



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

I. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2015eko maiatzaren 13, 14 eta 15
Durango, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Polimerozko Zuntz Optiko
Mikroegituratuen Diseinua eta
Fabrikazioa Sentsore Optikoen
Garapenerako**

*E. Arrospide, G. Durana,
G. Aldabaldetrekue eta J. Zubia*

696-701 or.
<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.i.96>

ANTOLATZAILEA:



BABESLEAK:



LAGUNTZAILEAK:



Polimerozko Zuntz Optiko Mikroegituratuen Diseinua eta Fabrikazioa Sentsore Optikoen Garapenerako

Arrospide E.⁽¹⁾, Durana G.⁽²⁾, Aldabaldetrekue G.⁽²⁾, Zubia J.⁽²⁾

(1) Bilboko Industria Ingeniaritza Teknikoko Unibertsitate Eskola, Rafael Moreno
"Pitxitxi" 3 Pasealekua, 48013 Bilbo

(2) Ingeniaritza Goi Eskola Teknikoa, Urkixo Zumarkalea z/g. 48013 Bilbo

eneko.arrospide@ehu.eus

Laburpena

Polimerozko zuntz optiko mikroegituratuek (PZOm) aukera berriak gehitzen dizkiete ohiko polimerozko zuntz optikoei. PZOm-ak fabrikatzeko erabilitako aurreformaren zulozko egitura-diseinua aldatuz, ezaugarri ezberdinak dituzten zuntzak lortzen dira. POFm-ek argiaren gidapena material zurrun zein airean ahalbidetzen dute, polimerozko zuntz optikoz eginiko sentsoreen arloan abagune berriak zabalduz. UPV/EHUko Fotonika Aplikatua Taldeak ikerketa lerro berri bat ireki du, PZOm-en fabrikazioa. Lan honetan, polimeroz egindako zuntz berezi hauen fabrikazio-prozesua azaltzen da.

Hitz gakoak: POZm, fabrikazioa, zuntz optikoa, sentsore optikoak

Abstract

Microstructured Polymer Optical Fibres (mPOFs) add a new range of opportunities to conventional optical fibres. Changing the geometry of the holey structure in the original preform, properties of the end fiber can be controlled. mPOFs give the possibility to guide light in air or solid materials, opening new possibilities in optical sensing applications. The Applied Photonics Group from the University of the Basque Country (UPV/EHU) launched a new research line devoted to mPOF fabrication. In this describe briefly the manufacturing process of these specialty fibres made of polymers.

Keywords: POFm, fabrication, optical fiber, optical sensing

1. Sarrera eta motibazioa

Historikoki zuntz optikoen erreferentzia-sektorea komunikazioak izan dira. Zuntz optikoei kobrezko kableek baino galera eta interferentzia gutxiago dituztenez, interneteko, telefoniako eta kable bidezko telebistako seinaleak bidaltzeko telekomunikazio konpainien transmisio euskarri gustukoena bihurtu da.

Zuntz optikoak haatik sentsore optiko gisa ere erabil daitezke, kanpo eragile baten eraginpean zuntzaren propietate optikoren batean (argi-intentsitatea, polarizazioa, fluoreszentzia, eta abar) gertatzen den modulazioa aprobetxatuz. Modulazio hori aztertuz, hain zuzen ere, kanpo-eragileari (presioa, korrante elektrikoa, eta abar) buruzko informazioa lor daiteke.

Urteetan zehar, polimerozko zuntz optikoa (PZO) beirazkoaren ahizpa txikia izan bada ere transmisio galerak direla eta, polimeroen teknologian ematen ari diren etengabeko aurrerapenak elkarren arteko distantzia izugarri asko murriztu dute. Horren seinale da gaur egun, PZO-ak merkatu-mota desberdinetan –adibidez, argiztapena, ibilgailu-industria eta distantzia laburreko datuen transmisioa– izan duen barneratzea.

