

Методы контроля и диагностики скрытых дефектов в изделиях электроники

Владимир ЛАНИН, профессор
vlanin@bsuir.by
Сергей ВОЛКЕНШТЕЙН
wolkenstein@kbtm.by
Александр ХМЫЛЬ, профессор
alesvsh@bsuir.by

Проблема обеспечения качества и надежности изделий электроники нацеливает на использование эффективных методов контроля и диагностики скрытых дефектов, которые должны обеспечивать высокую информативность, достоверность и автоматизацию анализа результатов.

Методы разрушающего и неразрушающего контроля дефектов

Надежность является одним из основных показателей, характеризующих качество изделий электроники. Наличие технологических дефектов в исходных материалах, полупроводниках и элементах, возникновение дефектов при сборке и монтаже конструктивных элементов из материалов с различными физическими, химическими и механическими характеристиками (кремний, алюминий, золото, медь и др.) приводит к снижению надежности изделий и ухудшению их технических характеристик [1].

Расширение функциональных возможностей, повышение технических и эксплуатационных характеристик разрабатываемых изделий ужесточают требования к качеству исходных материалов и технологических процессов их изготовления, что стимулирует совершенствование традиционных и разработку новых методов неразрушающего контроля.

В условиях жесткой конкурентной борьбы и повышения требований к качеству производимой продукции при выходе на международные рынки отечественным предприятиям необходима высокая управляемость и повторяемость производства, возможность гибко перестраивать производство с одного изделия на другое при максимально возможном уровне качества выпускаемых изделий.

В современной электронной промышленности в связи с постоянным усложнением изделий и технологических процессов возрастает значение методов неразрушающего контроля микроструктуры материалов и изделий на различных стадиях их обработки и изготовления. Традиционные методы исследования, такие как оптическая и электронная микроскопия, имеют ряд ограничений в области визуализации микрообъектов [2]. Например, оптический и растровый электронный микроскопы обладают высокой разрешающей способностью, но они мало-

пригодны для изучения внутренних областей непрозрачных материалов. Для анализа внутренней структуры изделий электроники применяются рентгенотелевизионные микроскопы, однако при их использовании возникают сложности, связанные с расшифровкой получаемых изображений, а также с изучением слабоконтрастных объектов. Всем перечисленным методам контроля присущ общий недостаток — невозможность определения тепловых свойств микроструктур, изучение которых дает новую информацию о составе и строении контролируемых структур и соединений.

Сборка и монтаж полупроводниковых приборов и интегральных микросхем (ИМС) являются наиболее трудоемкими и ответственными технологическими этапами в процессе их изготовления. От качества сборочных операций в сильной степени зависят стабильность электрических параметров и надежность готовых изделий. Этап сборки начинается после завершения групповой обработки полупроводниковых пластин по планарной технологии и разделения их на отдельные кристаллы. Эти кристаллы могут иметь простейшую (диодную или транзисторную) структуру или включать в себя сложную интегральную микросхему (с большим количеством активных и пассивных элементов) и поступать на сборку дискретных, гибридных или монолитных композиций.

Трудность процесса сборки заключается в том, что каждый класс дискретных приборов и ИМС имеет свои конструктивные особенности, которые требуют вполне определенных сборочных операций и режимов их проведения. Процесс сборки включает в себя такие основные технологические операции, как: присоединение кристалла к основанию корпуса, монтаж проволочных выводов к активным и пассивным элементам полупроводникового кристалла и внутренним элементам корпуса, герметизацию кристалла от внешней среды.

Операция посадки кристаллов в корпуса — наиболее ответственная в технологическом

процессе сборки, так как должна обеспечивать требуемое расположение кристалла, прочное механическое соединение, надежный электрический контакт и хороший теплоотвод. Для присоединения кристаллов применяют пайку эвтектическими и низкотемпературными припоями, токопроводящие клеи [3].

Чтобы совершить заметный технологический рывок, недостаточно оснастить производство современным технологическим оборудованием и материалами, необходимо также выбрать наиболее совершенные методы технологического контроля. Как правило, в производстве основная нагрузка поэтапного контроля в процессе изготовления изделия ложится на визуальную инспекцию, а заключительная проверка выполняется средствами функционального или электрического контроля [4]. Это происходит из-за того, что оборудование разрушающего и неразрушающего контроля считается дорогим. Однако использование визуальной инспекции, пусть даже с высоким разрешением, не дает объективной картины о качественном состоянии изделия. Оценка годности изделия производится субъективно, сильно зависит от «человеческого фактора», а потому носит крайне нестабильный характер. Так, визуальным контролем не выявляются дефекты адгезии клеев и непропаи при монтаже кристаллов, низкая прочность проволочных соединений и негерметичность корпусов. Технология контроля в настоящее время еще более усложняется в связи с переходом к бессвинцовым технологиям монтажа электронных модулей.

