

- [3] Фишкова Т. Я., Кориц И. А. АС. № 1597967. БИ. № 37. 1990.
 [4] Фишкова Т. Я., Кориц И. А. // ЖТФ. 1986. Т. 56. Вып. 2. С. 367—371.
 [5] Фишкова Т. Я. // ЖТФ. 1988. Т. 58. Вып. 5. С. 925—929.
 [6] Фишкова Т. Я. // ЖТФ. 1983. Т. 53. Вып. 10. С. 2071—2076.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
20 декабря 1990 г.

05

Журнал технической физики. т. 61, с. 12, 1995

© 1991 г.

ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ

*В. Л. Аристов, В. В. Митрохин, С. П. Курчаткин
В. П. Севостьянов*

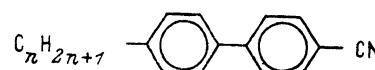
В основе широкого применения жидкких кристаллов (ЖК) в качестве оптической среды видеоинформационных устройств лежат принципы изменения оптической плотности или вращения плоскости поляризации света ЖК при воздействии внешних возмущающих полей [1]. Менее разработаны прикладные аспекты акустооптического [2] и флексоэлектрического эффектов [3] ЖК мезофазы. Однако, насколько нам известно, отсутствуют исследования по обратному флексоэлектрическому эффекту ЖК в области звуковых частот, дающие возможность преобразования энергии электрического поля в акустическую и позволяющие рассматривать ЖК в электрическом поле как звукогенерирующую среду с меняющимися оптическими свойствами.

В настоящей работе приводятся результаты исследований по моделированию условий, при которых впервые наблюдались синхронные оптический и акустический эффекты как следствие взаимодействия электрического поля с упорядоченным слоистым ЖК.

Возможность возникновения устойчивого регистрируемого эффекта определяется в общем случае наличием возмущающего переменного электрического поля определенной амплитуды в частотном интервале 20—2000 Гц, анизотропной жидкокристаллической среды, физические свойства и структура которой позволяют получить как оптический отклик, так и обратный флексоэлектрический эффект, заключающийся в возникновении деформаций поперечного или продольного изгиба при наложении переменного электрического поля, и устройства видеозвуковой информации, в котором оптически активная среда является одновременно источником акустических колебаний.

Отметим, что для осуществления синхронности необходимо по меньшей мере частичное наложение областей значений электрических характеристик, при которых реализуются оптический и акустический эффекты по отдельности, что достигается оптимизацией режимов управления при выполнении перечисленных выше условий.

По результатам анализа физических механизмов электрооптических и флексоэлектрических эффектов и экспериментальных исследований поведения ЖК различных мезофаз под действием электрического поля синхронный акустооптический эффект был обнаружен для ЖК смеси на основе цианобифенилов общей формулы



с ионообразующими и легирующими добавками, диэлектрической анизотропией $\Delta\epsilon > 0$, анизотропией электропроводности $\Delta\sigma \neq 0$ и областью существования S_A -фазы $\approx 10-50$ °С. Электрооптический эффект обратимой памяти [4] позволяет изменять оптическую плотность ЖК слоя от сильно рассеивающей конфокальной текстуры (стирание информации) до прозрачной гомеотропной (запись) в диапазонах частот 20–1000 Гц и 1–20 кГц соответственно.

Для эффекта обратимой памяти в S_A -мезофазе ЖК при подаче напряжения с амплитудой 150 В и частотой $f < 1$ кГц и формировании рассеивающей текстуры из исходной пропускающей гомеотропной в процессе электрогидродинамической (ЭГД) неустойчивости зафиксирован акустический эффект, регистрируемый в виде звуковых колебаний низкой частоты постоянного тембра. Аналогичным образом акустические волны высокой частоты наблюдались при

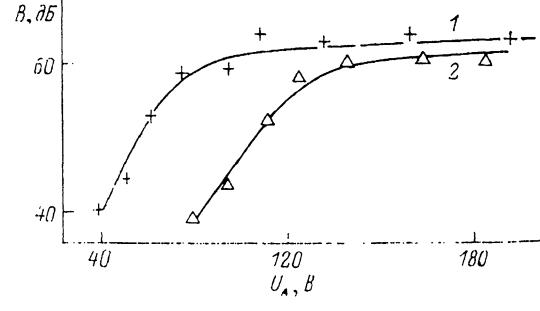
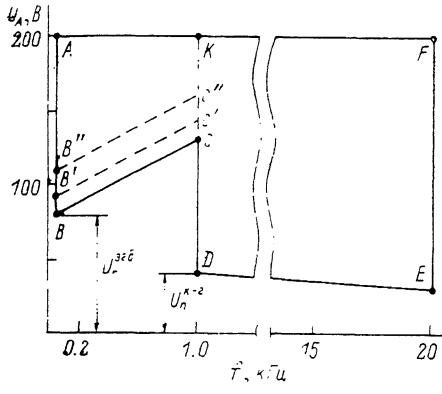


Рис. 1. Область $ABCDEF$ существования электроакустического эффекта (ЭАЭ).

