

06;07;12

Временная модуляция входного сигнала при записи голограмм на структурах типа аморфный гидрогенизированный кремний–жидкий кристалл

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

Всероссийский научный центр "Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова", С.-Петербург

Поступило в Редакцию 18 декабря 1996 г.

В работе для структур типа $p-i-n \alpha\text{-Si:H}$ –жидкий кристалл показана возможность увеличения разрешения и дифракционной эффективности без ухудшения остальных параметров путем введения синхронной с питающим напряжением амплитудной модуляции записывающего светового пучка.

Для создания ряда архитектур оптических нейронных сетей требуется быстрая запись голограмм с возможностью стирания и последующей перезаписью в короткие промежутки времени [1,2]. Помимо этого, интерес представляет также возможность реализации нелинейной передаточной характеристики голографического регистрирующего элемента. Успехи в области создания оптически управляемых транспарантов на основе аморфного гидрогенизированного кремния ($\alpha\text{-Si:H}$) с модулирующим жидкокристаллическим слоем позволяют получить хорошую совокупность основных параметров — разрешения, быстродействия, чувствительности, которые необходимы для реализации оперативной реверсивной записи голограмм. Формируя фотопроводниковый слой в виде $p-i-n$ диода из $\alpha\text{-Si:H}$, удалось поднять быстродействие транспаранта, не ухудшая его остальных параметров [3]. Целью данной работы явилось дальнейшее улучшение совокупности параметров оптики управляемых транспарантов — повышение пространственного разрешения и дифракционной эффективности. Это удалось достичь путем введения амплитудной модуляции записывающего светового потока.

Для исследования процесса записи голограмм на жидкокристаллических транспарантах в плоскости границы раздела фотопроводник–

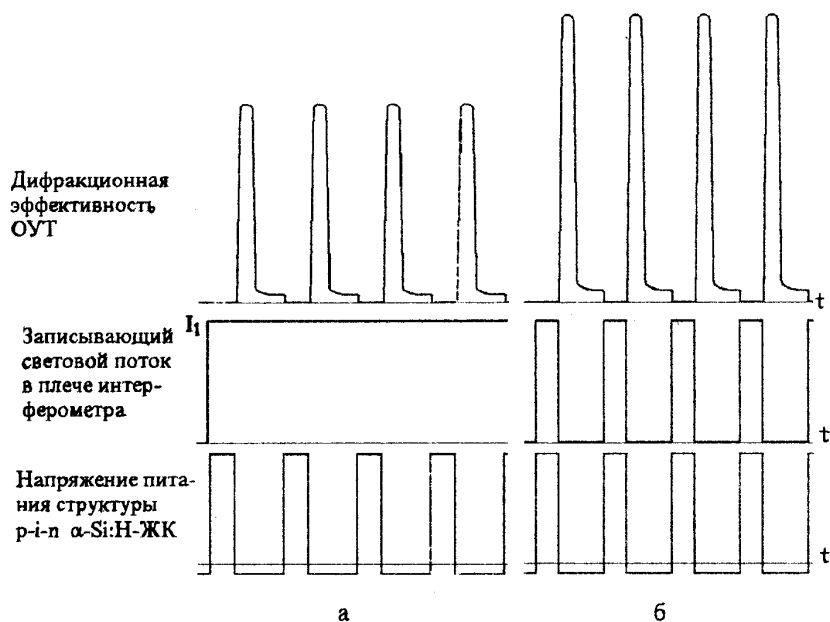


Рис. 1. Формирование отклика структурной $p-i-n \alpha-Si:H$ -жидкий кристалл при постоянном во времени входном сигнале (а) и при введении его амплитудной модуляции (б).

