкой с внутренним диаметром 5.4 мм. Было показано, что смещение оси капилляра параллельно оси пучка в пределах размера поперечного сечения пучка приводит к смещению профиля заряда прошедшего пучка, что наблюдается на люминесцентном экране за капилляром. Также наблюдается увеличения плотности заряда на экране, что можно назвать пассивной фокусировкой пучка с помощью диэлектрического капилляра.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОКРЫТИЙ И ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ДЛЯ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ УЛЬТРАЛЁГКОГО МАГНИЕВОГО СПЛАВА

И.О. Кондрацкий^{1*)}, В.М. Медвецкова¹⁾, А.В. Эпельфельд²⁾, Б.Л. Крит²⁾

¹⁾ ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет)» Москва, Россия

²⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный
технологический университет "СТАНКИН", Москва, Россия

*) e-mail: garik0194@yandex.ru

Целью настоящей работы является исследование морфологии поверхности МДО-покрытий на ультралегком магнелиевом сплаве Mg-8Li-1Al-0,6Ce, сформированных в различных щелочных электролитах, а также проанализировать «выработку» этих электролитов в плане изменения их pH и удельной электропроводности [1].



Рис 1. а) Процесс микродугового оксидирования на 12 минуте обработки; б) микрофотографии поверхности с покрытием при оптическом увеличении 60 крат.

При одном и том же режиме обработки поверхности ультралёгкого магнелиевого сплава системы Mg–Li–Al–6Ce методом МДО возможно получение двух различных модификаций поверхности. В электролите, при большем времени обработки, получение пористого покрытия, толщиной до 40 мкм, которое можно применять в аэрокосмической технике для защиты изделий от коррозии и старения.

ЛИТЕРАТУРА

1. B.L. Krit, R.Z. Wu, N.V. Morozova, I.O. Kondratsky, V.M. Medvetskova, // Coating effect on thermal-physical and corrosion characteristics of ultralight Mg-based alloy, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, V, 918. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/918/1/012111>.

ЭЛЕКТРОННОЕ ОБЛУЧЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КВАРЦА И КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА, ОПТИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА

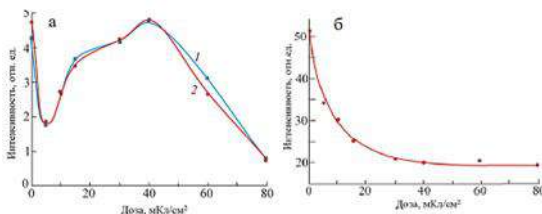
О.А. Подсвиров¹⁾, Д.А. Кирпиченко¹⁾, А.И. Сидоров²⁾

¹⁾Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

²⁾Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

Рассматривается сравнение оптических и структурных свойств кристаллического кварца и кварцевого стекла после электронного облучения на электронно-лучевой установке JEVD-2 с энергией 50 кэВ, плотностью тока 50 мкА/см² и дозами 5 - 80 мКл/см². Спектры комбинационного рассеяния измерялись с помощью спектрометра Renishaw, а спектры оптической плотности - с помощью спектрофотометра Lambda-650 (PerkinElmer).

Результаты исследований показали, что электронное облучение этих материалов приводит к возникновению в них существенно различающихся радиационных дефектов. Это подтверждается различием интенсивности полос комбинационного рассеяния от дозы облучения и процессов генерации и дезинтеграции радиационных дефектов во время и после облучения.



- Влияние дозы облучения на интенсивность комбинационных полос при $\nu = 465 \text{ см}^{-1}$ (1) и 420 см^{-1} (2) в кварцевом стекле;
- Влияние дозы облучения на интенсивность комбинационного рассеяния при $\nu = 465 \text{ см}^{-1}$ для кристаллического α -кварца

Обнаружены различия также и в спектрах поглощения стекол и кристаллического кварца в результате электронного облучения.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
СЛОИСТОЙ СИСТЕМЫ Ti-Al-C МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННОЙ
И ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ.

И.К. Аверкиев*), О.Р. Бакиева

УдмФИЦ УрО РАН, г. Ижевск, Россия

*)e-mail: averkiev1997@mail.ru

В работе объектом исследования является слоистая структура состава Ti_2CT_x , где T_x – функциональные группы –Al, –O, –OH, –F (рис. 1).

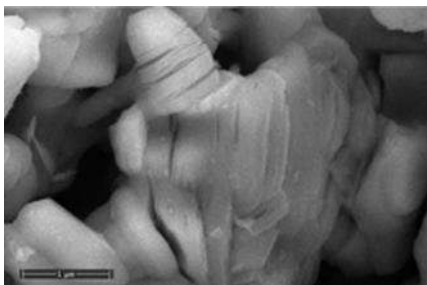


Рис. 1. Слоистая структура состава Ti_2CT_x

Методами рентгено-фотоэлектронной спектроскопии, Оже-электронной спектроскопии и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии проведено исследование изменения химической связи и элементного состава исследуемого объекта. Методом рентгеноструктурного анализа проведено исследование изменения структуры образцов.

Методом атомно-силовой микроскопии проведено исследование топографии поверхности образцов, а также отдельных слоев. Методом сканирующей электронной микроскопии исследованы изменения морфологии образцов и показано влияние моноэнергетичного потока электронов (20 кэВ) на поверхность исследуемого объекта.

Работа выполнена по плану НИР №121030100002-0. Работа была выполнена с использованием оборудования ЦКП «Поверхность и новые материалы» УдмФИЦ УрО РАН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ
ЯДЕРНОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

Н.В. Ткаченко * ¹⁾, А.И. Каменских ¹⁾, С.А. Тюфтяков ²⁾,
А.А. Назаров ²⁾

¹⁾НИИЯФ МГУ им. Д.В. Скобелецкая,
Москва, Россия

²⁾Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

*) nicki_tkak@mail.ru

В настоящей работе рассматривается влияние состава и структуры порошковых материалов на энергетический страгглинг при обратном рассеянии протонов. Страгглинг – стохастическое явление, приводящее к уширению энергетических спектров задетектированных частиц. Существует множество факторов, вызывающих страгглинг: случайная природа потерь энергии частицей внутри мишени, немонохроматичность частиц, разрешение детектора, неоднородность самой мишени [1]. В данной работе уделяется внимание последней причине страгглинга. В ряде работ [2] этот вид страгглинга объясняется пористостью материала. На примере исследования гомогенных и негомогенных порошковых материалов в настоящей работе показано, что неоднородность мишени приводит к значительному уширению характерных пиков элементов по сравнению со спектрами, полученными от однородного образца того же химического элемента. Более точное описание таких спектров поможет улучшить точность результатов исследований подобных мишеней, а также получить больше данных о мишени.

ЛИТЕРАТУРА

1. MitsuoTosaki // Journal of Applied Physics 2006, 99(3), 34-38.
2. M. Mayer, U. von Toussaint, J. Dewalque etc. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 273 (2012) 83–87

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЕВ SiO_2 , ИМПЛАНТИРОВАННЫХ Zn , КАК АКТИВНОЙ СРЕДЫ МЕМРИСТОРОВ

В.В. Привезенцев¹⁾, А.П. Сергеев¹⁾, А.А. Фирсов¹⁾,
В.С. Куликаускас²⁾, В.В. Затекин²⁾, А.Н. Терещенко³⁾

¹⁾ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия

²⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

³⁾ ИФТТ РАН, Черноголовка, Россия

Представлены результаты исследования пленок SiO_2 , имплантированных Zn и отожженных в окислительной среде, в качестве активной среды мемристоров.

На кварцевые подложки методом электронно-лучевого испарения были последовательно нанесены слои Au (нижний электрод) и SiO_2 толщиной 150 нм. Затем была проведена имплантация Zn с дозой $3 \times 10^{16}/\text{см}^2$ и энергией 40 кэВ. Потом эти структуры были окислены на воздухе в течение 40 мин при температурах 400–800 °С с шагом 100 °С. Верхний электрод изготовлялся из напыленного Al .

Для исследования поверхности применялась растровая электронная микроскопия в сочетании с энерго-дисперсионной спектроскопией. Для исследования профилей Zn при отжигах применялось резерфордовское обратное рассеяние. Химическое состояние Zn определялось методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Идентификация полученных фаз проводилась методом фотолюминесценции (ФЛ) при 10 К. Были изучены вольтамперные характеристики (ВАХ) полученных структур.

По мере отжигов образец просветляется, т.к. происходит переход от Zn к прозрачным фазам его оксида ZnO и силицида Zn_2SiO_4 . После имплантации поверхность образцов сглаживается. Она становится развитой после отжига при 700 °С, когда на ней формируются НЧ с размером порядка 10 нм. При этом на спектре ФЛ появляется пик при $\lambda = 370$ нм из-за образования фазы ZnO . Этот пик пропадает после отжига при 800 °С, а образуется пик при $\lambda = 430$ нм из-за формирования фазы Zn_2SiO_4 . После отжига при температуре 700 °С ВАХ структур имеют характерный для мемристоров гистерезис.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ДИФРАКЦИИ МЕДЛЕННЫХ
ЭЛЕКТРОНОВ (ДМЭ) ПОВЕРХНОСТИ Si (111) В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ И ЭНЕРГИИ

С.Ж. Ниматов, Ф.Я. Худайкулов, Б.Е. Умирзаков

ТашГТУ им. И. Каримова,
Ташкент, Узбекистан
e-mail: nimatov@mail.ru

Эксперименты выполнены в сверхвысоковакуумной универсальной установке, которая позволяет нагревать образцы до высоких температур вплоть до плавления, осуществить ионное травление поверхности, дозированный напуск необходимого газа в камеру. Термическая очистка и все исследования проводились при вакууме не хуже 10^{-8} Па. Для различных образцов кремния, при определенной термической обработке и энергии первичных электронов, на грани (111) были получены поверхностные структуры: 1×1 , $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$, 5×5 , 7×7 , $\sqrt{19} \times \sqrt{19}$ и другие. Температурный режим появления трех последних сверхструктур на поверхности кремния существенно различены для образцов разных типов проводимости. Отличие режимов может свидетельствовать о том, что за появление одних и тех же сверхструктур ответственны различные примеси технологического характера. Однако эксперименты показали, что характер изменения и вид дифракционных картин для образцов одного типа, выращенных в одних и тех же условиях, повторяются с большой точностью. Характер возникновения дифракционных картин ДМЭ и различное время жизни поверхностной структуры на разных образцах монокристалла кремния свидетельствует в пользу того, что поверхность перестраивается благодаря наличию той или другой примеси. Обнаружено, что содержание примесей в эпитаксиальной пленке в значительной степени определяется условиями выращивания и коррелирует с временем существования соответствующих структур. Эксперименты показали, что, зная характер изменения вида дифракционной картины, можно оценить порядок концентрации, например хлора в кремнии в интервале концентраций $\sim 10^{16} \div 10^{20} \text{ см}^{-3}$.

ПРИБОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ И ПРИПОВЕРХНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ

С.Ж. Ниматов, Б.Е. Умирзаков, Ф.Я. Худайкулов

ТашГТУ им. И. Каримова,
Ташкент, Узбекистан

Многослойные системы на основе полупроводниковых материалов перспективны при разработке радиотехнических приборов и оборудования нового поколения, которые позволяют существенно уменьшить энергопотребление, габаритные размеры и вес, при этом не снижая их технические характеристики. Такие устройства и оборудования создаются на базе электронных приборов, с применением новых технологий получения систем на основе многослойных нанопленочных МДП и ПДП) гетероструктур. Эти системы, например, тонкие эпитаксиальные гетероструктуры на основе монокристаллических комбинаций силицидов (CoSi_2) и фторидов металлов (CaF_2) представляют практический интерес для создания на их основе нового класса приборов электронной техники, таких как, приборы кремниевой микро- и оптоэлектроники. В работе описывается универсальный прибор для комплексного исследования поверхности и приповерхностных слоев многослойных систем на основе кремния методами электронной Оже-спектроскопии (ЭОС), вторично-ионной масс-спектроскопии (ВИМС), дифракции медленных и средних электронов (ДМЭ, ДЭСЭ). Показано, что в сочетании с ионным травлением можно получить послойную информацию об элементном и структурном свойствах различных систем в процессе эпитаксиального роста. В работе изучен химический состав и атомная структура поверхности и приповерхностной области, многослойных нанопленочных систем выращенные на поверхности Si (111), методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) и низкоэнергетической ионной имплантации в условиях сверхвысокого вакуума.

ЭЛЕКТРОННОЕ ОБЛУЧЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КВАРЦА: ОПТИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА

У.В. Юрина^{*1)}, Д.А. Кирпиченко¹⁾, О.А. Подсвиров¹⁾, А.И. Сидоров²⁾

¹⁾ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

²⁾ Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

^{*)} e-mail: yurina.uv@edu.spbstu.ru

В работе рассматривается возможность модификации оптических и структурных свойств кристаллического кварца посредством облучения электронами на электронно-лучевой установке JEED-2 с энергией 50 кэВ, плотность тока 50 мкА/см² и дозами 5 - 80 мКл/см². Спектры комбинационного рассеяния измерялись с помощью спектрометра Renishaw.

Исследовалось влияние дозы облучения на интенсивность полос комбинационного рассеяния в спектрах (см. Рис.1).

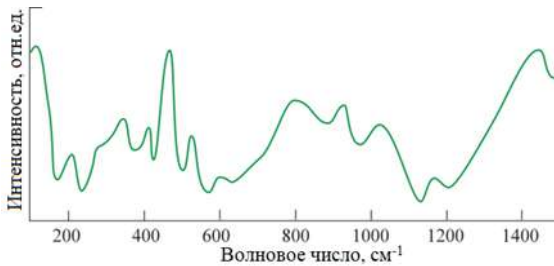


Рис.1. Спектр комбинационного рассеяния

Показано, что при электронном облучении возникают, точечные дефекты, которые частично рекомбинируют после окончания электронного облучения. Полученные результаты могут быть использованы для создания на стеклах наноструктур для интегральной оптики, нано фотоники и наноплазмоники.

ЭЛЕКТРОННАЯ И КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СИЛИЦИДОВ Pd И Ba, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

А.А. Абдувайитов, Х.Х. Болтаев, Д.А. Ташмухамедова

ТашГТУ Ташкент, Узбекистан

В настоящее время плёнки силицидов, полученные методами ионной имплантации, молекулярно-лучевой эпитаксии и термодиффузии, широко используются в создании МДП и ПДП структур, транзисторов с проникаемой и металлической базами, барьерных слоев и омических контактов. Поэтому, получению и изучению состава, структуры и свойств тонких плёнок силицидов, особенно BaSi_2 , посвящено большое число работ [1].

Объектами исследования являлись монокристаллические образцы $\text{Si}(111)$. Перед ионной имплантацией кремниевые образцы очищались прогревом при вакууме $P=10^{-7}$ Па. Сначала длительно (2-3 ч) при $T=1100$ К и затем кратковременно при $T=1400$ К. Имплантация ионов Ba и Pd проводилась с энергией $E_0=1-5$ кэВ при дозе насыщения ($D=6 \cdot 10^{16}$ см $^{-2}$). Электронная структура изучалась методами ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии (УФЭС) и снятия зависимости $I(h\nu)$, где I – интенсивность света, проходящая через образец, $h\nu$ – энергия фотонов ($h\nu=0.2-1.5$ эВ).

На основе анализа картин ДБЭ был определен тип решетки силицидов и оценены параметры их решеток. Результаты проведенного анализа сведены в таблицу.

Силицид	Тип решетки	Параметры решетки, Å
Pd_2Si	гексагональная	$a = 6,5$ $c = 3,45$
BaSi_2	кубическая	$a = 6,2$

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Алексеев, Д.А. Олянич, Т.В. Утас, В.Г. Котляров, А.В. Зотов, А.А. Саранин. //ЖТФ. 2015. Т.85. вып.10. С.94-100.

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МАГНИЯ ПОД
ДЕЙСТВИЕМ МОЩНОГО ИОННОГО ПУЧКА

Т.В. Панова, В.С. Ковивчак

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского
Омск, Россия

Интерес к магнию и его сплавам как к конструкционным и биоматериалам вызван их уникальными свойствами – высоким отношением прочности к плотности при очень хорошей биосовместимости, хорошими демпфирующими характеристиками и технологичностью. Однако применение магния и его сплавов в промышленности и медицине сдерживается из-за плохой обрабатываемости при комнатной температуре. Перспективными способом улучшения обрабатываемости магния является создание мелкозернистой структуры за счет интенсивной пластической деформации при облучении мощным ионным пучком наносекундной длительности (МИП). Быстрый ввод энергии в металлы приводит к возрастанию температуры (вплоть до температуры кипения) и генерации полей напряжений и ударных волн. Это вызывает структурные превращения и пластическую деформацию. Облучение магния проводили протон-углеродным пучком (30% H^+ + 70% C^+ , $E \sim 200$ кэВ, $j \leq 150$ А/см², $\tau = 60$ нсек) при варьировании плотности ионного тока. С помощью методов оптической и электронной микроскопии установлено, что при облучении МИП магния происходит измельчение размеров зерен в два раза при облучении с плотностью тока 50 А/см² и в 3 раза при облучении с плотностью тока 150 А/см². При облучении МИП на поверхности чистого магния образуются кратеры и капиллярные волны, а также осажденные частицы испаренного магния, что, по-видимому, связано с возникающим при воздействии МИП импульсом отдачи интенсивно испаряющегося металла. Обсуждаются возможные механизмы наблюдаемых структурных превращений и роль режимов облучения в формировании мелкозернистой структуры.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ
СРЕДНИХ ЭНЕРГИЙ (ДЭСЭ) СТРУКТУРЫ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ
СЛОЕВ МОНОКРИСТАЛЛА

С.Ж. Ниматов, Ф.Я. Худайкулов, Б.Е. Умирзаков

ТашГТУ им. И. Каримова,
Ташкент, Узбекистан
e-mail: nimatov@mail.ru

В работе использован метод спектроскопии упруго рассеянных электронов оснований на регистрации спектральных I-V кривых. Для монокристаллических образцов регистрация I-V кривых осуществляется в направлении зеркального 00 – рефлекса и контролируются интенсивности брегговских пиков в диапазоне 0 -1500 эВ. Поэтому метод обозначен как метод дифракции электронов средних энергий. (ДЭСЭ). Структурный анализ поверхности сводится к регистрации спектральных I-V кривых и рассмотрению формы, интенсивности, количества и взаимного расположения дифференциальных особенностей.

