

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

Белорусский государственный университет

информатики и радиоэлектроники

УДК 621.7:620.3

Мишечек

Анатолий Анатольевич

**Технология монтажа кристаллов в корпуса интегральных схем с применением энергии ультразвуковых колебаний**

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-39 80 03 «Электронные системы и технологии»

---

*(подпись магистранта)*

Научный руководитель

*Достанко Анатолий Павлович*

*доктор технических наук,  
академик НАН Беларуси,  
профессор кафедры ЭТТ*

---

*(подпись научного руководителя)*

Минск 2022

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в микроэлектронике отмечается повышенный интерес к улучшению качества посадки кристаллов, а также нахождение новых возможностей в этом направлении. Широкое применение нашли методы вибрационной эвтектической пайки тыльной золоченой поверхности кристалла к золоченой поверхности основания корпуса, а также пайки с применением припоев. Для обеспечения необходимой смачиваемости припоя и предотвращения окисления в процессе пайки используется инертный газ или формирующий газ на основе смеси 10% водорода и 90% азота. Нанесение припоя на подложку осуществляется дозированием проволоки припоя или паяльной пасты, либо припойными прокладками. Посадка кристалла на эвтектические сплавы помимо технологических трудностей (высокие температуры, золотое покрытие) имеет и другие недостатки. В виду малой пластичности эвтектики Au-Si и разницы в коэффициентах термического расширения кристалла и рамки в напаянном кристалле возникают значительные механические напряжения, что приводит к сколам кристаллов при пайке, последующих технологических операциях и испытаниях, а также к снижению надежности приборов. Установлено, что основными причинами, приводящими к снижению выхода годных изделий, являются: отслаивание кристаллов из-за неполного образования эвтектики по всей площади и образование микротрещин и растрескивание кристаллов после пайки и термокомпрессионной разварки выводов.

Целью диссертации является проработка технологии монтажа кристаллов в корпусе интегральных схем с применением энергии ультразвуковых колебаний применительно к имеющемуся оборудованию с определением оптимальных режимов проведения процесса.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработка методики для проведения процесса монтажа кристаллов в корпусе интегральных схем с применением энергии ультразвуковых колебаний и методики для проверки свойств полученных контактных соединений;
- оптимизировать режимы монтажа кристаллов для создания надежных контактных соединений.

## 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»

**Актуальность темы исследования:**

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 кристалла, уменьшаются механические напряжения в кристалле и тем самым повышается надёжность изделия.

**Цель работы:** Технология монтажа кристаллов в корпуса интегральных схем с применением энергии ультразвуковых колебаний.

**Задачи исследования:**

1. Анализ технологий и оборудования для монтажа кристаллов в корпуса интегральных схем с применением энергии ультразвуковых колебаний.
2. Разработка методики моделирования механических напряжений монтажа кристаллов в корпусах интегральных схем при воздействии ультразвуковых колебаний.
3. Построение математической модели, анализ результатов моделирования и оптимизация технологических режимов монтажа кристаллов в корпуса интегральных схем с применением энергии ультразвуковых колебаний.
4. Разработка методики исследования процесса монтажа кристаллов в корпуса интегральных схем с применением энергии ультразвуковых колебаний.
5. Экспериментальное исследование технологических режимов процесса монтажа кристаллов в корпуса интегральных схем с применением энергии ультразвуковых колебаний.

**Объект исследования** – кремниевые кристаллы размером от 1x1 до 5x5 в корпусах типов SOT-23, SOT-89.

**Предмет исследования** – технологии монтажа кристаллов в корпуса интегральных схем с применением энергии ультразвуковых колебаний.

**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** заключается в определении оптимальных режимов монтажа кристаллов в корпуса с применением энергии ультразвуковых колебаний, а также проведении компьютерного моделирования механических напряжений инструмента и рабочей области с помощью программы Ansys WorkBench.

#### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту**

1. Методика монтажа кристаллов в корпуса интегральных схем с применением энергии ультразвуковых колебаний частотой 66 кГц, мощностью ультразвуковых колебаний 0,1 – 1,94 Вт и временем воздействия 1 – 10 с приводит к увеличению прочности получаемых соединений на 35-40%, снижению температуры воздействия на подложку и кристалл в 1,9 раза, а также к уменьшению внутренних напряжений в кристалле.
2. Компьютерная модель распределения механических напряжений по рабочей области и инструменту в Ansys WorkBench для получения резонансной частоты колебаний инструмента и амплитуды колебаний показала, что использование частоты в 94,5 кГц позволяет перераспределить механические напряжения с кристалла на инструмент, тем самым улучшая качество соединения.
3. Закономерность увеличения прочности паяных соединения с использования УЗК в 1,3 – 1,4 раза в зависимости от мощности ультразвуковых колебаний 1 – 1,4 Вт и времени воздействия 4-10 с и снижения температуры монтаж с 430°C до 225°C по сравнению с вибрационной эвтектической пайкой.

**Теоретическая значимость** работы заключается в определении оптимальных режимов монтажа кристаллов в корпуса интегральных схем с применением энергии ультразвуковых колебаний эмпирическим путём и посредством моделирования.

**Практическая значимость** диссертации состоит в том, что в дальнейшем результаты исследования можно использовать при монтаже кристаллов типоразмеров от 3x3 до 5x5 мм в корпуса интегральных схем и на ленточные носители с использованием энергии ультразвуковых колебаний.

## **Апробация диссертации и информации об использовании ее результатов**

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на 57-й и 58-й научные конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР 2021–2022 г; 17-я Международная молодежная НТК Севастополь 2021 г.; научно-практической конференции «BIG DATA AND ADVANCED ANALYTICS» БГУИР, 2021г; 14-ой Международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2021», Минск, БНТУ. – 2021.

### **Публикации**

По материалам диссертации опубликовано 6 работ, в том числе 5 докладов в материалах научных конференций и 1 статья в журнале «Технологии электронной промышленности».

### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка цитируемой литературы из 29 наименований. Общий объем диссертации – 48 страниц. Работа содержит 30 иллюстраций и 6 таблиц.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** приводится обоснование актуальности работы.

**В первой главе** рассматриваются особенности конструкций и технологий сборки интегральных и многокристальных модулей, параметры ультразвуковых колебаний, подлежащие оптимизации при монтаже кристаллов в корпуса интегральных схем с применением энергии ультразвуковых колебаний, современное оборудование монтажа кристаллов в корпуса интегральных схем с применением энергии ультразвуковых колебаний.

**Во второй главе** приведены алгоритм выбора модели и определение исследуемых параметров монтажа кристаллов в корпуса интегральных схем с применением энергии ультразвуковых колебаний. Результаты и процесс моделирования механических напряжений в микросварных соединениях при воздействии ультразвуковых колебаний, выполненный с помощью пакета программ Ansys WorkBench без нагружения и с нагружением в 0,5 Н. Рассмотрены способы оптимизации параметров воздействия ультразвуковых колебаний при монтаже кристаллов в корпуса интегральных схем.

**В третьей главе** описана разработка макета монтажа кристаллов в корпуса интегральных схем с применением ультразвуковых колебаний, формируемых на генераторе с мощностью УЗК от 0,02 – 2 Вт. Разработана методика проведения процесса монтажа кристаллов в корпуса интегральных схем и на ленточные носители с применением энергии ультразвуковых колебаний на частоте в 66 кГц при изменении мощности УЗК от 0,02 – 2 Вт и времени воздействия УЗК от 1 – 10 с. Разработана методика исследования механических свойств изделий, полученных путём монтажа кристаллов в корпуса интегральных схем и на ленточные носители с применением энергии ультразвуковых колебаний, посредством разрушающего контроля, определяющего усилие на сдвиг кристалла.

