



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **20070** (13) **U**
(51) **МПК (2006)**
G02B 6/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ИНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ВИХОРІВ ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА

1

2

(21) u200606865

(22) 19.06.2006

(24) 15.01.2007

(46) 15.01.2007, Бюл. №1, 2007р.

(72) Воляр Олександр Володимирович, Фадеева Тетяна Андріївна, Алексєєв Олексій Миколайович, Алексєєв Костянтин Миколайович, Рибась Олександр Федорович

(73) ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В.І. ВЕРНАДСЬКОГО

(57) Спосіб визначення вагових коефіцієнтів вихорів оптичного волокна, що включає напрямки випромінювання через поляризатор і мікрооб'єктив на вхідний торець оптичного волокна, напрямки вихідного випромінювання через мікрооб'єктив, другий поляризатор на реєструвальний пристрій, який **відрізняється** тим, що випромінювання, що минує другий поляризатор, попередньо направляють на послідовно розташовані фотодіод і мікроамперметр, вимірюють залежність величини фотоструму від кута пропускання поляризатора, визначають ступінь поляризації випромінювання волокна за формулою $P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$, де I_{\max} - максимальне значення показань мікроампермет-

ра, I_{\min} - мінімальне значення показань мікроамперметра, а вагові коефіцієнти визначають по картині реєстрації вихідного випромінювання по формулах:

$$a_1 = (\sin^2 \psi + Q^2 \cos^2 \psi)^{1/2},$$

$$a_2 = (Q^2 \sin^2 \psi + \cos^2 \psi)^{1/2},$$

$$a_0 = \frac{R_0 a_2 \sin(\beta_2 - \beta_1) z}{\sin((\beta_0 - \beta_1) z)} \sin \psi_0,$$

де a_1 - ваговий коефіцієнт парної LP_{11} моди, Q - еліптичність,

ψ - азимутальний кут повороту великої півосі еліпса,

a_2 - ваговий коефіцієнт непарної LP_{11} моди,

a_0 - ваговий коефіцієнт LP_{01} моди,

ψ_0 - кут повороту нуля інтенсивності відносно лабораторної системи координат,

$R_0 = r_0 / \rho$ - нормований радіус нуля інтенсивності,

$\beta_1, \beta_2, \beta_0$ - постійні поширення парних LP_{11} , непарної LP_{11} й LP_{01} мод,

z - довжина волокна.

Корисна модель ставиться до оптичної спектроскопії, зокрема, до волоконної оптики.

Як прототип обраний Спосіб визначення вагових коефіцієнтів вихорів етичного волокна [п. 68651 від 16.08.2004, Бюл №8], по якому аналізоване випромінювання ізотропного оптичного волокна із круглим поперечним перерізом волокна направляють на поляризаційний фільтр, що складається з $\lambda/4$ пластинки 7 і аналізатора 8, після чого фіксують комп'ютером 10 за допомогою CCD камери 9. На отриманих зображеннях будуються лінії рівня рівної інтенсивності й по параметрах даних ліній визначаються вагові коефіцієнти CV і IV вихорів, а також циркулярно поляризованої HE_{11} моди.

Даний спосіб не дозволяє знаходити вагові коефіцієнти LP мод волокон із сильною анізотропією (з різницею показників переломлення уздовж осей

анізотропії $\Delta n \sim 10^{-3} \div 10^{-4}$). Анізотропія волокна може бути наведена еліптичною оболонкою або металевими стрижнями, розташованими в захисній оболонці (волокна типу "Panda").

В основу корисної моделі поставлене завдання вдосконалити спосіб визначення вагових коефіцієнтів вихорів оптичного волокна шляхом розширення функціональних можливостей способу.

Поставлене завдання вирішується тим, що в способі визначення вагових коефіцієнтів вихорів оптичного волокна, що включає напрямки випромінювання через поляризатор і мікрооб'єктив на вхідний торець оптичного волокна, напрямки вихідного випромінювання через мікрооб'єктив, другий поляризатор на пристрій, що реєструє, відповідно до корисної моделі, випромінювання минуле другий і поляризатор, попередньо направляють на по-

U
(13)

(11) 20070

(19) UA

слідовно розташовані фото діод і мікроамперметр, вимірюють залежність величини фотоструму від кута пропущення поляризатора, визначають ступінь поляризації випромінювання волокна по формулі

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}},$$

де I_{\max} - максимальне значення показань мікроамперметра, I_{\min} - мінімальне значення показань мікроамперметра.

