

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
УДК 621.382.049.77

Нгуен Жа Виен

Ультразвуковая микросварка проволочных выводов интегральных схем с активацией импульсами электрического тока

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-39 80 03 «Электронные системы и технологии»

Научный руководитель
Ланин Владимир Леонидович
профессор кафедры ЭТТ
профессор, доктор технических наук

Минск 2022

ВВЕДЕНИЕ

Технология ультразвуковой сварки представляет собой соединение деталей под воздействием ультразвуковых волн, которые преобразуются в механические колебания и вызывают пластическую деформацию плоскостей в месте их соприкосновения, одновременно разрушая оксидные пленки. Свойства металлов почти не изменяются.

Сфера промышленного применения данного вида сварки достаточно широка. Используется для соединения проволоки, фольги, термочувствительных материалов. Современное автомобилестроение и производство звуковой техники также не обходятся без ультразвуковой сварки. Этот метод ценится за высокую производительность, точность и прочность, а также возможность сваривать различные сплавы, для которых обычная сварка недоступна.

Микроразводка проводов ультразвуковой микросваркой – наиболее распространенный метод создания контактных соединений между кристаллом и внешними выводами электронных компонентов, обеспечивающих функциональность в меньших и менее дорогих корпусах, которые собираются по технологии проводного микромонтажа с золотым или алюминиевым проводом.

Под действием УЗ колебаний и сжимающей силы соединение проволоки и контактной области в твердом состоянии происходит при незначительном нагреве и приложении определенного давления при УЗ микросварке. Процесс сварки основан на взаимодействии электронов с соседними молекулами, а тончайшая проволока соединяется посредством диффузии на атомном уровне. Современное ультразвуковое микросварочное оборудование позволяет снизить трудоемкость процесса, повысить точность и расширить круг материалов, которые можно сваривать по этой технологии. При наложении точечных швов на пластмассовые изделия ультразвуковая сварка применяется не только для металлических деталей, но и для пластиковых изделий.

Ультразвуковая сварка имеет следующие преимущества:

- отсутствие искрения, обеспечение безопасности и окружающей среды;
- короткое время сварки, отсутствие флюса, припоя;
- экологичность и незначительное количество выделяемых вредных веществ;
- небольшие температуры нагрева по сравнению с другими способами;
- хорошая электропроводность соединений.

Целью данной диссертации является исследование особенностей процессов ультразвуковой микросварки проволочных выводов интегральных схем и методов повышения качества прочности микросварных соединений при активации импульсами электрического тока.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами:

Тема диссертационной работы утверждена Советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». Диссертационная работа выполнялась на кафедре «Электронной техники и технологии» в рамках следующих научных программ: ГБ № 16-2020 «Материалы, технологические процессы и устройства электронно-оптических систем, электронных средств, биомедицинской и интегральной электроники» и ГБ 2021-26 «Физико-химические процессы формирования твердотельных структур электронной, электронно-оптической и медицинской техники».

Актуальность темы исследования:

Проволочный микромонтаж ультразвуковой микросварки является наиболее распространенным методом создания контактных соединений кристалла с внешним выводами электронных компонентов, функциональности в меньших по размерам, и более дешевых корпусах типов *CSP, BGA, WCSP, PLCC, SOIC, SOP* и др., которые собираются по технологии проволочного микромонтажа золотой или алюминиевой проволокой. Возникают проблемы повышения прочности микросварных соединений, выполненных ультразвуковой сваркой по покрытиям контактных площадок, не содержащим драгоценных металлов.

Цель и задачи исследования:

Исследование технологии ультразвуковой микросварки проволочных выводов интегральных схем с активацией импульсами электрического тока для повышения прочности микросварных соединений.

Задачи исследования:

1. Анализ технологий и оборудования для формирования микросварных соединений с применением энергии ультразвуковых колебаний и активирующих факторов.
2. Разработка методики моделирования механических напряжений в микросварных соединениях при воздействии ультразвуковых колебаний и активирующих факторов.
3. Построение математической модели, анализ результатов моделирования и оптимизация технологических режимов формирования микросварных соединений с применением энергии ультразвуковых колебаний и активирующих факторов.
4. Разработка методики исследования процесса формирования микросварных соединений с применением энергии ультразвуковых колебаний и активирующих факторов.

5. Экспериментальное исследование технологических режимов процесса формирования микросварных соединений с применением энергии ультразвуковых колебаний и активирующих факторов.

Объектом: микросварные соединения в интегральных и многокристалльных микромодулях.

Предметом: процессы формирования микросварных соединений с применением энергии ультразвуковых колебаний и активирующих факторов.