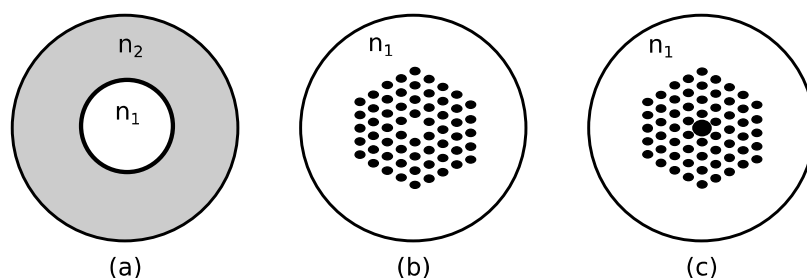
Azken urteetan PZO arruntaren eboluzio gisa PZO berri bat agertu da, polimerozko zuntz optiko mikroegituratua (PZOm) hain zuzen ere. Zuntz mota horretan zulo-banaketa jakin batek osatutako mikroegitura zuntzaren luzera guztian zehar hedatzen da. PZOm-ek PZO arruntek baino askoz ere aukera gehiago ematen dituzte, egituraren diseinua aldatze hutsarekin zuntzaren ezaugarri optikoak nahitara alda baitaitezke.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Zuntz optiko arruntetan (1(a) irudia) errefrakzio-indize txikiko (n_2) estaldurak errefrakzio-indize handiagoko nukleoa (n_1) inguratzen du. Nukleoan dagoen argi izpi batek Snellen legeak ezarritako angelu kritikoa baino angelu txikiago batekin erasotzen badu estaldura, guztiz islatuko da. Beraz, argiaren gidapena barne islapen osoan (BIO) oinarritzen da. Errefrakzio-indize desberdinak nukleoko edo estaldurako polimeroa dopatuz, edo bi material desberdin erabiliz lortzen dira. PZO arruntetan polikarbonatoa da estaldurarako erabiltzen den materiala eta polimetilmetakrilatoa (PMMA) nukleorako.

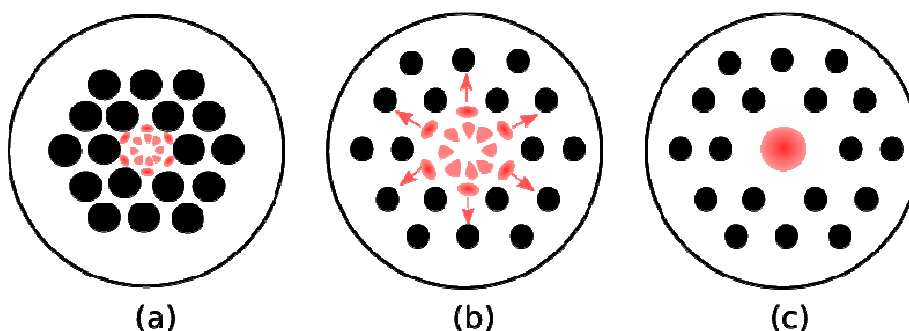
PZOm-ak fabrikatzeko normalean matrize polimeriko bakarra erabiltzen da, errefrakzio-indize txikiko estaldura zulozko mikroegiturarekin lortzen baita. PZOm-ak bi motatakoak daude, nukleo zurrunezkoak (NZ-PZOm-ak) eta nukleo hutsezkoak (NH-PZOm-ak).

1. irudia. (a) Zuntz optiko arrunta. (b) NZ-PZOm baten adibidea. (c) NH-PZOm baten adibidea.



NZ-PZOm-etan (1(b) irudia) PMMAz osatutako nukleo zurrunaren errefrakzio indizea zulozko egiturarena baino handiagoa denez argiaren gidapen-mekanismoa ere BIOan oinarritzen da. PZOm mota horiekin mikroegiturako zulo-banaketa aldatze hutsarekin, PZO arruntekin ezinezkoak diren ezaugarriak lor daitezke. Horrela, posible da birrefringentzia handiko edo modu bakarreko zuntzak lortzea. 2(a) irudian ikusten den legez, zuntzeko hedapen-moduek ihes egiteko daukaten bide bakarra zuloen arteko PMMAzko zubiak dira. Zuloek tamaina handikoak badira elkarren ondoko bi zuloren zentroen arteko distantziarekin konparatuta, goi-ordenako moduak ere ezin izango dute nukleotik ihes egin, eta bertan konfinatuta geratuko dira. Zuloen tamaina txikitzen den heinean, elkarren ondoko bi zuloren zentroen arteko distantzia konstante mantenduz, (2(b) irudia), goi-ordenako moduak ihes egiten hasiko dira, arik eta modu bakarra konfinatuta geratu arte (Russell, 2003). Kasu horretan zuntz modubakardun baten aurrean aurkituko gara (2(c) irudia).

2. irudia. (a) goi-ordenako moduak nukleotan ihes egin ezinik. (b) Goi-ordenako moduak nukleotik ihes egiten. (c) Zuntz modubakarduna



ZH-PZOm-etan (1(c) irudia) aldiz, BIO bidezko gidapena ezinezkoa da, Zuntzaren nukleoko errefrakzio-indizea estaldurarena baino txikiagoa delako. Kasu horretan argiaren gidapena banda fotoniko debekatuko efektuaren bidez gertatzen da. Era honetako zuntzetan argia gasetan eta likidoetan konfina daiteke, elkarrekintza bortitza bultzatuz. Konfigurazio hau oso egokia da sentsoeren diseinurako.

