

# Надежность тестирования BGA-компонентов

**Основные проблемы при тестировании BGA-компонентов таковы: во-первых, необходимо избежать разрушения шариков припоя во время их контакта с контактными иголками (рис. 1), а во-вторых, получить стабильное сопротивление контакта. Определение распределения сопротивления контактов играет важную роль при оценке эксплуатационной надежности контактирующего устройства (соединителя). Ухудшение или нарушение контактов соединителя может значительно снизить результат первого теста и увеличить время повторной проверки. Исследования по деградации контактов соединителя, представленные в данной работе, могут быть использованы в качестве рекомендаций по обеспечению надежного контактирования.**

**Чин-Май Ко**  
(Ching-Mai Ko)

**Минг-Кун Чень**  
(Ming-Kun Chen)

**Ю-Цзунг Хуанг**  
(Yu-Jung Huang)

**Шень-Ли Фу**  
(Shen-Li Fu)

mkchen25@ms75.hinet.net

В представленном экспериментальном анализе деградации контактов при финишной проверке BGA-компонентов большое внимание уделяется изменениям, протекающим в соединителе. Электрические характеристики BGA-компонентов обычно проверяются с помощью разъемов с подпружиненными контактными иголками. Между контактными иголками и шариковыми выводами BGA-корпуса должно поддерживаться низкое и стабильное сопротивление контакта. В стандартных функциональных испытаниях низкое сопротивление контакта обеспечивается за счет механического разрушения промежуточного окисленного слоя на шарике вывода BGA-компонента. Авторы показывают экспериментальную процедуру исследования последствий загрязнений и разрушения коронообразных контактов в процессе функциональных испытаний BGA-компонентов.

Потребность в BGA-компонентах постоянно растет благодаря их низкой стоимости и высокой плот-

ности выводов. Поскольку требования к качеству и объемам производства постоянно ужесточаются, BGA-компоненты становятся все более популярной альтернативой платам с высокой плотностью выводов. Отсутствие выводов и использование пластиковых корпусов (PBGA) в значительной степени уменьшают проблемы компланарности и упрощают их применение (рис. 2). Кроме того, BGA-компоненты могут быть разного вида [1, 17]. Тестирование BGA-компонентов подтверждает обеспечение заданных параметров и качество и составляет большую часть производственных затрат.

Существенные потери возникают, если дефекты обнаружены после завершения процесса монтажа. Соединитель BGA-корпуса обеспечивает межсоединение выводов BGA-компонента с монтажным основанием. С увеличением плотности межсоединений шариковых выводов BGA-компонентов становится все труднее решать проблемы, связанные с уменьшением размеров, увеличением производительности процессов и возникновением новых технических проблем и вопросов. Самая большая проблема соединителей для BGA-компонентов заключается в том,

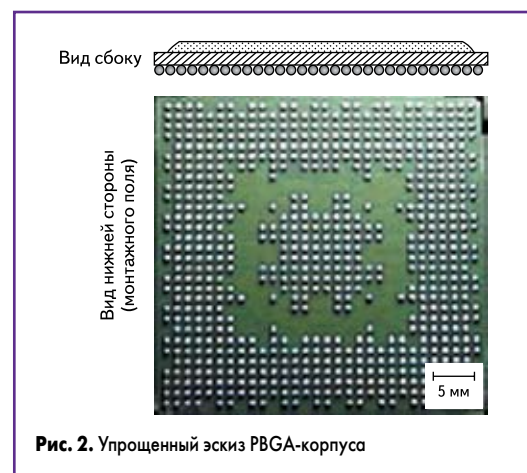
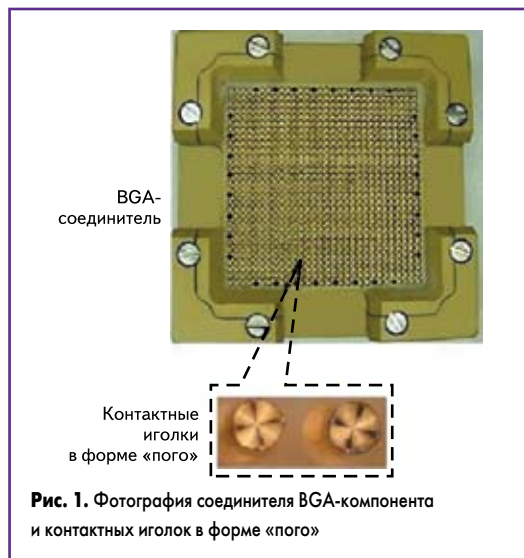