ABC — область ЭГД неустойчивости (рассеивающая текстура ЖК), $KDEF$ — область конфокально-гомеотропного перехода (прозрачная текстура ЖК). $B'C'$, $B''C''$ — изменение границ области ЭАЭ для значений $U_{\text{н}}^{\text{грд}}$ исходной смеси ЖК 90 и 110 В соответственно.

Рис. 2. Зависимость уровня спектральной плотности акустического сигнала (В) от амплитуды напряжения электрического поля.

1 — конфокально-гомеотропный переход, $f=5$ кГц; 2 — ЭГД неустойчивость, $f=50$ Гц.

формировании гомеотропной текстуры из рассеивающей конфокальной для поля той же амплитуды (U_d) с $f > 1$ кГц. При постоянстве U_d изменение f сопровождалось изменением звукового ощущения по высоте. Для частот, близких $f_{\text{ср}} \approx 1$ кГц, возможна также конкуренция механизмов ЭГД неустойчивости и электростатического поворота директора [5]. Области возникновения электрооптического и электроакустического эффектов и зависимость уровня спектральной плотности акустического отклика от амплитуды и частоты электрического поля представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

Значения пороговых напряжений электрооптических эффектов ($U_{\text{н}}^{\text{грд}} \approx 80$ В и конфокально-гомеотропного перехода $U_{\text{н}}^{\text{грд}} \approx 40$ В) совпадают, как это следует из рис. 1 и 2, с зафиксированными граничными значениями областей акустического отклика. Экспериментально установлено, что при повышении $U_{\text{н}}^{\text{грд}}$ за счет изменения состава смеси ЖК адекватным образом изменяется пороговая граница акустического отклика ($B'C'$ и $B''C''$ на рис. 1), что указывает на тождественность пороговых характеристик обоих эффектов. Из-за ограниченных возможностей синтеза ЖК с достаточно широким интервалом значений $U_{\text{н}}^{\text{грд}}$ вопрос об однозначном соответствии аналогичных пороговых характеристик в высокочастотной области остается открытым.

Этот факт, а также отсутствие в наших экспериментах акустического отклика для слабоупорядоченных нематических ЖК исходной планарной, гомеотропной и твист-текстур, для слоистых ЖК S_A -мезофазы планарной ориентации с переходами планар—гомеотроп и подтверждающее данные работы [6] наличие его в слоистых хиральных поверхностностабилизированных сегнетосмектиках S_c^* планарной ориентации свидетельствуют о связи эффекта с типом ЖК, характером упаковки (ориентации) ЖК в пакете и перестройкой

структуре при внешних воздействиях, оптически наблюдаемой при определенных условиях.

Устройство воспроизведения оптического и акустического эффектов представляет собой типичный оптический индикатор сэндвичевой конструкции [7], который одновременно можно рассматривать в качестве аналога плоской колеблющейся мембранны, являющейся акустическим излучателем.

Измерения электрооптических характеристик проводили методами оптической фотометрии с использованием поляризационного микроскопа. Параллельно отслеживался акустический отклик при помощи микрофонного конденсаторного капсюля типа М-101, усиленный сигнал с которого подавался на выход прибора, проградуированного в дБ действующих значений звукового давления. Расстояние от микрофона до акустического центра излучателя составляло 0.5 м. Пределы измерений по уровню звукового давления 30—130 (+2) дБ в частотном диапазоне 20—15 000 Гц.

Анализ поведения системы пластина—жидкость показал, что акустические характеристики ЖКИ зависят от параметров его внутренней полости, геометрии пластин и способа крепления индикатора в корпусе механического устройства. Указанные параметры наряду с амплитудой и частотой управляющего напряжения определяют оптимальность акустических характеристик эффекта.

В условиях эксперимента для слоя ЖК 12—16 мкм оценка уровня спектральной плотности сигнала дает слабую зависимость от частоты в диапазоне 20—15 000 Гц (незначительный спад в сторону высоких частот при среднем уровне 50 дБ), что характерно для акустических сигналов типа белого или розового шума. Резонансных частот экспериментальных систем в пределах исследованного диапазона частот не обнаружено.

