

VI. Техника и методика эксперимента

Интегральный метод измерения энергетических спектров электронных пучков и фотонного излучения

А. Г. Березовский, В. П. Пудов

ФГУП «Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. акад. Е. И. Забабахина»; г. Снежинск, Россия (dep5@vniitf.ru)

Одной из важных задач дозиметрического сопровождения испытаний элементов и приборов на импульсных ускорителях является спектрометрия электронных пучков и фотонного излучения. Для этой цели на установках НИО-5 используется экспериментально-расчетный метод, позволяющий восстанавливать энергетические спектры электронов и фотонного излучения.

При спектрометрии электронных пучков измеряется профиль энерговыделения в наборе алюминиевых или титановых пластин. Величина поглощенной в пластинах спектрометра энергии электронов Q_i определяется по приращению температуры и связана со спектром выходящих из источника электронов $\varphi(E)$ соотношением:

$$Q_i = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \varphi(E) \cdot G_i(E) dE, \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

где $\varphi(E)$ - энергетическое распределение электронов в пучке [электр./МэВ],

$G_i(E)$ - энерговыделение в i -той пластине для электрона источника с энергией E [МэВ/электр.],

N - число пластин, использующихся в измерении.

При спектрометрии фотонного излучения применяется метод поглощающих фильтров, в котором с помощью термолюминесцентных детекторов экспериментально определяются дозовые характеристики исследуемого излучения за поглощающими фильтрами различной толщины. Зависимость от спектра излучения величины поглощенной в детекторах энергии (дозы) также определяется интегральным уравнением (1), где $G_i(E)$ - энерговыделение в детекторе за фильтром i -той толщины для фотона с энергией E , выходящего из источника [МэВ/фотон].

Матрицы энерговыделений $G_i(E)$ рассчитываются с помощью численного моделирования условий эксперимента по методу Монте-Карло. Следует отметить, что при спектрометрии электронных пучков экспериментально измеренные значения Q_i и расчетные значения $G_i(E)$ могут быть выражены в одних единицах энергии. При этом решение системы интегральных уравнений (1) позволяет получить данные не только о спектральных характеристиках пучка, но и флюенсе электронов. Показания детекторов фотонного излучения обычно регистрируются в единицах экспозиционной дозы, которая пропорциональна величине поглощенной энергии в детекторе, но не соответствуют ей по

абсолютной величине. Поэтому при спектрометрии фотонного излучения решение системы (1) дает информацию только об форме энергетического спектра.

Таким образом, для нахождения $\varphi(E)$ требуется решить систему интегральных уравнений (1), где левая часть известна с погрешностью $\Delta Q_i, i=1, \dots, N$. Как известно, эта задача относится к классу некорректно поставленных задач, что связано как с ограниченным числом пластин (фильтров), так и с ошибками эксперимента ΔQ_i . В конечном счете, совокупность этих и других факторов приводит к тому, что указанную задачу можно рассматривать как эффективно недоопределенную и, следовательно, не имеющую однозначного решения.

Для однозначного выбора решения системы (1) необходимо ввести дополнительную, априорную информацию об искомом спектре. Существующие к настоящему времени довольно многочисленные методы решения задачи (1) отличаются между собой, явно или неявно, видом используемой априорной информации и способом ее введения, что и составляет сущность процедуры ее регуляризации. Так, например, наряду с положительностью искомого решения, часто накладывают требование «гладкости» $\varphi(E)$, близости ее к некоторой пробной функции $\varphi^0(E)$ и т.п.

Для алгебраизации задачи (1), в созданном комплексе программ используется представление спектра $\varphi(E)$ в виде b-сплайна [1,2].

Полученная система уравнений решается обобщенным методом минимизации направленного расхождения[3].

В качестве иллюстрации в работе приведено восстановление энергетического спектра тормозного излучения установки ИПУЭ.

Литература

- 1 Ю. С. Завьялов, Б. И. Квасов, В. Л. Мирошниченко. Методы сплайн - функций. М.: Наука, 1980.
- 2 К. де Бор. Практическое руководство по сплайнам. М.: Радио и Связь, 1985. –304с.
- 3 В. Д. Ларцев. Обобщенный алгоритм метода минимизации направленного расхождения. Доклад на VII межотраслевой конференции по радиационной стойкости.

Об угловом распределении выведенных в атмосферу электронных пучков мощных ускорителей

А. П. Степовик, В. С. Блинов, Т. В. Купырина

Российский Федеральный Ядерный центр – Всероссийский НИИ Технической Физики, 456770
Россия, Снежинск, Россия (dep5@vniitf.ru)

Одним из факторов, влияющих на точность расчета параметров тормозного излучения, является знание углового распределения электронов, падающих на мишень. Для мощных ускорителей прямого действия непосредственные измерения такой зависимости затруднены, поскольку для этого требуется регистрировать малые электрические сигналы в условиях сильного электромагнитного и радиационного фона. Поэтому угловое

распределение пучка электронов подобных ускорителей определяется, как правило, косвенным образом.

