

ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ДИСПЛЕИ ВОЗМОЖНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ СЖК

ЧАСТЬ 2

А.Андреев, к.ф.-м.н., И.Компанец, д.ф.-м.н. kompan@sci.lebedev.ru

Экспериментальные образцы дисплейных ячеек с разработанными в ФИАНе геликоидальными и негеликоидальными СЖК в электрическом поле 1–2 В/мкм при том же и даже меньшем электрическом напряжении, что и в НЖК-приборах, показывают близкую по форме модуляционную характеристику (со шкалой полутонов и без гистерезиса), но в 10–15 раз (!) более высокое быстродействие. Это позволяет рассчитывать на широкое применение СЖК в дисплейной технике нового поколения, особенно в 3D-дисплеях, а также на достижение в СЖК-приборах нового качества и новых функциональных свойств, пока недоступных из-за ограниченного быстродействия НЖК.

Низковольтные дисплейные СЖК-ячейки, совместимые с ИС и пленочными транзисторами, могут заменить НЖК во всех ЖК-приборах, а именно в:

- стандартных активно-матричных ТВ-дисплеях;
- микродисплеях типа FLCOS с управляющей кремниевой матрицей;
- скоростных видеопроекторах, проекционных ТВ и пикопроекторах на основе микродисплеев;
- скоростных системах обработки, кодирования и распознавания данных;
- разнообразных трехмерных ТВ, как в стерео- (с очками), так и в автостереоскопических (безочковых).

Рассмотрим некоторые применения более подробно.

ПРИМЕНЕНИЕ СЖК В АКТИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЗАТВОРАХ СТЕРЕООЧКОВ

Стереочки с СЖК в оптических затворах могут работать при вчетверо меньшем, чем с НЖК, управляющем напряжении, что существенно снижает энергоемкость, упрощает схему управления и конструкцию оправы [28, 29, см. ч.1, №6, 2012]. Высокая частота модуляции и малое время оптического отклика гарантируют отсутствие перекрестных помех и затемнения стереоизображения, присущих НЖК стереочкам, а гибкость схемы управления позволяет создать универсальные (мультипротокольные) стереочки, пригодные для просмотра 3D-программ разных производителей телевизионной техники.

Размер каждого оптического затвора экспериментального экземпляра стереочков, демонстрировавшегося ЗАО "МегаВижн" на выставке центра офисных и информационных технологий CeBIT 2011, составлял 50×35 мм. В оправу очков были встроены ИК-фотоприемник для синхронизации затворов с сигналом изображения, контроллер для формирования напряжения управления затворами в виде прямоугольных импульсов амплитудой ±3,0 В и одна литиевая батарея-таблетка CR2032, обычно используемая в наручных часах. Переходное время оптического отклика затворов не превышало 0,1 мс, динамический оптический контраст составлял около 200:1. Малая толщина (1,5 мкм) слоя СЖК обеспечила широкую зону наблюдения стереочков (до 40° при половине максимума контрастного отношения).

СЖК-очки смогут работать с будущими 3D-дисплеями, частота кадров которых будет в 10–15 раз выше, чем сейчас. В докладах представителей российского отделения SID в Фукуоке и Лос-Анджелесе были рассмотрены скоростные возможности СЖК стереочков, в сравнении с традиционными НЖК-очками. На экране импульсного осциллографа сквозь затворы очков наблюдался прямоугольный сигнал частотой до 600–1500 Гц [28, 29]. С помощью таких стереочков возможен "семейный" просмотр разными пользователями на одном ТВ-экране разных ТВ-программ [34]. Понятно, что сам телевизор должен обеспечивать высокую частоту смены кадров, в том числе для отображения 3D-контента с помощью СЖК.

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ МИКРОДИСПЛЕИ ТИПА FLCOS И СКОРОСТНЫЕ ВИДЕОПРОЕКТОРЫ

Высокую частоту адресации и смены кадров более просто обеспечить с помощью кремниевых управляющих структур, что уже продемонстрировано в DMD-устройствах скоростных DLP-проекторов компании Texas Instruments [7, см. ч.1, №6, 2012] и в бистабильных пространственных модуляторах света на основе СЖК [19, см. ч.1, №6, 2012]. Поэтому новые низковольтные быстродействующие сегнетоэлектрические ЖК-материалы и дисплейные ячейки с полутонковой безгистерезисной модуляционной характеристикой перспективны для создания скоростных видеопроекторов на основе микродисплеев со структурой FLCOS и толщиной слоя СЖК 0,9–1,1 мкм. Такие микродисплеи способны обеспечить частоту смены кадров до 8 кГц при

управляющем напряжении 0...±3 В. Для сравнения амплитуда управляющего сигнала американского аналога (матрицы отклоняемых микрозеркал) в DLP-проекторе составляет 30 В. При этом формируется не более 2,5 тыс. изображений в секунду.

