

Анализ современных технологий в проекционных оптических системах индикации

Д.В. Чистобаев, Е.А. Краснобаев

Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машиерова»

В работе представлен сравнительный анализ LCD, MEMS и LCoS технологий микродисплеев. Предложены принципы применения микродисплеев в проекционных оптических системах индикации промышленного назначения. Описан принцип управления LCoS микродисплеем.

Цель статьи – изучение методов получения проекционных изображений, их техническая реализация на микродисплеях различных типов, сравнение качественных характеристик для применения в проекционных оптических системах индикации промышленного назначения.

Материал и методы. Материалом исследования являются современные технологии производства микродисплеев. Для выбора наилучшей технологии использованы методы системного анализа технических параметров яркости, контраста, устойчивости к внешним воздействующим факторам, сравнения характеристик, необходимых для промышленного назначения, анализа зарубежных и российских публикаций по данной тематике.

Результаты и их обсуждение. Для сравнения выбраны LCD, MEMS, LCoS микродисплеи. Основное преимущество LCoS микродисплеев состоит в более высоком коэффициенте полезной площади модулятора, который достигает 93% и более. Благодаря этому проекционная техника, в которой используются LCoS микродисплеи, воспроизводит на экране гладкое, лишённое заметной сетки изображение. MEMS микродисплеи также имеют большую эффективность применения источника света, но являются механическими элементами, в связи с чем это ограничивает их использование в проекционных оптических системах индикации промышленного назначения. Также одним из путей уменьшения массо-габаритных параметров проекционных систем является применение полупрозрачных экранов в виде голограммных оптических элементов.

Заключение. LCoS микродисплеи в сравнении с аналогичными по формату устройствами, в которых используются LCD, MEMS технологии, обеспечивают намного лучшие параметры по эффективности использования в проекционных приложениях промышленного назначения.

Ключевые слова: LCoS микродисплей, проекционная система индикации, обработка видеосигнала.

Analysis of Contemporary Technologies in Projection Optical Systems of Indication

D.V. Chystabayev, E.A. Krasnobayev

Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masharov University»

The article presents a comparative analysis of LCD, MEMS and LCoS microdisplay technologies. Principles of microdisplay application in projection optical systems of industrial indication are presented. The article also describes LCoS microdisplay control principle.

The purpose of the article is the study of methods for obtaining projection pictures, their technical microdisplay of different type implementation, comparison of qualitative characteristics for application in projection optical systems of industrial indication.

Material and methods. Object of the research is contemporary microdisplay production technologies. To select the best technology the research uses the methods of system analysis of the technical parameters of brightness, contrast, resistance to external factors, comparison of the characteristics required for industrial use brightness, analysis of foreign and domestic publications on the subject.

Findings and their discussion. For comparison LCD, MEMS, LCoS microdisplays were selected. The main advantage of LCoS microdisplays is high efficiency of the modulator area, which reaches 93% or more. Projection devices, in which LCoS microdisplays are used, reproduce smooth, devoid of visible grid image. MEMS microdisplays also use the light source efficiently, but there are mechanical elements, so this limits their application in optical projection display systems for industrial use. One of the ways to reduce the weight and size parameters of projection systems is to use translucent screens in the form of holographic optical elements.

Conclusion. LCoS microdisplays in comparison with the same format on devices that use LCD, MEMS technology, provide much better options in efficiency in projection applications for industrial use.

Key words: LCoS microdisplay, projection display system, video processing.

В современной технике растёт количество визуальной информации, предназначенной для восприятия и анализа оператором. Одним из способов ее отображения является проекционный.

Этот способ наиболее актуален для отображения информации, необходимой для управления транспортными средствами и объектами, в которых требуется одновременное наблюдение за

внешней обстановкой и информацией с различных приборов.

На сегодняшний день существуют различные виды графических индикаторов. Они делятся на две большие группы: активные и пассивные индикаторы.

Особое место занимают просветные индикаторы. Примером подобных систем может служить индикатор на лобовом стекле и нащлемная система индикации. Данные индикаторы проецируют изображение на полупрозрачный экран, находящийся перед глазами оператора. Так как экран прозрачен, можно одновременно наблюдать внешнюю обстановку и индицируемую информацию. Изображение коллимируется в бесконечность, тем самым исключается необходимость аккомодации глаз. В западных источниках подобные системы получили название Head Up Displays (HUD).

