

07

Электрооптика нематиков с гибридной ориентацией в режиме флексоэлектрической неустойчивости

© В.А. Делев, О.А. Скалдин

Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра

E-mail: deleev@anrb.ru

Поступило в Редакцию 24 ноября 2003 г.

Сообщается о результатах экспериментального наблюдения флексоэлектрической неустойчивости в нематическом жидком кристалле с гибридной ориентацией, когда директор ориентирован планарно на одной из подложек и гомеотропно на другой. Определены порог и контрастные характеристики электрооптической ячейки для такого распределения директора, а также разность флексокоэффициентов $e = e_{11} - e_{33}$, величина которой находится в хорошем согласии с теоретическими оценками и экспериментальными результатами, полученными другими методами.

Флексоэлектрический эффект в нематических жидких кристаллах (НЖК), как известно, возникает вследствие линейной связи ориентационной деформации директора \mathbf{n} и электрической поляризации \mathbf{P} [1]. В планарных слоях НЖК флексоэлектрическая неустойчивость проявляется как статическая пространственно-периодическая деформация поля директора \mathbf{n} , наблюдаемая в виде доменной структуры, так что доменные линии параллельны исходному направлению директора. Впервые домены этого типа были описаны Вистином Л.К. [2], а их флексоэлектрическая природа была установлена в последующих экспериментальных [3,4] и теоретических [5,6] работах. В холестерических ЖК и в закрученных НЖК также наблюдается флексоэлектрическая неустойчивость [7,8], которая обладает целым рядом особенностей по сравнению с планарными слоями, что связано с влиянием неоднородности распределения поля директора (твист-структура). В ряде теоретических работ [9–11] подробно анализируются стандартные геометрии — планарная и гомеотропная ориентации директора. Однако практически отсутствует информация об исследованиях НЖК с гибридной ориентацией молекул, в которой возможны сложные

ситуации сосуществования флексоэффекта и различных ориентационных неустойчивостей, например беспорогового эффекта Фредерикса и электроконвекции [12]. Необходимо подчеркнуть, что информация такого характера представляется достаточно актуальной для практических приложений в электрооптических системах на основе жидких кристаллов. Таким образом, целью данной работы явилось изучение электрооптических характеристик НЖК-слоев с гибридной ориентацией в режиме флексоэлектрической неустойчивости.

НЖК 4-*n*-метоксифенилиден-*n*-бутиланилин (МББА) заключался между двумя прозрачными подложками с проводящим покрытием из SnO₂, разделенными майларовыми прокладками заданной толщины. Плоская ориентация создавалась несколькими способами: натиранием, а также косым напылением SiO. Гомеотропная ориентация получалась спонтанно после обработки поверхности этанолом. Для изучения зависимости флексоэффекта от толщины ЖК-слоя использовались прокладки толщиной $d = 13, 23$ и $40 \mu\text{m}$. Боковые размеры ЖК-ячейки составляли $1 \times 1.5 \text{ cm}$. Все измерения проводились при температуре ЖК-ячейки $T = 25 \pm 0.1^\circ\text{C}$. Доменные структуры наблюдались в поляризационно-оптический микроскоп „Amplival-Pol.U“ (Carl Zeiss, Germany), а их изображения регистрировались при помощи видеокамеры и оцифровывались фреймграбером с разрешением 512×512 пикселей и 256 уровней серого. Постоянное напряжение увеличивалось от $U = 0 \text{ V}$ до $U > U_c$ с шагом $\Delta U = 50 \text{ mV}$. Для того чтобы успели затухнуть все релаксационные процессы в ЖК-образце (характерное время релаксации составляет $\approx 1 \div 10 \text{ s}$), после изменения приложенного напряжения последний выдерживался в течение 3 min при данном напряжении. Затем оцифрованное изображение записывалось на жесткий диск компьютера. Контраст K для каждого изображения вычислялся по формуле

$$K = \left\langle \sqrt{\frac{1}{512} \sum_{i=1}^{512} \left(\frac{I_{ij}}{I_j^{av}} - 1 \right)^2} \right\rangle,$$

где I_{ij} — интенсивность i -го пикселя в j -й линии, I_j^{av} — средняя величина интенсивности j -й линии, а угловые скобки означают усреднение по различным линиям. Мы использовали 100 различных линий каждого изображения для определения контраста. Период доменных структур определялся методом Фурье-преобразования их оцифрованных изображений при пороговом значении приложенного напряжения.

