

УДК 535.42

Автоматизация измерений фоторефрактивных
свойств кристаллов типа $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$

Т.В. Чутора, О.О. Грабар

Ужгородский национальный университет, вул. Підгірна, 46, Ужгород, 88000

E-mail: al_grabar@hotmail.com

UDC 535.42

Automation of measurements of the photorefractive
properties in $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ type crystals

T. Chutora, A. Grabar

Uzhhorod National University, Pidgirna Str., 46, Uzhhorod, 88000

В работе описана компьютеризированная экспериментальная схема для исследования динамики формирования объемных голограмм на основе фоторефрактивного эффекта в модифицированных кристаллах $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ и приводятся полученные с ее помощью результаты. Характер временных зависимостей двухволновых взаимодействий свидетельствует о сложном характере формирования фотоиндуцированного пространственного заряда и существенную компенсацию, вероятно обусловленную носителями заряда противоположного знака.

Ключевые слова: Фоторефрактивный эффект, двухволновое взаимодействие, $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$.

In the work is described a computerized experimental scheme for measuring the dynamics of formation of the volume holograms based on the photorefractive effect in the modified $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ crystals, as well as some obtained results. Observed time variation of the two-wave mixing gain indicates on a complex character of the photoinduced space charge formation and significant compensation, probably determined by the charge carriers of opposite sign.

Key words: photorefractive effect, two-wave mixing, $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$.

Введение

Фоторефрактивный (ФР) эффект, который заключается в индуцированном светом изменении показателя преломления среды, находит применение в устройствах динамической голографии, в частности в схемах фазового сопряжения лазерного излучения, динамической интерферометрии, пространственной фильтрации лазерных лучей и т.п. [1,2]. Особенностью ФР свойств кристаллов $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ является их фоточувствительность в красной и ближней ИК области спектра, а также их сравнительно высокое быстродействие (типичное время ФР отклика составляет величину порядка 10^{-2} - 10^{-3} с [2,3]), что важно для приложений в таких отраслях как телекоммуникации и биомедицинская диагностика. Возникновение ФР эффекта в $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ связано с формированием пространственного заряда, который вследствие линейного электрооптического эффекта вызывает изменения показателя преломления. Поскольку возникновение неоднородного пространственного заряда в кристаллах $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ обусловлено диффузией неравновесных носителей заряда [2], решетка показателя преломления смещена по фазе на четверть периода относительно интерференционной картины. Дифракция взаимодействующих лучей на такой нелокальной решетке приводит к стационарному энергообмену между взаимодействующими пучками, описывается соотношением:

$$\frac{I_S^{(d)}}{I_R^{(d)}} = \frac{I_S^{(0)}}{I_R^{(0)}} \exp(\Gamma d) \quad (1)$$

где $I_S^{(0)}$ и $I_R^{(0)}$ - интенсивности сигнального (S) и опорного (R) пучков до взаимодействия, $I_S^{(d)}$ и $I_R^{(d)}$ - соответственно после взаимодействия, Γ - коэффициент энергообмена, d - толщина образца. Коэффициент энергообмена Γ пропорционален амплитуде фазовой решетки, и может быть определен путем измерения интенсивностей сигнального луча при включенном и выключенном опорном пучке.

Целью данной работы является модернизация методики исследования динамических характеристик ФР эффекта в кристаллах типа $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ путем измерения временных зависимостей коэффициента энергообмена Γ .

Методика эксперимента

Для измерения ФР параметров кристаллов использовалась стандартная голографическая схема, показанная на рис. 1.