Поэтому для качественного обнаружения скрытых дефектов используют методы разрушающего и неразрушающего контроля (рис. 1). Технология разрушающего контроля основана на приложении к образцу определенного управляемого воздействия и последующего разрушения образца. Технология неразрушающего контроля использует методы получения информации о внутренней структуре изделий без какого-

либо механического воздействия. Без таких технологий выявление скрытых дефектов осуществляется на финальном этапе производства, и в случае возникновения дефекта большую часть технологической цепи изделия приходится дополнять дополнительные затраты на материалы, эксплуатацию и амортизацию оборудования. Применяв методы обнаружения скрытых дефектов, можно не только снизить себестоимость изделий, но и повысить гибкость переналадки производства на выпуск новых типов изделий.

С экономической точки зрения оборудование для обнаружения скрытых дефектов очень быстро окупается, в том числе за счет сокращения времени освоения новых технологий и за счет повышения выхода годных изделий.

Разрушающий контроль в технологии сборки изделий электроники применяется, как правило, в середине производственного цикла, после операций монтажа кристаллов и микросварки проволочных выводов. Самыми распространенными методами механического разрушающего контроля считаются тесты «на отрыв» и «на сдвиг» — как для кристаллов, так и для соединений выводов кристалла с контактными площадками на подложке или рамке (рис. 2) [5]. Суть метода заключается в анализе значений критических нагрузок и составлении четкой статистической картины, на базе которой технолог делает те или иные корректировки режимов производства.

Качество паяных соединений по внешнему виду проверяется при помощи бинокулярного микроскопа типа МБС-9 с кратностью увеличения 56^x. Соединения с гладкой блестящей поверхностью без трещин и следов перегрева, с полностью заполненным зазором между паяемыми деталями (при угле смачивания 5–10°) считаются высококачественными. Одновременно отмечают такие дефекты, как холодный непрогре-

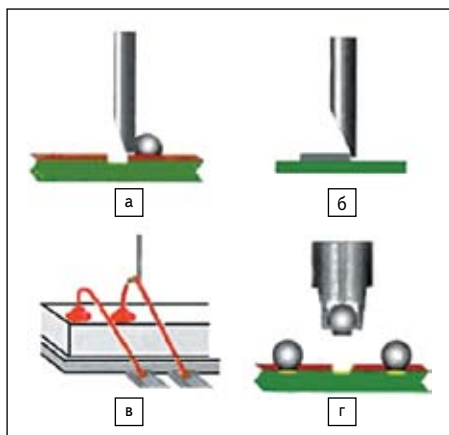


Рис. 2. Методы разрушающего контроля качества соединений:
а) проволочного вывода на сдвиг;
б) кристалла на сдвиг;
в) проволочного вывода на отрыв;
г) шарикового вывода на отрыв

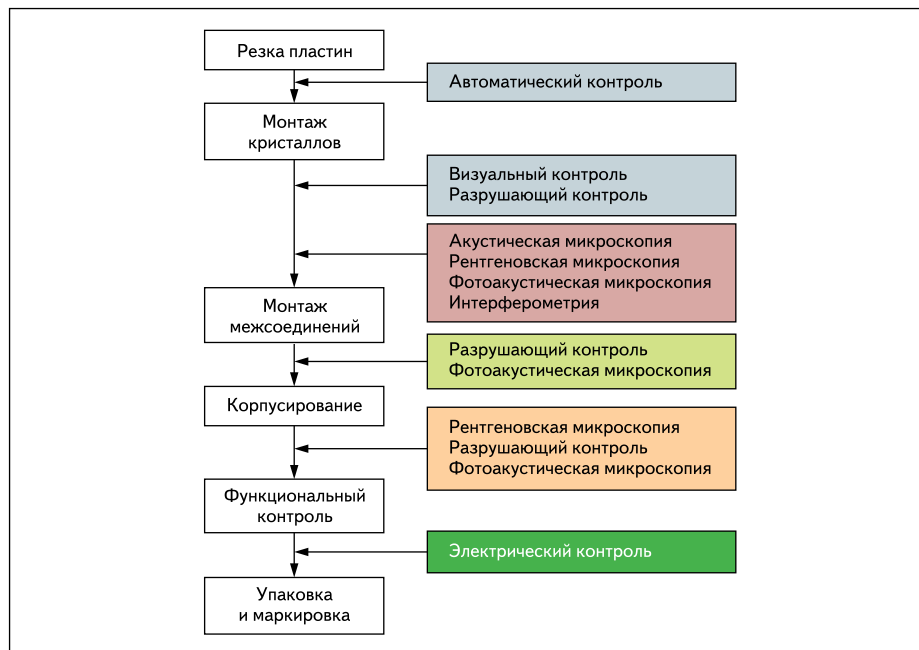


Рис. 1. Схема типового сборочного производства изделий электроники с указанием методов контроля дефектов

тый спай, избыток или недостаток припоя. Визуальным контролем обнаруживаются трещины, появившиеся из-за возникновения значительных внутренних напряжений при посадке кристалла в корпус. Недостатками визуального контроля являются: ограниченные возможности зрения, человеческий фактор, невозможность выявления скрытых или потенциальных дефектов.

