

УДК 621.357.7

# ЭЛЕКТРО- ОСАЖДЕНИЕ СПЛАВА ОЛОВО-СВИНЕЦ ИЗ БОРФТОРИСТО- ВОДОРОДНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА БЕЗ ПОВЕРХНОСТНО- АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Байрачный Б. И.,  
Трубникова Л. В., Майзелис А. А.

Кафедра технической электрохимии  
Национального технического университета  
«Харьковский политехнический институт»  
ул. Фрунзе, 21, Харьков, 61002, УКРАИНА

*Приведены результаты исследований электроосаждения сплава олово свинец из борфтористоводородного электролита. Проанализированы способы приготовления электролита, показано отрицательное влияние на процесс электроосаждения соединений четырехвалентного олова и возможность осаждения компактных мелкокристаллических покрытий без введения в электролит поверхностно-активных веществ.*

## 1. Введение

Покрытия сплавом олово-свинец применяются в качестве защитного слоя при травлении печатных плат, сохраняют паяемость при длительном хранении, обладают высокой коррозионной стойкостью и постоянством переходного сопротивления, а также исключают электрические отказы, которые возникают вследствие образования нитевидных кристаллов на оловянных покрытиях. Электроосаждение сплава олова со свинцом протекает без затруднений, поскольку эти металлы, имея достаточно близкие стандартные потенциалы, к тому же и с приблизительно равным перенапряжением, разряжаются на катоде из простых солей. Поэтому, в зависимости от соотношения концентраций их ионов в электролите, могут быть получены сплавы с широким интервалом содержания их в покрытии [1].

Широкое распространение в промышленности получили фторборатные электролиты. Они достаточно просты в приготовлении и корректировании, обеспечивают получение высококачественных и мелкокристаллических покрытий в широком интервале содержания компонентов сплава [2].

Борфтористоводородная кислота повышает электропроводность раствора, практически не влияя на состав сплава, уменьшает разрастание покрытия, измельчает зерно сплава, увеличивает стойкость к

гидролизу солей металлов. Наличие в электролите повышающей его буферную емкость борной кислоты также препятствует гидролизу солей металлов, который вызывает потери их ионов, загрязняет электролит взвешенными частицами и вызывает унос из электролита органических добавок.

Для получения компактных осадков в электролиты вводят добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ), например, мездрового клея, пептона. Следует отметить, что необработанный специально до введения в электролит клей коагулирует в нем, захватывая металлсодержащие ионы. Образующаяся взвесь включается в катодный осадок, ухудшая его паяемость, и нарушает стабильную работу электролита. Для устранения этого недостатка клеи гидролизуют [3]. Для использования клея в борфтористоводородном электролите его гидролизуют с введением борфтористоводородной кислоты [4].

Одной из серьезных причин ухудшения качества покрытий оловосодержащими сплавами является наличие в электролите соединений четырехвалентного олова. Окисление двухвалентного олова в четырехвалентное способствует шламообразованию, уменьшению концентрации олова в электролите и, следовательно, приводит к увеличению процентного содержания свинца в покрытии, а также включению частиц гидроксидов в покрытие, ухудшающему способность покрытий к пайке.



**Рисунок 1.** Сканированная поверхность образцов, полученных в борфтористоводородном электролите, содержащем Sn(IV)/Sn<sub>общ</sub>: сверху – 5%, внизу – 18 %

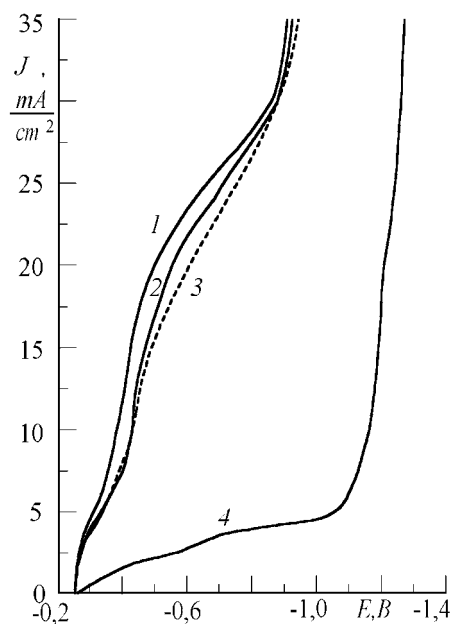
**2. Экспериментальные исследования и их анализ**

