

Особенности технологии изготовления тонкопленочных припойных покрытий Au(80)Sn(20)

А.В. Фомин, В.В. Иванов, Е.М. Филоненко

г. Снежинск, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», ул. Васильева
13,dep5@vniitf.ru

В настоящей работе представлены результаты разработки технологии получения тонкопленочных припойных покрытий Au(80)Sn(20) при помощи электронно-лучевого нанесения чередующихся слоев олова и золота. На основании исследований фазообразования в изготавливаемых покрытиях разработана схема напыления, позволяющая получить припой, свойства которого удовлетворяют требованиям процесса пайки лазерных диодов к теплоотводящему основанию.

The features of Au(80)Sn(20) thin-film solder coatings. A.V.Fomin, V.V.Ivanov, E.M.Filonenko. This paper presents the results of the technology development for production of thin-film solder coatings Au(80)Sn(20) using electron-beam deposition of tin and gold alternating layers. Based on studies of phase formation in manufactured coatings, a deposition scheme is developed, which allows obtaining solder meeting the requirements for soldering of laser diodes to the heat sink.

Введение. Сплав Au(80)Sn(20) с температурой плавления 280 °С представляет собой эвтектику в системе золото-олово [1]. Данный сплав является одним из важнейших материалов для создания современных приборов оптоэлектроники. Его уникальные свойства находят применение в частности в производстве лазерных излучателей на основе мощных полупроводниковых лазерных диодов (ЛД). На сегодняшний день сплав Au(80)Sn(20) представлен на российском рынке в виде фольги, лент, навесок и паяльных паст [2], однако для таких задач как «flip-chip» монтаж полупроводникового лазерного кристалла его оптимально использовать в виде тонких пленок, нанесенных непосредственно на соединяемые компоненты.

В рамках создания производства полупроводниковых лазерных излучателей в РФЯЦ-ВНИИТФ одной из важных задач являлась разработка собственной технологии, позволяющей получать припой Au(80)Sn(20) в виде покрытий толщиной не более 10 мкм непосредственно на теплоотводящих элементах. Для решения данной задачи был выбран электронно-лучевой метод послойного напыления чередующихся слоев золота и олова, позволяющий получать пленки с субмикронным рельефом и с большой точностью контролировать стехиометрический состав припоя [3].

1. Установка электронно-лучевого осаждения. Для проведения процессов вакуумного нанесения припойных покрытий Au(80)Sn(20), а также буферных и адгезионных слоев была использована установка электронно-лучевого осаждения металлов, позволяющая с необходимой точностью контролировать толщины чередующихся слоев золота и олова с помощью кварцевых измерителей. Один из вариантов конфигурации вакуумной камеры установки приведен на рис. 1.

Размещение и передвижение теплоотводов в камере обеспечивается за счет планетарной карусели, разработанная конструкция которой приведена на рис. 2. Карусель состоит из трех сегментов сферической поверхности, в каждом из которых выполнены 8 отверстий для закрепления оснастки с теплоотводами.

Результаты исследований получаемых покрытий позволяют утверждать, что выбранное нами техническое решение внутренней камеры установки позволило добиться равномерного нанесения покрытий с разбросом значений толщин не более $\pm 5\%$, при этом количество одновременно загружаемых теплоотводов может составлять порядка 4500 шт.



Рис. 1. Конфигурация вакуумной камеры установки:

A – держатель карусели, B – карусель (без сегментов), C – кварцевый измеритель толщины пленок, D – кварцевые нагреватели, E – электрод тлеющего электрического разряда, F – щиты (экраны), G – термopара, H – шеврон вакуумной системы, I – заслонка, J – электронно-лучевой испаритель с 6 тиглями.

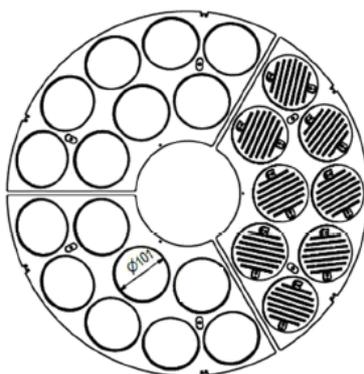


Рис. 2. Изображение 3-х-сегментной карусели с отверстиями и технологической оснасткой.

