

Прозрачные электролюминесцентные дисплеи

Ади Абилах (Adi Abileah), Кари Харконен (Kari Harkonen), Арто Паккала (Arto Pakkala), Джеральд Смид (Gerald Smid)

Перевод Виктора Жданкина (Москва)

Статья даёт исчерпывающие сведения о конструкции и применениях прозрачных электролюминесцентных (ЭЛ) дисплеев. Данный дисплей излучает янтарный свет (типовая яркость 110 кд/м²) в двух направлениях. Панель имеет коэффициент пропускания 85%, близкий к коэффициенту пропускания оконного стекла. Она может применяться в качестве накладки на другие информационные дисплеи, такие как автомобильные контрольно-измерительные приборы и рекламные плакаты, а также может быть использована с негативной оптикой для проецирования изображения издали. Панель может быть выполнена в виде изогнутой плоскости или другой заданной формы, в том числе с отверстиями. Существует множество применений, в которых может быть использована эта новая технология.

ВВЕДЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЮ ПРОЗРАЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДИСПЛЕЕВ

Непрозрачная неорганическая тонкоплёночная электролюминесцентная технология (Thin Film Electroluminescent, TFEL) была разработана в середине 1980-х годов в основном компаниями Planar Systems и Finlux и позднее была приобретена фирмой Planar. Японская компания Sharp также была одной из первых разработчиков технологии TFEL. В конце 1990-х годов Denso Corporation начала производить прозрачные ЭЛ-дисплеи для автомобильных применений.

Стандартное изделие, изготовленное по TFEL-технологии на основе неорганических материалов, содержит слои люминофоров, которые излучают свет под действием сильных электрических полей. Обычно в каче-

стве люминофора используется материал ZnS:Mn. Напряжение прикладывается на пересечении электродов, причём передний электрод является прозрачным. Прозрачные электроды обычно изготавливаются из окиси индия и олова (Indium Tin Oxide, ITO). Задние электроды стандартных ЭЛ-дисплеев обычно сделаны из металла. Преимуществом нахождения металла за излучающим слоем является то, что он может поглощать много света, который излучается люминофором в плоскости дисплея. Такая концепция изготовления дисплеев на базе TFEL-технологии очень хороша для применений внутри помещений, поскольку выход света может быть увеличен почти в два раза. Вне помещений основную проблему создают задние электроды, так как они подобны зеркалу и отражают много окружающего света. Это уменьшает

контрастность дисплея. Для решения этой проблемы компания Planar разработала новый тип электродов, поглощающих свет. Технология получила название Integral Contrast Enhancement (ICE или ICEBright™).

Именно тогда технология TFEL стала доминирующей в плоскостельных дисплеях, и она всё ещё используется во многих приложениях. Большинство людей знакомы с кардиомониторами в больницах, которые имеют янтарный цвет изображения. Многие портативные компьютеры первых выпусков также включали панели, выполненные по TFEL-технологии. В течение многих лет технология производства ЖК-дисплеев становилась всё более совершенной и преодолела некоторые ограничения. Несмотря на то, что ЭЛ-дисплеи изначально имели значительное преимущество по стоимости, ЖК-дисплеи также становились более конкурентоспособными.

Сегодня многие приложения, которые нуждаются в прочных дисплеях, работающих в экстремальных условиях окружающей среды по температурам, вибрациям и одновременно при широких углах обзора, все ещё используют дисплеи, изготовленные по технологии TFEL. Технология TFEL, несмотря на её ограничения по цветовому диапазону, продолжает быть альтернативной технологией для многих устройств отображения, предназначенных для жёстких условий эксплуатации.



Рис. 1. Образцы прозрачных и многоцветных ЭЛ-дисплеев

В данной статье будут описаны новые разработки в сфере TFEL, в которых задние электроды заменены прозрачным материалом, чтобы сделать всю панель полностью прозрачной. Образцы показаны на рисунках 1 и 2. Эта разработка имеет много потенциальных применений, которые не могут быть реализованы при помощи неизлучающих дисплеев, таких как ЖКИ.