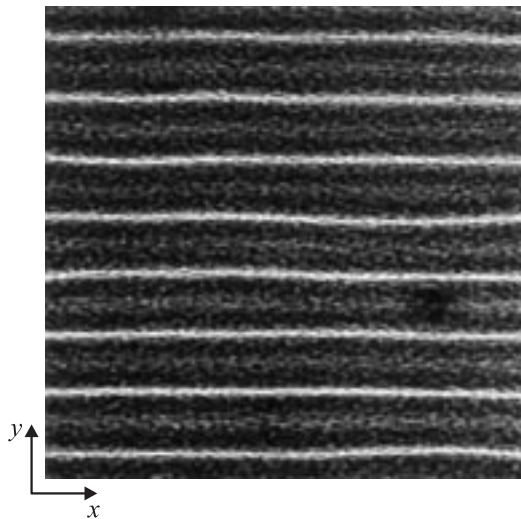


Рис. 1. Флексоэлектрические домены в гибридно-ориентированном МББА вблизи порога $U_c = 2.4 \text{ V}$.

Рассмотрим структурно-фазовые превращения в ЖК-ячейке. На рис. 1 представлено изображение флексоэлектрических доменов в гибридном НЖК, которые ориентированы вдоль исходной ориентации директора на планарной подложке. Данное изображение продольных доменов получено, когда поляризатор и анализатор параллельны директору на нижней ограничивающей поверхности ЖК-ячейки, образующей планарную ориентацию (вдоль оси X). Обнаружено, что порог образования U_c продольных доменов не зависит от полярности приложенного напряжения и толщины ЖК-ячейки и равен $U_c = 2.4 \text{ V}$ (рис. 2), а период доменной структуры возрастает линейно с увеличением толщины ЖК-слоя $\lambda/d = 2.5 \pm 0.1$. Наблюдение за примесными частицами показало, что в пороге образования флексоэлектрической неустойчивости частицы остаются неподвижными, что указывает на стационарный характер деформации директора. С увеличением напряжения до $U \approx 2.74 \text{ V}$ примесные частицы начинают вращаться в направлении, перпендикулярном оси продольных доменов, что свидетельствует о возникновении гидродинамического потока внутри флексоэлектрических доменов.

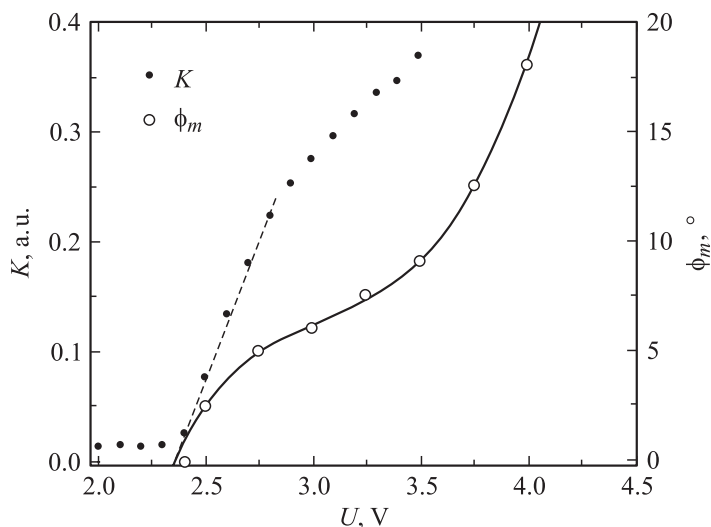


Рис. 2. Зависимости контраста K (●) и угла выхода ψ_m директора \mathbf{n} из плоскости XOZ (○) как функции от приложенного напряжения U .