жидкий кристалл формировалась картина интерференции двух плоских волновых фронтов равной интенсивности ($I_1 - I_2$), для получения которых использовалось излучение He-Ne лазера ($\lambda_w = 0.633$ мкм), при этом пространственная частота картины определяется углом схождения интерферирующих пучков. Считывание записанных голограмм осуществлялось непрерывным излучением инжекционного полупроводникового лазера ($\lambda_R = 0.845$ мкм), и с помощью ФЭУ регистрировался первый порядок дифракции. В случае, когда на структуру $p-i-n \alpha-Si:H$ -нематический жидкий кристалл поступает не меняющаяся во времени интерференционная картина, передний фронт положительного импульса питания осуществляет стирание записанной ранее информации, а приходящий задний фронт запускает процесс визуализации скрытого изображения, формируемого фотогенерируемыми носителями

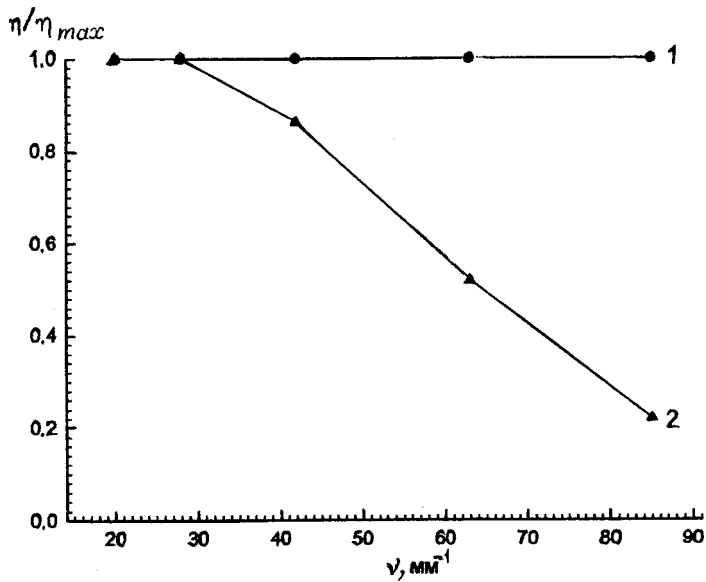


Рис. 2. Зависимость дифракционной эффективности от пространственной частоты регистрируемых голограмм: 1 — при постоянном во времени входном сигнале, 2 — при введении амплитудной модуляции входного сигнала.

в процессе экспонирования структуры (рис. 1, а). При этом существенную роль играет процесс диффузии носителей вдоль границы n -слоя и жидкий кристалл, приводящий к размыванию потенциального рельефа и, как следствие, к падению глубины модуляции картины, формируемой в жидкокристаллическом слое, что проявляется в ухудшении разрешения и дифракционной эффективности голографического регистрирующего элемента. Для более полной реализации возможностей структуры $p-i-n \alpha\text{-Si:H}$ -жидкий кристалл была введена амплитудная временная модуляция записывающего светового потока. С этой целью был разработан жидкокристаллический затвор на базе ферроэлектрического жидкого кристалла, действие которого основано на эффекте Кларка-Лагервола, обеспечивающий времена включения/выключения не более 30 мкс. Затвор вместе с поляризационным элементом, введенным в схему для получения амплитудной модуляции, был размещен непосредственно пе-

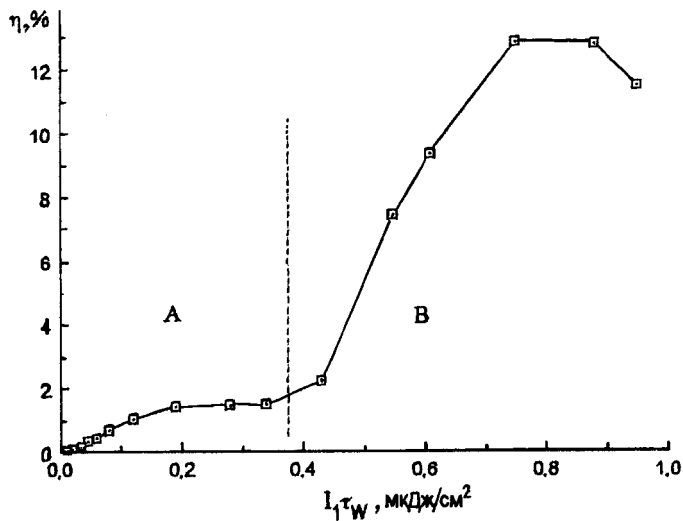


Рис. 3. Зависимость дифракционной эффективности голограмм от величины экспозиции в импульсе записи $I_1 \tau_W$ (пространственная частота регистрации $\nu_0 = 85 \text{ мм}^{-1}$).