КОНСТРУКЦИЯ ПРОЗРАЧНОГО ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ДИСПЛЕЯ

Конструкция стандартного тонкоплёночного ЭЛ-дисплея

Тонкоплёночные электролюминесцентные (TFEL) дисплеи основаны на размещении изолирующих слоев, а также слоя светоизлучающего люминофора между прозрачными и металлическими электродами, как показано на рисунке 3. Обычно тонкоплёночный ЭЛ-дисплей построен на стеклянной подложке толщиной 1,1 мм, выполненной из натриевой извести (размер 195 × 265 мм), и герметизирован покровным стеклом толщиной 1,1 мм. Специальной технологией, разработанной и реализуемой компанией Planar Systems, является атомное осаждение слоёв (ALD). Этот метод обеспечивает очень однородные, хорошо контролируемые и свободные от пор слои тонкой плёнки и чрезвычайно твёрдые изолирующие плёнки.

Свет генерируется посредством ударного возбуждения атомов Mn в люминофоре ZnS электронами, перемещаемыми при помощи приложенного напряжения переменного тока (см. рис. 4). Возбуждающее напряжение может быть синусоидальным или прямоугольной формы. Оно прикладывается методом мультиплексирования между электродами столбцов на одной стороне и электродами строк на другой стороне люминофора (см. рис. 5). Каждый раз, когда напряжение превышает порог номинального напряжения около 200 В, генерируется короткий импульс света с постоянной времени затухания менее чем 1 мс, и таким образом яркость излучаемого света приблизительно пропорциональна частоте возбуждения.

В типичных применениях матричных дисплеев частота возбуждающего напряжения может достигать 250 Гц. В семисегментных типах

дисплеев (прямое управление без мультиплексирования) используются даже более высокие частоты. Высоковольтные импульсы генерируются управляющей электроникой TFEL-дисплея. Напряжение питания дисплея 5 В и/или 12 В.

В стандартном ЭЛ-дисплее в качестве слоя люминофора применяется ZnS:Mn, и результирующий спектр излучения света является жёлтым (см. рис. 6) с максимумом около 580 нм. В зависимости от требований к цвету, путём изменения типа люминофора могут быть также получены другие цвета.

Благодаря настоящей структуре твёрдого тела достигаются различные полезные параметры. Электролюминесцентные дисплеи являются чрезвычайно выносливыми в широком диапазоне рабочих температур (-50...85°C, ограничен управляющей электроникой), имеют длительный срок службы более 100 000 ч, широкий угол обзора (более 160°), короткое время отклика (менее 1 мс) во всём диапазоне температур и хороший контраст.

Технология прозрачного ЭЛ-дисплея

Прозрачные электролюминесцентные дисплеи конструируют на базе структуры стандартного ЭЛ-дисплея путём замены заднего металлического электрода прозрачным электродом (например, из окиси индия и олова, ITO) и удаления остальных непрозрачных слоёв из структуры дисплея. Для максимального увеличения светопропускания необходимо согласовать коэффициент преломления смежных слоёв. Схема поперечного сечения структуры показана на рисунке 7.

Другим важным параметром в оптимизации слоёв прозрачного ЭЛ-дисплея является уменьшение «эффекта ореола», который обусловлен внутренними отражениями, когда не согласован коэффициент преломления слоёв. В оптических системах этот эффект также называют оптическим волноводом. Отражённый свет перемещается между слоями и в конце концов покидает излучающий пиксел благодаря эффекту рассеяния. Этот эффект наблюдается, главным образом, в прозрачном ЭЛ-дисплее, однако им можно управлять. Критерием оценки данного эффекта явля-



Рис. 2. Образцы прозрачного EL-дисплея. EL-дисплей, нанесенный на поверхность зеркала, находится на заднем плане

