

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПЕРСПЕКТИВНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ»

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И МАТЕМАТИКИ  
НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»  
МИЭМ НИУ ВШЭ

# ТРУДЫ

XXIV МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА ТВЁРДОГО ТЕЛА»

(Севастополь, 7-12 июля 2014 г.)

под редакцией заслуженного деятеля науки РФ,  
д.ф.-м.н., проф. Бондаренко Г.Г.

Москва – 2014

УДК 669.  
ББК 22.38  
P15  
ISBN 978-5-89671-018-9

Труды XXIV Международной конференции «Радиационная физика твёрдого тела» (Севастополь, 7 – 12 июля 2014 г.), под редакцией заслуженного деятеля науки РФ, д.ф.-м.н., проф. Бондаренко Г.Г., М.: ФГБНУ «НИИ ПМТ», 2014 г., 716с.

В рамках конференции проводилась XVIII Международная школа молодых учёных «Радиационная физика твёрдого тела».

Редакционная коллегия:

д.ф.-м.н. Бондаренко Г.Г. (ответственный редактор),  
д.ф.-м.н. Кристя В.И.,  
д.т.н. Прасицкий В.В.,  
Горелова Е.Г.  
Мелкумян А.Б.  
Митрофанова Т.Е.

УДК 669.  
ББК 22.38  
© Издательство ФГБНУ «НИИ ПМТ», 2014

ISBN 978-5-89671-018-9

© Труды XXIV Международной конференции «Радиационная физика твёрдого тела»

**ПРОГРАММА-СОДЕРЖАНИЕ****Понедельник, 7 июля****9.00-13.00****Открытие конференции - Бондаренко Г.Г.**

|   |    |
|---|----|
| 1. Рогожкин С.В., Орлов Н.Н., Алеев А.А., Залужный А.Г., Козодаев М.А., Куйбида Р.П., Кулевой Т.В., Никитин А.А., Чалых Б.Б., Lindau R., Möslang A., Vladimirov P. «Перестройка наноструктуры стали ODS EUROFER при облучении ионами железа»                              | 12 |
| 2. Павлов Ю.С. «Российские промышленные электронно-лучевые технологии в 2014 году»  | 22 |
| 3. Маковийчук М.И. «Фликкер-шумовые процессы в ионно-имплантированном кремнии. Часть 1. Введение в проблему», «Фликкер-шумовые процессы в ионно-имплантированном кремнии. Часть 2. Факторы, определяющие образование радиационных дефектов в процессе ионной имплантации» | 34 |
| 4. Ивченко В.А., Пушин А.В., Ивченко М.В. «Атомная структура радиационных повреждений как критерий аналогового воздействия быстрых нейтронов ионным облучением»   | 54 |
| 5. Овчинников В. В., Гуцина Н. В., Кайгородова Л.И., Григорьев А.Н., Павленко А.В., Плохой В.В. «Сравнение воздействия ионной бомбардировки и взрывного ударного нагружения на микроструктуру и фазовый состав сплава ВД1 системы Al-Cu-Mg»                               | 63 |
| 6. Чернова А. Д., Печенкин В. А. «Моделирование радиационно-индуцированной сегрегации в Fe-Cr-Ni сплавах в условиях ускорительного и реакторного облучения»   | 69 |
| 7. Бондаренко Г.Г., Кристя В.И., Йе Наинг Тун «Расчет распыления электрода с диэлектрической пленкой на поверхности в тлеющем разряде»  | 74 |

