АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XXXIV 1988 Вып. 1

УДК 534.535

О ВЛИЯНИИ ПОПЕРЕЧНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА АКУСТООПТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В СЛОЕ ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА, ВЫЗЫВАЕМЫЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНОЙ

Белова Г. Н.

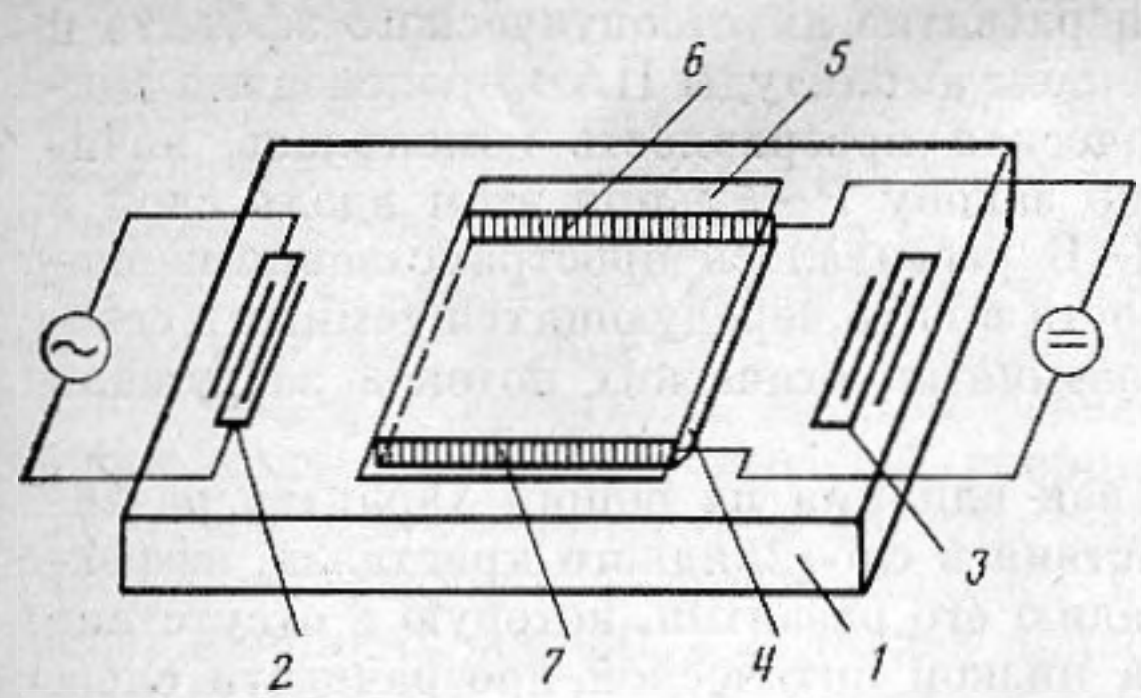
Экспериментально исследовано влияние поперечного электрического поля на акустооптический эффект, вызываемый поверхностной акустической волной в гомеотропно ориентированном слое нематического жидкого кристалла.

Акустооптический эффект в слое нематического жидкого кристалла, возникающий при возбуждении на одной из опорных пластин, ограничивающих слой, поверхностной акустической волны (ПАВ), рассматривался в ряде работ. Наиболее полно теоретически и экспериментально он изучен в [1], где было показано, что в соответствии с граничными условиями в слое жидкого кристалла могут возбуждаться четыре типа акустических мод: симметричные и антисимметричные волноводные и поверхностно-подобные моды. Акустическое поле является суперпозицией этих мод; оно вызывает изменение ориентационной упорядоченности молекул жидкого кристалла по толщине и длине слоя, что приводит к соответствующему изменению двулучепреломления в слое. Изменение оптических свойств слоя жидкого кристалла при воздействии на него ПАВ может быть использовано как для определения параметров ПАВ, так и для изучения возбуждаемых ею в слое акустических мод.

