

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П.КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)» в качестве методических указаний

САМАРА
Издательство СГАУ
2014

УДК 621.791(075)

ББК 34.643я7

Составители: *М.Н. Пиганов, А.В. Архипов, С.В. Тюлевин*

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. В. Полулех

Исследование и анализ качества паяных соединений электронных узлов: метод. указания / сост.: *М.Н. Пиганов, А.В. Архипов, С.В. Тюлевин.* – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2014. – 16 с.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению 211000 «Конструирование и технология электронных средств».

УДК 621.791(075)

ББК 34.643я7

Общие сведения

Цель работы – изучение методики исследования качества паяных соединений (ПС) электронных узлов и приобретение навыков проведения их анализа.

1. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими основами работы.
2. Получить индивидуальное задание у преподавателя.
3. Провести анализ спектрограмм.
4. Построить распределения компонент ПС.
5. Определить вид и закон распределения компонент ПС.
6. Сделать выводы.
7. Оформить отчет.
8. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

2. Теоретические основы работы

2.1. Электронная микроскопия и микроанализ

Контроль качества современных изделий микроэлектроники производят методами электронной микроскопии, оже-спектроскопии, электронно-зондового рентгеновского анализа. Указанные методы с успехом можно использовать для анализа технологических процессов изготовления изделий, физическая структура которых критична к точности воспроизведения геометрических размеров и повреждаемости дефектами.

Электронные микроскопы подразделяются на три типа: просвечивающие, зеркальные и эмиссионные. Они используются в двух режимах: проекционном и растровом сканирующем. Наиболее перспек-

тивно использование сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). СЭМ обеспечивает контроль пространственных микрообъектов, возможность обозрения больших площадей при небольших увеличениях и интересующих нас маленьких участков при больших увеличениях. Разрешающая способность СЭМ составляет 3...10 нм. Способность СЭМ обеспечивать наблюдение структуры поверхности выгодно отличает его от других электронно-оптических микроскопов. Использование СЭМ в различных режимах работы этого прибора позволяет производить анализ состава материала методом спектроскопии по потерям энергии электронов, анализировать распределение атомов примеси по поверхностям образца методом электронной оже-спектроскопии. В последнем случае необходимо использовать более длительное время сканирования, большое сканирующее пятно и эффективный анализатор энергии электронов. Тем не менее этот метод позволяет получить микрометровые разрешения. Поскольку оже-электроны появляются только в поверхностном атомном слое, оже-анализ может быть выполнен лишь в сверхвысоком вакууме после очистки поверхности от загрязнений, осуществляемой бомбардировкой поверхности пуском ионов аргона. Прибор для такого анализа известен как сканирующий оже-электронный микроскоп (СОЭМ).

Если сканирующее пятно взаимодействует с поверхностью, то также генерируется характеристическое рентгеновское излучение, специфическое для каждого облучаемого материала (рентгеновская флуоресценция). Поскольку кванты рентгеновского излучения могут выходить из более глубоких слоев материала, чем электроны той же энергии, они являются более информативными относительно объемного состава образца, а также допускают работу прибора с менее высоким вакуумом по сравнению с оже-спектроскопией. Рентгеновские лучи регистрируются твердотельными счетчиками, которые считают отдельные кванты и измеряют их энергию. Если считаются кванты только с энергией, характеризующей данный материал, то измеряется количественное рас-

пределение этого материала по всей сканирующей поверхности. Для материалов с низким атомным номером, когда требуется более высокая точность регистрации низкоэнергетических квантов, вместо счетчиков используются рентгеновские кристаллические спектрометры, работающие по принципу отражений Брэгга. Такой набор называют сканирующим рентгеновским микронзондом.

В табл. 1 указаны различные типы режимов СЭМ для исследования изделий микроэлектроники различного назначения, используемые соответствующие физические эффекты, получаемая информация, ожидаемое пространственное разрешение и приведены данные по основным областям применения методов микроскопии.

