

Микродисплеи на основе органических светодиодов МДО 01

Николай Усов, Олег Грачёв, Борис Кондрацкий, Олег Котовский, Александр Новичков, Александр Нуриев, Александр Чередниченко (Москва)

В статье описаны первые серийно выпускаемые отечественные микродисплеи МДО 01, построенные на основе органических светодиодов. Приведены конструктивно-технологические особенности и характеристики разработанных микродисплеев.

ВВЕДЕНИЕ

Технологии устройств на основе органических светодиодов (ОСИД) активно развиваются в последние годы и идут на смену существующим технологиям в системах отображения информации [1–3]. ОСИД-дисплеи обладают рядом преимуществ перед жидкокристаллическими, плазменными и другими видами плоскостных дисплеев: сочные, яркие цвета, быстрый отклик (менее 1 мкс), высокая яркость и контрастность, широкий угол обзора, меньшая потребляемая мощность (отсутствует подсветка светоизлучающих слоёв), низкое рабочее напряжение, широкий температурный диапазон функционирования (до -45°C).

В конце прошлого столетия возникла и быстро развивается новая область электронной техники, связанная с микроминиатюрными устройствами отображения информации – микродисплеями (МД) [4–6]. Микродисплеи – это наиболее эффективные индивидуальные средства отображения информации (когда дисплей расположен около глаза пользователя). Их отличает малый вес, небольшие размеры и низкое энергопотребление, высокое разрешение, яркость и контрастность изображения, безопасность применения, сохранение работоспособности при низких темпе-

ратурах окружающей среды. Благодаря этим качествам микродисплеи могут устанавливаться:

- в наголовные (нашлемные) видеомодули, входящие в экипировку сотрудников спецподразделений, военнослужащих, специалистов различного рода, работающих в сложных условиях;
- в средства визуализации для проведения микрохирургических операций;
- в очки виртуальной реальности для комплексных тренажёров;
- в устройства визуализации и видеискатели тепловизоров, фото- и видеокамер;
- в информационно-развлекательное оборудование.

Создание первых отечественных серийных микродисплеев на основе ОСИД потребовало напряжённой работы коллектива физиков, химиков, конструкторов и технологов, в том числе авторов статьи.

УСТРОЙСТВО И ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОДИСПЛЕЕВ

Дисплеи МДО 01 ПЦ (полноцветные) и МДО 01 МБ (монохромные) – это активно-матричные унифицированные микродисплеи на основе ОСИД. Они предназначены для воспроизведения буквенно-цифровой и графиче-

ческой информации в электронной аппаратуре.

Микродисплеи имеют аналоговые RGB и монохромный композитный входы, а управление осуществляется по шине I²C. Габариты микродисплея МДО – $19,8 \times 15,2 \times 5,0$ мм, размер светящегося поля – $12,0 \times 9,0$ мм, количество пикселей – 800×600 , размер пикселя – $15,0 \times 15,0$ мкм. Масса микродисплея – не более 2 г. Основные параметры и характеристики микродисплеев приведены в таблице 1.

Микродисплей (см. рис. 1) состоит из основания, кремниевой микросхемы управления и светоизлучающей матрицы на основе ОСИД. Основание представляет собой печатную плату, на которой смонтированы вспомогательные электронные компоненты (конденсаторы, сопротивления) и кварцевый резонатор, который выдаёт частоту синхронизации 120 МГц для микродисплея и через внутренний делитель подаёт синхросигналы определённой частоты на каждый блок управления. На плате расположен также 30-контактный разъём для подключения МД к оборудованию.

Для защиты матрицы от внешних воздействий используется прозрачная крышка из стекла, на внутреннюю поверхность которой в полноцветных микродисплеях нанесены светофильтры, задающие цвет пикселя на экране. Для монохромного чёрно-белого микродисплея светофильтры не используются.

Для сопряжения микродисплея с глазом человека необходимо использовать специальную оптическую систему, например, показанную на рисунке 2.

Активно-матричная схема управления микродисплея, приведённая на рисунке 3, выполнена по КМОП-технологии с проектными нормами 0,35 мкм (за исключением кварцевого резонатора).