В данной работе изложены непосредственные измерения углового распределения выходящего в атмосферу пучка электронов ускорителей ИГУР-3 и ЭМИР-М [1]. Для этого использовали разработанные кабельные датчики, в составе которых имелся коллиматор с малой ($\sim 0,01$ ср) величиной телесного угла [2]. Путем измерения заряда регистрировали число электронов, прошедших через коллиматор каждого датчика.

В экспериментах использовали измерительное устройство с установленными в нем пятью датчиками. Плоскость измерительного устройства отстояла от анода на расстоянии равном 16 см. Ось коллиматора датчика № 1 совпадала с осью ускорительной трубки (УТ), для остальных датчиков оси коллиматоров составляли угол от $\sim 8,5^\circ$ до $\sim 21,5^\circ$ по отношению к оси УТ. Оси всех коллиматоров пересекались с осью УТ в центре анода – титановой фольги, предназначенной для вывода электронов в атмосферу. Особенностью данного измерительного устройства являлось то, что электроны не выходили из него в окружающее пространство и не создавали электромагнитное поле помех.

Анализ регистрируемых сигналов показал, что при измерениях присутствует помеха, связанная с сопутствующим тормозным излучением от конструкции измерительного устройства и фланца УТ. Величина ее в исследованных режимах работы ускорителей составляет для ускорителя

ИГУР-3 ~ 30 % от регистрируемого заряда, а для ускорителя ЭМИР-М ~ 15 %.

Угловое распределение $F_n(\alpha)$ определялось как отношение заряда, измеренного каждым датчиком, к заряду, измеренному датчиком № 1. Влияние радиационного фона учитывали по результатам измерений его вклада в полный заряд для каждого датчика.

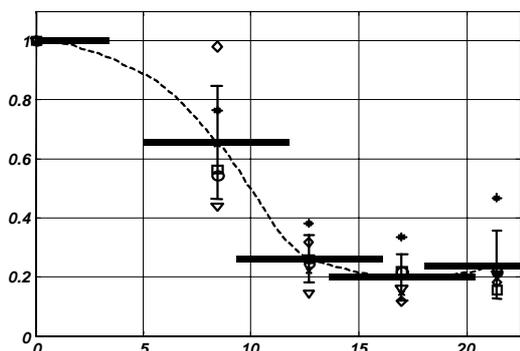
$$F_n(\alpha) = \frac{1}{1 - \overline{K}_{f1}} \left[\left(\frac{Q_{ti}}{Q_{t1}} \right)_n - \overline{K}_i \right],$$

где $i = 2-5$ – номера датчиков, расположенных под разными углами наклона по отношению к оси УТ; n – номер пуска ускорителя; Q_{ti} – заряд, регистрируемый на нагрузке i -го датчика; α – угол наклона оси датчика относительно оси УТ; \overline{K}_i – доля фонового заряда в сигнале на нагрузке i -го датчика относительно заряда датчика № 1; \overline{K}_{f1} – доля фонового заряда в сигнале на нагрузке датчика № 1 (величины \overline{K}_i и \overline{K}_{f1} определялись в предварительных пусках ускорителей).

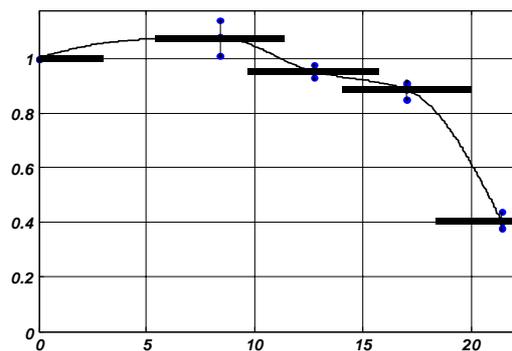
На рисунке представлены виды угловых распределений электронов, полученные в исследованных режимах работы ускорителей ИГУР-3 и ЭМИР-М.

Угловые распределения электронов $F_n(\alpha)$ ускорителей ИГУР-3 а) и ЭМИР-М б), полученные в разных пусках (точки), и результат усреднения по всем пускам с указанием величины среднеквадратичного отклонения (линия). По оси абсцисс – угол в $^\circ$.

а)



б)



Размер горизонтальных линий соответствует интервалу угла «видимости» каждого КД.

Литература

1. Диянков В.С., Ковалев В.П., Кормилицын А.И. и др. ФММ.. 81. Вып. 2, 119 (1996).
2. Степовик А.П., Блинов В.С., Лукин А.В. и др. в Научно-техническом сборнике "Радиационная стойкость электронных систем - СТОЙКОСТЬ-2004". Вып.7, М., МИФИ, 205 (2004).

Свойства материала на основе изотопа ^{13}C для нейтронных мишеней до и после облучения мощным электронным пучком

Е. И. Жмуриков², А. И. Романенко¹, К. В. Губин², П. В. Логачев²,
В. Б. Фенелонов³, С. В. Цыбуля³, Е. В. Бургина³, L. Teschio⁴

¹Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Институт ядерной физики им. Н. М. Будкера СО РАН, г. Новосибирск, Россия

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

⁴Laboratori Nazionali di Legnaro – Istituto Nazionali di Fisica Nucleare, Legnaro, Italy

Основным узлом интенсивного источника высокоэнергетических нейтронов на основе протонного ускорителя является нейтронная мишень, в конверторе которой под воздействием мощного протонного пучка вырабатываются нейтроны. Наиболее перспективным материалом для такого конвертора является углерод. Исследовался материал на основе его изотопа ^{13}C .