Микродисплеи типа FLCOS могут служить основой и проекционных дисплеев (включая телевизионные), пико- и других смарт-проекторов. В последние годы для считывания информации, формируемой в LCoS-микродисплее, вместо ламп высокого давления белого света стали широко применяться RGB-светодиоды. На очереди – считывание данных с помощью лазерных диодов, позволяющих максимально расширить гамму цветов и обеспечить высокую яркость изображения и направленность излучения [35]. Препятствием этому пока служат отсутствие эффективного лазерного диода зеленого свечения (ожидается, что в 2012 году он будет создан) и эффективного деспеклера, который бы подавлял интерференционную способность лазерного излучения – причину спеклшума (зернистости) в изображении.

В ФИАНе на основе СЖК-ячейки разработан и изготовлен экспериментальный образец простого, компактного деспеклера с малой энергоемкостью, который разрушает когерентность лазерных лучей, вследствие чего они теряют способность интерферировать [36, 37]. При подаче на ячейку двухчастотной последовательности биполярных электрических импульсов (меандр) амплитудой ±30 В (частота 450 Гц) и ±20 В (частота 3,5 кГц) в слое геликоидального СЖК толщиной около 15 мкм возникают мелкомасштабные, случайные по апертуре и глубине слоя вариации показателя преломления, приводящие к пространственно-неоднородной фазовой

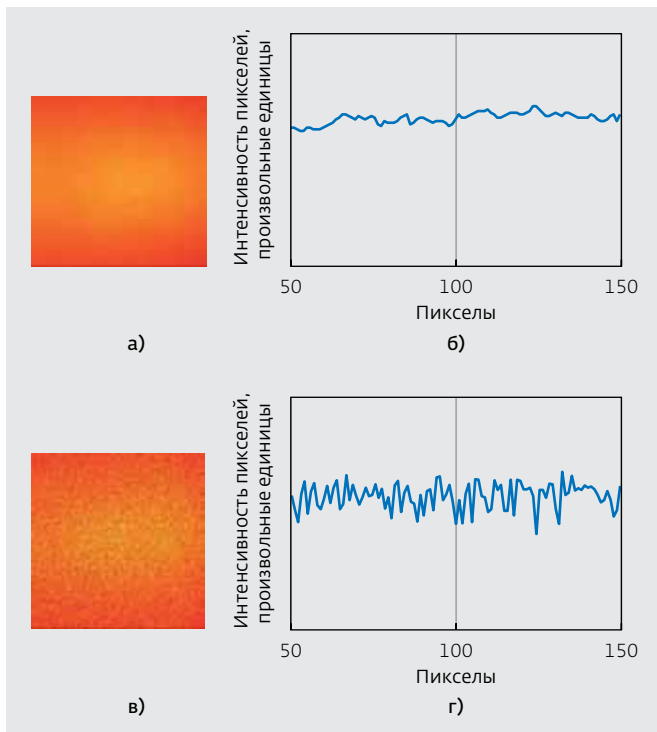


Рис.14. Изображения без спекл-шума $V \neq 0$ (а) и со спекл-шумом $V = 0$ (в) и распределение интенсивности прошедшего через СЖК-ячейку излучения лазерного диода с $\lambda=0,65$ мкм в поперечном сечении (диаметр 2 мм) в обоих случаях (б, г) [41]

модуляции проходящего через ячейку лазерного пучка (рис.14).

Деспеклер на основе СЖК-ячейки, по сравнению с вибрирующей мембраной [31, см. ч.1, №6, 2012] или вращающейся фазовой маской, используемых для подавления спекл-шума, более прост, стабилен и надежен. Сравнение его с фазовым пространственным модулятором, формирующим ортогональные функции, показало, что существенно упрощаются конструкция, технология и электронная схема управления. По сравнению с использованием лазеров с удвоением частоты и параметрической генерацией или метода сканирования лучей и передачи их по волоконным световодам и трубкам в СЖК-ячейке значительно уменьшаются световые потери. Важно также, что размер апертуры ячейки может составлять от долей до нескольких квадратных сантиметров.

