

Это происходит по причине того, что системные параметры компенсируют друг друга: если одна линза направляет луч за пределы оптического пути, другая возмещает отклонение направляя луч снова на линию.

Выводы

С помощью метода Монте-Карло были проведены моделирующие и тестирующие исследования чувствительности оптической системы к технологическим смещениям, и установлено, что даже минимальные изменения в позиционировании имеют значительное влияние на появление потерь, вызванных микролинзами.

Данный математический метод моделирования целесообразно применять на этапах проектирования и контроля технологии изготовления МОЭМС – переключателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Rebeiz G. *RF MEMS: Theory, Design and Technology [Text]*. – Wiley/IEEE Press, 2003, p. 202–211.

2. Аваев Н.А., Шишкин Г.Г. *Электронные приборы [Текст]: Учебник для вузов/ Под ред. проф. Г.Г.Шишкина. - М.: Изд-во МАИ, 2005 г. -102с*

3. Н.И. Мухуров *Электро-механические микро-устройства/ Н.И. Мухуров, Г.И. Ефремов. Минск «Беларусская наука», 2012. – 259с.*

4. Olsson R. H., Fleming J. G., El-Kady I. F. et al. *Micromachined Bulk Wave Acoustic Bandgap Devices [Text]. – International Conf. on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, June 2007, p.317–321.*

5. Dec, A. *Electro-Mechanically Tunable Capacitors and Their Applications to RF IC's Micromachined [Text] / A. Dec, K. Suyama // IEEE Transactions on microwave theory and techniques. - 2009. - Vol. 46, NO 12. - Pp. 489-492.*

6. Ланцов В.Н. *Состояние в области проектирования микроэлектромеханических систем [Текст] / В. Н. Ланцов, О. В. Рудаков, С.В. Маскеев // Владимир. - 2009. - 31 с.*

УДК.624.315.21

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ СВАРКИ УЛЬТРАЗВУКОМ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ГИБКИХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В.В. Невлюдова, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

В данной работе рассматривается процесс формирования микросоединений методом сварки ультразвуком при изготовлении гибких печатных плат, проанализировано влияние технологических факторов и конструктивных параметров на механизм образования сварного соединения.

У даній роботі розглядається процес формування мікроз'єднань методом зварювання ультразвуком при виготовленні гнучких друкованих плат, проаналізовано вплив технологічних чинників і конструктивних параметрів на механізм утворення зварного з'єднання.

In this paper the process of making a reliable microbonds by ultrasonic bonding in the flexible-rigid boards manufacture is examined, the influence of technological factors and constructive parameters on the microbonds formation mechanism is analyzed.

Ключевые слова: микросоединение, ультразвук, показатель качества, полиимид, сварка

Введение

При современном развитии радиоэлектронной промышленности и с появлением больших интегральных схем (БИС) и сверхбольших интегральных схем (СБИС) стало очевидно, что прежние методы конструирования и монтажа печатных узлов радиоэлектронных устройств не могут обеспечить выполнение требований, которые предъявляются к ним, те же корпуса БИС и СБИС с

числом выводом более 100 и шагом между ними менее 0,25 мм, поэтому были предложены новые методы, так называемого поверхностного монтажа (SMT, COB, TAB, COF технологии). При поверхностном монтаже элементы располагаются не на штыревых выводах, вставленных в соответствующие отверстия в печатной плате или припаянные к соответствующим лепесткам, а непосредственно к контактным площадкам на печатной плате, сформированнымb токоведущими дорожками, либо для монтажа используются специальные носители, изготовленные из гибких материалов (полиимид, лавсан, полиэфир).

Гибкие печатные платы (ГПП) – в условиях микроминиатюризации изделий современной электронной техники обеспечивают ряд преимуществ при создании электросоединений в приборах как стационарных, так и подвижных конструкций. Устойчивость к перегибам позволяет использовать ГПП в конструкциях радиоэлектронных изделий (РЭИ), позволяющих неоднократно складывать их в книжку или свертывать в рулон. Конструктивно выполняемые по принципу организованных выводов они обеспечивают уменьшение габаритов и веса РЭИ, возможность применения автоматизированных процессов их сборки и монтажа, снижая тем самым трудоемкость технологического процесса и повышая надежность. Все это позволило для РЭИ на основе ГПП найти широкое применение в различных областях:

- автомобильная электроника (панели, системы контроля);
- бытовая техника (фотокамеры, видеокамеры, калькуляторы);
- медицина (слуховые аппараты, сердечные стимуляторы);
- вооружение и космос (спутники, панели, радарные системы, приборы ночного видения);
- компьютеры (печатающие головки принтеров, управление дисками, кабели);
- промышленный контроль (коммутирующие приборы, нагреватели);
- инструменты (рентгеновское оборудование, счетчики частиц).

