



Федеральное агентство по образованию  
ОАО «МОСКОВСКИЙ КОМИТЕТ ПО НАУКЕ И  
ТЕХНОЛОГИЯМ»

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«МАТИ» - Российский государственный  
технологический университет им. К.Э. Циолковского

**3-я Всероссийская научно-техническая конференция**

**«БЫСТРОЗАКАЛЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И ПОКРЫТИЯ»**

**Сборник докладов**

**23-24 ноября 2004 г.  
«МАТИ» - РГТУ им. К.Э.Циолковского**

**Москва 2004**

## **БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИЕ ФОЛЬГИ ПРИПОЕВ НА ОСНОВЕ СВИНЦА**

Белая О.Н., Шепелевич В.Г.

Белорусский государственный университет  
220250, Беларусь, г. Минск, пр. Фр. Скорины, 4

e-mail: [belay\\_olga@mail.ru](mailto:belay_olga@mail.ru)

При изготовлении приборов электронной техники необходимо производить соединение различных материалов, для этого широко применяется пайка легкоплавкими припоями. Качество и долговечность паяных соединений в значительной мере зависят от физико-механических характеристик припоя и характера физико-химического взаимодействия припоя с конструкционным материалом. В связи с этим перспективной является пайка свинцовыми припоями. Высокая пластичность свинца в широком интервале температур (от минус 200 до 250 °С), малая химическая активность к полупроводникам и металлам, относительно высокая температура плавления (327,4 °С), низкая стоимость и некоторые другие характеристики делают его перспективным материалом для создания на его основе припоя.

Чистый свинец пригоден в качестве припоя при пайке многих металлов, так как он слабо с ними взаимодействует. Свинец с медью, железом, никелем, кобальтом, алюминием, цинком образует диаграммы монотектического типа и поэтому не растворим в этих металлах при низкой температуре. Для активирования взаимодействия свинца с этими металлами и сплавами на их основе в него вводят компоненты, активирующие процесс взаимодействия и снижающие температуру плавления свинца, а именно: Sn, Sb, Cd, Ag и другие [1].

В отечественной и зарубежной литературе появлялись отдельные работы, свидетельствующие о возможности использования припоев на основе свинца [2–6], в которых предлагаются различные технологические приемы, а также легирующие свинец добавки. Однако отсутствие общего научно обоснованного принципа выбора состава таких припоев и технологических приемов для создания прогрессивной технологии пайки, обеспечивающей качество и надежность паяных соединений в процессе эксплуатации, вызывает необходимость обобщения и анализа отдельных литературных сведений и описания некоторых исследований по пайке материалов свинцовыми припоями.

В 80-х годах прошлого столетия была разработана новая перспективная технология получения припоев путем быстрой закалки из жидкого состояния (СБЗР) со скоростью  $\sim 10^6$  град/с. Такие фольги припоев достаточно пластичны и складываются “на себя” с нулевым радиусом без изло-

ма. Кроме того, в фольгах припоев, полученных СБЗР, удается получить не только мелкодисперсную структуру, но и сделать ее более однородной по сравнению с массивными слитками. В связи с этим представляется актуальным проведение исследований быстрозатвердевших фольг припоев на основе свинца. В данной работе представлены результаты исследований структуры и свойств фольг припоев двух составов: № 1 – Pb-50 %, Bi-37,5 %, Sn-12,5 %; № 2 – Pb-80 %, Sn-17 %, Sb-2 %.

Фольги используемых материалов получены при затвердевании капли расплава (~ 0,2 г), инжесктированной на внутреннюю поверхность вращающегося медного цилиндра. Линейная скорость поверхности цилиндра 15 м/с. Толщина используемых фольг составляла 30...80 мкм. Скорость охлаждения расплава, как показал расчет [7], была не менее  $10^6$  град/с. Наблюдение топографии фольг проводилось на растровом электронном микроскопе LEO 1445 VP, исследования проводились как при нормальном падении луча на поверхность фольги, так и при наклоне фольги на  $45^\circ$ . Для анализа распределения анализируемых элементов осуществлялось сканирование по заданной линии. Рентгеноструктурные исследования выполнялись на дифрактометре ДРОН-3М в медном излучении. При этом рентгеновское излучение падало либо на поверхность фольги, которая имела контакт с кристаллизатором (тип А), либо на противоположную сторону, контактирующую с атмосферой (тип Б). Измерения параметра элементарной ячейки кристаллической решетки  $a$  проведены по положению дифракционной линии 333, для этой же линии рассчитано физическое уширение  $\beta$ . Параметр элементарной ячейки определен из формулы Вульфа – Брэгга  $a = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta}$ , где  $n$  – порядок отражения,  $\theta$  – угол отражения,  $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$ . Относительная погрешность определения  $a$  около 0,01 %. Величина физического уширения дифракционной линии фольг сплавов рассчитана по формуле  $\beta = \frac{1}{2} (B - b + \sqrt{B(B - b)})$ , где  $B$  и  $b$  уширение исследуемого образца и эталона соответственно. Микротвердость измерялась с помощью прибора ПИМТ-3. Исследования проводились при нагрузке 10 г для всех образцов, время выдержки нагрузки 15 с. Изохронный отжиг быстрозатвердевших фольг припоев на основе свинца проводился от комнатной температуры до  $180^\circ\text{C}$ , изотермический отжиг осуществлялся в течение нескольких часов.