Сверхскоростной видеопроектор – перспективный прибор для использования в оптоэлектронных системах обработки и распознавания сигналов и изображений. Действительно, формирование со скоростью не менее

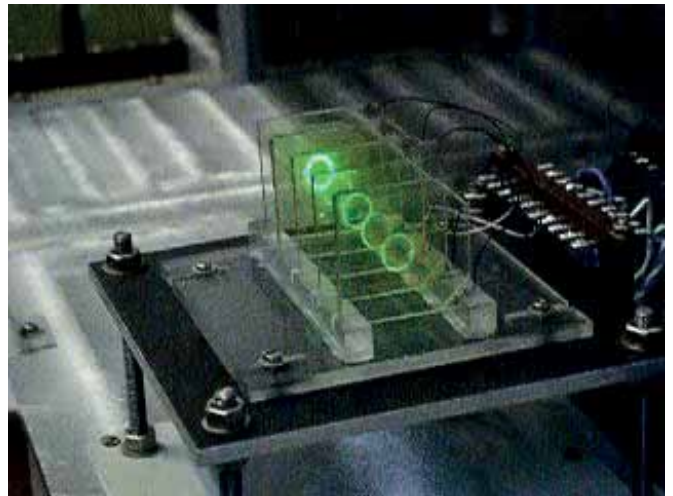


Рис.15. Фрагмент видеопоза в ФИАНе действующего экспериментального макета объемного экрана, состоящего из пяти светорассеивающих СЖК-ячеек

5 кГц информационных массивов размером до 1000×1000 бит и более и с цветностью до 8 бит обеспечит скорость обработки до 1012 бит/с и позволит:

- быстро менять согласованные фильтры в оптоэлектронных корреляторах, идентифицирующих сигналы и изображения по их схожести с эталоном;
- быстро переустанавливать данные для запроса и ответа в системах "свой-чужой";
- выполнять высокопроизводительное кодирование-декодирование массивов информации (включая массивы сигналов и изображений);
- вести сверхбыстрое распознавание целей или сравнение отпечатков пальцев и изображений лиц в охранных системах, а также многое другое.

ТРЕХМЕРНЫЙ ДИСПЛЕЙ С ОБЪЕМНЫМ ЭКРАНОМ

В отличие от стереоскопических и автостереоскопических 3D-дисплеев, создающих лишь иллюзию трехмерного изображения, наибольшая реалистичность достигается в дисплее с объемным экраном-визуализатором, подобным аквариуму. Трехмерная оптическая светорассеивающая среда такого дисплея позволяет визуализировать объемный световой макет всего объекта или сцены сечение за сечением в реальном времени (не менее 25 трехмерных образов в секунду), причем изображение можно одновременно наблюдать без ограничений числа и местоположения наблюдателей [38, 39]. Число сечений или число планов по глубине

объекта (сцены), т.е. светорассеивающих оптических затворов в объемном экране зависит от времени включения и выключения рассеяния света и одновременной подачи сечений изображения сверхскоростным видеопроектором. Для 100 сечений, визуализируемых с кадровой частотой 25 Гц, период переключения затвора должен быть меньше 400 мкс, что накладывает чрезвычайно высокие требования к светорассеивающей среде. В 3D-дисплее с объемным экраном на основе НЖК компании LightSpace Technology, несмотря на большое управляющее напряжение (100 В), общее число визуализируемых сечений не превышает 20 [38].

В ФИАНе разработаны СЖК, способные при приложении напряжения ± 35 В интенсивно рассеивать свет и быстро (менее чем за 200 мкс) включать и выключать его [40, 41], т.е. в несколько раз быстрее, чем у дисплея компании LightSpace, к тому же при втрое меньшем управляющем напряжении. Для демонстрации быстродействия СЖК-ячеек в режиме светорассеяния и принципа работы 3D-дисплея с объемным экраном был изготовлен экспериментальный макет визуализатора с пятью ячейками (рис.15) [36]. На этой основе предлагается создать первый в мире 3D ЖКД с объемным экраном, визуализирующим в реальном времени до 100 планов по глубине объекта (сцены). В состав такого дисплея войдут:

- сверхскоростной видеопроектор для ввода картин сечений, включающий быстродействующий микродисплей типа FLCoS на основе нового СЖК с частотой формирования изображений сечений до 5 кГц, а также электронный блок подготовки данных и интерфейс для их ввода в канал адресации;
- оптический блок считывания данных микродисплея и их проекции на оптические затворы визуализатора, включающий RGB лазерные диоды, компактный СЖК-деспеклер и необходимые для проекции оптические элементы;
- блок визуализации данных, представляющий собой объемный экран, состоящий из пакета быстродействующих светорассеивающих СЖК оптических затворов, и электронный блок питания и управления ими;
- программный продукт, обеспечивающий синхронную работу всех блоков в процессе ввода и визуализации трехмерных данных.

Световой макет, визуализируемый объемным экраном, представляет собой реальное трехмерное изображение, и потому при его

наблюдении нет глазной и нервной усталости, возникающей при пользовании специальными очками; отсутствуют скачки изображения и позывы к тошноте, вызываемые автостереоскопическими системами. При осмотре светового макета также не ограничен выбор позиции наблюдателя. Формирование трехмерного изображения по его сечениям и его визуализация не разделены во времени, а осуществляются одновременно и не требуют вычисления каких-либо ракурсов. Наконец, что очень важно для научных и технических приложений (включая военные), благодаря визуализации сечений появляется совершенно новая возможность наблюдения внутренней пространственной структуры объекта или сцены и выделения в ней интересующих наблюдателя фрагментов (зона и степень прозрачности могут регулироваться программно).