Феноменологический подход позволяет предположить следующий механизм наблюдаемого эффекта. При наложении переменного поля с $f < 10^3$ Гц образование рассеивающей текстуры связано с возникновением гидродинамических потоков ЖК, нарушающих однородную ориентацию директора и зависит от электропроводности σ , ее анизотропии $\Delta\sigma$ и неравномерности пространственного распределения заряда e в ЖК аналогично возникновению гидродинамических потоков за счет силы eE в поле E в нематиках [3]. Визуально фиксируемые в поляризационном микроскопе пульсации потоков, однако, имеют существенно меньшую, нежели акустический эффект, частоту. Указанное обстоятельство заставляет предположить, что кроме гидродинамического фактора в виде «электромеханического» эффекта, обусловленного взаимодействием процессов диэлектрической релаксации и вязкого течения [6], необходимо учитывать изгибовую деформацию S_A -слоев как следствие обратного флексоэлектрического эффекта.

Так, для частот $f > 10^3$ Гц, при которых формируется прозрачная ГП текстура с ориентацией директора по направлению поля, перпендикулярного к плоскости ЖК слоя, практически исключено возникновение электромеханического эффекта, поскольку в этой области частот распределение пространственного заряда становится постоянным во времени и колебательный процесс определяется коллективным отклонением молекул от равновесного положения при смене полярности за счет большого дипольного момента нитрильной группы — CN.

При том, что процесс диэлектрической релаксации, ответственный за оптический эффект (формирование прозрачной ГП текстуры), длится во временном интервале порядка мс и иные переходы в данной геометрии и значениях параметров ЖК ($\Delta\epsilon$, $\Delta\sigma$) запрещены, время акустического отклика определяется временем воздействия поля. Поэтому возникающая под его действием единственно разрешаемая для S_A деформация изгиба слоев может быть обусловлена преимущественно обратным флексоэлектрическим эффектом.

В пользу рассмотренного механизма свидетельствует также зависимость знака деформации от знака электрического поля и однотипность кривых зависимости уровня спектральной плотности акустического сигнала от амплитуды напряжения электрического поля для частотных областей как ЭГД неустойчивости, так и диэлектрической релаксации (рис. 2).

С учетом того что поле директоров в S_A консервативно (rot $n=0$), качествен-

ный характера эффекта в высокочастотной области можно приближенно описать формулой для флексоэлектрического эффекта в нематиках точечной группы симметрии $\infty/(m \cdot m)$: $P = e_{11}n$ ($\text{div } n$), связывающей поляризацию P с флексоэлектрическим коэффициентом e_{11} и директором n , где деформация слоев S_A будет определяться компонентами директора по выбранным осям $n_i = -(\partial u / \partial X_i)$ ($i=1, 2$) в зависимости от величины U — смещения слоя вдоль оси, перпендикулярной слою. Наряду с индуцированной полем необходима учитывать в нашем случае собственную поляризацию ($e = -\text{div } P_c$), поскольку примесная проводимость, задаваемая составом ЖК, достаточно велика ($\sim 10^{-9} \Omega^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$). Обратимость же и периодичность упругих деформаций слоев ЖК как целого вызывают вынужденные пространственно-временные колебания пластин пакета синхронно деформациям слоев ЖК.

Таким образом, обнаруженный электроакустический эффект имеет место для слоистых ЖК определенного типа (S_A), исходной геометрии (гомеотроп) и физических характеристик ($\Delta\varepsilon, \Delta\sigma$). В рассмотренном случае пороговые значения и области существования электрооптического эффекта обратимой памяти и электроакустического эффекта по частотным и амплитудным характеристикам внешнего поля одинаковы. В низкочастотной области механизмы акустического и оптического откликов взаимосвязаны наличием гидродинамических потоков, в высокочастотной области различны (обратный флексоэлектрический эффект, диэлектрическая релаксация) и, по-видимому, независимы. В любом случае обнаруженный эффект делает возможным, по нашему мнению, создание устройств видеозвуковой индикации с выводом информации по зрителю и звуковому каналам одновременно, что расширяет возможности оператора в системе человек—машина.

Список литературы

- [1] Беляев С. В. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1989. Т. 53. № 10. С. 2004—2015.
- [2] Капустин А. П. Экспериментальные исследования жидкких кристаллов. М.: Наука, 1978. 368 с.
- [3] Сонин С. А. Введение в физику жидкких кристаллов. М.: Наука, 1983. 319 с.
- [4] Coates D., Crossland W. A., Morissy J. H., Needham B. // J. Phys. D. 1978. Vol. 11. P. 2025—2034.
- [5] Чирков В. Н., Алиев Д. Ф., Зейналлы А. Х. // Письма в ЖТФ. 1977. Т. 3. С. 1016.
- [6] Por G., Buka A. // J. Phys. 1989. Vol. 50. N 7. P. 783—792.
- [7] Индикаторные устройства на жидкких кристаллах / Под ред. З. Ю. Готры. М.: Сов. радио, 1980. 240 с.

Научно-исследовательский институт
знакосинтезирующей электроники
«Волга»
Саратов

Поступило в Редакцию
1 октября 1990 г.
В окончательной редакции
18 марта 1991 г.