На рис.1 приведены изображения сканированных образцов покрытий, полученных в электролитах с малым содержанием ионов четырехвалентного олова (доля олова, находящегося в четырехвалентном состоянии от общего количества олова в электролите – 5 %): светлый образец; со значительным его количеством (доля олова в четырехвалентном состоянии – 18 %) – темный образец. Следует также отметить, что некоторые ответственные области использования покрытий сплавом олово-свинец требуют минимизации содержания в покрытиях примесей, в том числе и органических, которые неизбежно включаются в покрытие при использовании добавок поверхностно-активных веществ.

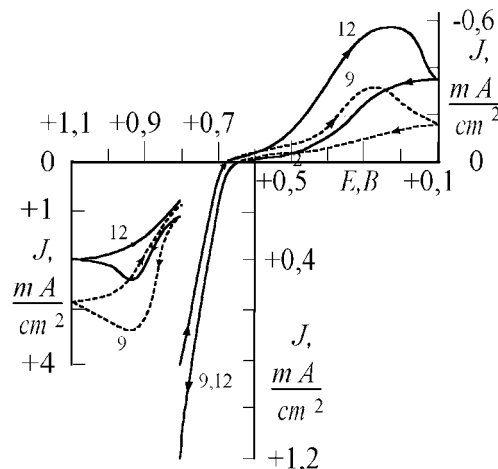
Основной причиной накопления ионов четырехвалентного олова в электролите является окисление двухвалентных ионов растворенным в электролите кислородом воздуха. В оловосодержащие электролиты вводят гидрохинон, который в присутствии мездрового клея, несколько увеличивая поляризацию (поляризационные кривые снимали с использованием потенциостата ПИИ 50-1.1 со скоростью развертки 2 мВ/с) при выделении сплава (кр.1 и 2 рис.2), стабилизирует раствор: следствием существенного окисления ионов олова в электролите без гидрохинона является уменьшение содержания разряжающихся при рабочих плотностях тока ионов олова и соответствующее уменьшение предельного тока (кр.1 и 4), тогда как в присутствии гидрохинона этот процесс тормозится (кр.2 и 3).

Гидрохинон не восстанавливает ионы четырехвалентного олова, а только снижает скорость их образования за счет подавления реакции восстановления кислорода. На циклических вольтамперограммах (рис.3), снятых на платине в растворе борфтористоводородной кислоты, содержащей гидрохинон, с использованием платинового противоэлектрода, видно постепенное снижение волны окисления гидрохинона в хинон и увеличение волны восстановления хинона с равновесным потенциалом около +0,65 В, т.е. более положительным в сравнении с окислительно-восстановительным потенциалом восстановления ионов четырехвалентного олова, но более отрицательным в сравнении с равновесным потенциалом восстановления кислорода [ 5 ].

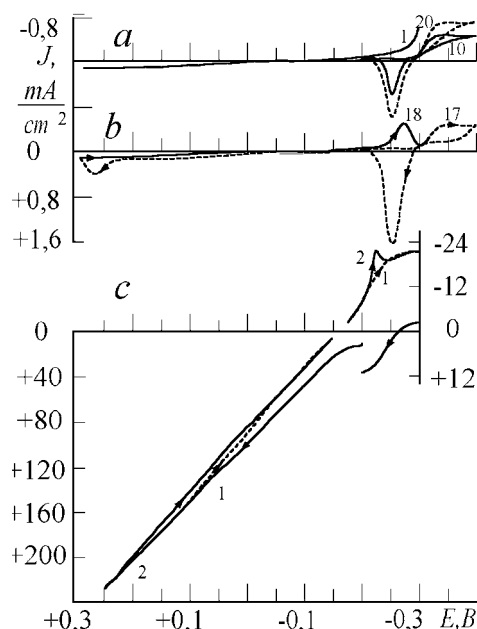
На циклических вольтамперограммах на платине с использованием платинового противоэлектрода в 1 М растворе борфтористоводородной кислоты (рис.4а, цикл 1) после циклирования в диапазоне потенциалов от 0 В до – 0,4 В для восстановления поверхностных оксидов скорость выделения водорода при потенциале нача-



**Рисунок 2.** Влияние гидрохинона на поляризационные кривые выделения сплава: 1,4 – 0,09 М Sn(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 0,045 М Pb(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>; 2,3 – 1,4 + 1 г/л гидрохинона; 1,2 – исходные кривые, 3,4 – после 20 суток хранения раствора. Скорость развертки потенциала 2 мВ/с.



