

тера, запускать и останавливать процесс, изменять режимы системы, сравнивать между собой экспериментальные данные. За счет автоматизации технологического процесса и удобных средств отладки, достигаются прогнозируемые результаты экспериментов и значительно повышается выход годных.

ЛИТЕРАТУРА

1 Авербух, В.М. Шестой технологический уклад и перспективы России (краткий обзор)/ В.М. Авербух // Вестник Ставропольского государственного университета. – 2010. – Т.70. – С. 159 – 166.

2 Nanosized metal and anodic oxide films with improved optical features for displays and photonic devices / A. Smirnov, A. Stsiapanau, A. Mohammed, Y. Mukha, A. Hadi, M. Dohah, // Physics, Chemistry and Application of Nanostructures, World Press, Singapore, 2011, P. 519-522.

3 Степанов, А.А. Структура, морфология и электрофизические свойства прозрачных наносетчатых пленок алюминия / А.А. Степанов, А.Г. Смирнов // Доклады БГУИР. – 2012. - Т.5 (67), - с. 21–27.

УДК 621.357.7

С.С. Перевозников¹; С.К. Позняк¹, канд. хим. наук;
Л.С. Цыбульская¹, канд. хим. наук;
Т.В. Гаевская¹, доц., канд. хим. наук
С.С. Грабчиков², докт. физ.-мат. наук
(¹НИИ ФХП БГУ, г. Минск;

²НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, г. Минск)

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ ВИСМУТ/МЕДЬ И ИЗУЧЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ РАДИАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Применение защитных экранов, наносимых на отдельные элементы электронной аппаратуры, является одним из наиболее перспективных направлений при разработке радиационно-стойких полупроводниковых приборов [1, 2]. В качестве материала таких экранов могут быть использованы покрытия из тяжелых металлов, эффективно поглощающих высокоэнергетические излучения. Ранее было показано, что многослойные покрытия, состоящие из тяжелых металлов с разным атомным весом, могут обладать более эффективным экранирующим действием для высокоэнергетического рентгеновского излучения по сравнению с однослойными покрытиями [3]. В связи с этим в настоящей работе были получены покрытия, состоящие из чередующихся слоев висмута и меди, и исследованы их защитные свойства от высокоэнергетических электронов.

Исходя из анализа литературных данных, реализация процесса осаждения многослойных покрытий висмут/медь непосредственно из одной ванны только за счет варьирования параметров электроосаждения, является весьма трудной задачей из-за близости стандартных редокс потенциалов электродных систем Bi/Bi^{3+} (0,2-0,25 В) и Cu/Cu^{2+} (0,34 В). В действительности, как показали результаты вольтамперометрических измерений различие в потенциалах начала осаждения висмута на медь и меди на висмут составляет приблизительно 100 мВ, что не позволяет разделить эти процессы при одновременном присутствии ионов висмута и меди в ванне осаждения без использования дополнительных комплексообразующих агентов.

В связи с этим нами была разработана технология электрохимического нанесения многослойных покрытий висмут/медь из отдельных ванн со скоростными электролитами висмутирования и меднения, соответственно. Многослойные покрытия Bi/Cu были получены при попеременном электрохимическом осаждении слоев висмута и меди разной толщины из двух ванн – висмутирования ($0,174 \text{ M Bi}(\text{ClO}_4)_3 + 3 \text{ M HClO}_4$) и меднения ($0,5 \text{ M Cu}(\text{ClO}_4)_2 + 1 \text{ M HClO}_4$).

На рисунке 1 (вверху) приведены электронномикроскопические изображения поперечного среза многослойных покрытий Bi/Cu (суммарная толщина 70 мкм), электрохимически осажденных на медную подложку.

Видно, что при использовании вышеуказанных электролитов висмутирования и меднения могут быть получены многослойные покрытия с четко различающимися слоями висмута и меди. Электронномикроскопические данные подтверждаются результатами энергодисперсионного анализа поперечных срезов многослойных покрытий, которые приведены на рисунке 1 (внизу).

На рентгенограммах образцов многослойных покрытий Bi/Cu наблюдаются в основном дифракционные линии, соответствующие поликристаллическому висмуту в том случае, если верхним слоем является слой висмута (рис. 2б). Это свидетельствует об эффективном экранировании рентгеновского излучения покрытиями из висмута.

Следует отметить, что жесткая текстура роста, характерная для толстых покрытий из висмута, осажденных из перхлоратного электролита, выражена существенно слабее для многослойных покрытий Bi/Cu , что, по-видимому, связано с меньшим размером кристаллитов Bi и с их большей разупорядоченностью в многослойных покрытиях.

