

# OLED-микродисплеи фирмы eMagin

Александр Самарин (Москва)

Микродисплеи относятся к классу плоскочелюстных дисплеев, которые предназначены для применения в портативных устройствах, таких как нашлемные и окологлазные дисплейные системы, встроенные в одежду компьютерные устройства, видеоискатели цифровых фото- и видеокамер. К этому же классу относятся и OLED-микродисплеи.

## ВВЕДЕНИЕ

OLED-микродисплей (Organic Light Emitting Device – органический светоизлучающий элемент) с диагональю экрана 15,5 мм в комбинации с оптикой обеспечивает изображение, адекватное воспроизводимому на экране обычного компьютерного монитора. По сравнению с окологлазными микродисплеями, базирующимися на других технологиях, OLED-микродисплеи на кремниевой подложке имеют лучшие оптические характеристики, меньшую потребляемую мощность, меньшую стоимость, меньшие габариты и вес.

Существуют две технологии для производства органических светодиодов. Они во многом похожи. Основное их

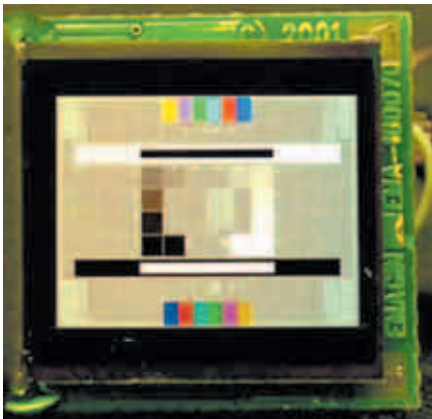


Рис. 1. Общий вид экрана OLED-микродисплея eMagin

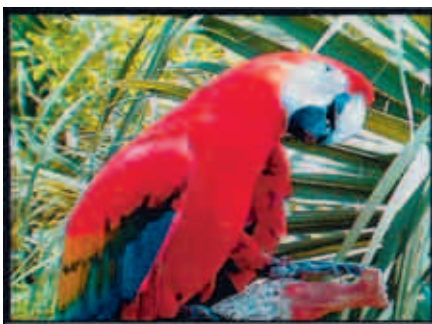


Рис. 2. Образец изображения на экране микродисплея

различие заключается в типе используемого органического материала. В одной из них применяется материал с короткими молекулами (OLED), а в другой – полимерные (длинные) молекулы (Polymer LED, PLED). В настоящее время наиболее известным производителем микродисплеев по технологии OLED является американская фирма eMagin, а по технологии PLED – шотландская фирма MED. Технологические проблемы для обеих технологий примерно одни и те же. Характеристики дисплейных систем на PLED и OLED также во многом схожи.

В статье дан обзор технологий, схемотехники и применений OLED-микродисплеев, выпускаемых фирмой eMagin [1]. Фирма eMagin объявила о начале производства микродисплеев с OLED на кремнии уже в июле 2000 г. Области применения – от портативных электронных игровых терминалов и мобильных телефонов до промышленных и военных систем визуализации, например, встроенных в шлемы различных скафандров.

Фирма eMagin приобрела лицензию на технологию OLED у фирмы Eastman Kodak Company. В финансировании этого проекта участвовало и министерство обороны США. Микродисплеи eMagin планировалось использовать в качестве базового элемента для нашлемных дисплейных систем Strike Helmet 21 в самолетах F-15E, а также в системах Land Warrior экипировки солдат армии США.

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОДИСПЛЕЯ eMAGIN

Формат микродисплея SVGA Plus, диагональ экрана 0,62 дюйма (размер почтовой марки). Общий информационный объем экрана составляет около 1,5 млн. цветных пикселей (852 × 600 × 3). В формате SVGA Plus по сравнению с обычным форматом

SVGA добавлено 52 столбца. Добавочные столбцы позволяют получить пропорцию экрана 16 : 9 для игровых видеоприложений. В качестве подложки микродисплея используется кремниевая пластина, на которой также размещены RGB-интерфейс и схемы управления строками и столбцами. На рис. 1 и 2 показаны соответственно общий вид экрана и образец изображения на экране OLED-микродисплея eMagin, а в таблице приведены основные параметры микродисплея.

## ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ OLED-МИКРОДИСПЛЕЕВ eMAGIN

Коммерческие и промышленные применения:

- приборы управления и тестирования,
- производственные системы,
- индивидуальные мониторы хирургов (врачей),
- телекоммуникационное оборудование,
- системы дистанционного управления.

Военные применения:

- системы ночного видения и авионика,
- дисплеи солдата для отображения оперативной боевой обстановки,
- навигационные приборы,
- военные тренажеры,
- дисплеи для ремонтного и сервисного оборудования сложной военной техники,
- системы безопасности.

Применения в бытовой электронике:

- игровые системы,
- карманные органайзеры,
- мобильные компьютеры,
- сотовые телефоны.

## ТЕХНОЛОГИЯ OLED-МИКРОДИСПЛЕЯ eMAGIN

Активно-матричный монолитный OLED-дисплей выполнен на кремниевой пластине по технологии КМОП (3,3/4 В, 0,35 мкм) с четырьмя слоями металлизации и размерами одного чипа (кристалла микродисплея) 16,28 × 14,2 мм. На последнем расположено 10 млн. транзисторов. Попе-

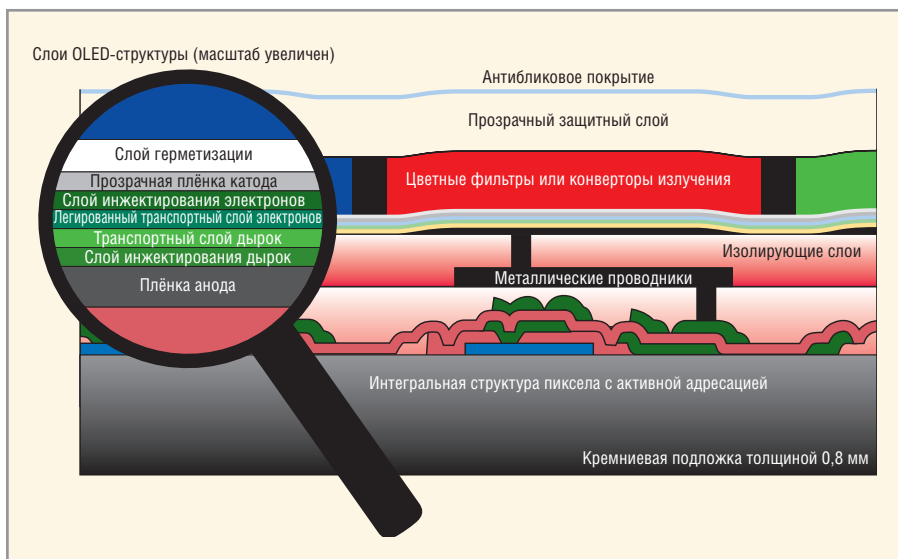


Рис. 3. Структура OLED-микродисплея на кремниевой подложке

речное сечение OLED-структуры показано на рис. 3.

Металл с высокой энергией выхода осаждается на КМОП-подложку в качестве анода. Тонкий слой фталоцианина меди (CuPc) обеспечивает инжекцию дырок через низкий энергетический барьер (менее 5 эВ). Затем осаждается плёнка нафта-фенил-бензидина (NPB, naphtha-phenyl-benzidene) для того, чтобы образовать слой транспортировки дырок (HTL, hole transport layer). Поверх него формируется слой эмиттера на основе tris (8-hydroxyquinolato) aluminum (Alq), легированного флуоресцентным красителем кумарин-540. Дополнительная плёнка Alq обеспечивает электронный транспортный слой (ETL, electron transport layer). Прозрачный катод является инжектором электронов. В качестве материала используется металл с низкой работой выхода. Реально светодиод излучает зелено-голубой свет. Чтобы получить спектр, похожий на спектр белого, нужно добавить красную компоненту. Это достигается добавлением красного флуоресцентного красителя, который конвертирует часть исходного, более коротковолнового, зелено-голубого излучения в красное излучение.

После осаждения анодного металлического слоя все остальные слои наносятся термическим испарением.

