

03;07

## Жидкокристаллические микролинзы в системе оптического ограничения

© М.В. Грязнова, В.В. Данилов, Ю.А. Кузнецов,  
В.В. Рыльков, П.А. Шахвердов, А.И. Хребтов

НИИ лазерной физики, С.-Петербург

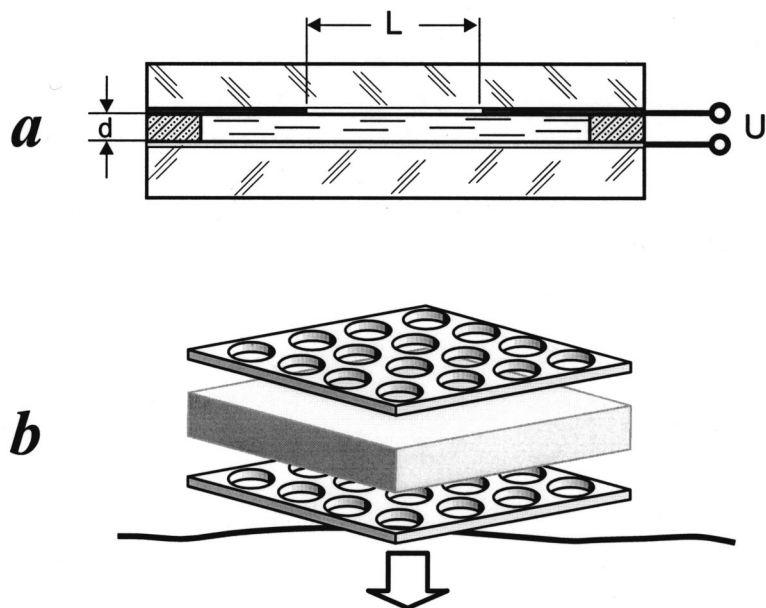
E-mail: vdanilov@ilph.spb.ru

Поступило в Редакцию 25 июля 2000 г.

Изготовлены растры несимметричных микролинз на основе композиции нематических жидких кристаллов с  $\Delta\epsilon = 10$  и проведено исследование их оптических характеристик. На примере раствора фуллерена  $C_{70}$  в толуоле впервые показана эффективность использования таких устройств в системах оптического ограничения.

К устройствам защиты зрения предъявляются достаточно сложные требования: высокое пропускание в режиме низкоинтенсивного облучения, быстрая реакция на оптический импульс длительностью до нескольких фемтосекунд, высокая лучевая стойкость. Такие устройства называются оптическими ограничителями. Их действие основано на использовании нелинейного отклика среды на интенсивное воздействие света. Согласно стандартам, принятым в ряде стран [1,2], безопасный для зрения уровень воздействующего излучения составляет  $2 \div 5 \cdot 10^{-7} \text{ J/cm}^2$  в зависимости от условий воздействия. Однако для большинства физических механизмов, используемых в оптическом ограничении, порог эффекта не опускается ниже  $10^{-1} \div 10^{-2} \text{ J/cm}^2$  [3], поэтому для требуемого снижения уровня излучения на выходе ограничителя необходим дополнительный поиск схемных решений. Имеющиеся в литературе данные показывают, что наиболее эффективным является применение телескопической системы, в которой кювета, или ячейка с нелинейной средой располагается вблизи сопряженного фокуса телескопа. Однако использование в ограничителях обычных линзовых систем имеет такие существенные недостатки, как громоздкость и высокая стоимость.

В последние годы были достигнуты значительные успехи в разработке жидкокристаллических микролинз (ЖК-микролинз) [4]. Это оптиче-



**Рис. 1.** Схема ЖК-микролинзы (*a*) и телескопической системы, составленной из растров ЖК-микролинз (*b*).

ские устройства с управляемым фокусным расстоянием, работающие на эффекте ориентации директора нематического жидкого кристалла (НЖК) в неоднородном электрическом поле. НЖК помещается в ячейку, в одном или двух электродах которой выполняются круглые отверстия (рис. 1, *a*). В первом случае получаются несимметричные (именно этот вариант использован в нашей работе), а во втором — симметричные ЖК-микролинзы. Неоднородное электрическое поле возникает в области отверстий при подаче напряжения. Молекулы жидкого кристалла с положительной анизотропией диэлектрической проницаемости ( $\Delta\epsilon$ ) стремятся сориентироваться вдоль поля. Переориентация молекул приводит к появлению неоднородного распределения показателя преломления для распространяющейся через НЖК необыкновенной волны. В результате в ячейке с планарной ориентацией формируется близкий к квадратичному профиль фазовой задержки [5]. Возникающая в

