

Characterizarea Fibrelor Optice: Metoda Câmpului Îndepărtat și Metoda Câmpului Apropiat

^{1,2}Andrieș D.I.

¹Institutul de Fizică Aplicată, str. Academiei 5,
Chișinău, MD-2028, Republica Moldova

²Universitatea Tehnică a Moldovei, Blvd. Ștefan cel
Mare 168, Chișinău, MD-2004, Republica Moldova

^{1,2}Borscirov V.I.

¹Institutul de Fizică Aplicată, str. Academiei 5,
Chișinău, MD-2028, Republica Moldova

²Universitatea Tehnică a Moldovei, Blvd. Ștefan cel
Mare 168, Chișinău, MD-2004, Republica Moldova

Rezumat – sunt prezentate două metode de caracterizarea fibrelor optice – metoda câmpului îndepărtat și metoda câmpului apropiat. Metoda câmpului îndepărtat oferă informația despre distribuția modelor într-o fibră optică, apertură fibrei optice, și permite identificarea condițiilor în care s-a format o distribuție staționară a modurilor. Metoda câmpului apropiat permite determinarea distribuției indicelui de refracție al fibrei optice. Ambele metode sunt utilizate pentru caracterizarea fibrelor optice, în diverse aplicații, inclusiv la elaborarea unor senzori biochimici și medicali cu fibra optică.

Cuvinte cheie: fibra optica, cimpul indepartat, cimpul apropiat, moduri

I. INTRODUCERE

Fibrele optice au capatat o raspundire larga în diferite domenii, atât în domeniul civil cât și în domeniul militar, etc. [1-5]. Fibrele optice posedă o serie de avantaje importante în comparație cu liniile de telecomunicații tradiționale. Avantajele, care le oferă fibrele optice sunt legate de imunitatea la interferența câmpurilor electromagnetice, costul redus, posibilitatea de transmitere a semnalului la distanțe mari, flexibilitate, rezistența la coroziune, etc. [1-3,6-8]. Domeniul fibrelor optice se dezvoltă rapid în continuare, pe măsură ce apar noi tehnologii și materiale. Fibrele optice din sticle de cuarț sunt utilizate în domeniul telecomunicațiilor, al apărării și al aerospațialului, al testării și al măsurării, al automobilelor, al chimicalelor și al altor industrii.

O importanță deosebită o au fibrele optice pentru aplicații în medicină [3,9-11]. În domeniul medicinei fibrele optice sunt folosite, de exemplu, în cabluri optice coerente pentru transmiterea imaginii la investigații a suprafețelor organelor interne a corpului omenesc. Endoscopul cu fibra optică permite în timp real vizualizarea în detalii a țesuturilor organelor interne.

Fibrele optice au capatat o larga raspundire în medicină și pentru realizarea unui șir întreg de senzori, pentru controlul diferitor parametrii biochimici. În contextul cercetării și elaborării unor noi senzori pentru aplicații biomedicinale, caracterizarea fibrelor optice permite obținerea informației necesare referitor la parametrii lor tehnici.

În cele ce urmează vom prezenta două metode, care sunt folosite pentru caracterizarea fibrelor optice – metoda câmpului îndepărtat și metoda câmpului apropiat.

II. CERCETAREA DISTRIBUȚIEI INTENSITĂȚII ÎN CÂMPUL ÎNDEPARTAT

Radiația se propagă într-o fibră optică sub forma de moduri, numărul cărora pentru fiecare fibră optică este o mărime determinată de diametrul fibrei optice, lungimea de undă a luminii de probă, indicele de refracție, etc. Pentru fiecare grupuri de moduri este caracteristică o anumită distribuție spațială. Cercetarea distribuției intensității în câmpul îndepărtat sau câmpul apropiat oferă informații despre parametrii fibrei. Aceasta informație este necesară la elaborarea diferitor structuri și senzori cu fibra optică.

