

**SETUP FOR SIMULTANEOUS MEASUREMENT
OF AZIMUTHAL AND POLAR ANCHORING ENERGY
OF LIQUID CRYSTAL WITHIN SINGLE CELL IN AUTOMATIC REGIME**

An. Murauski, Al. Muravsky, V. Agabekov

*Institute of chemistry of new materials of National Academy of Sciences of Belarus
36, F. Skorina st., Minsk, 220141, Belarus*

Abstract. New applications of liquid crystal materials in fabrication processes of LC panels, 3D displays, organic semiconductor and photonic devices has significantly broadened the requirements to the performance and characteristics of modern alignment materials. Development of novel alignment materials is impossible without effective and reliable control of the anchoring energy of the materials. However the present measurement methods of these parameters often being of low precision have high labour intensity of measurement. In this paper the authors' principles of simultaneous measurement of azimuthal and polar anchoring energy of liquid crystal within single twist-nematic liquid crystal cell are presented. The innovative measurement methods are implemented in setup for simultaneous measurement of azimuthal and polar anchoring energy of liquid crystal within cell in automatic regime based on series polarizing microscope «Micro 200T» JSC 'Optoelectronic Systems', Belarus.

Keywords: alignment materials, polar anchoring energy measurement, azimuthal anchoring energy measurement, liquid crystals alignment.

УДК 53.097; 535.012.2; 538.911

**ДИСПЛЕЙНАЯ СЖК ЯЧЕЙКА МОДУЛИРУЕТ СВЕТ
С ЧАСТОТОЙ ДО 7 КГЦ ПРИ НАПРЯЖЕНИИ $\pm 1,5$ В**

А.Л. Андреев*, Н.В. Заляпин, И.Н. Компанец***

**Физический институт РАН им. П.Н.Лебедева
119991, Москва, Ленинский проспект, д. 53*

***Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ
115409, Москва, Каширское ш., 31*

Аннотация. Подбор материальных параметров сегнетоэлектрического жидкого кристалла (СЖК) с компенсированным геликоидом и условий переориентации его молекул в электрическом поле позволил уменьшить время оптического отклика до 24 мкс и увеличить частоту модуляции света в солитонной моде до 7 кГц при управляющем напряжении $\pm 1,5$ Вольта.

Ключевые слова: сегнетоэлектрический жидкий кристалл, компенсация геликоида, вязкость, оптический отклик, солитонная мода.

1. Введение

Хотя первый негеликоидальный сегнетоэлектрический жидкий кристалл (СЖК) был получен ещё в 1981 г. [1], проблема создания быстродействующих негеликоидаль-

ных жидкокристаллических материалов (иначе, СЖК с компенсированным геликоидом – СЖККГ), переориентация директора в которых происходит за счет движения солитонных волн, никем, кроме авторов данной работы, пока не изучалась [2,3]. В электрооптической ячейке с СЖККГ в солитонной моде при амплитуде управляющего напряжения всего $\pm 1,5$ Вольт нами было получено время оптического отклика порядка 35 микросекунд и частота модуляции света 3,5 кГц в интервале температур $15 \div 50^\circ\text{C}$ [3].

Было показано, что существенную роль в достижении этого результата играет максвелловский механизм диссипации энергии в слое СЖККГ [4,5]. В данной работе экспериментально исследуется возможность дальнейшего повышения частоты модуляции света в солитонной моде в слое вязкого СЖККГ.

2. Частотная зависимость вязкости СЖК

Ранее было показано [4], что характер переориентации директора СЖК в электрическом поле зависит от того, какой коэффициент отвечает за диссипацию энергии в слое – вращательная (γ_φ) или сдвиговая вязкость. Если СЖК подвергается воздействию электрического поля с частотой f , период изменения которого велик ($\tau_m f \ll 1$) по сравнению с временем максвелловской релаксации τ_m , то СЖК ведет себя как жидкость с вязкостью γ_φ . В этом случае переориентация директора происходит одновременно во всех смектических слоях (объемный режим переключения), и время переориентации $\tau_R \sim \gamma_\varphi / P_S E$ не зависит от частоты изменения поля (здесь P_S – спонтанная поляризация и E – напряженность электрического поля).

