

- дых ученых, часть 1 / БрГУ имени А. С. Пушкина; науч. ред. В.В. Зданович. – Брест, 2014. – С. 46.
2. *Блинова И. А., Минакова А. Р.* Определение белизны бумаги и картона // Методические указания к лабораторным работам. Екатеринбург: УГЛТУ, 2014.
  3. *Атрашевский Ю.И., Сикорский А.В., Сикорский В.В., Стельмах Г.Ф.* Особенности отражения и рассеяния света растительным листом// Ж. прикл. спектроск., Минск, 1999.

## МИКРОСТРУКТУРА НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ZrSiN, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ КСЕНОНА

А. Д. Подобед

В связи с прогрессивным развитием ядерной энергетики, проектированием реакторов новых поколений, возрастает необходимость в синтезе новых материалов, обладающих не только высокими механическими свойствами, но и устойчивых к радиационному воздействию.

Формирование нанокристаллической структуры, наличие большой площади раздела фаз, существенно повышает радиационную стабильность микроstructures и фазового состава к различным видам радиационных воздействий (нейтроны, ионы, электроны, гамма-кванты), подавляя процессы радиационного порообразования и распухания [1].

Уникальность таких покрытий заключается в высокой объемной доле границ раздела фаз и их прочности; в отсутствии дислокаций внутри кристаллитов; взаимной нерастворимости металлических и неметаллических компонентов, входящих в состав кристаллической и межзеренной аморфных фаз соответственно [2].

Данная работа посвящена исследованию микроstructures нанокompозитного покрытия ZrSiN, облученного ионами  $\text{Xe}^{2+}$ .

Покрытие ZrSiN осаждалось на монокристаллическую подложку Si (001) методом реактивного несбалансированного магнетронного распыления [3]. Осаждение проводилось при температуре подложки 600°C и давлении в вакуумной камере не выше чем  $10^{-5}$  Па. Мишени Zr (99.2% чистоты) и Si (99.999% чистоты) совместно распылялись смешанной плазмой  $\text{Ar}+\text{N}_2$ . Для получения нанокompозитного покрытия ZrSiN мощность на Si и Zr катодах составляла 70 и 300 Вт, соответственно. Концентрация кремния в покрытии составила 7.1 ат.%, толщина – 280 нм.

Облучение ионами  $\text{Xe}^{2+}$  (с энергией ионов 360 кэВ и дозой  $5 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup>) проводилось на имплантере ионов EATON NV3206 в Институте P' Университета Пуатье (Франция).

Микроstructure покрытия исследовалась методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии (ВРПЭМ) в Центре микроскопических

исследований университета Нельсона Манделы (Южная Африка). Образцы для микроскопии приготавливались, используя установку ионного травления FEI Helios Nanolab 650. Образцы исследовались на просвечивающем электронном микроскопе JEOL JEM 2100 LaB<sub>6</sub> (200 кВ).

Результаты микроскопических исследований покрытия ZrSiN, как видно из рисунка 1а, свидетельствуют о формировании в нем нанокompозитной структуры. В работах [4, 5] показано, что в концентрационном диапазоне кремния 4–10 ат.% формируются покрытия ZrSiN со структурой нанокompозита, представляющей собой нанокристаллические зерна ZrN, окруженные аморфной прослойкой Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>.

Высокоразрешающие микроскопические исследования показывают, что структура необлученного покрытия ZrSiN представляет собой нанокристаллические зерна со средним размером 6 нм, окруженные аморфной прослойкой толщиной около 5 нм, как видно из рисунка 1б.