Область исследования: содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-39 80 03 «Электронные системы и технологии».

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Научная новизна полученных результатов обусловлена моделированием механических напряжений в УЗ системе колебаний в процессе УЗ сварки проволочных выводов в программе *Ansys*, а также процесса диффузии в микросварном соединении при ультразвуковой микросварке и токовой активации и температурных полей зоны присоединения проволочного вывода к подложке в процессе термозвуковой микросварки в программе *Comsol MultiPhysic*.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

1. Компьютерные модели УЗ системы для исследования влияния амплитуды колебаний и частоты резонанса в инструменте на процесс УЗ микросварки в пакете *Ansys*, процесса диффузии между алюминиевой проволокой и покрытиями контактной площадки и тепловых полей термозвуковой микросварки в пакете *Comsol MultiPhysic*.

2. Методика исследования технологического процесса микросварных соединений с применением энергии ультразвуковых колебаний с мощности в диапазоне 2,5 – 5,0 Вт и с активацией импульсами электрического тока в диапазоне 0,1 – 0,6 А, позволяющая повысить прочность микросварных соединений на 1,2 – 1,3 раза для различных типов покрытий корпусов интегральных схем.

3. Закономерности увеличения прочности микросварных соединений от мощности УЗ в диапазоне 2,5 – 5 Вт и от силы тока в диапазоне 0,1 – 0,6 А при температуре сварки 200 °С для корпусов с золотым, серебряным, никелевым покрытиями на 20%, 15% и 28% соответственно.

Теоретическая значимость работы заключается в моделировании и оптимизации технологических режимов процесса УЗ микросварки для формирования микросварных соединений с применением энергии ультразвуковых колебаний и активирующих факторов (амплитуда колебания,

частота резонанса, механические напряжения, коэффициент диффузии, температура на контактной площади). С активацией импульсами электрического тока прочность микросварных соединений увеличивается благодаря повышению процесса диффузии между алюминиевой проволокой и покрытиями контактной площадки.

Практическая значимость – экспериментально подтверждена возможность исследования прочности микросварных соединений с применением энергии ультразвуковых колебаний и метода повышения прочности микросварных соединений с активацией импульсами электрического тока.

Апробация диссертации и информации об использовании ее результатов

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на международной научно-технической конференции молодых ученых «Инновационные материалы и технологии» – Белорусский государственный технологический университет БГТУ, 2021 г; 57-я и 58-я научных конференциях аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР 2021–2022 г; международных конференциях «BIGDATA and Advanced Analytics Conference and EXPO» 2021–2022 г и 17-й Международной НТК Севастополь 2021 г.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ, из них 6 докладов в материалах научных конференций, 1 статья в периодическом научном журнале.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка цитируемой литературы из 38 наименований. Общий объем диссертации 75 страниц, в том числе 48 иллюстраций и 10 таблиц.

Во введении приводится обоснование актуальности работы, цель и задачи исследований.

Первая глава носит обзорный характер. В ней приводятся особенности технологий сборки интегральных и многокристальных микромодулей и метода ультразвуковой микросваркой проволочных выводов интегральных схем, особенности микросварных соединений с применением энергии УЗ колебаний и активирующих факторов и методов воздействия активирующих факторов.

Вторая глава посвящена разработке методики моделирования, создание математических и физических моделей в программных комплексах *COMSOL Multiphysics* и *Ansys*. Проведено математическое моделирование механических напряжений в УЗ системе колебаний в процессе УЗ сварки проволочных выводов в программе *Ansys*; процесса диффузии в микросварном соединении при ультразвуковой микросварке и токовой активации и температурных полей зоны присоединения проволочного вывода к подложке в процессе термозвуковой микросварки в программе *Comsol MultiPhysic*. Результаты моделирования показали, что максимальное значение механического напряжения в зоне микросварки достигает 8,7 МПа на частоте 92,5 кГц, а концентрация диффундирующего элемента на граничной глубине увеличивается на 10 %.

Третья глава содержит разработку технологии процесса проволочного монтажа на установке ЭМ-4320 и методику исследования прочности микросварных соединений с применением энергии ультразвуковых колебаний и с активацией импульсами электрического тока в диапазоне 0,1 – 0,6 А.