В промежуточном случае, когда $f \sim 1/\tau_m$, вязкость связана с модулем сдвига μ следующим соотношением [5]: $\gamma \sim \tau_m \cdot \mu$. При достаточно больших частотах ($\tau_m f \gg 1$) СЖК ведет себя как аморфное твердое тело, и диссипативным коэффициентом является сдвиговая вязкость, величина которой, как и время релаксации директора, уже зависит от частоты изменения поля.

Преобладание сдвиговой вязкости приводит к изменению характера движения директора СЖК в слабых электрических полях. Так, в геликоидальных СЖК переориентация происходит за счет движения доменных границ – 180° -ных доменных стенок [4]. В негеликоидальных СЖК [3] включается солитонный механизм переориентации директора.

3. Экспериментальные ячейки

Измерения проведены для дисплейных ячеек с планарной ориентацией молекул СЖК и пространственно неоднородным (периодическим) распределением директора вдоль смектических слоев. Ячейки отличались СЖККГ-композициями: в одной использовалась композиция HF-32A, в другой – HF-32B и в третьей – HF-32C.

Композиция HF-32A характеризовалась углом наклона молекул в смектических слоях $\Theta_0 = 23,0^\circ$, спонтанной поляризацией $P_S = 40$ нКл/см² и вращательной вязкостью $\gamma_\varphi = 0,3$ Пуаз. Композиция HF-32B характеризовалась углом наклона молекул в смектических слоях $\Theta_0 = 21,7^\circ$, спонтанной поляризацией $P_S = 40$ нКл/см² и вращательной вязкостью $\gamma_\varphi = 0,7$ Пуаз. Композиция HF-32C характеризовалась углом наклона молекул в смектических слоях $\Theta_0 = 22^\circ$, спонтанной поляризацией $P_S = 40$ нКл/см² и вращательной вязкостью $\gamma_\varphi = 1,0$ Пуаз. Как видим, параметром, которым существенно отличались эти композиции, было только значение вязкости, и она была выше у HF-32C.

Толщина слоя СЖК в трех ячейках с разными композициями была одинаковой – 1,7 мкм. Кроме того, были приготовлены 8 ячеек с одной композицией (HF-32C), но с разной толщиной слоя СЖК (от 0,8 до 15 мкм). Во всех ячейках к прозрачным электродам прикладывались биполярные импульсы напряжения прямоугольной формы (меандр) амплитудой от $\pm 1,5$ до ± 12 Вольт.

4. Экспериментальные результаты

4.1. Время релаксации

Для композиции HF-32B до частоты порядка 70 Гц диссипативным коэффициентом еще является вращательная вязкость γ_ϕ . В этом частотном диапазоне время релаксации директора СЖК в невозмущенное состояние после выключения электрического поля не зависит от частоты изменения поля (Рис. 1). Время релаксации измерялось как время, в течение которого поверхностный заряд на электродах ячейки (пропорциональный интегралу тока через ячейку) уменьшался до нуля. На электроды ячейки подавались однополярные и биполярные импульсы напряжения прямоугольной формы, причем длительность импульса равнялась интервалу между импульсами.

