

УДК 538.9

ЭЛЕКТРООПТИКА ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ, ИНДУЦИРОВАННЫХ В СМЕСИ НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ И НЕМЕЗОГЕННОГО ХИРАЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА

© 2013 В.А. Барбашов¹, М.В. Минченко², Е.П. Пожидаев²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет

²Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва

Поступила в редакцию 22.11.2013

При смешивании нематического жидкого кристалла и немезогенного хирального вещества получена новая электрооптическая среда, сочетающая в себе достоинства нематического жидкого кристалла (устойчивость монодоменного образца к механическим воздействиям) и жидкокристаллического сегнетоэлектрика – время электрооптического отклика порядка 10^{-5} секунды.

Ключевые слова: сегнетоэлектрические жидкие кристаллы, шок-проблема

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в жидкокристаллических дисплеях и фазовых модуляторах света используются нематические жидкие кристаллы (НЖК). Крупногабаритные тонкие экраны на основе НЖК стали возможны в значительной степени из-за высокой текучести НЖК. Нарушения оптического качества жидкокристаллического слоя при механических воздействиях на экран за доли секунды “затягиваются” течением жидкого кристалла.

Вместе с тем характерное время электрооптического отклика НЖК порядка миллисекунд, что не позволяет создавать устройства отображения информации и адаптивной оптики нового поколения. К таким устройствам относятся, например, дисплеи на технологии FSC (field sequential color) и с качественной технологией 3D, фазовые модуляторы и дефлекторы света килогерцового диапазона.

Идеологии повышения быстродействия электрооптических модуляторов на основе НЖК существуют и активно развиваются, но все они обязательно связаны с необходимостью создания пространственно-неоднородных структур, что ведёт к сильному повышению управляющего напряжения и ухудшению оптического качества.

В качестве альтернаты нематическим жидким кристаллам (НЖК) могут быть использованы жидкокристаллические сегнетоэлектрики (ЖКС). Главным их достоинством является быстрое время отклика 10^{-6} - 10^{-5} секунды, но, вместе

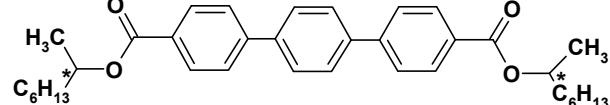
с тем, монодоменные слои ЖКС необратимо разрушаются при механических воздействиях, так как течение ЖКС не наблюдается, если величина деформации превышает некоторое критическое значение. Это свойство ЖКС получило название “шок-проблема” [1]. Суть “шок-проблемы” иллюстрируется рис. 1.

Целью данной работы является решение “шок-проблемы”, и на этой основе создание электрооптической среды, совмещающей в себе достоинства нематических жидких кристаллов и жидкокристаллических сегнетоэлектриков, но лишённой недостатков обоих этих электрооптических сред. Цель достигнута путём создания смесей НЖК и немезогенных хиральных веществ определённого химического строения. При некоторых условиях в таких смесях может индуцироваться текучая смектическая C* фаза жидкокристаллических сегнетоэлектриков, что показано нами впервые.

2. ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА БИНАРНОЙ СМЕСИ

Компонентами смеси стали нематический ЖК

C6H13-c1ccnc2cc(Oc8ccccc8)cc12 и немезогенное хиральное вещество



Фазовые состояния смесей этих компонентов представлены на диаграмме - рис. 2.

Построение фазовой диаграммы проводилось следующим образом. Вначале смеси были получены с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии. По этим данным были пост-

Барбашов Вадим Александрович, студент.

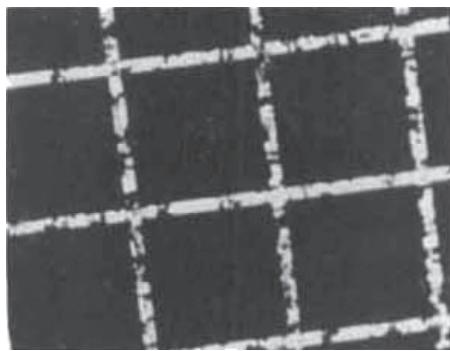
E-mail: vadbar13@yandex.ru

Минченко Максим Владиленович, ведущий инженер.