Проведены комплексные исследования образцов материала на основе C^{13} до и после облучения мощным электронным пучком. Энергия электронов составляла 660 и 1400 кэВ. В качестве методов исследования использовались рентгеновская дифракция, измерения спектров ИК и комбинационного рассеяния света, измерения проводимости, магнитосопротивления и эффекта Холла, анализ с помощью электронной микроскопии на просвет, адсорбционный анализ и др.

Согласно данным рентгенографических исследований углерод-углеродного композита на основе изотопа ^{13}C его дифракционная картина соответствует турбостратной структуре графита, т. е. структуре, в которой графитоподобные сетки накладываются друг на друга

случайным образом (со случайным вектором смещения одного слоя относительно другого), а области ОКР малы. При воздействии облучения на образец не происходит радикальных изменений его структуры, она по-прежнему соответствует турбостратной модели. Обработка электронным пучком не приводит к заметному изменению положений и полуширин дифракционных пиков: в пределах ошибки эти характеристики и производные от них величины параметров решетки, размеры ОКР и величины микродеформаций остаются постоянными.

Результаты расчетов $A_{БЭТ}$ и объема пор V_S показывают, что облучение сопровождается небольшим увеличением как доступной поверхности (на ~6 % относительных), так и объема V_S (на ~3.5 % относительных). Увеличение этих параметров прямо связано с появлением дополнительных микропор с размерами до 2 нм, которые образуются как вакансии вместо «выбитых» атомов углерода. Малое изменение значений $A_{БЭТ}$ и V_S для образца после 4 и 19 часов облучения может рассматриваться как свидетельство стабилизации этих изменений. Данные рентгенофазовых и адсорбционных измерений говорят в пользу того, что в материале на основе изотопа ^{13}C под воздействием облучения электронным пучком не происходит существенного изменения его фазового состава, микроструктуры и/или пористой структуры. Это связано предположительно с тем, что облучение сопровождается появлением разнообразных дефектов, но одновременно и «залечиванием» этих дефектов вследствие интенсивного разогрева до температур, характерных для отжига возникающих дефектов. Выбранные эксплуатационные условия работы конвертора на основе изотопа ^{13}C должны способствовать сохранению его стабильности.

Моделирующий материал на основе МПГ-6 для конвертора нейтронной мишени существенно отличается по своим структурным свойствам от материала на основе изотопа ^{13}C . Это также следует как из рентгенографических данных, так и из данных абсорбционных измерений. Механическая прочность материала мишени требует дополнительных испытаний.

Как следует из структурных данных и электрофизических исследований облучение ведет к увеличению количества sp^3 связей [1]. Это сопровождается трехмеризацией обнаруженных нами квантовых поправок к проводимости при температурах выше 120 К, которые в исходном образце квазидвухмерны. Кроме этого по мере увеличения дозы облучения уменьшается дефектность графеновых слоев, что ведет к уменьшению концентрации носителей тока и уменьшению проводимости облученных образцов.

Работа выполнена при поддержке: проекта МНТЦ #2257, гранта РФФИ № 03-02-16458, гранта Минобразования РФ № Е02-3.4-57, программы Университеты России (грант № RU01.01.028), Междисциплинарной программы Интеграция СО РАН (грант № 113), грант Президента РФ для поддержки ведущих научных школ РФ НШ- 1042.2003.3

Литература

1. Banhart F. Irradiation effects in carbon nanostructures. // Rep. Prog. Phys. (1999) p. 1181-1221

Импульсно – периодический ускоритель электронов (ИПУЭ) с индуктивным накопителем и полупроводниковым прерывателем тока

В. Б. Братчиков*, В. М. Зверев*, А. И. Кормилицын*, В. В. Перешитов*,
С. Н. Рукин**, А. В. Пономарев**

*РФЯЦ – ВНИИТФ им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия, (v.b.bratchikov@vniitf.ru)

**Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Разработан импульсно-периодический ускоритель электронов с полностью твердотельной системой коммутации энергии и частотой следования импульсов от 1 до 100 Гц. Сечение выведенного пучка электронов и потока тормозного излучения составляет $50 \times 10 \text{ см}^2$ (в плоскости анода). Максимальная амплитуда импульса напряжения на ускорительной трубке $U_{\text{max}} = 750 \text{ кВ}$, плотность и длительность импульса тока выведенного пучка электронов составляют, соответственно, $j_e = 1 \text{ А/см}^2$ (при $S = 500 \text{ см}^2$) и $\tau_e = 57 \text{ нс}$. Длительность импульса тормозного излучения $\tau_\gamma = 25 \text{ нс}$, доза за импульс $D_\gamma \cong 3 \text{ Р}$ (у анода).

