

И.Б. Петухов, В. Л. Ланин, В.А. Емельянов

**ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ
МИКРОСВАРКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ
ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**

**Минск
«Интегралполиграф»
2021**

УДК 621.791.3: 621.396.6

Петухов, И.Б. Технология и оборудование микросварки в производстве изделий электронной техники / И.Б. Петухов, В.Л. Ланин, В.А. Емельянов. – Минск: Интегралполиграф, 2021. – 164 с. ISBN 978-985-6845-41-6

В монографии рассмотрены процессы формирования микросварных соединений при монтаже изделий электронной техники ультразвуковой и термозвуковой микросваркой, конструкции и материалы соединений, инструмент и оборудование, используемое для создания микромонтажных соединений в изделиях электроники. Рассмотрены физико-химические основы процессов создания микросварных соединений, применение интенсифицирующих воздействий, а также методы контроля качества соединений.

Проблемы технологии микромонтажных соединений в электронике приобрели особую актуальность в связи с высокой функциональной сложностью электронных компонентов и интеграцией их в малых объемах микроплат и микроблоков. Переход на 2,5 и 3D интеграцию электронных модулей ставит ряд новых задач по совершенствованию технологии, оптимизации технологических режимов, контролю качества соединений.

Книга предназначена для инженерно-технических специалистов, аспирантов и студентов технических вузов, специализирующихся в области технологии производства электронной аппаратуры.

Табл. 16. Ил. 126. Библиограф.: 106 назв.

Рекомендовано к изданию Советом БГУИР, протокол №7 от 26.02. 2021 г.

Р е ц е н з е н т ы:

академик НАН Беларуси и РАН, доктор технических наук,
профессор *В.А. Лабунов*,

член-корреспондент НАН Беларуси, доктор физико-математических наук,
профессор *Ф.Ф. Комаров*

© Петухов И.Б.,
Ланин В.Л.,
Емельянов В.А., 2021

ISBN 978-985-6845-41-6

Содержание

Введение	5
Глава 1. МИКРОСВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЯХ	7
1.1. Тенденции развития микросварных соединений.....	7
1.2. Микросварные соединения в интегральных микросхемах и микросборках.....	12
1.3. Соединения в многокристалльных модулях.....	17
1.4. Микро- и наноразмерные контактные соединения.....	20
1.5. Микропроволоки для контактных соединений.....	23
Литература.....	27
Глава 2. ТЕХНОЛОГИЯ МИКРОСВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	29
2.1. Классификация методов и механизмы образования соединений.....	29
2.2. Термокомпрессионная микросварка.....	32
2.3. Ультразвуковая микросварка проволочных выводов.....	34
2.4. Методы активации ультразвуковой микросварки.....	39
2.5. Термозвуковая микросварка.....	47
2.6. Микросварка расщепленным электродом.....	48
Литература.....	57
Глава 3. ФОРМИРОВАНИЕ ШАРИКА НА ЗОЛОТОЙ И МЕДНОЙ ПРОВОЛОКЕ ПРИ ТЕРМОЗВУКОВОЙ МИКРОСВАРКЕ МЕТОДОМ «ШАРИК-КЛИН»	69
3.1. Современное состояние и проблемы технологии термозвукового присоединения золотой и медной проволоки методом «шарик-клин».....	59
3.2. Методы формирования шарика в защитной атмосфере.....	61
3.3. Методы контроля процесса образования шарика.....	62
3.4. Оборудование термозвукового присоединения проволочных выводов методом «шарик-клин» в изделиях микроэлектроники.....	66
Литература.....	67
Глава 4. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МИКРОСВАРКИ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРИБОРАХ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ	69
4.1. Ультразвуковая микросварка проволочных выводов больших диаметров.....	69
4.2. Ультразвуковая микросварка ленточных выводов.....	78
4.3. Ультразвуковые системы для микросварки силовых контактных соединений.....	79
4.4. Инструмент для микросварки силовых контактных соединений.....	82

4.5. Автоматическое оборудование микросварки силовых контактных соединений....	85
Литература.....	88
Глава 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СБОРКИ МНОГОКРИСТАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ.....	90
5.1. Технология сборки многокристалльных модулей и систем в корпусе	90
5.2. Методика выбора способов контактных межсоединений в многокристалльных модулях.....	96
5.3. Технология Flip-Chip в 2,5D и 3D многокристалльных модулях.....	102
Литература.....	110
Глава 6. ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМОЗВУКОВОЙ МИКРОСВАРКИ СОЕДИНЕНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ПЛОТНОСТИ.....	112
6.1. Тенденции в совершенствовании изделий электроники и системы контактных соединений.....	112
6.2. Оценка минимальных размеров контактных площадок для термозвуковой микросварки методом «шарик-клин».....	114
6.3. Выбор инструмента для соединений повышенной плотности.....	116
6.4. Технология термозвуковой микросварки с повышенной частотой ультразвука.....	121
Литература.....	125
Глава 7. МОДЕЛИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ МИКРОСВАРКИ.....	126
7.1. Моделирование ультразвуковых технологических систем методом конечных элементов.....	126
7.2. Мониторинг ультразвуковой микросварки методом частотно–временного анализа вибраций инструмента.....	131
7.3. Настройка ультразвуковых технологических систем микросварки.....	136
7.4. Лазерный бесконтактный контроль амплитуды вибраций в ультразвуковой технологической системе микросварки.....	140
Литература.....	143
Глава 8. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МИКРОСВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	145
8.1. Методы контроля прочности соединений.....	145
8.2. Контроль электрических параметров соединений.....	153
8.3. Акустические методы контроля соединений.....	157
Литература.....	162

