

УДК 621.315

В.М. Фітьо, Я.В. Бобицький

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра лазерної техніки та оптоелектронних систем**БАГАТОШАРОВІ ГОЛОГРАМИ ТА ЇХ МОЖЛИВЕ
ЗАСТОСУВАННЯ**

© Фітьо В.М., Бобицький Я.В., 2001

Розглянуто властивості багат шарових голограм. Показано, що двошарові голограми можна використати в електронних системах стабілізації частоти напівпровідникового лазера, а також як високочутливий давач кута обертання.

The properties of multi-layered holograms have been discussed. Has been showed that double-layered holograms can be used in electronic schemes of semiconductor laser frequency stabilization and also as a high-sensitive giver of a rotation angle.

Одношарові об'ємні (товсті) голограми достатньо добре вивчені теоретично і експериментально [1,2,3]. На їх основі розроблено різноманітні оптичні елементи [3,4,5], зокрема виготовлені макетні зразки голографічного запам'ятовуючого пристрою [6]. Багат шарові голограми проаналізовано в роботі [7] на основі методу зв'язаних хвиль [8,9]. Вже перші теоретичні дослідження виявили їх цікаві особливості, що обумовлюють ефективне прикладне застосування таких голограм. Тому аналіз багат шарових, особливо двошарових голограм має важливе значення з точки зору практичного застосування.

Система рівнянь, що описує поширення плоскої монохроматичної хвилі через багат шарову голограму, яка наведена на рис. 1, має вигляд [7]:

$$\frac{dC_0}{dz} = j \frac{\Delta}{2} C_0 - j\chi C_1, \quad (1)$$

$$\frac{dC_1}{dz} = -j\chi C_0 - j \frac{\Delta}{2} C_1,$$

де $C_0(z)$ – амплітуда недифрагованої хвилі, що поширюється під кутом θ_0 ; $C_1(z)$ – амплітуда дифрагованої хвилі в перший порядок під кутом θ_1 ; $\chi = \frac{a}{2k\sqrt{\cos(\theta_0)\cos(\theta_1)}}$ – коефіцієнт зв'язку між хвилями; $\Delta = \frac{2\pi n_0}{\lambda} [\cos(\theta_1) - \cos(\theta_0)]$; $a = k^2 \frac{n_1}{n_0}$; $n_0 = \sqrt{\varepsilon_a}$; $n_1 = \frac{\varepsilon_1}{2n_0}$;

$k^2 = k_i^2 = \left(\frac{2\pi n_0}{\lambda}\right)^2$; ε_a – постійна складова діелектричної сталої ґратки; ε_1 – амплітуда змінної складової діелектричної сталої.

Дифракційну ефективність багат шарової голограми (m – кількість шарів) на основі рівнянь (1) можна виразити так [7]:

$$\eta = \frac{\chi^2}{\gamma^2} \sin^2(\gamma T) \frac{\sin^2(m\beta)}{\sin^2(\beta)}, \quad (2)$$

$$\text{де } \gamma = \sqrt{\left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 + \chi^2}, \quad \cos(\beta) = \cos(\gamma T) \cos\left(\frac{\Delta d}{2}\right) - \frac{\Delta}{2\gamma} \sin(\gamma T) \sin\left(\frac{\Delta d}{2}\right).$$

В частковому випадку для двошарової голограми дифракційна ефективність дорівнює:

$$\eta = 4 \frac{\chi^2}{\gamma^2} \sin^2(\gamma T) \cos^2(\beta). \quad (3)$$

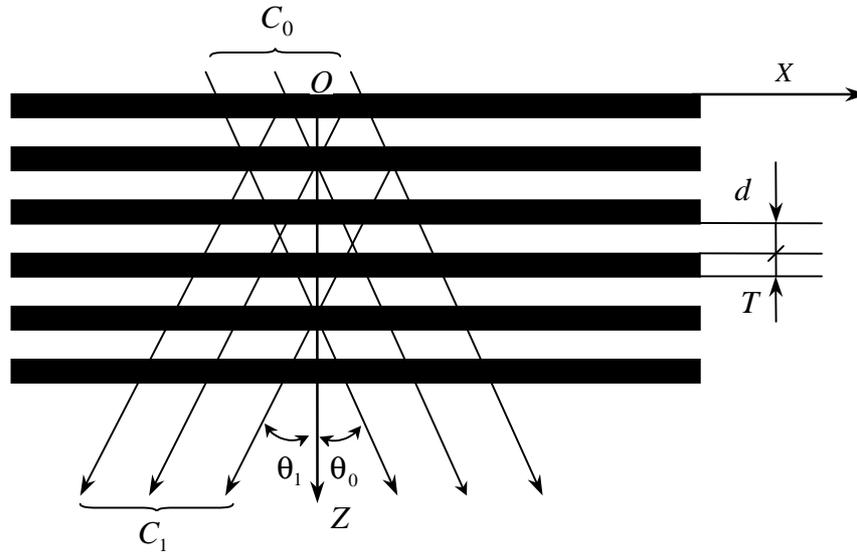


Рис. 1. Схематичне зображення багатошарової голограми.

