



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBIRIAN FEDERAL UNIVERSITY

В. И. Томилин, Н. П. Томилина, В. А. Бахтина

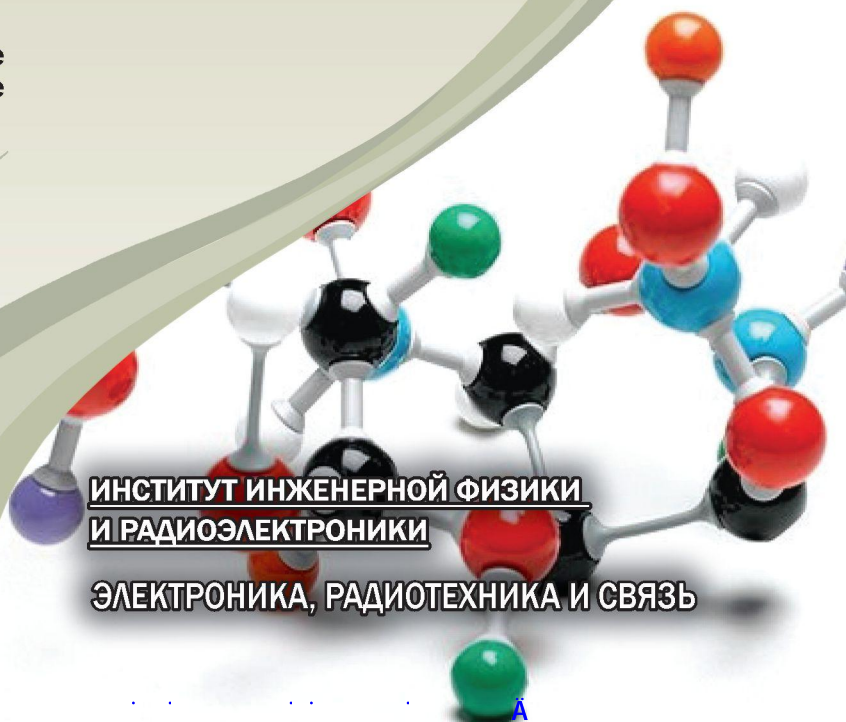
ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Часть 1

ПАССИВНЫЕ ДИЭЛЕКТРИКИ

Учебное
пособие

УМО



ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

В. И. Томилин, Н. П. Томилина, В. А. Бахтина

ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

В двух частях

Часть 1

ПАССИВНЫЕ ДИЭЛЕКТРИКИ

Рекомендовано УМО вузов РФ по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Проектирование и технология радиоэлектронных средств», 02.06.2011

Красноярск
СФУ
2012

УДК 620.22:621.315.61(07)
ББК 30.3+22.379.3я73
Т 564

Рецензенты:

С. Г. Овчинников, доктор физико-математических наук, профессор,
заместитель директора Института физики СО РАН;

А. М. Токмин, профессор кафедры «Материаловедение и техноло-
гия обработки материалов» Политехнического института СФУ

Томилин, В. И.

Т 564

Физическое материаловедение : в 2 ч. Ч. 1. Пассивные диэлек-
трики : учеб. пособие / В. И. Томилин, Н. П. Томилина, В. А. Бах-
тина. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. – 280 с.

ISBN 978-5-7638-2510-7

Изложены теоретические основы кристаллофизики и кристаллохимии. Рассмотрены физические явления и процессы, происходящие в диэлектриках при воздействии на них электрического поля: поляризация, электропроводность, диэлектрические потери и пробой.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Проектирование и технология радиоэлектронных средств».

УДК 620.22:621.315.61(07)
ББК 30.3+22.379.3я73

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современный научно-технический прогресс неразрывно связан с созданием и изучением новых материалов. Именно с выбора материала на основе глубокого знания его свойств начинается сложный процесс создания электронной аппаратуры. Поэтому изучению материалов отводится значительное место в системе подготовки не только инженеров-конструкторов и инженеров-технологов электронной техники, но и инженеров-разработчиков современных электронных средств. Специалисты, работающие в области электроники и микроэлектроники, должны глубоко понимать процессы, происходящие при взаимодействии заряженных и нейтральных частиц с веществом, знать основы физики твердого тела, физической химии и кристаллографии, уметь применять эти знания на практике при разработке и создании современных электронных устройств. Ориентироваться во всем этом невозможно без знания закономерностей формирования свойств материалов, их зависимости от химического состава, структуры, обработки и т. д. Изучение таких закономерностей является задачей обширной науки – физического материаловедения.

