

УДК 534.8: 539.3

## БЕССВИНЦОВАЯ ПРИПОЙНАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ СБОРКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

В.Л. ЛАНИН<sup>1</sup>, А.Ф. КЕРЕНЦЕВ<sup>2</sup>, А.С. ТУРЦЕВИЧ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь,

<sup>2</sup>ПРУП "Завод Транзистор" НПО "Интеграл"  
Корженевского 12, Минск, 220064, Беларусь

Поступила в редакцию 4 октября 2006

Исследована бессвинцовая припойная композиция на основе олова для сборки мощных полупроводниковых приборов методами вибрационной пайки и ультразвуковой разварки проволочных выводов. Определены оптимальные составы припойной композиции, методы ее формирования и технологические режимы сборки приборов.

*Ключевые слова:* сборка, бессвинцовая припойная композиция, полупроводниковые приборы.

### Введение

Несмотря на широкое использование в настоящее время в электронной промышленности Sn–Pb припоев, перед ними ограниченное будущее из-за токсичности свинца и запрета его применения, начиная с 2006 г. Поэтому во многих странах проводятся интенсивные исследования, чтобы найти альтернативные сплавы, не содержащие свинца.

Для сборки мощных полупроводниковых приборов в корпусах ТО-92, ТО-126 используют припойные композиции, которые послойно наносят на непланарную поверхность кристаллов. Основным недостатком припойной композиции:  $\text{Sn}_{2\pm 0,5}\text{-Pb}_{8\pm 1}\text{-Sn}_{1\pm 0,5}$  является наличие свинца, обладающим чрезвычайно высокой токсичностью (ПДК=0,01 мг/м<sup>3</sup>). Для монтажа кристаллов в корпус такие фирмы, как International Rectifier, Motorola, Esec и др. [1] широко применяют бессвинцовые припои: олово-серебро и олово-серебро-медь. Проволочный припой  $\text{Sn}_{65}\text{-Ag}_{25}\text{-Sb}_{10}$  и двухкомпонентный эвтектический состав  $\text{VtAg}_{2,6}$  с температурой плавления 262°C пригодны для монтажа кристаллов и последующей разварки золотых проволочных выводов термозвуковой сваркой [2]. Однако эти припои характеризуются повышенным значением теплового сопротивления и для мощных приборов их использование нецелесообразно.

Бессвинцовые паяльные композиции не смачивают поверхность так же хорошо, как припой Sn63/Pb37, который растекается тонким и широким слоем. Исследования показали, что, в то время как припои Sn63/Pb37 имеют растекаемость 93%, у бессвинцовых паст этот параметр варьируется от 73 до 77% [3].

## Постановка задачи

Применение бессвинцовых припоев приводит к изменению сборочных процессов и технологии пайки. Необходима корректировка режимов пайки, а также комплексные испытания бессвинцовых паяных соединений на прочность, тепловое сопротивление, коррозионную стойкость и др. [4]. При решении вопроса о надежности паяных соединений, наряду с выбором оптимальных способов и режимов пайки, необходимо учитывать состав и свойства припоев, которые должны:

обеспечивать хорошую паяемость с полупроводниковыми кристаллами и свариваемость с внутренними проволочными выводами;

сохранять способность к пайке и сварке при заданном сроке хранения; обеспечивать антикоррозионную защиту;

не подвергаться иглообразованию при хранении и разрушению при температурах сборки, испытании и эксплуатации.

обеспечивать минимальное переходное электрическое сопротивление;

быть устойчивыми к тепловому удару при монтаже приборов на печатные платы пайкой, к химическим реагентам, используемым в процессе сборки.

Для сборки полупроводниковых приборов используют двухкомпонентную композицию олово-серебро, которая наносит послойным напылением на непланарную поверхность пластин электронно-лучевым испарением олова и магнетронным испарением серебра. Такая система имеет широкий интервал кристаллизации при низкой температуре солидуса, равной 221°C. Рост содержания серебра от 3 до 15 мас.% увеличивает температуру ликвидуса от 221 до 300°C и интервал кристаллизации, который при 15 мас.% серебра составляет 79°C. Это приводит к необходимости увеличения температуры пайки кристаллов и перегреву припоя при сборке. Необходима оптимизация состава припойной композиции и методов ее формирования.

