

## ДИНАМИЧЕСКОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В НЕМАТИЧЕСКОМ ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ ЖК-440

### Введение

Как известно, жидкие кристаллы (ЖК) по своим реологическим свойствам похожи на обычные жидкости, в то время как их электрические, магнитные, оптические и др. свойства аналогичны свойствам твердых кристаллов [1]. В данной работе исследовались нематические жидкие кристаллы класса ЖК-440-(класс по номенклатуре НИОПИК, Россия) – смесь веществ класса азоксисоединений ( $\varepsilon_{\parallel} = 4.9$ ,  $\varepsilon_{\perp} = 5.25$ ,  $\Delta\varepsilon = -0.35$ ). Здесь использованы обозначения:  $\varepsilon$ ,  $\sigma$  – диэлектрическая проницаемость и проводимость ЖК,  $\varepsilon_{\parallel}$ ,  $\sigma_{\parallel}$  – диэлектрическая проницаемость и проводимость ЖК в направлении преимущественной ориентации продольных осей молекул (в направлении директора),  $\varepsilon_{\perp}$ ,  $\sigma_{\perp}$  – в направлении, перпендикулярном директору,  $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp}$  и  $\Delta\sigma = \sigma_{\parallel} - \sigma_{\perp}$  (либо  $\sigma_{\parallel} / \sigma_{\perp}$ ) – мера анизотропии диэлектрической проницаемости и электропроводности. Данные нематические жидкие кристаллы характеризуются дальним ориентационным порядком, когда их несферические молекулы ориентируются параллельно друг другу. Направление ориентации молекул описывается директором. Наличие ориентационного порядка приводит к возникновению анизотропных свойств. Это может быть анизотропия диэлектрической проницаемости, когда диэлектрическая проницаемость вдоль директора ( $\varepsilon_{\parallel}$ ) отличается от таковой поперек директора ( $\varepsilon_{\perp}$ ). Возможна анизотропия проводимости, т.е.  $\sigma_{\parallel} \neq \sigma_{\perp}$ . Динамическое рассеяние света наблюдается в НЖК с отрицательной диэлектрической проницаемостью ( $(\varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp}) < 0$ ) и с положительной анизотропией электропроводности ( $(\sigma_{\parallel} - \sigma_{\perp}) > 0$ ) [2]. Еще одним из важнейших условий возникновения электрогидродинамической (ЭГД) неустойчивости является присутствие в НЖК ионов. Источниками ионов могут быть примеси, как результат плохой очистки, так и целенаправленно введенные добавки.

Цель работы – оценка возможности использования нематических жидких кристаллов в оптоэлектронных устройствах, обладающих нелинейными характеристиками, и исследование их электрофизических свойств в условиях воздействия ВЧ и постоянного электрического поля.

### Основная часть

Для наблюдения ЭГД неустойчивости использовалась стеклянная измерительная ячейка прямоугольной формы с размерами  $15 \times 15$  мм<sup>2</sup>, толщина зазора изменялась в пределах от 20 до 100 мкм и регулировалась с помощью тефлоновых спейсеров. На стенки ячейки наносился полупрозрачный токопроводящий и ориентирующий слой, обеспечивающие планарные граничные условия. При подаче напряжения на электроды ячейки положительные и отрицательные ионы движутся в противоположные стороны. Благодаря анизотропии проводимости они стремятся перемещаться вдоль длинных осей молекул, что приводит к их пространственному распределению в образце. Возникает пространственно периодическое распределение коэффициента преломления, так называемые домены Капустина – Вильямса. Размер доменов не зависит от напряженности внешнего электрического поля, а определяется толщиной ячейки. Существует предельное напряжение электрического поля, при котором еще наблюдаются домены Капустина – Вильямса. При дальнейшем увеличении напряженности электрического поля увеличивается скорость вращения вихрей в доменах, а затем домен-

ная структура сменяется турбулентным движением. Внешне турбулентное движение напоминает кипение ЖК. Если пропустить лазерный луч через ячейку с доменной структурой, то регистрирующая структура, находящаяся за ЖК ячейкой, зафиксирует дифракционную картину в виде цепочки рефлексов, расположенных в плоскости, перпендикулярной доменам. Домены Капустина – Вильямса для ЖК-440 наблюдаются при приложении к образцу электрического поля низкой частоты порядка 100 Гц. Для каждого ЖК существует некая максимальная частота, при которой такие домены не наблюдаются. При низких частотах ионный ток следует за внешним полем, процесс разделения пространственного заряда с повышением частоты отстает по фазе от поля. Период поля становится слишком мал по сравнению со временем релаксации пространственного заряда. На смену доменной структуре приходит структура шевронов.

