

# Ультразвуковая и вибрационная пайка кристаллов интегральных схем

Рассмотрены процессы ультразвуковой и вибрационной пайки кристаллов интегральных схем.

Игорь Петухов  
Владимир Ланин

## Введение

Монтаж кристаллов интегральных схем в корпус или на подложки должен обеспечить высокую прочность соединений при термоциклировании и механических нагрузках, низкое электрическое и тепловое сопротивление, минимальное механическое воздействие на кристалл и отсутствие загрязнений.

В настоящее время для монтажа кристаллов широко распространены методы вибрационной эвтектической пайки тыльной золоченой поверхности кристалла к золоченой поверхности основания корпуса и пайки с использованием различных припоев [1]. Для обеспечения необходимой смачиваемости припоя и предотвращения окисления в процессе пайки применяется инертный газ или формирующий газ на основе смеси 10%-ного водорода и 90%-ного азота. Нанесение припоя на подложку осуществляется дозированием проволоки припоя или паяльной пасты либо припойными прокладками.

Процессы бесфлюсовой пайки наиболее важны при сборке электронных устройств и приборов, где требуется исключить применение флюсов, поскольку продукты их разложения способствуют развитию коррозионных процессов, при этом ухудшаются рабочие характеристики полупроводниковых приборов и интегральных схем, снижается надежность

и долговечность электронной аппаратуры. При пайке кремниевых кристаллов полупроводниковых приборов к основанию корпуса прибора удаляют оксидные пленки за счет вибраций одной из соединяемых деталей, преимущественно верхней, а вторая остается неподвижной в течение всего процесса. Применение ультразвуковых колебаний в процессе присоединения кристаллов более характерно для технологии Flip-Chip [2], однако может использоваться для обеспечения более качественного слоя эвтектики или паяного соединения.

## Проблемы вибрационной пайки

Для эффективного удаления оксидных пленок с поверхности расплава необходимо, чтобы работа сил вибрации значительно превосходила работу сил когезии расплава  $W_{\text{вибр}}$ , которая определяется как:

$$W_{\text{вибр}} = I \times S \times t, \quad (1)$$

где  $I$  — интенсивность колебаний;  $S$  — площадь кристалла;  $t$  — время.

Учитывая, что интенсивность колебаний в расплаве равна:

$$I = 0,5\rho \times c \times (\omega \times A)^2. \quad (2)$$

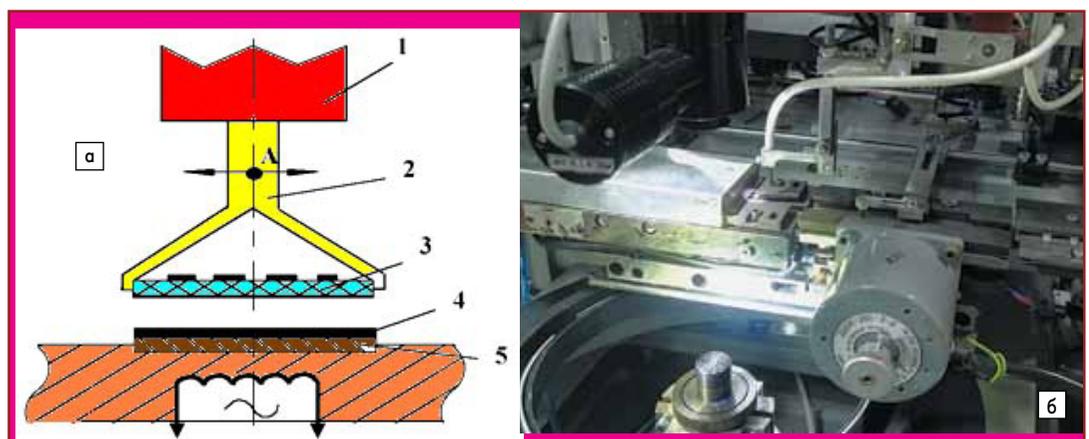
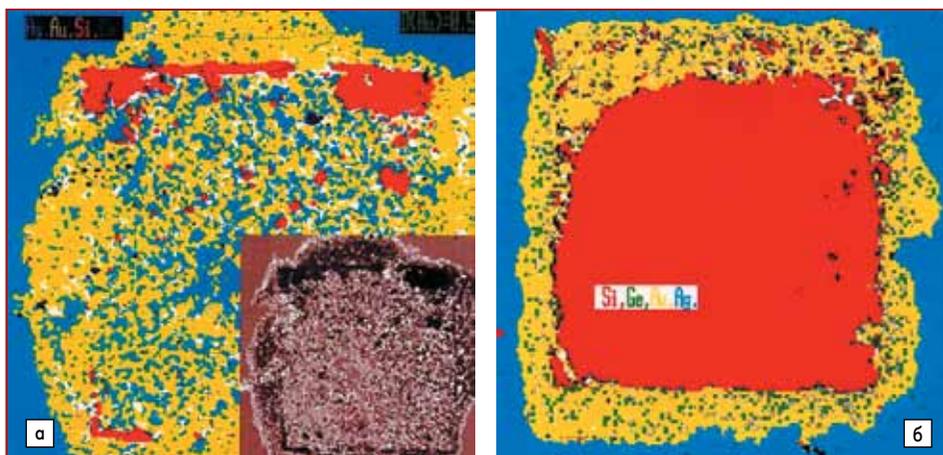