## Методы исследований

Изготовлены пластины полупроводниковых приборов КТ816, КТ315 с металлизацией Ti-Ni и последующим напылением слоев олова и серебра в различном соотношении (табл. 1). Электронно-лучевое нанесение олова толщиной 8–12 мкм путем испарения на установке "Оратория-9" длилось 5,0–5,5 ч. Магнетронное напыление серебра выполнялось на установке "Магна-2М", где варьирование толщины серебра от 0,2 до 1,5 мкм достигалось изменением мощности магнетрона.

Для образования надежного паяного соединения необходимо хорошее смачивание поверхности основного металла расплавом припоя, что гарантирует паяемость с физической точки зрения, а с технологической — условие соблюдения режимов процесса пайки. Для оценки смачиваемости бессвинцовых припоев использованы угол смачивания  $\theta$  и коэффициент растекания  $K_p$ , который определяли исходя из площади растекания:

$$K_p = S_p / S_o, \quad (1)$$

где  $S_p$ ,  $S_o$  — площади растекания и дозы припоя соответственно; и по высоте капли растекшегося припоя [5]:

$$K_p = \frac{D - H_k}{D}, \quad (2)$$

где  $D$ ,  $H_k$  — высота капли припоя до и после растекания.

Если известна площадь растекания и объем припоя, то значение теоретического угла смачивания припоем определяют, используя выражение:

$$\Theta = 7,12 \left( V / \sqrt{S^3} \right), \quad (3)$$

где  $V$  — объем припоя;  $S$  — площадь растекания.

Выражение предполагает, что объем припоя мал и гравитационное воздействие отсутствует. Высота капли до растекания находится из условия несмачивания поверхности:

$$D = \sqrt{\frac{2\sigma_{1,2} (1 - \cos \Theta)}{\rho g}}, \quad (4)$$

где  $\rho$  — плотность припоя;  $g$  — ускорение силы тяжести.

Перед началом испытаний в центре образца размещают навеску припоя дозированной массы и дозированный объем флюса 0,01 мл. Включают нагреватель и устанавливают на заданном уровне температуру испытаний. С помощью секундомера фиксируют начало и конец растекания капли припоя, измеряют диаметр и высоту капли растекшегося припоя, а затем рассчитывают коэффициенты растекания припоя.

Напайка кристаллов КТ816 на выводную рамку, содержащую полосу серебра толщиной 4–6 мкм, проводилась на автомате ЭМ 4085 вибрационной пайки при температуре 330°C и давлении 80 г, количестве колебаний в секунду — 4, а КТ315 — на автомате ЭМ 4105 при 360°C. Качество напайки кристаллов для всех вариантов соответствовало требованиям процесса — равномерное растекание припоя по всему периметру, щели и непропаи отсутствовали. Прочность сцепления кристаллов с рамкой соответствовала техническим требованиям, при воздействии нагрузки на кристалл отслаивания его не происходило.

Разварка межсоединений проводилась на автомате ЭМ4060Т2 золотой проволокой диаметрами 40 и 25 мкм для КТ315. Для приборов КТ816 из-за низкой температуры плавления припойной композиции температура разварки была снижена с 255–270 °С до 210 °С на вариантах 1, 2, 3, 4, 7, 8 и до 225–235°C на вариантах 5, 6, 9, 10. Далее изделия КТ 816, КТ 315 были проведены по существующему технологическому маршруту и переданы на участок измерения электрических параметров.

