

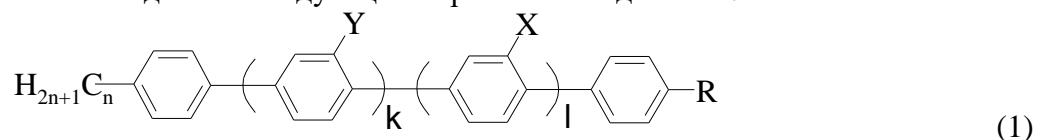
ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В СИЛЬНО ЗАКРУЧЕННЫХ НЕМАТИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И УСТРОЙСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета.
Минск, Республика Беларусь. lapanik@bsu.by

Исследованы электрооптические свойства хирально-нематических структур на основе новых хиральных соединений. Показано, что для достижения быстрых времен переориентации молекул необходимо оптимизировать следующие параметры: угол преднаклона ориентирующих слоев, силу кручения и вязкость хиральных соединений, отношение между толщиной ячейки и шагом спирали (d/P_0), угол закрутки слоя ЖК, константы упругости и оптическую анизотропию базовой нематической матрицы. Разработаны оптимизированные композиции с общим временем переключения (включение + выключение) около 1 мс, что в 15 – 25 раз меньше времени оптического отклика широко известных нематических композиций.

Проблема уменьшения времени оптического отклика в современных элементах и устройствах отображения информации, основанных на нематических жидких кристаллах, для достижения качественной динамической картинки, до сих пор полностью не решена. Для решения данной проблемы нами были проведены комплексные исследования физико-химических и электрооптических свойств хиральных сред с различной силой кручения и различными вязко-упругими свойствами [1].

Изначально мы предположили, что вязкие хиральные соединения могут помочь решить проблему «обратного потока» [2, 3] в средних слоях дисплеев, запрограммированных разработанными нами хирально-нематическими композициями, что приведет к существенному улучшению времен переориентации молекул, а время задержки переключения будет равно нулю. Были синтезированы и исследованы следующие хиральные соединения:



где $n = 4 - 10$; $k = 0 - 1$; $l = 0 - 1$; $X, Y = Cl, F, CH_3$; R – хиральный фрагмент.

Новые хирально-нематические композиции получали путем смешивания 10% – 30% соединений (1) с широко известными смесями фирмы Merck ZLI-4792, MLC-6657-100, 3201-100 и разработанными нами смесями М-1 и М-2 на основе цианопроизводных и М-3, М-4 на основе изотиоцианатов. Исследования проводились в тестовых ЖК-ячейках, собранных из двух стеклянных подложек, покрытых прозрачным токопроводящим слоем на основе оксида индия и олова (ИТО) и ориентирующим слоем с планарной ориентацией (параллельной и антипараллельной) и в 90°-твист ячейках с различной толщиной зазора (2 – 10 мкм). Для формирования ориентирующих слоев были использованы полиимиды, полиамиды и нейлоны с различными углами преднаклона.

На рисунке 1 приведены экспериментальные зависимости динамики оптического отклика для нескольких тестовых ячеек. Для стандартной нематической композиции в 90°-твист ячейке наблюдается медленная динамика оптического отклика с временем задержки в несколько миллисекунд и временем выключения 8,8 мс. В планарной ячейке, запрограммированной хирально-нематической композицией на основе двухкольчатых хиральных соединений (1) наблюдается электрооптический отклик с длительным временем задержки связанным с эффектом «обратного течения». И только в случае использования хирально-нематической композиции на основе четырехкольчатых соединений (1), электрооптический отклик характеризуется малым временем выключения (2,0 мс) и отсутствием времени задержки.

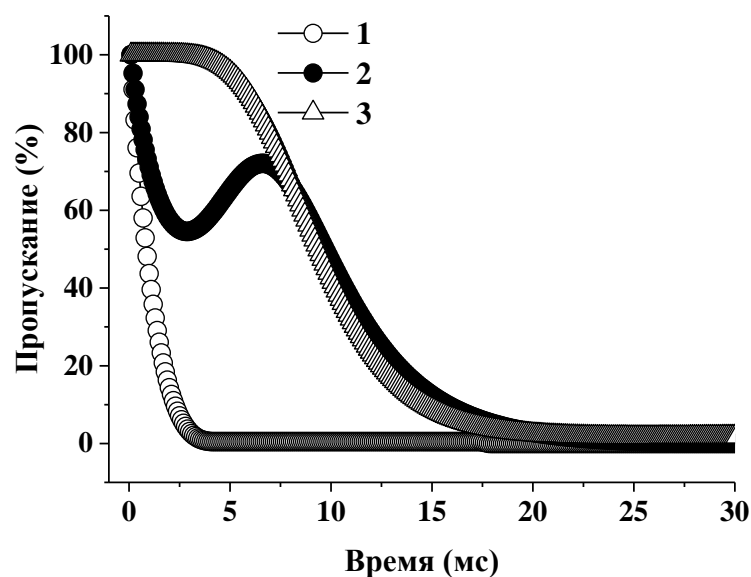


Рисунок 1 – Времена выключения тестовых ячеек: 1 – оптимизированная хирально-нематическая композиция; 2 – неоптимизированная хирально-нематическая композиция; 3 – стандартная 90°-твист ячейка.

