

## ЗАПИСЬ НЕСТАЦИОНАРНОЙ СПЕКЛ-КАРТИНЫ: ПРОСТЕЙШАЯ СХЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ

© П.Н.Ильиных

Представлена оптическая схема с обратной связью, позволяющая реализовать запись голограммы нестационарной спекл-картины в фоторефрактивном кристалле. Получен нестационарный энергообмен между двумя спекл-пучками. Продемонстрирована запись разночастотными и мигающими спеклами.

Известно, что при освещении лазером оптически грубой поверхности, диффузно отражающей свет, наблюдается спекл-картина [1]. Природа ее связана с тем, что различные точки поверхности отражают излучение со случайно распределенными фазами, из-за чего интерференционная картина нерегулярна и имеет зернистую структуру.

Перспективными средами для интерферометрии, динамической голографии и, в частности, для обращения волнового фронта (ОВФ) являются фоторефрактивные кристаллы (ФРК). В работах [2-4] исследовались взаимодействия спекл-пучков в ФРК с диффузионным типом нелинейности. Так, в работе [4] было показано, что ОВФ спекл-пучка при вынужденном диффузионном рассеянии назад эффективно, если этот пучок имеет непрерывно меняющуюся ("кипящую") структуру.

В настоящей работе рассматривается голографическая запись спекл-пучков, модулированных как по фазе (сдвиг частоты), так и по амплитуде. Механизмом, позволяющим записывать разночастотные пучки, является механизм синхронного детектирования (МСД) [5]. Достоинством МСД является возможность записи объектов, движущихся или колеблющихся с частотой  $\Omega$ , значительно превосходящей обратное время формирования голограммы  $\tau_{sc}$  ( $\Omega \gg \tau_{sc}^{-1}$ ). Условием эффективной записи является синхронизация движения интерференционной картины (КИ) с переменным электрическим полем, прикладываемым к кристаллу. Другими словами, необходимо согласовать разность частот интерферирующих волн с частотой поля на кристалле. В связи с этим возникает необходимость контролировать сдвиг частоты пучка, отраженного от объекта. В эксперименте в качестве движущегося объекта использовалось пьезозеркало, на которое подавалось пилообразное

напряжение, линейно возрастающее до величины, соответствующей сдвигу фазы падающего пучка на  $2\pi$ , а затем резко сбрасывающееся до нуля. Для контроля сдвига частоты в оптической схеме собирався вспомогательный интерферометр. Движущаяся КИ освещала фотодиод с диафрагмой размером порядка периода КИ. Сигнал с фотодиода подавался на осциллограф, на экране которого наблюдались синусоидальные колебания с частотой, соответствующей разности частот интерферирующих волн. Изменение частоты колебаний объекта фиксировалось осциллографом, после чего частота поля на кристалле перестраивалась до необходимой величины. В качестве лабораторного варианта можно использовать один генератор, задающий как частоту поля на кристалле, так и частоту колебаний пьезоэзеркала. В реальных условиях такой способ синхронизации не представляется возможным. Кроме того, контролировать интерференцию пучков с неоднородной пространственной структурой описанным методом весьма проблематично.

Предлагаемая схема синхронизации предельно проста и позволяет записывать объекты, движущиеся в некотором интервале скоростей. Дело в том, что в МСД при одновременном процессе записи и считывания, энергообмен между взаимодействующими пучками имеет нестационарный характер. Соответственно, объектный пучок после кристалла имеет осциллирующую во времени интенсивность:

$$I'_s = \left( E_s + e^{-i(\Omega t + \phi(t))} \sqrt{\eta} E_p \right)^2. \quad (1)$$

Здесь  $E_s$  и  $E_p$  — амплитуды объектной волны и опорной волны до взаимодействия в кристалле,  $\eta$  — дифракционная эффективность записываемой голограммы. Таким образом, пучок после взаимодействия в кристалле несет информацию как о состоянии объекта, так и об эффективности записанной голограммы. Переменную составляющую в прошедшем пучке можно использовать в качестве задающего сигнала для генератора напряжения, прикладываемого к кристаллу. Таким образом, если изменится скорость движения объекта, то изменится и частота детектирующего поля.

Экспериментальная схема приведена на рис. 1. Спекл-структура была получена после прохождения луча He-Ne лазера ( $\lambda = 0.63$  мкм) через многомодовое оптическое волокно. Расходящийся пучок на выходе из волокна поджимался длиннофокусной линзой. Часть пучка отражалась от неподвижного полупрозрачного зеркала, другая часть — от движущегося пьезоэзеркала. Спекл-пучки под углом  $\alpha = 1.2^\circ$  заводились в кристалл титаносилленита  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  (ВТО). Отношение интенсивностей интерферирующих пучков было 0.1. Кристалл, размером  $X \times Y \times Z = 4.5 \times 5.6 \times 4.5$  мм<sup>3</sup>

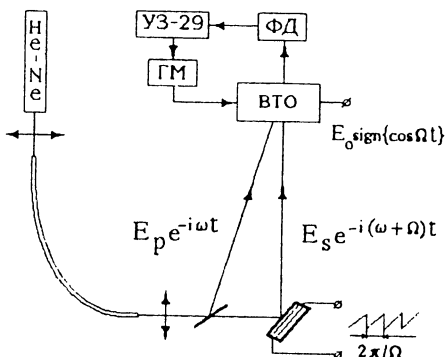


Рис. 1. Схема эксперимента.