Литература

1. Рукин С. Н. Генерация мощных наносекундных импульсов на основе полупроводниковых размыкателей тока. // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Екатеринбург. 1998.
2. Mesyats G. A. Physics of electron emission from metal-dielectric cathodes // In.Proc: X Int. Conf. High Power Particle Beams. San-Diego, CA, 1994. p.p.207-210.

Карбид кремниевые детекторы с высокими разрешающими способностями

Е. В. Калинина*, Н. Б. Строкан, А. М. Иванов, Г. Ф. Холуянов, Г. А. Онушкин, Г. Н. Виолина**

* Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, РАН,
194021 Санкт-Петербург, Россия (evk@pop.ioffe.rssi.ru)

** С-Петербургский государственный электротехнический университет,
197376, Санкт-Петербург, Россия

В данной работе представлены результаты по спектрометрии короткопробежных ионов на примере α -частиц естественного распада с помощью детекторов на основе чистых эпитаксиальных слоев $4H\text{-SiC}$.

$4H\text{-SiC}$ эпитаксиальные слои толщиной 50 мкм с концентрацией $N_d - N_a = 6 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$ выращивались газотранспортной эпитаксией (CVD) на коммерческих подложках $4H\text{-SiC}$. Cr барьеры Шоттки толщиной 0.1 мкм и площадью $1 \times 10^{-2} \text{ см}^2$ наносились термовакuumным напылением. Диодные структуры облучались α -частицами с энергиями 5.1-9.0 МэВ, используя изотопы ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am и ^{238}Pu .

Структура дефектных центров в образцах изучалась по спектрам фотолюминесценции (PL) при температуре 77 К, по вольт-фарадным (CV) и DLTS данным, полученным в температурном диапазоне 80-700 К. Диффузионные длины неосновных носителей заряда - дырок (L_p), оценивались из зависимости фототока от обратного напряжения и из зависимости эффективности собирания заряда (CSE) при облучении. Прямые и обратные вольт-амперные характеристики диодных структур измерялись на постоянном токе.

Спектры PL и данные DLTS для исследуемых образцов выявили малые количества примесных центров, что обусловило довольно высокие значения L_p в CVD слое, 9-13 мкм. Ширина области объемного заряда при 400 В была соизмерима с пробегами α -частиц с энергией 9 МэВ, обратные токи при этом были менее 1 нА. Наблюдалось насыщение зависимости сигнала детектора от обратного напряжения уже при 100-200 В, что обеспечило полный перенос образованного облучением неравновесного заряда и, следовательно, максимальную величину сигнала детектора ($CSE=1$). Снятые спектры α -частиц показали, что SiC-детекторы позволяют выявить тонкую структуру спектров с линиями, отстоящими на 18.8 кэВ, что соответствует разрешению 0.35 %. Такое разрешение соизмеримо с характеристиками спектрометров на основе Si и получено для SiC-детекторов впервые, что позволяет использовать их для спектрометрии ядерных излучений в экстремальных условиях - при повышенных температурах и в химически агрессивных средах.

Литература

1. А. М. Иванов, Е. В. Калинина, А. О. Константинов, Г. А. Онушкин, Б. Строкан, Г. Ф. Холуянов, А. Halle'n. Журнал технической физики, **30** (14), 1 (2004).
2. Н. Б. Строкан, А. М. Иванов, Е. В. Калинина, Г. Ф. Холуянов, Г. А. Онушкин, Д. В. Давыдов, Г. Н. Виолина. Принято к публикации в ФТП, **39** (2005).

Генерация тормозного излучения на установке МИГ в режиме глубокого пинчевания электронного пучка

Н. А. Ратахин¹, В. К. Петин¹, С. В. Шляхтун¹, Ю. А. Суковатицын¹, А. Ф. Коростелев¹,
Е. Н. Волков¹, В. Ф. Федущак¹, А. Г. Березовский², В. Б. Бычков², О. В. Зацепин²,
Я. З. Кандиев², В. Д. Ларцев², Д. Г. Модестов², В. П. Пудов²

¹Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия

²ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. акад. Е. И. Забабахина», г. Снежинск, Россия (dep5@vniitf.ru)

Описаны эксперименты по формированию электронного пучка в пинч-диоде с напряжением на ускорительном промежутке до 1,1 МВ, током пучка около 600 кА, длительностью импульса излучения ~ 75 нс. Представлены дозовые и энергетические параметры тормозного излучения, полученного на танталовой фольговой мишени толщиной 40 мкм. Показана возможность измерения дозовых характеристик поля излучения вблизи анода с помощью полупроводникового детектора, работающего в режиме насыщения. Обычные измерения с помощью термолюминесцентных детекторов в этой области поля невозможны из-за их механического разрушения осколками мишени и поглотителя электронов.

