

сохраняется в процессе обжига. Ионы-хромофоры частично диффундируют в аморфизированную структуру апатита. Добавление минерализатора (НзВОз) в составы пигментов способствует улучшению окраски пигментов.

В результате проведенной работы разработаны температурно-временные параметры синтеза и установлены количественные соотношения исходных компонентов шихт, обеспечивающих формирование цветонесущих фаз, высокую термическую и коррозионную стойкость. Установлены оптимальные составы с чистотой тона 35-45%, кислотостойкостью к раствору 1 н. HCl 98,7-99,3%, рН водной вытяжки составляет 7,6–11.

Разработанные пигменты оптимальных составов показали высокую противокоррозионную стойкость к воде и к раствору NaCl в составе грунтовки ГФ 0119 при содержании его в грунтовке в 5 раз ниже стандартного пигмента. Пигменты прошли испытания в заводских условиях ОАО «Минский лакокрасочный завод»,

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карякина, М.И. Технология полимерных покрытий / М.И.Карякина, В.Н.Попцов.-М.: Химия, 1983.- 336 с.
2. Дринберг, А.С. Антикоррозионные грунтовки / А.С.Дринберг, Э.Ф. Ицко, Т.В.Калинская .-СПб.:НИПРОИНС ЛКМ и П с ОП, 2006.- 168 с.
3. Пищ, И.В. Керамические пигменты / И.В Пищ, Г. Н. Масленникова. – Минск: Вышэйшая школа, 2005. – 235 с.

УДК 544.6

И.И. Кузьмар, канд. техн. наук;  
В.К. Василец, науч. сотр., Л.К. Кушнер, ст. науч. сотр.;  
А.А. Хмыль, проф., д-р техн. наук;  
А.М. Гиро, канд. физ.-мат. наук  
БГУИР, г. Минск

### **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ СПЛАВАМИ НА ОСНОВЕ ОЛОВА В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА**

Легкоплавкие сплавы на основе олова и таких металлов как медь, золото, серебро востребованы в качестве бессвинцовых припоев в процессах сборки в приборо-, машино-, авиастроении, в производст-

ве электроаппаратуры, электронной, вычислительной и оргтехники и во многих других отраслях промышленности. Замена традиционных свинцово-оловянных покрытий на не содержащие свинца покрытия из легкоплавких сплавов толщиной от десятых долей до десяти и более микрон является актуальной задачей не только по соображениям экологической безопасности, но и в связи с проблемами энерго- и материалосбережения, поскольку обеспечивает локальное и строго дозированное нанесение материала для пайки [1]. В продолжение работы [2] было исследовано влияние нестационарных режимов электролиза на состав, структуру и свойства покрытий сплавами на основе олова. Экспериментально определены составы водных электролитов, обеспечивающие электрохимическое осаждение паяемых покрытий сплавами Sn-Ag, Sn-Cu, Sn-Bi с варьируемым соотношением металлов, а также с неметаллической дисперсной фазой – частицами ультрадисперсного алмаза (УДА) в качестве альтернативы Sn-Pb. Получены покрытия тройным сплавом Sn-Cu-Ag.

