

Применение ручных и полуавтоматических монтажных систем в НИР и НИОКР при макетировании радиофотонных и СВЧ-устройств на примере ТГц квантово-каскадных лазеров

Рассмотрены основные проблемы, с которыми сталкиваются отечественные предприятия при сборке макетов и малых партий приборов в рамках НИОКР. Описаны различные технологические процессы монтажа и возможность быстрого перехода между ними на одной и той же установке, а также особенности сборки СВЧ- и радиофотонных приборов. Кроме того, предложен обзор установок Finetec GmbH и примеры их применения в Российской Федерации. Проанализированы проблемы масштабирования технологии в серийное производство.

Вячеслав Богословский

Большинство НИИ и конструкторских бюро не обладают полными технологическими цепочками изготовления действующих макетов приборов, что приводит к необходимости кооперации с производственными предприятиями, ориентированными на серийный выпуск изделий. Это влечет за собой следующие проблемы:

- высокая стоимость и длительность изготовления опытных образцов;
- невозможность быстрого внесения корректировок в конструкцию;
- зависимость от технологий производства изготовителя макета;
- отсутствие возможности анализа работы изделия на каждом этапе производства.

Решением таких проблем на этапе сборки может стать организация сборочной и испытательной лаборатории непосредственно в составе предприятия-разработчика. Это позволяет проводить оценку

работоспособности и получаемых характеристик приборов в значительно более короткие сроки, при необходимости вносить изменения в конструкцию или технологию производства и оценивать сложность изготовления конечного изделия.

На практике разработка радиофотонных и СВЧ-устройств требует наличия подобной лаборатории из-за специфики таких приборов, где существует прямая зависимость выходных характеристик и качества сборки [1], а также минимизируются физические манипуляции с прибором между разделением пластины на отдельные кристаллы и сборкой полностью функционирующего модуля. Многие такие приборы выделяют значительное количество тепла, часто весьма локализованно, и крайне зависимы от влияния материалов корпуса и его конструкции (рис. 1) [2]. Это требует применения не только современного сборочного оборудования, но и современных технологий с использованием перспективных материалов — соединения кристаллов с подложкой по технологии спекания, применения теплоотводов, в том числе из синтетического алмаза, и материалов с низкой диэлектрической проницаемостью для формирования защитных покрытий и т. д.

В качестве примера можно рассмотреть процесс сборки первого в Российской Федерации квантово-каскадного лазера, работающего в терагерцевом диапазоне, с применением ручного сборочного комплекса fineplacer lambda 2, позволившего решить три основные проблемы: выравнивание относительно подложки, точность позиционирования и пайка без смещения или смайл-эффекта [1]. Спектр излучения ТГц-лазера на основе гетероструктуры AlGaAs, собранного на ручной установке fineplacer lambda 2, представлен на рис. 2 [3].

Рассмотрим процесс сборки ККЛ с применением полуавтоматической установки fineplacer lambda 2 производства Finetech GmbH и полуавтоматической

