

**Особенности переключения  
жидкокристаллического слоя при комбинированном  
возбуждении**

Развин Ю.В., Потачиц В.А.

Белорусский национальный технический университет

Эффективность работы информационных оптических систем, содержащих устройства формирования и преобразования световых потоков на основе жидкокристаллических элементов, определяется, прежде всего, степенью интеграции этих элементов и их быстродействием. В настоящее время разрабатываются новые принципы реализации таких функциональных элементов, выполняемых на основе квазирегулярных ЖК-микрообъемов. В планарных матричных ЖК-элементах наблюдается ряд эффектов, приводящих к существенному различию электрооптических свойств сплошного слоя и структуры из микрообъемов жидкого кристалла. В первую очередь следует отметить начальные отклонения молекул ЖК на краях микрообъемов. Возникающие начальные искажения ориентации директора ЖК приводят к изменению временных характеристик электрооптического отклика.

Простейший матричный модулятор имеет две системы ортогональных электродов  $N$  строк и  $M$  столбцов (разрядов), между которыми находится слой ЖК. Исследования проводились на экспериментальных образцах матричных ЖК-модуляторах ( $32 \times 32$ ) с шириной прозрачных проводящих электродов  $50 \dots 500$  мкм. В качестве структурообразующих матриц использовались волоконно-оптические подложки и микроструктурированные пленки анодного оксида алюминия. В модуляторах применялись смеси нематических ЖК с различным значением диэлектрической анизотропии ( $-0,5 \dots +1,5$ ), толщина модулирующего слоя изменялась в пределах  $1 \dots 20$  мкм. Начальная ориентация ЖК-молекул задавалась пленками поливинилового спирта, нанесенными на стеклянные подложки модулятора. Регистрация контрастно-временных параметров проводилась по осциллографической методике.

С увеличением информационной емкости модулятора (при его постоянной световой апертуре) уменьшается размер световых клапанов, т. е. переключаемых микрообъемов жидкого кристалла. Основная проблема, с которой приходится сталкиваться при управлении матричным модулятором, является подавление кросс-эффекта. Кросс-эффект (возбуждение полувывбранных клапанов) возникает вследствие гальванической и емкостной связи между электродами, а также пологой вольт-контрастной характеристики (ВКХ) жидкого кристалла и приводит к уменьшению числа управляемых строк модулятора. Максимальное число сканируемых строк матричного модулятора определяется выражением:

$$N_{\max} = [(1+P)^2 + 1] / [(1+P)^2 - 1]^2,$$

где  $P = (U_{\text{упр}} - U_{\text{пор}}) / U_{\text{пор}}$  - крутизна ВКХ,  $U_{\text{пор}}$  и  $U_{\text{упр}}$  - пороговое и рабочее напряжения.

В работе рассматривались режимы управления по схемам  $U/2, U/3$  и метод повышения крутизны ВКХ при использовании нематических ЖК с низкочастотной инверсией знака диэлектрической анизотропии.

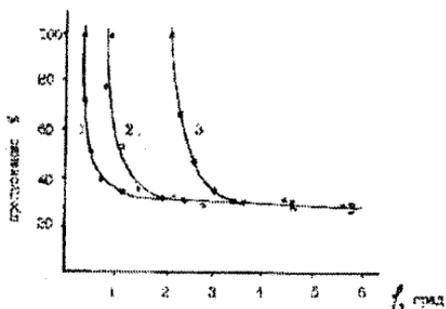
Отметим общие особенности исследуемых образцов модуляторов. Модуляторы, работающие на основе квазирегулярных ЖК-микрообъемов, характеризуются сильной анизотропией рассеяния проходящего через них лазерного излучения. Наблюдается в широком диапазоне (более 30 крат) изменение интенсивности прошедшего луча в зависимости от угла между вектором поляризации излучения и директором ЖК-слоя. При исследовании частотно-временных параметров таких модуляторов было установлено, что возникающие на границах светового клапана начальные искажения ориентации молекул кристалла распространяются за счет упругих сил в глубину слоя. В результате разные области ЖК-слоя располагаются под разными по знаку углами по отношению к направлению внешнего электрического поля, что вызывает различную поляризацию этих областей. Возникающие структурные искажения ЖК-слоя приводят к изменению динамики переключения световых клапанов модулятора и их электрооптических характеристик.

При увеличении управляющего поля в ЖК-клапане образуются два домена с противоположными искажениями, граничная область между ними является стенкой. Молекулы ЖК, расположенные в стенке, не переориентируются во внешнем поле и сохраняют исходную ориентацию. В общем случае, при начальной планарной ориентации ЖК-молекул возникающая стенка располагается перпендикулярно к исходной ориентации, а при закрученной твистовой структуре - под углом  $45^{\circ}$  к исходным ориентациям на подложках.