Чорна широка лінія – субголограма товщиною T , віддаль між субголограмами – d

Аналіз формули (3) показує, що залежно від дифракційної ефективності від кута падіння θ_0 чи від довжини хвилі λ спадного пучка спостерігаються осциляції, період яких за кутом падіння і за довжиною хвилі відповідно дорівнює:

$$\delta(\Delta\theta_\theta) \cong \frac{\lambda_0}{2dn_0 \sin(\varphi)}, \quad \delta(\Delta\lambda) \cong \frac{\lambda_0^2}{2dn_0 \tan(\varphi) \sin(\varphi)} \quad (4)$$

де φ і λ_0 – кут падіння і довжина хвилі, за яких виконуються умови Брега [8].

Визначимо періоди осциляцій за довжиною хвилі $\delta(\Delta\lambda)$ і за кутом $\delta(\Delta\theta_0)$ для таких умов: $\lambda_0 = 0,633$ мкм, $d = 10000$ мкм, $n_0 = 1,52$, $\varphi = \pi/4$. Послідовно підставимо ці дані в формули (4), отримаємо: $\delta(\Delta\lambda) = 0,019$ нм, $\delta(\Delta\theta_0) = 2,94 \cdot 10^{-5}$ рад = $0.1''$. Отже двошарову голограму завдяки її високій чутливості до зміни кута падіння пучка на голограму можна використати як високочутливий давач кута обертання. Схема такого пристрою зображена на рис. 2.

При обертанні голограми періодично змінюється дифракційна ефективність від мінімального до максимального значення. Порахувавши кількість періодів змін ефективності, можна розрахувати сумарний кут обертання. Однак при таких вимірюваннях ми повинні бути впевненими, що голограма в процесі свого руху не змінює напрямку обертання. Ускладнивши алгоритм обробки результатів вимірювання, можна визначати напрям обертання врахуванням характеру огинаючої осциляцій дифракційної ефективності від кута обертання [7].

В електронних схемах стабілізації частоти напівпровідникових лазерів [10] двошарова голограма може замінити дорогий інтерферометр Фабрі-Перо. Схема стабілізації частоти лазера наведена на рис. 3.

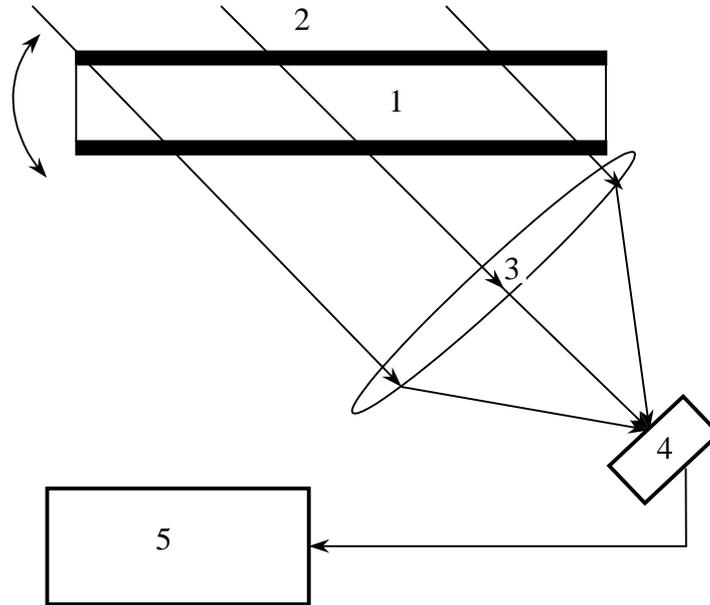


Рис. 2. Схема пристрою вимірювання малих кутів обертання:
1 – двошарова голограма; 2 – колімований пучок лазера; 3 – збирна лінза;
4 – фотоприймач; 5 – пристрій обробки вимірів і відображення інформації

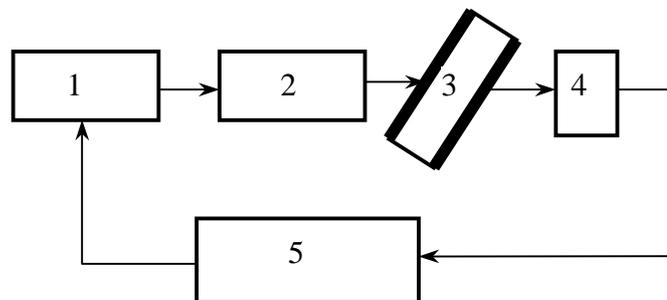


Рис. 3. Електронна схема стабілізації частоти напівпровідникового лазера за допомогою двошарової голограми: 1 – напівпровідниковий лазер; 2 – коліматор лазерного пучка; 3 – двошарова голограма; 4 – високочастотний фотоприймач; 5 – електронна схема стабілізації частоти лазера

У цій електронній системі стабілізації автоматично підбирається така напруга живлення напівпровідникового лазера та довжина хвилі генерації, щоби дифракційна ефективність двошарової голограми мала мінімальне або максимальне значення.

