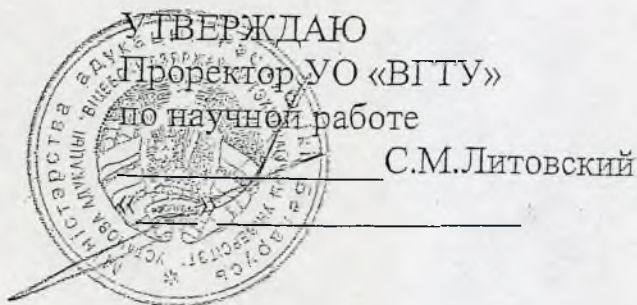


Министерство образования Республики Беларусь
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ВГТУ)

УДК 621.762

№ гос. регистрации 2001390

Инв.№



ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ИССЛЕДОВАТЬ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА И
СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОД
ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И РАЗРАБОТАТЬ НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ
МЕТОДА ЛАЗЕРНОЙ ПАЙКИ РАДИОКОМПОНЕНТОВ

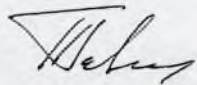
(заключительный)

2004-175-293

по заданию 19 ГПОФИ «Материал» МПФИ «Наукоемкие технологии»

Научный руководитель
д-р физ.-мат. наук,
профессор

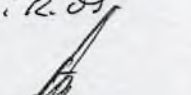
подпись
дата


25.12.05

Н.К.Толочко

Начальник НИС

подпись
дата


25.12.05

С.А.Беликов

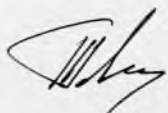
Витебск 2005

Библиотека ВГТУ



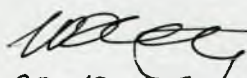
СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР,
доктор физ.-мат. наук, профессор


25.12.05

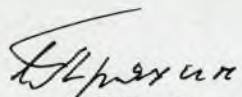
Н.К. Толочко
(введение, разделы 1-5,
заключение)

Отв. исполнитель эксперимен-
тальных исследований, кандидат
физ.-мат. наук, доцент


25.12.05


Ю.В. Хлопков
(разделы 2-4)

Отв. исполнитель теоретических
исследований, ассистент


25.12.05

С.С. Пряхин
(разделы 1-5)

Нормоконтроль


25.12.2005г.

А.С. Скробова



РЕФЕРАТ

Отчет 123 с., 51 рис., 11 табл., 39 источников.

ЛАЗЕР, ПАЙКА, ПАЯНОЕ СОЕДИНЕНИЕ, РАДИОЭЛЕМЕНТ, ПОВЕРХНОСТНЫЙ МОНТАЖ, ПЛАВЛЕНИЕ, КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ, СТРУКТУРА.

Объектом исследований являются тепловые, термомеханические и оптические явления, сопровождающие лазерное воздействие в зону паяного соединения в условиях технологических процессов лазерной пайки и лазерно-теплового контроля качества паяных соединений.

Цель работы – установление физических закономерностей процессов формирования паяных соединений под действием лазерного излучения и разработка научных основ управляемой лазерной пайки радиоэлементов при производстве изделий электронной техники.

Проведено численное моделирование тепловых явлений, сопровождающих процесс лазерной пайки. Выявлено, что завершение плавления припоя в условии продолжения лазерного нагрева сопровождается резким ростом скорости его нагрева. Поэтому в системе управления процессом необходимо обеспечивать своевременное отключение лазерного нагрева.

При анализе результатов моделирования термомеханических явлений при пайке чипа в условии поверхностного монтажа установлено, что возникающие в нем неустановившиеся термомеханические напряжения не представляют опасности, даже если чип имеет хрупкую керамическую основу. Показано, что остаточные напряжения после лазерной пайки жесткокорпусных чипов на порядок меньше, чем после пайки групповыми методами. Это позволяет решить существующую проблему монтажа чипов.

Проведены экспериментальные измерения временных характеристик сигналов теплового излучения, испускаемого паяным соединением, формируемым в ходе лазерной пайки. Установлено, что динамика измеряемых сигналов имеет характерные особенности, позволяющие фиксировать начало и завершение плавления припоя. Это, в свою очередь, позволяет своевременно выключать лазерный нагрев после завершения плавления. Отмечены особенности динамики сигнала, соответствующие нарушениям теплового режима процесса пайки, ведущие к дефектности паяных соединений.

