

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

УДК 621.373.826

Первенецкий
Артем Петрович

**Моделирование и оптимизация технологических режимов пайки SMD
компонентов при сборке электронных модулей**

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1 - 41 80 02 «Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

Научный руководитель
Ланин Владимир Леонидович
д.т.н., профессор

Минск, 2019

ВВЕДЕНИЕ

В производстве радиоэлектронной аппаратуры прослеживается тенденция к уменьшению габаритных размеров, веса, потребляемой энергии. Одновременно развивается технология межсоединений. Однако это было бы невозможно, без развития технологии монтажа SMD компонентов на плату. Одной из наиболее перспективных технологий монтажа на данное время является лазерная технология.

Особенно большое значение имеет лазерная технология в производстве изделий электронной техники, так как она обеспечивает необходимую технологическую чистоту и высокую точность обработки, зачастую недостижимые при других способах воздействия на обрабатываемое изделие.

Лазерная пайка является одним из перспективнейших методов создания паяных соединений, позволяющим избегать проблем с перегревом платы и элементов компонентов, позволяющим осуществлять пайку в труднодоступных местах. Так же лазерная технология позволяет использовать бессвинцовые припои, что в настоящее время является актуальным.

В настоящее время активно развиваются технологии 3D-микрочорпусирования и микросборки, которые позволяют эффективно сократить площадь (объем, массу) электронного. Максимально возможный на сегодня уровень интеграции ИС обеспечивает использование технологии TSV, которая позволяет убрать операцию разварки из технологической цепочки.

Лазерное формирование отверстий (получение отверстий значительной глубины, диаметром до 1 мм) реализует следующие преимущества: возможность фокусировки в пятно очень малого диаметра, бесконтактная обработка и отсутствие изнашивающихся инструментов, возможность подбора параметров, позволяющих обеспечить нужную геометрию отверстий, управление пространственным положением отверстия, небольшая зона прогрева.

Основным фактором, обеспечивающий качество паяных соединений поверхностно монтируемых компонентов в процессе монтажа и отверстий, сформированных лазерным излучением, является правильный выбор параметров процесса. Применение компьютерного моделирования позволяет осуществить предварительный расчет параметров нагрева, вычислить диапазон приемлемых параметров. Для подтверждения результатов моделирования следует провести серию экспериментов, которые позволят выбрать оптимальные параметры после анализа полученных в ходе эксперимента данных.

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 следующей научной программы:

ГБ № 16-2020 «Материалы, технологические процессы и устройства электронно-оптических систем, электронных средств, биомедицинской и интегральной электроники».

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является моделирование процесса лазерной локальной пайки, исследование распространения тепловых полей, в процессе лазерной пайки, применение лазерного излучения при создании 3D электронных модулей, формирование отверстий в кремниевых подложках лазерным излучением, как этап производства 3D электронных модулей.

Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить следующие задачи:

1. Повести анализ методов создания электронных модулей по 2D, 2,5D, 3D технологиям, используемого оборудования в технологии лазерной пайки SMD компонентов при производстве электронных модулей и формировании отверстий в кремниевых подложках

2. Разработать модели процессов лазерной локальной пайки поверхностно монтируемых компонентов на электронных модулях и провести математическое моделирование формирования отверстий лазерным излучением в кремниевой подложке.

3. Разработать методики исследования лазерной пайки SMD компонентов, формирования отверстий в кремниевых подложках, а также контроля качества паяных соединений и сформированных лазером отверстий.

4. Провести исследование процессов лазерного нагрева для формирования паяных соединений SMD компонентов и формирования отверстий в кремниевых пластинах. Провести анализ полученных соединений SMD компонентов и сформированных отверстий на соответствие критериям качества электронных сборок.

5. Подготовить практические рекомендации по использованию результатов исследования.

Объект исследования: электронные модули с поверхностно монтируемыми компонентами, кремниевые пластины.

Предмет исследования – трехмерное компьютерное моделирование и экспериментальное исследование процессов формирования паяных соединений лазерной энергией, математическое моделирование и экспериментальное подтверждение результатов формирования отверстий в кремниевых подложках; определение оптимальных параметров процессов.

Научная новизна и значимость полученных результатов. В работе выполнено трехмерное компьютерное моделирование тепловых полей в пакете *Solidworks 2016 Simulation* и исследованы процессы лазерного нагрева зоны создаваемого межсоединения. Результаты моделирования позволяют оптимальным образом подобрать технологические режимы, что позволит обеспечить бездефектную пайку выводов микросхем в оптимальных температурно-временных режимах пайки лазерным излучением.

Положения, выносимые на защиту

1. Трехмерная компьютерная модель тепловых полей электронных модулей при лазерном нагреве, позволяющая оптимизировать температурные профили нагрева зоны пайки SMD компонентов, математическая модель формирования отверстий в кремниевых подложках, позволяющая оптимизировать параметры лазерного излучения.