Високу чутливість дифракційної ефективності двошарової голограми до кута обертання можна використати для вимірювання малих деформацій згину. На рис. 4 наведений приклад такої установки. На двох опорах лежить довга балка, до середини якої прикладена

сила F . На одному кінці балки жорстко прикріплений лазер з коліратором, а на іншому кінці – двошарова голограма із системою реєстрації дифракційної ефективності.

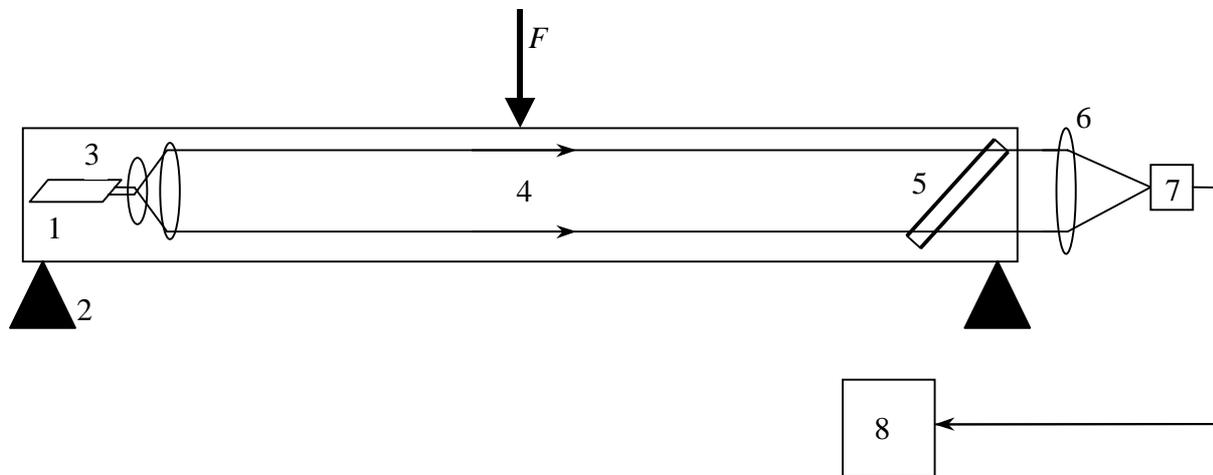


Рис. 4. Схема вимірювання деформації згину за допомогою двошарової голограми: 1 – досліджувана балка; 2 – опори; 3 – лазер з коліратором; 4 – колімований лазерний пучок; 5 – двошарова голограма; 6 – збірна лінза; 7 – фотоприймач; 8 – пристрій обробки вимірів і відображення інформації

У цій системі під впливом навантаження балка прогинається, що приводить до невеликого відносного обертання двошарової голограми відносно колімованого лазерного пучка. Знаючи кут обертання та довжину балки за відомими співвідношеннями можна розрахувати стрілу прогину. Слід зауважити, що при цьому методі вимірювання згину забезпечується висока чутливість і точність, оскільки вимірюється деформація одного кінця балки відносно іншого, а не відносно якоїсь певної точки, яка вважається нерухомою, що важко забезпечити при високих механічних навантаженнях.

Отже, завдяки унікальним властивостям двошарові голограми можуть мати практичне застосування в різних галузях техніки.

1. Гейлорд Т.К., Мохарам М.Г. Анализ и применение оптической дифракции на решетках // ТИИЭР, 1985. V. 73. № 5, P. 53. 2. Kogelnic H. Coupled wave theory for thick hologram gratings // Bell Syst. Tech. J., 1969. V. 48. P. 2909. 3. Solymar L., Cooke D. J., Volume Holography and Volume Gratings, Academic Press Ink. (London) LTD, 1981. 466 p. 4. Kogelnic H., Shank C.V., Sosnovski T.P. Hologram wavelength selector for dye lasers // Appl. Phys. Lett., 1970. V. 16. № 10. P. 499. 5. Одулов С.Г., Соскин М.С., Хиженяк А.И. Лазеры на динамических решетках. Оптические генераторы на четырёхволновом смешении. М., 1990. 6. IBM Holographic Optical Storage Team // Laser Focus World, November 1996. P. 81. 7. Фітьо В.М. Багатошарові об'ємні голограми та їх властивості // Вісн. НУ "Львівська політехніка", 2000. № 401. С.42. 8. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах: Пер. с англ. М., 1987. 616 с. 9. Fitio V. M., New approach to the diffraction theory of volume holograms with spatial change of refractive index // Proc. SPIE, 2000. V. 4148. P. 34. 10. Kozlovsky W.J., View M., Lenth W. Laser system and method // Pat. USA N 5077748, H01S 3/10, 1991.