Таблица 1. Варианты припойных композиций и выход годных приборов

Вариант	Тип прибора, состав композиции	Выход годных, %
<b>Изделие КТ816</b>		
<b>Ag<sub>1</sub> Sn Ag<sub>2</sub></b>		
1	Ag <sub>1</sub> =Ag <sub>2</sub> =0,2 мкм, Sn=12,0 мкм	95,0
2	Ag <sub>1</sub> =Ag <sub>2</sub> =0,2 мкм, Sn=9,0 мкм	88,3
3	Ag <sub>1</sub> = Ag <sub>2</sub> =0,45 мкм, Sn=12,0 мкм	84,2
4	Ag <sub>1</sub> = Ag <sub>2</sub> =0,45 мкм, Sn=9,0 мкм	90,8
5	Ag <sub>1</sub> = Ag <sub>2</sub> =1,5 мкм, Sn=12,0 мкм	88,3
6	Ag <sub>1</sub> = Ag <sub>2</sub> =1,5 мкм, Sn=9,0 мкм	83,3
<b>Ag Sn</b>		
7	Ag=0,45 мкм, Sn=12,0 мкм	54,2
8	Ag=0,45 мкм, Sn=9,0 мкм	85,0
9	Ag=1,5 мкм, Sn=12,0 мкм	92,5
10	Ag=1,5 мкм, Sn=9,0 мкм	83,3
<b>Изделие КТ 315</b>		
11	Ag <sub>1</sub> = Ag <sub>2</sub> = 0,6 мкм, Sn = 8,0 мкм	94,4

### Результаты эксперимента и их обсуждение

При контроле внешнего вида пластин КТ816 (варианты 1–6) обнаружено, что с увеличением толщины серебра от 0,2 до 1,5 мкм наблюдалось укрупнение кристаллической структуры по направлению от базового среза и выше (рис. 1,а,б). Это указывает на то, что температура по площади пластины неравномерная — возле базового среза температура меньше и растет с удалением от базового среза. Из-за перегрева пластины на противоположной области от базового среза происходит оплавление припойной композиции, а поверхность композиции становится рельефной и бугристой (рис. 1,в). Для вариантов с верхним слоем, состоящим только из олова, структуры кристаллитов не выявлены, поверхность композиции была однородной.

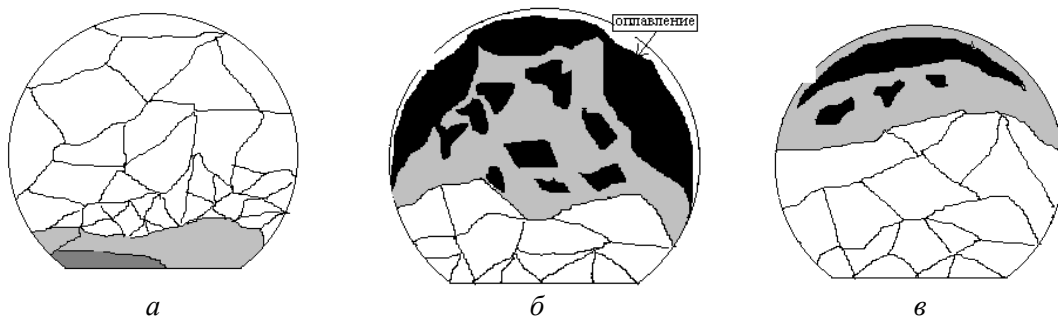


Рис. 1. Структура верхнего слоя припойной композиции: Ag<sub>0,2</sub>–Sn<sub>9</sub>–Ag<sub>0,2</sub> (а), Ag<sub>1,5</sub>–Sn<sub>12</sub>–Ag<sub>1,5</sub> (б), Ag<sub>1,5</sub>–Sn<sub>9</sub>–Ag<sub>1,5</sub> (в)

Исследованиями на Оже–спектрометре установлена неравномерность распределения элементов припойной композиции Ag<sub>1,5</sub>–Sn<sub>9</sub>–Ag<sub>1,5</sub> (рис. 2) по глубине до 12 мкм от поверхности. Так, содержание олова в зависимости от глубины слоя изменяется от 75 до 52%, что приводит к нарушению стехиометрического состава композиции, неконтролируемому изменению температуры ее плавления и в итоге к невоспроизводимости процесса сборки.

