

OLED-микродисплеи фирмы eMagin

Александр Самарин (Москва)

Микродисплеи относятся к классу плоскочелюстных дисплеев, которые предназначены для применения в портативных устройствах, таких как наплечные и окологлазные дисплейные системы, встроенные в одежду компьютерные устройства, видеокамеры 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

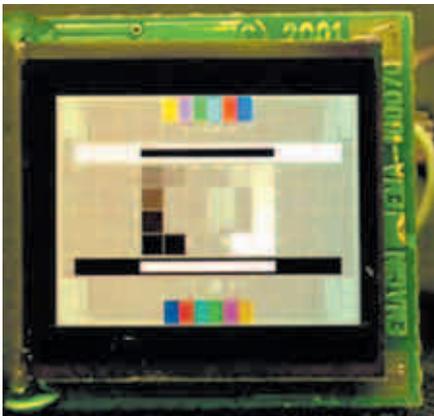


Рис. 1. Общий вид экрана OLED-микродисплея eMagin



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 наплечных 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-

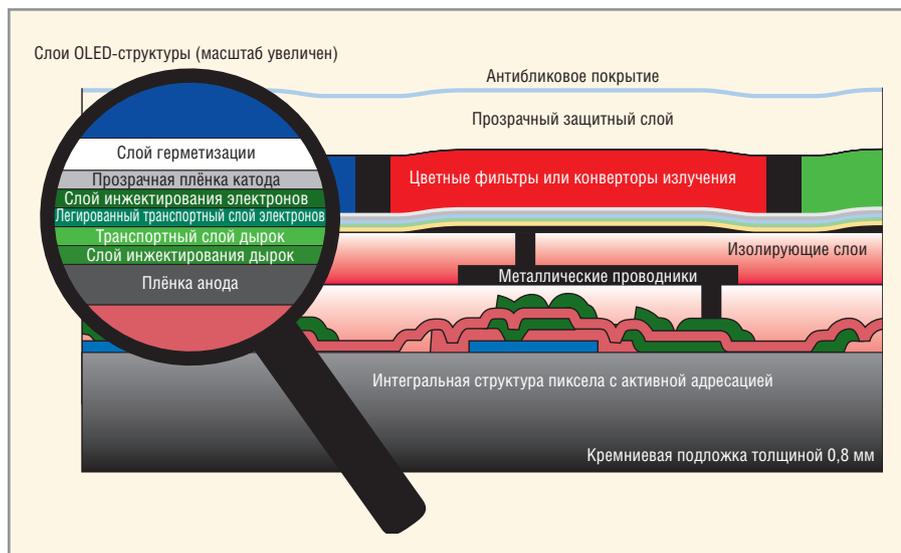


Рис. 3. Структура OLED-микродисплея на кремниевой подложке

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-benzidine) 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 зелёно-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, зелёно-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-

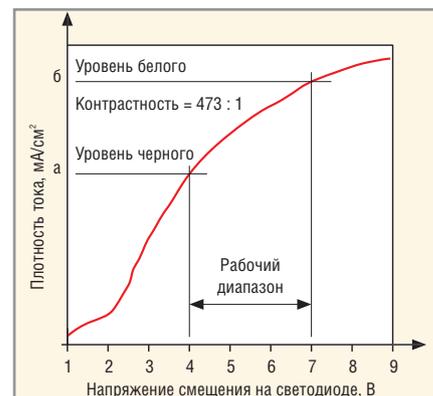


Рис. 4. Передаточная характеристика OLED-светодиода

[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/см². Максимальная плотность тока 2...3 мА/см². Использование больших плотностей тока нецелесообразно, поскольку при этом сильно возрастает уровень потребления тока, а расширение диапазона яркости незначительно. Рабочий диапазон яркости 0...140 кд/м². 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 мкм². На рис. 5



Рис. 7. Топология кремниевой подложки OLED-микродисплея

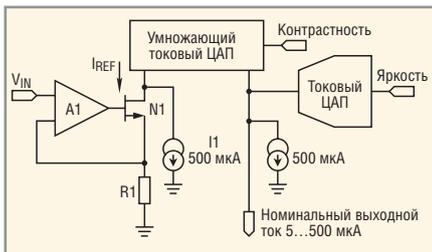


Рис. 8. Схема преобразователя видеосигнала напряжение–ток с регулировкой яркости и контрастности

