

Визуальный поиск дефектов после герметизации микросхем в пластиковый корпус

Статья посвящена исследованию контроля качества корпусов интегральных микросхем после процесса герметизации в пластик, проведенному на опытной партии корпусов, выводные рамки которых были изготовлены методом высокоточной лазерной резки на предприятии АО «ЦКБ «Дейтон». Для выполнения неразрушающего контроля использовался специализированный автоматизированный программно-аппаратный комплекс (АПАК). Выяснилось, что применение АПАК позволяет не только эффективно выявлять критические и некритические дефекты на ранних этапах производства, но и формировать массив данных для ретроспективного анализа и совершенствования технологических процессов. На основании полученной информации предложены рекомендации для технологических служб.

Дарья Дормидошина*
Юрий Евстифеев*,
к. т. н.
Вячеслав Малышев*
Юрий Рубцов*

Современное производство электронных компонентов характеризуется постоянным ужесточением требований к надежности и качеству конечной продукции. Обеспечение безотказной работы микроэлектронных устройств на протяжении всего жизненного цикла становится критически важным требованием. Для защиты микросхемы предусмотрено устройство — отдельное от микросхемы сложное устройство, выполняющее конкретные функции: распределение сигнала и мощности, рассеяние тепла, поддержку и защиту микросхемы. Для упрощения технологического процесса изготовления микросхем и обеспечения эффективности их применения корпуса стандартизируют. В настоящее время количество стандартизованных корпусов достигает нескольких сотен, поэтому для упорядочивания осуществляется их классификация по различным признакам. До сих пор наиболее удачной остается классификация корпусов по используемому материалу. По данному признаку все корпуса традиционно подразделяются на три большие группы:

- металlostеклянные и стеклянные;
- металлокерамические и керамические;
- пластмассовые (полимерные, пластиковые).

Кроме того, появление на рынке пластиковых корпусов с полостью вызвало необходимость их классификации по герметичности, а разработка новых полимерных материалов с улучшенными свойствами привела к тому, что микросхемы в пластиковом корпусе имеют тенденцию к увеличению рынка по объему, номенклатуре и применению. Поэтому важен выбор типа корпуса, определяемого функциональными требованиями, экономической целесообразностью, длительностью жизненного цикла. Например, стоимость корпуса из пластмассы для микроконтроллера БПЛА одноразового использования составляет 200 рублей, а из металлокерамики — 8000 рублей.

При разработке и отладке новых изделий использование пластиковых корпусов, чья стоимость на порядок ниже стоимости металлокерамических корпусов, можно существенно снизить затраты и время на производство изделий и их стоимость. Это особенно актуально при ориентации на изготовление изделий с ограниченным жизненным циклом.

Особую актуальность развитие технологий корпусирования в пластик приобретает в российской микроэлектронной промышленности. В 2024 году предприятия ПАО «Микрон» [1] и АО «Ангстрем» [2] объявили о планах по массовому запуску линий по сборке и герметизации микросхем в пластиковые корпуса с целевыми объемами производства до 50 и 18 млн изделий в год соответственно, и линии уже начали работу. Благодаря новой линии сборки в пластиковые корпуса на «Микроне» станет возможным выпуск более 40 различных изделий для потребительской и общепромышленной электроники, в том числе для применения в телекоммуникационном оборудовании, автоэлектронике, аппаратуре для «Интернета вещей» и умного дома, в счетчиках электроэнергии, автоматике, робототехнике, медицинской технике и измерительных приборах [1]. В работе [3] сделан обзор по использованию пластиковых микросхем в военной аппаратуре. Огромный объем (99%) электронного рынка в Северной Америке приходится на ВЧ-продукты, произведенные для коммерческих применений. Анализ пластиковых микросхем для коммерческих и военных применений дан в работе [4].

Одним из ключевых этапов изготовления интегральных микросхем является процесс герметизации (упаковки) кристалла в корпус, который должен защитить чувствительные элементы от механических, климатических и химических воздействий [5]. Однако данный технологический процесс сопряжен с риском возникновения различных дефектов. Эти

*АО «ЦКБ «Дейтон»



Рис. 1. Матрица с выводными рамками после укладки и разварки кристаллов и герметизации микросхем в пластик

отклонения от нормы могут быть вызваны множеством факторов: от неоптимальных режимов литья и состояния оснастки до условий транспортировки и складирования изделий. Выявление подобных дефектов на ранних стадиях производственного цикла становится первоочередной задачей, поскольку дефекты могут негативно сказаться на функциональности, надежности и долговечности конечного изделия.