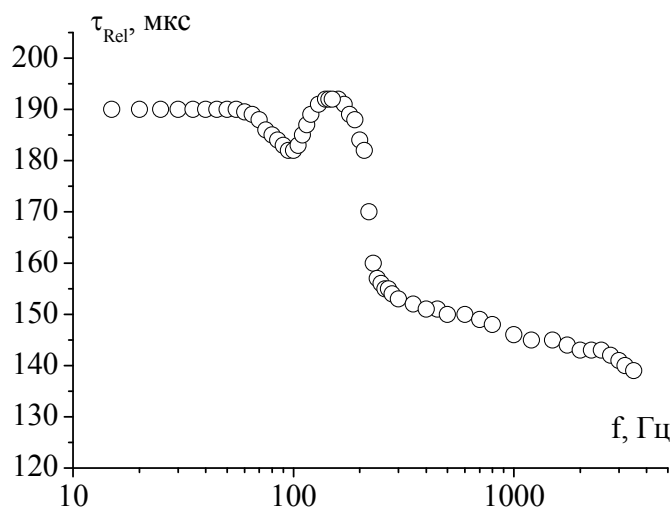


Рис. 1. Частотная зависимость времени релаксации директора СЖК для электрооптической ячейки (композиция HF-32B) толщиной 1,7 мкм при амплитуде напряжения $\pm 1,5$ В.

4.2. Экспериментальные ячейки

Преобладание сдвиговой вязкости приводит к сильной частотной зависимости времени оптического отклика $\tau_{0,1-0,9}$. Например, в интервале частот от 100 до 170 Гц время $\tau_{0,1-0,9}$ уменьшается практически в два раза (Рис. 2). На небольшом участке зависимости от 70 до 100 Гц время оптического отклика увеличивается, что означает наличие обоих типов вязкости.

Переход к солитонной моде ориентации директора в ячейке с композицией HF-32B происходит при частоте порядка 170 Гц. Переход сопровождается резким уменьшением времени оптического отклика $\tau_{0,1-0,9}$ при достижении некоторого порогового значения напряженности электрического поля (Рис. 2).

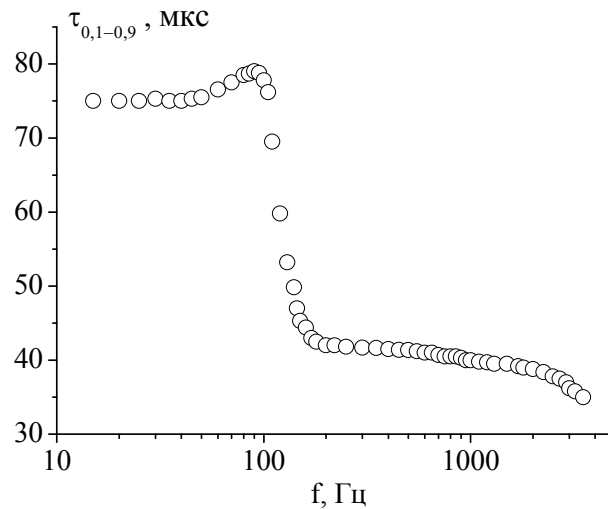


Рис. 2. Частотная зависимость времени оптического отклика для электрооптической ячейки (композиция HF-32B) толщиной 1,7 мкм при амплитуде напряжения $\pm 1,5$ В.

Когда вращательная вязкость уменьшается до 0,3 Пуаз при том же значении спонтанной поляризации ($P_S=40$ нКл/см²), переход к солитонной моде происходит при частоте управляющего напряжения порядка 1 кГц, то есть частота перехода возрастает почти на порядок величины (сравните рисунки 2 и 3).