Таблица 1. Данные для BGA-технологий

Механизм контакта	S-образный контакт	Подпружиненная игла	Металло-наполненная паста
Контактное усилие, г	10–25	65–145	90–180
Сопротивление в контакте, мОм	<10	<20	~20
Индуктивность, нГн	<1	<3	Не определяется
Емкость, пФ	<0,1	<0,1	<0,1

чтобы избежать повреждений шариков в процессе контактирования с иглой и обеспечения стабильного контакта [3]. Для гарантии точности результатов измерений необходимо, чтобы между контактными иглками и шариковым выводом BGA-компонента сохранялось низкое и стабильное сопротивление контакта (табл. 1). В зависимости от назначения желательна величина сопротивления контакта, не превышающая 20 мОм [1–3].

В стандартном тестировании BGA-компонентов контактные иглки разъемов контактируют с шариками припоя, обеспечивая низкое сопротивление контакта за счет механического разрушения промежуточного слоя окисла. Однако в стабильности сопротивления контакта зачастую можно убедиться с помощью повторного контактирования этих иглок и шариков припоя: наблюдающиеся изменения — результат изменения поверхностей коронообразного наконечника контакта и окисленного слоя, а также накопления на поверхности наконечника частиц загрязнения от шариков припоя. Для сохранения низкого сопротивления контакта и стабильного электрического контактирования необходимо увеличить контактное усилие и регулярно очищать контактные поверхности. Однако приложение чрезмерного усилия создает большое количество следов на поверхности шарика, что не только увеличит риск постепенной деформации контактной иглки, но и негативно скажется на BGA-компоненте и его надежности. Более того, многократная абразивная очистка контактных поверхностей снижает срок службы соединителя (рис. 3). Поэтому необходимо найти компромиссное соотношение между величиной сопротивления контакта и количеством допустимых контактов между процедурами очистки поверхностей контактных наконечников.

Авторы анализируют поведение контактной поверхности на основе анализа ее дефектов. Эксперимент проводился для изучения эффекта нарушения контакта при тестировании интегральных микросхем в такой последовательности. Контакты соединителя контактируют с шариками припоя BGA-корпуса, после чего подводится питание и проводится процедура испытаний применительно к тестируемому устройству. Затем устанавливают определенное соотношение между контактным усилием и вибрацией, активирующей контактирование. После тестирования оцениваются контактные зоны соединителей и эффекты притупления коронообразного наконечника контактной иглки. Для этого используются оптический микроскоп, сканирующий электронный микроскоп и рентгеноспектральный