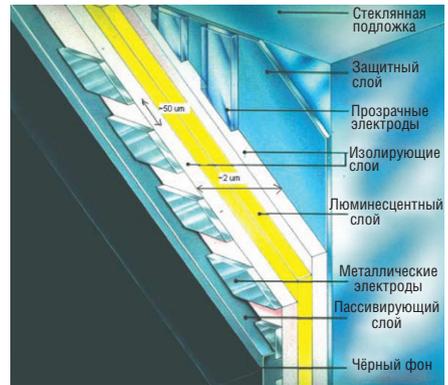


Рис. 3. Тонкоплёночный электролюминесцентный дисплей в конфигурации матричного дисплея

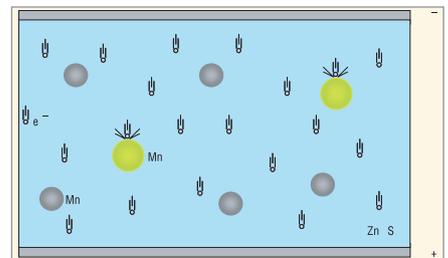


Рис. 4. Излучение света путём возбуждения атомов Mn при помощи электронов в люминофоре ZnS

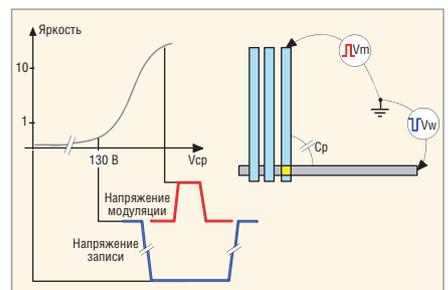


Рис. 5. Управление матричным электролюминесцентным дисплеем посредством напряжения переменного тока

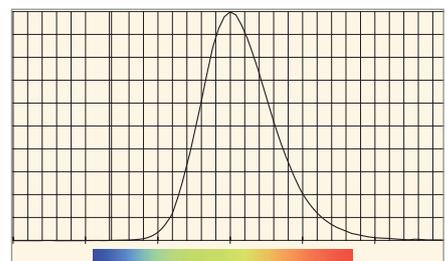


Рис. 6. Спектр световой отдачи люминофора (ZnS:Mn) электролюминесцентного дисплея

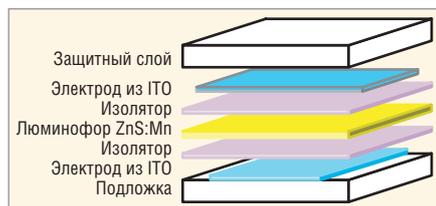


Рис. 7. Схема поперечного сечения прозрачной тонкопленочной электролюминесценции



Рис. 8. Внешний вид прозрачного электролюминесцентного дисплея QVGA

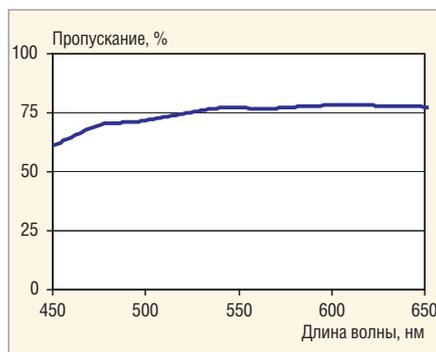


Рис. 9. Спектр пропускания дисплея QVGA

ется расстояние от пикселя, на котором не видима утечка света при наблюдении через микроскоп. Как показано ниже, зона эффекта ореола уменьшена путём оптимизации слоёв и перехода на люминофор без рассеивания. Другим способом уменьшения ореола является покрытие внешних поверхностей антиотражающими материалами.