Рис. 1. Установка ЭМ-4505: а) схема и механизм присоединения вибрационной пайкой; б) внешний вид



**Рис. 2.** Состояние паяного соединения под кристаллом после сдвига кристалла: а) плохое качество (эвтектика 5% площади кристалла); б) хорошее качество (эвтектика 95% площади кристалла)

где  $\rho$  — плотность расплава;  $c$  — скорость распространения колебаний;  $\omega$  — круговая частота;  $A$  — амплитуда колебаний, тогда работа сил вибрации составит:

$$W_{\text{вibr}} = 0,5\rho \times c \times (\overline{\omega \times A})^2 \times S \times t, \quad (3)$$

Работа сил когезии  $W_{\text{ког}}$  затрачивается на образование двух единичных поверхностей расплава с поверхностной энергией  $\sigma_{1,2}$  на площади  $S$ :

$$W_{\text{ког}} = 2\sigma_{1,2} \times S. \quad (4)$$

При амплитуде колебаний 150–250 мкм с частотой 5 Гц в течение 1 с работа сил вибрации в расплаве для кристалла размером 5×5 мм составляет 0,35–0,5 Дж, что в среднем на четыре порядка превышает работу сил когезии расплава припоя в свободном состоянии (25 мкДж) — этого вполне достаточно для вытеснения оксидных пленок из зоны пайки.

Вибрационная пайка осуществляется на установках типа ЭМ-4105, ЭМ-4505 передачей вибраций частотой 1–100 Гц на соединяемые детали (рис. 1). При перемещении паяемой поверхности платы 3, закрепленной в держателе 2, относительно основания 5 в параллельной плоскости с помощью вибратора 1 с амплитудой до 300 мкм оксидные пленки на паяемых поверхностях 4 разрушаются. Процесс пайки осуществляется без флюса в интервале температур +150...+350 °С в течение 0,5–1 с. Прочность паяных соединений при этом достаточно высокая и превышает значения, полученные в случае пайки в среде защитных газов. К недостаткам метода следует отнести длительность процесса, необходимость обеспечения высокой параллельности плоских поверхностей паяемых деталей, воздействие вибраций значительной амплитуды на элементы.