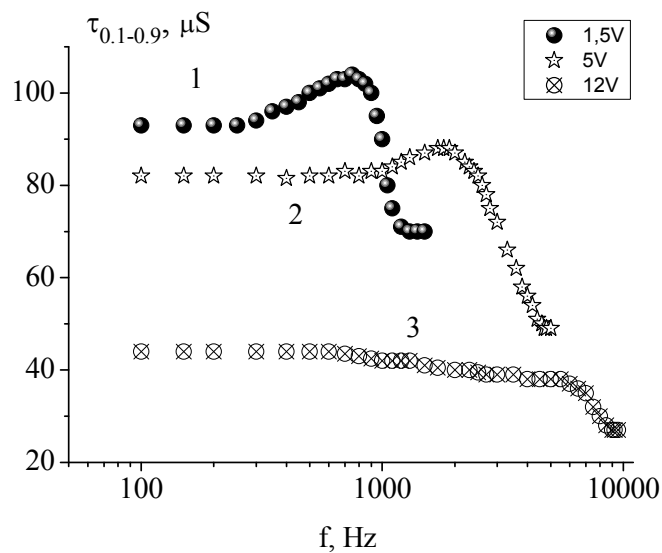


Рис. 3. Частотная зависимость времени оптического отклика для электрооптической ячейки (композиция HF-32A) толщиной 1,7 мкм при амплитудах напряжения $\pm 1,5$ В (кривая 1), ± 5 В (кривая 2) и ± 12 Вольт (кривая 3).

В этом случае (Рис. 3) время оптического отклика в солитонной моде возрастает почти в 2 раза, и максимальная частота модуляции света уменьшается до 1,5 кГц. При увеличении управляющего напряжения переход к солитонной моде сдвигается в область более высоких частот.

Переход к солитонной моде характеризуется резким уменьшением времени оптического отклика, начиная с некоторого порогового значения напряженности электрического поля (Рис. 4). Это значение возрастает, когда повышается частота управляющего напряжения. Расширяется также интервал частот, в котором время $\tau_{0,1-0,9}$ слабо зависит от электрического поля.

Быстродействие СЖК в солитонной моде определяется скоростью движения солитонных волн, которая определяется как [2]:

$$V = \frac{\Theta_0}{\gamma_\psi} \left(2K(P_s E \cos \varphi_0 + M) - \left(\frac{2K}{d\Theta_0} \right)^2 \right)^{1/2},$$

где K – модуль упругости, описывающий деформацию директора СЖК по углу Ψ , γ_ψ – сдвиговая вязкость СЖК, M – энергия деформации смектических слоев, φ_0 – исходный азимутальный угол ориентации директора и d – толщина слоя СЖК.

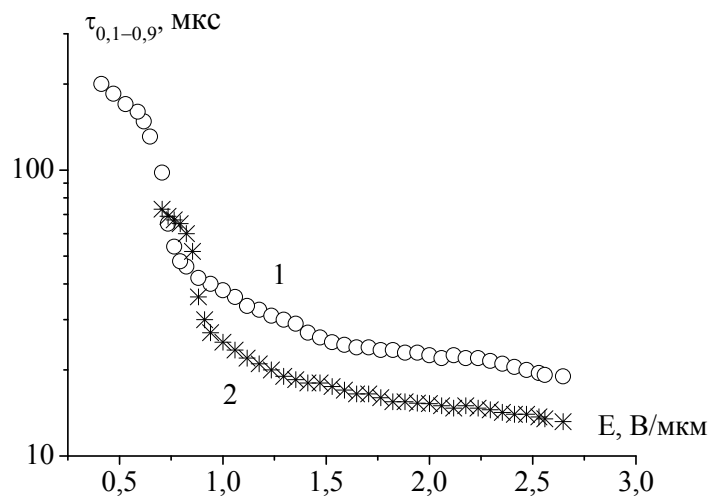


Рис. 4. Полевые зависимости времени оптического отклика для СЖК ячейки (композиция HF-32В) толщиной 1,7 мкм при частоте управляющего напряжения 200 Гц (кривая 1) и 3 кГц (кривая 2).

Согласно этому уравнению скорость солитонной волны зависит от толщины d слоя СЖК. Соответственно оптический отклик уменьшается с увеличением толщины, и Рис. 5 подтверждает эту зависимость.

Таким образом, быстродействие СЖК в солитонной моде в большей степени определяется скоростью движения солитонных волн, в то время как время оптического отклика $\tau_{0,1-0,9}$ слабо зависит от частоты изменения электрического поля (Рис. 2), а также от величины управляющего напряжения или поля (Рис. 4).