2. Особенности получения припоя Au(80)Sn(20). Согласно [4] сплав Au(80)Sn(20) при комнатной температуре имеет эвтектическую структуру, состоящую из фаз Au₅Sn (ξ) и AuSn (δ). Микроструктура сплава включает в себя дендриты ξ и ξ^2 - Au₅Sn, окруженные матрицей состава ($\xi+\delta$).

В методе получения припоя при помощи нанесения чередующихся слоев золота и олова вышеназванные фазы образуются непосредственно во время операции пайки при нагреве полученной композиции. Равномерность распределения фаз ξ и δ в объеме покрытия будет зависеть от соотношения толщин чередующихся слоев и определять поведение припоя в течение всего времени монтажа.

Для установления оптимального соотношения слоев золота и олова были исследованы различные схемы напыления, в том числе и существующие [5]. Полученные припойные покрытия исследовались на предмет характера их оплавления. Температурный диапазон исследований, а также скорость нагрева покрытий выбирались как типичные для пайки лазерных диодов с использованием припоя Au(80)Sn(20) – (280 – 340) °C.

Результаты исследований, включающих визуальный, рентгеноспектральный и дифференциально-сканирующий калориметрический анализы позволили однозначно установить критерии выбора соотношения толщин чередующихся слоев, составляющих композицию припоя. Характер плавления припоя в случае неоптимального соотношения

толщин слоев золота и олова может быть продемонстрирован на примере покрытия Au(80)Sn(20) толщиной 3 мкм, полученного согласно одной из исследуемых схем напыления.

Было отмечено, что при прохождении температуры образования эвтектики (280 °С) образуется расплав, сохраняющийся вплоть до температуры 300°С. Увеличение температуры свыше 300°С или времени выдержки при температуре 300°С свыше 5 секунд приводило к появлению локальных участков кристаллизации и дальнейшей быстрой кристаллизации всего объема покрытия. Типичные снимки поверхности покрытий образцов, сделанные после оплавления при температуре 300 °С в течение 5 секунд, приведены на рис.3. По данным рентгеноспектрального микроанализа локальные участки кристаллизации являются крупными кристаллами δ -фазы, что является отклонением от микроструктуры сплава эвтектики.

На снимках поперечных сечений припойных покрытий наблюдается частичное расслоение фаз, составляющих эвтектику в объеме припоя, при этом фаза δ преимущественно сконцентрирована на границе раздела припой-барьерная металлизация (рис. 4).

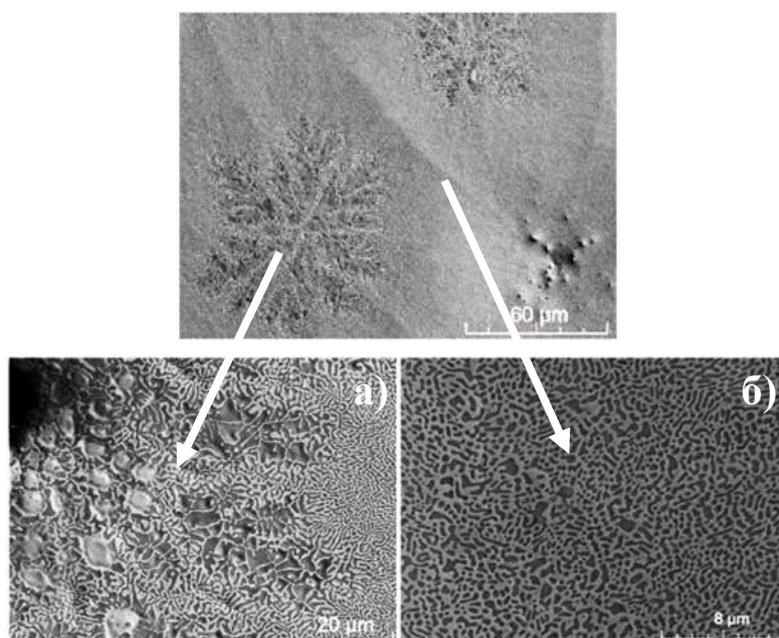


Рис. 3. Снимки в отраженных электронах поверхности покрытия AuSn толщиной 3 мкм, выдержанного при температуре 300 °С в течение 5 с, присутствуют области а) – локального участка кристаллизации, б) – эвтектической структуры.

