

СВОЙСТВА И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИПОЯ 80Au20Sn В СБОРКЕ ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ



Текст: Роман Кондратюк



Сплав 80Au20Sn более 30 лет применяется в сборке специализированных изделий микроэлектроники и многократно доказал свою эффективность. Новые методы нанесения припоя позволяют расширить область применения припоя 80Au20Sn, однако для сохранения высокого уровня надёжности необходимо учитывать особенности сплава, соединяемых компонентов и процесса пайки. В данной статье рассмотрены основные технические и технологические факторы, влияющие на качество паяного соединения. Также приведены примеры использования припоя 80Au20Sn в сборке изделий микроэлектроники.

Припой 80Au20Sn является одним из важнейших материалов для создания микросхем высокой надёжности. Сплав активно применяется при монтаже полупроводниковых кристаллов высокой мощности, герметизации микросхем и гибридных сборок, а также в сборке МЭМС и изделий оптоэлектроники.

Среди основных преимуществ сплава 80Au20Sn можно выделить высокую прочность и теплопроводность при относительно низкой температуре плавления (Т_п). Сплав сохраняет свои свойства в широком диапазоне температур (от -55 до +125 °С), при повышенных температурах эксплуатации и влажности (+75 до +150 °С, до 100 %) и при длительном нагреве паяного соединения до высоких температур (+250 °С) [1]. Также сплав позволяет осуществлять бесфлюсовую пайку, что существенно снижает вероятность отказов, вызванных применением флюса (коррозия, токи утечки, пустоты в паяном соединении).

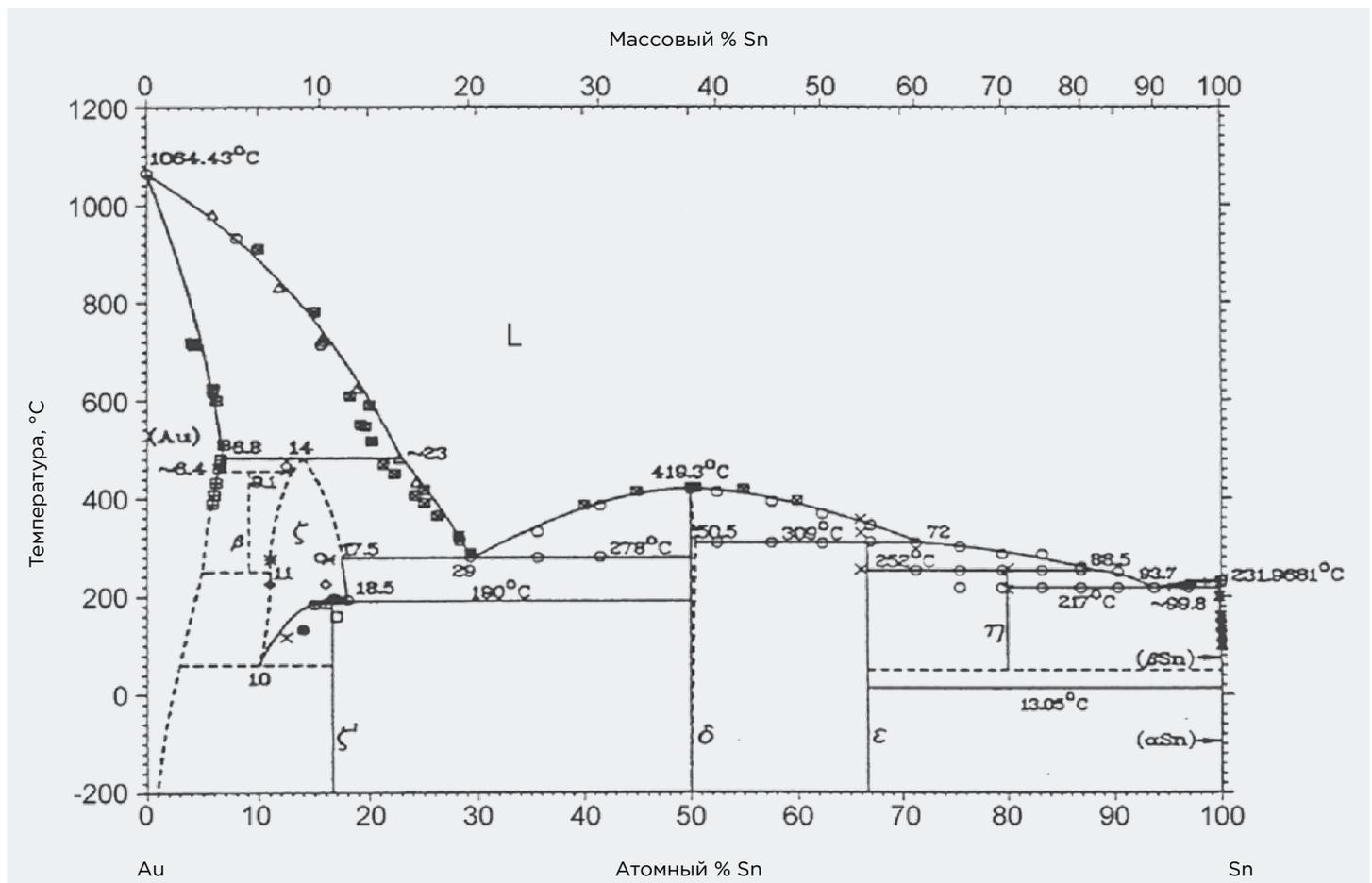
Уникальные свойства сплава 80Au20Sn вызывают интерес у разработчиков новых микроэлектронных изделий. На первый план в таких задачах выходят вопросы качества и надёжности паяных соединений. Основные проблемы с надёжностью изделий, собранных с использованием этого сплава, могут быть вызваны образованием пустот и формированием хрупких интерметаллических соединений в паяных соединениях. Это может приводить к отказам