Отличительной особенностью метода является возможность контроля структуры приповерхностных слоев непосредственно в процессе, какого – либо воздействия. Условия регистрации спектров ДЭСЭ обеспечивали уменьшение влияния микрошероховатости поверхности при регистрации. Показано, одновременно двумя методами ДЭСЭ и ДМЭ, процесс формирования структуры поверхности граней монокристаллов W (110) и Si (111) при очистке термообработкой. От классической формы энергетической зависимости упруго – отраженных электронов от аморфной, грязной поверхности спектр переходит к характерной кривой с брегговскими дифракционными пиками при практически очищенной поверхности. Оценка межплоскостных расстояний с учетом эквивалентных плоскостей показала хорошее совпадение энергетического положения дифракционных максимумов с положением их на шкале энергий в соответствии с целочисленными брегговскими порядками дифракции.

ОПТИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА КВАРЦЕВОГО
СТЕКЛА ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯД.А. Кирпиченко¹⁾, О.А. Подсвиров¹⁾, А.И. Сидоров²⁾,¹⁾ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия²⁾ Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

В данной работе рассматривается возможность модификации оптических и структурных свойств оптического кварцевого стекла КУ-2 путем электронного облучения на сканирующем электронном микроскопе JEVD-2 с энергией 50 кэВ, плотностью тока 50 мкА/см² и дозами 5 - 100 мКл/см². Спектры оптической плотности измерялись с помощью спектрофотометра Lambda-650 (Perkin Elmer), спектры комбинационного рассеяния – с помощью спектрометра Renishaw.

Электронное облучение при различных дозах слабо влияет на поглощение стекла. Происходит возникновение слабых полос поглощения при 335 нм - ловушка для электронов, и 470 нм - дырочный центр с немостиковым кислородом.

Эксперименты показали, что существует три интервала дозы электронного облучения, которые производят различные изменения в структуре кварцевого стекла. В первом, для доз меньше, чем 10 мКл/см², происходит разрушение силоксановых колец, составляющих стеклянную сеть. Во втором, для доз 10-40 мКл/см², восстановление силоксановых колец после облучения электронами происходит из-за высокой концентрации структурных дефектов, таких как Q² и Q³. В третьем, для доз больше, чем 40 мКл/см², восстановление силоксановых колец не наблюдается. Причиной этого является разрушение электронами Q², Q³ и Q⁴ структурных блоков, которые составляют силоксановые кольца.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИСЛОРОДНОЙ НЕСТЕХИОМЕТРИИ И
КОНЦЕНТРАЦИИ ЛИТИЯ В $Gd_{1.7}Li_{0.3}Zr_2O_{6.7}$ И $Gd_2Zr_{1.7}Li_{0.3}O_{6.55}$
МЕТОДОМ ЯДЕРНОГО МИКРОАНАЛИЗА.

И.А. Анохина^{1,2)}, И.Е. Анимица^{1,2)}, Т.Е. Куренных³⁾, В.Б. Выходец³⁾

¹⁾ИВТЭ УрО РАН,
Екатеринбург, Россия

²⁾ Уральский федеральный университет,
Екатеринбург, Россия

³⁾ Институт физики металлов УрО РАН,
Екатеринбург, Россия

Цирконаты гадолиния допированные литием ($Gd_{1.7}Li_{0.3}Zr_2O_{6.7}$, $Gd_2Zr_{1.7}Li_{0.3}O_{6.55}$) представляют интерес как кислород-ионные проводники, которые могут применяться в качестве кислородных датчиков в разрабатываемых схемах пирохимической переработки отработанного ядерного топлива. В связи с летучестью щелочного металла для получения этих материалов требуется подбирать оптимальные температуры синтеза и спекания керамики.

Метод ядерного микроанализа был использован для исследования содержания лития и кислорода в $Gd_{1.7}Li_{0.3}Zr_2O_{6.7}$, $Gd_2Zr_{1.7}Li_{0.3}O_{6.55}$ в зависимости от температуры синтеза порошков с использованием реакций ${}^7Li(p,\alpha){}^4He$ и ${}^{16}O(d,p){}^{17}O$. Источником ускоренных частиц служил 2МВ ускоритель Ван де Граафа. Энергия протонов была 762 кэВ, дейтронов – 900 кэВ. Дозу облучения образцов измеряли с помощью вторичного монитора с погрешностью 1% для лития и 1,5% для кислорода.

Показано, что спекание и синтез керамики $Gd_{1.7}Li_{0.3}Zr_2O_{6.7}$, $Gd_2Zr_{1.7}Li_{0.3}O_{6.55}$ требуется производить на температурах, не превышающих 1200°C, т.к. при дальнейшем нагревании наблюдается значительная потеря щелочного металла. Исходя из полученных результатов, подобран оптимальный метод синтеза, требующий более низких температур термообработки и спекания материалов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-43-660033.

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСИ СЕРЕБРА НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
ВОДОРОДА С ПАЛЛАДИЕМ

Е.Д. Северюхина^{*1)}, Л.Ю. Немирович-Данченко^{1,2)},
Л.А. Святкин¹⁾, В.С. Сыпченко¹⁾, Н.Н. Никитенков¹⁾,
Ю.И. Тюрин¹⁾, И.П. Чернов¹⁾

¹⁾ НИТПУ, Томск, Россия

²⁾ ТГУСУР, г. Томск, Россия

^{*)} e-mail: eds9@tpu.ru

Сплавы палладия с серебром широко используются при изготовлении диффузионных мембран для очистки водорода. При насыщении водородом в них не возникают структурно-фазовые переходы, и, как следствие, мембраны из этих сплавов практически не подвержены водородному охрупчиванию. Для прогнозирования физико-механических свойств таких мембран необходимо понимание влияния примеси серебра на характер взаимодействия палладия с водородом. В настоящей работе исследована десорбция изотопов водорода из сплава палладия с серебром марки ПД-400 (включает 60% палладия, 40% серебра) при термическом и джоулевом нагреве образца с различными скоростями. Независимо от скорости и способа нагрева в спектре выхода водорода из сплава наблюдаются два пика: низкотемпературный (Pd) и высокотемпературный (Ag). Для объяснения наблюдаемых результатов изучена псевдопотенциальным методом структурная стабильность соединений PdH_y , AgH_y и $\text{Pd}_{1-x}\text{Ag}_x\text{H}_y$, где x и y принимают значения 0,25, 0,50 и 0,75. Выявлено, что в соединениях AgH_y и $\text{Pd}_{0,25}\text{Ag}_{0,75}\text{H}_y$ энергия связи водорода с металлами отрицательна, а в соединении $\text{Pd}_{0,75}\text{Ag}_{0,25}\text{H}_{0,25}$ она заметно выше, чем в $\text{PdH}_{0,25}$. Таким образом, низкотемпературный пик в спектре выхода водорода из сплава обусловлен связью атомов водорода с палладием вдали от атомов серебра, а высокотемпературный пик – связью атомов водорода с палладием вблизи атомов серебра (выход водорода из областей образца с локальным содержанием серебра ~ 25%).

ВОЗДЕЙСТВИЕ МОЩНОГО ИМПУЛЬСНОГО ПУЧКА ИОНОВ УГЛЕРОДА НА СТРУКТУРУ ФЕРРОВАНАДИЯ

Г.В. Потемкин¹⁾, О.К. Лепакова²⁾, В.Д. Китлер²⁾, М.В. Жидков⁴⁾,
М.С. Сыртанов¹⁾, А.Е. Лигачёв³⁾

¹⁾ НИУ ТПУ, Томск, Россия

²⁾ Томский научный центр СО РАН, Томск, Россия,

³⁾ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия.

⁴⁾ НИУ БелГУ, Белгород, Россия

*) e-mail: Klavdievna.K@yandex.ru

Методами РФА и РЭМ исследованы фазовый и элементный состав приповерхностного слоя азотированного феррованадия (Fe-VN), облученного мощным импульсным пучком ионов углерода (установка Темп-4М, энергия $C^+ \sim 250$ кэВ, длительность импульса излучения $\sim 10^{-7}$ с и плотность мощности заряженных частиц $\geq 10^6$ Вт/см²). Выявлено, что облучение вызывает плавление композита Fe-VN и частичное испарение из его приповерхностного слоя элементов с высоким значением давления паров. Так как удельная энергия пучка, выделившаяся в облученном слое, больше, чем удельная теплота испарения железа, то её недостаточно для испарения нитрида ванадия, но вполне хватает для испарения железа. Поэтому после высокоскоростного затвердевания расплава в приповерхностном слое мишени Fe-VN образуются зерна высокодисперсного нитрида ванадия.

Также после облучения мощным пучком с плотностью мощности $\approx 10^7$ Вт/см² дозой $\sim 10^{15}$ см⁻² в модифицированном слое Fe-VN наблюдается нарушение трансляционной инвариантности распределения внедренных атомов углерода, структурное перераспределение атомов Fe и V и образование рентгеноаморфных микроликвидаций Fe-V и газоуглеродных комплексов

МОРФОЛОГИЯ И СМАЧИВАЕМОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ,
ФОРМИРУЕМОГО МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО ОСАЖДЕНИЯ
МОЛИБДЕНА НА СТЕКЛЯННУЮ ПОДЛОЖКУ

О.Г. Бобрович^{*1)}, С.М. Барайшук²⁾

¹⁾Белорусский государственный технологический университет,
Минск, Беларусь

²⁾Белорусский государственный аграрный технический университет,
Минск, Беларусь

*) e-mail: olegbobrovich@yandex.ru

В работе приведены результаты изучения поверхностного слоя, используемого в качестве тыльного проводящего контакта тонкопленочного солнечного элемента, на стеклянной подложке. Для формирования слоя использовали импульсный ионный источник вакуумной электродуговой плазмы при ускоряющем напряжении $U = 10$ кВ для ассистирующих осаждение ионов Mo^+ и интегральных потоках $1,2 \cdot 10^{16} - 1,1 \cdot 10^{17} \text{ Mo}^+/\text{см}^2$, а также при отсутствии ускоряющего напряжения ($U = 0$ кВ) и времени модифицирования 3, 6, 9 ч.

Морфология поверхности исходных и модифицированных образцов изучалась, используя атомно-силовую микроскопию в контактном режиме (атомно-силовой микроскоп NT-206, зонды CSC21), а смачивание дистиллированной водой определяли по равновесному краевому углу θ смачивания (РКУС).

Формирование поверхностного слоя при $U = 0$ кВ приводит к уменьшению значения средней шероховатости ($R_a = 1,0$ нм) поверхности в сравнении с шероховатостью ($R_a = 2,2$ нм) исходной стеклянной подложки. Значение РКУС изменяется от $\theta = 35,5^\circ$ ($t = 3$ ч) до $\theta = 61,7^\circ$ ($t = 9$ ч), что существенно превышает РКУС поверхности исходного стекла ($\theta = 18,9^\circ$). Увеличение потока ионов при $U = 10$ кВ приводит к изменению R_a и к уменьшению гидрофильности поверхности, но в большей степени, чем в при $U = 0$ кВ. Достижение потока ионов величины $1,1 \cdot 10^{17} \text{ Mo}^+/\text{см}^2$, приводит к тому, что поверхность становится гидрофобной и РКУС увеличивается до значения $\theta = 93,9^\circ$.

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ ПРИ
РАСТВОРЕНИИ ВОДОРОДА В ПАЛЛАДИИ: РАСЧЕТЫ ИЗ
ПЕРВЫХ ПРИНЦИПОВ

Л.Ю. Немирович-Данченко^{*1,2)}, Л.А. Святкин¹⁾, И.П.Чернов¹⁾

¹⁾ Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск, Россия

²⁾ ТГСУР, Томск, Россия

^{*)} e-mail: ndlyu@tpu.ru

Растворение водорода в палладии приводит к заметному перераспределению электронной плотности металла, что значительно изменяет его физико-механические свойства. В настоящей работе было изучено из первых принципов распределение электронной плотности и, в частности, перенос заряда между атомами водорода и палладия в соединениях PdH_x , где x принимает значения 0,25, 0,50, 0,75, 1,00, 1,25, 1,50, 1,75 и 2,00. С этой целью были рассчитаны по методу Бадера объёмы, занимаемые атомами Pd в чистом металле, атомами H и Pd в соединении PdH_x , зарядовые плотности и электронные заряды в этих объёмах. Все расчеты выполнялись в рамках теории функционала электронной плотности методом псевдопотенциала, реализованным в пакете программ ABINIT.

Установлено, что независимо от координации атомов водорода перенос электронного заряда осуществляется от палладия к водороду. С ростом концентрации водорода величина этого переноса заряда увеличивается, при этом электронный заряд на атомах металла убывает быстрее, чем растёт на атомах водорода. Перенос заряда от атомов Pd к атомам H в октаэдрических междоузлиях меньше, чем в тетраэдрических, что обусловлено, по-видимому, геометрическим фактором: большим расстоянием от атома H до атомов Pd в октаэдрических междоузлиях. Кроме этого, перенос заряда зависит от заполняемости междоузлий водородом: чем больше междоузлий в окрестности Pd занято H при одной и той же концентрации x , тем больше электронного заряда уходит от Pd к атомам водорода.

ГЕНЕРАЦИЯ ЭДС И ТОКОВ В ПЛЁНОЧНЫХ Si/Si СТРУКТУРАХ, ПОЛУЧЕННЫХ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ЧАСТИЧНО ИОНИЗИРОВАННЫХ ПОТОКОВ

Б.М. Абдурахманов¹⁾, Х.Б. Ашуров¹⁾, Ш.К. Кучканов¹⁾,
С.Ж. Ниматов²⁾

¹⁾ИИПТ им.У.А.Арифова АНРУз,
Ташкент, Узбекистан;

²⁾ТГТУ имени И.А.Каримова,
Ташкент, Узбекистан

Для создания преобразователей тепловой энергии в электричество большой интерес представляет термоэлектрический эффект – генерация в полупроводниковых структурах эдс и токов, эффективность которой зависит от концентрации в них дефектов [1]. Нами исследовано влияние на процессы генерации ионизированной компоненты при создании плёночных кремниевых р-п структур методом вакуумного осаждения на установке, описанной в работе [2]. Степень ионизации осаждаемого потока составляла от 0,15 до 1% при скорости роста плёнок от 0,6 до 1 мкм/мин, энергия ионов была выбрана 500 эВ. Оценки свидетельствуют, что наличие ионизированной компоненты приводит к увеличению напряжения холостого хода U_{xx} и тока короткого замыкания $I_{кз}$ в области температур 400-700 К, значения которых зависят от температуры образцов; так, при нагреве до 700 К величина U_{xx} возрастает более чем вдвое, а $I_{кз}$ – примерно в 5 раз по сравнению с плёнками, выращенными в тех же условиях при отсутствии ионизированной компоненты. Данное увеличение объясняется созданием бомбардирующими ионами в структуре осаждаемой пленки в процессе её роста дополнительных дефектов, ответственных за процессы генерации эдс и носителей заряда при нагреве.

ЛИТЕРАТУРА

1. M.S. Saidov, B.M. Abdurakhmanov, L.O. Olimov. //Applied Solar Energy, 2007, V.43, №1, P.203.
2. Kh.B.Ashurov, B.M. Abdurakhmanov, Sh.K. Kuchkanov, S.E. Maksimov, S.Zh. Nimatov. //Applied Solar Energy, 2012, V.48, №4, P.245–247.

ЯДЕРНЫЙ МИКРОАНАЛИЗ ЭВОЛЮЦИИ МИКРОСТРУКТУРЫ
ФОЛЫГ СПЛАВА СИСТЕМЫ Al–Mg–Li ПРИ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ОТЖИГЕ

И.А. Столяр¹⁾, В.Г. Шепелевич¹⁾,
E. Wendler²⁾, A. Undisz²⁾

¹⁾ Белорусский госуниверситет,
Минск, Беларусь,

²⁾ Университет им. Ф. Шиллера,
Йена, Германия

Современный уровень развития авиационной промышленности предъявляет возрастающие требования к эксплуатационным характеристикам промышленных сплавов на основе системы Al–Mg–Li. Поэтому актуально улучшение свойств, а также оптимизация режимов термической обработки данных сплавов путем формирования быстрозатвердевших (БЗ) материалов, обеспечивая модифицирование сплавов за счет диспергирования структурных составляющих, образования аномально пересыщенных твердых растворов и формирования метастабильных промежуточных фаз.

