

№ 2278

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Ю.Н. Пархоменко

А.А. Полисан

ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОВ ФОТОНИКИ

Солнечная энергетика и нанотехнологии

Учебное пособие

Рекомендовано редакционно-издательским
советом университета



Москва 2013

УДК 621.382
П18

Рецензент
д-р физ.-мат. наук, проф. *Е.К. Наими*

Пархоменко, Ю.Н.

П18 **Физика и технология приборов фотоники : солнечная энергетика и нанотехнологии : учеб. пособие / Ю.Н. Пархоменко, А.А. Полисан. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2013. – 142 с.
ISBN 978-5-87623-707-1**

Учебное пособие дает представление о взаимодействии электромагнитного излучения с материалами, в том числе и с полупроводниками. Описаны фотоэлектрические явления в полупроводниках. Приведены примеры материалов, используемых для изготовления современных фотоэлементов.

Пособие предназначено для подготовки специалистов по специальности 150601.65 «Материаловедение и технология новых материалов» в рамках курсов «Основы космических технологий» и «Технологическое оборудование, механизация и автоматизация в производстве и обработке материалов электронной техники», магистров по направлению «Материаловедение и технология новых материалов» в рамках курса «Физика и технологии приборов фотоники» и аспирантов по направлению «Физика полупроводников».

УДК 621.382

ISBN 978-5-87623-707-1

© Пархоменко Ю.Н.,
Полисан А.А., 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Список принятых сокращений	6
1. Взаимодействие электромагнитного излучения с полупроводниками	7
1.1. Виды взаимодействия	7
1.2. Отражение излучения от поверхности полупроводника	9
1.3. Поглощение излучения в полупроводнике	11
1.3.1. Коэффициент поглощения	11
1.3.2. Собственное поглощение	12
1.3.3. Примесное поглощение	14
1.3.4. Поглощение свободными носителями заряда в полупроводнике	15
1.3.5. Экситонное поглощение	16
1.3.6. Решеточное поглощение	17
1.4. Оптическая генерация свободных носителей заряда в полупроводнике	18
1.4.1. Квантовый выход и распределение по энергиям носителей, генерированных в полупроводнике излучением	18
1.4.2. Пространственное распределение свободных носителей, генерированных в полупроводнике излучением	20
2. Фотоэлектрические явления в полупроводниках	22
2.1. Внутренний фотоэффект	22
2.2. Фотопроводимость	24
3. Принцип действия солнечных элементов	27
4. Полупроводниковые материалы для солнечных элементов и конструкции солнечных элементов	38
4.1. Полупроводниковые материалы для солнечных элементов	38
4.2. Кремниевые солнечные элементы	39
4.3. Солнечные элементы на основе соединений $A^{III}B^V$	46
4.4. Тонкопленочные солнечные элементы	56
4.4.1. Тонкопленочные солнечные элементы на основе аморфного кремния	56
4.4.2. Принцип построения тонкопленочных солнечных элементов на основе двойных и тройных полупроводниковых соединений	62
4.4.3. Тонкопленочные солнечные элементы на основе CdTe	65
4.4.4. Тонкопленочные солнечные элементы на основе CuInSe ₂ и CuInGaSe ₂	66

5. Нанотехнологии в солнечной энергетике	70
5.1. Структуры с квантово-размерными элементами.....	70
5.1.1. Параметры квантовых точек	73
5.1.2. Зонная структура в кристаллах с квантовыми точками....	74
5.1.3. Энергетический спектр дырок в Ge/Si квантовых точках.....	80
5.1.4. Энергетическая структура экситонов и экситонных комплексов	82
5.1.5. Моделирование энергетического спектра в квантовых точках.....	83
5.2. Тонкопленочные солнечные элементы на основе аморфного и микрокристаллического (нанокристаллического) кремния.....	93
5.2.1. Каскадные солнечные элементы на основе a -Si:H. Нанокристаллический кремний	93
5.2.2. Солнечные элементы на основе протокристаллического кремния	97
5.2.3. Микроморфный солнечный элемент	98
5.3. Солнечные элементы на гетероструктурах с квантовыми ямами и сверхрешетками на основе соединений $A^{III}B^V$	99
5.4. Солнечные элементы с Ge/Si квантовыми точками	106
5.5. Солнечные элементы с Si квантовыми точками в диэлектрической матрице	111
5.6 Способы формирования структур с квантово-размерными элементами и методы их исследований	114
5.6.1. Аморфный и микрокристаллический (нанокристаллический) кремний.....	115
5.6.2. Гетероструктуры с квантовыми ямами и сверхрешетками на основе соединений $A^{III}B^V$	118
5.6.3. Структуры с Ge/Si квантовыми точками.....	119
5.6.4. Структуры с Si квантовыми точками в диэлектрической матрице	120
Библиографический список	122
Приложение 1. Спектр солнечного излучения	126
Приложение 2. Оборудование Научно-исследовательского центра коллективного пользования «Материаловедение и металлургия» и кафедры «Материаловедение полупроводников и диэлектриков» НИТУ «МИСиС» для исследования структур с квантово-размерными элементами и солнечных элементов	127