Данное учебное пособие предназначено для студентов укрупненной группы 210000 – «Электронная техника, радиотехника и связь», изучающих курс «Физическое материаловедение». Целью курса является изучение физической сущности явлений, протекающих в материалах, их свойств, областей использования и правил выбора оптимальных материалов для решения поставленных задач.

В первой части пособия рассматриваются общие физические явления, свойственные широко применяемому в электронике классу материалов – пассивным диэлектрикам. Активные диэлектрики рассмотрены во второй части учебного пособия, подготавливаемой к печати. В пособии не освещены вопросы, связанные с проводниковыми, полупроводниковыми и магнитными материалами, поскольку они традиционно изучаются в рамках специальных дисциплин.

Первая часть учебного пособия состоит из двух разделов. Первый раздел, включающий в себя главы 1 и 2, посвящен общим вопросам материаловедения.

В первой главе рассмотрены основные понятия кристаллофизики, строение и кристаллографические структуры твердых тел, элемен-

ты симметрии, дефекты структуры реальных кристаллов и особенности аморфных твердых тел. Особое внимание уделено структурно-геометрическим особенностям наноматериалов, роли поверхности и поверхностных процессов в формировании особых свойств нанобъектов.

Вторая глава посвящена элементам кристаллохимии: рассмотрены природа и типы химических связей, характеристики кристаллических структур.

Во втором разделе, включающем главы 3–6, освещены основные физические явления, происходящие в диэлектриках при воздействии на них постоянных и (или) переменных электрических полей. В главе 3 подробно изложены основные положения физики поляризационных процессов, определяющих важнейшие характеристики пассивных диэлектриков.

В четвертой главе рассматриваются особенности электропроводности объемных диэлектриков и тонких диэлектрических пленок в постоянном и переменном электрическом поле. Анализируются причины частотной и температурной зависимости электропроводности.

В пятой главе освещены особенности диэлектрических потерь в диэлектриках. Рассмотрены возможные механизмы, температурные и частотные зависимости потерь, методы их расчета.

Заключительная шестая глава посвящена физическим закономерностям пробоя газовых, жидких и твердых сред.

В конце каждой главы приведены контрольные вопросы и задания.

Пособие снабжено библиографическим списком. Краткий терминологический словарь и обозначение физических величин приведены в приложении.

В учебное пособие включены разделы, написанные по различным источникам: основным учебникам, справочникам, статьям, опубликованным в печатных изданиях и размещенным в Интернете. В связи с этим авторы не претендуют на оригинальность изложенного материала, часть которого скомпилирована из нескольких источников. При написании учебного пособия основными целями являлись подборка, структурирование, систематизация и изложение материала в рамках требований подготовки инженеров, бакалавров и магистров по указанным направлениям.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
Раздел 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ КРИСТАЛЛОГРАФИИ	7
Глава 1. Элементы кристаллофизики.....	7
1.1. Основные понятия и определения.....	7
1.2. Кристаллическая решетка и структура идеальных кристаллов ...	10
1.2.1. Общая характеристика и классификация кристаллических структур.....	10
1.2.2. Метод индексации кристаллографических плоскостей и направлений.....	15
1.2.3. Обозначение поверхностных структур.....	18
1.3. Симметрия твердых тел.....	22
1.4. Основные типы кристаллических структур	27
1.4.1. Металлические кристаллы	31
1.4.2. Диэлектрические кристаллы	33
1.4.3. Полупроводниковые кристаллы	34
1.5. Политипизм, полиморфизм и изоморфизм	36
1.6. Аморфные твердые тела	46
1.7. Структурно-геометрические особенности наноматериалов.....	51
1.8. Дефекты структуры реальных кристаллов	57
1.8.1. Классификация дефектов	57
1.8.2. Точечные дефекты	59
1.8.3. Линейные дефекты.....	61
1.8.4. Поверхностные и объемные дефекты	64
1.8.5. Структурные дефекты реальных поверхностей.....	68
Контрольные вопросы и задания.....	75
Глава 2. Элементы кристаллохимии	76
2.1. Основные понятия и определения.....	76
2.2. Химическая связь. Типы химической связи.....	81
2.2.1. Ковалентная связь	85
2.2.2. Донорно-акцепторная связь	90
2.2.3. Ионная связь	91
2.2.4. Металлическая связь.....	93
2.2.5. Молекулярная связь	95
2.2.6. Водородная связь	98