изделий вследствие нарушения тепловых режимов работы, а также обрывов электрических соединений. Поэтому при использовании сплава 80Au20Sn необходимо учитывать его свойства и особенности применения. Важными вопросами здесь являются подбор и согласование метода нанесения припоя и свойств соединяемых компонентов, а также выбор оптимального режима пайки.

Свойства припоя 80Au20Sn

Основные свойства припоя 80Au20Sn, а также его поведение во время пайки могут быть определены на основе фазовой диаграммы двойного сплава Золото-Олово рис. 1, который имеет две точки эвтектики 80Au20Sn (масс., Т_{плавления} = 280 °С) и 10Au90Sn (масс., Т_{плавления} = 217 °С).

Эвтектика 80Au20Sn состоит из двух интерметаллических фаз AuSn (35,7 % масс.) и Au₅Sn (64,3 % масс.). В сплаве нет свободных атомов Sn, все они связаны в эти два интерметаллических соединения [2, 3]. Другой эвтектический сплав 10Au90Sn формирует интерметаллическое соединение AuSn₄ [2], которое может вызывать проблемы с надёжностью паяного соединения при термоциклировании, поэтому сплав 10Au90Sn пока не находит своего применения в электронике.



1 Фазовая диаграмма двойного сплава Золото-Олово [2]

T 1

Основные характеристики сплавов, применяемых в электронике [14]

	80Au20Sn	88Au12Ge	96.8Au3.2Si	96.5Sn3.5Ag0.5Cu	62Sn36Pb2Ag
Температура плавления, °С	280	356	363	220(L), 217(S)	179
ТКЛР, 10 ⁻⁶ /С при 20 °С	16	13	12	22	25
Коэффициент теплопроводности, Вт/мК	57	44	27	58	50
Удельное электрическое сопротивление, мкОм*см	16.4			13.2	14.3
Плотность, г/см ³	14,51	14,67	15,4	7,4	8,41
Прочность на разрыв, МПа	275	185	254	50	48
Модуль Юнга, ГПа	68	73	85,4	16,6	30

Фазовая диаграмма на рис. 1 демонстрирует одно важное свойство сплава 80Au20Sn — резкое увеличение температуры плавления (ликвидуса) сплава 80Au20Sn даже при незначительном увеличении концентрации золота. Как видно из диаграммы, изменение состава сплава до 81Au19Sn увеличивает температуру плавления на ~30 °С. Эту особенность необходимо учитывать при пайке к золочёным поверхностям, когда золото из металлизации компонентов во время пайки попадает в припой и может изменять его состав. В некоторых случаях указанный эффект приводит к необходимости изначально использовать сплав (78-79)Au(21-22)Sn, но иногда позволяет проводить 2-ступенчатую пайку одним и тем же припоем 80Au20Sn, предоставляя дополнительную свободу выбора технологического маршрута сборки изделия. Процесс растворения Au покрытия в сплаве 80Au20Sn увеличивает количество интерметаллида Au5Sn [3]. При этом помимо температуры плавления повышается прочность сплава. Процесс насыщения золотом сплава 80Au20Sn зависит от режима пайки (температуры и времени нагрева выше точки ликвидуса).