Таблица 1. Режим работы СЭМ для изучения изделий микроэлектроники различного назначения

Режим работы	Физический эффект	Получаемая информация и применение	Пространственное разрешение
1	2	3	4
1. Вторичная эмиссия (ВЭ)	Зависимость ВЭ от угла падения первичного луча и материалов	Изображение структуры, изображение магнитных доменов	0,01 мкм
2. Эмиссия обратного рассеяния (ОР)	Зависимость коэффициента ОР от угла падения	Структура поверхности, измерение атомного номера, химическая кристаллическая ориентация	0,01...1 мкм
3. Построение карт токов ВЭ и ОР	Измерение тока в зонде из-за изменений ВЭ	Топологический контраст, контрастное изображение материала	0,1...1 мкм
4. Каналирование	Зависимость ВЭ и ОР от кристаллографической ориентации	Структура кристалла	1...10 мкм
5. Потенциальный контраст	Влияние на ВЭ потенциала и геометрии зонда	Карта распределения потенциала в поверхностных структурах изделий.	1...10 мкм

1	2	3	4
		Местоположение и высота потенциальных барьеров, изменение проводимости	
6. Индуцированный ток	Падающие электроны создают избыточный ток, который изменяет ток во внешней цепи	Обнаружение встроенных барьеров в неоднородных полупроводниках, определение диффузионной длины, глубины и толщины р-п-переходов, локализация дефектов и проводимости	0,1 мкм
7. Католюминесценция	Эмиссия фотонов (от инфракрасных до ультрафиолетовых) из образца в результате облучения его электронами	Локальные характеристики величины запрещённой зоны, распределение примесей. Определение времён релаксации радиационных процессов	0,1 мкм
8. Рентгеновский анализ	Характеристическое излучение	Качественный и количественный анализ элементов	1...10 мкм
9. Оже-электроны	Измерение спектрометром энергетического спектра Оже-электронов (100...1000 эВ); смещение Оже-пииков под действием локальных полей	Карта элементарного анализа материала (лёгких элементов), локальное измерение потенциалов	0,1 мкм
10. Просвечивание	Упругое рассеяние	Движение атомов, изучение ядерных процессов, спектроскопия энергетических потерь, литография нанометрового диапазона	1...10нм

2.2. Методика подготовки микрошлифов

Контроль и изучение качества пайки проводится путем визуального морфологического исследования и микроанализа зоны паяного соединения. Для этого используют сканирующий электронный микроскоп VEGAII с системой энергодисперсионного рентгеноспектрального микроанализа Oxford Analytical типа INCAx-act.

Для исследования используются микрошлифы. Методика их получения состоит в следующем.

1. Прецизионная резка печатного узла тонким алмазным диском (толщина 0,3 мм) по отмеченным зонам. Использовался отрезной низкооборотный станок ISOMET фирмы Buehler LTD (США).

2. Пришлифовка сечений образцов на абразивной водостойкой бумаге 800 grid (40 мкм).

3. Подгонка рабочих сечений образцов с контролируемыми участками на шлифовальном станке до вскрытия исследуемых элементов монтажа. Используется шлифовально-полировальный станок для металлографии ECOMET-IV фирмы Buehler (США).

4. Компоновка образцов в требуемую форму на двухсторонний скотч.

5. Установка формованных образцов (отрезанных фрагментов узла со вскрытыми сечениями) в заданную форму.

6. Заливка образцов в форме эпоксидной смолой для пропитки. Используется технология холодной заливки, т.к. температура плавления припоев и технологических материалов на узле $\sim 200^{\circ}\text{C}$.

7. Промывка полученных заготовок спиртом/ацетоном для снятия слоя клея.

8. Пришлифовка заготовок на абразиве 800 grid.

9. Предполировочная доводка заготовок на абразиве 1200 grid (15...20 мкм).

10. Полировка на нейлоновом сукне с мелким ворсом на суспензии Al_2O_3 (размер частиц – 0,3 мкм).

11. Промывка водой. Осуществляется после каждой операции.

12. Извлечение «таблетки» с исследуемыми образцами из оснастки (металлического кольца).

13. Покрытие «таблеток» с рабочей стороны слоем золота (толщина ~200 Å) на установке катодного распыления JFC-1100 (фирма JEOL). Это необходимо для предотвращения зарядки образца при электронной бомбардировке и улучшения контраста изображения.

При подготовке образцов используется оптический бинокулярный микроскоп с цифровым окуляром типа ОМ и расходные материалы фирмы Buehler LTD (США).

3. Методика исследования

Контроль качества пайки компонентов проводится путем визуального морфологического исследования и микроанализа зоны паяного соединения на плате. Для этого используется сканирующий электронный микроскоп VEGA II с системой энергодисперсионного рентгеноспектрального микроанализа Oxford Analytical типа INCAx-act.

