

# РАДИАЦИОННЫЕ ЭКРАНЫ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТА СИСТЕМЫ W-Cu И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Д. И. Чушкова, С. С. Грабчиков, С. Б. Ластовский, А. В. Труханов

ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Минск, Беларусь;  
dashachushkova@gmail.com

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных задач, стоящих перед разработчиками авиационной и ракетно-космической техники, является обеспечение высоких показателей эксплуатационной надежности приборов и аппаратуры в условиях повышенного уровня радиационных воздействий различного типа [1–5].

В настоящее время проблема повышения радиационной стойкости решается несколькими путями: технологический (применение специализированных технологических процессов и материалов при изготовлении бортовой аппаратуры и интегральных микросхем) [1, 2], конструкционный – специальные корпуса, методы локальной защиты [2], схемотехнический – методы мажоритирования и др. [1] и методика моделирования радиационных дефектов на стадии проектирования интегральных микросхем [6].

## СИНТЕЗ ОБРАЗЦОВ И ИХ СТРУКТУРА

Экраны на основе композита системы W–Cu изготавливали методом твердофазного синтеза. Из рисунка 1 отчетливо видно, что основной фазой композита системы W–Cu является вольфрам в виде конгломератов и образований зеренной формы размером 2–15 мкм (рис. 1а), а медь выполняет функцию матрицы растворителя.

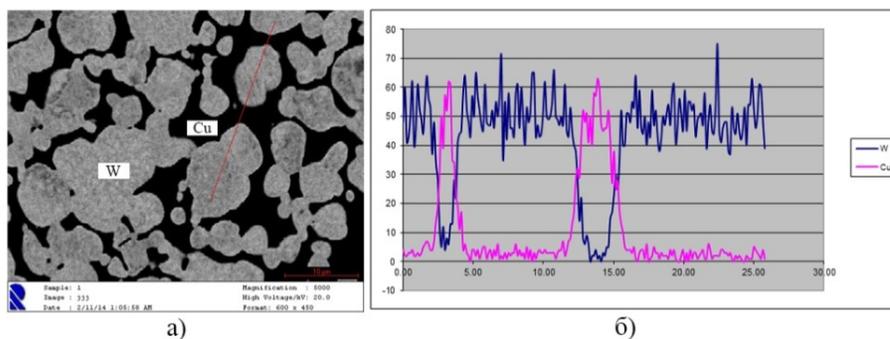
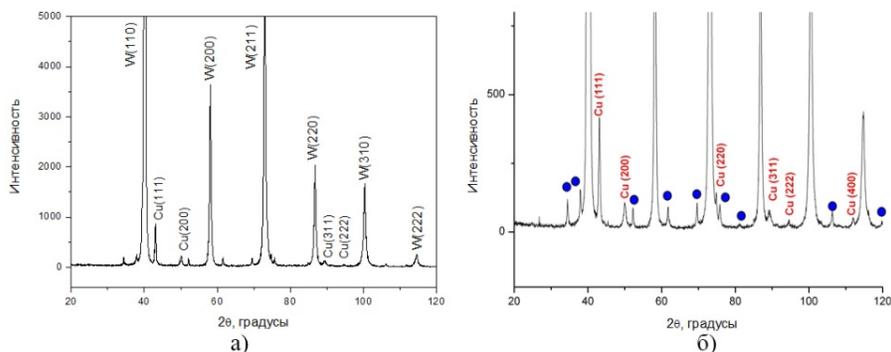


Рисунок 1. – РЭМ изображение композита W–Cu (а) и соответствующее распределение элементного состава вдоль линии сканирования (б)

Элементный состав композита на основе системы W–Cu, согласно данным микроанализа, соответствует: W – 77,5 ат.%, Cu – 22,5 ат.% (W – 91,1 вес.%, Cu – 9,2 вес.%). Как видно из данных рентгеноструктурного анализа, приведенных на рисунке 2а, основные линии спектра композита системы W–Cu соответствуют объемноцентрированной кубической (ОЦК) фазе вольфрама и гранецентрированной куби-

ческой (ГЦК) фазе меди. Параметр решетки ( $a$ ) для ОЦК структуры вольфрама составил  $0,3176 \pm 0,0003$  нм (эталонное значение  $0,3160$  нм), для ГЦК структуры меди –  $0,3632 \pm 0,0003$  нм (эталонное значение  $0,3615$  нм).