На заключающих стадиях сборки либо когда разрушающий контроль уже считается дорогим, применяются, как правило, два основных метода обнаружения скрытых дефектов: рентгеновский контроль и ультразвуковая микроскопия.

Рентгеноскопия может использоваться для выявления внутреннего строения образца. Плотные материалы лучше поглощают рентгеновские лучи, но из-за того, что воздух имеет очень низкую плотность, расслоения, трещины и дефекты соединений могут не обнаружиться. К тому же рентгеновские системы работают в режиме сквозной передачи и обеспечивают скорее составное изображение полной толщины и образца, а не картину особенностей слоя.

Применение рентгеновской микроскопии является эффективным средством диагностики скрытых технологических дефектов, повышения качества и надежности выпускаемых изделий за счет обеспечения контроля каждого паяного соединения и целостности интегральных микросхем.

Система рентгеновского контроля нового поколения с наночисловой трубкой и разрешением 0,5 мкм позволяет надежно диагностировать и локализовать следующие типы дефектов: внутреннее состояние полупроводниковых приборов, качество разварки соединительного проводника кристалл-рамка,

наличие пустот между подложкой и кристаллом, наличие пустот в корпусе [6].

Для выявления скрытых дефектов в изделиях и анализа напряженно-деформированного состояния материалов применяются акустическую микроскопию с фото- или телерегистрацией результатов анализа. Акустическая микроскопия использует высокочастотные (от 5 до 200 МГц) УЗ-колебания и осуществляется методами сквозной передачи и отраженного сигнала. Метод отраженного сигнала, требующий доступа только к одной стороне изделия, позволяет обнаруживать скрытые дефекты при посадке кристаллов, разварке проволочных соединений, герметизации электронных модулей [7].

Принцип действия ультразвукового микроскопа основан на том, что механические свойства материалов могут измеряться посредством акустического сопротивления. На границе между материалами ультразвуковой импульс разделяется на отраженную и пропущенную составляющую, и чем больше разница сопротивлений по границе раздела, тем больше амплитуда отклика и выше контраст изображения. Некоторые отклики обладают «перевернутой» (отрицательной) полярностью, что в большинстве случаев является показателем наличия расслоений, трещин и пустот.

Ультразвуковая инспекция обладает широким арсеналом типов сканирования. Часть из них направлена на обнаружение микронных (до 200 Å) скрытых дефектов, что невозможно при других видах неразрушающего контроля. Различные типы сканирования, приведенные на рис. 3, позволяют получать достоверную информацию о любой точке или плоскости объекта, формировать послойные и трехмерные модели изделий, регистрируя при этом такие дефекты,

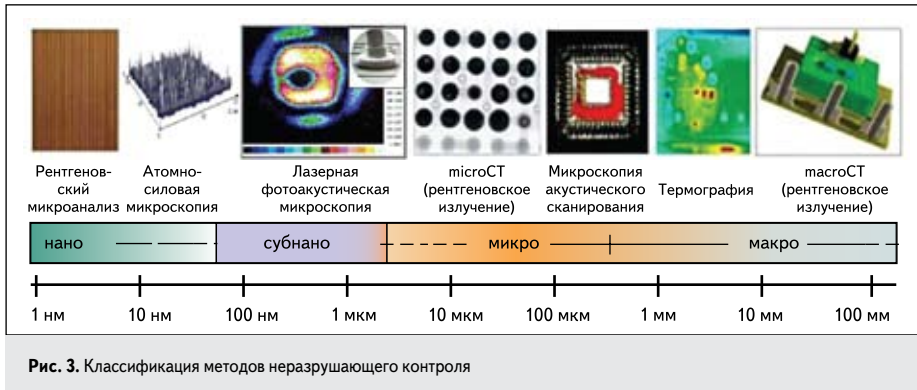


Рис. 3. Классификация методов неразрушающего контроля

как: трещины в кристаллах и подложках; отслоения и пустоты в присоединенных кристаллах; дефекты контактных выступов; различные дефекты в инкапсуляции и заливке «перевернутых» (Flip Chip) кристаллов.

