

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЬЦИНА

Л. В. Жукова  
А. С. Корсаков  
Д. С. Врублевский

# НОВЫЕ ИНФРАКРАСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ: КРИСТАЛЛЫ И СВЕТОВОДЫ

*2-е издание, стереотипное*

Москва  
Издательство «ФЛИНТА»  
Издательство Уральского университета  
2017

УДК 004.94; 548.55; 681.7.068.2  
ББК 22.37  
Ж 89

Научный редактор  
профессор, доктор физико-математических наук *Б. В. Шульгин*

Рецензенты:  
профессор, доктор физико-математических наук *И. И. Мильман*  
профессор, доктор химических наук *И. Х. Аветисов*

**Жукова, Л. В.**  
Ж 89 Новые инфракрасные материалы: кристаллы и световоды [Электронный ресурс] : [монография] / Л.В. Жукова, А.С. Корсаков, Д.С. Врублевский. — 2-е изд., стер. — М. : ФЛИНТА : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 280 с.

ISBN 978-5-9765-3103-1 (ФЛИНТА)  
ISBN 978-5-7996-1357-0 (Изд-во Урал. ун-та)

В монографии представлены сведения об изучении свойств и синтезе новых кристаллов на основе твердых растворов галогенидов серебра и одновалентного таллия, из которых получают методом экструзии уникальные по оптико-механическим свойствам световоды для среднего ИК-диапазона. Изготовлено оборудование для получения сырья и выращивания кристаллов.

Монография будет полезна студентам, аспирантам, инженерно-техническим работникам, занимающимся вопросами получения ИК-световодов и волоконной оптики.

УДК 004.94; 548.55; 681.7.068.2  
ББК 22.37

ISBN 978-5-9765-3103-1 (ФЛИНТА) © Уральский федеральный университет, 2014  
ISBN 978-5-7996-1357-0 (Изд-во Урал. ун-та) © Жукова Л. В., Корсаков А. С., Врублевский Д. С., 2014

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| Предисловие научного редактора .....  | 6  |
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....   | 8  |
| <b>Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КРИСТАЛЛАХ ГАЛОГЕНИДОВ<br/>ОДНОВАЛЕНТНОГО ТАЛЛИЯ И ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ<br/>НА ИХ ОСНОВЕ КРС-5, КРС-6</b> ..... | 12 |
| 1.1. Химическая связь в кристаллах галогенидов<br>одновалентного таллия .....   | 12 |
| 1.2. Диаграммы состояния систем на основе галогенидов<br>одновалентного таллия $TlCl - TlBr$ и $TlBr - TlI$ .....                         | 15 |
| Методика эксперимента .....   | 16 |
| 1.3. Физико-химические свойства ИК-кристаллов .....   | 20 |
| <b>Глава 2. КРИСТАЛЛЫ ГАЛОГЕНИДОВ СЕРЕБРА<br/>И ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ НА ИХ ОСНОВЕ</b> .....   | 27 |
| 2.1. Диаграммы состояния систем $AgCl - AgBr$ ,<br>$AgCl - AgI$ , $AgBr - AgI$ .....  | 29 |
| 2.2. Система $AgCl - AgBr - AgI$ .....  | 33 |
| 2.2.1. Характеристика исходных материалов и методы исследования ...   | 34 |
| 2.2.2. Политермические сечения системы $AgCl - AgBr - AgI$ .....  | 40 |
| Система I (69 % $AgBr$ , 31 % $AgCl$ ) - $AgI$ .....  | 40 |
| Система IV (54 % $AgI$ , 46 % $AgCl$ ) - $AgBr$ .....   | 42 |
| Система V (65 % $AgI$ , 35 % $AgCl$ ) - $AgBr$ .....  | 43 |
| Система VI (23 % $AgI$ , 77 % $AgBr$ ) - $AgCl$ .....   | 45 |
| 2.3. Расчет изоморфной емкости матриц хлорид-бромид серебра .....   | 46 |
| <b>Глава 3. НОВЫЕ КРИСТАЛЛЫ НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ<br/>ГАЛОГЕНИДОВ СЕРЕБРА И ОДНОВАЛЕНТНОГО ТАЛЛИЯ</b> .....                         | 54 |
| 3.1. Физико-химические свойства галогенидов серебра<br>и йодида одновалентного таллия .....   | 54 |
| 3.2. Исследование фазовой диаграммы системы $AgBr - TlI$ .....  | 57 |
| 3.3. Рентгеноструктурный анализ твердых растворов<br>галогенидов металлов, полученных методом ТЗКС .....                                  | 63 |

