

# Контроль качества герметизации пластмассовых корпусов интегральных схем

**Качество герметизации пластмассовых корпусов интегральных схем определяется физико-механическими и технологическими свойствами пресс-материалов. Методами лазерного фотоакустического диагностирования и рентгенотелевизионной дефектоскопии исследованы внутренние микродефекты, а также адгезия пресс-материала к внешним выводам рамки и состояние микропроволочных межсоединений в пластмассовых DIP-корпусах.**

**Владимир Ланин,**  
профессор

vlanin@bsuir.by

**Сергей Волкенштейн**

wolkenstein@kbtm.by

**Светлана Ключева**

## Факторы качества герметизации пластмассовых корпусов

Современный этап развития электронной промышленности характеризуется значительным увеличением объемов производства надежных и дешевых полупроводниковых приборов и интегральных микросхем (ИМС) в пластмассовых корпусах. Это связано с дальнейшей микроминиатюризацией, заменой дорогостоящих металлостеклянных и металлокерамических корпусов, экономией драгоценных металлов, возможностью совмещения технологических операций изготовления корпусов и герметизации и полной их автоматизацией [1].

Различные типы ИМС герметизируют в пластмассовые корпуса разными способами, что связано в основном с их конструктивными особенностями и объемами производства. Пластмасса не только изолирует приборы и микросхемы от внешних воздействий, но и обеспечивает требуемую механическую и электрическую прочность. Применяют следующие способы пластмассовой герметизации: литьевое или трансферное прессование; компрессионное прессование; опрессовку с помощью жидких композиций; обволакивание и окунание: герметизацию в полые пластмассовые корпуса; заливку во вспомогательные съемные формы или в предварительно изготовленный корпус-капсулу [2]. Способ трансферного прессования, приемлемый как для термопластичных, так и для терморезистивных масс, распространен в промышленности наиболее широко.

Для герметизации полупроводниковых приборов и микросхем используют пластичные материалы на основе эпоксидных, кремнийорганических и полиэфирных смол (эмали, заливочные компаунды, порошкообразные композиции). К ним предъявляют требования, диктуемые надежной работой изделий в различных климатических условиях при электрических и механических нагрузках.

Качество герметизации зависит от двух основных групп свойств пластмасс: физико-механических и технологических. К первой группе относятся плотность, теплопроводность, механическая прочность,

термостойкость, электроизоляционные свойства и др. В зависимости от типа герметизируемых приборов те или иные характеристики приобретают особое значение.

Так, при герметизации высоковольтных полупроводниковых приборов используют материал, обладающий высокой электрической прочностью, которая служит критерием для сравнительной оценки способности данной пластмассы противостоять электрическому пробою. Для приборов, работающих в СВЧ-диапазоне, большое значение имеют диэлектрическая постоянная и тангенс угла диэлектрических потерь. Для маломощных диодов, обладающих малыми уровнями обратных токов, выбирают пластмассы с высокими значениями поверхностных и объемных сопротивлений.

Ко второй группе относятся текучесть, скорость отверждения, усадка и др. Текучесть характеризует способность пластмассы под действием теплоты и давления заполнять пресс-форму и зависит, в первую очередь, от внутреннего трения между частицами материала, что определяется вязкостью смолы, природой наполнителя и его количеством, и, во-вторых, от внешнего трения, обусловленного качеством полировки пресс-формы и степенью прилипания к ней материала. При высокой текучести материал затекает в мельчайшие зазоры между сопрягаемыми формирующими деталями пресс-формы, прилипает к поверхности формирующих полостей, а при низкой текучести повышается удельное давление прессования.

Усадка зависит от природы пресс-материала, давления и температуры прессования, изменения структуры материала при отверждении и др. Для материалов, используемых для герметизации ИМС, усадка допускается не более 0,6%.

Важным свойством пластмасс является стойкость к набуханию во влажной атмосфере. При повышенной влажности пластмасс возрастает усадка, увеличивается деформация изделий и время выдержки при прессовании, что отрицательно сказывается на качестве герметизации [3]. Радикальными средствами уменьшения влажности пресс-материалов являются их подсушка и предварительный прогрев.

