

ПРИПОЙ 80Au20Sn – СВОЙСТВА И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Р.Кондратюк materials@ostec-group.ru

Сплав 80Au20Sn более 30 лет используется при сборке специализированных изделий микроэлектроники и доказал свою эффективность. Новые методы нанесения припоя позволяют расширить область применения этого сплава, однако для сохранения высокого уровня надежности необходимо учитывать особенности сплава, соединяемых компонентов и процесса пайки. Рассмотрим основные технические и технологические факторы, влияющие на качество паяного соединения, а также примеры использования припоя 80Au20Sn при сборке изделий микроэлектроники.

Припой 80Au20Sn – один из важнейших материалов для создания микросхем высокой надежности. Сплав применяется при монтаже полупроводниковых кристаллов высокой мощности, герметизации микросхем и гибридных сборок, а также в МЭМС и изделиях оптоэлектроники.

Среди основных преимуществ сплава 80Au20Sn можно выделить высокую прочность и теплопроводность при относительно низкой температуре плавления (табл.1) [1]. Сплав сохраняет свои свойства в широком диапазоне температур (от –55 до 125°C), при повышенной температуре эксплуатации (от 75 до 150°C) и влажности (до 100%), при длительном нагреве паяного соединения до высоких температур (250°C) [2]. Кроме того, сплав позволяет выполнять 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 надежности паяных соединений. Основные проблемы с надежностью изделий, собранных с использованием этого сплава, могут быть обусловлены образованием пустот и формированием хрупких интерметаллидов 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. Важно подбирать и согласовывать метод

Таблица 1. Основные характеристики сплавов, применяемых в электронике

	80Au20Sn	88Au12Ge	96,8Au3,2Si	62Sn36Pb2Ag
Температура плавления, °С	280	356	363	179
ТКЛР, 10^{-6}°C^{-1} при 20°С	16	13	12	25
Коэффициент теплопроводности, Вт/мК	57	44	27	50
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·см	16,4	Н/д	Н/д	14,3
Плотность, г/см ³	14,51	14,67	15,4	8,41
Прочность на разрыв, МПа	275	185	254	48
Модуль Юнга, ГПа	68	73	85,4	30

нанесения припоя и свойства соединяемых компонентов, а также выбрать оптимальный режим пайки.

СВОЙСТВА ПРИПОЯ 80Au20Sn

Сплав золото-олово имеет две точки эвтектики: 80Au20Sn (здесь и далее в этом разделе указаны массовые проценты) с температурой плавления 280°С и 10Au90Sn с температурой плавления 217°С.

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

Важное свойство сплава 80Au20Sn – резкое повышение температуры плавления (ликвидуса) даже при незначительном увеличении концентрации золота. Так, изменение состава сплава до 81Au19Sn увеличивает температуру плавления на ~30°С. Эту особенность необходимо учитывать при пайке к золоченым поверхностям, когда золото из слоя 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, однако иногда позволяет выполнять двухступенчатую пайку одним и тем же припоем 80Au20Sn, предоставляя дополнительную свободу за счет 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 (температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), тип и толщину металлизации);
- метод нанесения или форму припоя;
- 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 ТКЛР. Это особенно важно при соединении материалов с низкой пластичностью, таких как керамика, стекла, твердые сплавы, поскольку несоответствие коэффициентов температурного расширения компонентов может приводить к трещинам и разрушениям паяных соединений при перепадах температур.

Актуальный вопрос при организации процесса пайки сплавом 80Au20Sn – вид и качество металлизации соединяемых компонентов (табл.2) [2]. В общем случае металлизация состоит из трех слоев: адгезионного, барьерного и защитного. Адгезионный слой необходим для керамических и полупроводниковых компонентов и не требуется для металлических поверхностей. Барьерный 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 80Au20Sn. В большинстве случаев для керамики и полупроводников используется комбинация TiW/Au или Ti/Pt/Au (адгезионный/барьерный/защитный слой), для металлов – Ni/Au (см. табл.2). Никель может быть

Таблица 2. Типы и толщина металлизации компонентов для процесса пайки сплавом 80Au20Sn

Подложка	Тип металлизации	Толщина, мкм
Si	Ti/Cu/Ni	0,2/0,8/10
	Ti/Cu	0,5/0,3
	Ti/Pt/Au	–
	Ti/W/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

* толщины чередующихся слоев металлов

нанесен электрохимическим или химическим способом (состав получаемого покрытия содержит 2–14% фосфора), но последний используется чаще ввиду меньшей стоимости [2].

