

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

Белорусский государственный университет

информатики и радиоэлектроники

УДК 621.7:620.3

Дерман

Ангелина Анатольевна

**Многокомпонентные материалы на основе бессвинцовых сплавов и нанотрубок для контактных соединений в изделиях электроники**

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

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

Научный руководитель

Достанко Анатолий Павлович

академик НАН Беларуси

профессор; доктор технических наук

Минск 2022

## ВВЕДЕНИЕ

Существуют две основные причины перехода к бессвинцовым технологиям. Первая причина заключается в том, что свинец оказывает вредное воздействие на здоровье человека. При попадании в организм через дыхательные пути или пищевод свинец накапливается в пищеварительном тракте, что оказывает вредное воздействие на кровеносную и центральную нервную системы человека.

Вторая причина – большие термические нагрузки на компоненты, что влечет за собой ужесточение требований к работоспособности узлов пайки. В автомобильной промышленности для уменьшения числа проводов, а, следовательно, и снижения стоимости электронной системы все больше микросхем размещается в моторном отделении, температура которого может превышать 150°C. Более высокая температура приводит к пластическим деформациям, диффузии, рекристаллизации и росту зерна внутри узла пайки.

В 2006 году была принята директива RoHS, ограничивающая применение свинца и других признанных вредными элементов в потребительской и промышленной электронике. Это привело к тому, что большинство производителей электронных компонентов перешло на бессвинцовые сплавы. Следует заметить, что помимо экологической безопасности, бессвинцовые припои имеют более высокие эксплуатационные характеристики.

Одной из самых важных проблем при переходе на бессвинцовую технологию является обеспечение надежности бессвинцовых паяных соединений по сравнению с обычными свинецсодержащими. Для свинецсодержащих припоев накоплен большой опыт и обширные данные по исследованию свойств соединений и электронных узлов в течение долгого срока эксплуатации, исследование бессвинцовых припоев находится на начальной стадии.

Повышение качества соединения является одной из важнейших задач современного производства. При отказе от свинецсодержащего припоя и переходе на бессвинцовые припои необходимо избежать резкого увеличения количества дефектов паяных соединений. Применение бессвинцовых припоев приводит к изменению технологии пайки, потребуется корректировка режимов пайки и доработка технологического оборудования.

Таким образом, для получения качественных и стабильных контактных соединений необходимо решение комплекса взаимосвязанных проблем, направленных на разработку моделей и технологических основ новых активированных процессов формирования соединений, теоретическое и экспериментальное исследование механизмов формирования соединений,

создание оборудования на основе совместного применения концентрированных потоков энергии различных полей, что обеспечит существенное повышение качества изготавливаемых изделий, экономию материалов и снижение энергопотребления.

Для улучшения свойств бессвинцового припоя можно ввести углеродные нанотрубки. Как сказали исследователи американского университета, углеродные нанотрубки ведут себя как «умные самовосстанавливающиеся структуры». Они могут быть изготовлены различной длины в соответствии с требованиями, они невероятно легкие, стабильные и обладают потенциалом для разработки удивительных материалов. Под действием больших механических напряжений нанотрубки не рвутся, не ломаются, а просто перестраиваются их структура.

Модификация бессвинцового сплава нанотрубками повлияет на характеристики припойной пасты. Изменения коснутся таких свойств пасты, как срок службы и хранения, текучесть, что потребует изменения конструкции ракеля и режимов оплавления.

Целью диссертации является разработка бессвинцовой пасты, модифицированной нанотрубками для создания высоконадежных макро– и микроконтактных соединений в изделиях электроники с применением пайки индукционного нагрева.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать новые бессвинцовые пасты, модифицированные нанотрубками, и исследовать их электрофизические, механические и теплофизические свойства;
- оптимизировать режимы создания высоконадежных макро– и микроконтактных соединений в изделиях электроники с применением интенсифицирующих факторов;

## **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:**

В настоящее время существует необходимость замены свинец содержащих материалов для пайки по экологическим требованиям. Бессвинцовые контактные материалы позволяют снизить переходное электрическое сопротивление и повысить прочность паяных соединений, также обладают возможностью взаимодействия не только с металлическими, но и с неметаллическими подложками.

