

УДК 537.41

PACS 07.60.Ly, 42.40.Kw, 78.20.Mg

DOI: 10.24144/2415-8038.2016.40.18-21

М. В. Цигика, О. О. Грабар

Ужгородський національний університет, вул. Волошина, 54, 88000, Ужгород

e-mail: al_grabar@hotmail.com

ДИНАМІЧНИЙ ІНТЕРФЕРОМЕТР НА ОСНОВІ ФОТОІНДУКОВАНОГО РОЗСІЯННЯ СВІТЛА У КРИСТАЛІ $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$

На основі високих фоторефрактивних параметрів легованих монокристалів $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ реалізовано однопроменевий динамічний інтерферометр, котрий дозволяє реєструвати параметри фазової модуляції лазерного променя, що відбивається від вібруючої поверхні. Схема інтерферометра основана на ефекті динамічного розсіяння когерентного світла у фоторефрактивному кристалі. Одержано амплітудні та частотні характеристики інтерферометра.

Ключові слова: динамічний інтерферометр, фоторефрактивний ефект, фотоіндуковане динамічне розсіяння світла, фаннінг, тіогіподифосфат олова.

Вступ

Одним з ефективних методів дистанційного контролю параметрів вібрацій є голографічна динамічна інтерферометрія, яка може бути реалізована з використанням фоторефрактивного (ФР) ефекту. Цей метод забезпечує вимірювання параметрів вібрацій відбиваючих поверхонь, та дозволяє отримати інформацію про їх частоту, амплітуду і фазу. Ключовим елементом оптичної схеми є ФР кристал, параметри якого визначають амплітудні та динамічні характеристики інтерферометра. Серед найбільш ефективних ФР середовищ є леговані Sb кристали $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ [1], можливості застосування яких у динамічній інтерферометрії продемонстровано в [2]. Особливістю двопроменевих схем динамічних інтерферометрів є необхідність вирівнювання плечей інтерферометра. Використання схеми, в якій безпосередньо реєструються фазові збурення лазерного променя, дозволила б, крім спрощення, застосовувати лазерні джерела з низькою когерентністю.

Оптична схема

Однопроменева схема може бути реалізована шляхом використання ефекту дина-

мічного ФР розсіяння (фаннінгу) лазерного променя, що спостерігається у вигляді інтенсивного розсіяння навколо пучка лазерного випромінювання при його проходженні крізь кристал. Даний ефект виникає внаслідок формування в ФР кристалі шумової голограми та її голографічного підсилення за рахунок двохвильової взаємодії випромінювання, розсіяного на вхідній грані кристала, з основним променем. В [3,4] досліджувалися особливості фаннінга та просторовий розподіл розсіяння лазерного світла, що виникає у модифікованих кристалах типу $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$, а також продемонстровано можливість візуалізації фазових об'єктів на його основі [4]. В [5] динаміка формування фаннінга була використана для отримання контрольованого зсуву фази амплітудно-модульованого лазерного променя.

В наших експериментах використовувалася схема, зображена на рис. 1. Випромінювання He-Ne лазера з довжиною хвилі 633 нм і потужністю ~15 мВт (1) відбивалося від дзеркала, закріпленого на п'єзоелементі (2), до якого прикладалася змінна напруга від звукового генератора (3) типу Rigol DG1022. Розсіяне в кристалі (4) світло

реєструвалося позаду кристалу за допомогою фотодіода (5) та осцилографа (6). В якості ФР елемента використовувався легований зразок $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6:\text{Sb}1\%$ з розмірами $10 \times 8 \times 7 \text{ мм}^3$ уздовж кристалофізичних осей X, Y та Z відповідно. Вибір осей є стандартним для даного кристалу [1-3], тобто Y є нормаллю до площини симетрії, а вісь X близька до полярного напрямку. При цьому промінь проходив крізь грань, нормальну до Z, і був поляризований вздовж X. Така орієнтація забезпечує максимальні значення коефіцієнтів двохвильової взаємодії та фаннінга, максимум якого спостерігається під кутом $10\text{-}30^\circ$ до променя в площині XZ.

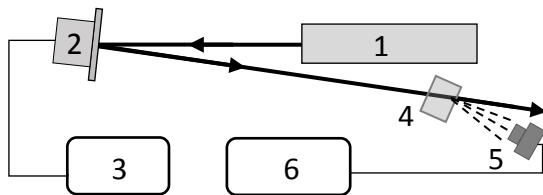


Рис. 1. Схема однопроменевого інтерферометра на основі динамічного ФР розсіяння світла. 1 – He-Ne лазер, 2 – дзеркало на п'єзоелементі, 3 – звуковий генератор типу Rigol DG1022, 4 – ФР кристал, 5 – фотодіод, 6 – осцилограф.

Фаннінг формується за час порядку характерного часу запису ФР ґратки, який для даного кристала та використовуваної інтенсивності випромінювання є порядку десятків мілісекунд [2,3]. Збурення амплітуди чи фази лазерного променя приводять до зміни інтенсивності фаннінга, що реєструється за допомогою фотодіода 5 в схемі, приведеній на рис. 1.