Используя анализ решенной в рамках настоящих исследований одномерной тепловой задачи нагрева двухслойного тела с неидеальным контактом, было показано, что при параметре теплообмена с окружающим материалом (критерии Био) $Bi \ll 1$ динамике поверхностных температур паяных соединений в условии лазерно-теплового контроля отвечают два временных масштаба, характеризующие внутренние и внешние релаксационные процессы. Разработана кинетическая модель, описывающая динамику поверхностных температур паяного соединения. Разработаны алгоритмы и программа расчетов и анализа распределений параметров тепловой

кинетики однотипных паяных соединений по данным протоколов предварительных измерений в эталонных паяных соединениях, отработан метод выявления дефектов контролируемых паяных соединений, характеризующихся отличием значений кинетических параметров от эталонных.

СОДЕРЖАНИЕ

| | Стр. |
|--|------|
| Введение | 7 |
| 1 Расчет температурных полей в объектах при лазерном воздействии | 9 |
| 1.1 Нестационарный нагрев двухслойного тела тепловым потоком: Идеальный тепловой контакт | 10 |
| 1.2 Нестационарный нагрев двухслойного тела тепловым потоком: Неидеальный тепловой контакт | 13 |
| 1.3 Кинетика лазерного нагрева и охлаждения поверхности паяного соединения при лазерном контроле качества паяных контактов (одномерный случай) | 19 |
| 1.4 Нестационарные процессы теплопередачи в условии фазовых переходов | 21 |
| 1.5 Выводы по разделу 1 | 23 |
| 2 Исследование тепловых и термомеханических явлений при пайке чипов | 24 |
| 2.1 Используемые физические модели формирования термических напряжений при пайке | 25 |
| 2.2 Моделирование нестационарного процесса нагрева ИК-излучением элемента поверхностного монтажа в условии пайки | 27 |
| 2.3 Термические напряжения в элементе при пайке ИК-излучением | 31 |
| 2.4 Моделирование нестационарного процесса нагрева элемента поверхностного монтажа в условии лазерной пайки | 35 |
| 2.5 Термические напряжения в элементе поверхностного монтажа в условии лазерной пайки | 44 |
| 2.6 Выводы по разделу 2 | 51 |
| 3 Исследования динамических характеристик потоков излучений, исходящих из паяного соединения при лазерном нагреве | 54 |
| 3.1 Экспериментальная установка для регистрации оптических сигналов | 55 |
| 3.2 Влияние параметров лазерного излучения на характеристики сигнала теплового излучения | 58 |
| 3.3 Исследование динамики отраженного лазерного излучения при пайке чип-элементов .. | 60 |
| 3.4 Выводы по разделу 3 | 62 |
| 4 Определение технологических режимов лазерной пайки по динамике потоков теплового излучения | 63 |
| 4.1 Техника эксперимента и методика обработки данных | 63 |
| 4.2 Динамика радиационных потоков от формируемых при лазерной пайке паяных соединений | 76 |

| | |
|---|-----|
| 4.3 Обсуждение полученных результатов по лазерной пайке и рекомендации по ее практическому использованию | 84 |
| 4.4 Выводы по разделу 4 | 86 |
| 5 Исследование процесса лазерного контроля качества пайки | 88 |
| 5.1 Моделирование процесса нагрева и охлаждения поверхности паяного соединения при лазерно-тепловой дефектоскопии | 89 |
| 5.2 Исследования параметров кинетики тепловых процессов при лазерно-дозированном нагреве для ансамблей однотипных паек | 95 |
| 5.3 Статистический анализ данных кинетики и выявление дефектных соединений | 100 |
| 5.4 Разработка программного обеспечения для анализа распределений кинетических параметров и выявления дефектов для однотипных паяных соединений | 106 |
| 5.5 Выводы по разделу 5 | 116 |
| Заключение | 118 |
| Список использованных источников | 121 |

Введение

Пайка радиокомпонентов широко применяется при изготовлении изделий электронной техники. В настоящее время требования дальнейшего уплотнения в современных сборках печатных плат сталкиваются с ограниченными возможностями осуществления отдельных технологических операций, в том числе пайки. Традиционные и даже новые, перспективные методы пайки [1] уже не позволяют формировать прецизионные паяные соединения, особенно в условиях плотного монтажа. Так, при пайке волной припоя возникают перекрытия между проводниками на монтажной плате при расстоянии между ними менее 0,5 мм. Пайка световым лучом обеспечивает локальность, равную межэлектродному расстоянию радиокомпонентов, нижний предел которого составляет около 1 мм.