Применение бессвинцовых припоев и покрытий естественно приведет к изменению технологии пайки и в целом сборочных процессов. Потребуется корректировка режимов пайки и, как следствие, доработка технологического оборудования. Необходимо проведение комплексных испытаний бессвинцовых паяных соединений на прочность, тепловое сопротивление, коррозионную стойкость, совместимость с материалами и покрытиями паяемой стороны кристаллов и оснований корпусов полупроводниковых изделий.

### **Цель и задачи исследования:**

Исследование многокомпонентных материалов на основе бессвинцовых сплавов и нанотрубок для контактных соединений в изделиях электроники для создания высоконадежных макро– и микроконтактных соединений в изделиях электроники с применением интенсифицирующих факторов, включая ультразвуковую и электромагнитную энергию.

Для достижения поставленных целей основными задачами являются:

1. Анализ составов и структуры материалов на основе бессвинцовых сплавов и нанотрубок для формирования контактных соединений.
2. Разработка составов модифицированных бессвинцовых сплавов на основе олова, графена, германия и нанотрубок.
3. Разработка математической модели УЗ эффектов в жидкой среде припоя.

4. Разработка методики исследования прочности контактных соединений в зависимости от технологических параметров.

5. Экспериментальное исследование механических свойств, модифицированных многокомпонентных бессвинцовых материалов.

**Объектом:** многокомпонентные материалы на основе бессвинцовых сплавов и нанотрубок для контактных соединений в изделиях электроники.

**Предметом:** процессы формирования контактных соединений в изделиях электроники на основе бессвинцовых материалов.

**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 модификации бессвинцового припоя добавлением УНТ, а также проведении компьютерного моделирования процессов кавитации в MATLAB при помощи пакета Bubblesim.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту**

1. Компьютерная модель УЗ эффектов в расплавах в пакете Bubblesim (MATLAB) для получения оптимальных параметров воздействия энергии на равномерное перемешивание паяльной пасты и нанотрубок, показала, что увеличение частоты ультразвуковых колебаний с 22 до 44 кГц приводит к снижению числа захлопывающихся кавитационных полостей и, как следствие, к общему снижению локального кавитационного давления в припое.
2. Методика введения УНТ к бессвинцовой пасте с применением энергии колебаний, которая включает обработку УНТ в шаровой мельнице, центрифугирование, УЗ диспергирование УНТ на частоте  $44 \pm 1$  кГц и амплитуде колебаний 10–20 мкм в бессвинцовой паяльной пасте для получения концентрации (0,005–0,03%).
3. Закономерность увеличения прочности паяных соединений в 1,2–1,4 раза от процентного содержания УНТ в бессвинцовой пасте 0,005–0,03%, и улучшения растекаемости припоя на 5-7% по сравнению со стандартным составом паст.

**Теоретическая значимость** работы заключается в установлении влияния добавления УНТ на прочностные и электрофизические характеристики контактных соединений.

**Практическая значимость** диссертации состоит в том, что в дальнейшем результаты исследования можно использовать в технологии сборки электронных модулей SMD компонентов, также для проведения научно-исследовательских работ.

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

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения» – БНТУ, 2021 г; 57-я и 58-я научные конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, 2021–2022 г; 17-я Международная молодежная НТК Севастополь 2021 г.

**Публикации**

По материалам диссертации опубликовано 4 доклада в материалах научных конференций.

**Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка цитируемой литературы из 14 наименований. Общий объем диссертации – 45 страниц. Работа содержит 33 иллюстраций и 7 таблиц.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** приводится обоснование актуальности работы.