Distribuția intensității în câmpul îndepărtat caracterizează dependența unghiulară a intensității fascicolului de probă, care este injectat în fibra optică, la o distanță suficient de departe de capatul de ieșire al fibrei (Fig. 1). În câmpul îndepărtat, distribuția unghiulară a intensității nu depinde de distanța de fibră. Câmpul îndepărtat este considerat pentru distanța de la capatul de ieșire al fibrei optice Z , care satisface relației [12]:

$$Z \gg Z_0, \text{ unde } Z_0 = (2r)^2 / \lambda,$$

iar r este raza miezului fibrei optice, λ este lungimea de undă a fascicolului de probă. În practică, pentru metoda câmpului îndepărtat măsurările se efectuează la o distanță Z mai mare decât $10Z_0$ de la capatul de ieșire al fibrei. De exemplu, pentru fibre standard cu profilul indicelui de refracție parabolic, diametrul miezului de $50 \mu\text{m}$ și lungimea de undă de $1 \mu\text{m}$, $10Z_0$ este de $2,5 \text{ cm}$. Iar pentru fibra optică standard cu diametrul miezului de $100 \mu\text{m}$, distanța $10Z_0$ este de $\sim 10 \text{ cm}$ [12].

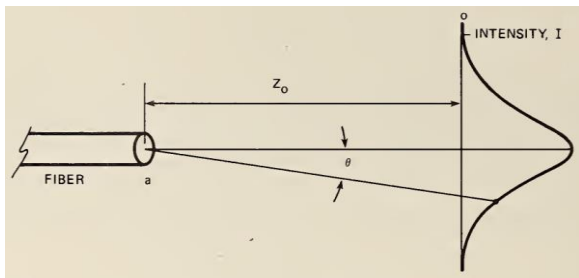


Fig. 1. Ilustrare a noțiunii de câmp îndepărtat pentru o fibră optică [12].

Instalația pentru înregistrarea distribuției câmpului îndepărtat este reprezentată în Fig. 1. Ea este alcătuită din o sursă de lumina (1), un condenser (2), modulatorul (M), diafragma 3, monocromatorul MDR-23 (4), microobiectivul (5), mecanismul de poziționare fina a fibrei optice (6). În capatul de ieșire al fibrei optice este poziționat un fotoreceptor (8) care se deplasează în câmpul îndepărtat al fibrei optice pe circumferință. Fotodioda are poziționat în față o diafragma circulară cu diametrul $100\ \mu\text{m}$. Semnalul de la fotodioda este amplificat de un amplificator selectiv UNIPAN-233, și mai departe este transmis prin intermediul unui modul AD la un calculator pentru vizualizare semnalului pe monitor.

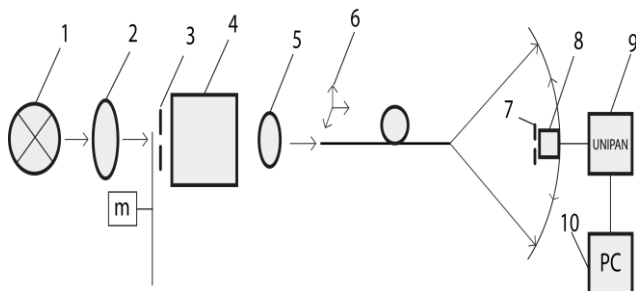


Fig. 2. Schema instalației pentru caracterizarea distribuției intensității în câmpului îndepărtat al fibrei optice.

În Fig. 2 este reprezentată distribuția intensității fascicolului de proba în câmpul îndepărtat în cazul, când în calitate de sursă de excitație este folosită o diodă laser cu lungimea de undă $\lambda = 532\ \text{nm}$. Vom menționa caracterul discontinuu al distribuției intensității, care este determinat de interferența modurilor în câmpul îndepărtat al fibrei optice. Efectul de interferență al modurilor în câmpul îndepărtat este folosit la elaborarea unor senzori cu fibra optică pentru înregistrarea unor mărimi fizice, cum ar fi, temperatura, deformările mecanice, etc. [6-8].

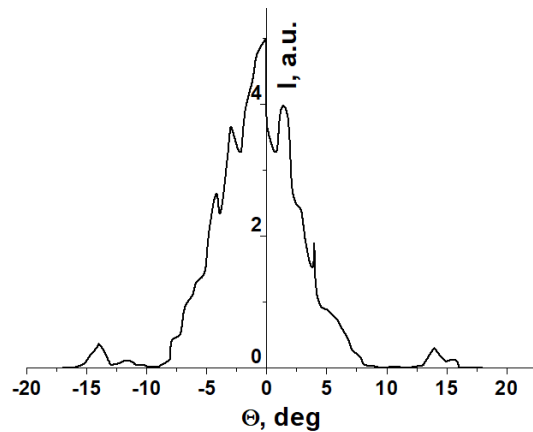


Fig. 3. Distribuția intensității în câmpul îndepărtat pentru o fibră multimod din sticla de cuarț. Profilul indicelui de refracție parabolic. Diametrul fibrei $125\ \mu\text{m}$, diametrul miezului $50\ \mu\text{m}$.