Традиционные методы визуального контроля, осуществляемые вручную операторами, долгое время были основным инструментом обеспечения качества. Однако у них есть ряд фундаментальных недостатков: субъективность оценки, склонность к человеческой ошибке, особенно при монотонной работе, высокая утомляемость и, как следствие, непредсказуемая воспроизводимость результатов. Эти ограничения становятся особенно критичными при больших объемах производства и повышении стандартов качества. В связи с этим актуальной задачей является внедрение автоматизированных, объективных и высокопроизводительных методов неразрушающего контроля.

Цель данной статьи — комплексное исследование дефектов пластиковых корпусов интегральных микросхем, изготовленных на основе выводных рамок, произведенных методом лазерной резки [6] и оценка эффективности применения АПАК для их выявления и классификации. В ходе исследования были идентифицированы, классифицированы и проанализированы основные типы дефектов: глубокие царапины, сколы пластика, загрязнения на выводах, а также несанкционированное попадание пластика на выводы и поверхность рамки. Показано, что применение АПАК позволяет не только эффективно выявлять критические и некритические дефекты на ранних этапах производства, но и формировать массив данных для ретроспективного анализа и совершенствования технологических процессов. Проведенная работа демонстрирует практический опыт успешной апробации современного подхода к контролю качества изделий в реальных производственных условиях.

Методология эксперимента

Для достижения поставленных целей был разработан и реализован комплексный экспериментальный подход. Методология содержала три ключевых этапа: подготовку репрезентативной выборки образцов, их автоматизированный контроль с помощью специализированного автоматизированного аппаратно-программного комплекса разработки АО «ЦКБ «Дейтон» и последующий детальный анализ полученных данных. Такой подход позволил обеспечить объективность, воспроизводимость и достоверность результатов оценки дефектов.

Подготовка образцов

В качестве объектов исследования была взята опытная партия интегральных микросхем в корпусах WB SOIC 16 (нестандартный широкий корпус). Выводные рамки для данной партии были изготовлены на производственных мощностях АО «ЦКБ «Дейтон» с использованием высокоточного оборудования лазерной резки, благодаря чему удалось обеспечивать исключительную стабильность геометрических параметров, минимальные зоны термического влияния и безупречное качество кромок, что позволило сосредоточить исследование именно на дефектах, внесенных в процессе герметизации. После изготовления и проведения

входного контроля (с высокими требованиями по качеству покрытий никель-золото) подготовленные рамки были переданы предприятию-партнеру для проведения герметизации кристаллов микросхем в пластик по утвержденной технологической карте. Матрица с выводными рамками после герметизации (готовые микросхемы) представлена на рис. 1.

Как видно на изображении, процесс герметизации приводит к формированию монолитного пластикового корпуса вокруг кристалла и внутренних соединений. При этом выводы рамки, предназначенные для последующего монтажа, остаются открытыми. Именно комплексный контроль целостности и геометрии как самого корпуса, так и состояния выводов после данной технологической операции и являлся основной задачей следующего этапа исследований с применением автоматизированного программно-аппаратного комплекса.

Детальный анализ дефектов и эффективности комплекса

Автоматизированный контроль опытной партии интегральных микросхем в корпусах WB SOIC 16 (нестандартный широкий корпус) позволил получить обширный массив данных, обеспечивший проведение детальной систематизации преобладающих типов дефектов. Каждая категория дефектов была подвергнута тщательному анализу с установлением потенциальных причин возникновения и оценкой влияния на эксплуатационные характеристики продукции.

Проведенный автоматизированный контроль выявил наличие глубоких царапин на поверхности выводов интегральных микросхем, что представляет собой один из наиболее распространенных видов дефектов в исследуемой партии. Глубина и протяженность царапин варьировались в значительных пределах — от неглубоких поверхностных повреждений до выраженных борозд, достигающих 20–30 мкм в глубину.