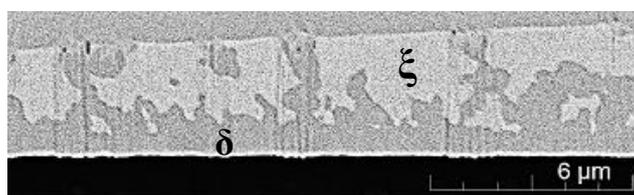


Рис. 4. Снимок в отраженных электронах поперечного сечения припойного покрытия Au(80)Sn(20) толщиной 3 мкм, демонстрирующий неравномерное распределение фаз, составляющих эвтектику в объеме припоя.

Наблюдаемый неравномерный характер распределения фаз, составляющих эвтектику, в совокупности с визуальным анализом стадий оплавления позволяют говорить об отсутствии гомогенного плавления полученного припоя при температуре образования эвтектики и выше.

С использованием подобных покрытий был произведен монтаж линеек лазерных диодов (ЛЛД) на теплоотводящие элементы, однако из-за вышеуказанных особенностей смачивание металлизации ЛЛД осуществлялось лишь частично, воспроизводимое качество пайки не было достигнуто (рис. 5)



Рис. 5. Внешний вид паянного шва с удаленной ЛЛД. Область слева – отсутствие смачивания металлизации ЛЛД припоем золото-олово, полосы – следы контакта эмиттеров ЛЛД, темные и светлые участки произвольной формы – осколки ЛЛД, оставшиеся после демонтажа.

Дальнейшие шаги разработки технологии были направлены на увеличение стабильности расплава во время операции пайки за счет модификации существующих схем нанесения чередующихся слоев золота и олова. С учетом литературных данных о кинетике диффузионных процессов в паре золото-олово [6] было подобрано оптимальное соотношение значений толщин чередующихся компонентов припоя, а также установлены необходимые температурные режимы напыления слоев [7]. Толщина полученных покрытий согласно разработанной схеме Au(80)Sn(20) составила (5,5-6) мкм.

Дифференциально-сканирующая калориметрия припойных покрытий, демонстрирует начало их плавления при температуре образования эвтектики (280°C) и последующую стабильность расплава вплоть до температуры 340°C (рис. 6а). Результаты электронной микроскопии поверхности и поперечного сечения покрытий, оплавленных при 340 °C демонстрируют типичную структуру эвтектического сплава AuSn при комнатной температуре (рис. 6б).

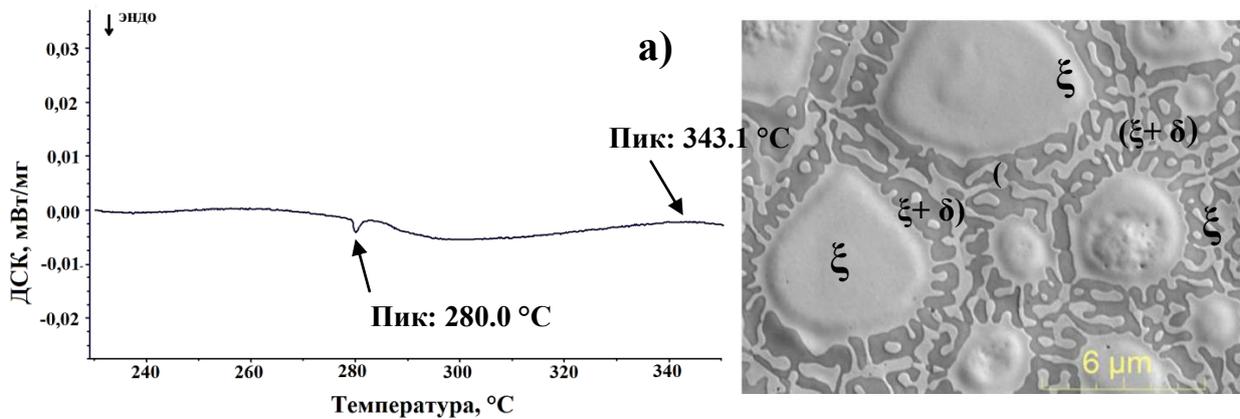


Рис. 6. Результаты анализа для покрытий Au(80)Sn(20) толщиной 5,5 мкм:
а) – ДСК-кривая, полученная в диапазоне температур (100 – 400) °C;
б) – типичный снимок поверхности покрытия Au(80)Sn(20) 5,5 мкм при температуре 340 °C, демонстрирующий эвтектическую структуру: дендриты фазы ξ , окруженные матрицей ($\xi + \delta$).