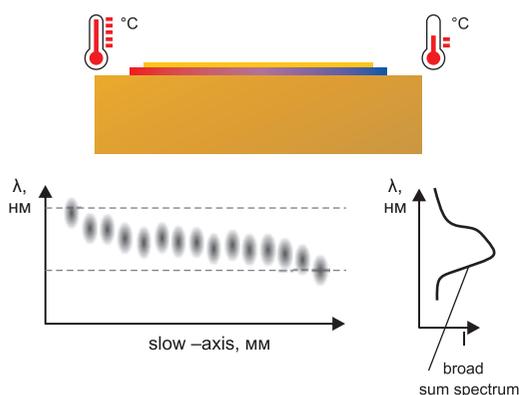


Рис. 1. Изменение длины волны при изменении температуры лазера



Рис. 2. Внешний вид установки fineplacer lambda 2

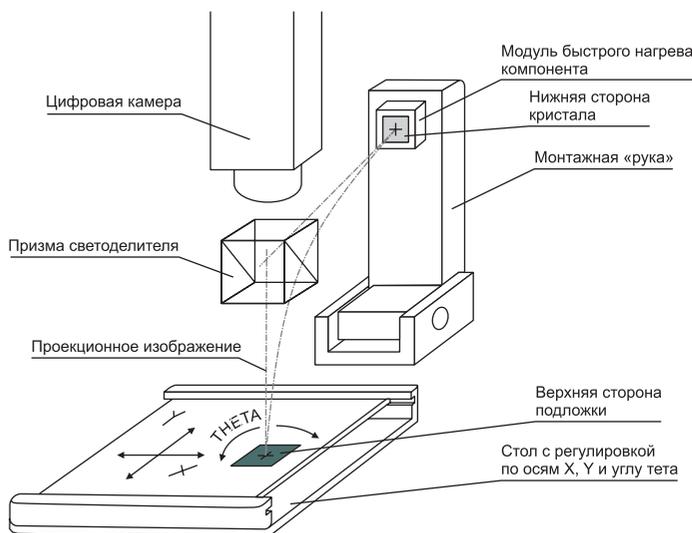


Рис. 3. Принципиальная схема работы установки fineplacer lambda 2

установки термовзвучковой сварки НВ16 производства компании TPT GmbH, а также проблемы, возникшие в процессе сборки, и методы их решения.

Размещение тела лазера на основании типа c-mount требует очень высокой точности позиционирования (>1 мкм относительно края основания), а также минимизации смещения кристалла в процессе установки и недопущения загрязнения активной излучающей зоны.

Следует иметь в виду, что хрупкость и геометрическая форма кристалла может привести к его повреждению или разрушению в процессе установки на подложку, если отклонение нижней плоскости кристалла от плоскости основания составит более $0,5^\circ$, учитывая невозможность расположить подложку абсолютно параллельно плоскости столика, это требует специализированных решений.

Данные сложности можно преодолеть, используя как ручное, так и полностью автоматизированное оборудование для монтажа кристаллов, но при проведении НИОКР, на этапе

подтверждения расчетных параметров, изготовления макета или опытного образца модуля предпочтительнее использовать оборудование с меньшим уровнем автоматизации и более гибким функционалом. Это позволит при необходимости вносить изменения в технологический процесс на каждом этапе работы для скорейшего достижения оптимального результата.

В данном случае все необходимые функции и процессы обеспечиваются полуавтоматической установкой fineplacer lambda 2, изначально разработанной для сборки лазерных, микроэлектромеханических систем, оптических и СВЧ-устройств, для которых необходима очень высокая точность монтажа, большое усилие прижима и возможность нагрева основания и устанавливаемого компонента (рис. 2, 3).

Для монтажа ККЛ был разработан специализированный инструмент для вакуумного захвата кристалла и установки его на основание. Благодаря композитному материалу VESPEL и самовыравнивающейся насадке инструмента удалось решить проблему плоскостности

