

УДК 535.33/34  
ББК 22.344  
К 59

**Рецензенты:**

заведующий кафедрой физики РГУПСа, доктор  
физико-математических наук, профессор **Явна В.А.**,  
профессор кафедры ПЭКМ физического факультета  
Южного федерального университета **Лерер А. М.**

*Монография подготовлена и издана  
в рамках национального проекта «Образование»  
по «Программе развития федерального государственного  
образовательного учреждения высшего профессионального образования  
“Южный федеральный университет” на 2007–2010 гг.»*

**Козаков А. Т.**

**К 59** Физические основы электронной спектроскопии заряженных  
поверхностей твердых тел: монография / А. Т. Козаков. – Ростов  
н/Д: Изд-во ЮФУ, 2009. – 406 с.

ISBN 978-5-9275-0711-5

В монографии рассмотрены процессы, сопровождающие вылет электронов из заряженных поверхностей поляризованных электретов, сегнето-электриков. В первых главах рассмотрено устройство рентгеноэлектронного спектрометра, принципы функционирования энергоанализатора электронов, разработана методика получения спектров медленных электронов с нейтральных и заряженных поверхностей материалов. В процессе дальнейшего исследования разработанная методика применена для получения электронных спектров (спектров аномальной электронной эмиссии (АЭЭ)) с отрицательных поверхностей сегнетоэлектрических материалов (монокристаллов и керамик), обладающих электретными свойствами, и электретов. Изложена теория спектров АЭЭ, рассчитано распределение потенциала по заряженной поверхности поляризованных материалов. Рассмотрены прикладные аспекты применения спектров АЭЭ.

ISBN 978-5-9275-0711-5

УДК 535.33/34  
ББК 22.344

© Козаков А. Т., 2009

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2009

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>8</b>
<b>Глава 1. Энергоанализаторы и спектрометры электронов .....</b>	<b>11</b>
1.1. Теоретические основы энергоанализатора типа сферического дефлектора .....	11
1.1.1. Вывод уравнения траектории анализатора типа сферического дефлектора .....	11
1.1.2. Расчет аппаратной функции и некоторых других характеристик анализатора .....	15
1.1.3. Сравнение с результатами расчетов энергоанализаторов, отраженных в научной литературе .....	20
1.1.4. Светимость анализатора типа сферического дефлектора для целей рентгеноэлектронной спектроскопии .....	23
1.1.5. Влияние замедления электронов на входе в анализатор на форму и положение рентгеноэлектронных линий .....	30
1.2. Теоретические основы энергоанализатора типа конического зеркала .....	40
1.2.1. О фокусирующих свойствах электрического поля между заряженными коническими поверхностями .....	40
1.2.2. Напряженность поля между электродами конусного энергоанализатора .....	42
1.2.3. Уравнение движения электрона в поле конусного анализатора .....	44
1.2.4. Расчет аппаратной функции и экспериментальное исследование фокусирующих свойств анализатора на основе конического зеркала .....	48
1.3. Конструкция и электронно-оптические свойства энергоанализатора типа сферического дефлектора, используемого в настоящей работе ....	54
1.3.1. Выбор типа анализатора, его разрешения и размеров .....	54
1.3.2. Конструкция энергоанализатора .....	57
1.3.3. Исследование электронно-оптических свойств анализатора типа сферического дефлектора с помощью электронной пушки .....	59
1.3.4. Конструкция и основные электронно-оптические характеристики рентгеноэлектронного спектрометра с анализатором типа сферического дефлектора .....	61
1.3.5. Электронно-оптические свойства рентгеноэлектронного спектрометра с анализатором типа цилиндрического зеркала .....	67
<b>Литература .....</b>	<b>75</b>

<b>Глава 2. Получение и исследование спектров медленных электронов, возбужденных мягким рентгеновским излучением .....</b>	<b>78</b>
2.1. Отличия в регистрации рентгеноэлектронных спектров и спектров медленных электронов .....	78
2.2. Возникновение зарядовых структур в изоляторе при облучении его рентгеновскими лучами и электронами .....	80
2.3. Исследование спектров медленных электронов в зависимости от режимов работы рентгеноэлектронного спектрометра .....	94
2.3.1. Свойства спектров РЭЭМЭ, полученных в режиме спектрометра с подачей развертывающего потенциала на входную систему энергоанализатора .....	94
2.3.2. Исследование энергетического положения и формы спектров РЭЭМЭ при режиме с подачей сканирующего потенциала на сферы анализатора .....	101
2.4. Спектры РЭЭМЭ с заряженных поверхностей .....	105
2.5. Модельные исследования интенсивностей, энергетического положения и ширины спектров РЭЭМЭ. Влияние рельефа потенциала на форму спектров .....	107
Литература .....	116
<b>Глава 3. Экспериментальные и теоретические предпосылки возможности исследования поверхности по спектрам медленных электронов, возбужденных электронами и мягким рентгеновским излучением .....</b>	<b>118</b>
3.1. Сравнительные характеристики электронных спектров, возбужденных электронами и мягким рентгеновским излучением (ВЭЭ, РЭЭ, РЭЭМЭ) .....	118
3.2. Развитие представлений о механизмах происхождения спектров истинно-вторичных электронов (ИВЭ) и об их информационных возможностях .....	136
3.3. Спектры медленных электронов, возбужденные мягким рентгеновским излучением с поверхностей металлов и сплавов .....	148
3.3.1. Получение спектров медленных электронов с поверхностей меди, серебра и нержавеющей стали 12Х18Н10Т .....	148

