

Рисунок 4

УДК 621.357.7, 621.382.002

### ВЛИЯНИЕ РЕВЕРСИРОВАННОГО ТОКА НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ СПЛАВОМ ОЛОВО-ВИСМУТ

Кузьмар И.И., Бранцевич В.К., Хмыль А.А., Кушнер Л.К.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь

Одной из актуальных проблем современного приборостроения является улучшение паяемости деталей и покрытий, сохраняющей длительное время. Наибольший интерес для изделий электронной промышленности представляют покрытия сплавом олово-висмут, применение которых позволяет сократить объем использования сплава олово-свинец и улучшить экологию окружающей среды. Однако разработанные и используемые на данный момент в промышленности электролиты и применяемые условия электролиза подразумевают преодоление определенных трудностей при эксплуатации (низкая скорость осаждения, малый срок сохранения паяемости) и требуют частой смены электролита [1]. Использование нестационарных режимов электролиза перспективно для решения существующих проблем [2].

Исследовано влияние реверсированного тока на состав, структуру и функциональные свойства электрохимических покрытий сплавом олово-висмут, полученных из электролита следующего состава: сульфат олова  $\text{SnSO}_4$  - 45-55 г/л; висмут азотнокислый  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$  - 1,3-1,5 г/л; кислота серная  $\text{H}_2\text{SO}_4$  - 110-140 г/л; неонал АФ-9-10 - 2-8 г/л; добавка ЦКН-32 - 2 г/л. Температура электролита 18-22 °С.

Осаждение проводили на высокочастотном источнике питания гальванической ванны

импульсов с 1064 нм, 532 нм и 355 нм на выходе трехволнового лазерного излучателя при максимальной энергии импульсов накачки (300 мДж). По оси X отложены значения энергии импульсов  $E_w$  на входе второго кристалла LBO, значение которых изменяется от 20 мДж до 100 мДж. При этом энергия импульсов с 532 нм постоянная и равна 177 мДж.

Таким образом, с помощью поляризационного ослабителя и фазовой пластинки ФПЗ можно изменять одновременно соотношение энергии импульсов на трех длинах волн с 1064 нм, 532 нм и 355 нм.

1. Дмитриев, В.Г. Прикладная нелинейная оптика / В.Г. Дмитриев, Л.В. Тарасов - М., Радио и связь, 1982).

импульсно-реверсным током ИП 24-5, разработанным в БГУИР [3], предназначенном для формирования в гальванической ванне импульсов тока положительной и отрицательной полярности, параметры которых задаются при помощи органов управления, расположенных на панели управления прибора. Максимальный ток нагрузки источника питания ИП 24-5 составляет 5 А. При исследованиях частота импульсного тока изменялась от 0,1 до 1000 Гц, амплитудная плотность тока - от 1 до 10 А/дм<sup>2</sup>, длительность импульса - от 0,1 до 10000 мс.

Применение реверсированного тока позволяет увеличить содержание висмута в покрытии на 30-70 %. Это связано с тем, что в обратный импульс происходит в большей степени растворение олова, как более электроотрицательного компонента. Содержание висмута в осадке возрастает с уменьшением амплитудной плотности тока, увеличением частоты и соотношения длительностей прямого и обратного импульсов.

Структура покрытий мелкокристаллическая и зависит от частоты реверсированного тока (рис. 1). Результаты исследования функциональных и защитных свойств (паяемости, контактного электросопротивления, коррозионной стойкости) покрытий сплавом олово-висмут, полученных на реверсированном токе, приведены в табл. 1 и на рис. 2.

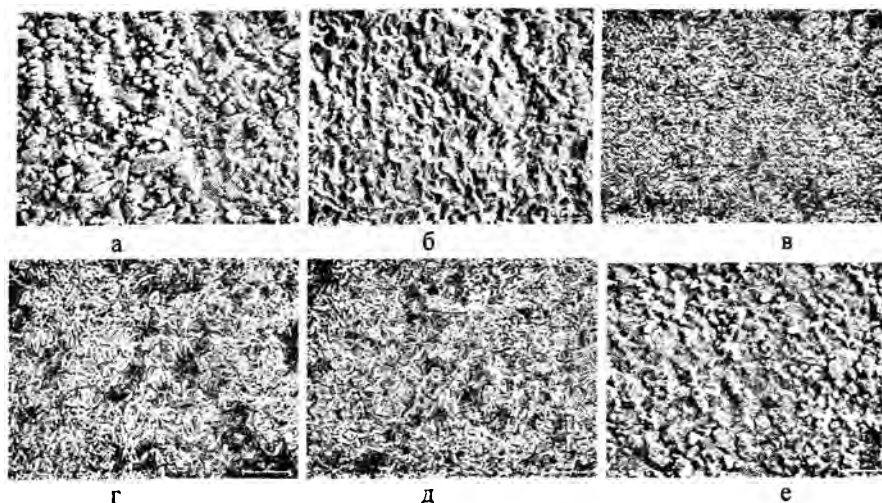
Таблица 1 – Влияние параметров реверсированного тока на контактное электросопротивление покрытий сплавом олово-висмут,  $i_{cp}=1,0 \text{ A/дм}^2$ 