**13.00-14.00 Перерыв.****14.00-17.00 Секция “Радиационная физика металлов” (заседание школы молодых ученых)**

|   |     |
|---|-----|
| 1. Черенда Н.Н., Ласковнев А.П., Басалай А.В., Углов В.В., Асташинский В.М., Кузьмицкий А.М. «Структурно-фазовые превращения в бронзе, подвергнутой воздействию компрессионных плазменных потоков»  | 79  |
| 2. Молодцов В. Л., Чернов К. Г., Печенкин В. А., Аверин Л.В. «Характеристики повреждающей дозы в металлах при ускорительном облучении»  | 89  |
| 3. Ерискин А.А., Колокольцев В.Н., Боровицкая И.В., Силин П.В., Никулин В.Я., Бондаренко Г.Г., Дегтярев В.Ф. «Напыление тонких пленок через полые трубки на установке плазменный фокус»   | 95  |
| 4. Боровицкая И.В., Люблинский И.Е., Парамонова В.В., Коршунов С.Н., Мансурова А.Н., Бондаренко Г.Г., Ляховицкий М.М., Жарков М.Ю. «Взаимодействие с жидким литием ванадиевых сплавов систем V-Ga и V-Ti-Cr»                                | 105 |
| 5. Власенко А.И., Велещук В.П., Гнатюк В.А., Левицкий С.Н., Власенко З.К., Ивлев Г.Д., Гацкевич Е.И. «Определение по акустическому отклику порога плавления плёнки индия при наносекундном лазерном облучении гетеросистемы In/CdTe в воде» | 114 |
| 6. Масляев С.А., Демин А.С., Морозов Е.В., Бондаренко Г.Г., Ромахин П.А., Гайдар А.И. «Модифицирование структуры и свойств поверхностного нанослоя металла при облучении в установке «Плазменный фокус»                                     | 119 |
| 7. Кидибаев М.М., Мамытбеков Ж.К. «Влияние размера зерен поликристаллического состояния металла в формировании концентрационных профилей»   | 135 |

**Вторник, 8 июля****9.00-13.00 Секция «Радиационная физика неметаллических материалов»**

|   |     |
|---|-----|
| 1. Хасаншин Р.Х., Литаров М.А., Винтайкин И.Б., Косогоров А.В. «Влияние комплекса факторов космического пространства на потерю массы полимерного композиционного материала» | 146 |
| 2. Ивлев Г.Д., Казючиц Н.М., Прокопьев С.Л., Русецкий М.С., Гайдук П.И. «Фотопроводимость лазерно-модифицированных слоев $Si_{1-x}G_{ex}/Si$ »                              | 157 |

|  |     |
|--|-----|
| 3. Мурин Л.И., Гуринович В.А., Медведева И.Ф., Маркевич В.П. «Особенности формирования термостабильных радиационно-индуцированных центров в углеродосодержащих кристаллах кремния»   | 164 |
| 4. Рысбаев А.С., Нормурадов М.Т., Хужаниязов Ж.Б., Бекпулатов И.Р., Рахимов А.М. «Исследование влияния имплантации ионов бария и щелочных элементов и последующего отжига на кристаллическую структуру поверхности монокристаллов Si(111) и Si(100)» | 172 |
| 5. Ельникова Л.В. «Об анализе характеристик полимерных солнечных батарей методами позитронной аннигиляционной спектроскопии»   | 184 |
| 6. Аленина М.В., Колотов В.П., Платов Ю.М. «Пробег трития в карбиде лития»   | 191 |
| 7. Крючков С.В., Кухарь Е.И. «Влияние лазерного излучения на энергетический спектр 2D-электронов с взаимодействием Рашбы»  | 197 |
| 8. Королев А.А., Козлов С.А., Штумпф С.А. «Механизм генерации терагерцового излучения при распространении двух разночастотных фемтосекундных импульсов в диэлектрической среде с индуцированной плазменной нелинейностью»                            | 203 |
| 9. Суржиков А.П., Малышев А.В., Власов В.А., Лысенко Е.Н. «Исследование структуры Li-Zn ферритовой керамики полученной радиационно-термическим методом»  | 210 |