Сторона фольги, прилегающая к кристаллизатору (тип А), имеет блестящий вид, а на стороне, контактирующей с атмосферой (тип Б), наблюдаются впадины и бугорки (рис. 1). Данные по распределению элементов быстрозатвердевших фольг припоев № 1, 2 представлены на рис. 2.

Проведенный рентгеноструктурный анализ фольг № 2 показал, что основной фазой является твердый раствор на основе свинца. Кроме того,

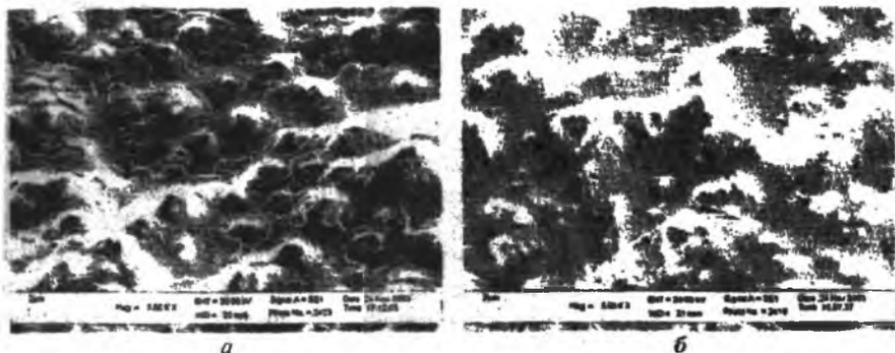


Рис. 1. Структура бугристой поверхности быстротвердевших фольг припоев № 1 (а), 2 (б)

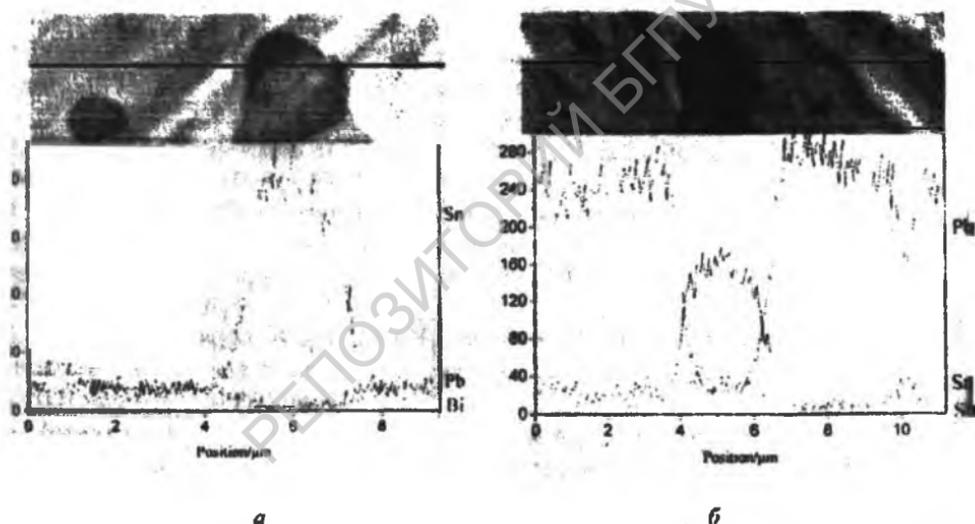


Рис. 2. Распределение элементов быстротвердевших фольг припоев № 1 (а), 2 (б)

на дифрактограммах данных фольг как со стороны А, так и со стороны Б обнаружены дифракционные отражения, которые, как показал расчет [8], соответствуют фазе  $\beta$ -Sn. Распределение полюсных плотностей дифракционных отражений, принадлежащих твердому раствору на основе свинца, указывает на формирование текстуры (111). Установлено, что текстура (111) выражена более четко со стороны фольги типа А, на долю данной ориентировки приходится до 70 % объема фольги. Следует отметить, что аналогичная текстура характерна и для других сплавов на основе свинца,

полученных СБЗР. На дифрактограммах фольг припоя № 1 присутствуют дифракционные отражения, принадлежащие  $\epsilon$ -фазе и висмуту.

