

07;12

Запись голограмм с высокой дифракционной эффективностью на структурах типа фотополупроводник–жидкий кристалл

© Н.Л. Иванова, А.Н. Чайка, А.П. Онохов

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

Поступило в Редакцию 11 августа 1999 г.

Проведено экспериментальное исследование регистрации голограмм в реальном времени в системе жидкий кристалл–светочувствительный слой на основе гидрогенизированного аморфного кремния. Полученные в результате эксперимента голограммы обладали рекордной дифракционной эффективностью при достаточно приемлемых значениях пространственной частоты.

Известно, что ряд структур типа фотополупроводник–жидкий кристалл (ФП–ЖК) обладает достаточно высоким пространственным разрешением, позволяющим осуществлять запись голограмм в реальном масштабе времени для задач оптической обработки информации [1]. В работе [2] была показана возможность реверсивной записи голограмм на такой структуре, где в качестве фоточувствительного слоя использовался $p-i-n$ -диод, сформированный из аморфного гидрогенизированного кремния ($\alpha\text{-Si:H}$), а модулирующей средой служил нематический ЖК в режиме ориентационного твист-эффекта. Максимальная дифракционная эффективность такой структуры была сравнительно не высока.

Целью данной работы являлось исследование возможности создания структуры подобного типа с дифракционной эффективностью, прибли-

жающейся к своему теоретическому пределу [3]. Для достижения этой цели использовался ориентационный S -эффект в ЖК, при котором оптические свойства модулирующей среды характеризуются управляемым двулучепреломлением. Стандартная сэндвич-структура состояла из фотодиода $p-i-n$ α -Si:H толщиной $1.2 \mu\text{m}$ и слоя нематического ЖК (НИОПИК ЖК 1282) с $\Delta n = 0.164$, $\varepsilon = 9.9$ толщиной $5 \mu\text{m}$. Ориентантами служили косонапыленные слои двуокиси церия. Структура исследовалась в режиме просветной моды. На ФП-слое с помощью He-Ne-лазера формировалась картина интерференции двух когерентных пучков с плоскими волновыми фронтами. Считывание осуществлялось на длине волны $\lambda = 0.814 \mu\text{m}$, причем модулятор устанавливался таким образом, чтобы ориентация директора ЖК совпадала с направлением вектора поляризации считывающего света.

Питание структуры осуществлялось импульсами прямоугольной формы одной полярности. Когда $p-i-n$ -диод подавался импульс положительной полярности, диод находился в проводящем состоянии и структура не являлась фоточувствительной. При этом практически все подаваемое напряжение падало на ЖК-слое вне зависимости от интенсивности поступающего на ФП-слой записывающего светового потока (нерабочее состояние модуля). Если подавался импульс противоположной полярности (диод в режиме обратного смещения), то под действием синусоидальной интерференционной решетки в слое ЖК формировалась двулучепреломляющая фазовая решетка.

Исследовалось поведение дифракционной эффективности в первом порядке дифракции в зависимости от интенсивности и пространственной частоты интерференционной картины, а также от амплитуды и частоты следования импульсов питания. Дифракционная эффективность рассчитывалась как $\eta = I_1/I_0$, где I_1 — интенсивность света, дифрагировавшего первый порядок, I_0 — интенсивность света, прошедшего через модулятор при отсутствии записывающего светового потока.

На рис. 1 представлена зависимость максимальной дифракционной эффективности от пространственной частоты решетки, формируемой в слое ЖК. Питание структуры осуществлялось однополярными импульсами напряжения с амплитудой 25 V , следующих с частотой $f = 10 \text{ Hz}$. В области низких пространственных частот ($\nu = 28 \text{ mm}^{-1}$) было получено высокое значение дифракционной эффективности $\eta = 31.5\%$, близкое к теоретическому $\eta_{\text{max}} = 33.9\%$, рассчитанному для случая синусоидального изменения двулучепреломления в слое ЖК [4].

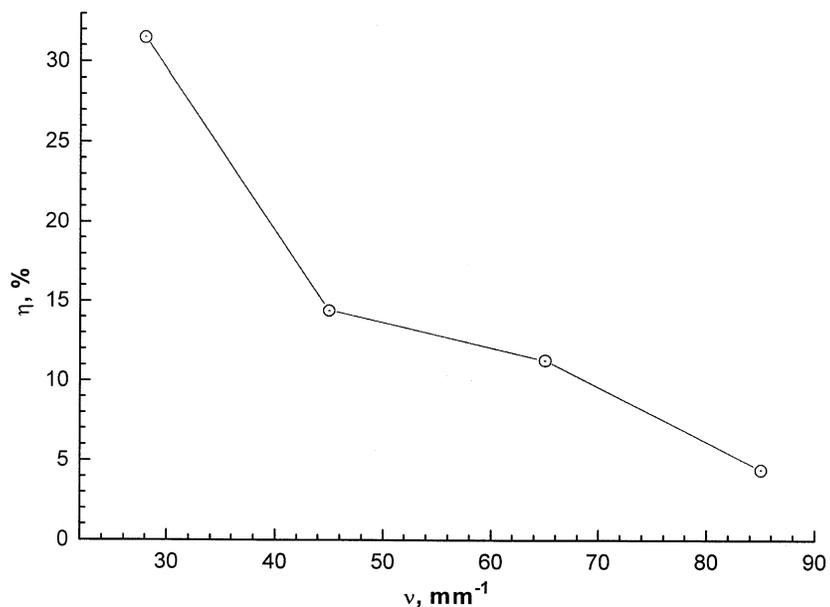


Рис. 1. Зависимость максимальной дифракционной эффективности от пространственной частоты световой решетки при питании структуры импульсным напряжением с амплитудой 25 V и частотой следования 10 Hz.

