

высокой добротности, меньшей занимаемой площади и более чем двух октавном отношении частоты второй моды к первой [2].

В основе построения фильтра лежит следующий принцип. Резонаторы в фильтре попарно имеют разную ширину проводников, поэтому при общей центральной частоте частота второй моды будет отличаться, что приведет к «развалу» паразитной полосы пропускания.

Был спроектирован четырехзвенный фильтр на основе двухпроводниковых резонаторов. Его модель представлена на рис. 1. Данный фильтр обладает потерями не более 1 дБ в полосе пропускания 10 % относительно центральной частоты и обеспечивает уровень загораживания по уровню минус 65 дБ вплоть до 5 гармоники.

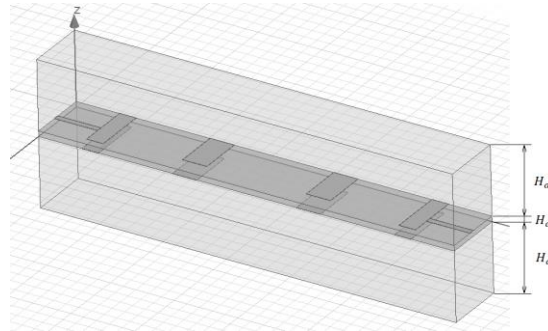


Рис. 1. 3D-модель фильтра в Ansys HFSS: H_a – высота экрана; H_d – толщина подложки

Методика проектирования фильтров n -го порядка с расширенной полосой загораживания:

1. Спроектировать двухпроводниковый резонатор на подвешенной подложке, настроенный на требуемую центральную частоту.
2. Спроектировать $\frac{n}{2} - 1$ (n – порядок фильтра) резонаторов, настроенных на ту же центральную частоту, но с большим отношением частоты второй моды к первой.
3. Объединить резонаторы в фильтр (причем от входа к центру фильтра ширина резонаторов увеличивается, как и расстояние между резонаторами).
4. Подбирая расстояние между резонаторами, согласовать фильтр.

Литература

1. Полосно-пропускающий фильтр: патент РФ 2237320 / Б. А. Беляев, А. А. Лексиков, В. В. Тюрнев, А. В. Казаков. – Оpubл. 27.09.2004.
2. Угрюмов, А. В. Полосковые резонаторы на подвешенной подложке и частотно-селективные устройства на их основе / А. В. Угрюмов, А. А. Лексиков. – Красноярск, 2020. – 125 с.

УДК 620.186.82

НАПРЯЖЕНИЕ СМЕЩЕНИЯ НА ПОДЛОЖКЕ КАК СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ ZrN

Аспирант Хабарова А. В.^{1,2}

Кандидат техн. наук Лапицкая В. А.^{1,2}, кандидат техн. наук, доцент Кузнецова Т. А.^{1,2}, д-р техн. наук, профессор Чижик С. А.^{1,2}

¹Белорусский национальный технический университет,

²Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Повышение работоспособности режущих инструментов за счет увеличения их стойкости, надежности и производительности является одним из главных факторов повышения эффективности их эксплуатации [1]. Направленное изменение свойств покрытий путем варьирования их составом, структурой и строением позволяет существенно изменять контактные характеристики процесса резания. Покрытие ZrN имеет высокие механические свойства в условиях, требующих более высокой термической стойкости по сравнению с TiN, CrN и MoN покрытиями. Характеризуется высокой твердостью, хорошей химической стабильностью и биосовместимостью [2, 3].

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.

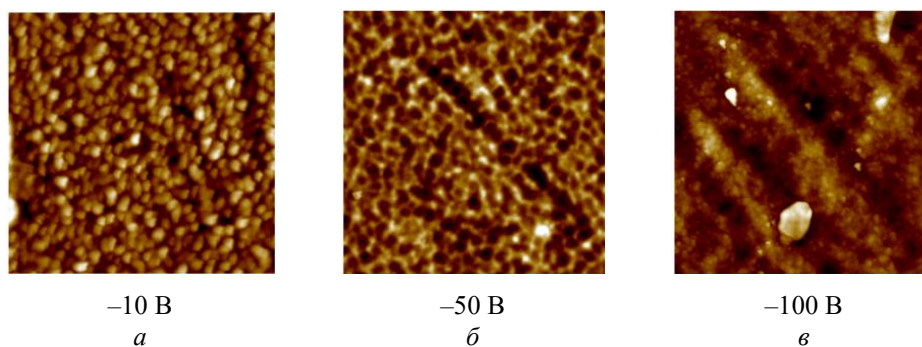


Рис. 1. АСМ-изображения морфологии поверхности покрытий ZrN при различном напряжении смещения ($5 \times 5 \text{ мкм}$)

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.