**13.00-14.00 Перерыв.****14.00-17.00 Секция “Радиационная физика неметаллических материалов” (заседание школы молодых ученых)**

|  |     |
|--|-----|
| 1. Суржиков А.П., Лысенко Е.Н., Власов В.А., Малышев А.В. «Влияние высокоэнергетических воздействий на фазообразование литий-титанового феррита»   | 217 |
| 2. Мокрушина С. А. «Расчет распределения объемного заряда по толщине диэлектрика МОП - транзисторов при $\gamma$ -облучении»   | 224 |
| 3. Гагарин Е.Ю., Михеев Н.Н., Никифорова Н.А., Степович М.А. «О некоторых проблемах идентификации диффузионной длины прямозонных полупроводниковых материалов катодоллюминесцентным методом» | 231 |

|  |     |
|--|-----|
| 4. Серегина Е.В., Степович М.А., Макаренков А.М., Филиппов М.Н., Платошин Е.В. «Модифицированная модель диффузии носителей заряда в двухслойном полупроводнике»                          | 238 |
| 5. Андреев Д.В., Бондаренко Г.Г., Масловский В.М., Столяров А.А., Соловьев И.В. «Модификация структур металл-диэлектрик-полупроводник сильнополевой инжекцией и плазменными обработками» | 245 |
| 6. Бондаренко Г.Г., Кристя В.И., Йе Наинг Тун «Влияние искривленности поверхности электрода на энергетические распределения потоков частиц в приэлектродном слое тлеющего разряда»       | 253 |
| 7. Павленко В.И., Бондаренко Г.Г., Черкашина Н.И., Едаменко О.Д. «Расчет среднего пробега электронов в полимерном композите методом Монте-Карло»   | 257 |

**Среда, 9 июля****9.00-13.00 Секция “Радиационная физика металлов”**

|  |     |
|--|-----|
| 1. Голосов О.А., Лютикова М.С., Семериков В.С. «Влияние реакторного облучения на свойства сплава U-Mo»   | 261 |
| 2. Портных И.А., Пастухов В.И., Козлов А.В. «Состояние поверхностей оболочек ТВЭЛов из стали ЭК164 после эксплуатации в реакторе БН-600 до максимальной дозы 96 сна»                         | 269 |
| 3. Данилов С.Е., Арбузов В.Л., Дружков А.П., Перминов Д.А. «Структурно – фазовые превращения в сплавах Fe-Ni-Si с различной микроструктурой при термообработках и облучении электронами.»    | 282 |
| 4. Загорский Д.Л., Фролов К.В., Коротков В.В., Любутин И.С., Кругликов С.С., Сульянов С.Н., Артемов В.В. «Нанопроволоки из железа: получение на основе трековых матриц и некоторые свойства» | 294 |
| 5. Исаков Б. М., Байгисова К.Б., Бондаренко Г.Г. «Определение энергии миграции вакансий в ГЦК металлах с учетом релаксации соседних атомов»  | 304 |
| 6. Стальцов М.С., Аунг Чжо Зо, Чернов И.И., Калин Б.А. «Развитие микроструктуры и удержание водорода в сплавах ванадия при облучении ионами гелия и водорода»                                | 311 |
| 7. Богачев И.А., Чернов И.И., Стальцов М.С., Калин Б.А., Олевский Е.А., Скритный В.И., Никитина А.А. «Зависимость  | 320 |

|  |     |
|--|-----|
| структуры реакторной ДУО стали, изготовленной спарк-плазменным спеканием, от режима механоактивации»   |     |
| 8. Черенда Н.Н., Ласковнев А.П., Басалай А.В., Углов В.В., Асташинский В.М., Кузьмицкий А.М. «Абляция поверхности в системе покрытие/подложка при воздействии компрессионных плазменных потоков»             | 331 |
| 9. Валько Н.Г., Анищик В.М., Лавыш Д.В. «Влияние рентгеновского излучения, действующего в процессе электроосаждения композиционных покрытий Zn-Ni/SiO <sub>2</sub> , на их коррозионную стойкость»           | 341 |
| 10. Самойленко В.В., Поляков И.А., Голковский М.Г., Батаев И.А., Руктуев А.А. «Поверхностное легирование титана танталом и цирконием методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых материалов» | 345 |

