

**И. Г. Даденков, А. Л. Толстик**  
БГУ (Минск, Беларусь)  
**Ю. И. Миксюк, К. А. Саечников**  
БГПУ (Минск, Беларусь)

## **О ВОЗМОЖНОСТИ МУЛЬТИПЛЕКСНОЙ ЗАПИСИ ДИНАМИЧЕСКИХ ГОЛОГРАММ В ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ СРЕДАХ**

Хорошо известно широкое применение лазерной интерферометрии в различных областях деятельности человека для детектирования сверхмалых физических величин, таких как деформации и колебания исследуемых объектов. Применение интерферометрических принципов в построении оптических измерительных систем позволяет фиксировать изменения расстояний, сопоставимые с длиной световой волны и является одним из немногих известных способов неразрушающего исследования материалов. Использование волоконно-оптических интерферометров позволяет создавать измерительные системы, способные работать во внелабораторных условиях и регистрировать изменения физических величин [1]. Недавно с помощью лазерного интерферометра были обнаружены гравитационные волны [2]. При этом длина измерительной базы превышала несколько километров.

Интересные возможности применения имеет область исследования, называемая голографической интерферометрией [3]. Например голографический интерференционный микроскоп предназначен для измерения параметров микрообъектов [4]. Голографические интерферометры обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными лазерными интерферометрами. Так голографическая интерферометрия позволяет исследовать предметы неправильной формы. Кроме того она дает возможность изучать трехмерные объекты. Следующим преимуществом голографической интерферометрии перед классической является отсутствие необходимости принимать во внимание оптические аберрации. В то же время недостатком голографической интерферометрии является достаточно сложный анализ голографических интерференционных картин. Весьма эффективным оказалось использование фоторефрактивных кристаллов при построении голографических интерферометров [5].

При создании многомерных измерительных систем, состоящих из большого числа датчиков и измерительных каналов, возникает необходимость в использовании соответствующего количества кристаллов и опорных световых пучков, что приводит к нежелательному усложнению измерительной системы. Одним из возможных решений данной проблемы является мультиплексирование, то есть запись нескольких голограмм в одном и том же кристалле [6]. Мультиплексирование голограмм в кристалле возможно двумя способами. В первом из них разделение информационных каналов осуществляется за счет создания условий, при которых голограммы оказываются по-разному ориентированы в кристалле. В основу второго способа положен метод спектрального мультиплексирования голограмм, в рамках

которого голограммы записываются на разных, но близко расположенных длинах волн.

Целью работы являлось теоретическое и экспериментальное исследование возможностей мультиплексной записи динамических голограмм в фоторефрактивных кристаллах семейства силленитов.

При проведении расчетов параметров предполагаемой экспериментальной установки предполагалось, что голограмма записывается с помощью лазера на иттрий-алюминиевом гранате с длиной волны излучения  $\lambda_1 = 532$  нм, а для считывания будет использоваться гелий-неоновый лазер с длиной волны излучения  $\lambda_2 = 632,8$  нм. Расчеты показали, что при угле записи (угол между направлениями распространения опорной и сигнальной электромагнитными волнами) меняющемся от 10 до 110 градусов изменение угла считывания (угол между направлениями распространения считывающей и дифрагированной электромагнитными волнами) значительно превышает угол записи во всем диапазоне изменения углов и изменяется в пределах от 11,9 до 155 градусов.

Для определения соответствующих углов считывания важное значение имеет величина угловой селективности записанной голограммы. При рассмотрении симметричной схемы записи голограммы, при которой положение штрихов решетки располагается перпендикулярно к поверхности материала, угловая селективность определяется как ширина контура зависимости дифракционной эффективности от изменения угла падения восстанавливающего излучения на полувысоте. Для кристалла BSO толщиной 2 миллиметра было получено, что чем больше угол между направлениями распространения световых пучков, записывающих решетку тем более низкими значениями угловой селективности обладают голограммы. При этом величина угловой селективности голограммы находится в пределах от  $6,8 \cdot 10^{-3}$  до  $3,9 \cdot 10^{-2}$  градусов при изменении угла между записывающими пучками от 20 до 160 градусов.