Нами показано в [2], что при создании с помощью поперечного электрического поля определенного начального распределения ориентации молекул жидкого кристалла в граничащих с опорными пластинами областях, удается значительно повысить чувствительность жидкокристаллического слоя к сдвиговым низкочастотным деформациям и управлять электрически закономерностями акустооптического эффекта. В связи с этим представляет интерес выяснить возможность аналогичного влияния поперечного электрического поля на акустооптический эффект, вызываемый ПАВ. Изучение этого вопроса, кроме научного, представляет практический интерес в связи с перспективностью создания на основе акустооптических эффектов в жидких кристаллах интегрально-оптических устройств на ПАВ.

В данной работе представлены результаты исследования акустооптического эффекта, инициированного ПАВ в слое жидкого кристалла при дополнительном ориентирующем действии на слой постоянного электрического поля.

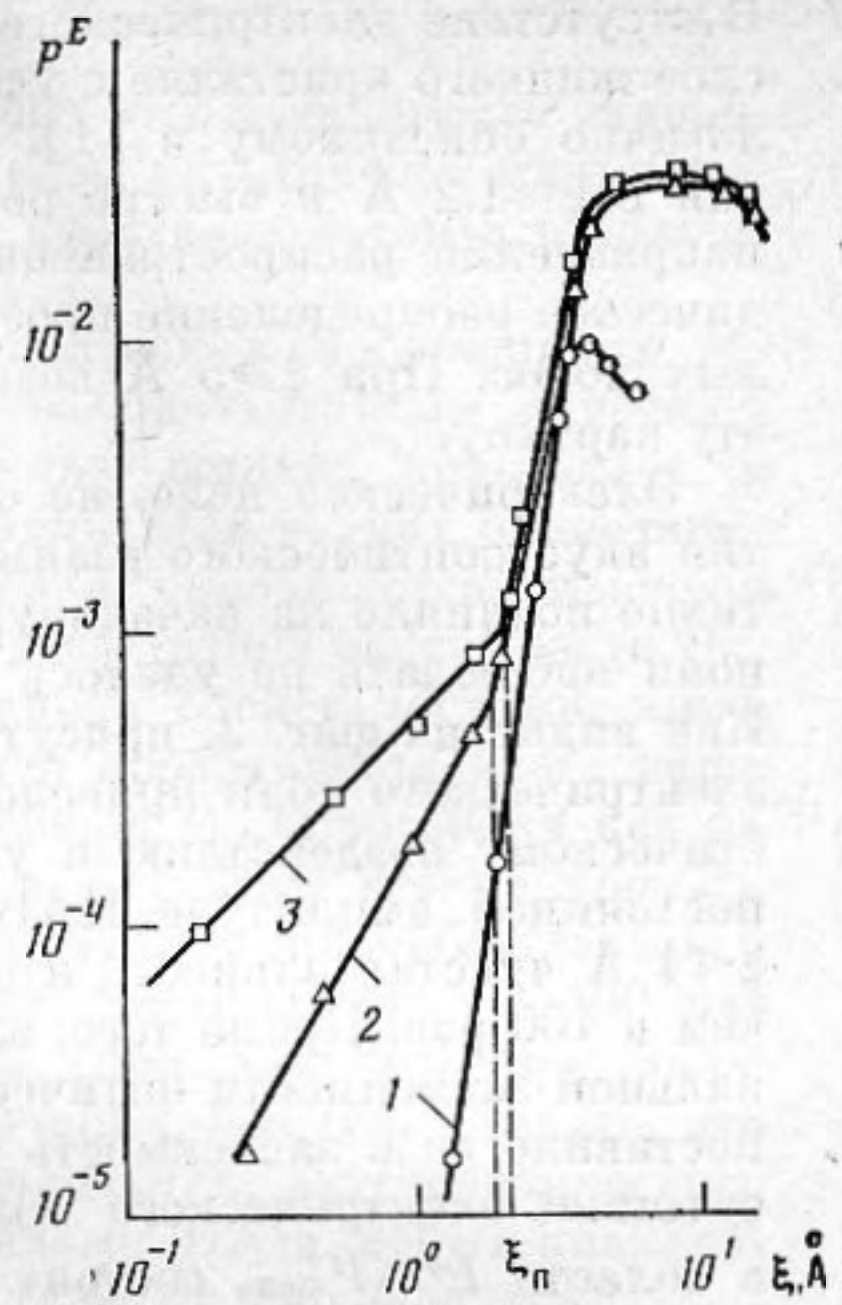
Схема экспериментальной акустооптической системы приведена на фиг. 1. На плоскопараллельной пластине *1* из ниобата лития У-среза были размещены два встречно-штыревых преобразователя, один из которых *2* использовался для возбуждения ПАВ с частотой 14,544 МГц, а второй *3* служил в качестве приемного. Максимальная амплитуда ПАВ, измеренная методом оптического зондирования [3], составляла 12 Å. На поверхность пластины между преобразователями наносился слой *4* жидкого кристалла, ограниченный по толщине пластиной *5* из кварцевого стекла толщиной 1,1 мм. Толщина слоя жидкого кристалла составляла 45 мкм и задавалась прокладками *6*, *7* из алюминиевой фольги, которые одновременно служили электродами для создания постоянного электрического поля; расстояние между электродами составляло 7,5 мм. Вектор напря-