Исследования проводятся на поверхности контактных площадок печатной платы, на поверхности чип-компонентов и в зоне пайки. Контроль структуры и элементного состава проводится при следующих режимах и параметрах:

- режимы сканирования: RESOLUTION, WIDE FIELD;
- HV-30 kV;
- PC: 1...8;
- размер зонда 160...550 nm;
- скорость: 2...8;
- детектор: SE;

- дефокус: [-0,306...-6,296] mm;
- стигматор: [-3,9/ 0,3 %];
- контрастность/яркость: 47,8/88,1 %...61,1/90,0 %;
- ток: 8...10 pA;
- сдвиг: 0,0 μm /-0,0 μm ;
- WD: 15077...21296 mm.

4. Методика анализа

Анализ качества паяных соединений BGA-микросхем проводится на основе полученных результатов на сканирующем электронном микроскопе VEGA II с системой энергодисперсионного рентгеноспектрального микроанализа Oxford Analytical типа INCAx-act.

На рис. 1 приведен общий вид ряда паяных соединений для BGA-микросхемы (увеличение – 50 \times ; ускоряющее напряжение – 30 кV; детектор SE; размер поля – 4,33 мм).

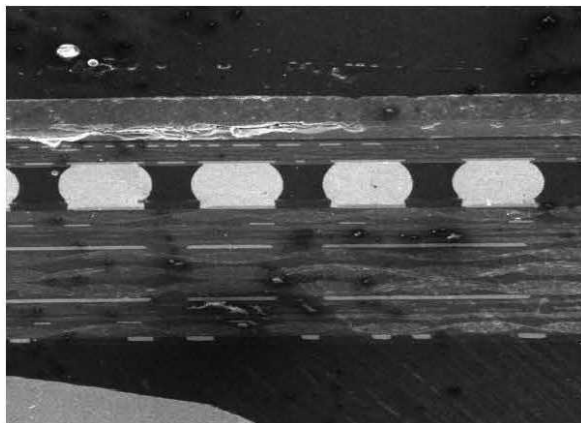


Рис. 1

На рис. 2 показано соединение шарика №3 (увеличение – 200 \times ; размер поля – 4,33 мм). В центре шарика (вывода BGA) видна пора.

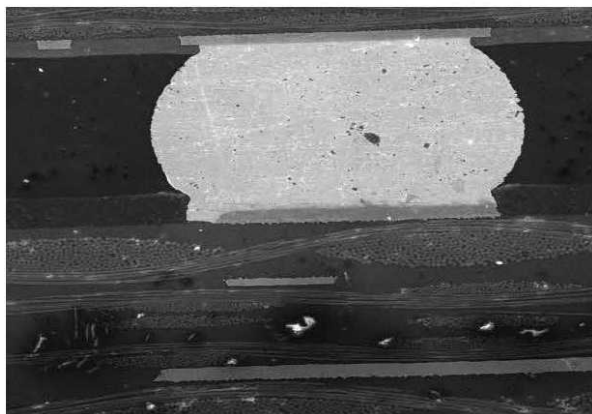


Рис. 2

На рис. 3 эта пора показана при увеличении 5000 \times (размер поля – 43,34 мкм).

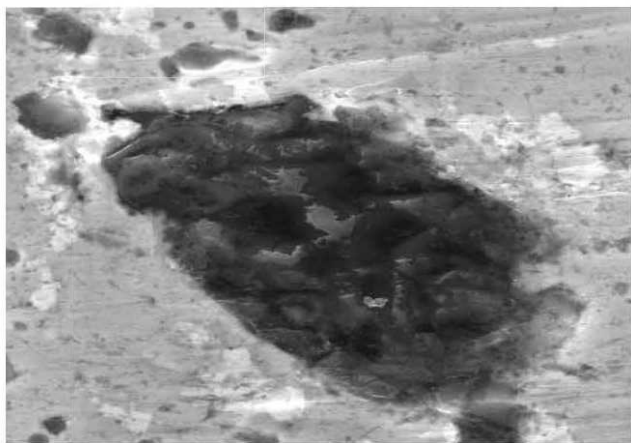


Рис. 3

Проводится микроанализ в самой темной части этой поры (рис. 4) и на светлом участке (рис. 5), расположенном рядом. В обоих случаях обнаружены включения окиси алюминия. В темной области содержание Al составляет 40,2 вес. %, O – 41,82 вес. %, а в светлой – 43,43 вес. % и 49,11 вес. % соответственно.