Основные преимущества использования ГПП в конструкциях изделий радиоэлектроники:

- динамическая гибкость;
- уменьшение размера конструкции;
- уменьшение веса (50 - 70% при замене проводного монтажа, до 90% при замене жестких плат);
- улучшение эффективности сборки;
- уменьшение стоимости сборки (уменьшение числа операций);
- увеличение выхода годных при сборке;
- улучшение надежности (уменьшение числа уровней соединений);
- улучшение электрических свойств (унифицированные материалы, волновое сопротивление, уменьшение индуктивности);
- улучшение рассеивания тепла;
- возможность трехмерной конструкции упаковки;
- совместимость с поверхностным монтажом компонентов (совместимость по коэффициенту расширения);
- упрощение контроля (визуального и электрического).

В производстве гибких печатных плат широко используются технологические процессы сборки и монтажа. Для обеспечения надёжности конструкции ГПП существует потребность в реализации необходимых конструктивно-технологических характеристик микросоединений [1-3].

На сегодняшний день наиболее перспективным методом получения монтажных соединений в микроэлектронике является ультразвуковая сварка [1]. По сравнению с другими методами формирования соединений метод сварки при помощи ультразвука обладает целым рядом преимуществ: простотой использования; технологичностью; широкими возможностями для автоматизации технологического процесса монтажа. Кроме того, прочность сварного микросоединения близка к прочности исходных соединяемых элементов микросхем; сварное соединение имеет минимальное омическое сопротивление; основные параметры процесса соединения (температура нагрева, удельное давление и длительность выдержки) являются минимальными, что позволяет исключить повреждения элементов схемы; ультразвуковая сварка позволяет выполнять соединение материалов разнообразных

сочетаний и типоразмеров; после соединения не остаётся материалов, вызывающих коррозию.

Влияние технологических факторов на процесс образования сварных микросоединений может привести к отклонению их параметров от ожидаемых, что обуславливает необходимость детального анализа влияния технологических факторов на механизм формирования соединений в ГПП методом ультразвуковой (УЗ) сварки.

Влияние конструктивно-технологических факторов на кинетику формирования сварных микросоединений

Качество и надежность соединений металлических микровыводов ГПП во многом определяется правильным выбором конструктивно-технологических параметров сварных узлов, обеспечением металлургической совместимости, соединяемых микровыводов, высокой электропроводности, механической прочности и минимизацией напряженно-деформированного состояния структурных компонентов микросоединения.

Прочность и надежность соединения типа А1-А1 характеризуются высокими показателями вследствие отсутствия гетерогенных диффузионных процессов в процессе сварки и при последующем температурном старении. Так, при ускоренных испытаниях (выдержка при 300 °С в течение 150 час) целостность сварных соединений А1-А1 сохраняется, а при отрыве проволоки происходит разрыв в месте перехода вывода в сварное соединение. Металлографический анализ косых микрошлифов показал, что зона взаимодействия А1-А1 имеет металлический блеск и незначительные включения окислов алюминия [5].

Однако при чрезмерной деформации выводов (более 60%) и при непараллельности поверхности кристалла относительно торца инструмента имеет место (до 4%) предельно низкое усилие на отрыв – $13 \cdot 10^2$ Н.

Использование плоских ленточных выводов в конструкции гибких коммутационных структур вместо проволоки позволяет во многом избежать проблем, связанных с переменным сечением проволоки (диаметр 30 мкм), так как ширина ленточного вывода (фольги) составляет 100-200 мкм и фактор разнотолщинности сглаживается за счет интегральной картины сварного микросоединения. К тому же ленточный вывод гибкого носителя поступает на сварочный монтажный стол в готовом виде и не подвергается внешним воздействиям протяжных механизмов, как в случае подачи проволоки.

В условиях формирования сварного микросоединения плоских алюминиевых выводов гибкой печатной платы дополнительных требований к материалу проводникового слоя по сравнению с проволочным способом сборки ранее не предъявляется [3]. Однако, экспериментально установлено, что толщина слоя алюминиевой металлизации на ГПП должна быть не менее 10 мкм. Уменьшение толщины ведет к снижению прочности сварного соединения микровыводов ГПП (рис.1).

