

УДК 535.8:666.189.2

В.І. Солдатов, Л.В. Бартків

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра лазерної техніки та оптоелектронних систем**ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ ДАВАЧ МЕХАНІЧНИХ ЗМІЩЕНЬ НА
БРЕГГІВСЬКИХ ГРАТКАХ**

V.I. Soldatov, L.V. Bartkiv

Lviv Polytechnic National University,
Laser Technique and Optoelectronic Systems Chair**FIBER-OPTIC SENSOR OF MECHANICAL DISPLACEMENTS ON
BRAGG GRATINGS**

© Солдатов В.І., Бартків Л.В., 2001

Досліджено кутову та спектральну селективність давача механічних зміщень на бреггівських ґратках. Ґратки завтовшки 950 мкм записувались на пластинках As_2S_3 методом експонування інтерференційною картиною випромінювання He-Ne-лазера потужністю 50 мВт. Кутова та спектральна селективність давача становили 0,3 градуса та 6 нм, відповідно. При цьому розрахункова чутливість до механічних зміщень при 1% модуляції становила 2 нм.

The angular and spectral selectivity of the sensor of mechanical displacements on Bragg gratings was investigated. The gratings of 950 μm thickness were recording in the As_2S_3 plates by a fringe pattern exposure method of radiation of He-Ne laser with output 50 mW. Angular and spectral selectivity of the sensor were composing 0.3 degree and 6 nm, consequently. Thus the calculated sensitivity at the 1% modulation was composing 2 nm.

Вступ. Одним з перспективних напрямків на сучасному етапі є розробка високочутливих волоконно-оптичних систем реєстрації малих механічних зміщень. Яскравим прикладом таких систем є волоконно-оптичні давачі (ВОД). Важливим стимулом появи цього типу давачів було створення оптичних волокон, а також бурхливий розвиток оптоелектроніки і волоконно-оптичної техніки зв'язку. Такі ВОД мають деякі переваги, які детально обговорювались в [1, 2].

Найпоширенішими серед таких давачів є ВОД амплітудного типу, в яких під дією зовнішнього впливу модулюється інтенсивність вихідного оптичного випромінювання. До таких давачів відноситься ґратковий ВОД механічних переміщень, який детально описаний в [3]. Основним конструктивним елементом цього пристрою є дві амплітудні дифракційні ґратки, розміщені паралельно одна відносно одної (рис. 1).

Принцип роботи такого давача полягає у тому, що при переміщенні однієї з ґраток вздовж напрямку

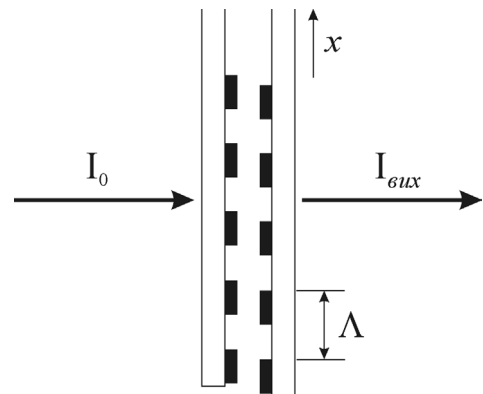


Рис. 1. Схема ВОД механічних зміщень на амплітудних ґратках

x , (рис. 1), інтенсивність світла на виході $I_{вих}$ буде змінюватись. У випадку, коли прозорі проміжки дифракційних ґраток збігаються, інтенсивність світла на виході буде максимальною, а коли прозорі проміжки однієї ґратки збігаються з непрозорими проміжками іншої, інтенсивність $I_{вих}$ буде мінімальною. Таким чином, при зміщенні рухомої ґратки на $\Lambda/2$, де Λ – період ґраток, інтенсивність світла $I_{вих}$ змінюється від максимального значення до мінімального. Ця конструкція може використовуватись для реєстрації малих механічних зміщень, причому чутливість її буде залежати насамперед від періоду ґраток Λ .

Серед основних переваг давачів на дифракційних ґратках є їх висока чутливість до механічних зміщень, а також періодичність залежності вихідної інтенсивності світла від зміщення відносно x (рис. 1) [2], що, з одного боку, спрощує юстування давача в робочій точці при роботі в аналоговому режимі, а з іншого, дає можливість використовувати його в реєструючих системах, які працюють в цифровому режимі.

