

тодом и объективом установлена маска (щель, регулируемая по высоте и ширине) и фильтр. Усиленные импульсы фототока с ФЭУ регистрируются частотомером, а после перевода в аналоговую форму сигнал выводится на самописец. С целью уменьшения фонового сигнала, вызванного темновыми импульсами, частотомер стробируется, т. е. считает импульсы только во временные интервалы, совпадающие с пугами возбуждающих импульсов. Сигнал стробирования формируется от фотодиода, на который отводится часть мощности излучения лазера накачки. Такой режим обеспечивает снижение темнового сигнала более чем на два порядка.

Для записи спектров флуоресценции использовались монохроматор ДФС-12 и аналогичная система регистрации. В случае слабых сигналов спектры могли накапливаться в многоканальном анализаторе NTA-1024 за несколько (десятки) сканирований, что существенно улучшало отношение сигнал — шум.

Для иллюстрации возможностей установки на рис. 2 приведен спектр возбуждения 3-аминофталимида, не исправленный на изменение мощности источника при перестройке. Стрелками отмечены группы из 2—3 линий, которые не были спектрально разрешены в работе [5].

### Список литературы

1. Levy D. H. // Ann. Rev. Phys. Chem. 1980. V. 31. P. 197.
2. Smalley R. E. Ibid. 1983. V. 34. P. 129.
3. Гулис И. М., Комяк А. И., Саечников К. А., Цвирко В. А. // ЖПС 1987. Т. 47. № 3. С. 489.
4. Саечников К. А., Гулис И. М. // Вестн. Белорусского ун-та. Сер. 1: Физ. Мат. Мех. 1989. № 1. С. 6.
5. Asimov M., Ernsting N. P. // Journ. of Luminescence. 1983. V. 28. P. 119.

Поступила в редакцию 21.12.87.

УДК 532.783

А. З. АБДУЛИН, А. А. МИНЬКО, А. А. МУРАВСКИЙ

### ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МАТРИЧНОГО ДИСПЛЕЯ

В последнее время большой интерес вызывают жидкокристаллические устройства (ЖК) отображения информации матричного типа с мультиплексным управлением [1—3]. Такие дисплеи имеют ряд преимуществ по сравнению с дисплеями, у которых возбуждение выбранных элементов ведется путем непосредственной подачи напряжения на каждый элемент, поскольку при том же числе выводов информационная емкость матричного дисплея значительно выше. Один и тот же матричный экран способен отображать практически любую буквенно-цифровую и графическую информацию, что позволяет использовать его в качестве экрана персонального компьютера.

Наиболее важный параметр матричного дисплея — максимально возможное число сканируемых строк  $N_{90}$  — для конкретного электрооптического эффекта зависит от физических характеристик ЖК (констант упругости, диэлектрической и оптической анизотропии, вязкости), условий наблюдения (угла наблюдения относительно нормали и азимутального угла), а также от параметров жидкокристаллической ячейки (толщины слоя, условий подвеса молекул на удерживающих подложках). Представляет интерес поэтому проанализировать взаимосвязь физических характеристик жидкокристаллического материала и электрооптических параметров матричного дисплея.

Связь между числом сканируемых строк и параметром крутизны вольтконтрастной характеристики ( $\rho$ ) можно представить в виде [4]:

$$N_{90} = \left[ -\frac{(1+\rho)^2 + 1}{(1+\rho)^2 - 1} \right]^2, \quad (1)$$

где  $\rho = \frac{U_{90} - U_{10}}{U_{10}}$ ; напряжения  $U_{10}$  и  $U_{90}$  соответствуют уровням пропускания жидкокристаллического элемента 10 и 90 %. Они, в свою очередь, зависят как от жидкокристаллического материала, так и от параметров ячейки. Следовательно, для определения мультиплексной способности ЖК необходимо знать вольт-контрастные характеристики ячеек.

