

07

Электрооптика твист-слоев нематиков в режиме электроконвекции: роль дефектов

© Г.Р. Якупова, О.А. Скалдин

Институт физики молекул и кристаллов
Уфимского научного центра РАН, Уфа
E-mail: scala@anrb.ru

Поступило в Редакцию 20 мая 2003 г.

Исследуется последовательность ориентационно-фазовых превращений в твист-слоях нематических жидких кристаллов в проводящем режиме электроконвекции с учетом процесса зарождения структурных дефектов. Экспериментально устанавливаются количественные характеристики, определяющие степень дефектности модулированных структур, влияющей на процесс их формирования.

Большинство исследований, посвященных изучению поведения дефектов в жидких кристаллах (ЖК), ограничены случаем планарной ориентации директора \mathbf{n} [1,2], тогда как с точки зрения практического применения ЖК наиболее перспективной является закрученная ориентация директора \mathbf{n} („твист“ и „супертвист“). К примеру, в закрученных нематических жидких кристаллах (НЖК), как показано в [3], крутизна и контраст электрооптической кривой существенно зависят от угла закрутки слоя нематика и достигают максимальных значений при углах 90° . Конечно, наиболее интересным в практическом и техническом отношении является случай бездефектных модулированных структур. Однако реальные упорядоченные системы являются далеко не идеальными, что связано, как сказано выше, с дефектами ролловых структур, которые влияют на электрооптические характеристики НЖК-слоев.

В связи с этим целью данной работы явилось изучение процесса перехода от одномерной (1D) доменной структуры к двумерной (2D) в закрученном на $\pi/2$ НЖК при электроконвекции в переменном электрическом поле и определение количественных характеристик, отражающих степень дефектности изучаемых периодических струк-

тур. Исследуется и анализируется влияние на эти процессы наличия дефектов доменной структуры. Модельной системой служил НЖК 4- π -метоксибензилиден- n -бутиланилин (МББА), который помещался между двумя стеклянными подложками с проводящим покрытием из SnO₂. Подложки натирались в одном направлении для создания планарной однородной ориентации директора, затем они поворачивались относительно друг друга на угол $\pi/2$, так что возникала закрученная на $\pi/2$ конфигурация поля директора \mathbf{n} . Толщина ЖК-слоя составляла $d = 20 \mu\text{m}$, линейные размеры ячейки $16 \times 12 \text{mm}$. К слою прикладывалось переменное напряжение U с частотой $f = 30 \text{Hz}$. Пороги образования доменных структур, типы дефектов и их пространственно-временные характеристики определялись методами оптической дифракции и прямого анализа видеоизображений с использованием поляризационно-оптического микроскопа.

При увеличении амплитуды переменного электрического поля в закрученных НЖК выше порогового напряжения ($U_c = 5.6 \text{V}$) наблюдается последовательность структурных переходов: линейные домены (домены Вильямса) \rightarrow модулированные роллы \rightarrow двумерная доменная структура (в плоскости НЖК-слоя) \rightarrow турбулентный режим (мода динамического рассеяния света) (рис. 1). Линейные домены в закрученных НЖК направлены перпендикулярно ориентации директора в середине невозмущенного слоя. Модуляция вдоль оси роллов возникает при увеличении напряжения до $\varepsilon = 1.8$, где $\varepsilon = (U - U_c)/U_c$ (рис. 1). Амплитуда деформации роллов увеличивается с ростом напряжения до тех пор, пока не образуется двумерная в плоскости XOY структура (grid pattern) [4]. В отличие от планарного слоя НЖК, имеющего только тангенциальную компоненту скорости конвективного течения в роллах, у закрученных нематиков появляется дополнительная аксиальная компонента скорости, меняющая свое направление в соседних роллах [4].

Фурье-анализ видеоизображений показал, что при переходе от линейных доменов к двумерной структуре перпендикулярная составляющая волнового вектора q_{\perp} (направление перпендикулярно директору в середине слоя и соответственно параллельно роллам) в отличие от параллельной директору составляющей q_{\parallel} практически не меняется при увеличении приложенного напряжения, свидетельствуя об устойчивости поперечной пространственной моды. Зависимости приведенных волновых векторов одномерной и двумерной структур от приложенного напряжения также показаны на рис. 1.