**13.00-14.00 Перерыв.****14.00-17.00 Секция «Физические основы радиационной технологии» (заседание школы молодых учёных)**

|   |     |
|---|-----|
| 1. Михайлов А.Н., Белов А.И., Гусейнов Д.В., Королев Д.С., Тихов С.В., Антонов И.Н., Касаткин А.П., Горшков О.Н., Тетельбаум Д.И. «Резистивное переключение в структурах «металл – оксид кремния – металл» и чувствительность его параметров к ионному облучению» | 352 |
| 2. Жарков М.Ю., Люблинский И.Е., Вертков А.В. «Модуль литиевого дивертора на основе капиллярно-пористых систем для токамака КТМ: конструкция, испытания, результаты первых экспериментов»   | 363 |
| 3. Шипко М.Н., Коровушкин В.В., Костюк В.Х., Смагина А.В., Староверов Б.А., Степович М.А. «Магнитоимпульсное упрочнение железорудных окатышей»  | 370 |
| 4. Домкин К.И., Каминская Т.П., Попов В.В., Степович М.А. «Формирование и атомно-силовая микроскопия композиционного наноструктурированного материала для самовосстанавливающихся предохранителей»  | 376 |
| 5. Андреев В.В., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А., Дмитриев В.Г., Ахмелкин Д.М. «Метод многоуровневой токовой нагрузки для исследования процессов радиационной деградации и модификации МДП-структур»   | 381 |

|   |     |
|---|-----|
| 6. Харитонов Н.Е., Ли И.П., Петров В.С., Поляков В.С., Силаев А.Д. «Изготовление вторично-эмиссионного катода магнетрона с безнакальным запуском» | 387 |
| 7. Ризаханов Р.Н., Бармин А.А., Рудштейн Р.И. «Метод определения характеристик электронного пучка в плотной газовой среде»                        | 391 |

**Четверг, 10 июля**

**9.00-13.00 Секция “Физические основы радиационной технологии”**

|   |     |
|---|-----|
| 1. Абгарян В.К., Ахметжанов Р.В., Обухов В.А., Рыжов Ю.А., Черкасова М.В. «Моделирование эрозии ускоряющего электрода ионно-оптической системы радиочастотного источника ионов»   | 398 |
| 2. Рябый В.А., Обухов В.А., Машеров П.Е., Могулкин А.И. «Сертификация технологического вч индукционного источника ионов RIM-20»   | 407 |
| 3. Глушкова Н.В., Цыгвинцев В.А. «Оборудование и методы рентгенографических структурных исследований высокоактивных материалов»   | 418 |
| 4. Ветошкин В.М., Крылов П.Н., Федотова И.В., Закирова Р.М. «Модификация свойств ИТО плёнок ионно-лучевой обработкой при реактивном ВЧ магнетронном напылении»  | 426 |
| 5. Голубев О.Л. «Определение величин испаряющих электрических полей для наноразмерных выступов на поверхности полевых эмиттеров»  | 433 |
| 6. Углов В.В., Барковская М.М., Ходасевич В.В. Понарядов В.В. «Прочностные характеристики вакуумно-дуговых покрытий на основе нитридов титана и хрома»  | 438 |
| 7. Градобоев А.В., Седнев В.В. «Исследование «эффекта памяти» при облучении гамма-квантами в светодиодах ИК-диапазона»  | 449 |
| 8. Охрименко О.Б. «Влияние лазерной обработки на структуры, содержащие тонкие слои кремния»   | 456 |
| 9. Новиков Г.А., Баталов Р.И., Баязитов Р.М., Файзрахманов И.А., Лядов Н.М., Шустов В.А., Ивлев Г.Д., Прокопьев С.Л., Гайдук П.И. «Импульсно-лазерная модификация пленок германия на диэлектрических и полупроводниковых подложках» | 465 |

