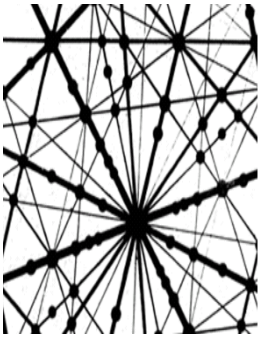
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ
ФИЗИКИ имени Д.В. СКОБЕЛЬЦЫНА

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

(Москва 27 – 29 мая 2025)



Москва 2025

УДК 539.1.01.08
ББК 22.37.
Т30

Под общей редакцией проф. Н.Г. Чеченина

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

Т30 **Тезисы докладов 54-й международной Тулиновской конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами** / Под ред. проф. Н.Г. Чеченина — 200 с

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

ПРОГРАММА 54-й МЕЖДУНАРОДНОЙ ТУЛИНОВСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО ФИЗИКЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С КРИСТАЛЛАМИ.

1-й день, вторник 27 мая

9^{00}-10^{00} Регистрация

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

Секция I

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

Председатель **Н.Г. Чеченин**

1-й день, вторник 27 мая

Секция II

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

1-е заседание, 11^{20}-12^{50}

Председатели **Черныш В.С., Зиновьев А.Н.**

12^{55}-13^{15} *Общее фотографирование*

13^{15}-14^{15} *Перерыв на обед*

2-е заседание, 14^{15} -16^{15}

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

16^{15}-16^{30} *Перерыв*

16^{30}-18^{00} Обсуждение стендовых докладов

Стендовые доклады секции «Взаимодействие ионов с поверхностью и наноструктурами (рассеяние, распыление, наноструктурирование и эмиссия вторичных частиц)»

Председатель **А.П. Евсеев**

18^{30}-21^{00} Конференционный ужин

2-й день, среда 28 мая

Секция III

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

10^{00}-11^{45}, 1-е заседание

Председатели **Кузнецов А.А., В.С. Малышевский**

11^{45}-12^{00} *Перерыв*

Секция IV

МОДИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ИОННЫМИ И ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ

12^{00}-13^{15}, 1-е заседание

Председатели: **Попов В.П., Назаров А.В.**

13^{15}-14^{15} *Перерыв на обед*

14^{15}-15^{30}, 2-е заседание

Председатели **П.А. Карасев, И.И. Ташлыкова-Бушкевич**

15^{30}-15^{45} *Перерыв*

15^{45}-17^{00}, 3-е заседание

Председатели Н.Г. Чеченин, Овчинников М.А.

17^{00}-19^{00} Обсуждение стендовых докладов

Стендовые доклады «Модификация и анализ приповерхностных слоев ионными и электронными пучками» и «Ориентационные и релятивистские эффекты, потери энергии, изменение зарядового состояния частиц»

Стендовые доклады

Председатель **А.П. Евсеев**

3-й день, четверг, 29 мая

Секция IV

МОДИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ИОННЫМИ И ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ

10^{00}-12^{00}, 4-е заседание

Председатели **В.С. Ковивчак, Ю.В. Балакшин**

12^{00}-13^{15} Заключительная дискуссия

13^{15}-13^{30} Объявление победителей конкурса молодых ученых

13^{30} Заключительное слово

Секция I

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

ИМИТАЦИЯ РЕАКТОРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ИОННЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ

Андрианова Н.Н.[1,2], Борисов А.М.[1,2*], Овчинников М.А.[1]
[1)]НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
[2)]МАИ (НИУ), Москва, Россия
[*]e-mail: anatoly_borisov@mail.ru

Имитацию нейтронного облучения материалов в реакторах путем облучения ионными пучками, позволяющими эффективно генерировать высокие уровни радиационных повреждений, проводят различными ионами с энергиями от десятков кэВ до нескольких МэВ. Часто используют так называемое самооблучение (self-irradiation) ионами атомов облучаемого материала. Для сопоставления данных ионного и нейтронного облучения используют универсальную дозовую характеристику радиационных повреждений в числе смещений на атом, СНА, которое для проектируемых реакторов может достигать сотен единиц [1]. Ионные пучки изотопов водорода и гелия используют также для испытаний обращенных к плазме материалов в термоядерных установках.

В докладе наряду с обзором достижений и проблем имитации реакторного облучения материалов ионными пучками рассматриваются результаты [2,3] воздействия пучков ионов C^+, He^+ и др. с энергиями 10 – 30 кэВ масс-монохроматора НИИЯФ МГУ [4,5] на морфологию и структуру перспективных углеродных материалов.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Was G.S., Jiao Z., Getto E., et al. Emulation of reactor irradiation damage using ion beams // Scripta Materialia 88 (2014) 33–36
2. Андрианова Н.Н., Борисов А.М., Овчинников М.А. и др. // Изв. РАН. Сер. физич. 2024. Т. 88. С. 577
3. Андрианова Н.Н., Борисов А.М., Воробьева Е.А. и др. // Ядерная физика и инжиниринг. 2025.Т.16.С. 19.
4. Mashkova E.S., Molchanov V.A. Medium-Energy Ion Reflection from Solids. Amsterdam: North-Holland, 1985. 444 p.
5. http://beam.sinp.msu.ru/

ГЕНЕРАЦИЯ NV^- ЦЕНТРОВ В НАНОСТРУКТУРАХ АЛМАЗА: ФЛ, ОДМР И КОГЕРЕНТНОСТЬ СПИНОВ

В.П. Попов[1,*)], С. Н. Подлесный[1)], И. А. Карташов[1)],
В.А. Антонов[1)], Ю.А. Живодков[1)], В.А. Володин[1)],
И.Н. Куприянов[2)], Ю.Н. Пальянов[2,*)]
[1)] ИФП СО РАН им. А.В. Ржанова, Новосибирск, Россия
[2)] ИГМ СО РАН им. В.С. Соболева, Новосибирск, Россия
[*)] e-mail: popov@isp.nsc.ru; palyanov@igm.ru

Формирование, фотолюминесценция (ФЛ) и оптически детектируемый магнитный резонанс (ОДМР) заряженных азотно-вакансионных центров (NV^-) (0,5-1,0 ppm) в алмазных 300 нм слоях и наностолбах с размерами 50-250 нм важны для квантовых вычислений и сенсоров. Наноструктуры создавались на (001) и (111) поверхности CVD и HPHT алмазных пластин Ib и IIa типов с NV-центрами после облучения e- или N^+ и отжига, с последующим структурированием фокусированным ионным пучком (ФИП) ионов Ga^+ с энергией 30 кэВ [1]. ФЛ (> 680 нм) и ОДМР микрокарты с разрешением < 1 мкм показали особенности ФЛ дефектов и ОДМР NV-центров в наноструктурах после HPHT отжигов. Обнаружены немонотонные изменения как интенсивностей ФЛ, так и ОДМР контраста NV-центров после химического травления из-за остаточных дефектов и напряжений, создаваемых ионами Ga^+ при ФИП обработках.

Содержание атомов Ga достигает 40-50% после ФИП [1]. Следы слоя a-C:Ga оставались и после химического травления на поверхности наноструктур по данным КРС и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Явная антикорреляция нитенсивностей ФЛ и ОДМР сигналов обсуждается в рамках вклада ФИП дефектов и напряжений в интенсивность ФЛ, изменение ОДМР контраста и времен когерентности спинов ансамблей NV^-центров наностолбов после химического вытравливания нарушенного слоя при разных величинах постоянного и микроволнового магнитных полей. Работа поддержана ГЗ № FWGW-2025-0010 Минобрнауки РФ.

[1] Gnaser H., Rauscher B., Borodyansky A. Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B, 266, p. 1666, 2008.

Секция II

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

ТЕОРИЯ РАСПЫЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ЛЕГКИМИ АТОМАМИ

А.Н. Зиновьев*), П.Ю. Бабенко, В.С. Михайлов, А.В. Смаев
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
*) e-mail: zinoviev@inprof.ioffe.ru

Показано, что в случае распыления материалов легкими атомами доминирует механизм распыления приповерхностных слоев потоком обратно рассеянных частиц. В этом случае зависимость коэффициента распыления Y от энергии соударения может быть рассчитана по формуле:

$$Y(E_0) = n_t \cdot R_N(E_0) \cdot \frac{\int_{E_{th}}^{E_0} \sigma(U_s, E_1)\lambda\big(\varepsilon(E_1)\big)\frac{dN}{dE}(E_1)dE_1}{\int_0^{E_0} \frac{dN}{dE}(E_1)dE_1}$$

n_t – плотность мишени, R_N - коэффициент отражения, $\sigma(U_s, E_1)$ – сечение образования частиц отдачи с энергией больше энергии сублимации U_s при энергии налетающей частицы E_1, E_{th} – порог распыления, $\lambda(\varepsilon(E_1))$ – средний пробег выбитых частиц в веществе при энергии налетающей частицы E_1, $dN/dE(E_1)$ – энергетический частиц обратно рассеянных частиц.

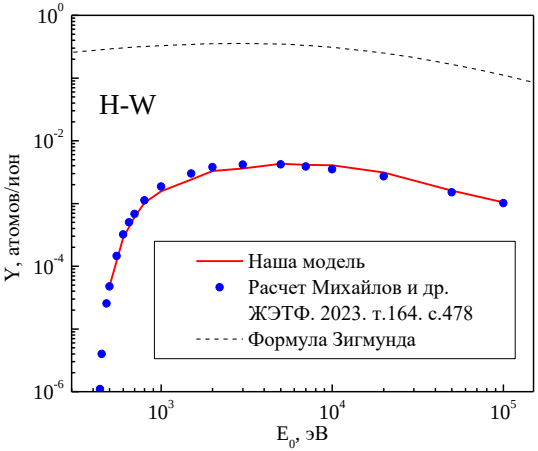


Рис.1. Зависимость коэффициента распыления Y от энергии соударения.

Предложенная модель хорошо согласуется с результатами компьютерного моделирования. Учет энергетического спектра обратно рассеянных частиц позволяет хорошо описать поведение кривой в припороговой области в отличие от теории Зигмунда.

МОДЕЛЬ КУВАКИНА СФЕРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛЬНОГО БАРЬЕРА С ПРЕЛОМЛЕНИЕМ В ЗАДАЧЕ РАСПЫЛЕНИЯ (001) Au

А.И. Мусин[1)], В.Н. Самойлов[2)], П.В. Аристархов[3)],
Е.Е. Карпова[3)]
[1)]Вятский государственный университет, Киров, Россия
[2)]МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[3)]МГТУ “СТАНКИН”, Москва, Россия

М.В. Кувакин впервые предложил рассмотреть сферический потенциальный барьер с преломлением [1]. Кривизна этого барьера $\gamma = \alpha/R$, где R – радиус сферы, α – расстояние от полюса сферы до поверхности мишени. Этот барьер позволяет более точно аппроксимировать экспериментальные спектры распыленных атомов при ионной бомбардировке поверхности поликристаллов.

Для выяснения того, как параметр $0 \le \gamma \le 1$ влияет на формирование максимумов углового распределения атомов (пятен Венера) при распылении грани (001) монокристалла, мы использовали модель 21 атома поверхности, подобную [2]. Были построены расчетные угловые распределения распыленных атомов для 5 значений γ: 0, ¼, ½, ¾, 1.

Для (001) Au в азимутальном направлении <010> максимум наблюдается для значений полярного угла 50.9°, 48.9°, 46.4°, 42.7°, 34.2° соответственно. Направление по полярному углу на пятно Венера монотонно сдвигается в сторону нормали к поверхности.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысоко-производительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кувакин М.В. и др. // Письма в ЖТФ, 1979, Т. 5, № 19, с. 1200-1203.
2. Самойлов В.Н., Мусин А.И. // Изв. РАН. Сер. физ., 2018, Т. 82, № 2, с. 171-176.
3. Vl. Voevodin et al. // Supercomp. Front. Innov., 2019, V. 6, No. 2, p. 4-11.

ИОНИЗАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЛАЗМЕННОГО РАЗРЯДА

А.И. Кудюкин[1,*)], Е.Н. Моос[1)], В.А. Степанов[1)], К.И. Бобровский[2)]
[1)] Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, Рязань, Россия
[2)] ООО «Вакуумные технологии», Рязань, Россия
[*)] e-mail: a.kudykin@rsu-rzn.ru

Взаимодействие электродов с плазмой, приводят к необратимым изменениям состояния их поверхности. При изучении эволюции состояния катодов на основе оксида алюминия с добавками атомов магния гелий-неоновых лазеров (система Al - Mg) [1], исследованиях поверхности электродов магнитоуправляемых контактов (система Fe - Ni) [2], электродов вакуумных дуговых прерывателей (система Cu - Cr) [3] остаются невыясненными причины их эрозии. Перечисленные выше вопросы входят в круг известных проблем, связанных с взаимодействием ионно-плазменных потоков с поверхностью.

В работе представлены результаты исследования эволюции поверхности катодов в газовом разряде He-Ne лазеров и изменений морфологии и состава двухкомпонентных электродов при развитии вакуумного дугового разряда.

Изучение этих процессов требует применения комплекса методов микрозондового анализа: рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, электронного сканирующего микрозондового анализа (в послойного и растровом режиме), а также атомно-силовой микроскопии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ерошкин М.В., Моос Е.Н., Киселев Г.В. //Изв. РАН. сер. физ. 2014, №78. С.686.
2. Арушанов К. А., Зельцер И. А., Карабанов С. М. и др. //Изв. РАН. сер. физ. 2012, №76. С. 750.
3. Kudyukin A.I., Moos E.N., Rott A.T. et al. In Proceeding 11-th International Vacuum Electron Sources Conference, Korea, Seoul, 2016. P.41.

МЕХАНИЗМЫ МОДИФИКАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК ИОНАМИ Ar^+ И O_2^+

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

Для создания элементов наноэлектроники необходим прецизионный контроль степени обработки материалов на уровне отдельных атомных слоев. Подобная точность может быть обеспечена с помощью атомно-слоевого травления (ALE) – метода, в основе которого лежат последовательные самоограниченные реакции [1]. В настоящее время особый интерес вызывает плазменно-стимулированное ALE, когда за счет ионов низкой энергии реализуется анизотропное травление.

В ALE можно выделить два основных этапа: создание модифицированного слоя и его последующее удаление. Как показали проводимые в НИИЯФ МГУ экспериментальные исследования процессов ALE в диоксиде кремния [2], модификация ультратонкого поверхностного слоя SiO_2 происходит благодаря воздействию ионов Ar^+ низкой энергии на CF_x-пленку толщиной 1–2 нм, образующуюся на поверхности SiO_2 под действием фторуглеродной плазмы. С целью исследования влияния таких пленок на процессы ALE в данной работе выполнено моделирование методом теории функционала плотности воздействия ионов Ar^+ и молекулярных ионов O_2^+ низкой (от 15 до 50 эВ) энергии на молекулы C_nF_{2n+2} и C_4F_8. Полученные результаты позволили выявить основные механизмы модификации и разрушения таких пленок.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-91-06004.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kanarik K. J. et al. // JVST A. 2015, 33, 020802.
2. Shibanov D. R. et al. // GDPA-2023: Abstracts of 16th International Conference, Russia, 2023. P. 109.

РЕЗОНАНСНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ОБМЕН ПРИ РАССЕЯНИИ ЩЕЛОЧНЫХ ИОНОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ: ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ГАМИЛЬТОНИАНА АНДЕРСОНА-НЬЮНСА

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

Процесс отрицательной ионизации водорода на поверхностях с низкой работой выхода играет важную роль для создания высокоэффективных источников отрицательных ионных пучков, используемых в ускорителях, масс-спектрометрии, термоядерных установках и других высокотехнологичных областях /1/. Повышение эффективности ионных источников требует углубленного понимания механизмов резонансного электронного обмена. В рамках данного исследования рассматривалась задача электронного обмена между атомной частицей H^- и цезированной поверхностью W(110). Процесс описывался с помощью теории Андерсона-Ньюна, которая позволяет учитывать динамику гибридизации электронных состояний адсорбата и поверхности /2/3/. В результате была выявлена зависимость отрицательной ионизации от параллельной скорости атомной частицы и от работы выхода. В частности, вероятность отрицательной ионизации водорода возрастает при наличии параллельной компоненты скорости частицы. Кроме того, конфигурация источника с косым углом вылета частиц повышает эффективность генерации ионов за счет активации параллельной скорости.

ЛИТЕРАТУРА

1.Bacal M., Wada M.//Plasma Sources Science and Technology, 2020, 29, №. 6, 033001.

1.Marston J. B. et al. //Physical Review B., 1993, 48, №. 11, 7809.

1.Gainullin I. K., Dudnikov V. G.//Plasma Research Express., 2020, 2, №. 4, 045007.

НОВАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТАТОРМОЗНОЙ СПОСОБНОСТИ ВЕЩЕСТВА ДЛЯ ПУЧКА ИОНОВ СРЕДНИХ И НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ

Н.Н. Михеев

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

Разработана принципиально новая методика расчета важнейшего в практических приложениях теории взаимодействия заряженных частиц с веществом параметра – тормозной способности вещества ***S***. В отличие от традиционного подхода, основанного на применении аддитивного правила Брэгга, в новой методике последовательно реализован учет вкладов в величину ***S*** каждой группы одинаковых атомов, входящих в состав образца элементов. Решение прямой задачи по расчету искомой величины ***S*** образца заданного элементного состава сводится к определению вклада каждой группы элементов с последующим суммированием рассчитанных составляющих, как это представлено на рис. 1 для паров воды. Проведена апробация разработанного алгоритма новой методики для трех соединений: воды (жидкости и пара), фтористого лития и корунда. Установлено хорошее соответствие рассчитанных по новой методике значений ***S*** с имеющимися в научных публикациях экспериментальными данными измерений этой величины.

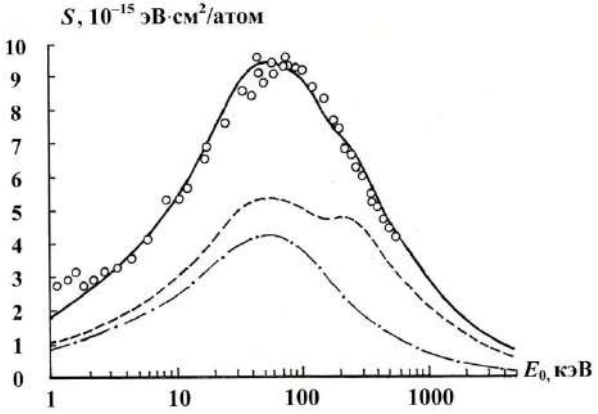


Рис. 1. Тормозная способность паров воды для пучка протонов: пунктирная линия – рассчитанный вклад атомов кислорода; штрихпунктирная линия – рассчитанный вклад атомов водорода; сплошная линия – сумма этих вкладов; ○ – экспериментальные значения ***S*** из компиляции Х. Пауля.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ, ОСАЖДЕННЫХ ИЗ УСКОРЕННЫХ ИОНОВ ТРИФТОРМЕТИЛФУЛЛЕРЕНА

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

Сверхтвердые покрытия, осажденные из ускоренных ионов C_{60}, обладают рядом уникальных свойств (биосовместимость и гидрофобность, низкий коэффициент трения и малый износ) /1/. Замена ионов C_{60} ионами $C_{60}(CF_3)_{12}$ модифицирует химические связи в покрытии, что в значительной мере влияет на его свойства /2/. Следует отметить, что при энергии ионов 5 кэВ, в покрытии содержится около 4 % ат. фтора, хотя содержание его в молекуле $C_{60}(CF_3)_{12}$ более 33% ат. Авторы /2/ считают, что потери фтора могут сильно коррелировать с энергией ионов. Для выявления этих корреляций нами получены покрытия при энергии ионов трифторметилфуллерена 3 и 7 кэВ.

Осаждение покрытий производилось по методике, описанной в /2/ с использованием ионного источника с седловидным электрическим полем. На электроды источника подавалось ускоряющее напряжение 4 и 8 кВ. Для осаждения покрытий формировались два противоположно направленных пучка ионов. Один из них проходил через масс-спектрометр. Осаждение происходило при комнатной температуре подложек в вакууме не хуже $5 \cdot 10^{-5}$ Па. Состав покрытий и структура химических связей определялись методами РФЭС. Определены механические свойства, характеристики смачивания и трибология покрытий.

Исследование выполнено частично в рамках госзадания ФИЦ ПХФ и МХ РАН (№ государственной регистрации 124013000692-4) и госзадания ИМЕТ РАН (№ 075-00319-25-00).

ЛИТЕРАТУРА

1. O.V Penkov. V.E. Pukha, S.L. Starikova, M. Khadem, V.V. Starikov, M.V. Maleev, D.E. Kim//Biomaterials, 2016,102, 130-136.

2. В.Е. Пуха, А.А. Бельмесов, Е.Н. Кабачков, Г.В. Нечаев, И.Н. Лукина, Е.И. Дроздова, О.П. Черногорова // Поверхность. рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования 2024, № 6, с. 70–79.

ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОГО СЛОЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ КРЕМНИЯ ИОНАМИ C_{60}

Д.А. Стрижкин[1)], К.П. Карасев[1,2)], П.А. Карасев[1,*)],
А.И. Титов[1)], А.Л. Шахмин[1)], Е.Д. Федоренко[1)]
[1)] Политехнический ун-т Петра Великого, СПб, Россия
[2)] Академический ун-т им. Ж.И. Алфёрова, СПб, Россия
[*)] e-mail: platon.karaseov@spbstu.ru

Одним из способов формирования углеродных пленок на поверхности различных подложек является облучение ускоренными ионами фуллерена C_{60}. Отдельный интерес представляет переходный слой, образующийся на ранних стадиях (при малых дозах) облучения. Для изучения происходящих изменений свойств поверхности и получаемых структур удобно использовать сравнение результатов экспериментальных исследований и молекулярно-динамического (МД) моделирования.

Выполнено экспериментальное облучению кремниевой подложки ионами C_{60} с энергиями 7-8 кэВ при T=300 и 523 К. Изучено изменение шероховатости поверхности методом атомно-силовой микроскопии (АСМ), анализ состава методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Обнаружено что шероховатость меняется незначительно, в приповерхностном слое образуется карбид кремния.

Выполнено МД моделирование кумулятивного облучения поверхности кремниевой подложки. После каждого падения молекулы фуллерена состояние мишени сохранялось и использовалось для последующего падения. Из полученных данных определены параметры получаемых структур, в частности, их состав, плотность и шероховатость поверхности. В докладе будет представлено сравнение результатов эксперимента с результатами МД-моделирования.

МД МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КЛАСТЕРНЫХ ИОНОВ АРГОНА С МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМ КРЕМНИЕМ И ГЕРМАНИЕМ

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

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

Воздействие отдельного кластерного иона представляет фундаментальный интерес для понимания механизмов и процессов сглаживания, травления, распыления, образования кратеров и наноструктур [1, 2]. Воздействие кластерного иона на мишень существенно отличается от воздействия мономерного иона из-за высокой плотности энергии при взаимодействии кластера с твердым телом [3, 4].

В данной работе моделированием молекулярной динамики (МД) получены результаты воздействия кластерных ионов аргона на поверхности монокристаллических кремния и германия. Средний размер кластеров составляет 923 атомов/кластер. Угол падения кластеров варьировался от 0° до 75°. Определены особенности формирования ударных кратеров и аморфного слоя при разных углах падения кластеров. Оценены коэффициенты распыления мишени.

Исследование выполнено за счет гранта РНФ №23-79-10061 (https://rscf.ru/project/23-79-10061/) с использованием оборудования ЦКП “Прикладная физика” НГУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. V.N. Popok, I. Barke, E.E.B. Campbell, K.H. Meiwes-Broer // Surface Science Reports, 2011, Vol. 66, P. 347–377.

2. А.Е. Иешкин, А.Б. Толстогузов, Н.Г. Коробейщиков, В.О. Пеленович, В.С. Черныш // Успехи физических наук, 2022, Т. 192, № 7, с. 722.

3. I. Yamada et al. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B, 2000, Vol. 164–165, P. 944–959

4. L.P. Allen et al. // Journal of Applied Physics, 2002, Vol. 92, P. 3671–3678.

НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ГЕРМАНИЯ КЛАСТЕРАМИ АРГОНА

Н.Г. Коробейщиков[1,*)], И.В. Николаев[1)], М.В. Яковлева[1)]
[1)] Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
[*)] e-mail: korobei@nsu.ru

Самоорганизованное наноструктурирование поверхности различных материалов с использованием пучков ионов благородных газов является объектом подробных исследований в последние десятилетия. Выявлены основные физические процессы формирования наноструктур в различных условиях, предложены теоретические модели для описания наблюдаемых явлений [1]. Газоструйные ионно-кластерные пучки обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с традиционными атомарными пучками. Однако, формирование наноструктур такими пучками исследовано явно недостаточно [2].

В докладе приведены результаты по обработке поверхности монокристаллического Ge [100] пучком кластерных ионов аргона со средним размером 1000 атомов/кластер при наклонном угле падения на мишень 60˚. Для диагностики сформированных наноструктур использовались атомно-силовая микроскопия и спектроскопия комбинационного рассеяния. Выявлены особенности геометрических параметров (амплитуда и длина волны) [3] и внутренней структуры на различных этапах формирования наноструктур.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Cuerno, J.-S. Kim // J. Appl. Phys., 2020, Vol.128, 180902.

2. А.Е. Иешкин, А.Б. Толстогузов, Н.Г. Коробейщиков, В.О. Пеленович, В.С. Черныш // Успехи физических наук, 2022, Т. 192, № 7, с. 722.

3. N.G. Korobeishchikov, I.V. Nikolaev, A.V. Lapega // Materials Letters, 2024, Vol. 368. 136710.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ОБЛУЧЕНИЯ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ БЫСТРЫМИ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

М.А. Землякова[1,2,*)], Р.А. Рымжанов[1,3)], В.А. Скуратов[1,2,4)]
[1)] Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия
[2)] Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия
[3)] Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан
[4)] Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Москва, Россия
[*)] e-mail: zemliakova@jinr.ru

В работе было выполнено мультимасштабное моделирование радиационных эффектов быстрых тяжёлых ионов (БТИ, E>1МэВ/нукл, m>4m_p) в AlN: для описания влияния ионов и последующей электронной кинетики трека был использован Монте-Карло код TREKIS /1/, а для моделирования релаксации ионной подсистемы применялись методы молекулярной динамики.

Нитрид алюминия был облучён ионами Ar, Xe и Bi с энергиями 100, 158 и 700 МэВ соответственно. Моделирование показало, что в массивных образцах формирования треков после облучения не происходит, в то время как на поверхности при облучении 700 МэВ Bi образуются наноструктуры, а в приповерхностной области - пустоты (Рис.1).

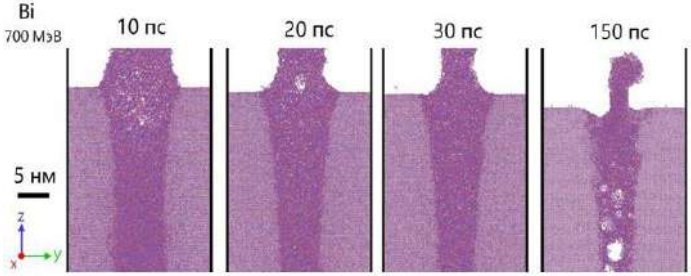


Рисунок 1. Состояние решетки AlN после пролёта иона Bi (700 МэВ), в моменты времени 10, 20, 30 и 150 пс. соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. N. A. Medvedev et al., //, J. Phys. D. Appl. Phys., 2015, v. 48, n. 35, 355303

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЛАПСА ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ДИЭЛЕКТРИКОВ В ТРЕКАХ БЫСТРЫХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

Р.А. Воронков[1,*)], Д.И. Зайнутдинов[1)], Н.А. Медведев[2,3)], А.Е. Волков[1,4)]
[1)] Физический Институт Академии Наук, Москва, Россия
[2)] Институт Физики, Прага, Чехия
[3)] Институт Физики Плазмы, Прага, Чехия
[4)] Национальный Исследовательский Центр Курчатовский Институт, Москва, Россия
[*)] e-mail: roman.a.voronkov@gmail.com

Облучение диэлектриков быстрыми тяжелыми ионами (БТИ) изначально приводит к экстремальному возбуждению электронной подсистемы мишени. При моделировании формирования конечных повреждений, помимо рассеяния возбужденных электронов на решетке, необходимо учитывать энергию, запасенную в валентных дырках мишени /1/. В оригинальной Монте-Карло модели TREKIS эта энергия передается за счет коллапса запрещенной зоны, вызываемого движением атомов в изменённом возбуждёнными электронами межатомном потенциале /2/. Однако, в деталях кинетика этого коллапса в условиях возбуждения атомной и электронной систем материала, соответствующего трекам БТИ, ранее не рассматривалась.

Мы использовали теорию функционала плотности в комбинации с начальными данными из TREKIS для описания процесса коллапса запрещенной зоны и сопутствующих ему эффектов в треках БТИ в диэлектриках.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. A. Rymzhanov, N. A. Medvedev, and A. E. Volkov, // Nucl. Instruments Methods Phys. Res. B, 2015, 365, 462.

2. N. Medvedev, F. Akhmetov, R. A. Rymzhanov, R. Voronkov, and A. E. Volkov, // Adv. Theory Simulations, 2022, 5, 2200091

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫМИ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕКОВ В ТОНКИХ SiC ПЛЕНКАХ

Д.И. Зайнутдинов[1,2,*)], А.Е. Волков[1, 2)]
[1)]ФИАН имени П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия
[2)]НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия
[*)] e-mail: d.zaynutdinov@lebedev.ru

Изучено влияние температуры облучения на формирование треков быстрых тяжёлых ионов в тонких SiC плёнках. В расчётах использована версия гибридной модели на основе кода TREKIS-3 /1/, учитывающая электронную эмиссию с поверхности образца. На примере плёнки толщиной 100 Å, облучаемой ионами Bi 710 MeV, показано, что повышение температуры облучения выше ~1000 К приводит к изменению геометрии как возникающих на поверхности наноструктур (переходу от бугорков к кратерам), так и в толще плёнки (пористость, сменяемая тонкой перемычкой). Результаты могут быть использованы для желаемой модификации SiC пленок.

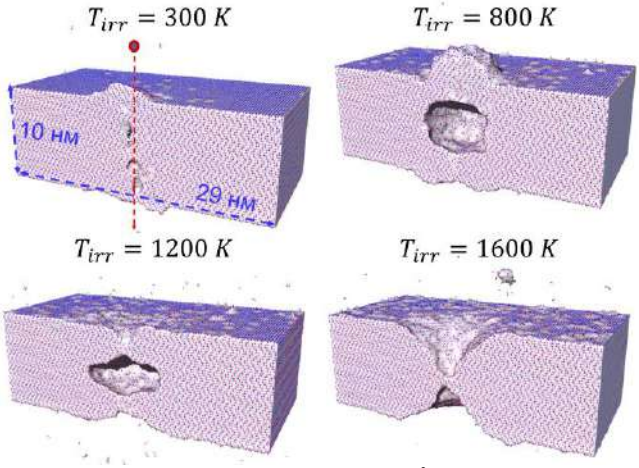


Рис.1 Срез поверхности SiC-пленки толщиной 100 Å вдоль траектории иона Bi 710 МэВ через 200 пс после облучения при различных температурах.

ЛИТЕРАТУРА

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

КНИ ТРАНЗИСТОРЫ С МЕЖСЛОЙНЫМ ДИОКСИДОМ ГАФНИЯ, ОБЛУЧЕННЫЕ БЫСТРЫМИ ИОНАМИ Xe И Bi

В.П. Попов[1,*)], В.А. Антонов[1)], В.А. Жилицкий[1)], А.К. Гутаковский[1)], А.А. Ломов[2)], А.В. Мяконьких[2)], К.В. Руденко[2,*)], Ж. О'Коннелл[3)], В.А. Скуратов[3)]

[1)] ИФП СО РАН им. А.В. Ржанова, Новосибирск, Россия

[2)] ФНЦ «Курчатовский институт - ФТИАН им. К.А. Валиева, Москва, Россия

[3)] ОИЯИ, Дубна, Россия

[*)] e-mail: popov@isp.nsc.ru; rudenko@ftian.ru

Целью работы было определение механизмов деградации структурных и электрических свойств КНИ и КНС псевдо-МОП (Ψ-МОП) транзисторов после их облучения быстрыми ионами Xe^{+26} (150 МэВ) и Bi^{+51} (670 МэВ) до флюенса 2×10^{11} $см^{-2}$, когда ещё не происходит перекрытие трековых областей отдельных частиц в изоляторах. КНИ и КНС гетероструктуры формировались прямым сращиванием и водородным переносом 500 нм пленок Si с предварительно нанесенными нанослоями HfO_2 (НО) на сапфир или кремний. Электрофизические параметры определялись из сток-затворных (I_{ds}–V_g) характеристик Ψ-МОП-транзисторов с 100 нм электродами W, нанесенными через литографическую маску.

Относительные изменения накопления механических напряжений и зарядов в сегнетоэлектрических слоях НО, НАО, а также проводимости слоев Ψ-МОП транзисторов свидетельствуют, что ухудшение проводимости в приборных слоях Si после облучения БТИ происходит из-за точечных дефектов во всем объеме этого слоя, но формирование состояний на гетерогранице обеспечивают дефекты внутри треков в изоляторе. Рост отрицательного заряда и окна памяти из-за орторомбической фазы (o-) в НАО слое с исходной ромбоэдрической (r-) структурой после воздействия БТИ Bi и 300-кратного циклирования означает возможность стимулированного полем r-o фазового перехода в трековых областях в диоксиде гафния.

Работа по изготовлению high-k КНИ структур выполнена за счет ГЗ № FWGW-2025-0010 и 122020200154-5 Минобрнауки РФ.

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИНАРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ОКСИДА МЕДИ

Ф.Ф.Арзикулов[*1], Ш.К. Кучканов[2], И.О. Косимов[3], Қ.Ё.Қамбаралиев[4]
[1)] Ташкентская Медицинская Академия, Ташкент, Узбекистан
[2)] Ташкентский государственный технический университет им.И.А.Каримова, Ташкент, Узбекистан
[3)]Институт биоорганической химии им.акад. О.С. Содикова АН РУз, Ташкент Узбекистан
[4)] “Solar Nature Trade House” MCHJ

В настоящей работе мотодом рентгенофазового анализа XRD-6100 и Раманской спектроскопии были исследованы перспективные полупроводниковые соединения оксида меди. Лучшее понимание структуры зон Cu_4O_3 и CuO, явная потребность в материаловедении, а также для знания структуры валентной зоны. Как показывает полученные нами данные XRD образцов имеют разную картину. А также нами были получены различные пики соответствующие различным модификациям оксида меди. Кроме того были определены степень кристалличности и аморфности образцов. Полученные данные методом Рамановской спектроскопии имееют характерные пики позволяющий анализировать состав данного материала оксида меди.

EFFECT OF TEMPERATURE CHANGE ON HYDROGEN ADSORPTION OF α-SiO_2

U. Uljayev[1,2*)], A.Ulukmuradov[2)], K. Mehmonov[1)], U. Khalilov[1)]
[1]Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, 100125, Tashkent, Uzbekistan
[2]Tashkent Institute of Textile and Light Industry, 100100, Tashkent, Uzbekistan
[*)] e-mail: utkir.uljaev@outlook.com

The ecological friendliness and sustainability of hydrogen energy have recently made it one of the most promising "green" fuels [1]. In particular, among these structures, SiO_2 based porous materials are potential candidates for hydrogen storage due to their harmlessness, low cost, and excellent thermal stability. Therefore, in this study, the effect of pore structures on the adsorption process of hydrogen molecules on *a*-SiO_2 was investigated using molecular dynamics (MD) methods (Fig. 1. *a*). It can be seen from the results that the cooling rate plays a crucial role in changing the pore structure of α-SiO_2, which in turn affects the sorption of hydrogen atoms and molecules (Fig. 1. *b*). The study showed that the maximum gravimetric density of hydrogen at 10 MPa is achieved at a cooling rate of 500 K/ps, where it reaches 0.92 wt% (8.45%).

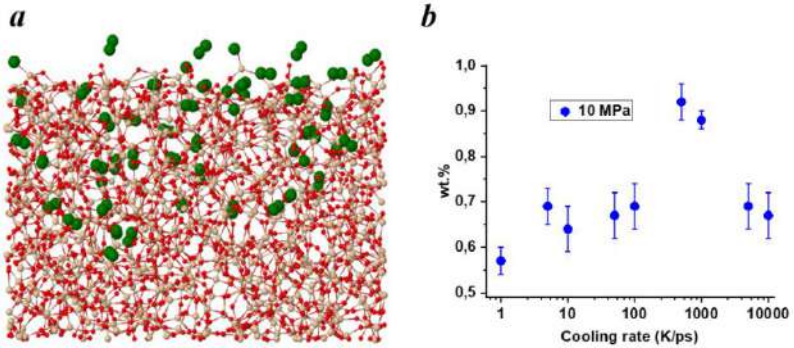


Fig. 1. *a*) Hydrogens adsorbed on *a*-SiO_2, *b*) Dependence of hydrogen gravimetric density on cooling rate at different pressures.

REFERENCES

1. R. Krishna et all., *Hydrogen storage for energy application*, in *hydrogen storage*, edited by j. Liu (intech, 2012).

СОСТАВ И ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК ПОЛУПРОВОДНИК-МЕТАЛЛ

А.А. Абдувайитов, Д.А.Ташмухамедова, Х.Х.Болтаев, И.К.Кодирова, Ш.А.Талипова
Ташкентский государственный технический университет

Полупроводниковые гетероструктуры, содержащие двумерные квантовые ямы (КЯ) и квантовые точки (КТ), являются в настоящее время базовыми материалами для устройств оптоэлектроники, в первую очередь, лазеров и фотодетекторов.

Данная работа посвящена исследованию морфологии, состава, электронной структуры поверхности нанопленок CdS/Mo(111) ($\theta \approx$ 100-200 нм). Для сравнение, в этой же установке исследовано состав и структура массивного монокристаллического образца CdS.

Объектами исследования являлись пленки CdS с толщиной от ~ 150 до 400 нм, выращенных на поверхность Mo(111) методом термического осаждения при вакууме 10^{-4} Па. Исследования проводились с использованием методов ОЭС, АСМ, УОМЭ, УФЭС.

Исследования состава и структуры, эти образцы установлены в СВВ приборе и перед исследованием CdS/Mo(111) и CdS(111) очищались прогревом при T = 1000 К в течение 3 часа и кратковременным (~10 мин) до T = 1200 К при вакууме ~10^{-7} Па в сочетании с травлением поверхности ионами Ar^+. После такой обработки шероховатость поверхности уменьшалась до 2-3 нм. В таблице приведено элементный состав поверхности пленки CdS/Mo(111) и образца CdS(111), которая определены методом ОЭС.

Элемент / Образец	Cd	S	O	C	K	N	Na
CdS/Mo	47	50	1,3	1,4	0,3	0,5	0,5
CdS(111)	48,3	49,4	1,5	–	0,5	0,4	0,3

Об электронной структуре материалов можно получить дополнительные сведения методами спектроскопии ХПЭЭ и УОМЭ.

ЭЛЕКТРОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ НАНОСТРУКТУР, СОЗДАННЫХ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ Si И CaF_2 МЕТОДОМ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

А.А. Абдувайитов, Б.Е. Умирзаков, Х.Х. Болтаев, Х.М. Шамаев, Г.Н. Турапова
Ташкентский государственный технический университет
khurshid.boltaev@gmail.com

Получение всесторонних знаний о фундаментальных явлениях и свойствах материалов с размерами 1-100 nm и использование этих структур в создании приборов и систем с новыми и уникальными свойствами являются актуальными задачами наноэлектроники и современного приборостроения.