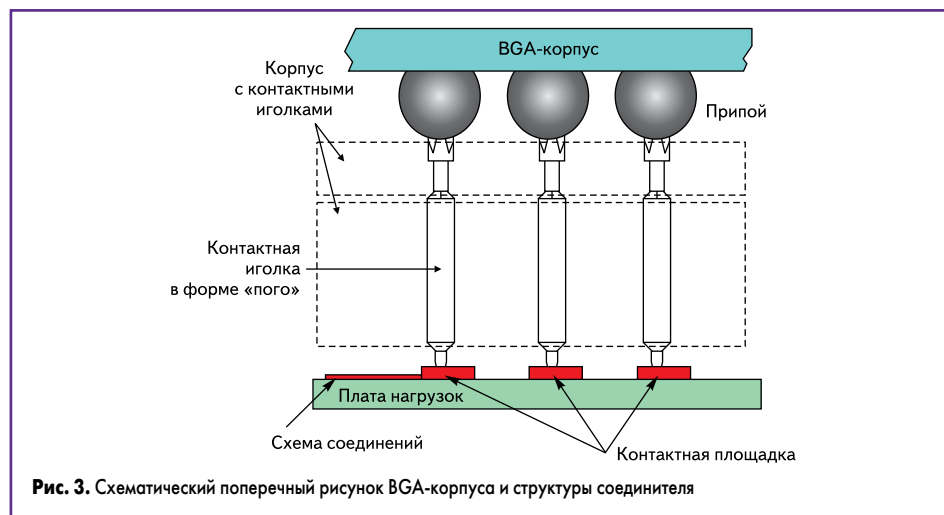


Рис. 3. Схематический поперечный рисунок BGA-корпуса и структуры соединителя

анализатор. Затем проводят сопоставление полученных данных анализа с изменениями сопротивления контакта. В заключение приводятся данные о нестабильности контактирования и влиянии загрязнений контактных поверхностей, основанные на результатах эксперимента.

### Средства эксперимента

В качестве объекта испытаний использовался PBGA-корпус площадью 32 мм<sup>2</sup> с 356 шариками (табл. 2). Такой корпус применяется в массовом производстве высокоскоростных устройств. Материал подложки — 4-слойный ламинат из бисмалеимид триазины (Bismaleimide Triazine, BT), слой фольгирования медью. Толщина паяльной маски составляет 70 мкм, толщина внутреннего слоя из бисмалеимид-триазиновой смолы — 150 мкм. Толщина препрега 100 мкм, толщина проводников на внутренних слоях 37 мкм, на наружном слое — 30 мкм. Эвтектический припой олово/свинец (Sn/Pb) образует шарики диаметром 0,63 мм высотой 1 мм.

Таблица 2. Условия эксперимента

Подложка корпуса	Бисмалеимид триазин (BT)
Шарики припоя	63/37 Sn/Pb
Покрытие контактной иглки	Au
Контактное усилие на иглонку, г	25
Температура, °С	23...25

Основной элемент соединителя для тестирования компонентов BGA-типа [4–8] — подпружиненная контактная иглонка (вертикальная или погообразная) с металлической спиралью (Elastomer) в цилиндре (S-shape). Соединитель BGA-компонента обеспечивает разобщенные электрическое и механическое соединения между BGA-корпусом и монтажной подложкой. Основная структура соединителя содержит также пластиковый корпус и металлические контактные наконечники [8, 9, 16].

Соединитель имеет такой же ответный рисунок и размер, как и BGA-корпус. Компоновка монтажного поля подложки зеркально повторяет поле выводов BGA-корпуса и соединителя. Плата подложки под соединителем имеет контактные площадки, плакированные медью,

расположенные в поле 32×32 мм, и образуют 356 контактных площадок с шагом 1,0 мм. Форма соединителя часто определяется монтажным полем на нижней стороне корпуса. Это обеспечивает подвод питания, заземления и сигнальных цепей за счет 348 проводников сигнальных связей. Каждый шарик вывода совмещен с контактом соединителя. Свободное расположение платы позволяет сферическим зажимам BGA-корпуса войти в контакт с иглками соединителя. Когда шарики припоя прижимаются к соединителю, острые края наконечника контактной иглки проникают сквозь пленку окисления, получается хороший контакт с мягким подслоем из припоя.

Пружинная контактная иглонка состоит из внешнего цилиндра, внутренней пружины, толкателя и наконечника в виде короны с четырьмя острями (рис. 4). Для наблюдения поведения пружинной иглки в реальном времени, когда она находится в обычном свободном положении и сжатом тестовом положении, применяется рентгеновская система получения микроизображений. Наиболее широко используемым материалом для контактных иглок является бериллий/медь с золотым покрытием, это позволяет увеличивать уровень прочности, технические характеристики и срок службы контакта. Покрытие из твердого золота предохраняет базовый материал контакта от окисления и позволяет



Рис. 4. Пружинная контактная иглонка BGA: а) свободное состояние; б) позиция при тестировании

избежать налипания припоя [9]. Для создания автономного узла контакта толкатель и коронообразный наконечник окружает внешний цилиндр. Внутренняя пружина разработана таким образом, чтобы внутри цилиндра создавался эффект подмагничивания, тогда наконечник прижат к торцу внешнего цилиндра. При этом электрический ток проходит по наконечнику, цилиндру и толкателю, наконечник контактной иголки выскакивает из цилиндра [10]. Наконечник в виде короны позволяет уменьшить ослабление контакта с шариком припоя.