3.3.2. Теоретические основы интерпретации спектров медленных электронов, возбужденных мягким рентгеновским излучением .....	154
3.4. Эмиссия медленных электронов, возбужденная мягким рентгеновским излучением из твердых тел (одномерная теоретическая модель) .....	161
3.4.1. Диагонализационный метод .....	163
3.4.2. Сечение ионизации для вторичной электронной эмиссии .....	174
3.4.3. Характерные особенности в форме спектров медленных электронов, обусловленные поверхностью .....	178
Литература .....	184
<b>Глава 4. Получение и свойства спектров медленных электронов с отрицательно заряженных поверхностей сегнетоэлектриков и электретов .....</b>	<b>192</b>
4.1. Аномальная электронная эмиссия с отрицательной поверхности сегнетоэлектриков .....	192
4.1.1. Состав поверхности магнониобата свинца в зависимости от условий поляризации .....	192
4.1.2. Зависимость состава поверхности от условий поляризации. Корреляция состава поверхности с величиной электретного потенциала .....	196
4.1.3. Свойства аномальной эмиссии электронов с отрицательной поверхности монокристалла магнониобата свинца .....	201
4.1.4. Влияние поляризации на положение и интенсивность пика Б при съемке в режиме Пб .....	202
4.1.5. Исследование влияния поляризации на энергию и форму спектров РЭЭМЭ при съемке в режиме Iб и Iг .....	207
4.1.6. Изменения спектров РЭЭМЭ с отрицательной поверхности магнониобата свинца в зависимости от длительности облучения, нахождения на воздухе и других воздействий на образец .....	211
4.1.7. Связь спектров АЭЭ с электрофизическим состоянием поверхности поляризованного монокристалла магнониобата свинца .....	214
4.1.8. Свойства аномальной электронной эмиссии с поверхностей ниобата и танталата лития .....	222
4.2. Аномальная электронная эмиссия с поверхности керамик .....	226
4.2.1. Зависимость электронной эмиссии от наличия и формы электродов на поверхности сегнетоэлектрических образцов, а также размеров образца .....	231

4.3. Аномальная электронная эмиссия с поверхности электретных сегнетоэлектрических керамик и систем твердых растворов на их основе .....	235
4.3.1. Аномальная электронная эмиссия в системах твердых растворов ....	235
4.3.2. Аномальная электронная эмиссия из керамики $\text{CaTiO}_3$ из образцов системы твердых растворов $\text{PbTiO}_3 - \text{CaTiO}_3$ и других материалов .....	241
4.3.3. Корреляционные зависимости между интенсивностью спектра и его энергетическим положением в PLZT- системе .....	249
4.3.4. АЭЭ с поверхности сегнетоэлектрических пленок состава $\text{PbTiO}_3$ и $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ .....	253
4.3.5. Природные материалы и пленки состава $\text{As}_2\text{S}_3$ .....	256
4.4. Получение спектров АЭЭ с помощью коммерческих рентгеноэлектронных спектрометров .....	258
Литература .....	266
<b>Глава 5. Распределение потенциала по поверхности поляризованных электретных керамик .....</b>	<b>272</b>
5.1. Модель и вывод формул для расчета потенциала на заряженных неоднородностях поляризованного полярного диэлектрика .....	273
5.1.1. Функция Грина для периодической системы неоднородностей .....	277
5.2. Вычисление потенциала на одиночных заряженных неоднородностях поляризованного полярного диэлектрика .....	278
5.3. Некоторые примеры рассчитанных потенциальных распределений, созданных периодически распределенными зарядовыми неоднородностями .....	283
Литература .....	290
<b>Глава 6. Физические основы аномальной электронной эмиссии .....</b>	<b>292</b>
6.1. АЭЭ, как результат наличия в приповерхностном слое сегнетоэлектрика-электрета ускоряющего потенциала .....	292
6.2. Влияние пространственного распределения инжектированного заряда на интенсивность возбужденной рентгеновским излучением электронной эмиссии из сегнетоэлектриков-электретов .....	300
6.3. Длительность АЭЭ .....	304
6.4. Физические основы формы спектров аномальной электронной эмиссии .....	306

6.5. Модель аномальной эмиссии из электретов – несегнетоэлектретов ....	316
6.5.1. Энергия эмиссионных электронов .....	316
6.5.2. Плотность тока эмиссии .....	319
6.5.3. Влияние PS на формирование электретного заряда .....	323
6.5.4. Сравнение моделей АЭЭ .....	330
6.6. Прикладные аспекты спектров аномальной электронной эмиссии ....	332
6.6.1. Происхождение спектров АЭЭ, зарегистрированных из поляризованных диэлектрических керамических образцов .....	332
6.7. Основы интерпретации спектров АЭЭ из поляризованной керамики $\text{SrTiO}_3$ .....	343
6.7.1 Особенности спектров АЭЭ с поверхности $\text{SrTiO}_3$ .....	343
6.7.2. Модель заряженной поверхности керамического образца с r-типом проводимости межзеренных границ .....	347
6.7.3. Расчет распределения потенциала .....	351
Литература .....	361
<b>Глава 7. Влияние электрофизических эффектов на форму рентгеноэлектронных спектров внутренних уровней .....</b>	<b>366</b>
7.1. Общее рассмотрение. Основные представления о строении полисахаридов и углей .....	366
7.2. Форма и положение C1s- и O1s-рентгеноэлектронных спектров полисахаридов и углей .....	379
7.3. Особенности формы C1s- и O1s- рентгеноэлектронных спектров сахара, обусловленные зарядкой образца .....	382
7.4. Связь параметров C1s и O1s – рентгеноэлектронных спектров углей со степенью метаморфизма .....	389
7.5. Физические аспекты интерпретации формы рентгеноэлектронных спектров углей и сахарного кокса .....	393
7.5.1. Характер информации, получаемый с помощью РФЭС основных уровней углей .....	393
7.5.2. Вычисление потенциала по рентгеноэлектронным спектрам углей .....	396
Литература .....	404