Исследуемые пленки CaF_2/Si были получены методами жидкофазной и молекулярной лучевой эпитаксии. Исследования проводились с использованием методов: ОЭС, УФЭС, РЭМ, ДБЭ.

Сначала было исследовано влияние ионной бомбардировки на топографию поверхности пленок Si и CaF_2. Отметим, что характер изменения топографии поверхности при бомбардировке разными ионами разных кристаллов мало отличались друг от друга. В качестве примера приведены РЭМ-картины поверхности пленок CaF_2, бомбрадированных ионами Ar^+ с E_0 = 0.5 keV разными дозами.

В случае CaF_2, имплантированного ионами активных металлов, после прогрева образовались нанокристаллы и нанопленки трехкомпонентного соединения типа $Ca_{1-x}Me_xF_2$ (где Me – Na, Mg, Sr, Ba).

В случае имплантации ионов Ba^+ с E_0 = 0.5 keV при $D = 10^{14}$ cm^{-2} на поверхности CaF_2 формируются нанокластеры с линейными размерами ~ 5-10 nm, при $D = 10^{15}$ cm^{-2} образуются островки с размерами 25-30 nm, а при $D \geq 10^{16}$ cm^{-2} происходит перекрывание границ отдельных кластеров. При больших дозах поверхность обогащается атомами Ba (до 55-60 at.%) и Ca (25-30 at.%), а концентрация фтора резко уменьшается (до 15-20 at.%).

Постимплантационный отжиг при T = 1000 K приводит к формированию трехкомпонентной пленки типа $Ca_{0.4}Ba_{0.6}F_2$. Ширина запрещенной зоны трехкомпонентной пленки составляет ~ 10.8 eV.

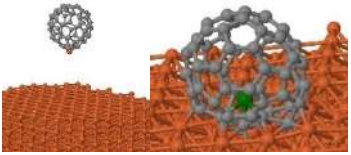
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОСАЖДЕНИЯ ЭКЗОЭДРАЛЬНЫХ ФУЛЛЕРЕНОВ C_{60}+Fe НА ПОВЕРХНОСТЬ КРИСТАЛЛА ЖЕЛЕЗА МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Д.В. Алябьев[1*)], И.Д. Ядгаров[1)]
[1)] Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: wside2008@mail.ru

В настоящей работе методами молекулярной динамики рассмотрены процессы осаждения экзоэдральных молекул фуллерена C_{60}+Fe на поверхность железа (рис. 1, слева). В настоящей работе был использован программный пакет LAMMPS с параметризацией потенциала Терсоффа [1].

Для различных диапазонов энергий, наблюдались процессы: отскок фуллерена от поверхности кристалла железа, с сохранением экзоэдрального атома, адсорбция экзоэдрального фуллерена. адсорбция фуллерена с инкапсулированием атома железа внутри него (при центральном соударении экзоэдрального атома с атомом мишени, рис. 1, справа).

Рис.1 слева: осаждение экзофуллерена на поверхность кристалла железа, справа: инкапсуляция экзоатома железа (выделен зеленым), энергия осаждаемого фуллерена - 65эВ



Модельные эксперименты показывают, что при определенных условиях может наблюдаться «очистка» фуллерена от экзоэдрального атома, или преобразование экзоэдрального фуллерена в эндоэдральный – анализ этих процессов может представлять практический интерес.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Phys.: Condens. Matter, 25, 445401 (2013)

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИОНОВ Fe ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ В КРИСТАЛЛ ZrO_2, ДАННЫЕ XANES

В.А. Андрианов[1*)], А.Л. Ерзинкян[1)], А.А. Буш[2)], П.А. Федин [3)], К.Е. Прянишников[3)], Т.В. Кулевой[3)], А.Л. Тригуб[3)]

[1)] НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

[2)] МИРЭА, Москва, Россия

[3)] НИЦ “Курчатовский институт”, Москва, Россия

[*)] e-mail: andrva22@mail.ru

Синхротронные методы XANES и EXAFS используются для определения валентности и координации атомов в различных материалах, в том числе подвергнутых воздействию ионизирующего излучения. В настоящей работе эти методы были применены для изучения локализации ионов Fe при имплантации в кристалл ZrO_2. Двуокись циркония является перспективным материалом атомной промышленности благодаря высокой температуре плавления 2715 °C, высокой твердости и устойчивости к нейтронному облучению.

Имплантация ионами Fe проводилась на ускорителе ТИПр в ИТЭФ; энергия ионов 5.6 МэВ и флюенс 10^{15} ионов/см^2. Согласно расчетам ионы Fe имплантированы в поверхностный слой толщиной 2.5 мкм с максимальной концентрацией около 0.06 ат.% на глубине ≈ 2.1 мкм.

В докладе будут представлены спектры XANES в области К-края атомов Fe, измеренные на Синхротронном источнике НИЦ «Курчатовский институт». Будут рассмотрены данные, полученные как непосредственно после имплантации, так и после отжига образцов на воздухе при температурах 300°C и 600°C. Работа выполнена по плану научных исследований НИИЯФ МГУ.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ТОКА В КАТОДЕ, НА ФОРМИРОВАНИЕ КАТОДНЫХ ПЯТЕН

И.Х. Худайкулов, В.Н.Арустамов, Б.Р. Кахрамонов.
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий им. У.А. Арифова,
Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 100125
*) e-mail: v.arustamov@iplt.uz

Среда для горения вакуумного дугового разряда генерируется в катодных пятнах (КП) время жизни которых составляет 10^{-6}-10^{-7} с. Процесс отмирания и образование новых КП на поверхности катода, носит случайный характер, формирует хаотическое перемещение КП на поверхности «холодного» катода со скоростью $\upsilon \approx 10^4$ см/с. В формирования новых КП непосредственно на краю исходного решающую роль играет повышенная концентрация плазмы на краю КП, следовательно, большая плотность ионного тока на катод.

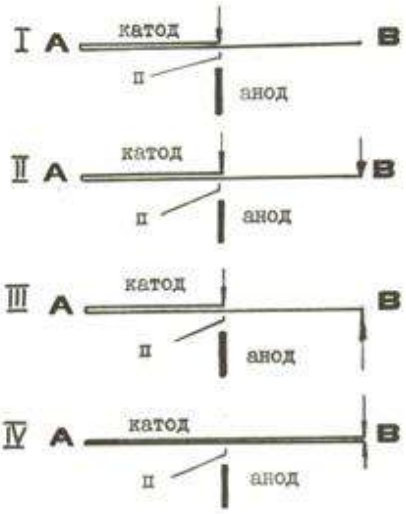


Рис.1 Схематический вид электродных систем с бифилярным катодом.

Полученные результаты указывают на то, что магнитное поле тока катода играет определенную роль формировании преимущественного перемещения катодных пятен по направлению к токосъему решающее влияние на этот процесс оказывает электрическое поле тока.

ОЦЕНКА ПОКРЫТИЯ, СФОРМИРОВАННОГО МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ И ВАКУУМНОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА

*В.Н.Арустамов, И.Х. Худайкулов, Б.Р. Кахрамонов.
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий им. У.А. Арифова,
Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 100125
*) e-mail: v.arustamov@iplt.uz

Процессы обработки поверхности металла и нанесения покрытий влияют на механические свойства материала, в том числе на микроструктуру. Вакуумный дуговой разряд и магнетронное напыление часто являются методами, используемыми для изменения микротвердости поверхности металлов. В ходе этого исследования были проанализированы изменения микротвердости на поверхности металлов, полученных каждым из двух методов.

Таблица. Оценка полученного покрытия

№	Металлическая основа	Способ нанесения покрытия	Тип покрытия	Микротвердость, HV, средний, (F (100 gr)).	Микротвердость, (МПа)
1	Сталь 45	Дуговой разряд	Нитрид титана	169.8	565
2		Магнетронное распыление	Нитрид титана	630.6	2100
				370	1200
3		Дуговой разряд	Медь	165.3	550
4		Магнетронное распыление	Медь	227.7	755
5		-	-	141.4	470

Из таблицы видно, что слой, выращенный магнетронным методом, дает лучшие результаты по микротвердости при очистке поверхности и нанесении слоя. Это обусловлено тем, что в процессе формирования покрытия на поверхности материала происходит образование дендритных структур, что приводит к увеличению микротвердости слоя за счет локализованного повышения жесткости в микрооблаках.

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА, ОЧИЩЕННОГО МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА

И.Х. Худайкулов, В.Н.Арустамов, Б.Р. Кахрамонов.
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий им. У.А. Арифова,
Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 100125
*) e-mail: khudaykulov@iplt.uz

В настоящее время с развитием наноинженерии и материаловедения новые технологические методы, в том числе метод вакуумного дугового разряда (VDR), играют важную роль в устранении дефектов и улучшении свойств материалов. Удаление оксидных пленок с поверхности таких металлических материалов, как сталь 45, имеет большое значение для улучшения их эксплуатационных характеристик. В ходе этого исследования был проведен фазовый анализ процесса удаления оксидных пленок с поверхности стали 45 с помощью вакуумного электроразрядного метода.

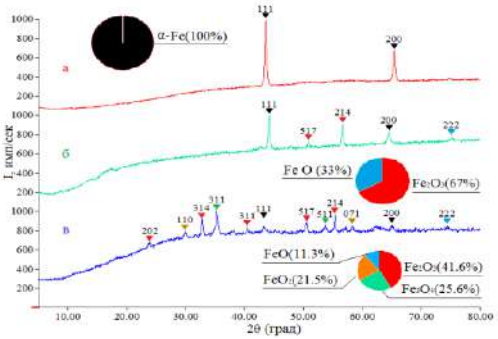


Рис.1. Изменение фазового состояния поверхности стали 45 в процессе её очистки.

В необработанной сталъ-45 были обнаружены фазы FeO, FeO2, Fe2O3, Fe3O4 и α-Fe(a). В породе, обработанной разрядом Милтиллама, количество частиц оксидов FeO и Fe2O3 уменьшилось, а интенсивность α-Fe фазы возросла(б). В образце, полученном очиска методом вакуумной дуговой, было обнаружено, что частицы оксидов железа полностью исчезли, а интенсивность частиц α-Fe фазы увеличилась(в).

Таким образом, очистка металлической поверхности перед нанесением покрытия обеспечивает хорошую адгезию покрытия к металлической поверхности.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ИОНИЗАЦИИ МОЛЕКУЛ ДИАЗИНОНА

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

Поверхностно-ионизационная масс-спектрометрия (ПИ/МС) является эффективным методом анализа органических соединений. Используя данный метод исследовали токсичное вещество - диазинон, относящийся к группе пестицидов, что позволяет оценивать экологическую безопасность и детально изучать процессы их разложения. Данное исследование направлено на определение механизмов поверхностной ионизации молекул диазинона и продуктов их ионизации.

Диазинон – это органофосфорный инсектицид, применяемый в сельском хозяйстве для борьбы с вредителями. Исследуемая молекула адсорбируется на поверхность эмиттера, происходить реакция и распадается на фрагменты. Изучается состав основных ионов, а также зависимости ионных токов от температуры эмиттера.

Экспериментальные исследования проводились на статическом магнитном масс-спектрометре МИ-1201В, адаптированном для работы методом ПИ [1]. В качестве термоэмиттера использовалась вольфрамовая лента (0,05x1,0x16,0 мм³). Температура термоэмиттера контролировалась в диапазоне от 550 K до 1200 K.

Первичные результаты экспериментов показали, что в масс-спектре вещества присутствуют ряд фрагментные ионы $[M-R]^+$ и ассоциативные ионы $[M+H]^+$, на основании чего сделан вывод, что основными ионами являются фрагментные ионы.

Построены графики зависимости ионных токов диазинона от температуры термоэмиттера и определены пороговые температуры образования ионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахмедов Ш. М. и др. //«Узбекский физический журнал». 2024.Т. 26, № 1, с. 20-25.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИМИДОКЛОПРИДА В ТОМАТНОМ СОКЕ МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНОЙ ИОНИЗАЦИИ

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

Имидоклоприд относится к классу неоникотиноидных пестицидов и используется главным образом против насекомых. Контроль остаточного количества этого вещества в пищевых продуктах имеет важное значение для здоровья людей. Данная исследовательская работа направлена на определение содержания имидаклоприда в томатном соке с использованием метода поверхностной ионизационной масс-спектрометрии (ПИ/МС).

Эксперименты проводились на модернизированном статическом магнитном масс-спектрометре МИ-1201В. Образцы готовили путем непосредственного смешивания имидаклоприда с томатным соком. Затем полученные растворы вводили в источник ионов в количестве 10 – 1000 пг и анализировали в режиме выбранных ионов.

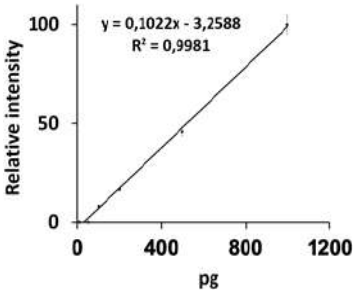


Рис.1

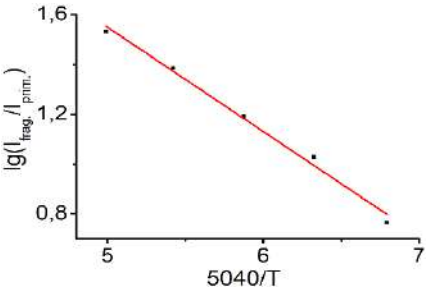
На основе полученных результатов была построена калибровочная кривая (рис. 1), при этом предел обнаружения (ПО) составил 34 пг/мл, а предел количественного определения (ПКО) – 103 пг/мл. Калибровочная кривая обладает высокой степенью линейности (R^2 = 0,9981), что подтверждает точность и воспроизводимость метода. Значения ПО и ПКО демонстрируют высокую чувствительность метода, позволяя выявлять даже незначительное количество имидаклоприда. Благодаря высокой селективности метод поверхностной ионизации позволил определять имидаклоприд в томатном соке с высокой чувствительностью и надежностью, без предварительного хроматографического разделения. Данный метод может служить эффективным инструментом для прямого мониторинга остатков пестицидов в пищевых продуктах.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ИОНА, ОБРАЗОВАННОГО ПРИ МОНОМОЛЕКУЛЯРНОМ РАСПАДЕ МОЛЕКУЛ ХЛОРДИМЕФОРМА

Ш.М. Ахмедов*, Ш.Дж. Ахунов, М.М. Назаров, О.И. Болийев, А.Ш. Раджабов, Д.Т. Усманов
Институт ионно-плазменных и лазерных, АН РУз, Ташкент, Узбекистан,
*e-mail: sherzod_in@mail.ru

В масс-спектрах всех соединений наряду с узкими линиями первичных ионов, десорбирующихся с поверхности эмиттера и достигающих коллектора масс-спектрометра, присутствуют также широкие линии осколочных ионов — мономолекулярных продуктов распада, возникающих при движении первичных ионов в пространстве масс-спектрометра. Эти широкие линии затягиваются в спектре масс в сторону меньших масс или меньших энергий. Эти мономолекулярные распады происходят в бесполевом пространстве от ускоряющих электродов до магнитного поля (когда, согласно классической теории, полная колебательная энергия атомов молекулы больше энергии распада (3N-5)kT)[1].

Из температурной зависимости отношения токов осколочных ионов к токам первичных ионов можно рассчитать энергию активации мономолекулярной диссоциации для заданного времени реакции [2]. На основании вышеизложенного мы оценили значение энергии активации для иона m/z 167 фрагментарного иона $[M\text{-}H]^+$ хлордимеформа E_a=0,42 эВ по наклону графика Аррениуса.



ЛИТЕРАТУРА

1. Зандберг Э. Я., Расулев У. Х. //Успехи химии. 1982. Т. 51. №. 9. С. 1425-1446.
2. Зандберг Э. Я., Расулев У. Х. //Доклады Академии наук. – Российская академия наук, 1968. Т. 178. №. 2. С. 327-330.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНИЗАЦИИ КЛАСТЕРНЫХ ИОНОВ ПРИ НАПЫЛЕНИИ АТОМОВ КАЛИЯ НА РАСПЫЛЯЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЯ ИОНАМИ Cs^+

Ш.Дж. Ахунов*, Р. Джаббарганов
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий,
АН РУз, Ташкент, Узбекистан, *e-mail: a.shovkatjon@mail.ru

В работе приведены результаты экспериментальных исследований, которые позволять получить новые сведения, как о механизме распыления, так и ионизации кластеров. Если распыленные кластерные ионы образуются в процессах рекомбинации, то модель предсказывает, что вероятность ионизации должна проявлять корреляцию с вероятностью ионизации атомов, образующих эти кластеры. Присутствие щелочного металла на распыляемой поверхности может изменить вероятности ионизации как положительных, так и отрицательных вторичных ионов. Следовательно, напыляя на поверхность мишени плёнку щелочного металла, мы можем использовать как измеренные выходы атомарных и кластерных ионов, так и значения коэффициентов ионизации их как параметры для проверки справедливости концепции рекомбинации. Изучение динамики изменения выхода отрицательных ионов Al в зависимости от толщины и скорости нанесения плёнок калия показали, что вторичная эмиссия атомарных отрицательных ионов всегда очень сильно возрастает при уменьшении работы выхода распыляемой поверхности при нанесении на нее субмонослойных плёнок щелочного металла и в минимуме работы выходы достигает максимального значения. Зависимости выхода кластерных ионов Al_n^- от плотности плёнки калия на распыляемый поверхности Al позволяют сделать вывод, что между выходом отрицательно-ионных кластеров I_n^- и изменением работы выхода поверхности $\Delta\Phi$ также существует экспоненциальная зависимость и относительное изменение этих выходов при уменьшении работы выхода коррелирует со сродством к электрону кластера. Данные о строгой корреляции между выходами отрицательно-ионных кластеров и изменением работы выхода поверхности распыляемых атомарных частиц, так и ионизацию распыленных кластеров можно объяснить моделью туннелирования электронов.

ПОВРЕЖДЕНИЕ ОРГСТЕКЛА БЫСТРЫМИ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ: ТОНКАЯ ПЛЁНКА И ОБЪЁМНАЯ МИШЕНЬ

П.А. Бабаев[1,*)], А.Е. Волков[1,2)]
[1)] ФИАН им П.Н, Лебедева, Москва, Россия
[2)] НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия
[*)] e-mail: babaevpa@lebedev

Впервые на атомарном уровне разрешения проведено моделирование и визуализация повреждений в тонкой плёнке и объёмной мишени из полиметилметакрилата (ПММА) при облучении быстрыми тяжёлыми ионами (БТИ), тормозящимися в режиме электронных потерь энергии. Кинетика возбуждения электронной и атомной систем ПММА моделировалась с использованием кода TREKIS-3 [1]; реакция атомной системы на вносимое возбуждение описывалась в молекулярно-динамическом пакете LAMMPS [2]. Использовалось оптимизированное для быстрых расчётов реактивное межатомное силовое поле ReaxFF [3], позволяющее учитывать как разрывы, так и образование химических связей.

На примере облучения ионом Au 600 МэВ (область бреговского пика потерь энергии) установлено, что поперечные размеры повреждений существенно отличаются для тонкой плёнки и объёмного образца: ~21 нм и ~12-13 нм в диаметре, соответственно. В тонкой плёнке вследствие распыления материала с поверхности образуется отверстие, окружённое тонким ободом (кратер) толщиной 5 нм и переменной высотой 3–4 нм. В объёмном образце повреждённая область, несмотря на значительное разрушение химических связей в полимерных цепочках и снижение плотности материала, не демонстрирует образования пустот в ядре трека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Medvedev N. et al. //Journal of Applied Physics. – 2023. – Т. 133. – №. 10.
2. Thompson A. P. et al. //Computer Physics Communications. – 2022. – Т. 271. – С. 108171.
3. Kanski M. et al. // The Journal of Physical Chemistry Letters. – 2022. – Т.13. – №. 2.

НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ПРОТОНООБМЕННЫЕ МЕМБРАНЫ

Бердиев У.Ф.
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий им. У.А. Арифова,
Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 100125
*) e-mail berdiyev@iplt.uz

Современные тенденции в энергетике делают приоритетными разработку энергосберегающих технологий и оптимизацию энергоснабжения с использованием доступных материалов. Это позволяет не только сократить расход ресурсов, но и минимизировать производственные отходы. Одним из перспективных направлений в этой области являются ванадиевые проточные аккумуляторы (ВПА), повышающие эффективность энергосистем.

Получены нанокомпозитные мембраны сшиванием ПВС, содержащие наночастицы диоксида кремния, полученные золь гель методом и углеродных нанотрубок.

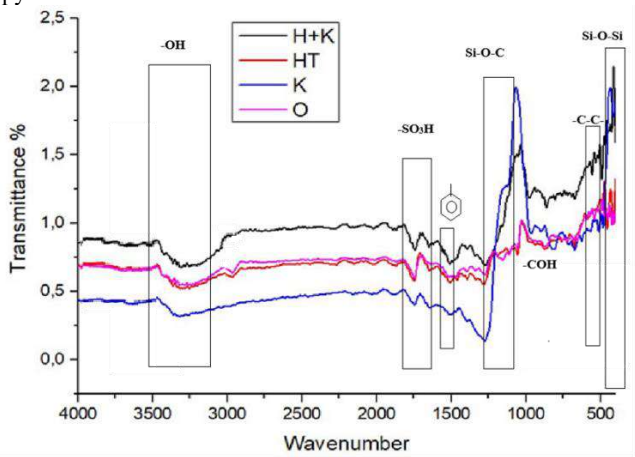


Рис.1. Ик спектры нанокомпозитных протоннобменных мембран

В результате исследования получены эффективные и экономически удобные нанокомпозитные протонообменные мембраны для ванадий проточных аккумуляторов.

Данное исследование является важным шагом в направлении создания новых функциональных материалов на основе нанокомпозитов для энергохранение в больших масштабах.

ФОРМИРОВАНИЕ ВОЛНООБРАЗНОГО РЕЛЬЕФА НА ПОВЕРХНОСТИ 3D СПЛАВОВ Ti6Al4V И AlSi10Mg ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИОННОГО КЛАСТЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Д.Р. Бессмертный[1,*)], И. Н. Кутлусурин[1)], Д.С. Киреев[1)], А.Е. Иешкин[1)], А.А.Татаринцев[1)]
1) Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
*) bessmertnyi.dr20@physics.msu.ru

Аддитивные технологии демонстрируют возможность создания деталей с высоко сложной геометрией, включая элементы с внутренними полостями, решетчатыми структурами и топологически оптимизированными формами [1]. В технике зачастую принципиальное значение имеет качество поверхности детали. 3d сплавы обладают поверхностью с высокой степенью шероховатости и пористости. В данной работе мы исследовали эволюцию рельефа поверхности сплавов Ti6Al4V и AlSi10Mg под действием облучения ускоренными кластерными ионами Arn+ с энергией 10 кэВ при различных углах падения пучка. Показано, что при нормальном падении пучка происходит значительное сглаживание поверхности, среднеквадратичная шероховатость уменьшается с 6.2 нм до 0.89 нм. Наклонное облучение приводит к образованию волнообразного рельефа. При этом обнаружено отсутствие выраженного влияния неоднородной микроструктуры, присущей 3d сплавам [2] на формирующейся рельеф поверхности.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, грант 23-79-01144, https://rscf.ru/project/23-79-01144, фонда «Базис», грант 24-2-1-43-1.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.Н. Григорьев, И.Ю. //Инновации, 2013, №10, 180
2. Valiev R.R., Panin A.V. // Advanced Engineering Materials, 2024, vol. 26, article 2300814.

ИСЛЕДОВАНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНО ИОННОГО РАСПЫЛЕНИЕ КАРБИДА НИОБИЯ NbC ИОНАМИ Cs^+.

Р. Джаббарганов[1) *], Б.Г. Атабаев[1)], А.С. Халматов[1)]
[1)] Институт ИПЛТ АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: rozmatdjabbarganov@gmail.com

Результаты исследования динамики изменения масс- спектров отрицательно - ионного распыления карбида ниобия в зависимости от скорости нанесения на распыляемы поверхности пленка щелочного металла калия позволяют следующее, как и в случае других элементов по мере увеличения скорости нанесения пленки, начиная с некоторого момента происходит резкий рост на поверхности карбида ниобия количества углерода характеризуемый резким возрастанием в спектре масс вторичных ионов C_n^- и одновременным появлением отрицательных ионов типа NbC_n^-. В масс- спектре отрицательный ионного распыления наблюдается ионы самого ниобия и ионы, связанные с наличием на поверхности окислов: Nb^-, Nb_2^-, NbO^-, NbO_2^-, NbO_3^-, Nb_2O^-, $Nb_2O_2^-$, $Nb_2O_3^-$. Нами, тем не менее были сделаны некоторые количественные излучения. В частности, были определены энергетические зависимости процентных содержаний ионов Nb^-, Nb_2^- в пучках отрицательных ионов для таких состояний на поверхности ниобия, когда на ней углеродная пленка отрицательных ионы (Nb^-) имели максимальный выход. А результаты, полученные при определении процентных содержанный ионов (Nb^-) при различных энергиях бомбардирующих ионов цезия, позволяют сделать заключение о наличие распыления отрицательных ионов материала мишени из решетки.

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ОКИСЬ МАГНИЯ (MgO) ПРИ РАСПЫЛЕНИЯ ИОНАМИ Cs^+

Р. Джаббарганов[1) *], Б.Г. Атабаев[1)], А.С. Халматов[1)]
[1)] Институт ИПЛТ АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: rozmatdjabbarganov@gmail.com

Окислы как диэлектрические материалы является трудными объектами для исследования процессов их распыления. Это связано со сложностью получения совершенных компактных образцов и необходимостью снятия электрического заряда при ионной бомбардировке. Отрицательно заряженные кластеры магния (Mg_n) на много более стабильны, чем соответствующие нейтральные кластеры, обладают положительными значением энергии электронного сродства и, следовательно, должны наблюдаться в масс-спектре продуктов ОИР (MgO). В связи с выше сказанным с целью обнаружения в составе продуктов ОИР (MgO) отрицательно заряженных кластерных ионов Mg_n было исследовано ОИР (MgO) ионами цезия. Было обнаружено, что при бомбардировке (MgO) мишени ионами цезия с энергией 0.1-3 кэВ в масс- спектре ОИР (MgO) имеются следующие отрицательные ионы: H^-, C^-, CH^-, O^-, OH^-, F^-, Na^-, C_2^-, C_2H^-, O_2^-, O_2H^-, Cl^-, MgO^-, MgO_2^-, MgO_3^-, MgO_4^-. При нагревании (MgO) мишени на поверхность диффундируют объёмный примеси и усиливаются пики окислов магния. В частности, при нагревании мишени в спектре появляются пики ионов Na_2^- Na_2O^- и пик ионов объемной примеси с массой 42, которые исчезают из масс-спектра при длительном нагревании (MgO) мишени. Обнаружена слабая зависимость выхода отрицательных ионов в спектре ОИР (MgO) от энергии ионов цезия в диапазоне 0.1-3 кэВ, что согласуется с поведением коэффициента распыления для (MgO) в зависимости от энергии. Несмотря на то, что как теоретические вычисления, так и экспериментальные оценки указывают на наличие у кластеров Mg_n положительного значения сродства к электрону, на уровне чувствительности регистрации вторичных ионов, в спектре ОИР (MgO) отрицательно заряженные кластерные ионы Mg_n^- не наблюдались. Это, по-видимому, обусловлено тем, что в наших условиях экспериментов мы имеем дело с недостаточно очищенной поверхностью (MgO).

ФОРМИРОВАНИЕ МЕДНЫХ НАНОПЛЕНОК В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ПОСТОЯННОГО И РАДИОЧАСТОТНОГО ТОКА

М. Нормурадов[1], К. Довранов[1*], Х. Туракулов[1],
М. Давлатов[1], А. Кодиров[1], Х. Давранов[1], Д. Нормуминова[1],
Каршинский государственный университет
[*] quvondiqdavronm@gmail.com

Изучены формирование, электрофизические и оптические свойства пленок меди и ее силицида при различных режимах устройства магнетронного распыления. Скорость осаждения атомов меди определялась с помощью установки радиочастотного магнетронного распыления (РЧМР) с режимом импульсного тока D=70% и частотой 100 кГц. По мере увеличения расстояния между целью и основанием наблюдается параболическое изменение скорости погружения. Расстояние между мишенью и подложкой равно максимальной скорости осаждения 80 Å/сек при d=88 мм. Скорость осаждения РЧМР зависит от расстояния между подложкой и мишенью и используется при формировании тонких пленок силицида меди. Видно, что скорость осаждения ионов Cu из медной мишени методом DC магнетронного распыления практически одинакова в широком диапазоне от 33 мм до 142 мм (рис.1) [1,2].

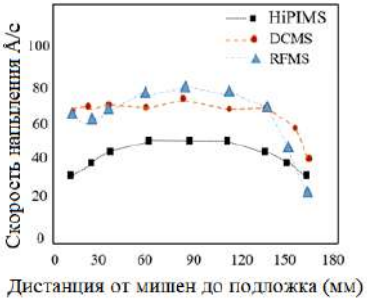


Рисунок 1. Зависимость скорости напыления медной мишени, полученная разными методами, от расстояния от основания до мишени.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Hojabri, F. Hajakbari, M. A. Moghri Moazzen, S. Kadkhodaei. Effect of Thickness on Properties of Copper Thin Films Growth on Glass by DC Planar Magnetron Sputtering. JNS, 2 (2012) 107-112.

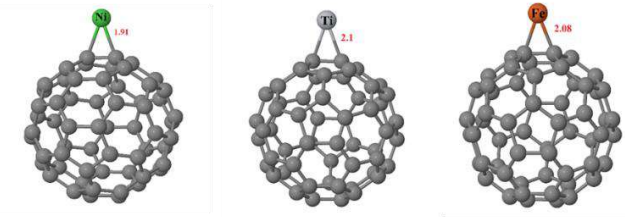
2. K. Mech, R. Kowalik, P. Zabinski. Cu thin films deposited by DC magnetron sputtering for contact surfaces on electronic components. Arch. Metall. Mater., 56 (2011), pp. 903-908.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНА СВЯЗИ АТОМОВ МЕТАЛЛОВ (Ni, Ti, Fe) С МОЛЕКУЛОЙ ФУЛЛЕРЕНА C_{60}

Х.И. Жабборов[1, *)], Б.Е. Умирзаков[1)], И.Д. Ядгаров[2)]
[1)] Ташкентский государственный технический университет имени И.А.Каримова, Ташкент, Узбекистан
[2)] Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: xayitmurodjon@mail.ru

Катализаторы в настоящее время рассматриваются как основа различных коммерческих процедур преобразования энергии и промышленных процессов [1]. Оптимизированные геометрии основного состояния вместе с длинами связей C−M (carbon-metal) разработанных комплексов приведены на рисунке 1. Из рисунка 1 очевидно, что расстояния связей взаимодействия между атомом углерода фуллерена C_{60} и переходным металлом наблюдаются в диапазоне от 1,91 до 2,10 Å, что в основном показывает хемосорбцию. Наименьшее расстояние взаимодействиян рассчитано для комплекса Ni@C_{60} (1,91Å) для каждой связи Ni−C, за которым следует комплекс Fe@C_{60} (2,08Å).

Рис.1 Рисунок 2. Оптимизированные структуры стабильных комплексов M@C60 (M=Ni−Ti-Fe) с расстояниями связей M−C, рассчитаны с использованием потенциала Airebo, Morse, Tersoff.



Проведен модельный эксперимент взаимодействия атомов металла (Ni, Ti, Fe) с поверхности молекулы фуллерена C_{60}. Наибольшее значение Eint комплекса Ni@C60 очень хорошо коррелирует с наименьшей длиной связи, связи M−C.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yang, X.-F.; Wang, A.; Qiao, B.; Li, J.; Liu, J.; Zhang, T. Single atom catalysts: a new frontier in heterogeneous catalysis. Acc. Chem. Res. 2013, 46, pp. 1740−1748.

СИНТЕЗ И СПЕКТРОСКОПИЯ МУЛЬТИКОМПОНЕНТНЫХ НАНОЧАСТИЦ МЕТОДОМ ИСКРОВОГО РАЗРЯДА

А.А. Зарипов, *И.Х. Худайкулов.
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий им. У.А. Арифова,
Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 100125
*) e-mail: khudoyqulov@iplt.uz

В настоящее время синтез многокомпонентных более сложных по составу, т.е. мультикомпонентных наночастиц представляет собой сложную задачу, требующую применения эффективных методов.

В данной работе предлагается использовать искровой разряд для синтеза более сложных наночастиц, содержащих четыре и более компонентов. Актуальность данного исследования обусловлена тем, что разработка новых методов синтеза наночастиц с уникальными свойствами является важным направлением современной науки и техники. Полученные в результате исследования наночастицы могут быть использованы в различных областях, таких как электроника, оптика, медицина и катализ.

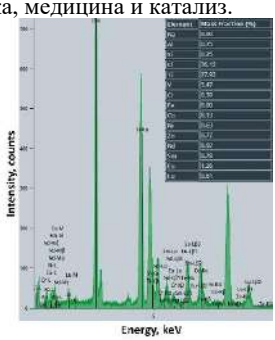


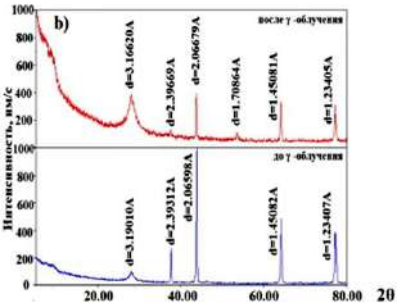
Рис.1. Элементный анализ полученных наночастиц

В результате исследования получены наночастицы с заданными размерами и составом, что позволит создавать материалы с улучшенными характеристиками для электроники, оптики, медицины и катализа. Предложенный метод искрового разряда обладает преимуществами, такими как высокая чистота (т.е. без посторонних примесей), экологическая безопасность и возможность получения наночастиц с заданными параметрами. Данное исследование является важным шагом в направлении создания новых функциональных материалов на основе мультикомпонентных наночастиц.

ВЛИЯНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ ТОНКОГО ПОКРЫТИЯ TiO_2, ПОЛУЧЕННОГО НА ПОВЕРХНОСТИ Si (111)

З.А. Исаханов [1*)], Б.Е. Умирзаков [1)], И.О. Косимов[1)], М.М. Махмудов[1)], А.С. Халматов[1)]
Институт ИПЛТ АН РУз, Ташкент, Узбекистан
*) e-mail: za.isakhanov@gmail.com

Методом рентгеновской дифракции изучены влияния γ-облучения на структуру и свойства пленок TiO_2 полученного на поверхности Si(111) магнетронным напылением. Оксиды титана обладают высоким показателем преломления, стабильной морфологией поверхности и уникальной сенсорными, адсорбционными, оптическими и электрическими свойствами. В тонкопленочном состоянии является широкозонным полупроводником. Приводятся результаты по изучению влиянии γ облучении на состав, электронную структуру и свойства нанопленок оксида титана TiO_2/Si(111) с толщиной 1000 нм. В работе использовался порошко́вой рентге́новской дифра́ктометр типа XRD-6100. Метод позволяет определить многие параметры образца.



Пленки TiO_2 (d=1000 нм) установлены в прибор типа УСУ-2, облученный γ-лучами при дозе 100 Гр, мощность облучения составляла 90 р/с, использовался радиоактивный источник кобальт-60 (Co_{60}). На дифрактограмме пленки TiO_2, приведены графики до и после γ – облучения. После γ-облучения наблюдалось изменение структуры пленки. Как показывают результаты рентгенофазового анализа до γ-облучения в тонкой пленке TiO_2 наблюдались пики с высокой интенсивностью, после γ-облучения в пленки TiO_2 образовались слабые пики, указывающие на наличие дефектов. Таким образом, в заключении можно сказать, что гамма-облучение вызывает образование дефектов различного размера.

ИССЛЕДОВАНИЯ НАРКОТИЧЕСКИХ И ПСИХОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНОЙ ИОНИЗАЦИИ

С.С. Исхакова*, Т.Х. Эрова, Ш.М. Ахмедов, З.А. Улашева
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, АН РУз, Ташкент, Узбекистан, *e-mail: saidais@mail.ru

Фундаментальные исследования, посвященные адсорбции многоатомных молекул, выявление ее центров и типов связи с поверхностью, а также каналов происходящих гетерогенных реакций является актуальной проблемой физической электроники. Исследованиями установлено, что пути гетерогенных превращений молекул на поверхности твердого тела в большинстве случаев, имеют одинаковый характер и зависят в основном, природой имеющимися в молекуле адсорбционных центров, определяемой энергией взаимодействия молекул вещества с твердым телом в газовом состоянии. Поэтому исследования гетерогенных превращений молекул на поверхности твердого тела дает возможность понимания механизмов воздействия ксенобиотиков – лекарственных препаратов на живой организм.

Методом термоионной масс-спектрометрии исследовались наркотического препаратқ – тапентадол и Новые Психоактивные Вещества - производных 4-меткатинона, гетерогенные превращения молекул при адсорбции на поверхности оксида вольфрама различными центрами и температурные зависимости этих реакций, и Тапентаол вызывает эффект сопоставимый с морфином и оксикодоном, применяется в качестве обезболивающего средства при онкозаболеваниях. Производные 4-меткатинона являются высокотоксичными психостимуляторами. Исследуемые наркотические препараты являются третичными и вторичными аминами, согласно закономерностям ТИ, следует ожидать высокие значения эффективности ионизации. Масс-спектры продуктов гетерогенных реакций состоят из дегидрогенизации, диссоциации и ассоциации молекул в адсорбционном слое. В масс-спектрах ТИ исследованных соединений линии ионов M^+ соответствующих молекулярной ионизации не обнаружены. Они наблюдаются в масс-спектрах из-за относительно низкого потенциала ионизации V_i молекул (менее 9 эВ).

ТЕРМОИОННАЯ ЭМИССИЯ МОЛЕКУЛ ЗЛОУПОТРЕБЛЯЕМЫХ НОВЫХ ПСИХОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

С.С. Исхакова*, Т.Х. Эрова, Ш.Т. Тоиров, Ш.М. Ахмедов
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, АН РУз, Ташкент, Узбекистан, *e-mail: saidais@mail.ru

Синтетические производные катинона являются гетерофункциональными соединениями Ar-CO-X (где: X – гетарилалкиламин). в сочетании с различными заместителями [1]. Сопряжение ароматического кольца с карбонильной группой, приводит к образованию бензоильного радикала, который имеет относительно малую энергию образования ~148 ккал/моль. Потенциалы ионизации Vi, образующиеся в результате гетерогенных реакций других радикалов синтетических катинонов соответствуют вторичным и третичным аминам (Vi $\leq$ 9В), которые путем ТИ ионизацируются с высокой эффективностью.

Метод ТИ масс-спектрометрии позволяет непосредственно исследовать гетерогенные реакции-химические превращения молекул в адсорбированном на эмиттере слое и можно получить сведения о соответствующих химических реакциях, имеющих место на поверхности эмиттера и об их температурных зависимостях. Это позволяет установить также схему адсорбции молекул кислородом карбонильной группы или гетероатомом азота, которые являются определяющим фактором путей гетерогенных реакций. Гетерогенные реакции дегидрогенизации молекул α–PVP с элиминированием до 7 атомов водорода при адсорбции на поверхности эмиттера гетероатомом азота

Выявлено, что продукты десорбции аминных каналов имеют малые интенсивности (3-5%) относительно ароильных (100%) малые интенсивности из-за их высокого (до 9 эВ) потенциала ионизации. В масс-спектрах ПвИ производных катинона - α–PVP и мефедрона линии токов ионов, соответствующих гетерогенным реакциям ассоциации, циклизации, перегруппировки и молекулярной ионизации не обнаружены.