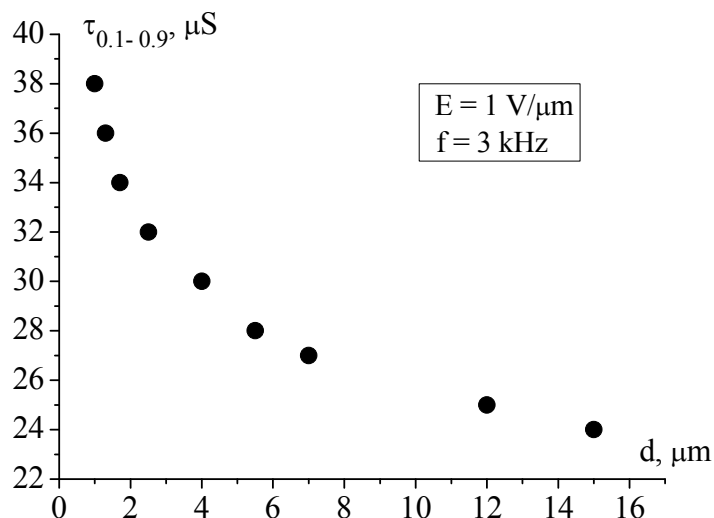


Рис. 5. Зависимость времени оптического отклика от толщины дисплейной ячейки (композиция HF-32C) в электрическом поле $E = 1$ В/мкм частотой 3 кГц.

4.3. Влияние вязкости

Поведение дисплейной ячейки с более вязкой композицией HF-32C качественно является похожим на вышеописанное для композиции HF-32B, но имеются количественные различия. Во-первых, значение частоты, до которой вязкость можно в этом материале считать вращательной (время оптического отклика практически не зависит от частоты), уменьшилось до 50 Гц, в то время как для композиции HF-32B оно составляло 70 Гц (Рис.2). Во вторых, в обе стороны расширился интервал, в котором преобладающим диссипативным коэффициентом является сдвиговая вязкость – от 100 Гц до 7 кГц, в то время как для композиции HF-32B максимальная частота достигала 3,5 кГц ([3] и Рис. 2). В третьих, в солитонной моде увеличилось быстродействие СЖК – время оптического отклика уменьшилось до 31 мкс на частоте модуляции света 5 кГц и до 24 мкс на частоте модуляции 7 кГц по сравнению с 35 мкс на частоте 3,5 кГц ([3] и Рис. 4) для композиции HF-32B при том же значении управляющего напряжения $\pm 1,5$ Вольт.

Таким образом, максвелловский характер диссипации энергии обеспечил повышение быстродействия СЖК и существенное увеличение максимальной частоты модуляции света при увеличении его вязкости от 0,7 до 0,9 Пуаз, что без знания существа дела может показаться парадоксальным.

Приведенные параметры модуляции света подтверждают осциллограммы Рис. 6.

4.4. Пропускание света

Напомним, что модуляционная характеристика исследуемых дисплейных ячеек с СЖККГ подобна таковой в нематических жидких кристаллах, то есть является безгистерезисной и демонстрирует непрерывную серую шкалу, а также отсутствие температурной зависимости оптического отклика в довольно широком температурном интервале (см. [3]).

