

Автоматическая сборка лазерных диодов высокой мощности

С развитием лазерных технологий растет диапазон их применений. Лазеры используются в метрологии, спектроскопии, оптических телекоммуникациях, оптической обработке и хранении данных, оптоволоконных коммуникациях и медицинском оборудовании. Лазерные диоды можно использовать также для накачки других лазеров с целью увеличения их мощности.

В связи со столь широкой сферой применения производство лазерных диодов становится массовым и требует автоматизации. Установки монтажа кристаллов должны производить большое количество лазеров высокой мощности, а это значит, что повышаются требования к производительности таких установок с сохранением точности и повторяемости результатов для различных типа кристаллов.

В этой статье описывается полностью автоматизированный процесс сборки лазерных диодов высокой мощности, включая типовые параметры процесса, требования к усилию прижима и этапы процесса. Особое внимание в этой работе уделяется методам преодоления технологических трудностей, возникающих при монтаже лазерных диодов, таких как зависимость качества эвтектической пайки Au80Sn20 от параметров процесса, материала подложки и кристаллов, важность обеспечения заданного выступа лазерного диода и др.

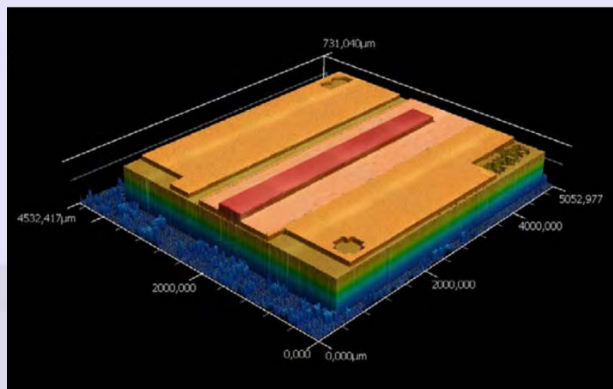


Рис. 1. Одноэмиттерный лазерный диод на подложке

Технологические трудности и методы их преодоления

Качество типового процесса пайки Au80Sn20 зависит от различных факторов: от параметров процесса пайки, а также от материала и типа компонентов.

В любом случае, важно, чтобы паяное соединение имело высокую надежность. Для достижения этого компания Finetech разработала несколько решений, которые позволяют преодолеть технологические трудности процесса эвтектической пайки лазерных диодов такие, как: обеспечение заданного выступа, переворот кристаллов, снижение количества пустот, улучшение смачиваемости поверхностей и компенсация температурного смещения.

Также компанией Finetech были разработаны решения для оптимизации длительности цикла с целью повышения производительности процесса: быстронагреваемые рабочие столики, система распознавания образов, специализированные рабочие инструменты, подача рабочего газа для снижения времени пайки и улучшения качества паяного соединения.

Флип-чип технология и распознавание образов

В процессе автоматического процесса монтажа лазерных диодов высокой мощности компоненты должны быть размещены на носителе в определенном положении. В большинстве случаев это подразумевает под собой размещение компонента в центре области пайки с минимальным углом поворота. Для этого от системы монтажа требуется распознавание носителя по верхней стороне сабмаунта. Для определения точного положения сабмаунта используются метки. В случае неправильной ориентации сабмаунта система выберет другой.