Експериментальні результати

Вказана схема використовувалась для реєстрації періодичних коливань дзеркала 3 за змінами інтенсивності розсіяного світла, що вимірювалось фотоприймачем 5. Форма та амплітуда сигналу залежить як від частоти, так і від амплітуди модуляції фази. Відповідні залежності для трьох перших гармонік сигналу, отримані шляхом фур'є-аналізу осцилограм, приведені на рис. 2 і 3, які ілюструють можливість визначення параметрів фазової модуляції пучка по зареєстрованому фотоприймачем змінному сигналу. Оскільки при дифузійному механізмі ФР ефекту, який реалізується у випадку

$\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ [1], фазовий зсув між інтерференційною картиною і ФР ґраткою складає 90° , що відповідає максимальному енергообміну, порушення стаціонарності має приводити до зменшення енергообміну та до зниження інтенсивності фаннінга. При цьому інтенсивність мала б змінюватися з подвоєною частотою модуляції фази; однак у нашому випадку найбільш інтенсивною є саме перша гармоніка.

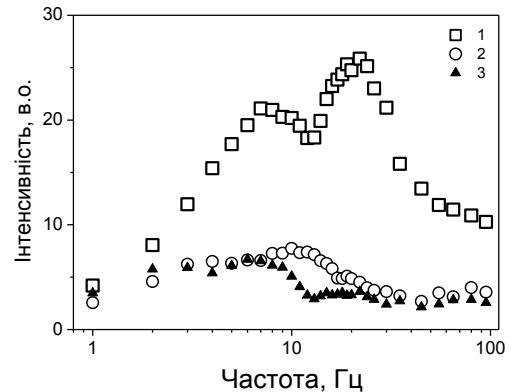


Рис. 2. Частотні залежності відносних інтенсивностей першої (1), другої (2) та третьої (3) гармонік осцилограм, одержаних при амплітуді коливань п'єзоелемента 1 мкм.

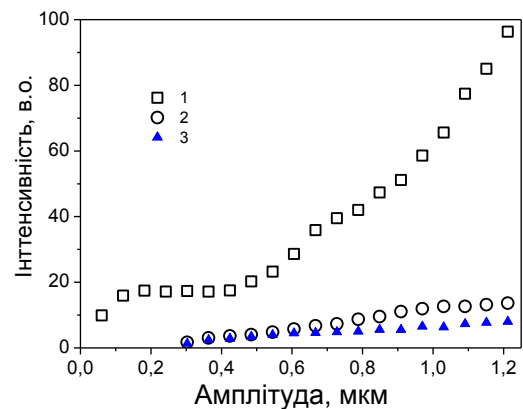


Рис. 3. Амплітудні залежності відносних інтенсивностей першої (1), другої (2) та третьої (3) гармонік осцилограм, одержаних при частоті коливань п'єзоелемента 13 Гц.

При формуванні фаннінга дифракція лазерного променя визначається просторовим розподілом голограми, що включає сукупність просторових частот. У випадку $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ більшим просторовим частотам відповідають довші часи релаксації ФР ґратки [1, 2]; крім того, при модуляції фази променя відбувається взаємодія нової голограми з записаною в попередній момент часу [3]. Реєстровані фотоприймачем періодичні зміни інтенсивності фаннінга в просторовій

області його максимуму пов'язані не тільки з варіацією його інтегральної інтенсивності, а й динамікою просторового перерозподілу розсіяння. Імовірно що саме це визначає синхронний щодо модуляції фази характер коливань інтенсивності фаннінга. Крім того, відомо, що у кристалах $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ механізм ФР ефекту обумовлений впливом щонайменше двох типів носіїв заряду, що приводить до появи "компенсуючих" ґраток [1, 2]. Можна припустити що саме цим обумовлений мінімум та додатковий низькочастотний максимум на частотній залежності (крива 1 на рис. 3). Подальші дослідження даної схеми дозволять як покращити можливості її використання для дистанційного зондування механічних коливань, так і отримати додаткову інформацію про механізми формування ФР ґраток в $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$.

Висновки

З використанням високих ФР параметрів легованих стибієм кристалів $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ реалізовано схему однопроменевого динамічного інтерферометра на основі ефекту динамічного голографічного розсіяння (фаннінга) лазерного випромінювання. Проаналізовано зміну спектру коливань інтенсивності в широкому діапазоні частот (від 1 до 100 Гц). Показано, що дана схема дозволяє ресструвати коливання фази лазерного променя в широкому діапазоні частот, що визначає її потенційну застосовність для вирішення технічних задач.

