

07

Исследование динамических характеристик двухчастотного нематического жидкого кристалла с квазигомеотропной твист-структурой

© Е.А. Коншина, М.А. Федоров, Л.П. Амосова

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики
E-mail: eakonshina@mail.ru

Поступило в Редакцию 19 февраля 2010 г.

Исследованы динамические характеристики ячейки с квазигомеотропной твист-структурой, сформированной в слое двухчастотного нематического жидкого кристалла в результате увеличения начального угла наклона директора до 60° . Переключение ячейки из состояния „off“ в состояние „on“ осуществлялось электрическим полем с частотой 30 kHz, а возвращение в исходное состояние — полем с частотой 1 kHz. Показано, что увеличение начального угла наклона директора позволило уменьшить время отклика ячейки с толщиной слоя ЖК, равной $6.4 \mu\text{m}$, до 1 ms, а время релаксации до 0.5 ms.

Как известно, ускорению процесса переориентации молекул нематика способствуют увеличение начального угла наклона директора и уменьшение энергии сцепления жидкого кристалла с поверхностью [1–4]. Двухчастотный (dual-frequency — DF) нематический жидкий кристалл (ЖК) представляет собой смесь молекул с положительной и отрицательной анизотропией диэлектрической проницаемости. Устройства на основе DF ЖК благодаря инверсии знака диэлектрической анизотропии позволяют управлять переключением из состояния „off“

в состояние „on“ и обратно в исходное состояние с помощью электрических полей разной частоты, что существенно уменьшает время релаксации τ_{off} . Сложные электрогидродинамические процессы, происходящие при смене знака диэлектрической анизотропии под действием электрических полей, вызывают появление на заднем фронте осциллограммы электрооптического отклика твист-ячейки дополнительной осцилляции, увеличивающей τ_{off} . В результате оптимизации схемы управления твист-ячейкой, толщина слоя DF ЖК в которой была $6.2 \mu\text{m}$, а начальный угол наклона директора $\theta_p = 44^\circ$, были получены времена отклика и релаксации, равные 2.5 ms [5].

Целью этой работы было исследование электрооптического отклика DF ЖК твист-ячейки с углом $\theta_p > 44^\circ$ и влияния увеличения этого угла на временные характеристики. Для этого была собрана твист-ячейка со слоем двухчастотного нематического ЖК-1001 (НИОПиК) толщиной $6.4 \mu\text{m}$ и ориентирующим слоем монооксида германия (GeO), обеспечивающим угол $\theta_p = 60^\circ$. Формирование наклонной ориентации молекул ЖК связано с особенностями нанорельефа поверхности GeO [6]. Увеличение начального угла наклона директора ЖК было получено в результате модификации нанорельефа поверхности путем изменения наклона подложек при осаждении слоя GeO в вакууме. Квазигомеотропная твист-структура формировалась в результате деформации кручения слоя DF ЖК в ячейке, собранной таким образом, чтобы направления ориентации длинных осей молекул вблизи поверхности GeO были ортогональны.

Осциллограммы электрооптического отклика исследуемой ячейки на длине волны $0.65 \mu\text{m}$ были получены с помощью оптической схемы, описанной в [7]. В исходном состоянии „off“ ячейка с квазигомеотропной твист-структурой не пропускала свет в скрещенных поляризаторах. Переключение из состояния „off“ в состояние „on“ осуществлялось приложением к ячейке пакета синусоидальных колебаний с частотой 30 kHz , напряжением U_{hf} (hf — high frequency) и длительностью t_{hf} . Воздействие высокочастотного (ВЧ) электрического поля на молекулы с отрицательной диэлектрической анизотропией вызывало деформацию слоя DF ЖК, сопровождающуюся уменьшением угла наклона директора, в результате чего наблюдался подъем пропускания на осциллограмме электрооптического отклика. Возвращение молекул в исходное состояние — процесс релаксации осуществлялся при подаче на ячейку пакета синусоидальных колебаний с частотой 1 kHz , напряжением U_{lf}

