



Томилин Максим Георгиевич

1937 года рождения, окончил Ленинградский механический институт в 1961 г. и аспирантуру ГОИ им. С. И. Вавилова в 1969 г.

В настоящее время — главный научный сотрудник ГОИ им. С. И. Вавилова, профессор Санкт-Петербургского института точной механики и оптики, член-корреспондент РА инженерных наук. Автор 240 научных и 60 публицистических статей. Директор российского отделения общества информационных дисплеев. Область научных интересов: оптика жидких кристаллов, явления на границе жидкий кристалл — твердое тело, неразрушающие методы контроля поверхности материалов, плоские информационные дисплеи, история оптики.

М. Г. Томилин

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ
С ПОВЕРХНОСТЬЮ**



**ПОЛИТЕХНИКА
ИЗДАТЕЛЬСТВО**

Санкт-Петербург 2001

УДК 532.783
ББК 22.37
Т50



Издание выпущено при поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
(грант № 98-02-30074)
и инновационного центра ГУП ГОИ им. С. И. Вавилова

Рецензент д-р физ.-мат. наук Е. И. Рюмцев

Т50 Томилин М. Г.
Взаимодействие жидких кристаллов с поверхностью.—
СПб.: Политехника, 2001.— 325 с.: ил.

ISBN 5-7325-0531-8

В книге описаны физические явления, возникающие на границе жидкие кристаллы (ЖК) — твердое тело, индуцированные структуры приповерхностных слоев, компоненты энергии сцепления молекул ЖК с подложкой, природа ориентации молекул ЖК на поверхности, условия смачивания. Показано, что влияние подложки может существенным образом изменять физические свойства ЖК у границы с поверхностью.

Затронуты задачи передовых технологий, направленных на обеспечение контролируемой и воспроизводимой ориентации и энергии сцепления молекул ЖК с подложкой. Теоретически описаны локальные деформации ЖК в неоднородных внешних полях и даны результаты экспериментального выявления различного рода неоднородностей поверхности в материалах, не наблюдаемые в ряде случаев альтернативными методами в материаловедении, микроэлектронике и медицине.

Книга предназначена для студентов, аспирантов и научных сотрудников, работающих в области физики ЖК, физики поверхности, неразрушающих методов контроля и материаловедения.

Т $\frac{1604110000-368}{045(01)-01}$ 14-99

УДК 532.783
ББК 22.37

ISBN 5-7325-0531-8

© Издательство «Политехника», 2001

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----------|
| Предисловие | 5 |
| <i>Часть I</i> | |
| Общие сведения о жидких кристаллах | 7 |
| Введение | — |
| Г л а в а 1. Свойства жидких кристаллов | — |
| 1.1. Классификация жидких кристаллов | 8 |
| 1.2. Текстуры жидких кристаллов | 16 |
| 1.3. Особенности химического строения жидких кристаллов | 21 |
| 1.4. Физические свойства жидких кристаллов | 29 |
| 1.4.1. Оптические свойства | 31 |
| 1.4.2. Диэлектрические свойства | 36 |
| 1.4.3. Электропроводность | 39 |
| 1.4.4. Магнитная анизотропия | 43 |
| 1.4.5. Поверхностное натяжение | — |
| 1.4.6. Вязкость | 48 |
| 1.4.7. Упругие свойства | 49 |
| Список литературы | 52 |
| Г л а в а 2. Взаимодействие жидких кристаллов с твердой поверхностью | 56 |
| 2.1. Структура приповерхностных слоев | 57 |
| 2.1.1. Изменение параметра ориентационного порядка | — |
| 2.1.2. Смектическое упорядочение, индуцированное поверхностью | 59 |
| 2.1.3. Полярное поверхностное упорядочение и поверхностная поляризация | 60 |
| 2.2. Энергия сцепления | 63 |
| 2.3. Ориентация жидких кристаллов на твердых поверхностях | 69 |
| 2.3.1. Планарная ориентация | 71 |
| 2.3.2. Гомеотропная ориентация | 82 |
| 2.3.3. Наклонная ориентация | 84 |
| 2.3.4. Бистабильная и мультистабильная ориентации | 88 |
| 2.3.5. Ориентационные переходы | 90 |
| 2.3.6. Ориентация холестерических и смектических жидких кристаллов | 92 |
| Холестерические жидкие кристаллы | — |
| Смектические жидкие кристаллы | 94 |
| 2.3.7. Жидкие кристаллы в порах | 97 |
| 2.4. Смачивание твердой поверхности жидкими кристаллами | 100 |
| Список литературы | 102 |
| Г л а в а 3. Поляризационные и светорассеивающие эффекты в жидких кристаллах | 110 |
| 3.1. Поляризационные эффекты в жидких кристаллах | 111 |
| 3.1.1. Эффекты электрически управляемого двулучепреломления | 113 |
| 3.1.2. Твист-эффект | 118 |
| 3.1.3. Эффект «гость—хозяин» | 121 |
| 3.1.4. Флексоэлектрический эффект | 123 |
| 3.1.5. Поляризационные эффекты, связанные с фазовыми изменениями | 124 |
| 3.2. Светорассеивающие эффекты в жидких кристаллах | 125 |
| 3.2.1. Эффект динамического рассеяния света | 126 |
| 3.2.2. Электрооптические эффекты в ХЖК | 131 |
| ХЖК с $\Delta\epsilon > 0$ и исходной конфокальной ориентацией | 132 |
| ХЖК с $\Delta\epsilon > 0$ и исходной планарной ориентацией | 136 |
| ХЖК с $\Delta\epsilon < 0$ и исходной конфокальной ориентацией | — |
| ХЖК с $\Delta\epsilon < 0$ и исходной планарной ориентацией | 137 |
| 3.2.3. Управляемое светорассеяние в СЖК | — |