### Средства и методика эксперимента

Большое количество следов от касаний может привести к нарушению контакта (табл. 3). В соответствии с этим результаты, полученные для периферийной области, могут быть распространены в качестве допущения на другие позиции соединителя. Для анализа интенсивности износа отбирался случайный образец с производственной линии, и в тот же день проводились электрические измерения (рис. 5). Следы касания иголок с шариками припоя изучались после 6830, 13 630, 20 810, 27 550 и 36 580 касаний. Для того чтобы убедиться, что все условия разрушения поверхности соответствовали тем условиям, что получены в процессе производства, контактная поверхность коронообразного наконечника после каждых 2000 касаний очищалась сжатым воздухом.

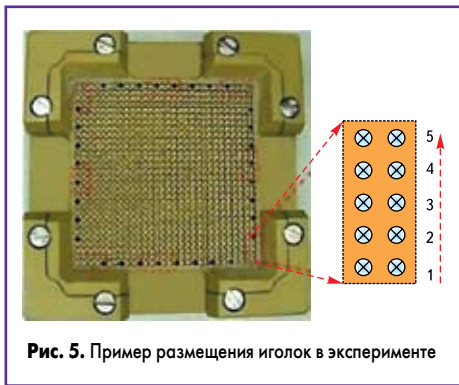


Рис. 5. Пример размещения иголок в эксперименте

Таблица 3. Анализ разрушения образца

	Количество касаний
День 1	6830
День 2	13 630
День 3	20 810
День 4	27 550
День 5	36 580

### Результаты

Анализ проводился с использованием аппаратуры исследования поверхности с помощью нескольких методов, а именно оптического микроскопа, сканирующего электронного микроскопа и рентгеноспектрального анализатора. Для анализа структуры и химического состава шарика припоя и контактной поверхности применяли оптический микроскоп и сканирующий электронный микроскоп.

Проводилось наблюдение над элементами деструкции, появляющимися на поверхности контакта. Анализ поверхности контактов соединителя позволяет получить информацию о возможном повреждении поверхности, содержащей различные включения и загрязнения. Свойства поверхности контактирования на шарике припоя играют важную роль в процессе функционального тестирования. Свойства поверхности и скорость съема материала оценивались при анализе загрязняющего материала.



Рис. 6. Изображение следа на шарике припоя после контакта с коронообразным наконечником

Шарик припоя после касания его коронообразным наконечником (изображение получено с помощью оптического микроскопа) показан на рис. 6. Стрелки на изображении указывают на область, где остались следы контакта с шариком припоя после завершающего тестирования. В BGA-технологиях поверхность шарика припоя не должна сильно нарушаться и разрушаться контактными зондами. Появление на поверхности шарика припоя следов разрушения, вмятин или выбоин может привести к накоплению в этих местах флюса, что, в свою очередь, приводит к плохому соединению в процессе пайки. Кроме того, любое появление вмятины на шарике припоя может увеличить проблему полной компланарности, что нарушает условия качественного монтажа устройств.

Для наблюдения за поверхностью контакта (рис. 7) после 2 часов функционального тестирования исследователи использовали оптический



Рис. 7. Изображение загрязненной поверхности разъема, полученное оптическим микроскопом

микроскоп. Показано, что по поверхности разъема и контактной иголки распределены загрязняющие частицы. Поверхность контакта покрывается слоем, содержащим загрязнения. С каждым касанием количество примесей и загрязнений постепенно увеличивается, это является причиной нарушения контакта. Анализ изображения использованного разъема и BGA-подложки, полученного на электронном микроскопе, проводится при 150-кратном увеличении, что позволяет наблюдать за областью с включениями в наиболее подходящих условиях.