Режим электролиза		R, мОм
постоянный ток		2,89
реверсированный ток		
f=1 Гц	$\tau_{np} : \tau_{obr} = 3:1$	1,88
	$\tau_{np} : \tau_{obr} = 4:1$	2,25
	$\tau_{np} : \tau_{obr} = 10:1$	2,60
	$\tau_{np} : \tau_{obr} = 20:1$	2,33
$\tau_{np} : \tau_{obr} = 4:1$	f=0,1 Гц	2,23
	f=1 Гц	2,25
	f=10 Гц	2,55
	f=100 Гц	2,20
	f=1000 Гц	1,81

Установлено, что варьируя параметрами реверсированного тока (частота, плотность тока, соотношение длительностей прямого и обратного импульса  $\tau_{np} : \tau_{obr}$ ), можно управлять свойствами сплава олово-висмут.

Осаждение при воздействии реверсированного тока приводит к уменьшению контактного сопротивления, что можно объяснить способностью реверсированного тока сглаживать поверхность и предотвращать адсорбцию различных включений.

Коэффициент растекания припоя для покрытий сплавом олово-висмут в зависимости от режимов электролиза равен 86-98 % и для осадков, сформированных на реверсированном токе, паяемость в 2-3 раза лучше сохраняется при длительном хранении (более 6 месяцев).



а – постоянный ток, б-г – реверсированный ток с  $\tau_{np} : \tau_{obr} = 4:1$ ; б - f=0,1 Гц; в - f=1 Гц; г - f=10 Гц; д - f=100 Гц; е - f=1000 Гц

Рисунок 1 – Влияние режима электролиза на структуру покрытий сплавом олово-висмут,  $i_{cp} = 0,5 \text{ A/дм}^2$ :

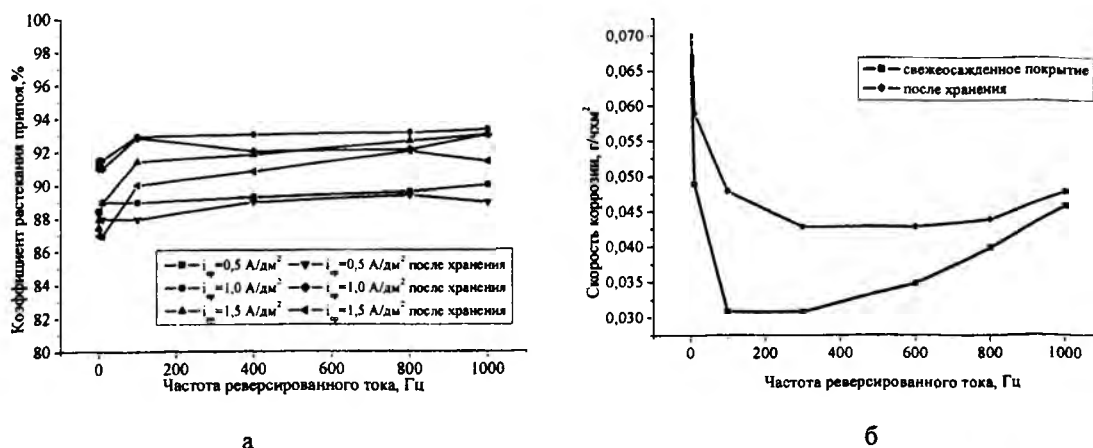


Рисунок 2 – Влияние параметров реверсированного тока на паяемость (а) и коррозионную стойкость (б) покрытий сплавом олово-висмут,  $\tau_{np} : \tau_{obr} = 4:1$

Ток коррозии покрытий, полученных на постоянном токе составляет 0,063-0,084 г/ч·м<sup>2</sup>, при использовании реверсированного тока коррозионная стойкость возрастает в 2-2,5 раза за счет существенного снижения пористости осадков, замедляется образование нитевидных кристаллов на покрытии.

Таким образом, проведенные исследования показали перспективность использования реверсированного тока для формирования электрохимических покрытий сплавом олово-висмут, так как это позволяет интенсифицировать технологический процесс и формировать гладкие, мелкокристаллические покрытия с низкой пористостью и контактным электросопротивлением, высокими защитными свойствами и паяемостью, сохраняющей длительное время.