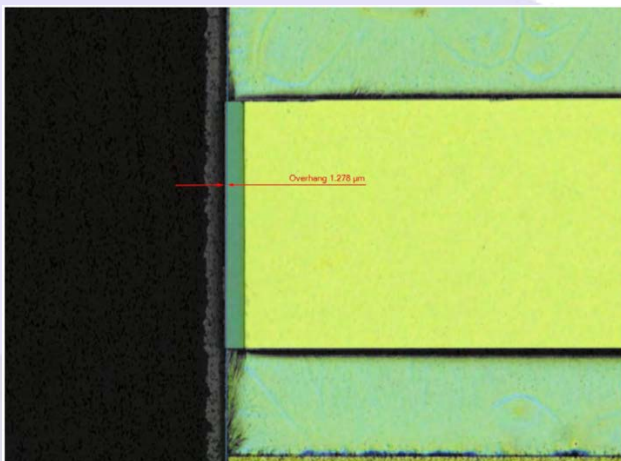


Рис. 2. Выступ одноэмиттерного лазерного диода: 1,278 мкм

Правильное распознавание – это критически важный этап для выравнивания торцевого края лазерного диода относительно края подложки-носителя. Однако, лазерные диоды часто имеют сколы, и если р-сторона обычно выглядит как идеальный прямоугольник, то противоположная сторона обычно имеет небольшое искривление, возникшее в процессе разделения групповой заготовки на кристаллы. И поэтому только вид р-стороны лазерного диода дает возможность визуализировать край кристалла и прецизионно выровнять его. Вследствие чего в зависимости от применений (р-сторона вверх или р-сторона вниз) необходимо использовать метод выравнивания по лицевой или по обратной стороне.

Критичным моментом при выравнивании края сабмаунта относительно торца лазерного диода является качество края сабмаунта. Торец лазерного диода как правило идеально отполирован, тогда как край сабмаунта имеет небольшие неровности. Использование оптики с небольшим фокусным расстоянием в этом случае предпочтительнее для позиционирования, поскольку позволяет различать различные контрастные линии (край керамики, край металла, край слоя припоя).

Для оптимального баланса между максимальной выходной мощностью с одной стороны и чистотой, то есть отсутствием припоя на торцевой части диода с другой стороны, лазерный диод необходимо позиционировать с определенным выступом, величина которого варьируется в диапазоне от 1 до 5 мкм от края теплоотвода.

При этом точность позиционирования зависит от различных факторов. Помимо качества компонентов на точность также влияют качество камеры для визуального совмещения, освещение и возможности автоматического распознавания.

Система визуального совмещения Finetech базируется на принципе наложения изображений, позволяя отображать обе соединяемые поверхности одновременно. Для получения изображений высокого качества в монтажных станциях Finetech используется камеры и оптика высокого разрешения. Регулируемое поле зрения позволяет визуализировать все детали, не теряя при этом обзор всей картины.

Системы Finetech оснащаются различными осветителями, в том числе боковой и коаксиальной подсветкой подходящей длины волны (RGB), при этом красная подсветка дает наилучшую визуализацию благодаря оптимальной контрастности с металлическими поверхностями. Зеркально-отполированный нагревательный столик позволяет использовать эффекты направленной подсветки. Также для минимизирования эффектов размытия изображения над нагреваемыми поверхностями используется специализированная технология.

Программное обеспечение Finetech позволяет распознавать различные параметры образцов в зависимости от используемого материала и требуемой точности. Распознавание основано на выявлении меток совмещения и краев или линий. Финальное выравнивание основано только на распознавании края. Использование различных цифровых фильтров позволяет повысить контрастность для снижения искажений.

В комбинации с уникальным принципом оборудования FINEPLACER® все вышеперечисленное позволяет получить высокую точность монтажа лазерных диодов. Использование системы распознавания образов и оптимальной настройки освещенности позволяет измерить постмонтажную точность практически во всех случаях, за исключением специфических дизайнов лазерных диодов и сабмаунтов. Если наблюдаются систематические ошибки, то программное обеспечение легко может их скорректировать.

Выступ лазерного диода

Обеспечение заданного выступа при монтаже лазерного диода – это одно из наиболее критичных требований сборки, поскольку точность и величина выступа влияют на производительность диодной сборки.

Если выступ слишком мал или отсутствует, то припой может напоздать на торец лазерного диода, тем самым блокируя его и снижая общую эффективность. Если выступ слишком большой, то в этом случае излучающий торец будет свободен от припоя, однако, не будет достаточного контакта для эффективного охлаждения. А это в свою очередь может влиять на качество лазерного луча и негативно сказываться на сроке службы и надежности лазера.

