

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ***Горенко Татьяна Викторовна***

магистрант

Брянский Борис Яковлевич

канд. хим. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Омский государственный

педагогический университет»

г. Омск, Омская область

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИММЕРСИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
В ТИОМОЧЕВИННЫХ И РОДАНИДНЫХ РАСТВОРАХ ОЛОВА
И ВИСМУТА МЕТОДОМ РЕЛАКСАЦИИ БЕСТОКОВОГО
ПОТЕНЦИАЛА МЕДНОГО ЭЛЕКТРОДА**

Аннотация: данная работа посвящена исследованию иммерсионных процессов в тиомочевинных и роданидных растворах олова и висмута методом релаксации бестокового потенциала медного электрода. Исследование иммерсионного осаждения олова и висмута в РД и ТМ растворах при помощи метода релаксации бестокового потенциала свежееобновляемой поверхности медного электрода позволило выявить образование интерметаллического слоя на медной поверхности.

Ключевые слова: бессвинцовые технологии, иммерсионный процесс, бестоковый потенциал.

XXI век – век технического прогресса, информационных технологий и всевозможной электроники в печатных платах (ПП), аккумуляторах и мониторах которой содержится токсичный для организма человека свинец. В последнее время в производстве электроники все большее внимание обращают на экологичность технологических процессов и материалов. В одно время сплавы с содержанием свинца заменяли нетоксичным оловом. Но при применении чистого

олова возникает ряд новых проблем, как например, «оловянная чума», когда белое олово переходит в другую модификацию – серое олово, в результате чего металл рассыпается в порошок. Для предотвращения этого целесообразно использовать покрытия оловом с легирующей добавкой. Особый интерес здесь представляет покрытие медной поверхности ПП сплавами олова и висмута (менее токсичная легирующая добавка), образующимися путём контактного восстановления ионов олова и висмута из тиомочевинных (ТМ) и роданидных (РД) растворов.

Иммерсионные процессы – это контактное восстановление металлов из их растворов на электроотрицательных поверхностях [1]. Бессвинцовые технологии предполагают использование в электронной и электротехнических отраслях промышленности покрытий иммерсионным оловом и сплавами Sn-Bi, Sn-Co, Sn-Sb. С экологической точки зрения Bi, как компонент сплава, более предпочтителен из-за его меньшей токсичности [2], поэтому в данной работе легирующей добавкой, при контактном осаждении олова на медные поверхности, был выбран именно этот металл.

Контактное осаждение олова и висмута на поверхности меди можно осуществлять за счёт введения в раствор этих солей лигандов, способных образовывать прочные комплексы с ионами меди. Это связано с тем, что стандартные электродные потенциалы переходов Cu^+/Cu , Cu^{2+}/Cu положительнее стандартного потенциала оловянного электрода. Поэтому в обычных условиях ионы двухвалентного олова не могут являться окислителем по отношению к металлической меди. Ионы Cu (I), Cu (II) могут образовывать комплексные соединения с большим количеством органических и неорганических веществ. Благодаря такому комплексообразованию, равновесный потенциал меди становится более электроотрицательным, чем потенциал олова и потенциал висмута, что создает условия для их осаждения на медной поверхности. Помимо традиционно используемой для этих целей тиомочевины был применён еще один серосодержащий лиганд: роданид-ион.

Для исследования процесса контактного осаждения олова и висмута в тиомочевинных и роданидных растворах используется метод релаксации бестокового потенциала (E) свежообновлённой поверхности медного электрода. В нём фиксируются зависимости потенциала свежообновлённой поверхности электрода от времени экспозиции при различных варьируемых факторах.

Методика эксперимента

Приборы и реактивы. Реактивы: хлорид олова $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ч; серная кислота (х. ч.) ($1,83 \text{ г/см}^3$); нитрат висмута $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ (ч.); тиомочевина (ТМ) $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$ (ч.), роданид калия KSCN (ч.) Состав водных растворов контактного осаждения олова и висмута на меди: $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (1–8 г/л), KSCN (0,5 М, 1 М), ТМ (0,5 М, 1 М), $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ (0,5–2 г/л), H_2SO_4 (10 мл/л).

Растворы контактного осаждения готовили смешением растворов 1 и 2 в мерной колбе и доведением объёма до 100 мл. Раствор 1 получали растворением $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в серной кислоте, а раствор 2 – растворением в воде KSCN (или ТМ) и $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ в конической колбе при нагревании на электрической плитке.

Рабочий электрод – медная проволока диаметром 0,8 мм, запрессованная в тефлоновую оболочку. Электрод сравнения – насыщенный хлорсеребряный электрод, погруженный в сосуд с насыщенным раствором KCl и соединённый с раствором контактного осаждения солевым мостиком, заполненным насыщенным раствором KCl . Поверхность медного электрода обновляли срезом слоя толщиной в несколько микрон непосредственно в растворе с помощью датчика, разработанного в лаборатории электрохимии водных растворов Института химии твёрдого тела и механохимии СО РАН (г. Новосибирск) [4].

Методика измерений. Исследуемый раствор наливали в химический стакан и измеряли E медного электрода (до и после его обновления) с помощью высокоомного милливольтметра через заданные промежутки времени. Релаксационная кривая « E -время (t)» (PK) оцифровывалась и заносилась в память компьютера. Общее время записи PK – ~ 30 секунд. Для получения статистически достоверных результатов снимали 3 PK в одинаковых условиях при комнатной температуре.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Тиомочевинные висмутсодержащие растворы. В отсутствие ТМ (рис.1, кривая 1) E до среза (E^*) был равен $\sim 0,05$ В и находится между значениями равновесных потенциалов (E_{op}) реакций $Cu^{2+} + 2e = Cu$ ($E_{op} = +0,14$ В) (P1), $Bi^{3+} + 3e = Bi$ ($E_{op} = 0$ В) (P2).