În cazul când sursa de lumina formează un fascicol necoerent distribuția intensității în câmpul îndepărtat este o curbă monotona, continuă. În Fig. 3 este reprezentată distribuția intensității în câmpul îndepărtat pentru o fibră cu profilul indicelui de refracție parabolic, $125/50\ \mu\text{m}$ pentru cazul, când în calitate de sursă de lumina este folosit un LED. În acest caz distribuția intensității în câmpul îndepărtat ne permite să determinăm apertura fibrei optice [12]. Pentru cazul reprezentat în Fig. 3 apertura fibrei optice NA este egală $NA = 0,28$.

III. DISTRIBUȚIEI INTENSITĂȚII ÎN CÂMPUL APROPIAT

O altă metodă de caracterizarea fibrelor optice este și metoda câmpului apropiat. Anterior a fost demonstrat că distribuția intensității în câmpul apropiat este în corelație directă cu distribuția radială a indicelui de refracție în fibră optică [12,13].

În condițiile în care sursa de lumina excita uniform toate modurile de propagare a fibrei optice, această corelație este corectă cu o aproximație destul de bună, și permite o descriere calitativă a distribuției indicelui de refracție în fibra optică. Condiția principală pentru excitarea uniformă a modurilor de propagare în fibra optică este utilizarea unei surse de lumina de tip Lambert pentru injectarea fascicolului de proba în fibra optică [12,13]. Diodele luminescente LED sunt foarte aproape de sursa de tip Lambert.

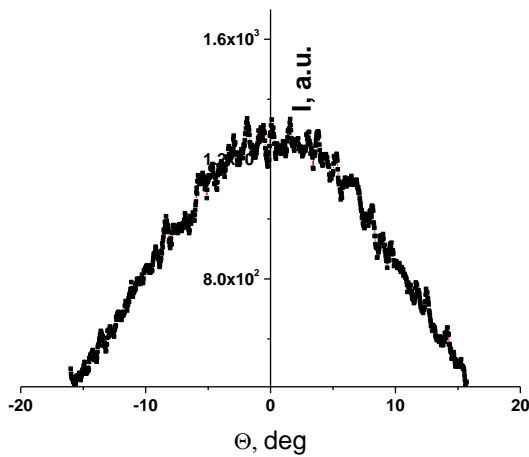


Fig. 4. Distribuția intensității în câmpul îndepărtat pentru o fibră multimod din sticlă de cuarți. Profilul indicelui de refracție este parabolic. Diametrul fibrei 125 μ m, diametrul miezului 50 μ m.

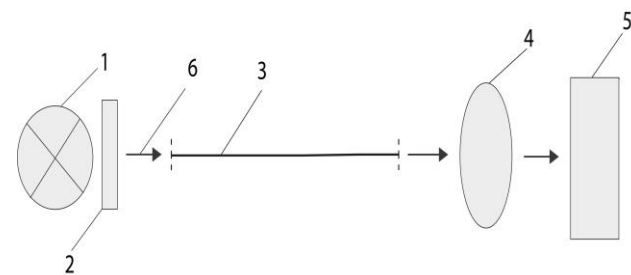


Fig. 5. Reprezentare schematică a instalației pentru caracterizarea profilului indicelui de refracție în fibre optice: 1 – sursa de lumină; 2 – placa de sticlă mată; 3 – fibră optică; 4 – microobiectiv; 5 – receptor CCD; 6 – fascicol de lumină.

