

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»
Республиканский конкурс научных работ студентов
высших учебных заведений Республики Беларусь
Секция: «Радиотехника, электроника и связь. Компьютерное инженерное
проектирование. Телекоммуникационные системы и компьютерные сети.
Специальные науки»

Научная работа
на тему:
**"Анализ возможностей построения устройств отображения информации
на основе отражательных микродисплеев"**

Автор:
Гришунин Павел Викторович
5 курс

Научный руководитель:
Хоминич Александр Леонидович
Старший преподаватель кафедры
систем телекоммуникаций

Минск 2009

Реферат

Работа 37 с., 31 рис., 5 табл., 15 источников. ОТОБРАЖЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ, ДИСПЛЕИ, ОТРАЖАТЕЛЬНЫЕ МИКРОДИСПЛЕИ, МИКРОДИСПЛЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЕКТОРЫ.

Объектом исследования являются отражательные микродисплеи, как необходимая составляющая для современных средств отображения информации проекционного типа.

Цель работы - анализ существующих технологий исполнения и функционирования отражательных микродисплеев.

Работа производилась методом сбора и анализа информации из различных источников.

В процессе работы проводилась классификация отражательных микродисплеев.

На данный момент времени микродисплеи и микродисплейные устройства в Республике Беларусь не выпускаются.

Проанализирована целесообразность производства устройств отображения информации на основе отражательных микродисплеев в Республике Беларусь.

Содержание

Обозначения и сокращения.....	4
Введение.....	5
1. Общая характеристика микродисплеев.....	7
1.1 Понятие и классификация микродисплеев.....	7
1.2 Оптические системы в микродисплейных устройствах.....	9
2. Микродисплеи отражательного типа.....	13
2.1 Технология LCOS.....	13
2.1.1 Принципы работы LCOS-микродисплеев.....	13
2.1.2 Синтез цветного изображения с помощью LCOS-микродисплеев.....	15
2.2 Технология MEMS.....	20
2.2.1 Характеристики и виды технологии MEMS.....	20
2.2.2 Технология DMD.....	23
2.2.3 Технология TMA.....	25
2.2.3.1 Конструкция TMA-модулятора.....	26
2.2.3.2 Принцип работы TMA-проектора.....	27
2.2.4 Технология GLV.....	28
2.2.5 Технология iMOD.....	30
2.2.6 Технология iMODS.....	32
Выводы.....	34
Заключение.....	36
Список использованной литературы.....	37

Обозначения и сокращения

ЭЛТ	– электронно-лучевая трубка
ЭО	– элемент отображения
ЖК	– жидкие кристаллы
КМОП	– комплиментарная структура: металл - окисел – полупроводник
LCD	– liquid crystal display
LCOS	– liquid crystal on silicon
MEMS	– micro-electro-mechanical systems
DMD	– digital micromirror device
TMA	– thin-film micromirror array
GLV	– grating light valve
iMOD	– interferometric modulator
iMODS	– integrated MEMS optical display system
FSC	– field sequential colour

Введение

Наука, технологии и возможности нашего времени в значительной мере повлияли на системы и устройства отображения визуальной информации. К ним (как и ко всем современным электронным приборам) с каждым годом предъявляются все более жесткие и высокие требования. Человек с помощью своего зрительного аппарата должен получать самые детальные и достоверные сведения об интересующих его вещах. Современные системы отображения информации дают человеку эту возможность.

Еще совсем недавно в мире господствовали экранные преобразователи "сигнал - свет" на основе электронно - лучевых трубок (ЭЛТ), принципиальные недостатки которых хорошо известны (высокие управляющие напряжения и энергопотребление, низкие массо - габаритные характеристики, наличие вакуумированного объема и прочие) и трудноустранимы. Вряд ли в ближайшей перспективе удастся значительно улучшить контрастность и разрешение ЭЛТ, уменьшить их энергопотребление и вес. Из-за этого в последнее время ведутся интенсивные исследования альтернативных устройств отображения информации плоского типа, работающих на других физических принципах:

- электролюминесцентных;
- газоразрядных;
- светодиодных;
- жидкокристаллических и прочих.

В последние 10 - 20 лет было реализовано много устройств отображения информации на основе вышеперечисленных принципов. Это - жидкокристаллические мониторы, плазменные панели, светодиодные экраны и прочие. Эти устройства значительно превосходят ЭЛТ по всем показателям и характеристикам. Но наука все время движется вперед, и появляются новые возможности в совершенствовании и создании систем отображения информации.

Совсем недавно возникла и бурно развивается новая область электронной техники, связанная с микроминиатюрными устройствами отображения информации - микродисплеи. Микродисплеи - это новая фаза в развитии дисплейных технологий, способная как существенно изменить внешний вид существующих устройств, так и создать целый класс новых с расширенными функциональными возможностями типа мобильных телекоммуникационных систем с возможностью отображения полноформатных страниц текста или графики, беспроводных компьютерных интерфейсных систем и прочие, что до появления микродисплеев было невозможным. Кроме того, может быть решена проблема миниатюризации средств отображения информации, существующая в области электронной техники.

В данной научной работе будет исследован и описан один из подвидов микродис-

плеев - микродисплеи отражательного типа. Будут описаны различные технологии изготовления микродисплеев данного типа, их параметры и характеристики, методы модуляции такими микродисплеями светового потока и получения цветного изображения. Внимание будет уделено основным принципам управления отражательными микродисплеями и построению устройств отображение информации на их основе.

1 Общая характеристика микродисплеев

1.1 Понятие и классификация микродисплеев

Микродисплеями принято называть микроминиатюрные модули с диагональю от 0,5 до 4,5 см, служащие для отображения буквенно - цифровой, графической или телевизионной информации, содержащие от несколько десятков или сотен тысяч до нескольких миллионов элементов отображения (пикселей). Микродисплеи являются самыми необходимыми элементами в устройствах отображения информации, построенных на различных принципах.

По конструкции, принципу действия и типу устройств применения микродисплеи можно условно разделить на три группы (рисунок 1.1):

- просветные микродисплеи, формирующие изображение за счет модуляции проходящего через них света в соответствии с управляющими электрическими сигналами;
- отражательные микродисплеи, формирующие изображения за счет модуляции отраженного от них светового потока;
- светоизлучающие микродисплеи, непосредственно генерирующие видимое глазом изображение.

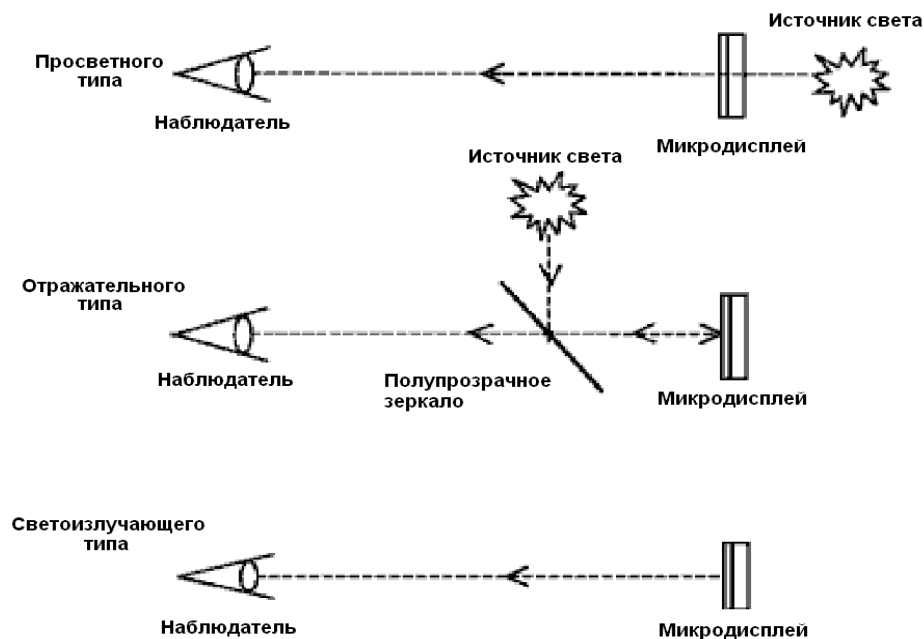


Рис. 1.1. Типы дисплеев на основе принципа действия

Изображение на микродисплеях очень мало по размеру, что для практического использования оно должно быть увеличено либо с помощью специальной оптики, либо методами проекции изображения.

По методу проецирования изображения микродисплеи делятся на устройства с прямой (фронтальной) и обратной проекцией изображения, а по виду отображаемой информации - на

монохромные и цветные, графические и телевизионные [1].

По способу адресации элементов отображения (пикселей) различают пассивные и активно-матричные микродисплеи. В пассивных дисплеях реализуется так называемое мультиплексное управление (импульсный режим с разделением во времени). В активно-матричных микродисплеях последовательно с каждым элементом отображения формируется двух- или трехэлектродный элемент (чаще всего диод или транзистор), выполняющий функции электронного ключа и позволяющий независимую аналоговую или цифровую адресацию каждого элемента отображения (ЭО).

По разрешающей способности микродисплеи можно разделить на несколько групп (таблица 1).

Таблица 1 - Классификация дисплеев по разрешающей способности

Формат изображения	Разрешение	Аспектное отношение	Число ЭО, тыс.
QVGA	320 × 240	4 : 3	76,8
VGA	640 × 480	4 : 3	307,2
SVGA	800 × 600	4: 3	480,0
XGA	1024 × 768	4 : 3	786,4
HDTV (720p)	1280 × 720	16 : 9	921,6
SXGA	1280 × 1024	5 : 4	1310,7
UXGA	1600 × 1200	4 : 3	1920,0
HDTV (1080i,p)	1920 × 1080	16 : 9	2073,6
QXGA	2048 × 1536	4 : 3	3145,7
VXGA	2048 × 2048	1 : 1	4194,3
GXGA/QSXGA	2560 × 2048	5 : 4	5242,9
Photo CD (16 base)	3072 × 2048	3 : 2	6291,5
Photo CD (64 base)	6144 × 4098	3 : 2	25178,1

В зависимости от архитектуры построения устройств и систем на основе микродисплеев и областей их применения можно выделить две большие группы:

- Видеопроекторные устройства (системы группового типа);
- Виртуальные устройства и системы персонального типа.

