

УДК 669.228

А. В. Исаев<sup>1</sup>, Т.А. Жирнова<sup>1</sup>, М.Г. Михаленко<sup>2</sup>, В.В. Исаев<sup>2</sup>, В.В. Бакаев<sup>2</sup>**ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ АЛМАЗОВ  
НА КАТОДНОЕ ОСАЖДЕНИЕ СЕРЕБРА**ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова», Н. Новгород<sup>1</sup>  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>2</sup>

Рассмотрены кинетические особенности гальванического серебрения из малотоксичного дициано-аргентатно-роданистого электролита, влияние добавки ультрадисперсных алмазов на кинетические особенности катодного осаждения серебра. Установлено, что на катодной поверхности происходит образование пассивирующей коллоидной фазы, состоящей из  $\text{AgCN}$  и  $\text{AgCNS}$ , экранирующей поверхность катода. Введение в электролит серебрения ультрадисперсных алмазов, которые адсорбируются на катодной поверхности, приводит к разрыхлению коллоидной фазы и облегчает катодное восстановление ионов серебра. Ультрадисперсные алмазы, включаясь в серебряное покрытие, повышают его микротвёрдость и износостойкость.

*Ключевые слова:* серебрение, катодное осаждение, кинетические особенности, ультрадисперсные алмазы.

Широкое применение в производстве изделий электронной техники и приборостроения получили функциональные серебряные покрытия. Серебро обладает высокой теплопроводностью и электропроводимостью, хорошо полируется и паяется.

Современное развитие электроники и приборостроения приводит к переориентации технологии серебрения на получение серебряных покрытий из электролитов, не содержащих высокотоксичных цианистых солей и из композиционных электролитов с добавками высокотвёрдых дисперсных ингредиентов [1].

Гальваническое серебрение электрических контактов получило широкое применение в производстве электрических соединителей. Основным недостатком серебряных покрытий является низкая твердость и износостойкость. Электрические соединительные контакты быстро истираются, серебро переносится с одного места на другое, «скатывается», что является крайне нежелательным явлением [2, 3]. Устранить этот недостаток можно введением в серебряное покрытие высокотвёрдых композитных материалов, которыми являются ультрадисперсные алмазы (УДА). Использование их в последние годы открыло новое перспективное направление в создании композитных материалов, обладающих высокой твердостью и повышенной устойчивостью к различным агрессивным средам [4, 5].

В данной работе изучены кинетические особенности гальванического серебрения из малотоксичного дициано-аргентатно-роданистого электролита, влияние добавки ультрадисперсных алмазов (УДА) на кинетические особенности катодного осаждения серебра.

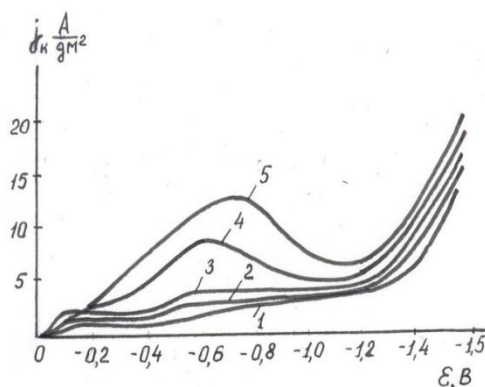
Для исследования влияния УДА на кинетику катодного осаждения серебра использовали дициано-аргентатно-роданистый электролит следующего состава (г/л):  $\text{KAg(CN)}_2$  – 40–50;  $\text{KCNS}$  – 200–250;  $\text{K}_2\text{CO}_3$  – 20–40. Осаждение проводили при температуре 18–20 °С. Медный образец марки МО перед серебрением подвергался следующей обработке поверхности:

- обезжириванию оксидом магния;
- холодной промывке;
- травлению в концентрированной азотной кислоте;
- холодной промывке.

Перед исследованиями на медный электрод гальванически наносился слой серебра толщиной 3–4 мкм, и исследования проводились на серебряном электроде. Для проведения электрохимических измерений использовался потенциостат «Элинс Р-30S», а для импедансных – применяли импедансметр Z-500P. В качестве электрода сравнения использовали серебряную пластинку.

