

Д. т. н. В. М. СОРОКИН, к. ф.-м. н. Р. Я. ЗЕЛИНСКИЙ,
А. В. РЫБАЛОЧКА, А. С. ОЛИЙНИК

Украина, г. Киев, Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкаре́ва
E-mail: zelinski@isp.kiev.ua

Дата поступления в редакцию
20.08 2007 г.

Оппонент к. т. н. В. В. РЮХТИН
(ЦКБ «Ритм», г. Черновцы)

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС СМ-100 ДЛЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ДИСПЛЕЕВ

Для научных центров и предприятий России, Белоруссии и Украины оптимален комплекс СМ-100, разработанный в Институте физики полупроводников НАН Украины.

Измерение основных электрооптических параметров и характеристик жидкокристаллических (ЖК) дисплеев различных типов — одна из важнейших задач ЖК-приборостроения. Современная научно-исследовательская и производственная база по разработке и изготовлению средств отображения информации на жидких кристаллах нуждается в универсальных средствах технического диагностирования и контроля основных эксплуатационных параметров и характеристик устройств отображения, а именно электрооптических, временных и температурных параметров, мультиплексных свойств, параметров бистабильности и памяти, индикатрис контраста (углового распределения контраста), спектральных характеристик и т. д.

Отсутствие таких средств в значительной степени тормозит процесс разработки и исследования новых перспективных устройств индикаторной техники, включающих в себя как сами дисплеи, так и электронное их обрамление. То же можно сказать и относительно новых ЖК-материалов.

Современные системы диагностирования ЖК-дисплеев

Использование измерительно-вычислительных комплексов в значительной степени снижает трудоемкость исследований и испытаний экспериментальных и опытных образцов ЖК-дисплеев и обеспечивает максимальное количество сведений по корректировке технологического маршрута их изготовления, оптимизации электрических сигналов управления, а также позволяет выявить предельно возможные эксплуатационные параметры приборов в целом. Особое значение приобретает диагностирование экранов на электрооптических эффектах в сверхзакрученных структурах, твист-структурах с активной матричной адресацией, в холестерико-нематических смесях, в диспергированных (капсулированных) нематиках, в ферроэлектрических и антиферроэлектрических жидких кристаллах и др. Результаты диагностирования позволяют сформулировать задачи и

рекомендации конструкторам, технологам, химикам, инженерам по электронному обрамлению и другим специалистам, занимающимся разработкой проблемно-ориентированных средств отображения информации.

Практически во всех передовых научных центрах мира для исследования как электрофизических параметров ЖК-материалов, так и электрооптических параметров ЖК-устройств отображения информации, широко используются измерительно-вычислительные системы фирмы Autronic (Германия) [1]. Однако из-за высокой стоимости эти системы оказались недоступны для научных центров и предприятий России, Белоруссии, Украины. Тем не менее потребность в таких измерительных системах в этих странах очень высока — из-за интенсивного использования широкого класса новых ЖК-дисплеев в создаваемых средствах измерительной, вычислительной техники, другой электронной продукции.

Промышленное производство ряда измерительных систем для диагностирования ЖК-дисплеев немецкая фирма Autronic-Melcher GmbH начала в 1990-х годах. Разработчики шли двумя путями — разработка автоматизированных систем для характеристики дисплеев (приборы серии DMS-301, -501, -703, **рис. 1**) и автоматизированных систем для исследования параметров ЖК-материалов серии DIMOS (LCCS-107, VHRM-105, TBA-105, TBA-110). Дальнейшее развитие указанные приборы нашли в новой серии CONOSCOPE (**рис. 2**), разработанной для быстрой визуализации и оценки цветовых параметров дисплеев с широким углом обзора.

Все перечисленные приборы хорошо зарекомендовали себя при использовании их в научных центрах и лабораториях. Они отличаются широкими функциональными возможностями, высокой точностью измерений, удобством в работе, хорошим дизайном.

Появившиеся в последние годы автоматизированные комплексы фирмы CDR (Гонконг) типа EO-100 для измерения электрооптических характеристик ЖК-дисплеев и типа CG-100 для измерения параметров твист-ячеек (толщины незаполненных ячеек, угла закрутки и др.) отличаются простотой и дешевле приборов фирмы Autronic, но уступают им по функциональным возможностям.