Посадка кристалла на эвтектические сплавы помимо технологических трудностей (высокие температуры, золотое покрытие) имеет и другие недостатки. В виду малой пластичности эвтектики Au-Si и разницы в коэффициентах термического расширения кристалла и рамки в напаянном кристалле возникают значительные механические напряжения, что

приводит к сколам кристаллов при пайке, в последующих технологических операциях и испытаниях, а также к снижению надежности приборов. Установлено, что основными причинами, вызывающими снижение выхода годных изделий, являются отслаивание кристаллов из-за неполного образования эвтектики по всей площади (рис. 2); образование микротрещин и растрескивание кристаллов после пайки и термокомпрессионной разварки выводов [3].

Неполное образование эвтектики связано с недостаточной толщиной слоя золота на кристалле (менее 1 мкм). В то же время повышение плотности эвтектики под кристаллом приводит к росту количества приборов с трещинами в кристаллах, что обусловлено ростом внутренних механических напряжений в кристаллах.

В крупносерийном производстве для присоединения кристаллов к корпусам полупроводниковых приборов широкой номенклатуры вибрационной пайкой легкоплавкими припоями применяют автомат ЭМ-4085-14М производства ОАО «Планар-СО» (Беларусь). Монтаж кристаллов мощных транзисторов размером 5×5×0,34 мм, содержащими на тыльной стороне систему металлизации Ti-Ni-Ag, на рамку из медного сплава Cu-Sn-0,15, покрытую слоем никеля толщиной 3–6 мкм, осуществляется на припой Sn-Ag-Sn с активным движением кристалла в процессе пайки по программируемой траектории. Дозирование проволочного припоя Ø1–0,07 мм марки ПСрОСу осуществляется линейным шаговым двигателем, на который поступают управляющие импульсы, чье количество предварительно программируется [4].

Из широкой номенклатуры припойных материалов выделяется эвтектический сплав Au80Sn20 ввиду его уникальных свойств [5]. В первую очередь это возможность осуществления бесфлюсовой пайки, что резко снижает вероятность отказов за счет коррозии. Второй момент заключается в повышении температуры плавления полученного соединения почти на 30 °С за счет растворения золота соединяемых поверхностей в припое Au80Sn20. Это дает возможность осуществления двухрежимной пайки с одним припоем.



**Рис. 3.** Внешний вид припоя под кристаллом (кристалл удален травлением) при: а) вибрационной пайке; б) эвтектической пайке

Например, при установке двух типов кристаллов с различной металлизацией тыльной стороны на одну подложку.

При расчете дозы припоя учитывается, что минимальная толщина припоя под кристаллом должна быть на уровне 25–35 мкм. Однако в процессе вибрационной пайки часть припоя выдавливается за пределы кристалла, что составляет 25–30% от полезного объема припоя. Избыток припойного материала при вибрационной пайке относительно тонких кристаллов (150–200 мкм) может привести даже к наплыву припоя на края кристалла при большой амплитуде вибраций (рис. 3).

### Ультразвуковая пайка кристаллов

Применение ультразвуковых (УЗ) колебаний частотой 50–60 кГц позволяет полностью отказаться от флюсов, при этом исключается операция его отмывки, сокращается общая длительность технологического процесса монтажа микроплаты. При прохождении упругих колебаний УЗ-частоты через расплав припоя в последнем возникает кавитация и микропотоки, что и вызывает разрушение оксидных пленок и полное смачивание припоем паяемых поверхностей [6].

УЗ-колебания могут использоваться также в эвтектической пайке — там где сочетания материалов вызывают трудности образования эвтектики, например, при образовании кремний-серебряной эвтектики (+840 °С), тогда как подвод ультразвуковых колебаний к инструменту с пирамидальным торцом позволяет устойчиво присоединять кристаллы при температуре порядка +470 °С с визуально наблюдаемым процессом четырехстороннего смачивания кристалла.

При использовании УЗ-колебаний для пайки кристаллов возникают определенные трудности, связанные с выбором частоты и амплитуды колебаний, устранением механического воздействия на кристаллы, дозированием припоя и т. д. В частности, всегда требуется согласование рабочего инструмента, выбор резонансной длины инструмента в зависимости от частоты ультразвуковой системы и геометрии рабочего торца.