Фиг. 1

Фиг. 1. Схема экспериментальной акустооптической системы

Фиг. 2. Амплитудная зависимость оптической прозрачности слоя жидкого кристалла: *1* – $E=0$, *2* – $E=40$ В/см, *3* – $E=80$ В/см



Фиг. 2

женности электрического поля E лежал в плоскости слоя и был перпендикулярен направлению распространения ПАВ. Слой нематического жидкого кристалла (смесь МББА и ЭББА) имел гомеотропную ориентацию. Система располагалась между скрещенными поляроидами и освещалась лучом He-Ne лазера ($\lambda=0{,}63$ мкм, $W=2$ мВт) диаметром 2 мм. Направление плоскости поляризации света, падающего на слой жидкого кристалла, составляло 45° с направлением распространения ПАВ и вектора напряженности электрического поля. Прошедший систему оптический сигнал регистрировался фотоэлектронным умножителем, сигнал с которого поступал на вольтметр постоянного тока и анализатор спектра. Акустооптический эффект изучался по изменению оптической прозрачности слоя жидкого кристалла, а также визуально с помощью микроскопа. Оптическая прозрачность P определялась величиной интенсивности света I, прошедшего систему и второй поляроид, которая отнесена к интенсивности I_0 падающего на систему светового пучка, т. е. $P=I/I_0$. Анализ оптического сигнала, прошедшего акустически возмущенный слой жидкого кристалла, показал, что спектр его оптической прозрачности как в присутствии электрического поля, так и без него состоит только из одной, постоянной компоненты и не содержит в отличие от случая низкочастотных деформаций слоя [4] переменных составляющих (с точностью до 10^{-7}).

Величина оптической прозрачности слоя жидкого кристалла в присутствии электрического поля представляла собой сумму двух слагаемых, одно из которых P^E определено совместным действием на слой акустического и электрического полей, а другое P_0 – действием только электрического поля. Компонента оптической прозрачности P_0 растет с увеличением напряженности электрического поля пропорционально E^4. Акустооптический эффект, вызываемый ПАВ в присутствии электрического поля, характеризует компонента оптической прозрачности P^E. Минимальное измеряемое значение P^E составляло 10^{-5} при точности измерений не хуже 10%. Величина амплитуды ПАВ устанавливалась с точностью около 1%.