Проблемным вопросом является монтаж радиокомпонентов, для которых критичны термические и термомеханические нагрузки, возникающие при пайке. Такими компонентами являются элементы с полупроводниковыми переходами, температурная стойкость которых составляет 100-120 °С, а также жесткокорпусные элементы, имеющие керамическую основу. Их групповая пайка в технологических линиях, например, с применением панельных излучателей, создает проблемы, связанные с нагревом до температур, превышающих температуры плавления припоев. Даже при применении максимально оптимизированных температурно-временных режимов нагрева и охлаждения жесткокорпусные радиокомпоненты подвергаются значительным термонапряжениям.

Одним из путей решения данных проблем является использование для пайки лазерного излучения, которое можно фокусировать в пятно размером в десятки микрон, обеспечивая необходимую локальность. Этим обеспечивается пайка практически всех существующих радиокомпонентов при любой плотности монтажа [2]. Для получения качественного паяного соединения почти для всех применяемых в настоящее время элементов поверхностного монтажа время пайки составляет 0,1-0,5 с при мощности излучения 10-60 Вт. При таком кратковременном лазерном воздействии, можно обеспечить нагрев припоев до плавления, предотвращая перегрев монтируемых радиокомпонентов.

Следует отметить, что качественные соединения при пайке формируются при нагреве припоев до определенных температур. При этом обеспечивается оптимальное соотношение между текучестью и смачиванием припоев. В процессе лазерной пайки имеет место существенно неравновесный тепловой процесс, обусловленный внешним потоком энергии. При этом отсутствует такой стабилизирующий фактор, как температура внешнего источника нагрева. Поэтому для обеспечения оптимального теплового режима при лазерной пайке необходимо управление лазерным нагревом. В работе [3] сообщалось о способе управляемой лазерной пайки, в

котором в цепи обратной связи в системе управления лазерной мощностью используется сигнал с датчика, осуществляющего измерение теплового излучения из зоны пайки.

Ранее сообщалось о разработках для собственных нужд аппаратуры лазерного контроля качества паяных соединений, выполнявшихся фирмой Vanzetti Infrared & Computer Systems (США, Массачусетс) [3-7]. В результате была создана установка Li-6000, с высокой производительностью 6-10 соединений в секунду. В установке использовалось тепловое зондирующее воздействие YAG-лазера и анализ динамики теплового излучения для выявления дефектов пайки. Вероятно потому, что эта фирма является крупнейшим производителем электронной аппаратуры для систем вооружения США, вскоре публикации по данному направлению были прекращены.

Анализ аппаратурного обеспечения технологии лазерной управляемой пайки и лазерного контроля свидетельствует об однотипности состава оборудования для выполнения этих операций. Между тем отечественный опыт [2, 7] свидетельствовал о потенциально высокой производительности данных методов пайки и контроля.

Учитывая, что Беларусь является одним из ведущих производителей изделий электронной техники на постсоветском пространстве, представлялось актуальным проведение исследований в данных направлениях. Предполагалось выполнение исследований закономерностей процессов теплообмена и структурообразования при формировании паяных соединений под воздействием лазерного излучения.

В данной работе преследовалась цель разработать научные основы метода контроля хода лазерной пайки и качества получаемых соединений с использованием измерений потоков излучения, исходящих от места пайки. Имея обратную связь с управляющими элементами лазерной установки, можно не только активно влиять на процесс пайки, но также выявлять возможное появление различных дефектов пайки и оперативно устранять эти дефекты путем повторной избирательной пайки в рамках единого технологического цикла.

Исследования проводились в течение 2001-2005 годов. Результаты исследований в данном отчете представлены в пяти разделах в соответствии с годами их выполнения.