ней микролинза обладает фокусирующими свойствами при напряжениях ниже 7 V и дефокусирующими при больших напряжениях. Наилучшие оптические свойства наблюдаются у ЖК-микролинз с небольшим ( $1 \div 5$ ) отношением диаметра отверстия  $L$  к толщине жидкого кристалла  $d$ . Таким образом, при толщине слоя ЖК до  $100 \mu\text{m}$  (при таких толщинах можно получить достаточно хорошую ориентацию молекул) размер линзы ограничивается несколькими сотнями микрон. По фокусирующей способности несимметричные планарные ЖК-микролинзы не уступают симметричным [5], а по своей конструкции они более просты, что указывает на перспективность их использования в микрооптике. Используя приближение Френеля, фокусное расстояние ЖК-микролинзы можно определить формулой:

$$f = \frac{\pi(L/2)^2}{(\Delta\varphi(0) - \Delta\varphi(L/2))\lambda}, \quad (1)$$

где  $\Delta\varphi(0)$  и  $\Delta\varphi(L/2)$  — разность фаз между обыкновенной и необыкновенной световыми волнами на длине волны  $\lambda$  в центре и на краях ячейки соответственно. Для произвольной точки апертуры

$$\Delta\varphi_i = 2\pi\Delta n_i d/\lambda, \quad (2)$$

где  $\Delta n_i$  — двулучепреломление ЖК.

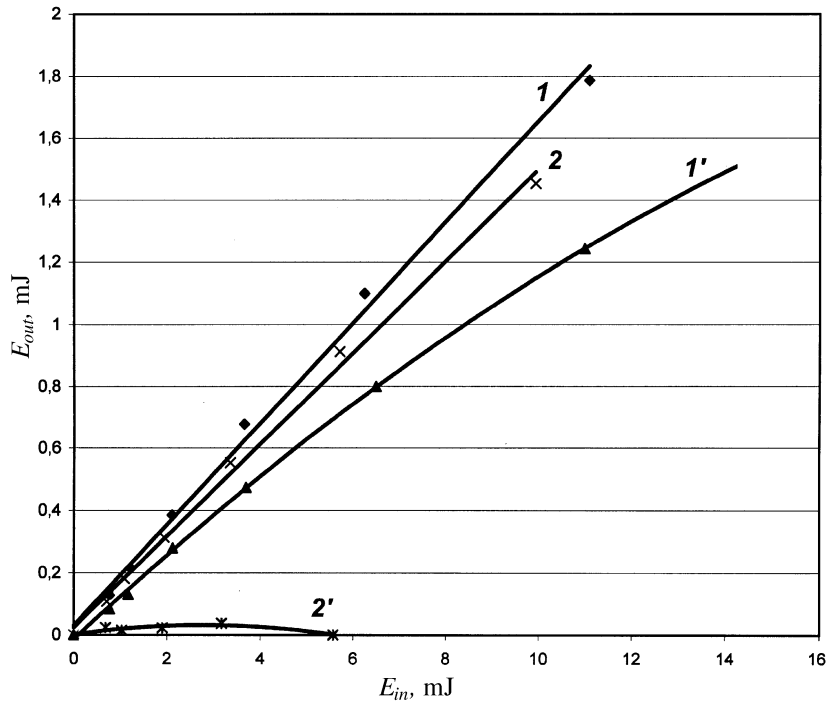
Оценим фокусное расстояние линзы. Согласно (2), наибольшая разность фаз  $(\Delta\varphi(0) - \Delta\varphi(L/2))_{\max} = 2\pi(n_e - n_o)d/\lambda$ , где  $n_e$  и  $n_o$  — показатели преломления необыкновенной и обыкновенной световых волн соответственно. Для видимого света величина  $\Delta n$  в НЖК достигает  $0.2 \div 0.3$ . Тогда при толщине слоя ЖК  $50 \div 100 \mu\text{m}$  и диаметре отверстий в несколько сотен микрон длина фокусного расстояния микролинзы составит несколько миллиметров.

Описанные оптические элементы работают при малых управляющих напряжениях, отличаются небольшой потребляемой мощностью, технологичностью в изготовлении и относительно низкой стоимостью. Важно отметить, что оптические системы, построенные с использованием таких элементов, обладают небольшими габаритами. В настоящей работе впервые предложено использование раstra ЖК-микролинз в системах оптического ограничения (рис. 1, б).

