

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ



Студенттер мен жас ғалымдардың
«ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ БІЛІМ - 2016» атты
XI Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XI Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ - 2016»

PROCEEDINGS
of the XI International Scientific Conference
for students and young scholars
«SCIENCE AND EDUCATION - 2016»

2016 жыл 14 сәуір
Астана

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ**

**Студенттер мен жас ғалымдардың
«Ғылым және білім - 2016»
атты XI Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XI Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«Наука и образование - 2016»**

**PROCEEDINGS
of the XI International Scientific Conference
for students and young scholars
«Science and education - 2016»**

2016 жыл 14 сәуір

Астана

ӘӨЖ 001:37(063)

КБЖ 72:74

Ғ 96

Ғ96 «Ғылым және білім – 2016» атты студенттер мен жас ғалымдардың XI Халық. ғыл. конф. = XI Межд. науч. конф. студентов и молодых ученых «Наука и образование - 2016» = The XI International Scientific Conference for students and young scholars «Science and education - 2016» . – Астана: <http://www.enu.kz/ru/nauka/nauka-i-obrazovanie/>, 2016. – б. (қазақша, орысша, ағылшынша).

ISBN 978-9965-31-764-4

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

ӘӨЖ 001:37(063)

КБЖ 72:74

ISBN 978-9965-31-764-4

©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия
ұлттық университеті, 2016

пользу фазы α – Co, что приводит к упорядочению кристаллической структуры в процессе облучения. При этом наблюдается уменьшение размеров кристаллитов (рисунок 3(II)), что также свидетельствует об изменении кристаллической структуры. В то же время происходит увеличение степени текстурирования образцов в процессе электронного облучения в текстурной плоскости (100), причем степень текстурирования с увеличением дозы облучения возрастает с 1,147 для исходного образца до 1,258 и 1,372 при дозах облучения 50 кГр и 100 кГр соответственно. Увеличение дозы облучения приводит к перестройке кристаллической структуры Co – НТ за счет снижения влияния метастабильной фазы β – Co, а также к снижению количества микронапряжений, создаваемых ГЦК фазой в кристаллической решетке.

Заключение. В данной работе было проведено исследование влияния электронного облучения на структуру и физические свойства Co-нанотрубок, полученных методом шаблонного, или как его еще называют, шаблонного синтеза с использованием трековых мембран на основе ПЭТФ. Облученные образцы были исследованы при помощи ЭДА и РСА, а также сняты их вольт-амперные характеристики. Анализ полученных результатов показал, что облучение нанотрубок на основе кобальта электронами приводит к снижению сопротивления на 16,7% при дозе облучения 50 кГр, и на 21,6% при дозе облучения 100 кГр.

Список использованных источников

1. Sarkar J., Khan G.G., Basumallick A. Nanowires. Properties, applications and synthesis via porous anodic aluminium oxide template // Bull. Mater. Sci. 2007. Vol.30. P. 271-290.
2. Dave S.R., Gao X. Monodisperse magnetic nanoparticles for biodetection, imaging, and drug delivery: a versatile and evolving technology // Wiley Interdiscip. Rev. Nanomedicine Nanobiotechnology. 2009. Vol.1. P. 583-609.
3. Liao S.H., Chen K.L., Wang C.M., Chieh J.J., Horng H.E., Wang L.M., Wu C., Yang H.C. Using Bio-Functionalized Magnetic Nanoparticles and Dynamic Nuclear Magnetic Resonance to Characterize the Time-Dependent Spin-Spin Relaxation Time for Sensitive Bio-Detection // Sensors. 2014. Vol. 14. P. 21409-21417.
4. Mitchell D.T., Lee S.B., Martin C.R. Smart Nanotubes for Bioseparations and Biocatalysis // J. AM. CHEM. SOC. 2002. Vol. 124. P. 11864-11865.
5. Yen S. K., Padmanabhan P., Selvan S. T. Multifunctional iron oxide nanoparticles for diagnostics, therapy and macromolecule delivery // Theranostics. 2013. Vol. 3. P. 986-1003.
6. Kalska-Szostko B., Orzechowska E., Wykowska U. Organophosphorous modifications of multifunctional magnetic nanowires // Colloids Surfaces B Biointerfaces. 2013. Vol. 111. P. 509-516.
7. Hua Z., Yang S., Huang H., Lv L., Lu M., Gu B., Du Y. Metal nanotubes prepared by a sol-gel method followed by a hydrogen reduction procedure // Nanotechnology. 2006. Vol. 17. P. 5106–5110.