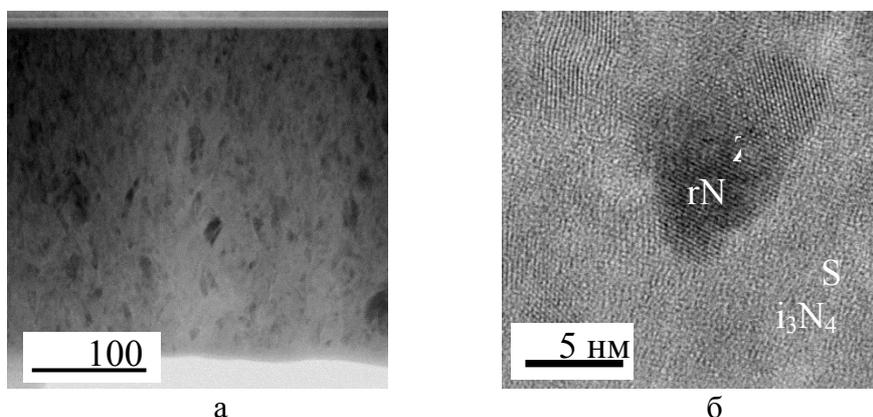


Рис. 1. ПЭМ - изображение микроструктуры поперечного сечения (а); ВРПЭМ – изображение наноструктуры покрытия ZrSiN (б)

Как уже отмечалось, особый интерес вызывает исследование влияния облучения ионами ксенона на структуру покрытий ZrSiN. Анализ литературы показывает, что воздействие высокоэнергетическими ионами на тонкопленочные покрытия может приводить к возникновению различного рода разрушающих дефектов: вакансий, дислокаций, может вызвать частичное перемешивание покрытий с подложкой [6]. Однако может вызывать и упрочнение материалов, которое происходит за счет образования мелкодисперсных фаз вследствие искажения решетки в результате образования радиационных дефектов и возникновения внутренних напряжений. На рисунке 2 представлены ПЭМ и ВРПЭМ микрофотографии поперечного сечения покрытия ZrSiN после облучения ионами Хе<sup>2+</sup> с дозой  $5 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup>. Обнаружено, что облучение ионами ксенона приводит к изменению микроструктуры покрытия по глубине.

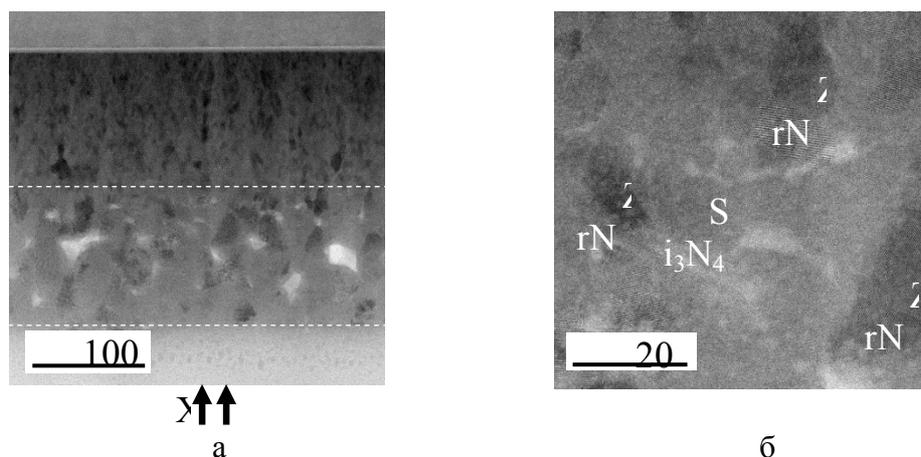


Рис. 2. ПЭМ - изображение микроструктуры поперечного сечения (а); ВРПЭМ – изображение наноструктуры покрытия ZrSiN(б), облучённого ионами ксенона  $\text{Xe}^{2+}$

Анализ рисунка 2а выявил, что микроструктуру поперечного сечения покрытия ZrSiN можно разделить на 3 зоны. Первая зона (I) у поверхности толщиной 52 нм представляет собой однородную структуру, согласно расчетам SRIM [7] эта область соответствует максимальным ионизационным потерям ионов Xe  $dE/dx$  (в среднем 4.6 кэВ/нм). В данной области происходит формирование мелких (около 1-2 нм) газовакансионных областей, предположительно, заключающих в себе Xe. Об этом говорит уменьшение плотности данного слоя (данный слой светлее других). Согласно [8], формирование данных пузырей происходит в результате образования в каскаде ионов Xe вакансий, которые являются центрами зарождения пузырей Xe.

