

УДК 548
ББК 22.379
П 57

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Южного федерального университета*

Рецензент
профессор **В. А. Долгих**

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

Поплавко Ю. М., Переверзева Л. П., Раевский И. П.
П 57 **Физика активных диэлектриков: учебное пособие / под ред.**
проф. Сахненко В. П. / Поплавко Ю. М., Переверзева Л. П., Раев-
ский И. П. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2009. – 480 с.
ISBN 978-5-9275-0636-1

Рассматриваются современные представления о поляризации, электропроводности, диэлектрических потерях, электрической прочности и фазовых переходах в диэлектриках, а также о новых физических явлениях в этих веществах. Особое внимание уделяется свойствам активных диэлектриков – сегнетоэлектриков, пьезоэлектриков, пьезоэлектриков, электретов и СВЧ диэлектриков. Представлены сведения о влиянии структуры на свойства активных диэлектриков, а также примеры современных и перспективных применений данных материалов. Некоторые из рассмотренных вопросов ранее в учебной и монографической литературе не освещались.

Пособие составлено на основе многолетнего опыта авторов по чтению лекций по рассмотренным в книге вопросам, а также с использованием многочисленных публикаций авторов в области пьезоэлектриков, пирозлектриков и сегнетоэлектриков.

Рекомендуется для студентов электронных, радиотехнических и радиофизических специальностей вузов, аспирантов и инженеров соответствующих специальностей.

ISBN 978-5-9275-0636-1

УДК 548
ББК 22.379

© Поплавко Ю. М., Переверзева Л. П.,
Раевский И. П., 2009
© Южный федеральный университет, 2009
© Оформление. Макет. Издательство
Южного федерального университета, 2009

Оглавление

Предисловие	5
Введение	11
Глава 1. ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИЭЛЕКТРИКОВ	17
Глава 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ, МЕХАНИЧЕСКИЕ, ТЕПЛОВЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ДИЭЛЕКТРИКАХ	36
2.1. Симметрия кристаллов и их физических свойств	36
2.2. Элементы и операции симметрии	40
2.3. Классификация кристаллов по симметрии их структуры	46
2.4. Предельные группы симметрии	55
2.5. Связь между симметрией и физическими явлениями. Принцип Кюри.....	59
2.6. Кристаллофизическая установка кристалла. Индексы Миллера	65
2.7. Классификация электро- тепло- механических эффектов в ди- электриках	71
2.8. Оптические эффекты в активных диэлектриках	82
Глава 3. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛЯРИЗАЦИИ ДИЭЛЕКТРИКОВ	93
3.1. Векторы электрического поля, индукции и поляризованности	93
3.2. Тензор диэлектрической проницаемости.	97
3.3. Механизмы электрической поляризации	101
3.4. Особенности ионной поляризации	113
3.5. Динамика упругой поляризации ионных кристаллов.....	122
3.6. Взаимодействие электромагнитных волн с кристаллами	135
Глава 4. ЭЛЕКТРОПЕРЕНОС ЗАРЯДА И ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ	141
4.1. Основные особенности электропроводности диэлектриков	141
4.2. Нелинейная электронная проводимость в условиях инжекции носителей заряда	148
4.3. Ионная электропроводность диэлектриков	155
4.4. Частотная зависимость проводимости.....	162
4.5. Электрическая прочность диэлектриков	167
4.6. Электродеградация (старение) диэлектриков	173
Глава 5. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ.....	184
5.1. Тангенс угла диэлектрических потерь.....	184
5.2. Классификация механизмов потерь.....	187
5.3. Диэлектрическая спектроскопия	196
5.4. Размытый релаксационный спектр дисперсии ϵ	199
5.5. Размытый резонансный спектр дисперсии ϵ	207
Глава 6. ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ДИЭЛЕКТРИКАХ.....	215
6.1. Фазовые переходы первого и второго рода	216
6.2. Физический смысл параметра порядка	222
6.3. Сегнетоэлектрические и антисегнетоэлектрические фазовые переходы	226
6.4. Сегнетоэластические фазовые переходы.....	237
6.5. Критическое изменение проводимости в окрестности фазовых переходов	241

Глава 7. ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ И ЭЛЕКТРОСТРИКЦИЯ	265
7.1. Основные определения.	265
7.2. Упругие свойства кристаллов и текстур.	271
7.3. Прямой пьезоэлектрический эффект	285
7.4. Обратный пьезоэлектрический эффект	294
7.5. Электрострикция и электроиндуцированный пьезоэффект.....	300
7.6. Различные механизмы электромеханической связи.....	305
7.7. Современные пьезоэлектрические и электрострикционные материалы	312
Глава 8. ПИРОЭЛЕКТРИКИ И ЭЛЕКТРЕТЫ.....	321
8.1. Определение пирозлектрического эффекта	323
8.2. Пирозлектрические сенсорные элементы и материалы	337
8.3. Физическая природа собственной полярности кристаллов	356
8.4. «Искусственный пирозэффект» – термопьезоэлектричество	365
8.5. Искусственное пирозлектричество в арсениде галлия	383
8.6. Физические свойства электретов.....	393
Глава 9. СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКИ	402
9.1. Физические основы сегнетоэлектричества	405
9.2. Термодинамическая теория сегнетоэлектрических фазовых переходов первого рода	420
9.3. Применение сегнетоэлектриков в электронике.....	427
9.4. Нелинейные свойства сегнетоэлектриков	436
9.5. Технические применения сегнетоэлектрических пленок	442
Глава 10. СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ (СВЧ) ДИЭЛЕКТРИКИ	456
10.1. Основные области применения диэлектриков на СВЧ	456
10.2. Физические механизмы, определяющие диэлектрические свойства кристаллов на СВЧ	458
10.3. Физические механизмы, определяющие термостабильность ϵ в диапазоне СВЧ.....	466
ЛИТЕРАТУРА	475
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА	477