( $X$  — межэлектродное расстояние,  $Z$  — толщина кристалла) был выращен в лаборатории квантовой электроники ФТИ им. А.Ф.Иоффе. Вдоль оси кристалла  $110$  прикладывалось знакопеременное электрическое поле с формой меандра  $E_0 \text{sign}\{\cos \Omega t\}$  и амплитудой  $E_0 = 7$  кВ/см. Использование знакопеременного поля обусловлено тем, что, во-первых, эффективность записи в нем выше, чем в синусоидальном поле [6]. Во-вторых, переменная составляющая в объектном пучке, регистрируемая фотодиодом ФД-24К и усиленная широкополосным усилителем УЗ-29, была всего несколько вольт. Усилить этот сигнал до нескольких киловольт достаточно проблематично. Однако, его можно использовать в качестве задающего сигнала для генератора высоковольтных прямоугольных импульсов (ГМ).

На рис. 2 приведены значения дифракционной эффективности записанной в кристалле голограммы бегущей спекл-картины. Разность частот интерферирующих спекл-пучков

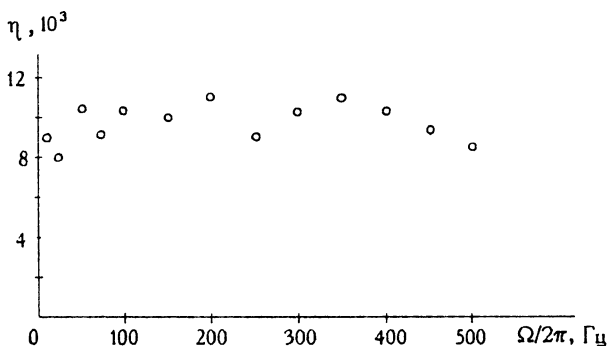


Рис. 2. Зависимость дифракционной эффективности от частоты колебания объекта.

изменялась в пределах до 500 Гц. Это ограничение связано с возможностью работы используемого в эксперименте пьезозеркала. Как и ожидалось, зависимости дифракционной эффективности голограммы от частоты колебания пьезозеркала не наблюдалось. Что касается максимально возможной частоты детектирования, то теоретически, она ограничена обратным временем жизни электронов, возбуждаемых в зону проводимости и дрейфующих под действием детектирующего поля. Для ФРК время жизни электронов в зоне проводимости порядка  $10^{-8}$ – $10^{-10}$  с и, соответственно, частота составляет  $10^8$ – $10^{10}$  Гц. Практически же частота детектирования ограничена возможностью генератора высоковольтных напряжений.

Для записи мигающими спекл-пучками излучение лазера на входе в оптическое волокно модулировалось механическим прерывателем. В результате кристалл освещался мигающей с частотой 30 Гц спекл-картиной. Знакопеременное поле, прикладываемое к кристаллу, синхронизовалось с частотой мигания. Максимальная эффективность записи реализуется, если изменение знака поля на кристалле происходит синфазно с миганием спекл-картины. Дифракционная эффективность, измеренная при дифракции опорного пучка на записанной голограмме (объектный пучок в это время перекрывался), была порядка  $6 \cdot 10^{-3}$ .

Работа выполнена при поддержке Международного научного фонда и Российского фонда фундаментальных исследований.

### Список литературы

- [1] Зельдович Б.Я., Пилипецкий Н.Ф., Шкунов В.В. Обращение волнового фронта. М.: Наука, 1985. 248 с.
- [2] Кузьминов Ю.С., Мамаев А.В., Шкунов В.В., Яковлева Т.В. // ЖТФ. 1991. Т. 61. В. 4. С. 94–98.
- [3] Любомудров О.В., Шкунов В.В. // Квантовая электроника. 1992. Т. 19. № 11. С. 1102–1106.
- [4] Дьяков В.А., Корольков С.А., Мамаев А.В., Шкунов В.В. // Квантовая электроника. 1992. Т. 19. № 11. С. 1093–1096.
- [5] Зельдович Б.Я., Ильиных П.Н., Нестеркин О.П. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 20. С. 78–82.
- [6] Дугин А.В., Зельдович Б.Я., Ильиных П.Н., Нестеркин О.П. // ЖЭТФ. 1992. Т. 102. В. 5(11). С. 1469–1483.

Вузовско-академический отдел  
нелинейной оптики,  
Институт электрофизики УрО РАН

и

Челябинский государственный  
технический университет

Поступило в Редакцию  
17 июня 1996 г.