В акустической микроскопии и сканирующей лазерной микроскопии первичная информация получается в результате генерации, взаимодействия и приема чисто акустических колебаний, а в лазерной фотоакустической микроскопии (ФАМ) она возникает при оптическом взаимодействии импульсного лазерного излучения с поверхностью твердого тела. Амплитуда генерируемых акустических колебаний в ФАМ определяется, во-первых, коэффициентом оптического поглощения лазерного излучения в каждой точке поверхности сканируемого объекта и, во-вторых, мощным фоновым сигналом, который возникает вследствие удаления с поверхности объекта различных окислов и загрязнений при первичном сканировании лазерным лучом. Однако оптические, акустические и фоновые составляющие принимаемого фотоакустического сигнала создают на результирующей топограмме достаточно сложные изображения, для расшифровки которых требуется опыт и специальные методические разработки.

По диапазону возможных применений в электронике фотоакустическая микроскопия является универсальным методом, обеспечивающим решение множества задач контроля, ранее требовавших использования многих и к тому же разрушающих методов. Бесконтактность и локальность оптического возбуждения акустических колебаний позволяют быстро зондировать контролируемые зоны и участки изделия, а также топографировать распределение характеристик.

Благодаря запоминанию промежуточных состояний контролируемого образца, последовательно подвергаемого различным воздействиям, открываются возможности исследования динамики разрушения соединений и определения запасов их прочности. Факторами экономической эффективности лазерного фотоакустического метода являются:

- возможность повышения качества изделий по ранее неконтролируемым характеристикам;

- однозначность получаемой информации, полностью отражающей физическую сущность контролируемой характеристики или свойства;
- универсальность применения для решения многих задач, исключающая разработку других, узкоспециальных средств контроля;
- возможность контроля на ранних стадиях производства в процессе оптимизации технологий, когда стоимость бракуемых изделий невелика;
- однократность применения метода для стабилизации или корректировки технологии до уровня, исключающего необходимость введения контроля.

С освоением изделий наноэлектроники роль неразрушающих методов контроля еще более возрастает. Более широко применяется оборудование атомно-силовой микроскопии, рентгеновского микроанализа и других методов контроля [8, 9] (рис. 3).

Лазерная фотоакустическая микроскопия

Принцип действия фотоакустического микроскопа основан на явлении генерации и распространения в объекте тепловых волн, возбуждаемых зондирующим лазерным излучением или электронным пучком, модулированными по интенсивности I_0 (рис. 4). Поглощенное излучение I_a приводит к нагреву освещенной области и генерации периодических тепловых потоков Q_s и Q_g рас-

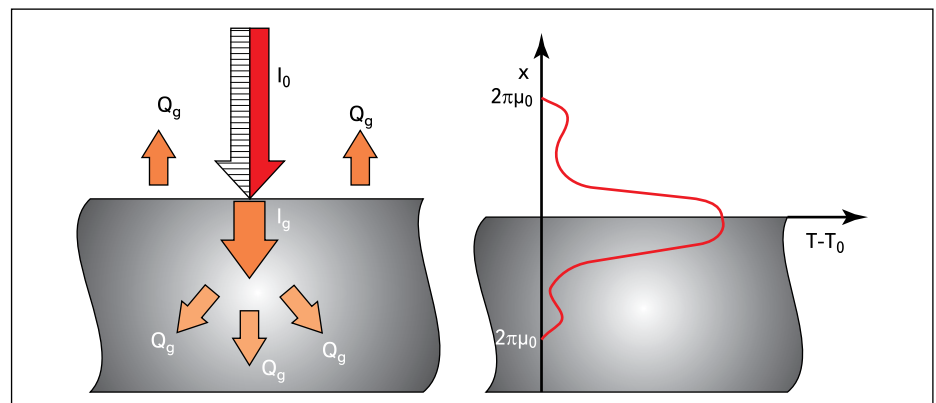


Рис. 4. Механизм формирования фотоакустического сигнала

пространяющихся соответственно в объекте и от его границы в окружающую газовую среду (рис. 4а). Решением уравнения термодиффузии, отвечающим данной ситуации, являются температурные волны, затухающие в e раз на длине распространения тепла $L_{s,g}$ в твердом теле и окружающей среде (рис. 4б):

$$L_{s,g} = \sqrt{\frac{2k_{s,g}}{\rho_{s,g} c_{s,g} \omega}}, \quad (1)$$

где $k_{s,g}$ — теплопроводность, $\rho_{s,g}$ — плотность, $c_{s,g}$ — теплоемкость твердого тела и газа соответственно, ω — угловая частота модуляции излучения.

Вследствие периодического нагрева и тепловой деформации локальной области объекта в нем также возбуждаются и распространяются акустические волны той же частоты, что и температурные волны. Это явление получило название фотоакустического эффекта в твердом теле. Акустические колебания объекта регистрируются датчиком. Фотоакустический сигнал, снимаемый с датчика, для каждой выделенной области объекта зависит от ее локальных физических свойств.