Наиболее часто для динамического управления используется твист-эффект в нематическом жидком кристалле (НЖК). НЖК описывается с помощью директора  $\vec{n}$ , направление которого задается двумя углами  $\Theta$  и  $\varphi$ ,  $\vec{n} = (\cos \Theta \cdot \cos \varphi, \cos \Theta \cdot \sin \varphi, \sin \Theta)$ .

Рассмотрим плоскопараллельную ячейку в электрическом поле и предположим, что в ней отсутствуют дефекты структуры. В рамках теории упругости распределение поля директора внутри слоя описывается следующей системой уравнений [5]:

$$f(\Theta) \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} + \frac{1}{2} \frac{df(\Theta)}{d\Theta} \left( \frac{\partial \Theta}{\partial z} \right)^2 - \frac{1}{2} \frac{dg(\Theta)}{d\Theta} \left( \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)^2 + \frac{\epsilon_a}{4\pi} E^2 \sin 2\Theta = \gamma \frac{\partial \Theta}{\partial t}; \quad (2)$$

$$g(\Theta) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + \frac{dg(\Theta)}{d\Theta} \frac{\partial \Theta}{\partial z} \frac{\partial \varphi}{\partial z} = \frac{\partial \varphi}{\partial z},$$

где  $f(\Theta) = K_{11} \cos^2 \Theta + K_{33} \sin^2 \Theta$ ;  $g(\Theta) = (K_{22} \cos^2 \Theta + K_{33} \sin^2 \Theta) \cos^2 \Theta$ ;  $\epsilon_a$  — диэлектрическая анизотропия;  $E$  — напряженность приложенного электрического поля;  $\gamma$  — вращательная вязкость ЖК;  $K_{11}$ ,  $K_{22}$  и  $K_{33}$  — модули упругости ЖК (поперечного изгиба, кручения и продольного изгиба соответственно).

Система (2) решалась численно методом Эйлера (ЖК слой разбивался на 12 элементарных слоев). Неравномерность распределения электрического поля по толщине ячейки учитывалась аналогично [6]. При расчете распределения директора по толщине ячейки задавались ориентация директора на границах и напряжение, приложенное к ячейке. Далее полученная таким образом геометрия директора использовалась для определения пропускания жидкокристаллического дисплея (системы поляризатор, слой ЖК, закрученный на  $90^\circ$ , и анализатор, скрещенный с поляризатором). Для расчета прохождения света через такую систему слой ЖК разбивался на элементарные слои (те же слои, что и при расчете деформации поля директора), а состояние поляризации после прохождения последовательно каждого отдельного слоя рассчитывалось по формуле [7]:

$$\chi(\Delta z, \chi_0) = \left[ \frac{(\beta + i\alpha \operatorname{tg} \beta z) \chi_0 + i g_0 \operatorname{tg} \beta z}{(i g_0 \operatorname{tg} \beta z) \chi_0 + (\beta + i\alpha \operatorname{tg} \beta z)} \right] e^{-i2\alpha z}, \quad (3)$$

где  $\beta = g_0 \sqrt{(\alpha/g_0)^2 + 1}$ ;  $g_0 = \frac{\pi}{\lambda} \Delta n$ ;  $\alpha = \frac{2\pi}{P}$ ;

$\chi$  — функция состояния поляризации;  $\Delta n$  — величина двулучепреломления;  $P$  — шаг спиральной структуры (в случае твист-эффекта  $P = d/4$ , где  $d$  — толщина слоя);  $\lambda$  — длина волны падающего света. Зная функцию состояния поляризации, по формулам

$$e = \frac{|\chi| - 1}{|\chi| + 1}, \quad \psi = -\frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left( \frac{\operatorname{Im} \chi}{\operatorname{Re} \chi} \right) \quad (4)$$

рассчитывали эллиптичность  $e$  и азимут поляризации выходящего из ЖК ячейки света  $\psi$ , а затем определяли ее пропускание.

Для каждого определенного значения приложенного напряжения строилась вольт-контрастная характеристика и из нее определялся пара-

метр крутизны  $\rho$ , а по формуле (1) рассчитывалась мультиплексная способность ЖК материала.