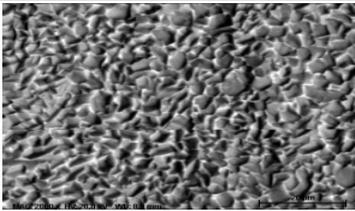
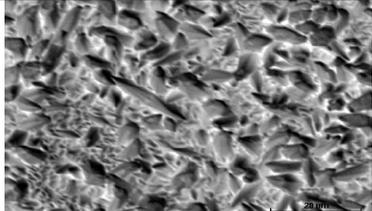
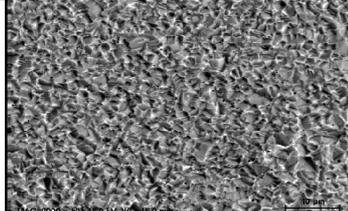
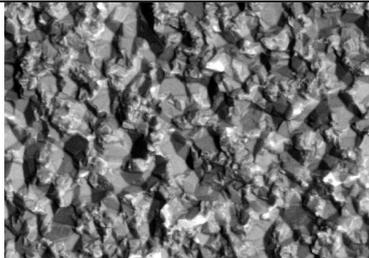
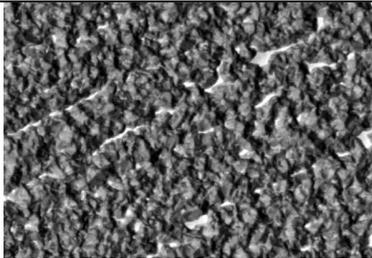
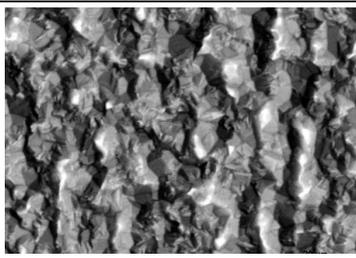
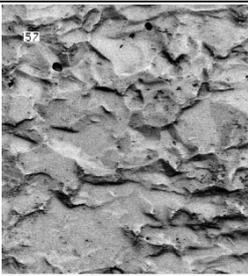
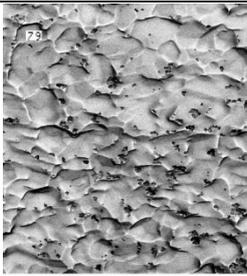
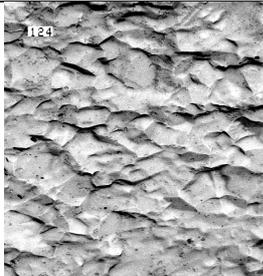
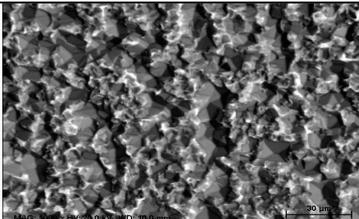
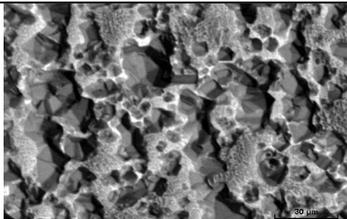
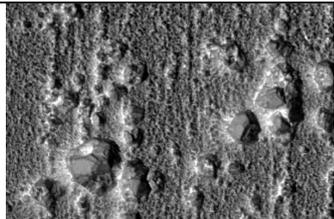
Электроосаждение проводили на высокочастотном источнике питания гальванической ванны импульсно-реверсированным током, предназначенном для формирования импульсов тока положительной и отрицательной полярности, параметры которых программно задаются с ПЭВМ. Максимальный ток нагрузки источника питания составляет 5 А, частота импульсов может задаваться от 0,1 до 1000 Гц. При исследованиях частота импульсного тока изменялась от 0,1 до 1000 Гц, амплитудная плотность тока – от 1,5 до 50 А/дм<sup>2</sup>, длительность импульса и паузы – от 2 до 7000 мс [2]. Исследование состава покрытий проводили рентгено-флуоресцентным методом на спектрометре ElvaX, микрорельефа покрытий – с помощью растрового электронного микроскопа (таблицы 1 и 2).

Установлено, что состав и свойства покрытия зависят от количественного соотношения компонентов электролита и параметров электролиза – величины плотности тока, формы и длительности импульсов и паузы (таблицы 2 и 3).

Формируемые в условиях нестационарного электролиза покрытия плотные, мелкозернистые, светло-серые. Изменение плотности тока, частоты, длительности паузы, прямого и обратного импульсов позволяет регулировать состав покрытий под пайку. С увеличением частоты импульсного тока от 1 до 1000 Гц происходит повышение количества меди в осадках от 4,67 до 9,48 мас.%, висмута - от 0,02 до 0,75 мас.%. При действии обратного импульса тока вследствие большей степени растворения олова, как более электроотрицательного компонента, увеличивается содержание легирующих компонентов в

покрытии в 2-3 раза по сравнению с постоянным током. Применение периодического тока позволяет получать качественные осадки при большей плотности тока.

