

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

07; 12

Журнал технической физики, т. 61, в. 2, 1991

© 1991 г.

БОЛЬШЕАПЕРТУРНЫЕ ОПТИЧЕСКИ АДРЕСУЕМЫЕ
ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МОДУЛЯТОРЫ

П. В. Адоменас, А. Е. Бродовский, Н. А. Василенко, М. А. Грознов, В. С. Мильников,
А. В. Слюсарь, Л. Н. Сомс, В. В. Швец

Введение

Бурное развитие в последние годы различных оптико-электронных систем связано в первую очередь с появлением надежных и высокоэффективных пространственно-временных модуляторов света (ПВМС), наиболее перспективными из которых являются жидкокристаллические [1]. Все возрастающая информационная емкость обрабатываемых сигналов требует создания модуляторов с высоким разрешением и с большой рабочей апертурой. Сейчас рабочие апертуры электрически управляемых ПВМС превышают 200 мм [2], в то время как для светоправляемых они не превосходят 20—46 мм [1, 3].

Целью данной работы была разработка и исследование светоправляемых модуляторов света с рабочей апертурой свыше 100 мм (световой диаметр 110 мм).

Описание предметов и методики исследования

Модулятор света представлял собой структуру типа фоточувствительный органический полимер (полиимид)—жидкий кристалл (ФОП—ЖК) [4, 5].

Способ изготовления прозрачного электрода на интерференционных стеклянных пластинах размером 120 мм (имеющих отклонение от плоскости рабочей поверхности 0.02 мкм, класс точности 2 и толщину 30 мм) предусматривает нанесение смеси индия и олова методом термического испарения, в результате чего образуется непрозрачный электропроводящий слой. Полученный в атмосфере азота при $P=10^{-2}$ мм рт. ст. слой отжигают при $T=450$ °С в течение 0.1 ч. Для предотвращения растрескивания пластин их охлаждение проводилось в течение 10—15 ч. При многократном повторении этой операции получался электрод $\text{In}_2\text{O}_3\text{—SnO}_2$, обладающий хорошей адгезией, малым сопротивлением, высокой прозрачностью в видимой области спектра.

Фоточувствительный слой изготавливали поливом раствора фотопроводящего полиимида в органическом растворителе (логарифмическая вязкость 0.5 %-ных растворов полиимидов в *N*-метил-2-пирролидоне при 25 °С равнялась 0.6—1.2 дл./г) на поверхность подложки с электропроводящим слоем, выведенную на горизонтальный уровень. Сформировавшуюся после упаривания растворителя при температуре 25—60 °С пленку фотопроводника досушивали далее при температуре 70—80 °С в течение 1.5—2 дней. Толщины фотослоев определялись на микроинтерферометре и составляли ~1.5—0.5 мкм.

В качестве жидкокристаллического слоя для эффектов динамического рассеяния (ДР), для фазового перехода (ФП) холестерин—нематик и для двулучепреломления (ДП) на *S*-эффекте использовалась нематическая смесь. В первых двух случаях не требуется предварительной ориентации ЖК, менее жесткие требования предъявляются к равнотолщинности модулирующего слоя и имеется монотонный характер электрооптической характеристики. В последнем случае ориентирующие слои (поливиниловый спирт) наносились методом (ПВС). После нанесения (водный раствор 1 %) подложки высушивались при $T=70\text{—}80$ °С в течение 2 ч, а затем натирались в одном направлении батистовой тканью. При сборке модуляторов две пластины с фоточувствительным слоем и электродом склеивались эпоксидным клеем, при этом толщина зазора между пластинами задавалась фторопластовыми прокладками и состав-

ляла 10 ± 2 мкм. В собранном виде модуляторы нагревались до $70-80$ °С и заливались в вакууме жидкокристаллической смесью.