Целью данной работы является изучение влияния высокотемпературного отжига на микроструктуру и фазовый состав БЗ фольг промышленного сплава 1421 Al–Mg–Li–Sc–Zr. Измерение спектров протонов энергии 1,4 МэВ методом мгновенных ядерных реакций с использованием реакции ${}^7\text{Li}(\text{p}, \alpha){}^4\text{He}$ проводили на ускорителе-тандентроне (3 МВ) JULIA. Дополнительно были выполнены электронно-микроскопические исследования с применением просвечивающего электронного микроскопа JEOL JEM-3010, оснащенного приставкой для локального энергодисперсионного анализа.

Получено, что обнаруженный эффект упрочнения сплава при высокотемпературном отжиге объясняется установленной диффузией Li на поверхность фольг, а также распадом пересыщенного твердого раствора с выделением наночастиц метастабильных интерметаллидов. Выполненные исследования демонстрируют эффективность применения технологии высокоскоростной кристаллизации из расплава для синтеза многокомпонентных сплавов системы Al–Mg–Li.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ GaAs, ОБЛУЧЕННОГО ИОНАМИ
МАРГАНЦА И ЖЕЛЕЗА

В.А. Быков¹⁾, О.В. Вихрова¹⁾, Ю.А. Данилов¹⁾,
Ю.А. Дудин¹⁾, Д.А. Здоровейщев¹⁾, Ю.А. Кузнецов¹⁾,
А.В. Нежданов¹⁾, А.Е. Парафин²⁾, Е.А. Питиримова^{*1)}

¹⁾НижГУ им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород, Россия

²⁾Институт физики микроструктур РАН, Н. Новгород, Россия

^{*)} e-mail: pitirimova@phys.unn.ru

Разбавленные магнитные полупроводники являются перспективными материалами спинтроники. Известно, что ионная имплантация с последующим импульсным лазерным отжигом позволяет формировать слои (Ga,Mn)As с температурой Кюри до 110 К. В настоящей работе проведено сравнение свойств GaAs, облученного ионами Mn и Fe. Облучения выполнены на ускорителе «Радуга» при ускоряющем напряжении 80 кВ. Особенностью является присутствие в потоке, кроме основной двухзарядной фракции, также одно- и трехзарядных ионов. Другая особенность облучения состоит в высоких коэффициентах распыления (до 9 ат./ион). Поэтому профиль имплантации имеет сложную форму. Предложена пошаговая процедура для расчета профилей. Исходным материалом являются пластины полуизолирующего GaAs(001). Дозы имплантации варьировались от 1 до $3 \cdot 10^{16}$ см⁻². Отжиг выполнен одиночными импульсами эксимерного KrF лазера (длина волны 248 нм, длительность импульса 30 нс) при плотности энергии 400 мДж/см². Слои демонстрируют ферромагнитное поведение: аномальный эффект Холла с петлей гистерезиса вплоть до 120 К для GaAs:Mn и до 80 К для GaAs:Fe. Отмечено появление анизотропного отрицательного магнетосопротивления (при легировании Mn) и планарного эффекта Холла (для GaAs:Fe). Изучены также оптические (спектры отражения и комбинационного рассеяния света) свойства полученных слоев.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант №19-19-00545).

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И ПРОФИЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТОМОВ ПО ГЛУБИНЕ СИСТЕМЫ Ni–GaP, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

А.А. Абдувайитов, Х.Х. Болтаев, Х.Содикова, Г.Розиков

Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

Известно [1, 2], что для решения ряда технических задач, например в создании устройств для корреляционной обработки оптических и электрических сигналов широко используются фоторезистивные плёнки из GaP, CdS. На поверхности таких полупроводниковых плёнок наносятся контакты в виде полос из благородных металлов (никель, серебро и др).

Структура Ni–GaP получена путем испарения и дальнейшего осаждения молекулярных потоков материалов отдельных компонентов на диэлектрическую подложку. На поверхность подложки сначала наносился слой GaP толщиной 1 мкм, на отдельных областях поверхности плёнки GaP осаждался никелевый контакт в виде полоски толщиной около 1 мкм. Осаждение осуществлялось в условиях высокого вакуума ($P=10^{-7}$ Па) в двух режимах. В первом режиме плёнки осаждались последовательно в одинаковых условиях без прогрева. Во втором режиме после осаждения определенного типа плёнки проводился прогрев в течение 1 часа.

Результаты экспериментов показывают, что поверхность как никелевого контакта, так и полупроводника GaP в основном загрязнена атомами С, О и N, концентрация которых в случае предварительно обезгаженных плёнок значительно меньше. Следовательно интенсивности оже-пиков основных элементов, а также Ga и P резко возрастают.

Таким образом, результаты экспериментов показывают для получения надежных омических контактов в системах типа металл-полупроводник необходимо проводить обезгаживание в условиях высокого вакуума после каждого цикла осаждения полупроводниковых и диэлектрических плёнок, до требуемой температуры.

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА ПРИМЕСЕЙ И ПРОФИЛЕЙ ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА МЕТАЛЛ- ПОЛУПРОВОДНИК

А.А. Абдувайитов¹⁾, Х.Х.Болтаев¹⁾, Г.А.Розиков²⁾

¹⁾Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

²⁾Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
Ташкент, Узбекистан

Благодаря своим уникальным свойствам пленки CdS и её трехкомпонентные твердые растворы (например Cd_{1-x}Te) широко используются в создание различных видов фотодетекторов, фотоприёмников, солнечных элементов и других чувствительных приборов нано- и оптоэлектроники.

Использованы поликристаллические пленка CdS n – типа с толщиной 1 μm выращенные на поверхности стекла SnO_2 . Пленки Ni с толщиной 0,5-1 μm осаждены на поверхность нагретого до ~400 K CdS методом термического испарения при вакууме $\sim 10^{-5}$ Pa. Исследования проводились при вакууме $\sim 10^{-7}$ Pa с использованием методов оже-электронной спектроскопии ОЭС и ВИМС [1].

Перед измерением система Ni-CdS очищалась прогревом при $T=850-870$ K в течение 3-4 часов. Из полученных Оже-электронного спектра видно, что на поверхности пленки Ni содержится небольшое количество (2-3 at.%) атомов примесных элементов (Rb, C, O, Cl, K, Ca, Mn и др.). Исследования проведенные с использованием метода ВИМС, показали, что в Ni наряду с указанными примесями содержатся в малом количестве ($\leq 0,2-0,3$ at.%) ряд неконтролируемых примесей: P, S, Cr, Ti, Zn, Cu.

Установлено, что глубина проникновения неконтролируемых примесей CdS в Ni составляет ~300-400 nm. В частности концентрация кислорода в приконтактной области увеличивается до 8-10 at.%, что приводит к образованию соединения типа NiO в NiO_2 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдувайитов А.А., Болтаев Х.Х., ЖТФ. 2015. Т 85, Вып. 4, С. 145-147.

COMPOSITION AND CORROSION PROPERTIES OF LAYERS
FORMED ON ALUMINUM SUBSTRATES BY ION BEAM ASSISTED
METALS DEPOSITION FROM VACUUM ARC DISCHARGE PLASMA

V.V. Poplavsky, A.V. Dorozhko, V.G. Matys

Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

Ion beam assisted deposition (IBAD) of alloying metals (Zn, Cd, Zr, Cr, Ni, Mo) onto substrates from pure aluminum A7 and aluminum alloy grade D16 for the purpose of materials corrosion stability has been carry out. In used IBAD mode deposition of metal and mixing of the deposited layer with the substrate surface by accelerated ($U = 10$ kV) ions of the same metal have been carried, respectively, from neutral fraction of metal vapor and ionized plasma of a pulsed vacuum ($p \sim 10^{-2}$ Pa) arc discharge.

Investigation of the composition of prepared layers was carried out by RBS, SEM and EDX methods. It has been established that the obtained layers contain the atoms of deposited metal, substrates material components, as well as impurities of oxygen and carbon; their thickness reaches ~ 100 nm; content of each of deposited metal atoms in the layers – $\sim 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$.

Corrosion properties of aluminum samples with IBAD produced layers were tested with use of electrochemical polarization method in 3% NaCl solution. Appreciable increase of corrosion stability of aluminum and an aluminum alloy was observed after deposition of alloying metals.

The advantages of proposed IBAD method as follows: possibility of forming a cohesive layer on a substrate at low alloying metal consumption; relative simplicity; absence in the layer composition of an inert gas (which can result in blistering and, thus, the fracture of the modified layer) against dual IBAD method (metal-deposition + Ar^+ -mixing) or magnetron sputtering. The method can be used as an alternative to the problematic electroplating technology.

ОСОБЕННОСТИ МОДИФИКАЦИИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ НАНОТРУБОК
КОМПОЗИТ-ГАЛЛУАЗИТА НАНОЧАСТИЦАМИ МАГНЕТИТА
И МАГНИТНЫМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

М.Н. Шипко¹⁾, О.В. Алексеева²⁾, Д.Н. Смирнова²⁾, А.В. Носков²⁾,
А.В. Агафонов²⁾, М.А. Степович³⁾

¹⁾ Ивановский государственный энергетический университет
им. В.И. Ленина, Иваново, Россия

²⁾ Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН,
Иваново, Россия

³⁾ Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,
Калуга, Россия

Методами растровой электронной микроскопии изучены возможности модификации поверхности нанотрубок галлуазита: 1) соосаждением наночастиц магнетита и 2) магнитного воздействия на материал (до 4 кЭ). Размер исходных частиц, составлял 100-350 нм и увеличивался после модификации поверхности. При этом уменьшался отрицательный дзета-потенциал внешней поверхности нанотрубок с 26,7 до 26,0 мВ, а площадь удельной поверхности пор – с 57,389 до 53,198 мг/г. Электронные изображения поверхности показывают, что нанотрубки с включениями магнетита сохраняют цилиндрическую форму и на ней, кроме кислорода, алюминия и кремния, содержится 15% железа. При этом отмечается высокая степень дефектности поверхности. Полученные результаты показывают, что магнетит является эффективным модификатором поверхности нанотрубок галлуазита и после воздействия магнитного поля обеспечивает высокий уровень их адсорбционных свойств.

Исследования проведены при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-43-370015).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОНИЦАЕМОСТИ
ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НАНОПОР

Э.Г. Никонов, М. Поповичова, О.К. Никонова

Объединённый институт ядерных исследований,
Дубна, Россия
e.nikonov@jinr.ru

Исследование проницаемости пористых материалов в зависимости от геометрических характеристик поверхности поры является одной из актуальных исследовательских задач, успешное решение которых может привести к улучшению понимания процессов массопереноса, происходящих в пористых системах в различных областях науки и технологий. Молекулярно-динамическое моделирование [1] наряду с численно-аналитическими подходами, основанными на решении обобщенного уравнения Фика-Якобса [2] или классического уравнения диффузии, позволяет значительно увеличить точность описания процессов массопереноса флюида в нанопоре. В данной работе проведено исследование зависимости коэффициента диффузии и проницаемости флюида в нанопоре от длины и кривизны профиля поверхности поры и характеристик процесса взаимодействия частиц флюида со стенками поры в рамках модели простой жидкости.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Э.Г. Никонов, М. Поповичова, Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2020, № 3, с. 95–102.
2. A. Ledesma-Durán, S. I. Hernández-Hernández, & I. Santamaría-Holek, The Journal of Physical Chemistry C 2016 120 (14), 7810-7821, DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b12145.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ
ПЛЕНОК CuBi_2O_4 М.Е. Калиекперов^{*1)}, А.Л. Козловский¹⁾, Д.И. Шлимас¹⁾¹⁾ ЕНУ им. Л.Н. Гумлиева, г. Нур-Султан, Казахстан^{*)} e-mail: vostokuka@mail.ru

В последние годы все большее внимание притягивают к себе полимерные тонкопленочные материалы, которые могут быть использованы в качестве защитных покрытий от разрушающего воздействия ионизирующего излучения [1,2].

В данной работе было исследовано изменение морфологии поверхности тонких пленок CuBi_2O_4 в зависимости от времени электрохимического осаждения методом АСМ.

Анализируя полученные снимки, был установлен трехэтапный характер роста пленок. Первый этап характеризуется началом зарождения зерен вблизи центров нуклеации, в результате чего формируются тонкие пленки. Характерные время для первого этапа соответствуют 10-40 минутам осаждения. В результате через 40 минут осаждения в центрах роста на поверхности формируются крупные агрегаты зерен, сфероподобной формы. Второй этап соответствует 50-60 минутам осаждения и характеризуется образованием перекрывающихся зерен, размер которых составляет 3-5 мкм, а также заполнением пустот между зеренного пространства. Осаждение более 60 минут приводит к частичному выравниванию поверхности синтезируемых пленок, а дальнейшее осаждение приводит к новому этапу формирования неоднородностей, их росту и заполнению пустот, но меньших размеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Konstantinov S. V. et al. // Radiation tolerance of nanostructured TiAlN coatings under Ar^+ ion irradiation // Surface and Coatings Technology, 2020, T. 386, C. 125493.
2. Tietze S. et al. // Identification of the chemical inventory of different paint types applied in nuclear facilities // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2013, T. 295, №. 3, C. 1981-1999.

ФОТОХИМИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ОКИСЛА
ПОВЕРХНОСТИ КАРБИДА КРЕМНИЯ 4Н-SiC

Б.Г. Атабаев¹⁾, З.Ш. Шаймарданов¹⁾, Х.Н. Жураев²⁾, В.А. Пак¹⁾

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУ,
Ташкент, Узбекистан

²⁾ Физико-технический институт АН РУ,
Ташкент, Узбекистан

*) e-mail: atabaev.bg@gmail.com

Атмосферный окисел и поверхностные дефекты карбида кремния влияют на процессы диффузионного легирования, формирования меза и пробойные характеристики диодов. Высокотемпературная вакуумная и низкотемпературная плазменная очистка поверхности карбида кремния приводит к образованию структурных дефектов и шероховатости.

Методом ультрафиолетового фотохимического травления в водном растворе КОН при комнатной температуре разработана технология удаления атмосферного окисла и поверхностных дефектов карбида кремния 4Н-SiC.

С целью получения зеркальной поверхности используется вращение наклонного образца в растворе для реализации гидродинамического режима травления. Контроль очистки атмосферного окисла и травления поверхности кристалла проводился с помощью интерференционного микроскопа.

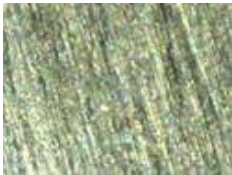
Анализ влияния ультрафиолетового фотохимического удаления атмосферного окисла и поверхностных дефектов на ВАХ диффузионных диодов показал увеличение пробойного напряжения и выхода годных меза структур.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПРОЦЕСС ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЯ ИОНАМИ ПЛАЗМЫ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА И ПЛАЗМЕННОГО ВАКУУМНО-ДУГОВОГО ОСАЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашуров, И.Х. Худайкулов, А.М. Журавлёв.

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз,
Ташкент, Узбекистан.

Процесс проводился при следующих параметрах ток вакуумного дугового разряда ток -80А-100А, напряжение на разрядном промежутке составляло 20 -24В, давление остаточной среды в камере составляло 10^{-1} - 10^{-3} Па. Время осаждения покрытий варьировалось пределах 25- 30 мин.



а
а) исходная
поверхность образца



б
б) поверхность
образца, очищенная
ионами плазмы
тлеющего разряда



в
в) образец,
очищенный ионами
плазмы тлеющего
разряда (сталь 3) с
нанесённым
покрытием титана

Рис. 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. V.N Arustamov, R.Kh. Ashurov, V.M. Rotchtein, Kh.B. Ashurov, I.Kh. Khudaykulov.” Cleaning the surface of products with glow discharge plasma” Journal of Physics: Conference Series 1686 (2020) 012013 IOP Publishing doi:10.1088/17426596/1686/1/012013

АНАЛИЗ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЯ НА ОЧИЩЕННУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ОБРАЗЦА В ОДНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ.

В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашуров, И.Х. Худайкулов, А.М. Журавлёв.

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз,
Ташкент, Узбекистан.

Процесс отработки процесса очистки ионами плазмы тлеющего разряда проведена реализация комплексного процесса нанесения покрытия вакуумно-дуговым методом. Процесс проводился при следующих параметрах: ток вакуумного дугового разряда – 80А-100А, напряжение на разрядном промежутке составляло 20 -24В, давление остаточной среды в камере составляло 10^{-1} - 10^{-3} Па. Время осаждения покрытий варьировалось в пределах 25- 30 мин.

На рисунке 1 представлена вольтамперная характеристика тлеющего разряда в процессе реализации очистки поверхности образцов из стали и латуни.

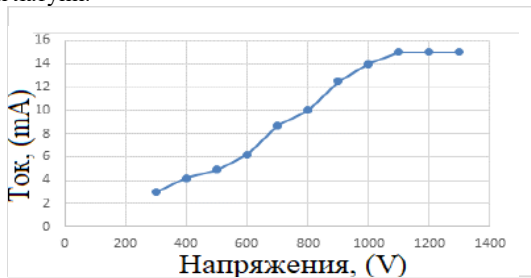


Рис. 1. Зависимость тока и напряжения при очистке поверхности материала ионами плазмы тлеющего разряда.

