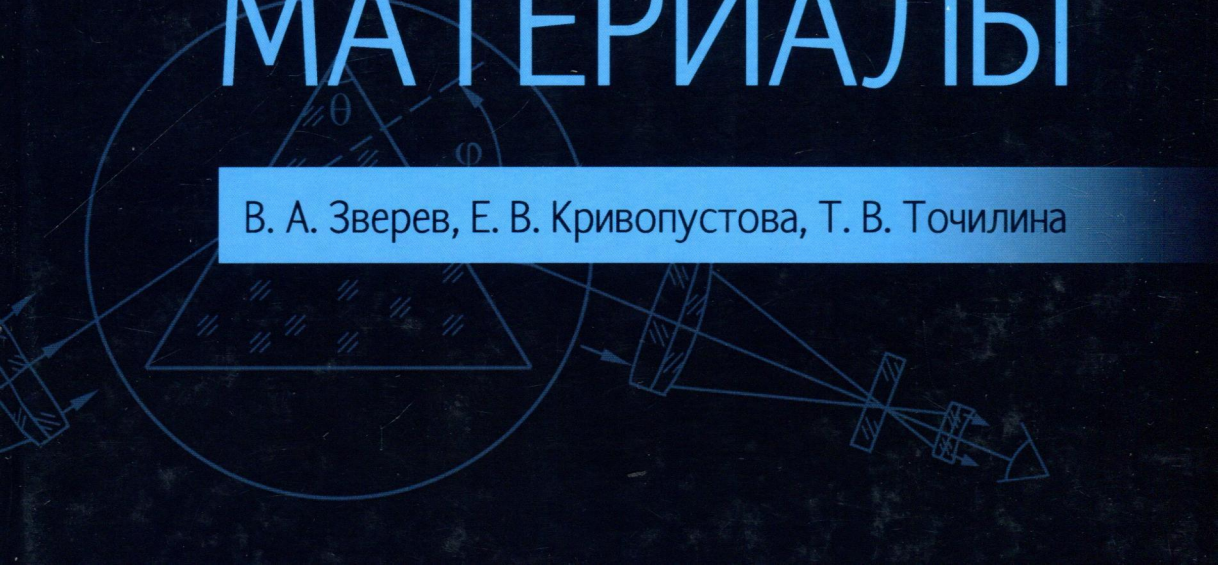




# ОПТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

В. А. Зверев, Е. В. Кривокустова, Т. В. Точилина



**В. А. ЗВЕРЕВ, Е. В. КРИВОПУСТОВА,  
Т. В. ТОЧИЛИНА**

# **ОПТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

**РЕКОМЕНДОВАНО**

*УМО по образованию в области приборостроения  
и оптотехники в качестве учебного пособия  
для студентов вузов, обучающихся  
по направлению подготовки «Оптехника»*



**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
МОСКВА  
КРАСНОДАР  
2019**

ББК 22.34я73

З 43

**Зверев В. А., Кривоустова Е. В., Точилина Т. В.**

**З 43** Оптические материалы: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2019. — 400 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

**ISBN 978-5-8114-1899-2**

Понятие «оптические материалы» охватывает сегодня огромное множество оптических сред, различающихся не только показателем преломления и коэффициентом дисперсии, но и прозрачностью для электромагнитного излучения требуемого диапазона длин волн, физико-механическими и физико-химическими свойствами, требуемой воспроизводимостью оптических характеристик, необходимой оптической однородностью, бесцветностью и т. д. Дано представление о том, что такое стекло, описаны характерные особенности его производства, кратко изложена история зарождения стекловарения и стеклоделия. Рассмотрены физические и физико-механические свойства оптического стекла как конструкционного материала оптических систем оптико-электронных приборов. Рассмотрено влияние параметров оптического стекла на габаритные и абберационные характеристики разрабатываемых оптических систем. Дано описание показателей качества оптического стекла и их нормирования. Рассмотрены методы определения требований к качеству оптического стекла. Описаны методы контроля и измерения характеристик качества оптического стекла.