Особенности применения

При организации технологического процесса пайки с помощью припоя 80Au20Sn необходимо учитывать следующие основные факторы:

- свойства соединяемых компонентов (ТКЛР, тип металлизации и толщина металлизации);
- метод нанесения или форму припоя 80Au20Sn;
- тип и возможности оборудования для пайки;
- температурный профиль и атмосферу процесса пайки.

Свойства соединяемых компонентов, как правило, закладываются на этапе проектирования и разработки технологии сборки изделия. Основная рекомендация – выбор компонентов, схожих по температурному коэффициенту линейного расширения (ТКЛР). Это особенно

T 2

Типы и толщина металлизации компонентов для процесса пайки сплавом 80Au20Sn [1]

Подложка	Тип металлизации	Толщина, мкм
Si	Ti/Cu/Ni	0,2/0,8/10
	Ti/Cu	0,5/0,3
	Ti/Pt/Au	-
	TiW/Au	-
GaAs	Ti/Pt/Au	-
	Cr/Pt/Au	-
	Ti/W(N)/Au	-
InP	Ti/W/W-AuSn	0,1/0,05
	Ti/W/W-NiSn	0,2/0,2
	Pd/Ge/Sn	0,1/0,05
	Pd/Ge/In/Sn	0,2/0,2
AlN	Ti/Mo/Pt	0,08/0,1/1
BN	Ti/Pt/Au	-
Al ₂ O ₃	Ti/Pt	0,03/0,25
	Ni/Au	3-5/3-5
	Ti/W/Au	-
Ковар	Ni/Au	0,3-2,5/1,0-7,6
Cu	Ni/Au	2,5-5/0,1-7,6

важно при соединении материалов с низкой пластичностью, таких как керамика, стёкла, твёрдые сплавы, поскольку несоответствие коэффициентов температурного расширения компонентов может приводить к трещинам и разрушениям паяных соединений при перепадах температур.

Важным вопросом при организации процесса пайки сплавом 80Au20Sn является вид и качество металлизации соединяемых компонентов. Возможные типы металлизаций компонентов показаны в T 2. В общем случае металлизация состоит из трех слоёв: адгезионный, барьерный и защитный. Адгезионный слой необходим для керамических и полупроводниковых компонентов и не требуется для металлических поверхностей. Барьерный



2 Преформы, ленты, фольга из низкотемпературных сплавов

слой должен иметь хорошую адгезию к защитному слою, защищать от диффузии и иметь толщину, достаточную для того, чтобы не растворяться в припое полностью. Защитный слой предотвращает окисление поверхности и, как правило, состоит из чистого золота для совместимости с $80\text{Au}20\text{Sn}$. В большинстве случаев для керамики и полупроводников используется комбинация TiW/Au или $\text{Ti}/\text{Pt}/\text{Au}$ (адгезионный/барьерный/защитный слой), для металлов Ni/Au (Т 2). Никель может быть нанесён электрохимическим или химическим способом (2–14 % Р),

но последний используется чаще ввиду меньшей стоимости [1].

Традиционно припой $80\text{Au}20\text{Sn}$ применяется в виде фольги, ленты, навесок или преформ рис 2. Для новых задач, таких как монтаж перевёрнутого кристалла и сборка приборов на уровне пластины, также разработаны паяльные пасты [3] и различные методы нанесения непосредственно на соединяемые компоненты (напыление в вакууме, химическое и электрохимическое осаждение) [2, 4]. Основные особенности и сферы применения каждого из методов перечислены в Т 3.

Наиболее простым и эффективным методом нанесения является использование преформ. Строго контролируемый размер преформ и состав сплава позволяют получать качественное паяное соединение с высокой повторяемостью. Минимальная толщина фольги, преформ, доступных на рынке сегодня, составляет 12 мкм [3].