(lf — low frequency) и длительностью t_{lf} . В результате воздействия низкочастотного (НЧ) электрического поля на молекулы с положительной диэлектрической анизотропией происходил спад пропускания ячейки, вызванный увеличением угла наклона директора ЖК. Эта схема управления твист-ячейкой была более простой по сравнению со схемой, используемой в работе [5], в которой переключение из состояния „off“ в состояние „on“ проводилось с помощью короткого прямоугольного импульса, а далее уровень пропускания поддерживался с помощью НЧ-поля. Особенностью схемы [5] был промежуточный период остановки перед подачей ВЧ-поля для возвращения ячейки в исходное состояние „off“, который снижал влияние сверхвращения молекул ЖК на время релаксации.

Сравнение осциллограмм электрооптического отклика, полученных при вариации параметров электрических полей, управляющих переключением исследуемой ячейки, свидетельствовало о том, что на τ_{off} влияют не только параметры НЧ-поля, но и параметры ВЧ-поля. Так, например, с увеличением t_{hf} от 10 до 50 ms время τ_{off} увеличивалось, чему способствовало появление очень слабой осцилляции на кривой спада пропускания.

Осциллограмма электрооптического отклика ячейки с квазигомеотропной твист-структурой, полученная в результате оптимизации параметров ВЧ- и НЧ-электрических полей, приведена на рис. 1. Время отклика ЖК-ячейки, соответствующее периоду подъема пропускания от 0.1 до уровня 0.9, $\tau_{on} = 1$ ms. Время релаксации τ_{off} , соответствующее периоду спада пропускания от 0.9 до уровня 0.1, $\tau_{off} = 0.5$ ms. Достигнутый уровень пропускания поддерживался ВЧ-полем с $U_{hf} = 60$ V в течение 4 ms, а затем подавалось НЧ-поле, как видно на рис. 1. Время реакции ячейки с квазигомеотропной твист-структурой, складывающееся из времени отклика и времени релаксации, составило 1.5 ms, что свидетельствует о том, что оно в три раза меньше, чем у твист-ячейки с углом $\theta_p = 44^\circ$ при той же толщине слоя ЖК-1001 [5]. Увеличение начального угла наклона директора DF ЖК позволило не только повысить быстродействие твист-ячейки, уменьшив как время отклика, так и время релаксации, но и упростить схему управления ее переключением.

Недостатком квазигомеотропной твист-структуры, сформированной с помощью нанотекстурированной поверхности GeO, является ее неустойчивость, что вызвано слабой энергией сцепления на межфазной

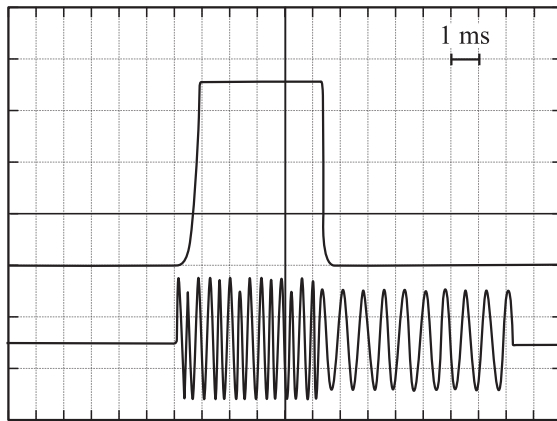


Рис. 1. Оциллограмма электрооптического отклика ЖК-ячейки с квазигомеотропной твист-структурой, полученная при управлении процессом переориентации DF ЖК с помощью переменных электрических полей с частотой 30 и 1 kHz при $U_{hf} = U_{lf} = 60$ V, $t_{hf} = 4$ ms и $t_{lf} = 10$ ms.