Традиционно припой 80Au20Sn применяется в виде фольги, ленты, навесок или преформ (рис.1). Для новых задач, таких как монтаж перевернутого кристалла (flip-chip) и сборка приборов на уровне пластины, разработаны паяльные пасты [4] и различные методы нанесения непосредственно на соединяемые компоненты (напыление в вакууме, химическое и электрохимическое осаждение) [3, 5]. У каждого метода есть свои особенности и сферы применения (табл.3).

Наиболее простой и эффективный метод нанесения – использование преформ. Строго контролируемый размер преформ и состав сплава позволяют получать качественное паяное соединение с высокой повторяемостью. Минимальная толщина фольги преформ, доступных на рынке, составляет 12 мкм [6].

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



Рис.1. Преформы, ленты, фольга из низкотемпературных сплавов производства компании Indium Corporation

Осаждение/напыление – наиболее точный метод нанесения припоя на соединяемые компоненты – как правило, применяется в кристалльном производстве, например, для формирования контактных площадок для метода перевернутого кристалла. Сплав наносится путем чередования слоев Au и Sn в соотношении 1,5:1, что позволяет после оплавления получать состав 80Au20Sn [3]. Также коммерчески доступны растворы для совместного осаждения Au и Sn [5]. 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 [7]. Каждый из указанных способов имеет 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°C в инертной или восстановительной атмосфере (N₂, H₂ или формир-газ (смесь N₂/H₂), 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 надежности, где недопустимо наличие остатков

Таблица 3. Методы нанесения и особенности припоя 80Au20Sn

Метод нанесения	Применение	Размеры (ширина и длина), мкм	Толщина, мкм	Преимущества	Недостатки
Фольга, ленты	Монтаж кристаллов; герметизация микросхем	От 250	От 12	Минимальная стоимость; точный состав сплава	Точность количества припоя в паяном соединении; низкая производительность
Преформы		От 250	От 12	Точное количество припоя в паяном соединении; точный состав сплава	Более высокая стоимость относительно фольги/лент; низкая производительность
Паяльная паста	Монтаж кристаллов; монтаж перевернутых 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			0,01-0,5	Минимальная толщина	Низкая производительность
Химическое и электрохимическое осаждение		От 1***	0,25-10	Минимальная толщина	Высочайшие требования к чистоте, качеству реагентов

* разрешение при печати

** диаметр

*** размер ограничен возможностями литографии

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 [4]. Также возможно совместное применение преформ и флюсов [8] 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. 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 (<20 ppm) [4, 8]. Это относится к низкоактивным легколетучим флюсам, основное назначение которых – снимать незначительное количество оксидов металлов с поверхностей преформ, компонентов и после этого максимально удалять продукты реакции из зоны пайки. Подобные флюсы позволяют получить малое количество их остатков (3% и менее), что дает возможность расширить область применения паяльных паст, например использовать сплав 80Au20Sn для монтажа светодиодных или лазерных кристаллов высокой мощности.

Выбор температурного профиля может зависеть от типа и размеров компонентов, возможностей оборудования, а также формы припоя. При отладке процесса пайки основной интерес представляют три зоны температурного профиля (рис.2) [1, 4].

