

06;07

Нелинейная запись голограмм на оптически управляемом прозрачном типа халькогенидный стеклообразный полупроводник — жидкий кристалл

© А.Н. Чайка, Ф.Л. Владимиров

Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 5 октября 1999 г.

Показана возможность создания оптически управляемого прозрачного на основе структуры халькогенидный стеклообразный фотопроводник — нематический жидкий кристалл, обладающего нелинейной голографической модуляционной характеристикой, имеющей участки с положительным и отрицательным наклоном. Экспериментально получен десятикратный спад дифракционной эффективности на участке с отрицательным наклоном.

Оптически управляемые прозрачные (ОУТ) на основе структур фотопроводник–жидкий кристалл (ФП–ЖК) являются одним из ключевых элементов голографических систем обработки информации [1]. Наличие достаточно широкого линейного участка модуляционной характеристики ОУТ, как правило, является необходимым условием использования ОУТ в подобных системах. В последнее время большой интерес вызывают голографические процессоры, реализующие принципы нечетких логик [2]. Для создания таких систем необходимы ОУТ с нелинейной модуляционной характеристикой (зависимостью дифракционной эффективности η от интенсивности записывающего излучения I) и, в частности, с модуляционной характеристикой, имеющей участки с положительным и отрицательным наклоном.

В настоящем сообщении показана возможность реализации ОУТ с модуляционной характеристикой, которая имеет как возрастающий, так и выраженный убывающий участки.

ОУТ на основе структуры ФП–ЖК представляет собой многослойную структуру, заключенную между двумя стеклянными подложками. На внутренние стороны подложек нанесены прозрачные проводящие покрытия. На одну из подложек нанесен слой ФП. Между слоем ФП

и другой подложкой находится слой жидкого кристалла. На поверхности, ограничивающие слой ЖК, нанесены ориентирующие покрытия. При подаче напряжения на прозрачные проводящие покрытия слой фотопроводника, на который проецируется пространственная решетка или изображение, преобразует распределение освещенности в соответствующий потенциальный рельеф на слое ЖК. Этот рельеф локально изменяет двулучепреломление слоя ЖК, что, в свою очередь, приводит к соответствующей фазовой модуляции считываемого излучения [3].

В исследуемой структуре в качестве ФП использовался халькогенидный стеклообразный полупроводник на основе системы As-Se, толщиной $1 \mu\text{m}$, а в качестве модулирующей среды — нематический жидкий кристалл ЖКМ-1630Б ($\Delta n = 0.13$, $\Delta \varepsilon = +4.4$, $\Delta t = -20 \div +90^\circ\text{C}$) с планарной начальной ориентацией. Толщина слоя ЖК составляла $d_{LC} = 10 \mu\text{m}$. Особенностью исследуемой структуры является использование ФП с высоким удельным темновым сопротивлением ($\rho_d = 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$), что позволило согласовать проводимости слоев ФП ($d_{PC} = 1 \mu\text{m}$) и ЖК ($d_{LC} = 10 \mu\text{m}$) с различными толщинами при питании структуры постоянным напряжением. Максимальная глубина фазовой модуляции в реализованной структуре составляла 4π .

Рассматривая структуру ФП–ЖК в рамках модели тонкой фазовой голограммы [4], зависимость дифракционной эффективности η от глубины фазовой модуляции $\Delta\Phi$ можно описать функцией Бесселя соответствующего порядка

$$\eta_m = J_m^2 \left(\frac{\Delta\Phi}{2} \right),$$

где $\Delta\Phi = \Delta\Phi_{\max}(I) - \Delta\Phi_0$ — глубина фазовой модуляции, $\Delta\Phi_{\max}(I)$ — максимальная величина фазовой задержки при засветке структуры запи-сывающим излучением с интенсивностью I , $\Delta\Phi_0$ — величина фазовой задержки при $I = 0$.

При достаточно большой глубине фазовой модуляции $\Delta\Phi > 2\pi$ зависимость дифракционной эффективности в первом порядке дифракции от глубины фазовой модуляции $\eta_1(\Delta\Phi)$ имеет нелинейный вид с возрастающим и убывающим участком. Глубина фазовой модуляции является сложной функцией параметров ФП, ЖК слоев, управляющего напряжения, пространственной частоты записываемой решетки и интенсивности записываемого излучения. Причем глубина фазовой модуляции является монотонной функцией от интенсивности записываемого

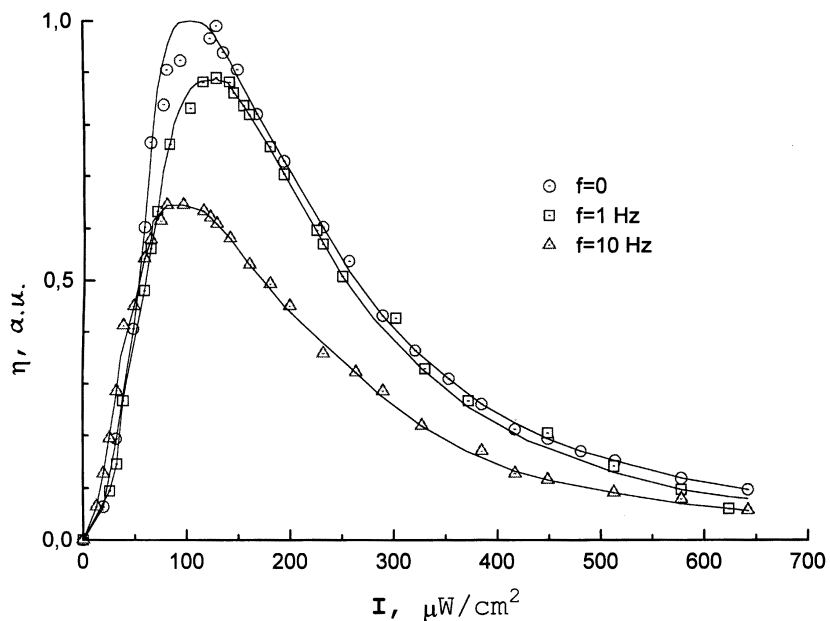


Рис. 1. Модуляционные характеристики ОУТ на основе структуры As-Se — нематический жидкий кристалл при питании постоянным напряжением и импульсами с частотами следования 1 и 10 Hz.