Потенциал $E^* \sim 0,05$ В отвечает поверхностной концентрации $[Cu^{2+}]_s \sim 10^{-3}$ М и навязывается, по-видимому, в значительной степени реакцией восстановления растворённого кислорода на поверхности меди и её окислением с образованием оксидной плёнки. После среза E смещается анодно на $\sim 0,2$ В,

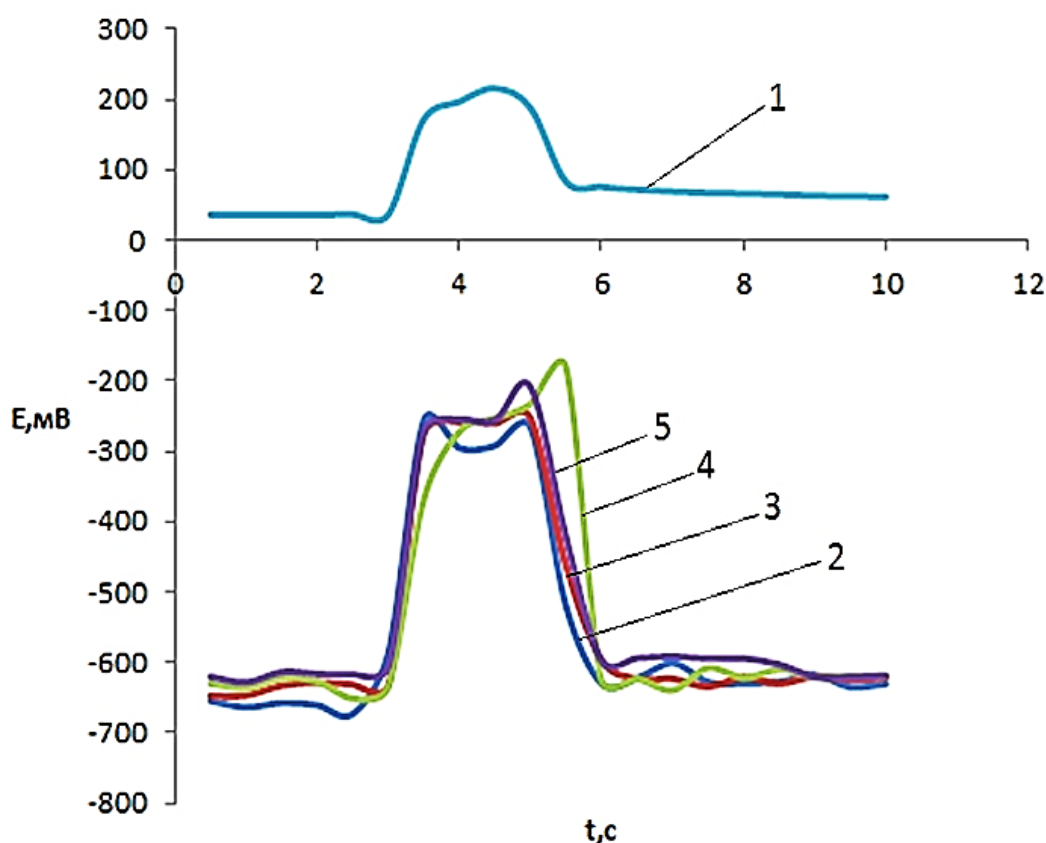


Рис.1. РК Cu в ТМ-растворах с добавками $Bi(NO_3)_3$: 0 М ТМ +2 г/л $Bi(NO_3)_3$ (1); 1 М ТМ+X г/л $Bi(NO_3)_3$ (2–5), где X: 0,5 (2),1,0 (3), 1,5 (4), 2,0 (5)

что возможно связано с образованием ювенильной поверхности Cu. Однако потенциал максимума на РК ($\sim +0,2$ В) превышает $E_{op}(Cu^{2+}/Cu)$, что указывает на катодную реакцию [5] с более положительным значением E_{op} , вероятнее всего на

восстановление растворённого кислорода на поверхности Cu. Образование максимума и дальнейшее катодное смещение потенциала связано с анодной реакцией на этом участке РК, вероятнее всего с окислением Cu.

В сернокислых висмутсодержащих ТМ-растворах при большом избытке ТМ E^* смещается катодно на $\sim 0,7$ В (!) (рис.1, кривые 2–5) из-за образования, вероятнее всего, комплекса $[Cu(TM)_4]^{2+}$ ($pK[Cu(TM)_4]^{2+}=15,39$ [6]). Константа нестойкости ТМ-комплекса висмута $[Bi(TM)_6]^{3+}$ более чем на 3 порядка меньше ($pK[Bi(TM)_6]^{3+}=11,94$ [6]). Стандартный равновесный потенциал реакции $[Cu(TM)_4]^{2+}+2e=Cu+4TM$ (P3) сдвинут в катодном направлении относительно $E_{op}(Cu^{2+}/Cu)$ на $-0,0295pK$, т. е. на $\sim -0,45$ В. При столь отрицательных потенциалах возможно контактное осаждение висмута и разряд ионов водорода на поверхности Cu. Известно [7], что ТМ может восстанавливать ионы Cu (II) до ТМ-комплекса Cu (I). Поэтому значительное катодное смещение потенциала E^* можно объяснить также реакцией $[Cu(TM)_2]^++e=Cu+2TM$ (P4), так как в соответствии с уравнением Нернста сдвиг потенциала, при равном значении констант нестойкости ТМ-комплексов Cu (II) и Cu (I), будет равен $-0,059pK$, т. е. $0,9$ В (!). Поэтому столь большой сдвиг E^* в катодном направлении ($0,7$ В!) можно объяснить одновременным протеканием реакций P3 и P4. При таком отрицательном E^* на поверхности меди осаждается висмут и возможен разряд ионов водорода. В ТМ-растворах после среза E смещается анодно на $\sim 0,4$ В из-за образования ювенильной поверхности Cu и протекания на ней катодных реакций – разряда ионов Bi^{3+} и H^+ . Образование максимума и дальнейшее катодное смещение E связано с превалированием анодной реакции, возможно, с окислением висмута.