На фиг. 2 приведены зависимости оптической прозрачности слоя жидкого кристалла P^E от амплитуды ξ ПАВ, возбуждаемой на свободной от жидкого кристалла части поверхности пластины из ниобата лития, для случая, когда электрическое поле отсутствует (кривая *1*) и при электрическом поле напряженностью 40 (кривая *2*) и 80 В/см (кривая *3*).

В отсутствие электрического поля развитие акустооптического эффекта в слое жидкого кристалла с увеличением амплитуды ПАВ происходило аналогично описанному в [1]. Оптическая прозрачность изменялась, начиная с $\xi \simeq 1{,}2$ Å и быстро росла по закону $P \sim \xi^8$; при этом вдоль слоя в направлении распространения ПАВ развивалось пространственно-периодическое распределение прозрачности в виде чередующихся темных и светлых полос. При $\xi \geqslant 5$ Å возникновение акустических потоков разрушало эту картину.

Электрическое поле, не оказывая влияния на общий характер развития акустооптического взаимодействия в слое жидкого кристалла, эффективно повлияло на начальную стадию его развития, которую в отсутствие поля наблюдать не удалось из-за низкой оптической прозрачности слоя. Как видно из фиг. 2, присутствие в слое жидкого кристалла поперечного электрического поля привело к повышению чувствительности слоя к акустическому воздействию и увеличению его оптической прозрачности при постоянной амплитуде ПАВ. Так, при $E=80$ В/см в области значений $\xi < 1$ Å чувствительность и оптическая прозрачность слоя возросли более чем в 100 раз. Кроме того, электрическое поле повлияло на вид функциональной зависимости оптической прозрачности слоя от амплитуды ПАВ и поставило ее в зависимость от величины E. Из фиг. 2 видно, что в присутствии электрического поля кривая, описывающая зависимость $P^E(\xi)$ в области $P^E < P^E_{\max}$, состоит из двух участков, имеющих разный наклон.

Каждый из этих участков характеризует определенную стадию развития акустооптического эффекта. Первая стадия развивается в области значений ξ, ограниченных некоторой пороговой величиной $\xi_п$, вторая — в области $\xi_п \leqslant \xi < \xi_{\max}$, где $\xi_{\max}$ — амплитуда ПАВ, при которой оптическая прозрачность слоя достигает максимального значения. Первой стадии свойственны низкие значения и медленный рост оптической прозрачности слоя жидкого кристалла. Как видно из фиг. 2, с увеличением напряженности электрического поля оптическая прозрачность слоя растет; при этом вид ее функциональной зависимости от амплитуды ПАВ определяется величиной электрического поля: при $E=40$ В/см $P^E \sim \xi^2$, тогда как при $E=80$ В/см $P^E \sim \xi$.

Незначительное превышение $\xi_п$ приводит к резкому, практически скачком увеличению оптической прозрачности слоя, связанному с появлением качественно новых изменений его ориентационной структуры. Наблюдение в микроскоп за поведением слоя жидкого кристалла показало следующее. По мере увеличения амплитуды ПАВ вслед за медленным, слабым, однородным по всей поверхности слоя просветлением при достижении $\xi \geqslant \xi_п$ в области слоя со стороны проникновения в него ПАВ достаточно резко возникает периодическая структура в виде нескольких темных и светлых полос, перпендикулярных направлению распространения ПАВ. С увеличением амплитуды ПАВ контрастность полос повышается, а число их растет, охватывая все большую часть слоя. Наблюдавшаяся картина появления и развития пространственно-периодического распределения оптической прозрачности слоя полностью аналогична той, которая наблюдалась, когда электрическое поле отсутствовало. Различие состояло лишь в том, что при $E=0$ структура возникала при меньшей амплитуде ПАВ (при $\xi \simeq 1{,}2$ Å). Однако измерения оптической прозрачности, проведенные в той же области слоя, показали, что на второй стадии акустооптического эффекта вид зависимости $P^E(\xi)$ под влиянием электрического поля меняется: при $E=40 \div 80$ В/см $P^E \sim \xi^4$. Кроме того, в согласии с визуальными наблюдениями с увеличением напряженности электрического поля величина пороговой амплитуды $\xi_п$ смещается в сторону больших значений.