С учетом известных диагностических комплексов сформулированы требования к разработанным

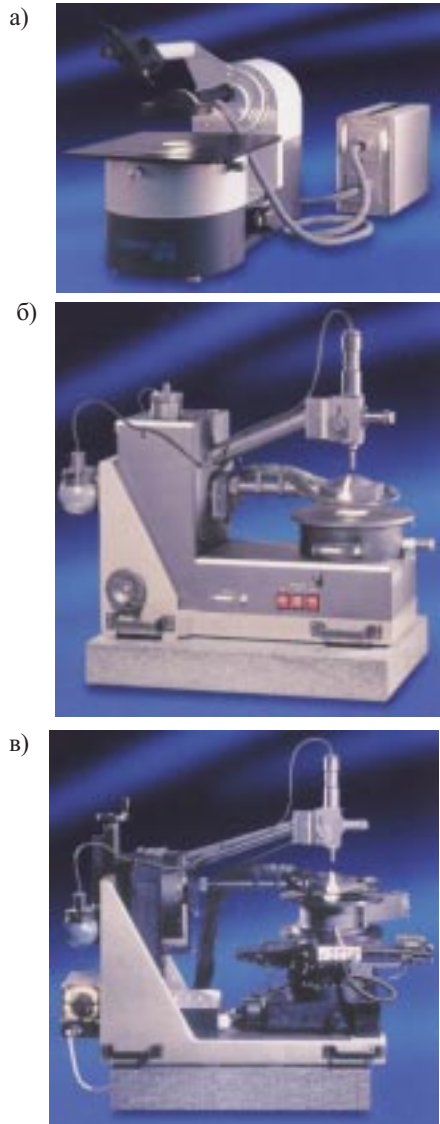


Рис. 1. Измерительно-вычислительные комплексы DMS:
а — DMS-301; б — DMS-501; в — DMS-703



Рис. 2. Измерительно-вычислительный комплекс CONOSCOPE

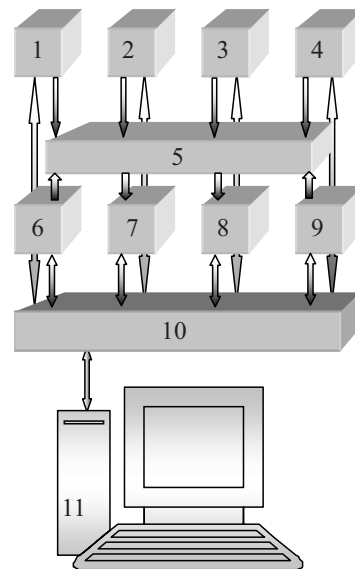


Рис. 3. Структурная схема измерительно-вычислительного комплекса SM-100:

1 — термостат; 2 — блок осветителей; 3 — блок угловой развертки; 4 — блок круговой развертки; 5 — объект исследования; 6 — измерительный генератор; 7 — фотоэлектронный блок; 8 — спектрометр; 9 — блок визуального контроля и юстировки; 10 — системный интерфейс; 11 — персональный компьютер

