

Цель работы – исследование влияния напряжения смещения на стальной подложке при магнетронном нанесении на морфологию износостойких покрытий ZrN.

Износостойкое покрытие ZrN толщиной 3 мкм наносили методом магнетронного распыления на полированные подложки диаметром 32 мм из стали Р6М5. Концентрация рабочего газа в камере  $N_2 = 4,65 \text{ мг/м}^3$ . Перед нанесением покрытия на стальную подложку в качестве адгезионного слоя наносился тонкий слой Zr ( $\sim 0,25 \text{ мкм}$ ) –10 В в течение 1,5 мин. Исследования морфологии покрытий проводили на атомно-силовом микроскопе Dimension FastScan (Bruker, США) в режиме PeakForce Tapping QNM с использованием стандартных кремниевых кантилеверов типа MPP-12120-10 (Bruker, США) с радиусом закругления острия 42 нм, жесткость консоли 6,2 Н/м.

В образце, полученном при напряжении смещения на подложке –10 В, размер зерен составил  $100 \pm 31 \text{ нм}$  (рис. 1, а). Повышение напряжения смещения на подложке до –50 В (рис. 1, б) обеспечило значительный приток ионов Zr на подложку и послужило образованию цепочек из зерен размером  $173 \pm 49 \text{ нм}$ . Увеличение напряжения смещения до –100 В (рис. 1, в) привело к изменению структуры по сравнению с образцами при –10 В и –50 В и снижения шероховатости поверхности из-за образования дополнительных центров кристаллизации. Средний размер зерен в покрытии, полученном при –100 В, составил  $81 \pm 17 \text{ нм}$ . Шероховатость поверхности на полях размером  $10 \times 10 \text{ мкм}$  при увеличении напряжения смещения от –10 В до –100 В уменьшается от 18,7 до 3,9 нм, а на полях размером  $5 \times 5 \text{ мкм}$  снижается от 6,2 до 2,5 нм.

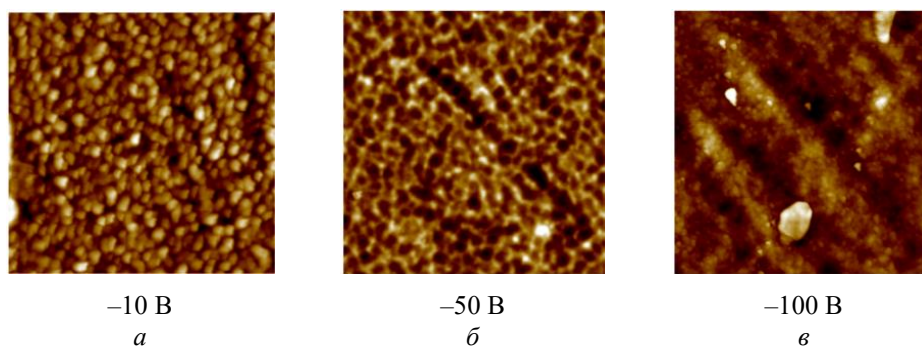


Рис. 1. АСМ-изображения морфологии поверхности покрытий ZrN при различном напряжении смещения ( $5 \times 5 \text{ мкм}$ )

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке грантов БРФФИ № T21MC-029 и T22M-006.

#### Литература

1. Мигранов, М. Ш. Износостойкость покрытий для режущего инструмента / М. Ш. Мигранов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – С. 1134–1135.
2. Effect of Si addition on the microstructure, mechanical properties and tribological properties of Zr–Si–N nanocomposite coatings deposited by a hybrid coating system / H. Choia [et al.] // Surf. Coat. Technol. – 2014. – Vol. 259. – P. 707–713.
3. Surface microstructure of Mo(C)N coatings investigated by AFM / T. Kuznetsova [et al.] // J. Mater. Eng. Perform. – 2016. – Vol. 25. – P. 5450–5459.

УДК 621.541

### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА ГАЛОИДНЫХ ПЕРОВСКИТНЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ

Студент гр. 11310122 Шафранский Т. А.

Ст. преподаватель Люцко К. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящее время на фоне подавляющего большинства диэлектриков выгодно отличаются такие материалы, как галоидные перовскиты. В связи с актуальностью использования данных материалов в микро- и нанoeлектронике в данной работе нами был произведен литературный обзор наиболее актуальных методов синтеза галоидных перовскитных нанокристаллов высокого качества, с перспективой контроля объема, оптических и электрических свойств.

В современном технологическом процессе используют две фундаментальные ветви: «Top-down» и «Bottom-up». На данный момент преобладающим методом синтеза галоидных перовскитных квантовых точек считается технология «bottom-up», так как сочетаются условная легкость синтеза и возможность изменения масштаба процесса, что невозможно для технологии «top-down». Из всех доступных методов синтеза по технологии «Bottom-up» можно выделить два основных это: «Hot-injection» и «Ligand-assisted reprecipitation».

В качестве первого метода рассмотрим «Hot-injection». В специальной химической колбе при температуре нуклеации нанокристаллов протекает стремительное соединение двух компонентов – источников ионов предстоящего бинарного соединения А и В. Последующая нуклеация нанокристаллов угнетается за счет уменьшения температуры вплоть до температуры роста. Плоскость частиц стабилизируется вступающими в состав реакции поверхностно-активными элементами, формирующими препятствие с целью агрегации частиц. Этот способ позволяет производить нанокристаллы с узким распределением по масштабам. В 2015 году был применен метод «Hot-injection» для синтеза перовскитных нанокристаллов CsPbX<sub>3</sub>. Препаратами выступали олеат цезия и соль свинца. Препарат цезия производился нагреванием карбоната цезия при 147 °С в специальной среде, вплоть до абсолютного растворения соли. Препарат галогенида свинца производился нагревом соли PbX<sub>2</sub> в определенной среде, с добавлением олеиновой кислоты и олеиламина. В произведенный раствор при 160 °С проводилась инъекция источника цезия. Образование нанокристаллов протекает через несколько секунд после инъекции. Данный метод не исключает недостатки, такие как высокая температура синтеза, а также потребность использования инертной атмосферы [1].

Вторым методом является «Ligand-assisted reprecipitation». Основой последнего является процесс перекристаллизации. Она выполняется путем растворения начальных элементов в растворителе. Перенасыщение может быть достигнуто изменением температуры (нагрев или охлаждение). При таких условиях осуществляется процесс перекристаллизации, пока не произойдет переход в состояние равновесия системы. В случае если процесс перекристаллизации осуществлять вместе с лигандами, появляется возможность контролировать рост кристаллов близких к наноразмерам, позволяя реализовать синтез коллоидных квантовых точек. Следует выделить, что рост кристаллов в этом способе происходит без участия инертной атмосферы [2].

В заключение стоит отметить, что для промышленного производства галоидных перовскитных нанокристаллов следует отдать предпочтение методу «Ligand-assisted reprecipitation».

#### Литература

1. Development of flow reactor for the synthesis of semiconductor and metal nanoparticles / O. A. Aleksandrova [et al.] // Университетский научный журнал. – 2015. – № 15. – С. 13–21.
2. Brightly luminescent and color-tunable formamidinium lead halide perovskite FAPbX<sub>3</sub> (X= Cl, Br, I) colloidal nanocrystals / I. Levchuk [et al.] // Nano letters. – 2017. – Vol. 17, № 5. – P. 2765–2770.