|  |            |
|--|------------|
| 3.4. Рентгеноструктурный анализ кристаллов твердых растворов галогенидов металлов.....   | 65         |
| 3.5. Рентгеноструктурный анализ твердых растворов AgBr – ТП.....   | 68         |
| 3.6. Моделирование структуры ИК – кристаллов.....  | 72         |
| 3.7. Исследование фазовой диаграммы системы AgBr – (TlBr <sub>0,46</sub> I <sub>0,54</sub> ).....                              | 76         |
| 3.7.1. Моделирование твердых растворов системы AgBr – (KPC-5).....   | 76         |
| 3.7.2. Термодинамическое исследование диаграммы фазовых равновесий в системе AgBr – (KPC-5).....                               | 77         |
| 3.8. Физико-химические свойства кристаллов на основе галогенидов серебра и одновалентного таллия. Аппаратурное оформление..... | 83         |
| 3.8.1. Определение примесей и химического состава кристаллов.....  | 83         |
| 3.8.2. Определение показателя преломления кристаллов.....  | 84         |
| 3.8.3. Спектральное пропускание ИК-кристаллов.....   | 92         |
| 3.8.4. Исследование зависимости влияния состава кристаллов на коэффициент Пуассона, модуль Юнга и модуль сдвига.....           | 94         |
| 3.9. Оптико-механические свойства кристаллов системы AgCl <sub>x</sub> Br <sub>1-x</sub> .....                                 | 95         |
| <b>Глава 4. СИНТЕЗ КРИСТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ГАЛОГЕНИДОВ СЕРЕБРА И ОДНОВАЛЕНТНОГО ТАЛЛИЯ ...</b>                  | <b>102</b> |
| 4.1. Синтез «сложнолегированного» сырья для выращивания кристаллов.....  | 103        |
| 4.2. Выращивание кристаллов методом Бриджмена – Стокбаргера.....   | 107        |
| 4.3. Новые установки КПЧ-01 и КПЧ-02, реализующие метод Бриджмена с аксиальной вибрацией расплава.....                         | 113        |
| 4.4. Химико-механическая обработка кристаллов.....   | 130        |
| <b>Глава 5. КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ИНФРАКРАСНЫЕ СВЕТОВОДЫ: МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ, ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ.....</b>          | <b>138</b> |
| 5.1. Вывод фундаментальных характеристик световода.....  | 140        |
| 5.2. Моделирование оптических волокон.....   | 143        |
| 5.3. Методика Source-Model Technique для анализа жестко связанных мод в фотонно-кристаллическом волокне.....                   | 146        |
| 5.3.1. Геометрия диэлектрического волокна.....   | 150        |
| 5.3.2. Задачи метода Source-Model Technique.....   | 151        |
| 5.3.3. Фотонные ИК-световоды (PCF) с поллой сердцевиной.....   | 158        |
| Описание геометрии.....  | 158        |
| Размещение источников.....   | 158        |
| Симметрия волокон.....   | 159        |
| Числовые результаты.....   | 162        |
| 5.3.4. Выбор меры точности.....  | 168        |

|  |     |
|--|-----|
| 5.4. Моделирование ИК-световодов.....  | 168 |
| 5.4.1. Моделирование кварцевых световодов.....   | 168 |
| 5.4.2. Моделирование двухслойных ИК-световодов на основе кристаллов твердых растворов галогенидов серебра и галлия (I) со ступенчатым профилем показателя преломления..... | 178 |
| 5.4.3. Моделирование двухслойных световодов на основе кристаллов твердых растворов галогенидов серебра и галлия (I) с увеличенным диаметром поля моды.....                 | 183 |
| 5.5. Получение инфракрасных световодов.....  | 189 |
| 5.6. Исследование оптико-механических свойств ИК-световодов .....  | 193 |
| 5.6.1. Измерение спектрального пропускания.....  | 193 |
| 5.6.2. Измерение оптических потерь.....  | 195 |
| 5.6.3. Исследование пространственного распределения мод, вытекающих из ИК-световодов.....  | 198 |
| 5.6.4. Исследование фотостойкости ИК-световодов.....   | 200 |
| 5.6.5. Определение прочности световодов на разрыв.....   | 204 |
| 5.7. Области применения ИК-световодов.....   | 206 |
| 5.7.1. Применение в лазерной медицине .....  | 207 |
| 5.7.2. Применение в сенсорных волоконно-оптических системах.....   | 210 |
| 5.7.3. Спектроскопия заглушающей волны .....   | 212 |
| 5.7.4. Кристаллические волоконные сцинтилляторы .....  | 213 |
| 5.7.5. Космические исследования и технологии .....   | 214 |
| 5.7.6. Волоконные лазеры.....  | 217 |
| 5.7.7. Волоконные зонды для ИК-Фурье спектроскопии .....   | 219 |

**Глава 6. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ  
МЕТОДОМ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ  
ИЗ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК.....**

|   |     |
|---|-----|
| 6.1. Виды линз и их характеристики.....   | 235 |
| 6.2. Теоретический расчет характеристик оптических изделий .....  | 237 |
| 6.3. Компьютерное моделирование хода лучей .....  | 238 |
| 6.4. Оснастка и установка для прессования оптических изделий.....   | 244 |
| Приложение 1. Патенты Российской Федерации.....   | 253 |
| Приложение 2. Международные и российские дипломы .....  | 263 |
| Приложение 3. Инновационно-внедренческий центр<br>«Центр инфракрасных волоконных технологий»<br>при Химико-технологическом институте УрФУ<br>имени первого Президента России Б. Н. Ельцина..... | 269 |