2. Методики исследования термопрофилей лазерного нагрева, температурных полей с применением контактных датчиков и компьютера, лазерного формирования отверстий в кремниевых подложках и контроля качества паяных соединений SMD-компонентов и отверстий, сформированных лазерной энергией.

3. Экспериментально установленные оптимальные температурно-временные режимы пайки лазерным излучением, позволяющие устранить неравномерность нагрева печатных плат в процессе монтажа поверхностно-монтируемых компонентов и внутренние механические напряжения в электронном модуле, а также температурно-временные режимы прошивки отверстий в кремниевых материалах.

Личный вклад соискателя

Все основные научные результаты, представленные в работе, получены соискателем самостоятельно. В диссертации изложены результаты научно-исследовательских работ, выполненных автором лично (4 публикаций) и в

соавторстве (5 публикации). В публикациях с соавторами личный вклад соискателя заключается в разработке методик исследований, постановке основных экспериментов, проведении теоретических и экспериментальных исследований.

Участие научного руководителя: доктора технических наук, профессора кафедры ЭТТ БГУИР Ланина В. Л. заключалось в обсуждении структуры, целей и задач исследований, обсуждении и обобщении результатов теоретических и практических исследований, проведенных автором самостоятельно.

Апробация результатов диссертации

Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы были представлены в следующих научных конференциях: V Международная научная конференция, посвящ. акад. Б. В. Бокутю; Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности; Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций «РТ - 2017»; Новые направления развития приборостроения; Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций «РТ - 2018»; Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения «INTERMATIC–2018»; 55 Юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР и публикациях: техническом журнале «Технологии в электронной промышленности. №4, 2018».

Опубликованность результатов диссертации

По материалам диссертации опубликовано 9 печатных работ, из них 8 статей в материалах научных конференций, 1 статья в периодическом научном журнале.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертация состоит из Введения, пяти глав, Заключение, списка цитируемой литературы из 39 наименований. Общий объем диссертации 94 страницы, в том числе 44 иллюстрации и 13 таблиц.

Во Введении приводится обоснование актуальности работы.

Первая глава носит обзорный характер. В ней приводятся характеристики лазерного излучения, типы и особенности корпусов поверхностно монтируемых компонентов, особенности 2,5D и 3D технологий. Дается обзор современных технологических лазерных установок.

Вторая глава посвящена разработке методики моделирования, создание математических и физических моделей в программном комплексе SolidWorks. Также представлены результаты моделирования для лазерной локальной пайки SMD компонентов и проведен анализ и выявление закономерностей. Проведено математическое моделирование лазерного формирования отверстий в кремниевых подложках. Определены оптимальные параметры лазерного нагрева.

Третья глава содержит методики исследования тепловых полей и термопрофилей лазерной пайки и лазерной прошивки отверстий в кремниевых пластинах с применением персонального компьютера, а также контроля на соответствие критериям качества электронных сборок.

В Четвертой главе диссертации представлены:

- Зависимости температуры в зоне пайки от времени лазерного нагрева и частоты следования лазерных импульсов.
- Зависимости диаметра входного отверстия для поликора и кремниевой пластины от частоты следования импульсов лазерного излучения.
- Зависимости диаметра входного отверстия для поликора и кремниевой пластины от времени обработки импульсным лазерным излучением.
- Зависимости времени лазерного формирования отверстий от мощности излучения для установок с длинами волн 532 нм и 1064 нм.
- Зависимости отношения диаметров входного отверстия к выходному и размеров зоны термического повреждения от мощности излучения для установок с длинами волн 532 нм и 1064 нм.

Пятая глава даёт практические рекомендации по использованию результатов исследования. Даны рекомендации, касающиеся используемого оборудования.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты моделирования показывают, что использование лазерных установок для пайки позволяет осуществлять пайку быстро и с высокой степенью локальности. Моделирование тепловых полей на выводах компонентов и плате при пайке с использованием бессвинцового припоя позволило получить зависимости температуры припоя от времени воздействия тепловой энергии лазерного луча мощностью 30 Вт и 40 Вт. Результаты исследований показывают, что использование лазерных установок для пайки позволяет избежать проблем с перегревом платы и электронных компонентов. При мощности непрерывного лазерного излучения 30 Вт оптимальная температура пайки (220 °С) может быть достигнута за 9 с, тогда как при 40 Вт – за 5 с. Результатом экспериментального исследования является выбор оптимального режима пайки – $f = 15$ Гц; $U = 0,8$ кВ; $t = 8$ с.