Робота виконана при підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень, проект № 23914.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kedyk I.V., Matthey P., Gadret G., Bidault O., Grabar A. A., Fedyo K.V., Stoika I. M., Prits I.P., Vysochanskii Yu. M. Investigation of the dielectric, optical and photorefractive properties of Sb-doped $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ crystals // *Physics B: Lasers and Optics*. - 2008. - V. 92, №4. - P. 549-554.
2. Цигика М. В., Стойка І. М., Грабар О. О. Динамічний інтерферометр на основі фоторефрактивного ефекту в кристалі $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ // *Науковий вісник Ужгородського університету. Сер.: Фізика*. - 2014. - №. 35. - С. 74-78.
3. Кедик І.В., Грабар О.О., Гурзан М.І., Височанський Ю.М. Фотоіндуковане розсіювання світла у модифікованих кристалах $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ // *Вісник Львівського університету. Серія фізична*. - 2003. - Вип.36. - С.175-181.
4. Кедик І. В., Грабар О. О., Гурзан М. І., Сливка В. Ю. Однопроменевий фоторефрактивний фільтр новин на основі кристалу $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ // *Науковий вісник Ужгородського університету, Сер.: Фізика*. - 1999.- №4.- С.94-98.
5. Grabar A., Matthey P., Gadret G. Manipulation of fast light using photorefractive beam fanning // *J. Opt. Soc. Am. B*.- 2014. - V.31, №5. - P.980-986.

М.В.Цигика, А.А.Грабар

Ужгородський національний університет, ул. Волошина, 54, 88000, Ужгород
e-mail: al_grabar@hotmail.com

ДИНАМИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР НА ОСНОВЕ ФОТОИНДУЦИРОВАННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА В КРИСТАЛЛЕ $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$

На основе высоких фоторефрактивных параметров легированных монокристаллов $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ реализован однолучевой динамический интерферометр, позволяющий

регистрировать параметры фазовой модуляции лазерного луча, отраженного от вибрирующей поверхности. Схема интерферометра основана на эффекте динамического рассеяния когерентного света в фоторефрактивном кристалле. Получены амплитудные и частотные характеристики интерферометра.

Ключевые слова: динамический интерферометр, фоторефрактивный эффект, фотоиндуцированное динамическое рассеяние света, фаннинг, тииогиподифосфат олова.

M. V. Tsygyka, A. A. Grabar

Uzhhorod National University, Voloshin st. 54, 88000, Uzhhorod

e-mail: alexander.grabar@uzhnu.edu.ua

DYNAMIC INTERFEROMETER ON THE BASE OF PHOTOINDUCED LIGHT SCATTERING IN $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ CRYSTAL

Introduction: Single-beam dynamic interferometer based on the Sb-doped $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ allows registration of the phase modulation of the laser beam reflected by a vibrating surface basing on the effect of the dynamic scattering of coherent light in a PR crystal.

Purpose: The article is devoted to consideration of usage $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ crystal as an active element of single-beam interferometer.

Results: The shape and amplitude of the output signal depends on the frequency and the amplitude of phase modulation. Registered periodic changes of fanning intensity in the spatial region of its maximum are associated not only with its integral intensity variation but also with dynamic of spatial redistribution of scattering that probably defines synchronous to phase modulation character of the intensity fluctuations of fanning.

Conclusion: This scheme allows recording of phase-fluctuations of the laser beam in a wide frequency range that determines its potential applicability.

Keywords: dynamic interferometer, photorefractive effect, photoinduced dynamic light scattering, fanning, tin thiohypodiphosphate.

REFERENCES

1. Kedyk, I.V., Matthey, P., Gadret, G., Bidault, O., Grabar, A.A., Fedyo, K.V., Stoika, I.M., Prits, I.P., Vysochanskii, Yu. M. (2008), "Investigation of the dielectric, optical and photorefractive properties of Sb-doped $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ crystals", *Physics B: Lasers and Optics*, Vol. 92, No.4, pp. 549-554.
2. Tsyhyka, M.V., Stoika, I.M., Grabar A.A. (2014), "Dynamic interferometer based on photorefractive effect in the crystal $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ " ["Dynamichnyj interferometr na osnovi photorefraktyvnoho efektu v krystalu $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ "], *Visnyk Uzhhorod Univ. Ser. Phys.*, No. 35, pp. 74-78.
3. Kedyk, I.V., Grabar, A.A., Gurzan, M.I., Vysochanskii, Yu.M. (2003), "Photoinduced scattering of light in modified crystals $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ " ["Photoindukovane rozsijuvannja svitla u modyfikovanuh krystalah $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ "], *Visnyk Lviv Univ. Ser. Phys.*, No.36, pp. 175-181.
4. Kedyk, I.V., Grabar, A.A., Gurzan, M.I., Slyvka V.Ju. (1999), "One-beam photorefractive novelty filter based on $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ " ["Odnopromenevyj filtr novyn na osnovi krystalu $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ "], *Visnyk Uzhhorod Univ. Ser. Phys.*, No. 4, pp. 94-98.
5. Grabar, A., Matthey, P., Gadret, G. (2014), "Manipulation of fast light using photorefractive beam fanning", *J. Opt. Soc. Am. B.*, Vol. 31, No. 5, pp. 980-986.

Стаття надійшла до редакції 08.11.16