Особенности структуры графитоподобного материала на основе изотопа ^{13}C после облучения электронным пучком

И. Л. Святлов, И. В. Подгорнова, А. Е. Шестаков, С. М. Новгородцев, В. В. Плохой
РФЯЦ ВНИИТФ, Снежинск, Россия (dep5@vniitf.ru)

Методами световой и растровой электронной микроскопии проведено исследование структуры образцов перспективного для использования в качестве протон-нейтронного конвертора графитоподобного материала на основе изотопа ^{13}C после облучения электронным пучком с энергией 660 кэВ и мощностью до 1100 Вт/см^2 . Получены изображения поверхности, изломов и поперечных шлифов образцов при различной мощности пучка и разном времени облучения. Показано, что при температурах до 2000°C структурные изменения материала образцов под воздействием электронного облучения незначительны и обусловлены в большей мере продолжительностью облучения, чем мощностью пучка. Работа проводилась в интересах проекта МНТЦ № 2257.

Измерения коэффициента Грюнайзена анизотропных углеродных материалов на электронных ускорителях

А. П. Степовик
РФЯЦ – ВНИИТФ, Снежинск 456770, Россия (dep5@vniitf.ru)

В последние годы в мире интенсивно развивается направление, связанное с изучением механических свойств материалов при быстром выделении в них энергии излучения. Поглощение энергии за времена, много меньшие механической инерционности материала, приводит к возникновению в нем термоупругих напряжений.

Одними из перспективных и интересных в практическом и физическом планах материалов являются композитные материалы. Отдельная область композитов – углерод-углеродные композиты, т.е. материалы, полученные из углеродных волокон с

заполнением матрицы углеродом. В углерод-углеродных композитах при импульсном нагреве излучением может реализоваться достаточно сложная картина напряжений. С целью изучения возможного поведения подобных материалов при импульсном выделении в них энергии излучения была проведена данная экспериментальная работа.

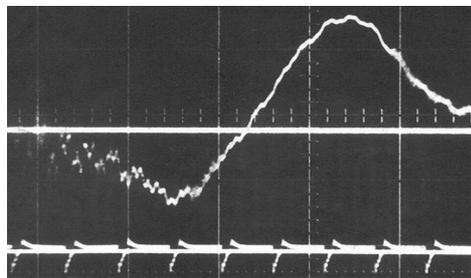


Рис. Осциллограмма импульса напряжения в образце композита 4КМС толщиной 10 мм. Метки 1 мкс.

Исследовали анизотропный материал – углерод-углеродный композит 4КМС и двумерный материал – пиролитический углерод (пироуглерод) УПВ-1. В качестве параметра, характеризующего поведение материала, выбрали его коэффициент Грюнайзена. Работу проводили на ускорителях

электронов: для композита 4КМС – на ускорителе ИГУР-3 [1] (средняя энергия электронов ~ 2 МэВ, длительность импульса на полувывсоте $\sim 5 \cdot 10^{-8}$ с); для пироуглерода – на менее мощной установке с максимальной энергией электронов ~ 1 МэВ, средней энергии 0,3...0,5 МэВ и длительности импульса на полувывсоте $\sim 1,3 \cdot 10^{-7}$ с. Пучок электронов падал на лицевую сторону образца, к тыльной стороне которой через акустическую задержку с малой величиной затухания приклеен пьезодатчик. Регистрировали амплитуду термоупругих напряжений с помощью пьезодатчика и величину потока энергии, падающую на поверхность образца. На рисунке приведена осциллограмма импульса напряжения, полученная в одном из экспериментов. Видно, что к датчику первой приходит волна растяжения (отрицательный импульс), а не сжатия, как это наблюдается у изотропных материалов.

В таблице 1 приведены экспериментальные результаты для композита 4КМС.

Таблица 1

Флюенс энергии электронов, Дж/см ²	42	49	40	53
Максимальный нагрев 4КМС, К	65	76	63	82
Толщина образца, мм	10	10	15	15
Коэффициент Грюнайзена (Г)	- 0,012	- 0,015	- 0,006	- 0,005

Из данных таблицы 1 следует, что в области температур ~ 340 К коэффициент Грюнайзена для 4КМС имеет отрицательный знак. Кроме того, величина этого коэффициента очень мала, по сравнению с другими материалами.

Для измерения коэффициента Грюнайзена пироуглерода было изготовлено два образца толщиной 10 мм с различной ориентацией плоскостей по отношению к направлению осаждения углерода: перпендикулярно и параллельно плоскости осаждения, в направлениях “а” и “с” (“а” – вдоль плоскости осаждения углерода, “с” – перпендикулярно ей) [2]. В таблице 2 приведены измеренные значения коэффициента Грюнайзена и скорости звука пироуглерода УПВ-1, а также, для сравнения, аналогичные данные для двух отличающихся по способу изготовления зарубежных пиролитических графитов PG3 и CAPG при температуре 300 К [3, 4].

Таблица 2

Экспериментальные значения коэффициента Грюнайзена и скорости звука пиролитических графитов [2-4]

Материал	направление			
	“с”		“а”	
	Г	с, см/с	Г	с, см/с
УПВ-1	$0,26 \pm 0,04$	$0,36 \pm 0,04$	$0,17 \pm 0,03$	$0,53 \pm 0,05$
PG3	0,3	0,36	0,2	0,61
CAPG	$0,48 \pm 0,03$	$0,38 \pm 0,05$	$- 0,99 \pm 0,15$	$2,2 \pm 0,1$

На основании результатов работы следует, что параметры термоупругих напряжений, возникающих в анизотропных материалах при их импульсном разогреве излучением, значительно отличаются от поведения изотропных однородных материалов. В зависимости от ориентации структуры образца, по отношению к направлению падения излучения, может изменяться как величина напряжений, так и их знак. Отсюда, даже при большой величине энерговыделения, величина возникающих напряжений может быть достаточно малой и даже близкой к нулю.