Впервые эти системы появились в военной авиации. Различные показатели проецировались на специальные полупрозрачные экраны. Необходимость подобных систем была вызвана растущими скоростными показателями военных самолетов и, как следствие, повышенными требованиями к безопасности полетов [1].

Одним из важных элементов является модулятор – формирователь изображения. Модуляторы в таких системах могут быть выполнены по различным технологиям. Среди них технологии LCD, MEMS, LCoS.

Цель статьи – изучение методов получения проекционных изображений, их техническая реализация на микродисплеях различных типов, сравнение качественных характеристик для применения в проекционных оптических системах индикации промышленного назначения.

Материал и методы. Материалом исследования являются современные технологии производства микродисплеев. Для выбора наилучшей технологии использованы методы системного анализа технических параметров яркости, контраста, устойчивости к внешним воздействующим факторам; сравнения технических характеристик, необходимых для промышленного применения систем; анализа зарубежных и российских публикаций по данной тематике.

Результаты и их обсуждение. *Технология LCD* (Liquid Crystal Display) использует принцип управления поворотом поляризации в ячейке жидкого кристалла, соответствующей каждому пикселу. Поляризационные потери света, поглощение в прозрачных элементах матрицы, перекрытие части светового потока проводниками, проводящими управляющие сигналы к ячейкам, и самими управ-

ляющими элементами – диодами, транзисторами – приводят к тому, что через модулятор света проходит от 3 до 7% общего светового потока.

Для повышения качества изображения и цветопередачи используется 3LCD технология. Данная технология применяет **три жидкокристаллические матрицы**, которые модулируют красный, зеленый и синий световой поток отдельно, затем потоки собираются с помощью призмы и на экран выводится цветное изображение. В 3LCD проекторах в качестве источника света используется лампа, свет которой изначально разделяется специальными фильтрами на три компонента.

Технология MEMS (Micro Electro Mechanical System) широко применяется для производства интегральных акселерометров, микродвигателей и актуаторов, селективных фильтров для биотехнологий, а также модуляторов света. Дисплейные элементы MEMS или DLP (Digital Light Processing) представляют собой массивы модуляторов света, которые могут работать на просвет или отражение. До недавнего времени практическое применение имели в основном модуляторы отражающего типа. В последние годы было разработано несколько перспективных базовых технологий MEMS просветного типа, на базе которых можно создавать дисплейные системы как для сектора стационарных (мониторов, телевизоров), так и для сектора портативных устройств.

MEMS модуляторы имеют подвижные или деформируемые отражающие поверхности, которые расположены на кремниевой или стеклянной подложке. Схема управления может находиться на этой же подложке. Управляющие сигналы позволяют перемещать или деформировать отражающие поверхности в соответствии с подаваемой цифровой информацией. Массивы модуляторов могут быть как двумерными (матричная структура), так и одномерными (линейка модуляторов). Основные недостатки технологий MEMS заключаются в проблеме «залипания» зеркал, зависимости дисплейных параметров от яркости и положения внешнего источника света, а также низкой эффективности использования энергии светового потока.

Технология LCoS микродисплеев. LCoS (Liquid Crystal on Silicon) – это технология ЖК-микродисплеев отражательного типа, применяющая активную кремниевую подложку (backplane), на которой сформирована схема управления дисплеем. Схема управления пикселем в данной технологии находится под светоотражающими электродами пикселей и не создает препятствий для отражения света. В результате

достигается очень высокий коэффициент использования полезной площади модуляции (fill factor), который достигает 93% (для сравнения, fill factor для технологии DLP и ЖК-дисплеев просветного типа составляет соответственно 88% и 40–60%). Изображение, сформированное LCoS микродисплеями, имеет меньшую дискретность по сравнению с изображением, полученным с помощью дисплеев просветного типа.

LCoS микродисплеи находят широкое применение в электронных видеискателях цифровых камер, персональных нашиваемых дисплеях, в мультимедийных проекторах с фронтальной проекцией, а также в телевизорах высокой четкости (ТВЧ) с задней проекцией. LCoS устройства, по сравнению с аналогичными по формату устройствами, в которых используются ЖК-модуляторы просветного типа, обеспечивают лучшие параметры при применении в проекционных устройствах.

