

**А.В. МАКАРЕВИЧ<sup>1</sup>, В.В. ШЕПЕЛЕВИЧ<sup>1</sup>, М.А. АМАНОВА<sup>1</sup>,  
А.А. ГРАБАР<sup>2</sup>, М.В. ЦИГИКА<sup>2</sup>, П.И. РОПОТ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>МГПУ им. И.П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

<sup>2</sup>УжНУ (г. Ужгород, Украина)

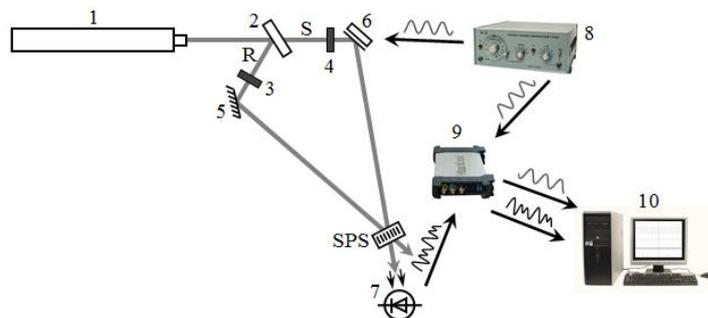
<sup>3</sup>Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИСТАЛЛА $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ДИНАМИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ**

Одним из наиболее популярных прикладных направлений фоторефрактивных кристаллов является применение их в вибрационной метрологии для регистрации малых амплитуд колебаний объектов при использовании двухволнового взаимодействия с фазовой модуляцией предметной световой волны. В последнее время появились статьи и по изучению возможностей применения в подобных целях кристалла  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  (SPS) в пропускающей геометрии [1, 2]. Однако часто для этих целей при регистрации амплитуд вибраций объектов используется усреднение интенсивности вышедшей из кристалла сигнальной волны, а не ее спектральное разложение по гармоникам колебаний, которое в перспективе может позволить измерять амплитуды колебаний объектов даже пикометрового диапазона [3]. Поэтому попытка спектрального разложения фазомодулированной предметной световой волны, выходящей из кристалла после взаимодействия с опорной волной, и демодуляция сигнала, предпринятая в рамках данной работы, будет полезным шагом для расширения возможностей экспериментального применения кристалла SPS.

Эксперимент проводился по схеме, представленной на рисунке 1. Световой пучок гелий-неонового лазера 1, излучающего на длине волны 633 нм, разделялся светоделителем 2 на опорный R и предметный S световые пучки. Эти пучки, проходя через полуволновые фазовые пластинки 3 и 4, отражались от глухого 5 и пьезоэлектрического 6 зеркал соответственно. Затем они направлялись на кристалл SPS, допированный сурьмой (1%), в котором формировалась ненаклонная пропускающая голограмма. После прохождения кристалла предметный световой пучок попадал на светочувствительную площадку фотодиода 7. При записи голограммы опорная и предметная световые волны были поляризованы в плоскости, перпендикулярной к плоскости падения, а угол их схождения перед кристаллом составлял  $25^\circ$ , причем интенсивность опорной волны превышала интенсивность предметной волны более чем в 50 раз. В схеме голографической записи кристалл SPS был ориентирован таким образом, что кристаллографическое направление (001) соответствовало биссектрисе угла, образованного падающими на кристалл световыми пучками, а кристаллографическое направление (010) было ориентировано перпендикулярно по отношению к плоскости голографического стола.

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. Периодический электрический сигнал синусоидальной формы от генератора 8 подавался на пьезозеркало 6. Вследствие обратного пьезоэлектрического эффекта его зеркальная поверхность совершала колебания в направлении, параллельном биссектрисе угла между падающим и отраженным пучками, что непосредственно приводило к фазовой модуляции предметного пучка S, входящего в кристалл SPS. Подаваемый на пьезозеркало сигнал одновременно посылался и на USB-осциллограф 9, соединенный с персональным компьютером 10, причем одновременно с этим на осциллограф также подавался исходящий от фотодиода электрический сигнал, соответствующий модуляции интенсивности предметного пучка, прошедшего через кристалл. Это позволяло в режиме реального времени на мониторе компьютера наблюдать и анализировать оба электрических сигнала: подаваемый на пьезозеркало и исходящий из фотодиода.