УДК 539.534.9; 621.039.542; 621.039.54:620.18

«МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ РАДИАЦИОННОСТОЙКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ»

Г. Аралбаева*, Н. Сулейман**, А. Сейтбаев**

* докторант, ** магистрант физико-технического факультета,
ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор А.Т.Акилбеков

1. Введение. Прогноз радиационной стойкости и долговременной радиационной стабильности кандидатных материалов инертных разбавителей композитного ядерного

топлива, предполагает изучение процессов образования структурных дефектов в широком интервале ионных флюенсов, а также масс и энергий ионов. Особенный интерес при этом представляет исследование возникающих нарушений на поверхности, которая, как граница раздела, наиболее чувствительна к воздействию тяжелых заряженных частиц.

Впервые наноразмерные дефекты на поверхности радиационно-стойких диэлектриков, ассоциируемые с воздействием единичных частиц, были зарегистрированы после облучения монокристаллов Al_2O_3 фуллеренами с энергией $10 \div 30$ МэВ [1,2]. Исследование топографии поверхности методами атомно-силовой микроскопии (АСМ), показало, что образование латентных треков в объеме материала сопровождается появлением на поверхности хиллоков конической формы с диаметром у основания 42 ± 6 нм и высотой $4,5 \pm 0,5$ нм при энергии фуллеренов 30 МэВ (уровень электронного торможения $S_e = 76,2$ кэВ/нм). Предполагая, что вблизи траектории иона происходит плавление и образуется область расплавленного вещества цилиндрической формы, авторы рассматривают процесс образования хиллоков вследствие гидродинамического выдавливания расплава на поверхность. Приведенные расчеты позволяют сделать оценку для числа атомов, пересекших поверхность за время остывания расплава. Для $S_e = 50$ кэВ/нм, число атомов на поверхности составляет $n \sim 10^5$, что находится в качественном согласии с экспериментальными данными. Объем хиллока в данной модели пропорционален S_e^2 .

Первые данные по модификации поверхности тугоплавких оксидов единичными тяжелыми ионами были представлены в работах [3-4]. В работах [6,7] систематизированы результаты АСМ исследований поверхности монокристаллов Al_2O_3 и MgO , MgAl_2O_4 , SiC , облученных ионами Bi и Kr с энергиями в интервале $0,6 \div 3,5$ МэВ/нуклон. Установлено, что геометрические размеры наноразмерных структурных дефектов в виде конических хиллоков на поверхности оксидов магния и алюминия и шпинели зависят от уровня удельных ионизационных потерь энергии тяжелых ионов. При этом модификация рельефа поверхности образцов SiC , которую можно было бы ассоциировать с воздействием высокоэнергетических ионов криптона или висмута в проведенных экспериментах не обнаружена. Показано, что радиационные дефекты на поверхности монокристаллов Al_2O_3 , облученных ионами висмута с энергией 710 МэВ, регистрируются независимо от температуры мишеней в интервале $80 \div 300$ К, т.е. в условиях, когда коэффициент теплопроводности изменяется от ~ 1000 Вт/м К до ~ 30 Вт/м К. Перекрывание дефектов на поверхности сапфира наблюдается, начиная с флюенса 1×10^{11} ион/см², причем высота перекрывающихся хиллоков возрастает примерно вдвое. При флюенсе, большем 1×10^{12} ион/см², все хиллоки уже полностью перекрываются, образуя на поверхности сплошной разупорядоченный слой с повышенной нерегулярностью рельефа. Формирование такого слоя, очевидно, должно привести к снижению радиационной стойкости облучаемого материала.