1. Adamowicz P. et //Forensic Toxicology. 2016. Т. 34. С. 227-234.

ИОННО-ФОТОННОЙ ЭМИССИИ ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ Tm МИШЕНИ КЛАСТЕРНЫМИ ИОНАМИ ВИСМУТА

П.Г. Кахрамонова*), Ш.Дж. Ахунов, Д.Т. Усманов
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий,
АН РУз, Ташкент, Узбекистан
*)email: kakhramonovag@mail.ru

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

Исследование проводились на созданной уникальной экспериментальной установке для исследования взаимодействия кластерных ионов с твердым телом, которая была модернизирована и дополнена системой измерения ИФЭ. Оптическое излучение распыленных атомов собиралось из ореола вблизи поверхности мишени и регистрировалось с помощью фотоумножителя EMI 6256 B, что позволяло регистрировать излучение в диапазоне 250 – 700 нм. Первичные кластерные ионы Bi_m^- (m=1-5) образовывались в источнике ионов путем распыления соответствующих мишеней положительными ионами цезия и сепарировались по количеству составляющих их атомов. На другой экспериментальной установке, оснащенной монохроматором, источником ионов ксенона и ускорителем ионов до 40 кэВ исследованы оптические спектры ИФЭ тулия. Бомбардировка Tm мишени ионами Xe^+ производилась по нормали к поверхности. Для сопоставления эффективности возбуждения различных уровней пропорциональной их заселенности полученные спектры ИФЭ обрабатывались по методике [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов С.Н., Васильева Е.К., Опт. и спектр. 89 (2000) 901.

ВЛИЯНИЕ ВАРИАЦИИ ФАЗОВОГО СОСТАВА ZrO_2 КЕРАМИК СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ Y_2O_3 НА УСТОЙЧИВОСТЬ К РАДИАЦИОННЫМ ПОВРЕЖДЕНИЯМ

Е.К. Самбаев[1)], А.Л. Козловский[1,2,*)], В.В. Углов[3)]
[1)] НАО Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
[2)] РГП на ПХВ Институт ядерной физики МЭ РК, Алматы, Казахстан
[3)] Белорусский Государственный университет, Минск, Беларусь
[*)] e-mail: kozlovskiy.a@inp.kz

Экспериментальные работы, направленные на моделирование процессов деструкции приповерхностных слоев керамик в результате воздействия тяжелых ионов, имитирующих осколки деления ядерного топлива, представляют достаточно большой интерес, так как данные работы, позволяют спрогнозировать поведение материалов в случае накопления радиационных повреждений, а также оценить их устойчивость к ним. В данной работе представлены результаты воздействия тяжелых ионов Kr^+, моделирующих воздействие осколков деления с энергией порядка 150 МэВ на приповерхностные слои ZrO_2 керамик, стабилизированных Y_2O_3, вариация которого позволила получить композитные двух и трехфазные керамики.

В ходе проведенных экспериментов было установлено, что наличие в составе ZrO_2 керамик мелкодисперсных зерен в виде t-$Zr(Y)O_2$ и $YZrO_3$ приводит к увеличению сопротивляемости к разупрочнению и деструкции приповерхностного слоя, а в случае высокодозного облучения приводит к замедлению процессов диффузионного расширения поврежденного слоя, связанного с изменением концентрации вакансионных дефектов, а также образованием аморфных включений, вызванных структурным искажением. Установлены зависимости изменения прочностных и теплофизических параметров от флюенса облучения, а также установлено влияние температурного фактора облучения на изменения деградации поврежденного слоя.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАРИАЦИИ УСЛОВИЙ ОБЛУЧЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К РАДИАЦИОННЫМ ПОВРЕЖДЕНИЯМ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ Al_2O_3-Si_3N_4 КЕРАМИК

С.Б. Азамбаев[1)], А.Л. Козловский[1,2,*)]
[1)] НАО Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
[2)] РГП на ПХВ Институт ядерной физики МЭ РК, Алматы, Казахстан
[*)] e-mail: kozlovskiy.a@inp.kz

Изучение перспектив применения композитных Al_2O_3- Si_3N_4 керамик в качестве материалов для инертных матриц ядерного топлива нового поколения, не может обходиться без экспериментальных работ, связанных с изучением их радиационной стойкости, а также определением критических доз повреждений, при которых происходит дестабилизация поврежденного слоя и разупрочнение. Интерес к композитным керамикам в области ядерной энергетики обусловлен в первую очередь возможностью создания на их основе новых видов ядерного топлива, способного выдерживать воздействие высоких температур, а также больших доз радиации, возникающих в результате увеличения глубины выгорания ядерного топлива.

В ходе проведенных исследований установлено, что в увеличение температуры облучения с 300 К до 1000 К приводит к ускорению процессов дестабилизации поврежденного приповерхностного слоя, а также более интенсивному разупрочнению приповерхностного слоя, связанного с дестабилизацией кристаллической структуры. В ходе проведенных исследований было определено, что в случае облучения при температуре 1000 К при высокодозном облучении концентрация аморфных включений увеличивается более чем в 1.5 – 2 раза в сравнении с аналогичными дозами облучения при температуре 300 К.

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ИОНИЗАЦИИ АМФЕТАМИНА И МЕТАМФЕТАМИНА

Х.Г. Комилова[1)], Д.Т. Усманов[2*)]
[1)]Ургенчский государственный университет, Ургенч, Узбекистан
[2)]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий,
АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[*)]e-mail: usmanov@iplt.uz

В работе проведено масс-спектрометрическое исследовано закономерностей поверхностной ионизации (ПвИ) амфетамина и метамфетамина, которые являются наркотическими стимуляторами. Исследование этих веществ актуально как в фундаментальном, так и в прикладном аспекте.

Эксперименты проводились с использованием модернизированного для исследований ПвИ статического магнитного масс-спектрометра МИ-1210В [1]. Температура эмиттера регулировалась в диапазоне 600-1250 К, а испарителя – в диапазоне 50-130^{o}С. В работе обсуждаются закономерности ионобразования амфетамина и метамфетамина при ПвИ. Получены масс-спектры, изучены температурные зависимости ионных токов, а также определены теплоты сублимации исследуемых соединений. Масс-спектры амфетамина и метамфетамина малолинейчаты и состоят из квазимолекулярных ионов $[M\text{-}H]^+$ и фрагментных ионов $[M\text{-}R]^+$. Определённые теплоты сублимации молекул составляют 0.13 эВ для амфетамина и 0,15 эВ для метамфетамина. Температурные зависимости ионных токов характеризуют протекающие гетерогенные реакции молекул на горячей поверхности. Установлено, что адсорбция осуществляется гетероатомом азота на поверхности адсорбента, что характерно для азотсодержащих соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Usmanov D.T., Khasanov U., Akhunov Sh. Dj., et al. Eur. J. Mass Spectr., 2020, Vol. 26(2) 153–157.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАТОДА С ТОНКОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛЁНКОЙ И ПЛАЗМЫ ТЛЕЮЩЕГО ГАЗОВОГО РАЗРЯДА В СМЕСИ АРГОНА И ПАРОВ РТУТИ

Г.Г. Бондаренко[1)], Д.О. Савичкин[2)], М.Р. Фишер[3)], В.И. Кристя[3,*)]
[1)] Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия
[2)] ЗАО «Топ Системы», Москва, Россия
[3)] Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия
[*)] e-mail: kristya@bmstu.ru

Одним из типов газоразрядных приборов являются ртутные осветительные лампы, в которых в качестве рабочего газа используется смесь аргона с фиксированной концентрацией и паров ртути, концентрация которых зависит от температуры. Для уменьшения напряжения зажигания разряда на поверхности их электродов часто формируют тонкие диэлектрические пленки. В разряде на поверхности пленки на электроде, выполняющем функции катода, накапливаются положительные заряды, что приводит к возникновению в ней электрического поля, достаточного для появления усиленной температурой полевой эмиссии электронов из катода. В смеси аргон-ртуть существенный вклад в ионизацию газа в разрядном объеме может давать ионизация атомов ртути при столкновениях с возбужденными атомами аргона (реакция Пеннинга), что обусловливает зависимость характеристик разряда от температуры смеси при ее достаточно низких значениях.

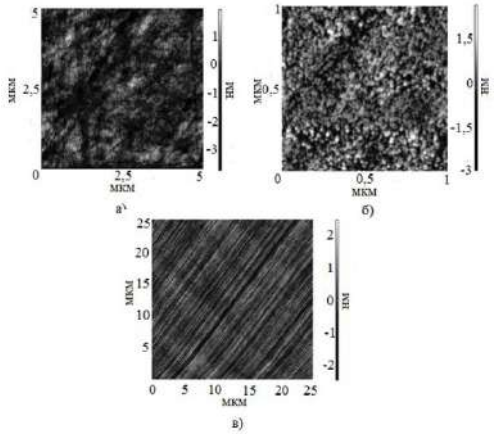
В данной работе сформулирована модель тлеющего газового разряда в смеси аргон-ртуть при наличии на катоде тонкой диэлектрической пленки. Рассчитаны зависимости характеристик катодного слоя разряда от температуры в интервале ее изменения, в котором вклад реакции Пеннинга максимален. Показано, что такой разряд существует при меньшем напряжении между электродами и при большей плотности разрядного тока, чем в случае катода без пленки. Это может обусловливать уменьшение интенсивности его распыления и более быстрый переход тлеющего разряда в дуговую форму.

АНАЛИЗ ХАОТИЧЕСКОГО РЕЛЬЕФА И ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЛАЗМЕННОЙ ДУГИ

А.И. Кудюкин
Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, Рязань, Россия
e-mail: a.kudykin@rsu-rzn.ru

На основе применения методов атомно-силовой микроскопии для анализа топографии полированной поверхности стеклокерамики обнаружено существование, по крайней мере, трех типов рельефа (рис. 1). В зависимости от особенностей воздействия на поверхность авторами работы были названы изотропным (а), зернистым (б) и анизотропным (в).

Рис.1 Изображения поверхности ситалловых подложек, полученные с помощью АСМ: а – изотропный, б – зернистый и в – анизотропный



Исходя из анализа данных видно, что образование слоя наплавления материала, его перемещение по поверхности электродов в процессе горения дуги, связано с перераспределением основных элементов многокомпозиционного сплава образцов. Это свидетельствует о том, что деградация связана с перемещением материала с одной части поверхности на другую.

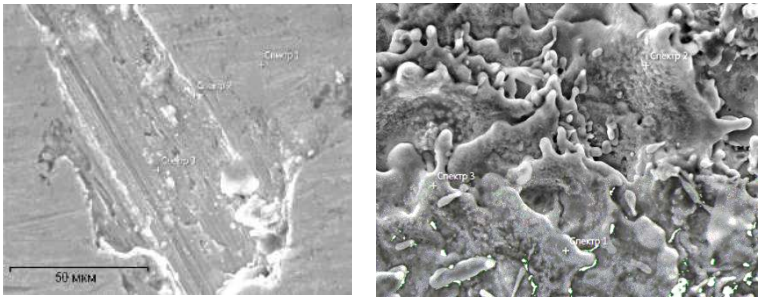
ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЕННОГО РАЗРЯДА НА КОНТАКТЫ ЭЛЕКТРОДОВ

А.И. Кудюкин
Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, Рязань, Россия
e-mail: a.kudykin@rsu-rzn.ru

С помощью растрового электронного микроскопа исследована морфология поверхности контактов до и после ресурсных испытаний. В зоне исследования обеспечивался вакуум около 10^{-7} мм рт. ст. Глубина сбора информации до 2 мкм обеспечивалась при ускоряющем напряжении 30 кВ, а до 0,6 мкм – 15 кВ.

Полученные электронные изображения представлены на рисунке 1, из которых следует, что после длительной работы в штатном режиме с замыканием контактов при высоком напряжении и их размыканием с разрывом большого тока морфология поверхности существенно изменяется. Отчетливо видно множество оплавленных микровыступов с закругленными вершинами и углублений между ними. Такая картина возможна при «мостиковой» эрозии, при которой микровыступы перед размыканием контактов плавятся электрическим током, и жидкий металл «растягивается» в процессе расхождения электродов с образованием «мостиков». Когда мостик разрывается, его вершина округляется под действием сил поверхностного напряжения жидких металлов. Форма вершины сохраняется после охлаждения и затвердевания вещества.

Рис.1 Микрофотография поверхностей контактов до и после ресурсных испытаний



МЕТАЛЛ-УГЛЕРОДНЫЕ КЛАСТЕРЫ, РАСПЫЛЕННЫЕ ИОНАМИ Cs^+ С ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД

Р.Т.Курбанов[1,*)], С.Е.Максимов[2)], Ш.Т.Хожиев[3)]
[1)] Белорусско-Узбекский межотраслевой институт прикладных технических квалификаций; Ташкент, Узбекистан
[2)] Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[3)] Ташкентская Медицинская Академия, Ташкент, Узбекистан
*e-mail: r.kurbanov@sbumiptk.uz

В настоящее время для решения задач ионных технологий особое место занимает изучение методов генерации кластерных структур различной стехиометрии. Одним из таких методов является ионная бомбардировка границы раздела двух различных мишеней [1]. Исследование эмиссии и фрагментации железо-углеродных кластеров было выполнено на установке [2] при бомбардировке ионами Cs^+ с энергией 18,5 кэВ границы раздела пиролитического графита с Fe мишенью. Обнаружено, что наряду с кластерами FeC_n^- и $Fe_2C_n^-$ наблюдается эффективная генерация цезийсодержащих кластеров $FeCsC_n^-$ и $Fe_2CsC_n^-$. Распределение выходов FeC_n^- характеризуется монотонным спадом интенсивностей с увеличением числа атомов углерода в кластере в области $n<18$, практически отсутствуют какие-либо особенности, связанные с чётно-нечётными осцилляциями выходов. В распределении кластеров $Fe_2C_n^-$ можно выделить существование нескольких областей с различным видом изменения интенсивностей выхода в зависимости от n, для него характерно отсутствие явного падения интенсивностей пиков при увеличении размера кластера во всём диапазоне n. Исследование по стандартной методике [2] каналов фрагментации показало, что для всех данных кластеров существует общий канал распада с выбросом нейтрального Fe^0. В целом, полученные данные свидетельствуют о перспективности методики [1] для решения широкого круга фундаментальных и прикладных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р.Т.Курбанов, З.А.Исаханов. //Узбекский физический журнал. 2020. Т.22. № 5. С. 308-311.
2. A.D.Bekkerman, N.Kh.Dzemilev, V.M.Rotstein. //Surf.Interf. Anal. 1990. V.15. P.587-590.

РАСПЫЛЕНИЕ ВОЛЬФРАМА АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ МэВ ЭНЕРГИЙ

В.С. Михайлов, П.Ю. Бабенко, А.Н. Зиновьев*)
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
*) e-mail: zinoviev@inprof.ioffe.ru

Получены зависимости коэффициентов распыления вольфрама от энергии налетающих альфа-частиц. Результаты получены методом компьютерного моделирования с помощью оригинального кода /1/. На рисунке 1 представлено сравнение полученных результатов с экспериментальными и расчетными данными из /2/. Отличительной особенностью наших расчетов является использование многочастичных потенциалов, полученных с помощью теории функционала плотности /3/.

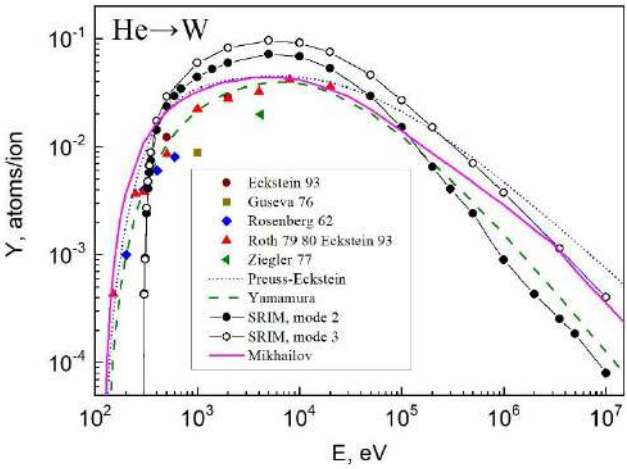


Рис.1. Зависимость коэффициента распыления Y от энергии соударения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mikhailov, V.S., Babenko, P.Y., Shergin, A.P. et al. // Plasma Phys. Rep. 2024, Vol. 50, 23–34

2. R. Behrisch and W. Eckstein, Sputtering by Particle Bombardment, Berlin, Springer, 2007, 508.

3. F. Granberg, J. Byggmästar, K. Nordlund // Journal of Nuclear Materials, 2021, Vol. 556, 153-158

МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОЛЬЗЯЩЕГО РАССЕЯНИЯ ИОНОВ NA НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ

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

Электронный обмен ионных пучков с поверхностью представляет существенный интерес для фундаментальной науки и является важнейшим фактором при изучении элементного состава и структуры поверхности твердых тел.

В настоящей работе исследуется скользящее рассеяние ионов Na на металлических поверхностях путем компьютерного моделирования.

Моделирование электронного обмена с металлическими поверхностями основывается на нестационарной модели Андерсона-Ньюнса /1/, предполагающей численное решение нестационарного уравнения Шредингера.

В работе также производится сравнение полученных результатов с результатами моделирования, полученными в других научных группах с использованием других расчетных моделей /2,3/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Newns D.M.// Physical Review, 1969, 178, №. 3, 1123.
2. Liu P. et al. // Physical Review A, 2020, 101, №. 3, 032706.
3. Borisov A. G. et al. // Physical Review B, 1996, 54, №. 23, 17166.

ВЛИЯНИЕ БЛИЖАЙШЕГО АТОМНОГО ОКРУЖЕНИЯ НА ЭФФЕКТ БЛОКИРОВКИ АТОМОВ ПРИ ЭМИССИИ С ПОВЕРХНОСТИ (001) Au

А.И. Мусин[1)], В.Н. Самойлов[2)], Н.Г. Ананьева[2)]
[1)]Вятский государственный университет, Киров, Россия
[2)]МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

В докладе рассмотрена финальная стадия распыления (001) Au – эмиссия атома поверхностного слоя из узла решетки. Было проведено сравнение пяти моделей с разным числом атомов окружения:

1. без атомов окружения;
2. с 4 атомами поверхностного слоя, как в [1];
3. с 4 атомами поверхностного и 4 – второго слоя;
4. с 20 атомами поверхностного слоя, как в [2];
5. с 12 атомами поверхностного и 4 – второго слоя.

Атом эмитировался в азимутальном направлении <010> под различными полярными углами с энергиями от 0.5 до 100 эВ. Траектории атомов вычислялись методом молекулярной динамики. Во всех моделях притяжение эмитируемого атома к поверхности в целом описывалось плоским потенциальным барьером высотой $E_b = 3.78$ эВ.

Показано, что добавление атомов второго слоя увеличивает вероятность преодоления барьера и, таким образом, распыления. В частности, в модели 5 появляется возможность распыления атомов, которые вылетали с полярными углами $\theta_0 \approx 85°$.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысоко-производительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Самойлов В.Н., Носов Н.В. // Поверхность, 2014, № 3, с. 81-92.
2. Самойлов В.Н., Мусин А.И. // Изв. РАН. Сер. физ., 2018, Т. 82, № 2, с. 171-176.
3. Vl. Voevodin et al. // Supercomp. Front. Innov., 2019, V. 6, No. 2, p. 4-11.

МЕХАНИЗМЫ СОЗДАНИЕ СОГЛАСУЮЩИХСЯ СЛОЕВ НА ГРАНИЦАХ РАЗДЕЛА СИСТЕМ CaF_2/GaAs И GaAs/CaF_2

Ташатов.А.К., Мустафоева.Н.М., Кучаров.С.Ш., Норкулова.Х.Ш.
Каршинский государственный университет, 180003 Карши, Узбекистан,
mustafoyevan@gmail.com

Для получения переходящих слоев на границе GaAs/CaF_2 и CaF_2/GaAs нами использован метод ионной имплантации. Имплантация производилась ионами Ba^+, Na^+, Mg^+ и Sr^+. Затем проводился постимплантационный отжиг до температуры, при которой формировалась монокристаллическая структура [1]. В случае GaAs частичная замена Ga атомами Ba и Sr приводила к росту постоянной решетки системы, а при замене Ga атомами Na монотонное изменение параметра решетки не наблюдалось. Наиболее совершенные согласующиеся слои применительно для систем GaAs/CaF_2 получены при имплантации GaAs ионами Mg^+.

В зависимости C_{Mg} от d, полученные после прогрева при различных температурах GaAs, легированного ионами Mg с E_0=1 кэВ при дозе насыщения $D=4\cdot10^{16}$ $см^{-2}$ до отжига большая часть имплантированных атомов располагается на поверхности и вблизи нее до глубины 40-45 Å. Прогрев при T=600 К приводит к небольшому возрастанию концентрации атомов Mg на поверхности, что связано с диффузией несвязанных атомов магния к поверхности. С дальнейшим ростом температуры усиливается диффузия атомов Mg к поверхности и вглубь мишени, образование соединений Ga - Mg - As, отжиг дефектов и кристаллизация ионно - легированных слоев.

Аналогичным образом получен переходной слой в приповерхностной области CaF_2 для системы CaF_2/GaAs. В отличие от выше рассмотренного случая в этом случае необходимо создавать пленки с увеличивающейся "постоянной решетки". Такие слои создавались после прогрева CaF_2, имплантированных ионами Ba^+ и Sr^+. Для системы Ba-Ca-F_2 оптимальной оказалась температура 1000 К, а для системы Sr-Ca-F_2-1100 К.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ташмухамедова Д., Умирзаков Б.Е., Ташатов А.К. // Известия РАН. Серия физическая. – М. 2003. - № 9 (7). С. 35-36.

АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННЫХ КОНЦЕПЦИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИ СО СЛОЖНЫМИ СРЕДАМИ

Б.Л.Оксенгендлер[1*)], И.Нуритдинов[2)], С.Х.Сулейманов[1)], С.Е.Максимов[3)], А.Ф.Зацепин[4)], Н.Н. Никифорова[1)], Ф.О.Олимжонова[5)]
[1)]Институт Материаловедения АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[2)]Институт Ядерной Физики АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[3)]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз
[4)]Физико-технологический институт Уральского федерального университета, Екатеринбург, Россия
[5)]Самаркандский Государственный Медицинский Университет, Самарканд, Узбекистан
[*)] e-mail: oksengendlerbl@yandex.ru

Успехи идей Complexity в радиационных эффектах связаны с парадигмами синергетики, что в основном реализовано на сложных объектах неживой природы. Параллельно в объектах живой природы была развита концепция синергистики, означающая комбинированное воздействие радиационных факторов с факторами иной физико-химической природы. Полагая, что радиационные эффекты и синергетики, и синергистики являются сложными, логично искать общую унифицированную единую базу их использования. Эта программа реализована следующим образом. 1. В 4-х стадийной схеме Платцмана-Стародубцева (1952-1960) выявить наличие аддитивности либо ее нарушение при передаче энергии от радиации к веществу. 2. Нахождение на этой основе эмерджентности, т.е. сложности определенного типа. 3. Произвести моделирование макроэффектов на основе топологической теории катастроф Тома (1972). 4. Применить новые представления о реализации сложности, используя комбинационный подход «синергетика+синергистика» к конкретным системам, в т.ч. в условиях ионизирующего воздействия электронов и ионов выявить проявления такого классического (для «неживой природы») радиационного эффекта, как радиационная тряска, для погашения мутаций при Оже-деструкции биологических молекул. Полученные результаты указывают на верность подхода, когда под Complexity дополняют друг друга концепции синергетики и синергистики, реализующие радиационные процессы в сложных средах, приводя к эмерджентности.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ НА МЕМРИСТОРЫ НА ОСНОВЕ $ZrO_2(Y)$

Е.В. Окулич[1,*)], Д.В. Гусейнов[1)], М.Н. Коряжкина[1)], Д.И. Тетельбаум[1)], Н.О. Бартев[2)], Н.Г. Данченко[2)], В.А. Пикарь[2)], А.В. Тетеревков[2)], А.Н. Михайлов[1)]

[1)] Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

[2)] «Российский федеральный ядерный центр» – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров, Нижегородская область, Россия

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

Мемристоры перспективны для различных применений: от элементов памяти до компонентов нейроморфных и нейрогибридных систем. Они могут иметь структуру металл-диэлектрик-металл и работать на основе эффекта резистивного переключения (РП) локальной области внутри диэлектрика при воздействии электрического поля. К их преимуществам можно отнести низкое энергопотребление, высокую скорость работы и степень интеграции. Поскольку запоминающие устройства являются важными элементами электронной техники, эксплуатируемой в условиях повышенной радиации, подтверждение радиационной стойкости мемристоров становится крайне важной задачей.

В данной работе с целью определения влияния ионизирующего и дефектообразующего облучения на параметры РП мемристоров на основе $ZrO_2(Y)$, обладающих высокой устойчивостью к многократному РП и длительным временем удержания записанного резистивного состояния, проведено имитационное моделирование условий повышенной радиации. Результаты работы свидетельствуют о высокой радиационной стойкости исследованных устройств.

Исследование выполнено в рамках научной программы Национального центра физики и математики, направление № 9 «Искусственный интеллект и большие данные в технических, промышленных, природных и социальных системах», и гос. задания № FSWR-2025-0006. Исследования выполнены с использованием оборудования ЦКП НОЦ ФТНС ННГУ.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ β-Ga_2O_3 ПРИ ИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

Е.В. Окулич[1,*)], Д.И. Тетельбаум[1)], В.И. Окулич[2)]
[1)] Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия
[2)] НИУ филиал РАНХиГС, Нижний Новгород, Россия
[*)] e-mail: eokulich@nifti.unn.ru

В последнее десятилетие чрезвычайно большое внимание среди других полупроводниковых материалов приобрел Ga_2O_3 в связи с его уникальными свойствами, важными для ряда актуальных применений. В результате значительно возрос интерес к исследованиям в области ионной имплантации этого полупроводника, в том числе компьютерное моделирование структурных изменений при ионном легировании.

После окончания динамической стадии формирования каскада смещения атомы легирующей примеси частично замещают узлы, а частично попадают в междоузлия. Однако такие позиции в общем случае не стабильны, т.к. не соответствуют принципу минимума энергии и подвержены структурной релаксации.

В настоящей работе с использованием программного пакета Quantum Espresso произведены расчеты изменений атомных конфигураций в β-Ga_2O_3 при ионной имплантации некоторых химически активных и неактивных примесей с учетом релаксации. Рассмотрены случаи, когда проводится имплантация двух примесей из набора – H, N, Si, Ar. Установлено, что в зависимости от химических свойств примесей и их исходных позиций может происходить образование либо разрушение комплексов, включающих в себя введенные примесные атомы, либо сохранение первоначально созданных комплексов. Эти результаты представляют интерес при планировании экспериментов по ионной модификации оксида галлия, в том числе для технологии создания тех или иных устройств на его основе.

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

РАЗВИТИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ИОНИЗАЦИИ ДЛЯ ПРЯМОГО ОБНАРУЖЕНИЯ КОКАИНА В БИОЛОГИЧЕСКИХ МАТРИЦАХ

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

Обнаружение и анализ кокаина являются актуальными в связи с широким распространением злоупотребления этим веществом. Поэтому разработка чувствительных и селективных методов для обнаружения кокаина представляет большой научный интерес. Метод поверхностной ионизации (ПвИ) обладает высокой селективностью по отношению к потенциалу ионизации исследуемых соединений что делает его перспективным для прямого обнаружения и анализа кокаина.

В данной работе проведено масс-спектрометрическое исследование кокаина в биологической жидкости [1]. Разработан метод ПвИ для прямого определения кокаина в образцах мочи человека при совместной адсорбции на поверхности твёрдых тел. Сначала экспериментально исследована чистый кокаин, установлены состав ионов, а также температурные характеристики образующихся ионов. Установлено, что основным ионом является фрагментный ион $[M\text{-}R]^+$с m/z 182 во всём диапазоне температур эмиттера, и этот ион может служить как индикаторный ион в сложных растворах. Исследования показали, что при совместной адсорбции кокаина и биологической жидкости в масс-спектре смеси тоже доминирует ион с m/z 182, что подтверждает селективность метода ПвИ. Установлено, что благодаря высокой селективности метода многие ингредиенты моче не образуют ионы, что облегчает идентификации ионов кокаина.

МОДИФИКАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСПЫЛЕНИЯ С УЧЕТОМ РАССЕЯНИЯ ИОНОВ ПОВЕРХНОСТНЫМИ АТОМАМИ МИШЕНИ

А.Ф. Вяткин, А.Н. Пустовит
ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия
pustan@iptm.ru

В /1/ найдено, что для точного теоретического описания экспериментальных (Y_{exp}) коэффициентов распыления (SY) мишени ионным пучком необходимо учитывать долю ионов, отраженных поверхностными атомами образца: $Y_{exp} = G\ Y$, где Y – теоретический SY, G - поправочный коэффициент. Цель данной работы состояла в анализе влияния входящих в G параметров на величину экспериментального SY. Для этого было проведено

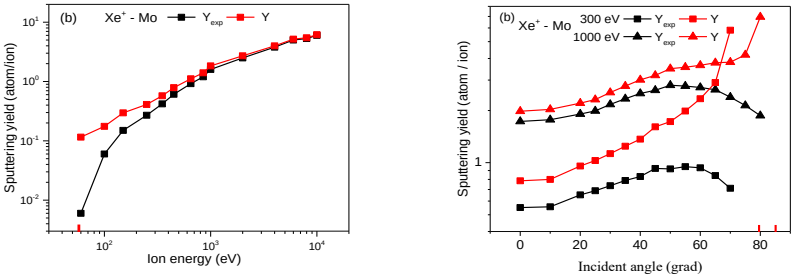


Рис.1 Энергетические и угловые зависимости экспериментальных (черные фигуры, /2/) и скорректированных (красные фигуры) SY для пары Xe^+- Mo. Красными метками на осях абсцисс указаны пороговые энергии распыления.

сравнение величин Y_{exp} и рассчитанных по формуле $Y = Y_{exp}/G$ с учетом найденного в /1/ значения G. Расчеты проводились для ионов H^+, D^+, He^+, Ne^+, Xe^+ и мишеней C, Ni, Mo. Для примера на рис. 1 показаны экспериментальные (черные фигуры, /2/) и рассчитанные (красные фигуры) SY для пары Xe^+- Mo. Данные на рис. 1 показывают значительные изменения значений Y_{exp}/G по сравнению с Y_{exp}, в областях низких энергий и больших углов падения пучка ионов (в районе пороговых энергий распыления).

ЛИТЕРАТУРА

1. A.N. Pustovit // Vacuum, 2024, 229, 113550.
2. R.D. Kolasinski, J.E. Polk, D. Goebel, L.K. Johnson, J. Vac. Sci. Technol. A, 2007, 25 (2), 236.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ЗАВИСИМОСТИ ГЕТЕРОГЕННЫХ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ МОЛЕКУЛ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ОТ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ ИХ ПОВЕРХНОСТНОЙ ИОНИЗАЦИИ НА ПОВЕРХНОСТИ ОКИСЛЕННОГО ВОЛЬФРАМА

А.Ш. Раджабов[1,2,*)], Д.Т. Усманов[1)], С.С. Исхакова[1)]
[1)] Институт Ионно-плазменных и лазерных технологии АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[2)] Филиал РГУ нефти и газа в городе Ташкенте, имени Губкина, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: a.radjabov0217@gmail.com

Как известно, поверхностная ионизация (ПИ) является селективный способом ионизации атомов и многоатомных частиц. Учитывая закономерностей ПИ молекул органических соединений, способы управления селективности метода ПИ можно разделить на три части. Первый из них основан на подборе материалов для ПИ эмиттеров с различной каталитической активностью и работой выхода. Второй основан на управления температурой эмиттера, тем самым управляя каналы гетерогенных химических реакций молекул на поверхности эмиттера и степени ионизации частиц. Третий основан на управления энергетических параметров единой квантовомеханической системы адсорбированная молекула-эмиттер с помощью внешнего электрического поля. К настоящему времени существует многочисленные научные и научно-технические работы по применению первого и второго метода управления степени селективности метода ПИ. Однако, механизм селективности ПИ под действием внешнего электрического поля все еще остается невыясненным. Главная трудность выявления механизма управления селективности метода ПИ заключается в выявлении закономерности зависимости число каналов и скоростей гетерогенных химических реакции молекул органических соединений на поверхности эмиттера от величины напряженности внешнего электрического поля. Для этого нами проводятся исследования для выявления закономерности данных зависимостей. В докладе будит приведены разработанная экспериментальная установка, результаты экспериментальных и теоретических исследований.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОТОНИРОВАННЫХ ИОНОВ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ИОНИЗАЦИИ МОЛЕКУЛ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

А.Ш. Раджабов[1,2,*)], Д.Т. Усманов[1)]
[1)] Институт Ионно-плазменных и лазерных технологии АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[1)] Филиал РГУ нефти и газа в городе Ташкенте, имени Губкина, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: a.radjabov0217@gmail.com

Известно, что при адсорбции молекул органических соединений на поверхности поверхностно-ионизационного (ПИ) эмиттера могут образовываться химические продукты химических реакций типов [M-H], [M-nH], [M-R] и [M-R-2nH], а также протонированные [M+H] частицы, (где: M – молекула, H – водород, отделяющийся от молекулы; n – количество отделяющихся атомов водорода; R – радикал, отделяющийся от молекулы) [1]. К настоящему времени проведено множество научных исследований, направленных на определение закономерностей образования данных типов ионов, а также выявлению характеристик их взаимодействия с поверхностью ПИ эмиттера [1,2].

Однако среди различных типов ионов механизм образования ионов $(M+H)^+$ до конца не изучен. На сегодняшний день существует два основных модели, объясняемых в работах [1, 2]. Настоящая работа направлена на исследование механизма формирования ионов $(M+H)^+$ при воздействии высоких значений электрического поля. Для этого нами проводятся исследования закономерностей ПИ для анилина, этиламина, триэтиламина и 1,1-диметилгидразина. В ходе исследований было установлено, что интенсивность линии $(M+H)^+$ в масс-спектрах увеличивается с ростом напряженности электрического поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. U.Kh. Rasulev, E.Ya. Zandberg, Surface ionization of organic compounds and its applications, Progress in Surface Science, 1988,Volume 28, Issues 3–4, 1988, Pages 181-412.
2. С.А. Солнцев, К.О. Нагорнов, В.И. Капустин, // Вестник МИТХТ, 2011, т. 6, № 2, с.112-118.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ИОНИЗАЦИИ МОЛЕКУЛ ТРИЭТИЛАМИНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

А.Ш. Раджабов[1,2,*)], Д.Т. Усманов[1)]
[1)] Институт Ионно-плазменных и лазерных технологии АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[2)] Филиал РГУ нефти и газа в городе Ташкенте, имени Губкина, Ташкент, Узбекистан,
[*)] e-mail: a.radjabov0217@gmail.com

Известно, что метод поверхностной ионизации (ПИ) является одним из селективных методов ионизации молекул органических веществ. К настоящему времени проведено множество научных исследований, направленных на определение законов поверхностной ионизации молекул органических веществ и применение этих результатов в области аналитической химии и достигнуты значительные результаты [1,2]. Однако в данной области остаются нерешёнными несколько важных вопросов. Один из них является закономерность влияния сильного электрического поля на физико-химические процессы, происходящие при адсорбции молекул органических соединений на поверхности ПИ эмиттера.

Целью данной работы является изучение закономерностей влияния напряженности электрического поля на процесс поверхностной ионизации молекул органических соединений. Для этого была экспериментально изучена закономерность поверхностной ионизации молекул триэтиламина. Эксперименты проводились на масс-спектрометре MI-1201, и была исследована зависимость ионов $[M-H]^+$, $[M-CH_3]^+$ и $[M+H]^+$ от температуры ПИ эмиттера при напряжениях 5 кВ и 15,25 кВ. Результаты показали значительное различие в температурных зависимостях тока ионов при данных напряжениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. У.Х. Расулев, Взаимодействия многоатомных частиц с поверхностью, Ташкент, Meriyus, 2011, 648 ст.
2. S.D Akhunov, B.S Kasimov, K.B Ashurov, D.T Usmanov, // Journal of Analytical Chemistry, 2021, 12, 76, 1499-1504

О ТРЁХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ДИФФУЗИИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НЕОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА, ГЕНЕРИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫМ ЗОНДОМ В ОДНОРОДНОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ МИШЕНИ

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

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

Ранее /1/ нами предложена математическая модель процесса нестационарной двумерной диффузии неравновесных неосновных носителей заряда, генерированных низкоэнергетическим (до 10 кэВ) электронным зондом в однородной полупроводниковой мишени, после прекращения воздействия электронного зонда на полупроводниковую мишень для двух различных каналов рекомбинации. В настоящей работе описана математическая модель трёхмерной диффузии носителей заряда в однородном полупроводниковом материале с учетом динамики нагрева мишени электронами зонда с энергией до 50 кэВ. Модельные расчёты проведены для процесса диффузии экситонов в однородном монокристаллическом нитриде галлия.

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

ЛИТЕРАТУРА

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

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИЗА ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ К НАНОСТРУКТУРАМ ЗОЛОТА ПОЛУЧАЕМЫМ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКОЙ

В.М.Студзинский, А.И.Клевцов, Е.Д.Федоренко, А.С. Кондратьева, П.А.Карасев
Политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия

В работе исследовались особенности формирования наночастиц из плёнок золота толщиной порядка единиц нанометров облучением ионами P, PF_4 и Ta с энергией 0.6 кэВ/а.е.м и 1.3 кэВ/а.е.м. на полиметилметакрилате, полистироле и оксидах. Сравнение экспериментальных данных проводилось при одинаковом количестве смещений атомов золота (DPA). Анализ исходных и полученных структур проводился при помощи АСМ и РЭМ. Изменение химических связей в полимерах исследовано при помощи ИК-Фурье спектроскопии. Определялась фрактальная размерность и Фурье образы полученных изображений наноструктур.

Облучение формирует наноразмерные особенности из тонкого слоя металла на поверхности и, возможно, в приповерхностном слое, а также существенно влияет на подложку в случае полимеров. Наблюдается уменьшение занятой частицами площади мишени в ходе твердофазного сворачивания золота на поверхности с ростом дозы ионов. Для получения хорошо разделенных золотых наночастиц на полимерах и оксиде никеля требуются более высокие дозы, чем на оксиде кремния [1]. Это происходит при температурах значительно ниже температуры плавления золота. Одним из механизмов формирования данных структур выступает ионно-стимулированное вязкое течение металла при стремлении системы к минимизации поверхностной энергии. Кроме того, могут играть роль процессы модификации свойств подложки ионным пучком.

ЛИТЕРАТУРА

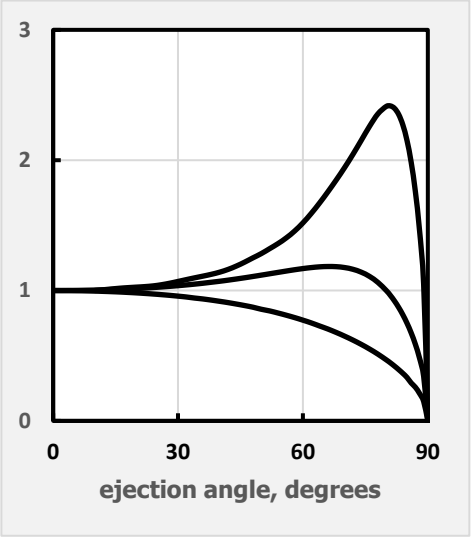
1. M.S. Tuzhilkin et al., ФТП 54(1), 2020, 90-96.

