

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ДИСПЛЕЕВ

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Создание новых конкурентоспособных средств отображения информации, использующих широкую гамму электрооптических эффектов в нематических, смектических и холестерических жидких кристаллах (ЖК), а также обеспечение их нормальной работы в заданных условиях эксплуатации невозможно без правильного диагностирования. Решение этой проблемы облегчают современные универсальные измерительно-вычислительные комплексы. Среди ряда комплексов, используемых в мире, для научных центров и предприятий России, Белоруссии и Украины оптимален комплекс СМ-100, разработанный в Институте физики полупроводников НАН Украины (Киев).

Измерение основных электрооптических параметров и характеристик 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. К последним относятся электрооптические, временные и температурные параметры, мультиплексные свойства, параметры бистабильности и памяти, индикатрисы контраста (угловое распределение контраста), спектральные характеристики и т.д. Отсутствие необходимых средств диагностирования в значительной степени тормозит процесс разработки и исследования новых перспективных устройств индикаторной техники, включающих в себя как сами дисплеи, так и их электронное обрамление. Разработка и освоение выпуска новых ЖК-материалов также замедляются из-за отсутствия эффективных средств контроля их электрофизических параметров, особенно при работе в конкретных индикаторных устройствах.

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЖК-ДИСПЛЕЕВ

Использование измерительно-вычислительных комплексов в значительной степени снижает трудоемкость исследований и испытаний экспериментальных и опытных образцов ЖК-дисплеев, обеспечивает получение максимального количества сведений по корректировке технологического маршрута их изготовления, оптимизации электрических сигналов управления, позволяя выявить предельные эксплуатационные параметры приборов в целом. Особое значение приобретает диагностирование экранов на электроопти-

ческих 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 рекомендации конструкторам, технологам, химикам, инженерам по электронному обрамлению и другим специалистам в области проблемно ориентированных средств отображения информации.

В мировой практике наиболее известна измерительно-вычислительная система фирмы Autronic (Германия), используемая практически во всех передовых научных центрах мира для исследования как электрофизических параметров ЖК-материалов, так и электрооптических параметров ЖК-устройств отображения информации [1]. Однако из-за высокой стоимости системы этой фирмы недо-

Представляем авторов статьи

СОРОКИН Виктор Михайлович. Доктор технических наук, заведующий отделом "Жидкие кристаллы" Института физики полупроводников НАН Украины. Директор Украинского отделения Международного общества информационных дисплеев (SID Ukrainian Chapter). Организатор Международных симпозиумов "Передовые дисплейные технологии", проводимых в Украине с 1997 года, и председатель оргкомитета этих симпозиумов. Сфера профессиональных интересов — физика и электрооптика жидких кристаллов, технология ЖК-дисплеев, электронное обеспечение дисплеев, автоматизированные системы диагностирования плоских средств отображения информации. Автор более 100 научных статей, имеет 14 патентов на изобретения. *Тел./факс: (380-44) 265-5785, e-mail: vsorokin@isp.kiev.ua*

ЗЕЛИНСКИЙ Роман Ярославович. Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела "Жидкие кристаллы" Института физики полупроводников НАН Украины. Сфера профессиональных интересов — электрооптика границы раздела твердое тело — жидкий кристалл, технология ориентации жидких кристаллов, метрология жидких кристаллов и ЖК-средств отображения информации. *Тел.: (380-44) 265-3126, факс: (380 44) 265-5785, e-mail: zelinski @isp.kiev.ua*



ступны для научных центров и предприятий России, Белоруссии и Украины. Тем не менее, потребность в таких измерительных системах в этих странах очень высока из-за интенсивных разработок и выпуска широкого класса новых ЖК-средств отображения информации.

Промышленное производство ряда измерительных систем для диагностирования ЖК-дисплеев немецкая фирма Autronic-Melcher GmbH освоила в начале 90-х годов. Ее разработки шли двумя путями: разработка автоматизированных систем для характеристики дисплеев – приборы серий DMS-703 (рис.1), DMS-501 (рис.2), DMS-301 (рис.3); разработка автоматизированных систем для исследования параметров ЖК-материалов – приборы серии DIMOS (LCCS-107, VHRM-105, TBA-105, TBA-110). Дальнейшее развитие данные приборы получили в новой серии CONOSCOPE (рис.4), разработанной для быстрой визуализации и оценки цветовых параметров дисплеев с широким углом обзора.