Использование лазерных установок для пайки позволяет избежать проблем с перегревом электронных компонентов, что обусловлено локальностью воздействия и точным дозированием энергии. Однако, при высокой скорости нагрева требуется точный контроль температуры в зоне пайки для исключения температурного повреждения платы и элементов.

В результате моделирования формирования отверстия лазерным излучением были получены зависимости глубины и диаметра отверстия в кремниевой пластине и подложке из поликора для лазера с параметрами: импульсная мощность $P = 1000$ Вт, длительность импульса $t_{\text{и}} = 1 - 20$ мс, частота излучения $f_{\text{и}} = 5 - 50$ Гц, половинный угол раствора светового конуса $\gamma = 1 - 40^\circ$, Начальный диаметр лунки составил $D_0 = 0,5 - 1,0$ мм.

По результатам математического моделирование диаметр и глубина отверстий зависят нелинейно от энергии излучения, поэтому эффективно применять лазер с энергией более 5 Дж. Многоимпульсная обработка позволяет получать отверстия серий коротких импульсов, период следования которых значительно больше времени остывания материала. Для кремния, обладающего большей теплопроводностью, необходимо увеличить частоту импульсов и время обработки в сравнении с поликором в 4 раза.

Анализ зависимостей показывает, что с увеличением мощности лазерного излучения соотношение диаметров входного к выходному отверстию для длины волны 532 нм растет, для 1064 нм – падает. Время прошивки отверстий с ростом энергии растет нелинейно. Наиболее эффективно показывает себя применение лазерного излучения длиной волны 532 нм. Связано это с большей степенью поглощения излучения с длиной волны 532 нм кремнием.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

[1] Ланин, В. Л. Формирование отверстий в неметаллических материалах многоимпульсной лазерной обработкой / В. Л. Ланин, А. П. Первенецкий // V Международная научная конференция, посвящ. акад. Б. В. Бокутю: материалы, Гомель, 14–16 ноября 2018 г.: в 2 ч. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол.: Д. Л. Коваленко [и др.]. – Гомель, 2018. – Ч. 2. – С. 138–142.

[2] Первенецкий, А.П. Лазерная пайка SMD компонентов при сборке электронных модулей / А. П. Первенецкий, В. Л. Ланин // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций «РТ - 2017»: материалы 13-й междунар. молодежной науч.-техн. конф., Севастополь, 20–24 ноября 2017 г. / Севастопольский государственный университет; редкол.: Ю. Б. Гимпилевич [и др.]. – Севастополь, 2017. – С. 163.

[3] Ланин, В. Л. Лазерная прошивка отверстий в неметаллических материалах / В. Л. Ланин, А. П. Первенецкий // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций «РТ - 2018»: материалы 14-й междунар. молодежной науч.-техн. конф., Севастополь, 22–26 октября 2018 г. / Севастопольский государственный университет; редкол.: Ю. Б. Гимпилевич [и др.]. – Севастополь, 2018. – С. 121.

[4] Первенецкий, А.П. Лазерная пайка и микросварка в технологии сборки электронных модулей / А. П. Первенецкий // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф. молод. ученых, Могилев, 26–27 октября 2017 г. / Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2017. – С. 122.

[5] Первенецкий, А.П. Применение лазерного излучения для пайки электронных модулей / А. П. Первенецкий // Новые направления развития приборостроения: материалы 11-й междунар. науч.-техн. конф., молодых ученых, Минск, 18 – 20 апреля 2018 г. / БНТУ; редкол.: О. К. Гусев [и др.]. – Минск, 2018. – С. 150.

[6] Ланин, В. Лазерная пайка SMD-компонентов при высокой плотности монтажа / В. Ланин, А. Первенецкий, А. Лаппо // Технологии в электронной промышленности. – СПб: Медиа Кит. – 2018. – №4. – С. 50–53.

[7] Ланин, В. Л. Исследование процесса лазерной прошивки отверстий в кремнии при формировании 3D структур / В. Л. Ланин, А. И. Лаппо, А. П. Первенецкий // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения «INTERMATIC–2018»: материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC–2018», Москва, 19–23 ноября 2018 г. / МИРЭА – Росс. технол. ун-т; под ред. академика РАН А.С. Сигова. – М.: РТУ МИРЭА, 2018. – С. 392–395.

[8] Ланин, В. Л. Лазерная размерная обработка кремниевых подложек 3D

электронных модулей / В. Л. Ланин, А. П. Первенецкий, А. И. Лаппо // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 25–26 апреля 2019 г. / Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: М. Е. Лустенков [и др.]. – Могилев, 2019. – С. 130–131.

[9] Первенецкий, А. П. Формирование отверстий лазерным излучением в кремниевых подложках / А. П. Первенецкий // 55-я Юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР: материалы, Минск, 22–26 апреля 2019 г. / БГУИР – Минск, 2019.