Metoda câmpului apropiat este folosită pentru caracterizarea distribuției indicelui de refracție (profilul) al fibrei optice. Distribuția indicelui de refracție al fibrei optice $n(r)$ este măsurată în condițiile excitării uniforme a tuturor modurilor unei fibre optice [12]. În aceste condiții intensitatea fascicolului de proba $P(r)$ pe capatul de ieșire al fibrei optice la o distanță r de la centrul fibrei este dată, cu o aproximație bună, de relația [14]:

$$\frac{P(r)}{P(0)} = \frac{n(r)^2 - n_2^2}{n(0)^2 - n_2^2} \times \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2}}$$

unde $P(0)$ este intensitatea fascicolului de probă în centrul miezului fibrei; $n(0)$ – este indicele de refracție în centrul fibrei optice; n_2 – indicele de refracție al învelișului fibrei optice; a – este raza miezului fibrei optice.

Instalația experimentală este reprezentată schematic în Fig. 4. Instalația conține o sursă de lumină (LED), o placă din sticlă opacă 2, fibra optică 3, microscopul MIK-4 cu o camera CCD

care este conectată la un calculator. În calitate de receptor a fost folosită o camera CCD modelul ELPHEL 5MPix.

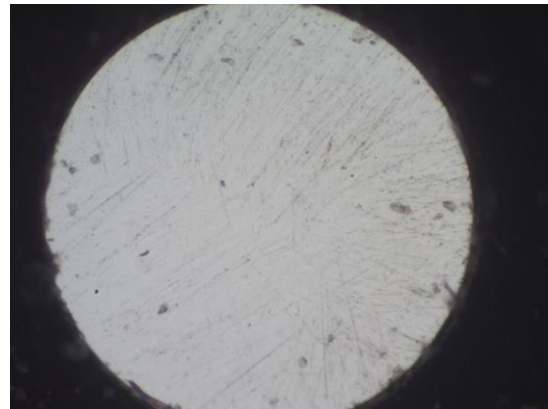


Fig. 6. Imaginea capatului de ieșire (câmpul apropiat) a unei fibre optice din polimer cu profilul indicelui de refracție în treapta. Diametrul fibrei 2 mm.

Pentru determinarea distribuției indicelui de refracție a fost elaborat un program care permite procesarea imaginii optice, obținute în câmpul apropiat, și calcularea distribuției $n(r)$. În Fig. 6 este ilustrat principiul de lucru al programului. Pentru condițiile specificate mai sus distribuția intensității pixelilor în secțiunea imaginii pe diametrul fibrei optice este proporțională cu distribuția indicelui de refracție.

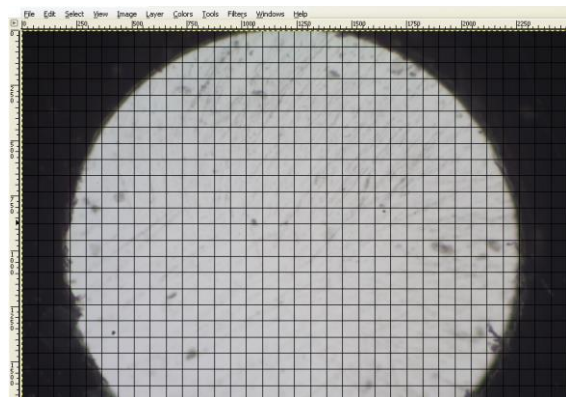


Fig. 7. Imagine fibrei în câmpul apropiat, suprapusa cu rețeaua de pixeli pentru procesare și calcularea distribuției indicelui de refracție $n(r)$.

În Fig. 8 este ilustrată distribuția indicelui de refracție pentru fibra optică cu profilul indicelui de refracție în treapta din Fig. 7, iar în Fig. 9 este ilustrată distribuția profilului indicelui de refracție pentru o fibră optică cu profilul indicelui de refracție parabolic.

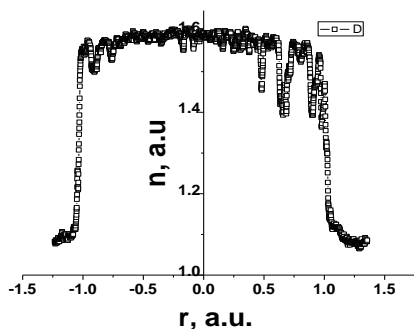


Fig. 8. Distribuția indicelui de refracție pentru fibra optică din polimer cu profilul indicelui de refracție în treapta. Diamteru fibrei 2 mm.