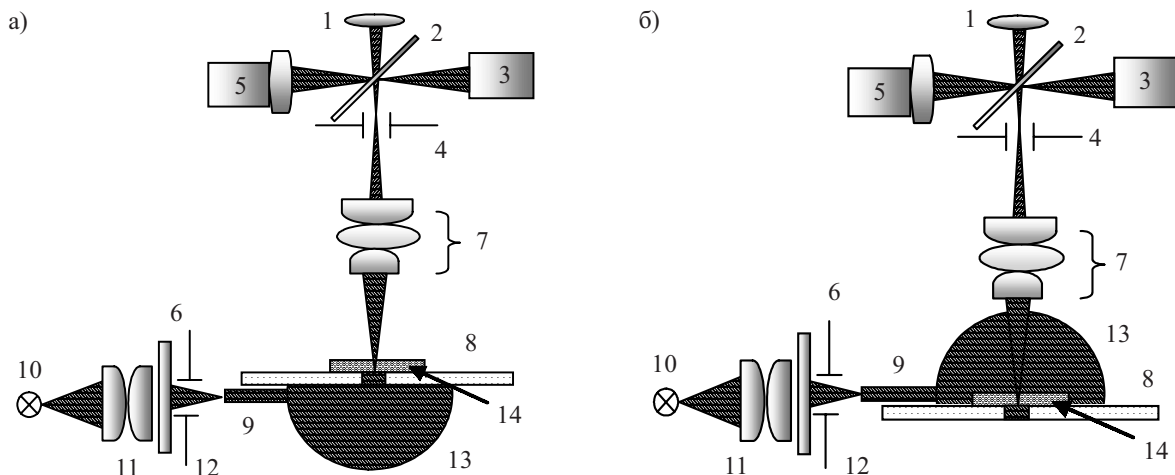


Рис. 4. Оптическая схема измерительно-вычислительного комплекса SM-100 в режиме работы на просвет (а) и на отражение (б) при подсветке образца диффузно рассеянным светом:

1 — окуляр; 2 — поворотное зеркало; 3 — фотоэлектронный преобразователь (ФЭП); 4, 12 — диафрагма; 5 — спектрометр; 6 — ИК-фильтр; 7 — объектив; 8 — предметный столик; 9 — световод; 10 — лампа накаливания; 11 — коллектор; 13 — полусфера Ульбрихта; 14 — образец

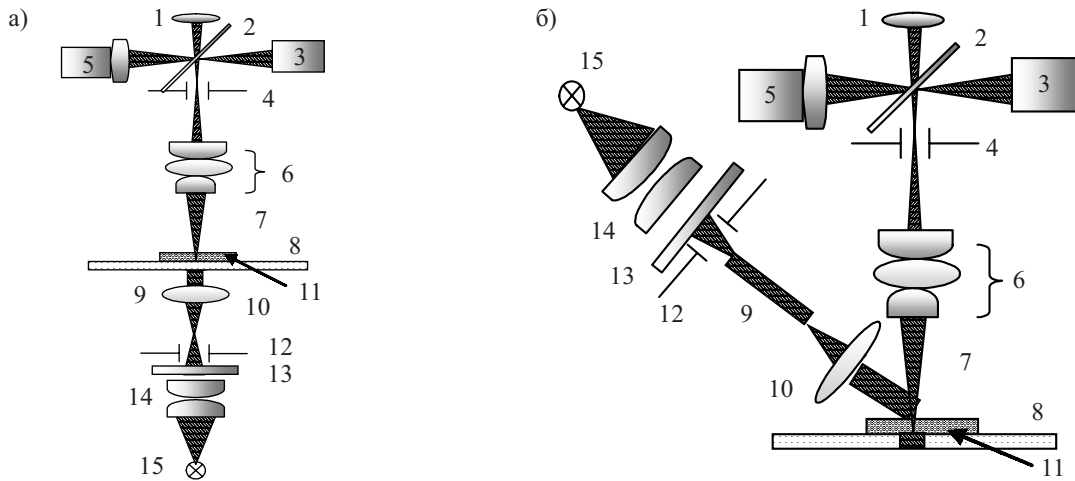


Рис. 5. Оптическая схема измерительно-вычислительного комплекса СМ-100 в режиме работы на просвет (а) и на отражение (б) при подсветке образца коллимированным светом:

1 — окуляр; 2 — поворотное зеркало; 3 — ФЭП; 4, 12 — диафрагма; 5 — спектрометр; 6 — объектив; 7 — полусфера Ульбрихта; 8 — предметный столик; 9 — световод; 10 — коллиimator; 11 — образец; 13 — ИК-фильтр; 14 — коллектор; 15 — лампа накаливания

в Институте физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева измерительно-вычислительным комплексам СМ-100 [2—4] с целью повышения их универсальности и расширения функциональных возможностей, а также применения их для исследования любых плоских средств отображения информации (включая электролюминесцентные, плазменные, светодиодные, электрохромные и другие дисплеи). При этом в задачу разработки входили исследования новых эффективных методов измерения характеристик ЖК-устройств отображения информации и построение на основе этих методов универсальных алгоритмов диагностирования.