На рисунке 2б представлены рентгеновские спектры композита W–Cu в различных масштабах. Отчетливо видно, что основной фазой является вольфрам, также присутствует фаза меди. Угловые положения рефлексов меди смещены в область меньших углов дифракции, что может быть связано с образованием твердого раствора. Для рефлексов вольфрама смещения не наблюдаются. Обнаружено небольшое количество третьей фазы неизвестного соединения – отмечено кружками. Ввиду малой интенсивности рефлексов этой фазы можно предположить, что поверхностная фаза, связанная с процессами окисления.



**Рисунок 2. – Рентгеновский спектр композита системы W–Cu (а) и спектр с более высоким разрешением режимов съемки (б)**

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЭКРАНОВ

Результаты испытаний защищенных и незащищенных экранами в виде пластин композита W–Cu для  $n$ -МОП транзисторов при воздействии электронов с энергией  $1,8$  МэВ в пассивном электрическом режиме представлены на рисунке 3а. Для всех защищенных экранами  $n$ -МОПТ наблюдается монотонный рост  $\Delta U$  во всем исследуемом диапазоне флюенсов электронного облучения. Здесь значения  $\Delta U$ , соответствующие одинаковым значениям незащищенных образцов, достигаются при больших на два порядка флюенсах облучения. Результаты испытаний защищенных и незащищенных экранами в виде пластин композита W–Cu для  $p$ -МОПТ при воздействии электронов с  $E = 1,8$  МэВ в пассивном электрическом режиме представлены на рисунке 3б. Использование защитных экранов для  $p$ -МОПТ в сто и более раз снижает скорость деградации приборных параметров при облучении электронами.

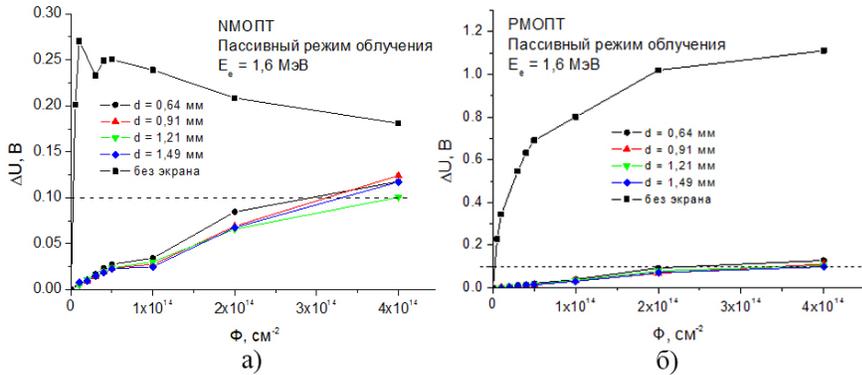


Рисунок 3. – Зависимости изменения напряжения  $n$ - (а) и  $p$ -МОПТ (б) от флюенса электронного облучения  $\Phi$  при облучении с экранами и без

Значения коэффициента экранирования  $K_3$  тестовых структур определяли из соотношения:

$$K_3 = D_{\pi} / D_{\pi 0},$$

где  $D_{\pi}$  – доза параметрического отказа тестовой приборной структуры в защитном экране;  $D_{\pi 0}$  – доза параметрического отказа тестовой приборной структуры без экрана.

где  $D_{\pi}$  – доза параметрического отказа тестовой приборной структуры в защитном экране;  $D_{\pi 0}$  – доза параметрического отказа тестовой приборной структуры без экрана.

В данном случае параметрический отказ фиксируем при изменении напряжения  $\Delta U = 0,1$  В. Основные результаты по эффективности защиты экранами из композита W–Cu различной толщины при облучении тестовых  $n$ -МОП и  $p$ -МОП транзисторов электронами с  $E = 1,6–1,8$  МэВ и дозами до  $4 \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup> представлены в таблице.