На основании полученных результатов определена зависимость тока от напряжения тлеющего разряда в процессе очистки ионами плазмы на электродах разрядной системы. Как видно из полученного графика при увеличении напряжения на электродах разрядной системы реализации тлеющего разряда ток разряда увеличивается, что указывает на прямую зависимость интенсивности ионной бомбардировки и как следствие процесса очистки от напряжения на электродах.

ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗОН ОТ ГЛУБИНЫ ИОННО-ЛЕГИРОВАННОГО СЛОЯ ПРИ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ Si

С.Б. Донаев, Б.Е. Умирзаков, Б.Д. Донаев

Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

В настоящее время хорошо изучены состав, структура и свойства нанопленок силицидов металлов. Однако их изменения на различных глубинах переходного слоя силицид-кремний практически не исследованы. Поэтому настоящая работа посвящена изучению зонной структуры на поверхности и фиксированных глубинах приповерхностных слоев Si, имплантированного ионами Va^{+} с энергией $E_0=0,5$ кэВ при дозе насыщения. Методами ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии и вторично-эмиссионной спектроскопии исследованы физико-химические свойства приповерхностных слоев Si, имплантированного низкоэнергетическими ($E_0 \leq 5$ кэВ) ионами Va^{+} . В качестве объекта исследования выбран монокристаллический кремний Si(111) p-типа. Для достижения цели использованы методы оже-электронной спектроскопии (ОЭС), ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии (УФЭС) и спектроскопия упруго отраженных электронов (СУОЭ), что позволяли определить элементный и химический состав, величины квантового выхода, и параметры энергетических зон.

Установлено, что для $E_0 = 0,5$ кэВ зависимость концентрации атомов Va^{+} от глубины d имеет ступенчатый характер. До $d \approx 25-30 \text{ \AA}$ C_{Va} практически не меняется и составляет $\sim 50-55$ ат.%. Начиная с $d \approx 25-30 \text{ \AA}$ с ростом глубины C_{Va} уменьшается и при $d \approx 80 \text{ \AA}$ не превышает 1-2 ат.%, следовательно в этой области изменяются параметры зон и плотности состояний в валентных электронах. Наблюдаемые изменения объясняются как образованием химических связей между атомами Va и Si, так и возникновением новых электронных состояний в запрещенной зоне из-за наличия несвязанных атомов бария и кремния.

ЭЛЕКТРОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ПЛЁНОК CdMeTe,
СОЗДАННЫХ МЕТОДОМ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ

Ё.С. Эргашов, Б.Е. Умирзаков, Б.Д. Донаев

Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

Настоящее время хорошо изучены состав, кристаллическая структура и оптические свойства пленок CdTe, CdZnTe и HgCdTe и изменении этих свойств при различных воздействиях. Показано, что совершенства и свойства этих пленок во многом зависит от метода синтеза, от их толщины и от свойств приконтактного (переходного) слоя формирующееся на границе раздела пленка – подложка. В последнее годы метод низкоэнергетической ионной имплантации часто используется для получения наноразмерных структур на поверхности и приповерхностной области полупроводников и диэлектрических пленок. В частности, имплантацией ионов Ba^{+} в CdTe в сочетании с отжигом получены нанопленки типа $Cd_{0.5}Ba_{0.5}Te$ [1]. Установлено, что плотности состояния валентных электронов и ширина запрещенной зоны нанопленок CdBaTe при $d \leq 25-30 \text{ \AA}$ зависит от толщины пленок.

Видно, что структура спектров, т.е. плотность состояния валентных электронов матрицы и пленки резко отличается друг от друга. В случае трехкомпонентной пленки в гибридизации электронов на ряду с электронами Cd и Te, будут участвовать 3d и 4s электроны Zn вследствие чего происходит перераспределение плотности состояния валентных электронов. Кроме этих пиков на спектрах содержится пики, связанные с наличием поверхностных состояний (E_{nc}) и примесных уровней (E_{np}). Ширина спектра ΔE пленки на 0.2-0.3 эВ меньше, чем ΔE матрицы.

ЛИТЕРАТУРА

1. З.Э. Мухтаров, З.А. Исаханов, Б.Е. Умирзаков, Т. Кодиров, Е.С.Эргашев // Журнал технической физики, 2015, том 85, вып. 12, стр.146-149.

ТОПОГРАФИЯ GaN ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ МОЛЕКУЛЯРНЫМИ И АТОМАРНЫМИ ИОНАМИ

А.И. Титов, К.В. Карабешкин, А.В. Архипов, А.И. Стручков,
П.А. Карасёв

Политехнический ун-т Петра Великого, СПб, Россия

Известно, что ионное облучение GaN может приводить к формированию развитой топографии поверхности. Яркое проявление такого формирования имеет место при облучении GaN молекулярными ионами PF_4 /1/. Установлено также, что при имплантации ионов разных типов и/или энергий накопление структурных нарушений зависит от порядка последовательности их внедрения /2/.

Проведено исследование топографических эффектов при последовательной имплантации молекулярными ионами PF_4 и атомарными ионами Р. На рис.1 показаны АСМ изображения, полученные после таких облучений в разной последовательности.

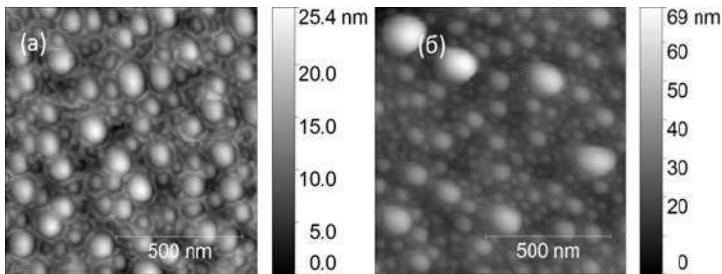


Рис. 1. АСМ-изображения поверхности GaN, облученной ионами в порядке Р 40 кэВ + PF_4 140 кэВ (а) и PF_4 140 кэВ + Р 40 кэВ (б).

Видно, что результат существенным образом зависит от последовательности облучений. Показано, что формирование поверхностного рельефа обусловлено ходом накопления структурных нарушений у поверхности GaN.

Работа поддержана грантом РФФИ № 18-08-01213.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.I. Titov, et al. // NIM B, 2013, 315, p. 257.
2. A.I. Titov, et al. // Vacuum, 2020, 173, p. 109149.

СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ОКСИДА ГАЛЛИЯ НЕРАВНОВЕСНЫМИ МЕТОДАМИ

А.А. Никольская¹⁾, Д.С. Королев¹⁾, Т. Д. Муллағалиев¹⁾,
А.Н. Михайлов¹⁾, А.И. Белов¹⁾, А.В. Нежданов¹⁾,
В.Н. Трушин¹⁾, Ю.И. Чигиринский¹⁾, Д.Е. Николичев¹⁾,
М. Kumar²⁾, R. Giulian³⁾, Д.И. Тетельбаум¹⁾

¹⁾ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород, Россия

²⁾ IIT Jodhpur, India

³⁾ University of Rio Grande do Sul, Brazil

В настоящее время оксид галлия рассматривается как один из наиболее эффективных полупроводников для применения в устройствах электроники нового поколения. Однако до сих пор не найдено способа формирования структур на основе Ga_2O_3 , позволяющего контролировать дефектно-примесный состав материала, определяющий основные параметры, такие как тип проводимости и концентрация носителей заряда. Одним из возможных путей преодоления этой проблемы может служить применение неравновесных методов синтеза наноструктур на основе Ga_2O_3 .

В данной работе исследовано формирование и модификация пленок $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ методами ионной имплантации и магнетронного осаждения, которые позволяют контролируемо вводить в материал дефекты и примеси заданного вида и с заданной концентрацией. Неравновесность этих процессов может способствовать преодолению физических ограничений, характерных для равновесных способов получения фазы Ga_2O_3 . Продемонстрирована зависимость структурных, оптических и электрических свойств $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ от выбранных параметров синтеза и модификации. Было показано, что на свойства пленок оксида галлия сильно влияют параметры осаждения, имплантации и последующего отжига.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№19-57-80011).
Никольская А.А. признательна за поддержку в рамках Стипендии Президента РФ (СП-1894.2021.5).

ПРИМЕНЕНИЕ УСКОРЕННЫХ ИОНОВ ГЕЛИЯ И
СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
РОЛИ ХРОМА В ФОРМИРОВАНИИ ОКСИДНОЙ ПЛЕНКИ НА
ПОВЕРХНОСТИ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ СПЛАВОВ
АЛЮМИНИЯ

И.И. Ташлыкова-Бушкевич¹⁾, E. Wendler²⁾, M. Amati³⁾, L. Gregoratti³⁾,
M. Kiskinova³⁾, В.Г. Шепелевич⁴⁾

¹⁾ БГУИР, Минск, Беларусь,

²⁾ Университет им. Ф. Шиллера,
Йена, Германия,

³⁾ Синхротрон Elettra,
Триест, Италия,

⁴⁾ Белорусский госуниверситет,
Минск, Беларусь

В последнее время активно проводятся исследования в области разработки и применения энергоэффективных технологий синтеза алюминиевых сплавов с целью расширения области их использования в агрессивных жидких и газовых средах за счет модифицирования структуры и физико-химических свойств материала. В частности, методы высокоскоростной кристаллизации расширяют возможности легирования сплавов хромом для повышения их термической стабильности и коррозионной стойкости.

В данной работе композиционный состав поверхности быстрозатвердевших (БЗ) фольг сплавов Al-Cr исследован методами резерфордского обратного рассеяния ускоренных ионов гелия и фотоэлектронной спектроскопии с использованием синхротронного излучения. Установлена структурная и фазовая неоднородность поверхностных слоев фольг, которые обеднены хромом. Обнаружены субмикронные области, обогащенные хромом и образующие “островковую” структуру оксидной пленки. Полученные данные о локальных скоплениях хрома на поверхности фольг и его влиянии на степень окисления образцов позволяют разработать модель кристаллизации БЗ сплавов алюминия, раскрывающую механизмы взаимодействия легирующих элементов и дефектов в условиях гипервысоких скоростей охлаждения и их влияние на структуру и свойства сплавов.

ION BEAM LITHOGRAPHY: SENSITIVITY AND CONTRAST OF
PMMA RESIST DETERMINATIONYa.L. Shabelnikova¹⁾, S.I. Zaitsev¹⁾¹⁾ Institute of microelectronic technology and high purity materials RAS,
Chernogolovka, Russia

For various reasons at present ion beam lithography (IBL) is insignificant in comparison to the position of the electron-beam lithography in spite of IBL has certain advantages. Ions move in straighter and shorter paths than electrons, secondary particles (mainly atoms) have very short ranges because of a lower speed of the ions. So the energy of heavy ions deposits in a very small volume of resist. Therefore, this method should be of higher efficiency and resolution than electron beam lithography. In order to estimate quantitatively the efficiency of resist employing ion beam lithography, the sensitivity of PMMA resist to ion beam irradiation were determined and compared with its sensitivity to electron exposure. It was shown that as in the case of electron exposure the resist demonstrates both a positive (at low doses) and negative (at higher doses) behavior. The value of resist sensitivity was determined to be approximately a thousand times higher for ion beam irradiation than for electrons both in positive and in the negative regions.

Another important result reported in this work is the procedure of resist contrast determination. It was noted that in ion lithography the energy absorbed in resist and, consequently, its etching rate are strongly inhomogeneous in depth. The model of etching rate being proportional to absorbed energy density in the power of γ (γ is the contrast) was the basis to derive the dependence of etching depth on exposure dose. The expression derived was used to approximate the measured dependence. The contrast and energy length of ions was two fitting parameters. The value of contrast $\gamma = 1.9$ and the mean path of ions in the PMMA $L_{energy} = 42$ nm was restored. This value is approximately 20% less than the energy length obtained from TRIM data (53 nm). This difference can be caused by the imperfection of the formulas (interaction cross sections of TRIM) embedded in the modeling algorithm, as well as by the simplicity of the development model.

ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА КРЕМНИИ
МЕТОДОМ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО И ИОННО-ЛУЧЕВОГО
НАНЕСЕНИЯ

М.Т. Нормурадов¹⁾, А.С. Рысбаев^{2*)}, К.Т.Довранов¹⁾, И.А. Каримов¹⁾,
У.Ш.Расулов¹⁾

¹⁾ Каршинский государственный университет,
Карши, Узбекистан

²⁾ Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

*) e-mail: rysbaev@mail.ru

Существующие в настоящее время методы осаждения тонких пленок с использованием низкотемпературной плазмы и ионного облучения дают возможность получать плёнки различных материалов (в том числе многокомпонентных тугоплавких материалов) которые практически невозможно получить термовакuumным методом.

Одним из важнейших отличий ионно-плазменного нанесения от термовакuumного является высокая энергия распылённых частиц. Эти частицы по сравнению с испарением с энергий 0,15 эВ при $T_{\text{исп}} \sim 2000$ К, обладают энергий $\sim 4 - 5$ эВ, что позволяет осаждающимся частицам частично внедряться в подложку, обеспечивая высокую адгезию плёнки с подложкой.

Ионно-лучевой синтез основан на получении тонких пленок с применением ионной имплантации. В отличие от других ионно-плазменных методов при получении пленок ионно-лучевым способом, энергии внедряемых ионов достаточно велики от десятков кэВ до единиц МэВ. При этом доза внедряемых ионов более 10^{16} ион $\cdot$ см⁻², чтобы концентрация имплантированных атомов была достаточной для формирования необходимого количества новой фазы. Для кристаллизации и улучшения структуры синтезируемого соединения или для проведения последующих химических реакций дополнительно используют термический, или лазерный и другие виды отжига [1].

В работе приводятся основные оптические и электронные характеристики полученных силицидных пленок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Умирзаков Б.Е., Нормурадов М.Т., Ташмухамедова Д.А., Ташатов А.К. //Ташкент: MERIEUS, 2012-184 с.

ФОРМИРОВАНИЕ И СВОЙСТВА ПЛЕНОК ДИСИЛИЦИДА БАРИЯ

М.Т. Нормурадов¹⁾, А.С. Рысбаев^{2*)}, И.Р. Нормурадов¹⁾,
З.А. Турсунметова³⁾

¹⁾ Каршинский государственный университет,
Карши, Узбекистан

²⁾ Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

³⁾ НИИ Физики полупроводников и микроэлектроники,
Ташкент, Узбекистан

*) e-mail: rysbaev@mail.ru

Повышенный интерес к пленкам дисилицида бария BaSi_2 вызван высоким коэффициентом поглощения, составляющим согласно $/1/ 3 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$ при 1,5 эВ, что в 40 раз больше, чем у кристаллического кремния. В работе методами оптической Фурье-спектроскопии и электронной спектроскопии исследован процесс формирования пленок BaSi_2 на Si (111) n-типа подложке с различной толщиной $d=10\text{-}100 \text{ нм}$. Пленки BaSi_2 были получены методом магнетронного распыления при вакууме $10^{-5} \text{ мм.рт.ст.}$. Полученные пленки имели аморфную структуру. Прогрев при 500° C в течении 20 минут приводит к образованию кристаллических фаз, что сопровождается резким возрастанием поверхностного сопротивления. Данный факт мы предполагаем связанным с тем, что между отдельными кристаллитами имеются области с аморфным дисилицидом бария. При дальнейшем повышении температуры до 700° C происходит полная кристаллизация пленки с поверхностной структурой $\text{BaSi}_2\text{-}1 \times 1$.

Были определены параметры структуры пленок моносилицида и дисилицида бария. Ширина запрещенной зоны пленки BaSi составляет 0,7 эВ, а пленки дисилицида бария BaSi_2 $E_g=1,4 \text{ эВ}$, последнее соответствует солнечному спектру.

Уникальной особенностью BaSi_2 является большое время жизни и диффузионной длины неосновных носителей, что говорит о возможности применения дисилицида бария в качестве светопоглощающего слоя для применения в тонкопленочных солнечных элементах $/2/$.

ЛИТЕРАТУРА

1. K. Toh, T. Saito, and T. Suemasu, Jpn. J. Appl. Phys. 50, 068001 (2011).
2. T. Suemasu, Jpn. J. Appl. Phys. 54, 07JA01 (2015).

О ВЛИЯНИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ V^+ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ Na^+ И В КРЕМНИИ

А.С. Рысбаев^{1*)}, М.Т. Нормурадов²⁾, И.Р. Бекпулатов¹⁾,
Д.А. Нормурадов²⁾

¹⁾Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

²⁾Каршинский государственный университет,
Карши, Узбекистан

*) e-mail: rysbaev@mail.ru

В последние годы большое внимание уделяется получению тонких силицидных пленок на кремнии методом ионной имплантации /1/. При этом особое внимание уделяется на структурное совершенство пленки силицида, резкость границы раздела и узкость переходного слоя «силицид – Si», т.к. они сильно влияют на качество приборов, создаваемых на основе подобных структур. В данной работе исследуется влияние предварительной имплантации ионов V^+ с энергией 3 кэВ и большой дозой $\sim 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ на профили распределения атомов Na^+ в Si (111). Очистка поверхности Si (111) проводилась в три этапа прогрева: длительный низкотемпературный, кратковременный высокотемпературный и имплантацию щелочных ионов с последующим высокотемпературным кратковременным прогревом при 1550 К /2/. Были исследованы профили распределения атомов Na в Si(111), p -типа с удельным сопротивлением $\rho=3000 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, и в Si(111), предварительно имплантированный ионами V^+ с энергией 3 кэВ до и после кратковременного в течении 30 с отжига при 700 К. Установлено, что проведение имплантации ионов Na^+ в p – Si(111), предварительно легированный ионами V^+ с большой дозой приводит к уменьшению максимального пробега атомов Na примерно на 30 % и к резкому уменьшению ширины переходного слоя как после имплантации, так и после проведения последующего термического прогрева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.И. Иваненко // Материалы 4-й международной конференции «Взаимодействие излучений с твердым телом», 2001 г., Минск, 22-24 с.
2. Рысбаев А.С., Хужаниязов Ж.Б., Рахимов А.М., Бекпулатов И.Р. / Патент № IAP 05720, 30.11.2018 г.

ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК ПАЛЛАДИЯ

А.И. Гумаров¹⁾, И.В. Янилкин¹⁾, Р.В. Юсупов¹⁾, В.С. Столяров^{1,2)},
В.Ф. Валеев³⁾, Л.Р. Тагиров^{1,3)}, Р.И. Хайбуллин³⁾

¹⁾ Казанский федеральный университет,
Казань, Россия

²⁾ Институт физики твердого тела РАН,
Черноголовка, Россия

³⁾ Казанский физико-технический институт им. Завойского
ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

Для криоспинтроники особый интерес представляют магнитные пленки палладия с малой концентрацией примеси железа (менее 10 ат.%) [1]. Для получения таких пленок традиционно используют магнетронное распыление или молекулярно-лучевую эпитаксию. В данной работе, впервые, метод ионной имплантации был использован для легирования эпитаксиальных пленок палладия примесью железа в широком диапазоне концентраций (1-10 ат.%) с целью разработки нового эффективного метода контроля над их магнитными характеристиками. Показано сильное влияние дозы имплантации (концентрации) и последующего термического отжига на глубинные профили распределения примеси железа, намагниченность, магнитную анизотропию и температуру Кюри имплантированных пленок палладия. В частности, показано, что имплантация железа с концентрацией более 1 ат. % индуцирует переход пленок палладия из парамагнитного в ферромагнитное состояние. При максимальной концентрации внедренной примеси обнаружен спинодальный распад и формирование многофазной магнитной системы.

Данная работа поддержана РФФИ, грант № 20-02-00981.

ЛИТЕРАТУРА

1. Esmaeili, I.V. Yanilkin, A.I. Gumarov et al. // Thin Solid Films. 2019. V.669. P.338-344.

Emad. M. Elsehly^{*1,2)}, A.A. Shemukhin²⁾, A.P. Evseev²⁾, H.A. Motaweh¹⁾,
N.G. Chechenin²⁾

¹⁾ Damanhour University, Damanhour, Egypt

²⁾ SINP MSU, Moscow, Russia

^{*)} e-mail: elsehlyfigo@yahoo.com

Recent experiments on ion irradiation of carbon nanotubes have revealed a wealth of intriguing phenomena. It is shown in the report that disorder produced by ion beam irradiation can enhance the functionality of the carbon nanotubes. The filters of pressed multiwalled carbon nanotubes (MWNTs) were irradiated by He⁺ ions of the energy E=80 keV with the fluence 2×10^{16} ion/cm². The removal of Ni(II) from aqueous solutions by using pristine and ion beam irradiated MWNTs filters was studied as a function of pH, initial concentration of Ni(II) in aqueous solution, MWNT mass and contact time. The filters before and after filtration were characterized by Raman (RS) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) techniques to investigate the deposition content in the filter and defect formation in the MWNTs. The irradiated samples showed an enhancement of removal efficiency of Ni(II) up to 95% for 20 ppm Ni(II) concentration, suggesting that irradiated MWNT filter is a better Ni(II) adsorbent from aqueous solutions than the pristine one. Radiation-induced chemical functionalization of MWNTs due to ion beam irradiation, suggesting that complexation between the irradiated MWNTs and Ni(II) ions is another mechanism. This conclusion is supported by EDS and RS and is correlated with a larger disorder in the irradiated samples as follows from RS. The study demonstrates that ion beam irradiation is a promising tool to enhance the filtration efficiency of MWNT filters.

R E F E R E N C E S

1. Emad.M. Elsehly, et al. Morphological and structural modifications of multiwalled carbon nanotubes by electron beam irradiation, Material research express, 2016, Vol. **3**, 105013.
2. Elsehly, M. Emad et al. Enhancement of CNT-based filters efficiency by ion beam irradiation. Radiation Physics and Chemistry, 2018, 146, 19-25.

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ В GaN ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ РАЗНЫХ ТИПОВ И ЭНЕРГИЙ

А.И. Титов, К.В. Карабешкин, А.И. Стручков, П.А. Карасев

Политехнический ун-т Петра Великого, СПб, Россия

Ионное легирование всегда сопровождается образованием структурных нарушений. Ранее нами было обнаружено, что при последовательном облучении GaN ионами фтора различных энергий результирующее повреждение значительно зависит от порядка ионов /1/. В данной работе был расширен круг имплантируемых ионов и рассмотрены случаи облучения ионами P + P, P + F, Ar + Ar, Ne + Ne.

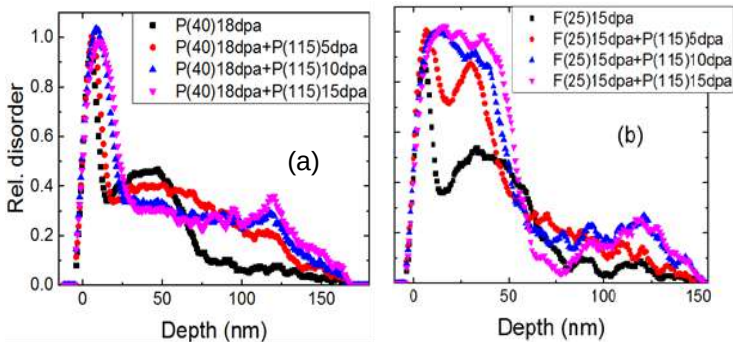


Рис.1 Профили относительного разупорядочения GaN по глубине после последовательного облучения ионами (а) P 40 кэВ и P 115 кэВ (b) F 25 кэВ и P 115 кэВ.

Показано, что характер накопления структурных повреждений при последовательном облучении рассмотренными ионами отличается от такового, когда первое облучение осуществляется ионами фтора (рис.1). Обсуждаются возможные причины данного явления. Работа выполнена при поддержке РФФИ. Грант № 18-08-01213.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.I. Titov, P.A. Karaseov, K.V. Karabeshkin, A.I. Struchkov // Vacuum, 2020, 173, 109149.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МО и ТА МЕТОДОМ EXAFS

В.А. Андрианов¹⁾, К.А. Бедельбекова²⁾, А.Л. Ерзинкян¹⁾,
А.Л. Трегуб³⁾

¹⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾ Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

³⁾ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Имплантация атомов в различные матрицы является традиционным методом создания радиационных повреждений с целью их дальнейшего исследования. При имплантации происходит не только множественное образование пар Френкеля, но также формирование различных кластерных структур и новых фаз. Важное значение имеет определение локализации имплантированных атомов в кристаллической решетке. Эта информация может быть получена с привлечением методов эффект Мессбауэра и EXAFS.

В настоящей работе была изучена имплантация ионов ^{57}Fe в металлический Мо и Та. Облучение проводилось ионами ^{57}Fe с энергией 1 МэВ; флюенс ионного потока составил 5×10^{16} ион/см². Согласно расчетам STRIM, ионы Fe были локализованы в поверхностном слое толщиной 600 нм и имели концентрацию не превышающую 2.5 ат. % [1].

EXAFS спектры были измерены в Синхротронном центре Курчатовского института (Москва). Измерения облученных образцов Мо и Та были проведены в флуоресцентном режиме в области энергий К-края Fe. Таким образом, были получены данные о кристаллическом окружении имплантированных атомов Fe.

Для анализа экспериментальных данных были проведены расчеты спектров EXAFS для типичных атомных конфигураций, возникающих в результате облучения. В докладе будет представлен сравнительный анализ данных мессбауэровской спектроскопии и EXAFS с целью определения локализации атомов Fe и получения данных о радиационных повреждениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. V.A. Andrianov, K.A. Bedelbekova and et al. // Nucl. Instr. Meth. B., 475, 2020, 71.

ОПТИЧЕСКИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЯ,
ИМПЛАНТИРОВАННОГО ПРИМЕСЯМИ ХАЛЬКОГЕНОВ И
МЕТАЛЛОВ

Р.И. Баталов^{*1)}, Р.М. Баязитов¹⁾, Г.А. Новиков¹⁾,
Нуждин В.И.¹⁾, Валеев В.Ф.¹⁾, Г.Д. Ивлев²⁾,
Ф.Ф. Комаров²⁾, К.Н. Галкин³⁾

¹⁾КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

²⁾БГУ, Минск, Беларусь

³⁾ИАПУ ДВО РАН, Владивосток, Россия

^{*)} e-mail: batalov@kfti.knc.ru

В данной работе исследовалось формирование тонкослойных пересыщенных твердых растворов Si с примесями халькогенов (Se, Te), металлов (Fe, Cr), а также слоев Si с наночастицами InSb. Образцы были получены при имплантации монокристалла p-Si (111) ионами Se⁺, Te⁺, Fe⁺, Cr⁺, а также при последовательной имплантации ионами Sb⁺ и In⁺. После имплантации проводился отжиг аморфизованных слоев Si импульсами рубинового лазера ($\lambda = 0.694$ мкм, 80 нс) или мощным пучком ионов углерода и водорода (C⁺, H⁺, 300 кэВ, 100 нс) на ускорителе ТЕМП в жидкофазном режиме через процессы плавления и кристаллизации. Указанные быстрые процессы при лазерном отжиге диагностировались *in-situ* методикой регистрации отражения в облучаемой лазером зоне. Оптические свойства полученных слоев исследовались на пропускание и отражение в области длин волн 0.5-10 мкм для определения их поглощательной способности. Также применялись методы Рамановской спектроскопии и Резерфордского обратного рассеяния для оценки степени восстановления кристаллической структуры Si после импульсного отжига, изучения формирования нанокристаллической фазы InSb и определения глубинного распределения внедренных примесей. С использованием электрофизических измерений оценивались тип и величина проводимости, концентрация носителей, вольтамперные характеристики перехода легированный слой/подложка. Также исследовался фотоотклик диодных структур на основе указанных слоев в области 0.4-2.5 мкм при 300 К.

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ ИОННЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ ГЕРМАНИЙ ДЛЯ АНОДОВ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

В.В. Базаров¹⁾, Н.М. Лядов¹⁾, В.Ф. Валеев¹⁾, И.А. Файзрахманов¹⁾,
К. Киржек²⁾, Н.М. Сулейманов¹⁾

КФТИ им. Е.К. Завойского ФИЦ Казанский научный центр РАН,
Казань, Россия

²⁾ Вроцлавский Университет Науки и Технологии,
Вроцлав, Польша

В последнее время в мире широко исследуются различные высокодисперсные системы (пористый кремний, германий) с целью дальнейшего их использования в качестве материала анода литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) [1]. В докладе представлены результаты исследования морфологии наноструктурированных ионным облучением приповерхностных слоёв германия.

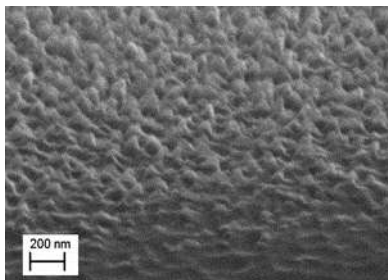


Рис 1. СЭМ – изображение поверхности пластины Ge, имплантированной ионами Ge⁺ с энергией 40 кэВ и дозой 8×10^{16} ион/см², нагретой во время облучения до 200⁰ С. Изображение получено под углом 70⁰.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кабинета Министров Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-48-160027.

ЛИТЕРАТУРА

1. X.-L. Wang, W.-Q. Han, H.Y. Chen, J.M. Bai, T.A. Tyson, X.Q Yu., X.J. Wang, X.Q. Yang. // J. Am. Chem. Soc. 2011. V.133. P.20692-20695. DOI: 10.1021/ja208880f .

БИОИНТЕРФЕЙСЫ ДЛЯ БАКТЕРИЙ НА ОСНОВЕ ИОННО-МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

А.В. Степанов ^{*1,2)}, А.П. Попов ¹⁾, А.В. Коваленко ¹⁾, А. И. Димитриева¹⁾, Д. С. Юманов¹⁾, А. А. Шемухин²⁾, Е. А. Воробьева²⁾, А. П. Евсеев²⁾

¹⁾ Чувашский государственный аграрный университет,
Чебоксары, Россия

НИИЯФ Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова (ОФАЯ), Москва, Россия

*) e-mail: for.antonstep@gmail.com

На сегодняшний момент активно исследуются наноматериалы и возможность их использования в качестве биоинтерфейсов [1] – поверхностей взаимодействующих с биомолекулами, клетками, биологическими тканями и живыми организмами. Последние исследования позволяют использовать наноматериалы в качестве основы для эндопротезов, биосенсоров и биороботов [2].

Целью данной работы является исследование вертикально ориентированных многостенных углеродных нанотрубок, модифицированных ионным пучком на биосовместимость с бактериями. Можно предположить, что бактериостатический эффект обусловлен структурными особенностями, а именно наличием слоя неупорядоченных нанотрубок на поверхности образца, несовершенством, а также средним большим диаметром нанотрубок в сравнение с другими образцами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Biointerfaces, Editors: Dietmar Huttmacher, Wojciech Chrzanowski, Royal Society of Chemistry, Cambridge 2015.
2. C. Lüdecke, K.D. Jandt, D. Siegismund, M.J. Kujau, E. Zang, M. Rettenmayr, J. Bossert and M. Roth // PLOS ONE, 2014, 9, e84837.

РАСЧЕТ ЗОННОЙ СТРУКТУРЫ β -Ga₂O₃ С ДЕФЕКТАМИ

А.В. Степанов ^{1 *)}, Д.И. Тетельбаум ²⁾, Е.В. Окулич ²⁾, А. С. Сабиров ³⁾

Чувашский государственный аграрный университет,
Чебоксары, Россия

²⁾ Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

³⁾ Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова,
Чебоксары, Россия

*) e-mail: for.antonstep@gmail.com

Оксид галлия Ga₂O₃ (широкозонный полупроводник) - один из наиболее перспективных материалов для электроники нового поколения. Однако его широкому использованию препятствуют нерешенные проблемы, связанные с неконтролируемым внесением дефектов и примесей, определяющих его работоспособность, отсутствие надежных методов получения низкоомного материала с проводимостью р-типа и отсутствие знаний о связи дефектного и примесного состава с электронной структурой и свойствами Ga₂O₃.

Целью данной работы является исследование зонной структуры оксида галлия с дефектами. Рассчитаны вакансии галлия (VGaI, VGaII) и кислорода (VOI, VOII, VOIII).

По данным расчетов было установлено, что энергии уровней, рассчитанные на сетке k ($2 \times 2 \times 2$) и k ($4 \times 4 \times 4$), которые вместе с гибридным функционалом HSE06 (0,32, 0,20), наиболее близки к экспериментальным данным. Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Vl. Voevodin, et al. Supercomputing Frontiers and Innovations, Vol.6, No.2 (2019). pp.4–11. DOI:10.14529/jsfi190201

ТОПОГРАФИЯ ПОВЕРХНОСТИ МАГНИЯ ПОСЛЕ ЕГО ОБРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫМ ПОТОКОМ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

М.В.Жидков¹⁾, А.Е.Лигачев²⁾, С.А.Сорокин³⁾, Г.В.Потемкин⁴⁾,
Ю.Р.Колобов⁵⁾

¹⁾ НИУ БелГУ, Белгород, Россия

²⁾ Институт общей физики РАН, Москва, Россия

³⁾ ИСЭ СО РАН, Томск, Россия

⁴⁾ Томский политехнический университет, Томск, Россия

⁵⁾ ИИХФ РАН, Черноголовка, Россия

Исследовано влияние потока мягкого импульсного рентгеновского излучения на топографию поверхности технически-чистого магния. Облучение проводили с использованием сильноточного генератора МИГ [1]. Образец располагался на расстоянии 10 см от источника рентгеновского излучения. Длительность импульса (или одной дозы) излучения равнялась 60 нс, энергия в рентгеновском импульсе составляла $(10-12) \pm 2$ кДж, что соответствует плотности энергии излучения на поверхности образца ~ 10 Дж/см².

Установлено, что в результате плавления и последующего затвердевания на поверхности магния формируется волнистый рельеф. Дефекты в форме кратеров, которые формируются на поверхности магния после его обработки мощными импульсами пучками электронов, ионов и плазмы, не обнаружены. В результате быстрой кристаллизации жидкого поверхностного слоя на нем наблюдаются капли и области в виде крупных островков застывшего жидкого металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кабламбаев Б.А., Лучинский А.В., Петин В.К., Ратахин Н.А., Сорокин С.А., Федущак В.Ф., Чайковский С.А., Шляхтун С.В. Установка МИГ —универсальный рентгеновский источник // Вопросы атомной науки и техники, сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру, 2001, вып.3-4, с.149-155.

ДЕГРАДАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВУХСЛОЙНЫХ ПОЛЫХ ЧАСТИЦ ZnO/SiO_2 ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПРОТОНАМИА.Н. Дудин¹⁾, В.В. Нещименко¹⁾, Ли Чундун²⁾¹⁾ Амурский государственный университет, Благовещенск, Россия²⁾ Харбинский политехнический университет, Харбин, Китай

Представлены результаты исследования оптических свойств и радиационной стойкости к воздействию протонов порошков-пигментов на основе двухслойных полых частиц ZnO/SiO_2 микронных размеров сферической формы.

Полученные спектры диффузного отражения (ρ_λ) позволили установить, что исследуемые пигменты на основе двухслойных полых частиц ZnO/SiO_2 имеют высокие значения коэффициента отражения во всем спектральном диапазоне по сравнению с порошками на основе объемных частиц ZnO .

Радиационную стойкость исследуемых полых частиц оценивали по разностным спектрам диффузного отражения ($\Delta\rho_\lambda$), полученных вычитанием спектров после облучения протонами из спектров необлученных образцов. Анализировали значения интегрального коэффициента поглощения солнечного поглощения α_s .

Из полученных спектров $\Delta\rho_\lambda$ следует, что при воздействии протонами с энергией 100 кэВ флюенсом $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ интенсивность полос наведенного поглощения

в полых частицах ZnO/SiO_2 меньше, чем в объемных частицах ZnO , а расчет изменений значений α_s показал увеличение радиационной стойкости порошков ZnO/SiO_2 по сравнению с порошками ZnO на 26 %. Эффект увеличения радиационной стойкости полых частиц ZnO/SiO_2 может быть обусловлен: высокой удельной поверхностью частиц, которая является стоком радиационных дефектов; наличием защитного аморфного слоя SiO_2 на поверхности микросфер ZnO , которые приводят к уменьшению концентрации центров поглощения в ZnO , обуславливающих поглощение в видимом диапазоне спектра.

ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЕ ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ W, Be, C ИЗОТОПАМИ ВОДОРОДА

В.С. Михайлов*, Д.С. Мелузова, П.Ю. Бабенко, М.И. Миронов, А.П.
Шергин, А.Н. Зиновьев

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
*chiro@bk.ru

Рассчитано распределение энерговыделения по глубине материала при бомбардировке мишеней из W, Be, C и W изотопами водорода с энергиями в диапазоне, характерном для частиц плазмы токамак-реактора ИТЭР (100 эВ - 20 кэВ). Показано, что в диапазоне энергий до 50 кэВ максимум энерговыделения находится вблизи поверхности.

В плазме токамака ИТЭР при работе на смеси D и T вследствие процессов перезарядки и фоторекомбинации будут образовываться атомы, покидающие плазму. Были рассчитаны энергетические спектры атомов D и T. Полученные данные позволяют оценить нагрев верхних слоёв стенки при бомбардировке атомами, покидающими плазму. Предсказано накопление трития вблизи поверхности.

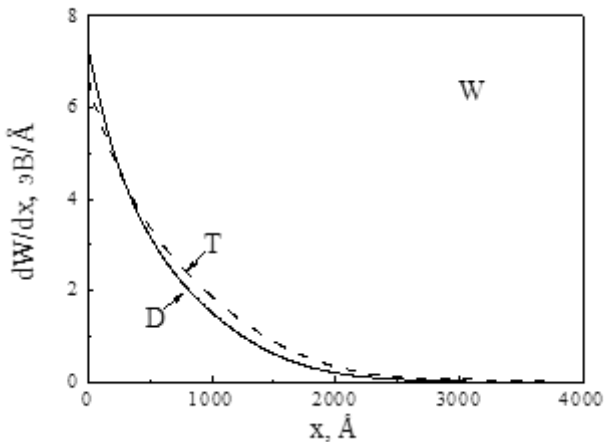


Рис.1 Нормированное на одну падающую частицу распределение энерговыделения по глубине в W, облучаемом типичным для токамака ИТЭР спектром атомов дейтерия и трития, покидающих плазму.

ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТОНКИХ
ПЛЕНOK CoCdSe ПОДВЕРЖЕННЫХ ОБЛУЧЕНИЮ
ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

А. Омарова¹⁾, К.К. Кадыржанов¹⁾, А.Л. Козловский^{*1,2)}

¹⁾ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
Нур-Султан, Казахстан

²⁾ Институт ядерной физики Мэ РК, Алматы, Казахстан

*) e-mail: artem88sddt@mail.ru

На сегодняшний день полупроводниковые структуры типа $A^{IV}B^{VI}$ на основе кадмия, селена, теллура и их соединений нашли свое огромное применение в фотоэлектронных устройствах, OLED (Organic Light-Emitting Diode) устройств, светодиодов, газовых сенсоров или солнечных элементов и т.д. При этом допирование тонких пленок магнитными элементами такими как кобальт, никель, которые оказывают существенное влияние не только на структурные и оптические свойства, но и дают возможность получения структур типа “core-shell”. Однако, процессы допирования сопровождаются большим количеством структурных точечных дефектов, которые оказывают негативное влияние на структурные и оптические свойства. Одним из способов снижения концентрации точечных дефектов является облучение электронными пучками.

В работе получены результаты изменения структурных и оптических свойств CoCdSe пленок, облученных потоком электронов с дозами 100-500 кГр. Установлено, что увеличение дозы облучения выше 300 кГр приводит к резкому увеличению степени кристалличности и снижению дислокационной плотности, что связано с процессами электронного отжига точечных дефектов.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СИЛЬНОПОЛЕВОЙ ИНЖЕКЦИИ
ЭЛЕКТРОНОВ НА НАКОПЛЕНИЕ РАДИАЦИОННО-
ИНДУЦИРОВАННЫХ ЗАРЯДОВ В ПОДЗАТВОРНОМ
ДИЭЛЕКТРИКЕ МОП-СТРУКТУР

Д.В. Андреев¹⁾, Г.Г. Бондаренко²⁾,
В.В. Андреев^{1,*)}, А.А. Столяров¹⁾

¹⁾ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал,
Калуга, Россия

²⁾ Национальный исследовательский университет «Высшая школа
экономики», Москва, Россия

*) e-mail: vladimir_andreev@bmstu.ru

В данной работе на основе моделирования и экспериментальных исследований изучено влияние режимов сильнополевой инжекции электронов на зарядовые процессы в МОП-структурах с термическими пленками диоксида кремния при одновременном воздействии сильных электрических полей и ионизирующего излучения. В качестве ионизирующего излучения использовались α -частицы, протоны и гамма-излучение [1]. Процессы исследовались с учетом перераспределения внутренних электрических полей в объеме диэлектрической пленки, обусловленного накоплением в ней положительного и отрицательного зарядов, возникающих в результате радиационной и сильнополевой ионизации.

Показано, что режимы сильнополевой инжекции электронов могут оказывать существенное влияние на накопление радиационно-индуцированных зарядов в подзатворном диэлектрике МОП-структур. Полученные результаты могут использоваться для повышения надежности полупроводниковых приборов и расширения режимов эксплуатации МОП сенсоров радиационных излучений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andreev D.V., Bondarenko G.G., Andreev V.V., Stolyarov A.A. // Sensors. 2020. V.20. Is.8. P.2382(1-11).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ
ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3-(0.5-x)\text{WO}_3-x\text{PbO}$ СТЕКОЛ

А. Темір¹⁾, А.Л. Козловский^{*1,2)}

¹⁾ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
Нур-Султан, Казахстан

¹⁾ Институт ядерной физики МЭ РК, Алматы, Казахстан

*) e-mail: artem88sddt@mail.ru

Одними из многообещающих типов стекол, способных составить существенную конкуренцию теллуридовым стеклам, являются стекла на основе $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-WO}_3\text{-PbO}$. При этом добавления оксида свинца служит не только для модификации структуры стекла, но и существенному увеличению экранирующих характеристик, за счет увеличения поперечного сечения захвата гамма-квантов, а также повышению устойчивости к радиационным повреждениям.

В данной работе представлены результаты исследования свойств серии $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3-(0.5-x)\text{WO}_3-x\text{PbO}$ стекол, полученных методом спекания. С применением метода рентгеновской дифракции установлена аморфная структура стекол. Анализ структурных и оптических характеристик показал, что увеличение концентрации PbO приводит к увеличению плотности, а также снижению критерия металлизации. Установлено, что увеличение PbO, приводит к уменьшению ширины запрещенной зоны, изменение которых свидетельствует об изменении степени структурного беспорядка, вызванного примесями или электронными ловушками. В ходе экспериментов по определению эффективности экранирования гамма-излучения было установлено, что наилучшей эффективностью экранирования обладают стекла $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3-0.125\text{WO}_3-0.375\text{PbO}$, для которых величина коэффициента массового ослабления превышает в 3.6 раза аналогичную величину для стекол $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3-0.5\text{WO}_3$.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ КЕРАМИК ZrO_2
К ОБЛУЧЕНИЮ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИМ. Алин¹⁾, А.Л. Козловский^{1,2)}¹⁾Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
Нур-Султан, Казахстан²⁾ Институт ядерной физики Мэ РК, Алматы, Казахстан*) e-mail: artem88sddt@mail.ru

На сегодняшний день, особый интерес вызывают керамики ZrO_2 , которые обладают более высокими показателями механических и прочностных характеристик, отличными оптическими свойствами и устойчивостью к различным внешним воздействиям, включая радиационные повреждения. Благодаря этим свойствам керамики ZrO_2 являются одним из перспективных материалов для инертных матриц ядерного топлива, хранения радиоактивных отходов, а также конструкционных материалов.

Работа посвящена исследованию влияния облучения тяжелыми ионами Kr^{15+} и He^{23+} с энергиями 147 и 220 МэВ, соответственно, на изменение оптических, структурных и прочностных свойств керамик ZrO_2 . Выбор тяжелых ионов Kr^{15+} и He^{23+} обусловлен возможностью моделирования воздействия осколков деления ядер в атомном реакторе, а выбор доз облучения 1×10^{13} - 1×10^{14} ион/см² обусловлен возможностью моделирования эффектов перекрытия дефектных областей, возникающих вдоль траектории движения ионов в материале. С применением метода рентгеновской дифракции установлено, что в случае облучения тяжелыми ионами, увеличение дозы облучения приводит к фазовым превращениям тетрагонального типа кристаллической решетки в кубическую. При этом для образцов облученных ионами He^{23+} при дозе облучения 1×10^{14} ион/см² наблюдается практически полное фазовое превращение.

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ РАДИАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В
 ZnCo_2O_4 НАНОПРОВОЛОКА. Зикирина¹⁾, К.К. Кадыржанов¹⁾, А.Л. Козловский^{1,2)}¹⁾ Евразийский национальный университет
им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан²⁾ Институт ядерной физики Мэ РК, Алматы, Казахстан*) e-mail: artem88sddt@mail.ru

В последние годы особое внимание уделяется изучению возможности применения ионизирующего излучения для модификации свойств наноматериалов. Основной целью этих исследований является исследование процессов эволюции дефектов сформированных при взаимодействии налетающих частиц с наноструктурами, которое имеет существенное различие с процессами дефектообразования в массивных материалах. В данной работе рассмотрено влияние облучения тяжелыми ионами O^{2+} (28 MeV), Kr^{15+} (147 MeV), Xe^{22+} (225 MeV) структурные и проводящие свойства ZnCo_2O_4 нанопроволок, полученных методом электрохимического синтеза.

В ходе исследования установлено, что при малых флюенсах облучения для всех ионов наблюдается частичный отжиг структурных дефектов, обусловленный облучением. При этом применение тяжелых ионов Xe^{22+} при малом флюенсе облучения позволяет существенно изменить структурные и проводящие свойства нанопроволок, а также значительно увеличить скорость фотокаталитической реакции разложения органических красителей. В случае больших доз облучения, эффекты перекрытия дефектных областей для ионов O^{2+} и Kr^{15+} приводят к увеличению степени структурных упорядочений, однако для ионов Xe^{22+} наблюдается деградация материала, обусловленная разрушением кристаллических связей.

ВЛИЯНИЕ ИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ДЕФЕКТОВ НА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

А.В. Кононина¹⁾, А.В. Назаров¹⁾, Ю.В. Балакшин¹⁾, А.А.
Шемухин¹⁾, В.С. Черныш¹⁾, Ю.М. Спивак³⁾

¹⁾ Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²⁾ Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина)

Пористый кремний (p-Si) обладает большим количеством уникальных свойств. Он является биосовместимым и биоразлагаемым и демонстрирует фотолюминесценцию (ФЛ) в видимом диапазоне. Это делает возможным использование пористого кремния в высокоэффективных оптических устройствах, биосенсорах, оптоэлектронных светодиодах и т.д.

Недавние исследования показали, что основной причиной ФЛ в пористом кремнии являются поверхностные состояния и состояния, образованные псевдорешёткой. Причём из-за большого отношения поверхности к объёму, определяющим является первый механизм. Таким образом, модификация структуры поверхностных состояний может приводить к изменению оптических свойств p-Si, в том числе и фотолюминесценции.

В данной работе для модификации структуры пористого кремния был использован метод ионной имплантации. Плёнки p-Si были облучены ионами Ag⁺ с различными энергиями, что позволило создать в пористой матрице содержащие дефекты слои, расположенные на глубинах от 50 до 350 нм.

Измерение спектров ФЛ показало, что наличие ионно индуцированных дефектов приводит к сдвигу максимума полосы ФЛ при глубинах модифицированных слоёв до 200 нм. При больших глубинах спектры ФЛ не отличаются от спектров исходной структуры.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-32-90174.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С ГИБРИДНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ: ОРГАНИКО-НЕОРГАНИЧЕСКИЙ ПЕРОВСКИТ

Б.Л.Оксенгендлер¹, Н.Р.Ашуров², С.Е.Максимов^{1,2},
Ж.Т.Азимов², В.Ю.Соколов²

¹Институт ионно-плазменных и лазерных технологий им.У.А.Арифова
Академии Наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан;

²Институт химии и физики полимеров Академии Наук Республики
Узбекистан, Ташкент, Узбекистан.

Органико-неорганические перовскиты (ОНП) типа ABX_3 , где А – широкий класс органических молекул, В – элементы группы Pb, Х – галогены, являются перспективными материалами для преобразования солнечной энергии в электрическую [1]. Однако, на этом пути оказалась серьёзная проблема, связанная с множественностью каналов деградации ОНП. С точки зрения деградационных процессов, ОНП могут быть также модельным объектом для гибридных материалов, в т.ч. радиационных эффектов при взаимодействии с заряженными частицами. Помимо описанных в [2], важны эффекты, обусловленные ролью органической молекулы. Так, электронно-стимулированные атомные перестройки, определяемые вероятностью электрон-фоонных процессов при участии локальных колебательных мод органических молекул, на много порядков более вероятны, чем электрон-фоонные переходы с участием регулярной неорганической части решётки. Кроме того, важен и другой количественный фактор, представляющий собой отношение числа локальных фоонов к числу фоонов от неорганической части всей решётки. Это отношение также близко к 1, так что фактор Франка-Кондона весьма высок. Также очень важна радиационная деструкция хирально упорядоченных цепей из органической части, т.к. они регулируют фазовые превращения типа $2D \rightarrow 3D$, $3D \rightarrow 2D$ с изменением стабильности решётки.

ЛИТЕРАТУРА

1. N.R. Ashurov, B.L. Oksengendler, S.E. Maksimov et al. //Modern Electronic Materials, 2017, V.3, №1, P.1-25.
2. B.L. Oksengendler, N.R. Ashurov, S.E. Maksimov et al. //Appl. Solar Energy, 2017, V.53, №4, P.326–333.

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ВОДОРОДА В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
СЛОЯХ Zr/NbС.О. Огнев^{*1)}, А. Ломыгин¹⁾, Л.А. Святкин¹⁾, Р.С. Лаптев¹⁾¹⁾ Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск, Россия^{*)} e-mail: soo1@tpu.ru

Многослойные наноразмерные покрытия (МНП) в виде системы из чередующихся слоев ГПУ/ОЦК металлов обладают отличным потенциалом для создания радиационно-стойких композитов, за счет наличия расхождения кристаллических решеток, которое позволяет некогерентным и полуккогерентным границам раздела ГПУ/ОЦК систем быть эффективным стоком для радиационных дефектов и барьером для распространения дислокаций во время деформации. В настоящей работе проведены теоретические расчеты и их сравнение с экспериментальным исследованием влияния облучения H^+ -ионами на структурно-фазовое состояние и дефектную структуру МНП Zr/Nb. Многослойная система Zr/Nb с толщиной отдельных слоев (80 ± 10) нм и (100 ± 10) нм для Zr и Nb соответственно была сформирована с помощью магнетронного распыления. Рентгеноструктурный анализ выявил наличие макро- и микродеформаций в МНП Zr/Nb. Эти деформации заметно выше для слоев Zr, поскольку, согласно первопринципным расчетам, смещения атомов Zr из идеального узла решетки вблизи границы раздела значительно превышают смещения атомов Nb. Облучение ионами H^+ с энергией 900 кэВ в течение 30 минут приводит к интенсивному накоплению водорода вблизи границ раздела Nb/Zr из-за повышенной энергии связи водорода в атомных слоях металлов рядом с ними. Уменьшение средней энергии связи водорода на атомный слой металла с увеличением расстояния между атомным слоем и границей раздела происходит медленнее в слое Zr, чем в слое Nb. Это четко объясняет преобладающую локализацию водорода в слоях Zr.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-79-10343).

МОРФОЛОГИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР, СОЗДАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ СВОБОДНОЙ ПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ Si/Cu

З.А. Исаханов¹, И.О. Косимов², Р.М. Ёркулов¹,
А.Ш. Усмонкулов¹

¹ИИПИЛТ 100125, Ташкент, Узбекистан,

²ТГТУ, Университетская 2. 100095, Ташкент

e-mail: za.isakhanov@gmail.com

В работе впервые изучены морфология поверхности наноразмерных фаз и пленок SiO₂, созданных на поверхности свободной нанопленочной системы Si/Cu. Аморфные пленки SiO₂, с d=20-25 Å созданы имплантацией ионов O₂⁺ в Si/Cu(100) с энергией E₀=1 кэВ с вариацией дозы облучения от D=5·10¹⁴ см⁻² до D=6·10¹⁶ см⁻² с последующим прогревом при температуре T=700 К.

На рисунке 1 приведены РЭМ-изображения и ДБЭ картины поверхности Si/Cu(100) до и после имплантации ионов O₂⁺ при дозе D=6·10¹⁵ см⁻². Видно, что поверхность чистого кремния обладает относительно гладким микрорельефом (рис.1а) и имеет структуру близкую к поликристаллической (вставка на рис.1а). После имплантации ионами O₂⁺, на поверхности Si появляются отдельные локальные участки (кластеры) с измененной структурой и составом. При этом кластерные фазы занимают одну третью часть всей облученной площади и на электронограмме появляются новые широкие и размытые кольца, характерные для сильно разупорядоченной поверхности (вставка на рис.1б).

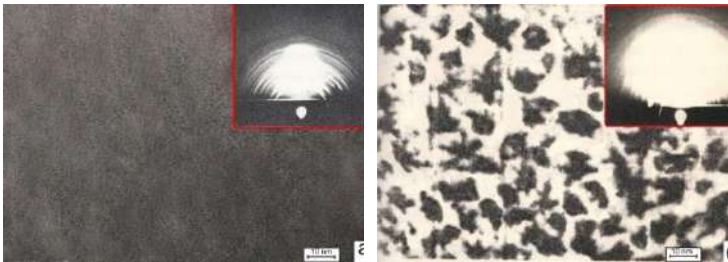


Рис.1. Электронно-микроскопическое изображения (а) и картины ДБЭ (вставка на каждом рисунке) поверхности Si(111), легированного ионами O₂⁺. Доза D, см⁻²: а- 0 (нелегир. Si); б- 6·10¹⁵.

Увеличение дозы ионов O₂⁺ до D≈8·10¹⁶ см⁻² приводит к полному перекрытию кластеров и в приповерхностной области формируется аморфный слой SiO₂.

ВЛИЯНИЕ СТЕРИЛИЗАЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА
БАКТЕРИЗАЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ УГЛЕРОДНЫХ
АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПЛЁНОК

И.Н. Бажукова, Ф.Г. Нешов*, Д.В. Райков

ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
Екатеринбург, РФ
*e-mail: neshov@mail.ru

Уникальные свойства алмазоподобных плёнок, такие как, бактерицидность, биологическая совместимость, высокая износостойкость позволяет их использовать в медицине для покрытия различных биоимплантантов, инструментария. Известно, что настоящее время большинство изделий медицинского назначения стерилизуются радиационным способом. В данной работе проведено исследование влияния дозы облучения электронами с энергией 10 МэВ на бактерицидную способность алмазоподобных плёнок.

Алмазоподобные плёнки наносились импульсным ионно-плазменным методом на установке УВНИПА-1-001. Плёнки имели толщину ~ 50нм и были нанесены на подложки из медной фольги. В качестве объекта исследования использовались винные дрожжи штамма *Saccharomyces cerevisiae*, относящиеся к классу грибов. Инкубация дрожжевых клеток проводилось в чашках Петри в питательной среде при температуре 36°C. Жизнеспособность клеток оценивалась с помощью метода количественного учета клеток в камере Горяева при помощи микроскопа Микромед-3. Через 24 часа жизнеспособность клеток значительно снизилась (почти в 2 раза относительно контроля). Через 72 часа живых клеток в образцах не было обнаружено. Установлено, что радиационное облучение, стерилизационной дозы (25 кГр) не влияет на свойства плёнок. Десятикратное увеличение дозы приводит к отслаиванию плёнки, при этом бактерицидная активность увеличивается.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ
КАРБИДА КРЕМНИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ Kr^{15+}

К. Тынышбаева¹⁾, К.К. Кадыржанов¹⁾, А.Л. Козловский^{*1,2)}

¹⁾Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
Нур-Султан, Казахстан

²⁾ Институт ядерной физики Мэ РК, Алматы, Казахстан

*e-mail: artem88sddt@mail.ru

В работе представлены результаты исследования влияния облучения тяжелыми ионами Kr^{15+} с энергией 300 кэВ и флюенсами облучения 10^{13} - 10^{15} ион/см² на механические и прочностные свойства керамик на основе карбида кремния (SiC). Выбор типа облучения и дозовой нагрузке обусловлен возможностью моделирования радиационных повреждений приповерхностного слоя толщиной 200 нм в результате эффекта перекрывания дефектных областей.

Научная новизна полученных результатов заключается в систематических исследованиях устойчивости механических и прочностных свойств приповерхностного слоя карбидных керамик к радиационному повреждению, а также оценке эффективности применения низкоэнергетических пучков в качестве обработки материалов для повышения устойчивости к трещинообразованию и радиационному упрочнению.

В ходе исследований установлено, что основным механизмом радиационных повреждений является увеличение дислокационной плотности дефектов и образованием областей разцпорядочения в случае больших доз.

В результате моделирования процессов ускоренного старения установлено, что для облученных образцов снижение величины трещиностойкости не превышает 5-10 %, в то время как для исходных образцов данное снижение составляло более 25 %.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАРКОТИЧЕСКИХ СТИМУЛЯТОРОВ
МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНОЙ ИОНИЗАЦИИ

Б.Ш. Касимов, Ш.Дж. Ахунов, Ш.М. Ахмедов, Д.Т. Усманов*

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий,
АН РУз, Ташкент, Узбекистан*) email: usmanov@iplt.uz

Поверхностная ионизация (ПВИ) является одним из наиболее информативных среди множества методов по определению характеристик взаимодействия многоатомных частиц с твердым телом. Важной особенностью метода ПВИ является информация, получаемая в труднодоступной для других методик области высоких температур адсорбата [1].

В работе сообщаются экспериментальные результаты, полученные методом поверхностно-ионизационной масс-спектрометрии (ПВИ/МС) для выявления ПВИ закономерности наркотических стимуляторов таких как амфетамин, метамфетамин и кокаин. Полученные масс-спектры стимуляторов состоят из линии квазимолекулярных ионов $[M-H]^+$ и фрагментных ионов $[M-R]^+$. Фрагментные ионы являются основными ионами в масс-спектрах всех исследованных стимуляторов. Полученные температурные зависимости ионных токов исследованных стимуляторов характерны для азотистых органических соединений и обусловлены скоростями гетерогенных реакций образования их продуктов [1]. Все регистрируемые в масс-спектрах ПВИ стимуляторов линии ионов $[M-H]^+$, $[M-R]^+$ являются продуктами гетерогенных реакций ароматизации и диссоциации исходных молекул на горячей поверхности эмиттера. Доказательством этому служат параллельности кривых зависимости логарифма относительного изменения тока ионов $[M-H]^+$, $[M-R]^+$ от обратной температуры испарителя $t_{исп}$. По наклону этих прямых оценены теплоты сублимации $E_{суб}$ стимуляторов – амфетамина, метамфетамина и кокаина.

ЛИТЕРАТУРА

1. U.Kh. Rasulev, E.Ya. Zandberg, Surface ionization of organic compounds and it's application, Prog. Surf. Sci. 1988, 28, pp.181–412.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ
ОКСИДНЫХ НАНОЧАСТИЦК. Егізбек¹⁾, А.Л. Козловский^{*1,2)}¹⁾ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
Нур-Султан, Казахстан²⁾ Институт ядерной физики МЭ РК, Алматы, Казахстан*e-mail: artem88sddt@mail.ru

Одним из перспективных материалов среди микро и наноструктурных объектов являются магнитные наночастицы на основе различных форм оксида железа. Интерес к данному классу наночастиц обусловлен огромным потенциалом их применения в качестве основы для магнитной сепарации, катализаторов, микроэлектронных устройств, адресной доставки лекарственных препаратов и т.д.

Работа посвящена исследованию влияния электронного излучения на упорядочение кристаллической структуры оксидных наночастиц (Fe_2O_3), полученных методом химического синтеза и последующего термического отжига дефектов. Установлено, что увеличение дозы облучения с 50 до 150 кГр приводит к укрупнению размеров частиц с 40 нм (исходный размер наночастиц) до 45-50 нм, в то время как последующее облучение приводит к формированию эллипсоидных или ромбических частиц, средний размер которых составляет не более 50-60 нм.

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ВТСП ЛЕНТ 2-ГО ПОКОЛЕНИЯ ПРИ
ИМПУЛЬСНОМ ИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Л. Х. Антонова^{1*)}, А. В. Троицкий²⁾, Р.М.Баязитов³⁾, Р.И.Баталов³⁾,
С.Н.Андреев¹⁾

¹⁾ Московский политехнический университет, 107023 Москва, Россия

²⁾ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, 119991
Москва, Россия

³⁾ КФТИ им. Е.К. Завойского, ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия
*e-mail: lpaa117@gmail.com

Мощные импульсные пучки ионов при воздействии на поверхность твердого тела вызывают генерацию ударных волн (УВ). На фронте УВ при их прохождении через материал генерируются различные типы точечных и линейных дефектов. В результате действия ударных волн в некоторых случаях может происходить существенное увеличение критического тока в высокотемпературных сверхпроводниках (ВТСП) [1].

В данной работе было изучено воздействие мощных импульсных ионных пучков (МИП) на критические параметры ВТСП-лент 2-го поколения на основе YBCO (SuperPower, USA) и GdBCO (СуперОкс, Россия) с медной оболочкой и без медной оболочки в широком диапазоне плотностей энергии облучения ($W=0.4-2.6$ Дж/см²). Было показано, что для лент с медной оболочкой происходит незначительное увеличение критического тока как для лент на основе GdBCO, так и для лент на основе YBCO. Дефекты, возникающие при прохождении УВ, могут являться дополнительными центрами пиннинга абрикосовских вихрей, тем самым улучшать критические параметры сверхпроводника.

ЛИТЕРАТУРА

1. G.N. Mikhailova *et al* // Phys. Status Solidi C, 2013, Vol.10, No. 4, P. 689–692.

ВЛИЯНИЕ ФЛЮЕНСА ИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

А.П. Евсеев¹⁾, Е.А. Воробьева¹⁾, А.В. Степанов²⁾,
А.В. Кононина¹⁾, А.В. Назаров¹⁾, Ю.В. Балашкин¹⁾,
А.Е. Иешкин¹⁾, А.А. Шемухин¹⁾

¹⁾ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

²⁾ Чувашский государственный аграрный университет.
Чебоксары, Россия

Недавние исследования показали, что при помощи направленной радиационно-индуцированной инженерии дефектов в углеродных наноматериалах оказывается возможным управлять их свойствами. При ионном облучении на стенках нанотрубок образуются вакансии, а между слоями появляются междоузельные атомы. При сшивке образовавшихся оборванных связей происходит реконструкция вакансий — образуются новые типы дефектов.

В данной работе проведено облучение многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) с различными исходными диаметрами. При помощи метода комбинационного рассеяния света показано, что с увеличением флюенса быстро возрастает количество дефектов и степень аморфизации МУНТ. Показано изменение среднего диаметра МУНТ в зависимости от флюенса облучения, обсуждается изменение характера этой зависимости для исходных нанотрубок различных диаметров. Проведено моделирование распыления нанотрубок, показано, что оценка коэффициента распыления согласуется с экспериментально измеренной динамикой среднего диаметра нанотрубок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 20-72-10118).

А. П. Евсеев является стипендиатом Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС».

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ Ag^+ НА ЭЛЕКТРОННЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ПЛЕНОК CdS Ж.Ш. Содикжанов^{*1}, Б.Е. Умирзаков², З.А. Исаханов¹, А.А. Ахмедов¹¹ИИПИЛТ 100125, Ташкент, Узбекистан;²ТГТУ, Ташкент, Узбекистан,^{*}e-mail: jjisodiqjonov@mail.ru

В настоящей работе изучено влияния бомбардировки ионами Ag^+ на состав, коэффициент преломления света и ширину запрещенной зоны поликристаллической пленки CdS п - типа с толщиной ~ 1 мкм, выращенных на поверхности SnO_2 -стекло, методом термического испарения в вакууме $\sim 10^{-6}$ мм.рт.ст. Ионная бомбардировка и напыление атомов осуществлялись перпендикулярно к поверхности мишени при вакууме не хуже 10^{-6} Па.

Получены зависимости $K(h\nu)$ (K – коэффициент пропускания света) для CdS , бомбардированного ионами Ag^+ с $E_0 = 1$ кэВ разными дозами. В случае чистого CdS зависимость $K(h\nu)$ в интервале $h\nu = 0.6 - 2.2$ эВ практически не меняется, в интервале $2.2 - 2.3$ эВ экспоненциально, а в интервале $2.3 - 2.4$ эВ линейно (резко) уменьшается, приближаясь к нулю. Экстраполяция этой части кривой к оси $h\nu$ равна 2.42 эВ, что дает оценочные значения E_g пленки CdS . С ростом дозы ионов Ag^+ значение K во всей исследуемой области $h\nu$ монотонно уменьшается, E_g заметно не меняется. При низких дозах облучения $D = 5 \cdot 10^{14}$ см⁻² ионы Ag^+ попадают на отдельные участки поверхности. Средние размеры этих участков составляют $\sim 10-15$ нм, а расстояние между центрами соседних участков $\sim 50-60$ нм. В этих участках происходит разложение CdS на составляющие и разупорядочение. По-видимому, из этих участков при $h\nu \geq 0.6$ эВ не проходит свет, следовательно значение K уменьшается. Ионная бомбардировка приводит также к некоторому изменению кристаллической структуры не облученных участков. При $D = 5 \cdot 10^{16}$ см⁻² вся облученная поверхность полностью разупорядочивается, все молекулы CdS в ионно-бомбардированном слое разлагаются. По изменению значения K в зависимости от дозы можно оценить степень покрытия поверхности нанофазами.

RADIATION-INDUCED ELASTIC
AND INELASTIC EFFECTS IN METALSK.M. Mukashev^{*1}, A.D. Muradov¹, F.F. Umarov²,
G.Sh. Yar-Mukhamedova¹¹Kazakh National University after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan²Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan^{*}e-mail: mukashev.kms@gmail.com

In this work we have performed a systematical investigation of energy dependence of the radiation defects distribution profile in three different materials irradiated by high energy protons. As the test objects we used polycrystalline Mo and Ta, and stainless steel-VD 10H18N10T as a foil with a thickness of 100 μm and a diameter of 17 mm each. The initial state of the metals achieved by annealing at $T = 1200^\circ\text{C}$ and for steel the temperature was at 1050°C for 1.5 hours in a vacuum of 10^{-5} Pa. Irradiation was carried out by 30MeV protons flow $1.2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ up to $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ fluence. The main research tool in this case is the electron-positron annihilation (EPA) method. This method is a very sensitive tool to various kinds of damages of crystal structure /1, 2/. It has been shown that in the stainless steel and tantalum, regardless of proton energy, the vacancy complexes similar by configuration appear which are described by the slightly expressed elastic channel. The defects recover in one annealing stage with different migration activation energy. At the same time the molybdenum radiation damageability consists of two components in each of which exists its own mechanism of defects formation. For high energy protons what's important is the inelastic channel of interaction and formation of sub cascades. However, for low energy protons, the processes of elastic interaction with lattice atoms and emergence of atomic hydrogen in the end of the range are important.

REFERENCES

1. Leonard K.J. Comprehensive Nuclear Materials, 2012, Vol.4, PP.181-213.
2. Mukashev K.M., Tronin B.A. and Umarov F.F. Rad. Effects & Defects in Solids, 2009, Vol.164, N10, PP.611-618.

СОЗДАНИЕ НАНОФАЗ НА ПОВЕРХНОСТИ SiO_2 ПРИ
БОМБАДИРОВКЕ ИОНАМИ Ar^+

Д.А. Ташмухамедова, Б.Е. Умирзаков, Ё.С. Эргашов,
М.А. Миржалилова, А.Н. Уроков, Ж.У. Усманов

Ташкентский государственный технический университет
им. Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан
e-mail: ftmet@mail.ru

В работе методом бомбардировки ионами Ar^+ с последующим отжигом на различных глубинах оксида кремния получены нанопазы и нанослои Si. Исследования проводились при комнатной температуре с использованием методов оже-электронной спектроскопии, ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии и измерением интенсивности $I_{\text{отт}}$ проходящего через образец света. Степень разложения SiO_2 на составляющие оценивалась по изменению формы и энергетического положения оже-пика L_{23}VV ($E = 92$ эВ) Si, а концентрация чистого Si, определялась по изменению интенсивности как низкоэнергетического пика (92 эВ), так и высокоэнергетического пика LMM ($E = 1619$ эВ) Si /1/.