В видеопроекторных устройствах изображение с микродисплеев методами прямой или обратной проекции переносится на экран больших размеров и считывается наблюдателем или группой наблюдателей с достаточно большого расстояния, желательного большего, чем пятикрат-

ная высота экрана (рисунок 1.2). В виртуальных устройствах (virtual microdisplays) и системах персонального типа (NTE - near to the eye displays) изображение микродисплеев увеличивается оптической системой и проецируется непосредственно на сетчатку глаза наблюдателя. Изображение, формируемое во втором случае, находится от глаза дальше, чем сам объект ("виртуальное" изображение) и отличается от "реального", наблюдаемого на экране монитора или телевизора (рис. 1.2).

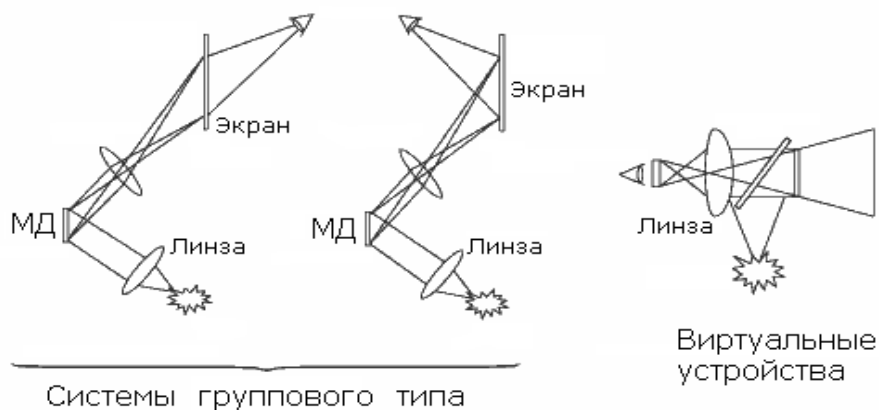


Рис. 1.2. Конструкции устройств на основе микродисплеев

Микродисплеи применяются в таких устройствах, как: нашлемные дисплеи, видеоискатели цифровых фотокамер и видеокамер, проекционные телевизоры, проекционные мониторы, проекторы, системы ночного видения и системы тепловидения, голографические дисплеи, установки для производственного оптического контроля, фотонаборные устройства, оптические модуляторы, системы машинного зрения, симуляторы монокулярного, бинокулярного и проекционного типа, встроенные дисплеи для микроскопов, стереодисплеи и др.

1.2 Оптические системы в микродисплейных устройствах

Как видеопроекционные, так и виртуальные устройства и системы должны строиться с учетом особенностей восприятия изображения человеком, т.е. характеризоваться световыми (фотометрическими) параметрами. Основные световые параметры: световой поток, сила света, светимость, яркость и освещенность - применяются только в видимом диапазоне спектра и учитывают

различную чувствительность человеческого глаза как приемника излучения. Она максимальна в зеленой области спектра при $\lambda = 555$ нм и падает практически до нуля на границах видимого диапазона при $\lambda = 380$ и 780 нм. Для точечного источника света, размеры которого значительно меньше расстояния от него до точки наблюдения, световой поток Φ , измеряемый в люменах, определяется мощностью излучения в заданном телесном угле W , измеряемом в стерadianах. Сила света I в данном направлении, измеряемая в канделах, равна отношению светового потока к телесному углу. Если источник света излучает равномерно во все стороны, то сила света определится по формуле (1), в которой I – сила света, Φ – световой поток:

$$I = \Phi/4\pi \quad (1)$$

Для неточечных источников света вводятся такие параметры как светимость и яркость, которые связаны с площадью излучающей поверхности и измеряются соответственно в Лм/м² и Кд/м² (в зарубежных публикациях часто используют единицу измерения фут-ламберт fL , $1 fL = 3,4 \text{ Кд/м}^2$). Для комфортного наблюдения яркость экрана должна быть в пределах 30:300 Кд/м² для кинотеатров и офисов.

Для проекционных устройств важно также знать освещенность в заданной точке экрана, которая измеряется в люксах ($1 \text{ лк} = 1 \text{ Лм/м}^2$) и определяется как отношение светового потока к площади освещаемой поверхности.

Хотя размерность единицы освещенности и светимости одинаковы, физическая сущность этих параметров совершенно различна.

Несмотря на то, что прямых методов измерения величины светового потока на экране не существует, она может быть легко рассчитана из результатов измерения освещенности экрана, например, люксметром, помещенном вместо экрана. Часто используемый в настоящее время ANSI-стандарт предполагает измерение в 9 различных точках экрана и вычисление средней величины, которая, как правило, оказывается ниже, чем для одной центральной точки. Для наблюдателя важен также контраст изображения, определяемый отношением освещенности белой и черной точки. При контрасте 3:1 считываются цифры и буквы, контраст 10:1 обеспечивает комфортное считывание информации, а 100:1 - не требует дополнительной адаптации человеческого глаза. Как правило, контраст изображения для фронтальных проекторов значительно больше зависит от внешней засветки, чем для проекторов с обратной проекцией.

Глаз человека в условиях комфортного наблюдения способен разрешать детали изображения с угловыми размерами около 1' или 0,4 мрад. В таблице 2 приведены основные параметры изображений различного типа, наблюдаемых в нормальных условиях.

Таблица 2 - Основные параметры изображений разного типа

Тип изображения	Расстояние до объекта	Размер изображения по горизонтали	Разрешение	Угол/элемент отобр. (мрад)
Страница текста	25 см	20 см	80 линий на см	1,71
ЭЛТ монитор	50 см	25 см	0,26 мм	1,78
Проекционный экран	2,5 м	1,2 м	1024 линий	1,91
Микродисплей	25 см	10 мм	800 линий, 12 мкм	0,16

Из таблицы 2 видно, что если для первых трех типов изображений угол разрешения находится в пределах 1,7...1,9 мрад, что вполне приемлемо, то в случае микродисплея изображение не может быть воспринято и должно быть увеличено оптикой, как минимум, в 10 раз. Следует отметить, что улучшить "читаемость" за счет приближения микродисплея к глазу не удастся, т.к. минимально возможное фокусное расстояние глаза составляет порядка 25 см. Это означает, что фокальное расстояние линзовой системы 10X, располагаемой непосредственно вблизи глаза, должно быть не менее 25 мм, а ее диаметр - не менее 20 мм.

Важное значение имеет и поле зрения, т.е. угол наблюдения всего изображения по диагонали, напрямую зависящий от разрешения глаза, умноженного на количество ЭО по диагонали. Так, например, поле зрения для микродисплеев QVGA-формата (320×240 ЭО) составляет 13° , для микродисплеев VGA - (640×480 ЭО), SVGA - (800×600) и XGA - (1024×768) форматов - соответственно 26° , 34° и 43° . Слишком малое значение поля зрения означает недостаточное увеличение изображения, а слишком большое приводит к необходимости постоянного движения и перефокусировки глаза, особенно в условиях бинокулярного наблюдения. Если возможности адаптации глаза ограничены, то часть изображения, особенно по углам, будет не в фокусе, что у большинства наблюдателей вызывает симптомы усталости типа напряжения в глазах (у 7 из 10 испытуемых), потускнения картинки (у 5 испытуемых), появление головной боли (у 3 испытуемых). Кроме того, при долговременном наблюдении могут проявляться психологические эффекты, известные под названием синдрома софита (включающие в себя сонливость, повышенную возбудимость или хроническую усталость), клаустрофобию и прочие побочные эффекты.

Обычно приемлемым считается движение глаза в пределах 24° по вертикали и горизонтали, т.е. 34° по диагонали. На рисунке 1.3 представлена архитектура такого виртуального микродисплейного устройства, которая и определит его минимально возможные геометрические размеры.

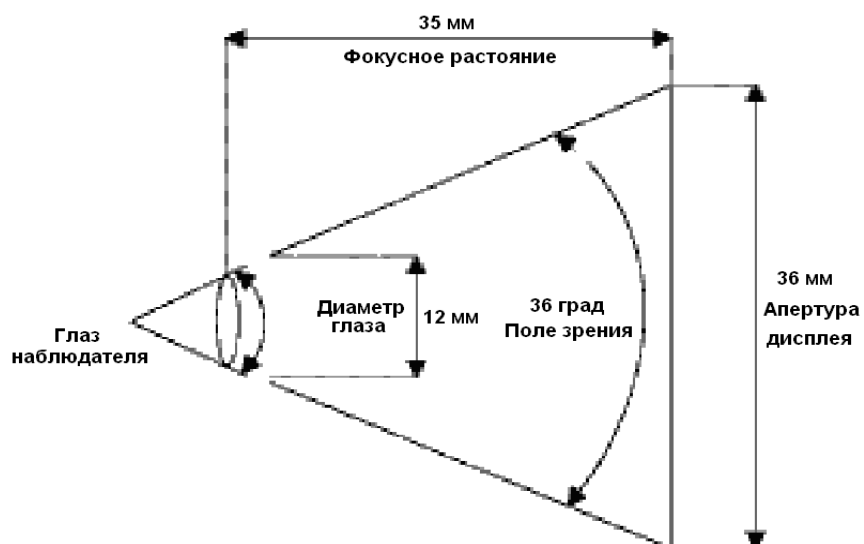


Рисунок 1.3. Архитектура виртуального микродисплейного устройства

При необходимости подсветки микродисплеев от внешнего источника чаще всего используют оптическую схему, изображенную на рисунке 1.4.

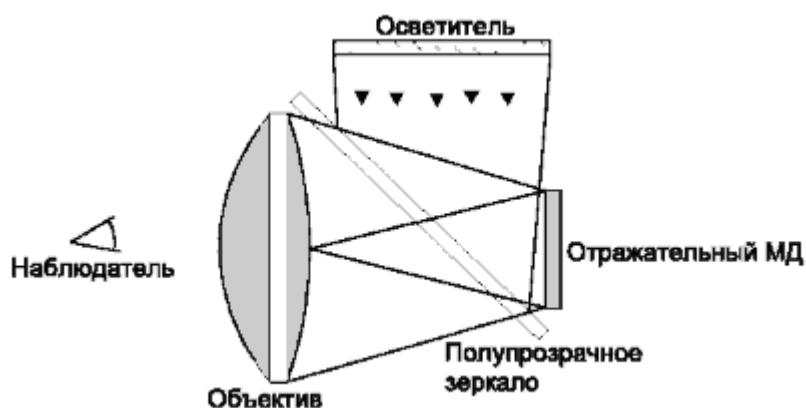


Рисунок 1.4. Схема подсветки микродисплея

В качестве альтернативного варианта, позволяющего обеспечить "глубину" устройства менее фокусного расстояния увеличительной оптической системы, возможно использование безабрационных конфокальных зеркал с расширенным полем зрения (рис. 1.5).