Литература

1. Диянков В. С., Ковалев В. П., Кормилицын А. И. и др. *ФММ* **81**, Вып. 2, 119 (1996).
3. Степовик А. П. *ЛМТФ* № 4. 150 (1992)
4. Benson D. A., Gauster W. B. *Phil. Magazine* **31**, № 5, 1209 (1975)
5. Gauster W. B. // *Phil. Magazine* **25**, № 3, 687 (1972)

Методика измерения набора дозы гамма-излучения на основе конденсаторного датчика

В. Л. Стряхнин, В. Т. Громов
РФЯЦ-ВНИИТФ, г. Снежинск, Россия (факс: +7-35172-51101)

В качестве рабочего тела конденсаторного датчика гамма-излучения используется конденсатор серии К-52, имеющий низкую чувствительность к нейтронам. Это позволяет измерять набор дозы на установках гамма- и гамма-нейтронного излучений. Измерение набора дозы проводится дистанционно в автоматическом режиме с одновременной калибровкой измерительного тракта. Погрешность измерения дозы не превышает $\pm 20\%$.

Методика состоит из двух основных устройств: конденсаторного датчика дозы гамма-излучения КДД и контрольно-технологического устройства "ИНДИРА".

Рабочим телом конденсаторного датчика является танталовый электролитический конденсатор К52-11В-16В-100мкФ. Конденсатор состоит из анода, спеченного из зерен тантала, жидкого электролита и корпуса. Чувствительным к гамма-излучению элементом является диэлектрический слой оксида Ta_2O_5 , находящийся на поверхностях зерен тантала. При воздействии гамма-нейтронного излучения из-за большого атомного веса оксида сопутствующее нейтронное излучение слабо поглощается в оксиде и, практически, не увеличивает РНЭ диэлектрика конденсатора. Вследствие этого конденсаторный датчик, заряженный предварительно до напряжения U_0 , разряжается, в основном, за счет воздействия гамма-излучения. Доза гамма-излучения связана с величиной спада напряжения на конденсаторном датчике экспоненциальной зависимостью. Технические характеристики конденсаторного датчика дозы КДД приведены в таблице.

Таблица

Диапазон измеряемых доз	$D = 10^{3 \pm 5} \cdot 10^5 P$
Вклад нейтронов в разряд датчика при облучении в экспериментальных каналах и в окнах биологической защиты реакторов: ИГРИК, ЯГУАР (средняя энергия нейтронов ~ 1 МэВ).	$\frac{K_n \cdot \Phi_n}{K_\gamma D} \leq 0,11 (\leq 11\%)$
Допустимое предварительное облучение дозой и Флюенсом нейтронов	$D_\Sigma \geq 2 \cdot 10^7 P$ $\Phi_n \geq 2 \cdot 10^{16} \text{ н/см}^2$
Чувствительность к гамма-излучению с энергией ~ 1 МэВ	$K_\gamma = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ I/P}$
Чувствительность к нейтронам реакторов ИГРИК, ЯГУАР	$K_n = 7 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2/\text{н}$
Напряжение на датчике до облучения	$U_0 = 16 \text{ В}$
Диапазон температур	$T = (+20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$
Габаритные размеры	$\varnothing 16 \times 50 \text{ мм}$
Масса	20г

Авторское право на разработанный нами датчик дозы гамма-излучения защищено свидетельством на изобретение и патентом России.

Контрольно-технологическое устройство "ИНДИРА" предназначено для дистанционного управления работой конденсаторного датчика и для согласования датчика со стандартным средством измерения напряжения. Устройство "ИНДИРА" (конструкторская документация № Р56-Л2191) содержит: повторитель напряжения с входным сопротивлением 200 МОм, стабилизированный источник постоянного напряжения $U_0 = 16$ В для заряда датчика и систему автоматики для управления работой датчика и калибровки измерительного тракта в процессе измерения набора дозы. Величина относительной погрешности измерения дозы не превышает ± 20 % при