Кроме того, требования к выступу становятся все более жесткими в связи с тенденцией миниатюризации изделий. И если раньше производители требовали обеспечение выступа лазерного диода в диапазоне от 5 до 10 мкм, то теперь требования возросли, и производственный стандарт требований для выступа лазерного диода находится в диапазоне от 0 до 5 мкм в сочетании с небольшим контролируемым усилием прижима для снижения вероятности попадания припоя на излучающий торец. Монтажные станции FINEPLACER® немецкой компании Finetech разработаны с учетом этих требований.

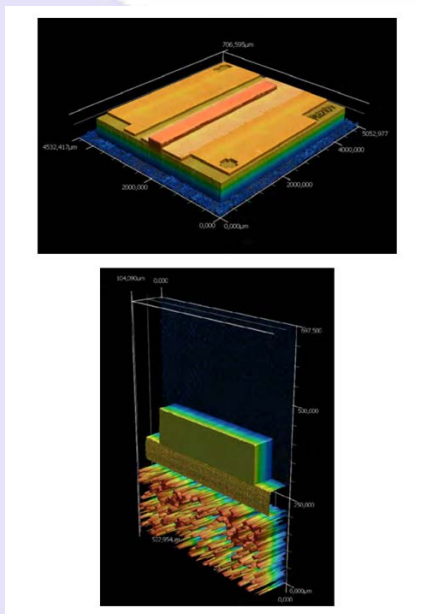


Рис. 3. Выступ лазерного диода после пайки

Смачиваемость и пустоты

Для эвтектической пайки как правило используется припой золото-олово (Au/Sn). И хотя он обладает хорошей стойкостью к окислению, все же окисление и загрязнение поверхности припоя имеет место быть при пайке лазерных диодов, что приводит к некоторым проблемам со смачиваемостью и наличием пустот.

Смачивание – это процесс, при котором металлы в припое становятся жидкими из-за нагрева, что позволяет создавать хороший контакт к другой металлической поверхности. Пустоты – это небольшие полости, возникающие между компонентами припоя в случае не очень хорошего контакта или недостаточного усилия прижима, температуры нагрева или вследствие окисления и загрязнения.

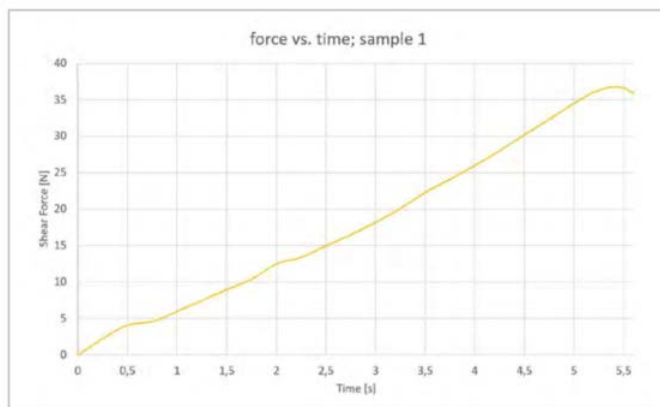


Рис. 4. Усилие сдвига лазерного диода после пайки: 37 Н

Когда поверхность припоя или обратной стороны компонента загрязнена вследствие механических загрязнений и окисления, получить прочное, однородное соединение без пустот становится очень трудно, поскольку загрязнители нарушают поверхностное натяжение припоя, влияют на смачиваемость и приводят к появлению пустот в паяном соединении.