Несмотря на то, что многие полупроводниковые приборы, диодные матрицы и ИМС, герметизированные пластмассами, успешно работают в различных электронных устройствах и аппаратуре, повышение надежности этих изделий остается актуальным. Это связано с тем, что герметизация пластмассами имеет ряд недостатков: ухудшение условий теплоотвода; появление механических напряжений, возникающих при отверждении герметика; недостаточность влагостойкости вследствие сорбции влаги полимерами; подверженность процессам старения.

Защитные свойства пластмассового корпуса характеризуются скоростью проникновения через пластмассу газов и паров, количеством адсорбируемой влаги, адгезией пластмассы к металлу рамки и выводов.

### Выбор пресс-материалов для герметизации

Герметизация ИМС в DIP, SOP, TO-220 и других корпусах выполняется пресс-материалами с определенными техническими характеристиками. К ним относятся время гелеобразования, текучесть по спирали, модуль упругости, коэффициент линейного расширения, теплопроводность, адгезия к материалу выводной рамки, содержание ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , водопоглощение и т. д. Выбор пресс-материалов определяется функциональным назначением ИМС, условиями эксплуатации и пр. Типичный состав пресс-материала включает: эпоксидную смолу, отвердитель, катализатор отверждения, неорганический наполнитель, добавку, повышающую огнестойкость, и прочие материалы (пигменты, связующее вещество и др.).

Современная технология получения герметизирующих материалов позволяет свести к минимуму количество ионов  $\text{Cl}$  и других примесей. Так, пресс-материалы различных фирм-изготовителей, например, MG-40FR, EME-1200T, ST7100-DSA и LMC-300T, содержат в своем составе ионогенных примесей до  $5 \times 10^{-6}\%$ .

Основным свойством пресс-материала, отвечающим за надежность и качество формирования корпуса, является текучесть по спирали, стабильность которой гарантирует фирма-изготовитель пресс-материала в течение промежутка времени длительностью 10–12 месяцев. У теплопроводных пресс-материалов текучесть обычно значительно выше, чем у стандартных. При повышенной текучести пресс-материала облой, образующийся на поверхности выводов вдоль тела корпуса, затекает за технологическую перемычку, являющуюся границей для наличия облоя, и препятствует нанесению покрытий олово-висмут и олово-свинец на внешние выводы для обеспечения их паяемости.

Облой при прессовании допускается толщиной не более 5 мкм и не далее 0,25 мм от корпуса для того, чтобы после химической обработки его можно было легко удалить методом обдува сжатым воздухом под давлением 0,4–0,6 МПа. На многоместных пресс-формах с одним-

двумя плунжерами (количество мест — от 280 и более) при герметизации для уменьшения затекания облоя приходится снижать давление прессования и увеличивать время впрыска пресс-материала. Это, как правило, приводит к неравномерному заполнению корпусов ИМС при удалении от литьевой камеры (особенно для многорядных рамок), то есть приборы, близко расположенные к литьевой камере, будут иметь более плотно заполненный корпус, а чем дальше они от центра пресс-формы, тем больше внутренних пор и внешних дефектов появится при их формировании.

В этом случае очень важно определить оптимальную границу снижения давления прессования, чтобы обеспечить сплошность внутренней структуры полимеризованного пресс-материала во всех корпусах и тем самым минимизировать попадание влаги, которая может вызвать коррозию алюминия на контактных площадках кристалла. Таким образом, необходим неразрушающий метод контроля качества герметизированных пластмассовых корпусов ИМС, чтобы вовремя проводить корректирующие действия в режимах технологического процесса.

При внедрении новых пресс-материалов в производстве ИМС очень важно оценить адгезию пресс-материала к выводной рамке из медного сплава и к полосе серебра на кристаллодержателе или теплоотводе. Кроме того, так как конфигурация выводных рамок должна иметь гидрозамки для исключения попадания влаги в корпус, необходимо проверить их надежность. Для этого также требуется надежный метод контроля качества герметизации корпусов.

При освоении в производстве новых изделий электронной техники обычно разрабатывается и изготавливается пресс-форма необхо-

димой конструкции. При ее испытаниях очень важно проконтролировать состояние микропроволочных соединений (целостность — отсутствие обрывов, отливов, выколов; конфигурацию — отсутствие «парусности») после цикла герметизации, чтобы обеспечить планируемый процент выхода годных изделий, требования качества изделий и надежность в работе. Здесь тоже нужен быстрый и эффективный метод контроля для оптимизации режимов прессования.