Таблица

Эффективность экранирования МОПТ экранами из композита W–Cu различной толщины при облучении электронами с  $E=1,6–1,8$  МэВ и дозами до  $4 \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup>

№ п/п	Толщина экрана $d$ , мм	Эффективность экранирования $K_3$	
		$n$ -МОПТ	$p$ -МОПТ
1	0,64	123	96
2	0,91	130	130,8
3	1,21	165	142,3
4	1,49	140	155,8

Анализ полученных данных показывает, что чрезмерное наращивание толщины экранов W–Cu не дает явного выигрыша в радиационно-защитных свойствах экранов. Вероятнее всего, это вызвано присутствием тормозного излучения электронов, которое обладает большей проникающей способностью. Наиболее оптимальными толщинами экранов на основе W–Cu будут значения 0,9–1,2 мм, что видно из результатов на рисунке 3.

Таким образом, выполнены исследования защитных свойств экранов на основе композита W–Cu при облучении электронами с энергией 1,6 МэВ кремниевых  $n$ - и  $p$ -канальных МОП-транзисторов (элементов КМОП ИМС типа *IN74AC04*). Установле-

но, что максимальной эффективностью экранирования ( $K_3 = 143-155$ ) для тестовых структур  $p$ -МОП транзисторов обладают экраны толщиной 1,21–1,49 мм. Показано, что оптимальными толщинами экранов  $W-Cu$ , с точки зрения массогабаритных свойств, являются значения 0,9–1,2 мм.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чумаков, А.И. Действие космической радиации на интегральные схемы / А.И. Чумаков. - М.: Радио и связь, 2004. - 320с.
2. Уланова, А.В. Особенности оценки радиационной стойкости микросхем в специализированных защитных корпусах / А.В. Уланова [и др.] // МЭС-2012: материалы конф., Москва, октябрь 2012. - ИПМ РАН. – Москва, 2012.
3. Ионизирующие излучения космического пространства и их воздействие на бортовую аппаратуру космических аппаратов. Под ред. Г.Г. Райкунова. – М.: Физматлит, 2013. – 256 с.
4. Машкович, В.П. Защита от ионизирующих излучений. Справочник. / В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева. - М.: Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.
5. Новиков, Л.С. Радиационные воздействия на материалы космических аппаратов. /Л.С. Новиков. - М. Университетская книга, 2010. – 192 с.
6. Агаханян,Т.М. Радиационные эффекты в интегральных микросхемах. / Т.М. Агаханян, Е.Р. Аствацатурьян, П.К. Скоробогатов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. – 256 с.

### ПАРАМАГНЕТИЗМ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИОННЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ СТРУКТУР ФОТОРЕЗИСТ – КРЕМНИЙ

**В. Б. Оджаев<sup>1</sup>, В. А. Карпович<sup>2</sup>, В. С. Просолович<sup>1</sup>,  
Н. М. Лапчук<sup>1</sup>, А. Н. Олешкевич<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, lapchuk@bsu.by*

<sup>2</sup>*Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем»  
Белорусского государственного университета*

Ионная имплантация фоторезиста, представляющего собой слоевую систему полимер-кремний, выгодно отличается среди прочих методов создания подобных композитов (таких, как: напыление металла на полимер, термическим разложением прекурсора, микрокапсулирование наночастиц полимером и других), поскольку эффективность проявления электрофизических, оптических и структурных свойств зависит от условий имплантации (вида ионов, энергии, дозы и плотности тока).

Целью работы было исследовать бесконтактным методом ЭПР изменение сопротивления образцов фоторезистивных нанокомпозитов в зависимости от дозы имплантации ионов фосфора и бора.

Спектры ЭПР пленок фоторезиста регистрировались на спектрометре «RadioPan SE/X-2543» с резонатором  $H_{102}$  в  $X$ -диапазоне при комнатной температуре. Максимальная мощность сверхвысокочастотного электромагнитного (СВЧ) излучения в резонаторе – 200 мВт; частота модуляции магнитного поля – 100 кГц, амплитуда – 0,1 мТл.

Для контроля добротности измерительного резонатора, настройки фазы модуляции магнитного поля и калибровки магнитной компоненты СВЧ-излучения использовался кристалл рубина, закрепленный на стенке резонатора. Чувствительность спектрометра составляла  $3 \cdot 10^{12}$  спин/мТл.