Для исследования процессов записи и релаксации мультиплексных динамических решеток была собрана экспериментальная установка, схема которой представлена на рисунке 1. Для записи голограмм использовался импульсный лазер 1 на иттрий-алюминиевом гранате с длиной волны излучения  $\lambda = 532$  нм и длительностью импульса 20 нс. Глухие зеркала 3 и оптические клинья 4 формировали опорную «О» и две сигнальные волны «С» и «С'». Для обеспечения условий мультиплексной записи в соответствии с результатами расчетов и исходя из удобства расстановки механических узлов и оптических элементов были выбраны углы между записывающими голограммы световыми пучками. Так угол между пучками «О» и «С» составил  $53^\circ$ , угол между пучками «О» и «С'» составил  $66^\circ$ . Следовательно, динамические решетки имели периоды порядка длины волны: 596 и 488 нм, соответственно. Интенсивности лучей, формирующих решетки соотносятся как 2 : 1 : 2 для волн «О» : «С»: «С'», т.е. одна сигнальная волна имела такую же интенсивность, как и опорная, а вторая была в два раза слабее. Мультиплексная

запись происходила в области фоторефрактивного кристалла 6, освещаемого световыми пучками, площадь сечения которых составляла  $12 \text{ мм}^2$ .

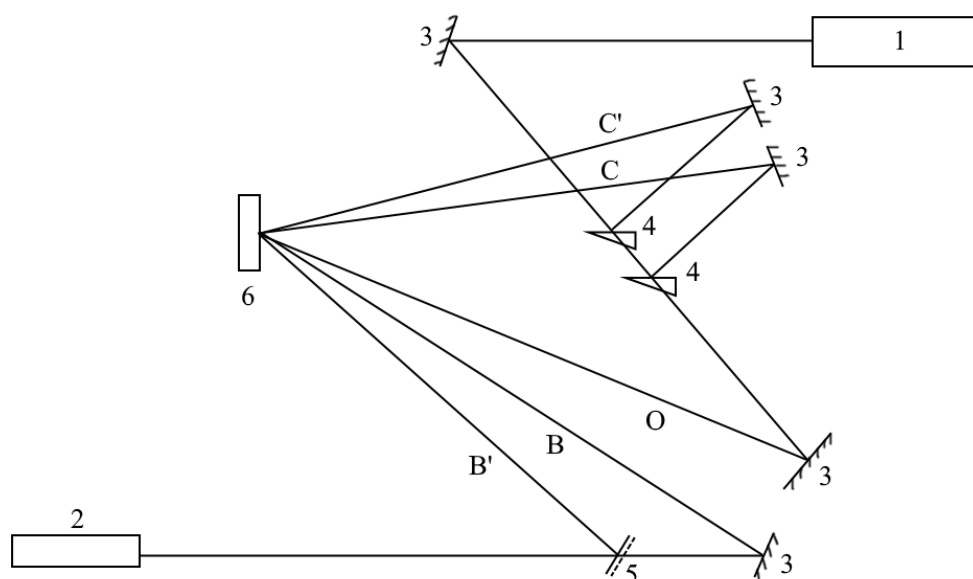


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки для мультиплексной записи динамических решеток (1 – импульсный лазер, 2 – непрерывный лазер, 3 – зеркала, 4 – стеклянный клин, 5 – полупрозрачное зеркало, 6 – фоторефрактивный кристалл; C и C' – сигнальные волны, O – опорная волна, B и B' – восстанавливающие волны).

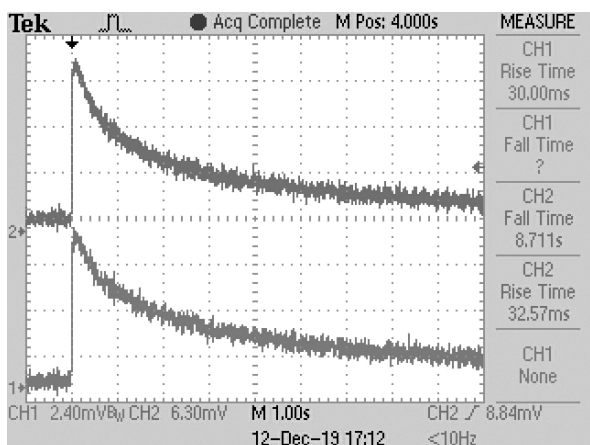
Для считывания динамических решеток использовалось излучение He-Ne лазера 2 ( $\lambda=632,8 \text{ нм}$ ), которое с помощью полупрозрачного зеркала 5 и глухого зеркала 3 направлялось на фоторефрактивный кристалл под углом Брегга, обеспечивая условия считывания двух динамических решеток.