Следует отметить, что установленные закономерности акустооптического эффекта, возникающего в слое жидкого кристалла под влиянием ПАВ, и характер влияния на эти закономерности поперечного электрического поля аналогичны наблюдавшимся нами ранее при сдвиговых деформациях слоя с частотами в диапазоне 100 Гц÷40 кГц [2, 4] за исключением того, что при высокочастотной деформации слоя не наблюдалась пе-

ременная составляющая оптической прозрачности. Эта общность закономерностей дает основание полагать, что механизм акустически инициированных изменений ориентации слоя жидкого кристалла в том и в другом случае имеет одинаковую физическую природу.

Отсутствие переменной составляющей оптической прозрачности $P_{\sim}$ слоя жидкого кристалла, деформированного высокочастотным акустическим полем, связано с высокой инерционностью жидких кристаллов, в силу которой с повышением частоты деформации слоя размах ориентационных осцилляций молекул жидкого кристалла уменьшается. Высокая инерционность жидких кристаллов приводит к частотной зависимости $P_{\sim}$. Как показано в [4], при сдвиговых деформациях слоя с частотой ниже 1000 Гц переменная составляющая оптической прозрачности всего лишь в несколько раз меньше постоянной составляющей $P_{=}$, в то время как на частотах в несколько десятков кГц $P_{\sim}$ уже в $100 \div 1000$ раз меньше $P_{=}$ и уменьшается с частотой как f^{-1}. Тот факт, что $P_{\sim}$ не наблюдалась в присутствии поперечного электрического поля, повышающего в 100 раз чувствительность и оптическую прозрачность слоя жидкого кристалла, подтверждает правильность сделанного заключения. Следует указать, что в известных работах [1], посвященных исследованию акустооптического эффекта в жидких кристаллах, инициированному ПАВ, переменная составляющая оптической прозрачности слоя также не наблюдалась.

Таким образом, результаты наших экспериментов показывают, что создание поперечного электрического поля в слое жидкого кристалла позволяет управлять закономерностями акустооптического эффекта, инициированного ПАВ, повысить чувствительность слоя к высокочастотным деформациям. Использование поперечного электрического поля дает возможность регистрировать ПАВ и исследовать создаваемое ею в слое акустическое поле при амплитудах поверхностной волны в $10 \div 100$ раз меньших, чем без него.

Описанная акустооптическая система с тонким слоем нематического жидкого кристалла после соответствующей калибровки может быть использована для измерения амплитуды поверхностной акустической волны величиной менее 1 Å, что при использовании других методов сопряжено с известными техническими трудностями. Кроме того, эта система может найти применение в акустооптических устройствах управления оптическим излучением, например, в качестве электрически управляемого светового затвора.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Miyano K., Shen J. R.* Exitation of stripe domain patterns by propagating acoustic waves in an oriented nematic film // Phys. Rev. A. 1977. V. 15. № 6. P. 2471–2485.
2. *Белова Г. Н., Ремизова Е. И.* Влияние поперечного электрического поля на акустический эффект в ориентированном слое нематического жидкого кристалла // Кристаллография. 1985. Т. 30. № 2. С. 343–348.
3. *Лин, Пауэлл.* Оптическое зондирование поверхностных звуковых волн // ТИИЭР. 1970. Т. 58. № 12. С. 72–80.
4. *Белова Г. Н., Ремизова Е. И.* Особенности акустооптического взаимодействия в гомеотропно ориентированном слое нематического жидкого кристалла при его периодической сдвиговой деформации // Акуст. журн. 1985. Т. 31. № 3. С. 289–295.

Акустический институт
им. Н. Н. Андреева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
19.XII.1986