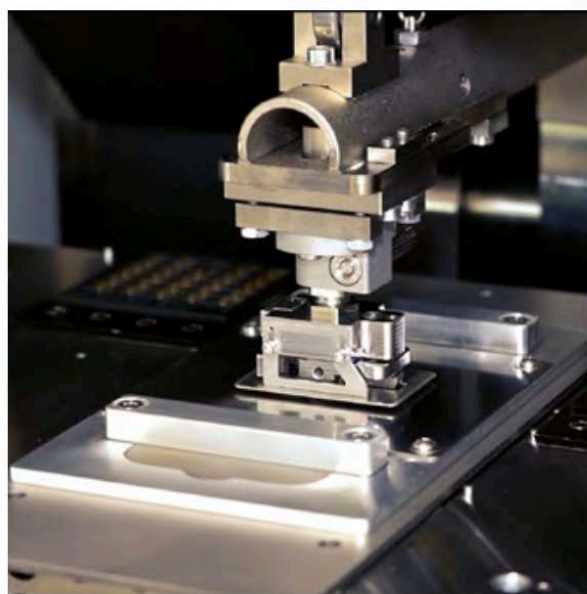
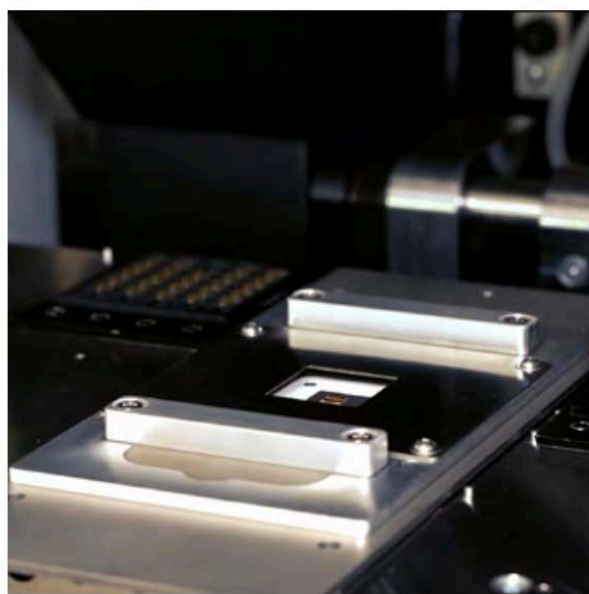


Рис. 5. Нагревательный стол с камерой для подачи рабочего газа: открытое состояние (слева), закрытое состояние (справа)

Чтобы решить проблемы смачиваемости и образования пустот компания Finetech разработана модуль для подачи рабочего газа в область пайки. Он состоит из специализированной рабочей камеры, которая устанавливается на нагреваемый столик, при этом остается отверстие под рабочий инструмент, который одновременно является крышкой для герметизации камеры. После опускания рабочего инструмента камера плотно закрывается и включается подача рабочего газа (азота, форминг-газа или смеси паров муравьиной кислоты с азотом), который вытесняет воздух и кислород.

Температура и рабочий цикл

При эвтектической пайке очень важно выдерживать необходимый температурный режим, чтобы обеспечить быстрый переход припоя из твердого в жидкое состояние и обратно.

Типовые требования эвтектической пайки припоем Au80Sn20 – это нагрев как минимум до 280 °С. Однако, для того чтобы ускорить передачу тепла от нагревательного столика в область пайки и, соответственно, ускорить процесс пайки, необходимо проводить процесс при более высоких температурах. Длительное использование высоких температур может вызывать окисление металлов, что в свою очередь может негативно сказываться на компонентах и рабочих инструментах.

Учитывая это, компания Finetech разработала высокоскоростной нагревательный столик. Небольшая рабочая поверхность 12x12 мм столика позволяет достигать высоких скоростей нагрева – до 100 К/с и таких же скоростей охлаждения. Нагревательный столик имеет встроенное воздушное охлаждение, но также может использоваться с дополнительным водяным охлаждением для снижения времени цикла и стабилизации теплового рассеяния. Кроме того, благодаря небольшим размерам нагреваемого столика, снижается температурное расширение и температурное смещение, также снижаются температурные напряжения, что повышает срок службы нагреваемого столика.

Равномерная толщина паяного соединения

Параллельность между двумя плоскостями – это критичное требование при монтаже кристаллов на подложку, оно включает в себя выравнивание плоскости кристалла относительно плоскости подложки до и после пайки. Нагревательные столики и инструменты, производимые компанией Finetech, имеют возможность регулирования для обеспечения необходимой параллельности.