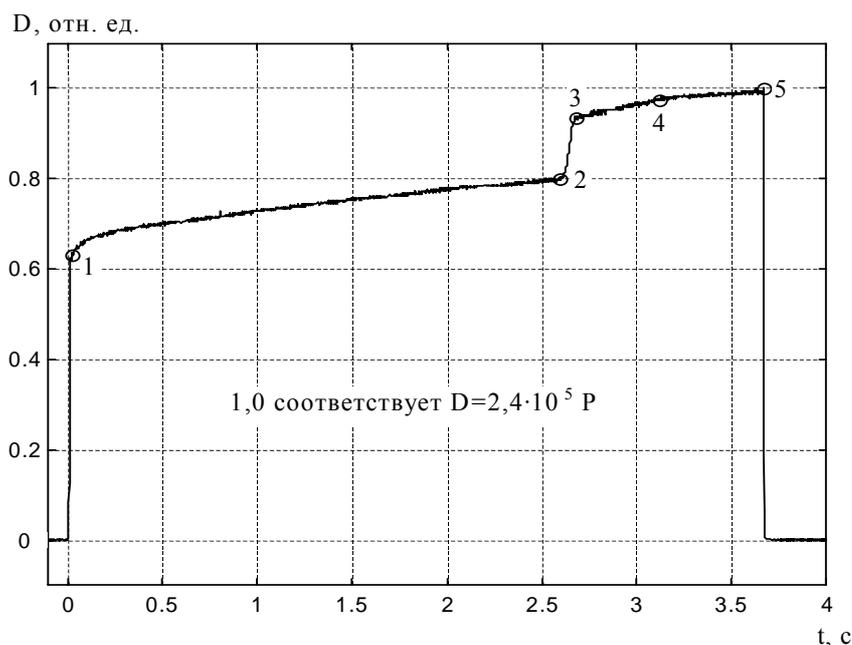


Рис. График набора дозы при генерации двух импульсов излучения в пуске реактора ИГРИК

доверительной вероятности 0,95, что соответствует требованиям ГОСТ. На рисунке показан график набора дозы при генерации двух импульсов излучения в одном пуске реактора ИГРИК.

Отраслевой научно-технический центр атомно-масштабных исследований ИТЭФ. Развитие работ

А. Л. Суворов, В. Н. Дикарев, А. Г. Залужный, М. А. Козодаев
 ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной физики Б. Черемушкинская ул., 25
 Москва 117218, Россия (alex.suvorov@itep.ru)

Как уже сообщалось ранее, в ГНЦ РФ ИТЭФ недавно был создан Отраслевой научно-технический центр (ОНТЦ). Основная цель исследований в центре – получение в атомных масштабах детальной информации о радиационных эффектах (прежде всего – структурных дефектах, их образовании и поведении, эволюции дефектной структуры) в материалах.

Основными направлениями исследований в ОНТЦ являются:

- атомно-масштабные исследования образования и поведения радиационных дефектов в конструкционных реакторных материалах – металлах, сплавах, сталях;
- атомно-зондовые исследования радиационных эффектов в многокомпонентных конструкционных электропроводящих материалах;
- исследования взаимодействия мощных потоков излучений с поверхностью материалов;
- исследование радиационных повреждений кремниевых детекторов, развитие пучковых технологий создания структур «кремний на изоляторе».

Кроме того, развиваются и другие, «дополнительные» направления исследований:

- взаимодействие газов с материалами ядерных и термоядерных установок;
- создание наноструктур и исследование их свойств;
- изучение мощных электрофизических воздействий на электропроводящие материалы;
- определение параметров и исследование динамики процессов (десорбции и испарения полем, автоэлектронной эмиссии, поверхностной миграции) в сильных электрических полях;
- разработка и создание физических приборов, в том числе и для поставки на рынок современной научно-технической аппаратуры.

Перечислим основные направления проводимых в ОНТЦ исследований более подробно, указав и их цели.

- Автоионномикроскопические исследования радиационных эффектов в конструкционных реакторных материалах, с переносом акцентов на делящиеся материалы, в первую очередь на уран и его сплавы, а затем – на плутоний. Цель – выяснение и анализ физики процессов деградации свойств указанных материалов и продление их ресурса.
- Развитие исследований на оптическом томографическом атомном зонде: анализы распределения и перераспределения компонентов в различных материалах (конструкционных реакторных сталях, некоторых делящихся, полупроводниковых) в результате радиационных, термических, механических и коррозионных воздействий.
- Развитие исследований поверхностных и объемных эффектов в конструкционных реакторных материалах, включая делящиеся, сначала уран и затем плутоний, с помощью сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии – как на воздухе, так и, прежде всего, в вакууме, с использованием специально созданных приборов.
- Изучение механизма передачи энергии быстрых многозарядных тяжёлых ионов атомам мишени в зависимости от заряда ионов; изучение результата воздействия мощных потоков лазерной плазмы (интенсивность потока ионов в плазме $10^{22} \div 10^{23}$ ион/см²с) с конденсированным веществом; моделирование при помощи лазерной плазмы условий, с которыми встречается летательный аппарат при

подходе к планетам солнечной системы; нанесение “нестираемых” покрытий на различных образцах.

- Проникновение водорода через материалы (например – кандидатные для первой стенки ТЯР), влияние на этот процесс граничных условий, режимов облучения (энергия ионов, доза облучения, раздельное и совместное облучение несколькими ионами), состояние поверхности и структуры материала (размер зерен, плотность дислокаций и др.).
- Удержание водорода в материалах в процессе нагрева. Исследовано влияние типа облучения (нейтроны, плазма, бомбардировка ионами) и структуры исследуемых материалов на удержание изотопов водорода) в процессе нагрева. Актуальность связана с безопасностью эксплуатации ТЯР и возможными потерями дорогостоящего горючего (трития).
- Получение оригинальных данных о радиационной деградации кремниевых детекторов, разрабатываемых для использования в условиях высоких интегральных флюенсов (до 10^{16} частиц/см²) и формулирование рекомендаций по технологии их производства. Цель - разработка нового поколения радиационно-стойких детекторов, востребованных при создании мощных электрофизических установок.