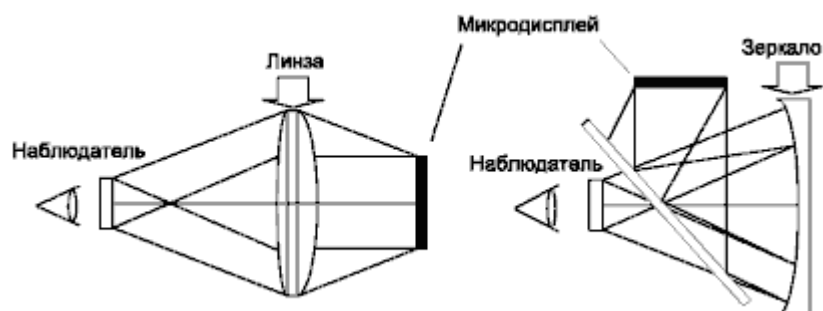


Рисунок 1.5. Схема обеспечивающая достижение глубины менее фокусного расстояния

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что расчет и изготовление оптической части виртуального микродисплейного устройства является непростой задачей, поскольку должен быть найден компромисс между разрешением и размером микродисплея, геометрическими размерами устройства, параметрами оптической системы с учетом особенностей восприятия изображений человеческим глазом и другими параметрами [15].

2 Микродисплеи отражательного типа

Микродисплеи отражательного типа составляют наиболее широкую часть микродисплеев. Они широко и успешно используются в различных системах отображения информации. Первоочередное место в использовании микродисплеев отражательного типа занимают проекционные устройства (в частности проекторы прямой и обратной проекции), проекционные телевизоры. Другой важной сферой применения светоотражательных микродисплеев являются устройства виртуальной реальности. Как правило, микродисплейные устройства отражательного типа содержат светомодулирующее устройство отражательного типа, выполненное по технологии LCOS (Liquid Crystal on Silicon, жидкий кристалл на кремнии) или MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems, микроэлектромеханические системы) и содержащие интегрированные на кристалле схемы адресации строк и столбцов, а также интерфейсную плату сопряжения, блок подсветки и оптическую систему. Далее подробно будут рассмотрены варианты исполнения микродисплеев по этим технологиям и моменты включения LCOS- и MEMS-микродисплеев в устройства отображения информации.

2.1 Технология LCOS

Технология LCOS является одной из самых перспективных и эффективных для микродисплеев отражательного типа. LCOS-микродисплеи применяются в системах прямой и обратной проекции, в проекционных телевизорах а также в окологлазных виртуальных устройствах [13].

2.1.1 Принцип работы LCOS-микродисплеев

Для данного типа технологии активная матрица LCD-дисплея вместе со схемами управления строками и столбцами выполнена на одной базовой кремниевой подложке. Существует два типа микродисплеев LCOS: сформированные на подложке из поликристаллического кремния и однокристалльные, сделанные по КМОП-технологии, известной как SOI (Silicon on Insulator). Слой жидкокристаллического материала находится между плоскостями базовой подложки и верхней стеклянной пластиной с прозрачной пленкой противоэлектрода. LCOS-микродисплеи работают в режиме отражения.

Пиксельные электроды, расположенные на кремниевой подложке, являются микрозеркалами (пленка алюминия). Размеры пикселя в микродисплеях LCOS-типа составляет от 7 до 20 мкм. Поэтому даже при очень большом разрешении размер экрана очень мал, в большинстве случаев меньше одного дюйма. Активная матрица обеспечивает создание рельефа управляющих напряжений между зеркальными электродами пикселя и прозрачной пленкой противоэлектрода. Напряжение между зеркальным задним электродом и общим прозрачным противоэлектродом управляет состоянием жидкокристаллической ячейки. Уровень напряжения сохраняется на аналоговой ячейке памяти активной матрицы для каждого пикселя. Проводящая пленка противоэлектрода напылена на поверхности стеклянной подложки. Толщина подложки менее 0,5 мм. На рисунке 2.1 показана конструкция и типовая оптическая схема микродисплея отражательного типа (монохромный режим), а рисунок 2.2 иллюстрирует оптическую схему LCOS-микродисплея.

Входной немодулированный и неполяризованный пучок света поступает на грань поляризующего расщепителя. При отражении пучок света становится преимущественно поляризованным в плоскости S. Эффект поляризации обеспечивается за счет многослойной оптически анизотропной пленки, нанесенной на грань призмы-поляризатора. Далее отраженный поляризованный пучок света проходит через слой ЖК-материала, отражается от зеркальных электродов пикселя и проходит снова через слой ЖК-материала. Слой ЖК-материала является динамическим поляризатором, который локально изменяет направление вектора S-поляризации 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. То есть в исходном состоянии с выключенным питанием экран микродисплея, работающего на отражение, имеет темное состояние.

Выходной поляризатор называется анализатором. Рассеяние световой энергии будет происходить на анализаторе. При использовании мощной лампы подсветки поверхность анализатора будет сильно нагреваться. Для сохранения свойств поляризатора необходимо использовать принудительное охлаждение с помощью вентилятора.

Принцип действия LCOS-микродисплеев, в особенности тех, которые используют нематический тип ЖК-материала в основном аналогичен принципу работы активноматричных жидкокристаллических дисплеев с последовательной разверткой.

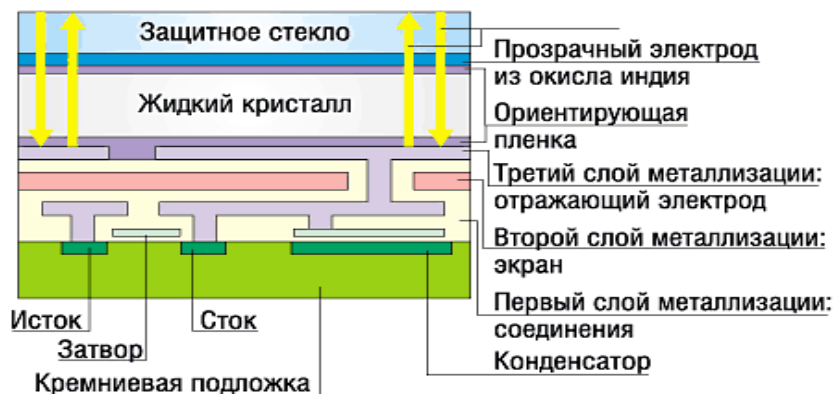


Рисунок 2.1. Вид одного LCOS-элемента в разрезе

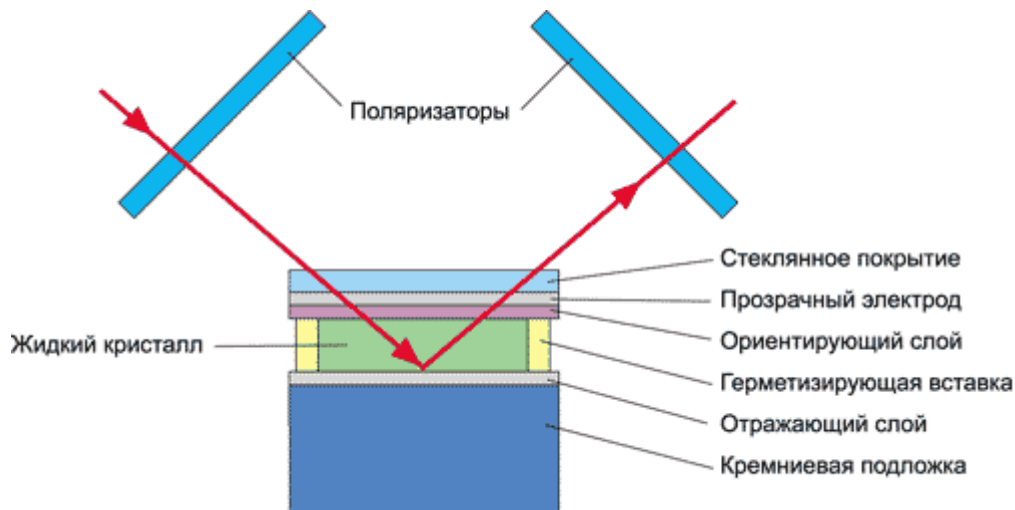


Рисунок 2.2. Оптическая схема LCOS - микродисплея отражательного типа

LCOS является широко распространенной технологией с различными вариациями исполнения. Основным различием между различными типами LCOS-технологии является тип используемого ЖК-материала. В одних применяется нематический жидкий кристалл (NLC), а в других - ферроэлектрический (FLC). Нематики имеют медленную скорость переключения (>1 мс) и способны передавать градации серого за счет наличия пологого участка на вольт-контрастной характеристике. FLC же имеют очень быстрое время переключения ($\ll 1$ мс), но обладают только двумя оптическими состояниями. FLCOS-микродисплеи, вследствие их бинарной сущности, могут использовать только метод с последовательной цветовой покадровой модуляцией. В последнее время за счет разработки новых типов материалов и применения сверхмалых рабочих зазоров увеличено быстродействие в микродисплеях с нематическим ЖК материалом.

2.1.2 Синтез цветного изображения с помощью LCOS-микродисплеев

Сам ЖК-модулятор, использующий технологию LCOS, не обладает селективными спектральными свойствами, и в нем встроенных цветных фильтров. Поэтому для получения цветного изображения требуется производить отдельную модуляцию трех цветовых RGB-компонентов пучка света. Разделение на цветовые компоненты может производиться двумя методами - временным или пространственным.

Пространственная модуляция

При пространственной модуляции используется оптическая система на основе дихроичных зеркал, которая позволяет эффективно разделять пучок света на световые компоненты и пропускать их через отдельные микродисплейные модуляторы. Применение обычных светофильтров для спектрального разделения пока крайне неэффективно и приводит к потерям энергии пучка, которая бесполезно будет рассеиваться в виде тепла. Цветное изображение получается при оптическом объединении трех модулированных пучков света. На рисунке 2.3 показана оптическая схема проектора на основе трех LCOS-микродисплеев. Приведенная оптическая схема довольно громоздкая и дорогая и может использоваться в проекторах или же проекционных телевизорах.