Когда ток проходит через органический слой, происходит испускание белого света с квантовой эффективностью 4...5 кд/А и световой отдачей 24 лм/Вт при яркости 2000 кд/м². Цвет обеспечивается за счёт применения цветных фильтров на основе матери-

алов, аналогичных используемым в цветных фильтрах ЖК-дисплеев. Отличие конструкции OLED-дисплея от ЖК-дисплея состоит в том, что ему не требуется верхняя стеклянная крышка. Это снижает производственные затраты и позволяет увеличить угол обзора дисплея. Микродисплей имеет отличные характеристики, важные для применения в коммерческих и военных приложениях, а именно, высокую яркость и разрешение, широкий диапазон регулировки яркости, гибкие режимы работы и возможность длительной непрерывной работы, широкий угол обзора, устойчивость к механическим воздействиям при больших ускорениях, независимость цветопередачи от вибрации, отсутствие фликера. Широкий диапазон рабочей темпера-



Рис. 4. Передаточная характеристика OLED-светодиода

[0,3...4 В] – прямая ветка (нет свечения);  
 [4...7 В] – рабочая ветка (свечение, яркость 0...140 кд/м²);  $a \approx 0,1$ ,  $b = 2...3$ ;  
 [ $> 7$  В] – насыщение (свечение)

туры позволяет микродисплеям работать без использования систем подогрева или охлаждения.

### ПЕРЕДАТОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА OLED-СВЕТОДИОДА eMAGIN

Типовая вольтамперная характеристика органического светодиода в микродисплее eMagin показана на рис. 4. Сила света прямо пропорциональна плотности тока, протекающего через p-n-переход диода. Однако световое излучение органического светодиода начинается только с порога 2,5...2,8 В и увеличивается по мере увеличения напряжения смещения. Как видно из рис. 4, рабочий диапазон напряжений смещения на светодиоде 4...7 В. Уровню чёрного соответствует напряже-

#### Основные параметры OLED-микродисплея

Размеры микродисплея, мм	852 × 600 × 3
Размер пиксела, мкм	5 × 15
Число транзисторов на один пиксел	5
Число пикселей на микродисплее	1 533 600
Частота тактирования пиксельных сигналов, МГц	13,5...56,25
Потребляемая мощность при 3,3 В, мВт, не более	400
Количество программируемых видеорежимов работы	15
Режимы	SVGA, 800 × 600, кадровая прогрессивная развёртка 85/75/72/60 Гц
	VGA, 640 × 480, кадровая чересстрочная развёртка 30 Гц
	SVGA, 800 × 600, кадровая чересстрочная развёртка 30 Гц
	SVGA Plus, 852 × 480, кадровая прогрессивная развёртка 85/75/72/60 Гц, формат 16 : 9
	SVGA Plus, 852 × 600, кадровая прогрессивная развёртка 75/60 Гц, Zoom
Аналоговый интерфейс	RGB
Полоса видеointерфейса, совместимого со стандартом SMPTE-170, МГц, до	65,25
Диапазон рабочих токов одного пиксела для передачи непрерывной шкалы полутонов, нА	0,25...25