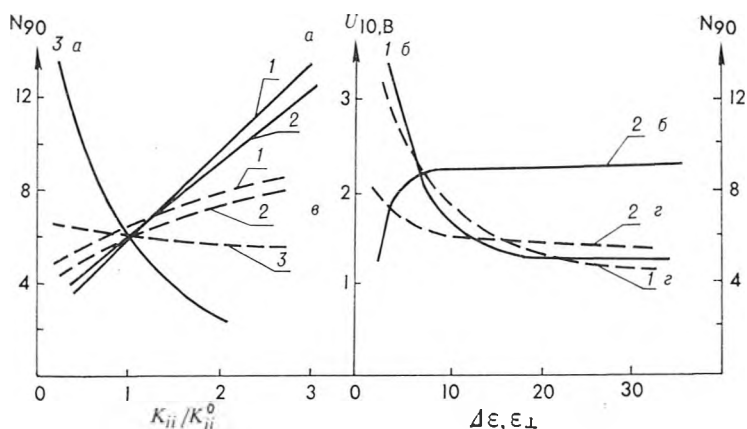


Рис. 1. Зависимость мультиплексной способности и порогового напряжения  $U_{10}$  от параметров жидкого кристалла:

*а, в* — при изменении модулей упругости (1 — изменяется  $K_{11}$ , 2 —  $K_{33}$ , 3 —  $K_{22}$ );  
*б, г* — при изменении диэлектрической проницаемости  $\Delta\epsilon$  (1) и  $\epsilon_{\perp}$  (2). Здесь  
 и на рис. 2 —  $N_{90}$ , — — —  $U_{10}$

Для построения и анализа зависимостей электрооптических параметров матричного дисплея  $N_{90}$ ,  $U_{10}$  от физических характеристик ЖК материала и от параметров самой ячейки мы исходили из следующих параметров:  $\epsilon_{\perp} = 3$ ,  $\Delta\epsilon = 10$ ;  $K_{11}^0 = 0,65 \cdot 10^{-6}$  дн;  $K_{22}^0 = 0,72 \cdot 10^{-6}$  дн;  $K_{33}^0 = 1,06 \times = 1,06 \cdot 10^{-6}$  дн;  $\Delta n = 0,2$ ;  $d = 10$  мкм, что соответствует ЖК смеси из азоксисоединений.

Из рис. 1 видно, что  $N_{90}$  и  $U_{10}$  существенно зависят от физических параметров жидкого кристалла. Анализ этих зависимостей позволяет выработать некоторые критерии по ЖК материалам для оптимизации матричного дисплея.

Так, для повышения мультиплексной способности дисплея необходимо подбирать смеси с большими значениями  $K_{11}$ ,  $K_{33}$  и малыми значениями  $K_{22}$  (рис. 1, *а*) и стремиться получить  $U_{10}$  в пределах 1—2 В (чтобы избежать дополнительной установки усилителей напряжения при подаче управляющих сигналов на дисплей). Известно, что на практике не удается варьировать модули упругости в широких пределах, поэтому, как следует из рис. 1, *а*, наиболее целесообразно при создании новых ЖК смесей искать путь воздействия на модуль  $K_{22}$ , так как малое его изменение (уменьшение) вызывает значительное увеличение мультиплексной способности, а  $U_{10}$  при этом меняется незначительно (рис. 1, *в*).

Другой путь изменения мультиплексной способности матричного дисплея — варьирование диэлектрической проницаемости (см. рис. 1, *б*), что возможно при использовании неполярных добавок в полярных смесях или наоборот. Однако при оптимизации мультиплексной способности по параметру  $\Delta\epsilon$  необходимо одновременно учитывать и зависимость  $U_{10}$  от  $\Delta\epsilon$  (см. рис. 1, *г*), т. е., уменьшая  $\Delta\epsilon$  для увеличения  $N_{90}$ , принять во внимание возрастание порогового напряжения  $U_{10}$ . Из рис. 1, *б, г* видно, что  $\epsilon_{\perp}$  не должно быть малым; при  $\epsilon_{\perp} = 6 \div 8$  оно практически не влияет на величины  $N_{90}$  и  $U_{10}$ .