**13.00-14.00 Перерыв.****14.00-17.00 Секция «Радиационная физика неметаллических материалов»**

|  |     |
|--|-----|
| 1. Виленский А.И., Березкин В.В., Загорский Д.Л. «Электрофизические и газодинамические свойства полимерной пленки, облученной тяжелыми ускоренными ионами»                       | 476 |
| 2. Гусаков В. Е., Белько В. И., Дорожкин Н. Н. «Энергия образования и барьеры миграции собственных точечных дефектов в кремниевых нанопроводах: квантовохимическое исследование» | 478 |
| 3. Курбанов А.М., Нуритдинов И., Файзуллаева Д.С. «Влияние концентрации хрома на образование радиационных центров окраски в кристаллах со структурой граната»                    | 482 |
| 4. Бондаренко Г.Г., Гайдар А.И., Новиков Л.С., Черник В.Н. «Изменение структуры полимерных волокон при облучении ускоренными потоками кислородной плазмы»                        | 493 |
| 5. Хасаншин Р.Х., Шамаев А.М., Новиков Л.С. «Развитие электростатических разрядов при электронном облучении стекла К-208»  | 504 |
| 6. Дьячкова И.Г., Новоселова Е.Г., Смирнов И.С. «Имплантирование пластин кремния протонами в условиях механически напряженного поверхностного слоя»                              | 512 |

**Пятница, 11 июля****9.00-13.00 Секция «Физические основы радиационной технологии»**

|  |     |
|--|-----|
| 1. Онанко А.П., Онанко Ю.А. «Релаксационные процессы в сплавах и автоматизированная система анализа ультразвуковой анизотропии после облучения»            | 519 |
| 2. Павлов Ю.С., Доброхотов В.В., Климашин В.П., Непомнящий О.Н. «Спектрофотометрическая установка для исследования радиационных процессов в твердых телах» | 526 |
| 3. Гынгазов С.А., Франгульян Т.С., Чернявский А.В. «Микроструктура циркониевой керамики, полученной спеканием пучком низкоэнергетических электронов»       | 536 |
| 4. Атаубаева А.Б. «Роль диффузионных барьеров в контактной металлизации для обеспечения радиационной стойкости кремниевых полупроводниковых приборов»      | 541 |
| 5. Насыров М.У. «Сравнительные исследования влияния  | 547 |

|   |     |
|---|-----|
| быстрых термических и микроволновых обработок на параметры омических контактов к фосфиду галлия»  |     |
| 6. Камардин А.И., Симонов А.А., Кадырбекова К.К., Сайдахмедов Р.Х. «Вакуумные ионные технологии обработки сталей и нанесения функциональных покрытий»                               | 557 |
| 7. Гильман А.Б., Яблоков М.Ю., Кузнецов А.А. «Модифицирование поверхности термостойких синтетических волокон в низкотемпературной плазме для использования в полимерных композитах» | 563 |
| 8. Яблоков М.Ю., Шевченко В.Г., Гильман А.Б., Кузнецов А.А. «Диэлектрические свойства пленок политетрафторэтилена, модифицированных в разряде постоянного тока»                     | 571 |
| 9. Валько Н.Г., Гуртовой В.Г. «Электроосаждение Co-Ni-Fe на низкоуглеродистую сталь при воздействии рентгеновского излучения»   | 577 |

**13.00-14.00 Перерыв.****14.00-17.00 Секция «Радиационная физика металлов»**

|  |     |
|--|-----|
| 1. Яровчук А.В., Максимкин О.П., Цай К.В., Рубан С.В. «Влияние нейтронного облучения и холодной деформации на коррозионную стойкость нержавеющей стали 12X18H10T»                    | 581 |
| 2. Селищев П.А. «Особенности распространения самоподдерживающегося отжига радиационных дефектов»   | 589 |
| 3. Демина Е.В., Воронин А.В., Гусев В.К., Прусакова М.Д., Анкудинов А.В., Судьенков Ю.В. «Структурные изменения в различных видах вольфрама при воздействии водородной плазмы»       | 595 |
| 4. Рогожкин С.В., Орлов Н.Н., Никитин А.А., Алеев А.А., Залужный А.Г., Козодаев М.А. «Исследование наноструктурного состояния 13.5% Cr ДУО стали при вариации содержания титана»     | 608 |
| 5. Богачев И.А., Калинин Б.А., Олевский Е.А., Скрытный В.И., Стальцов М.С., Чернов И.И., Агеев В.С. «Изготовление реакторной дисперсно-упрочненной стали СПАРК-плазменным спеканием» | 618 |
| 6. Графутин В.И., Илюхин В.А., Илюхина О.В., Ельникова Л.В., Прокопьев Е.П., Тимошенко С.П., Фунтиков Ю.В. «Изучение электронных свойств переходных металлов и                       | 624 |

|  |  |
|--|--|
| сплавов методом позитронной аннигиляционной спектроскопии» |  |
|--|--|