При опускании медного электрода в электролит серебрения на нём происходит контактное осаждение серебра. Для устранения данного процесса необходимо опускать медные образцы в электролит серебрения под катодной нагрузкой, или применять обработку, предлагаемую в [2].

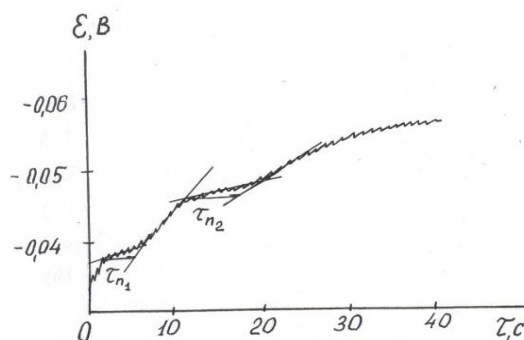
Катодные хроновольтамперометрические кривые восстановления ионов серебра из указанного электролита серебрения при различных скоростях развертки потенциала представлены на рис. 1.



**Рис. 1.** Хроновольтамперометрические кривые катодного осаждения серебра из электролита основного состава при  $t = 20^{\circ}\text{C}$ . Скорость развертки потенциала (мВ/с): 1 – 4; 2 – 20; 3 – 40; 4 – 60; 5 – 80

На катодных кривых восстановления ионов серебра при малых скоростях развертки потенциала наблюдаются два предельных тока (рис. 1, кривые 1, 2, 3) один в области потенциалов  $-0,2\text{ В} - -0,4\text{ В}$ , второй при  $-0,6\text{ В} - -1,0\text{ В}$ . Появление двух предельных токов может свидетельствовать о том, что восстановление ионов серебра происходит из двух различных частиц.

На хронопотенциограмме, полученной из электролита серебрения, также наблюдаются две площадки. Первая потенциальная площадка наблюдается при потенциале  $-0,038 \div -0,040\text{ В}$ , вторая – при потенциале  $-0,048 \div -0,050\text{ В}$ . Каждая из потенциальных площадок характеризуется своим переходным временем  $\tau_{п1}$  и  $\tau_{п2}$  (рис. 2). Это подтверждает предположение, что разряд ионов серебра происходит из двух различных частиц.



**Рис. 2.** Хронопотенциометрическая зависимость восстановления ионов серебра при плотности тока  $0,25\text{ А/дм}^2$

С увеличением скорости развертки потенциала пики токов на хроновольтамперометрических кривых (рис. 1) возрастают, при этом потенциал тока пика смещается в отрицательную сторону. Появление максимумов токов (токов пика) на кривых при больших скоростях развертки потенциала обусловлено влиянием двух противоположно действующих фак-

торов. С одной стороны, с ростом катодного потенциала возрастает скорость электрохимического восстановления ионов серебра, а с другой стороны, при большой скорости восстановления возникают диффузионные затруднения, обусловленные подводом разряжающихся ионов к поверхности катода, что приводит к снижению катодного тока. Смещение потенциала тока пика в отрицательную сторону происходит в том случае, когда процесс восстановления является необратимым [6]. Значительный рост тока при потенциалах отрицательнее  $-1,2$  В обусловлен не только осаждением серебра, но и выделением водорода.

На катодных хроноамперометрических зависимостях, полученных при различных потенциалах восстановления ионов серебра, наблюдаются пульсации катодного тока (рис. 3). Такие пульсации тока наблюдаются в том случае, когда происходит пассивация катодной поверхности. Пульсации тока могут быть обусловлены двумя противоположно действующими факторами. Первый из них – образование пассивирующих продуктов на катодной поверхности, экранирующей электрод, что приводит к снижению тока. Второй – образующиеся продукты частично восстанавливаются и растворяются, что активизирует катодную поверхность и способствует росту катодного тока. Снижение катодного тока со временем электролиза обусловлено диффузионными затруднениями, связанными с замедленным подводом разряжающихся ионов к катодной поверхности через пассивирующую фазу продуктов электролиза.

При поляризации отрицательнее  $-1,2$  В, в области выделения водорода пульсации катодного тока исчезают. Для доказательства наличия диффузионных затруднений использовали вращающийся дисковый электрод. Хроновольтамперометрические кривые при скорости развертки потенциала  $2$  мВ/с и различными скоростями вращения дискового электрода представлены на рис. 4. С ростом скорости вращения дискового электрода токи восстановления ионов серебра значительно возрастают, что подтверждает наличие у процесса восстановления серебра диффузионных затруднений.