На рис. 8 показаны изображения загрязняющих покрытий поверхности разъема, полученные на электронном микроскопе. Результаты подтверждают, что загрязняющие включения на поверхности разъема появились после последнего повтора функционального тестирования. Как обсуждалось выше, эти загрязняющие включения увеличивают сопротивление контакта между контактными иголками и шариком припоя, и поэтому для получения надежных результатов измерений разъем должен периодически очищаться, хотя установить подходящий график очистки только с помощью подсчета точного количества частиц, оставшихся на коронообразном наконечнике, невозможно. Поэтому во время данного исследования и уделялось повышенное внимание загрязняющим включениям BGA-корпуса. Подходящий график очистки можно установить с помощью проверки соотношения между первым результатом тестирования, величиной контактного усилия и количеством касаний контактной иголки.

Обычно величина усилия контактирования определяется используемым соединителем для конкретного BGA-компонента. Однако для получения стабильного сопротивления контакта, когда коронообразный наконечник загрязнен частицами поверхности, может потребоваться большее контактное усилие. На рис. 9 и 10 представлены изображения вольфрамового наконечника, полученные на электронном микроскопе, для 6830-го и 36 580-го контактного касания соответственно: можно видеть эффект притупления зондов. Корреляция между эффектом притупления контактных кромок и количеством касаний в день в условиях реального тестирования

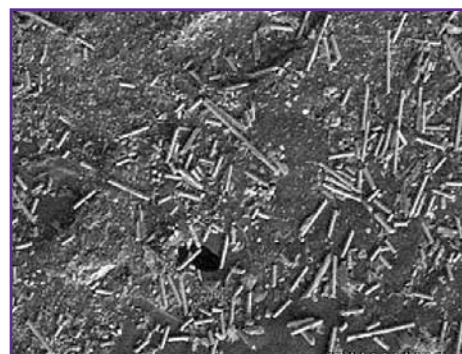
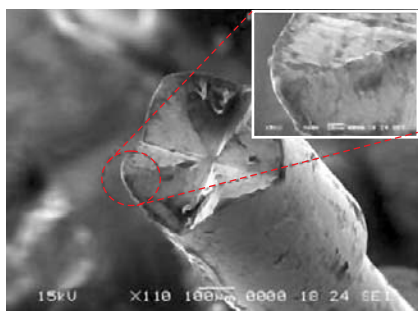
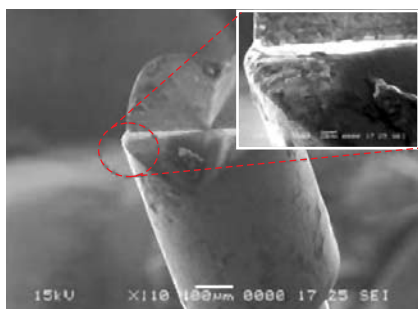


Рис. 8. Изображение поверхности разъема со слоем осажденного металла и промежуточного слоя подложки, полученное сканирующим электронным микроскопом



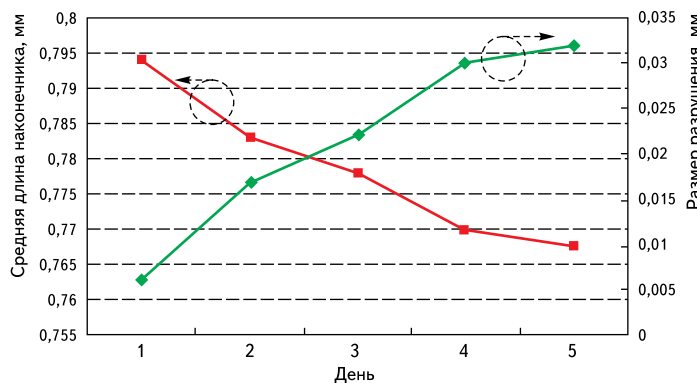
**Рис. 9.** Изображение, полученное сканирующим электронным микроскопом, показывающее разрушение коронообразного наконечника после 6830 касаний



**Рис. 10.** Изображение, полученное сканирующим электронным микроскопом, показывающее разрушение коронообразного наконечника после 36 580 касаний

очень важна. После пяти дней тестирования схем по мере увеличения количества касаний высота коронообразной головки уменьшается (рис. 11). Измерения средней длины наконечника и размера изнашивания показывают, что величина истирания коронообразного наконечника связана с количеством касаний.