Все перечисленные приборы хорошо зарекомендовали себя при использовании в научных центрах и лабораториях мира, занимающихся проблемами ЖК-дисплеев и ЖК-материаловедения. Приборы отличаются широкими функциональными возможностями, высокой точностью измерений, удобством в работе, хорошим дизайном. Однако стоимость систем фирмы Autronic высока, и это представляет серьезное препятствие для расширения их использования.

Рис.2. Измерительно-вычислительный комплекс DMS-501

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, невысокой стоимостью, но по функциональным возможностям уступают приборам фирмы Autronic. В таблице приведены основные характеристики и функциональные возможности комплексов DMS-703, DMS-501, DMS-301, CONOSCOPE, EO-100 и CG-100.

Анализ функциональных возможностей приведенных в таблице диагностических комплексов позволил сформулировать требования к разработанным в Институте физики полупроводников (Киев, Украина) измерительно-вычислительным комплексам CM-100 [2,3], предусматривающие повышение их универсальности и функциональных возможностей, в частности применение этих комплексов для исследования любых плоских средств отображения информа-



Рис.1. Измерительно-вычислительный комплекс DMS-703

ции (включая электролюминесцентные, плазменные, светодиодные, электрохромные и другие дисплеи). При разработке были учтены практически все современные подходы к конструкциям, элементам точной механики, оптическим схемам, электронному управлению, способам подсветки (для пассивных дисплеев), специфике реализуемых электрооптических эффектов в дисплеях различных типов. 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.

Основное назначение комплексов CM-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.



Рис.3. Измерительно-вычислительный комплекс DMS-301

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

Комплексы CM-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 шестиступенчатой схемы управления 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.



Рис.4. Измерительно-вычислительный комплекс CONOSCOPE

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

При создании последней версии комплекса (рис.5) были решены следующие задачи:

- разработка эффективных методов и алгоритмов 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;
- реализация автоматического измерения всех основных параметров и характеристик, обработки результатов измерений и выдачи информации об оптимальных эксплуатационных параметрах ЖК-экранов;
- обеспечение работы комплекса в диалоговом режиме с оператором;
- выработка форм электрических сигналов управления, соответствующих реальным сигналам управления, а также обеспечение возможности синтеза любой заданной формы сигнала;
- достижение соответствия математического обеспечения комплекса стандарт-

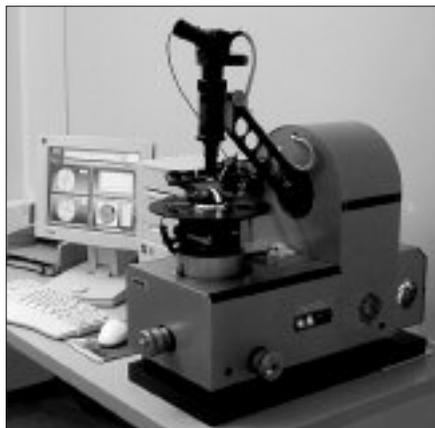


Рис.5. Измерительно-вычислительный комплекс CM-100

ным методикам измерения, обработки и описания характеристик, а также ряду новых физически обоснованных нестандартных методик;

- разработка пакетов прикладных программ для измерения в автоматическом режиме всех характеристик дисплеев; вывода на дисплей и печатающее устройство информации о любых характеристиках исследуемого объекта (предусмотренных перечнем параметров и характеристик) в удобной для анализа форме; формирования характеристик и вывода их на печатающее устройство в заданных масштабе, формате и диапазоне переменных величин; корректировки и форматирования графиков, таблиц, подписей; ввода дополнительных данных; создания базы данных для анализа и сравнения характеристик, измеренных за длительный промежуток времени.