Для наилучшего рассеивания тепла при пайке лазерных диодов важно обеспечивать равномерность паяного соединения вдоль всей поверхности кристалла. Если диод был смонтирован в наклонном положении, то припой будет толще с одной из сторон, и в этом месте рассеяние тепла будет хуже, а значит, рабочая температура будет выше. Для решения этой проблемы рекомендуется использовать специализированные инструменты с функцией самовыравнивания. В таких инструментах наконечник сделан таким образом, что он может изменять свой наклон вдоль длинной оси лазерного диода для выравнивания теплоотвода и лазерного диода друг относительно друга. Параллельность вдоль короткой оси лазерного диода регулируется вручную.

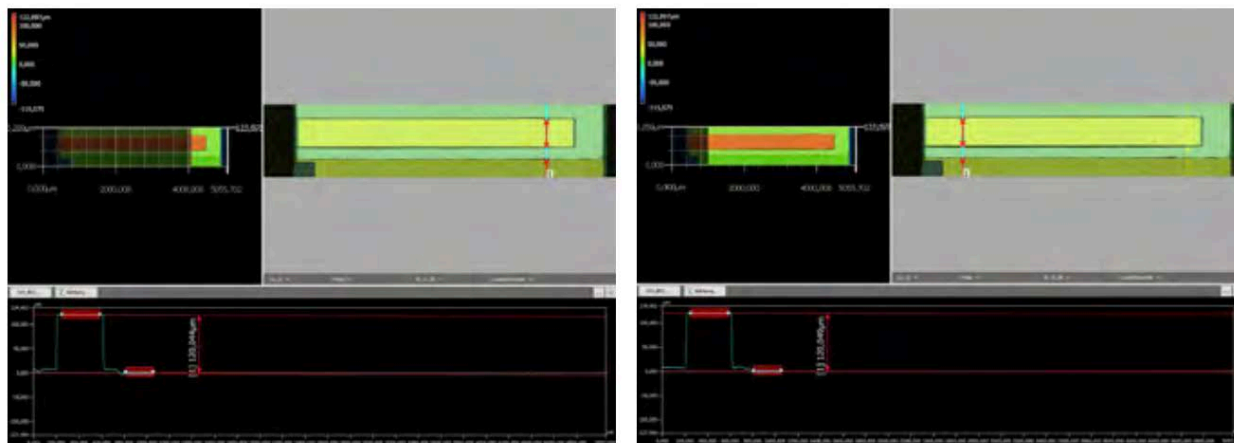


Рис. 6. Измерения параллельности смонтированного одноэмиттерного лазерного диода

Толщина паяного соединения зависит от приложенного усилия прижима. Согласно философии оборудования FINEPLACER® точность монтажа кристалла включает в себя не только точность позиционирования и размещения этого кристалла, но также точность всех параметров процесса. Это означает, к примеру, что даже небольшие усилия прижима можно контролировать, регулировать и поддерживать в течение всего процесса пайки, даже несмотря на температурное расширение, вызванное нагревом или охлаждением. Это позволяет обеспечивать очень тонкую линию паяного соединения и вместе с тем позволяет контролировать утечку припоя и избегать образования шариков припоя.

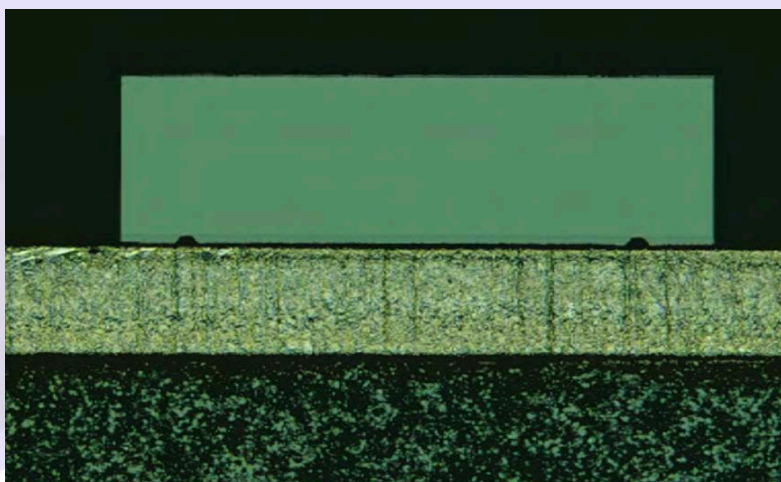


Рис. 7. Толщина линии паяного соединения смонтированного одноэмиттерного лазерного диода