В настоящее время все производители используют одну из двух технологий для производства своих микродисплеев. Первая основана на применении ЖК-кристаллов нематического типа (VAN-режим, с вертикальной ориентацией кристаллов ЖК-материала) с аналоговым синтезом шкалы серого. В другой технологии применяется ЖК-материал ферроэлектрического типа с бинарным управлением и цифровым синтезом шкалы серого.

При реализации LCoS микродисплеев используется стандартный КМОП-процесс. В свою очередь, существует два типа чипов LCoS: сформированные на подложке из поликристаллического кремния и однокристалльные, произведенные по КМОП-технологии, известной как SOI (Silicon-on-Insulator). Технология SOI основана на применении трехслойной подложки со структурой кремний-диэлектрик-кремний вместо обычно используемых монокристаллических кремниевых пластин. Данная технология позволяет добиться существенного повышения быстродействия микроэлектронных схем при одновременном снижении потребляемой мощности и габаритных размеров. К использованию поликристаллического кремния склоняются японские компании, к SOI – американские. Этот факт объясняет некоторые различия между техническими параметрами конечной продукции европейских и японских компаний.

Технология на базе ферроэлектрического ЖК-материала (FLCoS) применяется в микродисплеях фирм Displaytech и Sony. Другие же фирмы (Brilliant, JVC, Canon, IBM) используют VAN-режим и жидкие кристаллы нематического типа. Каждая из технологий имеет свои недостатки и преимущества. Явного доминирования одной из

них нет. С одной стороны, FLCoS обеспечивает большое быстродействие, которое значительно выше, чем у дисплеев на основе нематических жидких кристаллов. Но, с другой стороны, для синтеза шкалы серого без артефактов требуется использовать сложные цифровые методы, что создает трудности.

Микродисплеи на кремнии имеют большую плотность пикселей, чем дисплеи прямого видения. Для просветных TFT ЖК-дисплеев на поликристаллическом кремнии размеры пикселей уменьшаются до 20–40 мкм из-за повышенной подвижности электронов. Отражательные микродисплеи на КМОП-технологии имеют пиксели размером 6–12 мкм, что обеспечивает их плотность более 1000 линий/дюйм. Получаемое изображение по разрешению сравнимо с разрешением киноизображения.

Контрастное отношение для ЖК-дисплеев существенно зависит от ориентации молекул ЖК-материала. ЖК-дисплей, основанный на твистнематическом ЖК-материале, имеет контрастное отношение 300:1, а гомеотропная ячейка – более чем 1000:1.

Принцип действия ячейки LCoS микродисплея состоит в следующем. Входной немодулированный и неполяризованный пучок света от источника света поступает на первый поляризационный фильтр. После его прохождения пучок света становится преимущественно поляризованным в плоскости S. Эффект поляризации обеспечивается за счет многослойной оптически анизотропной пленки, нанесенной на поляризатор. Далее поляризованный пучок света проходит через слой ЖК-материала, отражается от зеркальных электродов пикселя и снова проходит через слой ЖК-материала, который является динамическим поляризатором и локально изменяет направление вектора поляризации S входящего пучка света на направление Р-типа в зависимости от приложенного напряжения. В результате пучок света становится пространственно поляризованным. Для визуализации изображения на выходе модулятора стоит второй поляризационный фильтр (анализатор) с направлением Р-вектора поляризации. Через него проходит только та часть пучка света, которая имеет тот же Р-вектор поляризации. На анализаторе происходит рассеяние световой энергии. При использовании мощного источника подсветки поверхность анализатора сильно нагревается. Для сохранения свойств анализатора необходимо применять принудительное охлаждение.