Honek, airean edo likidoetan (errefrakzio indize baxua dute) argia gidatzea posible egiten du, fluidoaren sentsoreetan aukera berriak zabaltuz.

3. Ikerketaren muina

Bilboko Fotonika Aplikatua Taldeak hamabost urte baino gehiago daramatza polimerozko zuntz optikoak aztertzen, bere ezaugarrien arabera aplikazio desberdinak sortuz, batik bat sentzore optikoen eremuan. Azken urteetan ikerkuntza lerro berri batean murgildu da, PZOm-en diseinuan eta fabrikazioan, hain zuzen ere, nagusiki sentzore optikoen diseinu eta fabrikazioan erabiltzeko asmoarekin.

PZOm-en fabrikazioan 2 fase nagusi bereizten dira. Lehenengoan, PMMAzko zilindro monolitiko batetik abiatuz, zuntzak izango duen mikroegitura-diseinu bereko aurreforma makrometrikoa fabrikatzen da. Bigarren fasean, tiraketa-dorre bat erabiliz aurreforma berotu eta ondoren tiratu egiten da, hasierako egitura bera duten zuntz mikrometrikokoak lortu arte.

Aurreformaren fabrikazioa

Polimeroen kasuan aurreforma lortzeko fabrikazio-teknika desberdinak dauden arren (kapilare-metaketa, estrusioa, galdaketa, moldaketa, eta abar) (Large et al., 2007), txirbil-harroketa bidezko mekanizazio-prozesua da aurreforma lortzeko teknika erabiliena (ikus 3(a) irudia). Zenbakizko Kontrol Konputerizatua (ZKK) duten mekanizazio-zentroek doitasuneko akabera daukaten aurreforma konplexuak fabrikatzea ahalbidetzen dute, aurreforma zeharkatzen duten zuloen barne gainazalako zimurtasuna murriztuz eta barautsa luzeen erabilerak sor ditzakeen zuloen okertze txikiagoa lortuz.

3. irudia. (a) Aurreforma ZKK bidezko mekanizazio-zentroan. (b) mailaz mailako errefrakzio-indizeko PZOm baten aurreforma bukatua.



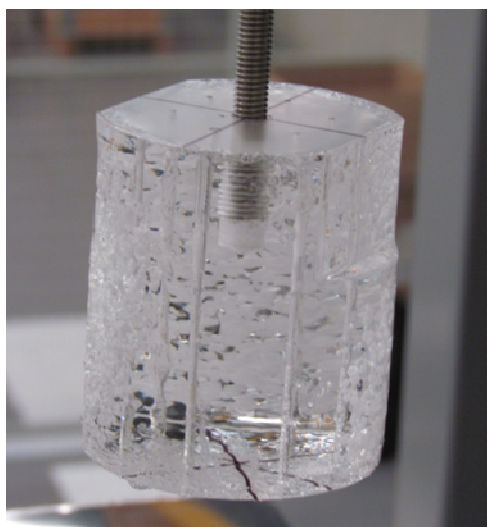
Teknika horretan ZKK duten mekanizazio-zentroek mikroegituraren diseinu berrien prototipoak lortzeko malgutasun handia ematen dute zuloen tamaina eta banaketa desberdinak txertatzeko aukera emanez (ikus 3(b) irudiko adibidea). Beiraren kasuan, haatik, teknika hau erabiltzerik ez dago beiraren hauskortasuna dela eta; arrazoi honengatik, hain zuzen ere, beiraz eginiko zuntz optiko mikroegituratuetan mikroegituraren diseinu posibleak mugatuagoak dira.

Lehenengo fase honetan azpimarratzekoa da, burdina eta altzairua ez bezala, polimeroa material biguna delako ZKK bidezko mekanizazio-prozesuan erabili beharreko parametroen (barauts-mota, ebaketa-abiadura, ebaketa-sakonera, eta abar) balioak erabat desberdinak direla, eta beraz, hauek doitzea ezinbestekoa dela; hori egin ezean, aurreformaren fabrikazioan sortzen diren problema larrienak polimeroaren urtzea, zuloen barne-gainazalaren zimurtasuna eta zuloen zuzentasun-eza dira.