Важно, что изменение концентрации $Bi(NO_3)_3$ в диапазоне $0,5 \div 2,0$ г/л (или $(1,3 \div 5,2) \cdot 10^{-3}$ М при очень большом избытке ТМ не оказывает существенного влияния на E^* , вид РК, скачок потенциала. В пользу этого говорит и сопоставление значений констант нестойкости наиболее прочных комплексов меди и висмута. Тем не менее, обнаружено относительно небольшое систематическое анодное смещение E^* с ростом концентрации ионов Bi (III) (рис. 2).

Отсутствие линейной корреляции $E^* - \lg C$ в диапазоне концентраций $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ от 0,5 до 2 г/л указывает, что потенциал E^* формируется за счёт протекания нескольких сопряжённых реакций, о чём говорилось выше. Общее смещение E^* составляет примерно 27–28 мВ (рис. 2), что отвечает эффективному нернстовскому наклону ~ 45 мВ, который значительно превышает нернстовский наклон ($\sim 0,02$ В) для реакции

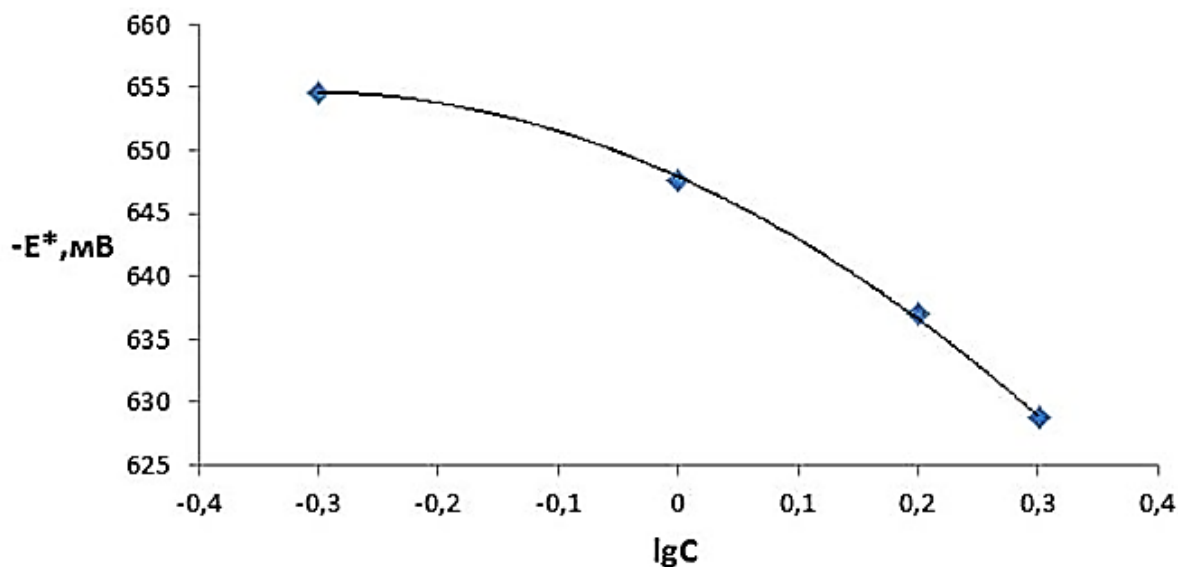


Рис. 2. Зависимость $E^* - \lg C(\text{Bi}(\text{NO}_3)_3)$ в ТМ-растворах

$[\text{Bi}(\text{TM})_6]^{3+} + 3e = \text{Bi} + 6\text{TM}$. Полученные данные указывают на то, что описанные закономерности в основном связаны с образованием ТМ-комплексов меди.

Тиомочевинные оловосодержащие растворы. На рис.3 показаны РК в ТМ-растворах (1 М ТМ) с добавками хлорида олова. В присутствии ТМ E^* катодно смещается на 0,45–0,6 В, что можно объяснить образованием ТМ-комплексов меди. После среза, E анодно смещается на 0,15–0,3 В, что, возможно, связано с образованием ювенильной поверхности меди и протеканием катодных реакций восстановления ионов $\text{Sn}(\text{II})$ и H^+ . Увеличение концентрации хлорида олова