**Рисунок 3.** – Циклические вольтамперограммы на платине в растворе: 1М НВF<sub>4</sub>, 1 г/дм<sup>3</sup> гидрохинона. Скорость развертки потенциала 2 мВ/с. Цифры на кривых – номера циклов.



**Рисунок 4.** Циклические вольтамперограммы на платине (а,б) и олове (с) в растворах: а, б – 1М  $\text{HBF}_4$ ; с – 0,125М  $\text{Sn}(\text{BF}_4)_2$ , 1М  $\text{HBF}_4$ . Скорость развертки потенциала 2 мВ/с. Цифры на кривых – номера циклов.

ла выделения олова (-0,2В) не превышает 0,1 мА/см<sup>2</sup>. На анодной ветви после площадки ионизации водорода первый подъем тока, – выделение кислорода, – наблюдается лишь при +1,6 В, после чего на катодной ветви появляется площадка восстановления кислорода.

При циклировании с использованием оловянного противоэлектрода, т.е. в условиях постепенного увеличения содержания ионов олова в электролите (циклы 5-20, на рис.4а показаны 10-ый и 20-ый цикл), в диапазоне потенциалов от -0,15 до -0,4 В на катодной ветви наблюдается увеличение высоты площадки предельного тока выделения олова, а на анодной ветви – пик растворения образовавшегося за катодный период слоя олова, пропорциональный высоте катодной площадки.

При расширении области циклирования в анодную сторону до потенциала +0,3В (рис.4б, циклы 17 и 18) наблюдается второй анодный пик, которого не было на фоновой кривой, а на катодной ветви, до выделения олова, – второй катодный пик. По-видимому, после растворения слоя олова на платине адсорбированные соединения ионов двухвалентного олова доокисляются при более положительных потенциалах до четырехвалентного состояния, а в катодный период – восстанавливаются до двухвалентного (не до металла, т.к. бестоковый потенциал после выдержки при потенциале этого пика положительнее потенциала олова). После циклирования с анодной границей до +0,1В (до начала второго анодного пика) дополнительного катодного пика не наблюдается, поскольку на поверхности электрода еще не образовались соединения четырехвалентного олова, как и после циклирования до +0,5В, когда соединения четырехвалентного олова уже десорбировали с электрода.

Циклические вольтамперограммы на олове в 1 М растворе борфтористоводородной кислоты свидетельствуют о значительном повышении перенапряжения выделения водорода на олове, а в растворе, содержащем 0,125 М

борфторида олова (рис.4б, кр.1), наблюдается катодная волна восстановления ионов олова до металла и анодный процесс растворения олова. При циклировании в анодную сторону до потенциала +0,1 В катодная волна воспроизводится, а после циклирования с анодной границей +0,3 В на катодной ветви, так же, как и на платине, появляется предволна восстановления ионов четырехвалентного олова до двухвалентного (кр.2). На анодной ветви пик окисления, соответствующий наблюдаемому на платине, не выявляется из-за вынужденной значительной разницы в масштабе съемки кривых.

Таким образом, несмотря на отсутствие пассивации оловянного анода в кислом борфтористоводородном растворе нельзя превышать анодную плотность тока за величину 10 А/дм<sup>2</sup> из-за возможного окисления Sn(II) в Sn(IV), а также использовать отлитые с нарушением технологии, например, с большим содержанием оксидов в объеме, аноды.

При анализе условий эксплуатации борфтористоводородного электролита для осаждения сплавом олово-свинец выявлено, что эти соединения образуются не только при хранении электролита, попадании в электролит ионов более электроположительных металлов или завышении анодной плотности тока, как считалось ранее, но и при приготовлении электролита а также его корректировании в случае недостатка ионов олова.