| | |
|--|-----|
| 3.2.4. Управляемое светорассеяние в полимерных жидких кристаллах . . . | 140 |
| 3.2.5. Светорассеяние в жидких кристаллах, диспергированных в полимерную матрицу | 142 |
| Список литературы | 145 |

Часть 2

Применение жидких кристаллов в исследованиях и неразрушающих методах контроля поверхностей материалов и изделий 150

Введение –

Глава 4. Контактная дефектоскопия поверхностей на основе жидких кристаллов 152

4.1. Очерк развития метода –

4.1.1. Изучение топографических свойств твердых поверхностей 153

4.1.2. Изучение неоднородных электрических и магнитных полей 154

4.1.3. Регистрация полей различной физической природы –

4.1.4. Изучение распределений тепловых полей и термодфектоскопия 156

4.2. Сущность метода контактной дефектоскопии 157

Список литературы 160

Глава 5. Визуализация и контроль полей поверхностных сил с помощью НЖК 165

5.1. Анализ локальных деформаций слоя НЖК вблизи неидеальной поверхности –

5.2. Определение полей локальных деформаций слоя НЖК в зоне характерных дефектов 171

5.2.1. Обособленный, ориентационный дефект 177

5.2.2. Обособленный дефект рельефа 179

5.2.3. Замкнутые двумерные объемы 181

5.2.4. Включения в слое НЖК 182

5.2.5. Локальные деформации вблизи поверхности с плавным периодическим рельефом 184

5.3. Информационная емкость и разрешающая способность слоев НЖК при визуализации поверхностных дефектов 186

5.4. Экспериментальные исследования свойств поверхности с помощью НЖК 189

5.5. Исследование дефектов микрорельефа поверхности 190

5.5.1. Дефекты микрорельефа на плоских поверхностях –

5.5.2. Дефекты микрорельефа на неплоских поверхностях 200

5.6. Исследование структурных неоднородностей поверхности 206

5.6.1. Исследование структурных неоднородностей оптических кристаллов –

5.6.2. Исследование физических неоднородностей на поверхности стекол 215

5.6.3. Исследование физических неоднородностей на поверхности металлов 219

5.6.4. Исследование структурных неоднородностей в гистологических срезах тканей человека 225

Список литературы 231

Глава 6. Визуализация неоднородных магнитных полей 234

6.1. Теория локальных деформаций НЖК в неоднородных магнитных полях –

6.2. Экспериментальные исследования магнитных материалов 236

6.2.1. Визуализация магнитных доменов в минералах 237

6.2.2. Визуализация магнитных доменов в материалах для программируемых запоминающих устройств 240

Список литературы 241

Глава 7. Визуализация неоднородных электрических полей 243

7.1. Общая теория деформаций НЖК в неоднородных электрических полях 244

7.2. Визуализация неоднородных электрических полей в дисплеях 247

| | |
|---|------------|
| 7.2.1. Анализ нелинейных ориентационных деформаций поля директора в неоднородном электрическом поле | 247 |
| 7.2.2. Экспериментальное исследование изображений неоднородного электрического поля | 253 |
| 7.3. Визуализация неоднородных электрических полей в пространственно-временных модуляторах света | 254 |
| 7.4. Визуализация неоднородных электрических полей в изделиях микроэлектроники | 261 |
| 7.4.1. Теоретические основы визуализации дефектов в изделиях микроэлектроники | 262 |
| 7.4.2. Экспериментальные исследования дефектов в диэлектрических слоях | 267 |
| 7.5. Визуализация электрического состояния поверхности кристаллов и минералов | 276 |
| Список литературы | 282 |
| Г л а в а 8. Холестерические жидкие кристаллы в неразрушающих методах контроля | 285 |
| 8.1. Основы визуализации температурных полей на поверхности | 286 |
| 8.2. Экспериментальные исследования поверхностей с помощью ХЖК | 292 |
| 8.2.1. Медицинская термография | — |
| 8.2.2. Исследование однородности свойств материалов и изделий | 296 |
| 8.2.3. Аэродинамические исследования | 298 |
| 8.3. Визуализация излучений | 302 |
| 8.3.1. Регистрация ИК-излучений | 303 |
| 8.3.2. Регистрация СВЧ-излучений | 306 |
| 8.3.3. Регистрация акустических полей | 307 |
| 8.3.4. Детектирование химических реакций | 314 |
| Список литературы | — |
| Заключение | 321 |