Структурная схема комплекса СМ-100 показана на рис. 3. На рис. 4 и 5 представлена его оптическая схема при разных режимах работы. Внешний вид комплекса СМ-100 представлен на рис. 6.

Основное назначение комплексов СМ-100 — диагностирование, контроль и исследование в полном объеме электрооптических параметров плоских средств отображения информации. При этом объектами исследования могут быть:

- индикаторы со статическим управлением на нематических жидких кристаллах;
- мультиплексные ЖК-экраны на твист-эффекте;
- ЖК-экраны на основе эффектов двойного лучепреломления в сверхзакрученных твист-структурах (супертвист);
- ЖК-экраны с активной матричной адресацией;
- отражающие холестерические дисплеи;
- дисплеи на полимерно-диспергированных жидких кристаллах.

Более того, данные комплексы могут эффективно использоваться для диагностирования плоских средств отображения информации других типов (электролюминесцентных, плазменных, светодиодных, полевых эмиссионных, электро- и фотохромных). При этом для конкретного применения необходимо индивидуальное программное обеспечение.

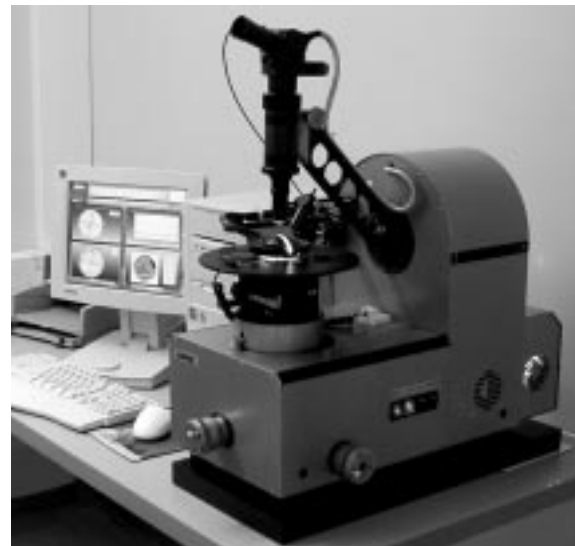


Рис. 6. Измерительно-вычислительный комплекс СМ-100

Комплексы СМ-100 позволяют измерять следующие параметры ЖК-дисплеев:

- статические вольт-яркостные и вольт-контрастные характеристики;
- предельные уровни мультиплексирования при заданном контрасте;
- предельные значения контраста при заданных уровнях мультиплексирования;
- время реакции и релаксации элементов индикации и их зависимость от значения и формы управляющих сигналов;
- индикатрисы контраста при работе приборов как на пропускание, так и на отражение;
- зависимость углового распределения контраста от значения и формы управляющих воздействий;
- зависимость контраста ЖК-экранов с активной матричной адресацией от специфических условий управления;
- оптимальные параметры электрических сигналов управления для шестиуровневой схемы управ-

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Техническая спецификация измерительно-вычислительного комплекса СМ-100

<p><i>Механизм позиционирования</i></p> <p>Угол наклона микроскопа, °</p> <p>Точность установки угла, °</p> <p>Вращение образца, °</p> <p>Перемещение образца в горизонтальной плоскости, мм</p> <p>Максимальный размер исследуемого образца, мм:</p> <p style="padding-left: 20px;">диагональ</p> <p style="padding-left: 20px;">толщина</p>	<p>0—70</p> <p>1</p> <p>0—360</p> <p>+15</p> <p>340</p> <p>1—15</p>
Освещение образца	Диффузное или коллимированное освещение для режима работы на просвет или на отражение
Источник света	Галогенная лампа, 100 Вт
Размер измеряемого элемента отображения, мм	0,1—5
Фотоприемное устройство	Фотоумножитель R3350A (Hamamatsu)
<p><i>Параметры управляющего электрического сигнала</i></p> <p>Форма</p> <p>Максимальная частота</p> <p>Максимальное управляющее напряжение, В</p> <p>Максимальный ток нагрузки, А</p>	<p>Постоянное напряжение, меандр, мультиплексная форма (A11&P1езпко)</p> <p>50 кГц для меандра</p> <p>100 Гц для мультиплексной формы при количестве строк дисплея $N=512$</p> <p>± 120 с точностью 5,0 мВ</p> <p>0,015 при емкости нагрузки 15 нФ</p>
Персональный компьютер	PC Pentium 1000 МГц, 256 RAM
Операционная система	Windows 95/98/2000
Габаритные размеры комплекса, мм	450×600×300