излучения, поэтому зависимость дифракционной эффективности от интенсивности записывающего излучения может иметь немонотонный вид с возрастающим и убывающим участком при соответствующем выборе параметров структуры ФП-ЖК.

Запись голограмм производилась на длине волны 633 nm, а считывание — излучением полупроводникового лазера на длине волны 814 nm. Изучалось поведение первого порядка дифракции в зависимости от условий записи и режима управления ОУТ. Оптический отклик в первом порядке дифракции измерялся фотоумножителем с точечной диафрагмой, которая располагалась в фокальной плоскости интегрирующего объектива. Дифракционная эффективность определялась как отношение интенсивности света в первом порядке дифракции к интенсивности считывающего пучка $\eta_1 = I_1/I_0$.

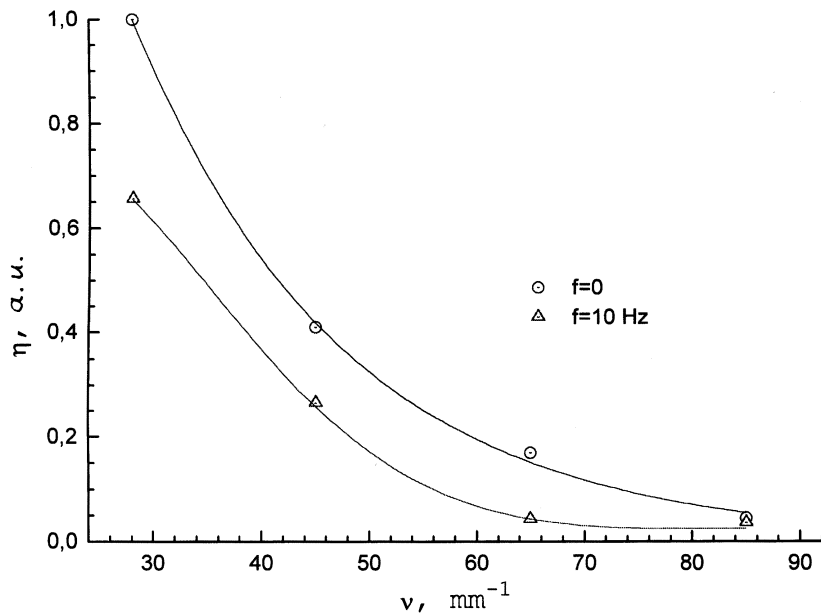


Рис. 2. Разрешение ОУТ на основе структуры As-Se — нематический жидкий кристалл при различных режимах питания.

Экспериментально полученные зависимости дифракционной эффективности от интенсивности записывающего излучения при питании ОУТ постоянным напряжением и импульсами с частотами следования 1 и 10 Hz представлены на рис. 1. Пространственная частота записываемой решетки составляла 45 mm^{-1} . В интервале интенсивностей записывающего излучения от 1 до $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ кривая имеет возрастающий участок, а в интервале от 100 до $700 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ — убывающий со спадом дифракционной эффективности более чем на порядок. Наклон кривой на возрастающем и убывающем участках зависит от управляющего напряжения и может варьироваться в широких пределах, что существенно при реализации прямого и инверсного операторов в голографическом процессоре.

Зависимость максимальной дифракционной эффективности от пространственной частоты записываемой голографической решетки пред-

ставлена на рис. 2. Измерения производились в диапазоне пространственных частот ν от 28 до 85 mm^{-1} . Дифракционная эффективность при $\nu = 28 \text{ mm}^{-1}$ составляет примерно $\eta = 16\%$, а при $\nu = 85 \text{ mm}^{-1}$, $\eta = 0.7\%$.

Быстродействие структуры определяется временами электрооптического отклика нематического жидкого кристалла и постоянной времени структуры ФП-ЖК [1]. В исследуемом устройстве использовался ФП с высоким удельным сопротивлением, что обуславливает относительно большую постоянную времени структуры, которая составляет 200–500 ms . Экспериментально полученное быстродействие такой структуры обычно составляет 2–5 Hz при питании постоянным напряжением и 10–15 Hz при питании импульсным напряжением.

Авторы выражают благодарность А.В. Павлову за полезные обсуждения.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 98-02-18189).

Список литературы

- [1] *Владимиров Ф.Л., Чайка А.Н., Моричев И.Е.* и др. // Оптический журнал. 1993. № 7. С. 53–56.
- [2] *Pavlov A.V.* // Proc. Of the Intern. Conference "Soft Computing and Measurement SCM'99". St. Petersburg, 1999. V. 1. P. 218-221.
- [3] *Vladimirov F.L., Chaika A.N., Pletneva N.I.* et al. // Proc. SPIE. 1998. V. 3490. P. 432–435.
- [4] *Mukohzaka N., Yoshida N., Toyoda H.* et al. // Appl. Opt. 1994. V. 33. N 14. P. 2804–2811.