ред He–Ne лазером. В эксперименте мы поддерживали отношение длительности записывающего светового импульса τ_W к периоду следования импульсов записи tW как $1/3$, а амплитуду импульса напряжения питания равной 45 В. Синхронизация импульсного питания структуры $p-i-n$ $\alpha\text{-Si:H}$ –жидкий кристалл и жидкокристаллического затвора обеспечивала синфазность питания оптически управляемых транспарантов и пульсаций поступающей на границу раздела фотопроводник–жидкий кристалл интерференционной картины, а электрооптический отклик формировался с фазовой задержкой по отношению к входному сигналу (рис. 1, б). На рис. 2 представлены зависимости величины максимальной дифракционной эффективности формируемого структурой $p-i-n$ $\alpha\text{-Si:H}$ –жидкий кристалл отклика как в случае постоянной во времени тестирующей интерференционной картины (кривая 1), так и в случае введения амплитудной модуляции в каждом из плеч интерферометра (кривая 2). Видно, что введение модуляции позволило существенно

Быстродействие, Гц	Дифракционная эффективность, %	
	без модуляции [1]	с модуляцией
8.3	5.5	12.8
11.9	4.6	12.2
27.8	2.3	7.0

поднять разрешение структуры. Независимость величины отклика от пространственной частоты в рабочем диапазоне частот обеспечивает инвариантность к сдвигу для корреляторов совместного преобразования и оптических нейронных сетей на их основе при использовании структур $p-i-n$ α -Si:H-жидкий кристалл для регистрации Фурье-голограмм в реальном масштабе времени, поскольку любое перемещение обрабатываемого изображения во входном окне относительно эталона всегда ведет к изменению пространственной частоты Фурье-голограммы [4].

При введении модуляции предельная дифракционная эффективность возросла до более чем 12% и достигается при величине экспонирующего импульса $7.5 \cdot 10^{-7}$ Дж/см², т. е. без потери чувствительности структуры. На рис. 3 представлена зависимость дифракционной эффективности формируемого структурой $p-i-n$ α -Si:H-жидкий кристалл отклика от величины экспозиции в импульсе записи $I_1 \tau_w$, где I_1 — интенсивность одного из двух пучков, формирующих интерференционную картину. Величина пороговой чувствительности оптически управляемых транспарантов не хуже, чем 10^{-8} Дж/см². Особо следует выделить нелинейный характер передаточной характеристики, состоящей из двух областей (А и В на рис. 3) с различным наклоном характеристики, что позволяет не только избежать отсечки верхних информационных частот голограммы совместного Фурье-преобразования [4], но и обеспечить их нелинейный подъем. Эта характеристика, как и предыдущая, была получена при $t_w = 40$ мс и $\tau_w/T_w = 1/3$.

При увеличении частоты следования импульсов записи спад дифракционной эффективности оказался не столь значителен, как в случае записи голограмм без модуляции. В таблице приведены сравнительные данные по быстродействию структуры $p-i-n$ α -Si:H-жидкий кристалл в режиме запись-стирание.

Таким образом, используя синхронизированную с питанием амплитудную модуляцию записывающего пучка, можно в режиме реверсивной записи получить совокупность высоких значений параметров оптически управляемых транспарантов, необходимых как при построении архитектур оптических нейронных сетей, так и в ряде приложений оперативной голографической регистрации.

Авторы признательны Е.И. Шубникову за обсуждение работы.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (95-02-05892-а).

Список литературы

- [1] *Pavlov A.V., Shubnikov E.I.* // Optical Memory and Neural Networks. 1993. V. 2. N 4. P. 245–250.
- [2] *Шубников Е.И.* // Оптический журнал. 1995. № 4. С. 19–25.
- [3] *Чайка А.Н., Иванова Н.Л., Онохов А.П., Нефедьева Э.А.* // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 19. С. 83–87.
- [4] *Василенко Г.И., Цибульский Л.М.* Голографические распознающие устройства. М.: Радио и связь, 1985. 312 с.