Входной буфер имеет три входных канала для приёма RGB-видеосигналов и вход для монохромного композитного видеосигнала. Входные сигналы R, G и B являются связанными по посто-



Рис. 1. Внешний вид микродисплея: а – фронтальная сторона; б – тыльная сторона

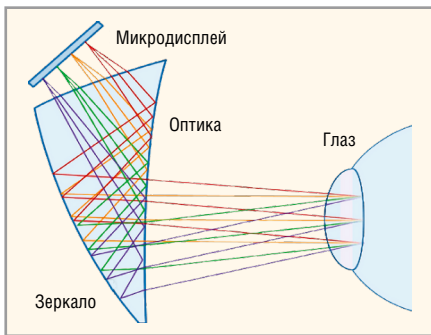


Рис. 2. Оптическая система на основе призмы для сопряжения микродисплея со зрительной системой человека

явному току аналоговыми сигналами с внешними тактовыми сигналами и сигналами вертикальной и горизонтальной синхронизации, совместимыми со стандартом VESA VSIS. Для сигналов, поступающих по входам R, G и В, предусматривается прогрессивная развёртка (как для полноцветного, так и монохромного режима).

Специальный композитный монохромный видеовход (MONO) совместим с сигналами, соответствующими стандартам SMPTE-170M и PAL, и предназначен только для монохромных чересстрочных видеосигналов. В случае применения монохромного режима при использовании RGB-входов, сигналы от этих входов преобразуются в монохромный сигнал, который поступает на все три канала данных одновременно.

Монохромный композитный или RGB-видеосигналы поступают в аналого-цифровой преобразователь (АЦП) входного буфера, где преобразуются в цифровые сигналы, подаваемые в формирователь данных (формирователь строчной развёртки). В случае использования монохромного композитного видеосигнала блок АЦП выделяет также синхроимпульсы и подаёт их во временной контроллер.

Формирователь данных содержит сдвиговый регистр, устройство выборки и хранения, RGB-переключатель, 8-битовый ЦАП с гамма-коррекцией и аналоговый буфер.

Формирователь строчной развёртки содержит двунаправленный сдвиговый регистр для обеспечения развёртки изображения сверху вниз или снизу вверх.

Через последовательный интерфейс управления со стороны внешнего микроконтроллера производится выбор режимов работы микродисплея. Схема управления микродисплеем