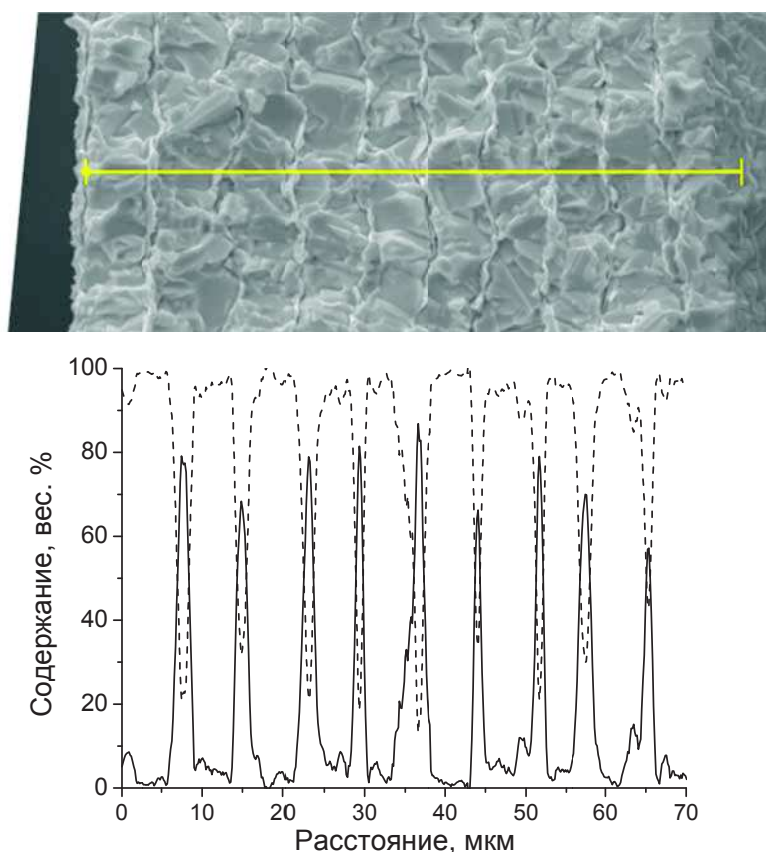


Рисунок 1 – СЭМ изображение поперечного среза (вверху) и распределение интенсивности характеристического рентгеновского излучения висмута (пунктирная линия) и меди (сплошная линия) вдоль линии (внизу), пересекающей поперечный срез многослойного покрытия Bi/Cu, электрохимически осажденного попеременно из электролитов висмутирования и меднения

Испытания радиационных экранов на основе многослойных покрытий висмут-медь суммарной толщиной 360 мкм на эффективность защиты от электронного излучения проводили на линейном ускорителе ЭЛУ-4 с энергией электронов 4 МэВ (плотность потока электронов составляла $5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, флюенс электронов – 10^{16} см^{-2}). Для биполярных структур регистрация дозы прошедших экраны электронов и тормозного излучения проводилась по оценке концентрации вторичных радиационных дефектов, введенных в базовую p -область диодных n^+p -структур, изготовленных на кремнии КДБ-4,5. При этом считалось, что количество образовавшихся дефектов пропорционально полученной дозе облучения. Концентрации двух типов радиационных дефектов: комплекса междоузельный углерод – междоузельный кислород (C_iO_i) и дивакансии (V_2) определялись методом DLTS (Deep Level Transient Spectroscopy).