При монтаже кристаллов УЗ-колебания необходимо прикладывать в кристаллу таким образом, чтобы он совершал вибрации, параллельные плоскости выводной рамки. В этом случае основная доля УЗ-энергии переходит в расплав припоя и затрачивается на разрушение оксидных пленок на его поверхности и на межфазной границе кристалл-припой.



УЗП

**Рис. 4.** Ультразвуковая головка монтажа кристаллов на установке ЭМ-4505

В соответствии с выражением (2), увеличивая частоту колебаний до 66 и выше кГц, можно снизить амплитуду колебаний инструмента до 1–2 мкм при интенсивности колебаний, достаточных для разрушения оксидных пленок.

В автомате присоединения кристаллов ЭМ-4505 применен опциональный сменный держатель ультразвукового преобразователя (рис. 4) для режимов ультразвуковой пайки кристаллов на припой и эвтектику.

Автомат присоединения кристаллов ЭМ-4505 (рис. 5) выполняет монтаж кристаллов на припой, эвтектику и клей при сборке полупроводниковых приборов в керамических корпусах с использованием кассет-спутников. Подача кассет-спутников, нанесение припоя или клея, поиск первого и последующих годных кристаллов, присоединение кристаллов производится автоматически. Системы технического зрения распознают годные кристаллы на пластине по отсутствию маркировочного пятна, а также место присоединения.

Система дозирования представляет собой пневмодозатор, установленный на трехкоординатном столе, который наносит каплю клея определенной формы или непрерывно по за-

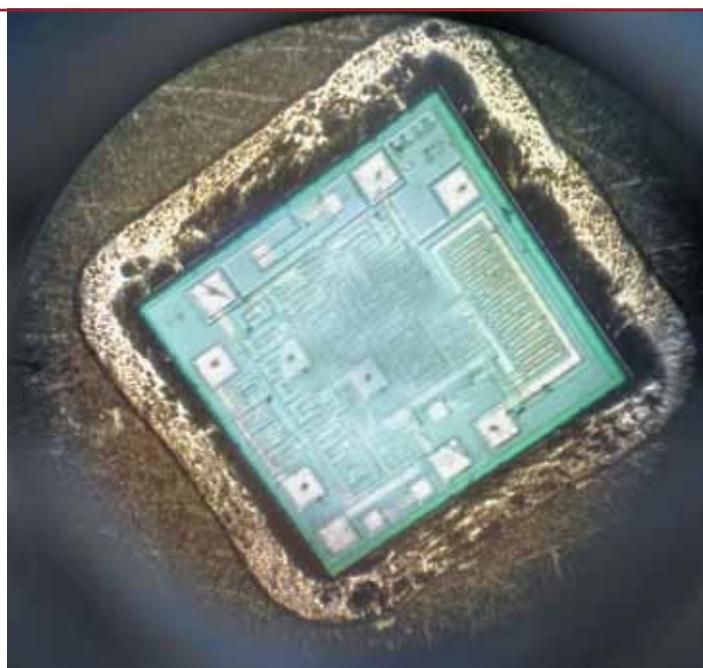
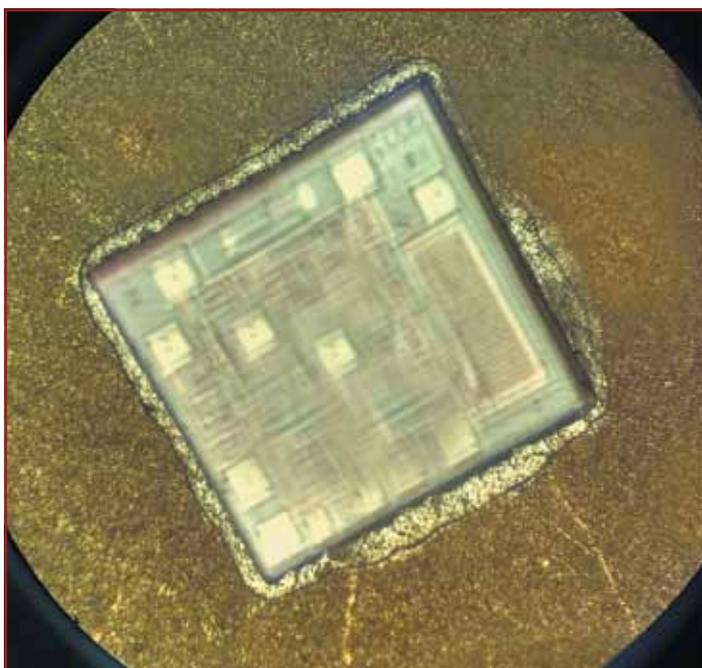