Как отмечалось выше для наблюдения динамического рассеяния необходимо использовать НЖК с отрицательной анизотропией диэлектрической проницаемости ( $\Delta\epsilon < 0$ ) и положительной анизотропией проводимости ( $\Delta\sigma > 0$ ). Этим условиям удовлетворяет ЖК-440. Для корректного исследования были выбраны образцы с однородной планарной ориентацией директора. Прежде всего, необходимо получить планарные граничные условия. Поскольку при этом может образоваться целиком вырожденный по направлению плоский образец, то необходимо обеспечить в плоскости одно преобладающее направление и, таким образом, создать условия для получения образца с однородной ориентацией директора. Планарные граничные условия обеспечиваются путем осаждения полимерной пленки на рабочую поверхность пластин ячейки [3]. Лучшее качество ориентации обеспечивал полимерный диангидрид-4,4' оксидианилин (ПМДА-ОДА). Химическая структура повторяющихся звеньев этого полиимида после имидизации показана на рис.1.

ПМДА-ОДА растворялся в диметилформамиде. Оптимальная концентрация составляла 0.2 – 1 весовых процента. Для равномерного нанесения покрытия использовалась центрифуга. Имидизация полиимидной пленки на поверхности пластины проводилась при температуре 270 – 290<sup>0</sup>С в течение одного часа, перед этим полиимидная пленка просушивалась в течение 30 – 40 минут при температуре 180<sup>0</sup>С. Наблюдалась очень сильная зависимость качества планарной ориентации от степени химической очистки ПМДА-ОДА от посторонних примесей. Для снятия вырождения ориентации по направлению пластины натирались в одном направлении мягкой тканью.

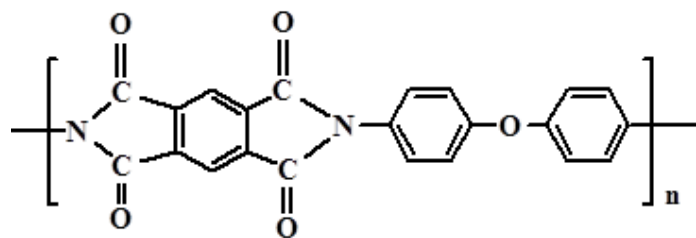


Рис.1. Химическая структура полиимида

ПМДА-ОДА растворялся в диметилформамиде. Оптимальная концентрация составляла 0.2 – 1% весовых процента. Для равномерного нанесения покрытия использовалась центрифуга. Имидизация полиимидной пленки на поверхности пластины проводилась при температуре 270 – 290<sup>0</sup>С в течение одного часа, перед этим полиимидная пленка просушивалась в течение 30 – 40 минут при температуре 180<sup>0</sup>С. Наблюдалась очень сильная зависимость качества планарной ориентации от степени химической очистки ПМДА-ОДА от посторонних примесей. Для снятия вырождения ориентации по направлению пластины натирались в одном направлении мягкой тканью. Толщина слоя ЖК задавалась спейсерами, помещенными между пластинами ячейки. Пластины ячейки склеивались силиконовым клеем. Чтобы ЖК заполнял в ячейку в изотропном состоянии, последняя нагревалась до температуры изотропного перехода. После заполнения ячейка медленно охлаждалась со скоростью 0.2 градуса в мину-

ту до жидкокристаллического состояния. Полученные образцы были проверены на отсутствие дефектов на поляризационном микроскопе «Полам Л-211». Однородная ориентация образца возникала в результате взаимодействия ЖК с ориентирующим слоем. Исследование процесса ориентации по изменению емкости  $C$  и проводимости  $G$  осуществлялись с помощью цифрового измерителя иммитансов E7-12. Рабочая частота 1 МГц. Прибор допускал возможность подачи на измерительную ячейку постоянного напряжения до 200 В от внешнего источника. Измерения проводились при уровне сигнала  $U_{\sim} = 250 \text{ мВ}$  ( $E_{\sim} = 5 \text{ В/см}$ ). Погрешность измерения  $C$ ,  $G$  составляла около 5%. Время измерения не превышало 500 мс. Значение емкости и проводимость измерительной ячейки после ее заполнения в зависимости от времени представлены на рис.2.