Анализ пространственного распределения дефектов показал их преимущественную локализацию на рабочих поверхностях выводов, предназначенных для последующего монтажа на печатную плату. Наиболее критичными являлись повреждения, расположенные в центральных зонах контактных площадок, где они непосредственно влияют на качество формирования паяного соединения. Основной причиной возникновения данного типа дефектов предположительно стали механиче-

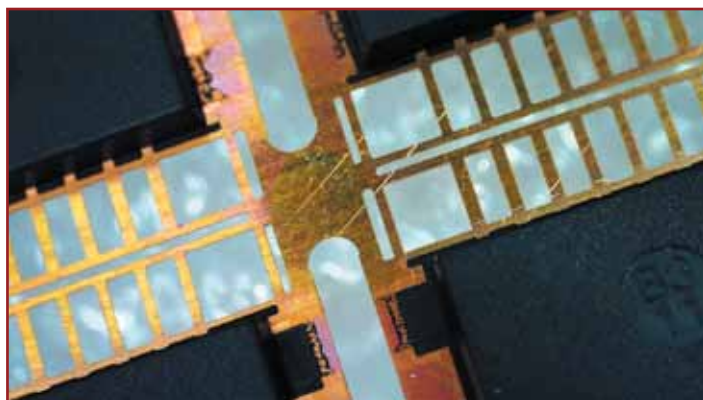


Рис. 2. Пример царапин на выводах

ские воздействия в процессе транспортировки и хранения. Пример царапины на поверхности вывода представлен на рис. 2.

Влияние глубоких царапин на качество продукции проявляется в нескольких аспектах. Наиболее значимый — нарушение паяемости, так как наличие глубоких царапин снижает площадь эффективного контакта, способствует образованию пустот в паяном соединении и может приводить к непропаям. С электро-технической точки зрения острые кромки царапин создают концентраторы напряжения, что снижает стойкость к электромиграции и может вызывать преждевременный отказ при работе в условиях повышенных токовых нагрузок. Изделия с глубокими царапинами требуют обязательной отбраковки, поскольку даже при сохранении первоначальной паяемости они существенно снижают надежность и долговечность конечного изделия в условиях эксплуатации.

Исследование выявило наличие сколов пластика (поверхностные повреждения кромок) на корпусах интегральных микросхем, не затрагивающие основные функциональные зоны (рис. 3).

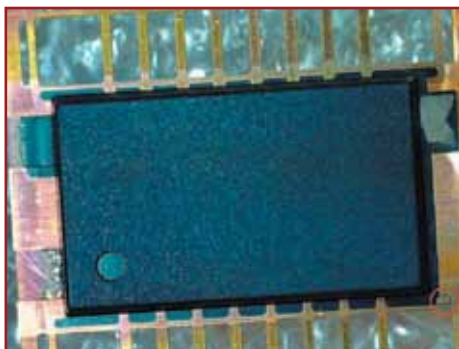


Рис. 3. Пример скола пластика

На изображении виден характерный краевой скол, расположенный в зоне, предназначенной для последующей обрезки при разделении изделий. Важно отметить, что подобные дефекты не влияют на эксплуатационные характеристики микросхем, поскольку не нарушают целостности основных функциональных зон корпуса. Сколы такого типа не критичны и не требуют отбраковки изделий.

Автоматизированный контроль поверхности выводов выявил наличие различных загрязнений, которые могут оказывать влияние на последующие процессы монтажа. Пример данного типа дефекта представлен на рис. 4.

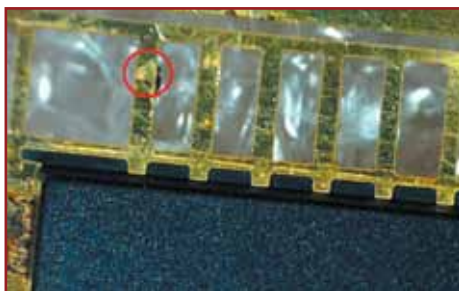


Рис. 4. Пример загрязнения на выводе

Основными источниками загрязнений являются технологические процессы, связанные с герметизацией, когда происходит контакт выводов с элементами пресс-формы. Дополнительными факторами становятся условия транспортировки и хранения изделий.