По результатам электронно-микроскопических исследований микроструктуры образцов монокристаллов Al_2O_3 , облученного ионами висмута с энергией 710 МэВ обнаружено, что разупорядоченные области вокруг ионных траекторий сохраняют кристаллическую структуру при $S_e \leq 41$ кэВ/нм. Таким образом, установлено, что образование наноразмерных радиационных дефектов на поверхности Al_2O_3 не связано с процессом перехода кристаллической фазы в аморфную в треках высокоэнергетических ионов в объеме кристалла. Кроме MgAl_2O_4 , Al_2O_3 и MgO дефекты в виде хиллоков регистрировались также на поверхности ZrO_2 , $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, SiO_2 [8-10]. Однако, несмотря на то, что изменения топографии поверхности были изучены для значительного числа комбинаций ион плюс мишень, имеющейся информации пока явно недостаточно для установления общих закономерностей образования дефектов и их связи с радиационными повреждениями в объеме материалов и выработки единого механизма их формирования. Необходимо отметить, что все известные к настоящему времени экспериментальные результаты по модификации поверхности радиационно-стойких кристаллов заряженными частицами были получены на образцах, облученных обычным способом, т.е., когда пучок ионов входил в

мишень. В тоже время, учитывая, что в облучаемом ядерном топливе осколки деления выходят из материала, представляет интерес изучение процессов разупорядочения поверхности кристаллов, облученных именно таким способом. Таким образом, в качестве инновационного подхода, в настоящем исследовании предлагается исследование структурных нарушений поверхности кандидатных материалов композитного ядерного топлива, вызванных тяжелыми ионами с энергиями осколков деления в местах выхода ионов из мишени и сравнение результатов с данными, полученными после облучения в традиционной геометрии.

Эксперименты и обсуждение. Образцы MgAl_2O_4 , MgO , Al_2O_3 , TiO_2 и поликристаллов AlN , Si_3N_4 , приобретены у всемирно известной компании MTI (США). Они соответствуют всем требованиям, предъявляемым в эксперименте. Отработаны методики утонения образцов монокристаллов MgAl_2O_4 , MgO , Al_2O_3 , TiO_2 и поликристаллов AlN , Si_3N_4 до толщин, меньших, чем проективный пробег тяжелых ионов высоких энергий. Подготовлены две серии образцов – с толщиной $d_1 = 10\div 20$ микрон и $d_2 = 100$ нм – 1 микрон. Образцы первой серии приготавливались с помощью механической шлифовки по следующей схеме.

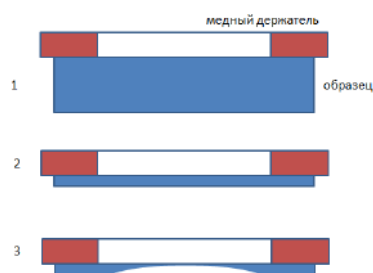


Рисунок 1 - Схема приготовления образцов. 1- исходный образец, 2 – после механической шлифовки, 3- после ионного утонения

Разрезанные алмазным диском кристаллы (2x2 или 3x1 мм) клеились эпоксидной смолой к медному держателю толщиной 30 микрон, диаметром 3 мм и внутренним диаметром 1 мм, которым является ТЕМ grid (держатель образцов для просвечивающей электронной микроскопии) и шлифовались на алмазной пасте на установке Micropol. Снимок образца, приготовленного по данной методике, схема которого дана ниже, представлен на рисунке 1).