### Контроль качества герметизации пластмассовых корпусов

Наиболее эффективными методами диагностирования и контроля качества герметизации пластмассовых корпусов (пористости, неоднородностей, трещин, инородных включений, адгезии к выводной рамке, состояния межсоединений после герметизации) являются методы неразрушающего контроля: лазерного фотоакустического диагностирования и рентгенотелевизионной дефектоскопии.

В основе метода лазерного фотоакустического диагностирования используется фотоакустический эффект, который возникает при точечном сканирующем воздействии модулированного лазерного излучения на поверхность исследуемого объекта. Вследствие периодического нагрева и тепловой деформации локальных областей объекта в нем возбуждаются и распространяются объемные ультразвуковые волны, которые с помощью акустоэлектрического датчика преобразуются в сигнал фотоакустического отклика, обработка параметров которого дает возможность получить достоверную информацию о неоднородностях внутренней структуры исследуемого объекта [4].



Рис. 1. Лазерный фотоакустический комплекс неразрушающего контроля



Рис. 2. Цветная 16-градационная шкала фотоакустической топограммы

Лазерная фотоакустическая микроскопия имеет определенные преимущества перед акустической и сканирующей лазерной акустической микроскопией [5]:

- Бесконтактное возбуждение акустических колебаний в твердом теле сфокусированным лучом лазера открывает широкие возможности сканирования объектов сложной конфигурации и относительно больших площадей.
- 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 — и видеоспектральные топограммы поглощения.
- Методики применения акустической и сканирующей лазерной акустической микроскопии требуют иммерсионного контакта акустической части с объектом, что значительно ограничивает площадь сканирования (не более 2×2 см) либо требует полного погружения объекта в ванну с жидкостью. Эти требования исключаются при использовании лазерной фотоакустической микроскопии.

Основными техническими характеристиками комплекса лазерного фотоакустического диагностирования (рис. 1) являются:

- геометрическое увеличение — от 1:1 до 2500:1 крат на экране монитора 19";
- число градаций отображаемого параметра — 16;
- максимальное поле сканирования — 100×100 мм;
- размеры образца — от 10 до 65 мм;
- пространственная разрешающая способность — от 0,5 до 100 мкм;
- чувствительность к нарушению сплошности структуры — до 10 нм;
- число строк сканирования — 256.

Для интерпретации результатов контроля данная информация визуализируется в виде цветной 16-градационной 2D фотоакустической топограммы, на которой уровень максимальной сплошности (диффузия, адгезия, смачиваемость) материалов представлен черным цветом, а по мере увеличения несплошности

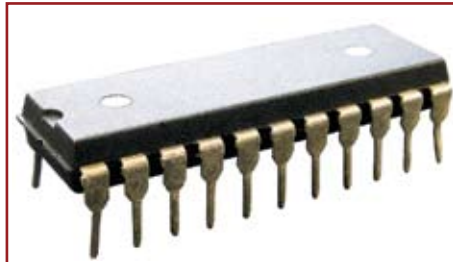


Рис. 3. Внешний вид ИМС в пластмассовом корпусе

(расслоения, полости, инородные включения) цветовая гамма меняется вплоть до белого цвета, проходя все цветовые оттенки, показанные на шкале (рис. 2).

С помощью методов лазерного фотоакустического диагностирования и рентгенотелевизионной дефектоскопии исследованы внутренние микродефекты (пористость, неоднородности, трещины, инородные включения и т. д.), а также адгезия пресс-материала LMC-300T к внешним выводам рамки, состояние микропроволочных межсоединений в пластмассовых 22-выводных DIP-корпусах (рис. 3).