Ниже приведена техническая спецификация комплекса CM-100:

Механизм позиционирования	
Угол наклона микроскопа	..... 0–70°
Точность установки угла	..... 1°
Вращение образца	..... 0–360°
Перемещение образца в горизонтальной плоскости	..... ±15 мм
Максимальный размер исследуемого образца	
Диагональ	..... 340 мм
Толщина	..... 1–15 мм
Освещение образца	..... Диффузное или коллимированное освещение для просветного или отражающего режима работы
Источник света	..... Галогенная лампа, 100Вт
Размер измеряемого элемента отображения	..... 0,1–5 мм
Фотоприемное устройство	..... Фотоумножитель R3350A (Hamamatsu)
Параметры управляющего электрического сигнала	
Форма	..... Постоянное напряжение, меандр, мультиплексная форма (Alt&Pleshko)
Максимальная частота	..... 50 кГц для меандра, 100 Гц для мультиплексной формы при числе мультиплексируемых строк N=512
Максимальное управляющее напряжение	
.....	±120 В с точностью 5,0 мВ
Максимальный ток нагрузки	..... 0,015 А при емкости нагрузки 15 нФ
Персональный компьютер	..... PC Pentium 500 МГц, 128 RAM
Операционная система	..... Windows 95/98/2000
Габаритные размеры комплекса	..... 450x600x300 мм

СОСТАВ КОМПЛЕКСА CM-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 может 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. Вращающийся столик перемещается специальным высокоточным подъемником в вертикальном направлении для совмещения плоскости исследуемого образца с плоскостью вращения измери-



Характеристики зарубежных измерительных комплексов

Характеристика	DMS-703	DMS-501	DMS-301	CONOSCOPE	EO-100	CG-100
Объекты диагностирования	ЖКД ¹	ЖКД	ЖКД	ЖКД	ЖКД	ЖК-твист-ячейки
Размеры исследуемого образца, мм	150x180	150x180	100x100	250x250	100x80	40x40
Возможность исследования статических ВКХ ²	●	●	●	○	●	–
Возможность исследования динамических ВКХ	●	●	●	○	●	–
Возможность измерения угловых характеристик распределения контраста	●	●	●	●	○	–
Возможность диагностирования TN ЖКД ³	●	●	●	○	●	○
Возможность диагностирования STN ЖКД ⁴	●	●	●	○	●	○
Возможность диагностирования SmC ЖКД ⁵	●	●	●	○	○	○
Возможность диагностирования холестерических ЖКД	○	○	○	○	○	○
Возможность диагностирования плоских экранов других типов	○	○	○	○	○	○
Возможность температурных исследований	●	●	●	○	○	○
Возможность измерения спектральных характеристик	●	●	●	●	○	○
Параметры управляющих сигналов						
Диапазон управляющих напряжений, В	0-70	0-70	0-70	Стандартные сигналы для дисплеев	0-60	○
Шаг квантования по времени для управляющего сигнала, мкс	20	20	20	○	40	40
Пределный реализуемый уровень мультиплексирования ЖКД	640	640	640	640	256	○

¹ ЖКД – ЖК-дисплей, ² ВКХ – вольт-контрастная характеристика, ³ TN ЖКД – твист-нематические ЖКД, ⁴ STN – супертвист-нематические ЖКД, ⁵ SmC ЖКД – ЖКД на смектических С-жидких кристаллах, ○ – нет, ● – есть.

тельного 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 высотой 40–43 мм и, как следствие, измерять электрооптические параметры дисплея при различных температурах.

Измерительный микроскоп. Представляет собой четырехканальную оптическую систему с двумя оптическими переключателями. Один из них направляет изображение исследуемого объекта в окуляр, фотоэлектронный умножитель, спектрометр или в резервный канал. Другой переключатель управляет диафрагмами микроскопа и дискретно изменяет диаметр исследуемого элемента изображения в пределах 100, 400, 800 мкм и 4 мм. С фотоумножителем и спектрометром измерительный микроскоп соединяется волоконно-оптическим кабелем.

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 измеряемым объектом и над ним. Это обеспечивает измерение при следующих режимах подсветки образца:

- подсветка диффузно рассеянным светом при работе на просвет;
- подсветка диффузно рассеянным светом при работе на отражение;
- подсветка коллимированным светом при работе на просвет;
- подсветка образца коллимированным светом при работе на отражение (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 в себя источники питания, контроллер, схемы управления шаговыми двигателями, электронный преобразователь тока в напряжение для фотоэлектронного умножителя, высоковольтный усилитель управляющих сигналов, высоковольтный блок