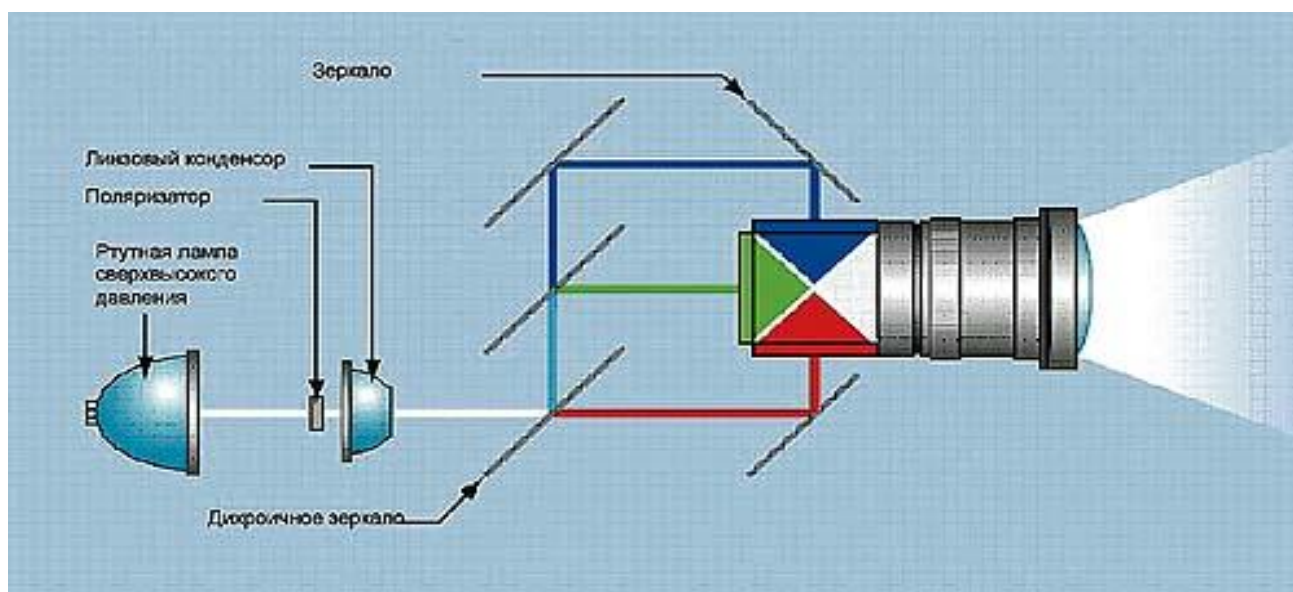


Рисунок 2.3. Оптическая схема проектора на основе трех LCOS-микродисплеев

Второй способ реализации пространственной модуляции является самым совершенным, но и самым громоздким (рисунок 2.4). Система включает в себя три LCOS-панели, установленные параллельно трем граням воображаемого куба, называемого еще "цветовым кубом" (color cube). Сначала единый поток света разбивается на три луча с помощью системы призм, а затем, после отражения от панелей, снова собирается в единый пучок.

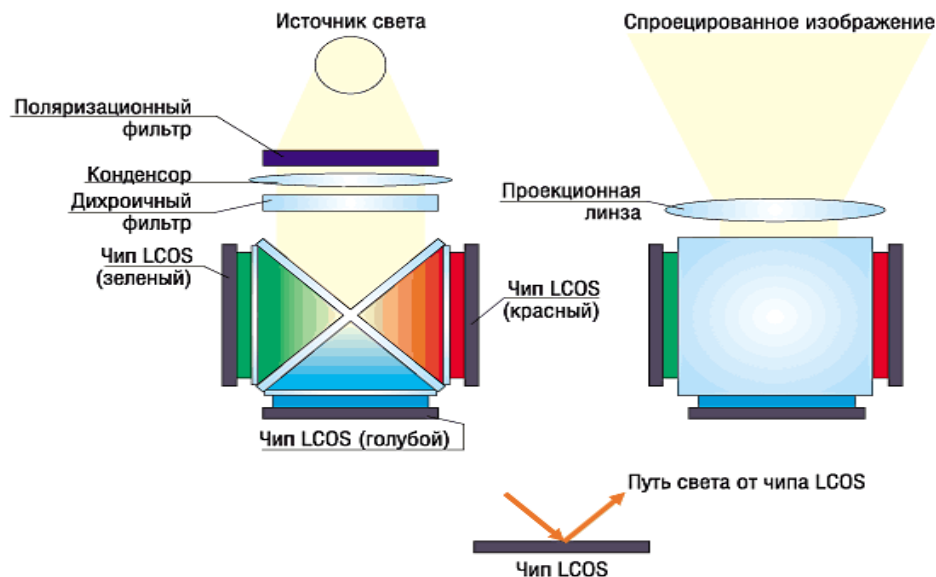


Рисунок 2.4. Структура с цветовым кубом

Временная модуляция

При временной модуляции выполняется последовательное по времени разделение светового потока на спектральные компоненты и поочередная модуляция каждой цветовой компоненты потока одним LCOS-микродисплеем. Интегрирование цветного изображения производится зрительной системой наблюдателя. Следует заметить, что при использовании временной модуляции требуется и три раза увеличивать скорость кадровой развертки, чтобы избежать заметного мелькания изображения. Как правило для устройств отображения информации с временной модуляцией используются LCOS-микродисплеи, изготовленные в едином КМОП-технологическом цикле, так как именно эта методика дает возможность добиться достаточно быстрого переключения состояния ячеек для реализации временной модуляции.

Временная модуляция цветовых компонентов потока света может быть реализована в трех разных вариантах. В первом варианте в качестве источника света могут использоваться мощные светодиоды, которые включаются последовательно по времени с частотой кадровой развертки. Синхронно с этой частотой производится загрузка плоскостей данных цветowych компонентов (цветовые кадры) из видеобуфера кадра изображения в память активной матрицы микродисплея.

На рисунке 2.5 показана оптическая схема микродисплея, в котором используется один LCOS-модулятор и светодиодная динамическая подсветка. На рисунке. 2.6 показана диаграмма фаз состояния LCOS-микродисплея с динамической светодиодной подсветкой.

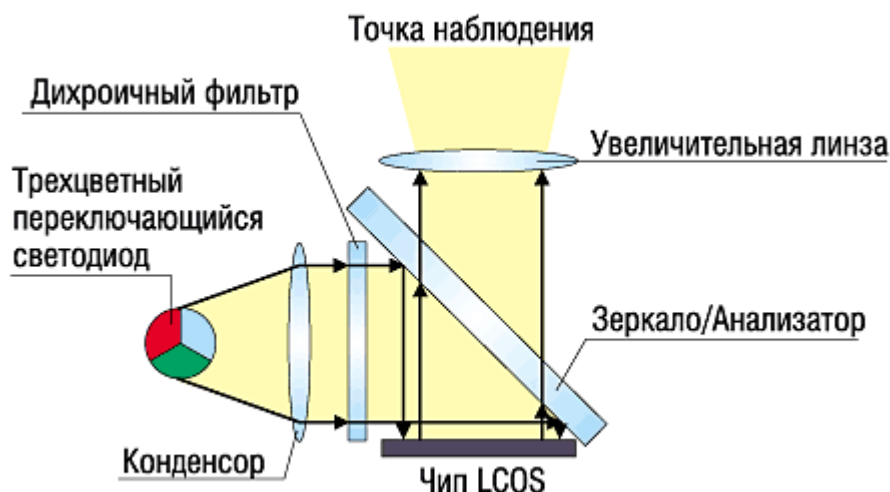


Рисунок 2.5. Оптическая схема устройства отображения с динамической светодиодной подсветкой



Рисунок 2.6. Диаграмма фаз состояния LCOS - микродисплея с динамической светодиодной подсветкой

Такая схема может применяться для окологлазных или нашлемных дисплеев, а также для электронных видоискателей и систем ночного зрения. По отношению к оптической конструкции возможны два варианта для данной схемы. В первом варианте плоскость микродисплея расположена в зоне перед глазом наблюдателя. Для второго варианта характерно то, что плоскость микродисплея конструктивно вынесена за пределы окологлазного пространства. Модулированный микродисплеем световой поток попадает в плоскость наблюдения через систему призм. Эта схема позволяет создавать компактные конструкции микродисплейной системы типа показанного на рисунке 2.7.

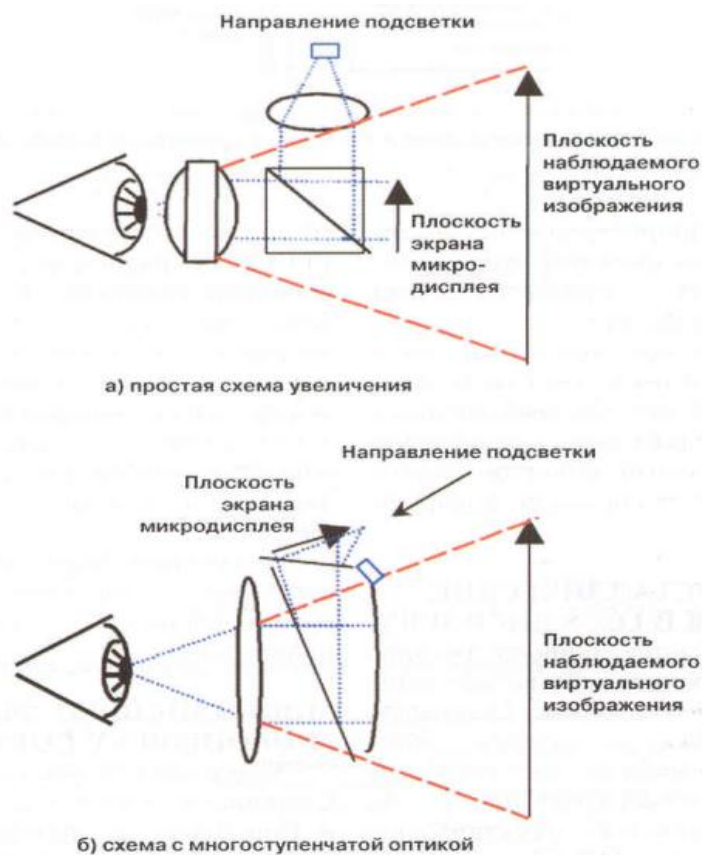


Рисунок 2.7. Оптические схемы для окологлазного микродисплея

При временной модуляции по цветам цифровая видеоинформация по трем цветовым составляющим сначала фиксируется в буферной памяти экрана, а затем последовательно во времени переписывается в кадровую память дисплея. Например, при загрузке плоскости изображения, относящейся к красной компоненте, производится подсветка красным светом, затем загружается синяя составляющая, а затем и зеленая.