**Рис. 5.** Автомат присоединения кристаллов ЭМ-4055

данному рисунку. Высокопроизводительный трехкоординатный X, Y, Z привод механизма перемещения инструмента оснащен обратной связью, что позволяет присоединять кристаллы с высокой точностью. Инструмент с кристаллом может быть повернут на угол  $\pm 180^\circ$  (опция). Система нагружения и устройство подкола позволяют снимать кристаллы с регулируемым усилием. Система управления и программное обеспечение реализованы на базе PC-совместимого промышленного компьютера и операционной системы Microsoft Windows в режиме реального вре-

мени и обеспечивают реализацию современного интерфейса оператора.

Результаты испытаний при посадке кристаллов в корпуса с золочением методом эвтектической пайки при температуре порядка  $+400^\circ\text{C}$  при подводимой УЗ-мощности 30 Вт показали достаточно равномерный эвтектический слой (рис. 6а). Для сравнения на рис. 6б представлен типичный режим посадки с использованием режима вибрационной пайки.

Расположение УЗП под углом приблизительно  $45^\circ$  связано с конструктивными особенностями, хотя влияние направления ультразву-


**Рис. 6.** Пайка кристаллов на установке ЭМ-4505: а) ультразвуковая; б) вибрационная эвтектическая

ковых колебаний на процесс посадки кристаллов требует дополнительного изучения. Проведенные работы показывают, что ультразвуковая технология расширяет возможности методов посадки с использованием различных материалов соединяемых поверхностей. Отсутствие необходимости применения вибрации относительно большой амплитуды (0,3–0,35 мм) в случае использования ультразвуковых колебаний, позволяет производить монтаж на ограниченных по площади кристаллодержателях, а также в корпусах типа «колодец» изделий оптоэлектроники.

#### Выводы

Использование ультразвуковой технологии для монтажа кристаллов интегральных схем расширяет возможности применения различных материалов соединяемых поверхностей в изделиях электроники и оптоэлектроники. При этом достигаются следующие преимущества:

- снижение температуры рабочей зоны до +80...+100 °С;
- уменьшение площади вытеснения припоя по периметру кристалла в 1,5 раза;
- сокращение времени монтажа кристаллов до 150–250 мс.

1. Зенин В. В., Емельянов В. А., Ланин В. Л. Монтаж кристаллов и внутренних выводов в производстве полупроводниковых изделий. Минск: Интегралполиграф, 2015.
2. Kang S. Y. Studies of thermosonic bonding for Flip-Chip assembly // *Materials Chemistry and Physics*. 1995. Vol. 42.
3. Ланин В. Л., Керенцев А. Ф. Сборка мощных бескорпусных MOSFET-транзисторов для поверхностного монтажа // *Силовая электроника*. 2009. № 3.
4. Ланин В. Л., Рубцевич И. И., Керенцев А. Ф. Программно-управляемый монтаж кристаллов силовых транзисторов вибрационной пайкой в защитной атмосфере // *Технологии в электронной промышленности*. 2010. № 5.
5. Кондратюк Р. Припой 80Au20Sn: свойства и особенности применения // *Электроника: НТБ*. 2015. № 10.
6. Ланин В. Л., Емельянов В. А. Электромонтажные соединения в электронике. Технологии, оборудование, контроль качества. Минск: Интегралполиграф, 2013.