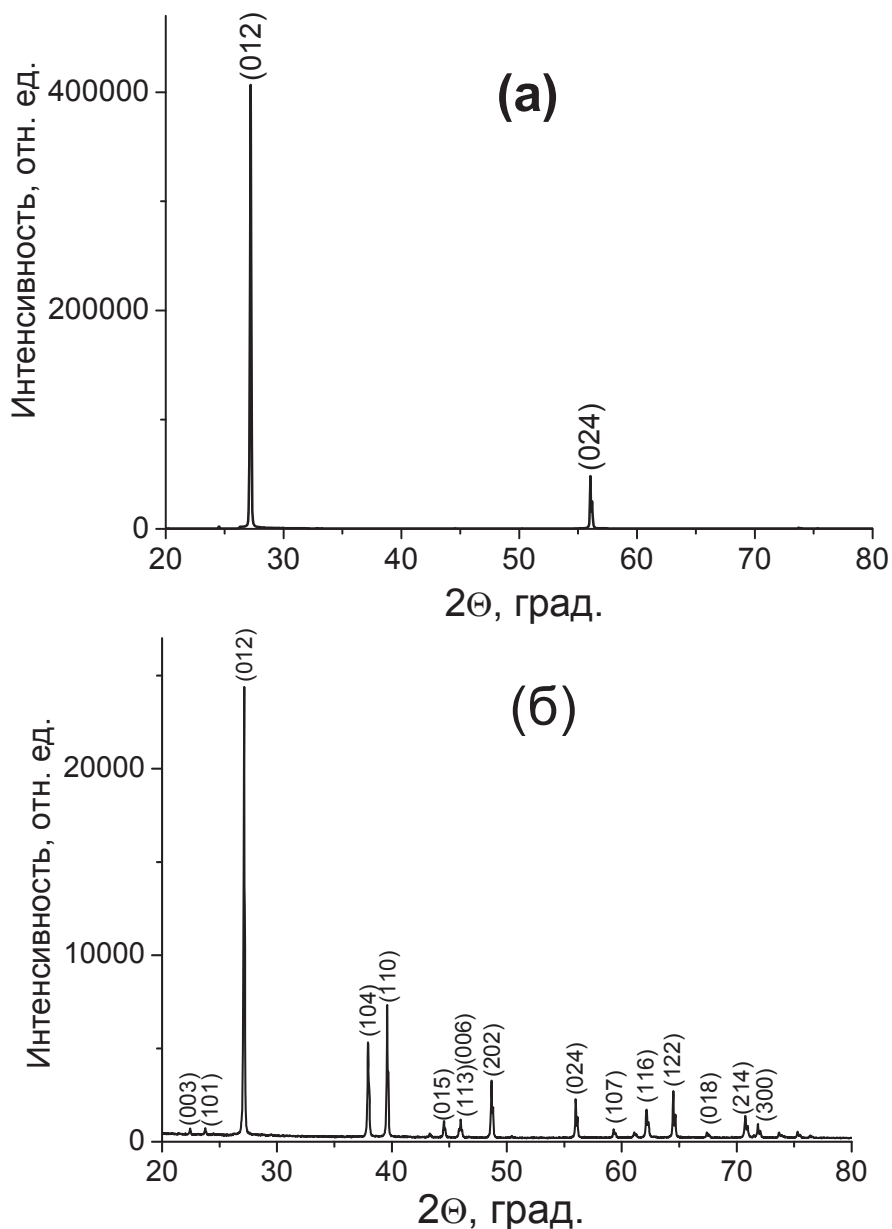


Рисунок 2– Рентгенограммы однослойного Вi покрытия (а) и многослойного покрытия Вi/Cu (б), электрохимически осажденных на медную подложку; толщина покрытий - 70 мкм

Эффективность экранирования n^+p -структур (Кэ) оценивали из выражения: $Kэ = D/D_0$, где D – доза облучения, полученная объектом за экраном, D_0 – доза, требуемая для введения такой же концентрации данного типа дефекта без экрана.

Характеристика приготовленных образцов и результаты их испытаний в качестве экранов для защиты от электронного излучения приведены в таблице.

Таблица – Образцы многослойных покрытий Вi/Cu и результаты их испытаний по экранированию высокоэнергетических электронов

| Суммарное количество слоев Вi и Cu | Толщина каждого слоя, мкм | Приведенная масса экрана, г/см ² | Кэ _{СiO_i} | Кэ _{V₂} |
|------------------------------------|---------------------------|---|-------------------------------|-----------------------------|
| 2 | Вi – 300, Cu – 60 | 0,348 | 90 | 82 |
| 12 | Вi – 50, Cu – 10 | 0,348 | 85 | 78 |
| 20 | Вi – 30, Cu – 6 | 0,348 | 90 | 80 |
| 30 | Вi – 20, Cu – 4 | 0,348 | 86 | 88 |
| 40 | Вi – 15, Cu – 3 | 0,348 | 91 | 76 |
| 60 | Вi – 10, Cu – 2 | 0,348 | 87 | 91 |

Испытания показали, что увеличение количества слоев висмута и меди (при сохранении как общей толщины покрытия (360 мкм), так и суммарных толщин висмута (300 мкм) и меди (60 мкм) в каждом покрытии) не оказывает заметного влияния на эффективности экранирования электронов, рассчитанные как по концентрациям дефектов С_iО_i-типа, так и V₂-типа.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Кулаков, В.М. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники [Текст] / В. М. Кулаков [и др.] – М.: Сов. радио, 1980. – 224 с.
- 2 Ладыгин, Е.А. Обеспечение надежности электронных компонентов космических аппаратов / Е.А. Ладыгин – М.: МИСиС, 2003. – 111 с.
- 3 Spratt, J.P. Effectiveness of IC shielded packages against space radiation [Text] / J.P. Spratt [et al.] // IEEE Trans. Nucl. Sci. – 1997. – V. 44. – P. 2018-2025.

УДК 621.357.7

В.С. Шендюков; Л.С. Цыбульская, канд. хим. наук
(НИИ физико-химических проблем БГУ, г. Минск)

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТА И ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ Ni–Fe

Решение проблемы создания новых и совершенствования известных материалов в виде функциональных покрытий является актуальной задачей в ускорении научно-технического прогресса. Большой интерес представляют покрытия на основе металлов подгруппы железа. Так, например, покрытия Ni–Fe обладают ценными магнитными