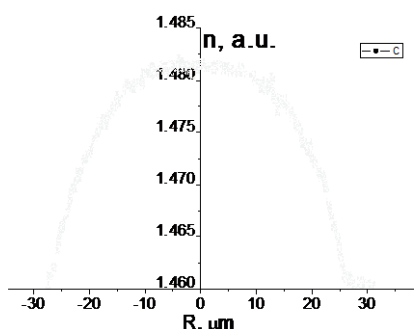


Fig. 9. Distribuția indicelui de refracție într-o fibră optică din sticlă de cuarț cu profilul indicelui de refracție parabolic. Diametrul miezului fibrei optice este de 50 μm .

CONCLUZII

Caracterizarea fibrelor optice prin metoda câmpului îndepărtat sau metoda câmpului apropiat ofera informații despre parametrii fibrelor optice, care sunt necesare la elaborarea unor senzori biochimici pentru aplicații în medicina. Aceasta informație se referă la apertura fibrelor optice, distribuția modurilor care se propoagă prin fibra optică, distribuția indicelui de refracție, etc. Este important, că, în special, distribuția modurilor în câmpul îndepărtat este sensibilă la condițiile la interfața dintre fibra optică și mediul exterior.

BIBLIOGRAFIE

- [1] D. Marcuse, *Light Transmission Optics*, (New York, Van Nostrand Reinhold, 1972).
- [2] J.P. Dakin, *Optical fibre sensors – principles and applications*, *Fibre Optics'83*, SPIE Vol. 374, p. 172
- [3] Волоконно-оптические датчики, Перевод Г.Н. Горбунова, Энергоатомиздат, 1991
- [4] H. Kuwahara, *Fiber optic Sensing Devices*, *Mitsubishi Electric Advance*, Vol. 31, 1985, p. 18-20
- [5] T.G. Giallorenzi, J.B. Bucaro, A. Dandridge, J.H. Cole, *Optical Fiber Sensors challenge the competition*, *IEEE Spectrum*, Sept. 1986, p.44
- [6] Culeac, *Optical devices based on optical fiber samples*, In the Book: "Contribution to Non-

Crystalline Semiconductors and Optoelectronics", Ed. A. Buzdugan and M. Iovu, Chisinau, 2003, p.26-39

- [7] Culeac, I., Nistor, I., Iovu, M., Andriesh, A., *Fiber optic interferometric method for registration of IR radiation*, A. Vaseashta and N. Enake, (Eds.), *Technological Innovations in Sensing and Detection of Chemical, Radiological, Nuclear Threats and Ecological Terrorism*, NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology, DOI 1007/978-94-2488-42, © Springer Science-Business Media B.V. 2012, p. 379-388.
- [8] CULEAC, Ion, NISTOR, Iurie, IOVU, Mihail, ANDRIES, Andrei, BUZDUGAN, Artur, PETRESCO, Piotr, CIORNEA, Viorel, *Senzor interferometric cu fibră optică pentru înregistrarea radiației ionizante*, Brevet de invenție MD 412 (13)Y, (51) Int. Cl.: G02B 6/28 (2006.01); G01T 1/20 (2006.01); G01T 1/00 (2006.01); (21) s; 011 0013; (22) 2011.01.13
- [9] María Dolores Marazuela · María Cruz Moreno-Bondi, *Fiber-optic biosensors – an overview*, *Anal Bioanal Chem* (2002) 372 :664–682, DOI 10.1007/s00216-002-1235-9
- [10] Aga D, Thurman EM (1997) (eds) *Environmental immunoassays: alternative techniques for soil and water analysis*. In: *Immunochemical technology for environmental applications*, Vol 657. American Chemical Society
- [11] Wolfbeis OS (1991) (ed) *Fiber optic chemical sensors and biosensors*, vols 1 and 2. CRC Press, Boca Raton, Florida
- [12] Ernest M. Kim, Douglas L. Franzen, *Measurement of Far-Field and Near-Field Radiation Patterns from Optical Fibers*, 1032, 1981. U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, National Bureau of Standards, Boulder, Colorado 80303.
- [13] F.M. Sladen, D.N. Payne, M.J. Adams, *Determination of optical fiber refractive index profiles by near-field technique*. *Applied Physics Letters*, Vol. 28, No 5, 1976
- [14] *Proceedings of the First European Conference on Optical Fiber Communication*, organized by the Electronics Division of the Institute of Electrical Engineers. 16-18 September, 1975, London, UK