В процессе комплексного анализа качества герметизации ИМС проводилось сопоставление данных рентгенодефектоскопического исследования, представленных рентгенограммами, с данными лазерного фотоакустического зондирования в виде фотоакустических топограмм, на которых участки несплошности и зоны отсутствия адгезии компаунда к материалу внешних выводов рамки регистрируются как переходы, отличающиеся от окружающего фона на несколько градаций цвета. На рис. 4 приведена лазерная фотоакустическая топограмма с внутренними неоднородностями в виде белых зон А и В и участками несплошности пресс-материала в виде зон красно-зеленого цвета. При сопоставлении данной топограммы с рентгенограммой, приведенной на рис. 5, видно, что центральная зона А соответствует области предварительной защиты кристалла, а зона В является глубокой приповерхностной каверной.

Кроме того, на фотоакустической топограмме можно заметить светло-зеленую зону частичной адгезии пресс-материала к поверх-

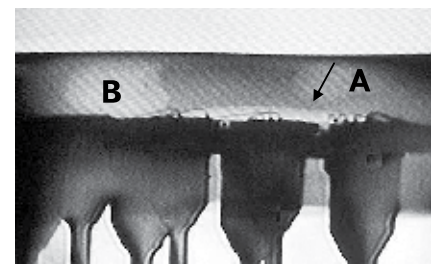


Рис. 5. Рентгенограмма центральной области DIP-корпуса ИМС (вид сбоку)

ности внешнего вывода № 7, смыкающуюся с центральной зоной А, что вызвано неполной заливкой. На рис. 6 стрелками показан равномерный завал всех микропроволочных соединений, «парусом» по направлению затекания пресс-материала по литниковому каналу, что свидетельствует о неправильно выбранных режимах герметизации: высоком давлении прессования либо максимальной скорости подачи пресс-материала в пресс-форму.

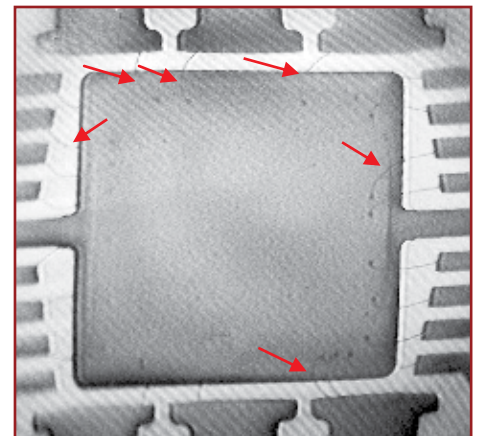


Рис. 6. Рентгенограмма пластмассового DIP-корпуса с внутренними межсоединениями (вид сверху)

На топограмме (рис. 7) отмечена обширная светлая надкристалльная зона неоднородностей, протяженные красно-зеленые зоны несплошности материала пресс-компаунда и отсутствие широких адгезионных герметизирующих перегородок в области выводов № 6 и № 17. Нарушения целостности и конфигурации микропроволочных перемычек не обнаружено.

Несмотря на хорошую в целом однородность пресс-материала и его адгезию к поверхности материала выводных рамок, во внутренней структуре данного образца на фо-

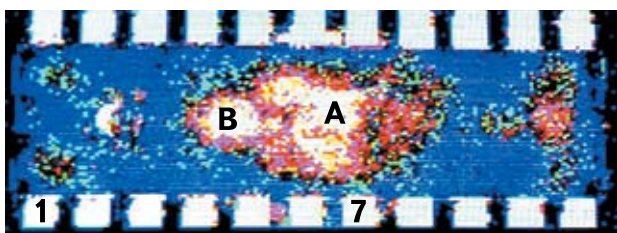


Рис. 4. Лазерная фотоакустическая топограмма DIP-корпуса с внутренними неоднородностями