Скорость записи и смены кадров достаточно велики, чтобы обеспечить нормальный видеорежим без заметных глазу нарушений. Технология известная как последовательная цветокадровая модуляция - Field Sequential Colour (FSC).

Преимущества метода FSC:

- меньший в три раза размер пиксела, следовательно, меньше и дешевле схема управления;
- нет разделения пикселей на RGB-цветные субпиксели.

Второй способ временной модуляции основан на применении цветового кодирующего диска. Данная схема обычно применяется в проекционном оборудовании. В качестве источника света применяется мощные (100...300 Вт) лампы сверхвысокого давления. Для данного способа также необходимы применение кадровой буферной видео-ОЗУ и высокой частоты кадровой развертки для работы в реальном времени без мерцания изображения. На рисунке 2.8 показана оп-

тическая схема проекционной системы с цветовым кодирующим диском и одним LCOS-модулятором.

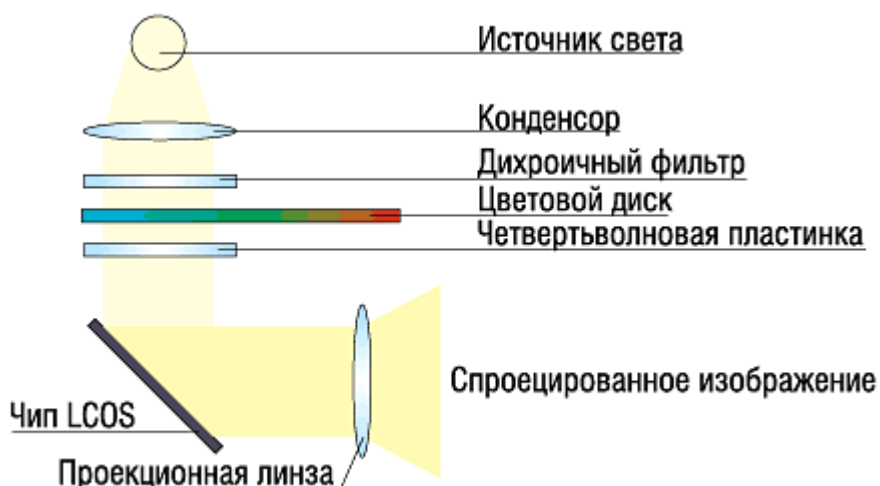


Рисунок 2.8. Оптическая схема проектора с цветовым диском

Данная схема более дешевая и может применяться в недорогих проекторах. Кодирующий диск светофильтров имеет диаметр около 50 мм. В приводе диска применяется микродвигатель. Угол поворота вала синхронизирован с разверткой микродисплея так, чтобы обеспечивалась четкая периодичность и согласованность по фазам цветовой модуляции. На рисунке. 2.9 показана топология светофильтров на диске.



Рисунок 2.9. Топология светофильтров на диске

В окологлазных микродисплеях в качестве источника подсвета используются три RGB-цветных светодиодных источника. В проекторах применяется высокоинтенсивный источник белого в комбинации с цветовым кодирующим диском.

Таким образом, при использовании пространственной модуляции меньше частота кадровой развертки, но необходимы три модулятора. А при временной модуляции достаточно одного модулятора, но при этом требуется увеличить частоту кадровой развертки изображения в три

раза. Для временной модуляции необходимо наличие буфера кадровой памяти, чтобы в реальном времени выполнять разделение видеосигналов по трем RGB-плоскостям.

Единственный вариант, который не нашел применения в случае LCOS, - наложение светофильтров непосредственно на ячейки панели, как это делается при изготовлении обычных ЖК-дисплеев. Естественно, при этом количество ячеек должно в три раза превосходить число пикселей.

2.2 Технология MEMS

2.2.1 Характеристика и виды технологии MEMS

Одной из самых распространенных технологий изготовления отражательных микродисплеев является MEMS (Micro - Electro - Mechanical - System).

Микродисплейные элементы, выполненные по технологии MEMS, представляют собой массивы модуляторов света, которые могут работать как на просвет, так и на отражение. Массивы модуляторов могут быть как двумерными (матричная структура), так и одномерными (линейка модуляторов). MEMS - модуляторы имеют подвижные или деформируемые отражающие поверхности, которые расположены на кремниевой подложке, схема управления может находиться на этой же подложке. Управляющие сигналы позволяют перемещать или деформировать отражающие поверхности в соответствии с подаваемой цифровой информацией. Изменение производится достаточно быстро для того, чтобы обеспечить соответствующее отображение видеоинформации.

В настоящее время известно пять типов дисплейных MEMS-технологий:

- DMD (Digital Micromirror Device) - разработка фирмы Texas Instruments;
- TMA (Thin - Film Micromirror Array) - разработка корейской фирмы Daewoo Electronics;
- GLV (Grating Light Valve) - лицензия принадлежит Sony, производит модуляторы фирма Silicon Light Machines;
- iMOD (Interferometric Modulator) - технология разработана фирмой Iridigm Display Corp.;
- iMODS (Integrated MEMS Optical Display System) - технология разработана фирмой Microsoft Research.

Каждая из этих технологий имеет отличительные признаки и нацелена на определенные ниши микродисплейного рынка (таблица 4).

Таблица 4 - Сравнительные характеристики дисплейных MEMS - технологий

Характеристики	Технология			
	DMD	TMA	iMOD	iMODS
Область применения	Проекционные дисплеи, проекторы	Проекционные дисплеи, проекторы	Дисплеи для мобильных приложений	Составные большеформатные дисплеи с задней подсветкой
Световая схема	На отражение	На отражение	На отражение	На просвет
Тип модулятора	Микрозеркало	Микрозеркало	Интерференционный модулятор	Шторка - затвор
Размер ячейки модулятора, мкм	80 × 80	47 × 47	25 × 25	
Разрешение (максимальный формат)	1280 × 768 пикселей	1280 × 768 пикселей	1000 точек/дюйм	50 точек/дюйм
Поддержка цвета	Последовательная покадровая модуляция по цветам	Последовательная покадровая модуляция по цветам или три отдельных модулятора	Селекция цветов на структуре iMOD	Внешние цветные фильтры

Для работы модуляторов DMD, TMA, GLV требуется сложная дорогостоящая оптика, для модуляторов iMOD не требуется никакой оптики или специальных источников подсветки или цветоразделительных фильтров. Для сравнения на рисунке 2.10 показан принцип работы описываемых дисплейных MEMS - технологий.

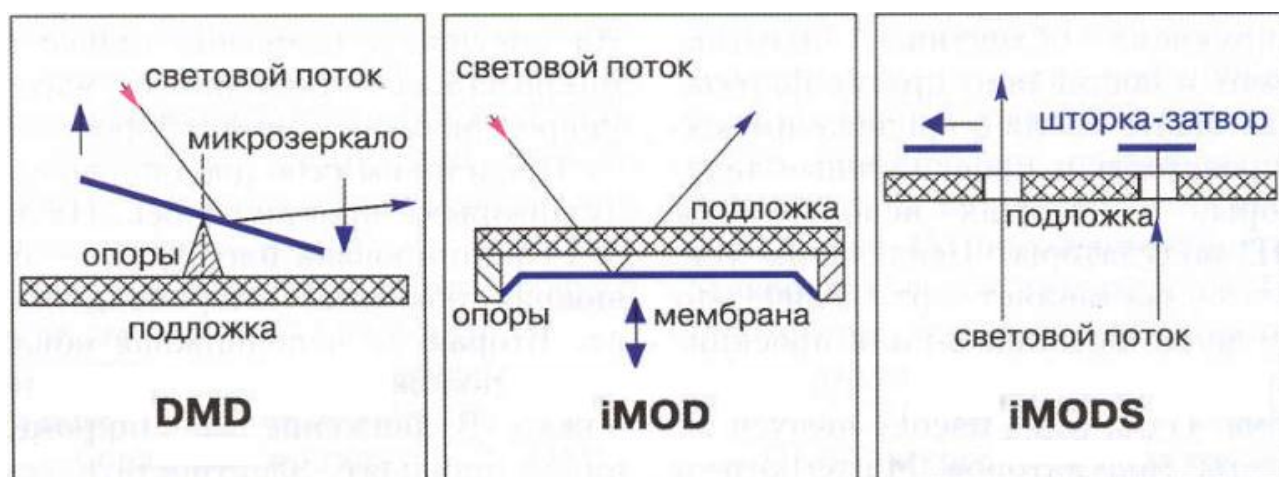


Рисунок 2.10. Сравнение некоторых дисплейных MEMS - технологий

Базовые технологические процессы формирования MEMS - структур:

- напыление пленки кремния;
- напыление пленки металла;
- селективное травление кремния;
- окисление кремния до двуоксида кремния;
- селективное травление двуоксида кремния;
- селективное травление металлических пленок.

Исходя из приведенного списка, можно сделать вывод, что в данной технологии используются те же материалы и базовые процессы, что и для производства микросхем на основе кремния.

2.2.2 Технология DMD

Идеи формирования на поверхности кремниевой подложки массива электромеханических микрозеркальных модуляторов впервые обсуждались еще в начале 80-х годов. В 1993 году был продемонстрирован опытный образец микрозеркального DMD - модулятора, а уже в 1996 году на рынке появились серийные изделия DMD. Патентованное название для данной технологии - DLP [9].

Конструкция проекционного дисплея на основе DMD

На рисунке 2.11 показана оптическая схема проекционного дисплея на основе DMD - модулятора.

