

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ОСНОВЫ ВОЛНОВОДНОЙ ФОТОНИКИ



В. А. Варданян



E.LANBOOK.COM

В. А. ВАРДАНЯН

ОСНОВЫ ВОЛНОВОДНОЙ ФОТОНИКИ

Учебное пособие

Издание второе, переработанное и дополненное



ЛАНЬ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
МОСКВА
КРАСНОДАР
2022

УДК 535
ББК 22.34я73

В 18 Варданян В. А. Основы волноводной фотоники : учебное пособие для вузов / В. А. Варданян. — 2-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 204 с. : ил. — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-8114-8763-9

В учебном пособии излагаются физические основы волноводной оптики. Основное внимание уделено математическому обоснованию функционирования устройств фотоники, применяемых в оптических системах передачи сигналов: направленных ответвителей, оптических коммутаторов, электрооптических, акустооптических, электроабсорбционных модуляторов, мультиплексоров и демультиплексоров, оптических волокон и созданных на их основе волоконных брегговских решеток различного назначения.

Учебное пособие соответствует актуальным требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования и предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки «Фотоника и оптоинформатика», «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», а также может быть полезно студентам других специальностей, магистрантам, аспирантам и специалистам, интересующимся прикладной фотоникой.

УДК 535
ББК 22.34я73

Рецензенты:

Н. И. ГОРЛОВ — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой линий связи Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики;

Д. А. ШАПИРО — доктор физико-математических наук, профессор, зав. лабораторией фотоники Института автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук.

Обложка
П. И. ПОЛЯКОВА

© Издательство «Лань», 2022
© В. А. Варданян, 2022
© Издательство «Лань»,
художественное оформление, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Введение в электромагнитную теорию света.....	5
1.1. Уравнения Максвелла.....	5
1.2. Волновое уравнение.....	7
1.3. Граничные условия для диэлектрических сред	8
1.4. Уравнения Максвелла в комплексном виде. Волновое уравнение. Волновое сопротивление среды. Интенсивность монохроматических электромагнитных волн.....	9
1.5. Классы волн. Их поведение на разделе двух оптических сред	15
1.6. Полное внутреннее отражение. Затухающие поля. Смещение Гуса — Генхена	21
Контрольные вопросы.....	25
2. Физические основы распространения света по пленочным волноводам.....	27
2.1. Оптический пленочный волновод. Моды пленки	27
2.2. Слабонаправляющий пленочный волновод	31
2.3. Симметричный пленочный волновод	34
2.4. Элемент связи призма — пленка	38
2.5. Прямоугольные волноводы.....	40
2.6. Направленный ответвитель	44
Контрольные вопросы.....	49
3. Электрооптическая модуляция и коммутация лазерного излучения	51
3.1. Электрооптический эффект	51
3.2. Расчет изменения показателей преломления на примере электрооптического эффекта в KDP кристалле	55
3.3. Фазовая модуляция	58
3.4. Интегрально-оптические модуляторы интерференционного типа.....	62
3.5. Оптическая коммутация на связанных волноводах под управлением напряжения	66
Контрольные вопросы.....	70
4. Акустооптическая модуляция и коммутация лазерного излучения	71
4.1. Акустооптический эффект	71
4.2. Акустооптические модуляторы	72
4.3. Дефлекторы и переключатели оптических пучков, основанные на использовании дифракции Брэгга.....	77
Контрольные вопросы.....	79

5. Электроабсорбционная модуляция и детектирование лазерного излучения	80
5.1. Электропоглощение	80
5.2. Электроабсорбционные модуляторы и детекторы оптического излучения	81
Контрольные вопросы.....	85
6. Оптические цилиндрические волноводы.....	86
6.1. Оптические волокна со ступенчатым профилем показателя преломления	86
6.2. Слабо направляющие волокна	95
6.3. Градиентные волокна.....	100
Контрольные вопросы.....	103
7. Взаимодействия света с материалом волновода	104
7.1. Комплексный показатель преломления	104
7.2. Классическая линейная осцилляторная модель среды. Формула Селмейера	107
7.3. Потери при распространении света в среде	113
7.4. Групповая скорость. Групповой показатель преломления. Материальная дисперсия.....	117
Контрольные вопросы.....	124
8. Классификация оптических волокон по дисперсии	125
8.1. Виды дисперсии в оптическом волокне	125
8.2. Модовая дисперсия в оптическом волокне со ступенчатым профилем показателя преломления	126
8.3. Модовая дисперсия в оптическом волокне с градиентным профилем показателя преломления	128
8.4. Хроматическая дисперсия. Разновидности одномодовых оптических волокон по МСЭ-Т	130
Контрольные вопросы.....	135
9. Физические основы распространения оптических импульсов по одномодовому волокну.....	136
9.1. Влияние хроматической дисперсии волокна на распространение гауссова импульса	136
9.2. Полоса пропускания одномодового волоконно-оптического тракта	140
9.3. Влияние поляризационной модовой дисперсии волокна на распространение импульса.....	147
Контрольные вопросы.....	149
10. Волноводные оптические демультиплексоры.....	151
10.1. Оптические демультиплексоры на основе интерферометра Маха — Цандера	151
10.2. Волноводно-дифракционные решетки	156
10.3. Волоконные брэгговские решетки	160
Контрольные вопросы.....	167
Заключение.....	168
Приложение 1. Уравнение связанных мод	169
Решение уравнений связанных мод.....	173

Приложение 2. Оптический 2×2 направленный ответитель	178
Приложение 3. Импульс Гаусса и его спектр.....	180
Приложение 4. Математическое обоснование искажения гауссова импульса в дисперсионной среде	185
Приложение 5. Характеристики волокон по Рекомендации G.652 [28].....	189
Приложение 6. Характеристики волокон по Рекомендации G.653 [29].....	190
Приложение 7. Характеристики волокон по Рекомендации G.654 [30].....	191
Приложение 8. Характеристики волокон по Рекомендации G.655 [31].....	192
Приложение 9. Характеристики волокон по Рекомендации G.656 [32].....	193
Приложение 10. Характеристики волокон по Рекомендации G.657 [33].....	194
Список литературы	196