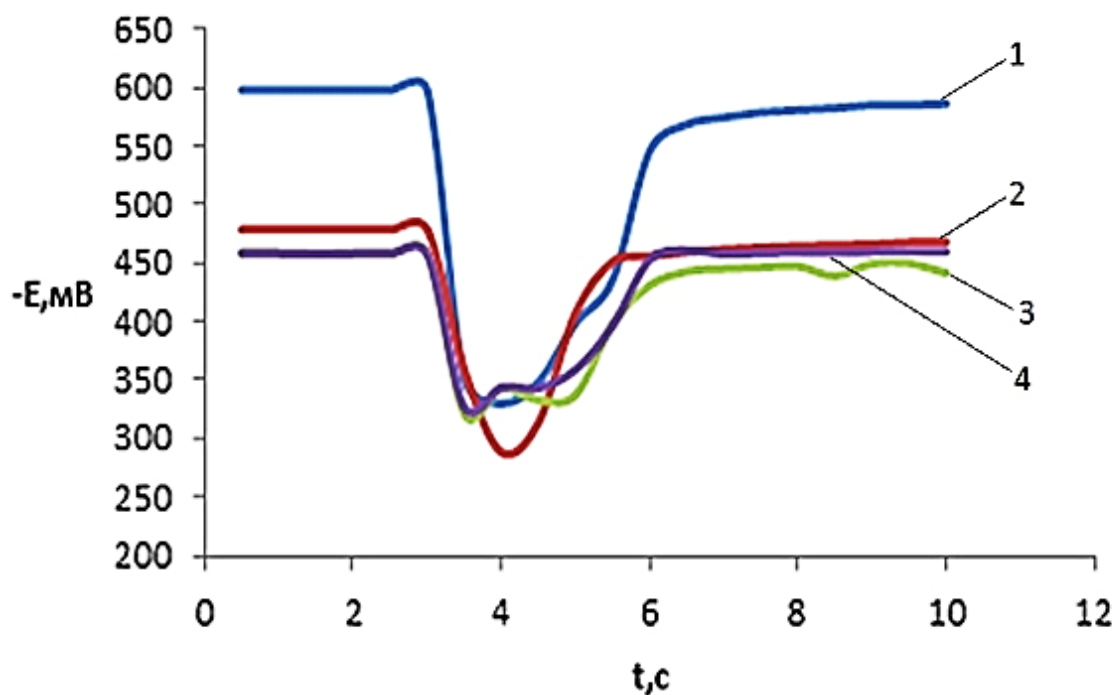


Рис.3. РК Cu в растворах 1 М ТМ + X г/л $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,
где X: 2(1);4(2); 6(3); 8(4)

от 2 г/л до 4 г/л при избытке ТМ смещает E^* анодно на $\sim 0,15$ В (рис.3, 4). Отсутствие линейной корреляции $E^* - \lg C$ в диапазоне концентраций SnCl_2 от 2 до 8 г/л указывает, что потенциал E^* формируется за счёт протекания нескольких сопряжённых реакций.

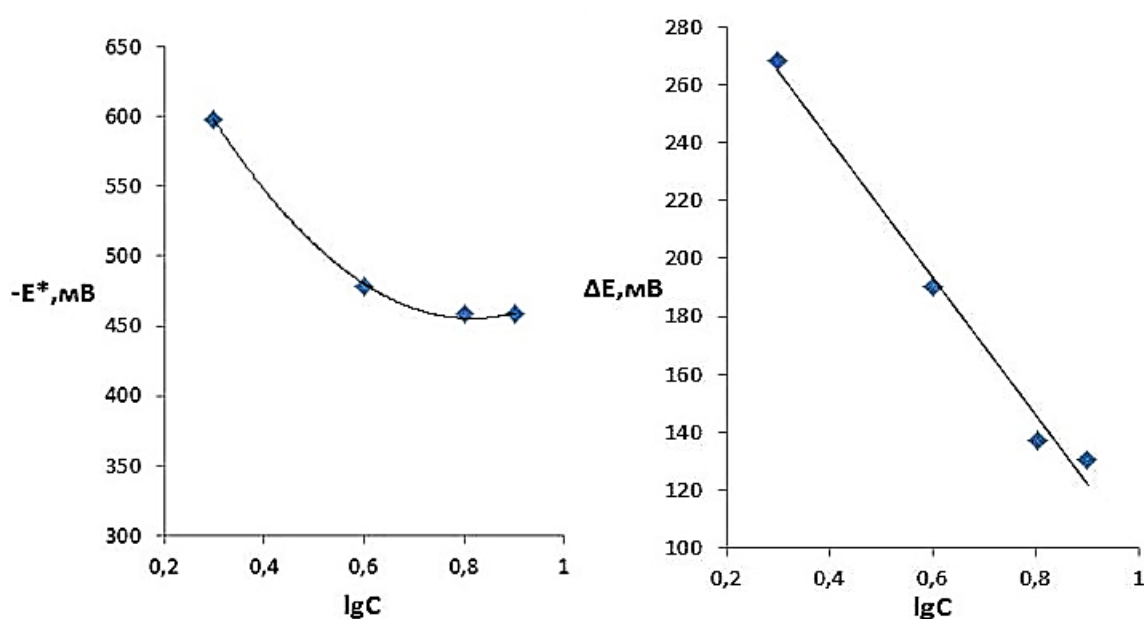


Рис.4, 5. Зависимости E^* и ΔE от $\lg C$ ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) в ТМ-растворах

Из рис. 5 видно, что скачок потенциала линейно уменьшается с ростом логарифма концентрации ионов олова. Однако тангенс наклона этой зависимости примерно на порядок превышает возможные значения нернстовского наклона.

Влияние ионов олова на E^* и РК в исследованных растворах трудно объяснить образованием ТМ-комплексов олова. Иначе бы увеличение концентрации олова приводило бы к катодному смещению E за счёт уменьшения концентрации свободной мочевины. По-видимому, константа устойчивости этих комплексов не столь значительна. Можно предположить, что влияние ионов олова на E^* и РК, нелинейность зависимостей $E^* - \lg C$ указывают на возможное образование интерметаллидов, например, Cu_6Sn_5 и Cu_3Sn [7].