Для получения лучшего электрического контакта контактная иглолка покрыта золотом. При измерениях, проведенных с помощью рентгеноспектрального анализатора, можно видеть, как ведет себя золотая вершина на 6830-ом касании. Когда коронообразный наконечник контактной иглолки на 36 580-ом касании был поврежден, анализатор показал появление никеля — подслоя материала контактной иглолки (рис. 12). Изнашивание и площадь контакта увеличиваются, в то же



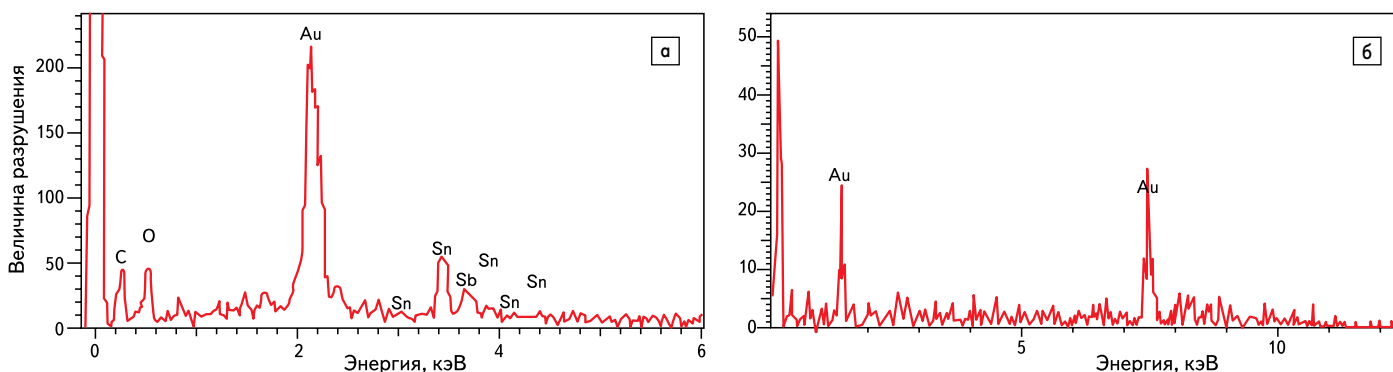
**Рис. 11.** Разброс количества касаний для разрушения коронообразного наконечника

время контакт для тестирования становится менее стабильным. Изношенная поверхность неравномерная и неровная. Как обсуждалось выше, износ контактных иглолок — это результат перемещений, трения, он может привести к ухудшению, разрушению поверхности контактного контакта, что, в свою очередь, сказывается на стабильности сопротивления контакта. Для получения хорошего соединения желательно отшлифовать поверхность. Воздействие частиц пыли, лежащих на отшлифованной поверхности коронообразного наконечника, может сказываться на качестве контакта, так как поверхность наконечника — это основная активная область; частицы, лежащие внутри области контакта, могут увеличивать сопротивление контакта и уменьшать глубину проникновения в шарик припоя. На практике электрический контакт устанавливается в отдельных точках, определенных локализованными местами, содержащими неровности, шероховатостей поверхности [11, 12]. Если поверхность контакта чистая, увеличение сопротивления контакта происходит за счет уменьшения величины тока в точках контакта. Сопротивление контакта в данных точках зависит от механической контактной нагрузки [11] и обычно варьируется от субмикрона до нескольких десятков микрон. Распределение величины сопротивления контакта для одного коронообразного наконечника в области высокого сопротивления имеет значительное влияние на надежность передачи сигнала.