Оптические параметры прозрачного ЭЛ-дисплея с тремя рецептурами люминофора на частоте 247 Гц

Параметры	Стандартное рассеивание	Среднее рассеивание	Без рассеивания
Коэффициент диффузного отражения, %	1,73	0,82	0,32
Коэффициент зеркального отражения, %	7,6	7,4	9,0
Коэффициент пропускания, %	75,1	85,0	84,0
Контраст ореола	10,64	15,50	16,07
Половина длины ореола, пиксели	19,5	21,4	14,6
Яркость в выключенном состоянии, кд/м ²	0,32	0,23	0,35
Яркость во включённом состоянии, кд/м ²	155,7	124,4	109,1
Яркость при включении 1/8 пикселей, кд/м ²	171,5	150,1	127,9
Относительный контраст при 0 лк	488,16	604,11	321,39
Относительный контраст при 500 лк	51,57	82,28	129,70
Относительный контраст при 1500 лк	19,12	31,00	59,81
Относительный контраст при 25 000 лк	2,13	2,90	5,28

Другой важной проблемой является необходимость изготовления гладкого слоя люминофора с целью минимизации рассеяния света. На начальной стадии разработки использовался стандартный состав люминофора и коэффициент пропускания был всего лишь 75%. Разработка более гладких плёнок улучшила светопропускание до 84%.

Очень сложно сделать электроды прозрачными, поддерживая при этом высокую проводимость, такую же, как у металлических электродов. Во время работы над этим проектом было пройдено несколько этапов для достижения надлежащих параметров. Более высокая проводимость также была ключевым параметром для обеспечения надёжности панели при испытаниях в жёстких условиях окружающей среды, включая длительную эксплуатацию при высоких температурах.

Управляющая электроника прозрачного дисплея аналогична стандартным ЭЛ-дисплеям. Подключение к площадкам электродов контура может быть выполнено, например, при помощи автоматизированной сборки на ленточном носителе (ТАВ) для драйверов столбцов и термосварки к печатной плате для соединения с управляющими драйверами строк, размещёнными в корпусах для поверхностного монтажа. Могут быть рассмотрены и другие схемы подключения.

Результаты испытаний и оптические параметры

Хорошей моделью для демонстрации прозрачного TFEL-дисплея был дисплей QVGA (разрешение 320 × 240 пикселей) с шагом столбцов и строк 0,36 мм и суммарным коэффициентом

заполнения электродов 74,3%. Этот дисплей приводился в действие при помощи архитектуры разделенного экрана, в которой отображение мультиплексируется как два отдельных 120-строчных дисплея. Драйверы с 160 выходами на ленточном носителе, расположенные на отдельных печатных платах, присоединяются к прозрачному дисплею при помощи гибкой соединительной печатной платы. Аналогичная технология применяется для подключения панели к драйверам строк. Логические схемы, преобразователи постоянного напряжения и схемы, необходимые для формирования импульсов напряжения для управления TFEL-панелью, расположены на отдельной печатной плате, подключённой к плате драйверов плоским кабелем. На рисунке 8 показан внешний вид этой панели. Характер изменения светопропускания этой панели показан на рисунке 9.

Были классифицированы три основных типа технологического процесса люминофоров: стандартный (рассеивающий), со средним рассеиванием и без рассеивания. В таблицу сведены основные оптические свойства, полученные с тремя различными типами рецептур люминофоров ZnS:Mn, реализованных в QVGA-дисплеях.

Таблица иллюстрирует значительное улучшение пропускания для люминофора без рассеивания по отношению к стандартной технологии (84% против 75%). Дальнейшее улучшение общего светопропускания может быть достигнуто при помощи антиотражательного покрытия на обеих наружных поверхностях стёкол. Это может добавить около 7,5% к светопропусканию. Новый технологический процесс без рассеивания света также уменьшил диффузионное отражение (0,3% против 1,7%) и рассеянный свет от светящихся пикселей (половина длины ореола уменьшена с 20 до 15 пикселей). Однако, существует некоторая потеря яркости относительно стандартной технологии (109 кд/м² против 156 кд/м²). Тем не менее, благодаря уменьшенному отражению, относительный контраст при сильной засветке на уровне освещённости 50 000 лк улучшен с 1,6 : 1 до 3,1 : 1. График зависимости относительного контраста при ярком внешнем освещении показан на рисунке 10.