Катодное осаждение серебра исследовалось импедансным методом. Характеристические зависимости активной  $R_{\phi}$  и реактивной  $1/\omega C_{\phi}$  составляющих фарадеевского импеданса, обработанные по методике [7], от  $1/\sqrt{\omega}$ , где  $\omega$  – круговая частота переменного тока, представлены на рис. 5. Ход этих зависимостей показывает, что у катодного восстановления ионов серебра в изучаемом электролите имеются диффузионные затруднения, характеризующиеся тангенсом угла наклона пунктирной прямой ( $\text{tg}\Theta$ ) и затруднения химической реакции [8]. Таким образом, было показано, что при катодном восстановлении ионов серебра наблюдается два вида перенапряжений – *диффузионное* и *химическое*.

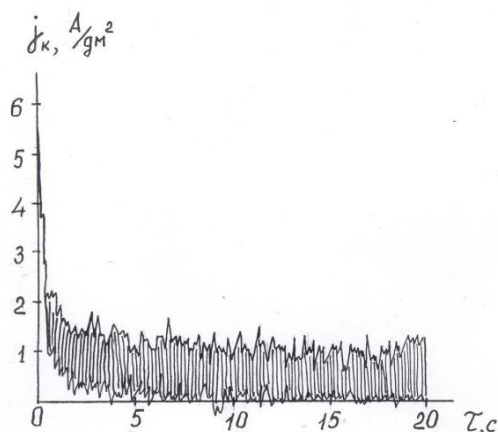
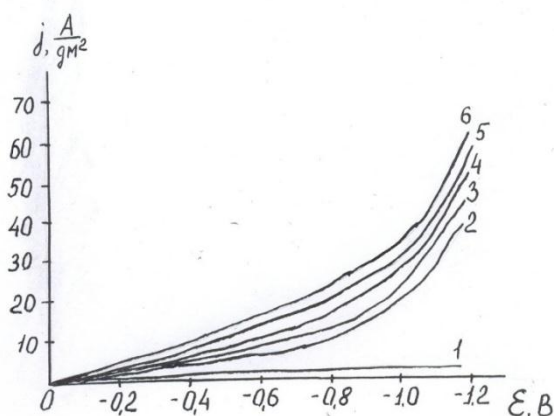
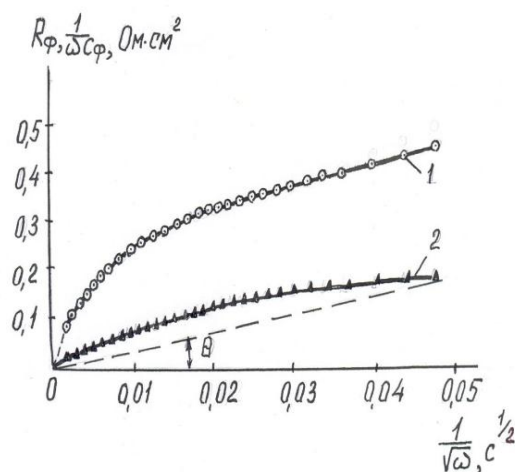


Рис. 3. Хроноамперометрическая зависимость восстановления ионов серебра при потенциале  $-0,4$  В



**Рис. 4. Хроновольтамперометрические кривые катодного восстановления ионов серебра при скорости развертки потенциала 2 мВ/с при различных скоростях вращения дискового электрода (об/мин): 1 – нет вращения; 2 – 500; 3 – 600; 4 – 700; 5 – 800; 6 – 1000;  $t = 20^\circ\text{C}$**

Проведенные исследования позволили предложить следующий механизм катодного восстановления ионов серебра. В электролите серебрения ионы серебра находятся в виде комплексных ионов  $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$  и  $[\text{Ag}(\text{CNS})_2]^-$ . Появление роданидных комплексных ионов серебра в электролите серебрения возможно за счёт растворения серебряных анодов и взаимодействия ионов серебра с роданид – ионами. Так как эти ионы имеют отрицательный заряд, то под действием электрического поля мигрируют от отрицательно заряженной катодной поверхности. Поэтому подвод их к катоду затруднён. Доставка к поверхности катода может осуществляться лишь за счёт диффузии и конвекции. Поэтому перемешивание электролита значительно увеличивает катодный ток восстановления ионов серебра. У катодной поверхности происходит частичная диссоциация ионов по реакциям:



**Рис. 5. Зависимости активной  $R_\phi$  (кривая 1) и реактивной  $1/\omega C_\phi$  (кривая 2) составляющих фарадеевского импеданса серебряного электрода от  $1/\sqrt{\omega}$  при потенциале -0,8 В**

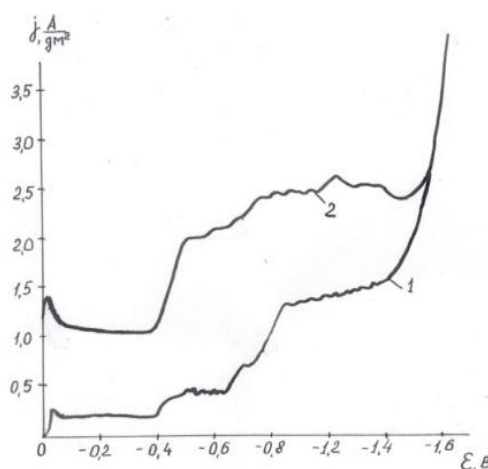
Образующиеся при диссоциации цианид и роданид ионы, имеющие отрицательный заряд, мигрирует из двойного электрического слоя, а малорастворимые бесцветные соли

AgCN и AgCNS, перекрывая катодную поверхность, пассивируют её, препятствуя восстановлению ионов серебра. На катодной поверхности имеются участки, закрытые малорастворимым бесцветным цианидом и роданидом серебра, и имеются небольшие открытые участки (поры), на которых происходит восстановление цианидных и роданидных комплексных ионов по реакциям:



Стандартные потенциалы этих окислительно-восстановительных систем равны -0,29 В и +0,313 В соответственно /9/. Этим объясняется появление на хронопотенциограммах двух потенциальных площадок (рис. 2), а на хроновольтамперометрических зависимостях двух предельных токов (рис. 1). Приблизительно долю открытых участков катодной поверхности можно определить из хроноамперометрической кривой (рис. 3). Предполагая, что в момент включения тока вся поверхность катода активна и пассивирующая фаза не успела образоваться на катодной поверхности, катодный ток будет принимать максимальное значение. Спад тока во времени электролиза обусловлен образованием на катодной поверхности пассивирующей фазы. При установившемся катодном минимальном токе, предполагая, что токи восстановления пассивирующей фазы значительно меньше токов восстановления комплексных ионов, доля открытых участков (пор) будет определяться как отношение минимального тока к максимальному и составлять 2-3 %. Растворение пассивирующей фазы с образованием комплексных ионов серебра затруднено. Это и обуславливает появление перенапряжения химической реакции, доказанное импедансным методом исследования (рис. 5).

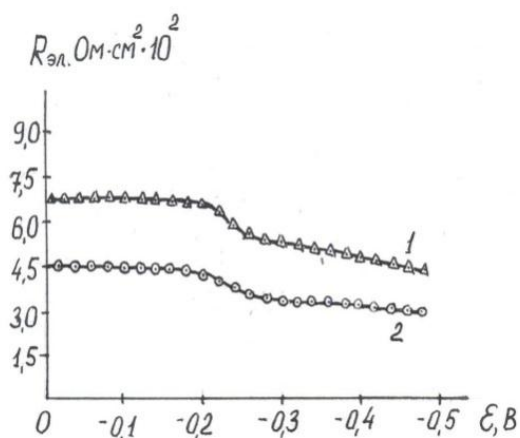
При изучении влияния ультрадисперсных алмазов на катодное осаждение серебряных покрытий необходимо отметить особенности этих частиц. Согласно [10], частицы УДА в отличие от обычных микродисперсных порошков – наполнителей являются не наполнителем, а структурообразующим материалом со специфическими свойствами. УДА обладает рядом уникальных свойств, отличающих их от известных наполнителей [11,12]. Они имеют сложную структуру [13-16] ядро около 40 ангстрем из классического кубического алмаза и углеродную оболочку вокруг ядра из переходных рентгеноаморфных структур углерода толщиной 4-10 ангстрем. Эта оболочка, состоящая из  $sp^2$  – гибридованных атомов углерода, неоднородна по степени упорядоченности структурных фрагментов. Поверхностный слой, включающий, кроме алмазов углерода гетероатомы, насыщен широким спектром разнообразных, преимущественно кислородсодержащих функциональных групп.