Паяльная паста помогает решать задачи, где требуется высокая производительность (например, монтаж кристаллов, включая перевёрнутые), но проблемы, связанные с флюсом (газовыделение, коррозия, токи утечки), ограничивают область применения данной формы припоя.

Осаждение/напыление — это наиболее точный метод нанесения припоя на соединяемые компоненты, как правило, применяется в кристалльном производстве, например, для формирования контактных площадок для метода перевёрнутого кристалла (flip-chip). Сплав наносится путём чередования слоёв Au и Sn в соотно-

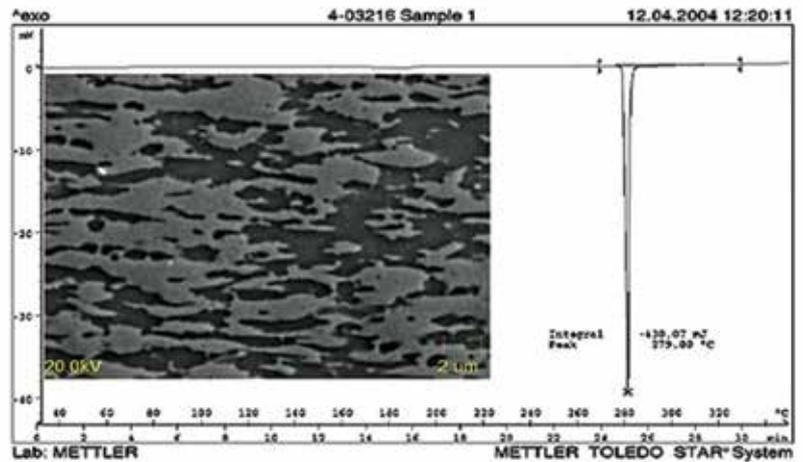
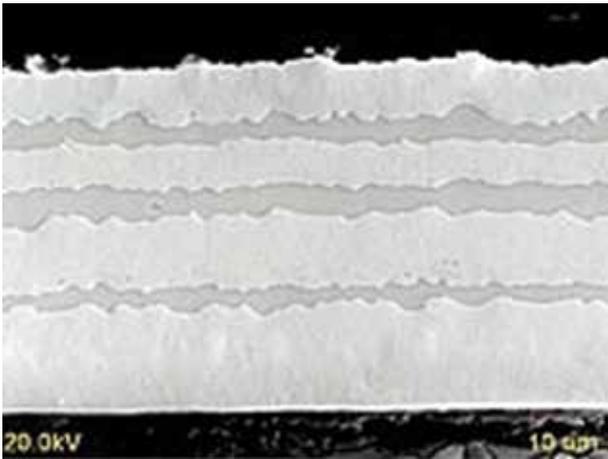
Т 3 Методы нанесения и особенности припоя $80\text{Au}20\text{Sn}$

Метод нанесения	Применение	Размеры XY, мкм	Толщина, мкм	Преимущества	Недостатки			
Фольга, ленты	Монтаж кристаллов Герметизация микросхем	от 250	от 12	Минимальная стоимость Точный состав сплава	Точность кол-ва припоя в паяном соединении			
Преформы					Точное кол-во припоя в паяном соединении Точный состав сплава	Низкая производительность		
Паяльная паста	Монтаж кристаллов Монтаж перевёрнутых кристаллов	от 100*	-	Высокая производительность Отсутствие высоких требований к качеству металлизации	Остатки флюса Высокая цена Поры в паяном соединении			
Микросферы	Металлизация кристаллов Сборка на уровне пластины	100 — 300**	-	Точное кол-во припоя в паяном соединении Точный состав сплава	Низкая производительность			
Напыление в вакууме					от 1***	0,01 — 0,5	Минимальная толщина	Низкая производительность
Химическое и электрохимическое осаждение						0,25 — 10	Минимальная толщина	Высочайшие требования к чистоте, качеству реагентов

* — разрешение при печати

** — диаметр

*** — размер ограничен возможностями литографии



3
 А Чередующиеся слои Au и Sn в соотношении 1,5 : 1 [2]
 Б результат сплавления слоёв Au и Sn с подтверждением температуры плавления [2]

шении 1,5:1 рис 3 А, Б, что позволяет после оплавления получить состав 80Au20Sn [2]. Также коммерчески доступны растворы для совместного осаждения Au и Sn [4]. Области нанесения припоя при напылении/осаждении определяются процессами литографии, поэтому припой можно относительно легко внедрить в технологический процесс производства микросхем/МЭМС.