В оптическом приборостроении широко применяют кварцевое стекло и кристаллические материалы, цветные и инфракрасные стекла, оптическую керамику, ситаллы и другие оптические материалы. В настоящем учебном пособии дано описание оптических и физико-механических свойств применяемых материалов.

Издание предназначено для студентов по направлению подготовки «Оптехника», а также может быть полезным для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием оптических систем, конструированием оптических приборов, и для технологов оптического производства.

ББК 22.34я73

**Рецензенты:**

*М. Н. СОКОЛЬСКИЙ* — доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики; *Л. А. ГУБАНОВА* — доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики.

**Обложка**

*Е. А. ВЛАСОВА*

*Охраняется Законом РФ об авторском праве.  
Воспроизведение всей книги или любой ее части  
запрещается без письменного разрешения издателя.  
Любые попытки нарушения закона  
будут преследоваться в судебном порядке.*

© Издательство «Лань», 2019

© Коллектив авторов, 2019

© Издательство «Лань»,

художественное оформление, 2019

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	7
<i>Глава 1.</i> Распространение электромагнитного поля в изотропных средах .....	9
<i>Глава 2.</i> Классическая электронная теория дисперсии света .....	15
<i>Глава 3.</i> Стекло .....	21
3.1. Что такое стекло? .....	21
3.2. Краткий исторический очерк .....	30
<i>Глава 4.</i> Бесцветное оптическое стекло .....	56
4.1. Система классификации стекол .....	56
4.2. Оптические постоянные стекла как конструктивные и коррекционные параметры оптической системы .....	58
4.2.1. Показатель преломления и монохроматические аберрации изображения, образованные оптической системой .....	58
4.2.2. Дисперсия света. Хроматические аберрации .....	74
4.3. Коэффициент пропускания .....	80
4.4. Термические свойства .....	82
4.4.1. Термооптические свойства оптического стекла .....	82
4.4.2. Теплотехнические характеристики .....	89
4.5. Радиационно-оптическая устойчивость .....	91
4.6. Светорассеяние .....	92
4.7. Механические свойства оптического стекла .....	92
4.7.1. Плотность .....	92
4.7.2. Оптический коэффициент напряжения .....	92
4.7.3. Модуль упругости .....	93
4.7.4. Коэффициент поперечной деформации .....	93
4.7.5. Модуль сдвига .....	94
4.7.6. Относительная твердость по шлифованию .....	94
4.8. Химическая устойчивость .....	94
4.8.1. Устойчивость к влажной атмосфере .....	95
4.8.2. Устойчивость к слабым кислотным водным растворам и к воде .....	96
4.9. Магнитные и электрические характеристики .....	96
4.9.1. Эффект Фарадея — один из эффектов магнитооптики .....	96
4.9.2. Электрические характеристики .....	97
4.10. Показатели качества оптического стекла и их нормирование .....	98