Оловосодержащий компонент электролита – борфтористоводородное олово – получают контактным вытеснением меди оловом, для чего раствор борфторида меди, полученный из углекислой меди и борфтористоводородной кислоты, нагревают до температуры 325-330 °К, вводят в него металлическое олово в виде гранул, стружек или порошка и производят обработку при периодическом перемешивании до обесцвечивания раствора, после чего следы меди удаляют контактным осаждением на стальную пластинку [7]. Растворы борфторидов олова и свинца смешивают, добавляют борную кислоту, гидрохинон и ПАВ.

Способ дорогой, затрачиваются дополнительные химреактивы, уходит медь и избыточное количество олова во вторичные отходы, которые необходимо обрабатывать как с целью обезвреживания так и утилизации металлов. Кроме того, следы меди удаляют контактно на стальную пластину, следствием чего является загрязнение электролита ионами железа.

Поскольку раствор получаемого таким образом борфторида олова, в зависимости от условий проведения операции, содержит различное количество ионов четырехвалентного олова (до 10 %), исследовали кинетику контактного обмена в этой системе.

### 3. Исследование кинетики контактного обмена в системе

Скорость контактного вытеснения исследовали методом, предложенным в [6]. Метод основан на допущении стационарности процесса и эквипотенциальности электродной поверхности, вследствие чего возможно описание процесса уравнениями, включающими параметры сопряженных реакций. Плотность тока контактного обмена ( $J_0$ ) выражается при этом уравнениями:

$$J_0 = S_k / S_a = J_a / J_k \quad (1)$$

$$J_0 = J_k \cdot J_a / (J_k + J_a), \quad (2)$$

где  $J_k$  и  $J_a$  – плотность тока катодного и анодного процессов,  $S_k$  и  $S_a$  – доля поверхности, занятая катодными и анодными участками.

Выделение меди (кр.2 рис.5) проходит с диффузионным контролем и подчиняется уравнению:

$$E_k = 0,375 + 0,1 \lg(1/j_k - 0,0208) \quad (3)$$

где  $E_k$  – потенциал медного катода,  $J_k$  – катодная плотность тока.

Уравнение 3 в общем виде:

$$E_k = a_k + b_k \cdot \lg(1/j_k - 1/J_{kd}), \quad (4)$$

где  $J_{kd}$  – плотность предельного тока.

Анодная поляризационная кривых растворения олова (кр.1 рис.5) прямолинейна в исходных координатах  $E - J$ :

$$E_a = -0,2 + 0,0067 J_a, \quad (5)$$

где  $E_a$  – потенциал оловянного анода,

$J_a$  – анодная плотность тока.

Уравнение 5 в общем виде:

$$E_a = a_a + b_a \cdot \lg J_a \quad (6)$$

Приравняв  $E_k$  к  $E_a$  получили  $J_a$  как функцию  $J_k$ :

$$J_a = \frac{a_k - a_a}{b_a} + \frac{b_k}{b_a} \cdot \lg(1/J_k - 1/J_{kd}) \quad (7)$$

Уравнение 7 по данным рисунка 5:

$$J_a = 86,26 + 15 \cdot \lg(1/J_k - 0,0208) \quad (8)$$

Изменение плотности тока обмена и потенциала образца в ходе процесса в зависимости от доли поверхности, приходящейся на катодные и анодные участки поверхности, определили из уравнений (1), (2) и (3):

$$J_0 = S_a \cdot \left[ \frac{a_k - a_a}{b_a} + \frac{b_k}{b_a} \cdot \lg \left( \frac{S_k}{J_0} - 1/J_{kd} \right) \right] \quad (9)$$

$$E_a = a_k + 0,1 \cdot \lg \left( \frac{S_k}{S_a} \cdot \frac{b_a}{E_a - a_a} - 1/J_{kd} \right) \quad (10)$$

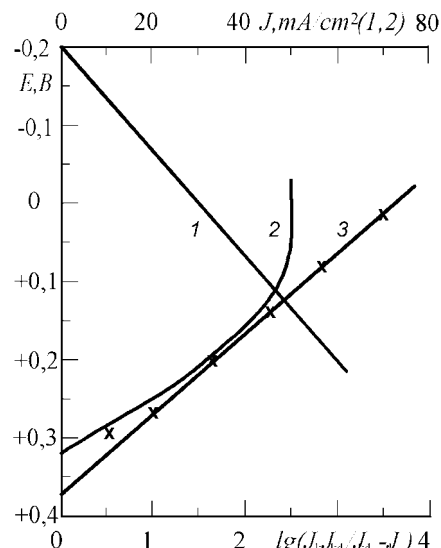
Уравнения 9 и 10 по данным рисунка 5:

$$J_0 = S_a \cdot \left[ 86,26 + 15 \cdot \lg \left( \frac{S_k}{J_0} - 0,0208 \right) \right] \quad (11)$$