1. **Зона нагрева до 280°C.** Для снижения времени выдержки компонентов при высокой температуре

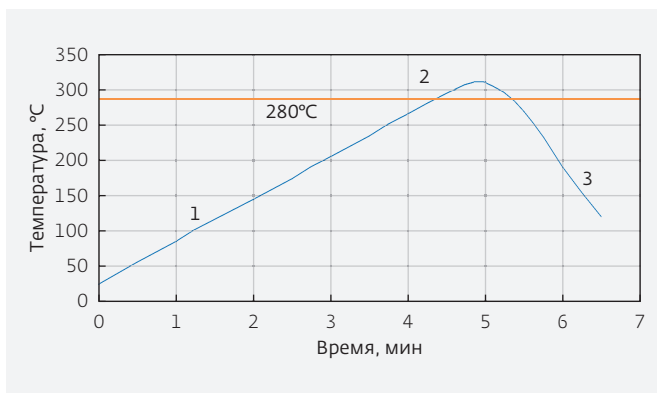


Рис.2. Типовой температурный профиль для пайки припоем 80Au20Sn (температура плавления 280°C) в виде преформ или паяльной пасты

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 и 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 с. Недостаточное или избыточное время выдержки выше 280°C так же, как и выбор неподходящей максимальной температуры, может 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 их поверхностей, а с другой – не допустить избыточного растворения покрытий, участвующих в пайке.
3. **Зона охлаждения ниже 280°C.** Данная область температурного профиля – наиболее важна с точки зрения надежности 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 вызывает образование крупнозернистой поликристаллической структуры сплава, что может негативно отразиться на усталостной прочности конечного соединения [4].

Можно дать несколько общих рекомендаций по параметрам температурного профиля (табл.4) [2, 4, 9].

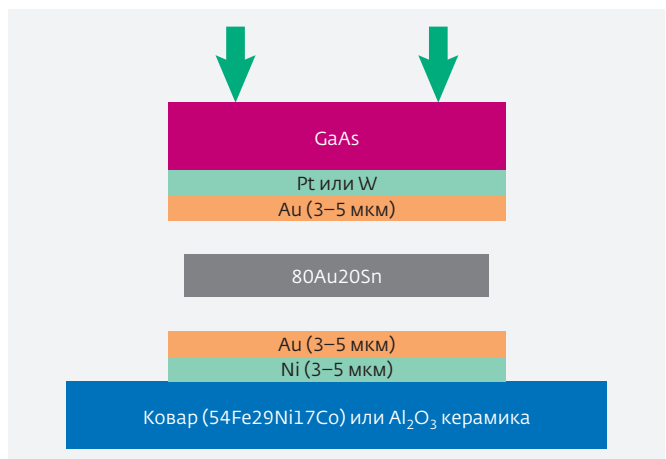


Рис.3. Монтаж GaAs-кристалла на основание

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, подложку и др.).

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

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

Монтаж GaAs-кристалла на основание корпуса или платы (рис.3). 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 ($7 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$). Перспективная альтернатива ковару для подобных задач – материал AlSiC, имеющий низкий ТКЛР и высокий коэффициент теплопроводности (>150 Вт/мК) [10]. Наиболее популярный тип металлизации для данной задачи – Au (3–5 мкм) с подслоем Pt или W для кристалла и Ni (3–5 мкм) / Au (3–5 мкм) для подложки [2].

Поскольку речь идет о монтаже кристалла высокой мощности, то важнейшие факторы для паяного соединения – минимальная толщина и отсутствие пустот. Наиболее предпочтительный метод с этой точки зрения – бесфлюсовая вакуумная пайка. Она позволит избежать проблем, связанных с использованием флюса (газовыделение, загрязнения), и получить паяное соединение с минимальным количеством пустот. Для вакуумной пайки используется специальная печь (рис.4).

Припой для данной задачи, как правило, выбирается в виде преформ. Это наиболее простой и контролируемый способ нанесения припоя. Рекомендованный

Таблица 4. Общие рекомендации по параметрам температурного профиля пайки сплавом 80Au20Sn

	Бесфлюсовая пайка (преформы, ленты и др.)	Паяльная паста
Атмосфера пайки	Ar, N ₂ , формирующий газ	Воздух, N ₂
Параметры температурного профиля процесса пайки		
Зона нагрева до 280°C: скорость нагрева, °C/мин	50–900	50–120
Зона с температурой выше 280°C: время выдержки, с пиковая температура, °C	10–400 290–350	45–90 320–330
Зона охлаждения ниже 280°C: скорость охлаждения, °C/мин	50–450	50–240



Рис.4. Печь вакуумной пайки Centrotherm VLO

размер преформы составляет 90–95% от размера кристалла [9]. Это позволяет получать качественное паяное соединение – без пустот, но и без излишков. Во время вакуумной пайки к кристаллу необходимо прикладывать давление из-за высокого поверхностного натяжения сплава 80Au20Sn [9].