ления матричными ЖК-экранами, обеспечивающие максимальное значение контрастного отношения;

— зависимость контраста от формы управляющего сигнала для ЖК-экранов с реализацией полутонового изображения с числом градаций серого 8—64.

Первые версии комплекса (ДЖИП-1) успешно прошли апробацию в НИИ «Волга» (г. Саратов). Последующие модификации комплексов (СМ-100) работают в Белоруссии (ПО «Интеграл»), в Корее (Samsung), в Индии (Hitronics Enterprises). Последние модификации комплекса успешно эксплуатируются в Швеции (Swedish LCD Center) и в Гонконге (Bona Fide) и представляют собой совершенные приборы, которые отвечают современным требованиям, предъявляемым к диагностическим приборам аналогичного класса, как по функциональным возможностям, так и по дизайну.

При создании последней версии комплекса (рис. 6) были решены следующие задачи:

— разработаны эффективные методы и алгоритмы исследования основных электрооптических параметров ЖК-элементов отображения информации, работающих на основе практически всех известных электрооптических эффектов в нематических, смектических ЖК и в холестерико-нематических смесях;

— реализованы автоматическое измерение всех основных параметров и характеристик, обработка результатов измерений и выдача информации об оптимальных эксплуатационных параметрах ЖК-экранов;

— обеспечена работа комплекса в диалоговом режиме с оператором;

— выработаны формы электрических сигналов управления, соответствующие реальным сигналам

управления, а также предусмотрена возможность синтеза любой заданной формы сигнала;

— осуществлено соответствие математического обеспечения комплекса стандартным методикам измерения, обработки и описания характеристик, а также ряду новых физически обоснованных нестандартных методик;

— разработаны пакеты прикладных программ, обеспечивающие: измерение в автоматическом режиме всех характеристик дисплеев; вывод на дисплей и печатающее устройство информации о любых характеристиках исследуемого объекта (предусмотренных перечнем параметров и характеристик) в удобной для анализа форме; формирование характеристик и вывод их на печатающее устройство в заданных масштабе, формате и диапазоне переменных величин; корректировку и форматирование графиков, таблиц, подписей; ввод дополнительных данных; создание базы данных для анализа и сравнения характеристик, измеренных за длительный промежуток времени.

В **таблице** приведена техническая спецификация комплекса СМ-100.

Состав комплекса СМ-100

Механизм позиционирования обеспечивает вращение столика с укрепленным на нем образцом в азимутальной плоскости в диапазоне углов от 0 до 360° и наклон измерительного микроскопа относительно нормали к образцу в диапазоне от 0 до 70°. Вращение в азимутальной и полярной плоскостях осуществляется шаговыми двигателями с редукторами. Точность установки как азимутального, так и полярного углов составляет 1°.

Ось вращения столика имеет возможность смещаться в горизонтальной плоскости в диапазоне

± 15 мм с точностью 5 мкм, что необходимо для точного ее совмещения с оптической осью измерительного микроскопа. Дополнительный двухкоординатный транслятор позволяет перемещать исследуемый образец в горизонтальной плоскости (для совмещения центра исследуемого элемента изображения с оптической осью микроскопа) без изменения оси вращения столика. Специальный высокоточный подъемник вращающегося столика перемещает столик в вертикальном направлении для совмещения плоскости исследуемого образца с плоскостью вращения измерительного микроскопа. Благодаря этому минимизируется параллакс при измерениях под большими полярными углами. Ход высокоточного подъемника обеспечивает расстояние до 45 мм между плоскостью вращающегося столика и осью вращения измерительного микроскопа. Это позволяет установить на вращающемся столике специальную систему нагрева-охлаждения образца, высота которой составляет 40—43 мм, и, как следствие, измерять электрооптические параметры дисплея при различных температурах.