При сканировании лазерным лучом в двух взаимно ортогональных направлениях формируется фотоакустическое изображение объекта, которое является следствием трех различных процессов [10]:

- вариации поглощенной мощности излучения вследствие изменения от точки к точке оптических свойств объекта;
- взаимодействия температурных волн с тепловыми неоднородностями объекта;
- взаимодействия акустических волн с упругими неоднородностями объекта.

Первый процесс несет информацию только об абсорбционно отражательных свойствах образца. При доминировании этого процесса фотоакустическое изображение по существу идентично оптическому изображению. Разрешающая способность определяется диаметром зондирующего луча, а глубина визуализации подповерхностной структуры — глубиной проникновения фотонов.

Второй процесс не встречается ни в оптической, ни в акустической микроскопии и характеризуется переходом к новому типу волн, взаимодействующих с микронеоднородностями объекта и определяющих формирование изображения. Такой переход дает качественно новую информацию и позволяет существенно расширить наши познания о физических свойствах материалов. Определяется этот процесс термическими свойствами объекта: теплопроводностью, температуропроводностью β , коэффициентом теплового расширения.

Несмотря на сильное затухание (например, для меди $2 \text{ мм} \geq L_s \geq 2 \text{ мкм}$), при изменении частоты модуляции в диапазоне от 10 Гц до 10 МГц температурные волны обладают характеристиками обычных волн, и поэтому их взаимодействие с тепловыми неоднородностями твердого тела, по аналогии с оптическими и акустическими волнами, можно рассматривать как процессы рассеяния и отражения. Для используемых частот модуляции (до 10 МГц) более длинные, по сравнению с толщиной объекта, генерируемые наряду с температурными, акустические волны не взаимодействуют с объектом и служат лишь носителями информации, полученной за счет распространения температурных волн. Микроскоп, изображение в котором формируется главным образом вследствие взаимодействия температурных волн с тепловыми неоднородностями объекта, наряду с фотоакустическим получил название термоволнового микроскопа (ТВМ). Разрешающая способность ТВМ зависит от размера зондирующего луча и величины L_s и определяется большим из этих двух параметров, а глубина визуализации оценивается значением L_s .

Третий процесс несет информацию о механических параметрах объекта. Его необходимо учитывать, если длина акустической волны того же порядка, что и размеры неоднородностей в объекте (обычно это происходит на частотах модуляции, превышающих 100 МГц). При определяющем вкладе данного процесса фотоакустическое изображение идентично акустическому, а разрешающая способность имеет порядок длины звуковой волны.

Акустические методы диагностики — акустическая микроскопия (АМ), сканирующая лазерная акустическая микроскопия (СЛАМ) и фотоакустическая микроскопия (ФАМ) — наиболее перспективны при контроле контактных микросоединений в изделиях микроэлектроники и электронной техники как на этапе разработки, так и в их производстве.

Лазерная фотоакустическая микроскопия имеет следующие преимущества перед акустической и сканирующей лазерной акустической микроскопией [11]:

- Бесконтактное возбуждение акустических колебаний в твердом теле сфокусированным лучом лазера открывает широкие возможности сканирования объектов сложной



Рис. 5. Цветная 16-градационная шкала

конфигурации и относительно больших площадей.

- Во многих случаях зависимость фотоакустического сигнала от величины оптического поглощения сканируемой поверхности позволяет получать одновременно и топограммы распределения оптического поглощения, а при использовании лазера с перестройкой по длине волны — видеоспектральные топограммы поглощения.
- Конструкции АМ и СЛАМ и методики их применения требуют иммерсионного контакта акустической части с объектом, что в случае применения АМ значительно ограничивает площадь сканирования (не более $2 \times 2 \text{ см}$), а для СЛАМ требует полного погружения объекта в ванну с жидкостью. Эти требования исключаются при исследованиях с использованием ФАМ.

Хотя все три метода контроля контактных микросоединений (ФАМ, АМ и СЛАМ) могут дать идентичные в известных пределах результаты, однако лазерный фотоакустический метод предпочтителен благодаря перечисленным преимуществам, простоте конструкции и эксплуатации.

В УП «КБТЭМ-СО» создан и эксплуатируется комплекс лазерного фотоакустического диагностирования и неразрушающего контроля качества сварных, паяных и адгезионных соединений в изделиях электронной техники и микроэлектроники [12]. В основе метода используется фотоакустический эффект, возникающий при точечном сканирующем воздействии модулированного лазерного излучения на исследуемый объект. Основными техническими характеристиками комплекса лазерного фотоакустического диагностирования являются:

- увеличение геометрическое, крат — от 1:1 до 2500:1 на экране монитора 19";
- число градаций отображаемого параметра — 16;
- максимальное поле сканирования — $100 \times 100 \text{ мм}$;
- размеры образца — до 10 мм (микросканирование) и до 65 мм (макросканирование);
- пространственная разрешающая способность — от 0,5 мкм до 100 мкм;
- чувствительность к нарушению сплошности структуры — до 10 нм;
- число строк сканирования — 256.