E-mail: mtminchenko@mail.ru

Пожидаев Евгений Павлович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник.

E-mail: epozhidaev@mail.ru



а)



б)

Рис. 1. Высокий контраст черного и белого до деформации (а) и серое поле после деформации (б) [1]

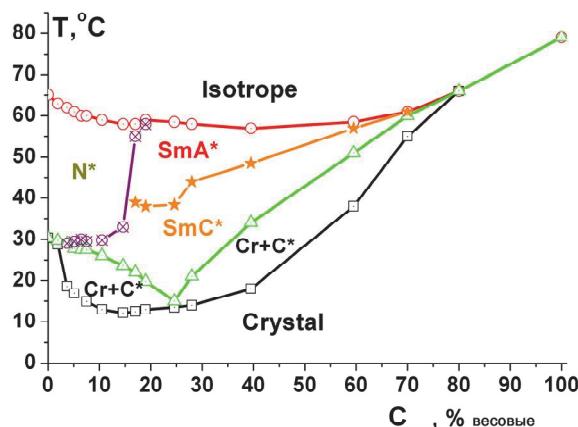


Рис. 2. Фазовая диаграмма

роены ветви плавления из твёрдого кристалла в жидкокристаллические фазы N^* и SmC^* , а также перехода жидкокристаллических фаз в изотропную фазу. Для измерения температур переходов между мезофазами были использованы электроптические и диэлектрические методы.

2.1. Сегнетоэлектрическая мезофаза SmC^*

На рис. 2 показано, что при концентрации хирального немезогенного вещества более 10% в смеси возникают сегнетоэлектрическая фаза SmC^* и параэлектрическая фаза SmA^* . Существование фаз SmC^* и SmA^* в указанных на рис. 2 температур-

ных интервалах строго доказано методами рентгеноструктурного анализа, см. кружки на рис. 3(б). Доказательством существования этих фаз является также наличие температурных зависимостей спонтанной поляризации – рис. 3(а) и спонтанного угла наклона молекул к нормали в смектическом слое, измеренного согласно оптической методике, описанной в [2] – треугольники на рис. 3 (б). Различие между значениями угла наклона, измеренного оптическим и рентгеновским методами (рис. 3(б)), объясняется известной моделью “зигзага” [3].

Критерием для определения температуры фазового перехода из сегнетоэлектрической фазы SmC^* в параэлектрическую фазу SmA^* , мы считали экстремум пирокоэффициента.

Нами показано экспериментально, что приближение среднего молекулярного поля (СМП) для фазового перехода SmC^*-SmA^* в рассматриваемых смесях не выполняется. На рис. 3(б) видно, что температурная зависимость спонтанного угла наклона (треугольники) имеет скорее линейный вид, нежели корневой, как предсказывает теория СМП (сплошная линия).

2.2. Влияние поверхности

Из невыполнения приближения СМП нами было сделано предположение, что поверхность вносит существенный энергетический вклад в

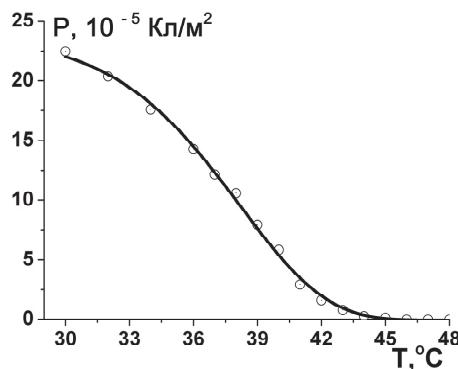
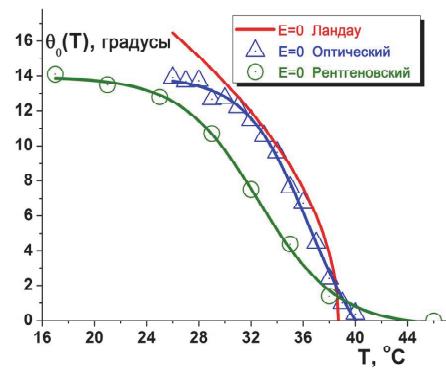


