

Роман Кондратюк
materials@ostec-group.ru

Полимерные клеи и стеклянные припои. Применение в сборке и герметизации интегральных микросхем и оптоволоконных приборов

Производство полупроводниковых приборов и интегральных микросхем включает в себя множество технологических операций, среди которых особое место занимают сборка и герметизация. От качества сборочных операций зависят стабильность электрических параметров и надёжность конечного изделия. Кроме того, выбор метода сборки влияет на суммарную стоимость продукта.

В данной статье мы рассмотрим современные технологические решения на основе клеев и стеклянных припоев для следующих операций:

- присоединение кристалла к основанию корпуса;
- герметизация полупроводниковых микросхем путем присоединения крышки корпуса к основанию;
- фиксация и герметизация оптических волокон.

ТИПЫ АДГЕЗИВОВ ДЛЯ СБОРКИ И ГЕРМЕТИЗАЦИИ

Рассмотрим основные типы клеев и стеклянных припоев, применяемых в процессах сборки и герметизации интегральных микросхем и оптоволоконных приборов. Их различают по типу связующего вещества и по типу материала наполнителя.

1. Связующий материал

Органические полимеры, используемые в качестве адгезива, могут быть разделены на две основные категории: реактопласты и термопласты. Все они являются органическими материалами, но существенно отличаются по химическим и физическим свойствам.

В реактопластах при нагреве полимерные цепи необратимо сшиваются в жёсткую трёхмерную сетчатую структуру. Возникающие при этом связи позволяют получать высокую адгезионную способность материала, но при этом ремонтпригодность ограничена.

В термопластичных полимерах не происходит отверждения. Они сохраняют способность к размягчению и расплавлению при нагреве, создавая

прочные эластичные связи. Это свойство позволяет использовать термопласты в приложениях, где требуется ремонтпригодность. Адгезионная способность термопластичных пластмасс ниже, чем у реактопластов, но в большинстве случаев вполне достаточна.

Третий тип связующего вещества – смесь термопластов и реактопластов, объединяющая в себе преимущества двух типов материалов. Их полимерная композиция представляет собой взаимопроницающую сеть термопластичных и реактопластичных структур, что позволяет использовать их для создания высокопрочных ремонтпригодных соединений при относительно низких температурах (150°C-200°C).

Помимо полимерных материалов для создания теплопроводящих соединений активно применяются неорганические материалы, так называемые стеклянные припои. Стеклянные припои – это материалы, состоящие из оксидов металлов. Они обладают хорошей адгезией к широкому спектру керамики, оксидов, полупроводниковых материалов, металлов и характеризуются высокой корро-

зионной стойкостью. Активно применяются для создания вакуум-плотных соединений (герметизация электронных, оптоволоконных микросхем и т.д.), используются при более высоких температурах по сравнению с полимерными клеями.

Каждая система имеет свои достоинства и недостатки. Одним из ограничений в использовании термопластичных паст является медленное удаление растворителя в процессе оплавления. Раньше для соединения компонентов с использованием термопластичных материалов требовалось провести процесс нанесения пасты (соблюдая плотность), сушки для удаления растворителя и только затем установки кристалла на подложку. Такой процесс исключал образование пустот в клеящем материале, но увеличивал стоимость и затруднял использование данной технологии в массовом производстве.

Современные термопластичные пасты обладают способностью очень быстрого испарения растворителя. Это свойство позволяет наносить их методом дозирования, используя стандартное оборудование, и устанавливать кристалл на ещё не высушенную пасту. Далее следует этап быстрого низкотемпературного нагрева, во время которого растворитель удаляется, и после оплавления создаются адгезионные связи.

Долгое время имелись сложности с созданием высокотеплопроводящих клеев на основе термопластов и реактопластов. Данные полимеры не позволяли увеличивать содержание теплопроводящего наполнителя в пасте, поскольку для хорошей адгезии требовался высокий уровень связующего вещества (60-75%). Для сравнения: в неорганических материалах доля связующего вещества могла быть уменьшена до 15-20%. Современные полимерные клеи (Diemat DM4130, DM4232, DM4030, DM5030, DM6030) лишены этого недостатка, и содержание теплопроводящего наполнителя достигает 80-90%.