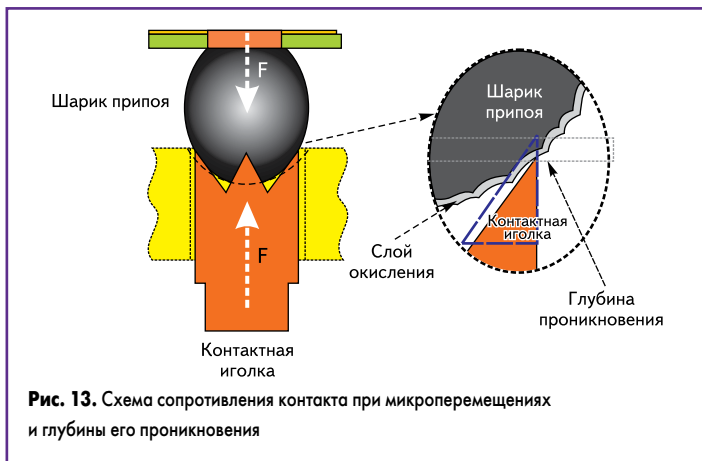
Слой с загрязняющими включениями нарушает надежность электрического сигнала, увеличивая сопротивление контакта. Даже

на поверхности контакта, покрытой только пленкой окисления, существует возможность получения низкого сопротивления контакта — посредством увеличения силы сжатия пружины и увеличения силы выталкивания наконечника. Контактные иглолки входят в контакт с шариками припоя, и так как они проникают сквозь слой окислений и слой загрязняющих включений, на поверхности наконечника образуется электрический контакт. Повреждения могут неблагоприятно влиять на качество поверхностного монтажа печатных плат, приводить к росту дополнительных расходов, понижая уровень выхода годного продукта.

Результатом поломок, разрушения или загрязнения контактных иглолок может стать и неисправность соединителя. Главная причина брака — это загрязненная контактная поверхность. Частицы пыли являются причиной нарушения электрического контакта, что серьезно влияет на надежность устройства [13–15]. Распределение сопротивления контакта играет важную роль при оценке эксплуатационной надежности тестирующего устройства [16]. При увеличении контактного усилия иглолок реальная площадь контакта обычно меньше загрязнена, чем окружающая ее область. Однако микроперемещения, вызванные вибрацией удерживающего и тестирующего устройств, могут сместить реальную контактную область в окружающую область, содержащую загрязнения, что приводит к нарушению контакта. Такие микроперемещения показаны на рис. 13. Указано, что данное нарушение контакта вызвано и вибрацией, и загрязнениями. Поэтому при вибрации



**Рис. 12.** Диаграмма, полученная спектральным анализатором, для разрушенного коронообразного наконечника а) для 6830 касаний; б) для 36 580 касаний



**Рис. 13.** Схема сопротивления контакта при микроперемещениях и глубины его проникновения

или динамических испытаниях нового разъема нарушение контакта невозможно обнаружить.

Наибольшие проблемы при тестировании BGA-компонентов заключаются в том, чтобы избежать разрушения шариков припоя в результате контактного усилия, а также получить стабильное сопротивление контакта [3]. Большая величина контактного усилия является причиной уменьшения исходного значения сопротивления контакта ( $R_C$ ). Сопротивление контакта контактных групп, покрытых пленкой, состоящей из загрязнений, может быть представлено как [12, 18]:

$$R_C = \frac{\rho_b P_p}{2} \sqrt{\frac{H\pi}{F_C}} + \frac{\rho_b P_f}{F}$$

где  $F_C$  — контактное усилие,  $H$  — степень твердости материала контактов,  $\rho_b$  — специальное сопротивление материала контакта,  $P_p$  — фактор покрытия финишным материалом контакта базового металла,  $P_f$  — удельное электрическое сопротивление проводящей пленки, состоящей из загрязнений, покрывающих поверхность контакта. Поэтому сопротивление контакта — это функция, зависящая от величины контактного усилия и силы сжатия пружины.