С использованием данного тонкопленочного припоя были отработаны режимы монтажа ЛЛД к теплоотводам. Исследования получаемых паянных швов между ЛЛД и теплоотводом позволяют отметить хорошее смачивание металлизации ЛЛД полученным эвтектическим припоем, а также равномерное распределение фаз припоя, составляющих эвтектику (рис. 7).

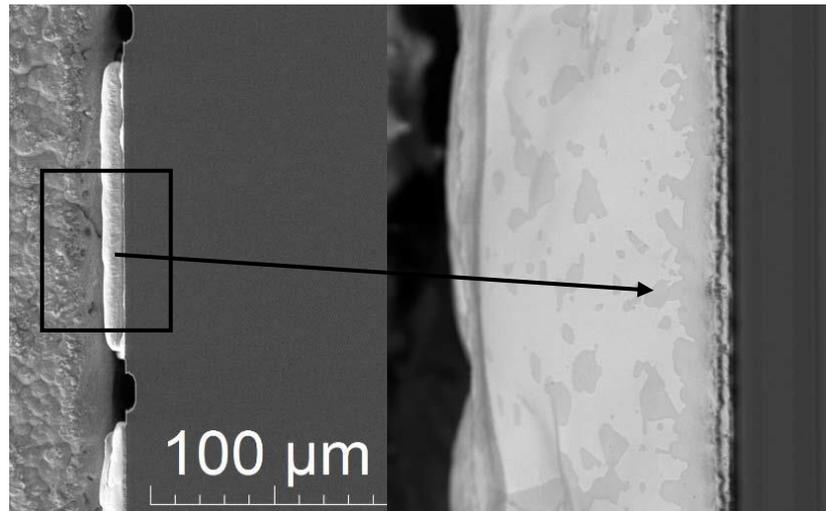


Рис. 7. Снимок паяного соединения ЛД с теплоотводом, демонстрирующий хорошее смачивание припоем соединяемых поверхностей.

Выводы. Задача создания технологии получения тонкопленочных припойных покрытий Au(80)Sn(20) была успешно решена методом электронно-лучевого нанесения чередующихся слоев золота и олова. Выбранное техническое решение внутренней камеры установки позволило достичь равномерного нанесения покрытий на теплопроводящие элементы лазерных излучателей при разбросе значений толщин не превышающем 5%.

Результатом исследований покрытий Au(80)Sn(20), получаемых при различных соотношениях толщин чередующихся слоев золота и олова, стала разработка схемы напыления припоя, позволившая получить покрытие Au(80)Sn(20) суммарной толщиной 5,5 мкм, состав которого отвечает эвтектическому в системе золото-олово, при этом характер распределения фаз, составляющих эвтектику во всем объеме полученного покрытия является равномерным в течение всего времени осуществления монтажа ЛД.

Разработанная технология была успешно внедрена для производства лазерных излучателей на базе мощных полупроводниковых лазерных диодов.

Литература

1. Лякишев Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник //М.: Машиностроение. -1997. – С. 586.
2. Кондратюк Р. Припой 80Au20Sn – свойства и особенности применения// Электроника: наука, технология, бизнес. – 2015. – № 10. – С. 154 – 160.
3. McNulty J.C. Processing and Reliability Issues for Eutectic AuSn Solder Joints //International Microelectronics and Packaging Society – 2008. – P.909-916.
4. Matijasevic G.S, Lee C.C., Wang C. Y. Au-Sn alloy phase diagram and properties related to its use as a bonding medium // Thins solid films. – 1993. – Vol. 223. – P. 276-287
5. Katz A. et al. Bonding method using solder composed of multiple alternating gold and tin layers: Пат. 5197654 США. – 1993.
6. Yamada T. et al. Formation of intermetallic compound layers in Sn/Au/Sn diffusion couple during annealing at 433 K // Journal of material science. – 2004. – Т. 39 - №7. – С. 2327 – 2334.
7. Способ пайки лазерных диодов: Пат.2691152Россия, МПКВ23К 1/005, В23К 35/26, H01L 21/02, H01L 21/58 (2006.01) ГК «Росатом», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. Академ Е.И.Забабахина» / Фомин А.В., Смирнов Е.В. Филоненко Е.М // Бюл. – 2019. – №17.