2. Наполнитель

Основную роль в создании теплопроводящего адгезива играют тип, форма, размер и количество наполнителя. В качестве наполнителя используется серебро (Ag) как химически стойкий материал с наиболее высоким коэффициентом теплопроводности. Современные пасты содержат в себе серебро в виде порошка (микросферы) и хлопьев (чешуен). Точный состав, количе-

ство и размер частиц экспериментально подбираются каждым производителем и в сильной степени определяют теплопроводящие и клеящие свойства материалов.

В задачах, где требуется диэлектрик с теплопроводящими свойствами, в качестве наполнителя используется керамический порошок.

ПРИСОЕДИНЕНИЕ КРИСТАЛЛА К ОСНОВАНИЮ КОРПУСА

Основными требованиями при присоединении кристалла к основанию корпуса полупроводниковой микросхемы являются высокая надёжность соединения и высокий уровень передачи тепла от кристалла к подложке.

Операцию присоединения проводят с помощью пайки, приплавания с использованием эвтектических сплавов или приклеивания. Традиционные решения на основе сплавов и эвтектики позволяют создавать прочные соединения с высокими теплопроводящими свойствами, но, как правило, требуют предварительной металлизации поверхностей и особых условий технологического процесса (высокая температура, специальная атмосфера, отмывка после оплавления). В связи с этим в некоторых случаях возникает необходимость перехода на использование электро-, теплопроводящих клеев и стеклянных припоев.

Среди преимуществ использования теплопроводящих полимерных клеев и стеклянных припоев стоит отметить:

- **повышенную надёжность соединения:** увеличение площади соединяемых поверхностей с различными коэффициентами теплового расширения (КТР) приводит к возникновению существенных термомеханических напряжений, что в сильной степени определяет надёжность сборки. Использование высокотеплопроводящих полимерных материалов с малыми значениями модуля упругости позволяют компенсировать разницу в КТР и минимизировать термомеханические напряжения;
- **низкие температуры процесса (150-250°C):** использование адгезивов позволяет пересмотреть порядок сборки изделий микроэлектроники. Появляется возможность монтировать полупроводниковый кристалл после сборки печатной платы или использовать более дешёвые пластиковые корпуса в массовом производстве;

- **снижение стоимости продукции:** использование адгезивов позволяет отказаться от металлизации соединяемых поверхностей, а также от создания специальной атмосферы процесса и очистки после оплавления, что положительно сказывается на стоимости продукта.

Теперь рассмотрим более подробно влияние характеристик и базовых особенностей электро-, теплопроводящих клеев и стеклянных припоев на теплопередачу и надежность соединения.

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

Передача тепла от кристалла к корпусу может быть рассчитана по закону теплопроводности Фурье:

$$Q = \frac{k \cdot A \cdot dT}{dx} \quad (1)$$

где Q – тепловой поток через клеевую линию между кристаллом и подложкой [Вт], k – коэффициент теплопроводности [Вт/м²К], A – площадь соединения [м²], dx – толщина клеевого шва [м], dT – перепад температур между верхней и нижней границами клеевого шва [°К] (рис. 1).

Двумя величинами в уравнении 1, непосредственно относящимися к клеющему материалу, являются теплопроводность k и толщина клеевого шва dx . Таким образом, тепловой поток через клеевой шов находится в прямой зависимости от коэффициента

теплопроводности адгезива. Это важнейшая характеристика материала, и она оценивается в первую очередь.

При выборе адгезионного материала также должна учитываться и толщина клеевого шва. На рис. 2 показаны результаты расчета теплового потока для адгезионных материалов с разными значениями коэффициентов теплопроводности и толщины клеевого шва. Для примера выбраны три материала: стандартный термопласт/реактопласт на основе эпоксидных смол ($k=3$ Вт/м²К), серебросодержащие пасты Diemat на основе термопластов ($k=20$ Вт/м²К) и серебросодержащий стеклянный припой Diemat DM3030 ($k=65$ Вт/м²К). График рассчитан для кристалла со стороной 10мм ($A=100$ мм²) при температуре кристалла 75°С, присоединенного к подложке с температурой 25°С ($dT=50$ °С).