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы формирования микромонтажных соединений в технологии изделий электронной техники (ИЭТ) имеют особую актуальность по целому ряду причин. Операции сборки и монтажа являются до сих пор самыми трудоемкими при изготовлении ИЭТ и занимают до 50–70 % общей трудоемкости изготовления изделий. Микроминиатюризация элементов и создание функционально сложных микроэлектронных устройств, в частности сверхбольших интегральных микросхем (СБИС) и микропроцессоров вызвала особые проблемы в области микромонтажа ИЭ. Увеличение плотности активных элементов на кристалле в среднем на 75 % в год вызывает необходимость в увеличении количества выводов на корпусах на 7-12 % в год [1]. Это обуславливает постоянно растущий спрос на новые методы корпусирования, создающие высокую плотность межсоединений на печатных платах. Высокую функциональную сложность и степень интеграции невозможно реализовать без принципиального совершенствования системы контактных соединений. В современных микропроцессорах с рабочей частотой сигнала порядка 4 ГГц число выводов корпуса достигает свыше 1000 [2].

Освоение электронных сборок V поколения - многокристальных модулей (МКМ) - тонкопленочных многослойных гибридных конструкций, выполненных на керамических, кремниевых или металлических подложках, к которым кристаллы монтируются с помощью клеевой композиции или другим способом, например с использованием пайки, а межсоединения с кристаллами выполняются проволочными межсоединениями по методу кристалл-кристалл, или кристалл-кросс плата-кристалл, существенно повысило плотность монтажных соединений. Традиционные процессы монтажа не обеспечивают необходимой в настоящее время высокой производительности и высокого процента выхода годных изделий с плотным монтажом. Статистические данные показывают, что 50–80 % всех отказов в ИЭТ происходит вследствие дефектов соединений, причем стоимость обнаружения и исправления отказа на этапе сборки блока обходится в 100 раз дешевле, чем при испытаниях аппаратуры [3].

Повышение производительности труда, качества и надежности соединений может быть достигнуто за счет широкого внедрения автоматизированного оборудования с микропроцессорным управлением, использования концентрированных потоков энергии электромагнитного поля, включая высокочастотное, инфракрасное, лазерное излучение, разработки новых материалов для формирования соединений.

Одной из проблем использования бесконтактных методов активации является недостаточная изученность механизмов воздействия концентрированных потоков энергии ультразвукового (УЗ) и электромагнитного (ЭМ) полей на расплавы и электронные компоненты, а также отсутствие моделей процессов диффузии при их совместном действии.

Особенностями процессов формирования контактных соединений в ИЭТ

являются: широкая номенклатура используемых электронных компонентов, интегральных микросхем, микросборок; различные виды монтажа дискретных электронных компонентов на печатных, двусторонних и многослойных платах; микросоединений на подложках, микроплатах, в многокристальных модулях; разнообразные по физической природе источники теплового излучения: потоки расплавленного припоя, нагретый инструмент, концентрированные потоки энергии различных полей. Для реализации высокоэффективных технологических процессов формирования соединений и управления ими в реальном масштабе времени необходимо современное программно-управляемое оборудование, сочетающее возможность компьютерного управления процессами с гибкой переналадкой производства. Обеспечение высокого качества ИЭТ в условиях автоматизированного производства невозможно без разработки достоверных математических моделей, описывающих процессы формирования соединений с применением активирующих факторов.

До сих пор в микроэлектронике самым распространенным процессом формирования электрических соединений нулевого и первого уровней является ультразвуковая микросварка проволокой. Однако в силу современных требований повышается роль технологии монтажа кристалла интегральной микросхемы планарной стороной вниз, к подложке, т.е. технологии Flip-Chip. Основными преимуществами технологии сборки методом перевернутого кристалла являются матричное расположение контактных площадок (по сравнению с контактными площадками, расположенными по краю кристалла) и очень малая протяженность межкомпонентных соединений, что сводит к минимуму величину их индуктивности.

Таким образом, для получения качественных и стабильных микроконтактных 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.

Решению названных актуальных для науки и практики задач и посвящена настоящая книга.