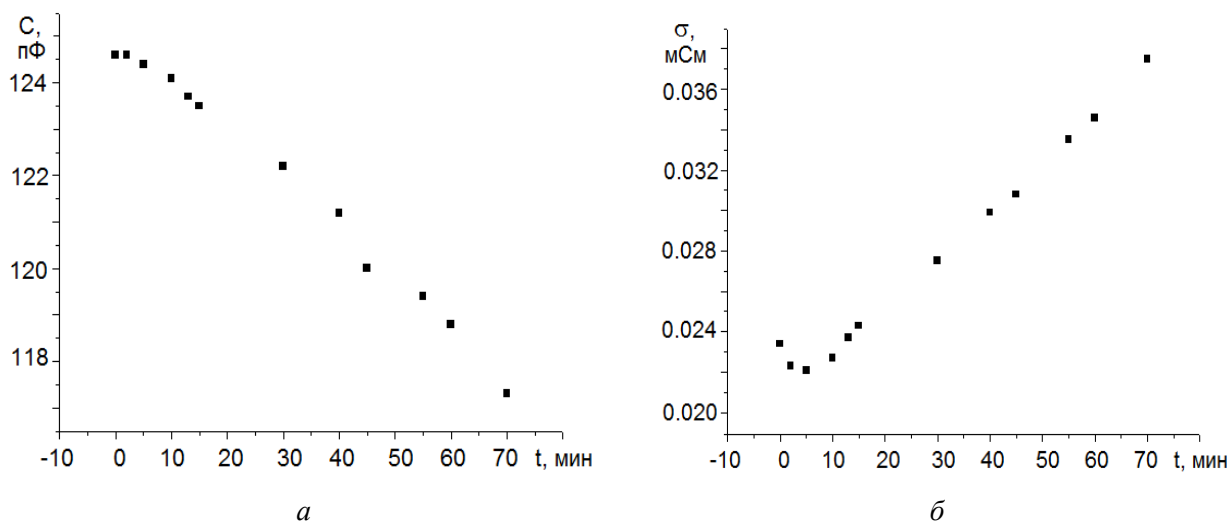


Рис. 2. Зависимость емкости (а) и проводимости (б) ячейки от времени после заполнения ее жидким кристаллом

По окончании процесса ориентирования молекул ЖК в образце были проведены исследования однородности ориентации с помощью установки, схема которой приведена на рис. 3, а. В экспериментальной установке использовался полупроводниковый лазер LD 66701НХ с рабочей длиной волны 0.6 мкм и лавинный фотодиод ВРW21R. В качестве поляризатора и анализатора применялись поляризационные пластины. Однородно ориентированный образец НЖК обладает двулучепреломлением [4]. В этом эксперименте была исследована угловая зависимость пропускания образца. Угол отсчитывался между оптической осью поляризатора и директором НЖК. На рис.3, б представлен результат этого эксперимента.