Как видно из рис. 2, **материалы с низким коэффициентом k и тонким клеевым швом могут обеспечивать тепловой перенос на таком же уровне, как и материалы с высокой теплопроводностью и толстым клеевым швом.** Например, серебросодержащий клей Diemat DM4130H($k=20$ Вт/м²К) с толщиной клеевого шва 20 мкм, обеспечивает такой же теплоперенос, как серебросодержащий стеклянный припой Diemat DM3030($k= 65$ Вт/м²К) с толщиной соединительного слоя 70 мкм.



Рис. 1 Передача тепла от кристалла к подложке

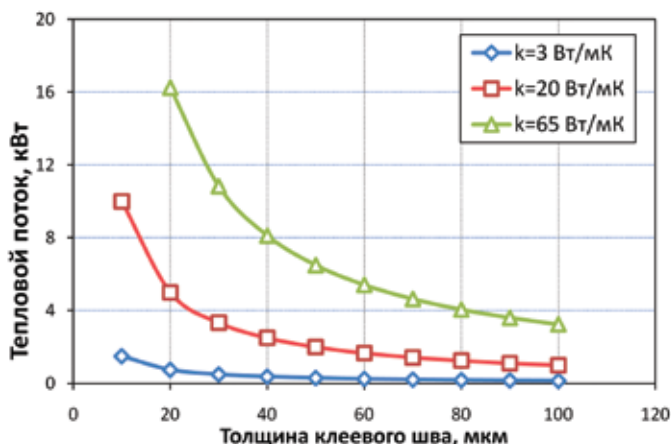


Рис. 2 Зависимость теплового потока от толщины клеевого шва для разных значений теплопроводности

При выборе адгезива для соединения кристалла следует обратить внимание на то, что термопласты, как правило, имеют малый модуль упругости ($<1500\text{МПа}$). Это позволяет соединять компоненты с различными КТР, используя очень тонкий клеевой шов. Напряжение сдвига в таком случае мало. Реактопласты и стеклянные припои имеют гораздо более высокий модуль упругости (3500МПа), поэтому минимальная толщина шва и размеры соединяемых компонентов для них могут быть ограничены из-за возможности возникновения больших термомеханических напряжений. Тепловой перенос может быть одинаков для систем на основе термопластов и стеклянных припоев, несмотря на большую теплопроводность последних.

НАДЁЖНОСТЬ

Как упоминалось ранее, полимерные клеи более эластичны по сравнению с припоями. Это позволяет создавать надёжные соединения между материалами с различными КТР (например, при установке кремниевого кристалла на печатную плату (Chip-on-board) или непосредственно на радиатор охлаждения). Помимо этого, на надёжность готового устройства положительно влияют низкие температуры монтажа и отсутствие флюсов.

ГЕРМЕТИЗАЦИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МИКРОСХЕМ

Герметизация полупроводникового кристалла – создание герметичной, механически прочной оболочки для защиты кристалла от воздействия окружающей среды. Герметизация может быть осуществлена с помощью корпуса или в бескорпусном исполнении. Вакуум-плотную герметизацию обеспечивают металлические, стеклянные и керамические корпуса, детали которых (основание и крышку) соединяют с помощью сварки или пайки. Металлические припои в большинстве случаев не смачивают стекло и керамику, поэтому поверхности соединяемых деталей металлизуют.

Для герметизации полупроводниковых микросхем современная промышленность предлагает материалы на основе полимерных клеев и стеклянных припоев. Для сборки и герметизации нет необходимости металлизировать поверхности и создавать специальные условия как для пайки обычными припоями. Это существенно сокращает стоимость технологического процесса.

Данные припои оплавляются при низких

температурах ($300^{\circ}\text{C}-400^{\circ}\text{C}$) и могут поставляться в виде паст или готовых прокладок (преформ) (рис. 3). Паста наносится методом трафаретной печати или дозированием, что позволяет автоматизировать процесс герметизации (в отличие от металлических припоев). Преформа заданной конфигурации и размеров помещается между основанием микросхемы и крышкой. После нанесения пасты или после сборки с использованием преформ, стеклянный припой оплавляется. При этом создаётся прочное, надёжное и герметичное соединение.

