

07

## **Структура стибнит—жидкий кристалл как реверсивная регистрирующая среда с высокой нелинейностью**

© Л.П. Амосова, И.Е. Моричев, Н.И. Плетнева, А.Н. Чайка

Всероссийский научный центр „Государственный оптический  
институт им. С.И. Вавилова“, С.-Петербург  
E-mail: chaika@rbcmail.ru

*Поступило в Редакцию 16 октября 2003 г.*

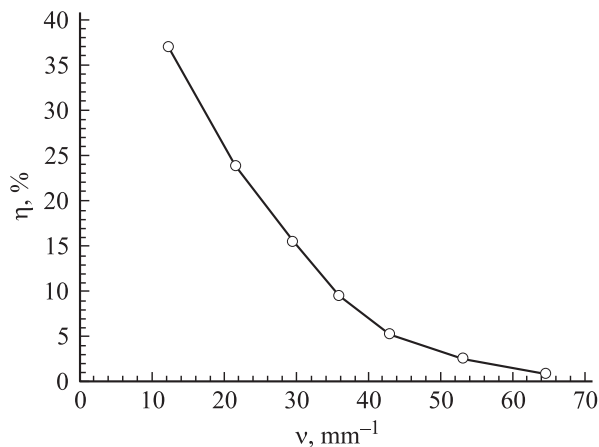
Показана возможность использования стибнита в качестве светочувствительного слоя при создании оптически управляемой структуры типа фотополупроводник—жидкий кристалл. Спектральная характеристика стибнита позволила создать высокочувствительную регистрирующую среду для записи излучением He—Ne-лазера. Полученная максимальная дифракционная эффективность составила 37%. Модуляционная характеристика структуры обладает ярко выраженной нелинейностью, причем наклон кривой на возрастающем и убывающем участках зависит от управляющего напряжения.

Задача создания среды для реверсивной записи голограмм с нелинейной модуляционной характеристикой, по существу, противоположна традиционному стремлению добиться от голографической среды максимальной линейности. Подобная задача возникла в связи с использованием голографического коррелятора для построения алгебры нечетких чисел при моделировании искусственного интеллекта. Для этого требуется среда, пригодная для записи Фурье-голограмм и обладающая свойством нелинейности [1]. Как было показано в [2], для этой цели могут быть выбраны оптически управляемые структуры типа фотополупроводник—нематический жидкий кристалл (ЖК) с планарной

начальной ориентацией, в которых при достаточно большой глубине фазовой модуляции зависимость дифракционной эффективности в первом порядке дифракции от интенсивности записывающего излучения имеет нелинейный вид с возрастающим и убывающим участком.

Целью данной работы являлось исследование возможности создания оптически управляемой структуры подобного типа со стибнитом ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) в качестве фотополупроводникового светочувствительного слоя. Ранее стибнит для этой цели не использовался, однако достаточно высокое удельное сопротивление позволяло нам надеяться согласовать его по импедансу со слоем ЖК и получить приемлемое для данного класса задач пространственное разрешение, а максимум спектральной чувствительности, практически совпадающий с длиной волны записывающего He–Ne-лазера, — обеспечить необходимую глубину фазовой модуляции для реализации нелинейных модуляционных характеристик с четко выраженным спадом дифракционной эффективности при больших интенсивностях излучения записи. Высокое оптическое качество слоя стибнита обеспечивается строгим контролем температуры во время термического напыления. Предложенная структура типа „сэндвич“ включает в себя нанесенные на стеклянные подложки слои: фоточувствительный полупроводник ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) толщиной  $1\ \mu\text{m}$ , прозрачные электроды (ITO), ориентирующие покрытия, полученные методом косого напыления окисла (GeO), и нематический жидкий кристалл ЖКМ-1630Б ( $\Delta n = 0.13$ ;  $\Delta \varepsilon = +4.4$ ;  $\Delta t = -20 \div +90^\circ\text{C}$ ) с толщиной слоя  $10\ \mu\text{m}$  и планарной начальной ориентацией.