Подготовка образцов второй серии включала в себя механическую шлифовку до толщины ~ 30 микрон и последующее утонение методом ионного травления до появления отверстия в центральной части. Ионное травление проводилось на установке IV7 UniMill.

Отработка методики приготовления образцов включала в себя определение наиболее оптимальных режимов травления, исключающих образование структурных дефектов на поверхности мишеней. На первой стадии обработки энергия ионов (Ar) составляла 8 кэВ при угле падения пучка 12 градусов. На финальной стадии энергия и угол уменьшались, соответственно, до 500 эВ и 4-х градусов, что позволяет проводить утонение в так называемом полирующем режиме.



Рисунок 2 - Образец монокристалла алюмомагниевого шпинели

(MgAl_2O_4) толщиной 20 мкм, подготовленный для облучения высокоэнергетическими тяжелыми ионами. Толщина исходного кристалла составляет 500 мкм



Рисунок 3 - ПЭМ снимок структуры монокристалла MgAl_2O_4

Толщина полученных таким образом образцов позволяет также использовать их в качестве мишеней для просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). На рисунке 3 представлен снимок высокого разрешения структуры образца MgAl_2O_4 , и картина дифракции выделенной области, демонстрирующие отсутствие структурных нарушений.

Анализ структуры образцов проводился на микроскопе JEOL-ARM200F в Центре высокоразрешающей электронной микроскопии университета Нельсона Манделы, Порт Элизабет, ЮАР.

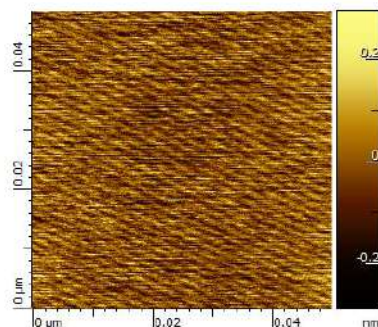


Рисунок 4 - АСМ снимок поверхности монокристалла MgAl_2O_4

Проведены тестовые измерения рельефа поверхности полученных образцов на атомно-силовых микроскопах Интегра-Спектра (ЛЯР ОИЯИ) и ЛИП (ЕНУ им Гумилева). Пример АСМ снимка поверхности исходного образца MgAl_2O_4 приведен на рисунке 4. Полученные АСМ изображения свидетельствуют о высоком качестве поверхности и возможности использования данных образцов для изучения радиационных дефектов, вызываемых единичными тяжелыми ионами.

Методом атомно-силовой микроскопии в ЛЯР ОИЯИ и ЕНУ им Гумилева проведены исследования рельефа поверхности приобретенных монокристаллов MgAl_2O_4 , Al_2O_3 , TiO_2 , и $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ в исходном состоянии, а также после облучения ионам висмута с энергий 700 МэВ до флюенса $2 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Трехмерный АСМ снимок поверхности шпинели (MgAl_2O_4) представлен на рисунок 6 (а). Рельеф поверхности характеризуется шероховатостью не выше 0,1 нм, типичной и для остальных кристаллов. Воздействие ионов Вi приводит к образованию наноразмерных дефектов – хиллоков, плотность которых соответствует флюенсу ионов - $\times 10^{10} \text{ см}^{-2}$ (рис. 5 б, в и г). Как видно из представленных данных, высота хиллоков на поверхности MgAl_2O_4 , Al_2O_3 и TiO_2 намного, как минимум превышает шероховатость исходных образцов. Это дает возможность для исследования радиационных повреждений на поверхности, вызываемых единичными тяжелыми ионами.