УДК: 621.375.826

### МИКРОЧИП-ЛАЗЕР НА КРИСТАЛЛЕ Tm,Ho:KY(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

Курильчик С.В.<sup>1</sup>, Кисель В.Э.<sup>1</sup>, Ясюкевич А.С.<sup>1</sup>, Гусакова Н.В.<sup>1</sup>, Кулешов Н.В.<sup>1</sup>, Гапоненко М.С.<sup>2</sup>, Павлюк А.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НИЦ оптических материалов и технологий БНТУ, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Университет Невшателя, Невшатель, Швейцария

<sup>3</sup>Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Российская Федерация

Интерес к разработке эффективных и компактных источников лазерного излучения, работающих в спектральной области 2 мкм, обусловлен широким рядом возможных применений в медицине и производстве коммерческих и военных оптоэлектронных систем [1]. Такое излучение является относительно безопасным для глаз, хорошо поглощается молекулами воды и многими атмосферными газами (NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> и др.) [2], что обуславливает возможность их использования в обработке материалов, дальнометрии, дистанционном зондировании и т.п. Высокое поглощение водой определяет малую глубину проникновения излучения в биологическую ткань, что используется в хирургии, стоматологии, офтальмологии, урологии [3].

Лазерное излучение на длинах волн около 2 мкм может быть получено с использованием материалов, активированные трехвалентными ионами тулия (Tm<sup>3+</sup>) или гольмия (Ho<sup>3+</sup>). Гольмиевые среды, как правило, характеризуются более высокими сечениями стимулированного излучения и используются для получения импульсного излучения в режиме модуляции добротности. Кроме того, гольмийсодержащие среды излучают в более длинноволновой области спектра, что является важным для применений в лидарных системах и приборах мониторинга загрязнений атмосферы. Недостатком гольмиевых лазеров является необходимость использования для накачки излучения спектральной области 1,9 мкм, в которой отсутствуют коммерчески

1. Киреев, А.Ю. Технологии формирования покрытий изделий приборостроения висмутом, оловом и сплавом олово-цинк / А.Ю. Киреев: Дис. ... канд. техн. наук : 05.11.14, 05.17.03 : Москва, 2009 125 с. 2.
2. Гиро, А.М. Лабораторный программно-управляемый источник импульсного тока / А.М. Гиро, А.А. Глушков, С.А. Яцкевич // Создание новых и совершенствование действующих технологий и оборудования нанесения гальванических и их замещающих покрытий: материалы докладов республиканского научно-технического семинара. – Минск: БГТУ, 2011. – С. 88-91.
3. Костин, Н.А. Импульсный электролиз / Н.А. Костин, В.С. Кублановский – Киев, Навук. думка, 1996. – 207 с.

доступные лазерные диоды. Выход был найден в сенсбилизации гольмиевых материалов ионами тулия, имеющими полосу сильного поглощения в области 800 нм, в которой излучают широко доступные и недорогие лазерные диоды на структуре AlGaAs. Схемы энергетических уровней ионов Tm<sup>3+</sup> и Ho<sup>3+</sup> представлены на рисунке 1, на котором иллюстративно показан принцип получения излучения в области 2 мкм. В результате поглощения одного фотона на длине волны около 800 нм ион тулия переходит из основного состояния <sup>3</sup>H<sub>6</sub> на уровень <sup>3</sup>H<sub>4</sub>. Последующий кросс-релаксационный процесс взаимодействия в невозбужденном ионе тулия приводит к образованию двух ионов с энергией, соответствующей уровню <sup>3</sup>F<sub>4</sub>.

Вследствие близости энергий уровней <sup>3</sup>F<sub>4</sub> тулия и <sup>5</sup>I<sub>7</sub> гольмия имеет место эффективный безызлучательный перенос энергии от ионов Tm<sup>3+</sup> к ионам Ho<sup>3+</sup> с заселением уровня <sup>5</sup>I<sub>7</sub>, с которого затем происходит переход на основное состояние гольмия <sup>5</sup>I<sub>8</sub> с излучением фотона на длинах волн 2,0 – 2,1 мкм.

В литературе ранее сообщалось о получении лазерной генерации на кристалле калий-иттриевого вольфрамата, активированного ионами тулия и гольмия – Tm,Ho:KY(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, при накачке лазером на сапфире с титаном в непрерывном режиме [4] и режиме пассивной синхронизации мод (ПСМ) [5]. В непрерывном режиме была достигнута высокая эффективность генерации на уровне 44%. Импульсы длительностью 570 фс