Результаты расчета параметра элементарной ячейки, физического уширения и микротвердости представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Свойства быстрозатвердевших фольг припоев на основе свинца**

Состав фольги	$a$ , Å	$\beta$ , мрад	$H_{\mu}$ , МПа
Pb-50 %, Bi-37,5 %, Sn-12,5 %	4.9439	2.7	160
Pb-80 %, Sn-17 %, Sb-2 %	4.9442	2.2	191

Одним из важнейших свойств припоев, определяющих надежность и долговечность спаев, является термическая стабильность припоя. В связи с этим были проведены изохронный и изотермический отжиги (рис. 3, 4).

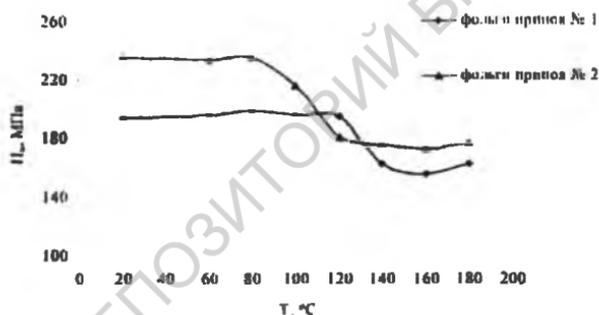


Рис. 3. Изменение микротвердости быстрозатвердевших фольг припоев № 1 и 2 при изохронном отжиге

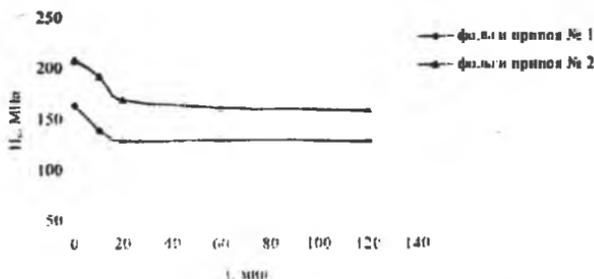


Рис. 4. Изменение микротвердости быстрозатвердевших фольг припоев № 1 и 2 при изотермическом отжиге ( $T=130^{\circ}\text{C}$ )

Микротвердость фольг припоев № 1 уменьшается в интервале температур от 120 до 140 °С, последующий отжиг при температуре 140 °С и выше  $H_{\mu}$  не изменяет. Изотермический отжиг подтверждает данное изменение микротвердости и показывает, что падения микротвердости при температуре отжига 130 °С при выдержке более 30 мин не наблюдается.

Микротвердость быстротвердевших фольг припоя № 2 после отжига при температуре 80 °С начинает снижаться, но при достижении температуры 120 °С остается постоянной. Данное уменьшение микротвердости подтверждается результатами проведения изотермического отжига, который выявил уменьшение  $H_{\mu}$  при температуре отжига 90 °С в течение 60 мин, последующий отжиг при данной температуре не изменяет  $H_{\mu}$ .

### Литература

1. Лашко С.В., Лашко Н.Ф. Пайка металлов. – М.: Машиностроение. 1988. – 376 с.
2. Яковлев Г.А. Пайка материалов припоями на основе свинца. Обзоры по электронной технике. Серия: «Технология, организация производства и оборудование». – М.: ЦНИИ «Электроника». 1978. – Вып. 9(556). – 73 с.
3. Bader W.G. Dissolution of Au, Ag, Pd, Pt, Cu, Ni in molten tin-lead solder // *Welding Journal*. – 1969. – № 12. – P. 551-557.
4. Яковлев Г. А. Исследование взаимодействия сплавов на основе свинца с пористым никелем в процессе композиционной пайки. Обзоры по электронной технике. Серия «Материалы». – М.: ЦНИИ «Электроника». 1977. – Вып. 11. – С. 10-18.
5. Miyazawa Yasuyuki, Ariga Tadashi. Influence of aging treatment on microstructure and hardness of Sn-(Ag, Bi, Zn) eutectic solder alloys // *Mater. Trans.* – 2001. 42. – № 5. – P/ 776-782.
6. Лими́на Л.П., Трёмба Т.С. Поверхностное натяжение и структура медно-свинцовых сплавов // *Адгезия расплавов и пайка материалов*. – 1982. – № 9. – С. 11-13.
7. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния. – М.: Металлургия. 1982. – 168 с.
8. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу. – М.: Изд. физ.-мат. лит. 1961. – 684 с.