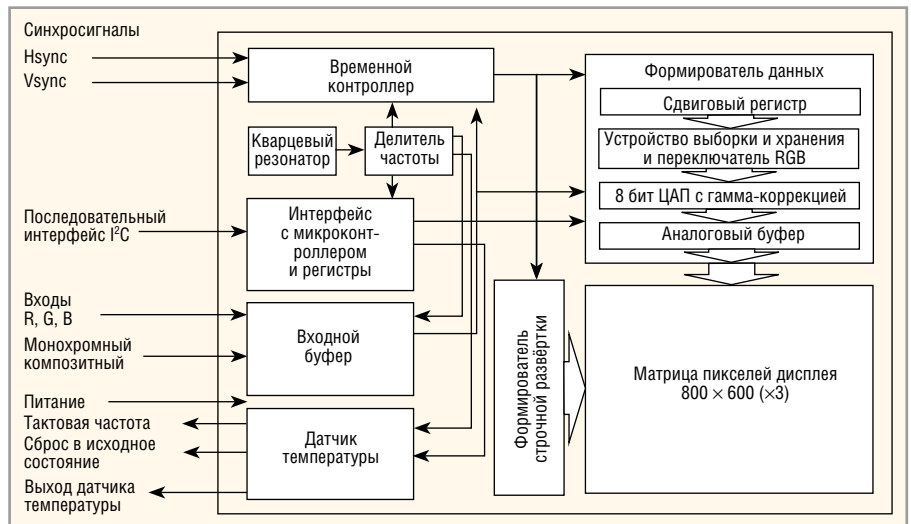


Рис. 3. Функциональная схема микродисплея

Таблица 1. Основные параметры и характеристики микродисплеев МДО

Наименование параметра, единица измерения	Наименьшее значение	Номинальное значение	Наибольшее значение
Количество элементов отображения, пиксель	–	800 × 600 (×3)	–
Яркость в белом цвете, кд/м ² :			
МДО 01 ПЦ	70	150	–
МДО 01 МБ	150	400	–
Неравномерность яркости свечения микродисплея в белом цвете, %	–	–	15
Координаты цветности в белом цвете, CIE:			
МДО 01 ПЦ	0,27; 0,29	0,32; 0,34	0,37; 0,39
МДО 01 МБ	0,27; 0,29	0,32; 0,34	0,37; 0,39
Яркостной контраст, отн. ед., не менее	100 : 1	–	–
Количество градаций яркости	–	256	–
Ток по источнику питания аналогового и логической частей схемы управления МД, мА	–	–	130
Ток по источнику питания светоизлучающей матрицы МД, мА	–	–	20
Ток по источнику питания смещения МД, мА	–	–	20




МИКРОДИСПЛЕЙ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СВЕТОДИОДОВ



МДО 01

СДЕЛАНО В РОССИИ

- Формат изображения: 800×600×(3)
- Диагональ экрана: 15 мм
- Яркость в белом цвете, кд/м²:
МДО 01МБ >150, МДО 01ПЦ >70
- Видеовходы:
аналоговые R,G,B: 0...7 В
монохромный композитный: 0...1 В
- Яркостной контраст: >100:1
- Рабочий диапазон температур: –40...+55°С
- Габаритные размеры: 19,8×15,2×5 мм

www.cyclone-jsc.ru / info@cyclone-jsc.ru / marketing@cyclone-jsc.ru

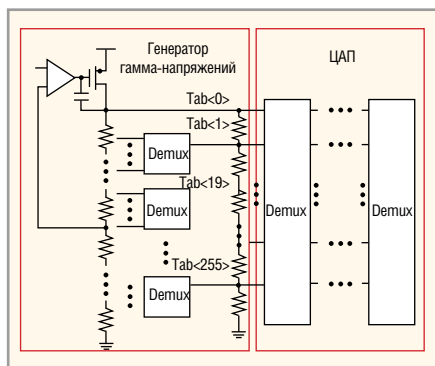


Рис. 4. Функциональная схема генератора гамма-напряжений и ЦАП

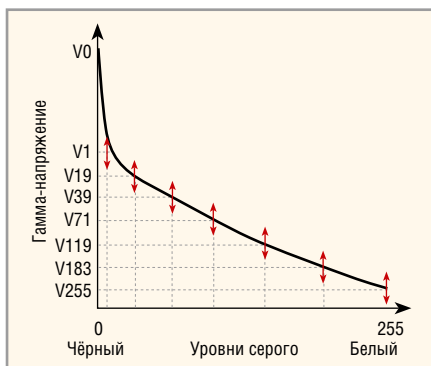


Рис. 5. Зависимость напряжений гамма-генератора от значений уровней серого

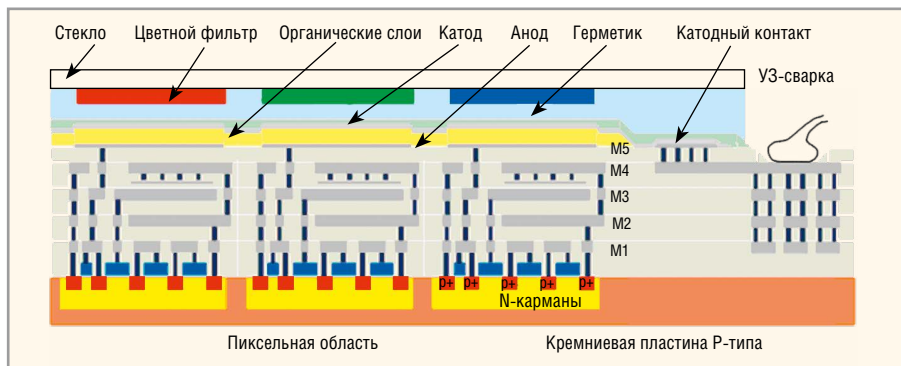


Рис. 6. Строение пиксельной области полноцветного микродисплея

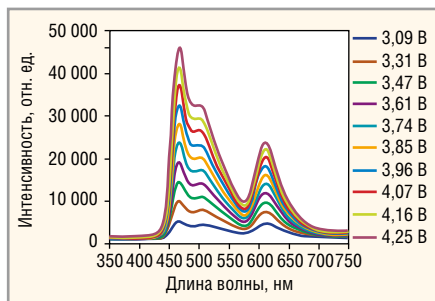


Рис. 7. Спектры излучения монохромного микродисплея при разных значениях напряжения питания анода