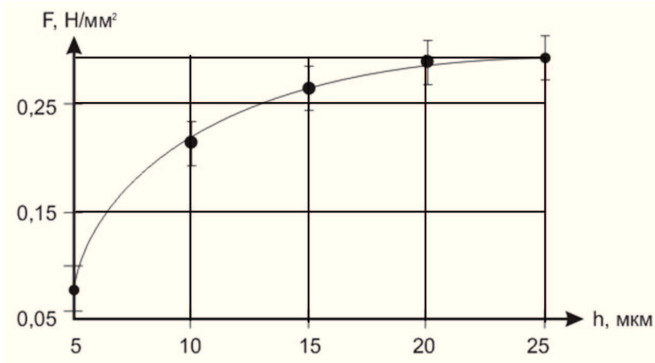


Рис. 1. Зависимость прочности микросоединения от толщины слоя алюминия на полиимидной подложке

Процесс соединения проволочных выводов с металлизированными контактными площадками на полиимидной подложке изучен достаточно полно [1-5]. Для случая соединения ленточных выводов картину кинетических закономерностей формирования соединения, в основном, следует считать идентичной предыдущему случаю за исключением некоторых допущений, связанных с геометрией привариваемого вывода и профилем торца инструмента. Кинетика формирования соединения в реальном масштабе времени ранее подробно изучалась [3, 4] с помощью регистрации осциллограмм, изменения температуры в зоне сварки, контактного электросопротивления на границе сварочный инструмент - проводник или проводник-проводник, записи акустической эмиссии (рис. 2, 3).

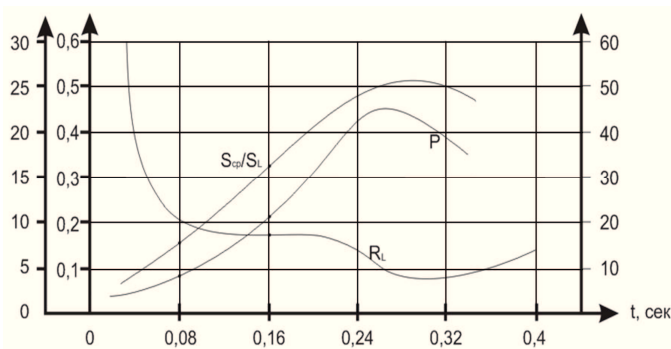


Рис. 2. Характер изменения прочности (P) и электросопротивления (R_k) контакта, отношения площади сварного соединения (S_{св}) к общей площади контакта S_к от времени (t) для контактных пар Al-Al при УЗ-микросварке

Кинетику формирования соединений при УЗ-микросварке подобных образцов можно представить следующим образом. До включения ультразвуковых колебаний (УЗК) под действием статически приложенной нагрузки на инструмент из-за деформации проводника создается некоторая первоначальная площадь контактирования по границам раздела инструмент – металлический проводник и металлический проводник – металлический проводник.

После включения УЗ-колебаний в результате активирующего действия ультразвука, снижающего

предел текучести алюминия, облегчается пластическая деформация проводника и идет интенсивная осадка его, о чем свидетельствует резкое возрастание ширины контакта и интенсивности акустической эмиссии. При этом из-за наличия канавки (канавок) на рабочем инструменте процессы трения сначала идут, в основном, на контактной поверхности металлический проводник – металлический проводник, что и подтверждают экспериментальные данные по резкому последующему спаду R_k (рис. 2). На этой стадии в зоне трения происходит значительное тепловыделение, которое резко повышает температуру в зоне сварки (рис.3), способствуя ускоренной пластической деформации проводника.

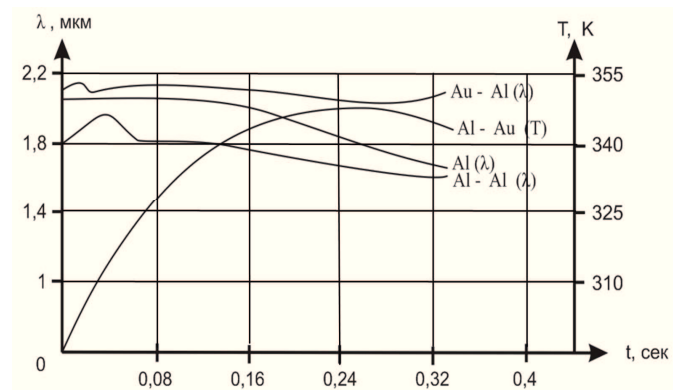


Рис. 3. Характер изменения температуры T и амплитуды колебаний (λ) для контактных пар при ультразвуковой сварке

Таким образом, УЗ-колебания при сварке, прежде всего, создают условия для быстрого формирования физического контакта. Одновременно с этим происходит активация контактных поверхностей, приводящая к образованию очагов взаимодействия в условиях пластической деформации алюминия. При осадке алюминиевого проводника окисная пленка на нем растрескивается и в зону контакта выходит чистый алюминий, растекание которого по поверхности способствует удалению из зоны сварки загрязнений и осколков окисных пленок.