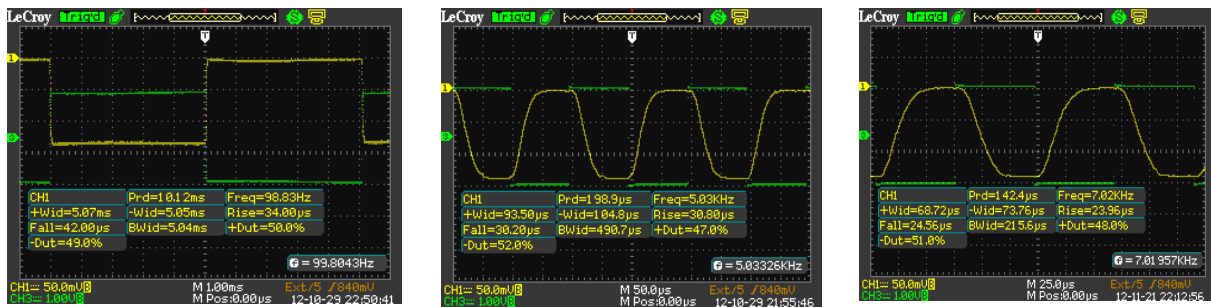


Рис. 6. Осциллограммы биполярного управляющего напряжения (нулевой уровень по цифре 3) и оптического отклика (нулевой уровень по цифре 1) для дисплейной ячейки (композиция HF-32C) толщиной 1,7 мкм при амплитуде управляющего напряжения $\pm 1,5$ В и частоте: а – 100 Гц, б – 5,0 кГц, в – 7,0 кГц. Верхний уровень оптического отклика - закрытое состояние, нижний - пропускающее. Время электрооптического отклика по переднему фронту - Rise, по заднему фронту - Fall.

Важно также, что периодическое изменение положения директора СЖК вдоль смектических слоев позволяет получить практически безгистерезисную зависимость пропускания света ячейкой от амплитуды управляющего напряжения как при его увеличении, так и при уменьшении (Рис. 7).

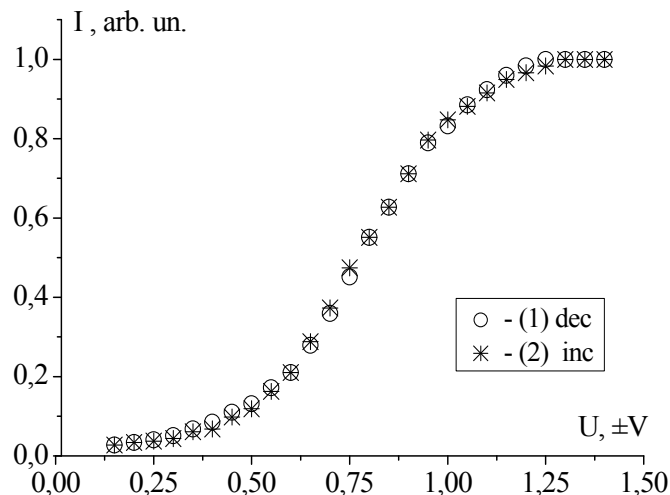


Рис. 7. Зависимость светопропускания I (в относительных единицах) дисплейной ячейки (композиция HF-32C) толщиной 1,7 мкм от амплитуды управляющего напряжения V (вольты) при ее увеличении (1) и уменьшении (2) на частоте 5 кГц.

5. Заключение

Благодаря максвелловскому характеру диссипации энергии в ячейке негеликоидального СЖК и пространственно неоднородному (периодическому) распределению директора СЖК вдоль смектических слоев увеличение вязкости СЖК от 0,7 до 0,9 Пуаз позволило увеличить быстродействие и максимальную частоту модуляции света. В солитонной моде достигнуты время оптического отклика около 24 мкс и частота модуляции света 7 кГц при амплитуде управляющего напряжения $\pm 1,5$ Вольт. Очень важно также, что при этом сохраняется непрерывная серая шкала модуляционной характеристики, отсутствует гистерезис, и не наблюдается температурная зависимость пропускания света в достаточно широком интервале температур от 15 до 45°C.

Подобно ячейкам с НЖК, экспериментальные ячейки с новыми композициями негеликоидальных СЖК при том же (и даже меньшем) значении управляющего напряжения и напряженности электрического поля (1-2 В/мкм) показывают непрерывную серую шкалу и безгистерезисную модуляционную характеристику, но способны на гораздо большую (в 20-40 раз!) скорость модуляции. Эти прорывные результаты характеризуют исследованные СЖККГ как наиболее быстродействующие материалы для будущих дисплеев – трехмерных и с последовательной во времени сменой цветов, включая активно-матричные дисплеи, микродисплеи со структурой FLCoS (СЖК на кремнии), проекционные дисплеи на их основе и другие.