Далее зона II толщиной 124 нм соответствует максимуму пробега ионов Xe, согласно SRIM(согласно расчетам SRIM пробег ионов Xe составляет 82 нм). В этой области наблюдаются большие светлые участки, свидетельствующие о возможном формировании областей с высокой концентрацией ксенона.

Последний слой у подложки толщиной 120 нм соответствует необлученной области. Стоит отметить, что поперечный размер кристаллических зерен в области II превышает значения для необлученной области (III).

Данные, полученные из высокоразрешающей микроскопии (рис. 2б) показывают высокую концентрацию пор в аморфной прослойке.

Таким образом, облучение ионами Xe приводит к изменению микроструктуры нанокompозитного покрытия по глубине (от образования пузырей ксенона до изменения размера зерен). Выявлено, что именно аморфная прослойка является эффективным стоком радиационных дефектов.

### Литература:

1. Кортаев А.Д., Мошков В.Ю., Овчинников С.В., Пинжин Ю.П., Савостиков В.М., Тюменцев А.Н. Наноструктурные и нанокompозитные сверхтвердые покрытия. // Физическая мезомеханика – 2005 – 8 5– с.103–116.
2. Yu-Wei Lin, Jia-Hong Huang, Ge-Ping Yu. Effect of nitrogen flow rate on nanostructured TiZrN thin films produced by radio frequency magnetron sputtering // Thin Solid Films. 2010.– № 518. – P. 7308–7311.
3. Андриевский Р.А. Наноструктуры в экстремальных условиях. // Успехи физических наук. –2014. –Т. 184, № 10. – С. 7–8.
4. Pogrebnyak A.D. Nanocomposite and Combined Coatings on Ti-Si-N/WC-Co-Cr/Steel and Ti-Si-N/(Cr3C2)75-(NiCr)25 Base: Their Structure and Properties // 34th International
5. Veprek S, Reiprich S. A concept for the design of novel superhard coatings. // Thin Solid Films – 1995 – 268 – p.64–71.Conference on Advanced Ceramics & Composites (ICACC)
6. Андриевский Р.А. Влияние облучения на свойства наноматериалов // Физика металлов и металловедение. –2010. –Т. 110, № 3. –С. 243–254.
7. SRIM-2013: <http://www.srim.org>.
8. Палатник Л.С., Черемской П.Г., Фукс М.Я./Поры в пленках. М.:Энергоиздат,1982. 216с., ил.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В БИОЛОГИЧЕСКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ

Т. К. Пыжик, А. А. Денисов

В живой системе поступающая через рецепторы информация представляет собой как определенные сенсорные стимулы, так и шум. Обе составляющие оказывают влияние на состояние нейронов и синапсов в коре головного мозга. Внутриклеточные записи от активных животных показывают значительный уровень постоянной активности, который поддерживает мембранный потенциал корковых нейронов в зашумленном и деполяризованном состоянии [1]. С другой стороны, доступность энергии ограничивает максимально возможный размер мозга, а также количество синаптических контактов и их силу, выбирая наиболее метаболически эффективные схемы соединений [2].

Соотношение между сигналами, передаваемыми через возбуждающие и тормозящие синапсы, определяет динамику спайков нейронных сетей, а серьезный дисбаланс может приводить к невропатологиям [3]. Сбалансированное состояние достигается при условии, что средний возбуждающий синаптический вход по величине равен среднему тормозному. Этот баланс между возбуждением и торможением, наблюдаемый в сенсорной коре *in vivo*, генерирует чистый синаптический вход, для которо-