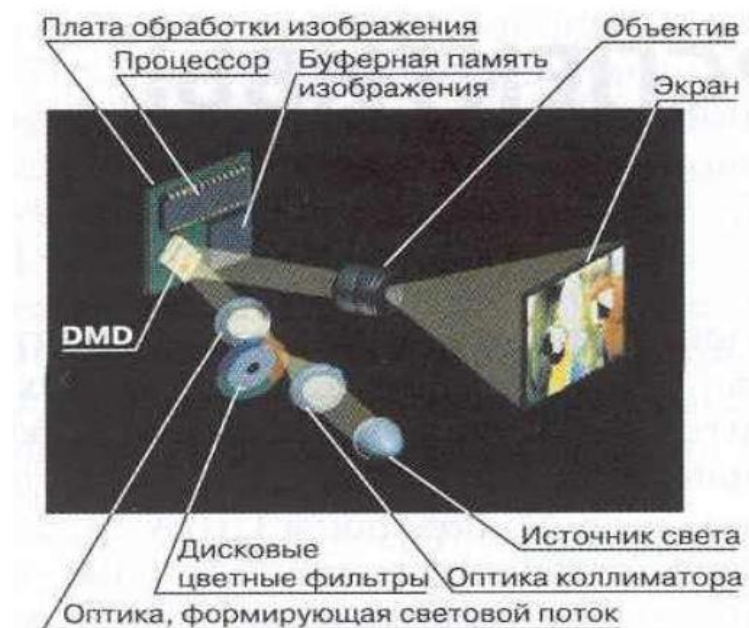


Рисунок 2.11. Принцип работы проектора

Свет проходит через коллиматор, который формирует однородный параллельный поток и направляет его на дисковый цветовой фильтр. Модуляция для каждого RGB - компонента кадра разделена во времени. Чтобы глаз не замечал мерцаний, выбрана высокая частота вращения диска, около 480 мин^{-1} . После цветного фильтра поток проходит через фокусирующую оптику и попадает на поверхность микрозеркального модулятора. Работа модулятора показана на рисунке 2.12.

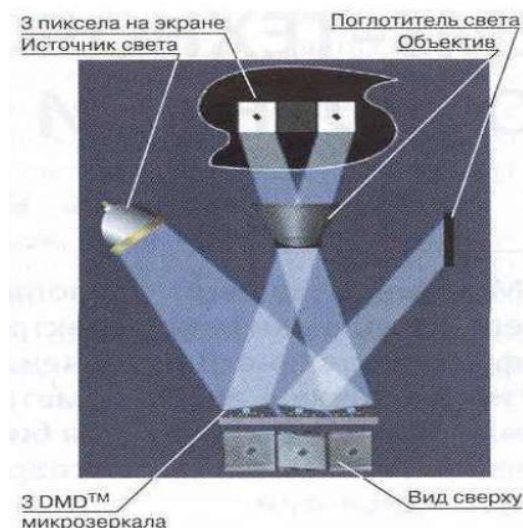


Рисунок 2.12. Световая схема работы микрозеркальных модуляторов

Промодулированный поток фокусируется в плоскость выходного объектива и направляется на экран.

Микрозеркала имеют всего два рабочих состояния. В одном состоянии свет источника направляется в плоскость объектива, а затем попадает на поверхность экрана. В другом состоянии микрозеркала направляют отраженный луч в светопоглотитель (light absorber) [10].

Архитектура DMD – модулятора

Рассмотрим устройство DMD - модулятора. Прежде всего, это механическое шарнирное устройство. На шарнире качается микрозеркало. На рисунке 2.13 показаны только два микрозеркала двумерного массива микрозеркальных модуляторов.

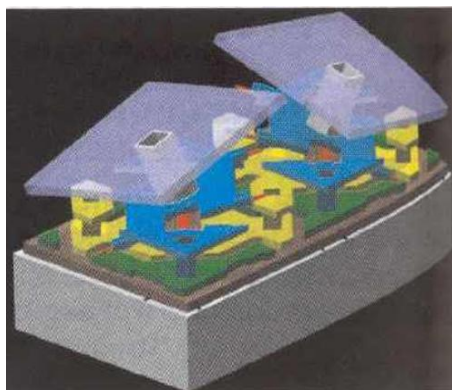


Рисунок 2.13. Конструкция DMD - модулятора

На каждый элемент приходится две опоры, между которыми прокинута ось. На этой оси сформирована плоскость - подвижная обкладка микроконденсатора. Вторая - неподвижная обкладка, расположена на кремниевой подложке. В движение эту микромеханику приводят электростатические силы.

Формирование элементов микромеханики, а также шин адресации и электродов управления осуществляется методом многостадийного напыления пленок, фотолитографии и селективного травления [7].

Несмотря на то, что главной особенностью работы микродисплеев технологии DMD является микромеханика, данные микродисплеи очень надежны, устойчивы, с большим запасом прочности могут противостоять ударам и вибрациям. За секунду зеркало совершает до нескольких тысяч поворотов. Но если проследить траекторию движения поверхности зеркала, можно заметить, что край зеркала за 5 мкс поворачивается всего на 2 мкм, с линейной скоростью около 40 см/с. Для сравнения: скорость свободно падающего листа дерева — около 1 м/с.

В настоящее время выпускается уже IV поколение приборов [2]. Внешний вид DMD - микросхемы показан на рисунке. 2.14.

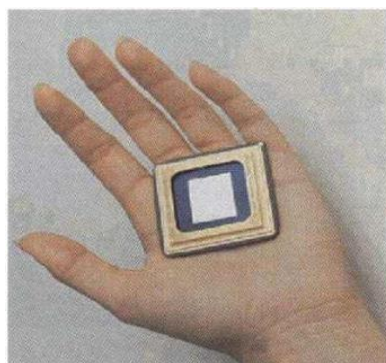


Рисунок 2.14. Микросхема DMD формата SXGA (1280 × 1024 пикселей; 1,3 млн. зеркал)

2.2.3 Технология ТМА

Этот вид MEMS - модулятора запатентован фирмой Daewoo Electronics. Работы начались в 1994 году, а промышленный выпуск модуляторов для использования в проекционном оборудовании начался в 1999. За время работ сменилось три поколения конструкции модулятора. Принцип действия ТМА аналогичен DMD, однако есть и существенные отличия. В качестве привода в ТМА используется пьезокерамическая консоль, благодаря чему этот модулятор может

обеспечивать передачу градаций шкалы серого (до 256 оттенков), в то время как DMD - модулятор имеет только два состояния - "включено" и "выключено".

Проекторы на основе ТМА обеспечивают в 10 раз большую яркость изображения, чем LCD - проекторы, и в три раза превосходят яркостью DMD - проекторы. Контраст изображения, полученного при помощи ТМА - модулятора, достигает 200:1. Апертурное отношение (fill factor) модулятора - 94%.

2.2.3.1 Конструкция ТМА - модулятора

Модулятор состоит из трех основных частей (рисунок 2.15): подвижных зеркал, консольных приводов и схемы управления на подложке.



Рисунок 2.15. Конструкция ТМА - модулятора

Механический привод модулятора состоит из двух электродов, между которыми находится слой пьезокерамики. Напряжение, приложенное между электродами, приводит к деформации трехслойного «пирога». В результате изгиба происходит поворот плоскости микрозеркала, находящегося на деформируемой поверхности привода. На кремниевой подложке находится управляющая транзисторная матрица. Каждым единичным модулятором, которому соответствует один элемент изображения, управляет отдельный транзистор.

Углу деформации консоли δ (рисунок 2.16) соответствует угол поворота плоскости микрозеркала θ .

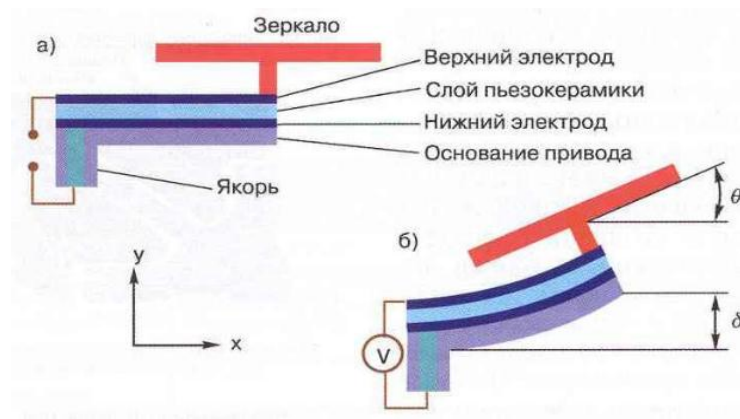


Рисунок 2.16. Принцип действия отклоняющей пьезоэлектрической системы

Размер микрозеркал (рис. 2.17) 97×97 мкм для формата VGA 47×47 мкм - для формата XGA.

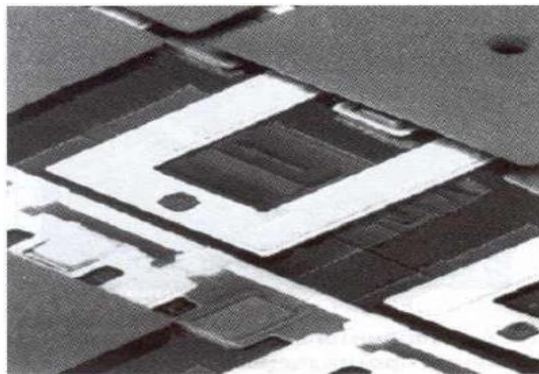


Рисунок 2.17. Массив ТМА - модуляторов

Диапазон управляющих напряжений - $0 \dots 10$ В. Угол изгиба привода зеркала пропорционален напряжению. Быстродействие механической системы модулятора - 25 мкс.

Формирование элементов конструкции ТМА производится на основе тех же базовых технологических процессов, что используются для любых MEMS - устройств. Износостойкость модулятора $0,5 \times 10^{10}$ циклов (10 лет эксплуатации).

2.3.3.2 Принцип работы ТМА-проектора

В проекционных ТМА - системах могут использоваться две световые схемы. В первом варианте применяется три модулятора - по одному для каждого основного цвета. Во второй схеме может применяться всего один ТМА - модулятор, а световые потоки цветов RGB должны модулировать последовательно во времени. Для разделения по цветам применяется цветовой диск. На рисунке 2.18 показана оптическая система проектора к основе ТМА - модулятора.