Пружинная конструкция инструмента

Компания Finetech разработала специализированные самовыравнивающиеся инструменты для монтажа лазерных диодов на основе пружинной конструкции. Использование таких инструментов позволяет снизить время цикла, поскольку нет необходимости контролировать усилие касания за счет медленного опускания инструмента. При использовании самовыравнивающихся инструментов опускание кристалла можно осуществлять без опаски с учетом толщины компонента с заданным усилием прижима, и затем прецизионно регулировать усилие прижима прежде, чем начать процесс пайки.

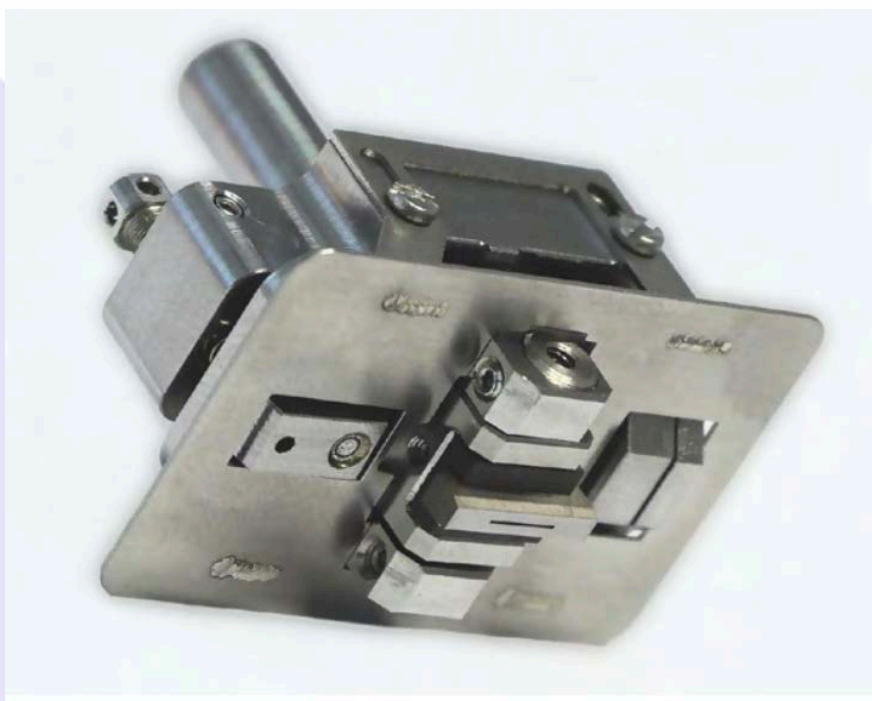


Рис. 8. Инструмент для пайки лазерного диода пружинной конструкции

Систематическая ошибка (автоматическая калибровка камеры)

С течением времени может наблюдаться смещение кристалла относительно подложки, поскольку светодетектор и оптика оборудования зависят от флуктуаций окружающей температуры и от других внешних факторов, например таких, как калибровка инструмента.

Для компенсации этого смещения на оборудовании FINEPLACER® проводится калибровка оптики с помощью стеклянных эталонных образцов, благодаря которым можно измерить сдвиг и скорректировать ошибку.

В зависимости от используемых рабочих инструментов эта корректировка может быть проведена в любое время до, после и в течение процесса.

Типовой процесс пайки

В этом разделе описаны типовые параметры процесса пайки лазерного диода высокой мощности на оборудовании FINEPLACER®, включая последовательность процесса и требования к оборудованию.

