

А.А. Хмыль, В.Л. Ланин, В.А. Емельянов

# **ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ В ИЗДЕЛИЯХ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Минск,  
«Интегралполиграф»  
2017

УДК 621.357:621.382

**Хмыль, А.А.** Гальванические покрытия в изделиях электроники / А.А. Хмыль, В.Л. Ланин, В.А. Емельянов. – Минск : Интегралполиграф, 2017. – 480 с. – ISBN 978-985-6845-55-3

Современный этап развития электронной промышленности характеризуется интенсивным применением гальванических покрытий в производстве изделий электроники, что обусловлено их уникальными физико-механическими и электрофизическими свойствами: высокой электрической проводимостью, стойкостью к воздействию агрессивных сред и жестких условий эксплуатации, высоким сопротивлением механическому и эрозионному износу, хорошей паяемостью и свариваемостью.

В монографии обобщены результаты разработок и исследований в области электрохимических процессов, протекающих в условиях нестационарного электролиза, влияния подготовительных операций на качество покрытий, управления качеством покрытий посредством модификации составов электролитов и применения различных форм периодического тока, лазерной активации электрохимического формирования покрытий, обеспечения паяемости и свариваемости покрытий, создания новых видов программно-управляемого оборудования гальванических производств.

Книга предназначена для инженерно-технических специалистов, аспирантов и студентов технических вузов, специализирующихся в области технологии нанесения гальванических покрытий в производстве изделий электроники.

Табл. 98. Ил. 225 Библиогр.: 355 назв.

Рецензенты:

академик Нац. Акад. Наук Беларуси,  
д-р тех. наук, проф. С.А. Чижик;  
д-р физ.-мат. наук С.С. Грабчиков

1B 467318

ISBN 978-985-6845-55-3

ДУ «Цэнтральная навуковая  
бібліятэка імя Якуба Коласа  
Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі»

© Хмыль А.А., Ланин В.Л.,  
Емельянов В.А. 2017  
© Оформление  
УП «Интегралполиграф»

## **Оглавление**

Список принятых сокращений .....	3
<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>5</b>
<b>ГЛАВА 1</b>	
<b>ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ В ИЗДЕЛИЯХ</b>	
<b>ЭЛЕКТРОНИКИ .....</b>	<b>8</b>
1.1. Назначение и классификация покрытий.....	8
1.2. Гальванические покрытия в технологии печатных и многослойных плат.....	11
1.3. Покрытия токоведущих элементов аппаратуры .....	16
1.4. Формирование объемных выводов для монтажа электронных компонентов .....	24
1.5. LIGA-технология .....	28
1.6. Покрытия в многокристалльных модулях и 3D сборках .....	30
1.7. Управление качеством функциональных электрохимических покрытий в изделиях электроники.....	34
<b>ГЛАВА 2</b>	
<b>АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ,</b>	
<b>ПРОТЕКАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОГО</b>	
<b>ЭЛЕКТРОЛИЗА .....</b>	<b>49</b>
2.1. Моделирование ионного массопереноса и электрических полей в электролитах при воздействии периодических токов на процесс электролиза .....	49
2.2. Анализ кинетических закономерностей электроосаждения металлов при электролизе импульсно-реверсными токами .....	60
2.2.1 Исследование поляризации электродов при импульсном серебрении изделий.....	60
2.2.2 Кинетические закономерности электролиза золота из фосфатных электролитов .....	70
2.3. Общие закономерности влияния параметров импульсного электролиза на выход металла по току .....	80
<b>ГЛАВА 3</b>	
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ</b>	
<b>ОПЕРАЦИЙ НА КАЧЕСТВО ФЭП.....</b>	<b>86</b>
3.1. Влияние технологии изготовления деталей на структуру и морфологию поверхности используемых материалов .....	86
3.2. Подготовка поверхностей деталей перед нанесением покрытий .....	91