При наличии УЗ колебаний в зоне контакта резко возрастают касательные напряжения за счет интенсивного перемещения трущихся поверхностей, что приводит к локализации пластической деформации в поверхностных слоях и резкому градиенту плотности структурных дефектов у контактной поверхности.

Под действием структурной и термической активации в зоне трения образуются первые дискретные очаги взаимодействия, разрастающиеся затем в результате протекания диффузионных процессов, которые значительно ускоряются в условиях пластической деформации проводника и трения его по поверхности контакта с одновременным наложением ультразвукового поля [3, 5]. Естественно предположить, что при УЗ-микросварке под влиянием необычайно больших пластических деформаций в приконтактных слоях и кратковременных температурных вспышек,

возникающих в зоне трения, первые очаги взаимодействия образуются при относительно небольшом увеличении температуры. Наличие первых очагов взаимодействия при очень малых временах сварки подтверждается экспериментально с помощью металлографических исследований [4], и, кроме того, контакты, полученные за такое малое время сварки, обладают уже некоторой прочностью, но суммарная площадь очагов взаимодействия при этом мала (рис.2).

В дальнейшем, с увеличением площади контактирования и плотности очагов взаимодействия, сопротивление перемещения металлического проводника верхнего слоя относительно микропроводника нижнего слоя возрастает настолько, что, в основном, происходит перемещение инструмента уже относительно верхнего проводника. При этом резко возрастает падение напряжения на границе раздела инструмент-проводник. Эта граница и является теперь источником тепла. Следует отметить, что температура в зоне сварки под действием обоих источников тепла, которые как бы меняются местами, все время растет до определенного момента (рис. 3).

Характерно, что при достижении максимальной температуры в зоне сварки происходит вторичная осадка проводника. Это хорошо подтверждается резким падением напряжения, а также резким падением R_K . Кроме того, этому временному интервалу соответствует наиболее интенсивный рост площади $S_{св}$, ($S_{св}/S_K$) и, соответственно, прочности сварки P (рис. 2). Причем, максимальный прирост прочности сварки происходит, в основном, за время активной деформации проводника. Перегибы на кривых R_K соответствуют задержке по деформации проводника из-за деформационного упрочнения алюминия в процессе первичной осадки и резкого уменьшения удельного давления сварки из-за прироста площади контактирования свариваемых материалов при постоянной величине нагрузки на сварочный инструмент. С увеличением параметров УЗ сварки отдельные стадии процесса накладываются друг на друга.

Выводы

Исходя из рассмотренных закономерностей кинетики формирования микросоединения в процессе ультразвуковой сварки можно сделать вывод, что прочность и надёжность соединений на заданном в

технической документации уровне обеспечивается рядом фаз протекания процесса:

- образованием первоначальной площади контактирования по границе раздела инструмент – металлический проводник и границе раздела соединяемых металлических проводников;

- активирующего действия ультразвука, приводящего к пластической деформации и осадке проводника с резким возрастанием ширины контакта и интенсивности акустической эмиссии;

- резкому повышению температуры и пластической деформации проводника.

Оптимальный режим процесса микросварки характеризуется достижением максимальной прочности соединения при минимальном электрическом сопротивлении контакта. При этом заметное влияние на параметры режима сварки оказывает состояние поверхности используемых материалов, соотношение размеров зоны контактной микросварки и микропроводников, конструктивные параметры гибкой печатной платы.

Таким образом, детальный анализ технологических факторов, приведенный в работе, позволяет использовать результаты при проектировании перспективных технологических процессов изготовления РЭА с применением УЗ-микросварки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Борцов, В.Н. Исследование и выбор оптимальных технологических режимов сварки для автоматизации монтажа гибких алюминий-полиимидных микрокабелей [Текст] / В.Н. Борцов, И.Ш. Невлюдов, М.А. Проценко, И.Т. Тымчук, И.С. Хатнюк // *Технология приборостроения -2011.- №1.- С.3- 8.*
2. Хмелев, В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности [Текст] / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203с.
3. Хмелев, В.Н. Ультразвук. Аппараты и технологии: монография [Текст] / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, С.С. Хмелев, С.Н. Цыганок. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2015. – 687 с.
4. Балабанов, В.Т. Технология создания плоских микромодулей для приборов бесконтактной идентификации [Текст] : автореф. дис. к.т.н. : / В. Т. Балабанов ; [Московский гос. ин-т электронной техники]. – М., 2008. - 26 с.
5. Заводян, А. В. Анализ сборочно-монтажных процессов производства электронных средств [Текст] / А. В. Заводян, А. М. Грушевский. - М.: МИЭТ, 2005. - 200 с.