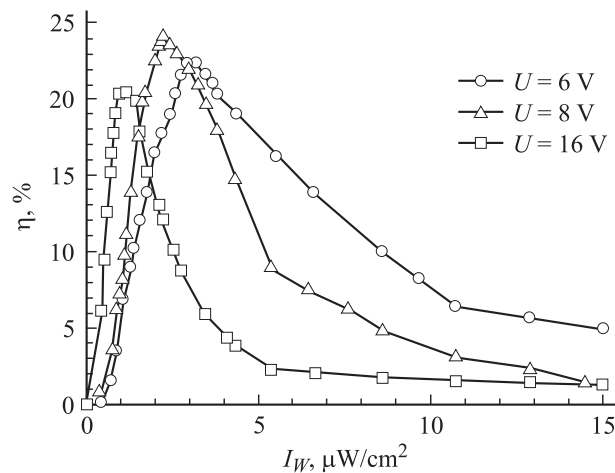
Мы исследовали поведение дифракционной эффективности в первом порядке дифракции в зависимости от интенсивности и пространственной частоты интерференционной картины при различных величинах питающего структуру напряжения. Дифракционная эффективность определялась как  $\eta = I_1/I_0$ , где  $I_1$  — интенсивность света в первом порядке дифракции,  $I_0$  — интенсивность света, прошедшего через структуру при отсутствии записывающего светового потока. На фоточувствительном слое с помощью He–Ne-лазера формировалась картина интерференции двух когерентных пучков на длине волны  $\lambda = 633\ \text{nm}$  с плоскими волновыми фронтами. Считывание осуществлялось на длине волны  $\lambda = 814\ \text{nm}$  в режиме на просвет, причем исследуемая структура устанавливалась в оптической схеме таким образом, чтобы ориентация директора ЖК совпадала с направлением вектора поляризации считывающего света.



**Рис. 1.** Разрешение оптически управляемой структуры стибнит–нематический жидкий кристалл.

Зависимость максимальной дифракционной эффективности  $\eta$  от пространственной частоты записываемой голографической решетки  $\nu$  представлена на рис. 1. Измерения производились в диапазоне пространственных частот от 12 до  $65 \text{ mm}^{-1}$  при питании структуры постоянным напряжением величиной 8 В. Полученная нами предельная величина дифракционной эффективности в плюс первом порядке составила  $\eta_{+1} = 37\%$ . Также нами была измерена предельная дифракционная эффективность в минус первом порядке — она составила только  $\eta_{-1} = 20\%$ . Наблюдаемая асимметрия порядков дифракции характерна для режима голографической записи с несимметричным профилем штриха на структурах типа фотополупроводник–нематический ЖК с планарной начальной ориентацией [3,4].

Экспериментально полученные зависимости дифракционной эффективности  $\eta$  от интенсивности записывающего излучения в одном из двух интерферирующих пучков  $I_w$  при различных величинах питающего структуру напряжения представлены на рис. 2. Пространственная частота записываемой решетки в данном случае составляла  $22 \text{ mm}^{-1}$ . Как видно из приведенных зависимостей, кривые имеют как возрастающий, так и убывающий участок со спадом дифракционной эффективности в 20 раз по сравнению с максимальным значением, т. е. модуляционная



**Рис. 2.** Модуляционные характеристики оптически управляемой структуры стибнит–нематический жидкий кристалл.

характеристика обладает сильной нелинейностью. Наклон кривых на возрастающем и убывающем участках зависит от управляющего напряжения, что важно для оптической реализации алгоритмов нечеткой алгебры. Чувствительность исследуемой структуры по уровню  $0.9 \cdot \eta_{\max}$  лежит в диапазоне от  $0.75$  до  $2.5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

Быстродействие структуры определяется временами электрооптического отклика нематического ЖК и постоянной времени структуры фотополупроводник–ЖК. В нашем случае использовался фотополупроводник с достаточно низким для структур данного типа удельным сопротивлением (например, по сравнению с  $\text{As}_{10}\text{Se}_{90}$ , использованным в работе [2], оно почти на порядок ниже —  $10^{12}$  и  $10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$  соответственно). Относительно большая постоянная времени структуры обусловлена наличием на границе стибнит–ЖК большого количества вакантных состояний (ловушек) с длительным временем релаксации. В то же время именно благодаря наличию ловушек, приводящих к большой постоянной времени, структуры на стибните имеют хорошее пространственное разрешение, лучшее, чем можно было бы ожидать от полупроводника с таким удельным сопротивлением, поскольку присутствие ловушек препятствует растеканию рельефа. Другой причиной

увеличения постоянной времени исследуемой структуры является необходимость получения набега фазы  $2\pi$  на длине волны считывающего излучения (814 nm), требующая достаточно толстого слоя жидкого кристалла (в нашем случае не менее  $6.5\ \mu\text{m}$  [5]). Быстродействие при этом обратно пропорционально квадрату толщины слоя ЖК. Экспериментально полученное время включения такой структуры при питании постоянным напряжением величиной 8 V составило 120 ms при времени выключения 800 ms.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования Е02–20–61.

## Список литературы

- [1] Павлов А.В. // Оптика и спектроскопия. 2001. Т. 90. В. 3. С. 515–520.
- [2] Чайка А.Н., Владимиров Ф.Л. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 4. С. 9–13.
- [3] Иванова Н.Л., Онохов А.П., Чайка А.Н. // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. В. 16. С. 57–61.
- [4] Berenberg V.A., Chaika A.N., Ivanova N.L. et al. // Proc. SPIE. 2002. V. 4493. P. 239–244.
- [5] Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М.: Наука, 1978. 384 с.