границе с DF ЖК. Необратимый переход квазигомеотропной твист-структуры в гомеотропную структуру жидкого кристалла произошел в результате многократного переключения ячейки, о чем свидетельствует оциллограмма ее электрооптического отклика на рис. 2. Приложение ВЧ-поля в этом случае вызывало только деформацию поперечного изгиба слоя ЖК в направлении вектора электрического поля. Возвращение молекул в исходное состояние под действием НЧ-поля происходило в результате продольной деформации слоя ЖК. При этом времена τ_{on} и τ_{off} значительно увеличились.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что формирование квазигомеотропной твист-структуры DF ЖК позволяет упростить схему переключения оптического пропускания, одновременно повысив быстродействие ячейки. Устойчивая работа ячейки зависит от силы межфазного взаимодействия DF ЖК с ориентирующей поверхностью, способствующей возвращению молекул в исходное состояние. Нанотекстурированная поверхность GeO₂, ориентирующая ЖК с углом наклона 60°, не обладает достаточной энергией сцепления для обеспечения стабильной ориентации молекул вблизи поверхности. Поэтому дефор-

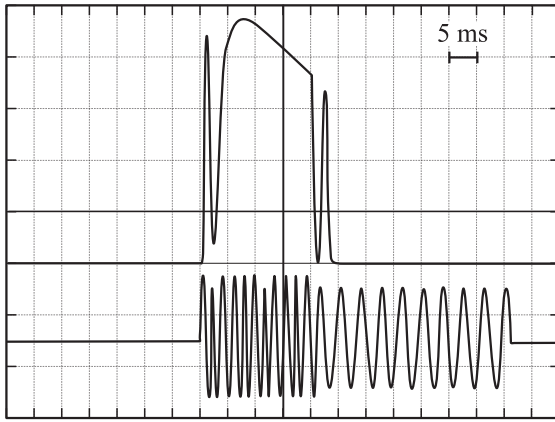


Рис. 2. Оциллограмма электрооптического отклика после перехода квазигеотропной твист-структуры в гомеотропную структуру в результате многократного переключения исследуемой ЖК ячейки. $U_{hf} = U_{lf} = 60$ V, $t_{hf} = 20$ ms и $t_{lf} = 100$ ms.

мация слоя DF ЖК в электрических полях привела к необратимому изменению наклонной ориентации молекул вблизи этой поверхности на вертикальную. Повысив энергию сцепления и сохранив при этом большой угол наклона директора ЖК, можно решить проблему устойчивости сформированной в ячейке квазигеотропной твист-структуры. Полученные результаты представляют интерес для разработки оптических устройств на основе ЖК для телекоммуникационных систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральным агентством по науке и инновациям в рамках ФЦП по ГК № 02.740.11.0390.

Список литературы

- [1] Hyang Y., Wen C.-H., Wu S.-T. // Appl. Phys. Lett. 2006. V. 89(2). P. 021103 1-3.
- [2] Wang H., Wu T.X., Xinyu Zhu X., Wu S.-T. // J. Appl. Phys. 2004. V. 95. N 10. P. 5502–5507.
- [3] Kubono A., Kyokane Y., Akiyama R., Tanaka K. // J. Appl. Phys. 2001. V. 90. N 12. P. 5859–5855.

- [4] *Golovin A.B., Shiyanovskii S.V., Lavrentovich O.D.* // Appl. Phys. Lett. 2003. V. 83. P. 3864–3866.
- [5] *Васильев В.Н., Коншина Е.А., Федоров М.А., Амосова Л.П.* // ЖТФ. 2010. Т. 80. В. 6. С. 96–100.
- [6] *Коншина Е.А., Федоров М.А., Амосова Л.П., Воронин Ю.М.* // ЖТФ. 2008. Т. 78. В. 2. С. 71–76.
- [7] *Коншина Е.А., Федоров М.А., Амосова Л.П., Исаев М.В., Костомаров Д.С.* // Опт. журн. 2008. Т. 75. В. 10. С. 73–80.