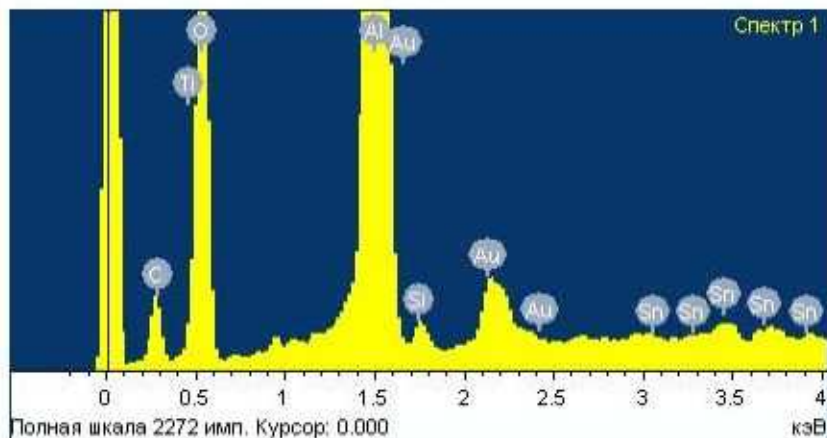


Рис. 4

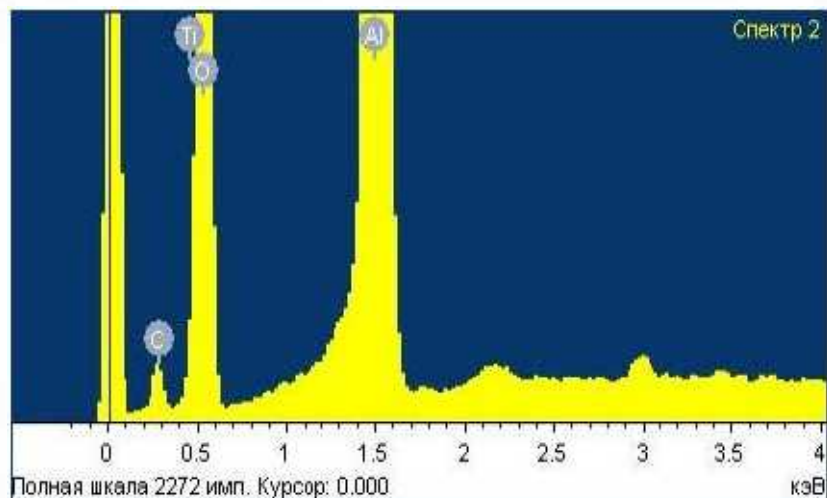


Рис. 5

Далее проводится микроанализ контактных площадок, выводов и самого паяного соединения данного шарика. На рис. 6, 7, 8, 9 приведена спектрограмма, полученная в различных точках данного шарика паяного соединения.