CALCULATION OF ION REFLECTION FROM SOLID IN THE SMALL ANGLE APPROXIMATION

L. Forlano[1)] and A. I. Tolmachev[2)]

[1)] University of Calabria, Cosenza, Italy
[2)] Russian New University, Moscow, Russia
e-mail: tolmachev.alex@rambler.ru

If ion energy is much more than the surface binding energy then in every collision event the ions are scattered preferentially on small angles, and the collision integral in equation of transfer can be substituted by the angular Laplace operator. The small angle approximation gives opportunity to obtain solution of some reflection problems in analytical form /1–4/.



In the present work we generalized the result /2/ valid for the case of grazing ion incidence for the case of arbitrary incidence angles. The Figure shows angular distribution of reflected ions for incidence angles 0^0 (normal incidence, lower curve), 60^0 and 75^0 (upper curve). All distributions are normalized to their values at zero ejection angle. The last curve demonstrates the same cupola-like shape as theory /2/.

REFERENCES

1. Yang G. N. // Physical Review, 1951, vol. 84, p. 599.
2. Firsov O. B. // Soviet Physics Doklady, 1967, vol. 11, p. 732.
3. Remizovich V. S., Ryazanov M. I., Tilinin I. S. // Soviet Physics JETF, 1981, vol. 52, p. 225.
4. Tolmachev A. I. // Bulletin of the Academy of Sciences of USSR, Physical Series, 1990, vol. 54, p. 13.

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОУПРУГИХ ПРОЦЕССОВ В МЕТАЛЛАХ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ УСКОРЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ

З.А. Шарипов[1*)], Б. Батгэрэл[1,3)], И. Сархадов[1)], З.К. Тухлиев[1)], И.Г. Христов[2)], Р.Д. Христова[2)]

[1)]Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

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

[3)]Монгольский государственный университет науки и технологии, Улан-Батор, Монголия

*) E-mail: zarif@jinr.ru

В работе методом молекулярной динамики [1] проведено исследование термоупругих процессов в металлических мишенях при облучении ускоренными частицами: тяжелыми ионами и нанокластерами. При молекулярно-динамическом моделировании термоупругих процессов теплопроводность и упругость изначально связаны и вычисляется по определенной формуле, и рассматривается как состояние среды по определенным свойствам.

Моделирование проводилось в мишенях с различными размерами из диапазона 2-10×2-10×80нм с периодическими граничными условиями по направлениям Ox и Oy, при этом облучении ускоренными частицами проводилась по направлению Oz. Анализируется связь температуры и механических напряжений и их влияние на динамику термоупругих волн в зависимости от энергии и плотностью облучения нанокластерами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лагарьков А Н, Сергеев В М "Метод молекулярной динамики в статистической физике" УФН 125 409–448 (1978).

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И РАДИАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОНТАКТОВ МЕТАЛЛ – АЛЬФА ОКСИД ГАЛЛИЯ

Е.Д.Федоренко[1*)], А.И. Клевцов[1)], А.А. Воробьев[2)],
П.А. Карасев[1)], А.И. Титов[1)]
[1)]Политехнический ун-т Петра Великого, СПб, Россия
[2)]СПб АУ РАН, СПб, Россия
[*)] e-mail: lizasever69@mail.ru

Мы проводим экспериментальное изучение характеристик барьеров различных металлов на α-Ga_2O_3, как сразу после нанесения, так и после отжига, а также влияния бомбардировки ионами He с энергией 350 кэВ на структурные и электрические свойства в α-Ga_2O_3 с металлизированными контактами Ti/Au. Установлено, что контактная структура Ti/Au (20/100 нм) непосредственно после нанесения имела барьерную характеристику Шоттки. Проведение отжига при температуре 400^O в течение 10 минут в атмосфере азота привело к исчезновению барьера. В случае металлизации Yb/Au и Ag/Au, контакты обладали омической проводимостью и проводимостью Шоттки, соответственно. При приложении разности потенциалов к комбинации контактов Yb и Ag на поверхности α-Ga_2O_3 наблюдается ВАХ, характерная для диода Шоттки. При бомбардировке α-Ga_2O_3 ионами создаются дефекты и могут также возникать различные их комплексы, что приводит к увеличению поверхностного сопротивления от $3{,}4\times10^2$ Ом/см^2 до $4{,}5\times10^4$ Ом/см^2. Концентрация носителей после облучения уменьшается от $1{,}5\times10^{20}$ см$^{-3}$ до $5{,}2\times10^{17}$ см$^{-3}$. Облучение мишени выполнялось без дополнительной маски, которая бы защищала подконтактную область от воздействия ионов. Была выявлена неравномерная деградация контактов. Далее процессы изменения электрических свойств α-Ga_2O_3 и контактов были сепарированы друг от друга благодаря разным конфигурациям металлизации: геометрия Ван-дер-Пау, защищенная маской и кольцевые TLM. Также ведется облучение ионами He фоточувствительной диодной структуры с барьером Шоттки на основе легированной оловом эпитаксиальной пленки α-Ga_2O_3.

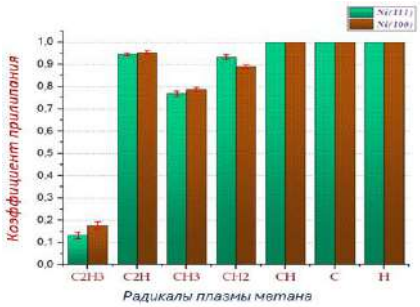
Работа поддержана грантом РНФ 22-19-00166.

АДСОРБЦИЯ МЕТАНОВОЙ ПЛАЗМЫ НА НИКЕЛЕ

Ф.А. Хайдаров[1,*)], З.И. Искандарова[2)], У.Б. Халилов[1,3)]
[1)] Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени Арифова, Ташкент, Узбекистан.
[2)] Институт предпринимательства и педагогики, Денов, Узбекистан
[3)] Антверпенский университет, Антверпен, Бельгия
*) feruzkhaydarov27@gmail.com

Плазменно-каталитическое превращение метана (CH_4) в этилен (C_2H_4) представляет важную задачу для химической промышленности, однако механизмы взаимодействия радикалов, образующихся в плазме, с никелевым катализатором изучены недостаточно [1]. В настоящем исследовании, основанном на компьютерном моделировании, определены основные радикалы CH_4-плазмы (H, CH_3, CH_2, CH, C_2H_3, C_2H) [2], а также рассчитана и сопоставлена их вероятность адсорбции на никелевых (Ni) катализаторах (см. Рис. 1).

Рис.1 Коэффициент прилипания радикалов метановой плазмы к поверхностям Ni(100) и Ni(111)



Результаты показали, что радикалы H, C и CH адсорбируются полностью, CH_2, CH_3 и C_2H – в большей степени (0,80–0,90), а C_2H_3 – в меньшей (0,15–0,18). Это связано с усилением стерического эффекта при увеличении числа атомов водорода, что затрудняет адсорбцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. E.Neyts et.al.//Chemical Reviews, 2015, 24, 13408-13448

2. D.Hash et.al.//Journal of Applied Physics, 2003, 1, 750-752

КОЭФФИЦИЕНТЫ РАСПЫЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ С РАЗЛИЧНЫМ РАЗМЕРОМ ЗЕРЕН ПРИ ВЫСОКИХ ФЛУЕНСАХ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ АРГОНА И ГЕЛИЯ С ЭНЕРГИЕЙ 30 кэВ

Н.Н. Андрианова[1,2], А.М. Борисов[1,2], Р.Р. Мулюков[3]
М.А. Овчинников[1], Р.Х. Хисамов[3,*]

[1)] НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
[2)] МАИ (НИУ), Москва, Россия
[3)] ИПСМ РАН, Уфа, Россия
*e-mail: r.khisamov@mail.ru

Представлены результаты изучения закономерностей эрозии и вторичной электронной эмиссии поликристаллических Ti, Fe, Ni, Cu, W с размером зерен от 100 нм до 500 мкм при высоких флуенсах $\geq 10^{18}$ ион./см^2 облучения ионами аргона и гелия с энергией 30 кэВ. Разный размер зерен в металлах получали интенсивной пластической деформацией и термической обработкой. Ионное облучение проводили на масс-монохроматоре НИИЯФ МГУ [1]. Структуру металлов и морфологию поверхности исследовали электронно-микроскопическими методами. Потери массы образцами при облучении показали, что коэффициенты распыления, а также ионно-электронной эмиссии практически не зависят от размера зерен, а также от исходной или ионно-индуцированной морфологии поверхности, но могут существенно зависеть от кристаллографической текстуры. Результаты обсуждаются в рамках моделей облучения шероховатых поверхностей с учетом затенения выхода распыленных атомов и вторичных электронов [2].

Работа выполнена в рамках государственных заданий МГУ им. М.В. Ломоносова и ИПСМ РАН на экспериментальном оборудовании ЦКП ИПСМ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://beam.sinp.msu.ru/
2. Андрианова Н. Н., Борисов А. М., Овчинников М. А. и др. // Изв. РАН. Сер. физич. 2024. Т. 88. № 4. С. 564-571.

КЛАСТЕРЫ $Si_nO_mH_k^-$, РАСПЫЛЕННЫЕ ПРИ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКЕ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ

Ш.Т.Хожиев[1,*)], Б.Б.Гаибназаров[2)], В.М.Ротштейн[3)].
[1)] Ташкентская Медицинская Академия, Ташкент, Узбекистан
[2)] Ташкентский государственный технический университет им.И.А.Каримова, Ташкент, Узбекистан
[3)] Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан
*e-mail: Khojiev69@bk.ru

Методом ВИМС проведены исследования кластеров $Si_nO_mH_k^-$, распыленных с поверхности кремния ионами O_2^+ с энергией 18,5 кэВ и с одновременным воздействием на поверхность атмосферы водяного пара по методике, аналогичной описанной в [1]. Наблюдение за изменением выходов «магических» [1] кластеров $Si_nO_{2n+1}^-$ показало, что с ростом давления их интенсивности увеличиваются, и при давлении $P=4\text{-}5*10^{-3}$ Па выходы этих кластеров максимальны. При этом абсолютные значения их интенсивностей мало отличаются при том же давлении при напуске в камеру паров воды и кислорода [1]. Наиболее существенным отличием является то, что при напуске H_2O в масс-спектре распыленных кластеров появляются дополнительные интенсивные пики кластеров $Si_nO_{2n}H_k^-$ и $Si_nO_{2n+1}H_k^-$ (k=1-3). Процессы образования этих кластеров качественно описываются в рамках современных синергетических представлений, а основные каналы их формирования определяются в соответствии с механизмом комбинаторного синтеза [2]. Диссоциация H_2O при взаимодействии с поверхностью кремния зоне воздействия бомбардирующих ионов позволяет [3] синтезировать кластеры оксида кремния и формировать устойчивые кластерные конфигурации $Si_nO_mH_k^-$.

ЛИТЕРАТУРА

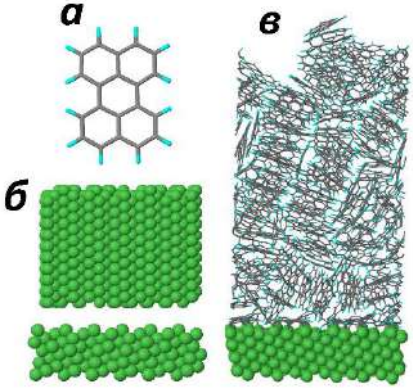
1. Н.Х. Джемилев, Л.Ф. Лифанова, С.Е. Максимов, О.Ф.Тукфатуллин, Ш.Т.Хожиев. //Узбекский физический журнал. 2007. Т.9. № 5-6. С. 325-336.
2. Н.Х. Джемилев. // Поверхность. 2012. № 8. С. 28-34.
3. I.A.Wojciechowski, B.J.Garrison. // J.Phys.Chem. B. 2005. V.109. P.2894-2898.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕНУКЛЕАЦИИ ПЕРИЛЕНА НА Ni (331)

Д.Х. Хусанова[1*)], С.З. Мирзаев[1)] и У.Б. Халилов[1,2)]
[1)] Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[1)] Университет Антверпена, Антверпен, Бельгия
[*)] e-mail: dilfuzahusanova75@gmail.com

Процессы предзародышеобразования кристала перилена на поверхности катализатора до сих пор полностью не изучены. В данном исследовании, мы изучали процессы кластерообразования молекул перилена [1] на поверхности Ni (331) с использованием методов молекулярной динамики.

Рис.1. а) молекула перилена, б) поверхность Ni (331) и в) кластер молекул перилена на поверхности Ni (331)



Характер осаждения молекул перилена на неровной поверхности никеля приводит к формированию структуры, обладающей зигзагообразной симметрией. Полученные данные позволяют предположить, что на начальных этапах формируется кристаллическая структура α- или β-перилена [2]. Данное исследование углубляет понимание каталитического образования периленовых кластеров и направляет манипуляции с органическими кристаллами на основе перилена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Husanova, D., et al., Chemical Physics, 2024, 579, 112191.
2. Urbelis, J. H., et al., Crystal Growth & Design, 2014, 14(10), 5244-5251.

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОКРЫТИЯ ИТО ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПОТОКОМ КИСЛОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ

В.Н. Черник, Л.С. Новиков, Л.А. Жиляков
НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
vlachernik@yandex.ru

Прозрачные электропроводящие пленки из оксида индия–олова (ITO) применяются в космической технике в качестве электропроводных слоев диэлектрических терморегулирующих покрытий и защитных стекол солнечных батарей. Электропроводность поверхности предотвращает ее дифференциальную электризацию под воздействием потоков заряженных частиц в атмосфере Земли. Для этого покрытие должно обладать достаточной электропроводностью и сохранять ее при воздействии факторов космического пространства, в том числе атомарного кислорода (АК). В данной работе проведены исследования прозрачных электропроводных покрытий, нанесенных на подложки из стекла и полиимидной пленки. Имитация воздействия набегающего потока атомарного кислорода проводилась облучением образцов потоком кислородной плазмы. Мерой воздействия служил эквивалентный флюенс АК, определяемый по потерям массы образца-свидетеля из полиимидной пленки Оценка электрического сопротивления образцов производилась путем измерения тока при наложении на образец электродов с приложенной разностью потенциалов 30 -100В для исключения влияния на результат нелинейных эффектов контакта полупроводникового покрытия с Al электродами. Эксперименты показали эффект падения электропроводности покрытия ИТО по мере увеличения флюенса АК. В докладе рассматривается методика облучения потоком кислородной плазмы, измеренные зависимости электрического сопротивления покрытия от эквивалентного флюенса АК, проводится обсуждение и сравнение полученных результатов с известными экспериментальными данными.

COMPUTER MODELING OF THE INTERACTION PROCESS OF THE FULLERENE C_{60} MOLECULE WITH THE SURFACE OF AN ALUMINUM SUBSTRATE

M.B. Choriyeva[1,*)], I.Z. Urolov[1,2)], I.D. Yadgarov[1)]

[1]Institute of Ion-plasma and laser technologies, 100125, 33 Durmon yuli street, Uzbekistan
[2]National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent 100174, Uzbekistan.

*chorievamohinur667@gmail.com

In this research work, the adsorption of fullerene C_{60} molecule on aluminum Al(001) surface was simulated in the open source LAMMPS package based on the Molecular dynamics method. The results were obtained by expressing the Al-Al, C-C and Al-C interactions between the aluminum substrate and the atoms constituting the fullerene molecule using the second-order interatomic potential Tersoff potential [1]. The aluminum substrate on which the adsorption of fullerene C_{60} molecule was observed consists of a cubic single crystal with a size of 18.34×18.34×18.34 Å and has 500 atoms. The adsorption process was carried out at a temperature of 0 K, and to ensure the stability of this temperature, a Noza-Hoover [2] thermostat was used in the NVT ensemble. The adsorption energy of the fullerene molecule on the substrate surface was determined by energy minimization.

The results obtained show that the adsorption of the fullerene C_{60} molecule with a pentagonal configuration on the substrate surface is stable and consists of chemical adsorption with an energy of E ads = 3.10 eV. It was also found that the average length of the Al-C bonds formed during this interaction is equal to λ = 2.46 Å.

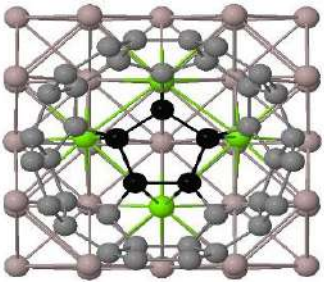


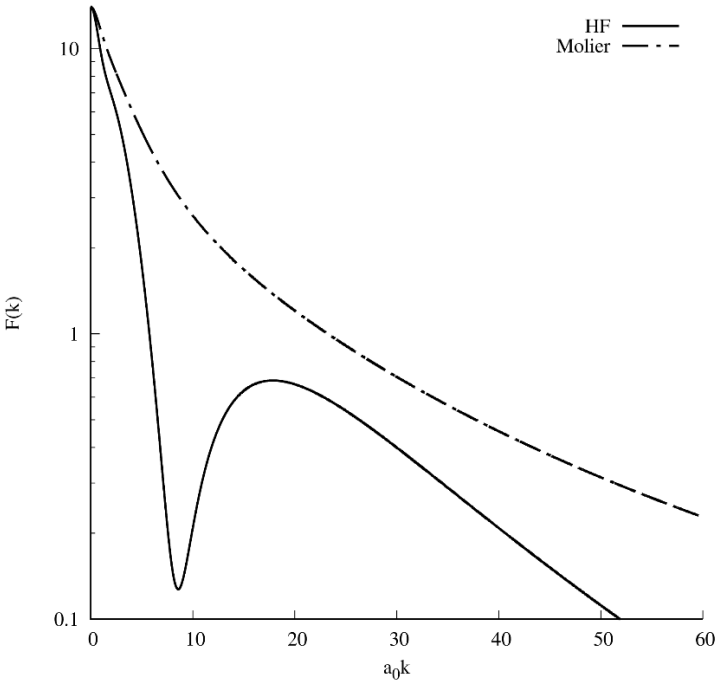
Figure 1 a) Fullerene molecule adsorbed on the (001) surface of the substrate.

[1] G. Plummer and G.J. Tucker, Physical review B, Vol. 100, pp. 214114, 2019.
[2] Hoover, W.G., “Canonical dynamics: Equilibrium phase-space distributions”, Physical Review A, Vol. 31, 1695, 1985.

ВЛИЯНИЕ АТОМНОГО ФОРМ – ФАКТОРА НА ЭФФЕКТ КАНАЛИРОВАНИЯ В КРИСТАЛЛЕ КРЕМНИЯ

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

На рисунке представлено сравнение атомного форм – фактора в приближении Мольер и форм – фактора, который вычислен с помощью уравнения Хартри – Фока для атома кремния [1]. Атомный форм-фактор имеет вид $F\left(k\right)=\int n\left(\vec{r}\right)\exp\left(-i\vec{k}\vec{r}\right)d^3\vec{r}$, где $F\left(0\right)=Z_2$, для кремния $Z_2=14$.



ЛИТЕРАТУРА

1. Clementi E., Roetti C. Atomic Data and Nuclear Data Tables. 1974; 14(3):177-478. DOI: 10.1016/S0092-640X(74)80016-1

ЭФФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МИШЕНИ И ПОВЕРХНОСТНОГО РЕЛЬЕФА В РАСПЫЛЕНИИ

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

Работа мотивирована тем, что для ионов с энергией E_0 > 1 кэВ коэффициенты распыления ряда материалов, полученные в расчетах для аморфной мишени с гладкой поверхностью, существенно отличаются от экспериментальных значений (рис. 1). Это может быть связано как с кристаллической структурой мишени /1/, так и с рельефом ее поверхности, возникающим при распылении /2/. В работе методом компьютерного моделирования проведен расчет коэффициентов распыления аморфных и кристаллических мишеней W, Cu, Ni и Ti, бомбардируемых ионами Ar энергией 0.1-100 кэВ. Результаты расчетов, выполненных без учета и с учетом поверхностного рельефа, сравниваются с данными других авторов.

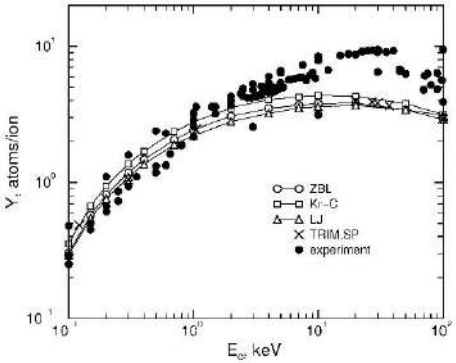


Рис.1. Коэффициент распыления аморфной мишени Cu ионами Ar в зависимости от энергии ионов (падение по нормали). Расчет с использованием программы OKSANA, межатомных потенциалов ZBL, Kr-C и Ленца-Йенсена (LJ), модели неупругого торможения Линдхарда-Шарффа и Оэна-Робинсона и плоского поверхностного барьера высотой E_S = 3.52 eV. Показаны также результаты расчетов по программе TRIM.SP и экспериментальные данные.

ЛИТЕРАТУРА

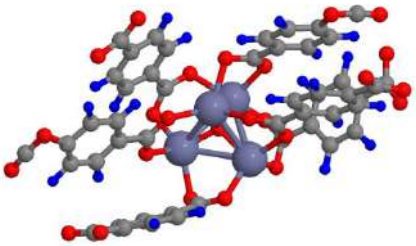
1. V.I. Shulga // NIMB, 2001, V.174, P.423.
2. U. Littmark, W.O. Hofer // J. Mater. Sci., 1978, V.13, P.2577.

A NUCLEATION MECHANISM OF ZINC-BASED MOF STRUCTURES

Aziza Ergasheva[1] and Umedjon Khalilov[1,2]
[1)] Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Tashkent, Uzbekistan
[2)] University of Antwerp, Antwerp, Belgium
[*)] azizaabdujabborqizi@gmail.com

Metal-organic frameworks (MOFs) are of interest due to their high porosity and are used in catalysis, gas separation, and biology [1–4]. Although numerous experimental studies have been conducted on MOF synthesis, the nucleation mechanism has not been sufficiently investigated. Therefore, in this study, we explore the nucleation processes of IRMOF-1 using reactive Molecular Dynamics simulations. The preliminary results indicated that the selected ligand (1,4-benzodicarboxylate) and the metal node (Zn_4O) preferentially combine, forming the IRMOF-1 unit cell (Fig. 1).

Figure 1. Nucleation of Mono IRMOF-1 based on Zn_4O and 1-4-benzodicarboxylate



This study provides new insights into the early synthesis stages of zinc-based IRMOFs.

REFERENCES

[1] O. M. Yaghi et al, Nature **423**, 705 (2003).
[2] Z. Lei et al., Advanced Energy Materials **8**, 1801587 (2018).
[3] X. Zhang et al., Electrochem. Energ. Rev. **2**, 29 (2019).
[4] Y. Deng et al., Biomater. Sci. **12**, 3725 (2024).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДСОРБЦИИ КЛАСТЕРОВ $C_n@C_{20}$ И $C_n@C_{60}$ НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ Si(001)

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

В настоящее время фуллереновые структуры на основе полупроводников резко выделяются в материаловедении своими блестящими перспективами. В частности, возможность использования гидрогенизированных молекул фуллерена с водородом или инкапсулированным атомом в различных участках кристалла кремния в качестве твердотельных кубитов в квантовых компьютерах [1] повышает значимость практических и теоретических работ в этой области.

В данной работе адсорбция кластеров углерода $Cn@C_{20}$ и $C_n@C_{60}$ на поверхности Si(001) моделировалась методом молекулярной динамики с использованием открытого пакета LAMMPS. Рассмотрена адсорбция углеродных структур $C_n@C_{20}$ и $C_n@C_{60}$ на поверхности Si(001) для всех возможных форм углеродного кластера C_n (n=1-5) в димерном массиве на поверхности и в тренче, сделаны выводы об энергии адсорбции и длине связи Si-C, а также их природе для каждого случая.

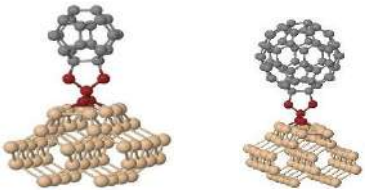


Рисунок 1. Примеры адсорбции углеродных структур C_N @ C_{20} и C_N @ C_{60} на поверхности Si (001)

ЛИТЕРАТУРА

1. S. Park, D. Srivastava, K. Cho, MRS Online Proceedings Library (OPL) , Volume 675: Symposium W – Nanotubes, Fullerenes, Nanostructured and Disordered Carbon , 2001, W1.8.1

SURFACE IONIZATION REGULARITIES OF THE SIBUTRAMINE MOLECULE

Sh.M. Akhmedov, S.S. Iskhakova, Sh.Dj. Akhunov, T.Kh. Erova, Sh.T. Toirov, D.T. Usmanov
Institute of Ion Plasma and Laser Technologies, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan. *e-mail: sherzod_in@mail.ru

Sibutramine is an anti-obesity drug that has been banned due to the risk of cardiovascular diseases (nervousness, dry mouth, headache, dizziness, increased blood pressure, increased heart rate, heart attack, stroke). However, its illegal use has been observed. Therefore, highly sensitive and precise analytical methods are necessary for the detection and structural analysis of sibutramine. From this perspective, surface ionization mass spectrometry (SI/MS) can be effectively used as a rapid and efficient analytical technique.

Surface ionization mass spectrometry is based on the direct generation of ions from a heated solid surface, allowing for the analysis of their physicochemical composition. The SI/MS technique is advantageous for the selective and efficient analysis of nitrogen-based organic compounds.

Experimental studies were conducted using a МИ-1201В static magnetic mass spectrometer, which was modernized for operation in the SI mode [1]. A tungsten (W) ribbon ($0.05\times1.0\times16.0$ mm³) was used as a thermoemitter to generate positive ions. The temperature of the thermoemitter was controlled within the range of 600 K to 1150 K.

Preliminary experimental results showed that in the mass spectrum of sibutramine, fragment ions $[M\text{-}R]^+$ were generated due to the cleavage of the phenyl ring and amine group. Additionally, quasi-molecular ions $[M\text{-}H]^+$ appeared as a result of hydrogen loss when the molecule desorbed from the thermoemitter surface. It was concluded that the primary ion in the mass spectrum was a fragment ion.

The dependence of sibutramine ion currents on the thermoemitter temperature was found to follow the Boltzmann distribution law, and the threshold temperatures for ion formation were determined.

1. Akhunov S. et al. //European Journal of Mass Spectrometry. 2021. V. 27. №. 1. p. 29-38.

SURFACE IONIZATION OF MELAMINE MOLECULES ON THE RHENIUM AND TUNGSTEN EMITTERS

O.I. Boliyev*, M.M. Nazarov, Sh.M. Akhmedov, Sh.Dj. Akhunov, A.Sh. Radjabov, D.T. Usmanov
Institute of Ion Plasma and Laser Technologies, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan.
*e-mail: orifjonboliyev95@gmail.com

Surface ionization, the ionization of atoms or molecules on the surface of high-temperature metals, is widely used in materials science and gas analytical instrumentation. Heterogeneous chemical processes occurring on the heated surface of metals with high work functions, such as tungsten (W) and rhenium (Re), are notable for their uniform progression and the long-term stability of their catalytic properties at high temperatures. In the literature, the work functions of W and Re emitters are reported to be 4,59-4,62 eV and 4,8-5,3 eV, respectively, which are higher compared to other metals. These values can be further increased up to 5,8-6,5 eV for W emitters and 6,5-7 eV for Re emitters by forming an oxide layer on the surface, based on the developed methodologies [1]. To find and develop stable emitters for organic compounds is essential for the further development of the SI method.

The experiments were conducted using the МИ-1201В static magnetic mass spectrometer, which was modified for the SI method [2]. W and Re ribbons (0.05x1.0x16.0 mm^3) were used as a thermoemitter to generate a positive ions of studied compond. The temperature of the thermoemitters was controlled in the range of 600 K to 1250 K. Air was supplied as an oxygen gas in the Re experiments to prevent the emitter surface from being "poisoned". The melamine molecule ($C_3H_6N_6$) was studied using metallic and oxidized W and Re emitters. The stability and efficiency of these emitters were evaluated. The SI mass spectra and temperature dependence of ion currents were obtained, and the sublimation energy E_{sub} of melamine was estimated.

References

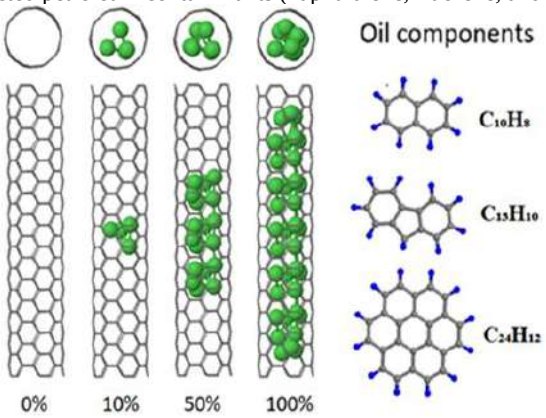
1. Zandberg E. Ya. Et al. Jour. of Tech. Phys.1976. T. 46. №. 4. p. 832.
2. Akhunov S. et al. Europ. Jour. of Mass Spec. 2021. T. 27. №. 1. p. 29-38.

NICKEL-FILLED CARBON NANOTUBES FOR WASTEWATER PURIFICATION

D. Boymamatova[1,2*)], D. Kuchkarova [1)], A. Ergasheva[2)] and U. Khalilov[2)]
[1)]Tashkent University of Architecture and Construction, Tashkent, Uzbekistan
[2)]Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Tashkent, Uzbekistan
[*)] e-mail: boymamatovadildora99@gmail.com

Developing energy-efficient technologies for effective and economically viable water purification remains a pressing issue. Therefore, using molecular dynamics simulations, this study evaluates the efficiency of endohedral nickel-filled carbon nanotubes in removing petroleum contaminants from water. We simulated the molecular interactions of naphthalene, fluorene, and coronene with the nanotubes, revealing that nickel incorporation significantly enhances the adsorption capacity for petroleum contaminants [1]. Additionally, an increase in nickel content reduces system stability, facilitating adsorbed contaminants' release during regeneration [2].

Figure 1. Nickel-filled carbon nanotubes at various filling levels (top and side views) and selected petroleum contaminants (naphthalene, fluorene, and coronene)



These findings suggest that nickel-filled nanotubes hold significant potential for water purification applications.

REFERENCES

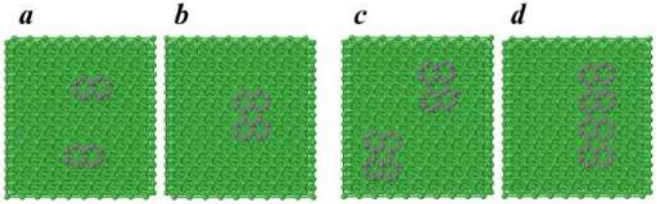
1. Khan et al., Water and Environment Journal, 2019, 16(4):8186.
2. U., Khalilov, et.al., International Journal of Hydrogen Energy, 2024, 55, 604-610.

GRAPHENE NUCLEATION ONSET BY POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS

Tursunpulat Juraboev[1*,)], Madina Nurimmatova[2)],
Umedjon Khalilov[1,3)]
[1)] Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Tashkent, Uzbekistan
[2)] Denov Institute of Entrepreneurship and Pedagogy, Denov, Uzbekistan
[3)] University of Antwerp, Antwerp, Belgium
[*)]e-mail: tursunpulatjuraboev24@gmail.com

While graphene synthesis via chemical vapor deposition (CVD) with gaseous carbon precursors is extensively studied [1], the fundamental nucleation mechanisms involving polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are not fully elucidated. This research employs molecular dynamics (MD) simulations to analyze graphene nucleation from naphthalene and perylene deposited onto a Ni(111) surface. The simulations demonstrate that initial deposition triggers hydrogen dissociation and subsequent desorption, enabling the diffusion of dehydrogenated PAHs and the formation of a graphene layer (Figure 1). Analysis of the Gibbs free energy revealed that the transition from initial deposition to graphene formation resulted in a 0.3 eV decrease for naphthalene and a 0.6 eV decrease for perylene, signifying improved system stability.

Figure 1. The process of graphene nucleation from naphthalene (a → b) and perylene (c → d) molecules on the Ni(111) surface.



These findings contribute to a deeper understanding of PAH-driven graphene nucleation, offering potential for refined synthesis control.

REFERENCES

[1] Xiaoning Yang et al., Carbon 81 (2015): 564-573.

CATALYTIC SYNTHESIS KINETICS OF ENDOHEDRAL GNRS

Kamoliddin Mehmonov[1*)], Aziza Ergasheva[1)], Salokhiddin Khudoyberdiyev[2)], and Umedjon Khalilov[1,3)]
[1)]Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Tashkent, Uzbekistan
[2)]Denov Institute of Entrepreneurship and Pedagogy, Denov, Uzbekistan
[3)]University of Antwerp, Antwerp, Belgium
[*)]e-mail: kamoliddin.mehmonov@iplt.uz

Understanding the growth mechanisms of graphene nanoribbons (GNRs), particularly for chirality-controlled synthesis, remains a challenge. This study investigates the atomic-level synthesis of endohedral GNRs (with encapsulated Ni catalyst) using reactive molecular dynamics simulations with acetone, methanol, acetic acid, and dimethyl ether. Similar to catalytic single-walled carbon nanotube (SWNT) growth [1], the numbers of defective and defect-free rings dynamically change. Defect-free rings form preferentially, leading to predominantly defect-free structures (Fig. 1a). The total number of rings varies with precursor gas (Fig. 1b), with methanol yielding the highest and acetone the lowest, likely due to reactivity differences. These findings offer insights into endohedral GNR growth, informing controlled synthesis strategies.

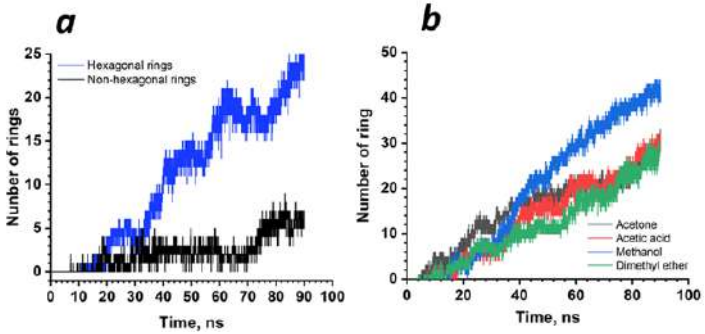


Figure 1 (*a*) Number of defective and defect-free rings as a function of time (acetic acid); (*b*) GNR ring formation rate for different precursor gases.

REFERENCES

[1] U. Khalilov et al., Nanoscale Horizons **4**, 674 (2019).

DETERMINATION OF KINETIC CHARACTERISTICS OF MELAMINE MOLECULES USING THE VOLTAGE NODULATION METHOD

M.M. Nazarov*, A.Sh. Radjabov, Sh.M. Akhmedov, Sh. Dj. Akhunov, D.T. Usmanov
Arifov Institute of Ion Plasma and Laser Technologies, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan
*e-mail: maxmanazarnazarov1996@gmail.com

Non-stationary surface ionization (SI) is used to determine the kinetic properties of desorption of particles [1]. This study focuses on determining the kinetic characteristics of the melamine ($C_3H_6N_6$) molecule using a voltage modulation method (VMM). The melamine molecule is an organic compound with a 1,3,5-triazine structure and serves to increase the strength of materials in the production of food containers in industry. When food products are exposed to high temperatures, this substance partially decomposes and can accumulate in the human body, posing potential health risks. Therefore, studying this compound using the SI method is of significant interest.

The experiments were conducted using an МИ-1201В static magnetic mass spectrometer modified for the SI method. Oxidized tungsten tape was used as a thermoemettr (0.05 x 1.0 x 16 mm^3). The VMM system was developed and integrated into ionization chamber. The kinetic characteristics of the molecules under study, including the blocking voltage regulated by the ion capture time, were monitored using a signal with a delay of no more than 10^{-5} s [2].

First, melamine was studied under stationary SI conditions. The SI mass spectrum consisted of M^+ and $[M\text{-}R]^+$ ion lines. Using the VMM method the rate constants K^+ and K^0, activation energy E^+ and E^0 of thermal desorption were determined. Additionally, entropy multipliers for both ions and neutral particles of $[M\text{-}R]^+$, were calculated. The ionization potentials of these radicals were estimated, as well as heat of sublimation of melamine molecules.

References

1. Rakhmanov G., Rasulev U.K., Saidumarov I.G. Surf. Interface Anal. . – 2006. – Т. 38. – №. 4. – С. 219-223.

2. Rakhmanov G. T., Usmanov D. T. I. J. of Chem. Kin.. – 2023. – Т. 55. – №. 9. – С. 551-557.

SEM-ИЗОБРАЖЕНИЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ SI(111)

М. Нормурадов[1], К. Довранов[1], А. Кодиров[1*], Д. Нормуминова[1]
Каршинский государственный университет
*asilbekqodirov980@gmail.com

Мы распылили силицид марганца (Mn_4Si_7) в постоянном и радиочастотном режимах на поверхность монокристаллического кремния Si (111) с помощью магнитного пылесоса Epos PVD, а затем получили изображения SEM.

Исследования показывают, что слои Mn_4Si_7 размером ≤ 40 нанометров могут быть выращены на поверхности кристалла Si методом магнетронного распыления, но кристалл Si не образует полноразмерный слой Mn_4Si7. При термическом нагреве при температуре 300÷750 К в тонком покрытии Mn4Si7, выращенном в вакуумных условиях, наблюдались пузырьки наноразмера, которые затем лопались и образовывали дефекты наноразмера. Затем при температуре 750 К дефекты сузились и образовали одно тонкое покрытие Mn_4Si_7 (рис. 1) [1-3].

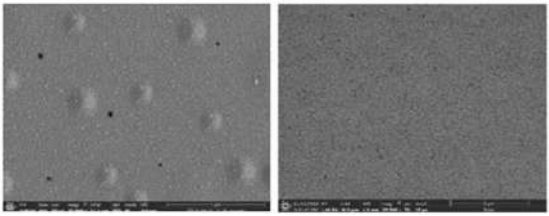


Рис. 1. Изображение тонкой плёнки Mn4Si7 до и после нагрева до 300÷750 К

В результате анализа измеренных термоэлектрических свойств мы пришли к выводу, что «ионно-плазменный» метод является более эффективным для производства высококачественных термоэлектрических материалов. Полученные плёнки можно использовать в датчиках для ИК-и УФ-детекторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. C. L. Shen, S. M. Yang, and K. C. Lu, “Single Crystalline Higher Manganese Silicide Nanowire Arrays with Outstanding Physical Properties through Double Tube Chemical Vapor Deposition,” Nanomaterials. 2020; 10(9):1880.
2. Q.R. Hou, W. Zhao, Y.B. Chen, D. Liang, X. Feng et al., “Thermoelectric properties of higher manganese silicidefilms with additionof chromium” Appl.Phys.A86, (2007) 385–389.
3. K.T. Dovranov et al. Formation of Mn4Si7/Si(111), CrSi2/Si(111), and CoSi2/Si(111) thin films and evaluation of their optically direct and indirect band gaps. Ukrainian Journal of Physics This link is disabled., 2024, 69(1), pp. 20–2563

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА КОБАЛЬТИТА ФЕРРИТА РАЗЛИЧНЫМ СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИМ СОСТАВОМ

А.Ф. Тураев[1)], У.Б. Шаропов[2)], М.С.Пайзуллаханов[3)]

[1]Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан
[2]Физика технический институт, АНРУз, Ташкент, Узбекистан
[3]Институт материаловедения, АНРУз, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: akbarjontorayev079@gmail.com

Нами проведено исследование образцов сплавов $CoFe_2O_4$ с различным стехиометрическим составом: $Co_3FeO_{1.2}$, $CoFeO_{2.5}$, $CoFe_2O_4$ и $CoFe_{2.8}O_4$, полученных с использованием солнечной печи. Исследование кристаллической структуры $CoFe_2O_4$ было выполнено с использованием программ FullProf и VESTA, опираясь на данные рентгенофазового анализа (РФА) по уточнениям результаты анализа методом Ритвельда.

