

Разработаны процессы избирательного и неизбирательного осаждения сплавов Ni-W-P и Ni-Mo-P, характеризующихся высокой термостойкостью и хорошими резистивными характеристиками, что позволяет использовать их в качестве тонкопленочных резисторов, диффузионных барьеров и т.п.

#### Литература

1. Степанова Л.И. и др. // Вестник БГУ. Сер. 2. 1997. № 1. С. 14-18.
2. Воробьева Т.Н. // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 1994. Т. 36. № 9. С. 1491-1498. (Polymer. Sci. Ser. A. Vol. 36. № 9. P. 1240-1246.).
3. Степанова Л.И., Бодрых Т.И. // Гальванотехника и обработка поверхности. 1993. Т.1. № 5-6. С. 33-36.
4. Химическое осаждение металлов из водных растворов. Под ред. Свиридова В.В. Минск. Изд-во Университетское. 1987. 270 с.

### СОСТАВ И СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ ОСАЖДЕННЫХ СПЛАВОВ МЕДЬ-ОЛОВО И НИКЕЛЬ-ОЛОВО

*Бобровская В.П., Воробьева Т.Н., Рева О.В.  
НИИ физико-химических проблем Белгосуниверситета*

Из литературы известно, что биметаллические электрохимически осажденные покрытия часто обладают комплексом ценных свойств, выгодно отличающих их от покрытий из индивидуальных металлов и металлургических сплавов. К таким свойствам относятся повышенная твердость, износостойкость, наличие антифрикционных свойств, декоративный внешний вид, улучшенная способность к пайке (для сплавов содержащих олово) [1-3].

Особый интерес представляют биметаллические электрохимически осажденные пленки Cu-Sn и Ni-Sn, воплотившие все перечисленные достоинства: микротвердость - до 3-6 ГПа, коэффициент трения бронз по стали - до 0,08-0,11 [1] в сочетании с высокой (особенно у покрытий Ni-Sn) коррозионной стойкостью [2,3]. Несмотря на эти преимущества электрохимически осажденных биметаллических покрытий, их осаждение из растворов не получило широкого распространения в технике. Виной тому является ряд причин, которые в комплексном виде в литературе не анализируются.

Биметаллические покрытия Cu-Sn и Ni-Sn наилучшего качества с

хорошо воспроизводимыми свойствами осаждаются из растворов, содержащих цианид-ионы. В отсутствие лигандов (например, сульфат, пирофосфат, хлорид и фторид ионов) растворы нестабильны. Введение в растворы таких лигандов, как сульфат, пирофосфат, хлорид и фторид ионы обеспечивает получение биметаллических пленок, но их качество, в первую очередь - постоянство состава и воспроизводимость свойств неудовлетворительны. Более того, биметаллические покрытия часто меняют внешний вид, теряют декоративные свойства при хранении или в результате мягких тепловых обработок. Причины этих недостатков и пути их преодоления в литературе не анализируются, а к внедрению результатов электрохимического осаждения биметаллических сплавов приходится относиться с осторожностью.

В данной работе проанализированы особенности химического, фазового состава и свойств электрохимически осажденных биметаллических покрытий Cu-Sn и Ni-Sn, влияние на них ряда факторов, особенности поведения покрытий при хранении и эксплуатации и даны рекомендации по улучшению качества и воспроизводимости свойств указанных покрытий. Часть результатов опубликована нами ранее [4-7], и в настоящей работе эти данные суммируются с новыми относительно влияния разных факторов на свойства и стабильность покрытий.

Установлено, что при использовании известных сульфатных и пирофосфатных электролитов осаждения сплавов Cu-Sn при различных соотношениях концентраций солей обоих металлов в электролите (от 1:10 до 10:1), а также пирофосфатных и фторидно-хлоридных растворов для осаждения сплава Ni-Sn при соотношении ионов этих металлов в растворе от 1:3 до 3:1, химический состав покрытий меняется по мере увеличения их толщины до 6-10 мкм, после чего перестает изменяться. Поэтому в практических рекомендациях необходимо учитывать не только традиционные параметры — соотношение ионов металлов, концентрацию лигандов в растворе, плотность тока, но также - требуемую толщину покрытий, от которой будет зависеть состав сплава.

Найдено, что химический и фазовый состав всех изученных покрытий различаются. Это свидетельствует о включении в биметаллические пленки рентгеноаморфных фаз. Их присутствие нередко заметно по уширению пиков на рентгенограммах, по появлению гало, по данным РФЭС и Оже спектроскопии, свидетельствующим о наличии фаз, не обнаруживаемых рентгенографически. В состав кристаллических фаз в пленках Cu-Sn входят пересыщенный твердый раствор олова в меди, а также интерме-

таллические соединения  $\text{CuSn}$ ,  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ,  $\text{Cu}_n\text{Sn}$  ( $n$  меняется от 3 до 6) и иногда олово и (или) медь. Кристаллическая фаза в пленках Ni-Sn включает интерметаллические соединения  $\text{Ni}_3\text{Sn}_2$ ,  $\text{Ni}_3\text{Sn}$ ,  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$  и иногда небольшое количество олова.