Тиомочевинные растворы с добавками висмута и олова. На рис. 6 показаны РК в ТМ-растворах с добавками ионов Sn (II) и Bi (III). Бестоковый потенциал до среза в этих растворах $E^* \sim - (550 \div 450)$ мВ. После среза наблюдается анодный скачок потенциала на $\sim 0,4$ В, что, возможно, связано с протеканием катодных реакций восстановления ионов Sn (II) и Bi (III) с образованием сплава Sn-Bi и разрядом H^+ . При одновременном одинаковом увеличении концентраций ионов Sn (II) и Bi (III) E^* (и максимальный потенциал) заметно смещаются в анодном направлении (рис. 6).

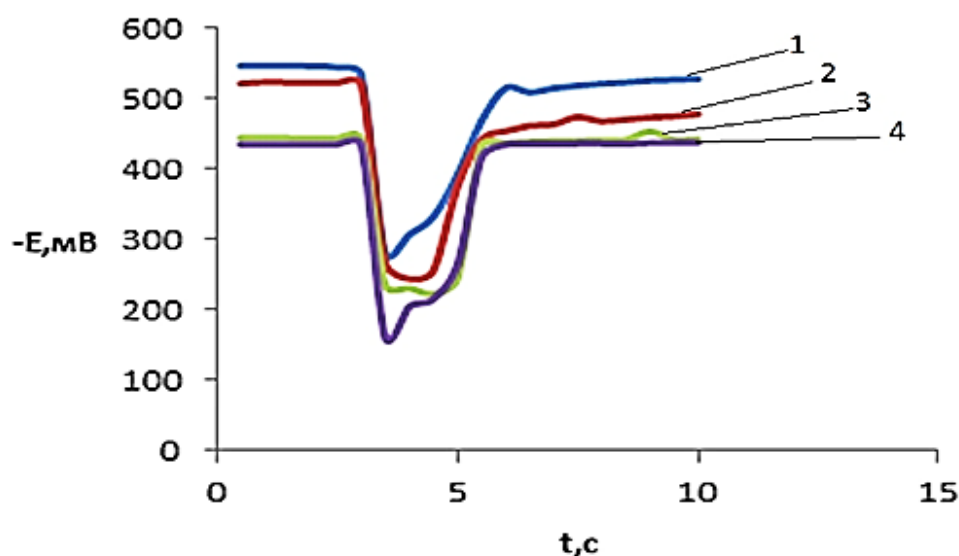
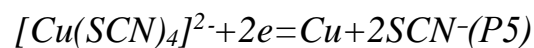


Рис. 6. РК Cu в растворах 0,5 М ТМ + X г/л $Bi(NO_3)_3$ + Y г/л $SnCl_2 \cdot 2H_2O$, где X=0,5, Y=1(1); X=1, Y=2(2); X=1,5, Y=3(3); X=2, Y=4(4)

Увеличение концентрации хлорида олова от 2 г/л до 3 г/л резко смещает E^* на $\sim 0,1$ В в анодном направлении (рис. 6). Аналогичное смещение наблюдалось в оловосодержащих растворах без добавок ионов Bi (III) (рис. 3). Такой эффект можно связать с образованием интерметаллидов, например, Cu_6Sn_5 и Cu_3Sn [7].

Роданидные висмутсодержащие растворы. На рис.7 показаны РК Cu в серноокислом роданидном растворе (10 мл/л $\text{H}_2\text{SO}_4 + 1$ М TM) с изменением концентрации ионов Bi (III).

В отсутствии роданида (рис. 7, кривая 1) E до среза E^* равен $\sim 0,05$ В. В сернокислых висмутсодержащих растворах (рис. 7, кривые 2–5) при большом избытке роданида калия потенциал E^* смещается в катодную область на $0,1-0,4$ В. Константы нестойкости роданидных комплексов Cu и Bi приведены в таблице. Стандартный равновесный потенциал реакции



сдвинут в катодном направлении относительно $E_0(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu})$ на $-0,0295\text{pK}$,

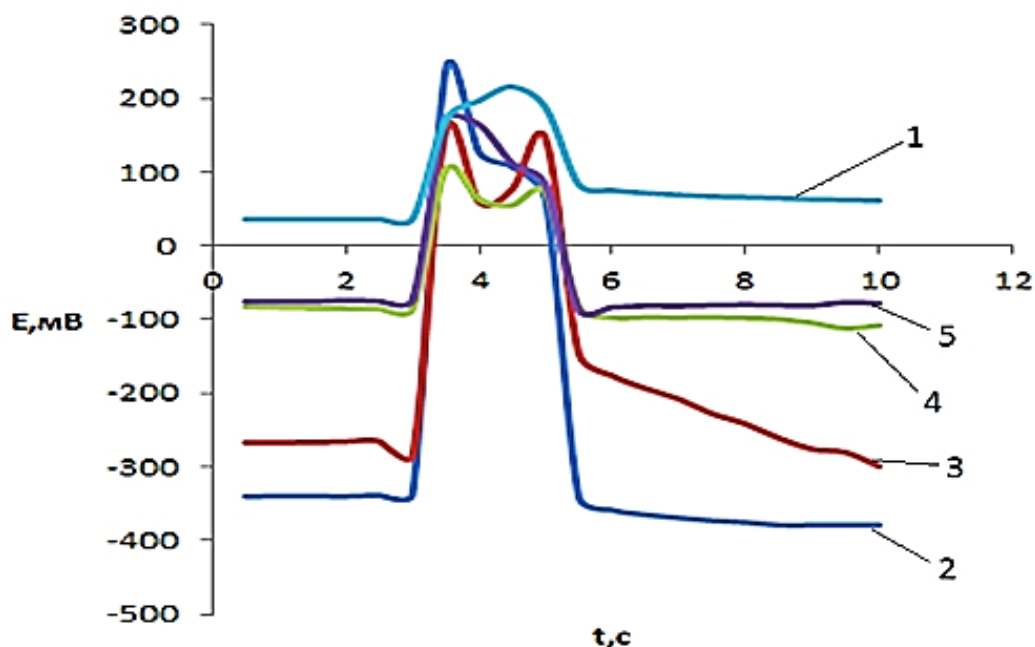
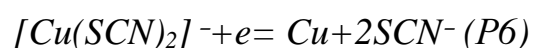
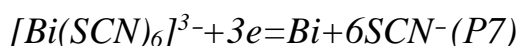