НЕЗАМЕНИМ В ЖЁСТКИХ УСЛОВИЯХ

УСТОЙЧИВОСТЬ К ТЕМПЕРАТУРАМ

Новая технология применения жидких кристаллов и оптимизация теплоотвода

	Обычный LCD	Strong LCD1	Strong LCD2
Рабочий диапазон температур	0 до +50°C	-10 до +65°C	-30 до +80°C
Диапазон температур хранения	-25 до +60°C	-30 до +70°C	-30 до +80°C

УСТОЙЧИВОСТЬ К УДАРАМ И ВИБРАЦИИ

Усилена модульная конструкция

	Обычный LCD	Strong LCD1	Strong LCD2
Устойчивость к вибрации	От 57 до 500 кГц, ускорение 1g	От 57 до 500 кГц, ускорение 1g	От 57 до 500 кГц, ускорение от 1,5 до 2g
Устойчивость к ударным нагрузкам	50g, 11 мс	50g, 11 мс	от 60 до 70g, 11 мс

ЯРКОСТЬ

Значительно повышена благодаря улучшению прозрачности панели и разработке яркой системы задней подсветки

	Обычный LCD	Strong LCD1	Strong LCD2
Яркость	300 кд/м ²	Больше чем 300 кд/м ²	Больше чем 400 кд/м ²

КОНТРАСТНОСТЬ

Подавляя яркость экрана при отображении чёрного и адаптируя новую систему управления, получаем повышенную контрастность

	Обычный LCD	Strong LCD1	Strong LCD2
Контраст	350 : 1	350 : 1	600 : 1

SHARP Strong2 LCD-панели

№ модели	Размер дисплея	Разрешение, пикс.	Контраст	Яркость, кд/м ²	Входной сигнал
LQ057V3DG01	5,7" TFT	640 × 480	600 : 1	400	Цифровой 6-бит RGB
LQ075V3DG01	7,5" TFT	640 × 480	600 : 1	400	Цифровой 6-бит RGB
LQ084V3DG01	8,4" TFT	640 × 480	600 : 1	400	Цифровой 6-бит RGB
LQ104V1DG61	10,4" TFT	640 × 480	600 : 1	450	Цифровой 6-бит RGB
LQ121S1DG61	12,1" TFT	800 × 600	600 : 1	450	Цифровой 6-бит RGB

Официальный дистрибьютор SHARP на территории России с стран СНГ

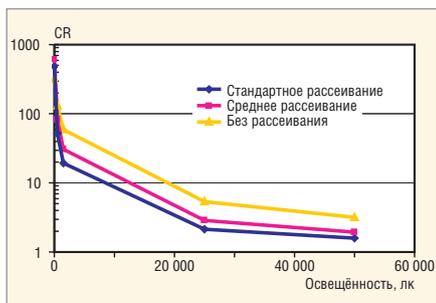


Рис. 10. Относительный контраст (CR) при высокой внешней освещенности для прозрачных ЭЛ-дисплеев с тремя рецептурами люминофоров



Рис. 11. Прозрачный ЭЛ-дисплей, используемый в модели для демонстрации дисплея с проекцией на лобовое стекло

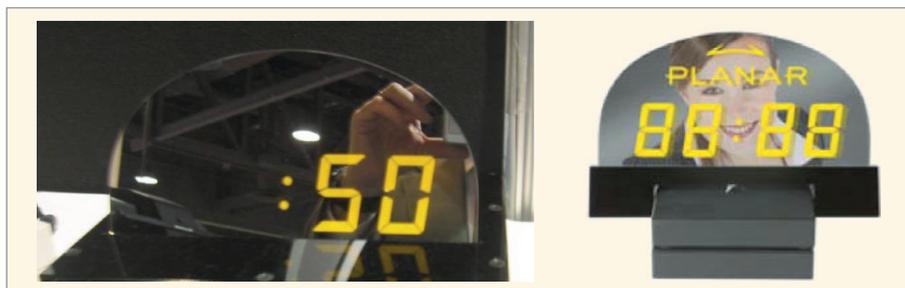


Рис. 12. Прозрачный TFEL-дисплей с зеркалом в передней поверхности обеспечивает новые возможности и эффекты