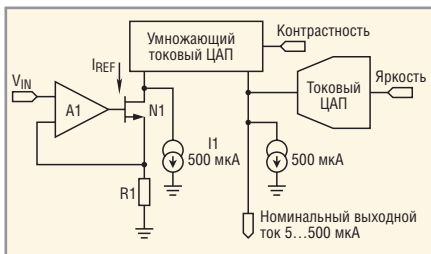


**Рис. 5. Вольтъяркая характеристика микродисплея**

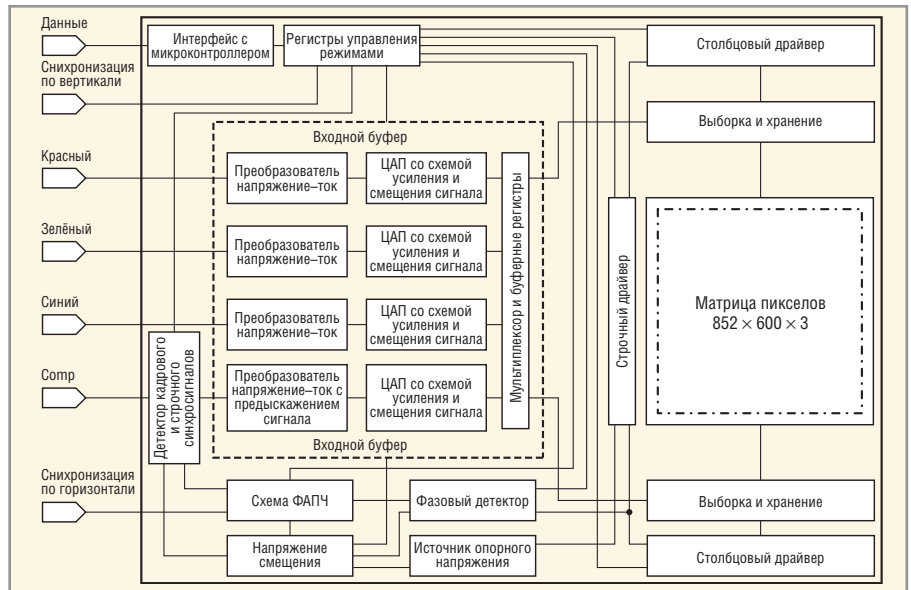
ние 4 В и плотность тока 100 мкА/см<sup>2</sup>. Максимальная плотность тока 2...3 мА/см<sup>2</sup>. Использование больших плотностей тока нецелесообразно, поскольку при этом сильно возрастает уровень потребления тока, а расширение диапазона яркости незначительно. Рабочий диапазон яркости 0...140 кд/м<sup>2</sup>. Границы диапазона – это уровни чёрного и белого. При значениях тока ниже этого диапазона свечения просто нет, а высокие плотности тока не используются вследствие неэффективного использования энергии (насыщение, разогрев, деградация активного слоя). Динамический диапазон изменения яркости обеспечивает достижение контраста около 473 : 1. Диапазон рабочих токов одного пикселя микродисплея находится в пределах от 250 пА до 25 нА. Площадь поверхности пикселя 75 мкм<sup>2</sup>. На рис. 5



**Рис. 7. Топология кремниевой подложки OLED-микродисплея**



**Рис. 8. Схема преобразователя видеосигнала напряжение–ток с регулировкой яркости и контрастности**



**Рис. 6. Структурная схема управления OLED-микродисплея**

показана зависимость яркости экрана от уровня входного видеосигнала.

### АРХИТЕКТУРА OLED-МИКРОДИСПЛЕЯ

Структурная схема управления OLED-микродисплея, выполненная на кремниевой подложке, показана на рис. 6. Микродисплей состоит из двух основных узлов: матрицы OLED-светодиодов формата 852 × 600 × 3 и схемы управления. Схема управления размещена на периферийной части кремниевой подложки микродисплея. На рис. 7 показана топология базовой подложки микродисплея eMagin. Схема управления содержит следующие основные блоки:

- модуль видеоинтерфейсов;
- модуль управления развёрткой (драйверы строк и столбцов);
- схема синхронизации;
- управляющий интерфейс I<sup>2</sup>C.

Модуль видеоинтерфейсов имеет три входных канала для приёма RGB-видеосигналов и четвёртый вход для монохромного композитного входа видео. Во входных буферах каждого цветового канала производится преобразование напряжения сигнала в ток. Регулировка яркости (смещение) и контрастности (усиление) в каждом канале программируются посредством двух 8-битовых ЦАП. Два устройства выборки и хранения расположены сверху и снизу дисплея. Они обеспечивают очередное преобразование видеосигнала и его запись в пиксельные драйверы. Система содержит также источник опорного напряжения, который формирует специальные уровни напряже-

ния для пиксельных драйверов. Строчные и столбцовые драйверы управляют диаграммой дисплея и опорными сигналами. Модуль ФАПЧ (PLL) обеспечивает привязку пиксельной частоты к частоте строчной развертки. Фазовый интерполятор производит точную подстройку фазы частоты пиксельной синхронизации. Через интерфейс управления со стороны внешнего микроконтроллера производится выбор режимов различных узлов схемы управления.