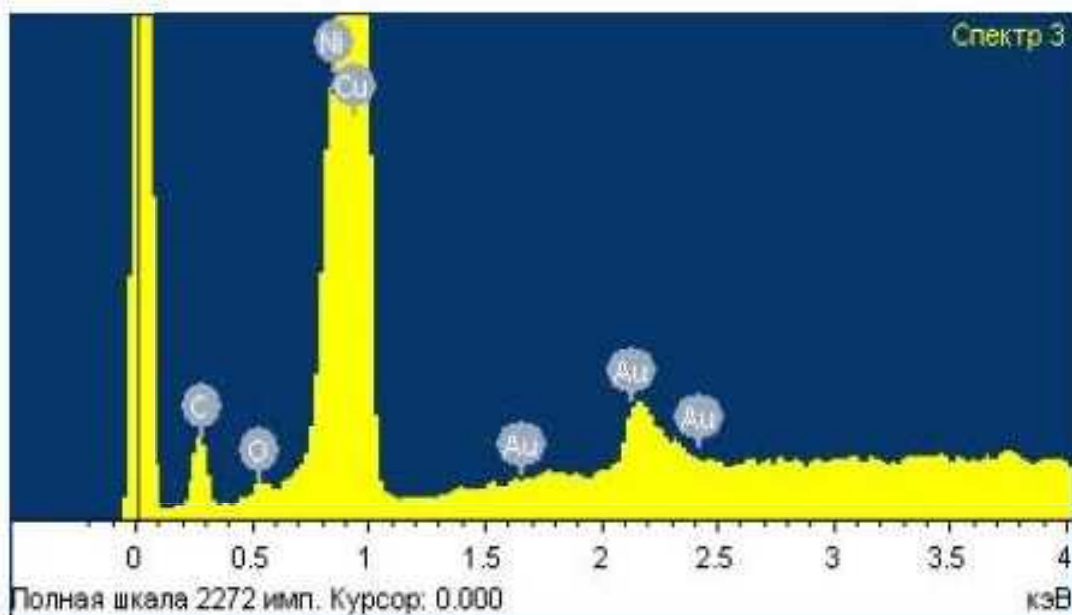


Рис. 6. Содержание Cu составляет 82,51 вес. %, Au – 1,59 вес. %, Ni – 0,54 вес. %

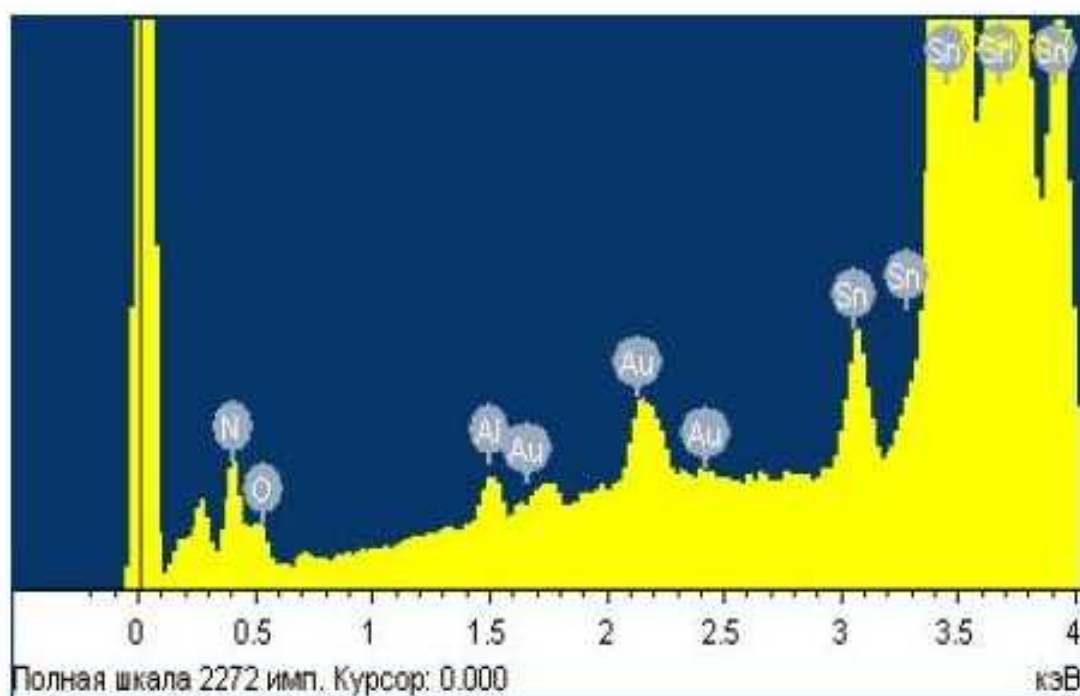


Рис. 7. Содержание Sn составляет 84,55 вес. %, Au – 1,74 вес. %, Pb – 7,26 вес. %