Поляризационно-оптический анализ показал, что при этом директор выходит из плоскости XOZ исходной начальной ориентации директора. Угол выхода директора из плоскости определялся следующим образом. Скрещенные николи поворачивались с шагом 1° относительно направления исходной планарной ориентации директора на нижней подложке ЖК-ячейки, зафиксированной неподвижно на предметном столике микроскопа. Затем производилось сравнение профилей интенсивностей вдоль оси Y по изображениям, усредненным по 100 линиям. В ситуации, когда ориентация директора гомеотропна на верхней подложке, поляризация прошедшего света параллельна ориентации директора \mathbf{n} в середине ЖК-слоя. Таким образом, интенсивность достигнет максимальной величины, когда ось анализатора совпадет с направлением директора \mathbf{n} . Зависимость угла выхода директора из плоскости исходной гибридной ориентации XOZ показана на рис. 2. Когда приложенное напряжение достигает величины $U_{2c} = 5.8 \pm 0.1$ V, внутри флексодоменов развивается электрогидродинамическая неустойчивость и возникают движущиеся вдоль направления X домены Вильямса [12].

Выбирая величину флексокоэффициентов $e = 1.7 \cdot 10^{-11}$ C/m, близкую к недавно измеренной в [13], для материальных параметров МББА

в одноконстантовом приближении $K = 6.5 \cdot 10^{-12}$ N/m, $\varepsilon_\alpha = -0.53$, имеем, согласно [12], $\mu = \varepsilon_0 \varepsilon_\alpha K / e^2 = -0.1$, что соответствует пороговому напряжению образования флексодоменов $U_c = 2.7$ V и периоду $\lambda = 2.1d$, которые близки к величинам, обнаруженным нами экспериментально. С дальнейшим увеличением приложенного напряжения электроконвекция подавляет флексоэлектрическую неустойчивость.

Таким образом, в данной работе впервые экспериментально наблюдалась флексоэлектрическая неустойчивость в гибридном нематике МББА в виде продольных доменов. Установлено, что пороговое напряжение образования продольных флексодоменов не зависит от толщины ЖК-слоя, а пространственный период возрастает линейно с увеличением толщины слоя. Результаты работы позволяют также произвести оценку величины флексокоэффициентов.

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

Список литературы

- [1] Meyer R.B. // Phys. Rev. Lett. 1969. V. 22. P. 918–921.
- [2] Вистинь Л.К. // ДАН СССР. 1970. Т. 194. С. 1318–1321.
- [3] Барник М.И., Блинов Л.М., Труфанов А.Н., Уманский Б.А. // ЖЭТФ. 1977. Т. 73. С. 1936–1943.
- [4] Barnik M.I., Blinov L.M., Trufanov A.N., Umanski B.A. // J. Physique. 1978. V. 39. P. 417–424.
- [5] Бобылев Ю.П., Пикин С.А. // ЖЭТФ. 1977. Т. 72. С. 369–377.
- [6] Bobylev Y.P., Chigrinov V.G., Pikin S.A. // J. Physique Colloq. 1979. V. 40. C3. P. 331–338.
- [7] Уманский Б.А., Блинов Л.М., Барник М.И. // Письма в ЖТФ. 1980. Т. 6. С. 200–204.
- [8] Уманский Б.А., Чигринов В.Г., Блинов Л.М., Подъячев Ю.Б. // ЖЭТФ. 1981. Т. 81. С. 1305–1317.
- [9] Derzhanski A.I., Hinov H.P. // J. Physique. 1977. V. 38. P. 1013–1023.
- [10] Derzhanski A.I., Petrov A.G., Mitov M.D. // J. Physique. 1978. V. 39. P. 273–285.
- [11] Derzhanski A.I., Petrov A.G. // Acta Physica Polonica. 1979. V. A55. P. 747–767.
- [12] Delev V.A., Krekhov A.P., Kramer L. // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 2001. V. 366. P. 2701–2708.
- [13] Takahashi T., Hashidate S., Nishijou H., Usui M., Kimura M., Akahane T. // Jap. J. Appl. Phys. 1998. Pt 1. V. 37. P. 1865–1875.