Выбор оборудования для пайки зависит от создаваемых изделий, формы используемого припоя и требований, предъявляемых к паяному соединению. Среди основных типов паяльного оборудования для пайки сплавом 80Au20Sn можно отметить печи вакуумной и конвекционной пайки, нагревательные плиты, а также специализированные установки локальной пайки и монтажа кристаллов [6]. Каждый из указанных способов имеет свои особенности. Как правило, приходится выбирать между качеством паяного соединения и производительностью процесса пайки.

Наиболее качественное паяное соединение получают методом бесфлюсовой пайки, состоящей из этапа нагрева изделия выше 280 °С в инертной или восстановительной атмосфере (N_2 , H_2 или формирующий газ (смесь N_2/H_2)), с последующей вакуумизацией или нагнетанием давления для удаления пустот из паяных соединений и этапа охлаждения. Данный метод в основном применяется для создания паяных соединений высокой надёжности, где недопустимо наличие остатков флюса и пустот в паяном соединении. К таким задачам можно отнести сборку герметичных микросхем и монтаж полупроводниковых кристаллов высокой мощности. Для задач, требующих высокой производительности процесса пайки, применяются специализированные установки монтажа кристаллов с преформами 80Au20Sn или печи конвекционного оплавления с применением паяльных паст [3]. Также возможно совместное применение префом и флюсов [7] для пайки на воздухе.

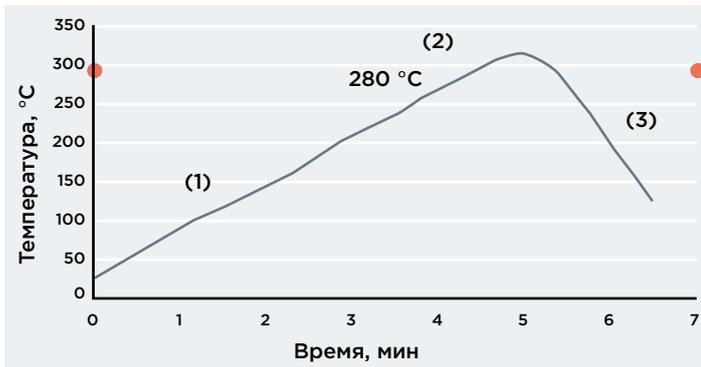
При отработке технологического процесса пайки

сплавом 80Au20Sn необходимо учитывать тип и качество атмосферы в зоне пайки, а также рекомендации по температурному профилю пайки.

Бесфлюсовая пайка обычно проводится в инертной или восстановительной атмосфере (N_2 , Ar, формирующий газ (смесь N_2/H_2)) с последующей вакуумизацией или нагнетанием избыточного давления. При этом наиболее важным параметром является концентрация кислорода в зоне пайки, которая не должна превышать 20 ppm [8].

При применении паяльной пасты 80Au20Sn параметры атмосферы пайки зависят от типа используемого флюса. Большинство флюсов созданы для пайки на воздухе, но некоторые из них требуют инертной атмосферы и минимального количества кислорода (<20ppm) [3]. Это относится к низкоактивным легколетучим флюсам, основное назначение которых — снимать незначительное количество оксидов металлов с поверхностей префом и компонентов и после этого максимально удалять продукты реакции из зоны пайки. Подобные флюсы позволяют получить малое количество остатков флюса (3 % и менее), что даёт возможность расширить область применения паяльных паст, например, использовать сплав 80Au20Sn для монтажа светодиодных или лазерных кристаллов высокой мощности.

Паяльная паста помогает решать задачи, где требуется высокая производительность, но проблемы, связанные с флюсом, ограничивают область применения данной формы припоя



4 Типовой температурный профиль для пайки припоем 80Au20Sn в виде преформ или в виде паяльной пасты [3, 10]

Выбор температурного профиля может зависеть от типа и размеров компонентов, возможностей оборудования, а также формы припоя. На рис 4 показан типовой температурный профиль, пригодный для пайки припоем 80Au20Sn (температура плавления 280 °C) в виде преформ или паяльных паст. При отладке процесса пайки основной интерес представляют три зоны температурного профиля:

1) **Зона нагрева до 280 °C.** Для снижения времени выдержки компонентов при высокой температуре скорость нагрева выставляют максимально возможной, но допустимой для компонентов. Ограничения могут возникнуть при использовании паяльной пасты, когда нагрев со скоростью выше 120 °C/мин. может вызывать разбрызгивание припоя и образование пустот по причине интенсивного испарения легколетучих компонентов флюса. Для паяльных паст рекомендуемая скорость нагрева 50-120 °C/мин., для преформ, покрытий 80Au20Sn — 50-200 °C/мин.