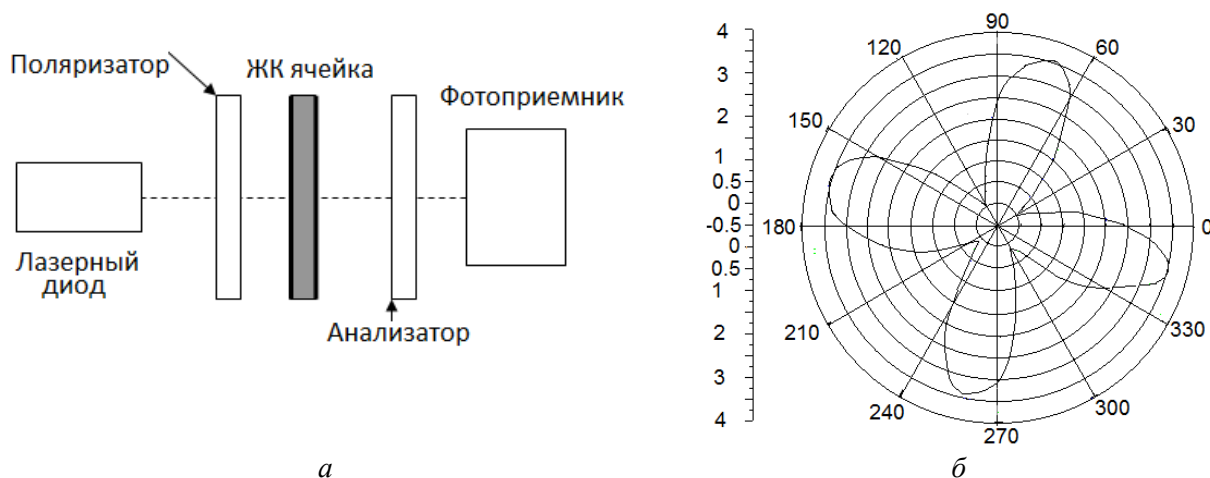


Рис.3: а – схема установки для исследования однородности ориентации ЖК; б – угловая зависимость напряжения фотодиода от угла поворота ячейки относительно оптической оси поляризатора

Были проведены также измерения емкости и проводимости застабилизированного ЖК на частоте 1 МГц при приложении постоянной составляющей напряжения в интервале от 0 до 25 В. Результаты измерений приведены на рис. 4. Как видно из рисунка увеличение постоянного напряжения, приложенного к ячейке с ЖК-440, не приводит к изменению ориентации молекул, а способствует дополнительному упорядочению планарной текстуры.

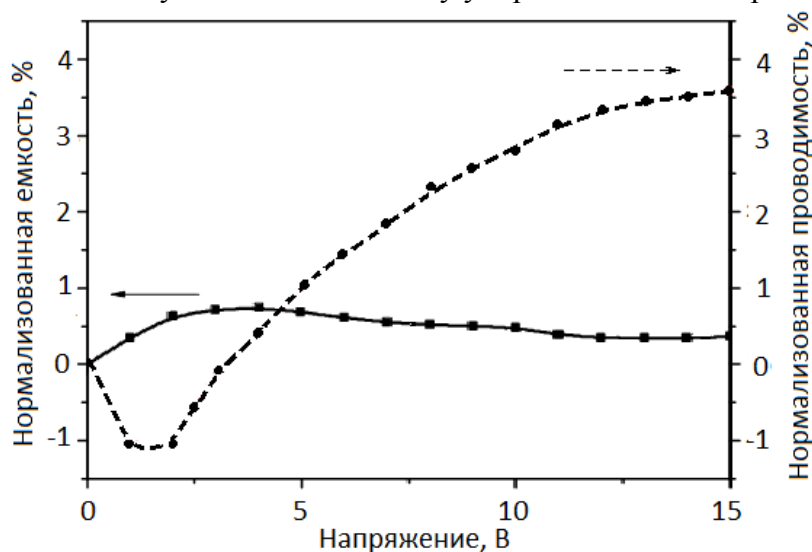


Рис. 4. Зависимость относительного изменения емкости и проводимости измерительной ячейки от напряжения смещения ( $d = 50 \text{ мкм}$ , емкость без смещения ( $U=0$ ),  $C_0 = 180.5 \text{ пФ}$ ;  $G_0 = 0.287 \text{ См}$ )

Для исследования динамического рассеяния, обусловленного наличием доменов Капустина – Вильямса, и возникновения турбулентного движения в образце НЖК с отрицательной диэлектрической проницаемостью и положительной анизотропией проводимости была использована экспериментальная установка, представленная на рис. 5, а.

В данной установке использовался полупроводниковый лазерный диод LD 66701НХ с длиной волны 0.6 мкм и лавинный фотодиод ВРW21R. Оптические оси поляризатора и анализатора ориентированы друг относительно друга под 90°. Директор образца НЖК ориентировался под 45° к поляризатору и анализатору. Подача переменного низкочастотного напряжения осуществлялось с помощью генератора типа Г4-118.