Рис. 7. РК Cu в растворах 0 М $\text{KSCN} + 2$ г/л $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ (1); 1 М $\text{KSCN} + X$ г/л $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$, где X : 0,5 (2), 1,0 (3), 1,5 (4), 2,0 (5)

т. е. на $\sim -0,2$ В. Стандартный равновесный потенциал реакции



сдвинут в катодном направлении относительно $E_0(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu})$ на $-0,059\text{pK}$, т. е. на $\sim -0,7$ В. Стандартный равновесный потенциал реакции



сдвинут в катодном направлении относительно $E_0(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu})$ на $-0,02\text{pK}$, т. е. на $\sim -0,085$ В.

Таблица 1

Константы нестойкости роданидных комплексов Cu и Bi [6; 8]

Комплекс	pK
$[\text{Bi}(\text{SCN})_2]^+$	2,26
$[\text{Bi}(\text{SCN})_4]^-$	3,41
$[\text{Bi}(\text{SCN})_6]^{3-}$	4,23
$[\text{Cu}(\text{SCN})_2]^-$	12,11
$[\text{Cu}(\text{SCN})_4]^{2-}$	6,52

Сопоставление наблюдаемых сдвигов E^* с приведёнными расчётными значениями сдвигов потенциала указывает, что эти сдвиги связаны в основном с образованием роданидных комплексов меди.

При столь отрицательных потенциалах возможно контактное осаждение висмута и разряд H^+ на поверхности Cu. Поэтому потенциал E^* в этом случае может являться уже стационарным потенциалом Bi в условиях разряда на электроде ионов водорода.

В роданидных растворах после среза E анодно смещается более, чем на $\sim 0,3-0,5$ В из-за образования ювенильной поверхности Cu и протекания на ней катодных реакций – разряда ионов Bi^{3+} и H^+ . Образование максимума и дальнейшее смещение потенциала уже в катодном направлении на этом участке РК связано с анодной реакцией окисления меди и осаждённого висмута.

Изменение концентрации $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ в диапазоне от 0,5 г/л до 2 г/л при избытке роданида оказывает очень сильное влияние на вид РК, E^* и скачок потенциала (рис.8, 9). Отсутствие линейной корреляции $E^*-\lg C$ в диапазоне концентраций $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ от 0,5 до 2 г/л указывает, что этот потенциал формируется за счёт протекания нескольких сопряжённых реакций, о чём говорилось выше.

Сдвиг E^* при увеличении концентрации $Bi(III)$ в 4 раза очень велик по сравнению с ТМ-растворами и составляет ~ 300 мВ (!), что отвечает эффективному нернстовскому наклону ~ 500 мВ (!), который значительно превышает обычные нернстовские наклоны ($\sim(20-60)$ мВ). Такой

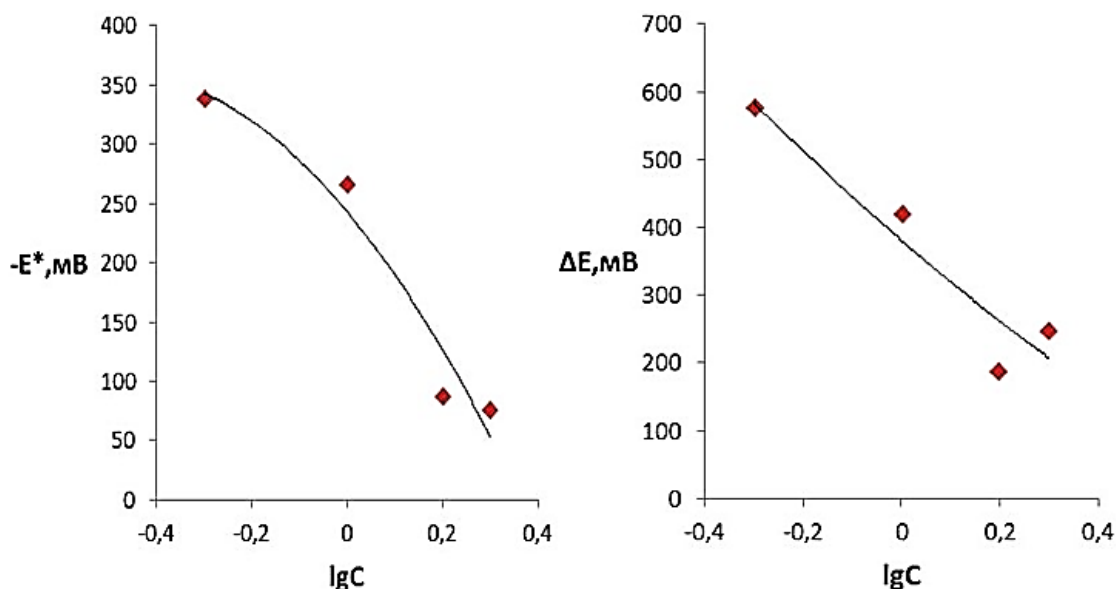


Рис. 8, 9. Зависимости E^* и ΔE от $\lg C(Bi(NO_3)_3)$ в роданидных растворах

эффект нельзя объяснить образованием роданидного комплекса Bi , константа нестойкости которого значительно меньше константы нестойкости комплексов меди (таблица). Эти данные указывают на то, что описанные закономерности для роданидных растворов в основном связаны как с образованием роданидных комплексов меди, так и с сильным влиянием на состояние медного электрода ионов $Bi(III)$, которое нельзя объяснить образованием его роданидных комплексов. Возможно, на поверхности электрода происходит формирование не висмута, а, например, интерметаллического соединения меди с висмутом.