Недоліком давача на амплітудних дифракційних ґратках є великі втрати оптичного випромінювання. Крім того, при використанні цієї конструкції в багатовиснових системах, наприклад, в охоронних сигналізаціях, виникає необхідність у використанні великої кількості волоконно-оптичних ліній зв'язку, адже до кожного давача потрібно підвести два оптичних волокна – вхідне та вихідне. А це призведе до громіздкості, а також до зростання собівартості такої схеми в цілому.

У цій роботі запропонована та досліджена можливість використання у вищезгаданих давачах механічних зміщень бреггівських дифракційних ґраток.

Як відомо, ґратки Брегга мають низку цікавих особливостей – наявність одного дифракційного максимуму, залежність дифракційної ефективності від довжини хвилі та кута падіння оптичного випромінювання, так званої спектральної та кутової селективностей [4]. Ці властивості можуть бути використані, зокрема, у волоконно-оптичних системах із спектральним ущільненням каналів. Так, наприклад, послідовно розміщуючи у волоконно-оптичній лінії зв'язку (ВОЛЗ) на одному волокні бреггівські ґратки, кожна з яких налаштована на певну довжину хвилі λ , можна створити багатоканальну, тобто у цьому випадку мультиплексовану систему обробки інформації.

Таким чином, запропоноване нами використання бреггівських ґраток у давачах механічних зміщень є перспективним з погляду створення мультиплексованих волоконно-оптичних сенсорних систем.

Будова та принцип роботи давача на бреггівських ґратках. Розглянемо принцип роботи ВОД на бреггівських ґратках (рис. 2).

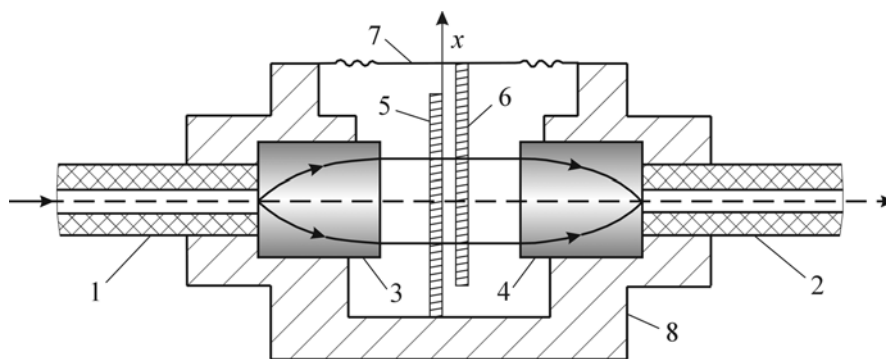


Рис. 2. Волоконно-оптичний давач на бреггівських дифракційних ґратках:
1 – вхідне волокно; 2 – вихідне волокно; 3, 4 – селфоки; 5 – нерухома дифракційна ґратка;
6 – рухома дифракційна ґратка; 7 – мембрана; 8 – корпус

Будова такого давача аналогічна до будови ВОД на амплітудних ґратках [2], за винятком того, що замість амплітудних тонких ґраток використовуються об'ємні фазові ґратки. Оптичне випромінювання поступає до системи двох дифракційних ґраток через вхідне волокно і колімується за допомогою селфока. Дифракційні ґратки розміщені одна відносно одної паралельно на мінімально допустимій віддалі. Одна з ґраток є нерухомою і з'єднана з корпусом давача, а інша рухома і прикріплена до чутливої мембрани. Під впливом зовнішніх акустичних хвиль мембрана коливається і відповідно ґратка, яка прикріплена до неї, також здійснює коливний рух. На виході системи бреггівських ґраток інтенсивність світла залежить від взаємного їх розміщення, однак механізм модуляції світла тут дещо відмінний від такого, що має місце в сенсорах з амплітудними ґратками. Розглянемо детальніше це явище.