**В первой главе** рассматриваются виды и характеристики бессвинцовых припоев, влияние добавления различных легирующих добавок на качество получаемого соединения. Описаны свойства нанотрубок и перспектива их использования для модификации пасты. Также рассмотрены наиболее часто встречающиеся дефекты пайки.

**Во второй главе** разработана методика исследования влияния добавления УНТ к бессвинцовой пасте. Для равномерного смешивания компонентов паяльной пасты была использована установка, которая воздействовала на пасту УЗ колебаниями и инфракрасным нагревом. Структура полученной пасты была проверена на микроскопе. Сам процесс пайки проводился с помощью установки индукционного нагрева. Прочность полученных соединений проверялся на разрывной машине.

**В третьей главе** описано экспериментальное исследование свойств бессвинцовых паст с добавлением УНТ в различных пропорциях и показаны полученные результаты. Представлены зависимости прочности соединений от процентного содержания УНТ в бессвинцовой пасте, данные по растекаемости паст с УНТ.

**В четвертой главе** диссертации было проведено компьютерное моделирование ультразвуковых эффектов для определения оптимального диспергирования нанотрубок в бессвинцовой паяльной пасте. Показана динамика кавитационных полостей в припое при воздействии различной частоты. Результаты моделирования показали, что с ростом частоты размеры кавитационных областей уменьшаются в среднем в 2 раза. Моделирование проведено в программе MATLAB в пакете Bubblesim.

**В пятой главе** даны практические рекомендации по использованию паяльной пасты. Описан процесс поверхностного монтажа SMD-компонентов, даны рекомендации касательно используемого оборудования.

**В заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе проведенного анализа литературных источников и используя поиск материалов по данной теме в сети Интернет, определена перспективность и необходимость модификации бессвинцовых сплавов и паст. Так как температура плавления бессвинцовой пасты  $217\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что больше на  $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ , чем свинецсодержащая, что в свою очередь увеличивает количество дефектов. Модификации могут существенно увеличивать пластичность сплавов в твердом состоянии, улучшить микроструктуру сплавного соединения практически до вида Sn/Pb.

2. В ходе работы установлено влияние добавление УНТ на механические и электрофизические свойства бессвинцовой пасты. Введение УНТ массовой долей 0,005-0,03% в паяльную пасту Lead Free Solder Koki ( $217^{\circ}\text{C}$ ) Korea CO., LTD, увеличивает механическую прочность в 1,2–1,4 раза, достигая максимального значения 47,7 МПа при содержании УНТ 0,03%. При добавлении УНТ растекаемость припоя улучшается на 5-7%.

3. Результаты моделирования показывают, что для оптимального диспергирования нанотрубок в паяльной пасте необходимо учесть процесс кавитации, возникающий при УЗ-колебаниях. Таким образом увеличение частоты ультразвуковых колебаний приводит к снижению числа захлопывающихся кавитационных полостей и, как следствие, к общему снижению локального кавитационного давления в припое.

4. Разработана методика исследования влияния добавления УНТ к бессвинцовой пасте. Предложена конструкция образцов для испытаний, структура полученной модифицированной пасты. Также показана схема и формулы для определения коэффициента растекания припоя.

5. Опробовано практическое применение пасты при поверхностном монтаже SMD компонентов. Таким образом модификация состава бессвинцовой пасты УНТ позволяет повысить прочность паяных соединений и обеспечить возможность пайки труднопаяемых материалов. Применение легкоплавких сплавов с УНТ при сборке и монтаже SMD компонентов повысит механическую прочность контактных соединений.



## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1. Дерман, А.А. Исследование процессов формирования контактных соединений с ферритовыми материалами // Сборник материалов 57-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР 2021. – С. 219–221.

2. Буй, К.Д. Формирование клеевых и паяных соединений при сборке магнитострикционных преобразователей / К.Д. Буй, А.А. Дерман // Сборник материалов 14-ой Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения» БНТУ 2021. – С. 99

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

4. Дерман, А.А. Модификация паяльных паст углеродными наночастицами // Сборник материалов 58-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, – Минск, – 2022 (в печати).