Для записи на ПВМС использовалось излучение 2-й гармоники импульсного лазера на АИГ: Nd^{3+} ($\tau=20$ нс, $\lambda=0.53$ мкм), которое хорошо согласуется с максимумом фоточувствительности полиимида. Считывание проводилось «на просвет» непрерывным излучением He—Ne лазера ($\lambda=0.63$ мкм). В работе определялись контрастно-временные характеристики ПВМС всех типов. Контраст K определялся как отношение конечного (при внешней записи) к начальному (без записи) пропусканию ПВМС. Времена включения $t_{\text{вкл}}$ и выключения $t_{\text{выкл}}$ соответствовали критерию $0-0.9$ от K_{max} и $1.0-0.1$ от K_{max} . В случае модулятора на S -эффекте исследовалась также дифракционная эффективность при различных пространственных частотах записи. Однородность модуляторов « S » определялась как среднеквадратичное отклонение пропускания ПВМС при зондировании по всей рабочей апертуре исследуемых образцов тонким (диаметром 100 мкм) лазерным лучом ($\lambda=0.63$ мкм):

$$\sigma S = \left[\frac{\sqrt{\sum_1^m (T - \bar{T})^2}}{m\bar{T}} \right] \cdot 100 \%,$$

где $m=80-100$ — число точек измерения, \bar{T} — среднееарифметическое значение пропускания

$$\bar{T} = \frac{\sum_1^m T_i}{m}.$$

В случае модулятора на ДП он помещался между скрещенными поляризаторами в отличие от условий исследования двух других типов ПВМС, где поляризационная оптика не требовалась.

Экспериментальные результаты

На рис. 1 представлен опытный образец большеапертурного ПВМС. Модулятор света на основе фазового перехода обладал следующими характеристиками (рис. 2): время включения ≤ 250 мкс, время выключения ≤ 2 мкс, контраст $\geq 17:1$, пороговая чувствительность $\leq 10^{-5}$ Дж/см², рабочее напряжение питания ≤ 300 В. Обращает на себя внимание колоколообразный ход зависимости контраста K от напряжения питания U .

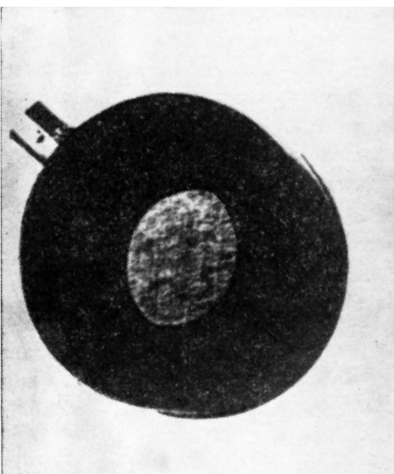


Рис. 1. Большеапертурный ПВМС (общий вид).

Результаты исследования контрастно-временных характеристик ПВМС на основе динамического рассеяния представлены на рис. 3: время включения ≤ 50 мс, время выключения ≤ 550 мс, контраст $\geq 17:1$, пороговая чувствительность $\leq 10^{-5}$ Дж/см², напряжение питания ≤ 500 В. При $U > 400$ В наблюдалась стабилизация величины контраста независимо от интенсивности записываемого излучения (от 30 до 50 мкДж/см²). Модулятор на эффекте двулучепреломления имел следующие контрастно-временные характеристики: контраст $> 90:1$, рабочий диапазон напряжений питания 35—170 В, 13 градаций серости с шагом $0.15D$ оптической плотности, время включения ≤ 40 мс, время выключения ≤ 750 мс. Голографические характеристики ПВМС на S -эффекте представлены на рис. 4: дифракционная эффективность $\eta \geq 10\%$, разрешающая способность по полуспаду частотно-контрастной характеристики ≥ 140 лин/мм, время включения ≤ 6 мс, время выключения ≤ 70 мс.

С ростом пространственной частоты записи λ (с 50 до 530 лин/мм) $t_{\text{вкл}}$ и $t_{\text{выкл}}$ уменьшаются почти на порядок. Однородность ПВМС в выключенном состоянии составила 2, 8 и 13% соответственно для модуляторов на ФП, ДР и ДП эффектах. Модулятор на основе двулучепреломления в открытом (т. е. при внешней записи) состоянии имел неоднородность 1.7%.