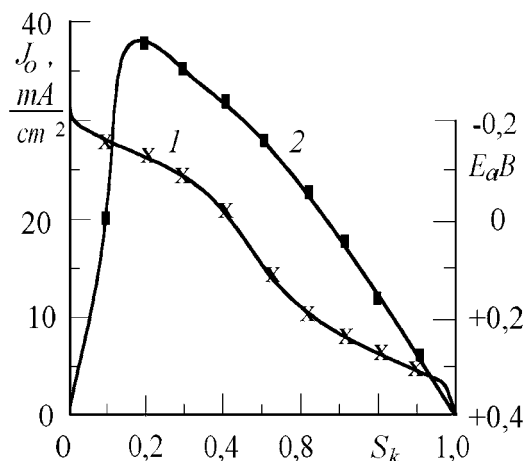
$$E_a = 0,375 + 0,1 \cdot \lg \left( \frac{S_k}{S_a} \cdot \frac{0,0067}{E_a + 0,2} - 0,0208 \right) \quad (12)$$

Расчитанные по уравнениям 11 и 12 зависимости  $J_0$  и  $E$  от доли катодной поверхности представлены на рис. 6. На основании этих зависимостей построена кривая  $J_0 - E$  (рис.7).

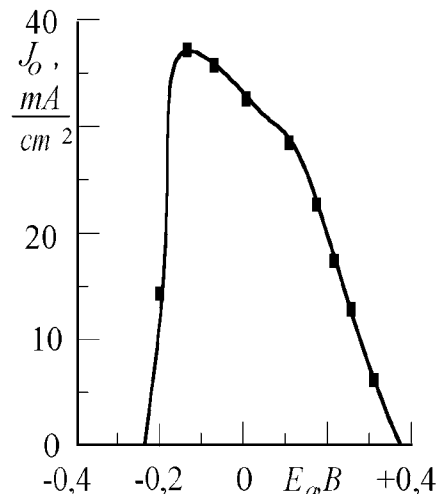
Например, изменение потенциала оловянного образца, погруженного в раствор борфтористоводородной меди, с соотношением 0,1 г ионов меди на 1 см<sup>2</sup> поверхности олова,



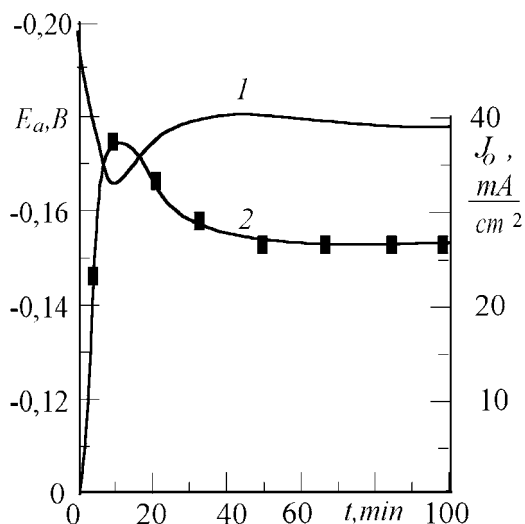
**Рисунок 5.** Поляризационные зависимости растворения олова (1,3) и выделения меди (2,3) в растворах: 2,3 — 0,125M Cu(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 3M HBF<sub>4</sub>; 1 — 0,125M Sn(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 3M HBF<sub>4</sub>.



**Рисунок 6.** Изменение плотности тока контактного обмена (1) и потенциала электрода (2) от доли катодной поверхности.



**Рисунок 7.** Изменение потенциала оловянного электрода (1) и плотности тока контактного обмена (2) во времени контактного обмена в растворе - 0,125M Cu(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 3M HBF<sub>4</sub>.