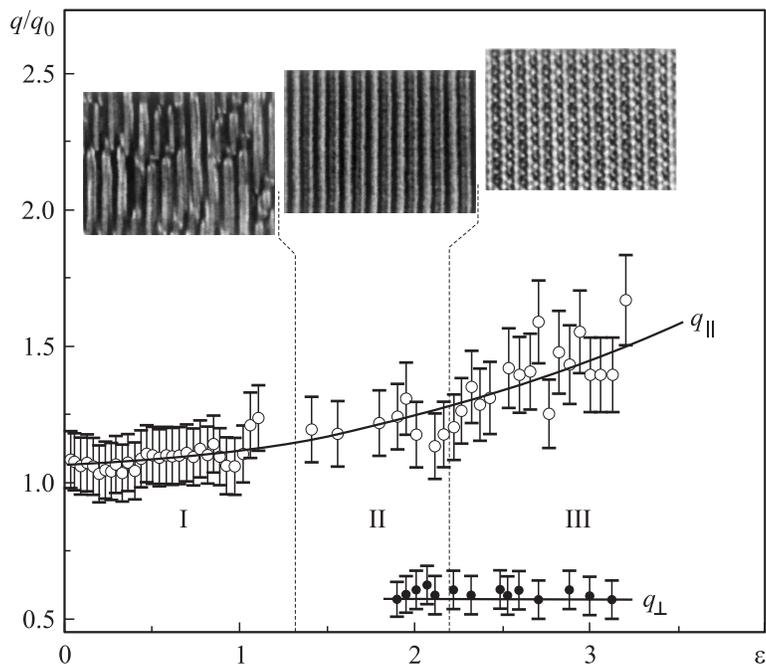


Рис. 1. Зависимости приведенных волновых векторов от управляющего параметра ϵ ($q_0 = 2\pi/d$, d — толщина слоя). На вставках показаны характерные картины волновых неустойчивостей для соответствующих диапазонов ϵ . I — линейные домены, II — переходное состояние, III — 2D-структура („grid-pattern“).

Устойчивость двумерной структуры в значительной степени зависит от наличия дефектов, которые являются, по существу, краевыми дислокациями одномерной ролловой структуры (вставка рис. 2). Аналогично планарным НЖК [5], в закрученных нематиках существуют два типа движения дефектов *slibe* и *glid*, движущиеся соответственно вдоль и перпендикулярно осям роллов. Вокруг дефекта роллы, с одной стороны, подвергаются сжатию, а с другой — растяжению вдоль линии, перпендикулярной осям роллов. При этом эффективный период роллов, с одной стороны, дефекта меньше, чем с другой стороны, в результате чего дефекты движутся преимущественно вдоль роллов. Движение *glid*