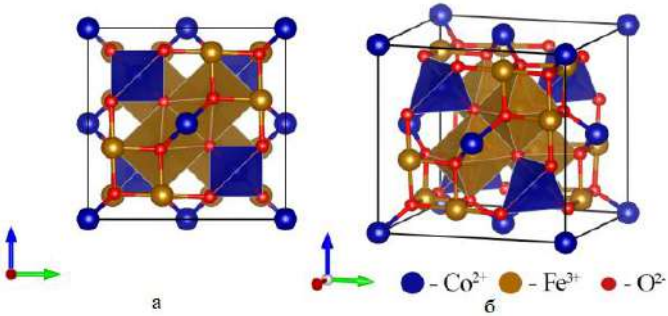


Рисунок. Элементарная ячейка кубической структуры фазы $CoFe_2O_4$: а - вид сверху, б - трехмерная ячейка.

Элементарная ячейка структуры $CoFe_2O_4$ показана в двух проекциях. Рисунок (а) отображает вид сверху, где видны взаимосвязанные октаэдры FeO_6 и тетраэдры CoO_4, формирующие упорядоченную трёхмерную сетку. Рисунок (б) иллюстрирует трёхмерное представление ячейки, подчёркивающее пространственную координацию ионов Co^{2+}, Fe^{3+} и O^{2-}, симметрию и плотность упаковки в кристаллической структуре. Определено, что такая конфигурация создаёт трёхмерную решётку из взаимосвязанных октаэдров и тетраэдров, что способствует устойчивости кристаллической структуры.

ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА КОБАЛЬТИТА ФЕРРИТА РАЗЛИЧНЫМ СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИМ СОСТАВОМ

А.Ф. Тураев[1)], У.Б. Шаропов[2)], М.С.Пайзуллаханов[3)]

[1]Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан
[2]Физика технический институт, АНРУз, Ташкент, Узбекистан
[3]Институт материаловедения, АНРУз, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: akbarjontorayev079@gmail.com

Нами проведено исследование образцов сплавов $CoFe_2O_4$ с различным стехиометрическим составом: $Co_3FeO_{1.2}$, $CoFeO_{2.5}$, $CoFe_2O_4$ и $CoFe_{2.8}O_4$, полученных с использованием солнечной печи. Для глубокого понимания внутренней структуры соединения $CoFe_2O_4$ применялся метод картирования электронной плотности (рис. а,б). Этот подход позволяет визуализировать распределение электронов внутри элементарной ячейки и выявить точные позиции атомов, составляющих кристалл. Для построения таких карт была использована программа GFourier из пакета FullProf, которая предоставляет мощный инструмент для анализа электронного рассеяния и структуры материалов.

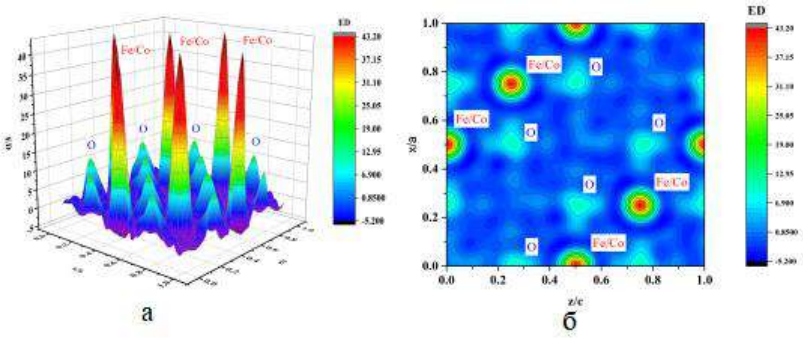


Рисунок. Карты электронной плотности для структуры $CoFe_2O_4$: (а) 3D-карта электронной плотности, показывающая пространственное распределение атомов внутри элементарной ячейки; (б) 2D-карта электронной плотности, отображающая плоское сечение через центр ячейки.

Полученные данные, подтверждают структуру $CoFe_2O_4$ и к ее отношение кубической пространственной группе Fd-3m. Параметр решётки составляет 8.399 Å.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОНИКНОВЕНИЯ АТОМОВ И ИОНОВ БОРА И БЕРИЛЛИЯ ВНУТРЬ ФУЛЛЕРЕНА C_{60} AB-INITIO МЕТОДАМИ (DFT)

А.В. Бибиков[1,*)], А.В. Николаев[1)],
П.В. Борисюк[2)], Е.В. Ткаля[3)]
[1)] НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[2)] Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия
[3)] Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия
[*)]e-mail: bibikov@sinp.msu.ru

Методом DFT с функционалами B3LYP, PW91, PBE изучено проникновение атомов и ионов бора и бериллия внутрь фуллерена C_{60} по четырем наиболее характерным направлениям (через центр 6- и 5-угольного кольца, середины двойной и одинарной связей). Дальняя от проникающего атома часть фуллерена фиксировалась, геометрия двух ближайших колец (10-14 атомов) оптимизировалась. Построены графики энергии системы в зависимости от положения проникающего атома, получена высота барьера. Сделаны оценки избыточной кинетической энергии атома, необходимой для проникновения и обусловленной вовлечением в движение атомов фуллерена.

Показано, что наименьшая энергия проникновения достигается при прохождении атомов бериллия через центр 6-угольного кольца, а атомов и ионов бора – при прохождении через середину двойной (и чуть больше – одинарной) связей. Получены геометрии переходных состояний.

Анализируются особенности поведения графиков при прохождении бора через 5-угольное кольцо, обусловленные "открытием/закрытием окна" – резкой перестройкой геометрии системы при малом смещении атома/иона, и своеобразный "гистерезис" – зависимость от направления движения атома.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bibikov A.V., Nikolaev A.V., Borisyuk P.V., Tkalya E.V. // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures, v. 32, № 7 (2024), p. 707, DOI: 10.1080/1536383X.2024.2321293

Секция III

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

РЕЛАКСАЦИЯ ПЛАЗМОНОВ В МЕТАЛЛАХ

В.П. Афанасьев[1,*], Л.Г. Лобанова[1)]
[1)] Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия
[*)] e-mail: v.af@mail.ru

Настоящая работа посвящена вопросам неупругих потерь энергии электронов на возбуждение плазменных колебаний в металлах. Потери энергии электронов на возбуждение плазменных колебаний составляет более 50% общих потерь энергии. Заметную часть потерь энергии ионов также составляют потери на возбуждение плазмонов. Традиционно считалось, что плазменные колебания свободных электронов в твердых телах релаксируют в ионно-звуковые волны. Время жизни плазменного колебания в соответствии с [1,2] составляет $\triangle t = 10^{-12}$ с. Следовательно энергетическая ширина плазмонного пика должна составлять $\triangle E = \hbar / \triangle t = 4.136 \cdot 10^{-3}$ эВ. Данные утверждения противоречат экспериментальным данным по рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и спектроскопии характеристических потерь энергии электронов.

Эксперименты по вторичной электронной эмиссии при электронной и ионной бомбардировке образцов показывают, что энергия, выделяемая при плазмонной релаксации, переходит на возникновение вторичных электронов с энергией, равной энергии плазмона за вычетом работы выхода.

Электромагнитные кванты, возникающие в результате плазмонной релаксации, допускают прямую оптическую регистрацию, и были зафиксированы в интервале длин волн от 250 до 400 нм. Наиболее интересна для регистрации продольных квантов область длин волн от 15 до 200 нм. Данный факт следует из экспериментальных и теоретических данных по дифференциальным сечениям неупругих потерь энергии электронов на возбуждение плазменных колебаний, которые определяют энергетический спектр плазмонных возбуждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А. Липеровский, В.Н. Цитович // ПМТФ, 1965, № 5, 15.
2. X. Wu et.al // J. Chem. Phys, 2022, 157, № 21, 214201.

ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ЗАКРУЧЕННЫХ ФОТОНОВ В ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ОНДУЛЯТОРАХ

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

В настоящее время ондуляторы являются стандартными устройствами для генерации высокоэнергетического электромагнитного излучения с заданными свойствами в различных частотных диапазонах. Работы по изучению орбитального углового момента /1/ показали, что обычные, ставшие классическими, виды излучения могут быть интерпретированы как источники фотонов, несущих орбитальный угловой момент.

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

В данной работе рассматривается излучения закрученных фотонов в эллиптических ондуляторах, используя метод представленный в работе /3/. Представлены свойства такого излучения на примере перспективного ондулятора с параметрами пусков СКИФ, а также других действующих эллиптических ондуляторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. M.J. Padget // Opt.Express, 2017, Volume 25, 11265.
2. O.V. Bogdanov, S.V. Bragin // Journal of Instrumentation, 2024, Volume 19, C06004.
3. P.O. Kazinski, V.A. Ryakin // Russ. Phys. J., 2021, Volume 64, 717.

РАССЕЯНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ФОТОНОВ НА ВСТРЕЧНОМ ПУЧКЕ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ МИШЕНИ

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

Рассматривается комптоновское рассеяние оптических фотонов на электронах, движущихся с релятивистскими скоростями. Релятивистский эффект Доплера в сопутствующей электронам системе отсчета приводит к тому, что энергии фотонов, летящих навстречу пучку, будут в Лоренц-фактор раз выше, чем в лабораторной системе, в которой, в силу того-же эффекта, фотоны, рассеянные в направлении распространения электронного пучка, будут иметь энергии, превышающие их исходные значения уже в Лоренц фактор в квадрате раз. При достаточно большой энергии электронов (более нескольких ГэВ) обратно рассеянные лазерные фотоны, испущенные вдоль направления распространения электронного пучка, могут «забрать» у электрона – рассеивателя почти всю его энергию. Этот эффект представляет интерес как способ получения пучков γ-квантов, которые могут быть применены, например, для исследования фотоядерных реакций.

КВАЗИ-КАНАЛИРОВАНИЕ: НЕ ФИНИТНОЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦ ВДОЛЬ АТОМНЫХ ПЛОСКОСТЕЙ В КРИСТАЛЛЕ

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

Движение быстрой заряженной частицы вдоль плотноупакованных атомных плоскостей в кристалле, хорошо описывается в модели периодического усредненного потенциала, складывающегося из потенциалов отдельных атомных плоскостей. В докладе рассматривается движение частиц с поперечными энергиями $\varepsilon \sim eU_0$, близкими к высоте потенциального барьера, разделяющего плоскостные потенциальные каналы. Для таких состояний характерны возможность перехода частиц из одного канала в другой и зонная квантовая структура разрешенных значений поперечной энергии движения, хотя основные характеристики движения в около-барьерных (квази-каналированных) состояниях можно описать, не прибегая к численным квантово-механическим расчетам. В докладе показано, что? при переходе частицы из под-барьерного состояния с поперечной энергией $\varepsilon < eU_0$, в над-барьерное с энергией $\varepsilon < eU_0$, характеристики движения и параметры сопровождающего его электромагнитного излучения меняются скачком:

- Среднее направление смещения частицы перестает совпадать с направлением каналов и отклоняется от него на угол, близкий по величине к критическим углу каналирования Линдхарда
- Частота отклонений частицы от среднего направления движения скачком удваивается, как и частоты сопровождающего движение электромагнитного излучения.
- Амплитуда отклонений частицы от среднего направления движения скачком падает в несколько раз, что ведет к резкому снижению интенсивности электромагнитного излучения, испускаемого частицей.
- С дальнейшим ростом поперечной энергии амплитуда колебаний все более снижается, частоты излучения, испускаемого частицей, растут, а его интенсивность падает.

ИЗЛУЧЕНИЕ ЖЕСТКИХ ГАММА-КВАНТОВ ЗАРЯЖЕННОЙ ОРИЕНТИРОВАННОЙ ЧАСТИЦЕЙ В КРИСТАЛЛЕ

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

Рассчитана вероятность излучения фотонов в недипольном случае быстрой заряженной каналированной частицей в кристалле. Исследуется излучение жестких фотонов с энергией, сравнимой с энергией падающей каналированной частицы. Выполняется расчет квазиблоховского энергетического спектра ориентированной быстрой заряженной частицы, входящей в кристалл под углом, как меньшим, так и большим, чем угол Линдхарда. Исходный и конечный спектры каналированной частицы принадлежат различным наборам волновых функций зон, соответствующих разным энергиям. Процессы фотонной генерации квантовой ориентированной относительно кристалла частицы, влетающей в кристалл под углом, как большим, так и меньшим, чем угол Линдхарда, рассматриваются на равных основаниях. Показано, что спектр излучения жестких фотонов состоит из набора хорошо наблюдаемых эмиссионных линий.

Происхождение узкого максимума в спектре излучения при частоте $\omega = 0.85E$ естественным образом может объясняться рассмотренными в настоящей работе процессами излучения быстрой частицы с переходами с первого уровня надбарьерного движения в подбарьерные состояния. Высокая интегральная по частотам интенсивность излучения, наблюдавшаяся в /1/, объясняется многократным процессом излучения фотона быстрой частицей. Показано, что недипольные процессы излучения жестких фотонов каналированными частицами хорошо наблюдаются экспериментально.

ЛИТЕРАТУРА

1. Belkacem A., Bologna G., Chevallier M., //Phys. Lett., 1980, 177 B, 211.

ВОЗБУДЖЕНИЕ ГИГАНТСКОГО ДИПОЛЬНОГО РЕЗОНАНСА В ЯДРАХ ИЗЛУЧЕНИЕМ КАНАЛИРОВАННЫХ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В КРИСТАЛЛЕ Si.

Н.А.Ашурко[1, 2, *)], О.В. Богданов[2)]
[1)] Томский государственный университет, Томск, Россия
[2)] Томский политехнический университет, Томск, Россия
[*)] e-mail: ashurko@tpu.ru

Исследование гигантского дипольного резонанса (ГДР), как коллективное ядерное возбуждение /1/, является актуальной областью теоретических и экспериментальных исследований /2/.

Излучение при каналировании (ИК) электронов в кристаллах подробно изучено /3/ и представляет интерес в плане генерации высокоэнергетических фотонов. Спектр ИК электронов с суб-ГэВ и ГэВ энергиями характеризуется оптимальным по ширине максимумом и энергиями фотонов до нескольких десятков МэВ, этого достаточно для преодоления порога в фотоядерных реакциях легких ядер /4/. С другой стороны, при равной толщине первичной мишени выход ИК более чем на порядок превышает выход тормозного излучения, а также использование ориентационной зависимости спектра ИК может быть эффективно использовано для изучения гигантского дипольного резонанса легких, средних и тяжелых ядер.

Целью данной работы является исследование возбуждения ГДР в лёгких, средних и тяжелых ядрах излучением каналированных релятивистских электронов в кристалле Si.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Мигдал. Квадрупольное и дипольное δ-излучение // Журнал экспериментальной и теоретической физики — Т. 15, № 3. — С. 81 — 88.

2. Azuelos G. Status of the X17 search in Montreal / Azuelos G., Bryman D., Chen W.C. et al. // JPCS — 2022. — V. 2391 — 012008.

3. В.Н. Байер, В.М. Катков, В.М. Страховенко. Электромагнитные процессы при высокой энергии в ориентированных монокристаллах, 1989, Наука. Сиб. Отд., 400 с

4. O.V. Bogdanov, S.B. Dabagov, Yu. L. Pivovarov. Photonuclear reactions by relativistic electron channeling radiation // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B — 2020. — V. 465 — P. 67 — 72.

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ БЫСТРЫХ ИОНОВ ЧЕРЕЗ КРЕМНИЙ

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

Метод на основе теории возмущений для описания ионизационных ион – атомных столкновений и алгоритма статистического моделирования траекторий вторичных электронов /1/ предложен для расчета коэффициента электронной эмиссии из бесструктурной твердой мишени.

Ион	E, МэВ/нуклон				
	0.1	0.5	1.0	5	10
H^{q+}	1.17	0.525	0.285	0.0613	0.0431
He^{q+}	4.02	2.24	1.28	0.278	0.195
O^{q+}	43.1	46.6	37.2	13.6	10.2
Al^{q+}	94.6	129.	121.	65.8	55.2
Ar^{q+}	158.	247.	254.	183.	171.

Таблица 1. Коэффициент ион - электронной эмиссии после прохождения быстрым ионом с энергией и равновесным зарядом $q(E)$ пластины из кремния толщиной $d \geq 40$ Å.

Основной вклад в количество испускаемых поверхностью электронов составляют электроны с энергией $E_e < 50$ эВ. Только небольшой слой мишени толщиной d=20–40 Å определяет количество электронов, испускаемых поверхностью. Если толщина мишени превышает эту величину, коэффициент электронной эмиссии от толщины мишени не зависит. Изменение энергии E и заряда q быстрого иона в таком тонком слое можно не учитывать, а для оценок количества вторичных электронов использовать энергию и заряд иона, вылетевшего из мишени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков Н.В. и др. // Поверхность. 2024. № 3. С. 19.

Секция IV

МОДИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ИОННЫМИ И ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЩНОГО ИОННОГО ПУЧКА НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НА ТОНКУЮ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПЛЕНКУ AlN

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

Перспективной элементной базой для построения современных систем связи в диапазоне до 20 ГГц являются микроэлектронные резонаторы на объемных акустических волнах. Хорошие характеристики имеют резонаторы, изготовленные на основе тонких пьезоэлектрических пленок AlN нанесенных на ситалловые подложки. Для модификации пьезоэлектрических свойств таких пленок может использоваться мощный ионный пучок (МИП) наносекундной длительности. Такой пучок имеет большую площадь сечения (до ~ 100 $см^2$), что позволяет использовать его в технологических процессах обработки больших пластин. Однако воздействие пучка заряженных частиц на пьезоэлектрическую пленку приводит к генерации дополнительных механических напряжений, которые могут приводить к ее повреждению.

Целью настоящей работы является исследование особенностей воздействия МИП на морфологию поверхности и элементный состав пьезоэлектрических пленок AlN.

Тонкие (до ~1 мкм) пленки AlN наносились на ситалловые подложки или монокристаллический кремний методом магнетронного распыления. Облучение пленок проводилось на ускорителе «Темп» (30% H^+ +70% C^+, E ~ 250 кэВ, $j \leq 150$ $А/см^2$, τ=60 нсек).

Установлено, что однократное облучение пленки МИП приводит к появлению в ней трещин, характер которых зависит от плотности тока пучка. При этом может наблюдаться ее отслоение от подложки и удаление некоторых фрагментов разрушения. Облучение также приводит к обеднению пленки азотом. Обсуждены возможные механизмы наблюдаемых явлений и их влияние на свойства пленок. Работа выполнена по государственному заданию Омского научного центра СО РАН (номер госрегистрации проекта 121121700062-3).

ОСОБЕННОСТИ ЖИДКОСТНОЙ КОРРОЗИИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАГНИЯ, ОБЛУЧЕННОГО МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

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

Проблемы коррозии магния в настоящее время являются актуальными из-за его активного применения в различных областях промышленности и медицины. Магний относится к металлам с малой плотностью и высокой удельной прочностью, что обеспечивает его применение в различных ответственных узлах и изделиях и предъявляет особые требования к их свойствам. Низкая коррозионная стойкость магния сдерживает его широкое применение. Разработка способов анктикоррозионной защиты магния невозможна без понимания особенностей механизма его коррозии. Одним из перспективных методов повышения коррозионной стойкости магния является облучение поверхности мощным ионным пучком наносекундной длительности (МИП). Воздействие МИП позволяет проводить модификацию на глубины, значительно превышающие величину пробега ионов пучка. Варьируя ключевые параметры пучка, можно обеспечить такое модифицирующее действие, которое позволит существенно повысить сопротивление коррозии. В настоящей работе проведено исследование влияния облучения МИП на коррозию технического магния во влажной среде и в водных растворах NaCl различной концентрации. С помощью методов рентгеновской дифрактометрии, оптической и растровой электронной микроскопии проведен анализ изменения структурно-фазового состояния модифицированной зоны при сравнении необлученных и облученных МИП образцов. Обнаружено заметное снижение скорости коррозии облученных МИП образцов. Полученный эффект связывается с прежде всего с формированием повышенной концентрации углерода в поверхностном слое, с изменением состава продуктов коррозии и анализируется с учетом термомеханических процессов, проходящих в поверхностном слое при облучении МИП.

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ CR ПОКРЫТИЯ ОБОЛОЧКИ ТВЭЛА НА СТЕПЕНЬ ЕЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ

В.К. Егоров[1,*)], Е.В. Егоров[1)], В.Т. Волков[1)]
[1)] ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия
[*)] e-mail: egorov-iptm@mail.ru

Оболочкой ТВЭЛа является цилиндрическая трубка диаметром 9.1 мм, с толщиной стенки 0.7 мм, изготовленная из Zr, модифицированного 1% Nb. В рабочих условиях внешняя поверхность оболочки контактирует с водяным теплоносителем первого контура, находящегося под давлением около 100 атм при температуре 340-360°C. Критическим фактором, определяющим работоспособность оболочки, является глубокое окисление ее внешней поверхности. В среднем период ее работоспособности составляет 17000 часов. Предварительные исследования показали, что этот период может быть увеличен путем нанесение на внешнюю поверхность оболочки наноразмерного Cr покрытия [1]. В представленной работе проведен поиск толщины такого покрытия, оптимизирующей коррозионные свойства оболочки. Методами РОР и РФА ПВО выполнен сравнительный анализ влияния длительной термобарической обработки в пара-водяной среде высоких параметров исходной оболочки и оболочек с Cr покрытиями толщинами 10, 30 и 50 нм. Обработка выполнялась в условиях 400°C, P=100 атм в течение 60 часов. Толщина окисленного слоя с составом ZrO_2 для исходной оболочки составлял 3.0±0.1 мкм, а для модифицированных оболочек 1.5±0.1, 1.2±0.1 и 1.1±0.1 мкм, соответственно. Полученные нами данные позволяют предположить, что оптимальная толщина микронных Cr покрытий составит 50-60 нм.

Исследования проведены в рамках выполнения Государственного задания № 075-00295-25-00.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.К. Егоров, Е.В. Егоров // Материалы 21 международной научно-технической конференции «Быстрозакаленные материалы и покрытия», М.: Пробел-2000, 2024, С. 110.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ АТОМНОЙ СТРУКТУРЫ ТОНКИХ ПЛЕНОК Ti-O

Аверкиев И.К., Гусейнов Т.З., О. Р. Бакиева
Удмуртский ФИЦ УрО РАН, Ижевск, Россия
e-mail: elinaphanilevna851@gmail.com

Современное развитие вычислительной электроники направлено на разработку элементов на базе искусственных синапсов, в основе которых используются мемристивные технологии. Особенность данных элементов заключается в способности изменять сопротивление при приложенном напряжении. Это обусловлено перемещением кислородных вакансий в объеме структуры, что приводит к изменению каналов проводимости между электродами.

Однако до сих пор нет строгих описаний процессов образования и перемещения кислородных вакансий в объеме структуры. Наиболее подходящими материалами для изготовления мемристорных структур являются оксиды, они обладают высокой воспроизводимостью и переключаются в широком диапазоне сопротивлений. Оксиды титана наиболее предпочтительны, поскольку наименее подвержены деградации под воздействием внешней среды.

В настоящей работе проведено исследование локальной атомной структуры мемристивных наноразмерных пленок Ti-O методом EXELFS спектроскопии. Получены экспериментальные спектры энергетических потерь электронов $M_{2,3}$ края титана в режиме отражения от поверхности. Определены параметры локального окружения Ti-Ti и Ti-O (парциальные координационные числа, длины химической связи, параметр Дебая-Валлера).

Данная работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования России в рамках соглашения N 075-15-2021-1351. Исследования проводились с использованием средств совместного исследовательского центра “Поверхность и новые материалы” УдмФИЦ УрО РАН.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕМРИСТИВНЫХ СЛОЕВ НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА TiO_x

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

Мемристоры – это особый тип электронных компонентов, представляющих собой резисторы с памятью. Перспективность их использования обусловлена энергонезависимостью, низким энергопотреблением, высокой скоростью работы. Ключевыми сферами применения мемристивных устройств являются нейроморфные вычисления, машинное обучение, системы хранения и обработки данных. Существует проблема деградации и доокисления тонких металлических слоев в мемристорах, что влияет на качество работы и срок службы устройства.

В настоящей работе проведено исследование мемристивного слоя TiO_x на контактной подложке из золота. Пленки оксида титана были синтезированы методом магнетронного распыления на установке «ЭПОС». Элементный анализ проводился методом Оже-электронной спектроскопии на Оже-электронном микроанализаторе Jamp 10S (Jeol). Глубина анализа метода составляет 1-3 нм, что позволяет получать информацию о распределении химических элементов в тонком поверхностном слое. Для исследования распределения химических элементов по глубине мемристивного слоя использовалось распыление поверхности ионами аргона энергией 3 кэВ. Глубина мемристивного слоя была определена методом атомно-силовой микроскопии. Построены профили распределения химических элементов в нестехиометрическом слое TiO_x, а также определены средние скорости распыления слоев в системе.

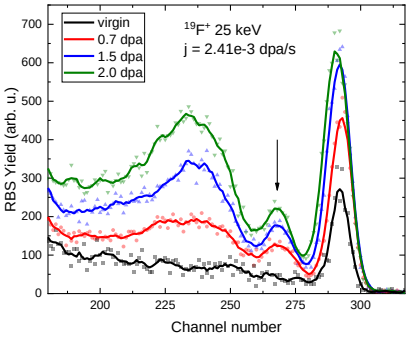
Исследование выполнено с использованием оборудования ЦКП УдмФИЦ УрО РАН в рамках темы государственного задания Отдела ФХП ФТИ УдмФИЦ УрО РАН (№FUUE-2024-0007).

ОСОБЕННОСТИ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ В АЛЬФА-ОКСИДЕ ГАЛЛИЯ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ РАЗНЫХ МАСС

А.И. Клевцов*, П.А. Карасев, А.И. Титов
Политехнический ун-т Петра Великого, СПб, Россия
*e-mail: klevtsovanton@rambler.ru

В работе исследовалось накопление дефектов в α-Ga_2O_3. Облучение проводилось ионами разных масс (F, P, PF_4, Xe) с различными энергиями и плотностями ионного тока при комнатной температуре. Концентрация введенных дефектов определялась с помощью RBS/C $^4He^+$ 0.7 МэВ.

Обнаружено, что при некоторых условиях ионного облучения α-Ga_2O_3 на RBS/C спектрах помимо характерных для большинства полупроводников поверхностного и объемного максимума дефектов возникает ещё один максимум, расположенный между ними. В качестве примера на рисунке показаны спектры для α-Ga_2O_3 облученного ионами $^{19}F^+$ с энергией 25 кэВ, плотностью тока 2.41×10^{-3} dpa/s и дозами 0.7, 1.5 и 2.0 dpa. ПрМД обозначен на рисунке стрелкой. Такой максимум дефектов получил название промежуточного (ПрМД) и раньше наблюдался только для ZnO [1]. Однако, механизм возникновения ПрМД в α-Ga_2O_3 [2] существенно отличается от такового в ZnO. В данной работе описан ПрМД в α-Ga_2O_3, обсуждаются закономерности его появления, производится сравнение с β-Ga_2O_3 и ZnO.



Работа поддержана грантом РНФ № 22-19-00166.

ЛИТЕРАТУРА

1. Azarov A.Yu. et. al. // Vacuum. 2010. Т. 84. Pp. 1058–1061.
2. Клевцов А.И. и др. //НТВ СПбПУ Физ-мат науки, 2023, Т. 16, № 4, С. 42-49

СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В β-Ga_2O_3 ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИОНАМИ БОРА

Д.С. Королев[1,*)], А.А. Никольская[1)], К.С. Матюнина[1)], А.А. Конаков[1)], Д.А. Татарский[1,2)], П.А. Юнин[1,2)], Д.И. Тетельбаум[1)]
[1)] Университет Лобачевского, Н. Новгород, Россия
[2)] ИФМ РАН, Н. Новгород, Россия
[*)] e-mail: dmkorolev@phys.unn.ru

Развитие полупроводниковой электроники в настоящее время неразрывно связано с поиском новых материалов и технологий их получения. В этом ряду одну из лидирующих позиций занимает оксид галлия – широкозонный полупроводник, являющийся потенциальным базовым материалом для применения в электронных приборах нового поколения. Его стабильная β-фаза обладает шириной запрещенной зоны ~ 4,7 эВ и только для этой фазы освоена технология изготовления монокристаллических подложек. В свою очередь, данный материал не лишен недостатков, в частности, отсутствует способ создания материала с дырочной проводимостью. Одним из возможных вариантов получения гетероструктур на основе Ga_2O_3 является создание перехода между разными фазами данного материала. В данной работе приведены результаты исследования изменения структуры при имплантации ионов бора в подложки β-Ga_2O_3.

Структура образцов после облучения с различными дозами ионов бора изучалась методами рентгеновской дифрактометрии и просвечивающей электронной микроскопии. Обнаружена особенность структурного разупорядочения при облучении легкими ионами, при котором перед полным разупорядочением облученный слой претерпевает промежуточный переход в γ-фазу Ga_2O_3.

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

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ГРАФИТА ПОСЛЕ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ПЕРВОЙ СТЕНКИ ТОКАМАКА EAST

L.G. Lobanova[1,2,*)], S. Wang[1)], Z. Wang[1)], H. Lian[1)], X. Cui[1)], J. Chen[1)], L. Zhang[1)], V.P. Afanas'ev[2)], M.A. Semenov-Shefov[2)], H. Liu[1)]

[1)] Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei, China

[2)] Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия

[*)] e-mail: lidiia@ipp.ac.cn

Графит обладает рядом свойств, допускающих его использование в качестве материала, обращенного к плазме. К ним относятся низкий атомный номер, высокая температура плавления, относительно низкий коэффициент распыления. Графит марки МПГ-8 используется в качестве первой стенки токамака Т-15МД. В течение длительного времени графит использовался в качестве первой стенки токамака EAST. Настоящая работа посвящена исследованию графитового образца, исходно подобного МПГ-8, длительное время используемого в качестве первой стенки токамака EAST. Проведен детальный анализ с помощью оптической микроскопии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Анализ РФЭС пиков показал наличие большого количества перепыленных элементов – O, Mo, B, Fe, Cu, Si, Ca. При снятии РФЭС спектров наблюдалась значительная зарядка образцов, что указало на их диэлектрические свойства. Анализ спектра потерь энергии близи 1s линии углерода установил, что спектр исследуемых образцов соответствует спектрам аморфных алмазоподобных покрытий. Представлена модель формирования аморфных алмазоподобных покрытий в результате взаимодействия графитовых образцов с дейтериевой плазмой.

This work was supported by the National MCF Energy R&D Program of China (Grant No. 2019YFE0304003 and Grant No. 2022YFE03080002).

ОБРАЗОВАНИЕ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА ПРИ ВЫСОКОДОЗНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ ГЕЛИЯ

Андрианова Н.Н.[1,2], Борисов А.М.[1,2], Воробьева Е.А.[1], Овчинников М.А.[1,*]
[1)]НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
[2)]МАИ (НИУ), Москва, Россия
[*]e-mail: ov.mikhail@gmail.com

Представлены результаты воздействия высокодозной имплантации ионов He^+ с энергией 30 кэВ на морфологию и структуру высокоориентированного пирографита (ВОПГ) УПВ-1Т и поликристаллического графита МПГ-8 при температуре облучения T от 50 до 600°С. Найдено, что ионная имплантация ВОПГ при T=600°С приводит наряду с чешуйчатой фрагментацией поверхности при T < 600°С к тысячекратному расслоению чешуек в виде типичных форм частиц терморасширенного графита (ТРГ), рис.1.

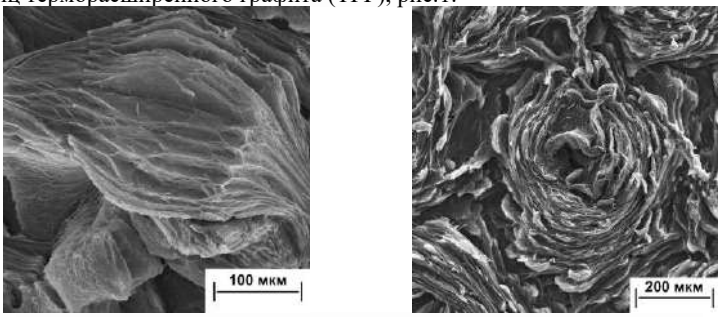


Рис.1. РЭМ-изображения ВОПГ УПВ-1Т после имплантации He^+ с флюенсом ~10^{18} ион/см^2 при температуре 600°С

Полученные результаты обсуждаются в рамках моделей образования ТРГ [1] и процессов дефектно-примесной имплантации [2].

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фиалков А.С. Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе. М.: Аспект Пресс, 1997. 718с
2. Фундаментальные и прикладные аспекты распыления твердых тел. / Сост. Е.С.Машкова. М.: Мир, 1989. 349с.

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ КЛАСТЕРОВ В СИЛИКАТНЫХ СТЕКЛАХ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Д.А. Соколова[1,*)], О.А. Подсвиров[1)], С.А. Шестаков[1)], А.И.Лихачев[2)]
[1)] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия
[2)] ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
[*)] e-mail: danek2020@mail.ru

Существует ряд методов формирования молекулярных кластеров (МК) металлов в неорганических стеклах, в том числе электронно-лучевой метод [1]. В данной работе было проведено экспериментальное исследование влияния параметров электронного облучения (ЭО) на формирование МК серебра, золота и меди в натриево-силикатных стеклах, содержащих данные металлы в пленке, нанесенной на поверхность образцов.

ЭО проводилось на сильноточном сканирующем электронном микроскопе JEBD-2 с энергией электронов E = 10-45 кэВ. Плотность электронного тока составляла j = 100 μA/см^2, доза электронного облучения варьировалась в диапазоне Q = 10 - 50 млКл/см^2. При такой энергии и плотности тока происходит нагревание приповерхностного слоя стекла толщиной 1 мкм до температуры 150-190°C. Облучение проводилось при комнатной температуре.

Эксперименты показали, что ЭО приводит к изменению оптического поглощения в зависимости от режима облучения, что обусловлено формированием МК металлов. Присутствие МК подтверждают спектры комбинационного рассеяния. Показано, что появление люминесценции, положение полос которой изменяется от параметров ЭО по-разному для каждого материала, обусловлено электронной структурой МК.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.I. Ignat'ev, A.I. Sidorov, A.P. Solov'ev, A.V. Nashchekin, V.M. Nevedomskii, O.A. Usov, O.A. Podsvirov // Technical Physics, 2011, vol. 56, pp. 662-667.

СТАБИЛЬНОСТЬ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОШКА ОКСИДА ИТТРИЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОНАМИ

М.М. Михайлов, С.А. Юрьев, Д.С. Федосов*), В.А. Горончко, А.Н. Лапин
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), Томск, Россия
*)e-mail: dmitrii.s.fedosov@tusur.ru

Оксид иттрия (Y_2O_3) является перспективным соединением для использования в качестве пигмента терморегулирующих покрытий (ТРП) космических аппаратов (КА), за счет высокой отражательной способности порошка и большой ширины запрещенной зоны. Основной рабочей характеристикой ТРП является интегральный коэффициент поглощения солнечного излучения (a_s). Исходное значение a_s для микропорошка Y_2O_3 полученное в настоящей работе составляет 0,059. Это значение меньше, чем у пигментов TiO_2 и ZnO, широко применяемых в ТРП КА. На рис.1 представлены результаты исследований изменения коэффициента поглощения a_s после облучения электронами (E=30 кэВ, Ф=(1-7)·10^{16} см$^{-2}$) микропорошка Y_2O_3. Радиационная стойкость Y_2O_3 значительно превосходит стойкость порошка TiO_2

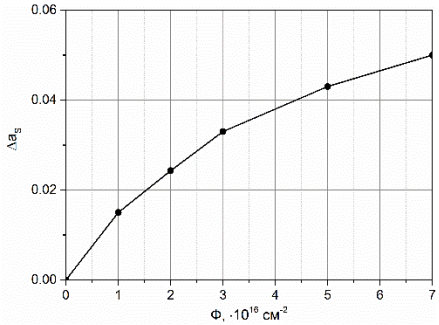


Рис.1 Зависимость изменений интегрального коэффициента поглощения порошка оксида иттрия от флюенса электронов при облучении

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 25-29-00018, https://rscf.ru/project/25-29-00018/.

РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ДВУХСЛОЙНЫХ ПОЛЫХ ЧАСТИЦ TiO_2/SiO_2 ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПРОТОНАМИ

Н.Г. Морев[1)], И.В. Верхотурова[1*)], В.В. Нещименко[1)], Ли Чундун[2)]
[1)] Амурский государственный университет, Благовещенск, Россия
[2)] Харбинский политехнический университет, Харбин, Китай
[*)] e-mail: rusia@mail.ru

Представлены результаты исследования оптических свойств и радиационной стойкости к воздействию протонов порошков-пигментов на основе двухслойных сферических частиц с внутренним слоем из диоксида титана и внешним из диоксида кремния микронных размеров.

Полученные спектры диффузного отражения (ρ_λ) позволили установить, что исследуемые пигменты на основе двухслойных полых частиц TiO_2/SiO_2 имеют высокие значения коэффициента отражения во всем исследуемом спектральном диапазоне по сравнению с порошками на основе объемных частиц TiO_2. Радиационную стойкость исследуемых полых частиц оценивали по разностным спектрам диффузного отражения ($\Delta\rho_E$). Анализировали значения интегрального коэффициента поглощения солнечного поглощения α_s. Из полученных спектров $\Delta\rho_E$ следует, что при воздействии протонами с энергией 100 кэВ флюенсом $5 \cdot 10^{15}$ см$^{-2}$ интенсивность полос наведенного поглощения в полых частицах TiO_2/SiO_2 меньше, чем в объемных частицах TiO_2. Расчет изменений значений α_s показал увеличение радиационной стойкости порошков TiO_2/SiO_2 по сравнению с порошками TiO_2 практически в три раза.

Эффект увеличения радиационной стойкости полых частиц может быть обусловлен: высокой удельной поверхностью полых частиц, которая является стоком радиационных дефектов и присутствием фаз аморфного слоя SiO_2.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, госзадание № 122082600014-6 (FZMU-2022-0007).

ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЗАРЯЖЕННЫХ МИКРОЧАСТИЦ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ИНЖЕКТОРА

О.М. Марченко[1,*)], С.А. Бедняков[1)], С.С. Авторин[1,2)],
О.Б. Дзагуров[1)], Н.Б. Акимов[1)], О.П. Глотов[1)], Н.Г. Чеченин[1)]
[1)]НИИЯФ МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия
[2)] Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия
[*)] e-mail: oleg.marchenko.99@bk.ru

Космическая пыль и микрометеориты являются важным фактором космического пространства, приводящим в ряде случаев к преждевременной деградации материалов и выходу из строя приборов космических аппаратов [1, 2]. Для изучения последствий высокоскоростных соударений космических микрочастиц с поверхностью КА необходима имитация потоков твердых частиц, с которыми возможно столкновение в околоземном пространстве.