**Рисунок 8.** Зависимость плотности тока контактного обмена ( $J_0$ ) от потенциала оловянного электрода ( $E$ ).

со временем приведено на рис. 8. На основании кривых  $J_0 - E$  и  $E - \tau$  для этого соотношения построена зависимость  $J_0 - \tau$  (рис. 8, кр. 2), из которой следует, что плотность тока контактного обмена проходит через максимум в начальный период и составляет 38  $\text{mA/cm}^2$ , скорость катодной реакции при этом составляет 48  $\text{mA/cm}^2$ , а анодной — 10  $\text{mA/cm}^2$ , площадь поверхности оловянного образца, занятая медью в момент максимальной скорости, — 19 %.

#### 4. Способы приготовления борфтористо-водородного электролита

Достаточно дешевым является способ приготовления борфтористоводородного электролита растворением в борфтористоводородной кислоте гидроксида олова [8]. Гидроксид олова при этом получают порционным введением углекислого натрия в подкисленный соляной кислотой раствор двуххлористого олова, отмывают его, добавляют гидрохинон. Борфтористоводородный свинец готовят путем добавления углекислого свинца, смоченного раствором борной кислоты, в раствор борфтористоводородной кислоты. Растворы борфтористоводородных солей олова и свинца смешивают и вводят добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ). Однако полученный этим способом электролит содержит до 5 % (по отношению к общему количеству) ионов четырехвалентного олова. В процессе, в зависимости от срока хранения двуххлористого олова, теряется до 20 % этой соли. Для отмывки, во избежание загрязнения электролита, затрачивается дистиллированная вода.

По электрохимическому способу приготовления раствора борфтористоводородного олова [ 2 ] при анодной плотности тока 5  $\text{A/dm}^2$  в растворе борфтористоводородной кислоты растворяют свинцовые и оловянные пластины, используя в качестве катодов стальные сосуды, помещенные в пористые керамические сосуды, которые выполняют роль диафрагмы электролизера. После электрохимического растворения металлов добавляют борную кислоту, гидрохинон и поверхностно-активные добавки (ПАВ). Способ менее трудоемкий, не образуется требующих утилизации вторичных отходов. Однако

он достаточно дорогой, в процессе электролиза (главным образом, в первой четверти времени его протекания) накапливаются ионы четырехвалентного олова (до 10 %), катодной реакцией является выделение водорода из ионов гидроксония, поставляемых кислотой, следствием чего является ее соответствующий расход. Реализация способа осуществляется в диафрагменном электролизере, что требует дополнительных затрат на приобретение, эксплуатацию керамической диафрагмы, а также на дополнительную электроэнергию за счет падения напряжения на ней. Необходимость разработки более совершенного способа вызвала проведение исследований электродных и объемных реакций в зависимости от изменения режима электролиза и содержания всех компонентов борфтористоводородного электролита для осаждения сплава олово-свинец.

В результате исследований разработан бездиафрагменный электрохимический способ приготовления борфтористоводородного электролита для осаждения сплава олово-свинец, который позволяет приготовить электролит, не содержащий четырехвалентного олова.

#### 5. Бездиафрагменный электрохимический способ приготовления борфтористоводородного электролита

Экономическая целесообразность применения способа обусловлена отсутствием затрат на диафрагму, снижением расходов на электроэнергию, стоимости химических реактивов для приготовления металлосодержащих компонентов электролита, а также снижением себестоимости продукции за счет уменьшения брака из-за отказов по пайке либо возможности увеличения цены на более качественную продукцию. Для гальванической ванны, содержащей 0,3 М борфторида олова, объемом 700 л, например, экономия только на стоимости химических реактивов составляет: по сравнению с диафрагменным электрохимическим способом — 3157-4522 грн. (584-836 у.е.), со способом получения борфторида олова через его гидроксид — 1365-2205 грн. (252-408 у.е.) и с контактным способом — 4438 грн. (820 у.е.).