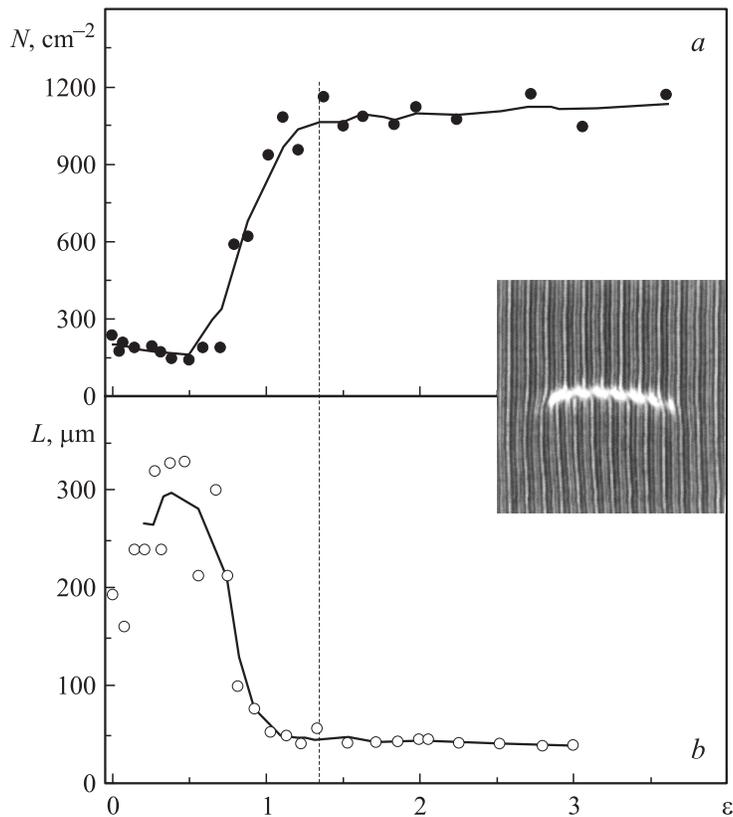


Рис. 2. Зависимости плотности дефектов N (a) и средней эффективной длины дефектов L (b) от управляющего параметра ε . На вставке показан вид характерного дефекта для данной структуры.

наблюдается при взаимодействии дефектов с противоположными знаками. При увеличении приложенного напряжения плотность дефектов не меняется до начала $1D-2D$ -перехода (рис. 2, a). При образовании $2D$ -структуры зависимость плотности дефектов от напряжения также стремится к насыщению. Это связано с тем, что плотность упругой энергии искажения дефекта становится сравнимой с энергией деформации $2D$ -структуры $F \sim q_{\perp}^2$. Таким образом, рост числа дефектов

наблюдается, когда флуктуации нарастают, а насыщение величины плотности дефектов происходит при образовании стационарной $1D$ и $2D$ доменной структуры (переходная область на рис. 1).

На рис. 2, *b* представлена зависимость средней эффективной длины дефекта от напряжения. При образовании одномерной доменной структуры наблюдается большой разброс эффективных значений размеров L дефектов ($2\lambda \leq L \leq 30\lambda$, где $\lambda = 2\pi/q_{\parallel}$ — период одномерной решетки роллов). При $\varepsilon \sim 1.3$ с возрастанием флуктуаций дефекты начинают делиться так, что при $\varepsilon \sim 1.8$ средняя длина дефекта уменьшается до минимального значения $L = 2\lambda$. Это совпадает с областью переходных состояний и определяет фактически появление периодических деформаций вдоль роллов, хотя величина волнового вектора q_{\perp} , как было сказано выше, в отличие от q_{\parallel} практически не меняется с увеличением управляющего параметра ε .

Таким образом, в работе показано, что в закрученных НЖК при увеличении приложенного напряжения симметрия и последовательность структурных переходов существенно отличаются от случая планарной конфигурации, что связано с наличием пространственной закрутки поля директора \mathbf{n} НЖК. Установлено, что процесс перехода $1D-2D$ сопровождается ростом плотности дефектов исходной одномерной ролловой структуры. Переход $1D-2D$ в этом случае характеризуется некоторой областью напряжений ΔU электрического поля, т.е. он размыт. Это связано, по-видимому, с дополнительной степенью упругой деформации поля директора в окрестности дефектов, а их высокая плотность приводит к снижению напряжения перехода.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП „Интеграция“ (грант Б0065) и РФФИ (грант 02-02-17435).

Список литературы

- [1] *Nasumo S., Takeuchi S., Sawada Y.* // Phys. Rev. A. 1989. V. 40. P. 3457–3460.
- [2] *Rehberg I., Rasenat S., Steinberg V.* // Phys. Rev. Lett. 1989. V. 62. P. 756–759.
- [3] *Крехов А.П., Скалдин О.А.* // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 20. С. 24–29.
- [4] *Hertrich A., Krehov A.P., Scaldin O.A.* // J. Phys. II France. 1994. V. 4. P. 239–252.
- [5] *Weber A., Bodenschatz E., Kramer L.* // Advanced Materials. 1991. V. 3. P. 191–197.