Регистрация дифрагированных пучков проводилась с использованием скоростных фотодиодных приемников и двухканального цифрового осциллографа.

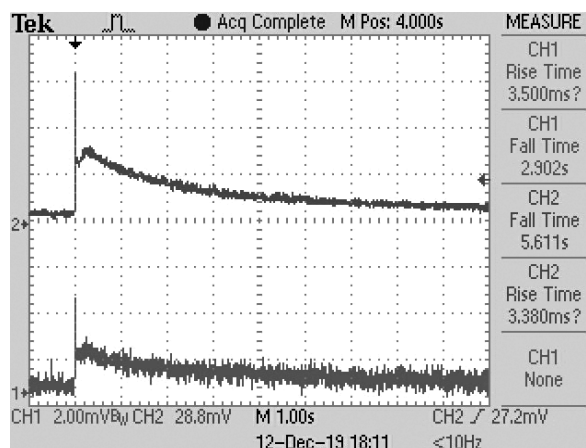
Объектами исследования являлись дифракционные динамические решетки, записанные в фоторефрактивных кристаллах силиката висмута.

Исследование зависимости динамики формирования и релаксации динамических решеток от интенсивности записывающего голограмму излучения происходило в диапазоне от  $0,5$  до  $25 \text{ МВт/см}^2$ . На рисунке 2 представлены осциллограммы, описывающие динамику дифрагированного излучения гелий-неонового лазера на двух решетках, записанных волнами «O», «C»(CH2) и «O», «C'» (CH1).

Как видно из приведенных рисунков имеет место существенная зависимость времени жизни решетки от интенсивности падающего излучения. Так, в диапазоне до  $10 \text{ МВт/см}^2$  время жизни решетки составляет порядка  $1 \text{ с}$ . При дальнейшем увеличении интенсивности появляется быстрая компонента с временем жизни на три порядка меньшем (на уровне  $1 \text{ мс}$ ), причем с увеличением интенсивности вклад медленной компоненты уменьшается, а быстрой - увеличивается.



Интенсивность – 1,7 МВт/см<sup>2</sup>



Интенсивность – 20,5 МВт/см<sup>2</sup>

Рисунок 4. Осциллограммы дифрагированных сигналов на двух решетках, записанных волнами «О», «С» (CH2) и «О», «С» (CH1) при различных значениях интенсивности.

Следует также отметить, что с увеличением интенсивности записывающих динамические решетки волн меняется соотношение между интенсивностями излучения, дифрагированного на решетках с разными периодами. Так, если при небольших интенсивностях дифрагированные сигналы близки по величине, то с ростом интенсивности дифрагированный сигнал на решетке, имеющей меньший период, уменьшается и при интенсивности больше 20 МВт/см<sup>2</sup> такая решетка практически не записывается.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ромашко, Р.В. Адаптивные волоконно-оптические измерительные системы / Р.В. Ромашко, Ю.Н. Кульчин // Вестник ДВО РАН 2006 № 4 С. 94 – 99.
2. Abbott, В.Р. LIGO: the laser interferometer gravitational-wave observatory / В.Р. Abbott, et. al. // Rep. Prog. Phys. 2009 v 72 P. 76901.
3. Островский, Ю.И. Голографическая интерферометрия / Ю.И. Островский, М.М. Бутусов, Г.В. Островская. – М.: Наука, 1977. – 336 с.
4. Антонов, Е.А. Оптическая голография: Практические применения / Е.А. Антонов, В.М. Гинзбург, Е.Н. Лехциер, Э.В. Мороз, Э.Г. Семенов, Б.М. Степанов, Н.С. Ханин, В.Я. Царфин; Под ред. В.М. Гинзбург, Б.М. Степанова. – М.: Сов. Радио, 1978. – 240 с.
5. Ромашко, Р.В. Физические основы построения сверхвысокочувствительных адаптивных измерительных систем на основе динамических голограмм: Дис. докт. физ.-мат. наук: 01.04.21. – Владивосток, 2010. – 309 с.
6. Trofimova, A. Multiplexed holograms in phenanthrenequinone-polymethylmethacrylate composite for microscopic applications / A. Trofimova, S. Nazarov, A. Tolstik, U. Mahilniy, E. Tolstik, R. Heintzmann // Optical materials express 2017 v 7 № 5 P. 1446 – 1452.