

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

УДК 669.018

Сафаров  
Руслан Валехович

**Моделирование тепловых полей и механических напряжений при монтаже  
изделий электроники**

**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 различных отраслях промышленности (медицинской, автомобильной и др.), а также в космической и военной технике, широко используются корпуса из низкотемпературной керамики (Low Temperature Cofired Ceramics – LTCC) и высокотемпературных отожженных керамических модулей (High Temperature Cofired Ceramics – HTCC).

Низкие потери СВЧ и относительно невысокая стоимость производства являются ключевыми преимуществами LTCC технологии для ВЧ и СВЧ приборов. По стоимости LTCC технология приближается к технологии печатных плат на основе FR-4, а по своим диэлектрическим характеристикам низкотемпературная керамика сопоставима с алюмооксидной керамикой.

Операция монтажа кристаллов в корпуса – наиболее ответственная в технологическом процессе сборки изделий электроники, так как обеспечивает требуемое расположение кристалла, прочное механическое соединение, надежный электрический контакт и хороший теплоотвод. Эксплуатационная надежность мощных транзисторов определяется, главным образом, их теплоэлектрическим состоянием, которое формируется на стадии присоединения кристалла к корпусу. Скрытые дефекты соединений (пустоты, микротрещины, сколы) приводят к образованию участков под кристаллом с аномально высоким тепловым сопротивлением. Если площадь дефектов невелика по сравнению с площадью кристалла и не затрагивает активной структуры транзистора, то соединение имеет низкий уровень теплового сопротивления.

Использование ультразвуковых колебаний в процессе присоединения кристаллов более характерно для технологии flip-chip, однако может использоваться для обеспечения более качественного слоя эвтектики или паяного соединения.

Важную роль в процессе изготовления металлокерамических корпусов играет температурный режим пайки, который влияет не только на растекание припоя, но и на образование термомеханических напряжений в металлокерамическом спае, вызывающих возникновение микротрещин в керамике. Из-за того, что пайка обычно проходит при повышенных температурах (относительно типичных температур эксплуатации и хранения изделия), а материалы металлокерамического узла обладают различным коэффициентом теплового расширения (КТЛР), то после пайки, при охлаждении изделия, в нем возникают повышенные термомеханические напряжения. Особое внимание уделяется напряженно-деформированному состоянию керамической детали, как наиболее хрупкой части узла.

## 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 научной программы: ГБ 16-2020 «Материалы, технологические процессы и устройства радиоэлектронной, электронно-оптической и медицинской техники»

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертации является исследование и моделирование термических напряжений при монтаже изделий электроники.

Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить следующие задачи:

1. Провести анализ технологий и оборудования для монтажа изделий электроники.
2. Разработать методику исследования тепловых полей и механических напряжений изделий электроники.
3. Выполнить компьютерное моделирование процесса возникновения механических напряжений при ультразвуковом монтаже кристаллов интегральных схем, а также возникающих термических напряжений в гермовыводах металлокерамических корпусов БИС.
4. Исследовать технологические режимы монтажа изделий электроники, разработать методики исследования процесса формирования металлокерамических корпусов БИС, дать практические рекомендации по использованию результатов исследования.

**Объект исследования** – металлокерамические корпуса и кристаллы интегральных схем.

**Предмет исследования** – компьютерное моделирование формирования контактных соединений в электронных модулях.

**Научная новизна и значимость полученных результатов.** В работе выполнено компьютерное моделирование формирования контактных соединений в электронных модулях с помощью программного комплекса *Ansys Mechanical* и исследованы процессы возникновения термических напряжений. Результаты моделирования позволяют оптимальным образом подобрать техноло-

гические режимы, что позволит обеспечить бездефектную пайку микросхем в оптимальных температурно-временных режимах пайки.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Компьютерные модели механических напряжений в гермовыводах металлокерамических корпусов БИС и в кристаллах интегральных схем при ультразвуковом монтаже в корпус.

2. Методика исследования тепловых полей и механических напряжений в изделиях электроники при ультразвуковом монтаже в корпус.

3. Экспериментально установленные оптимальные термопрофили формирования гермовыводов при изготовлении металлокерамических корпусов БИС и структура металлокерамического узла с пониженными термическими напряжениями.

### **Личный вклад соискателя**

Все основные научные результаты, представленные в работе, получены соискателем самостоятельно. В диссертации изложены результаты научно-исследовательских работ, выполненных автором лично (3 публикации) и в соавторстве (4 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 на следующих научных конференциях: IV международной научно-практической конференции «BIG DATA and Advanced Analytics Conference and EXPO»; Международной научно-технической конференции «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности»; 12-й международной научно-технической конференции «Новые направления развития приборостроения»; 9-й международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения»; 53-й научно-технической конференции студентов и магистрантов БГУИР; 54-й научно-технической конференции студентов и магистрантов БГУИР; 55-й юбилейной научно-технической конференции студентов и магистрантов БГУИР; а также публикациях в журнале «Технологии в электронной промышленности. №1, 2018.

### **Опубликованность результатов диссертации**

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

### **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка цитируемой литературы из 40 наименований. Общий объем диссертации 69 страниц, в том числе 47 иллюстраций и 1 таблицы.