**Рис. 6. Катодные хроновольтамперометрические кривые восстановления ионов серебра при  $V_{\text{разв.}} = 2 \text{ мВ/с}$ ,  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ :  
1 – без добавки; 2 – с добавкой УДА 2 г/л**

При этом неалмазные компоненты УДА являются не примесями, а органическими составляющими продукта, в значительной степени определяющими комплекс его специфических свойств. Это свидетельствует, что в УДА роль поверхностных межфазных взаимодействий значительна.

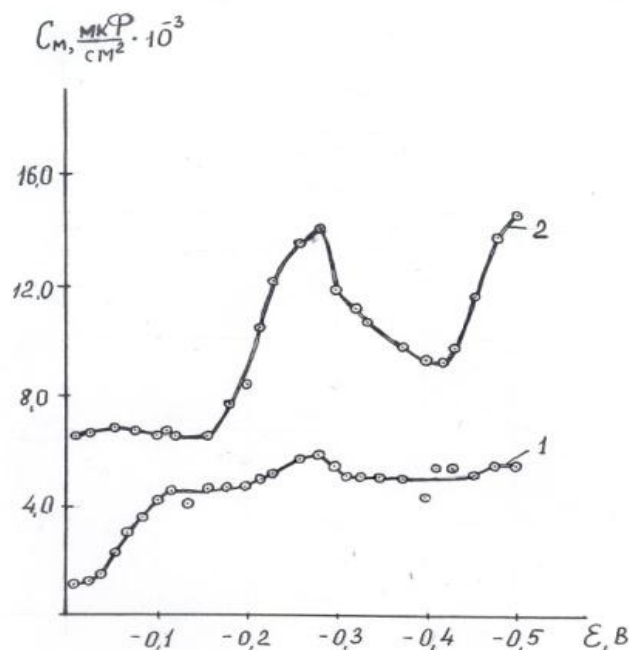
При добавлении в электролит серебрения ультрадисперсных алмазов (2 г/л) качественный характер хроновольтамперометрических кривых восстановления ионов серебра не изменился, однако катодные токи значительно возросли (рис.6). Если в электролите без УДА при поляризации  $-0,6$  В плотность катодного тока имела величину  $0,4$  А/дм<sup>2</sup>, то в электролите с УДА она составляла  $2,1$  А/дм<sup>2</sup>. При добавлении в электролит серебрения УДА изменилось сопротивление электролита, определённое импедансным методом исследования (рис. 7).



**Рис. 7. Влияние УДА на сопротивление электролита серебрения:**

1 – без добавки; 2 – с добавкой УДА -2г/л;  $t = 20^{\circ}\text{C}$

Значительно изменилась ёмкость  $C_m$  на границе катод – электролит (рис. 8).

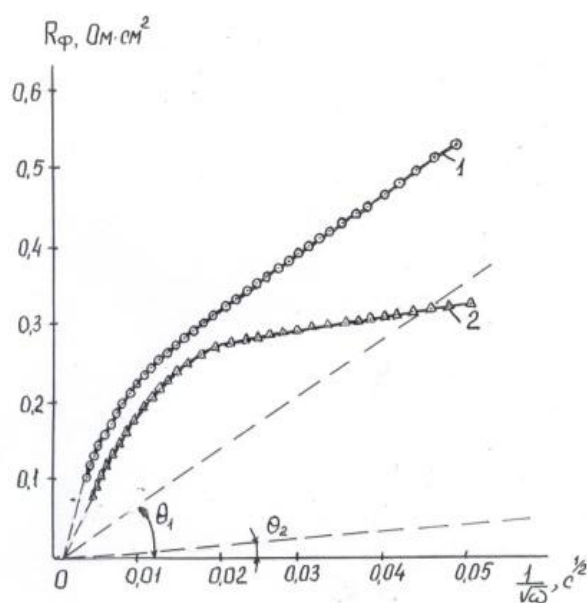


**Рис. 8. Зависимость ёмкости  $C_m$  на границе серебряный электрод – электролит серебрения от потенциала катода при частоте переменного тока  $f = 5690$  Гц ;  $t = 20^{\circ}\text{C}$**