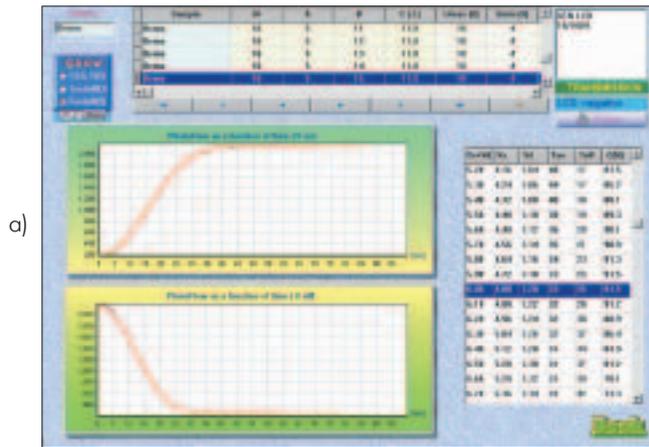
питания фотоэлектронного умножителя.

Спектрометрическое оборудование. Разработанный спектрометр представляет собой самостоятельный прибор и может использоваться как составная часть комплекса или индивидуально. Для повышения чувствительности и уменьшения шумов фотоприемная часть спектрометра (ПЗС-матрица CCD ILX-511 с 2048 элементами) соединена с термоэлектрической охлаждающей системой. Рабочая температура ПЗС-матрицы составляет 15°C 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. С измерительным микроскопом спектрометр соединяется волоконно-оптическим кабелем длиной 1,3 м и диаметром 0,6 мм. Спектральная область пропускания световода составляет 300–1100 нм.

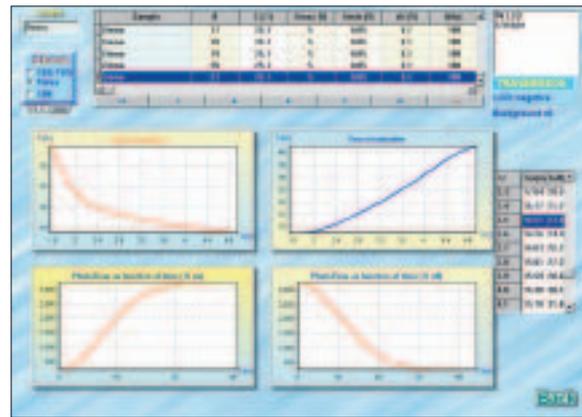
Система термостатирования измеряемых образцов. Создана для обеспечения измерения параметров средств отображения информации в диапазоне температур от -30 до +90°C. Состоит из термостолика и электронного блока управления. Термостолик представляет собой двухуровневую систему термоэлементов, которая позволяет 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. Необходимое условие нормальной работы термостолика – водоохлаждение радиатора. Для подачи воды служит тонкий гибкий шланг. Потребление воды – не более 0,5 л/мин. Система автоматически выключается при недостатке воды или когда температура воды достигает 55°C.

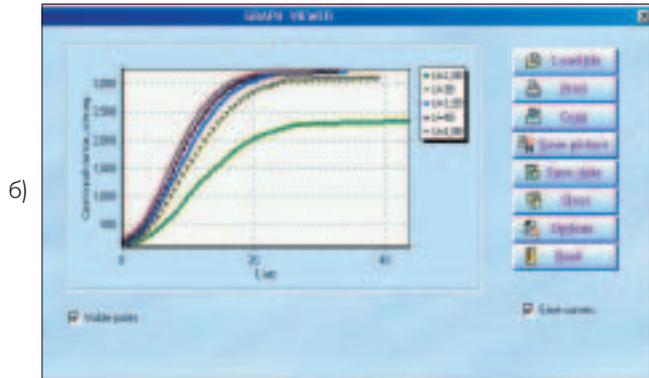
Компьютер с дополнительным электронным модулем. Комплекс CM-100 использует стандартный PC Pentium 400–1700 МГц для управления электронными, механическими и оп-