2) **Зона с температурой выше 280 °C.** Здесь важны два параметра: время выдержки выше 280 °C и пиковая температура процесса. Рекомендованный диапазон для времени выдержки составляет 10-300 секунд. Недостаточное или избыточное время выдержки выше 280 °C, также как и выбор некорректной максимальной температуры могут приводить к дефектам конечного паяного соединения или разрушению соединяемых компонентов. В зоне 2 температурного профиля важно, с одной стороны, обеспечить полное расплавление припоя 80Au20Sn, прогрев компонентов и смачивание припоем поверхностей компонентов. С другой стороны — не допустить избыточного растворения покрытий, участвующих в пайке.

3) **Зона охлаждения ниже 280 °C.** Данная область температурного профиля является наиболее важной с точки зрения надёжности получаемого паяного соединения. Чрезмерно быстрое охлаждение может приводить к дефектам или разрушению паяного соединения по причине различий ТКЛР соединяемых компонентов и припоя 80Au20Sn. Слишком медленное охлаждение

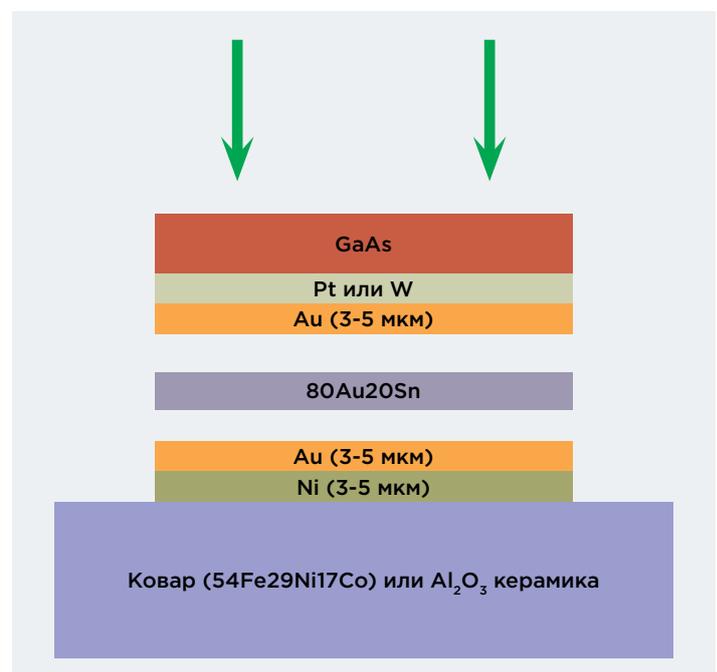
Т 4

Общие рекомендации по параметрам температурного профиля пайки сплавом 80Au20Sn [1, 3, 10]

	Бесфлюсовая пайка (преформы, ленты и проч.)	Паяльная паста
Атмосфера пайки	Ar, N ₂ , формирующий газ	Воздух, N ₂
Параметры температурного профиля процесса пайки		
1) Зона нагрева до 280 °C		
Скорость нагрева, C/мин.	50 — 900	50 — 120
2) Зона с температурой выше 280 °C		
Время выдержки, сек.	10 — 400	45 — 90
Пиковая температура, C	290 — 350	320-330
3) Зона охлаждения ниже 280 °C		
Скорость охлаждения, C/мин.	50 — 450	50 — 240

приводит к образованию крупнозернистой поликристаллической структуры сплава, что может негативно отразиться на усталостной прочности конечного соединения [3]

Общие рекомендации по параметрам температурного профиля представлены в Т 4. Необходимо отметить, что при отладке термопрофиля температура должна измеряться внешней термпарой в зоне пайки. Это поможет избежать ошибок, связанных с процессами теплопередачи от источника тепла в зону пайки через промежуточные материалы (воздух, подложка и проч.).