**Суббота, 12 июля**

**9.00-13.00**

|  |     |
|--|-----|
| 1. Купленников Э.Л., Красильников В.В. «Ускорители электронов – доступное и эффективное средство борьбы с новообразованиями»   | 628 |
| 2. Дидык А.Ю., Вишневский Р. «Ядерные реакции в плотном гелии при давлении 1,1 кбар под действием облучения тормозными $\gamma$ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ» | 641 |
| 3. Павлов Ю.С., Сурма А.М. «Промышленная электронно-лучевая технология модифицирования характеристик кремниевых высоковольтных тиристоров»                             | 663 |
| 4. Кабышев А.В., Конусов Ф.В. «Влияние совместной имплантации ионов железа и хрома на электрические и фотоэлектрические свойства оксида алюминия»                      | 671 |
| 5. Тельминов С.А., Махинько Ф.Ф., Овчинников В.В. «Статический и динамический эффекты дальнего действия при ионном облучении»  | 682 |
| 6. Брудный В.Н. «Зарядовая нейтральность и электронные свойства облученных полупроводников»  | 690 |
| 7. Лазарь А.П., Коршунов Ф.П. «Моделирование трансформации энергетического спектра быстрых электронов в слоистых средах»   | 697 |
| 8. Герасименко Н.Н., Смирнов Д.И., Волоховский А.Д., Гостева Е.А., Запорожан О.А. «Проявление ближних пар Френкеля при ионизирующем облучении наноструктур»            | 706 |

## РАСЧЕТ СРЕДНЕГО ПРОБЕГА ЭЛЕКТРОНОВ В ПОЛИМЕРНОМ КОМПОЗИТЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Павленко В.И.<sup>1</sup>, Бондаренко Г.Г.<sup>2</sup>, Черкашина Н.И.<sup>1</sup>, Едаменко О.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46;  
e-mail: [kafnx@intbel.ru](mailto:kafnx@intbel.ru))

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет «Высшая школа  
экономики» (101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20  
e-mail: [bondarenko\\_gg@rambler.ru](mailto:bondarenko_gg@rambler.ru))

При функционировании космических аппаратов (КА) в радиационных поясах Земли материалы, расположенные на внешней поверхности, подвергаются воздействию потоков быстрых электронов и протонов с широким энергетическим спектром. После такого воздействия значительно ухудшаются функциональные свойства материалов, что ведет к сокращению сроков использования их на орбите.

Изучение прохождения электронов через вещество является одной из важнейших задач физики атомного ядра и элементарных части. Термализуясь в диэлектрических материалах, электроны способны создавать внедренный не скомпенсированный электрический заряд, т.е. вызывать радиационную электризацию, которая может заметным образом изменять как электрофизические, так и радиационно-защитные свойства диэлектриков. В тех случаях, когда флюенс ионизирующих частиц не достигает порогового уровня, образуются разрядные каналы в виде фигур Лихтенберга.

Радиационное заряджение диэлектриков исследовали преимущественно только на чистых полимерах, таких как полиэтилен, полиметилметакрилат [1], и практически не исследовали на неоднородных полимерных системах.

В настоящее время наиболее полное описание заряджения диэлектриков осуществляется на основе модели Роуза–Фаулера [2]. Однако в большинстве исследований рассматривается случай однородного облучения, что не позволяет рассматривать сильно неоднородные процессы, включая пробой. Также в научных публикациях отсутствует четкая физическая модель электрического пробоя объемных радиационно-заряженных полимерных диэлектриков, используемых, например, в качестве конструктивных

элементов искусственных спутников Земли.