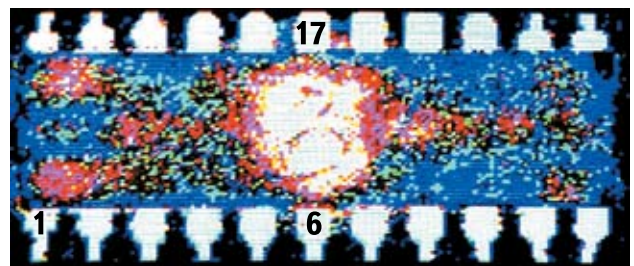


Рис. 7. Лазерная фотоакустическая топограмма пластмассового DIP-корпуса

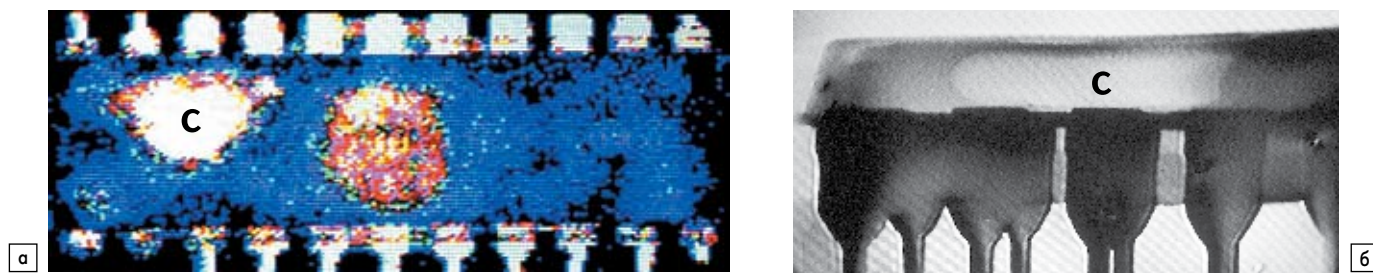


Рис. 8. а) Лазерная фотоакустическая топограмма; б) рентгенограмма пластмассового DIP-корпуса

тоакустической топограмме (рис. 8а) была зарегистрирована обширная каверна (белая зона С), идентифицирующаяся с выявленной на боковой рентгенограмме (рис. 8б) светлой областью С. Кроме того, на рентгенограмме отмечены многочисленные обрывы микропроволочных межсоединений.

На фотоакустических топограммах (рис. 4, 7, 8) установлены места слабой адгезии пресс-материала к поверхности выводной рамки, по которым возможно проникновение реагентов в корпус. Слабая адгезия пресс-материала к выводной рамке, возможно, связана с загрязнением траверса при нанесении компаунда предзащиты на кристалл либо с неправильно выбранным режимом герметизации, к которому относится недогрев таблеток пресс-материала при предварительном подогреве в установке высокочастотного разогрева, низкое давление прессования и, как следствие, скорость впрыска пресс-материала более 10 с.

Рентгенограммы данных образцов подтверждают медленное затекание пресс-материала: отклонений межсоединений («парусности») не наблюдается.

На основании проведенных исследований по фотоакустическим топограммам и рентгенограммам образцов корректирующие мероприятия в процессе герметизации должны включать в себя снижение давления прессования для исключения деформации межсоединений и уменьшение температуры пресс-формы для исключения внутренних пустот, вздутий, раковин, увеличение времени разогрева таблеток пресс-материала. Следует отметить, что «недолив», вздутия, пустоты на корпусах ИМС DIP-22 зависят от конструкции пресс-формы (величины газоотводных каналов, плоскостности и т. д.) и конфигурации закладной подложки, используемой в качестве теплоотвода при сборке данных ИМС.

Таким образом, при освоении новых изделий в производстве, внедрении новых пресс-форм, новых марок пресс-материалов, то есть при необходимости оценить технологический процесс корпусирования изделий, влияние режимов процесса на качество герметизации корпусов с целью предотвращения проник-

### Заключение

новения влаги и возникновения коррозии металлизации, и для быстрого принятия корректирующих действий эффективными и достоверными являются методы лазерного фотоакустического диагностирования и рентгенотелевизионной дефектоскопии.

### Литература

1. Емельянов В. А. Корпусирование интегральных схем. Минск: Полифакт, 1998.
2. Роздзял П. Технология герметизации элементов РЭА. М.: Радио и связь, 1981.
3. Ланин В. Л., Керенцев А. Ф. Влагодостойчивость интегральных схем в пластмассовых корпусах // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 4.
4. Авербах В. И., Волкенштейн С. С., Школык С. Б. Лазерная фотоакустическая диагностика // Наука и инновации. 2006. № 3 (37).
5. Волкенштейн С. С., Ланин В. Л., Хмыль А. А. Лазерная фотоакустическая диагностика скрытых дефектов в изделиях электроники // Компоненты и технологии. 2007. № 11.