Измерительный микроскоп представляет собой четырехканальную оптическую систему, которая с помощью одного оптического переключателя направляет изображение исследуемого объекта в окуляр, фотоэлектронный умножитель, спектрометр или в резервный канал. Другой оптический переключатель управляет диафрагмами микроскопа и дискретно изменяет диаметр исследуемого элемента изображения в пределах 100, 400, 800 мкм и 4 мм. Измерительный микроскоп соединяется с фотоумножителем и спектрометром с помощью волоконно-оптического кабеля.

Осветительная система состоит из галогенной лампы накаливания, установленной в специальном блоке осветителя, который снабжен оптической фокусирующей системой и четырехпозиционным оптическим переключателем. Световые потоки от осветителя по волоконно-оптическим жгутам направляются в коллиматоры и диффузно отражающие сферы, устанавливаемые под исследуемым объектом и над ним. Это обеспечивает измерение при следующих режимах подсветки образца:

- подсветка образца диффузно рассеянным светом при работе на просвет (рис. 4, а);
- подсветка образца диффузно рассеянным светом при работе на отражение (рис. 4, б);
- подсветка образца коллимированным светом при работе на просвет (рис. 5, а);
- подсветка образца коллимированным светом при работе на отражение (рис. 5, б). В этом случае диапазон углов падения коллимированного светового потока относительно нормали к исследуемому образцу составляет 15—50°;
- различные варианты комбинированной подсветки образца.

Электронное обеспечение комплекса. Электронные узлы и блоки, установленные в корпусе комплекса, управляются компьютером и включают: источники питания; контроллер; схемы управления ша-

говыми двигателями; электронный преобразователь тока в напряжение для фотоэлектронного умножителя; высоковольтный усилитель управляющих сигналов; высоковольтный блок питания фотоэлектронного умножителя.

Спектрометрическое оборудование. Разработанный спектрометр представляет собой самостоятельный прибор и может использоваться как составная часть комплекса или индивидуально. Для повышения чувствительности спектрометра и уменьшения шумов его фотоприемная часть (ПЗС-матрица ССДС ПХ-511 с 2048 элементами) соединена с термоэлектрической охлаждающей системой. Рабочая температура ПЗС-матрицы составляет 15°С и поддерживается специальной электронной схемой стабилизации температуры. Время, необходимое для стабилизации температуры, составляет 2 мин с момента включения спектрометра. Диапазон исследуемых длин волн спектрометра 400—800 нм, точность 0,5 нм. Соединяющий с измерительным микроскопом волоконно-оптический кабель имеет длину 1,3 м и диаметр 0,6 мм. Спектральная область пропускания световода составляет 300—1100 нм.

Система термостатирования измеряемых образцов создана для обеспечения измерения параметров дисплеев в диапазоне температур от -30 до +90°С. Система состоит из термостолика и электронного блока управления. Термостолик представляет собой двухступенчатую систему термоэлементов, которая позволяет быстро устанавливать заданную температуру. Нижняя часть системы соединена с водоохлаждаемым радиатором, а верхняя — с медной пластиной, покрытой никелем. После укрепления исследуемого образца на верхней пластине термостолик накрывается специальной термоизолирующей крышкой. В нижней и верхней части термостолика и в крышке выполнены отверстия диаметром 10 мм со стеклянными окнами для пропускания светового потока при работе на отражение или на просвет.

Блок электронного управления системой содержит процессор, программа которого обеспечивает необходимый закон регулирования температуры, схему управления током термоэлементов, клавиатуру для установки требуемых режимов работы и дисплей для контроля текущего значения температуры.

Необходимым условием нормальной работы термостолика является водоохлаждение радиатора. Подключение воды осуществляется тонким гибким шлангом. Потребление воды — не более 0,5 л/мин. Система автоматически выключается при недостатке воды или при достижении температуры воды 55°С.