В исходном состоянии с выключенным питанием экран микродисплея с VAN-режимом, ра-

ботающий на отражение, имеет темное состояние. Электроды расположены на противоположных подложках, электрическое поле и молекулы ЖК-материала ориентированы вертикально. Соответственно, используемые ЖК-материалы обладают отрицательной диэлектрической анизотропией. Свет при таком расположении молекул жидких кристаллов не модулируется, сохраняя ориентацию вектора поляризации в плоскости S. Таким образом формируется черный цвет выходного изображения. Если на электрод подается напряжение, жидкие кристаллы изменяют направление ориентации перпендикулярно электрическому полю. В этот момент проходящий световой пучок с вектором поляризации в плоскости S и длинная ось жидкого кристалла пересекаются, происходит преломление света и образуется Р-компонента. Если весь свет из пучка с поляризацией S преобразуется в Р, получается белый свет. Идеальное блокирование света (микродисплеи этого типа являются нормально черными) обеспечивает несколько пониженный уровень яркости, но при этом высокий контраст картинки, зависящий теперь только от выбранной оптической системы формирования изображения. В свою очередь, пониженная яркость может компенсироваться использованием мощных источников подсветки и оптимизацией оптической схемы проекционного оборудования.

Принцип действия LCoS микродисплеев, в особенности тех, которые используют нематический тип ЖК-материала, в основном аналогичен принципу работы активноматричных ЖК-дисплеев с последовательной разверткой [2; 3].

LCoS микродисплей в исходном состоянии может формировать изображение только в градациях серого цвета. Различные оттенки серого достигаются изменением напряжения на электродах каждого пикселя, что изменяет степень поляризации выходного пучка света. Для создания цветного изображения необходимо использовать дополнительные элементы. Самый простой способ – организация быстро переключающегося цветного освещения. Например, часто используются схемы с переключающимися трехцветным светодиодом. Такая схема является реализацией временной модуляции. Интегрирование цветного изображения производится зрительной системой наблюдателя [4].

К системам промышленного назначения предъявляется ряд требований: таких, как устойчивость к ускорениям, механическим ударам, повышенной и пониженной температуре среды,

атмосферному давлению. Поэтому данные системы должны обладать хорошей устойчивостью к внешним воздействующим факторам. Основное преимущество технологии LCoS – отсутствие микромеханических элементов.

Заключение. Основной недостаток LCD технологии – малое пропускание светового потока и большие габариты. MEMS технологии имеют большую эффективность использования источника света, но являются механическими элементами, поэтому это ограничивает их применение в проекционных приложениях промышленного назначения.

Основное преимущество LCoS технологии состоит в высоком коэффициенте полезной площади модулятора, который достигает 93% и более. Благодаря этому проекционная техника, в которой используются LCoS микродисплеи, воспроизводит на экране гладкое, лишенное заметной сетки изображение.

В настоящее время осуществляются попытки применения полупрозрачных экранов на основе голографических оптических элементов [5]. Использование голографических оптических элементов и световодных пластин позволяет существенно снизить массо-габаритные параметры всей системы отображения информации, т.к. она не просто перепроецирует выходной зрачок коллимирующей оптической системы в плоскость расположения глаз оператора, а способна его «растянуть» до необходимых размеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучерявый, А.А. Бортовые информационные системы: курс лекций / А.А. Кучерявый; под ред. В.А. Мишина, Г.И. Ключева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 504 с.
2. Самарин, А. ЖК-микродисплеи, использующие технологию LCoS / А. Самарин // Электронные компоненты. – 2005. – № 3–4.
3. Самарин, А. LCoS микродисплеи и их применение / А. Самарин // Компоненты и технологии. – 2008. – № 8.
4. Электронная страница фирмы ForthDimensionDisplays [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.forthdd.com/>. – Дата доступа: 15.03.2016.
5. Морозов, А.М. Оптические голографические приборы / А.М. Морозов, И.В. Кононов. – М.: Машиностроение, 1988.

REFERENCES

1. Cucheriaviy A.A., Mishin V.A., Kliuyev G.I. *Bortoviyе informatsionniye sistemi: Kurs lektzii* [Onboard Information Systems: Lectures], Ulyanovsk, UIGTU, 2004, 504 p.
2. Samarin A. *Elektronniye komponenty* [Electron Components], 2005, 3–4.
3. Samarin A. *Komponenti i tekhnologii* [Components and Technologies], 2008, 8.
4. *Elektronnaya stranitsa firmi ForthDimensionDisplays* [Website of the Firm ForthDimensionDisplays], Available at: <http://www.forthdd.com/> (accessed: 15/03/2016).
5. Morozov A.M., Kononov I.V. *Opticheskiye golograficheskiye pribori* [Optic Holographic Devices], M., Mashinostroyeniye, 1988.