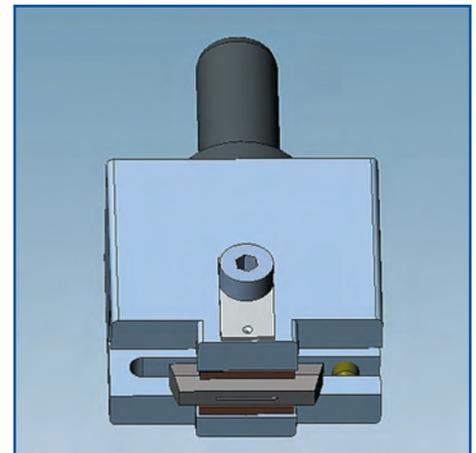


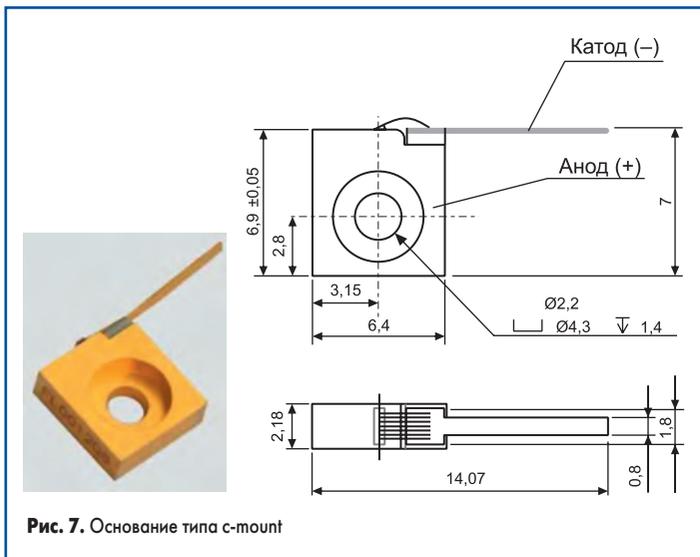
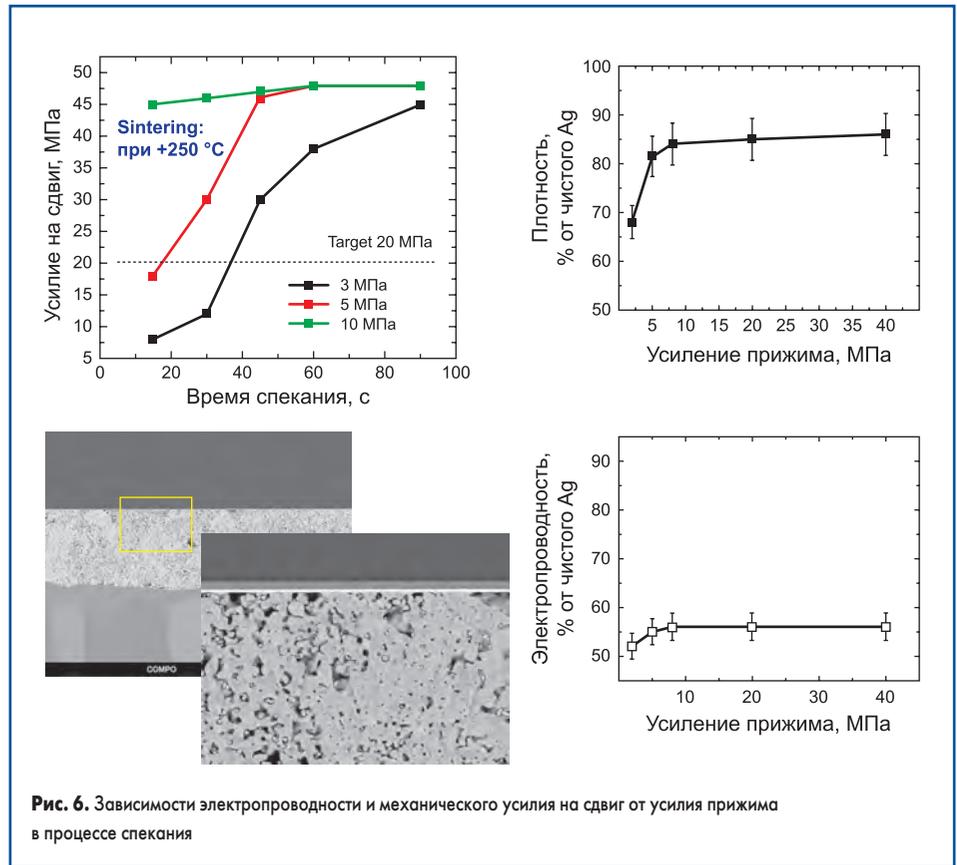
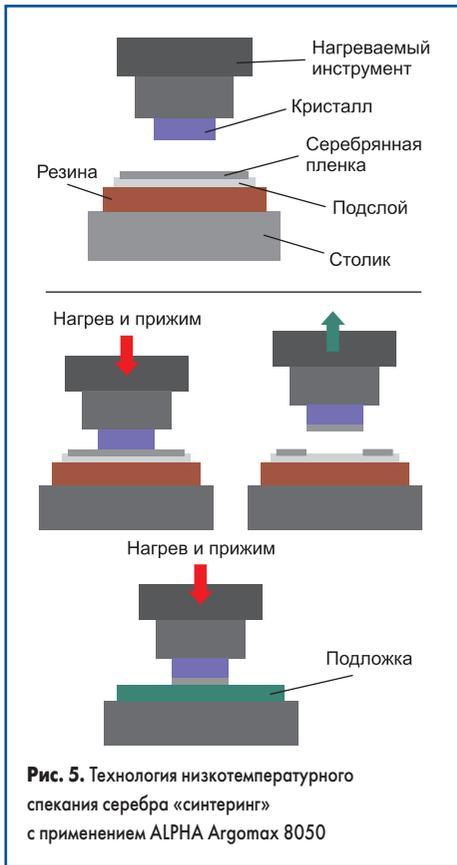
Рис. 4. Самовыравнивающаяся насадка из материала VESPEL и инструмент для монтажа лазерных кристаллов прямоугольной формы