3.3	Моющие среды и технология обезжиривания .....	93
3.4	Химическое и электрохимическое травление.....	99
3.5	Особенности проведения подготовительных операций в условиях массового производства.....	108
3.6	Электролитно-плазменная обработка деталей в сравнении с другими методами обработки поверхности .....	113
3.7	Ультразвуковая очистка.....	125
3.8	Применение барьерных слоев для повышения качества покрытий .....	137
3.8.1	Комбинированное многослойное покрытие для изготовления корпусов ИМС .....	137
3.8.2	Структура тонкопленочной системы металлизации для печатных плат электронных наручных часов .....	139

## **ГЛАВА 4**

### **ЗАКОНОМЕРНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ПОСРЕДСТВОМ МОДИФИКАЦИЙ СОСТАВА ЭЛЕКТРОЛИТА..... 142**

4.1	Физико-химические закономерности получения никелевых покрытий .....	142
4.2	Некоторые особенности выбора ПАВ для импульсного электролиза и их влияние на поляризацию катода и свойства оловянных покрытий.....	153
4.3	Закономерности управления качеством тонких пленок на основе сплавов <i>Sn-Ni</i> .....	161

## **ГЛАВА 5**

### **ВЛИЯНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ТОКОВ И ПРОГРАММИРУЕМЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЛИЗА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЁНОК ..... 178**

5.1	Исследование тонкой структуры электрохимических покрытий, осажденных на периодических токах.....	178
5.2	Исследование электропроводности и контактного сопротивления тонких плёнок .....	213
5.3	Влияние периодических токов на равномерность распределения ФЭП .....	231
5.4	Исследование физико-механических свойств тонких плёнок .....	241
5.5	Формирование композиционно-модулированных многослойных структур и исследование их свойств.....	245

## **ГЛАВА 6**

<b>ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ .....</b>	<b>252</b>
6.1 Виды дисперсных фаз и правила их выбора .....	252
6.2 Механизм формирования КЭП с частицами УДА .....	258
6.2.1 Транспортировка частиц ультрадисперсного алмаза из объёма электролита-суспензии в приэлектродный слой..	259
6.2.2 Начальные стадии зародышеобразования при формировании КЭП.....	263
6.3 Влияние режима электролиза на структуру и свойства композиционных покрытий на основе золота.....	268
6.4 Закономерности электроосаждения КЭП на основе серебра.....	275
6.5 Исследование свойств позиционных электрохимических покрытий на основе никеля .....	284
6.6 Формирование КЭП на основе олова и УДА из сульфатного электролита.....	289

## **ГЛАВА 7**

<b>ЛАЗЕРНАЯ АКТИВАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ .....</b>	<b>296</b>
7.1 Физико-химические основы формирования функциональных покрытий при активации процесса электролиза лазерным излучением .....	296
7.2 Спектральные характеристики электролитов .....	311
7.3 Кинетические закономерности электроосаждения металлов при лазерном воздействии .....	317
7.4 Особенности кристаллизации тонких плёнок при лазерном облучении электролитов .....	321
7.5 Влияние лазерного излучения на физико-механические свойства тонких плёнок .....	326
7.6 Принципы построения технологических установок и рекомендации по применению лазерной гальванотехники .....	330

## **ГЛАВА 8**

<b>ПАЯЕМОСТЬ И СВАРИВАЕМОСТЬ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ.....</b>	<b>339</b>
8.1 Паяемость и критерии ее оценки .....	339

8.2	Методы оценки паяемости погружением в расплав.....	342
8.3	Методы оценки паяемости по капиллярному проникновению и площади растекания припоя.....	347
8.4	Паяемость гальванических покрытий .....	356
8.5	Механизмы образования сварных соединений.....	363
8.6	Методы оценки свариваемости покрытий.....	371

## **ГЛАВА 9**

### **ОБОРУДОВАНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ**

### **ПРОИЗВОДСТВ .....381**

9.1	Классификация видов технологического оснащения и их характеристика .....	381
9.2	Программно-управляемые установки нестационарного электролиза и основные принципы их проектирования..	391
9.3	Способ и устройство управления электрохимическим процессом .....	411
9.4	Принципы построения и структура многопроцессной системы управления гальваническими линиями .....	416
9.5	Моделирование и оптимизация работы линии золочения .....	433

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....443**