Растр несимметричных ЖК-микролинз был выполнен в виде ЖК-ячейки, на стеклянные подложки которой с внутренней стороны

наносились электроды. Один из них представлял собой прозрачный слой ИТО ( $\text{SnO}_2 + \text{In}_2\text{O}_3$ ), другой — слой Al, в котором при помощи фотолитографии были сделаны круглые отверстия. На поверхность электродов методом косо го напыления наносился слой SiO для создания планарной ориентации ЖК. Ячейка заполнялась нематической композицией с  $\Delta\epsilon = 10$ . Были исследованы растры микролинз с различными геометрическими параметрами. Диаметр отверстий  $L$  в растрах изменялся в пределах от 55 до 300  $\mu\text{m}$ . Толщина слоя ЖК  $d$  составляла 60 и 100  $\mu\text{m}$ . Фокусные расстояния ЖК-микролинз измерялись методом концевых отрезков. Излучение He–Ne лазера проходило через ячейку, находящуюся в скрещенных поляризаторах, и поступало на микроскоп, соединенный с ПЗС-матрицей. Изображение выводилось на экран персонального компьютера. Исследовались фокусирующие свойства линз в зависимости от приложенного напряжения при различных соотношениях  $L/d$ . В отсутствие напряжения система не обладала фокусирующими свойствами и хорошо пропускала излучение. С приложением напряжения излучение фокусировалось каждым элементом растра ЖК-микролинз. Измерения фокусного расстояния всех исследованных растров показали, что с увеличением напряжения его модуль сначала уменьшается, достигая минимума при некотором напряжении, а затем растет. При дальнейшем увеличении напряжения происходит инверсия оптических свойств микролинзы.

В экспериментах по оптическому ограничению растр ЖК-микролинз соединялся оптическим контактом с кюветой, заполненной нелинейно поглощающей средой. В качестве последней использовался раствор фуллерена  $\text{C}_{70}$  в толуоле. Концентрация фуллерена составляла  $2.3 \cdot 10^{-3}$  М. Толщина кюветы подбиралась таким образом, чтобы поглощающая среда оказалась в фокальной плоскости растра. Источником интенсивного излучения служил моноимпульсный Nd:YAG лазер ( $\lambda = 532$  nm, длительность импульса 1 ns). В качестве приемников излучения использовались калиброванные фотодиоды ФД-23 и калориметр ИЭК-1. Измерялась зависимость энергии выходного излучения от энергии на входе системы. Наблюдаемые в эксперименте типичные зависимости приведены на рис. 2. Измерения были выполнены для параллельной и перпендикулярной ориентации поляризации воздействующего излучения по отношению к направлению ориентации директора ЖК. Излучение с поляризацией, ортогональной направлению директора ЖК, при наличии напряжения практически не проходило через ячейку (кривая 2')



**Рис. 2.** Проявление эффекта оптического ограничения при использовании раstra ЖК-микролинз. Нелинейная среда — раствор фуллерена  $C_{70}$  в толуоле. Кривые  $1$  и  $1'$  —  $E \parallel n$ ,  $2$  и  $2'$  —  $E \perp n$ ;  $1$  и  $2$  — в отсутствие,  $1'$  и  $2'$  — при наличии напряжения.

из-за сильного рассеяния. Результаты, полученные для излучения с параллельной ориентацией поляризации, подтверждают существование эффекта ограничения в исследуемой системе (сравнение кривых  $1$  и  $1'$ ), порог которого составил  $\sim 3$  мДж.

Таким образом, продемонстрирована возможность использования ЖК-микролинз в системах оптического ограничения. Очевидным преимуществом таких систем является резкое уменьшение габаритов устройства, их невысокая стоимость и технологичность изготовления.

## Список литературы

- [1] *ANSI Z136. 1-1993*. American National Standard for the Safe Use of Lasers. TB MED 524, 20 June 1985.
- [2] *Miller M.J., Mott A.G., Ketchel B.P.* // Proc. SPIE. 1998. V. 3472. P. 24.
- [3] *Nonlinear Optics*. 1999. V. 21. 364 p.
- [4] *Nose T., Masuda S., Sato S.* // Jpn. Journ. Appl. Phys. 1992. V. 31. P. 1644.
- [5] *Gvozdev A., Nevskaya G.* // MCLC. 1999. V. 329. P. 81.