Если при потенциале  $-0,4$  В в электролите без добавки ёмкость  $C_M$  имела величину  $5000$  мкФ/см<sup>2</sup>, то при добавлении в электролит серебрения  $2$  г/л УДА ёмкость составила  $9500$  мкФ/см<sup>2</sup>. Введение добавки значительно увеличило ёмкостную составляющую границы серебряный катод – электролит. Большие значения ёмкостной  $C_M$  на границе электрод – раствор, не характерной для индифферентных электролитов, можно объяснить тем, что на катодной поверхности малорастворимые продукты, пассивирующие катод, представляют собой коллоидные частицы – мицеллы, каждая из которых имеет свой собственный двойной электрический слой. Суммарная ёмкость всех частиц, находящихся на катодной поверхности, будет пропорциональна суммарной поверхности этих мицелл, находящейся на электроде, а она велика. Введение в электролит УДА приводит к тому, что адсорбируясь на катодной поверхности, они разрыхляют коллоидную фазу, увеличивая тем самым поверхность, и следствием этого является увеличение ёмкости на границе серебряный катод – электролит.

Разрыхлением пассивирующей фазы можно объяснить снижение сопротивления электролита с введением добавки УДА (рис. 7). Сопротивление электролита включает и сопротивление пассивирующей фазы на катодной поверхности. Разрыхление этой фазы улучшает её проводимость, что приводит к снижению сопротивления электролита в целом.

Введение в раствор серебрения УДА сказалось на активной составляющей фарадеевского импеданса (рис. 9).



**Рис. 9. Зависимость активной составляющей  $R_\phi$  фарадеевского импеданса серебряного электрода от  $1/\sqrt{\omega}$  при потенциале  $-0,8$  В;  $t = 20$  °С:**

1 – раствор серебрения без добавки; 2 – раствор серебрения с добавкой УДА  $-2$  г/л

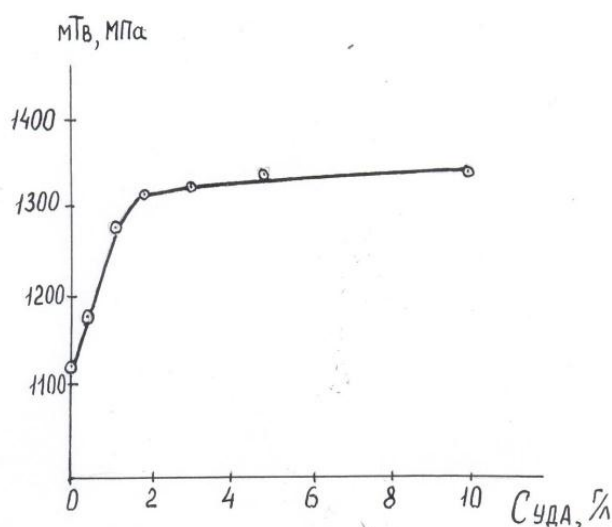
Активное сопротивление  $R_\phi$  уменьшилось за счет снижения диффузионной составляющей импеданса. Сопротивление, характеризующее затруднения химической реакции, практически не изменилось. УДА, разрыхляя пассивирующую коллоидную фазу, делают её более проницаемой для разряжающихся ионов серебра. Диффузионные затруднения, характеризующиеся тангенсом угла наклона ( $\text{tg}\Theta$ ) пунктирной прямой (рис. 9) у процесса восстановления ионов серебра, снижаются. В электролите без добавки УДА диффузионные затруднения характеризовались тангенсом угла наклона пунктирной прямой  $\text{tg}\Theta_1$ , при введении УДА тангенс угла наклона прямой уменьшился до  $\text{tg}\Theta_2$ . Тангенс угла наклона прямой связан с кинетическими параметрами диффузионного процесса формулой [8]:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{RT}{(zF)^2\sqrt{DC}} \quad (5)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная (Дж/моль град К);  $T$  – температура, К;  $z$  – число электронов, участвующих в катодном процессе восстановления ионов серебра;  $F$  – число Фарадея (кул);  $D$  – коэффициент диффузии ионов серебра ( $\text{см}^2/\text{с}$ );  $C$  – концентрация ионов серебра в растворе ( $\text{моль}/\text{см}^3$ ).