Данные ЭМ исследования показывают, что пленки, получаемые в оптимальных режимах электролиза, состоят из зерен с малыми размерами в пределах 50-250 нм. Особенностью процесса осаждения сплавов Cu-Sn и Ni-Sn является отсутствие укрупнения зерен по мере роста толщины пленок, а также сращивания их в компактные агрегаты, что обычно характерно для электрохимического осаждения индивидуальных металлов.

Установлено, что в пленках сплавов Cu-Sn и Ni-Sn протекают процессы низкотемпературной диффузии. Так, данные Оже спектроскопии свидетельствуют об одинаковом распределении металлов по всей глубине пленок обоих сплавов, несмотря на установленный факт, что каждой толщине пленок вплоть до 6-10 мкм соответствует свой состав. Кроме того, при низкотемпературном прогреве пленок (100-250 °C) происходит накопление более летучего компонента (Sn) в приповерхностном слое пленок. Процессы низкотемпературной диффузии обнаруживаются также по появлению в результате мягких тепловых обработок в составе покрытий атомов металла подложки и, наоборот, проникновению атомов металлов из сплавов в приповерхностные слои подложки на глубину до нескольких микрон. В ряде случаев при этом образуются интерметаллические соединения, а внешний вид покрытий и их свойства ухудшаются (появляются пятна, серые или бурые оттенки, хрупкость).

Полученные результаты позволили понять многие из причин недостаточной воспроизводимости процессов электрохимического осаждения сплавов Ni-Sn и особенно Cu-Sn, причины нестабильности характеристик этих биметаллических покрытий и наметить пути устранения указанных недостатков и улучшения свойств сплавов. Главными из указанных причин являются неравновесный состав сплавов и протекание в них низкотемпературных процессов диффузии и кристаллизации при эксплуатации и хранении.

Авторами сообщения найдены пути увеличения стабильности свойств электролитов за счет введения дополнительных лигандов, коррозионной устойчивости покрытий, снижения их пористости уже при малых толщинах, а также стабилизации их свойств при хранении. Важнейшими из них являются увеличение доли рентгеноаморфной составляющей покрытий, что позволяет уменьшить пористость, увеличить блеск в отсутствие блес-

кообразующих добавок, уменьшить хрупкость и внутренние напряжения. В качестве одного из возможных путей предлагается осаждение покрытий Cu-Sn в специально подобранном режиме периодического изменения плотности тока, обеспечивающем поочередное осаждение сплавов, обогащенных тем или иным компонентом. Предлагается обращать особое внимание на тепловые режимы обработок, эксплуатации и хранения покрытий, а также учитывать роль природы подложек и толщины осаждаемых покрытий.

### Литература

1. Иванов А.Ф. //Журн. Всесоюзн. хим. общ-ва им. Д. И. Менделеева. 1988. Т.33. № 2. С.126-138.
2. Тютин К.М., Космодамианская Л.В. // Там же, с.146-152.
3. Jordan M., Leuze E.G. /The electrodeposition of tin and its alloys. Sauglau, Wurt. Germany. 1995.
4. Воробьева Т.Н., Бобровская В.П., Свиридов В.В. // Известия АН Беларуси, сер. хим. наук. 1997. № 3. С.38-43.
5. Vorobyova T.N., Bobrovskaya V.P., Sviridov V.V. // Metal Finish. 1997. V.95, №. 11. P.14-20.
6. Воробьева Т.Н., Бобровская В.П., Рева О.В., Ивашкевич Л.С. // Тез.докл. II конференции «НОМАТЕХ-96», Минск 15-17 мая 1996. /Материалы, технологии, инструмент. 1996. № 2. С.51-52.
7. Воробьева Т.Н., Свиридов В.В., Рева О.В., Бобровская В.П. //Там же, с.103.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДУГИ, ГОРЯЩЕЙ В ПЛАЗМОТРОНЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА С МЭВ

*Бублиевский Д.А.\**, *Каролинский В.Г.* *Кузьмич В.А.*,  
*Пекун А.И.*, *Сазонов М.И.*, *Хвисевич В.М.*  
*\* Институт тепло- и массообмена НАНБ,*  
*Брестский политехнический институт*

Формирование и стабилизация дуги в канале плазмотрона происходит при взаимодействии ее с потоком нагреваемого газа и стенкой электродазарядной камеры. Это взаимодействие носит как тепловой, так и электрический характер и в значительной мере определяется свойствами газа.