

**Л. М. Блинов.** Э л е к т р о о п т и к а ж и д к и х к р и с т а л л о в . Своей популярностью жидкие кристаллы обязаны главным образом их многочисленным применениям в микроэлектронике. Индикаторы часов и калькуляторов (первое поколение), телевизионные экраны и дисплеи ЭВМ (второе поколение), модуляторы и устройства оптической обработки информации (третье поколение) — все это примеры приборов, где используются электрооптические эффекты в жидкокристаллических материалах. Эти эффекты исключительно многообразны <sup>1</sup>, но в любом случае работает одна и та же общая схема. На первом этапе электрическое поле так или иначе «связывается» с одним из параметров порядка жидкого кристалла (здесь проявляется «твердотельный» характер вещества). На втором этапе, стремясь минимизировать свою энергию под действием поля, жидкий кристалл течет, перестраивается и меняет молекулярную ориентацию, характеризующуюся

единичным вектором — директором  $\mathbf{L}$  (здесь проявляется «жидкостный» характер среды). Наконец, благодаря своей оптической анизотропии, опять же обусловленный наличием ненулевых параметров порядка (как в твердом теле), вся перестройка сопровождается резким изменением оптических свойств образца (поглощения, преломления, рассеяния света). Таким образом, в электрооптике жидкого кристалла «кристалл» передает эстафетную палочку «жидкости», а та — вновь «кристаллу». Именно поэтому рассматриваемые эффекты отсутствуют как в обычных жидкостях, так и в твердых телах, поскольку там отсутствует сама эстафета. Общим для всех эффектов является и техника эксперимента. Обычно все исследования проводятся в тонком слое жидкого кристалла, заключенного между двумя стеклянными пластинками, покрытыми прозрачными пленками-электродами (см. рисунок). Обсудим наиболее интересные из электрооптических эффектов.

1. При индуцированном электрическим полем переходе Фредерикса нематический жидкий кристалл стремится сориентироваться так, чтобы направление, вдоль которого его диэлектрическая проницаемость максимальна ( $\epsilon_{\parallel}$  или  $\epsilon_{\perp}$  по отношению к директору), совпало с линией действия поля, независимо от его знака. Эффект квадратичен по полю и характеризуется

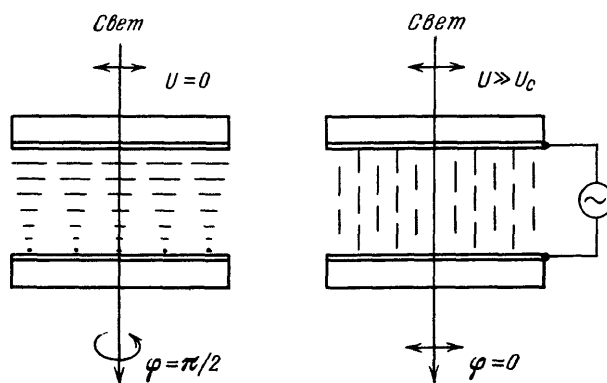


Рис. 1

энергией взаимодействия  $W^{(2)} \sim \epsilon_a E^2$ , где  $\epsilon_a = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$ . Переориентация сопровождается изменением двулучепреломления среды, что используется для модуляции монохроматического света. Пороговое напряжение соответствующего эффекта  $U_c \sim \epsilon_a^{-1/2}$ , а время отклика на поле  $\tau \sim \gamma_1 / \epsilon_a E^2$ , где  $\gamma_1$  — коэффициент вязкости для переориентации директора.

Существует несколько вариантов перехода Фредерикса, отличающихся геометрией исходной ориентации директора и знаком  $\epsilon_a$ . Особый интерес представляет так называемый твист-эффект. В последнем случае специальной обработкой стенок ячейки искусственно создается закрученная на  $90^\circ$  ориентация директора. Такая структура поворачивает вектор поляризации света на угол  $\pi/2$ , а при наложении поля ( $\epsilon_a > 0$ ) эффект поворота исчезает (см. рисунок). Используя два пленочных поляроида, можно создать световой затвор, который и используется в большинстве дисплеев.

Эффект Фредерикса в нематиках хорошо изучен теоретически и экспериментально, и в настоящее время центр тяжести исследования сместился в область практических применений (оптимизация материалов, разработка методов ориентации директора на твердой поверхности и т. д.).