Кроме того, на основе новых СЖК могут быть созданы новые приборы и системы с уникальными параметрами и новыми функциональными свойствами, которые не могут пока быть достигнуты с «медленными» НЖК, например, сверх-быстродействующие низковольтные оптические затворы различных приборов (фотокамер и др.) и системы оптической обработки, распознавания, кодирования-декодирования данных и другие. Очень важно для практического освоения результатов, что технологии приборов на основе НЖК и СЖК существенно не различаются.

Авторы благодарят Российскую академию наук за поддержку этой работы по Программе фундаментальных исследований «Полифункциональные материалы для молекулярной электроники».

Авторы также благодарят Ю.П. Бобылева и В.М. Шошина за изготовление экспериментальных ячеек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Береснев Л.А., Байкалов В.А., Блинов Л.М., Пожидаев Е.П., Пурванецкас Г.В. Первый негеликоидальный сегнетоэлектрический жидкий кристалл. Письма в ЖЭТФ, 1981, т.33, вып.10, 553–557 (1981).
2. Федосенкова Т.Б., Андреев А.Л., Пожидаев Е.П., Компанец И.Н. Управляемое внешним электрическим полем двулучепреломление в негеликоидальных сегнетоэлектрических жидких кристаллах.– Краткие сообщения по физике, 2002, №3, с.45–52 (2002).
3. Andreev Alexander L., Andreeva Tatiana B., Kompanets Igor N. Electro-Optical Response of Compensated Helix Ferroelectric: Continuous Gray Scale, Fastest Response and Lowest Control Voltage demonstrated to date. SID'12 Symposium Digest (Boston, 04-08 June 2012), v. 43, 452-455 (2012).

4. Андреев А.Л., Компанец И.Н., Андреева Т.Б., Шумкина Ю.П. Динамика движения доменных границ в сегнетоэлектрических жидких кристаллах в электрическом поле. – Физика твердого тела, 2009, т.51, вып.11, с.2275–2280.
5. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теория упругости. Наука, Москва, с. 188-189 (1987).

DISPLAY FLC CELL MODULATES THE LIGHT WITH FREQUENCY UP TO 7 KHZ AT VOLTAGE ± 1.5 V

A. Andreev*, N. Zalyapin, I. Kompanets***

**P.N.Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences
53, Leninskiy prospekt, Moscow, Russia*

***National Research Nuclear University «MEPhI»
31, Kashirskoe shosse, Moscow, 115409, Russia*

Abstract. Selection of the essential parameters and conditions of molecules reorientation in non-helix FLC allowed to reduce the optical response time of a display cell to 24 μ s and to increase the frequency of light modulation in the soliton mode up to 7 kHz at the control voltage ± 1.5 V.

Keywords: Ferroelectric liquid crystal, helix compensation, viscosity, optical response, soliton mode.

УДК 661.143

РАЗРАБОТКА НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОРТОФОСФАТНЫХ ЛЮМИНОФОРОВ

**В.В. Бахметьев¹, М.М. Сычев¹, С.П. Богданов¹, О.В. Володина¹,
Л.П. Мезенцева², А.В. Осипов², А.И. Орлова³, Н.В. Маланина³,
В.Т. Лебедев⁴, А.Е. Советнов⁴, А.Е. Соколов⁴, Ю.В. Кульвелис⁴,
Т.С. Минакова⁵, И.А. Екимова⁵, Н.С. Еремина⁵**

¹*Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)*

²*Институт химии силикатов им. И.В. Гребениčkова РАН*

³*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского*

⁴*Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова*

⁵*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

Аннотация. Разработана технология, позволяющая золь-гель методом из водных растворов получать эффективные рентгенолюминофоры состава $Zn_3(PO_4)_2:Mn^{2+}$, в том числе с наноразмерными частицами, и направленно регулировать цвет свечения синтезируемых люминофоров в области от красного до зеленого. Исследованы спектры и интенсивность рентгенолюминесценции, фазовый состав, и поверхностные свойства полученных лю-