В НИИЯФ МГУ на базе электростатического инжектора, запущена система, позволяющая получать ускоренные электростатическим полем металлические микрочастицы со скоростями до 3 км/с и потоком частиц от 0.1 до 200 частиц в секунду. В сочетании с системой работает программно-аппаратный комплекс, реализующий времяпролетную методику фиксации значений физических параметров каждой отдельной частицы.

Получены распределения физических параметров большого числа частиц, по полученным распределениям сделаны выводы о возможных режимах работы инжектора и протекающих в процессе работы физических процессах.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.М. Телегин, Н.Д. Семкин Космическая пыль и её взаимодействие с космическими аппаратами. - Самара: Изд-во СГАУ, 215. - 124 с.

2. Л.С. Новиков Воздействие твердых частиц естественного и искусственного происхождения на космические аппараты. - М.: Университетская кн., 2009. - 103 с.

КОМПЛЕКСНЫЙ ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ТОНКИХ ПЛЕНОК Cu_xSi_{1-x} С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ EDS, RBS И XPS

Е.С. Керсновский[1)], И.В. Польшин[1)], С.А. Ивков[1)], А.И. Чукавин[1,2)], Н.С. Буйлов[1)], А.С. Дорошкевич[3)], П.Л. Туан[3,4)], А.К. Пелагина[1)], А.В. Ситников[5)], К.А. Барков[1)]

[1)] ВГУ, Воронеж, Россия

[2)] УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Россия

[3)] ОИЯИ, Дубна, Россия

[4)] Vietnam Atomic Energy Institute, Hanoi, Viet Nam

[5)] ВГТУ, Воронеж, Россия

[*)] e-mail: kersnovsky@phys.vsu.ru

Тонкие пленки Cu_xSi_{1-x} имеют широкий спектр технологических применений. Например, в устройствах микроэлектроники в качестве слоев металлизации [1]. Однако, механические и электрофизические свойства таких пленок напрямую зависят от элементного состава и его распределения в объеме пленки.

В настоящей работе пленки Cu_xSi_{1-x} толщиной ~600 нм были получены на кремниевых подложках Si (100) марки КДБ-12 методом ионно-лучевого распыления составной мишени. Элементный состав пленок определялся методами энергодисперсионной спектроскопии (EDS), обратного рассеяния Резерфорда (RBS) и по XPS спектрам.

По результатам EDS концентрация меди в полученных пленках варьируется в диапазоне ~7-53 ат. % при глубине анализа ~1 мкм. Элементный анализ, проведенный методом RBS при различных глубинках 15-600 нм указывает на неоднородность распределения элементов в структуре. Данные RBS подтверждаются результатами XPS спектроскопии, которые указывают на высокую диффузию меди к границе раздела Cu/Si.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Simka H, Shankar S, Duran C, Haverty M (2005) Fundamentals of Cu/barrier-layer adhesion in microelectronic processing. Mater Res Soc Symp Proc 863:283–288.

КОМПОЗИЦИОННЫЙ СОСТАВ И ХАРАКТЕР СМАЧИВАНИЯ НАНОМЕТРОВЫХ ПЛЕНОК СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ИОННО-АССИСТИРОВАННЫМ ОСАЖДЕНИЕМ

И.И. Ташлыкова-Бушкевич[1,*)], И.А. Столяр[2)],
В.Д. Мурин[1)], А.Ю. Герус[1)]
[1)] Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь,
[2)] Белорусский госуниверситет, Минск, Беларусь,
[*)] e-mail: iya.itb@bsuir.by

В настоящей работе исследованы закономерности между композиционным составом, наноструктурой и смачиваемостью дистиллированной водой поверхности тонких пленок алюминия и его бинарных сплавов с марганцем, железом и никилем на стеклянных подложках. Нанометровые пленки, полученные в условиях неравновесного затвердевания при пассивном осаждении и в условиях ионного ассистирования (U=3 кВ), используя резонансный ионный источник вакуумной электродуговой плазмы, были изучены с применением методов сканирующей зондовой микроскопии, резерфордовского обратного рассеяния ионов гелия и покоящейся капли.

Установлена корреляция между элементным составом, топографическими параметрами, смачиваемостью и условиями осаждения пленок. Анализ влияния субмикронной конусообразной морфологии на смачивающие свойства покрытий, проведен путем определения дискретных параметров шероховатости, дополненных параметрами-безразмерными комплексами и параметром-функцией плотности вероятности высот выступов/впадин нанорельефа поверхности. Изменения рельефа в процессе осажения обсуждены в рамках модельных представлений о топографии бигауссовой поверхности. Рассмотрены механизмы гомогенного, гетерогенного, а также смешанного смачивания гидрофильных пленок водой. Полученные результаты могут быть применены для регулирования процесса осаждения покрытий и управления физико-химическими свойствами тонкопленочных структур, в частности прогнозирования их смачиваемости.

ВЛИЯНИЕ ВАКУУМНОГО ОТЖИГА НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОЭМИССИИ КРЕМНИЯ Si (100)

Н.А. Нурматов[2], Б.Г. Атабаев[1)], Г.Т. Рахманов[2)], Б. Туракулов[2)], Р.А.Алимов[2]. Н. Талипов[2]

[1)] Институт ИПЛТ АН РУз, Ташкент, Узбекистан

[2)]Национальный университет, Ташкент, Узбекистан

[*)] e-mail: atabaev@iplt.uz

В работе исследовано влияние вакуумного отжига на спектральные характеристики квантового выхода фотоэмиссии в зависимости от энергии падающих фотонов 3,7-4,6 эВ после температурного прогрева 500-1000^0 С монокристалла Si (100). Экспериментальная установка и методика проведения анализа поверхности различнами методами в данной установке приведена в работе [1]. Показано, что после механической и химической обработки и термоотжигов спектральные характеристики квантового выхода фотоэлектронной эмиссии монокристалла кремния имеют немонотонный характер с максимумом КВФ $\sim 2{,}75 * 10^{-4} \frac{\text{электрон}}{\text{фотон}}$ при энергии падающего фотона 4,3 эВ. Пороговая энергия фотоэмиссии определяется работой выхода монокристалла кремния Si (100), с увеличением энергии фотонов наблюдается максимум и спад, который обьясняется неупругими потерями энергии электронов внутри кристалла. Спектральные характеристики квантового выхода фотоэлектронной эмиссии важны для разработки фотокатализаторов и фотодетекторов, где эффективность преобразования света в электрический сигнал или в следствии взаимодействия со светом протекания химической реакцию играет ключевую роль.[2]

ЛИТЕРАТУРА

1. I.Buribaev and N.A. Nurmatov, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, Volume 68, pp. 547-554, (1994). Netherlands
2. N.A. Nurmatov, R.A. Alimov, E.S. Ergashev, Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2024, Vol.18, No. 6, pp. 1410-1414. Russian

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СИЛИЦИДНЫХ ПЛЕНОК $MESi_2$ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СИСТЕМЫ

Б.Е. Умирзаков[1], Ж.М. Жумаев[1], И.Р. Бекпулатов[2], Турапов[*3]
[1] Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан
[2]Каршинский государственный университет, Карши, Узбекистан
[3]Университет образования Ренессанс, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: turapov_19_86@mail.ru

Одной из основных проблем микроэлектроники, особенно в системах интегральных схем, является создание надежных омических контактов. Эти системы состоят из множества разнообразных транзисторов, в частности, транзисторов с проницаемой и металлической базой МОП-транзисторов созданных с применением слоев субмикронной толщины [1].

На рис.1. приведени зависимости C_{Cu} (h) для системы $BaSi_2/Si(111)$, полученные после прогрев при различных Т. Толщина пленки $BaSi_2 \sim 100$Å. d_{Cu} =600 Å. Так как пленка $BaSi_2$ получены при Т≈1050К, то при прогреве состав и структура системы $BaSi_2/Si(111)$ до Т≈100К практически не должна изменяться. Все наблюдаемые изменения происходит в основным вследствие диффузии Cu в $BaSi_2/Si$.

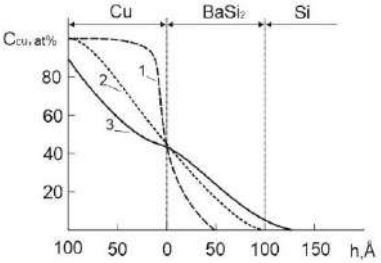


Рис 1. Зависимость концентрации C_{Cu}(h) для системы $Cu/BaSi_2/Si$ при разных Т, К: 1-300; 2-800; 3-1000

Как видно из рис.1. при комнатной Т глубина проникновения Cu не превышает ≈ 40–50Å, при Т≈600 К–65–70 Å, при Т≈ 800 К–80–90Å, а при Т≈1000 К–110−120Å.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусаев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии, М.: Физматлит, 2005. 416 с.

ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ И АКТИВАЦИИ НА ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА Pd-Ba

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

Из табл. 1 видно, что сплав Pd-Ba, активированный в атмосфере кислорода с P_{O2} =10^{-4} Па, обладает лучшими ВЭ параметрами, чем Pd-Ba, активированный при $P_{O2} = 10^{-6}$ Па. Это обусловлено тем, что при $P_{O2} = 10^{-4}$ Па на поверхности Pd-Ba образуется пленка окиси бария толщиной $\theta = 1$ монослой. В случае ионной имплантации с повышением давления кислорода наблюдается значительное увеличение значений σ_m, уменьшение значений $e\varphi$, а также смещение положения E_p' в сторону меньших энергий, а E_{pm} - в сторону больших энергий. Наибольшее увеличение σ_m получено нами при бомбардировке Pd-Ba ионами Ba^+ с $E_0 = 0{,}5$ кэВ и дозой $D = 2 \cdot 10^{17}$ см$^{-2}$ в среде кислорода с $P_{O2} \approx 5 \cdot 10^{-2}$ Па. При такой дозе дальнейшее увеличение давления кислорода приводило к «тушению» параметров ВЭЭ, что связано с избытком кислорода и «отравлением» поверхности сплава Pd-Ba.

Таблица. Вторично-эмиссионные параметры сплава Pd-Ba, активированного и ионно-имплантированного при различных парциальных давлениях кислорода

Система	Параметры ВЭЭ	P_{O2} при активировке и ионной имплантации		
		10^{-6} Па	10^{-4} Па	$5 \cdot 10^{-2}$ Па
Активированный	σ_m	2,5	3,2	3
Pd-Ba	E_{pm}, эВ	500	550	550
T=1100º K	$e\varphi$, эВ	2,3	2,0	2,1
	E_p', эВ	58	52	54
$Ba^+ \rightarrow$Pd-Ba	σ_m	5	6,0	8,1
	E_{pm}, эВ	500	700	800
$E_0 = 0{,}5$ кэВ	$e\varphi$, эВ	2,2	2,1	1,8
	E_{pF}', эВ	42	36	22
$Ba^+ \rightarrow$Pd-Ba	σ_m	3,1	3,4	4,2
	E_{pm}, эВ	500	600	700
$E_0 = 3$ кэВ	$e\varphi$, эВ	2,5	2,4	2,1
	E_{pF}', эВ	56	53	41
$Cs^+ \rightarrow$Pd-Ba	σ_m	3,8	5,1	6,5
	E_{pm}, эВ	500	600	700
$E_0 = 0{,}5$ кэВ	$e\varphi$, эВ	2,3	2,0	1,8
	E_{pF}', эВ	46	39	29

ЛИТЕРАТУРА

1. Дюбуа Б.Ч., Култашев О.К., Поливникова О.В. Электронная техника, Сер.1. СВЧ-Техника, Вып. 4 (497). 2008. с. 3-21.

ЗАВИСИМОСТЬ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ОТ РАЗМЕРОВ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ GaAlP

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

На рис.1 приведена зависимость E_g нанокристаллических фаз $Ga_{0,6}Al_{0,4}P$ от их средних поверхностных размеров d. Видно, что при d ≈ 10-12 нм значение E_g составляет ~ 3,1 эВ. С увеличением поверхностных размеров фаз $Ga_{0,6}Al_{0,4}P$ ширина запрещенной зоны уменьшается и при d ≈ 40-45 Å устанавливается на уровне ~2,3 эВ, что равно E_g сплошной пленки. Можно полагать, что при d ≤ 35-40 нм в НК фазах $Ga_{0.6}Al_{0.4}P$ проявляются квантово-размерные эффекты.

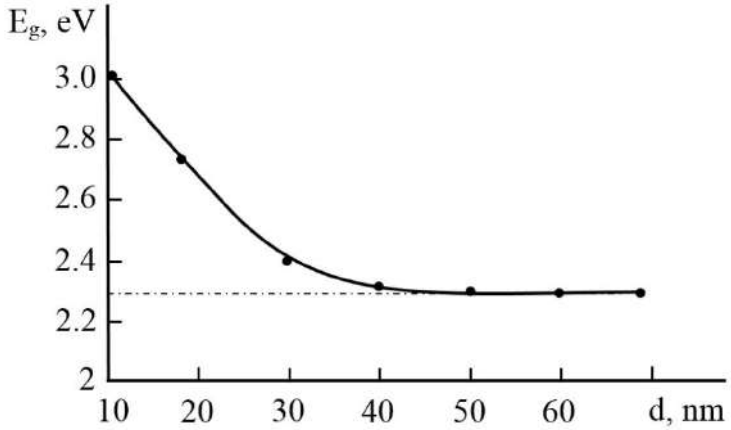


Рис. 1. Зависимость ширины запрещенной зоны нанокристаллических фаз $Ga_{0,6}Al_{0,4}P$ от их размеров

ЛИТЕРАТУРА

1. Болтаев Х.Х., Ташмухамедова Д.А., Умирзаков Б.Е. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 4, 24 (2014).

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГИИ ПРОТОНОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ СТРУКТУР МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК-ПОЛУПРОВОДНИК

Д.В. Андреев[1,*)], В.В. Кузнецов[1)], Г.К. Гришин[1)],
В.В. Андреев[1)]
[1)] МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
[*)] e-mail: dmitrii_andreev@bmstu.ru

В работе выполнено экспериментальное исследование изменения зарядового состояния структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) при облучении протонами с энергией от 100 до 500 кэВ. Облучение протонами с различными энергиями и флюенсами проводили в ускорителе. Экспериментальные образцы были сформированы на кремниевой пластине n-типа. Пленка подзатворного диэлектрика получалась термическим окислением кремния до толщины 100 нм. Верхние алюминиевые электроды формировались магнетронным напылением пленки толщиной 1,2 мкм и имели площади 10^{-3} и 10^{-2} см^2, которые были получены с использованием фотолитографии /1/.

Установлено, что протонное облучение приводит к изменению зарядового состояния пленки SiO_2, и границы раздела $Si\text{-}SiO_2$. В результате облучения в пленке диэлектрика наблюдается накопление положительного заряда и при больших флюенсах увеличение заряда на поверхностных ловушках. Другим эффектом, связанным с протонным облучением МДП-структур, является формирование в объеме пленки SiO_2 электронных ловушек с сечениями захвата $10^{-16}\div10^{-18}$ см^2. Плотность электронных ловушек возрастает, если энергия заряженных частиц соответствует преимущественному поглощению потока протонов в объеме пленки SiO_2.

Благодарности: Отдельные результаты работы получены в рамках Госзадания FSFN-2024-0086.

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

ТЕРМИЧЕСКИЙ и ИНЖЕКЦИОННЫЙ ОТЖИГ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОГО ЗАРЯДА в МОП-СТРУКТУРАХ

Д.В. Андреев[1,*)], С.А. Корнев[1)], В.В. Андреев[1)]
[1)] МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
[*)] e-mail: dmitrii_andreev@bmstu.ru

В работе проведено исследование влияния режимов термического и инжекционного отжига радиационно-индуцированного заряда в структурах металл-оксид-полупроводник (МОП) структур. Для создания радиационно-индуцированного заряда МОП-структуры облучались α-частицами, протонами и гамма-излучением /1/. В результате облучения формировался объемный положительный заряд в подзатворном диэлектрике структур и заряд на поверхностных ловушках на границе раздела полупроводник- диэлектрик. Радиационно-индуцированный заряд, как правило, является основным фактором деградации МОП приборов, а также основной информационной величиной в МОП сенсорах радиационных излучений /1/.

Показано, что после формирования радиационно-индуцированного заряда большая его часть может быть стерта путем проведения термического отжига образцов и/или сильнополевой инжекцией электронов в подзатворный диэлектрик. При сильнополевой инжекции электронов часть электронов взаимодействует с радиационно-индуцированным положительным зарядом приводя к его аннигиляции, однако при этом может увеличиваться заряд на поверхностных ловушках. Предложена модель, описывающая процесс отжига радиационно-индуцированного положительного заряда.

Благодарности: Отдельные результаты работы получены в рамках Госзадания FSFN-2024-0086.

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

ОБРАЗОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ZnO НАНОКРИСТАЛЛОВ ПРИ ГАММА-ОБЛУЧЕНИИ МЕТОДОМ ФОТОЛЮМИНИСЦЕНЦИИ.

Б.Г. Атабаев[1)], Ш.Р. Маликов[2)], З.Ш. Шаймарданов[1)], Ш. Уролов[1)], Р. Жалолов[1)], М.Б. Юлдашев[2)], О.О. Аманов[2)], А.А. Сулаймонов[2)]
[1)] Институт ИПЛТ АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: atabaev@iplt.uz
[2)] Институт ядерной физики АН РУз, Ташкент, Узбекистан

В данной работе нами исследованы ZnO нанокристаллы методом неразрушающей фотолюминесценции высокого разрешения при комнатной температуре с целью экспериментального исследования соотношения band to band межзонной и NBE фотолюминесценции и фотолюминесценции дефектов при гамма-облучении.

Облучение образцов проводили на «Гамма-установке» бассейнного типа Института Ядерной Физики АН РУз с источником 60Co (средняя энергия гамма-квантов 1.25 МэВ) с мощностью дозы 130 Р/с при экспозиционной дозе от $3.2 \cdot 10^4$ до $5.0 \cdot 10^8$ Р. Гамма-установка Института Ядерной Физики предназначена для изучения влияния гамма-излучения на свойства и характеристики различных материалов, изделий и модификации их свойств.

Установка лазерной фотолюминисценции позволяла исследовать не только спектральные с разрешением 1А, но и кинетические характеристики фотолюминесценции с временным разрешением 0,2нс, с отношением сигнала к шуму более 1000. Установка, включала в себя - мощный импульсный лазер УФ диапазона N2 -лазер ((ЛГИ-505), λ=337 нм, τ~6 нс, Р~15 кВт, частота повторения импульсов 5-1000 Гц), систему регистрации спектров методом стробирования импульса (бокскаринтегратор BCI-280) и систему управления, обработки и хранения данных.

ZnO нанокристаллы, вырашенные гидротермальным методом, характеризованы методом микрорамановской спектроскопии и рентгеновский дифракции и сканирующей микроскопии.

Дозы облучения гамма-квантами составляли 25, 50, 75, 100 kGray.

ИМПУЛЬСНЫЙ ОТЖИГ СЛОЁВ КРЕМНИЯ С ПРИМЕСЯМИ ИНДИЯ И МЫШЬЯКА: МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ

Р.И. Баталов[1*)], В.В. Базаров[1)], И.М. Подлесных[2)], Д.Д. Зайцев[3)]
[1)]КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия
[2)]ФИ им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия
[3)]ТПУ, Томск, Россия
[*)]e-mail: batalov@kfti.knc.ru

Создание слоёв Si с наночастицами узкозонных соединений A3B5 (InAs, InSb) представляет интерес с точки зрения расширения области оптического поглощения и фотоотклика Si на ближнюю и среднюю ИК-область (λ=1-6 мкм). Удобным методом создания таких структур является ионно-лучевой синтез, включающий высокодозную ионную имплантацию и термический отжиг. В данной работе проведена последовательная имплантация монокристалла p-Si(111) ионами In^+ и As^+ с энергией 25-30 кэВ и дозами $(2\text{-}4)\times10^{16}$ $см^{-2}$ с последующим импульсным ионным отжигом на ускорителе ТЕМП пучком ионов C^+/H^+ (300 кэВ, 100 нс, 0.5-1.5 $Дж/см^2$) в режиме расплава поверхности. Для сравнения проводился термический отжиг образцов в печи (800-1000 °C/30мин).

Проведено моделирование глубинных профилей ионов In и As с учётом распыления. Также моделировался импульсный нагрев Si и диффузия примесей в расплаве методом конечных элементов в среде COMSOL Multiphysics для предсказания распределения температуры и примесей по площади и глубине. При этом учитывалось изменение теплофизических параметров Si с температурой. Методом ВИМС экспериментально исследовалось глубинное распределение примесей до и после отжига. Методом СЭМ изучалась морфология поверхности, а методами РД и КРС исследовался фазовый состав имплантированных слоёв. Также измерялись оптические спектры пропускания и отражения для определения доли поглощения и оценки концентрации носителей. Определены оптимальные условия синтеза фазы InAs в матрице Si.

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

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ КРЕМНИСТОЙ СТАЛИ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ КОМПРЕССИОННЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ

Н.Г. Валько[*1)], С.В. Злоцкий[2)], В.В. Углов[2)], В.М. Анищик[2)], Н.А. Павлова[1)], А.М. Кузьмицкий[3)], В.М.Асташинский[3)], Н.И. Мороз[1)]
[1)] УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», г. Гродно, Беларусь
[1)] Белорусский государственный университет, г. Минск
[3)]Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь
[*)] e-mail: N.Valko@grsu.by

Исследовано влияние компрессионных плазменных потоков (КПП) с плотностью поглощенной энергии в импульсе 23 Дж/см^2 на структуру кремнистой стали с содержанием кремния 3,23 %, фазовый состав которой характеризуется наличием α-Fe(Si)-фазы, которая представляет собой неупорядоченный твердый раствор замещения Fe с Si в ОЦК решетке α-Fe. Обработка образцов осуществлялась при давлении 400 Па в атмосфере азота, 1, 3 и 6 последовательными импульсами.Результаты РФА-исследований показали, обработка КПП с плотностью энергии 23 Дж/см^2 приводит к изменению фазового состава образцов уже после обработки одним импульсом, что связано с кристаллизацией расплавленного слоя в условиях сверхбыстрого охлаждения за счет теплоотвода вглубь образца после окончания воздействия КПП [1]. В частности, на рентгенограммах обработанных образцов присутствуют дифракционные пики, соответствующие фазе α-Fe(Si) с ГЦК решеткой, параметром которой равен 0,360687±0,000015 нм, а также фазы Fe_3N с тригональной кристаллической решеткой (P312). Параметры решетки которой равны: a = (0,4751±0,0008) нм и c = (0,4302±0,0005) нм. Обнаружено, что с увеличением количества импульсов параметры решеток α-Fe(Si) и γ-Fe(Si) возрастают.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.В. Углов, Н.Н. Черенда, В.М. Анищик, В.М. Асташинский, Т.Н. Квасов. Модификация материалов компрессионными плазменными потоками, Минск, БГУ, 2013, 241 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ЗАЩИТНОГО НИТРИДНОГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Г.С. Дегтяренко[1,2,*)], В.Е. Пуха[2)], И.И. Ходос[3)]
[1)] МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[2)] ФИЦ ПХФ и МХ РАН, Черноголовка, Россия
[3)] ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия
[*)] e-mail: degtyarenko.gleb@bk.ru

Модификация поверхности титановых биполярных плат, используемых в топливных элементах, проводимая с помощью имплантации ионов азота, положительно сказывается на коррозионной стойкости итогового материала и понижает его контактное сопротивление /1/. Было проведено моделирование процесса имплантации ионов азота энергией 5 и 7 кэВ в титановую мишень, рассчитаны коэффициенты распыления и длины пробега ионов в веществе, рассмотрено влияние общей ионной дозы на содержание имплантированных ионов в приповерхностном слое. Для моделирования был использован программный пакет SRIM-2013 /2/.

Для проверки истинности модели был проведен эксперимент по имплантации ионов азота в титановую мишень. Данные РФЭС показывают, что поверхностный слой мишени, содержащий химические связи между титаном и азотом, близок по стехиометрии к TiN (соотношение 1:1) при дозе ~ 7×10^{16} ионов на см^2, что подтверждает результаты проведенных расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kai Feng, Dixon T.K. Kwok, Dongan Liu, et al. // J. of P. Sources., 2010, 195, 6798.

2. J.F. Ziegler, M.D. Ziegler, J.P. Biersack // Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res., 2010, Sect. B, 268, 1818.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДА НЕЙТРОНОВ В D+D ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ ИЗ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МИШЕНЕЙ НА ИОННОМ УСКОРИТЕЛЕ ГЕЛИС

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

[1)] Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Москва, Россия
[2)] Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия
[*)] mikir57@mail.ru

В представленной работе выполнено исследование выхода нейтронов в d+d реакции при облучении нескольких кристаллических мишеней пучком ионов дейтерия на ускорителе ГЕЛИС (ФИАН). Энергия ионов дейтерия варьировалась от 15 до 40 кэВ при токе пучка от 20 до 100 мкА. Регистрация нейтронов осуществлялась сцинтилляционными детекторами с органическими кристаллами. Изучение процессов насыщения дейтерием различных кристаллических мишеней пучком ионов дейтерия и скорости протекания d+d ядерных реакций в кристаллических структурах имеет важное значение при разработке мишеней-конвертеров для нейтронных генераторов.

В настоящей работе показаны результаты экспериментов по облучению пучком ионов дейтерия мишеней из Ti, Pt и поликристаллического CVD-алмаза. Измерен выход нейтронов из данных мишеней в зависимости от времени облучения, параметров пучка ионов дейтерия и температуры мишени. Выполнено моделирование прохождения ионов дейтерия в веществе указанных мишеней. По экспериментальным результатам и с учётом моделирования получены значения концентрации дейтерия в Ti, Pt и CVD-алмазе в зависимости от времени облучения, тока пучка, энергии ионов дейтерия и температуры мишени.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ДОЗНЫЕ ЭФФЕКТЫ В КОМПЕНСАЦИИ ШИРОКОЗОННЫХ ГАЛЛИЕВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ РАДИАЦИОННЫМИ ДЕФЕКТАМИ

В.В.Козловский[1)], А.Э.Васильев[1)], М.Е.Левинштейн[2)], А.А.Лебедев[2)], Д.А.Малевский[2)], А.М.Стрельчук[2)]
[1)]Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра Великого
[2)]Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе РАН
[*)]e-mail: vkozlovski@spbstu.ru

Представлена модель компенсации электропроводимости широкозонных полупроводников (ШЗП) на основе галлия при электронном и протонном облучении. В качестве основных трех процессов, приводящих к снижению концентрации носителей заряда, рассматриваются: №1 - формирование глубоких ловушек собственными точечными дефектами – парами Френкеля, образующимися при облучении; №2 - «деактивация» легирующей примеси путем образования нейтральных комплексов, включающих атом легирующей примеси и точечный радиационный дефект; №3 - перевод примесного атома из мелкого донорного состояния в глубокое акцепторное состояние за счет образования заряженных комплексов.

Для определения механизма компенсации экспериментально исследованы дозные зависимости эффекта глубокой компенсации умеренно легированных n-GaN и n-GaAs при облучении электронами с энергией 0.9 МэВ и протонам с энергией 15 МэВ. Обнаружено, что для GaAs характерна линейная зависимость, а для GaN свойственна сугубо нелинейная зависимость. Подтверждено, что компенсация проводимости GaAs происходит за счет Механизма №1. Для GaN компенсация связана с Механизмами №2 или №3.

КРИТЕРИИ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ТУННЕЛИРОВАНИЯ ВОДОРОДА В МЕТАЛЛАХ

В.Б. Выходец, Т.Е. Куренных*
ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
*) e-mail: kurennykh@imp.uran.ru

Туннелирование наряду с надбарьерными прыжками атомов является одним из двух существующих механизмов миграции атомов в твердых телах. Оба механизма реализуются одновременно при любых температурах, но почти всегда скорость классической диффузии гораздо больше квантовой и только в редких случаях квантовая доминирует.

Данные по квантовой диффузия малочисленны, и она слабо изучена. Экспериментальные результаты по квантовой диффузии получены только для изотопов водорода в пяти металлах в системах Nb-H, Ta-H, Na-D, In-D и K-D.

На основе анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований сформулированы критерии, которым должны удовлетворять металлы для наблюдения в них туннелирования водорода и методики измерения коэффициентов квантовой диффузии.

Во-первых, должно быть достаточно малым, на уровне 0.15 нм, расстояние между ближайшими равновесными позициями атомов водорода в кристаллической решетке металла.

Во-вторых, условием наблюдения туннелирования является достаточно низкая температура Дебая металла, ниже 350 К.

В-третьих, корректный выбор методики измерения коэффициентов диффузии водорода. Если в районе температуры Дебая коэффициент диффузии водорода по классическому механизму миграции находится на уровне 10^{-11} м^2/с и выше, то целесообразно применять непрямые методики, основанные на эффекте Горского или измерении скорости спин-решеточной релаксации с помощью ЯМР. При более низких значениях коэффициента классической диффузии в районе температуры Дебая металла, для наблюдения квантовой диффузии необходимо применять прямую методику NRAOL или ее же в сочетании с NRA.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИФМ УрО РАН.

ГЕНЕРАЦИЯ ЭДС И ТОКОВ В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЁНОЧНЫХ СТРУКТУРАХ Si /Si, ОБРАБОТАННЫХ ИОНАМИ НЕОНА

Ш.К.Кучканов[1,2,*)], Х.Б.Ашуров[2)], Б.М.Абдурахманов[2)], М.М.Адилов[2)], А.И.Камардин[3)], С.Е.Максимов[2)], С.Ж.Ниматов[1)]

[1)] Ташкентский государственный технический университет им.И.А.Каримова, Ташкент, Узбекистан

[2)] Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан

[3)] НТЦ с КБ и ОП Академии Наук РУз, Ташкент, Узбекистан

*e-mail: Sher.kurbonov@inbox.ru

Весьма важным вопросом является изучение возможностей применения ионных технологий для создания эффективных полупроводниковых преобразователей солнечной и тепловой энергии. Большой интерес в этой связи представляет обнаруженный в кремнии и других полупроводниках тепловольтаический эффект [1] – процесс генерации при нагреве эдс и носителей заряда, величина которой зависит от концентрации дефектов в материале. Нами было исследовано влияние облучения стандартных эпитаксиальных плёночных p-n-структур Si/Si ионами Ne^+. с энергией 4,5 кэВ в условиях, аналогичных обработке He^+ [2], при плотности тока 0,1 мА*$см^{-2}$ до условных значений доз 10^{16}-10^{17} $см^{-2}$. Полученные результаты показывают, что обработка пучком Ne^+ приводит к более эффективной по сравнению с He^+ [2] генерации носителей заряда в области температур 400-800 К. Данное явление объясняется аналогично [1,2] образованием бомбардирующими ионами в структуре плёнок дефектов, ответственных за процессы генерации носителей зарядов при нагреве. С практической точки зрения, полученные результаты указывают на возможности использования методов ионной обработки поверхности плёночных полупроводниковых материалов для создания тепловых преобразователей, работающих в области высоких температур.

1. М.С. Саидов. //Гелиотехника. 2007. №4. С.3-8.
2. Ш.К.Кучканов, М.М.Адилов, А.И.Камардин, С.Е.Максимов, Ш.Т.Хожиев, Х.Б.Ашуров. //Гелиотехника. 2022. Т.58. №3. С.473-479.

ПОВЕРХНОСТЬ ПСЕВДОСПЛАВА W-Cu ПОСЛЕ ЕЕ ОБРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫМ ПУЧКОМ ИОНОВ УГЛЕРОДА.

В.Ю. Баринов[1)], С.С. Манохин [2)], Ю.Р. Колобов[2)] А.Е.Лигачев [3*)], Г.В.Потемкин[4)], В.А.Тарбоков[4)], Г.Е.Ремнев[4)]
[1)] ИСМК и ПМ им.А.Г.Мержанова г.Черноголовка, РФ,
[2)] ИПХФ и МХ РАН, г.Черноголовка, РФ,
[3)]ИОФ им.А.М. Прохорова РАН, Москва, РФ,
[4)]ТПУ, Томск, РФ
[*)] e-mail: carbin@yandex

Методами растровой электронной микроскопии исследована топография поверхности псевдосплава W-Cu, облучённая мощным импульсным ионным пучком (МИИП) на ускорителе ТЕМП Томского политехнического университета (Cn+, ускоряющее напряжение 200±10 кВ, плотность энергии в импульсе 2.6–3 Дж/см^2, длительность импульса ~100 нс.) |1|

Медь в порах каркаса под действием МИИП расплавилась и в результате сверхбыстрого затвердевания на многих участках псевдосплава над уровнем вольфрамового каркаса сформировались капли и холмики округлой формы. Из крупных пор, в процессе нагрева и охлаждения посевдосплава, часть жидкой меди выплеснулась на его поверхность.

Микротрещины на поверхности зерен вольфрамового каркаса присутствуют, но их количество минимально. Следует отметить, что медь практически отсутствует на поверхности зерен вольфрама за исключением капельной фазы. Углерод распределен по облученной поверхности равномерно и его количество минимально.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. E. Ligachev , M. V. Zhidkov, Yu. R. Kolobovb, G. V. Potemkind, M. V. Lukashova , G. E. Remnev, S. K. Pavlov, and V. A. Tarbokov. The Effect of a High-Power Pulsed Ion Beam on the Surface Topography of Tungsten. Inorganic Materials: Applied Research, 2023, Vol. 14, No. 3, pp. 632–635.DOI: 10.1134/S2075113323030279.

ПЛАЗМЕННО-ХИМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ЭРОЗИИ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕРКАЛ В ТОКАМАКЕ EAST

L.G. Lobanova[1,2,*)], S. Wang[1)], H. Lian[1)], X. Cui[1)], J. Chen[1)], R. Yan[1)], L. Zhang[1)], V.P. Afanas'ev[2)], M.A. Semenov-Shefov[2)], H. Liu[1)]
[1)] Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei, China
[2)] Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия
[*)] e-mail: lidiia@ipp.ac.cn

Важнейшим элементом оптических диагностических систем плазмы являются первые зеркала. Настоящая работа посвящена исследованию причин катастрофического разрушения поликристаллических молибденовых зеркал, отработавших длительное время в токамаке EAST. Анализ морфологии поверхности выполнен с помощью оптической микроскопии, количественный компонентный, химический и послойный анализ – с помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Установлен циклический плазменно-химический механизм разрушения, состоящий из процесса оксидирования молибдена в отсутствие плазменных разрядов (наличие паров H_2O в EAST – 5%) и дальнейшего удаления с поверхности оксидов вследствие плазменного воздействия. Установлено, что плазменное воздействие приводит к активному дефектообразованию – возникновению дополнительных центров оксидирования и уменьшению размеров кристаллитов молибдена. Рассмотрено влияние распыляемого в токамаке лития на качество поверхности зеркал. Вследствие наличия в токамаке паров H_2O, а, следовательно, возникновения на поверхности оксидов MoO_2 и MoO_3, происходит цепочка химических реакций с Li, приводящих к появлению на поверхности зеркал молибдата лития Li_2MoO_4, обладающего свойством двулучепреломления, что необходимо учитывать при оптических измерениях.

This work was supported by the National MCF Energy R&D Program of China (Grant No. 2019YFE0304003 and Grant No. 2022YFE03080002).

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ОТЖИГА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКРИСТАЛЛОВ Ga_2O_3 В МАТРИЦЕ SiO_2

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

В современном мире всё большее применение находят широкозонные полупроводники, одним из которых является оксид галлия Ga_2O_3. Этот материал обладает несколькими полиморфными модификациями (фазами), благодаря чему появляется возможность изменения ширины запрещенной зоны синтезируемых структур в пределах 4,6-5,2 эВ. Подобные значения E_g позволяют использовать оксид галлия в качестве детектора ближнего ультрафиолетового излучения.

В настоящей работе акцентировалось внимание на изменении светоизлучающих свойств синтезированных структур в зависимости от условий термической обработки: температуры и времени постимплантационного отжига. Из ранее проведенных экспериментов удалось установить, что из всех вариантов имплантации ионов (SiO_2/Si: $Ga^+ \rightarrow O^+$, SiO_2/Si: $O^+ \rightarrow Ga^+$, SiO_2/Si: Ga^+) самым удачным с точки зрения формирования наиболее интенсивно светоизлучающих нановключений оказалось облучение только ионами Ga^+. Результаты проведенных исследований показали, что интенсивность основной люминесцентной полосы (~490-500 нм) можно увеличить сокращением времени температурного воздействия, что подтверждает предположение о дефектной природе светоизлучающих свойств.

Формирование нанокристаллических включений Ga_2O_3 подтверждалось методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), а стехиометрия оксида проверялась методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС).

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

АНАЛИЗ ГЛУБИННОГО ПРОНИКНОВЕНИЯ АТОМОВ Mo, C, O В КРЕМНИЕВУЮ ПОДЛОЖКУ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПЛЕНКИ КАТОДНЫМ ВАКУУМНЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ С ИОННЫМ АССИСТИРОВАНИЕМ

О.М. Михалкович[1,*)], С.М. Барайшук[2)]
[1)] Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка, Минск, Беларусь
[2)] Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь
[*)] e-mail: Phyzbober@tut.by

Плазменное напыление является очень эффективным методом получения композиционных покрытий сформированных распылением компонентов /1/. В нашей работе вакуумным катодным распылением осаждались Mo пленки при ассистировании ионами молибдена на образцы кремния. Ускоряющий потенциал составлял 5 кВ, 7 кВ. 15 кВ и 20 кВ. Плотность ионного тока варьировалась в пределах 50-100 мкА/см^2. Элементный послойный анализ конструкций пленка/кремний выполняли, используя резерфордовское обратное рассеяние (РОР) ионов гелия He^+ с E_0 = 1.45 МэВ (ΔE=15 кэВ) и геометрией рассеяния θ_1=0^o, θ_2=12^o, θ=168^o, и компьютерное моделирование по программе RUMP.

Выявлена стабильность композиционного состава осаждаемых пленок при варьировании ускоряющего потенциала ассистирующих ионов, а также особенности глубинного проникновения компонентов пленки в кремниевую подложку. В работе обсуждается обнаруженная неоднозначная зависимость глубины проникновения атомов Mo, C и O в Si при увеличении ускоряющего потенциала ассистирующих ионов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь № ГР 20211394 и № ГР 20211250.

ЛИТЕРАТУРА

1.Mao J., Ding S., Li S., Li Y., Lin F., Zeng X. [et. al] Preparation and investigation of MoSi2/SiC coating with high infrared emissivity at high temperature // Surface & Coatings Technology, 2019, №358, P. 873-878.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ СУБМОНОСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК ШЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

С.Ж. Ниматов, Б.Е. Умирзаков, О.О. Зарипов
ТГТУ им. И. Каримова, Ташкент, Узбекистан
e-mail: Nimatov@mail.ru

Синтез сверхтонких покрытий сложного состава с помощью низкоэнергетических ионных пучков - актуальное и перспективное направление современной микро - и наноэлектроники. С физической точки зрения синтез субмонослойных слоев из низкоэнергетических ионных пучков довольно сложное, мало изученное явление, состоящее из многих взаимоперекрывающихся элементарных процессов: распыления, диссоциации, десорбции, адсорбции, гомо - и гетерохимических реакций и другой термической и эмиссионной активности, стимулированной ими, и способствующей зародышеобразованию, эпитаксии, либо аморфному росту слоев. Компьютерное моделирование указывает на превалирование коллективного движения атомов приповерхностного слоя, в случае низкой энергии бомбардирующих ионов. При этом взаимосвязь между структурой и составом поверхности проявляется особенно ярко. Наблюдаемые после термообработки и очистки поверхности в сверхвысоком вакууме, при различных режимах термообработки и в зависимости от типа проводимости эпитаксиальной пленки структуры с высоким контрастом дифракционных картины свидетельствуют о высокой чувствительности метода дифракции электронов низких энергий состоянию поверхности. Получены субмонослойные пленки со структурами Si(111)-1x1Na, Si(111)-3x3Li, Si(111)-2x2Rb, Si(111)-5x5Cl, при низкотемпературном осаждении из ионных пучков с энергий ~ 300 эВ, и оценены степень совершенства их поверхности в сравнении исходных структур подложки.