Обработка параметров электрического сигнала обеспечивает возможность получения достоверной информации о неоднородностях внутренней структуры исследуемого

объекта. Для интерпретации результатов контроля данная информация визуализируется в виде цветной 16-градационной двухмерной фотоакустической топограммы, на которой уровень максимальной сплошности (диффузия, адгезия, смачиваемость) материалов представлен черным цветом, а по мере увеличения несплошности (расслоения, полости, инородные включения) цветовая гамма меняется вплоть до белого цвета, проходя все цветовые оттенки, показанные на шкале (рис. 5).

Комплекс лазерного фотоакустического диагностирования (рис. 6) позволяет производить диагностику и неразрушающий операционный контроль качества:

- 1) присоединения кристаллов полупроводниковых приборов и интегральных микросхем к основанию корпусов и кристаллодержателей с применением эвтектики, припойных и клеевых композиций;
- 2) микросварных соединений золотой, алюминиевой, медной и др. проволокой методами термозвуковой, термокомпрессионной, ультразвуковой микросварки;
- 3) сварных и паяных швов корпусов полупроводниковых приборов и интегральных микросхем;
- 4) герметизации интегральных микросхем различными пресс-компаундами;
- 5) монтажа электронных компонентов на различные подложки (SMD, COB);
- 6) адгезии металлизированных покрытий к различным подложкам.

Для выявления причин отказа исследованию подверглись 8 образцов кристаллов ТОН 25 с кристаллографической ориентацией [100] и [111] и габаритными размерами $5,3 \times 5,3 \times 0,42 \text{ мм}$.

Кристалл крепился по центру площадки основания на адгезивы: Ablestic, Ableter M, EN, BK, BK 26M. Допустимое отклонение от плоскостности основания корпуса не более $+0,03 \text{ мм}$, поворот кристалла — $0,1 \text{ мм}$. Соединение кристалла с контактными площадками осуществлялось с помощью алюминиевой микропроволоки 35 мкм. Минимальное расстояние между проволочными соединениями и незащищенными участками поверхности кристалла должно быть не менее диаметра проволоки.

Методом лазерной ФАМ в исследованных образцах обнаружены несплошности в адгезивном слое между кристаллами и кристаллодержателями, зарегистрированные на фотоакустических топограммах в виде выделяющихся бело-красно-зеленых зон. Результаты



Рис. 6. Лазерный фотоакустический комплекс

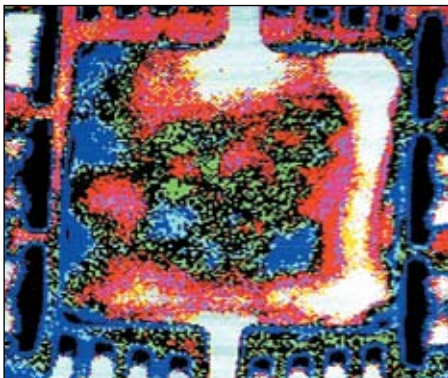


Рис. 7. Лазерная фотоакустическая топограмма участков несплошности в адгезивном слое между кристаллом и кристаллодержателем

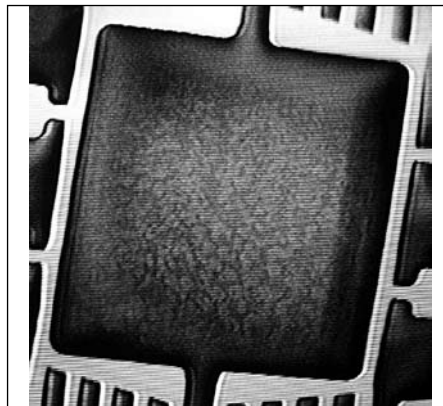


Рис. 8. Рентгенограмма неоднородности адгезивного слоя между кристаллом и кристаллодержателем

фотоакустического метода при исследовании образцов наилучшим образом коррелируют с данными рентгенодефектоскопии, что под-

тверждается сравнением лазерных фотоакустических топограмм (рис. 7) с соответствующими рентгенограммами (рис. 8).

Таблица. Уровни остаточных напряжений и качество присоединения кристаллов

| Адгезив | ВК | ВК 26М | EN [100] | EN [111] |
|-----------------------------|-------|--------|----------|----------|
| σ^* , МПа | 3,615 | 12,756 | 21,868 | 43,381 |
| Фотоакустические топограммы | | | | |

Примечание. * Уровни остаточных внутренних напряжений σ (МПа) определены и рассчитаны методом лазерной интерферометрии.

Наиболее качественную посадку обеспечили клеевые составы и технологические режимы, приведенные в таблице. Данные образцы характеризуются удовлетворительной адгезией равномерного клеевого слоя к соединяемым поверхностям непланарной стороны кристалла и кристаллодержателя, а также группируются по типу клеевого состава и величинам остаточных внутренних напряжений и подтверждают тенденцию соответствия качества присоединения.