Влияние загрязнений на качество продукции проявляется в возможном ухудшении паяемых свойств выводов. Наличие загрязнений на контактных поверхностях может приводить к нарушению смачивания припоем и образованию дефектов паяных соединений. Кроме того, загрязнения могут способствовать развитию коррозионных процессов в ходе эксплуатации изделий. Проведенные исследования показали, что даже незначительные загрязнения требуют внимательного контроля, поскольку могут служить индикаторами нарушений технологического процесса.

Для минимизации загрязнений рекомендуется усилить контроль за состоянием производственного оборудования, оптимизировать параметры процессов транспортировки и хранения интегральных микросхем, а также регулярно проводить мониторинг чистоты производственной среды. Система автоматизированного контроля позволяет эффективно выявлять такие дефекты на ранних этапах производства, предотвращая выход некачественной продукции.

Исследование показало наличие наплывов пластика на участках вне функциональных зон. Данные дефекты характеризовались неравномерным распределением материала с преимущественной локализацией в периферийных зонах рамки. Пример данного вида дефекта представлен на рис. 5.

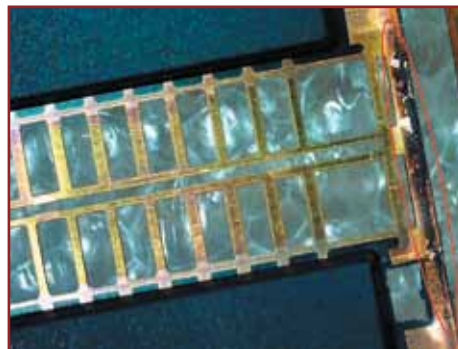


Рис. 5. Пример напыла пластика вне функциональной зоны

Образования напылов образуется на этапе герметизации микросхем в пластик. Влияние данных дефектов на функциональность изделия отсутствует, поскольку затронутые зоны подлежат удалению при последующей обрезке и формовке выводов.

Аналитический разбор эффективности автоматизированного программно-аппаратного комплекса контроля дефектов

Внедрение АПАК предоставило превосходную альтернативу ручным методам контроля, обеспечив значительные качественные и количественные преимущества, выходящие

за рамки простого обнаружения дефектов. АПАК полностью устраняет субъективность и непоследовательность, присущие человеческому визуальному контролю. Применяя единые, основанные на алгоритмах критерии к каждому изделию, комплекс гарантирует последовательные и воспроизводимые выводы по годности/браку изделий, независимо от квалификации оператора или его усталости. Эта объективность является основополагающей для установления надежных эталонов качества.

Для обеспечения целостности и эффективности работы автоматизированного программно-аппаратного комплекса применена системная методология, аналогичная подходам, используемым в сложных инженерных системах типа САПР. Комплекс включает следующие ключевые компоненты:

1. Техническое обеспечение — аппаратная платформа для захвата и обработки изображений.
2. Программное обеспечение — алгоритмы компьютерного зрения и машинного обучения для анализа дефектов.
3. Информационное обеспечение — база данных дефектов с возможностью накопления и ретроспективного анализа.
4. Математическое обеспечение — модели классификации и оценки параметров дефектов.
5. Лингвистическое обеспечение — интерфейсы взаимодействия оператора с системой.
6. Методическое обеспечение — регламенты проведения контроля и классификации дефектов.
7. Организационное обеспечение — интеграция АПАК в технологический процесс предприятия.

Такой структурированный подход позволил создать целостную систему, обеспечивающую высокую точность, воспроизводимость и интеграцию в производственный цикл.

Время автоматизированного цикла контроля составляет 2–5 с на одно изделие, что значительно превышает темп ручного контроля. Такая высокая пропускная способность делает возможным внедрение 100% контроля для критически важных продуктов — задача порой экономически нецелесообразная в случае с ручной проверкой.

Ключевым преимуществом является присущая системе возможность создавать и сохранять протоколы проверок. Каждый дефект регистрируется с соответствующим изображением, создавая поисковую базу данных. Это позволяет проводить мощный статистический анализ для выявления тенденций, обеспечивая обратную связь для целенаправленных корректирующих действий.

Конфигурируемость программного обеспечения позволяет проводить классификацию на основе множества параметров (тип дефекта, размер, цвет, местоположение и т. д.). Это позволяет не только принимать бинарные решения о приемке/отбраковке, но и отслеживать состояние процесса. Корреляция частоты определенных типов дефектов с конкретными производственными партиями может выявить

скрытые дрейфы процесса до того, как они приведут к серьезным отклонениям в качестве.