Определив тангенс угла наклона для диффузионного процесса, можно найти коэффициент диффузии восстанавливающихся на катоде ионов серебра. В растворе серебрения без добавки коэффициент диффузии ионов серебра имел значение  $2,38 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2/\text{с}$ . В растворе с добавкой УДА коэффициент диффузии значительно возрос и составил величину  $1,51 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$ .

Серебряные покрытия, полученные из электролита с ультрадисперсными алмазами, обладают повышенной микротвердостью (рис. 10).



**Рис. 10.** Влияние концентрации УДА в электролите серебрения на микротвёрдость серебряного осадка

Серебряное покрытие, полученное из дициано-аргентатно-роданистого электролита без добавки ультрадисперсных алмазов, имело микротвердость 1110 МПа. С введением в электролит добавки УДА до 2 г/л микротвердость серебряного покрытия возрастала до 1310 МПа. Дальнейшее увеличение концентрации добавки практически не оказало влияние на микротвердость серебряных покрытий. Поэтому оптимальной концентрацией УДА в электролите серебрения можно считать 2 г/л.

Исследования по износостойкости серебряного покрытия и покрытия с УДА проводились на установке, обеспечивающей возвратно-поступательное движение образца. Трущаяся пара представляла собой латунный диск диаметром 10 мм, с нанесенным на него гальваническим серебряным покрытием, который перемещался по неподвижной плоскопараллельной стальной пластине, размером 20×70 мм, покрытой твердым хромом. Число возвратно-поступательных движений в час составляло 1500. В качестве нагрузки на диск использовалась съемная гиря весом 150 г. Одновременно на установке истирались по 2 диска. Износостойкость покрытия определялась весовым методом по убыли массы диска за время истирания, которое составляло 20 ч. Каждый час истираемые диски с покрытием и пластины протирались спиртом, удаляя с поверхности продукты истирания. Расчет износостойкости проводили на величину половины привеса диска, поскольку истирается одна плоскость. Результаты исследований по износостойкости серебряного покрытия представлены в таблице.



Таблица

## Влияние УДА на износостойкость серебряных покрытий

Концентрация УДА, г/л	0		1,0		2,0		5,0	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Привес (г) (серебряное покрытие)	0,0174	0,0176	0,0177	0,0178	0,0206	0,0207	0,032	0,033
0,5 привеса	0,0087	0,0088	0,0089	0,0089	0,0103	0,0103	0,016	0,016
Потери массы серебряного покрытия при истирании в течение 20 ч, (г)	0,0007	0,0008	0,0003	0,0003	0,0002	0,0003	0,0004	0,0004
Потери массы при истирании серебряного покрытия, (%)	8,0	9,0	3,3	3,3	1,9	2,9	2,5	2,5
Среднее значение потери массы серебряного покрытия при истирании, (%)	8,5		3,3		2,4		2,5	

Исследования на износостойкость показали, что самая высокая убыль массы при истирании образцов наблюдается на образцах с серебряным покрытием, полученным в электролите без УДА. Потери массы составили 8,5 %, покрытие с УДА 1 г/л – потери массы 3,3%, с УДА 2 г/л – потери массы 2,4 %, с УДА 10 г/л – 2,5 %. Можно сделать вывод, что, введение в электролит ультрадисперсных алмазов повышает износостойкость серебряного покрытия примерно в 2,5 раза. Оптимальная концентрация УДА в электролите –  $1 \div 2$  г/л.

Электропроводящие свойства серебряного покрытия практически не изменялись. Удельное объёмное электрическое сопротивление находилось в пределах  $2,0 - 2,3 \cdot 10^{-6}$  Ом·см при температуре 15-35 °С, рассеивающая способность электролита также не изменялась и составляла 68 %. Ухудшение паяемости серебряного покрытия не наблюдалось.

