

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, приплавления 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 скомпенсировать 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/м<sup>2</sup>К],  $A$  – площадь соединения [м<sup>2</sup>],  $dx$  – 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/м<sup>2</sup>К), серебросодержащие пасты Diemat на основе термопластов ( $k=20$ Вт/м<sup>2</sup>К) и серебросодержащий стеклянный припой Diemat DM3030 ( $k=65$ Вт/м<sup>2</sup>К). График рассчитан для кристалла со стороной 10мм ( $A=100$ мм<sup>2</sup>) 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/м<sup>2</sup>К) с толщиной клеевого шва 20 мкм, обеспечивает такой же теплоперенос, как серебросодержащий стеклянный припой Diemat DM3030( $k= 65$ Вт/м<sup>2</sup>К) с толщиной соединительного слоя 70 мкм.



Рис. 1 Передача тепла от кристалла к подложке

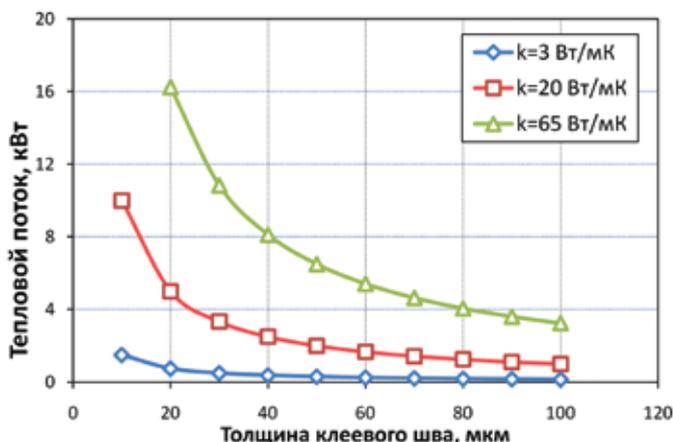


Рис. 2 Зависимость теплового потока от толщины клеевого шва для разных значений теплопроводности

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 ( $3500\text{МПа}$ ), 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.

### НАДЕЖНОСТЬ

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 оптоволоконна оно металлизуется и запаивается в металлическую трубку, затем эта трубка устанавливается на металлическую платформу. При использовании данного метода критичными являются адгезия металлизированных слоёв к оптоволоконку 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

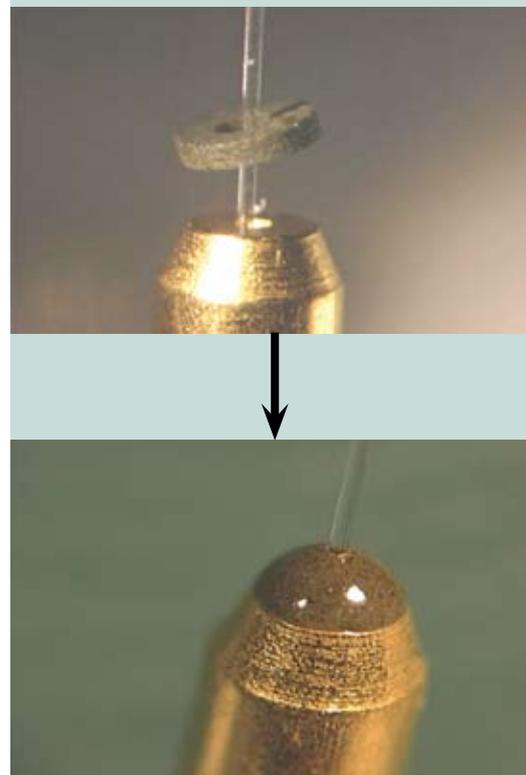


Рис. 4 Герметизация оптоволоконна с помощью стеклянных преформ

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](mailto:materials@ostec-group.ru).