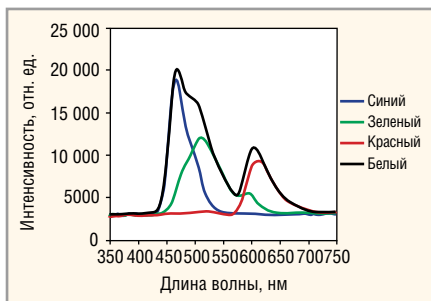


Рис. 8. Спектры излучения белого, красного, зелёного и синего цветов свечения полноцветного микродисплея

Таблица 2. Режимы работы микродисплеев

Режим*	Частота	Формат изображения	
SVGA 800 × 600	H	37,879 кГц	800 пикселей
	V	60,317 Гц	600 строк
	P	40,000 МГц	–
SVGA 800 × 600	H	47,348 кГц	800 пикселей
	V	50 Гц	600 строк
	P	33,333 МГц	–
SMPTE-170M 640 × 480	H	15,748 кГц	640 пикселя
	V	30 Гц, чересстрочный	240 строк
	P	12 МГц	–
PAL 768 × 576	H	15,625 кГц	768 пикселей
	V	25 Гц, чересстрочный	288 строк
	P	15 МГц	–

* H – горизонтальная (строчная) развертка, V – вертикальная (кадровая) развертка, P – пиксельная развертка; полярность синхроимпульсов (H_{sync} и V_{sync}) должна быть отрицательной, согласно стандарту VESA DMT.

содержит следующие регистры: регистр управления режимами работы микродисплея, регистры гамма-коррекции, регистры управления смещением красного, зелёного, синего и монохромного входных сигналов, регистр управления работой датчика температуры. Программирование регистров производит внешний управляющий микроконтроллер. Для этих целей можно использовать любой микроконтроллер с интерфейсом I²C, выполненным аппаратно или программно. Как правило, загрузка режимных регистров производится всего один раз при включении питания, за исключением режима температурной коррекции, о котором будет сказано далее. Режимы работы микродисплея приведены в таблице 2.

Для управления кривой яркости пикселей ЦАП формирователя данных объ-

единён с генератором гамма-напряжений (см. рис. 4). На выходе генератора можно получить семь различных значений напряжения (см. рис. 5), которые задаются значениями уровней оттонов серого (1, 19, 39, 71, 119, 183, 255). Последние записываются в режимные регистры гамма-коррекции через линию I²C. Светоизлучающая матрица микродисплея содержит 800 × 600 пикселей. Каждый пиксель имеет размер 15 × 15 мкм. Цветной пиксель состоит из трёх RGB-субпикселей размером 5 × 15 мкм. Субпиксель представляет собой светодиод белого цвета. Строение пиксельной области полноцветного микродисплея с основными элементами представлено на рисунке 6.

Спектры излучения монохромных и полноцветных МД показаны на рисунках 7 и 8. Как видно из рисунка 7, форма кривой спектральной характеристики монохромного МД в диапазоне рабочих напряжений V_{AN} сохраняется. При этом яркость излучения меняется с изменением V_{AN} . Форма спектральной характеристики белого света полноцветного МД на рисунке 8 повторяет спектральную характеристику монохромного МД с уменьшением интенсивности излучения из-за поглощения света в светофильтрах.

Функциональная схема субпиксельной ячейки представлена на рисунке 9. Управление светодиодом субпикселя производится генератором тока на основе р-канальных МОП-транзисторов, включённых в анодную цепь светодиода. Свет, излучаемый светодиодом, пропорционален плотности протекающего через него тока. Катоды всех светодиодов матрицы соединены вместе и подключены к источнику V_{COM} .