Ухудшение и нарушение контакта соединителя может значительно снизить результат первого теста и увеличить время повторной проверки. Параметры электрического контакта в функциональных испытаниях зависят от механической и электрической стабильности соединения поверхностей. Вследствие окисления, загрязнения поверхности или электрической нестабильности может произойти разрушение шарика припоя BGA-компонента. Авторы с помощью анализа поверхности контактных иголок и контактных площадок подложки из бисмалеимида триазина показали, что из-за разрушения и износа поверхности подложки и разъема на данных поверхностях образуется слой частиц стекловолокна и металла. Частицы из стекловолокна и металла нарастают на короннообразном наконечнике контактной иглолки, при этом величина электрического сопротивления между наконечником и шариком припоя возрастает, это создает условия низкого выхода годного продукта при тестировании плат. Исследования по нарушению контакта, представленные в данной работе, могут быть использованы в качестве рекомендаций по получению хорошего контакта. Положительный результат может способствовать повышению эффективности работы, производительности и прибыльности из-за снижения количества повторных проверок. Кроме того, возможно уменьшение стоимости содержания тестового оборудования, увеличение надежности функционального тестирования, повышение выхода продукции с первого предъявления, уменьшение времени проведения повторных проверок и устранение получаемой ошибочной информации о «хороших деталях».

*Данное исследование частично финансировано Национальным советом по науке, Тайвань, R. O. C. Грант NSC97-2218-E-214-001.*

#### Литература

- Marrs R. C. et al. Ball Grid Array Technology. McGraw-Hill Book Company Inc. USA, 1995.
- Advanced Semiconductor Engineering Inc. ([www.asetwn.com.tw](http://www.asetwn.com.tw))
- Siliconware Precision Inc. ([www.spil.com.tw](http://www.spil.com.tw))
- Qiao Q. et al. Development of a Wafer-Level Burn-In Test Socket for Fine-Pitch BGA Interconnect. Proceedings, 50th Electronic Components and Technology Conference. May 2000.
- Chowdhury S. et al. A MEMS socket system for high density SoC interconnection. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2002. ISCAS 2002. Vol. 1.
- Shih D. Y. et al. New ball grid array module test sockets. Proceedings, 46th Electronic Components and Technology Conference. May, 1996.
- Chan B., Singh P. BGA sockets a dendritic solution. Proceedings, 46th Electronic Components and Technology Conference. May. 1996.
- Liu W., Pecht M., Martens R. IC Component Sockets: Applications and Challenges. IMAPS, Vol. 24, No. 1, First Quarter. 2001.
- Chen M. K. et al. Electrical Characterization of BGA Test Socket for High-Speed Applications. 4th International Symposium on Electronic Materials and Packaging. Kaohsiung, Taiwan, 2002.
- Knudsen R. Good Contact Design Improves Test Performance in BGA/CSP Applications // Chip Scale Review. May, 1998.
- Holm R. Electric Contacts, Theory and Applications. Springer-Verlag. Heidelberg, 2000.
- Mroczkowski R. Electronic Connector Handbook: Theory and Applications. New York: McGraw-Hill, 1998.
- Zhang J. G., Wen X. M. The Effect of Dust Contamination on Electric Contacts. IEEE Trans-CHMT. Vol. CHMT-9, No. 1. 1986.
- Boyer L. et al. Electrical and Physical Modeling of Contact defect Due to Fretting. IEEE Trans-CPMT. Vol. 17, No. 1. 1994.
- Xie J. et al. Assessing the Operating Reliability of Land Grid Array Elastomer Sockets. IEEE Trans-CPMT. Vol. 23, No. 1. 2000.
- Liu W., Pecht M. IC Component Sockets. New Jersey: John Wiley & Sons, 2001.
- Wu J., Pecht M. G. Contact Resistance and Fretting Corrosion of Lead-Free Alloy Coated Electrical Contacts. IEEE Trans-CPMT-A. Vol. 29, No. 2. 2006.