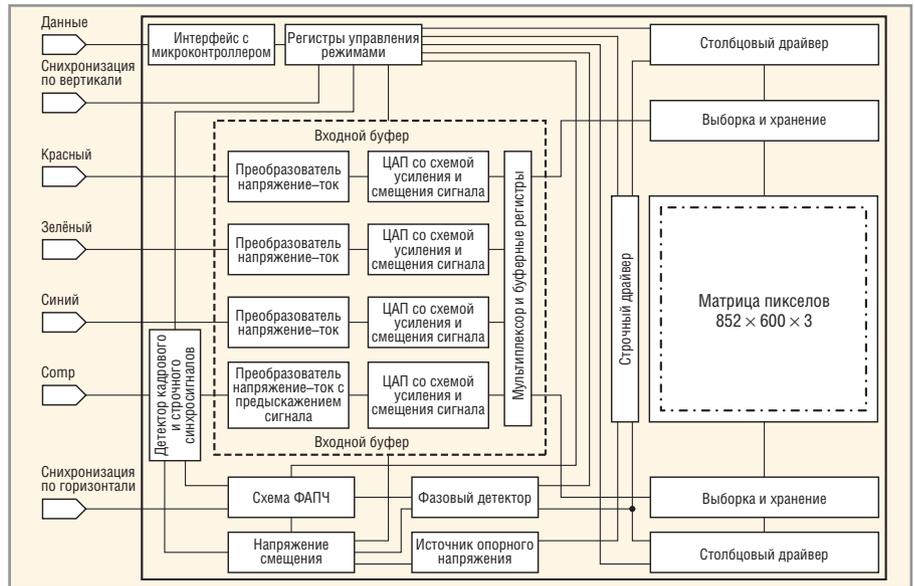


Рис. 6. Структурная схема управления OLED-микродисплея

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 I²C.

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 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

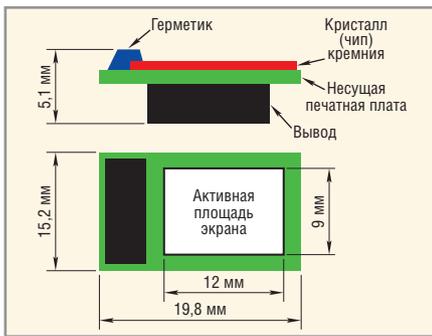


Рис. 13. Конструкция микродисплейного модуля

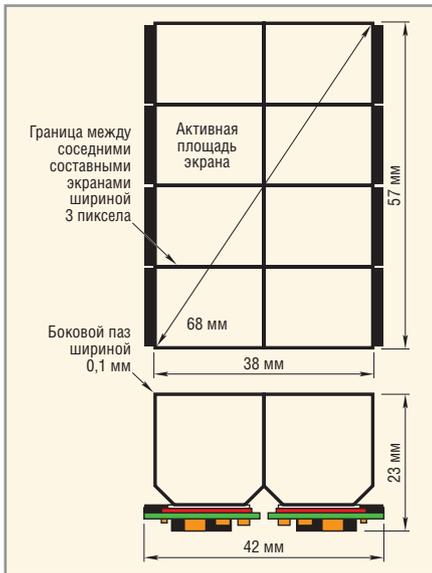


Рис. 14. Конструкция составного микродисплея с оптическими элементами

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-

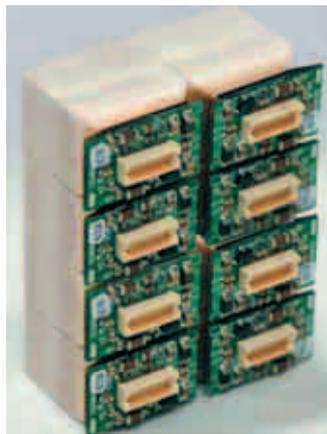


Рис. 15. Дисплейные модули для составного OLED-экрана



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 экрана4 : 3
Диагональ экрана67,7 мм
Яркость50 кд/м ²
Потребляемая мощность1,6 Вт (в режиме видео)
Число цветовых градаций256
Размер пиксела24 × 24 мкм
Габариты дисплейного модуля	...42 × 56,3 × 25 мм
Вес160 г
Контрастность100 : 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 и 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.



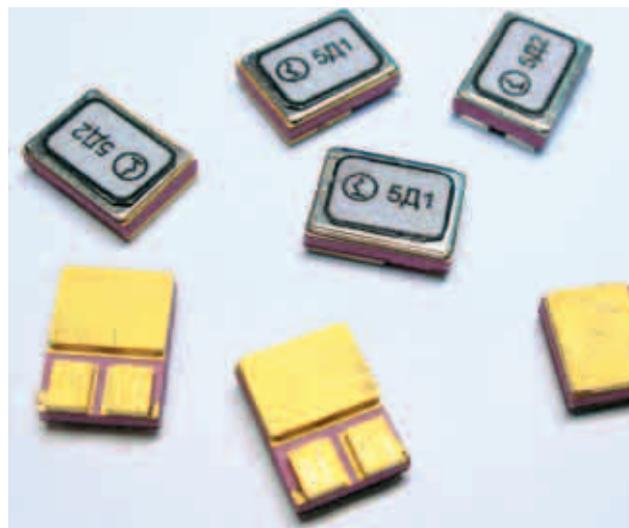
Первые российские карбид-кремниевые диоды и столбы с барьером Шоттки

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 5×10^7 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