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 1,6×1,2 мм. Крышка с нанесенным припоем может быть использована для герметизации специализированных электронных приборов.

Наиболее эффективный способ получения готового изделия – трафаретная печать паяльной пасты NC-SMQ51SC на большой заготовке с последующим оплавлением в конвейерной печи, удалением

остатков флюса методом струйной или ультразвуковой отмывки и вырубкой отдельных изделий. Целесообразно сделать заготовку из ковара 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 позволяют получить ширину линии рамки до 100 мкм.

Температурный профиль, показанный на рис.2, может быть использован в качестве отправной точки для отладки процесса пайки с помощью паяльной пасты NC-SMQ51SC. Пайка может выполняться в конвейерной или камерной печи в воздушной среде. После оплавления остатки флюса могут быть удалены специализированными отмывочными жидкостями (Vigon A250, Zestron FA+ и др.). Затем выводная рамка передается на участок вырубки для получения готовых изделий.

Таким образом, разнообразие форм и методов нанесения предоставляет разработчикам и технологом широкие возможности для использования припоя 80Au20Sn в создании электронных приборов высокой надежности. Новые методы нанесения позволяют расширить сферу применения этого припоя и использовать его в кристалльном производстве и при крупносерийной сборке микросхем и микросборок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Specialty Solders & Alloys. – www.indium.com
2. Processing and Reliability Issues for Eutectic AuSn Solder Joints. – 41st International Symposium on Microelectronics (IMAPS 2008) Proceedings, p.909–916. – www.dfrsolutions.com/wp-content/uploads/2012/06/Processing-and-Reliability-Issues-for-Eutectic-AuSn-Solder-Joints.pdf
3. **Minogue G., Mullapudi R.** A Novel Approach For Hermetic Wafer Scale MEMS RF and GaAs Packaging. – www.csmantech.org/Digests/2005/2005papers/9.3.pdf
4. 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 by co-electroplating. – Journal of Materials Research, 2007, v. 22, Issue 05, p. 1219–1229.
6. www.indium.com
7. www.ostec-micro.ru (каталог, оборудование, установка компонентов).
8. AuSn Preforms for die attach application. – www.indium.com
9. Gold Tin – The Unique Eutectic Solder Alloy. – www.indium.com
10. **Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Шавнёв А.А. и др.** Свойства и применение высоконаполненного металломатричного композиционного материала Al–SiC // Вестник Нижегородского университета им. Н.И.Лобачевского. 2011. № 3 (1). С. 56–59.

НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



Цена 975 руб.

КОНТРОЛЬ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ СВЧ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Груздов В.В., Колковский Ю.В., Концевой Ю.А.

В книге представлено обобщение накопленного опыта по созданию методов входного и технологического контроля при разработке и производстве СВЧ-транзисторов на основе широкозонных материалов, в частности, транзисторов на гетероструктурах типа AlGaIn/GaN. Рассмотрены системы отечественных и зарубежных стандартов, на основе которых проводятся разработки СВЧ-транзисторов. Подробно описаны физические основы гетероструктур, описаны свойства широкозонных полупроводников, методы изготовления СВЧ-транзисторов. Детально анализируется технология производства транзисторов с учетом имеющегося опыта их реального изготовления. Рассмотрены электрические, оптические, рентгеновские, электронно-микроскопические и аналитические методы, которые применяются при входном и технологическом методах контроля. Рассмотрен опыт создания в ОАО "НПП "Пульсар" СВЧ-транзисторов и СВЧ-блоков на их основе.

Книга будет полезна специалистам в области электроники, исследователям, инженерам-практикам и разработчикам радиоэлектронной аппаратуры.

М: ТЕХНОСФЕРА,
2016. – 328с.
ISBN: 978-5-94836-426-1

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ (495) 234-0110; 📠 (495) 956-3346; knigi@technosphaera.ru, sales@technosphaera.ru