Результаты исследования демонстрируют, что АПАК становится не просто инструментом контроля, но и ключевым элементом цифровизации производственных процессов, обеспечивающим принципиально новый уровень прослеживаемости и управляемости качества продукции. При этом, по отзывам специалистов, российский комплекс по своему функционалу превосходит аналоги от мировых лидеров — японской МЕК Marantz Electronics, южнокорейской Koh Young Technology и китайской Jutze Intelligence Technology Co. [7].

Выводы

Проведенное исследование убедительно подтверждает высокую эффективность использования автоматизированного программно-аппаратного комплекса для контроля дефектов пластиковых корпусов интегральных микросхем. По результатам контроля дефектов сформулированы следующие основные выводы:

1. По результатам классификации дефектов: наиболее критичными являются глубокие царапины на рабочих поверхностях выводов, которые приводят к нарушению паяемости и создают концентраторы напряжения, что требует обязательной отбраковки таких изделий, загрязнения на выводах оказывают значительное влияние на качество паяных соединений и могут служить индикаторами нарушений технологического процесса, а сколы пластика на краевых участках корпуса и наплывы пластика вне функциональных зон не влияют на эксплу-

атационные характеристики и не являются браковочными признаками.

2. По эффективности автоматизированного контроля: АПАК позволил обеспечить контроль продукции с высокой пропускной способностью по несколько секунд на изделие, достигнута полная объективность и воспроизводимость результатов контроля благодаря алгоритмическим критериям оценки, создана комплексная система документирования и анализа дефектов.
3. По перспективам совершенствования производства: выявлена необходимость оптимизации процессов транспортировки и хранения для исключения механических повреждений, обоснована целесообразность усиления контроля чистоты производственной среды и оборудования, показана возможность использования накопленных данных для прогнозирования и предотвращения дефектов.
4. Структурированный подход позволил создать целостную систему, обеспечивающую высокую точность, воспроизводимость и интеграцию в производственный цикл. Таким образом, АПАК не только решил задачу эффективного выявления дефектов, но и создал основу для построения целостной системы управления качеством на производстве, обеспечивающей принципиально новый уровень прослеживаемости и управляемости технологических процессов.

Литература

1. «Микрон» запустил 2 сборочные линии при поддержке ФРП. www.cnews.ru/

[news/line/2024-03-21_mikron_zapustil_2_sborochnyh](https://news.line/2024-03-21_mikron_zapustil_2_sborochnyh)

2. «Ангстрем» запустит массовое производство чипов в пластиковом корпусе. www.cnews.ru/news/top/202404_angstrem_planiruet_im_portozamestit?ysclid=mkfu1sgs34542839521
3. Pittman L. D., Chance V. O., Renegar P. L. Use of Plastic Encapsulated Microcircuits (PEMs) in Military Equipment. www.nepp.nasa.gov/docuploads/C9B660A627EE-4A0FA75017DBA3AE94CE/Use2of%20PEMs%20in%20Military%20Equipment.pdf
4. Biddle S. R. Commercial Plastic Microcircuits — A Total Solution For Military Applications? www.nepp.nasa.gov/docuploads/6000C904-3093-44CA-96A78169BC195A26/Commercial%20Plastic%20Microcircuits%20A%20Total%20Solution%20For%20Military%20Applications.pdf
5. Вертянов Д. В., Беляков И. А., Погудкин А. В., Тимошенков С. П., Сидоренко В. Н. Исследование влияния механических и температурных воздействий на уровень напряжений и деформаций в герметизированных двумя типами компаундов трехмерных микросборках // Известия вузов. Электроника. 2022. № 27(1).
6. Юдахин Ю., д. и. н., Канарейкина Д., Юдахин Ю. Технология изготовления многовыводных рамок микросхем с применением прецизионной лазерной резки // Технологии в электронной промышленности. 2025. № 3.
7. Брак по расчетам: проверку микроэлектроники поручили роботу-инспектору с ИИ. www.iz.ru/1881663/andrei-korsunov/brak-po-rascetam-proverku-mikroelektroniki-porucili-robotu-inspektoru-s-ii