**В четвертой главе** приведены результаты исследований технологических режимов монтажа кристаллов в корпуса интегральных схем с применением энергии ультразвуковых колебаний и исследований прочности микросварных соединений с применением энергии ультразвуковых колебаний.

**В пятой главе** даны практические рекомендации по использованию энергии ультразвуковых колебаний при монтаже кристаллов в корпуса интегральных схем. Даны рекомендации, касающиеся используемого оборудования, а также технологический маршрут для проведения экспериментов.

**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 пайки кристаллов в корпуса интегральных схем. Под действием ультразвуковых колебаний припой распределяется под кристаллом равномерно и область, формируемая излишками припоя за площадью кристалла, уменьшается, что свидетельствует о улучшении качества монтажа. Ультразвуковая пайка – один из перспективных методов монтажа кристаллов в интегральные схемы.

2. Результаты моделирования показывают, что для оптимального протекания процесса необходимо выставить значение для резонансной частоты колебаний в 94,5 кГц, которой будет соответствовать амплитуда колебаний 6,4 мкм. Таким образом можно будет достигнуть перераспределения механических напряжений с кристалла на инструмент, что позволит сделать соединение более устойчивым к внешним воздействиям.

3. Разработан макет для проведения лабораторных работ по монтажу кристаллов в корпуса интегральных схем с применением ультразвуковых колебаний. Разработана методика монтажа кристаллов в корпуса интегральных схем с применением энергии ультразвуковых колебаний. Так же показано влияние параметров на протекание процесса.

4. В ходе работы выявлено, что использование УЗК при пайке позволяет снизить температуру протекания процесса с 430°C (при вибрационной эвтектической пайке) до 225 °C. Эксперименты показали, что использование УЗК позволяет спаивать кристаллы на никелевые подложки, что является невозможным при эвтектической вибрационной пайке. Использование УЗК при пайке кристаллов в корпуса ИС увеличивает механическую прочность в 1,3–1,4 раза, достигая максимального значения при мощности ультразвуковых колебаний в 1,2 Вт и времени воздействия 10с.

5. Разработан технологический маршрут применительно к установке настольного типа ЭМ-4075А-1. Даны практические рекомендации по проведению процесса для получения изделий лучшего качества.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1. Мишечек А.А. Монтаж кристаллов интегральных схем с применением ультразвуковых колебаний / А.А. Мишечек, В.Л. Ланин // Сборник материалов 57-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР – 2021. – С. 219-221.

2. Мишечек А.А. Моделирование механических напряжений в кристаллах при монтаже с применением ультразвуковых колебаний / А.А. Мишечек, В.Л. Ланин // Сборник материалов VII Международная научно-практическая конференция «BIG DATA AND ADVANCED ANALYTICS», Минск, БГУИР. – 2021. – С. 113-117.

3. Мишечек А.А. Модификация паяльных паст углеродными нанотрубками / А.А. Мишечек, В.Л. Ланин, А.А. Дерман // Сборник материалов 17-ой Международной молодёжной научно-технической конференции «Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций РТ-2021», Севастополь, Российская Федерация. – 2021. – С. 125.

4. Ланин В.Л. Монтаж кристаллов в корпуса интегральных схем с применением ультразвуковых колебаний / В.Л. Ланин, А.А. Мишечек // Сборник материалов 14-ой Международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2021», Минск, БНТУ. – 2021. – С. 296-297.

5. Ланин, В.Л. Монтаж кристаллов в корпуса интегральных схем вибрационной и ультразвуковой пайкой / В.Л. Ланин, А.А. Мишечек // Технологии в электронной промышленности, 2021. – № 8. – С. 60–62.

6. Мишечек А. А. Оптимизация режимов монтажа кристаллов в корпуса интегральных схем с применением ультразвуковых колебаний / А.А. Мишечек // 58-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск. – 2022. (в печати).