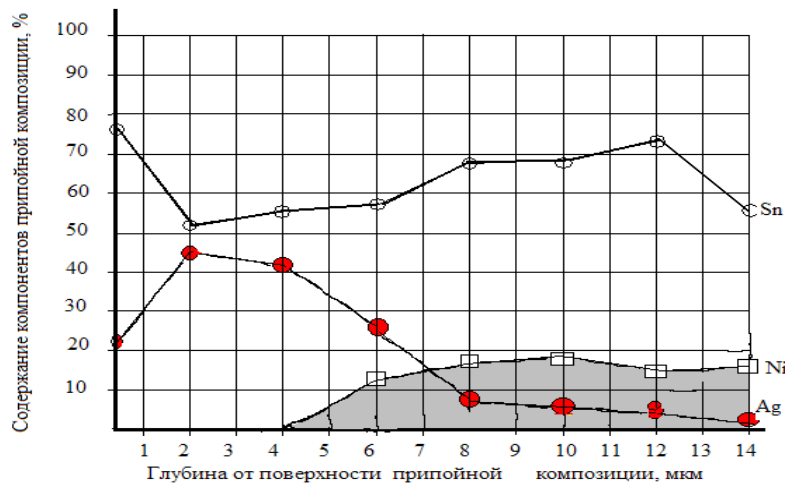


Рис. 2. Распределение элементов припойной композиции по глубине слоев

С увеличением массы дозированного припоя и температуры пайки коэффициент растекания бессвинцовых припоев растет, угол смачивания снижается, что свидетельствует о хорошей паяемости материала рамки (табл. 2). Для припоя ПрОСу8 параметры паяемости на 10–15% ниже, чем для припоя 97SC3095S фирмы Henkel.

Таблица 2. Параметры паяемости для бессвинцовых припоев

Тип припоя	Количество импульсов	T = 300 °C		T = 340 °C	
		Угол смачивания, град	Коэффициент растекания	Угол смачивания, град	Коэффициент растекания
97SC3095S Henkel	50	20–22	0,78	20–22	0,79
	100	19–21	0,80	17–19	0,81
	150	17–19	0,82	14–15	0,83
ПрОСу8 Россия	50	40–42	0,68	32–35	0,72
	100	39–41	0,70	30–32	0,73
	150	38–40	0,72	28–30	0,75

Выход годных приборов составил: для КТ816 от 53,3 % по варианту 7 до 93,3 % по варианту 4, что ниже уровня текущего (95 %); для КТ 315 — 94,4 % (табл. 1). Выход годных

изделий на опытных вариантах 1 и 9 (КТ 816) и КТ 315 находился на уровне текущего (92,8), а на остальных вариантах — ниже планового уровня на 9–39 %.

При выборе более низкой температуре разварки (для исключения отслоения кристаллов) наблюдались дефекты в виде отслаивания и непровары сварных точек.

Основной вид брака характеризовался превышением напряжения  $U_{\text{кэн}} > N$ . Как видно из рис. 3, толщина припоя под кристаллом составляет 3,5–7,0 мкм для вариантов, содержащих двухслойное серебро Ag–Sn–Ag, а для однослойного серебра Ag–Sn толщина паяного соединения составила 10,5–12,0 мкм.