Относительный контраст (CR) свыше 2 : 1 является легко разборчивым, а CR свыше 3 : 1 является очень удобным для считывания буквенно-цифровых знаков. Для наружных применений наиболее важным является максимально возможное уменьшение диффузных отражений. Как уже упоминалось, дальнейшее улучшение может быть достигнуто при помощи антиотражательных покрытий на внешних поверхностях.

Изображение, полученное без рассеивания света, является значительно улучшенным по сравнению со стандартной технологией. Хотя яркость в темной комнате ниже, эффект ореола уменьшен, а относительный контраст при высокой внешней освещенности увеличен. Параллельно было проведено небольшое исследование эргономических характеристик. Это исследование было экспертной оценкой, где было проверено время реакции

пользователя на изменяющуюся на дисплее информацию. Испытания для специального применения прозрачных ЭЛ-панелей первого поколения показали, что яркость в условиях типового офиса была слишком высокой. И неожиданно выяснилось, что время реакции на изменение информации дисплея улучшилось в условиях более высокой освещенности.

Еще одна система была сконструирована для оценки субъективного считывания изображения человеком. Группа наблюдателей оценивала три типа дисплеев, представленных в таблице. Во всех выбранных измерениях новый тип дисплея без рассеивания света был признан более комфортным и более удобочитаемым, чем тип дисплея первого поколения с рассеиванием света.

Потенциальные применения для прозрачных ЭЛ-дисплеев

Прозрачные дисплеи находят применение в приложениях, где площадь является сдерживающим фактором и имеется необходимость обеспечить пользователей двойным набором информации. Например, несколько лет была известна идея использования прозрачного TFEL-дисплея перед аналоговыми измерительными приборами в автомобильной приборной панели.



Рис. 13. Демонстрация изогнутого прозрачного электролюминесцентного дисплея

Дисплеи, проецирующие изображение на лобовое стекло, могут быть идеальным применением для TFEL (см. рис. 11). Хотя прямой солнечный свет будет размывать изображение, поскольку светящееся сквозь дисплей солнце было бы слишком ярким для любой излучательной технологии дисплеев, вся информация на дисплее для проекции на лобовое стекло многократно доступна в «обычных» измерительных приборах автомобиля. Рисунок 11 демонстрирует значительное снижение эффекта ореола, а дисплей на основе люминофора без рассеивания имеет очень высокое светопропускание.

Прозрачные дисплеи позволяют создавать впечатляющие конструкции как для профессиональных, так и для бытовых применений, например, в приложениях, где прозрачный дисплей помогает наблюдателю определять местонахождение предметов за экраном. На другие информационные дисплеи также могут быть наложены условные знаки или сообщения.

Были запущены несколько проектов с прозрачными ЭЛ-дисплеями для видоизменения изделия посредством уникального визуального оформления.

На рисунке 12 мы видим прозрачный дисплей с расположенным позади него зеркалом, который может предоставить новые возможности и оптические эффекты для потенциальных применений.

Инженеры и конструкторы могут извлечь выгоду из способности TFEL-стекла выдерживать высокие температуры (до +600°C), чтобы изогнуть стекло в кривую поверхность после того, как дисплей был произведен. Это также открывает возможности обработки TFEL-дисплея (без защитного стекла) при высоких температурах на территории заказчика. На рисунке 13 представлены образцы прототипов новых концепций, которые были изготовлены для демонстрации гибкости.