Метод лазерной микроинтерферометрии

Метод лазерной микроинтерферометрии контроля качества монтажа и оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) кристаллов ИМС применяется для контроля рельефа поверхности и оценки размера дефектов на поверхности. Основным прибором, использующим интерферометрический принцип при измерениях высоты, глубины, профиля элементов микроструктур и толщины пленок, является лазерный микроинтерферометр, изображенный на рис. 9. Метод лазерной интерференции основан на регистрации интерференции отраженных от подложки с пленкой когерентных лучей света с известной длиной волны и определении толщины наносимой пленки по интенсивности суммарного светового потока. Он заключается в следующем. Пучок света, излучаемый лазером, проходит через поляризатор и телескоп, зеркало делит его на два когерентных пучка, один из которых фокусируется объективом на эталонное зеркало 11, а другой — на контролируемый объект. После отражения от эталона и изделия пучки проходят через те же элементы схемы и фокусируются через объектив и панкратическую систему на зеркала, от которых пучки света проходят через линзу на видикон, в котором наблюдают интерференционную картину взаимодействия эталонного и рабочего пучков света.

Интерференционным способом производится измерение неплоскостности стеклянных пластин фотошаблонов. Этому способствует высокая чистота поверхности стекол, позволяющая получить четкую интерференционную картину. Этим способом исследуется поверхность полированных полупроводниковых пластин, измеряется неплоскостность (прогиб) пластин и некоторые поверхностные дефекты.

Контроль качества присоединения кристаллов является неотъемлемой частью технологического процесса автоматической сборки. Наиболее известным методом оценки качества монтажа эвтектического соединения является метод рентгенодефектоскопии, однако клеевые соединения прозрачны для рентгена и не могут быть проконтролированы этим методом.

Тенденция к использованию больших кристаллов требует для их присоединения

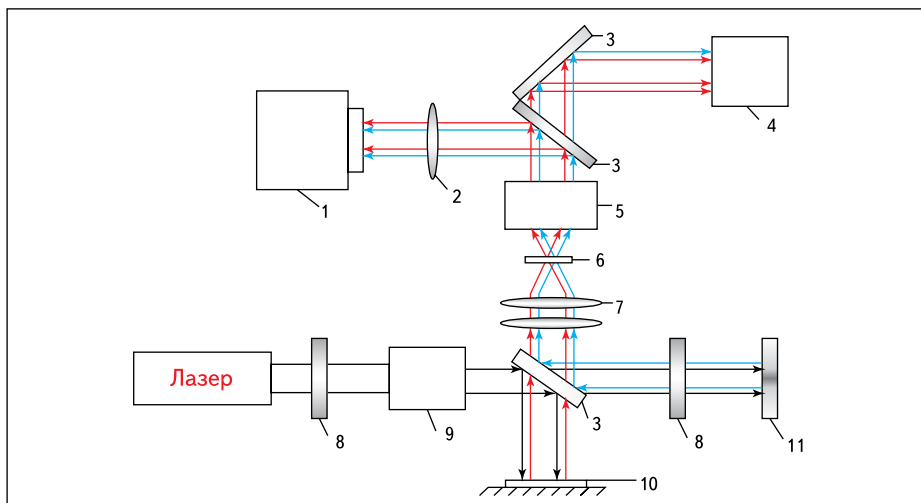


Рис. 9. Оптическая схема лазерного микроинтерферометра: 1 — видикон; 2 — линза; 3 — зеркала; 4 — фоторегистратор; 5 — панкратическая система; 6 — сетка; 7 — объектив; 8 — поляриды; 9 — телескоп; 10 — контролируемый объект; 11 — эталонное зеркало

материалов, обеспечивающих релаксацию напряжений. На современном рынке самым популярным адгезивным материалом является эпоксид, доля которого составляет 80%. Оставшиеся 20% приходятся на мягкий припой и эвтектику AuSi. Все материалы должны обеспечивать присоединение с воспроизводимыми свойствами. Очевидно, что все клеящие композиции имеют малые физические дефекты (из-за испарения растворителя), которые не ухудшают характеристик прибора. Однако если эти дефекты являются более обширными либо многочисленными, они влияют на продолжительность срока службы. Пустоты в эвтектическом сплаве образуются вследствие захвата воздуха, неполного смачивания эвтектическим сплавом обратной поверхности кристалла, неполного обезгаживания сопрягаемых поверхностей и т. д. Избыточность пустот снижает устойчивость к электрическим и тепловым нагрузкам, может привести к отделению кристалла от корпуса или к образованию трещин.

Практическая целесообразность применения лазерной интерферометрии для оценки качества присоединения кристаллов и определения в них остаточных внутренних напряжений доказывалась корреляцией с данными метода рентгенотелевизионной микроскопии и трехкристалльной рентгеновской дифрактометрии.