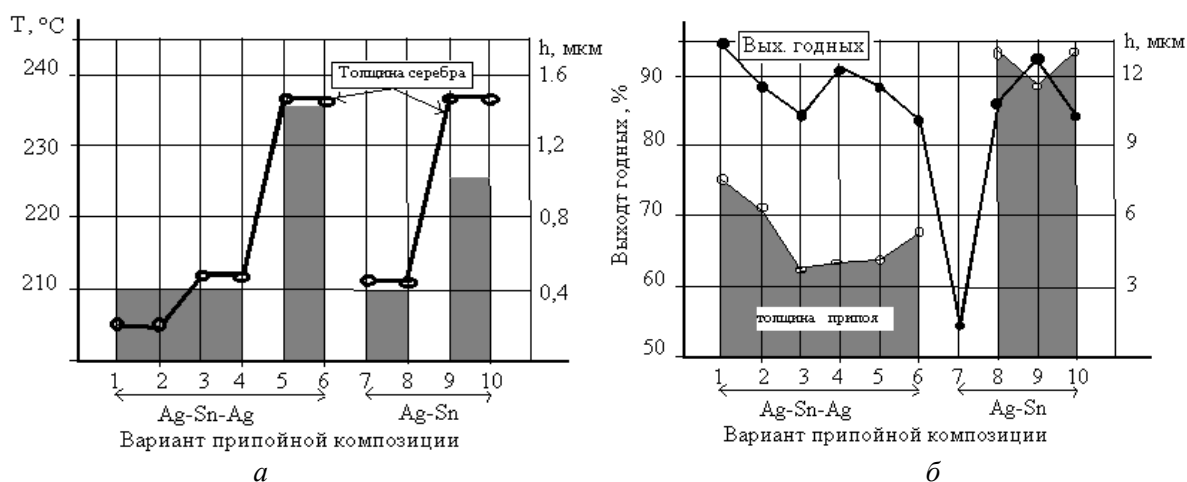


Рис. 3. Влияние состава припойной композиции и толщины серебра на температуру разварки выводов (а) и выход годных приборов (б)

Анализ брака выявил такие дефекты, как сколы, смещения кристалла, отслаивание проволочных соединений. Значения электрических параметров опытных приборов соответствовали нормативным данным.

### Выводы

В результате опробования двухкомпонентной системы олово-серебро в качестве бессвинцовой припойной композиции для сборки полупроводниковых приборов установлено:

1. Неравномерность распределения элементов припойной композиции по глубине нарушает стехиометрический состав припойной композиции и изменяет температуру ее плавления, способствуя невоспроизводимости процесса сборки. Для устранения этого необходима оптимизация режимов магнетронного распыления компонентов.

2. Увеличение мощности магнетронного напыления Ag толщиной 1,5 мкм вызывает неравномерный перегрев пластин по площади и проплавление припойной композиции.

3. При разварке золотых выводов возникают трудности, связанные с необходимостью подбора более низкой температуры, при этом более предпочтительны варианты, содержащие серебро толщиной 1,5 мкм.

4. Почти все бессвинцовые припои имеют меньшую смачиваемость и текучесть, чем эвтектические оловянно-свинцовые, и потому хуже заполняют необходимую площадь соединения. Для улучшения текучести требуются либо защитная атмосфера, либо вибраций, либо их совместное применение.

5. Выход годных изделий на опытных вариантах 1 и 9 для изделий КТ816 и КТ 315 составляет 92,8–95%, а на остальных — ниже планового уровня на 9–39 %, что связано с невоспроизводимостью процесса разварки выводов при сравнительно низкой температуре.

Учитывая в целом положительные результаты опробования системы олово-серебро в качестве припойной композиции для сборки приборов целесообразно оптимизировать процесс формирования композиции заданного стехиометрического состава.

## **PB-FREE SOLDERING COMPOSITION FOR ASSEMBLY OF SEMI-CONDUCTOR DEVICES**

V.L. LANIN, A.F. KERENTSEV, A.S. TURTSEVICH

### **Abstract**

Are investigated Pb-free compositions on the basis of tin for assembly of powerful semi-conductor devices by methods of the vibrating soldering and ultrasonic micro welding wire conclusions. Optimum structures soldering compositions, methods of its formation and technological modes of assembly of devices are determined.

### **Литература**

1. *Медведев А.М.* // Электронные компоненты. 2004. № 11. С. 29–34.
2. Электронные компоненты. 2004. № 11. С. 36–37.
3. *Lopez E.P., Vianco P.T., Rejent J.A.* // J. of Electronic Materials. 2005. Vol. 34. № 3. P. 299–310.
4. *Зенин В.В., Рагузов А., Гальцев В., Фоменко Ю.Л.* // Технологии в электронной промышленности. 2005. № 5. С. 46–51.
5. *Manko H.H.* Solders and Soldering. New York: McGraw-Hill, 2001.