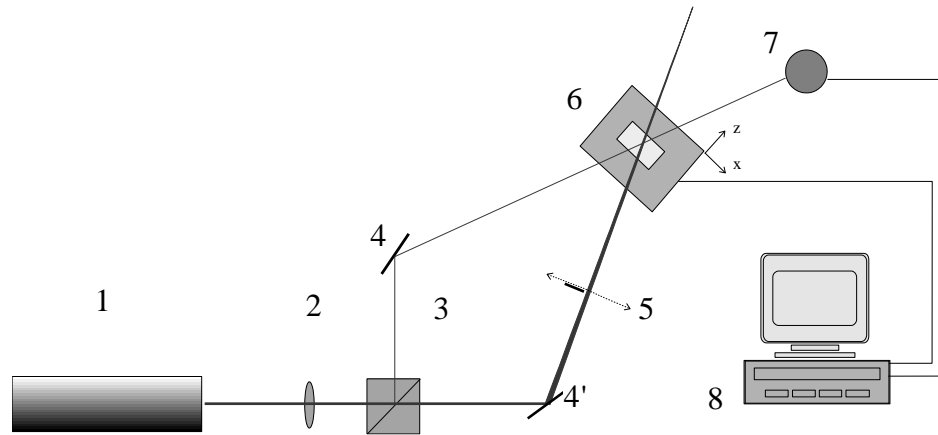
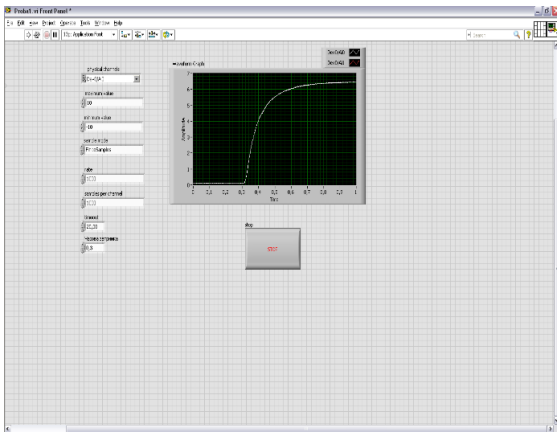
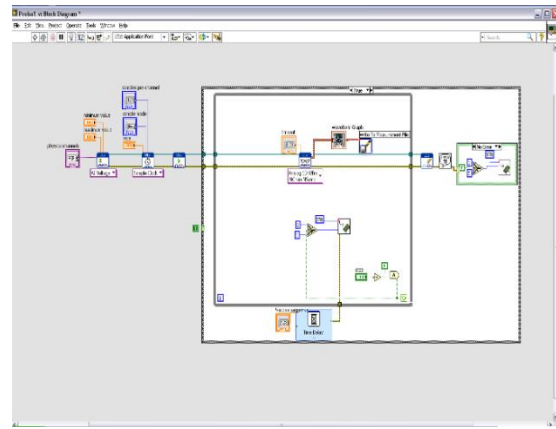


Рис. 1. Экспериментальная схема: 1 - He-Ne лазер ЛГН-215, 2 – линза или телескоп (расширитель пучка), 3-делитель луча, 4 и 4' - зеркала, 5 - заслонка, 6 - образец, 7 - фотоприемник, 8 - блок управления та регистрации, управляемый компьютером.

Два взаимно когерентных луча He -Ne лазера с длиной волны 633 нм (сигнальный и опорный), разделенные с помощью оптического делителя с отношением интенсивностей 1:100, пересекались в объеме образца. Образцы $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ изготавливались в форме параллелепипедов с типичными размерами $x*y*z = 4*5*2$ мм³ с полированными гранями, перпендикулярными к оси Z. (Выбор осей является стандартным для данных материалов и соответствует использованному в [2,3]). При этом направление волнового вектора ФР решетки лежит в плоскости XZ и направлено вдоль полярной оси X. Интенсивности лучей регулировались с помощью светофильтров (не показаны на рисунке). Для формирования пучка использовалась линза или расширитель пучка (телескоп). Интенсивность сигнального пучка вне кристалла измерялась кремниевым фотодиодом, подключенным ко входу аналого-цифрового преобразователя (АЦП) модели USB - 1208FS. Регистрация данных, управление процессом измерений и обработка результатов осуществлялись с помощью компьютера и управляющей программы в среде *LabVIEW* (рис 2).



а)



б)

Рис. 2. Вид внешней панели программы управления экспериментальной установкой для измерения динамики двухволнового взаимодействия (а) и блок-диаграмма алгоритма математических расчетов в среде программирования *LabVIEW* (б).

С помощью описанной выше методики и ее автоматизации были получены временные зависимости коэффициента двухволнового взаимодействия, которые приведены на рис 3 (а, б, в).