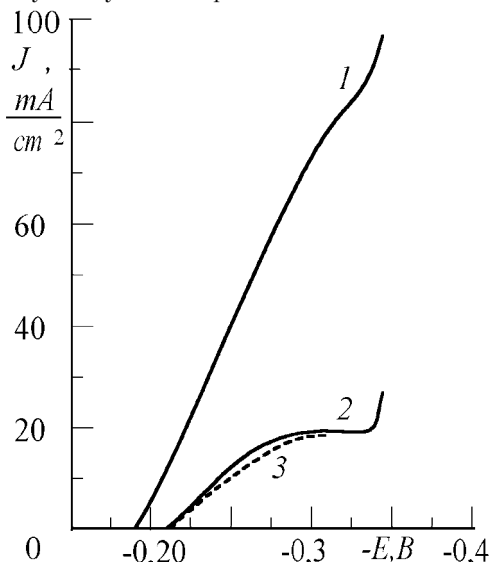
Оказалось, что в приготовленном без образования ионов четырехвалентного олова электролите вплоть до предельного диффузионного тока осаждаются компактные покрытия, без губчатых разрастаний. Причиной губчатых образований считают, например, включение в покрытие гидроксидов [9].

Поскольку в полученном электролите не образуются губчатых отложений при малых плотностях тока, появилась возможность осаждавать покрытия сплавом олово-свинец без введения добавок поверхностно-активных веществ. Визуально и при увеличении в 2000 раз морфология поверхности таких сплавов не отличалась от получаемых в присутствии ПАВ.

Поляризационная кривая, полученная в концентрированном электролите (рис. 9, кр. 1), иллюстрирует небольшую поляризуемость катода в электролите, а значит не очень хорошее вторичное распределение тока по катоду. На рис. 10 представлены сканированные образцы катода с двухмиллиметровым электролитически осажденным слоем сплава (прямоугольный исходный образец приобрел форму трапеции в фас и в профиль) и такого же электрода, сыгравшего роль анода, — с него в первую очередь стравившись участки, более обогащенные оловом. Выход

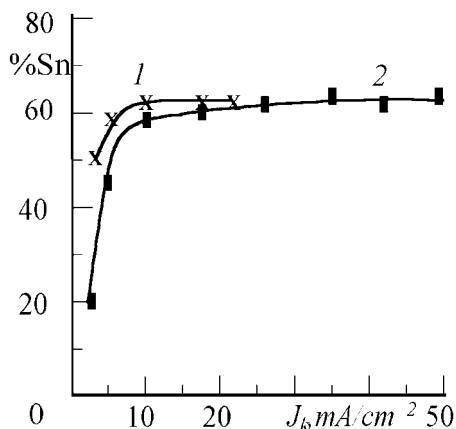
по току в рабочем диапазоне плотностей тока близок к 100 %, поэтому распределение по металлу практически повторяет распределение по току.

При разбавлении электролита с увеличением содержания свободной борфтористоводородной кислоты (рис.9, кр.2) поляризуемость катода значительно увеличивается. Введение поверхностно-активного вещества — мездрового клея — увеличивает поляризуемость лишь на узком участке кривой.



**Рисунок 9.** Поляризационные кривые в электролитах: 1 — 0,5М Sn(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 0,33М Pb(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 1М HBF<sub>4</sub>; 2 - 0,125М Sn(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 0,08М Pb(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 1,8М HBF<sub>4</sub>; 3 - 2+2 г/дм<sup>3</sup> мездрового клея

Распределение привесов пластин разборного катода ячейки Хулла, полученных при средней плотности тока, соответствующей (для уменьшения влияния состава сплава) середине участка зависимости состава сплава от плотности тока с малым углом наклона к оси абсцисс (рис.11), отражает не очень хорошую рассеивающую способность концентрированного электролита (кр.1 рис.12), ее улучшение при разбавлении с увеличением содержания свободной кислоты (кр.2 рис.12) и незначительное улучшение при добавлении мездрового клея (кр.3 рис.12). Следует отметить, что влия-

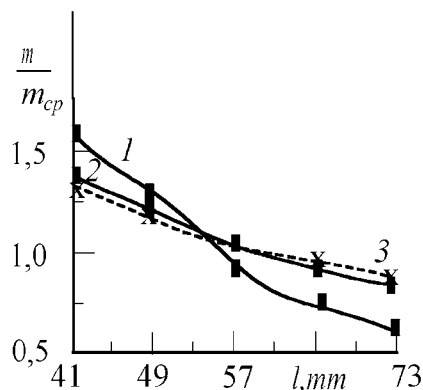


**Рисунок 11.** Зависимость выхода по току (ВТ<sub>к</sub>) от катодной плотности тока (J<sub>к</sub>) в электролитах: 1 — 0,125М Sn(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 0,008М Pb(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 1,8М HBF<sub>4</sub>; 2 — 0,5М Sn(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 0,33М Pb(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 1М HBF<sub>4</sub>