Весьма актуальной, в связи с этим, стала проблема поиска новых способов изучения и управления радиационной повреждаемостью материалов.

Для равномерного распределения внедренного заряда и увеличения электрической прочности диэлектрического композита при электронном облучении в работе в полимерную матрицу (полистирол) вводится органосилоксановый наполнитель, соединенный в наноструктурную сеть в виде полупроводниковых зон, образованных за счет топохимических реакций происходящих при синтезе композита твердофазным компактированием. Оптимальный состав композита содержит в своем составе 60 мас. % органосилоксанового наполнителя, так как по данным физико-механических испытаний при дальнейшем его введении заметно ухудшаются конструкционные свойства полистирольного композита.

В данной работе представлены результаты физико-математического моделирования воздействия пучка быстрых электронов различных энергий на разработанный полистирольный композит методом Монте-Карло.

В качестве исходных данных были приняты следующие условия: геометрия мишени – цилиндр с диаметром 30 мм и толщиной до 50 мм; пучок сечением  $20 \times 20$  мм с энергией 1..10 МэВ падает на мишень по нормали к поверхности; флюенс пучка  $1,2$  эл-н/мм<sup>2</sup>. Схема взаимного расположения пучка электронов и мишени из композита представлена на рис. 1.

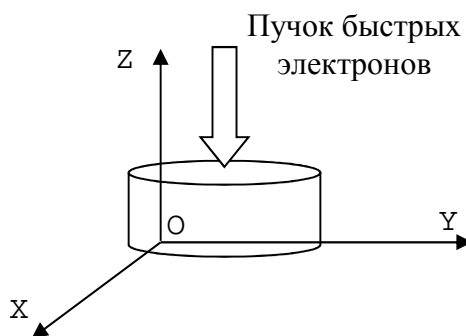


Рис. 1. Схема эксперимента по моделированию взаимодействия пучка электронов и мишени из полистирольного композита

Средний пробег электроном в материале рассчитывается по формуле:

$$R(E_0) = \int_0^{E_0} \frac{dE_k}{\left(-\frac{dE}{dx}\right)} . \quad (1)$$

где  $E$ -начальная энергия электрона,  $R(x)$ -эффективный пробег электрона в композите.

На рис. 2 и рис. 3 представлены кривые демонстрирующие зависимость среднего пробега электрона в композите в зависимости от его начальной кинетической энергии.

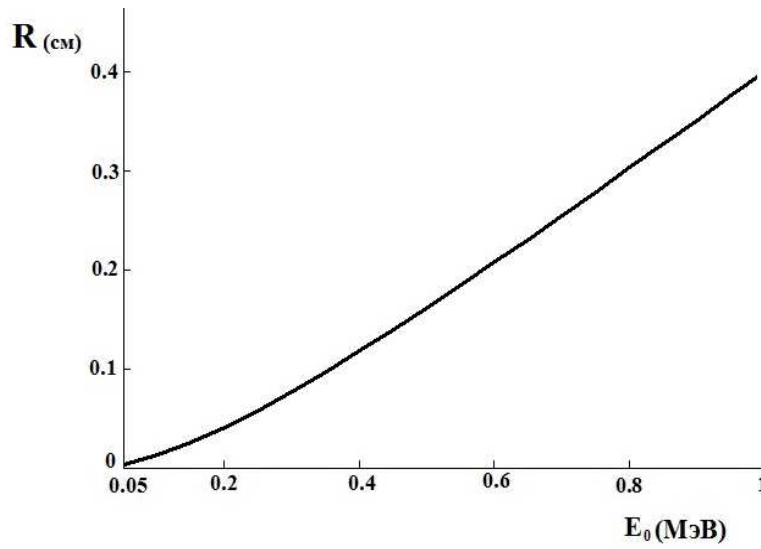


Рис. 2. Средний пробег электронов в композите при энергии от 0,05 до 1 МэВ

Абсолютная глубина проникновения электронов оказывается намного меньше, чем их пробег внутри композита. Эффективный пробег электронов в полимерном композите составил для 1 МэВ – 3,9 мм, для 10 МэВ – 42 мм. В сравнении с защитными материалами из тяжелых металлов (свинец, висмут) эффективный пробег в исследуемом полимерном композите в несколько раз больше [3], но вместе с тем значительно уменьшается интенсивность тормозного излучения, что является преимуществом по сравнению с материалами из тяжелых металлов [4].