4.11. Определение требований к качеству бесцветного оптического стекла .....	109
4.11.1. Требования к показателю преломления и дисперсии оптического стекла .....	109
4.11.2. Требования к однородности оптического стекла .....	116
4.11.3. Требования к двойному лучепреломлению .....	126
4.11.4. Требования к показателю ослабления оптического стекла ..	127
4.11.5. Требования к пузырьрности оптического стекла .....	129
4.11.6. Требования свильности оптического стекла .....	138
4.12. Методы определения характеристик качества оптического стекла .....	148
4.12.1. Методы измерения показателя преломления .....	148
4.12.2. Метод определения оптической однородности .....	166
4.12.3. Методы определения двулучепреломления .....	170
4.12.4. Метод измерения показателя ослабления оптического стекла .....	175
4.12.5. Метод определения пузырьрности оптического стекла .....	178
4.12.6. Метод определения бессвильности оптического стекла ....	181
<b>Глава 5. Кварцевое стекло .....</b>	<b>184</b>
5.1. Краткий исторический очерк .....	184
5.2. Природный кварц .....	189
5.2.1. Кремнезем. Основные модификации кремнезема .....	189
5.2.2. Полиморфные превращения кремнезема .....	195
5.3. Способы получения кварцевого стекла .....	197
5.3.1. Электротермический способ .....	197
5.3.2. Газопламенный способ .....	198
5.3.3. Синтез из газовой фазы .....	199
5.4. Физико-механические характеристики кварцевого оптического стекла .....	201
5.5. Марки кварцевого оптического стекла .....	204
5.6. Параметры заготовок и показатели качества кварцевого оптического стекла .....	207
5.7. Требования к качеству кварцевого оптического стекла .....	208
<b>Глава 6. Оптические цветные стекла .....</b>	<b>212</b>
6.1. Обозначения стекол .....	212
6.2. Спектральные характеристики цветных оптических стекол .....	213
6.3. Показатель поглощения .....	213
6.4. Оптическая плотность .....	213
6.5. Физико-химические свойства цветного оптического стекла .....	221
6.5.1. Температурное изменение спектрального поглощения .....	221
6.5.2. Изменение спектрального поглощения известных оптических стекол под влиянием ультрафиолетового излучения .....	222
6.5.3. Термостойкость стекол .....	222
6.5.4. Температура отжига .....	223
6.5.5. Оптический коэффициент напряжения .....	223
6.5.6. Относительная твердость стекла по сошлифованию .....	227
6.5.7. Химическая устойчивость стекол .....	227
<b>Глава 7. Органическое (полимерное) стекло .....</b>	<b>233</b>
7.1. Физико-механические и теплофизические свойства органических стекол .....	234
7.2. Оптические свойства прозрачных полимеров .....	240
7.3. Способы изготовления деталей из оптических полимеров .....	246

<b>Глава 8. Кристаллы и кристаллические материалы</b> . . . . .	255
8.1. Кристаллы . . . . .	255
8.2. Оптическая керамика . . . . .	259
8.3. Оптические кристаллические материалы . . . . .	263
8.3.1. Оптические характеристики . . . . .	265
8.3.2. Кристаллографические характеристики . . . . .	269
8.3.3. Теплофизические характеристики . . . . .	270
8.3.4. Механические характеристики . . . . .	271
8.3.5. Химическая устойчивость . . . . .	276
8.3.6. Параметры качества кристаллических материалов . . . . .	278
<b>Глава 9. Оптические ситаллы</b> . . . . .	279
9.1. Стеклокристаллические материалы . . . . .	279
9.2. Оптические ситаллы . . . . .	281
9.2.1. Обозначения ситаллов . . . . .	281
9.2.2. Физические, химические и спектральные свойства ситаллов . . . . .	282
<b>Глава 10. Оптические стекла для инфракрасной области спектра</b> . . . . .	285
10.1. Обозначения инфракрасных оптических стекол . . . . .	285
10.2. Показатель преломления стекол . . . . .	286
10.3. Дисперсия стекла. Коэффициент дисперсии . . . . .	287
10.4. Спектральная характеристика стекол . . . . .	288
<b>Глава 11. Лазерные материалы</b> . . . . .	294
<b>Глава 12. Фотохромные стекла</b> . . . . .	313
<b>Глава 13. Светорассеивающие стекла</b> . . . . .	318
13.1. Классификация светорассеивающих стекол . . . . .	318
13.2. Величины и понятия, используемые для характеристик свойств светорассеивающих стекол . . . . .	319
13.3. Величины и понятия, используемые для характеристики механических, теплотехнических и химических свойств светорассеивающих стекол . . . . .	321
13.4. Характеристики светорассеивающих стекол . . . . .	321
13.4.1. Стекла для диффузного отражения света (стекла I типа) . . . . .	321
13.4.2. Стекла для диффузного пропускания света (стекла II типа) . . . . .	323
13.4.3. Стекла для образцов мутности стекла III типа) . . . . .	325
13.4.4. Физико-химические свойства светорассеивающих стекол . . . . .	327
<b>Глава 14. Материалы, применяемые в астрономической оптике</b> . . . . .	328
14.1. Материалы для преломляющей оптики . . . . .	328
14.2. Материалы для зеркал астрономических телескопов . . . . .	330
<b>Заключение</b> . . . . .	343
<b>Приложения</b> . . . . .	345
<b>Литература</b> . . . . .	385