## Библиографический список

1. Емельянов, В.А. Выбор покрытий для корпусов интегральных схем / В.А. Емельянов, А.П. Достанко, В.Л. Ланин, А.А. Хвиль // Электронная техника. Сер. 7.Технология, организация производства и оборудование. 1987. Вып. 1 (140).
2. Буркат Г.К. Серебрение, золочение, палладирование и родирование / Г.К. Буркат. – Л.: Машиностроение, 1984. – 86 с.
3. Вячеславов, П.М. Гальванотехника благородных и редких металлов / П.М. Вячеславов, С. Я. Глирихес, Г.К. Буркат. – Л. Машиностроение, 1970. – 248 с.
4. Хвиль, А.А. Формирование износостойких композиционных электрохимических покрытий на основе серебра с УДА / А. А. Хвиль, Л. К. Кушнер, И. И. Мушовец // Материалы, технологии, инструменты. 1998. Т 3. № 2.
5. [http://www.saveplanet.su/tehno\\_388.html](http://www.saveplanet.su/tehno_388.html)
6. Галюс, З. Теоретические основы электрохимического анализа / З. Галюс. – М.: Мир, 1974. – 550 с.
7. Дамаскин, Б.Б. Принципы современных методов изучения электрохимических реакций / Б.Б. Дамаскин. М.: МГУ, 1965. – 213 с.
8. Феттер, К. Электрохимическая кинетика / К. Феттер. – М.: Химия, 1967. – 855 с.

9. Лурье, Ю.Ю. Справочник по аналитической химии / Ю.Ю. Лурье. – М.: Химия, 1967. –390 с.
10. Буркат, Г. К. Ультрадисперсные алмазы в гальванотехнике / Г. К. Буркат, В. Ю. Долматов // Физика твердого тела. 2004. Т. 46. Вып. 4. С. 685–692.
11. Сайфуллин, Р. С. Неорганические композиционные материалы / Р. С. Сайфуллин. – М.: Химия, 1983.
12. Андропов, Л.И. Композиционные электрохимические покрытия и материалы / Л. И.Андропов, Ю. Н. Лебединская. – Киев: Техника, 1986.
13. Беленков, Е. А. Наноалмазы и родственные углеродные наноматериалы. Компьютерное материаловедение / Е. А.Беленков, В. В. Ивановская, А. Л. Ивановский. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008.
14. Долматов, В. Ю. Получение и свойства электрохимических композиционных покрытий благородными и цветными металлами с ультрадисперсными алмазами детонационного синтеза / В. Ю. Долматов [и др.] // Сверхтвердые материалы. 2002. № 2. С. 52–57.
15. Долматов, В. Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза как основа нового класса композиционных металл-алмазных гальванических покрытий / В.Ю. Долматов, Г. К. Буркат // Сверхтвердые материалы. 2000. № 1. С. 84–95.
16. Galvanica.su –гальваника, строительство и обработка поверхности – Windows Internet Explorer Ультрадисперсные алмазы в гальванотехнике. Специальное конструкторско-технологическое бюро. Технолог Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета).

*Дата поступления  
в редакцию: 15.04.2014*

**A.V. Isaev, T.A. Zhirnova<sup>1</sup>, M.G. Mikhaleiko, V.V. Isaev, V.V. Bakaev<sup>2</sup>**

## **THE INFLUENCE OF ULTRADISPERSED DIAMONDS ON CATHODIC DEPOSITION OF SILVER**

Scientific research institute of measuring systems n. a. Y.E. Sedakova, N.Novgorod<sup>1</sup>,  
Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev<sup>2</sup>

Considered kinetic features electroplate silvering of low electrolyte, the influence of additives of ultradispersed diamonds on kinetic features of cathodic deposition of silver. It is established that on the cathode surface the formation of passivating colloidal phase consisting of AgCN and AgCNS, shielding cathode. Introduction to the electrolyte copper ultradispersed diamonds leads to loosening colloidal phase and facilitates cathode reduction of silver ions. Ultradispersed diamonds, including the silver coating, increase the hardness and wear resistance.

*Key words:* silvering, cathodic deposition, kinetic features, superdispersed diamonds.