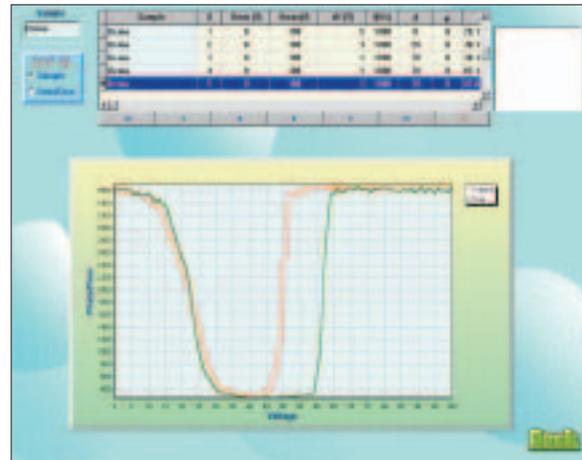
а)



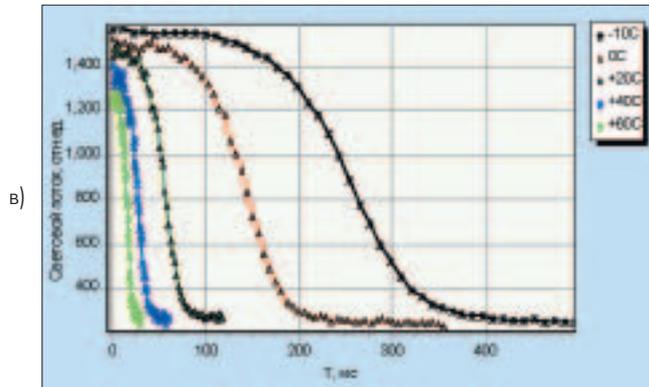
д)



б)



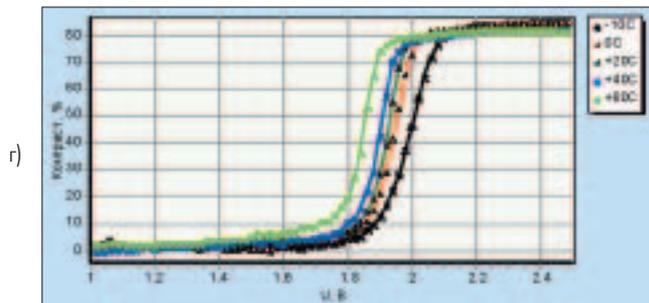
е)



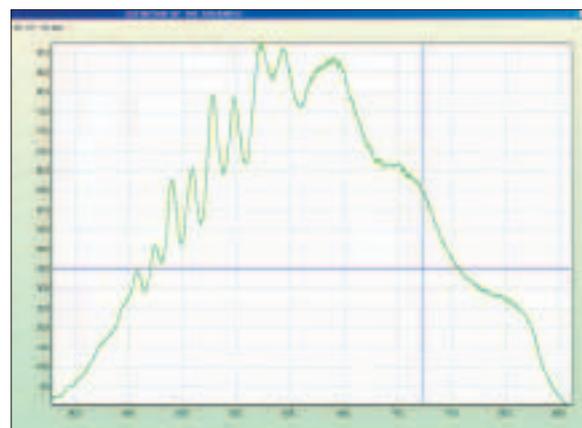
в)



ж)



г)



з)

Рис.6. Фрагменты результатов диагностирования ЖК-дисплеев разных типов с помощью SM-100
а) временные характеристики элемента индикации при напряжении (V_s+V_d), соответствующем максимальному контрасту элемента индикации
б) реакция элемента отображения при различных значениях управляющего напряжения
в) реакция твист-дисплея при различных температурах
г) ВКХ твист-дисплея при различных температурах
д) времена переключения для твист-дисплея
е) угловое распределение контраста для твист-дисплея
ж) гистерезисная характеристика холестерического дисплея
з) спектральная характеристика пропускания незаполненной ячейки



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

Программное обеспечение. Построено на современном уровне, простое в обучении и пользовании, window-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 выполняет многие другие функции. При модернизации комплекса легко адаптируется.

Для демонстрации функциональных возможностей комплекса СМ-100 на рис.6 приведены фрагменты результатов диагностирования ЖК-дисплеев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Autronic-Melcher Display Measuring System DMS Series 500 and 700.—Release 2, 1995.
2. **Sorokin V., Starodub N.** Liquid Crystal Display Measuring System. —Proc. of the VI Int. Symposium on Advanced Display Technologies, Partenit, 1997.
3. **Sorokin V.** Liquid Crystal Display Measuring System. —Proc. of the VII Int. Symposium on Advanced Display Technologies, Novy Svit., 1999.