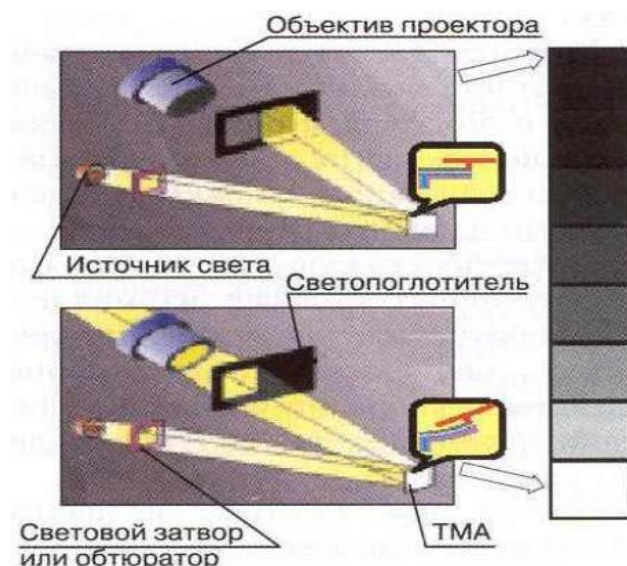


Рисунок 2.18. Оптическая схема проектора на основе ТМА

Световой поток от мощного источника (ксеноновой лампы) проходит через управляемый световой затвор и попадает на плоскость ТМА - модулятора. Затвор используется для блокировки потока света во время перехода зеркал модуляторов из одного состояния в другое, точно так же, как это делается в традиционных кинопроекторах для перекрывания света на время смены кадров пленки. При отсутствии напряжения нет деформации консоли, и световой поток, отраженный от микрозеркал модулятора, не попадает на плоскость выходного объектива. Характеристики типового ТМА - проектора приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Характеристики типового ТМА - проектора

Параметр	Величина
Разрешение, пиксел	1024 × 768
Размер пиксела, мкм	47 × 47
Размер панели по диагонали, дюймов	2,54
Апертура, %	94
Эффективность модулятора, %	21
Яркость, люмен	5000
Контраст	200:1
Источник света	Ксеноновая лампа 1 кВт

2.2.4 Технология GLV

Другим типом MEMS - устройств является Grating Light Valve (GLV - решетчатый световой затвор). В отличие от DMD или ТМА, это не двумерный, а одномерный (линейный)

модулятор. Число элементов в строке - до 1080. Цветное изображение формируется поочередной модуляцией во времени RGB - лучей. Конструкция GLV - модулятора гораздо проще, чем у двух предыдущих MEMS – технологий (рисунок 2.19). Сейчас GLV - модуляторы используются в ряде серийных моделей проекционных телевизоров и проекторов, а также в специализированной аппаратуре для модуляции лазерных лучей.

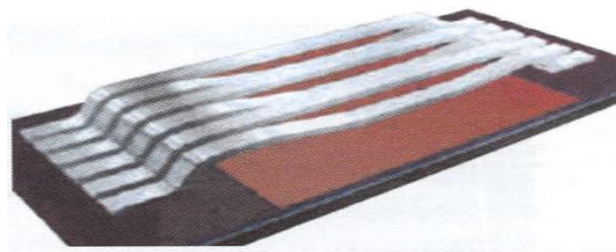


Рисунок 2.19. Конструкция GLV – модулятора

GLV - модулятор состоит из ряда параллельных микрополосок, сформированных из молибденовой пленки в виде мостиков так, что они образуют микроконденсаторную структуру [4]. Длина полоски - 100 мкм, ширина - 3 мкм, а толщина - 0,1 мкм. К каждой полоске подходит свой сигнал управления. Общий электрод расположен на подложке под мостиками - полосами. Если прикладывать электрический потенциал к полоске, то под действием электростатических сил она будет деформироваться и прогибаться. Когда полоска притянута в нижнее положение, падающий свет рассеивается и его прохождение блокируется в проекционной системе. Обычно используется период сканирования 60 Гц. Полоски решетки могут колебаться с частотой до 100 МГц. Принцип сканирования иллюстрирует рисунок 2.20.



Рисунок 2.20. Принцип сканирования линейкой GLV

Главное достоинство технологии GLV заключается в том, что кристалл - модулятор обеспечивает достаточно высокое разрешение при достаточно низкой себестоимости. Например, изображение форматом 1920×1080 пикселей может быть получено при сканировании 1080 -

пиксельной GLV - линейки. Если использовать технологию DMD, то в кристалле должно быть задействовано около 2 млн. элементов - микрозеркальных модуляторов. Другое достоинство GLV-технологии - высокая, фактически без зазоров, плотность расположения элементов, что обеспечивает высокий коэффициент модуляции.

2.2.5 Технология iMOD

Совсем недавно был разработан новый путь использования микромеханики, который может в ближайшее время стать альтернативой LCD -технологии в определенных секторах портативных приложений. Базовый элемент нового дисплея - интерференционный модулятор (Interferometric modulator, или iMOD). Для синтеза цветного изображения используется эффект оптической интерференции - явления, которое создает радужные пятна на масляных пленках или прекрасные узоры на крыльях южноамериканской тропической бабочки Morpho. Элемент iMOD использует явление интерференции в микроскопической структуре для того, чтобы создавать цвет так же, как это делается в природе (рисунок 2.21). Поскольку модулятор не содержит цветных пигментов, воспроизводимые им цвета отличаются особой чистотой и не деградируют со временем. Логика управления iMOD - элементами полностью совместима с логикой управления LCD - элементами.

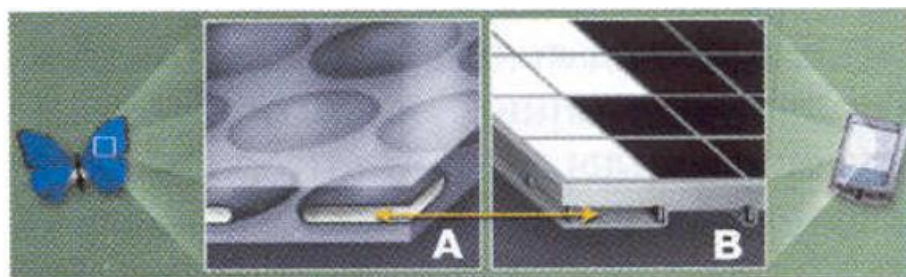


Рисунок 2.21. Сравнение структур крыла бабочки и iMOD - дисплея

(А - двухслойные чешуйки на крыльях бабочки Morpho,

В - структура модуляторов iMOD)

Модулятор состоит из металлической мембраны, тонкой изолирующей пленки и прозрачной подложки (чаще всего из стекла). Пленка на стекле и металлическая мембрана действуют как два зеркала в оптическом резонаторе. Оптическое рассеяние между плоскостями зеркал определяет, какие световые волны будут интерферировать друг с другом так, чтобы отразиться, а какие будут полностью поглощены в результате интерференции.

Мембрана (металлическая пленка) подвешена на диэлектрических столбиках опоры. Вся структура создается стандартными методами напыления, фотолитографии, окисления кремния и

селективного травления пленки металла и двуокиси кремния. Основой для формирования микро-механической конструкции является пленка кремния. Одно из достоинств iMOD - ячейки - наличие эффекта памяти, который обусловлен участком гистерезиса на передаточной характеристике (гистерезис возникает оттого, что механические силы упругости мембраны линейно зависят от расстояния, в то время как электростатические нелинейны). Если управляющее напряжение сохранять на уровне 3...5 В, то мембрана будет находиться в фиксированном состоянии без потребления тока. Эквивалентная электрическая схема единичного модулятора - конденсатор переменной емкости, который образован двумя обкладками и слоем диэлектрика (воздушным зазором) между ними. Одна из обкладок - пленка на стеклянной подложке - неподвижна; другая - подвижная пленочная мембрана (рисунок 2.22).

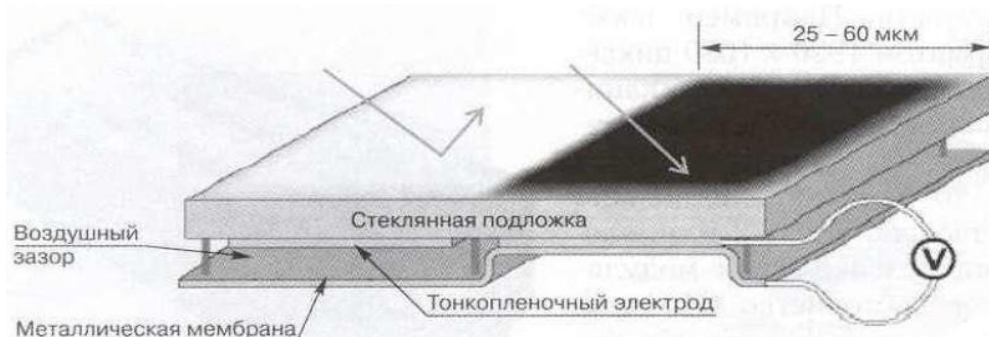


Рисунок 2.22. Структура iMOD - ячейки

Дисплей, выполненный по iMOD технологии, содержит массив модуляторов с зазорами и ортогональную систему шин адресации. Активная площадь модуляторов по отношению ко всей площади дисплея (filling factor) - около 86%. Разделение модуляторов по цвету достигается в процессе изготовления. Формирование фиксированного зазора, от которого зависит цвет ячейки, достигается использованием вспомогательных спейсеров, которые затем удаляются. Эффект интерференции возникает из-за того, что световые волны отражаются на границе двух сред и взаимодействуют между собой. В тех случаях, когда длина волны кратна зазору, происходит усиление данной волны и усиление данного цвета. Световые волны, имеющие иную длину волны, будут полностью погашены или значительно ослаблены. Интерференционный модулятор iMOD работает за счет точной подстройки зазора между отражающими поверхностями.

Когда к обкладкам пленок, образующих конденсатор, прикладывается напряжение, электростатические силы заставляют обкладки притягиваться или отталкиваться друг от друга. Так как iMOD - пикселы являются электростатической системой, которая не потребляет тока в статическом состоянии, дисплей на основе таких ячеек не требует регенерации неподвижного изображения и не потребляет при этом энергии. Оптическая система отражает гораздо больше света, чем

LCD - ячейка, что дает комфортное чтение изображения и не требует дополнительного источника подсветки. Теоретически размеры пиксела iMOD могут составлять 30×40 мкм.

Диаграмма переходов модулятора состоит из 4 фаз. Переход в каждое из двух устойчивых состояний состоит из двух фаз. Первая из них - фаза активного движения мембраны под воздействием приложенной электростатической силы. Вторая - инерционное движение мембраны в устойчивое положение под действием остаточного механического напряжения (инерционная доводка). Время перехода - около 25 мкс. Такое малое время отклика гарантирует практически полное отсутствие артефактов и смазывания при демонстрации быстро меняющихся изображений (для сравнения: типовое время оптического отклика быстродействующей STM - ячейки - 10...15 мс).