ГЕРМЕТИЗАЦИЯ ОПТОВОЛОКОННЫХ ПРИБОРОВ

Герметизация оптоволоконных изделий традиционно осуществляется с использованием золото-оловянных припоев. Для фиксации оптоволокна оно металлизуется и запаивается в металлическую трубку, затем эта трубка устанавливается на металлическую платформу. При использовании данного метода критичными являются адгезия металлизированных слоёв к оптоволокну и механические напряжения, возникающие в процессе герметизации. От этого зависят качество и надёжность соединения.

Преформы для оптоволоконной техники представляют собой стеклянный порошок, запрессованный в форме шайб с добавлением органических растворителей (рис. 4).

Преформа устанавливается на соединяемые или закрепляемые детали и оплавляется любым из доступных методов нагрева (индукционный, резистивный, инфракрасный, лазерный и т.д.). Стеклянный припой оказывает малое давление на оптическое волокно и позволяет создавать высоконадёжные оптоэлектронные сборки.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КЛЕЁВ И СТЕКЛЯННЫХ ПРИПОЕВ

Принимая решение о применении полимерных клеев и стеклянных припоев, необходимо учитывать некоторые технологические особенности этих материалов и соединяемых компонентов, а именно:

- длина кристалла определяет величину нагрузки на клеевой шов после охлаждения системы. Во время пайки кристалл и подложка расширяются в соответствии со своими КТР. Для кристаллов большого размера необходимо использовать мягкие (с низким моду-

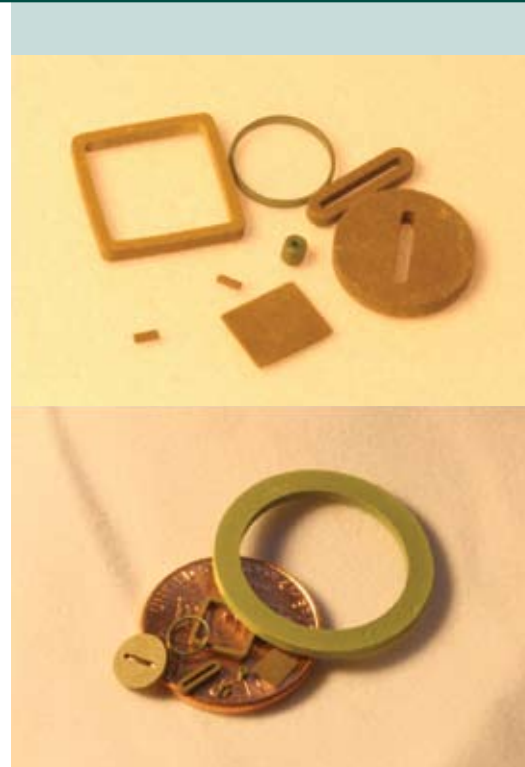


Рис. 3 Стеклянные преформы Diemat для герметизации интегральных микросхем и оптоволоконных приборов