Якщо на бреггівську ґратку під певним кутом спрямувати паралельний пучок світла в деякому спектральному діапазоні $\Delta\lambda$, то на виході ґратки ми отримуємо два дифракційні максимуми: 0-го та 1-го порядків, причому дифрагувати буде тільки та частина світла, довжина хвилі якої задовольняє умову Бреґґа. При цьому спектральна ширина дифрагованого пучка тим вужча, чим більшою є товщина ґратки [4].

Розглянемо систему двох ідентичних паралельно розміщених бреггівських ґраток, через які проходить пучок світла з інтенсивністю I_0 (рис. 3).

Припустимо, що дифракційна ефективність кожної ґратки дорівнює 50 %. У такому випадку інтенсивність випромінювання після першої дифракційної ґратки ДГ₁ буде порівно розподілена між нульовим і першим порядками дифракції. Зауважимо, що ми приймаємо до уваги тільки ту частину спектрального діапазону, який задовольняє умову Бреґґа, усе решта випромінювання проходить через таку систему без будь-якого її впливу. Таким чином, на другу дифракційну ґратку ДГ₂ вже падає два пучки світла, для кожного з яких також справедлива умова Бреґґа. В кінцевому результаті на виході системи двох ґраток отримуються чотири пучки випромінювання. Пучок інтенсивністю I_{np} інтерферує з пучком інтенсивністю I_{00} , а пучок I_{01} – з I_{02} . Очевидно, що при переміщенні дифракційної ґратки ДГ₂ відносно ДГ₁ відбувається зсування фаз між пучками I_{np} і I_{00} та I_{01} і I_{02} , відповідно. Таким чином, інтерференційна картина на виході ґраток буде змінюватись, причому, коли для пучків I_{np} та I_{00} спостерігається інтерференційний максимум, то для пучків I_{01} та I_{02} спостерігатиметься інтерференційний мінімум, і навпаки. Якщо ефективність ґраток дорівнює 50 %, то усі пучки на виході мають однакову інтенсивність, і тому можна отримати інтерференційну картину з максимальним контрастом.

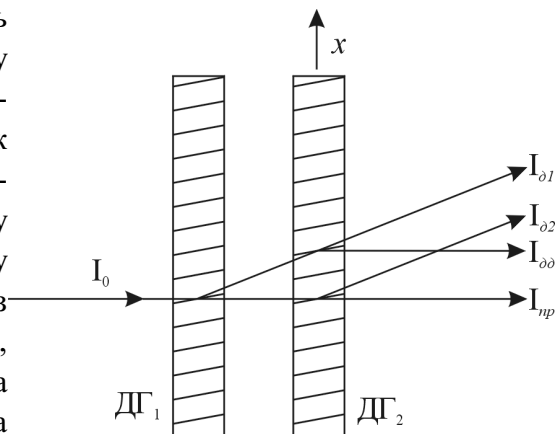


Рис. 3. Схема роботи волоконно-оптичного давача на бреггівських ґратках

Результати експериментальних досліджень. У цій роботі проводились експериментальні дослідження кутової та розрахунок спектральної селективності волоконно-оптичного давача на бреггівських ґратках, а також проведена оцінка чутливості такого давача до механічних зміщень.

Для запису бреггівських ґраток як реєструючого середовища використовувалась плас-тинка As_2S_3 завтовшки 0,95 мм. Відомо, що при експонуванні цього матеріалу лазерним

випромінюванням відбуваються структурні зміни, які, своєю чергою, призводять до зміни оптичних властивостей, зокрема показника заломлення [5]. Запис дифракційних ґраток проводився методом експонування інтерференційною картиною з використанням двопроременевої голографічної схеми. Кут між інтерферуючими пучками становив 55° . Як джерело випромінювання використовувався He-Ne-лазер (ЛГН-215) потужністю 50 мВт. Час експозиції становив 2 хв, при цьому площа поперечного перерізу пучка дорівнювала приблизно $0,2 \text{ см}^2$. В результаті експонування по вищенаведеній методиці пластини As_2S_3 відбувався запис фазової дифракційної ґратки. Дифракційна ефективність отриманої ґратки становила $\eta = I_d/I_0 \approx 0,2$, де I_0, I_d – інтенсивності падаючого та дифрагованого пучків, відповідно.

Дослідження кутової селективності отриманих бреггівських ґраток проводились з використанням гоніометра та малопотужного He-Ne-лазера. Залежність інтенсивності дифракційного максимуму від кута падіння лазерного променя показана на рис. 4.