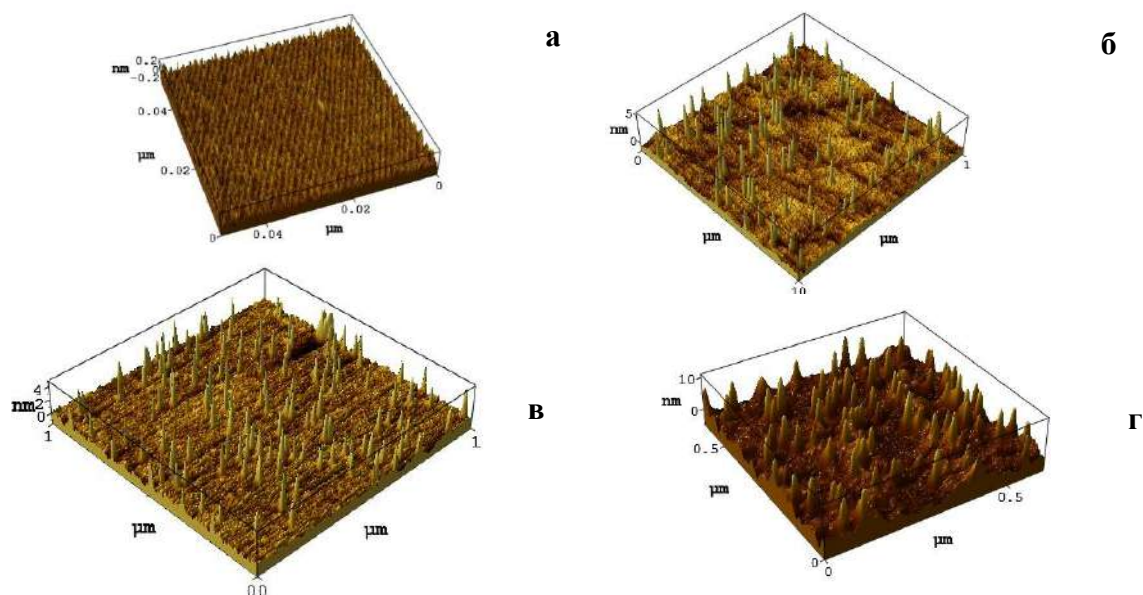


Рисунок 5 - 3D АСМ изображения поверхности монокристаллов. а - MgAl_2O_4 (необлученный), б- MgAl_2O_4 (Bi), в - Al_2O_3 (Bi), г- TiO_2 (Bi)

Наибольший эффект облучения (наибольшая высота и латеральный размер хиллоков) наблюдается на образцах TiO_2 (рис. 5 (г)). Поэтому данные монокристаллы представляются наиболее удобным материалом для исследования структурных нарушений, вызываемых тяжелыми ионами с энергиями осколков деления в точках входа и выхода из облучаемого материала.

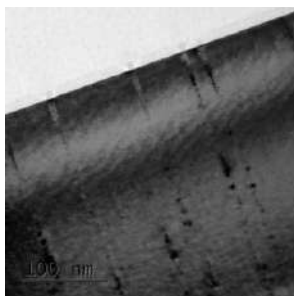


Рисунок 6 - ПЭМ снимок структуры монокристалла TiO_2 , облученных ионами Bi в геометрии “cross-section”

Отработаны технологические режимы приготовления образцов с толщиной меньше проективного пробега ионов на кристаллах MgAl_2O_4 и TiO_2 методами механической шлифовки и ионного утонения. На циклотроне DC60 проведено облучение партии приготовленных мишеней ионами ксенона с энергией 230 МэВ до флюенса $2 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

Проведены первые электронно-микроскопические исследования образцов TiO_2 , облученных ионами висмута с энергией 1 ГэВ и 700 МэВ, а также ионами ксенона с энергией 167 МэВ. Установлено, что аморфные латентные треки в приповерхностной области имеют коническую форму (рис. 6). На поверхности образцов наблюдаются дефекты, форма которых отличается от формы хиллоков, регистрируемых методами АСМ. Исследования в планарной геометрии и геометрии поперечного сечения (cross-section) проводились на микроскопе JEOL-ARM200F в Центре высокоразрешающей электронной микроскопии университета Нельсона Манделы, Порт Элизабет, ЮАР. Мишени cross-section приготавливались с помощью фокусированного ионного пучка на установке FEI Helios Nanolab 650.