А вагові коефіцієнти визначають по картині реєстрації вихідного випромінювання по формулах

$$a_1 = (\sin^2 \Psi + Q^2 \cos^2 \Psi)^{1/2},$$

де a_1 ваговий коефіцієнт парної LP_{11} моди,

Q - еліптичність,

Ψ - азимутальний кут повороту великої півові еліпса,

$$a_2 = (Q^2 \sin^2 \Psi + \cos^2 \Psi)^{1/2},$$

де a_2 ваговий коефіцієнт непарної LP_{11} , моди,

$$a_0 = \frac{R_0 a_2 \sin((\beta_2 - \beta_1)z)}{\sin((\beta_0 - \beta_1)z)} \sin \Psi_0,$$

де a_0 ваговий коефіцієнт LP_{01} моди,

$R_0 = r_0/\rho$ - нормований радіус нуля інтенсивності,

$\beta_1, \beta_2, \beta_0$ - постійні поширення парних LP_{11} , непарної LP_{11} й LP_{01} мод,
 z - довжина волокна.

У волокні з волноводним параметром $2,4 \leq V \leq 3,8$, порушуваним лінійно поляризованим світлом уздовж однієї з осей анізотропії волокна, реалізуються три LP_m моди: LP_{11} парної, LP_{11} непарної й LP_{01} моди. Нехай ваги цих мод будуть a_1, a_2, a_0 , відповідно, а їхні постійні поширення: $\beta_1, \beta_2, \beta_0$.

На вихідному торці волокна довжини z розподіл інтенсивності буде мати вигляд, схематично представлений на Фіг.1. У картині буде присутній нуль поля, оточений лініями рівної інтенсивності еліптичної форми.

На [Фіг.1] наведені параметри еліпса рівної інтенсивності поблизу нуля. X, Y - лабораторна система координат (СК), \bar{X}, \bar{Y} - СК, перенесена в центр еліпса, X', Y' - власна СК еліпса, X_0, Y_0 - координати нуля інтенсивності.

Спосіб реалізується таким чином. Збирається пристрій (Фіг.2), що складається He-Ne лазера, поляризатора P_1 , мікрооб'єктива MO_1 , оптичного волокна із сильною анізотропією F закріпленого й термостатизованого для зменшення зовнішніх впливів на волокно, мікрооб'єктива MO_2 , поляризатора P_2 , фотодіода Ph і мікроамперметра Ma .

Для досліджень модового складу необхідно визначити осі анізотропії волокна. При обертанні поляризатора P_2 визначають ступінь поляризації випромінювання волокна по формулі

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

залежно від кута повороту α поляризатора P_1 . Якщо вісь цього поляризатора збігається з віссю анізотропії волокна, то випромінювання, що вийшло,

повинне бути лінійно поляризовано, а його ступінь поляризації повинна прагнути до 1.

Для виміру вагових коефіцієнтів вихрів оптичного волокна збирають пристрій (Фіг.3) Ls - лазер, P_1, P_2 - поляризатори, MO_1, MO_2 - мікрооб'єктиви, F - оптичне волокно, CCD - CCD камеру, PC - комп'ютер.

Випромінювання He-Ne лазера, проходить поляризатор P_1 , установлений уздовж однієї з осей анізотропії волокна, після чого за допомогою мікрооб'єктива MO_1 проектується на вхідний торець маломодового оптичного волокна F із сильною анізотропією, розташоване у фокальній площині мікрооб'єктива. Вихідне випромінювання після волокна проектується мікрооб'єктивом MO_2 на матрицю CCD камери. Розташований між ними поляризатор P_2 установлюється на максимум інтенсивності випромінювання й відтинає слабку частину енергії, що перекачалася в ортогонально поляризовані моди. CCD камера з'єднується з комп'ютером. Отримані зображення розподілу інтенсивності на вихідному торці волокна оброблялися таким чином. Для даного зображення знаходиться максимум інтенсивності. Далі по координатах крапок, у яких інтенсивність зменшується в e раз, знаходять координати центра пучка x_c, y_c й радіуса волокна ρ в пікселях. Після цього в області поблизу нуля інтенсивності знаходять координати крапок рівної інтенсивності I_0 . По них методом найменших квадратів знаходять параметри еліпса: еліптичність Q , азимутальний кут повороту великої півові еліпса Ψ відповідно до формул

$$\Psi = \frac{1}{2} \arctg\left(\frac{B}{A}\right), \quad (1)$$

$$Q = \frac{h}{a} = \sqrt{\frac{C - \sqrt{A^2 + B^2}}{C + \sqrt{A^2 + B^2}}}, \quad (2)$$

де $A = \frac{\det_1}{\det}$, $B = \frac{\det_2}{\det}$, $C = \frac{\det_3}{\det}$, а значення визначників $\det, \det_1, \det_2, \det_3$ визначаються координатами крапок лінії рівної інтенсивності:

$$\det = \begin{vmatrix} \sum \cos^2 2\psi_i & \sum \cos 2\psi_i \sin 2\psi_i & \sum \cos 2\psi_i \\ \sum \cos 2\psi_i & \sum \sin^2 2\psi_i & \sum \sin 2\psi_i \\ \sum \cos 2\psi_i & \sum \sin 2\psi_i & N \end{vmatrix}, \quad (3)$$