Созданная структура обладает высокой чувствительностью к записываемому световому потоку: максимальная дифракционная эффективность достигается при световых потоках в плечах интерферометра $I_{W1} = I_{W2} = 5.2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Следует отметить также высокую разрешающую способность данной структуры: дифракционная эффективность падает в два раза на пространственной частоте $\nu = 45 \text{ mm}^{-1}$, а при $\nu = 85 \text{ mm}^{-1}$ дифракционная эффективность равна 5%. Достижение таких параметров модулятора стало возможным благодаря использованию $p-i-n$ $\alpha\text{-Si:H}$ фотополупроводникового слоя. При обратном смещении $p-i-n$ -структуры основная часть падения напряжения приходится на высокоомный i -слой. При этом область обеднения с приблизительно однородным распределением электрического поля простирается на всю толщину i -слоя между p - и n -контактами и фотогенерируемые носители

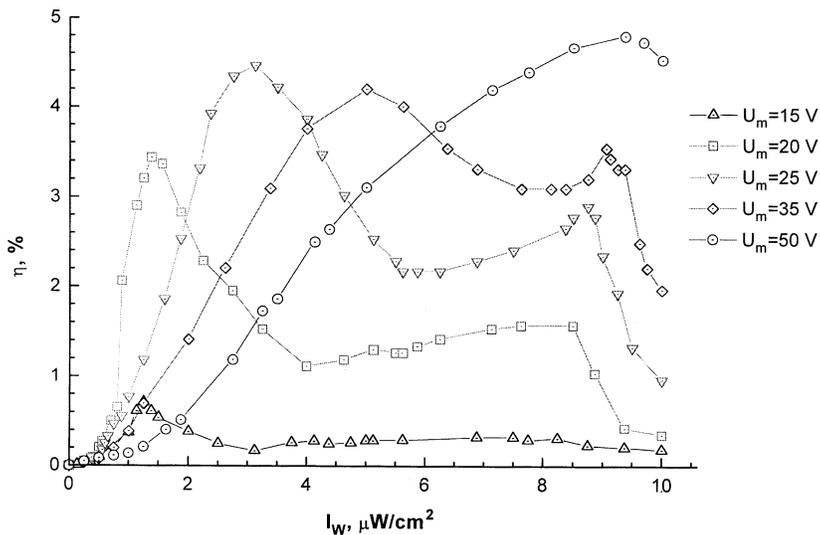


Рис. 2. Зависимость дифракционной эффективности от интенсивности записывающего света при разных значениях амплитуды импульсов питающего напряжения для световой решетки с пространственной частотой $\nu = 85 \text{ mm}^{-1}$.

под действием сильного поля пролетают i -слой, не успевая рекомбинировать и без "расплывания" в поперечном направлении. Таким образом, при использовании $p-i-n$ -структуры происходит преобразование входной интерференционной картины в распределение модулирующего электрического поля с меньшей потерей глубины модуляции, чем в случае применения собственного $\alpha\text{-Si:H}$ фотополупроводникового слоя.

На рис. 2 представлена зависимость дифракционной эффективности от интенсивности записывающего светового потока в одном из плеч интерферометра I_W для разных значений амплитуд импульсов питающего напряжения, следующих с частотой $f = 10 \text{ Hz}$. Пространственная частота формируемой структурой решетки составляла $\nu = 85 \text{ mm}^{-1}$. Зависимость имеет осциллирующий характер, связанный с используемым в ЖК S -эффектом. Данное семейство кривых позволяет оценить рабочий диапазон модулятора и выбрать оптимальный режим работы структуры при реверсивной записи голограмм. Эффект изменения угла

наклона модуляционных характеристик, а также его динамического диапазона в зависимости от напряжения питания представляет, в частности, интерес при создании оптических логических устройств, реализующих параметрические логики [5].

Авторы выражают благодарность А.В. Павлову за полезное обсуждение работы.

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

Список литературы

- [1] *Fukushima S., Kurokawa T.* // Appl. Phys. Lett. 1991. V. 58 (8). P. 787–789.
- [2] *Чайка А.Н., Иванова Н.Л., Онохов А.П.* и др. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 19. С. 83–87.
- [3] *Muhohzaka N., Yoshida N., Totoda H.* et al. // Appl. Opt. 1994. V. 33. N 14. P. 2804–2811.
- [4] *Хамакава Е.* Современные проблемы полупроводниковой фотоэнергетики / Под ред. Т. Коутса, Дж. Микина. М.: Мир, 1988. 307 с.
- [5] *Pavlov A.V.* // Proc. of the Intern. Conference "Soft Computing and Measurement SCM'90". St. Petersburg, 1999. V. 1. P. 218–221.