Сегодня деятельность ОНТЦ ИТЭФ включает:

- объединение усилий (и средств) с целью проведения совместных исследований на оборудовании ОНТЦ ИТЭФ по указанным выше направлениям;
- выполнение заказных исследований силами ОНТЦ ИТЭФ в указанных направлениях при финансировании заказчика;
- изготовление, поставку и наладку оригинального оборудования (атомно-масштабных микроскопов) как для совместных исследований (частичная оплата), так и для самостоятельных исследований (полная оплата);
- обучение (стажировку) работе на приборах (исследований в атомных масштабах) научных сотрудников и студентов (договорные условия).

Применение капиллярной рентгеновской техники для прецизионного измерения параметров многослойных структур

А. Н. Тарасенков¹, А. Г. Турьянский², Н. Н. Герасименко^{2,3}, С. А. Апрелов^{2,3}

¹Технологический Центр МИЭТ, Москва, Россия (A.Tarasenkov@tcen.ru)

²Институт рентгеновской оптики

³Московский государственный институт электронной техники (технический университет)

Измерение параметров многослойных структур, содержащих металлические, диэлектрические, полупроводниковые и другие слои, прежде всего, прецизионное измерение толщины, является самостоятельной трудоемкой задачей, требующей применения специальной техники. Разработанная институтом рентгеновской оптики техника на базе линзы Кумахова позволяет в режиме экспрессных рутинных измерений

получать информацию о толщине, составе пленок в многослойных структурах при минимальной толщине отдельных слоев порядка 50 Å.

В работе продемонстрированы возможности применения рентгеновских дифрактометров и других приборов для исследования параметров многослойных металлических систем, используемых при создании интегральных устройств магнитной памяти.

Приводятся конкретные результаты, демонстрирующие возможности применяемой аппаратуры по разрешению, времени проведения измерений и другим эксплуатационным характеристикам.

Новый реакторный источник нейтронов микросекундной длительности

А. В. Лукин, Э. П. Магда, Д. В. Хмельницкий, Ю. И. Чернухин
РФЯЦ – ВНИИТФ, г. Снежинск, Россия (dep5@vniitf.ru)

Наиболее мощные нейтронные импульсы генерируются в реакциях деления тяжелых ядер на импульсных ядерных реакторах (ИЯР). При минимальной длительности импульса ~50 мкс выход нейтронов может составлять $\sim 10^{17}$ [1, 2]. Одним из путей значительного уменьшения длительности нейтронного импульса на ИЯР является обеспечение эффективной обратной связи по реактивности. В работах [3, 4] для этой цели предложено в качестве материала активной зоны (АЗ) использовать металлический плутоний в α -фазе. Согласно данным [5] при температуре ~100-120 °С плутоний испытывает фазовое $\alpha \rightarrow \beta$ превращение с изменением плотности на ~10 %. Для АЗ, состоящей из металлического плутония в α -фазе, такое изменение плотности соответствовало бы изменению реактивности также на ~10 %. Для генерирования импульса делений длительностью $\tau \leq 10$ мкс в реакторе с временем генерации мгновенных нейтронов $\Lambda \sim 10^{-8}$ с необходимо обеспечить эффективность обратной связи $\Delta K \geq \frac{6\Lambda}{\tau} \sim 10^{-7}$

². Поэтому АЗ с эффективной обратной связью, основанной на фазовом превращении плутония, может содержать большую часть урана и меньшую часть плутония. Например, для исследований лазеров с ядерной накачкой такой источник нейтронов мог бы оказаться весьма перспективным. Возможно его применение и в задачах по исследованию радиационной стойкости радиоэлектронной аппаратуры.

Литература

1. Шабалин Е. П. Импульсные реакторы на быстрых нейтронах. М., Атомиздат, 1976, 248 с.
2. Колесов В. Ф. Аперiodические импульсные реакторы. г. Саров. Изд-во РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1999, 1032 с.
3. Леваков Б. Г., Лукин А. В., Магда Э. П. и др. Импульсные реакторы РФЯЦ-ВНИИТФ. Монография под ред. А. В. Лукина. РФЯЦ-ВНИИТФ, Снежинск, 2002, 608 с.
4. Лукин А. В., Чернухин Ю. И. Реактор с α -плутонием в активной зоне для генерирования импульсов делений микросекундной длительности. В матер. 3-й международной конференции "Проблемы лазеров с ядерной накачкой и импульсные реакторы. 16—20 сент. 2002 г., г. Снежинск". РФЯЦ-ВНИИТФ, г. Снежинск, 2003, с. 553—558.
6. Плутоний. Справочник. Под ред. О. Вика. Т. 2.// М., Атомиздат, 1973, 455 с.