Рис. 3. Температурная зависимость спонтанной поляризации смеси 19% (а) вблизи эвтектики и температурная зависимость спонтанного угла наклона молекул в этой же смеси (б): сплошная линия – теория СМП; треугольники – оптические измерения, кружки – рентгеноструктурные.



формирование сегнетоэлектрической мезофазы.

Для проверки этого предположения была взята смесь вблизи эвтектики - 19% немезогенного хирального вещества + 81% НЖК в двух ячейках разной толщины - 1.5 мкм и 50 мкм.

Измерены углы наклона в зависимости от температуры – рис. 4(а); температура фазового перехода определялась по максимуму модуля производной угла по температуре – рис. 4(б). Как видно из графиков, при уменьшении толщины слоя ЖКС от 50 до 1.5 мкм происходит снижение температуры фазового перехода SmC* - SmA* на 2 градуса (а также значение самого угла становится меньше), что позволяет сделать вывод, что энергетический вклад поверхности сопоставим с энергией формирования наклонной структуры SmC* фазы.

2.3. Текучесть смеси

Как уже было сказано, главный недостаток смектиков – неустойчивость к механическим воздействиям. А жидкокристаллический сегнетоэлектрик, индуцированный в смеси НЖК и хирального немезогенного вещества, показывает очень хорошие времена затекания внутри ячейки после его выдавливания путём изменения под давлением зазора между стёклами ячейки от 7.2

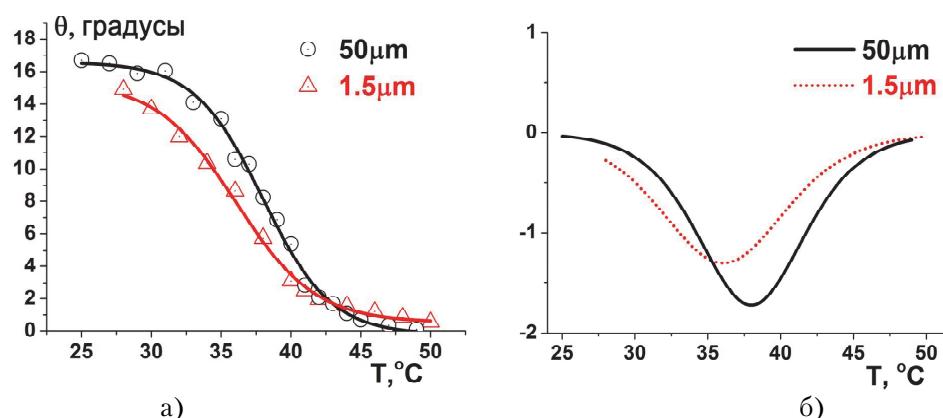


Рис. 4. Температурные зависимости угла наклона молекул ЖК смеси 19% на двух разных толщинах: 1.5 мкм (треугольники) и 50 мкм (кружки) (а) и их производные по температуре (б)