### ВХОДНЫЕ БУФЕРЫ ВИДЕОСИГНАЛОВ

Система имеет приёмники видеосигналов красного, зелёного и синего цветов непосредственно со стандартной видеокарты персонального компьютера. Амплитуда сигнала имеет стандартный уровень 700 мВ. Каждый видеосигнал преобразуется в ток схемой каскодного усилителя A1 в комбинации с транзистором N1 и калиброванным резистором R1. Схема преобразователя показана на рис. 8.

Каскодный усилитель при последовательном размещении резистора с источником тока даёт смещение в 20 мВ. Фиксированный ток 500 мкА после предварительного преобразования добавляется в видеосигнал (в токовой форме), для того чтобы уменьшить время последующего преобразования умножающего ЦАП. Таким образом входное напряжение с размахом от 0 до 700 мВ преобразуется в токовый сигнал с размахом от 0,5 до 1 мА. Этот ток используется как опорный сигнал для 8-битового умножающего токового ЦАП, который обеспечивает подстройку

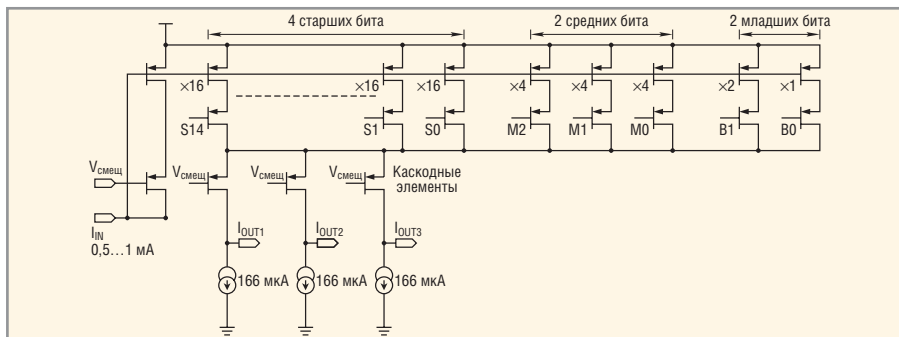


Рис. 9. Схема 8-битового токового ЦАП

контрастности (усиление) входного сигнала на 50% от номинального значения. Смещение тока, которое было внесено ранее, компенсируется на выходе ЦАП, управляющего контрастностью. На рис. 9 показана схема 8-битового токового ЦАП, который используется в схеме управления микродисплеем.

**ПРИНЦИП РАБОТЫ СХЕМЫ ВЫБОРКИ И ХРАНЕНИЯ**

В микродисплее используются два устройства выборки и хранения. Одно расположено сверху, другое – снизу рабочей площади экрана, как показано на рис. 6. Схемы выборки и хранения представляют собой элементы памяти на строку и обеспечивают дискретизацию уровней аналогового сигнала по пикселям строки и хранение профиля видеосигнала в течение одного периода строчной развертки. Запись в верхние и нижние элементы памяти на строку производится поочередно. Пока производится запись в верхнюю строку, происходит перезапись видеoinформации в текущую строку развертки из нижнего элемента памя-

ти, и наоборот. На рис. 10 показана схема одного элемента устройства выборки и хранения. Он состоит из ключа N1, запоминающего конденсатора C1 и источника тока на транзисторе N3.

На рис. 11 показана схема канала записи тока в память одного пикселя. Яркость OLED-пикселя пропорциональна плотности тока, поэтому в схемах драйверов дисплея используются генераторы тока. Вследствие малых значений токов (порядка нескольких сот пикоампер) и большого размера кристалла требуется заряжать значительные паразитные ёмкости, которые образуются в межсоединениях на фоне зарядки ёмкости памяти в ячейки пикселя. Традиционные КМОП-источники тока работают в режиме насыщения и не могут справляться с такими малыми токами. В микродисплее eMagin применена эффективная топология для субпорогового масштабирующего OLED-пиксельного драйвера.