Для дальнейшей проверки нашей гипотезы мы провели серию экспериментов с коммерчески доступными композициями фирмы Merck. Результаты исследований, представленные в Таблице 1, показывают, что общее время переключения (включение + выключение) уменьшается в 5 – 15 раз для композиций, содержащих синтезированные нами хиральные добавки. Необходимо также отметить, что времена отклика данного электрооптического эффекта не сильно зависят от величины зазора в ячейке в сравнении с известными эффектами; наблюдается скорее линейная зависимость времени от величины зазора в отличие от характерной для жидких кристаллов квадратичной.

Таблица 1.

Электрооптические параметры нематических и хирально-нематических композиций

Композиция	d, мкм	V ₁₀ , В	V ₉₀ , В	5 В		10 В	
				t _{вкл} , мс	t _{выкл} , мс	t _{вкл} , мс	t _{выкл} , мс
MLC-6657-100	4,2	1,85	2,71	5,3	12,8	3,1	13,6
MLC-6657-100 + 15% хиральной добавки	4,2	2,2	2,5	2,2	0,6	0,5	0,6
ZLI-3201-100	4,2	2,13	3,03	9,7	18,2	5,8	19,7
ZLI-3201-100 + 15% хиральной добавки	4,2	2,75	3,12	4,3	1,3	0,9	1,3
M-1	4	1,5	2,1	0,9	0,9	0,4	0,9
M-2	4	1,5	2,0	0,9	0,8	0,4	0,8
M-3	4	2,0	2,1	0,4	0,7	0,2	0,7
M-4	4	1,7	1,9	0,5	0,6	0,2	0,6

Как хорошо известно, очень медленное время выключения (несколько секунд) при температуре ниже минус 20°С является одной из главных проблем для практического применения нематических жидких кристаллов. Результаты экспериментов по исследованию времен выключения разработанных нами хирально-нематических композиций при низких температурах демонстрируют довольно слабую зависимость времени от температуры (рисунок 2). При температуре минус 40°С время выключения составляет несколько сот миллисекунд, в отличие от 8 – 10 секунд для широко известных нематических композиций.

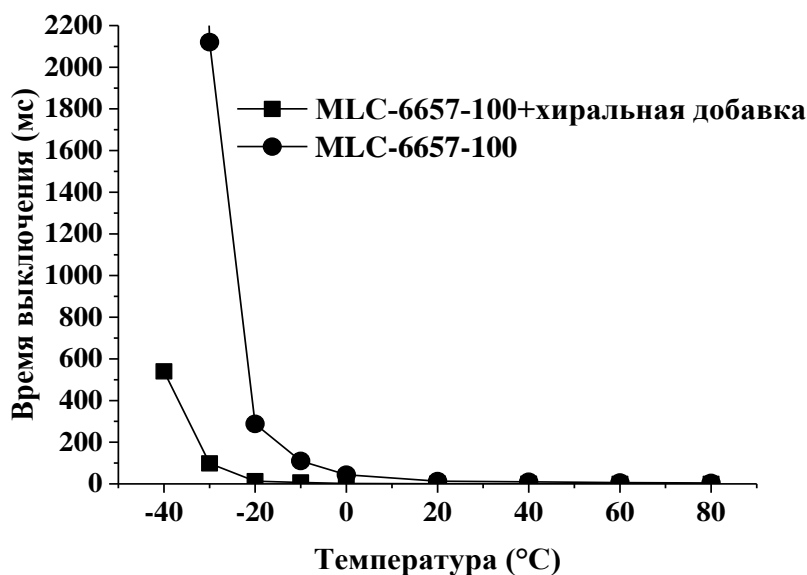


Рисунок 2 – Время выключения в зависимости от температуры.

Дальнейшие исследования показали, что для достижения быстрых времен переориентации молекул оптимальными являются следующие параметры: угол преднаклона меньше 7° , сила кручения хиральных соединений ниже $10 \mu^{-1}$, отношение между толщиной ячейки и шагом спирали должно удовлетворять условию $0.6 < d/P_0 < 1.0$, угол закрутки должен составлять $180^\circ < \Psi < 220^\circ$ или $330^\circ < \Psi < 360^\circ$, отношение констант упругости K_{33}/K_{11} должно быть как можно больше, а K_{22} как можно меньше, величина оптической анизотропии базовой нематической композиции $0.5 < \Delta n < 0.7$.

На заключительном этапе исследования были разработаны композиции М-1 – М-4. Результаты, представленные в таблице 1, показывают правильность наших оценок, так как для всех разработанных композиций общее время переключения составляет около 1 миллисекунды, что в 15 – 25 раз меньше времени оптического отклика широко известных нематических композиций фирмы Merck.

Список литературы

- 1 Lapanik, V. Shock-free ferroelectric liquid crystal displays with high optical contrast [Text] / V.Lapanik, V.Bezborodov, S.Timofeev, W.Haase // Applied Physics Letters. – 2010. – V. 97. – P. 251913.
- 2 F. Brochard. Backflow effects in nematic liquid crystals [Text] // Mol.Cryst.Liq.Cryst. – 1973. – V. 23. – P.51.
- 3 P.Oswald. Backflow-induced asymmetric collapse of disclination lines in liquid crystals [Text] / J.Ignes-Mullol // Phys. Rev. Lett. – 2005. – V.95. – P. 027801.