Осаждение слоёв из ионных пучков при энергии более 500эВ нецелесообразно из-за радиационного нарушения подповерхностных слоев и увеличения самораспыления пленки.

СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СТАЛИ 65, ОБРАБОТАННОЙ ИМПУЛЬСНЫМ ПУЧКОМ ИОНОВ

Н.И. Поляк[1, *)], В.М. Анищик[1)],
А.Е. Лигачев[2)], В.А. Тарбоков[3)]
[1)] БГУ, Минск, Беларусь
[2)] Институт общей физики РАН, Москва, Россия
[3)] Томский политехнический университет, Томск, Россия
[*)] e-mail: n.poliak@mail.ru

Исследовано влияние облучения мощным импульсным пучком ионов углерода (70%) и водорода (30%) с энергией 250 кэВ плотностью ионного тока J = 25 и 65 А/см^2 одним импульсом длительностью τ = 100 нс на структуру и фазовый состав приповерхностного слоя стали 65. Рентгеноструктурные исследования, проведенные в геометриях скользящего пучка и Брэгга-Брентано, выявили изменение преимущественной ориентировки кристаллитов в приповерхностном слое, сравнимом по величине с проективным пробегом ионов, и к изменению фазового состава в более широком слое, значительно его превышающем: появлению новых фаз и увеличению их объемной доли. Наблюдаемые изменения обусловлены процессами перераспределения элементов, накопления дефектов, протеканием структурно-фазовых превращений и развитием локальных напряжений в модифицированном слое.

МИКРОСТРУКТУРА И СОСТАВ СЛОЕВ, ФОРМИРУЕМЫХ В ПРОЦЕССАХ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ

В.В. Поплавский[1*)], О.Г. Бобрович[1)], В.Г. Лугин[1)]
А.А. Могдалова[2)], И.Л. Поболь[2)]
[1)] Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь
[2)] Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь
[*)] e-mail: vasily.poplav@tut.by

Проведена комбинированная ионно-плазменная обработка поверхности алюминиевых сплавов, включающая ионно-плазменное азотирование и последующее ионно-ассистируемое осаждение металлов из плазмы вакуумного дугового разряда, возбуждаемого в парах осаждаемого металла. В процессе ионно-плазменного азотирования в среде, содержащей азот, аргон и водород в различных комбинациях, получены азотсодержащие с включением кислорода слои толщиной ~(1,0–1,5 мкм). При этом микроструктура сплава не претерпевает существенных изменений. При последующем ионно-ассистируемом осаждении металлов из плазмы вакуумного (~10^{-2} Па) дугового разряда сформированы многокомпонентные аморфные слои толщиной до 50 нм, включающие атомы осажденного металла, азота, компонентов подложки, в том числе кислород оксидной пленки, и примеси углеводородов. Морфология поверхности несколько изменяется за счет ионно-ассистируемого осаждения металла. Захват значительного количества газов из остаточной атмосферы вакуумной рабочей камеры и включение их в состав формируемого слоя имеют место при осаждении на поверхность алюминия и других вентильных металлов (титана, тантала) и их сплавов переходных металлов, обладающих геттерными свойствами [1].

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Poplavsky V.V., Bobrovich O.G., Dorozhko A.V., Matys V.G. // J. Surf. Invest.: X-Ray, Synchrotron Neutron Tech. – 2024. – Vol. 18, No. 5. – P. 1065–1071.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНКИ НИТРИДА КРЕМНИЯ, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ИМПЛАНТИРОВАННОЙ ИОНАМИ Zn И O

В.В. Привезенцев[1)], А.А. Фирсов[1)], В.С. Куликаускас[2)], В.В. Затекин[2)], Д.А Киселев[3)], С.С. Самохина[3)],
А.Н. Терещенко [4)]
[1)] НИЦ “Курчатовский институт”-НИИСИ, Москва, Россия
[2)] НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
[3)] НИУ “МИСИС”, Москва, Россия
4) ИФТТ РАН, Черноголовка, Московская обл., Россия

Представлены результаты исследования пленок Si_3N_4 толщиной, сформированных на кремниевых подложках плазмо-химическим методом (PECVD). Они легировались ионами $^{64}Zn^+$ с энергией 50 кэВ и дозой 5E16/см^2, а затем ионами $^{16}O^+$ с энергией 20 кэВ и дозой 7E16/см^2 и отжигались в потоке Ar в диапазоне температур 400-800ºС с шагом 100ºС течение 1 часа на каждом шаге.

Исследование профилей имплантированных Zn и O было проведено с помощью резерфордовского обратного рассеяния ионов гелия с энергией 700 кэВ. Морфология поверхности изучалась с помощью растровой электронной микроскопии и атомно-силовой микроскопии. Идентификацию различных фаз цинка проводили методом фотолюминесценции.

Получено, что после имплантации профили цинка и кислорода имеют нормальную форму с максимумами на глубине около 30 нм. В процессе отжигов профиль цинка: изменяется: при низких температурах (до 600ºС) он смещается вглубь пленки, а при более высоких (700ºС и выше) - к поверхности пленки и уширяется. Определено, что после имплантации средняя шероховатость поверхности составляет 2,26 нм, а средний размер нанокластеров в плоскости равен 20 нм, а после отжига при 700ºС они изменяются соответственно до 1,28 нм и 35 нм. Установлено, что после имплантации в образце присутствуют фазы Zn, а после отжига при 700ºС в образце находятся фазы $ZnO\cdot$и Zn_2SiO_4.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ И ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА И АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

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

[1)] Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Иваново, Россия

[2)] Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, Иваново, Россия

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

[4)] Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва, Россия

e-mail: [*)]avn@isc-ras.ru, [**)]m.stepovich@mail.ru

Наноматериалы на основе магнитных оксидов железа (магнетит, маггемит) имеют широкие перспективы для применения в качестве радиопоглощающих покрытий, средств для хранения информации, при создании микроиндукторов, в биотехнологии и т.п.

В настоящей работе методами растровой электронной микроскопии, рентгеноспектрального микроанализа, широкоуглового рассеяния рентгеновских лучей, лазерной дифракции и низкотемпературной адсорбции-десорбции азота с использованием стандартных измерений магнитных параметров материалов проведена оценка морфологии, текстуры и кристаллической структуры композитов, содержащих активированный уголь и оксиды железа в процентных соотношениях 80/20 и 20/80. Выявлены количественные различия в магнитных характеристиках исследованных материалов и оценены перспективы их практического использования.

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

ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРЫ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ФЕРРИТОВ-ШПИНЕЛЕЙ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ В УСЛОВИЯХ ПОДВОДНОЙ ПЛАЗМЫ

А.В. Хлюстова[1,*)], Н.А. Сироткин[1)], А.В. Агафонов[1)], М.Н. Шипко[2)], М.А. Степович[3,**)], С.К. Дедушенко[4)], Е.С. Савченко[4)], В.В. Калманович[3)]

[1)] Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Иваново, Россия

[2)] Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, Иваново, Россия

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

[4)] Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва, Россия

e-mail: [*)]avlada5577@gmail.ru, [**)]m.stepovich@mail.ru

Проведены исследования кристаллической структуры, морфологии и магнитных свойств порошков нанокомпозитов на основе переходных металлов Ni, Co, Cu, Fe, синтезированных в условиях подводной плазмы. Композиты получены при воздействии подводной плазмы, возбуждаемой между металлическими электродами в объеме дистиллированной воды. Рассмотрены возможности управления свойствами синтезированных нанокомпозитов импульсами слабого магнитного поля. Полученные результаты указывают на возможность синтеза нанокомпозитов с заданным содержанием ферритов-шпинелей $NiFe_2O_4$, $CoFe_2O_4$, $Ni_{1-x}Cu_xFe_2O_4$, обеспечивающих низкие значения ширины линии ферромагнитного резонанса, а также ε-Fe_2O_3, проявляющего высокочастотный резонанс в миллиметровом диапазоне электромагнитного излучения.

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

О ВОЗМОЖНОСТИ МОДИФИКАЦИИ И АНАЛИЗЕ ЛОКАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЁВ ЛЕНТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

М.Н. Шипко[1,*], Т.П. Каминская[2], М.А. Степович[3,**], А.В. Стулов[4], Е.С. Савченко[5], А.В. Хлюстова[6], Н.А. Сироткин[6], А.А. Вирюс[7], В.В. Калманович[3]

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

[2] Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

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

[4] ООО «Научно-производственный комплекс «Автоприбор», Владимир, Россия

[5] Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва, Россия

[6] Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Иваново, Россия

[7] Институт экспериментальной минералогии им. академика Д.С. Коржинского, Черноголовка, Россия

[*]e-mail: michael-1946@mail.ru, [**]m.stepovich@mail.ru

Методами растровой электронной, атомной силовой, оптической микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа с использованием стандартных измерений магнитных параметров материалов изучены локальные свойства приповерхностных слоёв и возможности ионно-плазменной и магнитоимпульсной обработки для модификации ленточных аморфных электротехнических сплавов Fe(SiBNb) и Fe(Ni, Cu)SiB, полученных при распылении расплава на быстро вращающийся медный барабан. После магнитоимпульсной обработки сплавов обнаружено появление магнитных доменов и установлена зависимость характера доменной структуры и магнитных параметров сплавов от режимов магнитоимпульсной обработки.

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

О МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НЕСТАЦИОНАРНОГО НАГРЕВА ОДНОРОДНОЙ МИШЕНИ ЭЛЕКТРОННЫМ ЗОНДОМ СРЕДНИХ ЭНЕРГИЙ

Д.В. Туртин[1,*)], М.А. Степович[2)], В.В. Калманович[2)]
[1)] Ивановский государственный университет, Иваново, Россия
[2)] Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, Калуга, Россия
[*)]e-mail: turtin@mail.ru

Рассмотрена математическая модель нагрева, основанная на нестационарном уравнении теплопроводности

$$\frac{\partial u(\vec{r},t)}{\partial t} = a^2 \Delta u(\vec{r},t) + \frac{1}{c_0 \rho_0} \rho(\vec{r},t)$$

со стандартными для остро сфокусированного пучка электронов граничными условиями /1/. Здесь $u(\vec{r},t)$ – температура нагрева, a^2 – температуропроводность, c_0 – теплоемкость и ρ_0 – плотность образца, $\rho(\vec{r},t)$ – плотность источников тепла в точке $\vec{r}$ мишени в момент времени t. Функция $\rho(\vec{r},t)$ представлена в виде произведения стационарной части $\rho^*(\vec{r})$, описывающей потери энергии зондом в мишени при её стационарном облучении /1/, и сомножителя $f(t)$, описывающего зависимость нестационарного характера облучения мишени от времени: $\rho(\vec{r},t) = \rho^*(\vec{r}) \cdot f(t)$. Модельные расчеты проведены для процесса нагрева пульсирующим электронным зондом однородного монокристаллического нитрида галлия, одного из перспективных материалов микро-, нано-, оптоэлектроники.

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

ЛИТЕРАТУРА

Филиппов М.Н., Амрастанов А.Н., Степович М.А., Картанов А.А. // Ученые записки физического факультета Московского университета, 2024, № 1, 2410603.

КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНИЯ β-Ga_2O_3, ИМПЛАНТИРОВАННОГО ИОНАМИ КРЕМНИЯ

А.А. Татаринцев[1), *)], Е.Ю. Зыкова[1)], А.Е. Иешкин[1)],
Н.Г. Орликовская[1)], В.Е. Астахов[1)],
А.А Никольская[2)], Д.И. Тетельбаум[2)]
[1)] Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия.
[2)] Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г.Нижний Новгород, Россия.
[*)] e-mail: tatarintsev@physics.msu.ru

В виду широкой запрещенной зоны и, соответсвенно, высокого значения пробойного поля, полупроводник оксид галлия является перспективным полупроводником силовой электроники нового поколения [1], а также может быть перспективным материалом для УФ-фотодетекторов. Наиболее перспективным для использования считается β-Ga_2O_3 вследствие наибольшей термической стабильности фазы. Однако, для интеграции β-Ga_2O_3 в технологические процессы необходимо решить ряд проблем. В частности, требуется понимание природы и контроль дефектов и примесей в этом материале. Катодолюминесцентная спектроскопия является хорошо зарекомендовавшим себя методом исследования свойств твердого тела, микропримесей и обнаружения оптически активных дефектов. В докладе представлены результаты исследования катодолюминесценции легированного железом Fe β-Ga2O3 с ориентацией поверхности подложки (-201), имплантированного кремнием (донорная примесь) с разными температурами активационного отжига. Доза имплантации ионов кремния варьировалась от 2 10^{14} до 1.6 10^{15} $см^{-2}$.

ЛИТЕРАТУРА

1.A. Nikolskaya, E. Okulich, D. Korolev, A. Stepanov, D. Nikolichev, A. Mikhaylov, D. Tetelbaum, A. Almaev, C.A. Bolzan, A. Buaczik, R. Giulian, P.L. Grande, A. Kumar, M. Kumar, D. Gogova. // J. Vac. Sci. Technol. A Vacuum, Surfaces, Film. 2021, v. 39, 030802. https://doi.org/10.1116/6.0000928.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТЫХ И НЕОДНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ЯДЕРНОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

Н.В. Ткаченко[1)*)], А.И. Каменских[1)]
[1)] НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
[*)] e-mail: nicki_tkak@mail.ru

Исследования модифицированных поверхностей материалов представляют собой большую практическую ценность. Существует множество методов для определения элементного состава образцов. В данной работе использовался метод обратного ядерного рассеивания (ЯОР) [1], заключающийся в анализе спектров, полученных рассеянными под углом, близким к 180°, протонами, падающих на исследуемую мишень. Энергия рассеянных протонов зависит от вещества, на котором они рассеялись, и от глубины его нахождения в образце.

При этом получившиеся спектры уширяются вследствие страгглинга. Среди причин страгглинга можно выделить такие как неидеальная монохроматичность пучка, разрешение детектора, неоднородность материала мишени по плотност. В данной работе исследуется влияние неоднородности материала мишени на уширение спектров.

Были построены и обработаны спектры рассеяния протонов на различных пористых и неоднородных мишенях, таких как порошковые Mg и Al и их гидриды, МДО покрытия Zr до и после тепловых испытаний, а так же многих других. В результате работы было изучено влияние неоднородности по плотности на форму спектров, а также установлены точные элементные составы некоторых покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Востриков В.Г., Каменских А.И., Ткаченко Н.В. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2020. №1 С. 28-35.

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ PdSi/Si

Б.Е.Умирзаков, Д.А.Ташмухамедова*, Х.Э.Абдиев, Ж.Б.Хужаниязов,
А.Н.Уроков, Б.В. Ибрагимова
Ташкентский государственный технический университет Ташкент,
Узбекистан, *e-mail: ftmet@mail.ru

В настоящее время при создании различных многослойных и тонкопленочных систем очень важно получить наноразмерные контакты с малыми переходными слоями /1, 2/. В последнее время при разработке полупроводниковых приборов наряду с традиционными (никель, титан, палладий, платина и др.) используются контактные системы на основе силицидов /3, 4/. В данной работе изучено влияние изменения состава на границе раздела PdSi/Si на удельное сопротивление контактирующего слоя.

Перед исследованиями поверхность Si (111) обезгаживали при T = 1200 K в течении 4 – 5 часов в сочетании с кратковременными прогревами до T = 1500 K при вакууме не хуже 10^{-7} Па. Затем на поверхность Si (111) напылялись атомы Pd методом ТФЭ с толщиной d ≈ 100 Å. Для выяснения влияния изменения состава на границе PdSi/Si при прогреве на удельное сопротивление контактирующего слоя нами изучена зависимость $\rho_{PdSi}(T)$ в области T от 400 до 1200 K. Время прогрева при каждой T составляла ~ 40 мин. Установлено, что значение ρ до T = 1000 K практически не изменяется, а затем уменьшается проходя через минимум (ρ = 20 – 30 мкОм·см) при T = 1000 K резко увеличивается. Результаты можно объяснить следующим образом. Состав пленки до T = 900 K заметно не изменяется, следовательно $\rho_к$ до этой температуры существенно не меняется. Уменьшение ρ в интервале 900 – 1000 K могут быть связаны с некоторой упорядоченностью структуры пленки PdSi и обогащением ее атомами Ni. Резкое увеличение ρ пленки при T ≥ 1000 K объясняется сначала формированием островков PdSi, а затем разложением PdSi на составляющие и их испарением.

ЛИТЕРАТУРА

1. S.V. Tomilin, A.S. Yanovsky. J. Nano- and Electr.Phys., 4(1), 01 013 (2012)
2. Д.М. Мурадкабилов, Д.А. Ташмухамедова, Б.Е. Умирзаков // Поверхность. Рент., синхрот. и нейтр. исс., 2013, № 10, с. 58.
3. Л.П. Ануфриев, В.В. Баранов, Я.А. Соловьев, М.В. Тарасиков // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2005. № 4. С. 55.

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА ТВЕРДОФАЗНЫЕ РЕАКЦИИ В ПЛЕНКАХ NiW-Si ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

А.С. Халматов[1*)] З.А. Исахаеов[1)]
[1)] Институт ИПЛТ АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: halmatov281285@mail.ru

В работе представлены результаты исследований твердофазных реакции, протекающих в гетеросистемах пленка никеля кремний в условиях быстрой термообработки, при наличии в пленке никеля легкой примеси либо слабодиффундирующей тяжелой примеси (W). Исследования проводили методом обратного резерфордовского рассеяния и каналирования для ионов гелия с энергией 1,5 МэВ. Температуры образца до 700°C стимулирует протекание реакции между Ni и Si в секундных интервалах облучения, в то время как вольфрам лишь незначительно смещается к поверхности. Различие в подвижности Ni и W становится существеннее при температурах 800°C, время t_m=25 сек. наблюдается практически полное вытеснение вольфрама к поверхности, а никель полностью реагирует с кремниевой подложкой (рис.1).

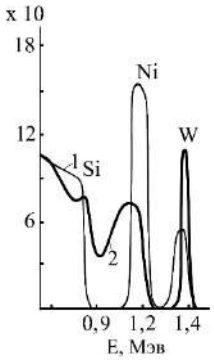


Рис.1. Энергетические спектры обратнорассеянных ионов He^+ для системы NiW-Si, 1 - исходная структура 2-после термообработки при T=800°C, t_m=25 сек.

Такое поведение системы объясняется различием в подвижностях Ni и W, приводящее к тому, что быстро диффундирующий компонент (Ni) эффективно проникает в кремний из смешанной пленки NiW оставляя, таким образом, вольфрам в поверхностных слоях.

ЭВОЛЮЦИЯ МОРФОЛОГИИ СТЕКЛА К-208 ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ПРОТОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

Р. Х. Хасаншин[1, 2]*, Л. С. Новиков[3], С.П. Никитин[1]
[1]АО “Композит”, Королев Московской области, Россия
[2]МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
[3]НИИЯФ Д.В. Скобельцына, Москва, Россия
*E-mail: rhkhas@mail.ru

Результаты исследований взаимодействия отдельных компонент горячей магнитосферной плазмы (ГМП) с материалами внешних поверхностей искусственных спутников земли (ИСЗ), могут дать полезную информацию о процессах, протекающих при воздействии ГМП, для прогнозирования возможных негативных явлений при использовании исследованных материалов на высокоорбитальных спутниках.

Цель работы состояла в проведении сравнительного анализа радиационных эффектов, вызванных воздействием как отдельных компонент ГМП, так и их совокупности на защитное покрытие солнечных батарей ИСЗ. Для достижения этой цели пластины стекла К-208 - защитные покрытия солнечных батарей, подвергнуты раздельному и совместному воздействию электронов и протонов с энергиями, характерными для ГМП.

Методами атомно-силовой микроскопии (АСМ) мы исследовали поверхности образцов стекла К-208 после раздельного и совместного облучения в вакууме $p_v = 10^{-4}$ Па протонами и электронами с энергиями 20 кэВ и 40 кэВ соответственно. При плотностях потока протонов φ_p и электронов φ_e от 10^9 до 3×10^{12} $см^{-2}с^{-1}$ флюенсы частиц Φ_p и Φ_e варьировали в диапазоне $10^{14} \div 3\times10^{16}$ $см^{-2}$. Полученные результаты позволяют утверждать, что характер изменений морфологии образцов при облучении отдельными компонентами ГМП зависят от значения величин φ_e и φ_p, а под действием электронно-протонной плазмы определяются во многом соотношением плотностей потоков $\alpha=\varphi_e:\varphi_p$. В частности, если $\alpha \sim 1$, то на поверхности стекла образуются газонаполненные пузырьки, если же $\alpha > 3$, при выбранных для исследований значениях энергии частиц, на поверхности стекла помимо газонаполненных пузырьков появляются разрядные каналы.

СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫТИЯ ОСАЖДЕННОГО МАГНЕТРОННЫМ И ВАКУУМНО ДУГОВЫМ МЕТОДОМ.

В.Н Арустамов, И.Х Худойкулов, Б.Р Кахрамонов, В.Н. Харьяков
Институт ионно-плазменных и лазерных технологий имени У.А. Арифова Академии наук Республики Узбекистан, ул. Дурмон йули 33, 100125, город Ташкент, Узбекистан. e-mail: i_khudaykulov@mail.ru

Актуальной задачей является получение функциональных износостойких твердосплавных покрытий с тугоплавкими металлами, их карбидами и наноуглеродными частицами, используемых для упрочнения рабочих поверхностей деталей машин и механизмов [1].

В данной работе после первичной очистки поверхности стекла представлены методы магнетронного распыления и вакуумно-дугового напыления. Первоначально на поверхность образца методом магнетронного распыления наносился слой нитрида титана. На рис. 1 представлена дифрактограмма нанесенное покрытия TiN, выращенного двумя способами.
На дифрактограмме рис.1 видно, что имеются 3 пика TiN, а также малоинтенсивные пики для трех разных указанных значений углов: - 2θ = 12,48, соответствует отражению от граней TiN(110); - 2θ = 49, соответствует отражению от граней TiN (111) и - 2θ = 73.12, соответствует отражению от граней TiN (220).

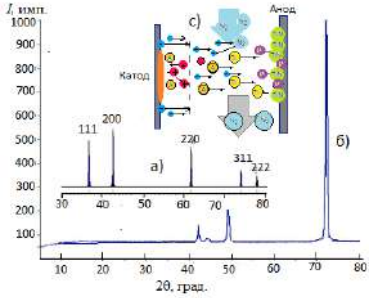


Рис.1 Дифрактограмма покрытие TiN: а) методом магнетронное распыления, б) методом дуговом разряде, с) механизм процесса.

Таким образом, в магнетронном методе покрытие из TiN относительно плоское и равномерно распределяется по поверхности, результаты, полученные при дальнем разряде, обусловлены высокими температурами, кроме того, плоскостность слоя нарушается из-за кратеров. , образующиеся при генерации катодных пятен.

Тезис был сокращен в связи с невыполнением требований к публикации.

ЛИТЕРАТУРА

1.Б.И. Михайлов. Сканирование дуговым пятном трубчатых электродов в газовихревых плазмотронах. Теплофизика и аэромеханика, 2008, том 15, № 2. С. 325-340.

ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ MgO/Mg

М.Б. Юсупжанова, Д.А. Ташмухамедова*, В.Х. Холмухамедова, С.Т. Гулямова, С.Т. Абраева, А.У. Хужаниязова
Ташкентский государственний технический университет, Ташкент, Узбекистан, *e-mail: ftmet@mail.ru

Нанопленочные структуры типа MgO/Mg имеют большие перспективы в создании различных МДП и ПДП – структур необходимых для современных приборов опто-, микро- и наноэлектроники /1/. MgO характеризуется высокой энергией связи, что определяет его химическую устойчивость и широкую запрещенную зону /2/. Оксид магния имеет ионную связь и образует простейшую кубическую решетку. Во многих случаях MgO может существовать в аморфном состоянии. В настоящее время для получения пленок MgO/Mg чаще всего используется метод термического окисления магния в парах сухого кислорода. В этом случае более совершенные пленки с хорошим стехиометрическим составом формируются начиная с толщины θ=100-150 Å. В таблице 1 приведены положения потолка валентной зоны E_v, уровня Ферми E_F, параметры зон, максимальное значение коэффициента ВЭЭ, квантовый выход фотоэлектронов при hν=21.2 эВ и зоны выхода ИВЭ для системы MgO/Mg, с пленками разной толщины, полученных методом термического окисления.

Таблица 1.

Зонно-энергетические параметры, эмиссионные и оптические характеристики систем MgO/Mg

Системы	d, Å	φ, эВ	Ф, эВ	σ_m	χ	λ, Å	E_g, эВ
MgO/Mg	0 (Mg)	3.66	3.66	1.0	3.66	50 – 60	0
	150	5.1	8.5	2.9	1.0	–	7.5
	300	5.1	8.2	3.6	1.0	300–350	7.5
	500	5.1	8.5	3.9	0.8	400–450	7.2

Пленка MgO была поликристаллической и она получена методом термического окисления. Из таблицы 1 видно, что зона выхода ИВЭ λ и фотоэлектронов для MgO составляет ~ 450 - 500 Å.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.А.Ташмухамедова, М.Б. Юсупжанова // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2021. Т. 10. С. 63.
2. А.В. Куклин, А.А. Кузубов, Н.С. Елисеева, Ф.Н. Томилин, А.С. Федоров, П.О. Краснов.//. ФТТ, 2014, том 56, вып. 2. С. 230-234.

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СРОДСТВА К УГЛЕРОДУ МАТЕРИАЛА ПОДЛОЖКИ НА БАКТЕРИЦИДНОСТЬ УГЛЕРОДНЫХ ПЛЁНОК, ЛЕГИРОВАННЫХ МЕДЬЮ

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

Бактерицидность алмазоподобных плёнок была обнаружена уже на ранних синтезах. В последующем это свойство было усилено путём легирования. В работе изучалась бактерицидность тетраэдрических углеродных плёнок, легированных Cu, на металлических подложках с различным сродством к C. В эксперименте использовались: Ti, Zr, Cu, In. Ti и Zr карбидообразующие элементы с ковалентной связью. Cu имеет очень низкое сродством к C. In не взаимодействует с C – карбид индия не известен.

В исследовании использовались титановые фольги марки ВТ1-0, фольги Zr (99,8 %), фольга из Cu (97,8 %). Образцы In прокатывались до толщины 350 мкм из материала чистоты 99,6 %.

Плёнки наносились импульсно-плазменным методом на установке УВНИПА-1-001 путём распыления графитового катода марки МПГ-6 с медными вставками, занимающими 7 % поверхности катода. Толщина плёнок составляла 40-50 нм. Толщина плёнок на медной подложке была увеличена до 200 нм. Анализ типа гибридизации атомов углерода в полученных пленках выполнен методом Рамановской спектроскопии.

Бактерицидность плёнок исследовалась с помощью биосенсора «Эколюм». Эффект подавления бактерий регистрировался по уменьшению выхода биолюминесценции по сравнению с эталоном. В течение 4-ч часов плёнки, нанесённые на карбидообразующие элементы, подавляли жизнедеятельность кишечной палочки в суспензии «Эколюм» в объёме 3 мл на 40±15 %. В аналогичном случае на фольгах меди и индия – на 80±10 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Harold T. Michels, Corinne A. Michel, // Current Trends in Microbiology, 2016, №10, с. 23–45.
2. Laura Tamayo, Manuel Azócar, Marcelo Kogan, Ana Riveros, Maritza Páez, // Materials Science and Engineering C, 2016, №69, с. 1391–1409.

ВОЗБУЖДЕНИЕ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ В ЯДРАХ ЗАКРУЧЕННЫМИ ФОТОНАМИ

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

Развитие методов изучения взаимодействия закрученных фотонов с атомными ядрами актуально в связи с созданием атомных часов нового типа (ссылка на немцев) и исследованием ядерных переходов высокой мультипольности, подавленных при возбуждении плосковолновыми фотонами. Теоретический подход, предложенный в /1/, предсказывает, что фотопереходы высшей мультипольности в атомных ядрах с энергией перехода менее 1 кэВ могут быть реализованы экспериментально при имеющихся на данный момент технологиях.

Моделировать закрученные фотоны можно по-разному. В докладе рассматривается обобщение результатов работы /1/ на пучки Лагерра-Гаусса /2/. Получена вероятность поглощения такого закрученного фотона одним ядром. Получены правила отбора для в процессе фотопоглощения и приведены численные оценки.

ЛИТЕРАТУРА

1. P.O. Kazinski, A.A. Sokolov // Physics of Atomic Nuclei, 2024, Volume 87, 561–569.
2. A.A. Peshkov, D. Seipt, A. Surzhykov, S. Fritzsche // Physical Review A, 2017, Volume 96, 023407.

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ИЗМЕРЕНИЙ НА УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИФРАГИРОВАННОГО ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В КРИСТАЛЛАХ

А.В. Будко[1)], И.Е. Внуков[1,*)], В.В. Колодочкин[1)], Y. Takabayashi[2)]

[1)] НИУ «БелГУ», Белгород, Россия
[2)] SAGA Light Source, Tosu, Saga 841-0005, Japan
[*)]e-mail: vnukov@bsuedu.ru

С целью разработки новых методов определения эмиттанса пучков релятивистских электронов, то есть его поперечных размеров и характерного угла расходимости пучка в обеих плоскостях по результатам измерений угловых распределений дифрагированного переходного излучения (ДПИ) /1/ продолжено исследование влияния углового профиля отражающей способности плоскостей кристаллов на регистрируемое угловое распределение ДПИ. Для регистрации ДПИ в геометрии Брэгга отличие реального профиля отражающей способности рентгеновского излучения кристаллом от δ-функции приводит к уменьшению глубины провала в центре углового распределения и снижению амплитуды в максимуме, имитируя вклад дополнительной расходимости пучка частиц /2/. Степень влияния этого отличия определяется энергией регистрируемых фотонов, резко возрастая с уменьшением энергии фотонов, и зависит от расходимости пучка /3/. Проанализирована зависимость степени влияния анализируемого эффекта от геометрии измерений. Показано, что для геометрии Лауэ вклад обсуждаемого эффекта выше, чем для геометрии Брэгга из-за большей дисперсии углового распределения отражающей способности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yu. A. Goponov et al. // NIM A, 2021, V. 996, 165132.
2. A. V. Berdnichenko et al. // NIM B, 2023, V. 545, 165137.
3. A. V. Berdnichenko et al. // JINST, 2024, V. 19, C05043

УПРАВЛЕНИЕ ПУЧКОМ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 7 МЭВ С ПОМОЩЬЮ СТЕКЛЯННЫХ КАНАЛОВ

К.А. Вохмянина[1*)], И.А. Кищин[1,2)], А.Д. Пятигор[1)], Е.Ю. Киданова[1,2)], В.И. Алексеев[2)], А.Н. Елисеев[2)], А.С. Кубанкин[1)]
[1)] Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия
[2)] Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия
[*)] e-mail: kristinav2005@yandex.ru

В данной работе впервые для релятивистских электронов была изучена возможность поворота пучка с помощью диэлектрического канала на углы, превышающие угол геометрического пропускания (т.н. гайдинг-эффект/1/). Показано, что пучок следует вслед за поворотом канала на углы до +/-6º (см. Рис.1).

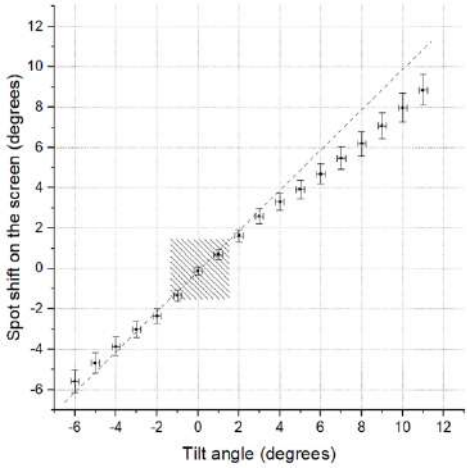


Рис.1 Следование следа пучка на экране за поворотом стеклянного канала

ЛИТЕРАТУРА

1. Stolterfoht N., Bremer J.H, Hoffmann V. et al// Phys.Rev.Lett. 2002, V.88, P.13

СРАВНЕНИЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ И СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ НАНОПОР НА ПОВЕРХНОСТИ ТРАВИМЫХ КРИСТАЛЛОВ ОЛИВИНА, ОБЛУЧЕННЫХ БЫСТРЫМИ ТЯЖЁЛЫМИ ИОНАМИ

С.А. Горбунов[1,*)], М.В. Горшенков[2)], Р.А. Рымжанов[3)], А.Е. Волков[1,4)], Г.В. Калинина[1)]

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

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

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

[4)] НИЦ Курчатовский Институт, Москва, Россия

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

Транспортные и адсорбционные свойства нанопор существенным образом зависят от их поперечного сечения [1-3].

В работе исследовались нанопоры разной формы, синтезируемые травлением треков быстрых тяжёлых ионов.

Образцы оливина, ориентированные вдоль основных кристаллических осей, облучались ионами Xe 156МэВ и травились в WN-растворе в течение 90 минут. Возникшие на поверхности кристалла наноразмерные поры исследовались с использованием атомно-силового и сканирующего электронного микроскопов. Сканирующая электронная микроскопия требует нанесения нанометрового проводящего слоя. Точность же атомно-силового микроскопа ограничена радиусом кривизны кантилевера.

Сечения наблюдаемых пор использовались для сравнения эффективности этих двух методик.

ЛИТЕРАТУРА

1. K. Wu, Z. Chen, X. Li // Chem. Eng. J., 2015, 281, 813.

2. S. Prakash, M. Pinti, K. Bellman // J. Micromechanics Microengineering, 2012, 22, 067002

3. L. Bruschi, G. Mistura, L. Prasetyo, et. al // J. Micromechanics Microengineering, 2018, Langmuir, 34, 106

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ ПРОТОНОВ В ТОНКИХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ

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

Проведено компьютерное моделирование прохождения протонов с энергией 0.5 МэВ через тонкую кристаллическую пленку Si толщиной 55 нм в направлениях <001>, <011> и <111>. Процесс рассеяния пучка моделировался численным интегрированием классических нерелятивистских уравнений движения каждой отдельной частицы в поле поверхности кристалла с учетом двухчастичных потенциалов взаимодействия. Учитывалось поле, созданное ближайшим окружением с выбранным числом атомов и слоев кристаллической решётки.

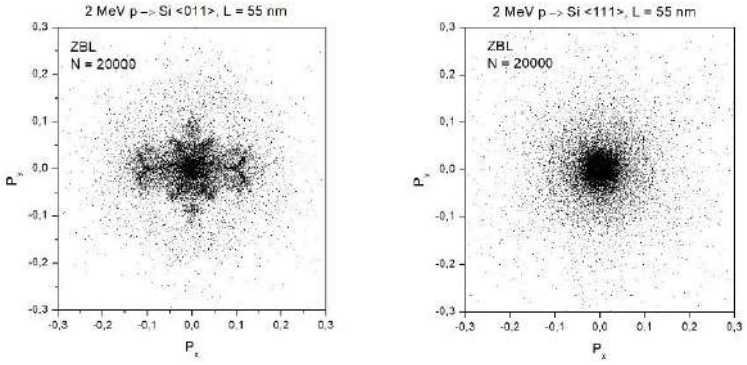


Рис.1 Угловое распределение протонов с энергией 0.5 МэВ рассеянных кристаллической пленкой толщиной 55 нм в направлениях <011> и <111>.

Результаты моделирования согласуются с имеющимися экспериментальными данными /1/. Показано, что угловое распределение в направлениях <001> и <011> имеет тонкую радужную структуру.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Motapothula, Z.Y. Dang, T. Venkatesan, M.B.H. Breese, M.A. Rana, A. Osman // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 2012, 283, 29–34.

ЧЕРЕНКОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ОБЛАСТИ ВАКУУМНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТА

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

Анализируется возможность генерации черенковского излучения в ультрафиолетовой спектральной области, возникающего при прохождении ускоренных заряженных частиц через регулярную стопку пластин из кварцевого стекла толщиной 0.1 мкм. В области длин волн от 0,11 до 0,13 мкм мнимая часть диэлектрической проницаемости имеет большое значение и поглощение излучения препятствует возникновению черенковского максимума. Диапазон энергий частиц для наблюдения черенковского излучения в направлении «вперед» ограничен снизу пороговым условием, а сверху полным внутреннем отражением на выходе из мишени. Например, для длины волны 0.16 мкм Лоренц-фактор должен находиться в пределах $1.5< \gamma < 2.2$.

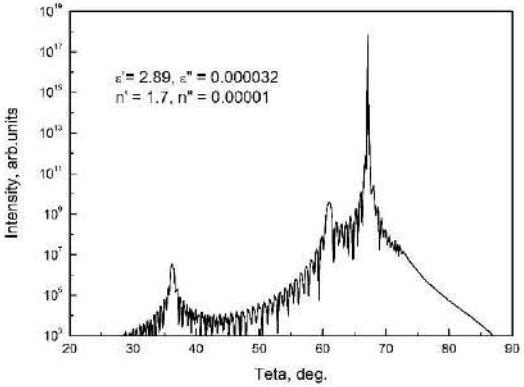


Рис.1 Рассчитанное угловое распределение интенсивности излучения с длиной волны 0.16 мкм заряженных частиц ($\gamma = 2$).

На угловом распределении рассчитанной интенсивности излучения (Рис.1) виден максимум черенковского излучения при угле 67º. Дополнительные максимумы параметрического черенковского обусловлены периодической структурой мишени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. М. Гарибян, Ян Ши. Рентгеновское переходное излучение. Изд-во АН Арм. ССР, Ереван, 1983. 320 с.

РОЛЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР В БУДУЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ ЭЛЕКТРОНИКИ

М.А. Махмудов[1*)], З.А. Исаханов[1)], Р.Т. Курбанов[2)], А.А. Ахмедов[2)]
[1)] Институт ИПЛТ АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[2)] Организация 2, Город, Страна
[*)] e-mail: mail@example.ru

В этой работе нами исследовано карбид кремния, использованные для создания гетероструктур на основе SiC, были подготовлены с помощью эпитаксиальных методов роста, а именно с использованием химического осаждения из газовой фазы (CVD) и физического осаждения из паровой фазы (PVD). Эпитаксиальные слои были выращены на кремниевой подложке, которая служит основой для гетероструктуры. При исследованиях использовались методы XRD, Рамано, ИК (IRS) спектроскопия, СЭМ микроскопия и энергетически дисперсионная рентгеновская спектроскопия (EDX). Определены степень кристалличности, структура и Раманские спектры были записаны в диапазоне от 100 $см^{-1}$ до 2000 $см^{-1}$. информацию о химическом составе и помог выявить специфические молекулярные взаимодействия в материале. Результаты показывают, что SiC демонстрирует характерные пики в спектрах Рамана и XRD, что подтверждает его кристаллическую структуру и высокую чистоту. Раманская спектроскопия выявила пики при 795 $см^{-1}$ и 1500 $см^{-1}$, характерные для 4H-SiC, что указывает на присутствие кристаллического SiC. Аналогично, спектры XRD показали несколько пиков в диапазоне от 34° до 72°, что подтверждает существование нескольких фаз SiC. В заключении можно сделать вывод, что карбид кремния является перспективным материалом, обладают высокой стабильностью, стойкостью к тепловым и радиационным воздействиям, что делает их незаменимыми для различных областей науки и техники.

СПЕКТРЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ИОННО-РАСПЫЛЕННЫХ АОМОВ И ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ФОСФИДА ГАЛЛИЯ

М.А. Воронков. Е.Н. Моос, И.М. Орешкин
Рязанский университет имени С.А. Есенина, Россия, Рязань

Фундаментальной характеристикой GaP является примесная структура и ее состояние. В докладе представлено в сопоставлении результатов анализа спектров: излучения распыленных ионами Ar^+ и линий оптического поглощения эпитаксиального образца.

Образцы GaP исследовались с двух его сторон образцов ориентацией <111>, обладающих p- и n-типами проводимости. Плотность тока $j = 8{,}5 \cdot 10^{-7} А/см^2$ ионного зонда Ar^+ под углом 30^0 к поверхности распыляет ее с последующей регистрацией спектров излучения нейтральной возбужденной атомной компоненты.

Обнаружен, что интенсивность излучения распыленных атомов фосфора PI (253нм) с поверхности грани $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ больше, чем обратной стороны (111). Это характерная особенность для монокристаллических соединений этого типа и ориентаций. Кроме того, в спектре выявлены линии загрязняющих примесей Na I, Mg I и т.п.

В оптических спектрах, полученных на спектрофотометре типа Photon RT найдены в диапазоне 200 - 950 нм уширенные линии до начала фундаментального поглощения, которые интерпретируются как примесные состояния. Предложена модель субструктуры и состояния примесных дефектов.

БАЗА ДАННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В БЫСТРЫХ ИОН- АТОМНЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ

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

На основе первого борновского приближения создана база данных распределения электронов, выбитых из *s*- оболочки атома, в процессе однократной ионизации быстрыми ионами /1/. Дифференциальное сечение ионизации представлено в виде

$$\sigma(E_0, E_e, \theta) = \sigma(E_0)\ \ F(E_0, E_e, \theta),$$

где безразмерные элементы матрицы $F(E_0,E_k,\theta_j)$ – фракции от общего количества электронов, испущенных в диапазоне $(E_k - \Delta E_k, E_k;)$ энергии E_e и углов $\theta_j \pm \Delta\theta$, $\Delta\theta=2.5^o$. Матрица нормирована на 1 для всех E_0 и Z_t, где Z_t – заряд ядра атома.

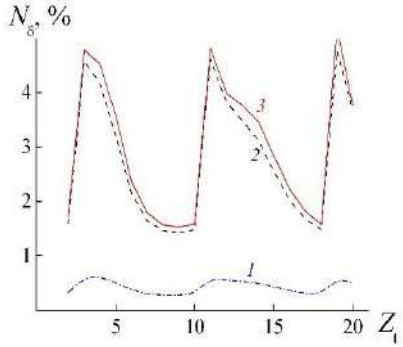


Рис. 1. Количество электронов с энергией $E_e \geq 1$ кэВ испущенных в одном ионизационном столкновении ионов с энергией E_0 : *1*- E_0 =1 Мэв; *2*- E_0 =5 Мэв; *3*- E_0 =10 Мэв.

Количество быстрых электронов N_δ в одном ионизационном столкновении быстрого иона с атомом возрастает при увеличении его энергии E_0 и энергии связи *s*-электрона в атоме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Novikov N. V. // Charge-Changing Cross Sections in Ion-Atom Collisions. http://cdfe.sinp.msu.ru/services/cccs/HTM/fba.htm

ВЛИЯНИЕ РАСХОДИМОСТИ ПУЧКА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ НА ПРИ И ДПИ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СРЕДЕ С ТРЕМЯ СЛОЯМИ НА ПЕРИОДЕ

А.В. Носков[1,2)], С. В. Блажевич[3)], Е.Д. Пронина[1)], С.А. Пирогова[1)]

[1)]Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия
[2)]Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва, России
[3)] Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Работа посвящена исследованию влияния расходимости электронного пучка на спектрально-угловые характеристики когерентного рентгеновского излучения пучка релятивистских электронов в периодической слоистой среде с тремя слоями на периоде. Получены выражения, описывающие спектрально-угловые и угловые плотности ПРИ и ДПИ и их интерференцию с учетом расходимости электронного пучка. Исследовано влияние асимметрии отражения поля электрона относительно поверхности мишени на спектрально-угловую плотность ПРИ. Показано, что при фиксированном угле Брэгга увеличение асимметрии отражения поля электрона относительно поверхности мишени сопровождается ростом ширины и амплитуды спектрально-угловой плотности ПРИ. Показано, что увеличение расходимости электронного пучка приводит к уменьшению спектрально-угловой плотности ПРИ, но при этом эффект асимметрии может проявиться более ярко. Показано, что влияние эффекта аномального низкого фотопоглощения на ПРИ в периодической слоистой среде проявляется даже при значительной расходимости. Исследовано влияние расходимости пучка релятивистских электронов на спектрально-угловую плотность ДПИ. Показано, что при увеличении энергии электронов растет спектрально-угловая плотность ДПИ, а угол наблюдения, при котором спектрально-угловая плотность максимальна, уменьшается и как следствие спектрально-угловая плотность ДПИ становится более чувствительной к расходимости электронного пучка.

КРИ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СРЕДЕ С ТРЕМЯ СЛОЯМИ НА ПЕРИОДЕ В НАПРАВЛЕНИИ СКОРОСТИ ИЗЛУЧАЮЩЕГО РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОНА

А.В. Носков[1)], С. В. Блажевич[2)], И.Н. Бардакова[2)],
Д.Д. Мачукаев[3)], В.К. Киперша[3)], Д.Р. Кадыров[2)]

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

Развита динамическая теория когерентного рентгеновского излучения, генерируемого в геометрии рассеяния Брэгга релятивистским электроном в периодической слоистой среде с тремя различными слоями на периоде вблизи направления скорости электрона. В рамках двухволнового приближения динамической теории дифракции рентгеновских волн в периодической слоистой среде получены выражения, описывающие спектрально-угловые и угловые плотности ПРИВ, ПИ и их интерференцию. Исследовано влияние параметров периодической слоистой среды и электронного пучка на спектрально-угловые плотности ПРИВ, ПИ и их интерференцию. Исследованы характеристики ПРИВ пучка релятивистских электронов в периодической слоистой среде с тремя слоями на периоде. Исследовано влияние эффектов динамической дифракции на спектрально-угловые плотности излучений. Показано, что спектрально угловая плотность ПРИВ резко зависит от асимметрии отражения поля электрона относительно поверхности мишени. Выявлен эффект подавления выхода ПРИВ релятивистского электрона, пересекающего периодически слоистую среду в геометрии Брэгга в случае толстой поглощающей мишени. Показано, что проявление данного эффекта зависит от того, какая из двух ветвей рентгеновских волн в кристалле дает вклад в выход ПРИВ, с положительной или отрицательной групповой скоростью, что в свою очередь зависит от асимметрии отражения поля относительно поверхности мишени.

ПРИ И ДПИ ПУЧКА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СРЕДЕ С ТРЕМЯ СЛОЯМИ НА ПЕРИОДЕ В ГЕОМЕТРИИ РАССЕЯНИЯ ЛАУЭ

А.В. Носков[1,2)], С. В. Блажевич[3)], И.Н. Бардакова[3)], Л.С. Машковцева[2)], А.И. Ушаков[1,2)]

[1)]Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия
[2)]Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва
[3)] Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Развита динамическая теория когерентного рентгеновского излучения пучка релятивистских электронов, пересекающих мишень конечной толщины, имеющую периодическую структуру с тремя слоями на периоде, в геометрии рассеяние Лауэ. Получены выражения, описывающие спектрально-угловые плотности ПРИ и ДПИ в рассматриваемой мишени с учетом их интерференции. Проведены численные расчеты когерентного излучения для релятивистского электрона, пересекающего периодическую слоистую среду углерод-вольфрам.

Исследуется возможность проявления эффектов динамической дифракции в ПРИ релятивистских электронов в периодической слоистой среде с указанной структурой слоя. Обсуждается эффект асимметрии отражения поля релятивистского электрона относительно поверхности мишени в спектрально-угловой и угловой плотности ПРИ и ДПИ. Представлена зависимость ширины спектрального пика ДПИ от параметра асимметрии отражения. Показано, что, изменяя параметры рассматриваемой трехслойной структуры, можно влиять на параметры динамического рассеяния рентгеновского излучения и, как следствие, на спектрально-угловые и угловые плотности ПРИ и ДПИ. Показано, что при определенных условиях в слоистой структуре с тремя слоями на периоде уменьшение фотопоглощения во втором слое может привести к значительному увеличению спектрально-угловой плотности ПРИ. Этот эффект связан с расположением пучностей стоячей волны в периодической среде с трехслойной структурой.

ПЕРЕХОДНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СГУСТКА НЕРЕЛЯТИВИСТСКИХ ЧАСТИЦ НА ПРОВОДЯЩЕЙ МИШЕНИ В ВИДЕ ПРЯМОГО ДВУГРАННОГО УГЛА

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

Переходное излучение точечной заряженной частицы на мишени в виде двух проводящих полуплоскостей, пересекающихся под прямым углом, было рассмотрено в /1/. В настоящем докладе данные результаты обобщаются на случай нормального падения на одну из полуплоскостей плоского сгустка нерелятивистских частиц (рис. 1). Показано, что интерференция излучения, возникающего на плоскости падения, и его отражения в перпендикулярной проводящей плоскости, позволяет сравнительно легко оценивать как прицельный параметр падения сгустка относительно ребра двугранного угла, так и поперечные размеры сгустка.

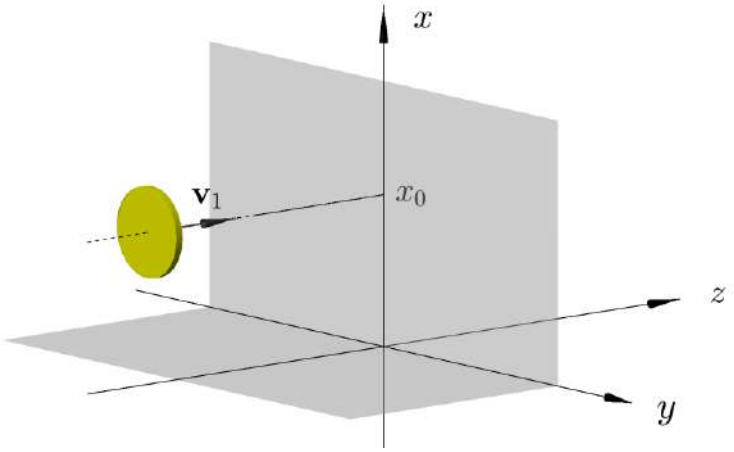


Рис. 1. Схема падения сгустка на мишень.

ЛИТЕРАТУРА

1.Сыщенко В.В., Тарновский А.И., Кривцов В.А. // Поверхность. 2024. № 5. С. 91.

СТАТИСТИКА УРОВНЕЙ ЭНЕРГИИ ПОПЕРЕЧНОГО ДВИЖЕНИЯ ПОЗИТРОНОВ С ЭНЕРГИЯМИ В ИНТЕРВАЛЕ 40-50 ГЭВ ПРИ КАНАЛИРОВАНИИ В НАПРАВЛЕНИИ [100] КРИСТАЛЛА КРЕМНИЯ

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

Статистические свойства массива уровней энергии квантовой системы, хаотической в классическом пределе, резко отличаются от таковых у интегрируемой системы /1/. В большинстве реальных систем области регулярного движения разделены в фазовом пространстве областью динамического хаоса. В /2/ предполагалось, что такие области порождают две независимые последовательности уровней. Однако, туннелирование между динамически изолированными друг от друга областями фазового пространства приводит к расталкиванию близких уровней, модифицируя распределение межуровневых расстояний в массиве. Учет этого эффекта выполнен в /3/. В настоящей работе предсказание /3/ проверяется на массиве найденных численно уровней энергии поперечного движения позитронов с энергиями от 40 до 50 ГэВ (с шагом 1 ГэВ), каналированных в направлении [100] кристалла кремния. Установлено, что распределение Подольского-Нариманова /3/ значительно лучше описывает статистику массива уровней в области малых межуровневых расстояний по сравнению с распределением Берри-Робника /2/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сыщенко В.В. Регулярная и хаотическая динамика быстрых заряженных частиц в кристаллах. М.-Ижевск, Институт компьютерных исследований; НИЦ «РХД», 2025. 194 с.
2. Berry M.V., Robnik M. // J. Phys. A.: Math. Gen. 1984. 17. P. 2413.
3. Podolskiy V.A., Narimanov E.E. // Phys. Lett. A. 2007. V. 362. P. 412.

PROSPECTS FOR STUDYING STRONG FIELD EFFECTS IN ORIENTED CRYSTALS AND POWERFUL LASER FIELDS

M. Kh. Khokonov and A. S. Azhakhova
Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Russian Federation
e-mail: khokon6@mail.ru

Oriented crystals (OC) and powerful lasers are promising tools for studying the QED strong field effects [1]. We demonstrate that in both cases these effects in OC [2] and in the field of powerful lasers [3] can be described by the same formulars depending on two Lorentz-invariant parameters. The corresponding calculations of the radiation spectra are presented. The crucial difference between lasers and crystals is that in the former case both invariants are independent, while in the crystal they are linearly related to each other [4]. This leads to a strong limitation on the range of possible values of these invariants in OC.

Nevertheless, we show that at present the most promising method for experimental study the strong field effects, for which the Schwinger parameter $\chi \geq 100$, are OC. This is due to the possibility of conducting experiments at electron and gamma quantum energies of more than 7 TeV, as well as the fact that OC allow studying processes in non-uniform strong fields, whereas in laser fields the conditions are close to those with a constant external field, even when the laser pulse consists of one main maximum.

REFERENCES

1. A. Di Piazza, et. al., // Phys. Rev. Lett., 2020, V. 124, 044801.
2. U. I. Uggerhoj, // Rev. Mod. Phys., 2005, V.77, 1131.
3. S. V. Popruzhenko, A. M. Fedotov, // Physics Uspekhi, 2023, V. 66 (5), 460.
4. M. Kh. Khokonov, // Phys. Lett. B, 2023, V. 846, 138208.

FAST-FORWARD COOLING DYNAMICS OF NANOSYSTEMS

Mamanazarov M.T[1].
[1]Academy of science of Uzbekistan, Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Durmon yuli 33, Tashkent, Uzbekistan.

We address the issue of energy measurement for accelerating the development of many-body quantum systems utilizing Masuda-Nakamura's fast forward theory. Our work shows that they can use more knowledge about the Hamiltonian and possibly quantum computational techniques such as fast forwarding or others to go beyond the Heisenberg limit.

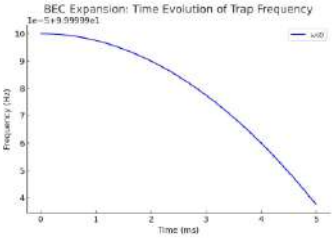


Figure 1: The plot shows how the trap frequency $\omega(L)$ decreases over time as the BEC expands after release. This follows the scaling equation, with $\omega(L)$ decreasing as $\beta(t)$ grows due to the expansion.

In this paper we shall firstly show fast cooling can be done by modifying the trap frequency ω(t) in optimized way. Instead of a slow adiabatic expansion, the trap is opened rapidly with engineered path for ω(t), avoiding excitations. Our framework can be optical dipole traps use time-dependent laser intensities to archive this controlled expansion.

We have solved $\beta(t)_i = \omega^2_i(0) / \beta_i \sum P_j \beta_j$ with $\beta(t) = \sqrt{1 + \omega^2(0)t}$

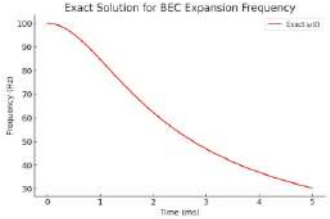


Figure 2: The plot shows the exact time-dependent frequency of the Bose-Einstein Condensate during expansion. As expected $\omega(t)$ decreases over time, following the exact scaling solution:

$$\omega(t) = \frac{\omega(0)}{\sqrt{1 + \omega^2(0)t^2}} \tag{36}$$

This solution is crucial for describing free expansion dynamics of a BEC in experiments.

References

1. S. Masuda and K. Nakamura, Phys. Rev. A 78, 062108 (2008).
2. I.Setiawan1, R.Sugihakim, B.E.Gunara, S.Masuda, and K.Nakamura, Nat. Prog. Theor. Exp. Phys.063A04, 397 (2023)

ОЦЕНКА СПЕКТРАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАСТИН С ПОМОЩЬЮ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В КРИСТАЛЛАХ

И.Е. Внуков[1,*)], А.С. Склярова[1)], Y. Takabayashi[2)]
[1)] НИУ «БелГУ», Белгород, Россия
[2)] SAGA Light Source, Tosu, Saga 841-0005, Japan
[*)]e-mail: vnukov@bsuedu.ru

Хорошее согласие результатов расчета характеристик параметрического рентгеновского излучения (ПРИ) электронов в кристаллах с экспериментальными данными /1,2/ позволяет использовать ПРИ для решения прикладных задач, например, калибровки спектрометрической аппаратуры /3/ и определения размеров пучков электронных ускорителей /4,5/. К таким же задачам можно отнести и оценку зависимости чувствительности рентгенографических пластин (РП) от энергии фотонов.

Продолжены экспериментальные исследования характеристик рентгенографических пластин типа IPU, IPS и IPC2 /6/ с разными толщинами и химическим составом на пучке ПРИ электронов с энергией 225 МэВ в кристалле кремния толщиной 20 микрон /7/. Использование нескольких отражающих плоскостей и порядков отражения с разными угловыми распределениями и энергиями фотонов позволило исследовать спектральную зависимость эффективности исследованных РП и провести сопоставление полученных результатов с расчетом для приведенных в /6/ параметров пластин.

ЛИТЕРАТУРА

1. K.-H. Brenzinger et al. Phys. Rev. Lett., 1997, V.79, 2462.
2. Yu. A. Goponov et al. // NIM B, 2015, V. 355, P.150.
3. A.V. Shchagin et al. // NIM B, 2001, V. 173, P.154.
4. A. Gogolev, A. Potylitsyn, G. Kube // J. Phys. Conf. Ser., 2012, 012018, P. 357.
5. A.V. Berdnichenko et al. // NIM A, 2022, V. 1032, 166619.
6. A. L. Meadowcroft et al. // Rev. Sci. Instr., 2008, V. 79, 113102.
7. A. V. Berdnichenko et al. // JINST, 2024, V. 19, C06005.

ТОРМОЗНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ДЛЯ ИОНОВ СРЕДНИХ И НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ

Н.Н. Михеев, И.Ж. Безбах
НИЦ “Курчатовский институт”, г. Калуга, Россия
e-mail: kmikran@spark-mail.ru

Представлены результаты расчетов значений тормозной способности ***S*** ряда простых углеводородов для пучков ионов средних и низких энергий, а именно: величины ***S*** метана (одинарная H – C связь), этилена (двойная C = C связь) и ацетилена (тройная C ≡ C связь). Установлено, что наиболее вероятные энергетические потери ионов в этих газах связаны не с ионизацией валентных электронов молекул, а с переводом их в метастабильные состояния. При этом величина такой потери энергии для ионов пучка в метане равна 9.87 эВ, в этилене ≈ 9.465 эВ и в ацетилене ≈ 9.0 эВ. Полученные данные дают необходимую основу для выполнения надежных расчетов величины ***S*** сложных углеводородов и органических соединений для направленных ионных пучков средних низких энергий. Пример эффективности их использования при расчете зависимости ***S*** простого метана от энергии пучка протонов и пучка ионов азота приведен на Рис. 1.

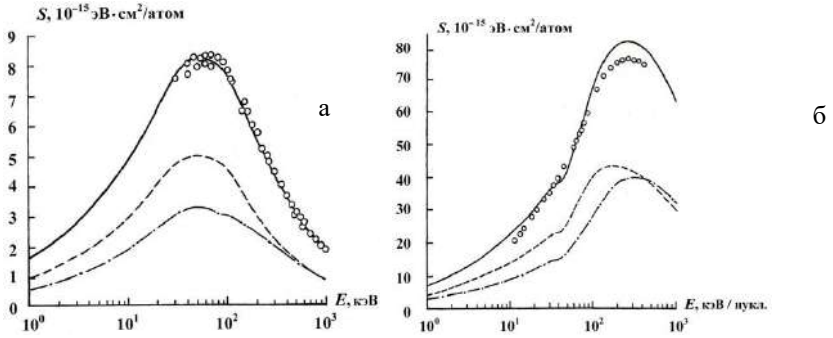


Рис. 1. Тормозная способность метана: а) для пучка протонов и б) для ионов азота. Пунктирные линии – рассчитанный вклад атомов водорода; штрихпунктирные линии – рассчитанный вклад атомов углерода; сплошные линии – сумма этих вкладов; ○ – экспериментальные значения ***S*** метана, имеющиеся в научных публикациях.

ОСОБЕННОСТИ САМОФОКУСИРОВКИ ПОТОКА ЭЛЕКТРОНОВ В ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ УСКОРИТЕЛЕ

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

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

Поток электронов, ускоренных от полярной поверхности пироэлектрического кристалла при изменении его температуры, имеет ряд особенностей, таких как самофокусировка потока на определенной расстоянии от поверхности эмиссии, а также узкое энергетическое распределение. Свойство самофокусировки объясняется формой распределения заряда на полярной поверхности пироэлектрического кристалла (например, монокристалл танталата лития).

В докладе представлены результаты экспериментального исследования и компьютерного моделирования процесса движения ускоренных электронов с поверхности пироэлектрика. Детально изучена продольная структура сформированного фокусного пятна, получены модельные оценки эмиттанса потока электронов, представлены первые экспериментальные результаты пространственно-временной визуализации эволюции потока электронов в течение термического цикла работы пироэлектрического ускорителя.

МЕХАНИЗМ ПЕРЕНОСА ВОЗМУЩЕНИЙ В ВОДОРОДНОЙ ПОДСИСТЕМЕ В СИСТЕМЕ ПАЛЛАДИЙ-ВОДОРОД

И.В. Богданов[1,*)], Л.А. Святкин[1)],
Л.Ю. Немирович-Данченко[1,2)], И.П. Чернов[1)]
[1)] НИ ТПУ, г. Томск, Россия
[2)] ТУСУР, г. Томск, Россия
[*)] e-mail: ivb34@tpu.ru

Согласно экспериментальным данным, атомы водорода в решётке палладия могут образовывать собственную подсистему, способную к накоплению энергии через возбуждение её радиационным воздействием с энергией ниже порога дефектообразования. Ранее в рамках теоретического исследования перераспределения валентной зарядовой плотности плотности в системе PdH при смещении одного из атомов H из равновесного положения в октаэдрическом междоузлии было показано, что возбуждение водородной подсистемы проявляется в виде воздействия на атомах H соседних со смещенным атомом сил, превышающих силы, действующие на атомы палладия, что однозначно является следствием перераспределения заряда на атомах системы. Однако, до сих пор оставался не ясен механизм переноса возмущений в водородной подсистеме. Целью данной работы является изучение на основе расчётов из первых принципов перераспределение плотности электронных состояний (ПЭС) и его влияния на характер связей H-H и H-Pd при локальном смещении атома водорода из равновесного положения в междоузлии в ГЦК решётке палладия.

Все расчеты выполнялись в рамках теории функционала плотности методом псевдопотенциала, реализованным в пакете программ ABINIT. В ходе работы рассчитаны ПЭС системы Pd-H, а также заселённость кристаллических орбиталей Гамильтона для связей между атомами H и Pd. Показано, что связь водорода с палладием преимущественно осуществляется за счет гибридизации *s* состояний H с d_{x2-y2} состояниями Pd. При смещении одного из атомов H эта связь упрочняется с ближайшим к нему атомом Pd за счет роста степени ее ковалентости. При этом связь этого атома Pd с другими атомами H соседними с ним ослабевает. В результате на этих атомах H и возникают силы, действующие в направлении от этого атома Pd.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ ВОЛН ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ МАТЕРИАЛОВ В ПОЛУОГРАНИЧЕННЫХ ОБРАЗЦАХ НЕПРЕРЫВНЫМ АНАЛОГОМ МЕТОДА НЬЮТОНА

Сархадов И. [1], Шарипов З.А.[1] Тухлиев З.К. [1],
Гафуров Х. [2]

[1]Объединенный институт ядерных исследований, Россия
[2]Худжандский государственный университет имени академика Бободжана Гафурова, Таджикистан

В работе [1] было проведено численное моделирование стационарных волн лазерной абляции материалов путем решения нестационарной задачи с постоянным источников по времени, которая переходила к стационарному решению. Эта же задача, которая является нелинейной краевой задачей, в настоящей работе решается непрерывном аналогом метода Ньютона.

ЛИТЕРАТУРА

1. *И. Сархадов, З.А. Шарипов, З.К. Тухлиев, Х. Гафуров, А*.С. Халиль. Численное моделирование стационарных волн лазерной абляции материалов в полуограниченных образцах. // Препринт ОИЯИ Р11-2024-62.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АНАЛИЗА ПЕРЕКРЫВАЮЩИХСЯ EXAFS-СИГНАЛОВ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ Au-Pt

Э. Ф. Хаметова[1,*)], О. Р. Бакиева[1)], В. В. Кривенцов[2)]
[1)]Удмуртский ФИЦ УрО РАН, Ижевск, Россия
[2)]ЦКП "СКИФ", Кольцово, Россия
e-mail: elinaphanilevna851@gmail.com

Многие современные исследования связаны с синтезом и анализом новых наноразмерных материалов. Для создания материалов с заданными свойствами необходимо знание их локального атомного строения. Одним из методов исследования локальной атомной структуры является EXAFS (Extended X-ray Absorption Fine Structure) спектроскопия. Данный метод позволяет получить информацию о параметрах локальной атомной структуры: межатомные расстояния, координационные числа и параметры тепловой дисперсии атомов.

Однако в случае исследования сложных материалов, в состав которых входят химические элементы с близкими значениями атомного номера, на EXAFS-спектрах исследователи наблюдают наложение сигналов от нескольких краев поглощения. В настоящий момент нет строго алгоритма анализа таких экспериментальных данных. Часто эта проблема возникает при исследовании катализаторов на основе системы Au-Pt. В настоящей работе предлагается метод анализа EXAFS спектров системы Au-Pt с использованием метода Фурье-преобразования.

Исследование выполнено с использованием оборудования ЦКП УдмФИЦ УрО РАН в рамках темы государственного задания Отдела ФХП ФТИ УдмФИЦ УрО РАН (№124021900017-1).

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания ЦКП “СКИФ” Института катализа СО РАН им. Борескова. В работе использовалось оборудование ЦКП «СЦСТИ» на базе УНУ "Комплекс ВЭПП-4–ВЭПП-2000" в ИЯФ СО РАН.

THERMOELECTRIC PERFORMANCE OF HEUSLER ALLOYS/ ION IRRADIATED MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES COMPOSITES

Emad M. Elsehly[1, *)], N.G. Chechenin[2])
[1)] Damanhour University, Egypt
[2)] SINP MSU, Russia
[*)] elsehlyfigo@yahoo.com

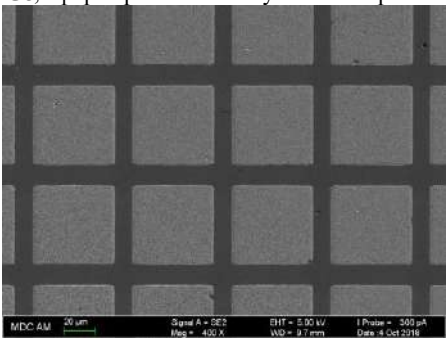
Improved electrical and reduced thermal conductivities are characteristics of desirable thermoelectric compounds. Incorporating nanostructures to Heusler alloys can enhance their performance as a thermoelectric material. The doping impact of ion irradiated multi-walled carbon nanotubes (I-MWNTs) on the thermoelectric performance of half Heusler alloys is examined and explained. Both NbFeSb-based, and TiNiSn-based compounds have been investigated as a p-type and n-type, respectively. Thermal and electronic transport parameters were recorded at temperatures ranging from ambient to 875 K. The prepared samples are characterized using XRD, SEM, and EDAX. Utilizing TiNiSn-based samples, a promising figure of merit of 0.63 was obtained. The obtained thermoelectric results demonstrated that compositing the I-MWNTs with n-type compounds exhibited considerable impact on Seebeck coefficient and the electrical conductivity. However, for the p-type alloy the variations in these thermoelectric parameters were dramatically less. It is hypothesized that the development of annealed carbon tubes as a conducting cluster in the n-type Heusler alloy could be one explanation for this variation. These promising findings will open the way for further research on CNT/Heusler composites as a power generation material.

ДИФРАКЦИОННЫЕ РЕШЕТКИ И ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ НА ОСНОВЕ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ СЛОЕВ НАНОПОРИСТОГО ГЕРМАНИЯ

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

Исследована возможность создания периодических дифракционных структур и фотонных кристаллов с плазмонными наночастицами на основе слоев Si и Ge нанопористых полупроводников методом низкоэнергетической высокодозовой имплантации кристаллов ионами благородных металлов через поверхностную маску, как предсказано в работе [1]. В результате ионного распыления были получены микроструктуры, фазовый оптический контраст в которых обеспечивается имплантированными областями, содержащими наночастицы. На Рис.1 приведен пример СЭМ-изображения поверхности Ge после облучения ионами серебра через никелевую сетку с размерами квадратных ячеек 25 мкм.

Рис.1 СЭМ-изображение периодической структуры на поверхности нанопористого Ge, сформированной облучением через сетчатую маску



Работа выполнена при поддержке грантом РНФ № 25-29-00022.

ЛИТЕРАТУРА

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

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК Cu-Si МЕТОДОМ ИОННО-ЛУЧЕВОГО РАСПЫЛЕНИЯ СОСТАВНОЙ МИШЕНИ

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

Нанокомпозитные пленки Cu-Si обладают широким спектром применений в микроэлектронике и катализе, а также в производстве нового типа литий-ионных аккумуляторов[1].

Нанокомпозитные пленки Cu-Si получены методом ионно-лучевого распыления. Элементный состав определялся методом энергодисперсионной спектроскопии, анализ кристаллических фаз – методом рентгеновской дифракции, фазовый состав проводился методом ультрамягкой рентгеновской эмиссионной спектроскопии (УМРЭС) на уникальной научной установке РСМ-500.

Рентгеновская дифрактометрия показала, что в пленках с низким содержанием Cu (~17 вес. %) начинает образовываться фаза η-Cu_3Si. Увеличение содержания меди в пленке до ~51 вес. % приводит к росту интенсивности рефлексов, связанных с этой фазой, что также подтверждается результатами УМРЭС. Дальнейшее увеличение содержания Cu приводит к значительной перестройке эмиссионных Si $L_{2,3}$ спектров с появлением второго интенсивного максимума, который по результатам моделирования является следствием наличия фазы диоксида кремния SiO_2 в пленке Cu-Si.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10294.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang Y., Zhu C., Ma Z. Si@ Cu3Si nano-composite prepared by facile method as high-performance anode for lithium-ion batteries //Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – Т. 851. – С. 156854.

РАДИАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ В ОКИСЛАХ ЖЕЛЕЗА ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ Fe

В.А. Андрианов[1*)], Е.А. Воробьева[1)], А.П. Евсеев[1)],
А.Л. Ерзинкян[1)], А.А. Буш[2)], П.В. Лямкин[3)], П.А. Федин [3)],
К.Е. Прянишников[3)], Т.В. Кулевой[3)]
[1)] НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
[2)] МИРЭА, Москва, Россия
[3)] НИЦ “Курчатовский институт”, Москва, Россия
[*)] e-mail: andrva22@mail.ru

Радиационные повреждения в неорганических материалах заметно отличаются от повреждений в металлах и сплавах. При прохождении заряженных частиц в них могут образоваться латентные треки и при больших дозах характерны аморфизация и разрушение материала. В настоящей работе образцы гематита Fe_2O_3 и магнетита Fe_3O_4 облучались ионами Fe энергией 5.6 МэВ и флюенсом 10^{15} ионов/см^2. Облучение проводилось на ускорителе ТИПр в ИТЭФ. Согласно расчетам, первичные радиационные дефекты образовывались вблизи поверхности на глубине до 2.5 μм и имели максимальную концентрацию 1.5 СНА. Облученные образцы исследовались методами мессбауэровской спектроскопии (методами КЭМС с регистрацией электронов конверсии, и Х-МС с регистрацией вторичного рентгеновского излучения). Поверхность образцов контролировалась рамановской спектроскопией и сканирующей электронной микроскопией.

Сравнивались спектры исходных и облученных образцов, а также образцов, у которых был удален поверхностный слой толщиной 1 μм. В спектрах облученного гематита обнаружен дополнительный секстет с интенсивностью около 15 %, который, отвечает дефектным областям с нарушенной стехиометрией. В спектрах магнетита облучение вызывало уширение линий 2-го секстета, отвечающего валентности $Fe^{2.5+}$. Данные указывают, что структура шпинели (магнетит) более устойчива к воздействию излучения, чем структура корунда (гематит). Анализ эксперимента проводится на основе модели теплового пика. Работа выполнена по плану научных исследований НИИЯФ МГУ.

ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ НАНОКЛАСТЕРА В ТВЁРДОЙ МИШЕНИ НА СТАДИИ ОБДИРКИ

С.Н. Замоздра[1,*)]
[1)] ФГБОУ ВО «ЧелГУ», Челябинск, Россия
[*)] e-mail: sezam@csu.ru

Для разработки теории эрозии субрелятивистских (v/c~0.1) межзвёздных зондов ударами пылинок рассчитываются потери энергии электронно-ионного кластера, на который распадается пылинка в поверхностном слое зонда. Сечения потери и захвата электронов ионами вычисляются с помощью программы CCCS 2021 /1/, эллипсы рассеяния электронов кластера (рис.1а) – на основе решения Льюиса /2/, потери энергии – в рамках диэлектрического формализма с аппроксимацией Друде. Потери энергии кластера на стадии обдирки растут с глубиной (рис.1б). По мере рассеяния и замедления электронов Фурье-компоненты поля электронов и ионов перестают подавлять друг друга, поэтому неаддитивные потери становятся больше аддитивных.

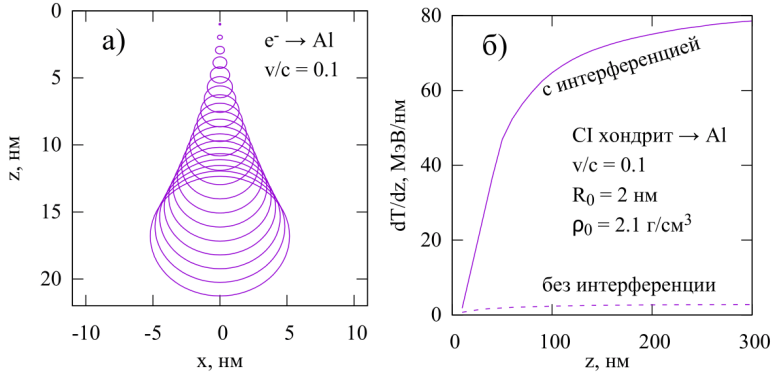


Рис.1: а) эллипсы рассеяния электронов в Al, б) потери энергии кластера в Al на единицу длины с учётом и без учёта интерференции (неаддитивности)

ЛИТЕРАТУРА

1. Novikov N.V., Teplova Ya.A. // J. Surf. Invest.: X-ray, Synch. Neut. Tech., 2021, 15, N 2, 248.

2. Muller E., Hugenschmidt M., Gerthsen D. // Physical Review Research, 2020, 2, 043313.

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕГРАДАЦИИ КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОРБИТАЛЬННОЙ СТАНЦИИ

Б.Г. Атабаев[1)], И.В. Чурило[2)], Р. Джаббарганов[1) *], А.С. Халматов[1)]
[1)] Институт ИПЛТ АН РУз, Ташкент, Узбекистан
[*)] e-mail: atabaev@iplt.uz
[2)] РКК ЭНЕРГИЯ, Московская область, Россия

Физическая модель деградации кремниевых солнечных элементов основана на экспериментальных результатах по воздействию радиации от электронов и протонов, вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) излучения и воздействия атомарного кислорода (АО). Космический эксперимент показал радиационной снижение эффективности всего на 2% за время миссии станции МИР продолжительностью 2885 дней.

Общая ионизирующая доза (TID) за время миссии оценивается в $8,5 \times 10^4$ рад. Исследования показали, что воздействие электронов с энергией 1 МэВ и протонов с энергией 3 МэВ может значительно ухудшить работу солнечных элементов.

Интенсивность ВУФ-излучения на НОО составляет приблизительно 140 Вт/м². Длительное воздействие ВУФ может привести к деградации материалов солнечных элементов, особенно антибликовых покрытий и полупроводниковых слоев.

Поток: воздействие АО на НОО составляет от 2×10^{24} до 15×10^{24} атомов/см² в год. АО обладает высокой реакционной способностью и может разрушать материалы, особенно полимеры и незащищенные поверхности, что приводит к снижению эффективности солнечных элементов.

Проведение наземных испытаний СЭ на общую ионизирующая доза (TID) Co60 и влияние АО в ВЧ плазменном имитаторе.

Для снижения эффектов деградации и ограничения потери эффективности до 2% за 2885 дней, солнечные элементы станции МИР имели защитное покровное стекло. Толщина этого покровного стекла имеет решающее значение для защиты элементов от радиации и воздействия АО.

СТАБИЛИЗАЦИЯ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЕНОК ПУТЕМ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ИОННЫМИ ПУЧКАМИ

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

При получении ультратонких кислородсодержащих сегнетоэлектрических пленок толщиной сравнимой с параметром решетки существует проблема исчезновения электрической поляризации. Причиной этого является деполяризующее электрическое поле на поверхности пленки, а также кислородные вакансии, которые могут приводить к дальнейшей миграции ионов кислорода. Для стабилизации сегнетоэлектрической поляризации возможна модификация поверхности пленки. В этой работе выбор имплантируемых ионов основан на анализе потенциала взаимодействия Ф, рассчитанного в модели Томаса-Ферми с учетом функции экранирования ядер электронами /1/, а также экспериментальных значений постоянной решетки и диэлектрической проницаемости сегнетоэлектриков со структурой перовскита $PbTiO_3$, $BaTiO_3$, $SrTiO_3$ /2/ (Рис.1).

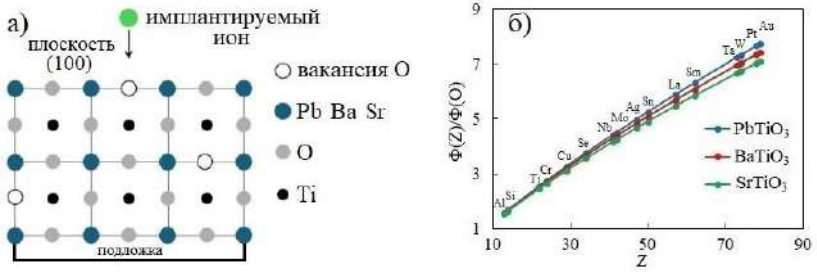


Рис.1 Модификация ионами поверхности сегнетоэлектрика со структурой перовскита ABO_3 (а) и зависимость потенциала взаимодействия от порядкового номера имплантируемого иона относительно кислорода (б).

ЛИТЕРАТУРА

1. Sai N., Kolpak A.M., Rappe A.M. // Phys. Rev. B, 2005, 72, 020101(R).
2. Смоленский Г.А., Боков В.А., Исупов В.А., и др., Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики, Л.: Изд-во «Наука», 1971, 476.