Столбцовые шины имеют паразитную ёмкость. Поэтому в процессе зарядки элемента памяти пикселя от источника тока требуется перезарядить и

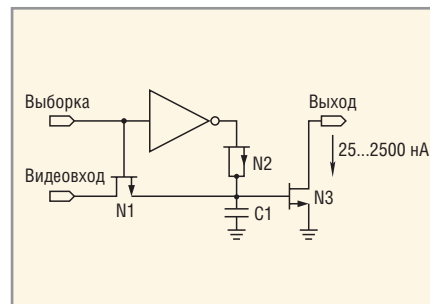


Рис. 10. Схема одного элемента устройства выборки и хранения

ёмкость столбцовой шины. На это может тратиться довольно большое время, и ёмкость пикселя может не успеть зарядиться до заданного значения. Схема предзаряда (preset) обеспечивает начальную установку тока для всех пикселей строки в процессе развёртки, соответствующую некоторому уровню яркости пустого пикселя. Фаза предзарядки производится для каждой строки матрицы пикселей. Проведение такой процедуры обеспечивает более быструю и адекватную запись реального токового профиля в схемы управления пикселями активной матрицы.

**СХЕМА ФАПЧ ДЛЯ ПИКСЕЛЬНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ**

Для того чтобы предотвратить дрожание и смещение изображения от пикселя в кадре относительно начала строки, пиксельная частота тактирования должна быть привязана к частоте строчной развертки. Эту функцию обеспечивает схема ФАПЧ (рис. 12).

В ФАПЧ используется встроенный генератор, управляемый напряжением (VCO). Фазовый детектор сравнивает сигналы строчной развертки (HSYNC) и сигнал пиксельной частоты с выхода программируемого делителя. Выбор коэффициента деления зависит от пик-

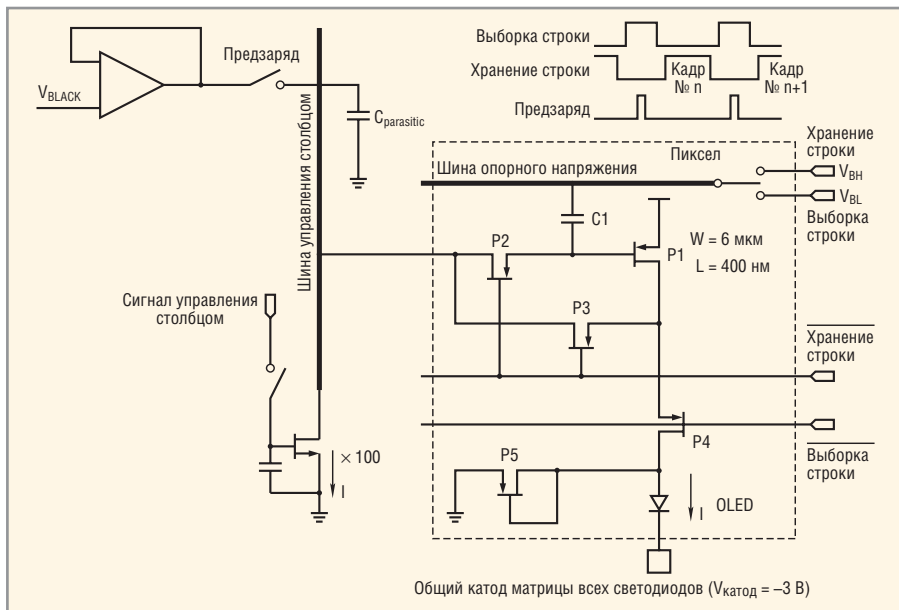


Рис. 11. Схема канала записи тока в память одного OLED-пикселя

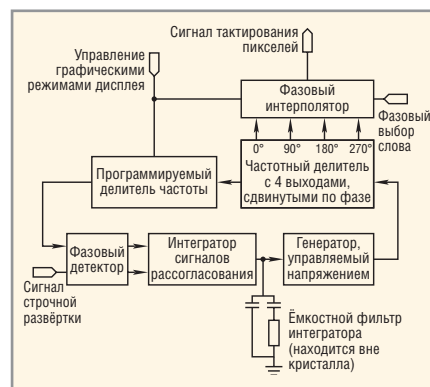


Рис. 12. Структурная схема ФАПЧ для привязки пиксельной частоты к частоте строчной развертки