Параметры процесса

Усилие прижима:

0,4 – 3,0 Н+

Заданный выступ:

1 – 10 мкм

Длительность температурного профиля:

>20 с (типовой процесс = 18 с)

Температура процесса:

180°C -> 300°C -> 180°C

Распознавание образов:

Гибкая система распознавания образов

Инструмент/вакуум:

Инструмент и вакуумная структура на инструменте и на рабочем столике должны поддерживать различные типы подложек и лазерных диодов

Пакетный процесс:

Множественные последовательности захвата и опускания кристаллов

Высокая производительность:

Автоматизация процесса, использование инструмента пружинной конструкции, нагревательного столика с высокой скоростью нагрева

Рабочая среда:

Рабочий газ для улучшения смачиваемости и снижения окисления

Требования к пайке

Отсутствие вытекания припоя (обеспечение заданного выступа и небольшое контролируемое усилие прижима).

Точность:

X +/- 2 мкм

Y +/- 10 мкм

Theta +/- 0,1 °

Усилие на сдвиг:

10 – 20 Н+

Дополнительные материалы:

Лотки-держатели Gel-Pak/waffle pak для компонентов различных размеров и типов. Используя машинное зрение, монтажная станция распознает пустые и заполненные ячейки лотков держателей, и при обнаружении заполненной ячейки производит захват компонента.

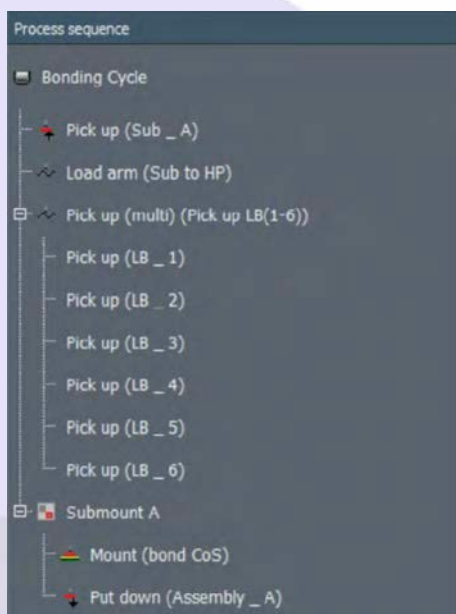


Рис. 9. Рабочий процесс пайки одноэмиттерных диодов при использовании шести лотков-держателей компонентов

Загрузка подложек на нагревательный столик

В первую очередь установка должна выбрать подложку. Для этого используется машинное зрение. Подложка захватывается с помощью пружинного инструмента, что позволяет опускать ее на нагревательный столик со стандартной скоростью 3 мм/с. После размещения подложки на нагревательном столике она фиксируется с помощью вакуума. Далее система также использует машинное зрение для запоминания рабочей области и следующих этапов цикла.

Захват лазерного диода

Машинное зрение позволяет выровнять рабочий инструмент относительно выбранного лазерного диода, после чего диод захватывается инструментом. При этом специализированная вакуумная структура рабочего инструмента позволяет работать с лазерными диодами различной длины и ширины, несмотря на блестящую полированную поверхность диода. Затем производится выравнивание лазерного диода относительно подложки с использованием запатентованной компанией Finetech технологии с применением светоделителя и прецизионной оптики.

Позиционирование диода относительно подложки

Благодаря машинному зрению проводится позиционирование подложки относительно лазерного диода. Лазерный диод выравнивается относительно подложки с заданным выступом по оси X, также проводится позиционирование лазерного диода по оси Y относительно преформы припоя и позиционирование по углу θ .

Система распознавания образов – это гибкий инструмент. Позиционирование лазерного диода и лазерного излучающего торца может производиться различными способами, начиная от поиска края компонента и заданных реперных меток и заканчивая реальным изображением компонента.

Процесс сборки

Как только один из краев обнаружен, компонент спозиционирован и заданная точность позиционирования достигнута, начинается процесс монтажа.