Яркость микродисплеев зависит от температуры (см. рис. 10). Изменение яркости при изменении температуры можно компенсировать изменением анодного напряжения, используя типовые зависимости, приведённые на рисунке 11. Регулирование V_{AN} в зависимости от температуры необходимо потому, что срок службы органического светодиода при увеличении яркости сокращается [8, 9]. На рисунке 12 для примера показано уменьшение яркости дисплея в ходе наработки при температуре +55°C.

Для контроля температуры в микродисплей встроен датчик температуры, функциональная схема которого приведена на рисунке 13. Датчик состоит из чувствительной к темпера-

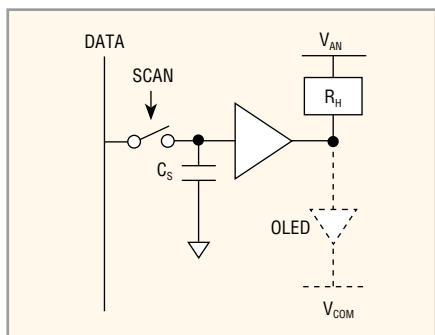


Рис. 9. Функциональная схема субпиксельной ячейки

туре транзисторной схемы и АЦП. Сигнал с транзисторной схемы поступает в АЦП, где преобразуется в цифровой сигнал и поступает на выходной разъём микродисплея. Выходной сигнал с датчика температуры T_{OUT} представляет собой последовательный 8-битовый цифровой сигнал, который привязывается к тактовой частоте T_{CLK} . Начало

выборки данных определяется сигналом T_{RST} . Первым выбирается старший значащий бит (MSB). Тактовая частота (выход датчика температуры T_{CLK}) используется внешним контроллером для выборки сигнала T_{OUT} . Линия I²C используется для калибровки датчика температуры.

Используя возможности уменьшения яркости микродисплея путём уменьшения анодного напряжения, можно значительно продлить срок службы микродисплея при повышенных температурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ghosh A., Van Slyke S. Information Display. 2006. V. 22. №2.
2. Peng D.Z., Hsu H.L., Nishikawa R. Information Display. 2007. V. 23. №2.
3. Хайнц P. Органические светодиоды для дисплеев и освещения. Светотехника. 2006. №5.

4. Armitage D., Underwood I., Wu S.-T. Introduction to Microdisplays. John Wiley & Sons, Ltd. 2006.
5. Howard W.E., Prache F. Microdisplays Based Upon Organic Light – Emitting Diodes. IBM J. RES. & DEV. 2001. V. 45. №1.
6. Самарин А.В. ЖК микродисплеи, использующие технологию LCOS. Электронные компоненты. 2005. №2, 3.
7. Усов Н.Н. Перспективы применения органических светодиодов для систем отображения информации и освещения. Светотехника. 2011. №5.
8. Fery C., Racine B., Vaufrey D., Doyeux H., and Cina S. Physical Mechanism Responsible for the Stretched Exponential Decay Behavior of Aging Organic Light-Emitting Diodes. Applied Physics Letters. 2005. V. 87. 213502.
9. Кондрацкий Б.А., Котовский О.Г., Новиков А.А., Усов Н.Н. Конструктивно-технологические особенности органических светодиодов и приборов на их основе. Нанотехника. 2013. №4 (36).

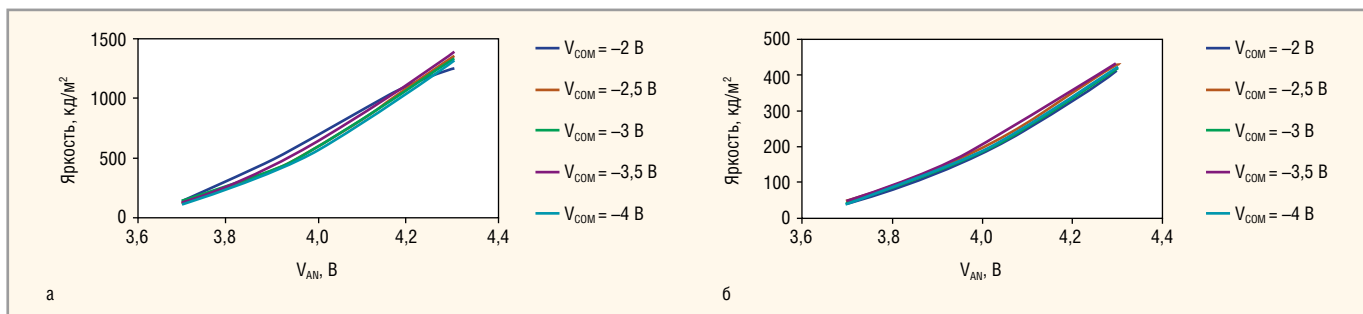


Рис. 10. Типовая зависимость яркости микродисплеев от V_{AN} при различных напряжениях V_{COM} : а – монохромных; б – полноцветных