На рисунке 14 показано, что прозрачные дисплеи могут быть встроены в другие материалы, такие как кремний, которые могут создавать водонепроницаемые дисплеи уникальной формы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология TFEL предоставляет уникальные возможности для реализации прозрачного, прочного и на-



Рис. 14. Прототипы прозрачных ЭЛ-дисплеев, демонстрирующие их пространственную конструкцию

дёжного светоизлучающего графического дисплея, который сохраняет великолепную удобочитаемость при экстремальных температурах и в различных условиях освещённости. Прозрачная тонкоплёночная электролюминесценция является интригующей дисплейной технологией с многочисленными потенциальными применениями.

Мы рассмотрели основные характеристики конструкции; ключевыми параметрами в достижении хороших оптических свойств являются оптимизированные слои тонких плёнок и

не рассеивающие люминофоры. Тонкоплёночная технология осаждения (ALD) обеспечивает прочные изолирующие слои, позволяющие использовать прозрачные электроды из окиси индия и олова (ITO) поверх конструкции прибора. С усовершенствованной плёнкой без рассеивания относительный контраст при высокой окружающей освещённости (примерно 50 000 лк) повысился до уровня хорошей читаемости, а светопропускание возросло до 84%.

Технологии прозрачных дисплеев применяются в автомобильных

накладных дисплеях, игрушках, бытовых приборах и любых других приложениях, где существует необходимость наложение информации на другие дисплеи. Возможность выполнять прозрачные дисплеи на изогнутых поверхностях или сводить их в пространственной прозрачной инсталляции даёт дополнительную степень свободы дизайнерам изделий и оборудования. Другими уникальными свойствами твердотельной структуры TFEL-дисплеев являются возможность сверлить в них отверстия и готовность к изгибам по радиусу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Knoll P.M., Herzog B., Sybrichs R. Electronics Displays 97 Konferenzband. 1997. P.65.
2. http://www.globaldenso.com/TECHNOLOGY/tec-report/2001/pdf/T2001_S19.pdf.
3. Antikainen M., Haaranen J., Honkala J., Labonen M., Liias V.-M., Pakkala A., Pitkanen T., Soimien E., Rumar T. Transparent Emissive Thin-Film Electroluminescent Display. SID 00 DIGEST. 2000. P. 885.
4. Kanda S. Reduction of Halo in Transparent Electroluminescent (EL) Display, SID 00 DIGEST. 2000. P. 881.



Электролюминесцентные дисплеи Planar® – ИДЕАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ
для отображения данных в медицине, промышленной автоматизации, на транспорте, в военных системах

ЧЁТКО БЕЗОПАСНО ЯСНО

- Низкий уровень электромагнитного излучения
- Устойчивость к ударным и вибрационным воздействиям
- Расширенный диапазон рабочих температур от -50 до +85°C (модель EL320.240-FA3)
- Высокая контрастность изображения
- Широкий угол обзора >160°
- Время отклика <1 мс
- Среднее время безотказной работы до 100000 ч
- Высокая параметрическая устойчивость: более 75% первоначальной яркости сохраняется после 10 лет эксплуатации

Официальный дистрибьютор компании Planar в России и странах СНГ

МОСКВА Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
С.-ПЕТЕРБУРГ Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • E-mail: info@spb.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
ЕКАТЕРИНБУРГ Тел.: (343) 376-2820 • Факс: (343) 376-2830 • E-mail: info@prosoftsystems.ru • Web: www.prosoftsystems.ru
САМАРА Тел.: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • E-mail: info@samara.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
НОВОСИБИРСК Тел.: (383) 202-0960; 335-7001/7002 • E-mail: info@nsk.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
КИЕВ Тел.: (+380-44) 206-2343/2478/2496 • Факс: (+380-44) 206-2343 • info@prosoft-ua.com • www.prosoft.ru
УФА Тел.: (347) 2925-216; 2925-217 • Факс: (347) 2925-218 • info@ufa.prosoft.ru • www.prosoft.ru