Адресация элементов изображения осуществляется построчной прогрессивной разверткой. Амплитуда импульсов выбора строки - около 11 В; на шинах данных - не более 5 В.

Коэффициент отражения iMOD - элемента составляет от 30 до 42% во всем диапазоне видимого спектра (для сравнения: коэффициент отражения лучших образцов LCD отражательного типа — от 4 до 17%; 50% светового потока теряется на поляризаторе).

В существующих дисплейных структурах каждый пиксел содержит десятки или даже сотни iMOD - модуляторов размером 40×30 мкм. Дисплейные системы второго поколения iMOD используют мембрану больших размеров на столбиках, что позволило увеличить срок жизни мембраны и повысить filling factor до 95 %.

2.2.6 Технология iMODS

Несмотря на название данной технологии, которое схоже с iMOD, область применения дисплейной технологии iMODS существенно отличается. Модуляторы iMODS предназначены для проекционного оборудования. Дисплейные стены, панорамные дисплеи, проекционные телевизоры с диагональю более одного метра - вот те приложения, в которые намерена вжиться и конкурировать новая технология. Одной из выдающихся технологии iMODS является то, что изображение может проецироваться с довольно большим разрешением (достигающим 3000 элементов по вертикали или по горизонтали).

Модуляторы iMODS представляют собой двумерный массив, состоящий из крошечных световых затворов (рисунок 2.23). В кремниевой подложке вытравливаются сквозные микроотверстия. В зоне над отверстием формируется механический микрозатвор, имеющий два состояния. В одном из них свет пропускается, а в другом нет. Предварительно при помощи массива микролинз свет должен быть сфокусирован точно в отверстия модуляторов.

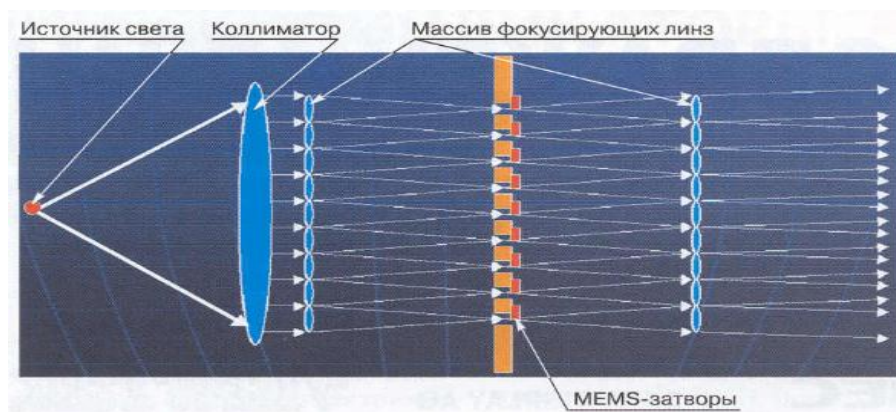


Рисунок 2.23. Принцип работы проекционной технологии iMODS

Второй особенностью данной технологии является возможность создания дисплейных микромодулей для систем задней проекции. Разрешение элементарного модуля может быть 50×50 . В проекционной системе данных модулей может быть сколько угодно много. Сочетание и количество микромодулей дает возможность произвольно создавать бесшовные системы с любым форматом экрана (рисунок 2.24).

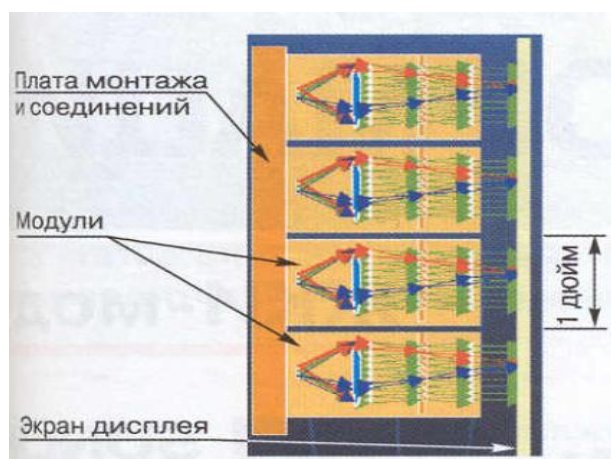


Рисунок 2.24. Бесшовная модульная структура наборных дисплеев большого формата

3 Выводы

21 век - время мобильности, оперативности и высоких технологий. В производство включаются самые различные радиоэлектронные устройства, требующие нестандартных средств отображения информации. Привычные нам электронно-лучевые трубки, жидкокристаллические дисплеи и плазменные панели уже не в полной мере могут удовлетворить требованиям миниатюрности, износостойкости, показателям качества. Микродисплейные модули дают возможность строить на их основе устройства самых различных типов. Производство микродисплейных устройств в мире ежегодно растет, на симпозиуме Общества по информационным дисплеям SID (Society for Information Display), который состоялся в июне в Калифорнии, прозвучала фраза о том, что в 1999 г. началась эра микродисплеев. Вполне возможно, что к концу десятилетия микродисплеи появятся в ряде потребительских товаров, а доходы от их продаж существенно увеличатся. По известным прогнозам, рынок микродисплеев сегодня оценивается в 700 млн. долл. К 2010 г. он возрастет до 2 млрд. долл. Поэтому, данная тема заслуживает серьезного изучения.

Рассмотрев различные технологии изготовления и функционирования микродисплеев просветного типа, можно констатировать тот факт, что сами микродисплейные модули - достаточно сложные, высокотехнологичные и трудоемкие в производстве устройства. Каждая из технологий производства микродисплеев разрабатывалась высококвалифицированными зарубежными специалистами и защищена патентом. До недавнего времени на рынке микродисплеев работали такие компании, как Three-Five Systems, Kopin, DisplayTech, Silscape, Reflection Technology, MicroDisplay и Planar Systems. Сейчас наступило время альянсов: Motorola и Fujifilm Microdevices сотрудничают с Kofin; Hewlett-Packard - с DisplayTech; Planar Systems - с InFocus; Hitachi - с Texas Instruments и т. д. В борьбу вступили крупнейшие компании, а это значит, что рынок микродисплеев действительно растет. В иностранных фирмах, специализирующихся на производстве мик-

родисплеев, процесс технологически отлажен, и конкурировать отечественным предприятиям радиоэлектронной промышленности в выпуске микродисплейных модулей с зарубежными предприятиями было бы нецелесообразно.

Интерес для производства в Республике Беларусь представляют законченные устройства отображения информации на основе отражательных микродисплеев. Наши предприятия могут занять нишу в производстве нестандартных и специализированных проекционных устройств. Такими могут быть устройства специального и военного назначения: шлемы виртуальной реальности, системы ночного видения и тепловидения, установки для оптического контроля, системы отображения информации для автоматизированных комплексов управления войсками и другие. Это не будет гарантировать возможность выпуска устройств отображения информации большими партиями, как обстоят дела в зарубежных компаниях, однако, выпуская продукцию специального назначения, можно обеспечить себя стабильной клиентурой. Дополнительная к микродисплейному модулю оптико-механическая часть может быть вполне качественно изготовлена на отечественных предприятиях.

В связи с вышеизложенным можно отметить, что отечественным предприятиям радиоэлектронной промышленности стоит обратить внимание на возможность производства законченных устройств отображения информации на базе отражательных микродисплеев.

Заключение

В данной научной работе были исследованы и детально описаны микродисплеи отражательного типа, а также общие моменты, касающиеся построения микродисплейных устройств отображения информации.

На основе проделанной работы можно сделать обобщающий вывод о том, что микродисплеи отражательного типа - наиболее важный и на данном этапе незаменимый элемент для устройств отображения информации проекционного типа (проекторы, проекционные телевизоры), а также тот принципиальный узел, который может повлиять на скорейшее развитие персональных виртуальных устройств отображения информации.

В отношении методов изготовления, сейчас доминируют две популярные технологии - LCOS и MEMS со своими подвидами и особенностями. Микродисплеи, производимые по обеим этим технологии имеют свои достоинства и недостатки, которые формируют их нишу на рынке микродисплейных устройств и их распространенность.

Можно сделать вывод о том, что в дальнейшем микродисплеи отражательного типа и устройства на основе них будут развиваться и дальше в направлении улучшения характеристик отображения изображений и миниатюризации.

У предприятий Республики Беларусь есть определенный потенциал в возможном выпуске устройств отображения информации проекторного типа. Данные устройства востребованы в различных организациях, и их выпуск может приносить значительную прибыль.

Список использованной литературы

Периодические издания

- 1 Смирнов А. Микродисплеи: современное состояние и перспективы развития / А. Смирнов // Электронные компоненты. 2001.. – №№2, 3. – С. 70-76.
- 2 Самарин, А.В. ЖК-микродисплеи, использующие технологию LCOS / А.В. Самарин // Электронные компоненты. 2005.. – №6. – С. 1-6.
- 3 Самарин, А.В. ЖК-микродисплеи, использующие технологию LCOS / А.В. Самарин // Электронные компоненты. 2006.. – №4. – С. 106-111.
- 4 Самарин, А.В. Дисплейные MEMS-технологии. Современное состояние и перспективы развития / А.В. Самарин // Электронные компоненты. 2003.. – №3. – С. 45-53.

Интернет-ресурсы

- 5 <http://www.radioland.net.ua/>
- 6 <http://www.integris.ru/>
- 7 <http://www.coda.ru/>
- 8 <http://www.viking.ru/>
- 9 <http://itc.ua/>
- 10 <http://www.lcdinfo.ru/>

Книги и пособия

- 11 Жидкокристаллические дисплеи. А.В. Самарин. М.: СОЛОН-Р, 2002
- 12 LCOS Microdisplay Technology and Applicatinons. R.L. Melcher, Chief Technology Officer. Three-Five Systems, Inc.
- 13 LCOS-MicroDisplay XGV 0901 0.9 inch XGA. Taiwan Micro Display Corp.
- 14 Microdisplays: Development and Applications. James Anderson. Hana Microdisplay Technologies, Inc.
- 15 A review of microdisplay technologies. Ian Underwood. The University of Edinburgh.