оснований, равномерного распределения температуры и усилия прижима (рис. 4).

В основном монтаж лазерных линеек и кристаллов одномодовых лазеров выполняется с помощью пайки на различные припои или золотые преформы, но данные методы имеют ряд ограничений и сложностей. В частности, при работе лазера выделяется большое количество тепла и требуются сложные системы для его отвода, а в случае ККЛ ТГц-диапазона необходимы и системы активного криогенного охлаждения (рис. 8). Высокая температура работы и ее резкие изменения могут привести к расплавлению материала, соединяющего кристалл и основание. Для минимизации влияния высоких температур и обеспечения высокой постмонтажной точности размещения кристалла был применен материал ALPHA Argomax 8050, обеспечивающий монтаж кристалла без смещения относительно заданной позиции при достаточно низкой температуре спекания приблизительно $+300^\circ\text{C}$ и высокой температуре плавления, сопоставимой с температурой плавления серебра $+961,8^\circ\text{C}$ (рис. 5).

На первом этапе кристалл ламинируется материалом Argomax с нижней стороны при температуре $+150\dots+190^\circ\text{C}$ с усилием прижима ~ 1 Н/мм² площади кристалла, после этого кристалл позиционируется над основанием или подложкой в соответствии с точностью, обеспечиваемой применяемым оборудованием, и устанавливается при температуре $+250\dots+300^\circ\text{C}$ с усилием прижима ~ 2 Н/мм². Также существует зависимость между усилием прижима, электропроводностью и механическим усилием на сдвиг (рис. 6).

После монтажа кристалла на основание c-mount, которое служит анодом в электрической схеме лазерного устройства, необходимо соединить верхнюю часть кристалла лазера с катодом, расположенным на верхней стороне основания, обеспечив максимальную электропроводность. Существует несколько способов соединения с применением различных проводников: золотая или медная проволока, лента или жесткие проводники, припаяваемые или привариваемые к кристаллу и катоду устройства (рис. 7).

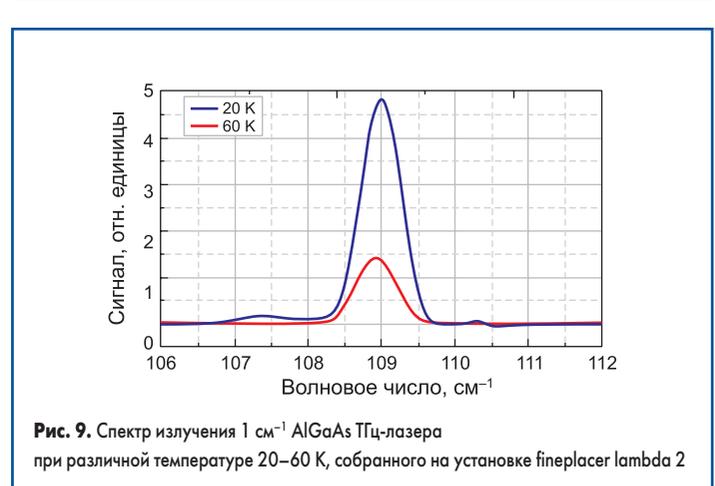


При сборке данного ККЛ применялась золотая проволока диаметром 25 мкм и термозвуковая сварка по методу «клин-клин», что позволило обеспечить необходимые параметры и надежность соединения, но в будущем предполагается использование золотой ленты 250×25 мкм для обеспечения большей электропроводности. Работы проводились на полуавтоматической установке ультразвуковой сварки NB16, позволяющей снизить трудоемкость процесса формирования одинаковых проволочных соединений при близком взаимном расположении.

