

- [3] Фишкова Т. Я., Корищ И. А. АС. № 1597967. БИ. № 37. 1990.
 [4] Фишкова Т. Я., Корищ 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, в. 12, 1991

© 1991 г.

ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ

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

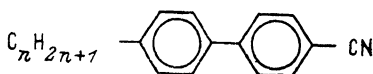
В основе широкого применения жидких кристаллов (ЖК) в качестве оптической среды видеоинформационных устройств лежат принципы изменения оптической плотности или вращения плоскости поляризации света ЖК при воздействии внешних возмущающих полей [1]. Менее разработаны прикладные аспекты акустооптического [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



структуры 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 мембраны, 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 [8]. 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 изгибную деформацию S_d -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_d деформация изгиба слоев может быть обусловлена преимущественно обратным флексоэлектрическим эффектом.

В пользу рассмотренного механизма свидетельствует также зависимость знака деформации от знака электрического поля и однозначность 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_d консервативно ($\text{rot } \mathbf{n} = 0$), качествен-

ный характер эффекта в высокочастотной области можно приближенно описать формулой для флексоэлектрического эффекта в нематиках точечной группы симметрии $\infty/(m \cdot n)$: $\mathbf{P} = e_{11} \mathbf{n} (\operatorname{div} \mathbf{n})$, связывающей поляризацию \mathbf{P} с флексоэлектрическим коэффициентом e_{11} и директором \mathbf{n} , где деформация слоев S_i 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 необходимо учитывать в нашем случае собственную поляризацию ($e = -\operatorname{div} \mathbf{P}_c$), поскольку примесная проводимость, задаваемая составом ЖК, достаточно велика ($\sim 10^{-9} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$). 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 ($\Delta \epsilon$, $\Delta \sigma$). 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 зрительному и звуковому каналам одновременно, что расширяет возможности оператора в системе человек—машина.

Список литературы

- [1] Беллев С. В. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1989. Т. 53. № 10. С. 2004—2015.
- [2] Капустин А. П. Экспериментальные исследования жидких кристаллов. М.: Наука, 1978. 368 с.
- [3] Сонин С. А. Введение в физику жидких 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., Зейналы А. Х. // Письма в ЖТФ. 1977. Т. 3. С. 1016.
- [6] Pog G., Vuka A. // J. Phys. 1989. Vol. 50. N 7. P. 783—792.
- [7] Индикаторные устройства на жидких 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.