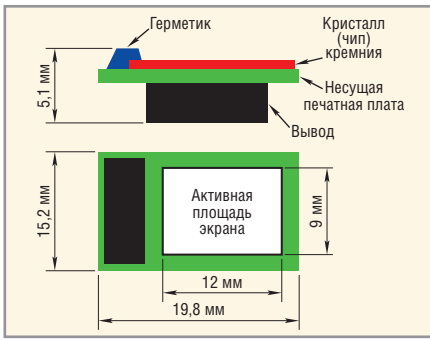


Рис. 13. Конструкция микродисплейного модуля

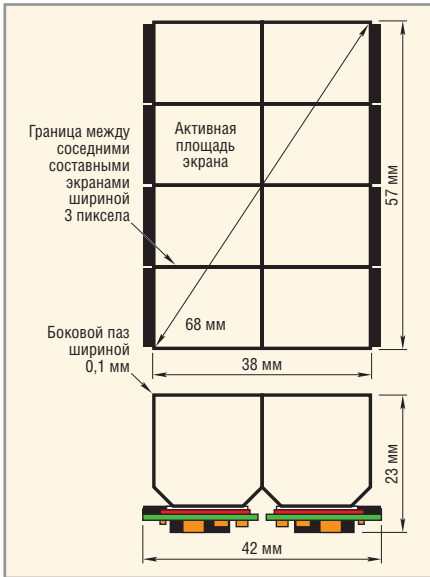


Рис. 14. Конструкция составного микродисплея с оптическими элементами

сельной частоты. Результирующий сигнал управляет устройством подкачки зарядов, на выходе которого формируется сигнал напряжения для управления частотой генератора VCO. Фазовый интерполятор производит сравнение фазы выходного синтезируемого сигнала частоты и подстройку в соответствии с фазой входного видеосигнала.

### СОСТАВНЫЕ OLED-МИКРОДИСПЛЕИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Для увеличения разрешения в микродисплеях высокого разрешения применяется увеличительная оптика на основе световодных шайб (рис. 13). Изображение стандартного SVGA-дисплея может быть увеличено посредством стыкового соединения нескольких экранов микродисплеев (рис. 14). Прецизионная технология стыковки обеспечивает высокую точность отображения композиции на сборном экране с потерей не более трёх пикселей. Для того чтобы получить различные форматы и разрешение сборного дис-

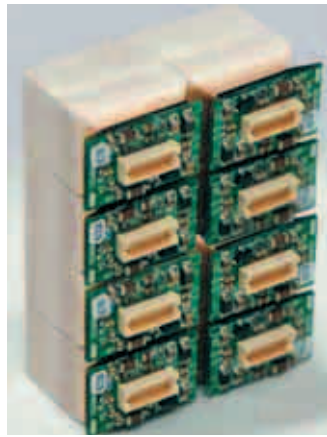


Рис. 15. Дисплейные модули для составного OLED-экрана



Рис. 16. Комплект стереочков Z800 3D Visor eMagin

плея, используются различные топологические схемы стыковки модулей микродисплеев (рис. 15). Выбор увеличительной системы обеспечивает подстройку нужного размера изображения. Составной OLED-дисплей имеет следующие основные характеристики: Формат экрана...1600 (× 3) × 2400 пикселей; Пропорции сторон экрана .....4 : 3; Диагональ экрана .....67,7 мм; Яркость .....50 кд/м<sup>2</sup>; Потребляемая мощность .....1,6 Вт (в режиме видео); Число цветовых градаций .....256; Размер пиксела .....24 × 24 мкм; Габариты дисплейного модуля ...42 × 56,3 × 25 мм; Вес .....160 г; Контрастность .....100 : 1; Интегрированная система ФАПЧ тактирования пикселей; Интегрированная система подстройки дисплейных параметров

### ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОДИСПЛЕЕВ

Фирма eMagin уже продемонстрировала свой коммерческий продукт – очки Z800 3D Visor для игровых 3D-приложений (рис. 16). Это первая в мире персональная дисплейная система, в которой скомбинированы OLED-стереодисплейная технология с трекингом поворота головы и стереозвук. В дисплейную систему вмонтированы ау-



Рис. 17. Микродисплей eMagin в наглемной дисплейной системе



Рис. 18. Микродисплей LE-450 в системе ночного видения

диосистема с высококачественными наушниками и микрофон с шумоподавлением. В очках смонтирована пара микродисплеев eMagin формата 800 × 600 × 3. Эти очки позволяют пользователю ощущать себя внутри трёхмерного игрового пространства. Они обеспечивают синтез изображения, эквивалентного наблюдаемому с расстояния 5 м на экране с диагональю 267 см. Датчик положения головы обеспечивает отслеживание поворотов на 360 градусов. Питание очков Z800 производится от порта USB, поэтому дополнительный адаптер питания не требуется. Цена комплекта Z800 3D Visor \$899.