2.3. Основные типы кристаллов.....	100
2.3.1. Молекулярные кристаллы	101
2.3.2. Металлические кристаллы	102
2.3.3. Ковалентные кристаллы	104
2.3.4. Ионные кристаллы	105
Контрольные вопросы и задания	108
Раздел 2. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ: ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ФИЗИКИ ДИЭЛЕКТРИКОВ.....	109
Глава 3. Поляризация диэлектриков	110
3.1. Характерные особенности диэлектриков	110
3.2. Полярные и неполярные молекулы. Собственный и индуциро- ванный дипольный момент.....	114
3.3. Поляризация диэлектриков в постоянном поле.....	120
3.4. Относительная диэлектрическая проницаемость. Уравнение Клаузиуса – Мосотти.....	124
3.5. Виды и механизмы поляризации	127
3.5.1. Оптические виды поляризации.....	129
3.5.2. Релаксационные виды поляризации.....	135
3.5.3. Особые виды поляризации	142
3.6. Поляризация диэлектриков в импульсных полях.....	149
3.7. Поляризация диэлектриков в переменном синусоидальном электрическом поле	151
3.8. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости	157
3.9. Диэлектрическая проницаемость композиционных диэлектриков	160
Контрольные вопросы и задания	164
Глава 4. Электропроводность диэлектриков	165
4.1. Особенности электропроводности диэлектриков. Основные понятия и определения.....	165
4.1.1. Структура и природа электрического тока в диэлек- триках	165
4.1.2. Механизмы генерации и переноса носителей заряда в диэлектриках	174
4.2. Виды электропроводности диэлектриков.....	176
4.3. Особенности электропроводности газообразных и жидких диэлектриков	186
4.4. Электропроводность тонких диэлектрических пленок.....	194
4.5. Электропроводность диэлектриков в переменном электриче- ском поле	204
Контрольные вопросы и задания	210

Глава 5. Диэлектрические потери	211
5.1. Общие сведения.....	211
5.2. Тангенс угла диэлектрических потерь	213
5.3. Виды диэлектрических потерь.....	217
5.3.1. Потери на электропроводность	218
5.3.2. Ионизационные потери	220
5.3.3. Миграционные потери	221
5.3.4. Релаксационные потери.....	223
5.3.5. Резонансные потери	226
5.4. Расчет полных диэлектрических потерь в однородном диэлектрике во внешнем синусоидальном электрическом поле.....	227
5.5. Эквивалентные схемы диэлектрика с потерями	229
Контрольные вопросы и задания	231
Глава 6. Пробой диэлектриков	232
6.1. Основные понятия и определения. Общая характеристика пробоя	232
6.2. Механизмы пробоя.....	235
6.3. Пробой газообразных диэлектриков	238
6.4. Пробой жидких диэлектриков	243
6.5. Пробой твердых диэлектриков	244
6.5.1. Электрический пробой твердых диэлектриков (модель Хиппеля – Фрелиха)	245
6.5.2. Тепловой пробой твердых диэлектриков (модель Вагнера).....	246
6.5.3. Электрохимический пробой твердых диэлектриков	251
6.6. Пробой неоднородных диэлектриков	251
Контрольные вопросы и задания	253
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	255
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	256
ПРИЛОЖЕНИЕ	257
Краткий терминологический словарь.....	257
Обозначения и единицы некоторых физических величин, регламентированные отечественными и международными стандартами.....	272