Сравнивая различные интерферограммы с рентгенотелевизионным изображением эвтектического соединения, можно заметить, что в зависимости от смачивания кристалла эвтектическим припоем и его распределения изменяется сцепление кристалла с подложкой, в результате чего изменяется также степень неплоскостности планарной поверхности кристалла.

При равномерной толщине и растекании эвтектики по всей площади кристалла с выходом ее за пределы, его контролируемая поверхность

является сферой, а интерференционная картина имеет вид концентрично расположенных колец. В случае, если угол или сторона кристалла плохо смочены эвтектикой, что подтверждается рентгенотелевизионным изображением, плотность распределения колец в несмоченном углу (стороне) уменьшается. Интерференционная картина, имеющая два центра, свидетельствует о неравномерности растекания припоя по толщине. Возможно, в одном углу кристалла эвтектика образовалась, а во втором имеет место ослабление кристалла за счет не вступившей во взаимодействие с кремнием золотой прокладки, поэтому на поверхности кристалла отображаются и выпуклость, и выгнутость. Если интерференционная картина имеет форму эллипса, кристалл смочен и сцеплен на 60–70% только в направлении малой оси эллипса. Для кристаллов с расходящимися в одну сторону подковообразными интерференционными полосами характерно некачественное сцепление или отсутствие сцепления кристалла с подложкой.

Возможны два случая образования седловидных интерферограмм на кристаллах. В одном случае эвтектический слой наибольшей толщины располагается в центре кристалла, а у его краев — прерывистый более тонкий слой. Во другом случае в центре кристалла эвтектика отсутствует или имеется ее тонкий слой, а растекается она локальными зонами параллельно контуру кристалла.

Таким образом, метод лазерной интерферометрии позволяет интегрально оценивать как количественные значения напряженных состояний элементов, закрепленных к основаниям кристаллов различными видами адгезивов, так и качество их присоединения. Метод легко поддается автоматизации путем реализации матрицы деформации с последующим построением профиля деформированного кристалла БИС в трехмерном пространстве. Однако требуется обеспечить

контраст изображения планарной поверхности кристалла БИС не менее 0,5.

Выводы

Для повышения эксплуатационной надежности конструктивно сложных изделий электроники с многооперационной технологией их производства необходим систематический контроль стабильности технологических параметров процесса, а также эффективные методы и средства физико-технического анализа причин отказов, обусловленных скрытыми дефектами. При освоении новых изделий в производстве, формировании внутренних межсоединений, внедрении новых марок пресс-материалов при корпусировании изделий, для выявления скрытых дефектов эффективным и достоверным является метод лазерного фотоакустического диагностирования, хорошо зарекомендовавший себя на практике.

Литература

1. Бережной В. П., Дубицкий Л. Г. Выявление причин отказов РЭА. М.: Радио и связь. 1983.
2. Пролейко В. М. Перспективы развития аналитического приборостроения. // Электронная промышленность. 1982. Вып. 10–11.
3. Ланин В. Л., Достанко А. П., Телеш Е. В. Формирование токопроводящих контактных соединений в изделиях электроники. // Минск: Издат. Центр БГУ. 2007.
4. Гафт С., Матов Е. Выбор стратегии контроля в условиях перехода к бессвинцовым технологиям. // Технологии в электронной промышленности. 2005. № 4.
5. Васильев А. Оборудование для разрушающего и неразрушающего контроля в производстве микроэлектроники. // Поверхностный монтаж. 2007. № 9.
6. Шмаков М. Выбор системы рентгеновского контроля. Взгляд технолога. // Технологии в электронной промышленности. 2006. № 4.
7. Рабодзей Н. В., Борисов В. А., Галина Н. М., Русакова А. К. Применение фотоакустической микроскопии в диагностировании ИЭТ при разработках и в производстве. // Электронная промышленность, 1990. Вып. 7.
8. Наноматериалы и нанотехнологии. / Под ред. Борисенко В. Е. и Толочко Н. К. // Минск: Издат. Центр БГУ. 2008.
9. Oppermann M., Heuer H., Meyendorf N., Wolter K.-J. Nano Evaluation in Electronics Packaging. <http://www.mikrotechnische-produktion.de>
10. Морозов А. И., Раевский В. Ю. Фотоакустическая микроскопия. // Зарубежная электронная техника. 1982. № 2.
11. Авербах В. И., Волкенштейн С. С., Школык С. Б. Лазерная фотоакустическая диагностика // Наука и инновации. 2006. № 3 (37).
12. Волкенштейн С. С., Ланин В. Л., Хмыль А. А. Лазерная фотоакустическая диагностика скрытых дефектов в изделиях электроники // Компоненты и технологии. 2007. № 11.