На рисунке 7 приведен ПЭМ снимок трека ионов висмута с энергией 1 ГэВ в поперечной геометрии, демонстрирующий морфологию трека в приповерхностной области.

Снимок представлен вместе с СЭМ изображением поверхности облученного образца, показывающего хиллоки.

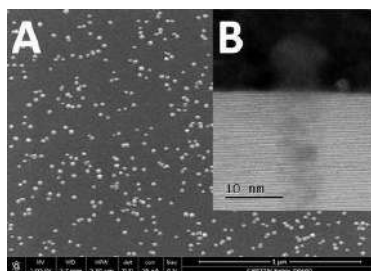


Рисунок 7 - СЭМ (А) и “cross-section” ПЭМ (В) снимки TiO_2 , облученных ионами V^{5+} с энергией 1 ГэВ

Заключение. Разработаны методики до радиационной подготовки образцов керамик и оксидов. Проведены атомно-силовые и электронно-микроскопические измерения как исходных, так и первых облученных образцов, подтверждающие высокое качество приготовленных мишеней. Получены первые электронно-микроскопические данные о морфологии треков высокоэнергетических ионов в приповерхностной области монокристаллов оксида титана.

Список использованных источников

1. Ramos S.M.M., Bonardi N., Canut B. Latent tracks in sapphire induced by 20-MeV fullerene beams // Phys. Rev. B. 1998. Vol. 57. № 1. P. 189-193.
2. Ramos S. M. M., Bonardi N., Canut B., Bouffard S., Della-Negra S. Damage creation in α - Al_2O_3 by MeV fullerene impacts // Nucl. Instr. Meth. 1998. B. 143. P. 319-332.
3. Skuratov V. A., Zagorski D. L., Efimov A. E., Kluev V. A., Toporov Yu. P., Mchedlishvili B. V. Swift heavy ion irradiation effect on the surface of sapphire single crystals // Radiation Measurements. 2001. Vol. 34/1-6. P. 571-576.
4. Скуратов В. А., Ефимов А.Е., Загорский Д.Л. Модификация поверхности Al_2O_3 высокоэнергетическими ионами висмута // ФТТ. 2002. Том. 44. Вып. 1. С. 165-169.
5. Skuratov V.A., Zinkle S.J., Efimov A.E., Havancsak K. Swift heavy ion-induced modification of Al_2O_3 and MgO surfaces // Nucl. Instr. Meth. 2003. B. 203. P. 136-140.
6. Skuratov V.A., Zinkle S.J., Efimov A.E., Havancsak K. Surface defects in Al_2O_3 and MgO irradiated with high energy heavy ions // Surface and Coating Technology. 2005. Vol. 196. № 1-3. P. 56-62.
7. Skuratov V.A., Efimov A.E., Havancsak K.. Surface modification of MgAl_2O_4 and oxides with heavy ions of fission fragments energy // Nucl. Instr. Meth. B. 2006. Vol. 250. P. 245-249.
8. S. Moll, L. Thome', G. Sattonnay, F. Garrido, L. Vincent, J. Jagielski, T. Thome'. Microstructural evolution of cubic zirconia irradiated with swift heavy ions // Vacuum. 2009. Vol. 83. P. 61-64.
9. M. Izerrouken, R. Bucher, A. Meftah and M. Maaza. XRD and AFM study of radiation damage induced by swift heavy ions in $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ single crystals // Radiation Effects & Defects in Solids. 2011. Vol. 166. № 7. P. 513-521.
10. Khalfaoui N., Rotaru C.C., Bouffard S., Jacquet E., Lebius H., Toulemonde M. Study of swift heavy ion tracks on crystalline quartz surfaces // Nucl. Instr. Meth. B. – 2003. – V. 209. – P. 165-169.