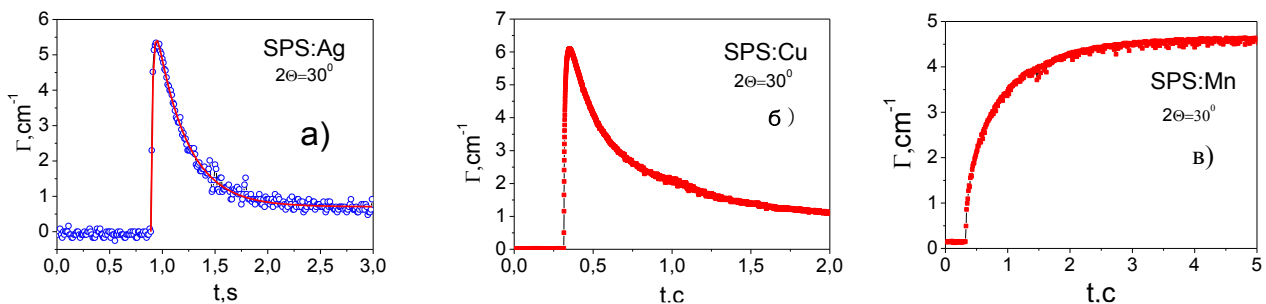


Рис. 3. Временные зависимости коэффициента двухволнового взаимодействия, измеренные в кристаллах $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6:\text{Ag}$ (а), Cu (б), Mn (в), на длине волны лазерного излучения $\lambda = 633 \text{ нм}$ с мощностью $I = 50 \text{ мВт}$. Точки - эксперимент, линии – аппроксимация выражением (2).

Полученные результаты свидетельствуют о сложном характере и существенных различиях динамики двухволнового взаимодействия в кристаллах с различными примесями, что обусловлено различным влиянием примесных носителей заряда на формирование ФР решеток. Полученные

кривые временных зависимостей $\Gamma(t)$ хорошо аппроксимируются зависимостями вида:

$$\Gamma(t) = \frac{1}{d} \ln \frac{I_s(t)}{I_s(0)} = A_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) \right] + A_2 \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) \right], \quad (2)$$

где A_1 , A_2 - амплитуды решеток, обусловленных различными типами фотоиндуцированных носителей заряда, а τ_1 и τ_2 - соответствующие характерные времена их формирования. Как видно из рис.3а и 3б, легирование Ag и Cu, которое вероятно повышает концентрацию электронов, приводит к относительно медленной (с характерными временами порядка 1 с) компенсации "первичных" решеток пространственного заряда, обусловленных фотоиндуцированными дырками за время порядка 3-5 мс. В то же время легирование Mn приводит к существенному замедлению ФР отклика без проявлений компенсации пространственного заряда, что может свидетельствовать о наличии "быстрых и "медленных" фотоиндуцированных носителей р-типа в данных кристаллах. Полученные результаты свидетельствуют о сложном характере процессов переноса фотоиндуцированных носителей заряда, возможности их исследования с использованием голографической методики, а также о широких возможностях варьирования динамических и амплитудных характеристик ФР голограмм в кристаллах $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ путем легирования различными элементами.

Выводы

Разработана компьютеризированная схема для исследования динамики двухволнового взаимодействия в фоторефрактивных кристаллах. Проведенные измерения динамики двухволнового взаимодействия в кристаллах $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ с различными примесями (Ag, Cu, Mn) свидетельствуют о возможности использования голографической методики для исследования особенностей процессов формирования решеток пространственного заряда в ФР кристаллах.

Литература

1. Высочанский Ю.М, Сливка В.Ю. Сегнетоэлектрики семейства $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$. Свойства в окрестности точки Лифшица. – Львов: Ориана-Нова, 1994.– 246 с.
2. Grabar A. A, Jazbinsek M, Shumelyuk A. N, Vysochanskii Yu. M, Montemezzani G. and Günter P. Photorefractive Effects in $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ // In: Photorefractive Materials and Their Applications. V.2 - Materials, Springer Science+Business Media LCC, New York, USA. – 2007. - P.327-362.
3. Боднар С.С, Чутора Т.В, Стойка І.М, Грабар О.О. Динаміка фоторефрактивного ефекту в кристалах $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6:\text{Ag}$ // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. – 2013. – №33. – С.33-39.