В установке NB16 можно запрограммировать параметры проволочного соединения и последовательно формировать «петли», задавая только первую точку сварки, и быстро переключаться между режимами сварки: «клин-клин», «шарик-клин», сварка лентой, тест «на отрыв» (рис. 8).

Конечным результатом данной работы стало получение полностью функционирующего лазерного диода, способного стабильно работать в заданном спектре в условиях активного криогенного охлаждения (рис. 9, 10).

Применение данного оборудования при отработке процессов монтажа и сварки позволило выбрать оптимальные режимы, что в дальнейшем позволит быстро и без сложного повторного программиро-



вания другого оборудования масштабировать сборку таких лазерных диодов в серийном производстве с применением полностью автома-

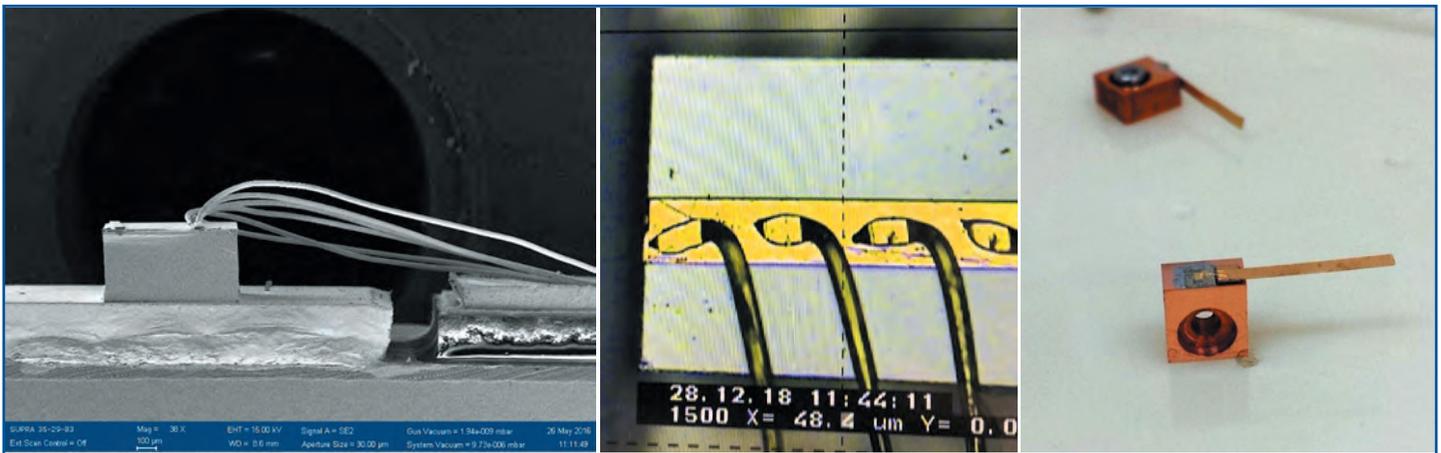


Рис. 10. Внешний вид лазерного диода с установленным на него AlGaAs-кристаллом



Рис. 11. Ручная и полностью автоматическая установки fineplacer

тических систем. Параметры работы установок fineplacer lambda 2 и HB16 могут быть экспортированы и перенесены на другое аналогичное оборудование, что значительно сокращает время организации производства по окончании НИОКР. В случае если на предприятии применяется лабораторное и производственное оборудование одного производителя, как, например, установки fineplacer lambda 2 и fineplacer femto 2, то параметры могут быть экспортированы напрямую по локальной сети предприятия (рис. 11).

Литература

1. Rogge M., Schacher R. Laser bar bonding. Finetech. www.finetech.de
2. Pospiech M., Dr., Liu S. Principles of AlGaAs laser diodes. University of Hannover, October 2019. www.laserdiodesource.com
3. Волков О. Ю., Дюжиков И. Н., Логунов М. В., Никитов С. А., Павловский В. В., Щаврук Н. В., Павлов А. Ю., Хабибуллин Р. А. Исследование спектров терагерцового излучения в многослойных GaAs/AlGaAs-гетероструктурах // Радиотехника и электроника. 2018. Т. 63. № 9.