Экспериментально наблюдается зависимость ориентации стенки от величины и полярности управляющего напряжения. При уровнях управления (до 5-8В) стенка в световом клапане располагается под углом  $45^{\circ}$  к исходным ориентациям на подложках. Затем, при увеличении напряжения ( $\sim$  до 15В) стенка поворачивается и занимает положение, соответствующее исходной планарной ориентации ЖК-молекул вдоль направления ориентации на одной из подложек. В случае, когда меняется полярность электрического поля, стенка поворачивается на  $90^{\circ}$  и занимает положение, соответствующее направлению планарной ориентации на другой подложке.

Наблюдаемое явление можно интерпретировать следующим образом. Электрические компоненты сил сцепления молекул ЖК с ориентирующей поверхностью, взаимодействуя с внешним электрическим полем, усиливаются для одной из подложек и ослабевают для другой. После выключения поля на подложках модулятора опять восстанавливается начальное сцепление с молекулами ЖК. На одной из подложек, где инициировалось слабое сцепление, начинает образовываться закрученная на  $90^{\circ}$  ЖК-структура, которая с течением времени будет увеличивать свою толщину, распространяясь на весь ЖК-слой. Поэтому на стадии релаксации изменение пропускания такого светового клапана будет совпадать с зависимостью пропускания твистовой структуры от толщины ЖК-слоя.

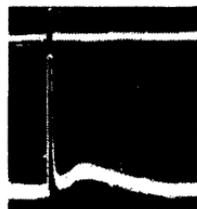
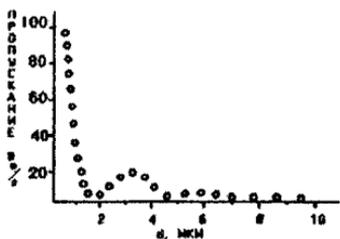
На рис.1 представлена экспериментальная зависимость оптического пропускания включенного светового клапана модулятора от величины угла несовпадения ориентации ЖК с направлением электродов (для разных толщин ЖК-слоя: 1 - 15 мкм, 2- 10 мкм, 3 - 5 мкм).



При достаточно точном (менее  $2^{\circ}$ ) совпадении направления ориентации ЖК на подложках модулятора с направлением электродов начальные искажения директора не возникают. Однако создание ориентации ЖК на

поверхности подложки с такой точностью совпадения является достаточно трудной технологической проблемой, иногда просто невыполнимой (когда имеется фигурный электрод), поэтому данный способ устранения структурных искажений не всегда приемлем.

Жидкий кристалл обладает анизотропией электропроводности. Поэтому в клапанах образуются области с разной электропроводностью, на границах которых во внешнем поле формируется объемный заряд. Таким образом, в световом клапане при его включении одновременно протекают процессы отсечки режима Могена (обычный режим переориентации) и образования объемных зарядов. Образование объемных зарядов нарушает пространственную однородность электрического поля в модулирующем слое. Характер переключения клапанов определяется соотношением скоростей развития обоих этих процессов.

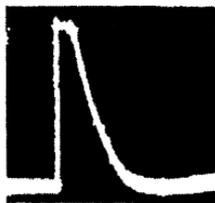


На рис.2 представлена зависимость пропускания твистовой ЖК-структуры (оптическая анизотропия 0,2) в скрещенных поляризаторах от толщины слоя жидкого кристалла. При толщине ЖК слоя меньше  $\sim 5$  мкм происходит нарушение режима Могена. Плоскость поляризации проходящего излучения уже не сле-

дит строго за поворотом структуры, и наблюдается фазовая модуляция. После выключения поля сжатая жидкокристаллическая спираль будет выпрямляться, увеличивая свою толщину, подвергаясь чистой Т-деформации. Вид осциллограммы переключения ЖК-клапана совпадает с зависимостью пропускания исследуемой структуры от толщины слоя жидкого кристалла.

При использовании импульсного напряжения малой амплитуды объемный заряд не успеет образоваться за время включения светового клапана. Это значит, что к молекулам жидкого кристалла при включении клапана прикладывается однородное по толщине ЖК электрическое поле. Происходит медленное переключение световых клапанов модулятора. В этом режиме временные характеристики определяются вязкоупругими свойствами жидкого кристалла и толщиной его слоя.

Время образования объемного заряда значительно уменьшается за счет увеличения амплитуды управляющего импульса и сокращения его длительности. Молекулы ЖК будут переориентироваться в неоднородном по толщине слоя жидкого кристалла электрическом поле, в этом случае наблюдается быстрое переключение световых клапанов.



На рис.3 приведена осциллограмма отклика оптического ЖК-клапана в режиме быстрого переключения (скорость развертки 0,05 мс/см). Данная осциллограмма получена на образце пространственного модулятора со следующими параметрами: толщина ЖК-слоя до 5 мкм, ширина электродов 50 мкм.

Длительность импульса управления составляет  $10^{-5}$  с, амплитуда – 30В.

Полученные результаты расширяют функциональные возможности ЖК-модуляторов, которые могут быть использованы в качестве логических ключей для преобразования первичной информации, снимаемой с датчиков.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Ф01-312).