В четвертой главе диссертации представлены: зависимости усилия отрыва микросварных соединений от мощности для корпусов с золотым, никелевым покрытием; усилия отрыва микросварных соединений от силы тока для золотого и никелевого покрытия; усилия отрыва сварных соединений от мощности при различных температурах для корпусов с золотым, серебряным и алюминиевым покрытием;

Пятая глава содержит практические рекомендации по использованию результатов исследования. Даны рекомендации, касающиеся используемого оборудования для технологического процесса ультразвуковой микросварки проволочных выводов интегральных схем с активацией импульсами электрического тока.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа литературных источников и используя поиск материалов по данной теме в сети Интернет, определена перспективность технологии ультразвуковой микросварки проволочных выводов интегральных схем. Под действием импульсов электрического тока прочность микросварных соединений увеличивается и формирует устойчивые соединения в интегральных схемах. Ультразвуковая микросварка – один из перспективных методов формирования соединений проволочных выводов интегральных схем.

2. Результаты моделирования показывают, что под действием импульсов электрического тока и при повышении температуры на контактной площадке коэффициент диффузии увеличивается, следует, что прочность микросварных соединений увеличивается. Результаты моделирования показали, что максимальное значение механического напряжения в зоне микросварки достигает 8,7 МПа на частоте 92,5 кГц и при активации импульсами электрического тока глубина диффузии увеличивается на почти 2 раза и максимальная концентрация диффундирующего элемента на граничной глубине увеличивается на 10 %. Из этого определены оптимальные параметры для ультразвуковой микросварки проволочных выводов.

3. Разработана методика исследования прочности микросварных соединений при УЗ микросварке и иметь важные последствия в процессе анализа и оптимизации режимов УЗ микросварки. Разработана методика исследования прочности микросварных соединений, где использованы разрушающие методы. При этом установлено, что оптимальная величина деформации сварных соединений в зависимости от материала проводника составляет 40-70%.

4. Получены зависимости усилия отрыва сварных соединений от мощности для различных покрытий корпусов. При токовой активации прочность микросварных соединений в процессе УЗ микросварки увеличивается и достигает 44 сН для золотого покрытия, 46 сН для никелевого покрытия и 35 сН для серебряного покрытия. Прочность микросварных соединений увеличивается на 20 %; 28 % и 15 % соответственно, то есть токовая активация УЗ микросварки позволяет получить высокую прочность микросварных соединений при различных покрытиях корпусов интегральных схем. С повышением температуры прочность сварных соединений увеличивается на 15% в при температуре $T = 200$ 0С и точка максимального значения двигается слева.

5. Разработаны практические рекомендации по использованию результатов исследования. Технология УЗ микросварки проволочных выводов интегральных схем с активацией импульсами электрического тока применена для корпусов типов 401.14–5; 402.16–32/402.16–21; 427.18–1,03/427.18–2.03; 4118.24–1 и т.д.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1. Ланин, В. Л. Свариваемость гальванических покрытий корпусов интегральных схем / В. Л. Ланин, Н. Ж. Виен // Инновационные материалы и технологии: материалы IV Международной научно-технической конференции молодых ученых, Минск, 19-21 января 2021 г. / Белорусский государственный технологический университет. – Минск, 2021. – С. 292–295.

2. Ланин, В. Л. Моделирование процесса диффузии в микросварном соединении при ультразвуковой микросварке и токовой активации / В. Л. Ланин, Ж. В. Нгуен // Международная научно-техническая конференция «BIG DATA and Advanced Analytics Conference and EXPO» – Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск. – 2021. – С. 53 – 57.

3. Ланин, В. Л. Ультразвуковая микросварка проволочных выводов с повышенной прочностью / В. Л. Ланин, Ж. В. Нгуен // 57-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – 2021. – С. 230 – 233.

4. Ланин, В. Л. Ультразвуковая микросварка проволочных выводов с токовой активацией для различных покрытий корпусов интегральных схем / В. Л. Ланин, Ж. В. Нгуен // 17-я Международная молодёжная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций РТ-2021», Севастополь, Российская Федерация. – 2021. – С. 127.

5. Ланин, В. Л. Ультразвуковая микросварка межсоединений с повышенной прочностью в интегральных схема / В.Л. Ланин, Ж.В. Нгуен // Технологии в электронной промышленности. – 2021. – № 4. – С. 28 – 32.

6. Ланин, В. Л. Термозвуковая микросварка проволочных выводов интегральных схем / В.Л. Ланин, Ж.В. Нгуен // Международная научно-техническая конференция «BIG DATA and Advanced Analytics Conference and EXPO» – Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, 2022. (в печати)

7. Нгуен, Ж. В. Моделирование процесса диффузии в микросварном соединении при ультразвуковой микросварке по различным покрытиям корпусов / Ж.В. Нгуен // 58-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, – Минск, – 2022. (в печати)