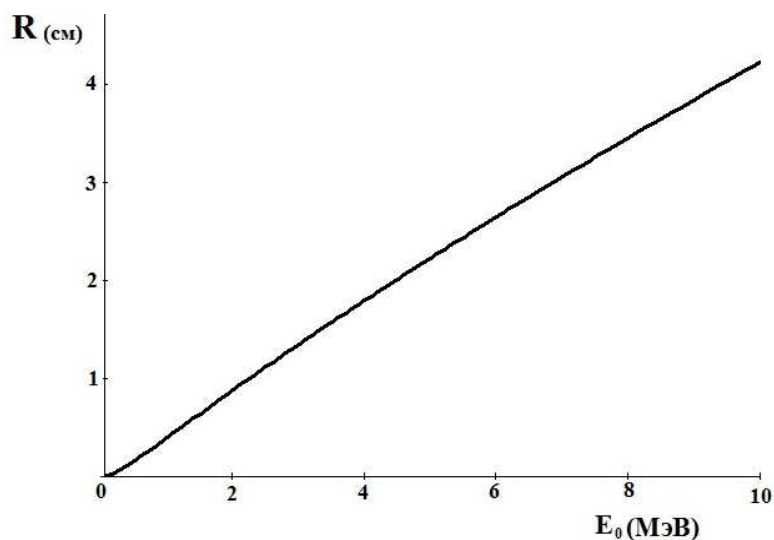


Рис. 3. Средний пробег электронов в композите при энергии до 10 МэВ

Установлено, что в полученном композите средний путь электрона достаточно мал в широком диапазоне начальных энергий электрона, что говорит о перспективе его использования для защиты от воздействия электронов в космическом пространстве.

*Работа выполнена в рамках гранта РФФИ, договор № НК 14-02-31050\14 от 12 марта 2014 года.*

#### Литература

1. Акишин А.И. Космическое материаловедение. Методическое и учебное пособие / А.И. Акишин.– М: НИИЯФ МГУ, 2007. – 209 с.
2. Эбель А.А. Математическая модель радиационного заряжения диэлектриков для квазисвободных частиц известия челябинского научного центра УРО РАН, № 1. – 2007. – С. 15–18.
3. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Едаменко О.Д., Тарасов Д.Г. Воздействие высокоэнергетических пучков быстрых электронов на полимерные радиационно-защитные композиты // Вопросы атомной науки и техники. – 2010. – №1. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (95). – С. 129-134.
4. Черкашина Н.И. Моделирование воздействия космического излучения на полимерные композиты с применением программного комплекса GEANT4 // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. С. 122.

**Труды XXIV Международной конференции  
«Радиационная физика твёрдого тела»  
(Севастополь, 7 – 12 июля 2014 г.)**

Научный редактор:  
д.ф.-м.н. Бондаренко Геннадий Германович

Подписано в печать 06. 06. 2014г.  
Бумага типографская. Печать - ризография.  
Формат 70x108/16.  
Тираж 100 экз. Заказ 385.

Издательство ФГБНУ «НИИ ПМТ»  
115054, Москва, ул. М.Пионерская, д. 12  
Тел/факс (499) 235-57-13, 235-36-56 e-mail: [niipmt@mail.ru](mailto:niipmt@mail.ru)  
Отпечатано в ООО «Телер»  
125130, Москва, ул. Клары Цеткин, д. 28  
Тел/факс (495) 937-86-64, e-mail: [piskarev@teler.ru](mailto:piskarev@teler.ru)

ISBN 978-5-89671-018-9