Ожидается, что такой 3D-дисплей будет иметь близкий к 360° угол обзора, реальный масштаб времени (50 кадров/с), пространственное разрешение порядка 800×600 элементов (SVGA)

в двухмерном слое и 50-100 слоев по глубине при уровне цветности не менее 8 бит; размер порядка 30-50 см по всем трем координатам и отсутствие ограничений, связанных с восприятием изображения как при наружном круговом осмотре светового 3D-макета объекта, так и при его просмотре вглубь.

Рассматриваемый дисплей перспективен для применения в медицине, где с помощью объемного экрана можно реализовать четырехмерную диагностику в реальном времени. Доказательство этого – успешный дебют в 2007 году в компьютерном томографе дисплея Perspecta Spatial 3D Platform американской компании Actuality Systems [42], который формирует 98 планов изображений по глубине и для их визуализации использует не светорассеивающую электрооптическую среду, а светорассеивающую пластину, закрепленную на вращающемся диске. Правда, вследствие этого объемный экран дисплея требует вакуумирования, механической стабилизации и защиты. К тому же дисплей, в силу вращения светорассеивающей пластины, имеет так называемую "мертвую зону" и требует сложного программного обеспечения.

Кроме томографии, объемные дисплеи можно будет применять в системах диспетчерского управления пилотируемыми объектами; авиа- и космической навигации; наблюдения за охраняемыми зонами на земле и под водой; визуализации и 3D-моделирования физических процессов и полей, биологических, гео- и химических структур, картографических и сейсмологических данных, архитектурных сооружений, подземных и других коммуникаций; 3D-тренажеров; рекламы; интерактивных игр.

* * *

Быстродействие современных НЖКД не отвечает условиям комфортного наблюдения 2D- и 3D-изображений, особенно при использовании прогрессивного метода последовательной во времени смены цветов. Созданный в ФИАНе задел по новым СЖК-материалам позволит увеличить быстродействие дисплеев на порядок (в сравнении с НЖК) с сохранением других параметров при меньшем управляющем напряжении. Уникальные параметры новых СЖК открывают широкие возможности их применения, поскольку могут обеспечить в СЖК-приборах новые качества и функциональные возможности,

пока недоступные вследствие ограниченного быстродействия НЖК. Так, применение СЖК в стереочках, позволило повысить их яркость и уменьшить энергопотребление. Разработка простого и компактного электрически управляемого деспеклера обеспечила эффективное подавление спекл-шума, вызываемого лазерным излучением. Созданный объемный экран, составленный из пакета светорассеивающих СЖК-модуляторов, обеспечил визуализацию светового макета объекта безочковым 3D-дисплеем. Авторы полагают, что в ближайшем будущем, новые СЖК позволят создать микродисплеи типа FLCoS с лазерным считыванием формируемых изображений и на их базе – скоростные (600 Гц) видеопроекторы широкого назначения, а также сверхскоростные (5 кГц) специализированные видеопроекторы для систем ввода, обработки, кодирования и распознавания данных.

Авторы благодарят Президиум РАН за поддержку работы по программе фундаментальных исследований №8 "Разработка методов получения химических веществ и создание новых материалов".

ЛИТЕРАТУРА

34. Патентная заявка US2010/0177172 A1, Jul.15, 2010.
35. **Guttag K., Hurley S., Mei B.** Laser+LCOS Technology Revolution. – SID-11 Symposium Digest, 2011, p.536-539.
36. **Андреев А.Л., Компанец И.Н., Минченко М.В. и др.** Подавление спекл-шума с помощью жидкокристаллической ячейки. – Квантовая электроника, 2008, т.38, №12, с.1166-1170.
37. **Andreev A.L., Andreeva T.B., Kompanets I.N. и др.** Speckle-noise suppression due to a single ferroelectric liquid crystal cell. – Journal of the SID, 2009, v.17, N.10, p.801-807.
38. www.lightspacetech.com
39. Патент РФ №2219588, 2003 (приоритет 26.04.2002). Способ формирования трехмерных полноцветных изображений и устройство для его осуществления/ Компанец И.Н., Гончуков С.А.
40. **Компанец И.Н., Гончуков С.А.** Разработка трехмерного дисплея с объемным экраном. – Сборник трудов международной научной конференции "Фундаментальные основы инженерных наук", 2006, с.244-260.
41. **Андреев А.Л., Андреева Т.Б., Компанец И.Н. и др.** Управляемое электрическим полем рассеяние света в геликоидальных сегнетоэлектрических жидких кристаллах. – Оптический журнал, 2010, т.77, вып.12, с.52-61.
42. www.actuality-systems.com