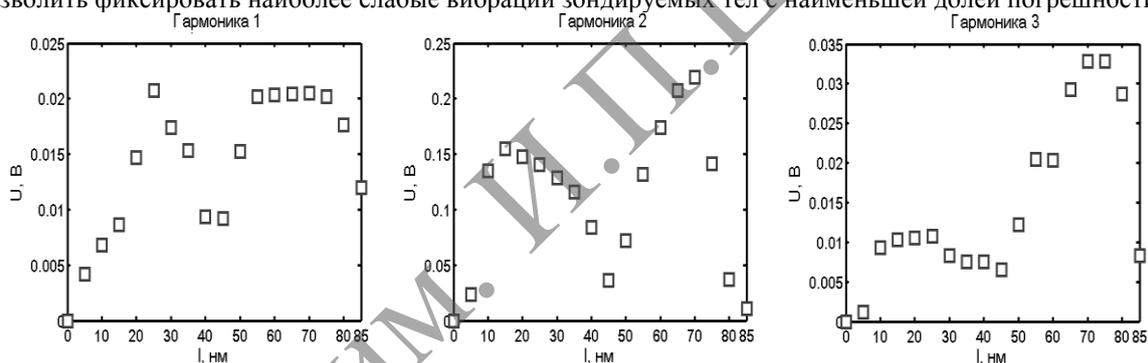
- 1 – He Ne лазер; 2 – светоделитель; 3, 4 – полуволновые фазовые пластинки;  
 5 – глухое зеркало; 6 – пьезоэлектрическое зеркало; 7 – фотодиод;  
 8 – генератор электрических сигналов,  
 9 – USB-осциллограф; 10 – персональный компьютер

**Рисунок 1. – Оптическая схема экспериментальной установки**

При проведении экспериментов фазовая модуляция предметного светового пучка осуществлялась с помощью пьезозеркала 6 на частоте 400 Гц. Амплитуда электрического сигнала, подаваемого на пьезокерамику, регулировалась таким образом, чтобы смещения зеркальной поверхности относительно положения равновесия осуществлялись в диапазоне от 0 до 85 нм с шагом в 5 нм.

Используя алгоритм быстрого Фурье-преобразования, мы выделили амплитуды 1-й, 2-й и 3-й гармоник, присутствующих в спектре электрического сигнала, снимаемого с фотодиода. Полученные результаты представлены ниже на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2 амплитуды всех гармоник имеют существенную зависимость от амплитуды колебания пьезозеркала относительно положения равновесия. При этом наибольшую амплитуду имеет вторая гармоника. Это свидетельствует о том, что при практическом применении кристалла SPS для фиксирования сверхмалых амплитуд колебаний объектов, выделение этой гармоники из спектра модулированного сигнала, в котором, как правило, присутствует нежелательный шум, может позволить фиксировать наиболее слабые вибрации зондируемых тел с наименьшей долей погрешности.



**Рисунок 2. – Зависимости амплитуд 1-й (фрагмент а), 2-й (фрагмент б) и 3-й (фрагмент в) гармоник, выделенных из электрического сигнала, снимаемого с фотодиода, от амплитуды колебания пьезозеркала**

Таким образом, выполнены исследования по определению зависимостей амплитуд 1-й, 2-й и 3-й гармоник, присутствующих в спектре фазомодулированного на частоте 400 Гц предметного светового пучка, проходящего через кристалл  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6:\text{Sb}$  среза (001) и взаимодействующего в нем с опорным пучком, от амплитуды колебаний зондируемого объекта, лежащей в диапазоне от 0 до 85 нм. Выявлено, что амплитуды всех указанных гармоник существенно зависят от амплитуды вибрации объекта, причем наибольшими значениями амплитуды характеризуется вторая гармоника, выделение которой из спектра снимаемого сигнала может позволить фиксировать наиболее слабые смещения объектов с наименьшей долей погрешности.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Tsyhyka, M.V. Dynamic interferometer on the basis of  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  photorefractive crystal / M. V. Tsyhyka, A. A. Grabar, I. M. Stoika // Optics of crystals: International Scientific Conference, Mozyr, 23 26 September 2014 / I. P. Shamyakin Mozyr State Pedagogical University. – Mozyr, 2014. – P. 107–108.
2. Dynamic holographic interferometry with doped  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  photorefractive crystals / A. Grabar [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 867. – P. 012027(1)–(3).
3. Колегов, А.А. Амплитудная характеристика адаптивного голографического интерферометра / А.А. Колегов, С.М. Шандаров, Ю.Ф. Каргин // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2 (22), Ч. 2. – С. 66–69.