Приведенный анализ позволяет провести оптимизацию мультиплексной способности матричного дисплея по характеристикам ЖК смеси, однако при создании ЖК дисплея, кроме свойств ЖК материала, следует учитывать и параметры, связанные с конструкцией самой ячейки (ориен-

тация молекул на ограничивающих поверхностях \* и величина зазора между этими поверхностями), которые выбираются в зависимости от величины анизотропии ЖК ( $\Delta n$ ), а для хирально-нематических материалов и от шага спирали  $P$ . Рассчитанные зависимости  $N_{90}$  и  $U_{10}$  от этих параметров (рис. 2) показывают, что мультиплексная способность уменьшается с увеличением концентрации хиральной добавки (уменьшение шага спирали) (см. рис. 2, б), поэтому добавляется еще один критерий: шаг спирали хирально-нематической смеси должен быть на несколько порядков больше, чем величина зазора (толщина слоя ЖК).

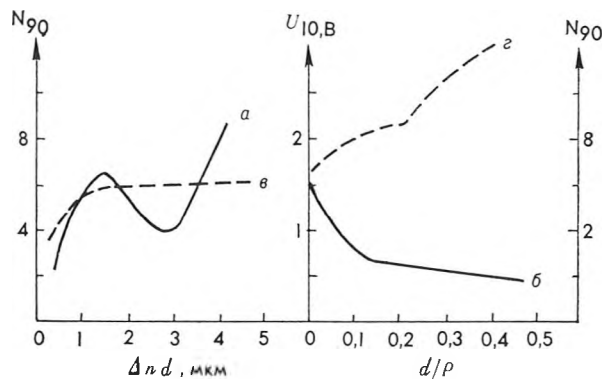


Рис. 2. Зависимость мультиплексной способности и порогового напряжения  $U_{10}$  от параметров ЖК дисплея: а, б — от оптической толщины ячейки  $\Delta nd$ ; б, з — от шага спирали  $d/P$

Оптические свойства ЖК индикаторов определяются произведением  $\Delta nd$ . Уменьшение  $\Delta nd$  ведет в целом к снижению мультиплексной способности, поэтому  $\Delta nd$  не должно быть малым (не меньше 1), несмотря на то, что при этом улучшаются угловые характеристики ЖК дисплея. При оптимизации мультиплексной способности по толщине необходимо учитывать наличие перегиба на графике зависимости мультиплексной способности от  $\Delta nd$ . Кроме того, на малых толщинах увеличивается относительная неравномерность зазора по площади дисплея, а это, в свою очередь, ведет к неравномерности контраста дисплея (мультиплексная способность и контраст изображения матричного экрана связаны между собой [4, 8]).

Таким образом, проведенный анализ позволяет выявить взаимосвязь между физическими характеристиками ЖК материала и электрооптическими параметрами матричного дисплея и выработать критерии для его оптимизации.

### Список литературы

1. Bradshaw P. // Electron. Des. 1981. N 10. P. 177.
2. Shanks I. A. // Contemp. Phys. 1982. V. 23. P. 65.
3. Needham B. // Phil. Trans. R. Soc. London, 1983. V. A309. P. 179.
4. Alt P. M., Pleshko P. // IEEE Trans. 1974. V. ED-21. P. 146.
5. Чандрасекар С. Жидкие кристаллы. М., 1980.
6. Акопян Р. С., Зельдович Б. Я. // ЖЭТФ. 1982. Т. 83. С. 2137.
7. Аззам Р., Башара Н. Эллипсометрия и поляризованный свет. М., 1981.
8. Чаннин Д. Ж., Сасемен А. // Дисплей / Под ред. Ж. Панкова. М., 1982. С. 191.

Поступила в редакцию 09.02.88.

\* В данной работе этот вопрос не обсуждается.