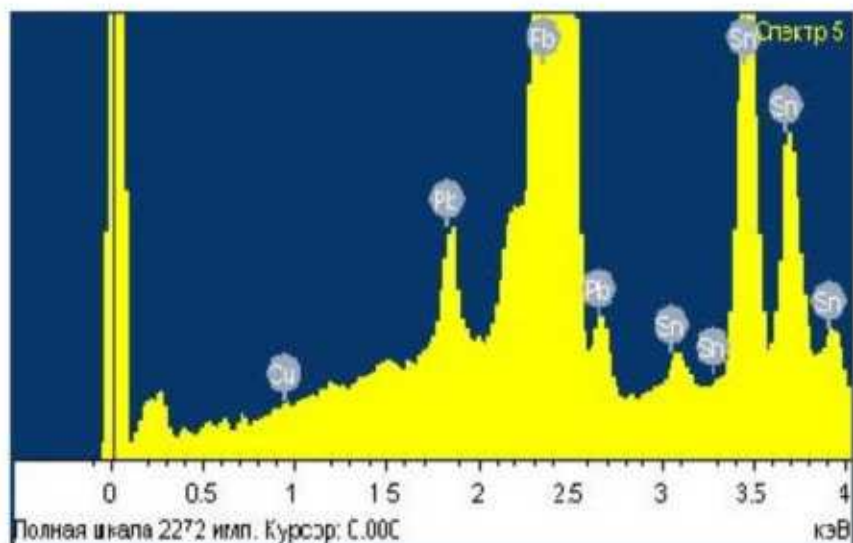


Рис. 8. Содержание Sn составляет 29,61 вес. %, Pb – 69,8 вес. %, Cu – 0,59 вес. %

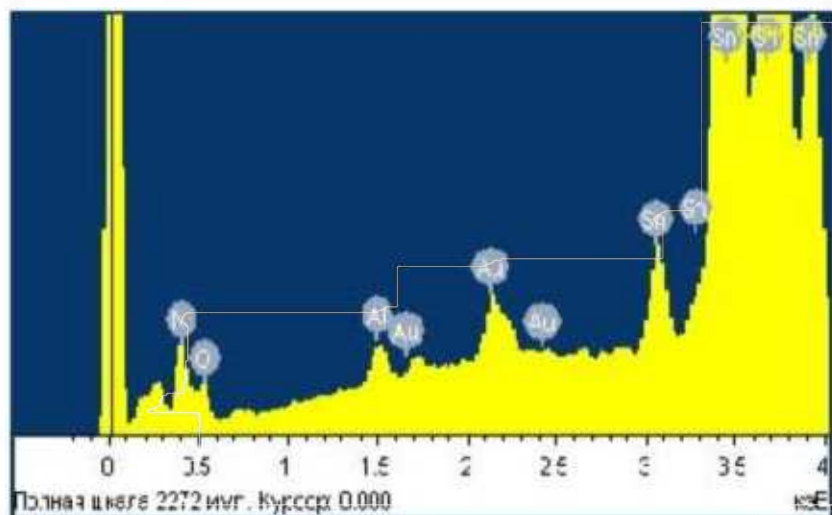


Рис. 9. Содержание Sn составляет 90,01 вес. %, Pb – 0%, Al – 0,85 вес. %, Au – 1,81 вес. %

5. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Результаты микроанализа.
3. Графики распределения компонент ПС.
4. Анализ причин отклонения состава ПС от стехиометрического.
5. Выводы.

6. Контрольные вопросы

1. Воспроизведите методику подготовки микрошлифов.
2. Опишите методику исследования ПС.
3. Опишите методику проведения микроанализа ПС.
4. Расшифруйте спектрограмму в одной из точек ПС.
5. Опишите методику анализа качества ПС.
6. Объясните причины отклонения состава ПС от стехиометрического.

Библиографический список

1. Клюквин, Н. Современный подход к организации контроля полупроводниковых устройств / Н. Клюквин // Поверхностный монтаж. – 2010. – № 3. – С. 18-24.
2. Тюлевин, С.В. Анализ качества паяных соединений электронных узлов / С.В. Тюлевин, А.С. Севрюков, М.Н. Пиганов // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития – 2010: сб. научн. тр. по матер. междуна. н. пр. конф. – Украина, Одесса: Черноречье, 2010. – Т.3. – С. 65-69.
3. Тюлевин, С.В. Исследование качества монтажа соединителей на печатную плату электронного устройства / С.В. Тюлевин, А.И. Архипов, А.В. Иванов // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития – 2010: сб. научн. тр. по матер. междуна. н. пр. конф. – Украина, Одесса: Черноречье, 2010. – Т.3. – С. 69-73.

Учебное издание

**ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ КАЧЕСТВА
ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ**

Методические указания

Составители: ***Пиганов Михаил Николаевич,
Архипов Александр Иванович,
Тюлевин Сергей Викторович***

Редактор Ю.Н. Литвинова
Доверстка: Л.Р. Дмитриенко

Подписано в печать 02.10.2014. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз.

Заказ . Арт. 49/2014.

Самарский государственный аэрокосмический университет.
443086 г. Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета
443086 г. Самара, Московское шоссе, 34.