Одним из интересных вариантов новых приложений является супер-твист-ячейка, в которой исходное направление директора закручено на угол  $\pi$  или  $3\pi/2$ . В этом случае переключение происходит исключительно резко, оно фактически носит бистабильный характер.

2. Наличие электрического тока при определенных условиях приводит к течению жидкого кристалла<sup>2,3</sup>. Это течение может быть ламинарным или турбулентным. Ламинарное течение сопровождается пространственно-периодическими искажениями распределения директора, что оптически наблюдается в виде разнообразных доменных картин. Турбулентное движение приводит к интенсивному рассеянию света. Пороговые напряжения ЭГД-процессов, как правило, определяются, анизотропией электропроводности среды  $U_c \sim \sigma_a^{-1/2}$ ,  $\sigma_a = \sigma_{||} - \sigma_{\perp}$ . Хотя механизмы различных ЭГД-неустойчивостей (в разных жидкокристаллических фазах, на разных частотах и т. д.) изучены достаточно основательно, остается еще много нерешенных вопросов. Серьезного изучения заслуживает, в частности, процесс перехода от ламинарного течения к турбулентному, поведение неустойчивостей в пространственно-периодических полях и т. д.

3. В последнее время большое внимание уделяется изучению электрооптических эффектов, обусловленных линейным взаимодействием поля с электрической поляризацией среды  $P$  (соответствующая энергия  $W^{(1)} \sim PE$ ). Поляризация может быть наведена деформацией поля директора даже в центрально-симметричных фазах (флексоэлектрический эффект). Наибольший же интерес представляют сегнетоэлектрические фазы (особенно зеркально-асимметричная смектическая  $C^*$ -фаза), для которых характерно наличие спонтанной поляризации  $P_c$ . Порог и время полевого переключения директора в этом случае обратно пропорциональны поляризации:  $U_c \sim (P_c)^{-1}$ ,  $\tau \sim \gamma_1/P_c E^4$ . В настоящее время основное внимание уделяется изучению взаимосвязи между молекулярной структурой и величиной спонтанной поляризации жидкокристаллических сегнетоэлектриков, поиску новых режимов переключения (быстрые моды, спиральные структуры), исследованию специфики тонких слоев, особенностей электрооптики вблизи фазовых переходов и т. д.

Жидкокристаллические фазы чрезвычайно многообразны, и для многих из них электрические эффекты совершенно не изучены. Это относится, в частности, к дискотическим, лиотропным и низкотемпературным смектическим фазам, исследования которых будут развиваться в ближайшем будущем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б л и н о в Л. М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. — М.: Наука, 1978.
2. П и к и н С. А. Структурные превращения в жидких кристаллах. — М.: Наука, 1980.
3. B l i n o v L. M. // Science Progress, Oxford. 1986. V. 70. P. 283.
4. Б л и н о в Л. М., Б е р е с н е в Л. А. // УФН. 1984. Т. 134. С. 391.

532.783(048)

**Е. И. Кац, В. В. Лебедев.** Динамика свободно подвешенных пленок смектиков. В последние годы получены и исследуются тонкие бислойные и даже монослойные пленки смектических жидких кристаллов<sup>1,2</sup>. Сама возможность существования таких пленок в свободно подвешенном состоянии связана с присущей всем смектикам слоистостью структуры, т. е. наличием внутренних сил, заставляющих центры масс молекул находиться в одном слое. При переходе в нематическую или изотропную фазу эта слоистость исчезает, и свободно подвешенные пленки становятся неустойчивыми. Таким образом, свободно подвешенные пленки смектиков представляют собой новое агрегатное состояние вещества: двумерный объект, вложенный в трехмерное пространство. Отметим, что реально речь идет не обязательно о монослойных пленках. Все наши результаты относятся к мультислойным пленкам, однако в этих случаях толщина пленки ограничивает допустимую область волновых векторов, в которой мы можем не учитывать вариации гидродинамических переменных по толщине пленки.

В качестве гидродинамических переменных пленки можно выбрать двумерные плотности массы  $\rho$ , энтропии  $\sigma$ , импульса  $j$  и вектор смещения  $u$ .