**Рисунок 10.** Сканированные катод (внизу) и анод (сверху) после 40 часов работы в борфтористоводородном электролите.

ние состава сплава на распределение по катоду в случае сплава олово-свинец уменьшается за счет того, что улучшение рассеивающей способности по массе покрытий за счет большего электрохимического эквивалента свинца ( $\kappa_{Pb}/\kappa_{Sn}=1,74$ ) при увеличении его содержания в сплаве со снижением плотности тока компенсируется ее ухудшением по толщине покрытия за счет большей плотности свинца ( $\rho_{Pb} / \rho_{Sn}=1,56$ ).



**Рисунок 12.** Распределение сплава (m/m<sub>cp</sub>) в зависимости от расстояния анод- разборной катод (l) ячейки Хулла. Растворы: 1 — 0,5М Sn(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 0,33М Pb(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 1М HBF<sub>4</sub>; 2 - 0,125М Sn(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 0,08М Pb(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 1,8М HBF<sub>4</sub>; 3 — 2+2 г/дм<sup>3</sup> мездрового клея.

### 6. Заключение

В результате исследований показано, что в борфтористоводородном электролите, не содержащем четырехвалентного олова, осаждаются компактные покрытия в отсутствие поверхностно-активных веществ (т.е., они не содержат ни включений соединений четырехвалентного олова, ни органических веществ), а разработанный электрохимический способ приготовления электролита может быть применен как более дешевый и в областях, где важна химическая чистота покрытий.

## Литература

1. Байрачный Б.И., Орехова В.В., Харченко Э.П. и др. Справочник гальваника. – Харьков: «Прапор», 1988. – 181с.
2. Н.Д.Иванова, С.В.Иванов, Е.И.Болдырев. Гальванотехника. Фторсодержащие электролиты и растворы / Справочник. – Киев: «Наукова думка», 1993. – 445 с.
3. Пурин Б.А., Цера В.А. и др. Комплексные электролиты в гальванотехнике. Рига: Лиесма, 1978. – 265 с.
4. Л.В.Трубникова, А.А.Майзелис. Оптимизация технологических параметров техпроцесса электроосаждения сплава олово-свинец из нестандартного электролита // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2001. – т.2. – №27 – с.35–56.
5. Справочник по электрохимии /Под ред. А.М.Сухотина.-Л.:Химия, 1981.-488 с.
6. Донченко М.И., Антропов Л.И. О контактном выделении металлов // Журнал прикладной химии, 1972, т.45. - вып.2, - С.291-296
7. Ямпольский А.М., Ильин В.А. Краткий справочник гальванотехника. –Л.: Машиностроение, 1981. – 269 с.
8. Т.Я. Свищева. А.с.СССР №1373739 С25D 3/60. Способ приготовления борфтористоводородного электролита для осаждения покрытий сплавом олово-свинец
9. Матулис Ю.Ю. О механизме электродных процессов, обуславливающих блестящие гальванопокрытия //Труды АН ЛитССР. Сер.Б, 1959. - №2. - С.53-70.



**Байрачный Борис Иванович**, доктор технических наук, профессор. Заведующий кафедрой технической электрохимии. Место работы: Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул.Фрунзе, 21, г.Харьков, Украина, 61002. Круг научных интересов: Электрохимические закономерности электродных реакций при получении функциональных покрытий и металлоксидных электродов

Контактный тел.: (0572)40-03-95  
E-mail: YAROSLAV@kpi.kharkov.ua.



**Трубникова Лариса Валентиновна**, кандидат технических наук. Старший научный сотрудник. Место работы: Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул.Фрунзе, 21, г.Харьков, Украина, 61002. Круг научных интересов: Электроосаждение сплавов олова и извлечение металлов из промышленных отходов

Контактный тел.: (0572)47-34-61  
E-mail: YAROSLAV@kpi.kharkov.ua.



**Майзелис Антонина Александровна**, действительный член Малой Академии Наук Украины, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул.Фрунзе, 21, г.Харьков, Украина, 61002.