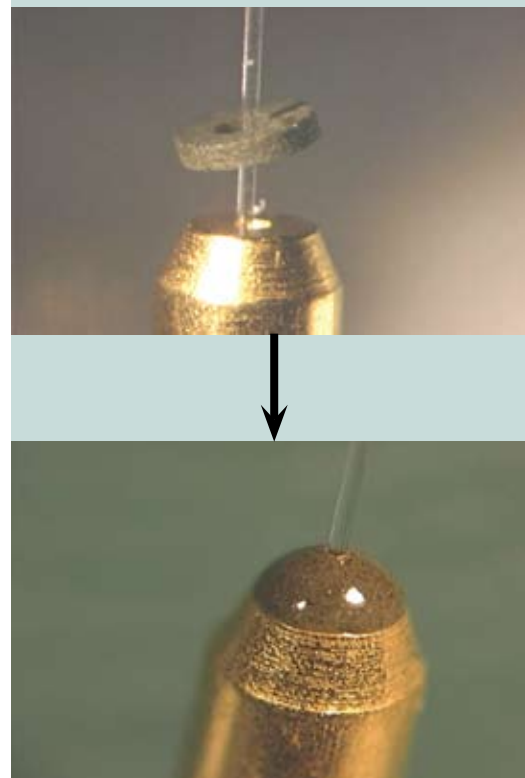


Рис. 4 Герметизация оптоволокна с помощью стеклянных преформ

лем упругости) адгезивы или согласованные по КТР материалы кристалла/подложки. Если различие КТР слишком велико для данного размера кристалла, соединение может быть нарушено, что приведет к отслаиванию кристалла от подложки. Для каждого типа пасты производитель, как правило, даёт рекомендации по максимальным размерам кристалла для определённых значений разницы КТР кристалла/подложки;

- **ширина кристалла** определяет расстояние, которое проходит растворитель, содержащийся в адгезиве, до того как покинет клеевой шов. Поэтому размер кристалла должен учитываться и для правильного удаления растворителя;
- **металлизация кристалла и подложки**, как уже говорилось ранее, не обязательна. Обычно полимерные клеи и стеклянные припои имеют хорошую адгезию ко многим неметаллизированным поверхностям. Поверхности должны быть очищены от органических загрязнений;
- **толщина клеевого шва**. Для всех адгезивов, содержащих тепло-, электропроводящий наполнитель, существует ограничение по минимальной толщине клеевого шва dx (рис. 1). Слишком тонкий шов не будет иметь достаточно связующего вещества, чтобы покрыть весь наполнитель и сформировать связи с соединяемыми поверхностями. Кроме того, для материалов с высоким модулем упругости (например, стеклянных припоев) толщина шва может ограничиваться различными КТР для соединяемых материалов. Обычно для клеев на основе термопластов/реактопластов рекомендуемая минимальная толщина шва составляет 20-50 мкм, для стеклянных припоев 50-80 мкм;
- **время жизни адгезива до установки компонента**. Для клеев на основе термопластов/реактопластов необходимо учитывать время жизни до установки компонента. После нанесения адгезива растворитель из пасты начинает постепенно испаряться. Если клей высыхает, то не происходит смачивания и приклеивания соединяемых материалов. Для кристаллов малого размера, где отношение площади поверхности к объёму нанесённого клея велико, растворитель испаряется быстро, и время после нанесения

до установки кристалла необходимо минимизировать. Как правило, время жизни до установки кристалла для различных клеев варьируется от десятков минут до нескольких часов;

- **время жизни до термического отверждения клея** отсчитывается от момента установки кристалла до помещения всей системы в печь. При длительной задержке может происходить расслоение и растекание клея, что негативным образом сказывается на адгезии и теплопроводности материала. Чем меньше размер компонента и количество нанесённого клея, тем быстрее он может высохнуть. Время жизни до термического отверждения клея может варьироваться от десятков минут до нескольких часов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги, еще раз подчеркнем, что использование клеев и стеклянных припоев позволяет:

- получать механически прочные соединения при более низких температурах (от 150°C);
- соединять различные типы материалов (металлы, керамику, оксиды, полупроводники);
- упрощать и делать более гибкими технологические процессы, упрощать конструкцию;
- получать композиции с необходимыми электроизоляционными, оптическими, токопроводящими и теплопроводящими свойствами.

Также стоит отметить, что использование клеев даёт возможность автоматизировать процесс сборки и осуществлять ремонт при низких температурах. Последнее особенно важно в случаях, когда кристалл тестируется в составе устройства или монтируется непосредственно на печатную плату (технология chip-on-board) или на гибкий носитель (chip-on-film).

Всё это даёт дополнительные возможности для настройки технологического процесса с целью увеличения надёжности, снижения стоимости конечного изделия и повышения эффективности Вашего производства.

Более подробную информацию Вы можете получить, обратившись в отдел технологических материалов Предприятия Остек, по телефону (495) 788-44-44 или по электронной почте materials@ostec-group.ru.