Компьютер с дополнительным электронным модулем. Комплекс СМ-100 использует стандартный РС Pentium для управления электронными, механическими и оптическими компонентами. Дополнительный электронный модуль, состоящий из аналого-цифрового и цифроаналогового преобразователей, контроллера, блока питания и интерфейса, выдает управляющие сигналы на высоковольтный усилитель, принимает информацию с фотодетектора, обеспечивает связь и управление спектрометром и тер-

мостоликом. Компьютер с помощью программного обеспечения запоминает, обрабатывает, оценивает результат измерений и выдает информацию на монитор или на принтер.

Программное обеспечение создано на современном уровне, простое в обучении и пользовании, Windows-ориентированное, состоит из большого числа меню, содержит обширную базу данных, редакторы и графопостроители, позволяет быстро обрабатывать и корректировать результаты измерений, проводить сравнение с выбранными характеристиками и многое другое. При дальнейшей модернизации комплекса программное обеспечение легко адаптируется.

Созданный измерительно-вычислительный комплекс СМ-100 позволяет проводить эффективную диагностику не только новых жидкокристалличе-

ских материалов и дисплеев на их основе, но и других плоских средств отображения информации — при несложной доработке конструкции и программного обеспечения.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Autronic-Melcher Display Measuring System DMS Series 500 and 700.— Karlsruhe: 1995, Release 2.
2. Sorokin V., Starodub N. Liquid crystal display measuring system.— Proc. of the VI Intern. Symposium on Advanced Display Technologies.— Partenit.— 1997.— С. 158—163.
3. Sorokin V. Liquid crystal display measuring system.— Proc. of the VII Intern. Symposium on Advanced Display Technologies.— Novy Svit.— 1999.— С. 1—12.
4. Сорокин В. М., Зелинский Р. Я. Диагностирование жидкокристаллических дисплеев. Измерительно-вычислительные комплексы // Электроника: Наука. Технология. Бизнес.— 2003.— № 4.— С. 40—45.

ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ



11-я Международная специализированная выставка
АВТОМАТИЗАЦИЯ—2008. ЭЛЕКТРОНИКА—2008
 01.04 — 04.04 2008

Организаторы: Выставочная компания "Минскэкспо" при поддержке Министерства промышленности Республики Беларусь, Национальной Академии наук Беларуси

Место проведения: г. Минск, пр. Победителей, 14, выставочный павильон
 Выставочная компания "Грин Экспо", 220015, Беларусь, г. Минск, а/я 242
 E-mail: info@greenexpo.by

АВТОМАТИЗАЦИЯ

- ✦ Автоматизированные системы и технические средства управления производством и технологическими процессами.
- ✦ Промышленные контроллеры.
- ✦ Системы контроля, регулирования и управления.
- ✦ Промышленная автоматизация. Роботы. Манипуляторы. Периферийное оборудование. Лазерная техника. Обработка изображений в промышленном процессе.
- ✦ Обеспечение и контроль качества.
- ✦ Информационные технологии и программное обеспечение: системы CAD/CAM, базовые системы и средства разработки программ, инжиниринг, услуги и сервис.

ЭЛЕКТРОНИКА

Электронные компоненты, комплектующие.

- ✦ Полупроводниковые устройства.
- ✦ Электромеханические компоненты и технологии соединений.
- ✦ Встроенные системы.
- ✦ Датчики и микросистемы.

- ✦ Источники питания.
- ✦ Печатные платы и другие платы для монтажа.
- ✦ Пассивные компоненты.
- ✦ Оборудование и программное обеспечение — тестирование измерений.
- ✦ Узлы и подсистемы.

Технологическое оборудование, материалы и инструменты для производства электронной промышленности.

- ✦ Производство полупроводников.
- ✦ Микросистемная технология.
- ✦ Обработка материалов.
- ✦ Производство компонентов, технологии для обработки кабелей.
- ✦ Технологии производства печатных плат и других носителей схем.
- ✦ Технология монтажа компонентов на поверхность плат.
- ✦ Технология пайки.
- ✦ Чистовая обработка изделий.
- ✦ Испытания и измерения.