Колоколообразный (с явным выраженным максимумом) ход вольт-контрастной характеристики для ПВМС на ФП (рис. 2) объясняется следующим образом: при малых (≤ 100 В) напряжениях питания доля U на ЖК при засветке весьма незначительна, т. е. близка к предпороговому состоянию. При больших (≥ 250 В) напряжениях даже без внешней записи доля напряжения на ЖК значительна, что приводит к увеличению его пропуска и соответ-

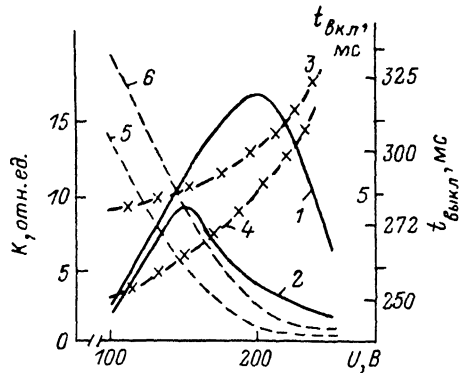


Рис. 2. Зависимость K (1, 2), $t_{\text{вкл}}$ (3, 4), $t_{\text{вкл}}$ (5, 6) от U для модулятора на ФП. $W=15$ (1, 3, 5), 9 мкДж/см² (2, 4, 6).

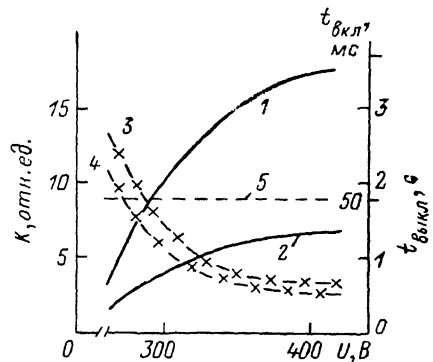


Рис. 3. Зависимость K (1, 2), $t_{\text{вкл}}$ (3, 4), $t_{\text{вкл}}$ (5) от U для модулятора на ДР. $W=50$ (1, 3, 5), 30 мкДж/см² (2, 4, 5).

ственно к уменьшению контраста ПВМС. Уменьшение $t_{\text{вкл}}$ и увеличение $t_{\text{вкл}}$ с ростом U связано соответственно с большей величиной напряжения питания, которое перераспределялось на ЖК.

Выход на плато величины контраста ПВМС на ДР (рис. 3) связан с полным проходом носителей через фотослой и установлением стационарного режима. Этим же объясняется рост K с увеличением экспозиции записи W . Значительное уменьшение времен выключения при $U=260-340$ В объясняется отрицательным значением $\Delta\epsilon$ для ЖК на динамическом рассеянии, что приводит к ускоренной релаксации директоров молекул жидкого кристалла к исходной планарной ориентации с ростом напряжения питания [6]. При $U > 340$ В время выключения стабилизируется, что определяется в основном гидродинамическими (вязкостью)

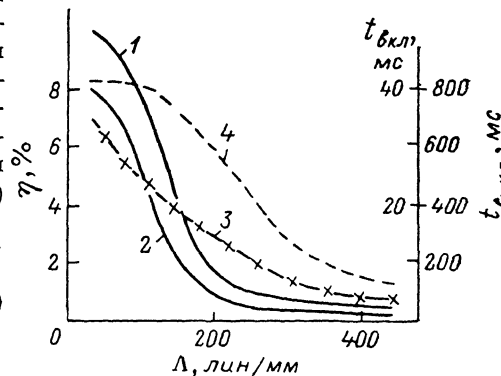


Рис. 4. Зависимость η (1, 2), $t_{\text{вкл}}$ (3), $t_{\text{вкл}}$ (4) от Δ для модулятора на ДП. $W=20$ (1), 5 мкДж/см² (2).

свойствами ЖК. Отсутствие ориентирующих слоев у этого типа ПВМС ограничивали величину максимального контраста на уровне 18 : 1. Контраст изображений измерялся с помощью традиционного яркомера [7], при этом считывающий лазерный луч падал по нормали к ПВМС, а апертурный угол яркомера составлял 6°.

Увеличение дифракционной эффективности с ростом экспозиции для модулятора на ДП на S -эффекте связано с ростом концентрации носителей тока в ФОП, что соответственно приводит к увеличению доли напряжения питания, приходящегося на ЖК. Уменьшение $t_{\text{вкл}}$ и $t_{\text{вкл}}$ с ростом Δ вызвано, по-видимому, существенным поперечным растеканием заряда на границе ФОП—ЖК в ПВМС с ориентантами на основе ПВМС. Для сравнения можно отметить, что при нанесении ориентирующих покрытий на основе косонапыленного GeO или SiO зависимость времен от записываемой пространственной частоты практически нет, что объяс-

няется более высокими поверхностными сопротивлениями тонких (~ 10 нм) ориентирующих неорганических слоев по сравнению с толстыми (~ 1 мкм), более проводящими ориентирующими слоями на основе ПВС.