Касание:

Инструмент с диодом опускается до минимально возможного зазора, при котором еще нет касания между диодом и подложкой. Затем происходит подъем подложки по оси Z со скоростью 3 мм/с до заранее определенного положения. Пружинный механизм инструмента позволяет выравнивать подложку относительно лазерного диода. После этого активизируется модуль прижима и воздействует на компонент с заданным усилием.

Профиль пайки:

Теперь, когда компонент находится в контакте с подложкой, начинается контролируемый процесс пайки.

В первую очередь включается нагрев рабочего столика со скоростью 100 К/с до температуры 300°C. При этом выдерживается заданное усилие прижима в диапазоне от 0,2 до 3 Н+ в зависимости от размеров компонента и пружинного инструмента. Область пайки герметизируется и продувается рабочим газом с заданным расходом.

При достижении пиковой температуры параметры процесса некоторое время выдерживаются для того, чтобы сформировалось прочное соединение до того, как охладится нагревательный столик и компоненты.

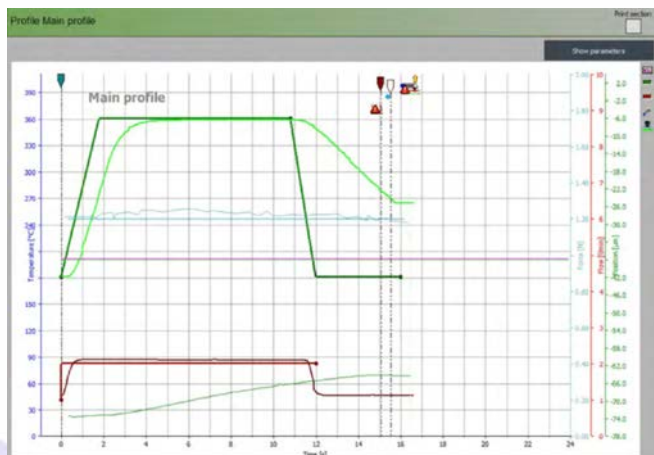


Рис. 10. Профиль пайки отображает заданные и измеренные параметры, здесь зеленый график – нагревательный стол, красный – подача рабочего газа, голубой – усилие прижима

Выгрузка сборок

После отключения вакуума нагревательного столика смонтированный лазерный диод вместе с подложкой может быть снят со столика. Монтажная станция перемещает сборку в пустую ячейку лотка-держателя прежде, чем начать новый цикл. Использование одного инструмента для загрузки/пайки и выгрузки образцов значительно снижает время цикла.

Рекомендуемые системы

Компания Finetech разрабатывает монтажные станции, которые отвечают современным требованиям микромонтажа – повышенной точности и небольших усилий прижима - при автоматической сборке лазерных диодов высокой мощности. Рекомендуемое оборудование – монтажные станции FINEPLACER® femto blu и FINEPLACER® femto 2.

Для процессов, требующих субмикронной точности размещения кристаллов, идеальным решением будет монтажная станция FINEPLACER® femto 2 с точностью монтажа 0,3 мкм/3 сигма с контролируемым усилием прижима от 0,05 Н.



Рис. 11. Монтажная станция FINEPLACER® femto blu – эффективное решение для производства фотоники

Монтажная станция FINEPLACER® femto blu обеспечивает высокую точность монтажа кристаллов - 2 мкм/3 сигма в сочетании с малым временем цикла, подходит для серийного производства, и вместе с тем является гибким инструментом для прототипирования и разработок.

Монтажные станции FINEPLACER® в конфигурации с нагревательным столиком, модулем подачи рабочего газа, инструментами пружинной конструкции с функцией обеспечения параллельности, с камерой автоматической калибровки и лотками-держателями для компонентов идеально подходят для автоматической сборки лазерных диодов и матриц лазерных диодов, позволяя монтировать различные лазерные диоды на сабмаунты.

Литература:

1. Travis Scott, Automated High Power Laser Diodes Assembly, Finetech, 2021