Список использованных источников

1. Кундас С.П., Достанко А.П., Ануфриев Л.П., Русецкий А.М., Семашко В.И., Коробченко В.Ф. Технология поверхностного монтажа. Минск: «Армита – Маркетинг, Менеджмент», 2000. 350 с.
2. Хлопков Ю.В., Каменков В.С., Сафронов А.Н. Позиционная лазерная пайка // Электронная промыш., 1992, №5. С. 25-26.
3. Менгин Ч.Г., Макклелланд С. Технология поверхностного монтажа. Пер. с англ. - М.: Мир, 1990. 227 с.
4. Электронная промышленность. Сер. Технология электротехнического производства. 1984. Вып. 5 (180). С. 13.
5. Contrôle par laser de soudures. // Mesures. 1983, N 11, p. 73-76.
6. Laser-soldering system closes inspection loop // Electronic Design, 1986, vol. 34, No 22, pp. 29-32.
7. Traub A.C. Parts inspection by laser beam heat injection // NDT International. 1988, vol. 21. No 2. P. 63-69.
8. Хлопков Ю.В., Каменков В.С., Григорьев С.Н. Методы и аппаратура автоматизированного лазерно-теплового контроля качества паяных соединений. // Тезисы Всесоюзной конференции "Проблемы автоматизации сборки радиоаппаратуры". М: 1991. С. 37.
9. Vanzetti R., Filkiert G. New Laser Has Vision/IECON, 4, p. 717-721.
10. Толочко Н.К., Хлопков Ю.В, Каменков В.С., Пряхин С.С. Лазерно-тепловой контроль качества приповерхностной структуры изделий и соединений // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: Сб. научн. трудов /Под ред. С.А. Астапчика, П.А. Витязя - Мн.: Технопринт, ПГУ, 2001. С.515-518.
11. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Кокора А.Н. Лазерная обработка материалов. М.: Машиностроение, 1975. 296 с.
12. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник / Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зуев И.В., Кокора А.Н. - М.: Машиностроение, 1985. 496 с.
13. Пехович А.И., Жидких В.М. Расчеты теплового режима твердых тел. Л.: Энергия, 1976. 352 с.
14. Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы теории теплопроводности. -Учеб. пособие для вузов. Ч. 1. М.: Высш. школа, 1982. 327 с.
15. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высш. школа, 1967. 600 с.
16. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М.: Машгиз. 1951. 296 с.
17. Саржевский А.М. Оптика. Ч.2. Мн.: Университетское. 1986. 319 с.

18. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Анищенко Л.М. Высокотемпературные технологические процессы. Теплофизические основы. М.: Наука. 1985. 172 с.
19. Лохнов Ю.И., Рожнов Г.Н., Швыркова И.И. Кинетика образования жидкой фазы с учетом теплоты фазового перехода под действием точечного источника тепла. - Физика и химия обработки материалов. 1972. № 3. С 9-17.
20. Мачулка Г.А. Лазерная обработка стекла. М.: Сов. радио, 1979. 136 с.
21. Окадзаки К. Технология керамических диэлектриков. М.: Энергия. 1976. 336 с.
22. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука. 1979. 350 с.
23. Гейтвуд Б.Е. Температурные напряжения применительно к самолетам, снарядам, турбинам и ядерным реакторам. М.:ИЛ,1959. 350 с.
24. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука. 1966. 724 с.
25. Толочко Н.К., Пряхин С.С., Хлопков Ю.В. Кинетика поверхностных температур при лазерно-тепловой диагностике контактов / Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины, № 6 (9), 2001 г. С.75-79.
26. Фарлоу С. Уравнения с частными производными для научных работников и инженеров. М.: Мир,1985. – 384 с.
27. Попилов Л.Я. Советы заводскому технологу: Справочное пособие. Л.: Лениздат. 1975. 264 с.
28. Справочник по пайке: Справочник / Под ред. Петрунин И.Е. - М.: Машиностроение. 1984. 400с.
29. Таблицы физических величин. Справочник / Под ред. акад. И.К. Кикоина. М.: Атомиздат. 1976. 1008 с.
30. Доннел Л.Г. Балки, пластины и оболочки. М.: Наука. 1982. 568 с.
31. Фотоприемники видимого и ИК; диапазонов./ Под ред.Р.Дж. Клеса. М.: Радио и связь, 1985. 328 с.
32. Ишанин Г.Г. Приемники излучения оптических и оптико-электронных приборов. Л.: Машиностроение, 1986.-175 с.
33. Аксененко М.Д., Баранчиков М.А. Приемники оптического излучения. М.: Радио и связь.1987.-269 с.
34. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука. 1990. 624 с.
35. Laser-soldering system closes inspection loop // Electronic Design, 1986, vol. 34, No 22, p. 29-32.
36. Хлопков Ю.В., Каменков В.С. Лазерно-тепловой контроль паяных соединений печатных плат // Приборы и системы управления, 1993, 11, с. 46-47.

37. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке бейсик для персональных ЭВМ. – М.: Наука. 1989. 240 с.
38. Карасев А.И. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Статистика. 1977. 279 с.
39. Новицкий П.Н., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат. 1991. 304с.