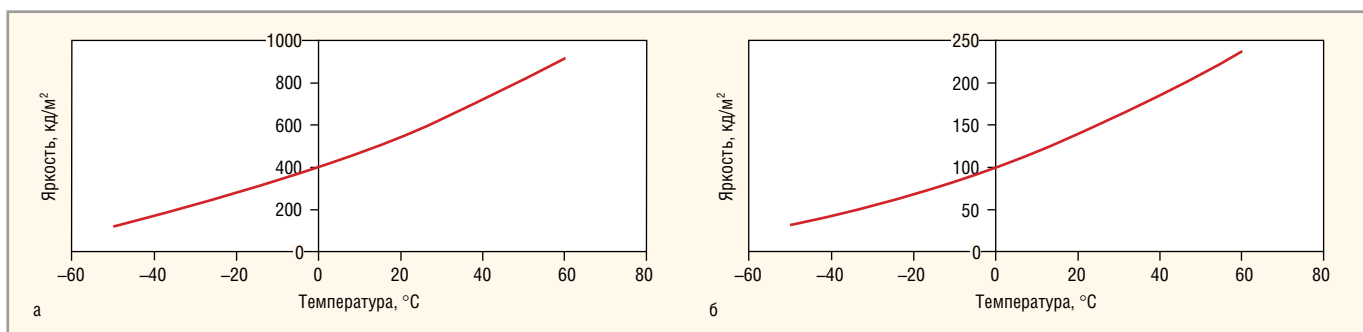


Рис. 11. Типовая зависимость яркости микродисплеев от температуры: а – монохромных; б – полноцветных

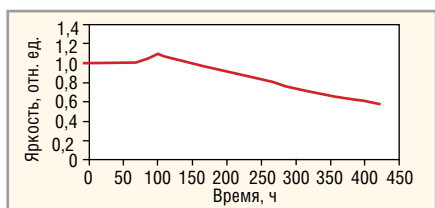


Рис. 12. Зависимость яркости от времени наработки при повышенной температуре

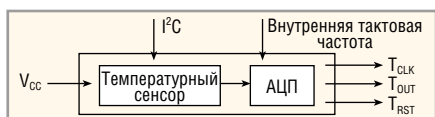


Рис. 13. Функциональная схема датчика температуры

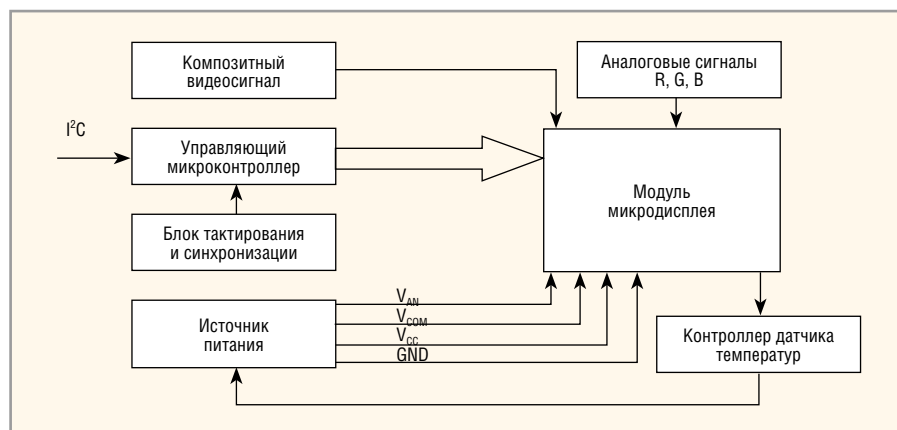


Рис. 14. Схема подключения микродисплея