**Таблица 1 -- Микрорельеф поверхности покрытий сплавами на основе олова, полученных при различных условиях электролиза**

Условия электроосаждения		
постоянный ток	импульсный ток	реверсированный ток
<i>покрытия сплавом олово-висмут</i>		
		
<i>покрытия сплавом олово-медь</i>		
		
<i>покрытия олово-УДА</i>		
 700543 20kV X3.00k 10.0um	 700520 20kV X3.00k 10.0um	 700982 20kV X3.00k 10.0um
<i>покрытия сплавом олово-серебро-медь</i>		
		

**Таблица 2 – Состав покрытий сплавами на основе олова, полученных при различных условиях электролиза**

Вид покрытия	Состав, мас. %		
	постоянный ток	импульсный ток	реверсированный ток
Sn-Bi	0,09 Bi	0,09-0,75 Bi	0,23 Bi
Sn-Cu	3,23-12,53 Cu	16,00-23,32Cu	4,21-12,90 Cu
Sn- Cu-Ag	10,08 Cu 1,33 Ag	7,29 Cu 1,14 Ag	29,89 Cu 2,90Ag
Sn-УДА	0,18 C	0,17 C	0,16 C

Электроосаждение на импульсном и реверсированном токах покрытий олово-УДА позволяет повысить микротвердость композиционных покрытий до 120-180 МПа, износостойкость - в 1,3-3,5 раз, снизить толщину беспористого покрытия без ухудшения контактного электросопротивления и смачиваемости припоем, которые практически не изменяются при длительном хранении (таблица 2).

Использование нестационарных режимов электролиза способствует улучшению защитных свойств покрытий сплавами на основе олова, снижению пористости, позволяет активно влиять на процесс старения покрытий.

**Таблица 3 – Свойства покрытий на основе олова, полученных с использованием различных режимов электроосаждения**

Режим электроосаждения	Функциональные и защитные свойства	
	коэффициент растекания припоя $K_p$ , %	контактное сопротивление $R_k$ , МОм
<i>олово-висмут</i>		
постоянный ток	85,30	1,59
импульсный ток	77,03-84,10	1,45-1,64
реверсированный ток	88,15-89,60	1,67-1,75
<i>олово-медь</i>		
постоянный ток	82,69-94,74	1,57-3,15
импульсный ток	90,50-95,20	1,41-2,01
реверсированный ток	92,03-96,01	1,33-2,08
<i>олово-УДА</i>		
постоянный ток	90,85	2,40
импульсный ток	92,19-96,34	1,58-2,23
реверсированный ток	91,99-92,45	2,26-2,56

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хмыль, А.А. Гальванические покрытия в изделиях электроники / А.А. Хмыль, В.Л. Ланин, В. А. Емельянов. Минск: Интегралполиграф, 2017. – 480 с.

2. Хмыль, А.А. Формирование бессвинцовых покрытий под пайку на основе олова / Хмыль А.А., Кушнер Л.К., Кузьмар И.И., Василец В.К. // Материалы докладов Международной научно-технической конференции «Современные электрохимические технологии и оборудование». – Минск: БГТУ, 2016. – С. 245-248.

3. Программно-управляемый источник импульсного тока с высоким выходным напряжением / А.М. Гиро, А.А. Глушков, Н.А. Влохович // Материалы докладов IV РНТС «Создание новых и совершенствование действующих технологий и оборудования нанесения гальванических и их замещающих покрытий», 4-5 декабря 2014 г., БГТУ, Минск, Беларусь. - Минск: БГТУ, 2014. – С. 37-40.

УДК 544.6

И. С. Макеева; М. В. Андрейцева;  
С. Ю. Медведева; А. С. Герасимович  
Киевский Национальный Университет Технологий и Дизайна, Украина

### **ИССЛЕДОВАНИЕ КАТОДНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ДИОКСИДА МАРГАНЦА ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА**

Электрохимический диоксид марганца (ЭДМ) широко используется в качестве катодного материала в химических источниках тока (ХИТ) различного вида и назначения. Структура диоксида марганца влияет на его электрохимическую и каталитическую активность. Наиболее активными продуктами являются те, структура которых характеризуется большим количеством дефектов, в том числе и нестехиометрические соединения  $MnO_x$  [1,2,3]. Энергия активации диффузии металлов на дефектах второго рода (поверхностные однофазовая, межфазовая и внутрифазовая диффузия по внутренним порам, трещинам и дислокациям) значительно меньше, чем энергия активации диффузии в кристалле совершенной формы или на дефектах первого рода (по вакансиям и между узлами). Поэтому, чем больше поверхность, выше дисперсность и дефектность электрохимически активного материала, тем в большей мере могут проходить поверхностные фазовые преобразования с меньшими энергетическими растратами, и тем эффективнее использование этого материала как электродного. Эф-