Роданидные оловосодержащие растворы. На рис.10 показаны РК в роданидных растворах (1 М KSCN) с добавками $SnCl_2$. В присутствии роданида потенциал E^* смещается в катодную область на $\sim 0,4$ В, что можно объяснить образованием роданидных комплексов меди. После среза потенциал электрода смещается на $\sim 0,5$ В в анодном направлении, что, возможно, связано с образованием ювенильной поверхности меди и протеканием катодных реакций восстановления

ионов Sn (II) и H⁺. Образование максимума и дальнейшее смещение потенциала уже в катодном направлении также связано с окислением Cu.

Увеличение концентрации хлорида олова от 2 г/л до 8 г/л при избытке роданида не оказывает существенного влияния на E* и вид РК. Это служит указанием на относительно малую устойчивость роданидных комплексов олова по сравнению с роданидными комплексами меди. Следовательно, описанные

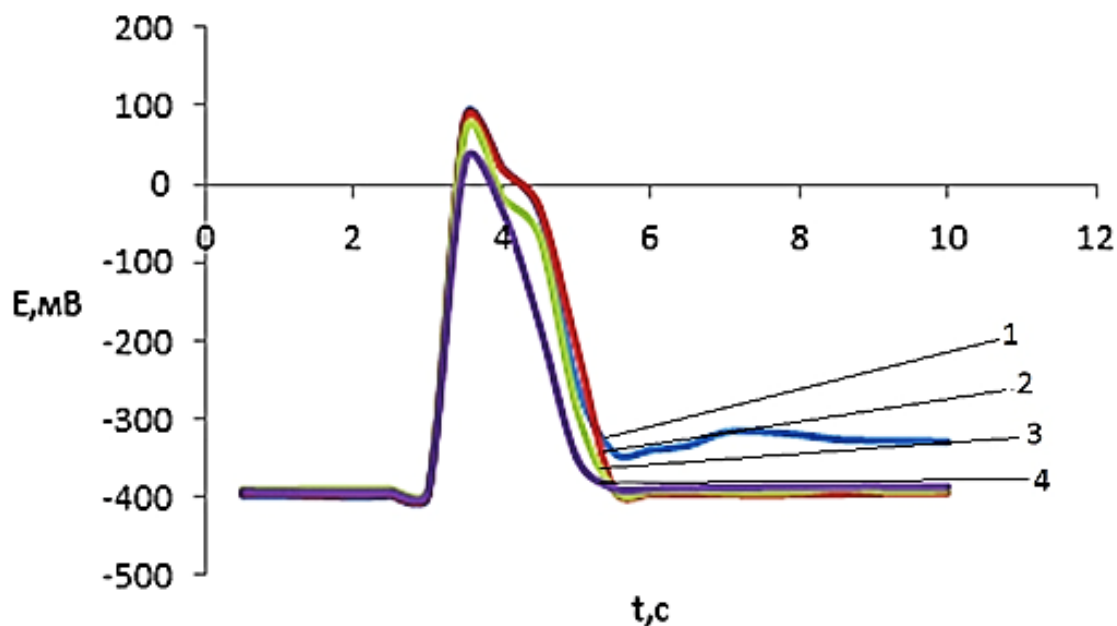


Рис. 10. РК Cu в растворах 1 М KSCN+X г/л SnCl₂·2H₂O, где X:2(1);4(2);6(3); 8(4)

закономерности для исследованных растворов связаны только с образованием роданидных комплексов меди.

Роданидные растворы с добавками висмута и олова. На рис.11 показаны РК в роданидных растворах с добавками ионов олова и висмута.

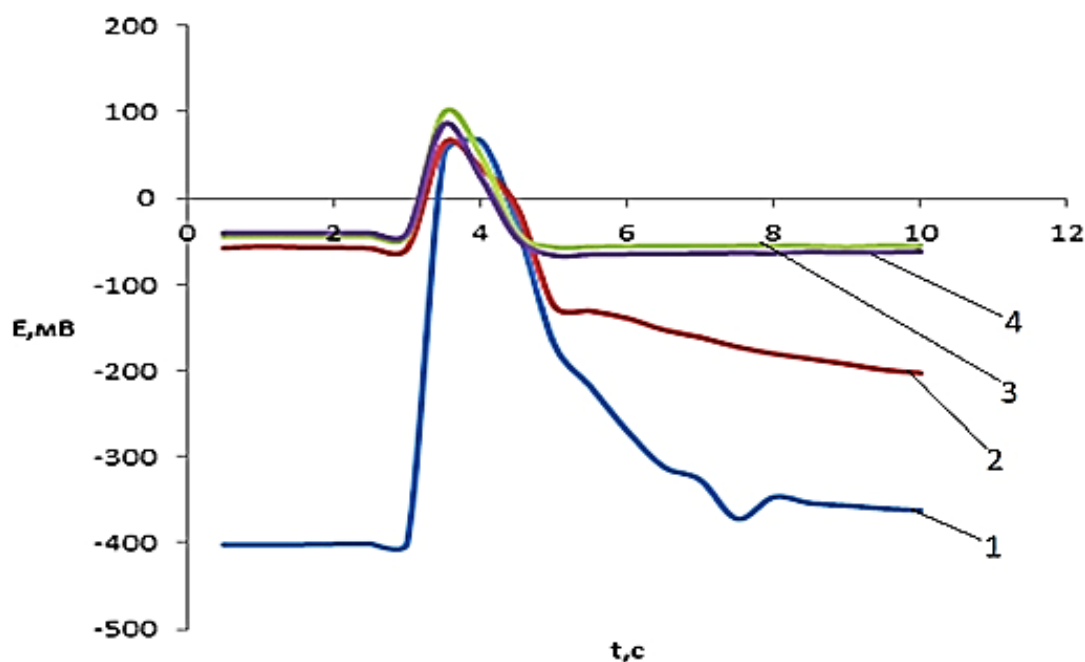


Рис. 11. РК Cu в растворах 0,5 М KSCN+X г/л $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ +Y г/л $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, где X=0,5, Y=1(1); X=1, Y=2(2); X=1,5, Y=3(3); X=2, Y=4(4)