$$\det_1 = \begin{vmatrix} \sum \frac{\cos 2\psi_i}{r_i^2} & \sum \cos 2\psi_i \sin 2\psi_i & \sum \cos 2\psi_i \\ \sum \frac{\sin 2\psi_i}{r_i^2} & \sum \sin^2 2\psi_i & \sum \sin 2\psi_i \\ \sum \frac{1}{r_i^2} & \sum \sin 2\psi_i & N \end{vmatrix}, \quad (4)$$

$$\det_2 = \begin{vmatrix} \sum \cos^2 2\psi_i & \sum \frac{\cos 2\psi_i}{r_i^2} \sum \cos 2\psi_i \\ \sum \cos 2\psi_i \sin 2\psi_i & \sum \frac{\sin 2\psi_i}{r_i^2} \sum \sin 2\psi_i \\ \sum \cos 2\psi_i & \sum \frac{1}{r_i^2} & N \end{vmatrix}, \quad (5)$$

$$\det_3 = \begin{vmatrix} \sum \cos^2 2\psi_i & \sum \cos 2\psi_i \sin 2\psi_i & \sum \frac{\cos 2\psi_i}{r_i^2} \\ \sum \cos 2\psi_i \sin 2\psi_i & \sum \sin^2 2\psi_i & \sum \frac{\sin 2\psi_i}{r_i^2} \\ \sum \cos 2\psi_i & \sum \sin 2\psi_i & \sum \frac{1}{r_i^2} \end{vmatrix}, \quad (6)$$

де r_i , ψ_i - поточні полярні координати експериментальних крапок щодо центра еліпса, а підсумовування ведеться по i від 1 до N , де N - число експериментальних крапок. Координати центра еліпса знаходять як середнє значення координат всіх крапок рівної інтенсивності

$$x_v = \sum x_i / N, \quad y_v = \sum y_i / N. \quad (7)$$

Довжина зсуву центра еліпса r_0 і кут ψ_0 повороту нуля інтенсивності щодо лабораторної системи координат визначаються як

$$r_0 = \sqrt{(x_v - x_c)^2 + (y_v - y_c)^2}, \quad (8)$$

$$\psi_0 = \arctan \left(\frac{x_v - x_c}{y_v - y_c} \right)$$

При підстановці формул (1)-(2), (8) у формули (2) перебувають вагові коефіцієнти LP мод.

$$a_1 = (\sin^2 \psi + Q^2 \cos^2 \psi)^{1/2},$$

$$a_2 = (Q^2 \sin^2 \psi + \cos^2 \psi)^{1/2},$$

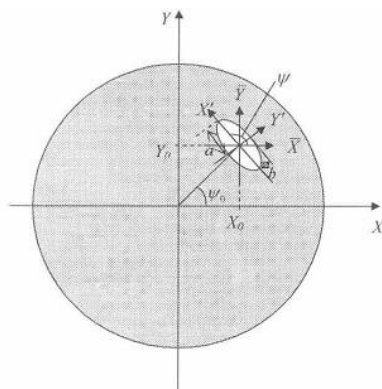
$$a_0 = \frac{R_0 a_2 \sin((\beta_2 - \beta_1)z)}{\sin((\beta_0 - \beta_1)z)} \sin \psi_0, \quad (9)$$

де $R_0 = r_0 / \rho$ - нормований радіус нуля інтенсивності,

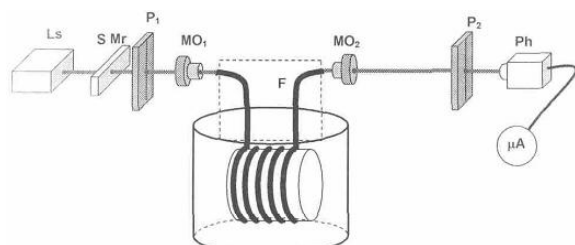
$$\cos((\beta_2 - \beta_1)z) = \frac{\sin(2\psi)(Q^2 - 1)}{\left[(1 + Q^4) \sin^2(2\psi) + 4Q^2(\cos^4 \psi + \sin^4 \psi) \right]^{1/2}}$$

$$\operatorname{ctg}((\beta_0 - \beta_1)z) = \frac{a_1}{a_2} \frac{\operatorname{ctg} \psi_0}{\sin((\beta_2 - \beta_1)z)} + \operatorname{ctg}((\beta_2 - \beta_1)z)$$

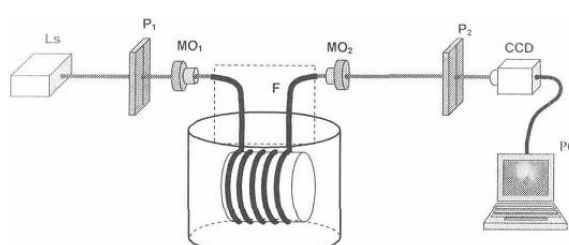
Спосіб забезпечує визначення вагових коефіцієнтів вихрів маломодового волокна із сильною лінійною анізотропією.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3