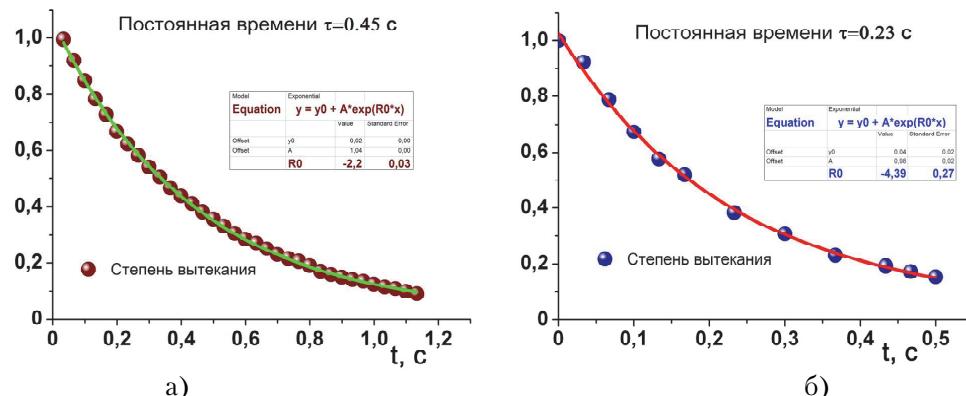


Рис. 5. Кинетика обратного затекания типичного нематика 5CB (а) и кинетика обратного затекания ЖК смеси 19% при 25 °C (б).

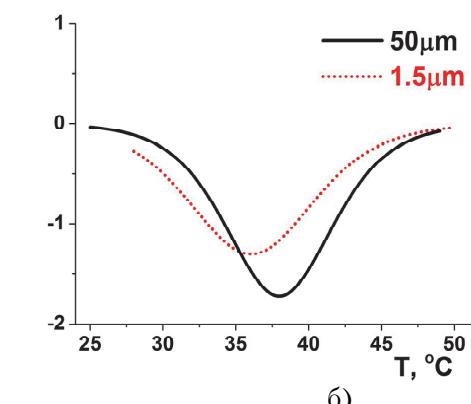
мкм до 4.7 мкм. Обратное затекание ЖКС в ячейку происходит без потери оптического качества слоя в процессе течения, см. рис. 6. На рис. 5(а) показана кинетика обратного затекания в ячейку типичного нематического кристалла



Кинетика обратного затекания является экспоненциальным процессом с постоянной времени 0.45 секунды. Кинетика обратного затекания сегнетоэлектрической смеси нематика с немезогенным хиральным веществом тоже экспоненциальная, как видно на рис. 5(б), но постоянная времени в данном случае 0.23 секунды. Таким образом, в рассматриваемом случае ЖКС внутри ячейки течёт даже быстрее нематического ЖК.

Отметим, что динамика течения ЖКС изменилась по положению спайсера – рис. 6, а изменение толщины слоя ЖКС в процессе течения происходило от 4.7 микрометров (синий цвет двулучепреломления на левой микрофотографии рис. 6) до 7.2 микрометров (красный цвет двулучепреломления на правой микрофотографии рис. 6) и вычислялось по изменению цветов двулучепреломления, как предложено в работе [5].

При хорошей текучести ЖКС внутри электрооптической ячейки в фазе SmC* сохраняются



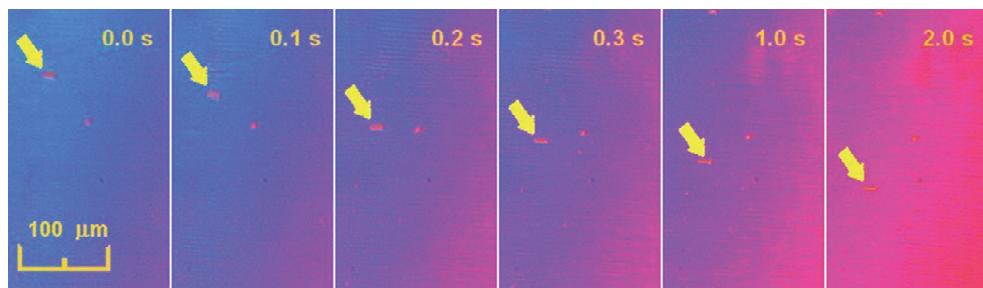


Рис. 6. Изменения текстуры слоя ЖКС в скрещенных поляроидах при изменении толщины слоя от 4.7 мкм (левое фото) до 7 мкм (правое фото). Обратное затекание ЖК смеси 19% при 25 °C. Стрелкой указан спейсер, за которым производится слежение для описания кинетики течения.