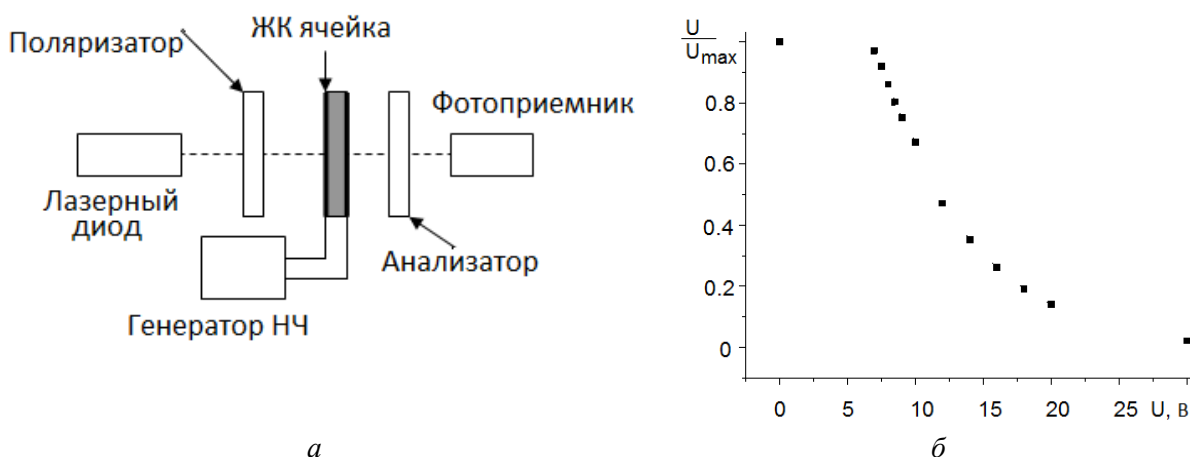


Рис.5: а – схема установки для исследования динамического рассеяния ЖК-440; б – полевая зависимость пропускания ячейки с ЖК-440.

По оси абсцисс отложены значения напряжения приложенного к ячейке электрического поля, а по оси ординат нормированные значения напряжения на фотодиоде приемника

Было установлено, что доменная структура ЖК-440 при подаче переменного напряжения менее 10 В и частотой 1 кГц заметно отличается от структуры турбулентного течения. Однако на процессе рассеяния поляризованного света это заметно не отражается. Лишь на границе перехода между текстурой доменов Капустина – Вильямса и текстурой турбулентного движения показания светодиода дают большую погрешность значений. В целом зависимость светопропускания от напряжения электрического поля достаточно плавная. Скачков пропускания не обнаружено.

### **Заключение**

Исследована зависимость пропускания в ячейке с ЖК-440, обладающим отрицательной диэлектрической проницаемостью и положительной анизотропией проводимости. Обнаружено, что смена текстуры доменов Капустина – Вильямса на текстуру с турбулентным течением не приводит к пороговым изменениям пропускания. ЖК-440 переориентации молекул не происходит, а увеличение прикладываемого напряжения приводит, по-видимому, к стабилизации планарной текстуры.

**Список литературы:** 1. *Vicari L.* Optical applications of liquid crystals. Bristol and Philadelphia: IOP Publishing Ltd, 2003. 285 p. 2. *Tsvetkov V.A., Grebenkin M.F.* Liquid Crystals in Optoelectronics. Moscow: Khimiya. Chapter 8. 1979. P.160-215. 3. *Takato R., Hasegawa M., Koden M., Itoh N., Hasegawa R., Sakamoto M.* Alignment technologies and applications of liquid crystal devices. London and New York: Taylor & Francis Group. 2005. 255 p. 4. *Гребенкин М.Ф., Иващенко А.В.* Жидкокристаллические материалы. – М. : Химия, 1989. – 288 с. 5. *Блинов Л.М.* Электро-магнитооптика жидких кристаллов. – М. : Наука, 1978. – 384 с.

*Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники*

*Поступила в редколлегию 27.10.2013*