5

Монтаж GaAs кристалла на основание

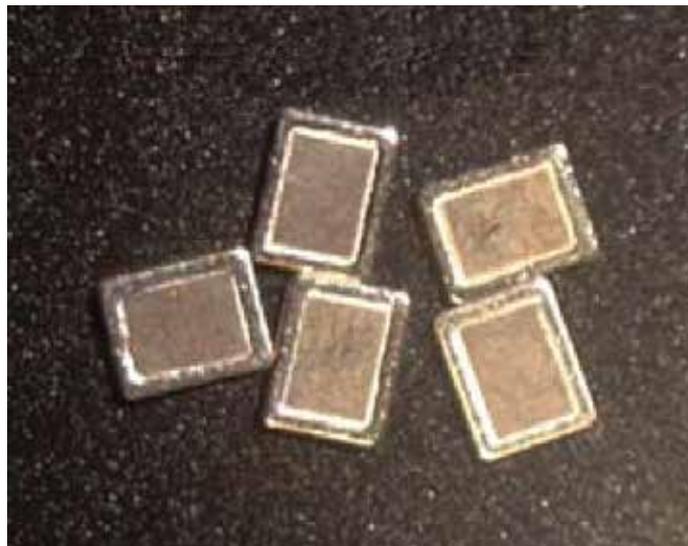


6 Печь вакуумной пайки Centrotherm VLO

Примеры использования

Рассмотрим варианты применения сплава 80Au20Sn на двух примерах. Для каждого из них выделим особенности технологического процесса.

Монтаж кристалла высокой мощности. На рис 5 представлен эскиз типовой задачи по монтажу GaAs кристалла на основание корпуса или платы. В качестве подложки для данной задачи выбирается керамика (Al_2O_3 , AlN) или металл (Ковар (54Fe29Ni17Co), Cu-Mo, Mo), обладающие близкими к GaAs значениями ТКЛР ($7 \times 10^{-6} 1/^\circ C$). Перспективной альтернативой Ковару для подобных задач является материал AlSiC, обладающий низким ТКЛР и высоким значением коэффициента теплопроводности (>150 Вт/мК) [9]. Наиболее популярным типом металлизации для данной задачи является Au (3-5 мкм) с подслоем Pt или W для кристалла и Ni (3-5 мкм)/Au (3-5 мкм) для подложки [1].

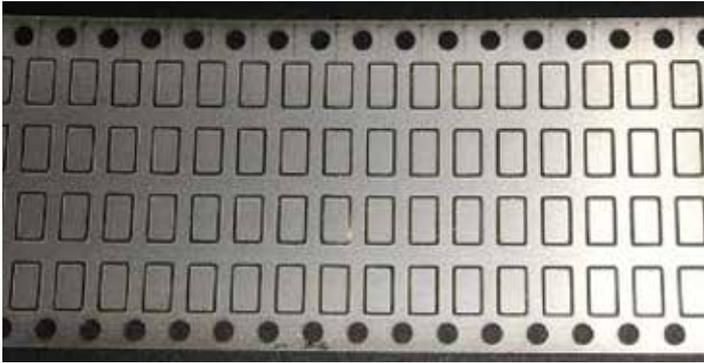


7 Крышка из ковара с нанесённым припоем 80Au20Sn [12]

Поскольку речь идёт о монтаже кристалла высокой мощности, то важнейшим фактором для паяного соединения является минимальная толщина и отсутствие пустот. Наиболее предпочтительным методом с этой точки зрения является бесфлюсовая вакуумная пайка. Она позволит избежать проблем, связанных с использованием флюса (газовыделение, загрязнение), и получить паяное соединение с минимальным количеством пустот. Типовая печь вакуумной пайки показана на рис 6.

Припой для данной задачи, как правило, выбирается в виде преформ. Это наиболее простой и контролируемый способ нанесения припоя. Рекомендованный размер преформы составляет 90-95 % от размера кристалла [10]. Это позволяет получать качественное паяное соединение — без пустот, но и без излишков. Во время вакуумной пайки на кристалл необходимо прикладывать давление из-за высокого поверхностного натяжения сплава 80Au20Sn [10].