Результаты экспериментов показали, что наноструктуры Si в случае аморфных пленок SiO_2/Si , также были аморфными, а в случае монокристаллических образцов SiO_2 – монокристаллическими. При изменении энергии ионов E_0 от 10 до 25 кэВ средняя глубина образования нанопаз Si изменялась в пределах от 15 нм до 25 нм. При этом их ширина запрещенной зоны E_g уменьшается от 1,9 эВ до 1,5 эВ. E_g нанослоев Si составляет $\sim 1,1 - 1,2$ эВ. Установлено, что нанопазы при $D \approx 10^{15} \text{ см}^{-2}$ имеет приблизительно сферическую форму с диаметром $\sim 5 - 6$ нм. При $E_0 = 15$ кэВ среднее расстояние между центрами фаз составляет $\sim 35 - 40$ нм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юсупжанова М.Б., Ташмухамедова Д.А., Умирзаков Б.Е. // Журнал технической физики, 2016, том 86, вып. 4. С. 148 – 150.

ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ И ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ Si (111) ПОД ВЛИЯНИЕМ БОМБАДИРОВКИ ИОНАМИ Ar^+

М.Б. Юсупжоннова, Д.А. Мирзаев, Д.М. Мурадкабилов, Ш.Ш.
Хашимов,
Д.А. Ташмухамедова, Б.Е. Умирзаков

Ташкентский государственный технический университет
им. Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан
e-mail: ftmet@mail.ru

В работе исследовано влияния образования наноразмерных фаз в приповерхностной области монокристаллов Si (111) при бомбардировки ионами аргона на электронные и оптические свойства. В таблице приведены основные параметры энергетических зон и коэффициент прохождения света для $h\nu = 0.4$ и 1.0 эВ. Видно, что после ионной имплантации коэффициент пропускания в области $h\nu \approx 0.8$ эВ уменьшается до 20 – 30 %, уменьшение К происходит сильнее при приближении значения $h\nu$ к E_g .

Значение E_v , E_g , χ и К для Si до и после аморфизации ионной бомбардировкой

Образец	E_v , эВ	E_g , эВ	χ , эВ	Коэффициент пропускания, %	
				$h\nu = 0.8$ эВ	$h\nu = 1.0$ эВ
Si (111)	5.2	1.1	4.1	75	62
$\text{Ar}^+ \rightarrow \text{Si (111)}$	5.0	1.25	3.85	56	27

Определение разупорядоченных слоев в случае материалов одинакового состава является очень трудной задачей современной электронной техники. Для оценки глубины аморфизации слоев Si в данной работе впервые использовался метод исследования зависимости $\eta(\varphi)$ измеренных в различных значениях E_p в интервале 500 – 1500 эВ. При определенных значениях E_p на зависимости $\eta(\varphi)$ появляются особенности. При этом особенность (максимум) в области $\varphi = 0 - 5^\circ$ имеет наибольшую интенсивность. Это связано с тем, что при $\varphi = 0^\circ$ эффективная глубина проникновения первичных электронов ℓ_3 и соответственно глубина выхода НОЭ (d_η) будет наибольшей.

СТРУКТУРА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РАДИАЦИОННО-
СТОЙКИХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Ti-Zr-
Nb-Hf: ЭКСПЕРИМЕНТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

В.В. Углов^{*1,2)}, С.В. Злоцкий¹⁾, И.В. Сафронов¹⁾,
Н.А. Степанюк¹⁾, Д.В. Есипенко¹⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²⁾ НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

^{*}uglov@bsu.by

В настоящее время однофазные высокоэнтропийные сплавы (ВЭС), состоящие из нескольких элементов с высокой концентрацией или близких к эквиаtomному составу, привлекают большое внимание из-за возможности уникальных комбинаций и эффекта сочетаемости различных свойств многокомпонентных сплавов [1]. Среди таких многокомпонентных систем одними из перспективных радиационно-стойких материалов являются сплавы на основе твердых растворов тугоплавких элементов.

В данной работе проведено эволюционное моделирование на основе первопринципных методов расчета с полной структурной оптимизацией для поиска наиболее стабильных структур рассматриваемых сплавов. Показано наличие локального химического упорядочения и сильных искажений в кристаллической решетке сплавов. На основе исходных структур решеток сплавов получены расчетные параметры решетки сплавов NbHf, ZrNbHf и TiZrNbHf, которые удовлетворительно согласуются с экспериментальными результатами.

В работе обсуждается влияние особенностей структуры (локального химического упорядочения и дисторсии решетки) моделируемых твердых растворов на энергетические характеристики радиационных точечных дефектов. Работа выполнена в рамках проекта БРФФИ № T20ПТИ-009 (BITBLR2020019).

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Cantor, I.T.H. Chang, P. Knight et al. // Mater Sci Eng A, 2004, Vol. 375–377, P. 213–218.

ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ
НАНОЧАСТИЦЫ МАГНЕТИТА МОНОХРОМАТИЧЕСКИМ
РЕНТГЕНОВСКИМ ПУЧКОМ

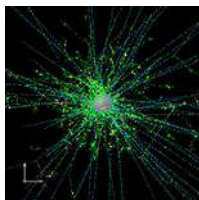
В.В. Сафронов¹⁾, Е.А. Созонтов^{*2)}

¹⁾ Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Москва, Россия

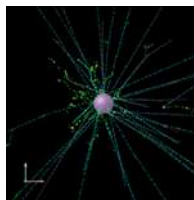
²⁾ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

^{*)} e-mail: esozontov@yahoo.com

Наночастицы магнетита обладают несколькими свойствами, которые делают их полезными для направленной доставки лучевой энергии к раковой опухоли. Такие частицы являются биоразлагаемыми, магнитными и могут испускать вторичное излучение при облучении внешним источником (Рис.1). В этой работе рассчитывается распределение доз вокруг наночастицы магнетита диаметром 10 нм, облучаемой рентгеновским излучением с энергиями в диапазоне 4-60 кэВ.



8 кэВ



14.4 кэВ

Рис.1 Вторичное излучение от частицы магнетита диаметром 10 нм, облучаемой узким пучком фотонов с энергией 8 и 14.4 кэВ. Точки изображают акты привнесения энергии в окружающую частицу среду.

Максимальное увеличение дополнительной дозы наблюдается при энергии первичного пучка приблизительно 8 кэВ. Для этой энергии был рассчитан коэффициент увеличения дозы в зависимости от расстояния до центра частицы. Если считать терапевтически значимым увеличение дозы в два раза, то полезным объемом будет сферическая оболочка толщиной 10 нм, окружающая наночастицу. Поэтому потребуется разработать механизм доставки таких наночастиц в область непосредственной близости к ДНК клетки, т.е. в клеточное ядро, что для частиц такого размера в настоящее время вполне возможно.

ГЕЛИЕВОЕ РАСПУХАНИЕ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ

Т.М. Гладких¹⁾, А.Л. Козловский^{*1,2)}¹⁾ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
Нур-Султан, Казахстан²⁾ Институт ядерной физики МЭ РК, Алматы, Казахстан*e-mail: artem88sddt@mail.ru

В последние годы особый интерес представляют керамические материалы на основе нитридов, которые обладают огромным потенциалом применения в качестве основы конструкционных материалов. При этом большое внимание уделяется процессам изучения радиационных повреждений и механизмов эволюции радиационных дефектов, вызывающих необратимые структурные изменения, снижающие эксплуатационные характеристики материалов.

Целью данной работы является исследование механизмов радиационных повреждений и гелиевого набухания в керамике на основе нитрида алюминия, вызванных облучением низкоэнергетическими ионами He^{2+} . Облучение образцов проводилось на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-60 ионами He^{2+} с энергией 40 кэВ и дозами облучения 1×10^{16} ион/см² – 1×10^{18} ион/см². Выбор доз характерен для формирования больших концентраций дефектов и их эволюции, способной привести к большим разрушающим последствиям.

В ходе проведенных исследований получены зависимости изменения структурных, морфологических и прочностных характеристик от дозы облучения. Установлены критические значения доз облучения ($3\text{--}5 \times 10^{17}$ ион/см²) для которых степень радиационных повреждений резко увеличивается.

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ
ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА NiCoFeCrMn,
ОБЛУЧЕННОГО ИОНАМИ ГЕЛИЯ И КРИПТОНА

В.В. Углов^{*1)}, К. Дзин²⁾, С.В. Злоцкий¹⁾,
И.В. Сафронов¹⁾, Н.А. Степанюк¹⁾, Д.В. Есипенко¹⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²⁾ Пекинский технологический институт, Пекин, Китай

^{*}uglov@bsu.by

Высокоэнтروпийные сплавы NiCoFeCrMn были синтезированы с использованием металлов высокой чистоты ($> 99,9\%$) путем дуговой плавки и капельного литья в медные формы и последующей гомогенизацией при 1200°C в течение 24 часов. В качестве эталонного образца также был синтезирован никель.

Анализ фазового состава необлученных образцов показал, что сплавы представляют собой однофазные твердые растворы с гранецентрированной кубической решеткой. Полученные сплавы крупнозернистые (100-300 мкм).

Обнаружено, что облучение низкоэнергетическими ионами гелия (максимальная концентрация имплантированного гелия – 40-43 ат.%, флюенс $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$) или высокоэнергетическими ионами криптона (энергия 145 МэВ, флюенс $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$) не приводит к радиационной эрозии поверхности и изменению фазового состава высокоэнтропийных сплавов. При этом в никеле уже при максимальной концентрации имплантированного гелия 23,9 ат.% (флюенс $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$) образуются блистеры диаметром 5-7 мкм. Проведенные исследования по облучению высокоэнтропийных сплавов, содержащих имплантированный гелий с максимальной концентрацией 40-43 ат.%, высокоэнергетическими ионами криптона показали высокую стойкость поверхности сплавов к радиационной эрозии, а также стабильность многокомпонентного твердого раствора.

О МОДЕЛИРОВАНИИ ДИФФУЗИИ, ОБУСЛОВЛЕННОЙ
ШИРОКИМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ В ОДНОРОДНЫХ И
МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МИШЕНЯХ

М.А. Степович¹⁾, В.В. Калманович¹⁾, Е.В. Серегина²⁾, Д.В. Туртин³⁾

¹⁾Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,
Калуга, Россия

²⁾Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет),
Калужский филиал,
Калуга, Россия

³⁾Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова,
Ивановский филиал, Иваново, Россия

Рассмотрены некоторые возможности математического моделирования процессов, описывающих взаимодействие широких электронных пучков с однородными и многослойными планарными полупроводниковыми объектами. Рассмотрение проведено как для классических математических моделей, так и для новых, полученных нами, математических моделей и способов решения и исследования соответствующих дифференциальных уравнений. Для широких электронных пучков (диаметр пучка много больше диффузионной длины неравновесных неосновных носителей заряда (ННЗ)), падающих перпендикулярно поверхности мишеней, решались одномерные задачи диффузии. Рассмотрение таких задач актуально как для однородных толстых (с математической точки зрения полубесконечных) полупроводников, так и для планарных полупроводниковых структур конечной толщины, широко используемых на практике для создания различных структур опто-, микро-, наноэлектроники и СВЧ-техники.

Исследования проведены при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-03-00271), а также РФФИ и правительства Калужской области (проект № 18-41-400001).

ТРЕХЭЛЕКТРОДНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ
ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК РЕНТГЕНОВСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ

А.В. Щагин^{1,2)}, О.О. Иващук^{2,3)}, А.С. Кубанкин^{2,3)},
М.Э. Гильц²⁾, А.Н. Олейник⁴⁾

¹⁾ ХФТИ, Харьков, Украина

²⁾ БелГУ, Белгород, Россия

³⁾ ФИАН имени П.Н. Лебедева, РАН, Москва, Россия

⁴⁾ Колледж Ройял Холлоуэй, Лондонский университет, Эгам
(Великобритания, г. Лондон)

*) ooleg.ivashuk@gmail.com

В работе [1] впервые наблюдалась импульсная генерация рентгеновского излучения при работе пирозлектрического ускорителя в вакууме. Пирозлектрический источник был оснащен дополнительным эмиттером электронов в виде нити накаливания. Разрядка положительно заряженной поверхности пирокристалла после его предварительного нагрева в вакууме происходила в течение нескольких секунд, что сопровождалось интенсивной генерацией рентгеновского излучения. В настоящей работе предложена трехэлектродная конфигурация исполнения пирозлектрического ускорителя с дополнительным сеточным электродом расположенном между пирозлектрическим кристаллом и эмиттером электронов. Таким образом становится возможным контролирование продолжительности генерации и величины потока рентгеновского излучения в импульсном пироисточнике. Обсуждаются результаты экспериментальных исследований и перспективы дальнейшего развития направления миниатюрных источников. Работа выполнена при финансовой поддержке конкурсной части госзадания по созданию и развитию лабораторий, проект № FZWG-2020-0032 (2019-1569).

ЛИТЕРАТУРА

[1] O. O. Ivashchuk, A. V. Shchagin, A. S. Kubankin et.al. Pyroelectric accelerator and X-ray source in pulsed mode // JINST. 2020. V. 15. P. C02002.

ИСТОЧНИК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАЖИГАЛКИ

А.В. Щагин^{1, 2)}, О.О. Иващук^{2, 3, *)}, А.С. Кубанкин^{2, 3)},
М.Э. Гильц²⁾, А.А. Кленин²⁾, А.Н. Олейник^{2, 4)}, Е.В. Болотов²⁾

¹⁾ ХФТИ, Харьков, Украина

²⁾ БелГУ, Белгород, Россия

³⁾ ФИАН имени П.Н. Лебедева, РАН, Москва, Россия

⁴⁾ Колледж Ройял Холлоуэй, Лондонский университет, Эгам
(Великобритания, г. Лондон)

^{*)} ooleg.ivashuk@gmail.com

Деформация пьезоэлектрического образца приводит к образованию электрического поля между его поверхностными слоями. В таком поле заряженные частицы испытывают сильное ускорение. При их взаимодействии с атомами мишени становится возможной генерация рентгеновского излучения с граничной энергией до 60 кэВ [1].

В настоящей работе демонстрируется возможность генерации рентгеновского излучения до энергий порядка 14 кэВ при работе пьезоэлектрической зажигалки в вакууме [2]. В такой конструкции используются два пьезоэлектрических образца. Высокий потенциал порядка 14 кВ образуется на центральном электроде между пьезоэлектриками. Для обеспечения интенсивного потока рентгеновского излучения в работе впервые использовался дополнительный эмиттер электронов.

Обсуждается перспективы создания миниатюрного управляемого пьезоэлектрического генератора. Работа выполнена при финансовой поддержке конкурсной части госзадания по созданию и развитию лабораторий, проект № FZWG-2020-0032 (2019-1569).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ivashchuk O. O., Shchagin A. V., Kubankin A. S. et al. Piezoelectric Accelerator // Scientific Reports. 2018. V. 8. P. 816488.
2. Ivashchuk O. O., Shchagin A. V., Kubankin A. S. et al. X-Ray Generation during Piezoelectric Lighter Operation in Vacuum // Glass and Ceramics. 2021. V.12. P. 34-38.

УПРАВЛЯЕМЫЙ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДЕФЛЕКТОР ПУЧКА
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

А.В. Шагин^{1, 2)}, О.О. Иващук^{2, 3)}, А.С. Кубанкин^{2, 3)},
М.Э. Гильц^{2, *)}, И.А. Кишин^{2, 3)}, А.Н. Олейник^{2, 4)}

¹⁾ ХФТИ, Харьков, Украина

²⁾ БелГУ, Белгород, Россия

³⁾ ФИАН имени П.Н. Лебедева, РАН, Москва, Россия

⁴⁾ Колледж Ройял Холлоуэй, Лондонский университет, Эгам
(Великобритания, г. Лондон)

*) mk-gilts97@mail.ru

При одновременном нагреве двух пирозлектрических кристаллов в вакууме между их разноименно заряженными поверхностями образуется сильное электрическое поле [1]. В таком электрическом поле становится возможным отклонение пучка нерелятивистских электронов с энергией 30 кэВ [2].

В настоящей работе демонстрируется возможность применения, изготовленного на базе двухкристальной схемы, пирозлектрического дефлектора для отклонения релятивистского пучка электронов с энергией 7 МэВ. Также приводятся зависимости величины напряженности электрического поля, генерирующегося в пирозлектрическом дефлекторе в вакууме от температуры пирозлектрика и давления остаточного газа.

Результаты проведенных исследований позволяют говорить о перспективах создания управляемого пирозлектрического дефлектора, применимого в ускорительной технике. Работа выполнена при финансовой поддержке конкурсной части госзадания по созданию и развитию лабораторий, проект № FZWG-2020-0032 (2019-1569).

ЛИТЕРАТУРА

1. Jeffrey Geuther, Yaron Danon, and Frank Saglime, Nuclear Reactions Induced by a Pyroelectric Accelerator, PRL. 96, 054803 (2006).
2. A.N. Oleinik, A.S. Kubankin, R.M. Nazhmudinov, K.A. Vokhmyanina, A.V. Shchagin and P.V. Karataevd, Pyroelectric deflector of charged particle beam, J. Inst. 11 P08007. 2016.