Микродисплеи eMagin используются в коммерческих продуктах и других фирм (см. например [www.liteye.com](http://www.liteye.com) и [www.totalfiregroup.com](http://www.totalfiregroup.com)). Они были использованы в защитных скафандрах различных служб в качестве встроенных наглемных дисплейных систем. На рис. 17 и 18 показаны примеры наглемных дисплейных систем, выполненных на базе микродисплеев eMagin.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Levy G.B., Evans W., Ebner J., Farrell P., Huford M., Allison B.H., Wheeler D., Lin H., Prache O., Naviasky E. An 852x600 Pixel OLED-on-Silicon Color Microdisplay Using CMOS Subthreshold-Voltage-Scaling Current Drivers. IEEE Journal of Solid-State Circuits. 2002. Vol. 37. № 12.



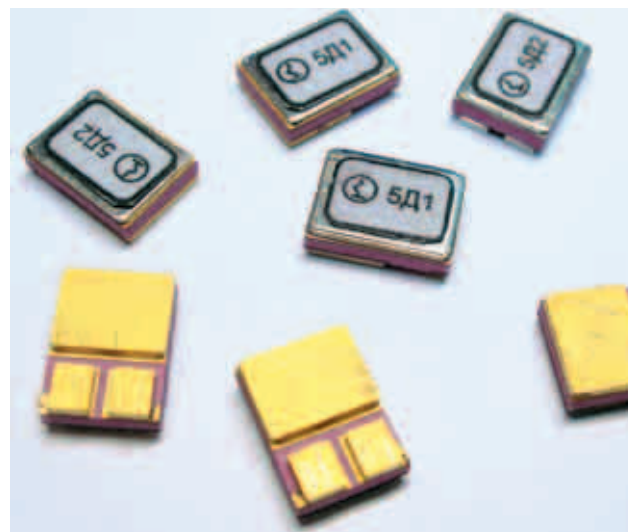
# Первые российские карбид-кремниевые диоды и столбы с барьером Шоттки

CREE  
POWER

PROSOFT®



Совместный проект компаний CREE, ПРОСОФТ, НПП «ТЭЗ»



**$T_j = 175^{\circ}\text{C}$**

## Высоковольтные столбы

- $U_{\text{обр. макс}} = 4 \text{ кВ}; 5 \text{ кВ}; 9 \text{ кВ}$
- $I_{\text{пр.ср.}} = 600 \text{ мА}; 500 \text{ мА}; 250 \text{ мА}$
- $t_{\text{обр}} < 15 \text{ нс}$

## Основные достоинства

- Отсутствие эффекта обратного восстановления
- Высокая рабочая температура перехода
- Допустимая безопасная доза облучения свыше  $5 \times 10^7$  рад

**$T_j = 200^{\circ}\text{C}$**

## Диоды Шоттки

- $U_{\text{обр. макс}} = 500 \text{ В}; 600 \text{ В}$
- $I_{\text{пр.ср.}} = 1 \text{ А}$
- $t_{\text{обр}} < 15 \text{ нс}$

## Области применения

- Источники электропитания с преобразованием частоты
- Корректоры коэффициента мощности (бустерный диод)
- Выходные выпрямители (более 48 В)
- Антипараллельные диоды в инверторах
- Электроприводы
- Антипараллельные диоды в инверторах
- Снабберные диоды
- Высоковольтные выпрямители
- Выходные выпрямители (2...100 кВ)
- ИВЭП радиопередающих устройств РЛС, рентгеновские установки и т.п.

PROSOFT®

ПРОСОФТ — АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

Телефон: (495) 234-0636 • E-mail: info@prochip.ru • Web: www.prochip.ru