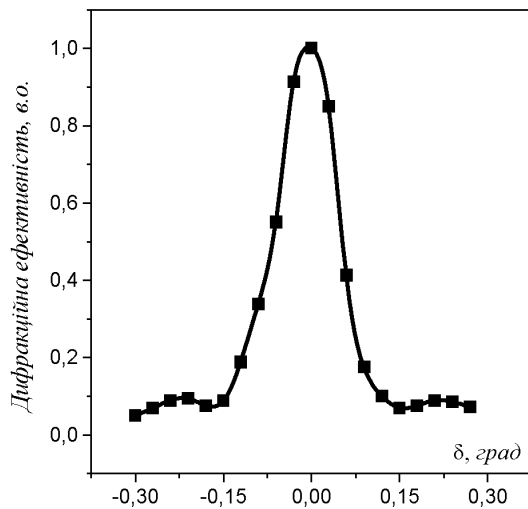


Рис. 4. Графік залежності дифракційної ефективності від відхилення кута Брегга

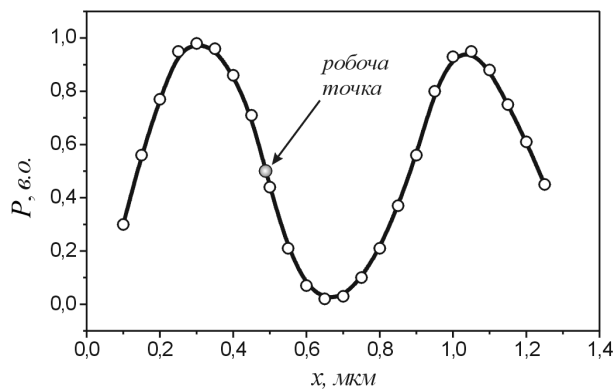


Рис. 5. Залежність пропускання давача від зміщення ґраток

Використовуючи отриману залежність для кутової селективності, розрахована спектральна селективність давача, яка становила $\Delta\lambda \approx 6 \text{ нм}$ [4].

Для оцінки чутливості ВОД до механічних зміщень $\frac{dP}{dx}$, де P – пропускання системи, x – механічне зміщення, проведено вимірювання залежності інтенсивності лазерного випромінювання на виході двох ґраток в області інтерференції нульових максимумів I_{00} та I_{np} (рис. 3) від зміщення однієї з ґраток. При цьому використовувалась попередньо проградуйована за допомогою інтерферометра Фабрі–Перо п'єзокерамічна пластинка. Графік залежності пропускання P системи двох бреггівських ґраток (рис. 3) від зміщення x зображений на рис. 5.

Чутливість ВОД $\frac{dP}{dx}$ у робочій точці становить 2 нм при 1% модуляції інтенсивності.

Висновки. У цій роботі показана можливість використання у давачах механічних зміщень бреггівських дифракційних ґраток. Досліджено основні параметри ВОД. Спектральна селективність та чутливість до механічних зміщень при 1% модуляції інтенсивності у робочій точці становили 6 та 2 нм, відповідно.

Таким чином, отримані результати свідчать про те, що давач на бреггівських дифракційних ґратках має високу чутливість до механічних зміщень, а наявність спектральної селективності ставить його в ряд пристроїв, перспективних для використання в мультиплексованих волоконно-оптичних системах. Крім того, перевагою такого типу давачів є використання фазових дифракційних ґраток, що дає можливість мінімізувати оптичні втрати на пристрої в цілому.

1. Окоси Т. и др. *Волоконно-оптические датчики*. // Пер. с япон. – Ленинград, 1991.
2. Бутусов М.М. *Волоконная оптика и приборостроение*. – Ленинград, 1987.
3. Tiejen B.W. *Optical Fiber Grating Sensor* // *J. Acoust. Soc. Am.*, 1981. – 69. – PP.993–997.
4. Кольер Р. и др. *Оптическая голография*. – М., 1973.
5. J.P. De Neufville, S.C. Moss. *Photostructural transformations in amorphous As₂Se₃ and As₂S₃ films* // *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1974. – 13. – P.191–223.