При одновременном одинаковом увеличении концентраций ионов Sn (II) и Bi(III) E^* очень сильно смещается в анодном направлении – с $-0,4$ В до $-0,05$ В, что наблюдалось и в висмутсодержащих растворах без добавок ионов олова. Такой эффект можно связать с образованием интерметаллидов Cu-Bi [7].

После обновления поверхности электрода происходит анодный скачок потенциала до $\sim 0,1$ В, что, возможно, связано с протеканием катодных реакций восстановления ионов олова и висмута и разрядом ионов водорода.

Выводы

1. Установлено, что в присутствии избытка тиомочевины и роданида образование устойчивых комплексов меди вызывает сильнейшее катодное смещение бестокового потенциала медного электрода E^* (на сотни милливольт!) до потенциалов, достаточных для осаждения Sn и Bi. Обновление поверхности медного электрода в растворах роданида и тиомочевины приводит к анодному скачку потенциала, обусловленному, вероятнее всего, восстановлением ионов олова и висмута на ювенильной поверхности меди и разрядом ионов водорода. После достижения максимума происходит катодная релаксация потенциала, связанная с анодными процессами окисления поверхностного слоя электрода.

2. Установлено, что в роданидных растворах (1 М KSCN) рост концентрации $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ в диапазоне $(1,3 \div 5,2) \cdot 10^{-3}$ М вызывает очень сильное анодное смещение E^* , что служит косвенным указанием на образование интерметаллидов Cu-Bi. В тиомочевинных растворах (1 М ТМ) такой эффект не обнаружен.

3. Установлено, что в тиомочевинных растворах (1 М ТМ) увеличение концентрации $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в диапазоне $(0,9 \div 1,8) \cdot 10^{-2}$ М вызывает значительное анодное смещение E^* , что указывает на возможное образование интерметаллидов Cu-Sn. В роданидных растворах (1 М KSCN) такой эффект не выявлен.

4. Установлено, что в тиомочевинных растворах с добавками ионов олова и висмута рост концентрации $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ вызывает сильное анодное смещение E^* , что происходило и в оловосодержащих растворах без добавок ионов висмута. В роданидных растворах с добавками ионов олова и висмута рост концентрации $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ сильно анодно сдвигает E^* , что наблюдалось и в висмутсодержащих растворах без добавок ионов олова. Такие эффекты можно связать с образованием интерметаллидов Cu-Sn, Cu-Bi.

Таким образом, были подобраны концентрационные условия, при которых идет контактное осаждение сплава олово-висмут на медной поверхности. Исследование данных иммерсионных процессов методом релаксации бестокового потенциала свежееобновляемой поверхности медного электрода, позволило выявить образование интерметаллического слоя на медной поверхности.

На основании проведенного исследования можно предложить следующие практические рекомендации:

1) роданид-ионы способны смещать равновесный потенциал меди в более электроотрицательную область, поэтому, помимо тиомочевины, их следует использовать в качестве комплексообразующего агента для создания условий протекания иммерсионного процесса при покрытии защитным слоем медных поверхностей печатных плат;

2) представляется нецелесообразным использовать висмут в качестве легирующей добавки финишных покрытий печатных плат, так как висмут не предотвращает образование интерметаллидов, ухудшающих паяемость покрытия.

Список литературы

1. Шкундина С. Финишные покрытия под поверхностный монтаж современной элементной базы / С. Шкундина // Печатный монтаж. – 2011. – №2. – С. 150–160.
2. Медведев А. Покрытия под пайку / А. Медведев // Технологии в электронной промышленности. – 2006. – №4. – С. 18–21.
3. Брянский Б.Я. О влиянии фторида натрия на релаксацию бестокового потенциала свежееобновлённого медного электрода при контактном осаждении на нём олова / Б.Я. Брянский, М.С. Янкова, В.А. Мухин, Н.П. Пахомов // Естественные науки и экология. – Омск: Изд-во ОмГПУ, 2014. – С. 3–9.
4. Зелинский А.Г. Твёрдый электрод с обновляемой путём среза поверхностью / А.Г. Зелинский, Р.Ю. Бек // Электрохимия. – 1985. – Вып.1. – С. 876–879.
5. Сафонов В.А. Модельное описание зависимостей потенциала электрода от времени его контакта с растворами электролита / В.А. Сафонов, Б.Б. Дамаскин, М.А. Чоба // Электрохимия. – 1989. – Т. 25. – Вып.11. – С. 1432–1438.
6. Справочник химика. Т. 3. Химия. – М.; Л., 1963.
7. Телеш Е.С. Процессы сплавообразования при контактном осаждении олова на медь / Е.С. Телеш, Т.Н. Воробьева // Вестник БГУ. Сер. 2. – 2007. – №1. – С. 15–21.
8. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии / Ю.Ю. Лурье. – М.: Химия, 1989. – 448 с.