Во введении приводится обоснование актуальности работы.

Первая глава носит обзорный характер. В ней приводятся характеристика технологий и оборудования для монтажа изделий электроники. Проведен анализ процессов создания теплопроводящих паяных соединений, типов и особенностей корпусов поверхностно монтируемых компонентов.

Вторая глава посвящена разработке методики исследования тепловых полей и внутренних напряжений изделий электроники, создание математических и физических моделей в программном комплексе Ansys Mechanical. Разработана структурная схема алгоритма моделирования термических напряжений изделий интегральной электроники.

Третья глава посвящена моделированию механических напряжений при монтаже изделий интегральной электроники. Выполнено моделирование напряжений в гермовыводах при изготовлении металлокерамических корпусов БИС, а также при ультразвуковом монтаже кристаллов интегральных схем.

В четвертой главе диссертации представлены результаты исследования технологических режимов монтажа изделий электроники. Разработана методика исследования процесса формирования металлокерамических корпусов БИС.

Пятая глава даёт практические рекомендации по использованию результатов моделирования, также разработан технологический процесс создания теплопроводящих паяных соединений кристаллов твердотельных структур с корпусом изделий электронной техники.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение ультразвуковых (УЗ) колебаний частотой 50–60 кГц позволяет полностью отказаться от применения флюсов, при этом исключается операция отмывки флюса, сокращается общая длительность технологического процесса монтажа микроплаты.

УЗ-колебания могут использоваться также в эвтектической пайке, там где сочетания материалов вызывают трудности образования эвтектики, например, при образовании кремниево-серебряной эвтектики (840°C), тогда как подвод ультразвуковых колебаний к инструменту с пирамидальным торцом, позволяет устойчиво присоединять кристаллы при температуре порядка 470°C с визуально наблюдаемым процессом четырех стороннего смачивания кристалла.

При использовании УЗ колебаний для пайки кристаллов всегда требуется согласование рабочего инструмента, выбор резонансной длины инструмента в зависимости от частоты ультразвуковой системы и геометрии рабочего торца.

По результатам моделирования термических напряжений в гермовыводах металлокерамических корпусов БИС выявлено, что для случая без сглаживания, напряжения в керамической детали существенно выше, чем для случая со сглаживанием. Вариант со сглаживанием в металлокерамическом узле более предпочтителен для применения, ввиду пониженных значений термомеханических напряжений ( до 150МПа) , возникающих в керамических деталях..

Пониженные напряжения снижают риск образования и распространения трещин, что, несомненно, благоприятно сказывается на сроках и допустимых режимах эксплуатации МКУ.

Механические напряжения связаны с температурой коэффициентом температурного линейного расширения. Во время пайки, в особенности, при охлаждении изделия, вследствие различного коэффициента температурного линейного расширения в кристаллах интегральных схем возникают повышенные механические напряжения.

Моделирование термических напряжений при ультразвуковом монтаже кристаллов интегральных схем позволяет выявить оптимальные режимы работы, исключить неблагоприятные режимы, при которых происходит брак в изделиях. Также выявлены зависимости параметров при различных режимах работы и даны рекомендации по использованию определенных режимов.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

[1] Ланин, В.Л. Применение технологий BIG DATA для моделирования термомеханических напряжений в корпусах многокристальных модулей/ В.Л. Ланин, Р.В. Сафаров // IV международной научно-практической конференции «BIG DATA and Advanced Analytics Conference and EXPO»: Тезисы докладов – Минск, БГУИР, 2018. – С. 165 – 170.

[2] Сафаров, Р.В. Моделирование термомеханических напряжений в интегральных микросхемах/ Р.В. Сафаров // 54 научно-техническая конференция студентов и магистрантов: Тезисы докладов – Минск.: БГУИР, 2018. – С. 45 – 46.

[3] Сафаров, Р.В. Снижение термомеханических напряжений в металло-керамических гермовыводах изделий электронной техники/ В.Л. Ланин, Р.В. Сафаров// Международная НТК молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности». Тезисы докладов – Могилев, 2017. – С. 100.

[4] Ланин, В.Л. Обеспечение вакуумной плотности металлокерамических узлов интегральных схем/ В.Л. Ланин, Р.В. Сафаров // Технологии в электронной промышленности, 2018, №1 – С. 66 – 69.

[5] Сафаров, Р.В. Моделирование механических напряжений при монтаже кристаллов интегральных схем/ Р.В. Сафаров // 12 Международная НТК молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения» Тезисы докладов – Минск, БНТУ, 2019. – С. 217.

[6] Сафаров, Р.В. Моделирование механических напряжений при монтаже кристаллов интегральных микросхем/ В.Л. Ланин, Р.В. Сафаров // 55 юбилейная научно-техническая конференция аспирантов, студентов и магистрантов: Тезисы докладов – Минск.: БГУИР, 2019.

[7] Сафаров, Р.В. Моделирование термомеханических напряжений в металлокерамических узлах/ Р.В. Сафаров // 53 научно-техническая конференция студентов и магистрантов: Тезисы докладов – Минск.: БГУИР, 2017.