быстрые времена отклика (менее 90 мкс), типичные для жидкокристаллических сегнетоэлектриков, как это видно на рис. 7.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы впервые получена сегнетоэлектрическая смектическая SmC* мезофаза, обладающая текучестью внутри электрооптической ячейки, как нематический жидкий кристалл. Таким образом, создан электрооптический материал, сочетающий в себе лучшие качества нематических и смектических* жидких кристаллов: микросекундные времена отклика и устойчивость его монодоменной структуры к механическим деформациям.

4. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны кандидату химических наук Торговой Софье Исааковне за калориметрические исследования и доктору физико-математических наук Островскому Борису Исааковичу за рентгеноструктурные исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Naohide Wakita, Tsuyoshi Uemura, Hiroyuki Ohnishi, Hiroaki Mizuno, Hiroshi Yamazoe. Shock-problem free flcds and

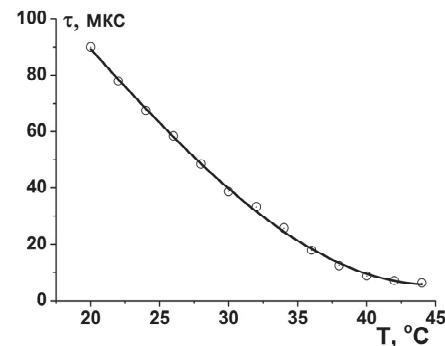


Рис. 7. Температурная зависимость времени отклика ЖК смеси 19% ($d = 1.7$ мкм, $f = 687$ Гц, амплитуда 4 В/мкм)

- mechanism of alignment destruction by mechanical shock // Ferroelectrics, 1993, vol. 149, p. 229-238.
2. Andersson G., Dahl I., Keller P., Kuczynsky W., Lagerwall S.T., Skarp K., Stebler B. Submicrosecond electro-optic switching in the liquid crystal smectic A phase: The soft mode ferroelectric effect // Appl. Phys. Lett., 1987, 51, N9, p. 840-842.
 3. Bartolino R., Doucet J., Durang G. Molecular tilt in the smectic C phase: a zigzag model // Ann. Phys., 1978, 3, p. 389-393.
 4. Пожидаев Е.П. Физические свойства смектической C* фазы жидких кристаллов и принципы создания жидкокристаллических сегнетоэлектриков с заданными электрооптическими свойствами: дисс. ... докт. физ.-матем. наук. Москва, 2006.
 5. Hegde G., Xu P., Pozhidaev E.P., Chigrinov V.G. and Kwok H.S. Electrically controlled birefringence colours in deformed helix ferroelectric liquid crystals // Liquid Crystals, 2008, 35, N9, 1137-1144.

ELECTROOPTICS OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS, INDUCED IN A MIXTURE OF NEMATIC LIQUID CRYSTALS WITH NON-MESOGENIC CHIRAL COMPOUND

© 2013 V.A. Barashov¹, M.V. Minchenko², E.P. Pozhidaev²

¹ Lomonosov Moscow State University

² P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

We have elaborated a new electrooptical material by mixing a nematic liquid crystal with a non-mesogenic chiral compound. The material combines the advantages of nematic liquid crystals (stability of the single-domain sample to mechanical stress) and ferroelectric liquid crystals - electrooptical response time of the order of 10^{-5} seconds.

Key words: ferroelectric liquid crystals, shock-problem

Vadim Barashov, Student. E-mail: vadbar13@yandex.ru
Maksim Minchenko, Leading Engineer.

E-mail: mminchenko@mail.ru

Evgeny Pozhidaev, Doctor of Physics and Mathematics,
Leading Research Fellow. E-mail: epozhidaev@mail.ru