Однородность оптических характеристик ПВМС обусловлена качеством всех составляющих элементов сэндвича, причем в случае модулятора на ДП однородность дополнительно ухудшается в 2—4 раза (по сравнению с другими типами ПВМС) благодаря наличию ориентирующего слоя ПВС. Увеличение неоднородности модулятора на ДП во включенном состоянии (17 %) по сравнению с выключенным (13 %) объясняется нелинейностью передаточной характеристики жидкокристаллического слоя.

Для сравнения отметим, что полученные результаты по однородности для малоапертурных модуляторов (световой диаметр 20—30 мм) обычно были в 1.5—2 раза лучше [8].

Выводы

Анализ полученных результатов исследования трех типов большеапертурных ПВМС позволяет сделать вывод о перспективности их использования в различных оптико-электронных системах с большой информационной емкостью, поскольку модуляторы на ФП и ДР обладают высоким контрастом ($> 17 : 1$) и быстродействием (< 50 мс) при небольшой (< 3 Гц) реверсивности. Несмотря на трудоемкую технологию изготовления, ПВМС на ДП (на S-эффекте) обладают высоким контрастом 90 : 1, 13 градациями серости, временами включения 6 мс и выключения 70 мс, дифракционной эффективностью 10 %, разрешающей способностью по полуспаду ЧКХ 140 лин/мм, голографической чувствительностью 2×10^{-6} Дж/см². %, что делает их весьма удобными для использования в голографических устройствах [9].

Список литературы

- [1] Васильев А. А., Касасент Д., Компанец И. Н., Парфенов А. В. Пространственные модуляторы света. М.: Радио и связь, 1987. 320 с.
- [2] Jacobs S. D., Cerqua K. A., Marshall K. L. // J. Opt. Soc. Am. 1988. Vol. 5. N 9. P. 1962—1979.
- [3] Bleha W. P., Lipton L. T., Wiener-Avneur E. et al. // Opt. Eng. 1978. Vol. 17. N 4. P. 371—384.
- [4] Мильников В. С., Морозова А. Е., Василенко Н. А. и др. // ДАН СССР. 1985. Т. 218. № 4. С. 897—899.
- [5] Грознов М. А., Мильников В. С., Сомс Л. Н., Тарасов А. А. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 10. С. 2041—2042.
- [6] Блинов Л. М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М.: Наука, 1978. 384 с.
- [7] Гуревич М. М. Фотометрия. 2-е изд. Л.: Энергоатомиздат, 1983. 272 с.
- [8] Грознов М. А., Каманина Н. В., Мильников В. С. и др. // ОМН. 1989. № 5. С. 9—11.
- [9] Brodovski A. E., Vasilenko N. A., Grozнов M. A. et al. // Abstracts the 8th Liquid Crystal conf. of socialist countries. Krakow, 1989. Vol. II. P. 73.

Ленинградский
механический институт

Поступило в Редакцию
13 июня 1990 г.

02; 04

Журнал технической физики, т. 61, в. 2, 1991

© 1991 г.

ПЛАЗМЕННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В КАВИТИРУЮЩЕЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ

А. И. Колдамаев

Исследования проводились на установке, представленной на рис. 1 [1]. Рабочая жидкость с помощью шестеренчатого насоса под давлением до 7 МПа подавалась в камеру из органического стекла на вход дроссельного устройства, представляющего собой канал длиной 25—30 мм и диаметром 1—2 мм. Регулируя частоту пульсации потока жидкости изменением числа оборотов насоса, а давление с помощью перепускного крана, в системе получали мощные резонансные колебания потока частотой порядка 5 кГц. При этом на входной кромке по периметру дросселирующего канала появлялось плазменное образование, по яркости напоминающее дуговой разряд (рис. 2). После более 100 ч работы входная кромка дроссель-