Применение паяльной пасты 80Au20Sn. Паяльная паста позволяет использовать сплав 80Au20Sn в условиях крупносерийного производства. В качестве примера рассмотрим формирование рамки из сплава 80Au20Sn с помощью паяльной пасты Indium NC-SMQ51SC (indalloy #182) на поверхности коваровой крышки размером 1,6 x 1,2 мм рис 7. Крышка с нанесённым припоем затем может быть использована для герметизации специализированных электронных приборов.



8
Выводная рамка из ковара [12]

Наиболее эффективным способом получения готового изделия является трафаретная печать паяльной пасты Indium NC-SMQ51SC (indalloy #182) на большой заготовке рис 8 с последующим оплавлением в конвейерной печи, удалением остатков флюса методом струйной или УЗ отмывки и вырубкой отдельных изделий. Целесообразно сделать заготовку из Ковара ($54\text{Fe}29\text{Ni}17\text{Co}$) с покрытием Ni (3-5 мкм)/Au (3-5 мкм).

Паяльная паста наносится через сетчатый трафарет. Корректно подобранная сетка, толщина эмульсии и размер частиц в паяльной пасте позволят получить ширину линии рамки до 100 мкм.

Температурный профиль, показанный на рис 4, может быть использован в качестве отправной точки для отладки процесса пайки с помощью паяльной пасты Indium NC-SMQ51SC (indalloy #182). Пайка мо-

жет осуществляться в конвейерной или камерной печи в воздушной среде. После оплавления остатки флюса могут быть удалены специализированными отмывочными жидкостями (VigonA250, ZestronFA+ и проч.). После очистки выводная рамка передаётся на участок вырубki для получения готовых изделий.

Таким образом, разнообразие форм и методов нанесения предоставляет разработчикам и технологам широкие возможности по использованию припоя $80\text{Au}20\text{Sn}$ в создании электронных приборов высокой надёжности.

Заключение

Сплав $80\text{Au}20\text{Sn}$ успешно применяется производителями электроники на протяжении многих лет. Новые методы нанесения позволяют расширить сферы применения этого припоя и использовать его в кристалльном производстве и крупносерийной сборке микросхем и микросборок.

При использовании припоя $80\text{Au}20\text{Sn}$ для получения качественных паяных соединений необходимо учитывать такие особенности и составляющие процесса пайки, как: свойства соединяемых компонентов, метод нанесения припоя, тип и возможности оборудования, а также особенности температурного профиля и атмосфере процесса пайки.

Специалисты Предприятия Остек всегда готовы оказать содействие в выборе материалов и отладке технологических процессов в сборке микросхем и полупроводниковых приборов. 

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] DfR Solutions, "Processing and Reliability Issues for Eutectic AuSn Solder Joints", IMAPS, Nov.2008.
- [2] Forman R.S., Freeport N.Y., Minogue G., "The Basics of Wafer-Level AuSn Soldering", Rohm and Haas Electronic Materials L.L.C., Surflect Technologies.
- [3] Minogue G., Mullapudi R., "A Novel Approach For Hermetic Wafer Scale MEMS RF and GaAs Packaging", Surflect Technologies Inc.
- [4] Indium Corp., "Indalloy 182 — Gold-Tin solder paste", www.indium.com.
- [5] Yoon J.W., Chun H.S., Jung S.B., "Reliability analysis of Au-Sn flip-chip solder bump fabricated", 2006.
- [6] www.indium.com.
- [7] www.ostec-micro.ru.
- [8] Indium Corp., "AuSn Preforms for die attach application", www.indium.com.
- [9] G. S. Selvaduray, «Die bond material and bonding mechanisms in microelectronic packaging» Thin Solid Films, vol. 153, pp.431-455 .
- [10] Е.Н. Каблов и др., "Свойства и применение высоконаполненного металломатричного композиционного материала Al-SiC", 2011.
- [11] Indium Corp., "Gold Tin — The Unique Eutectic Solder Alloy", www.indium.com.
- [12] Tummala R.R., Rymaszewski E.J., Klopfenstein A.G., "Microelectronics Packaging Handbook", 2nd ed., Chapman & Hall, New York, NY,1997.
- [13] M. Ishikawa, et.al., "Application of Gold-Tin Solder Paste for Fine Parts and Devices", IEEE, 2005.
- [14] Indium Co. Specialty Solders & Alloys, www.indium.com.