Aurreformaren tiraketa

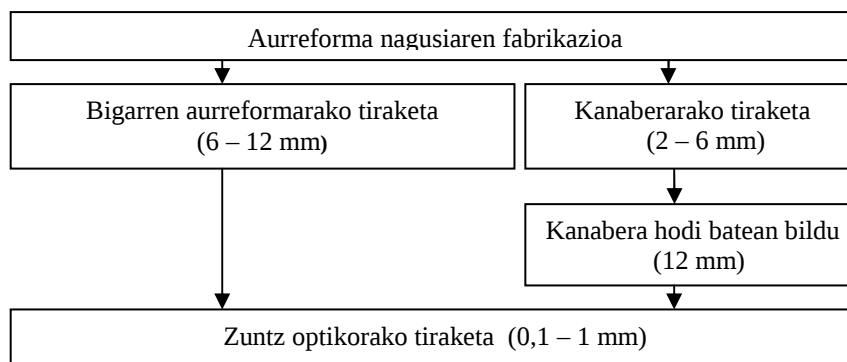
Fase honen arrakasta ziurtatzeko, ezinbestekoa da aurreforma fabrikatzeko erabilitako polimeroak (PMMA gure kasuan, eta orokorrean beste edozein polimero garden) gutxienez baldintza batzuk betetzea bere pisu molekularrari, saretze-mailari, edo ezpurutasun- eta ur-edukiei dagokienez; bestela, tiraketa-prozesuan 4. irudiko bezalako arazoak sor daitezke, non bero-difusioz monomeroen eta uraren azaleratzeak egindako efektuak behatzen baitiren.

4. irudia. (a) PMMAzko aurreforma desegoki baten itxura berotu eta gero. Gainazaleko burbuilek beroketa-prozesuaren ondorioz uraren eta monomeroen azaleratzea denotatzen dute.



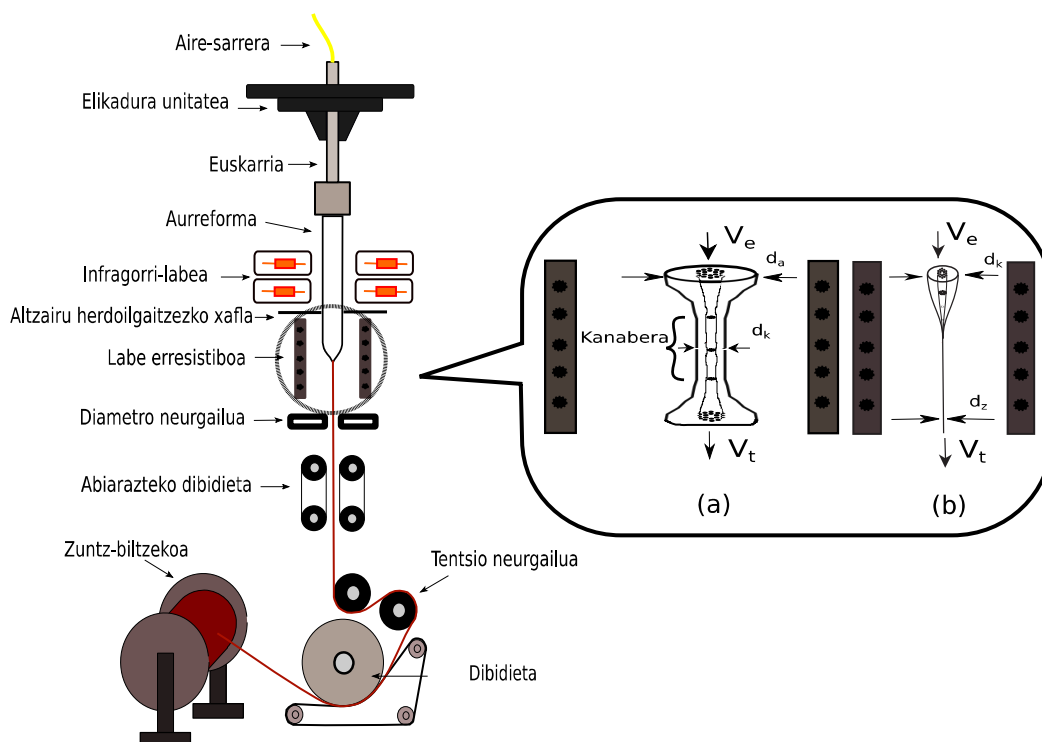
Behin aurreformaren egokitasuna ziurtatuta lehenik aurreforma egokiro berotuz eta ondoren era kontrolatuan tiratuz aurreformaren bertsio mikrometrikora pasatzen gara. Prozesu hori etapa bakar batean egin daitekeen arren, gertatzen den dimentsio-aldaketa bortitza dela eta (zenbait kasutan diametroa 1000 aldiz txikiagoa izatera pasatuz), prozesua bi etapa edo gehiagotan egitea komeni da, batik bat aurreformatik zuntz optikorako eskala-aldaketan gertatzen den egituraren deformazio-maila minimizatzeke.

1. taula. Aurreforma nagusitik abiatuta PZOm-ak fabrikatzeko aukera desberdinak.



1. taulako eskema jarraituz, lehen aurreformatik bigarren aurreformarako bide zuzenari jarraituz egin daiteke (1. taulan ezkerreko behearanzko bidea aukeratuz), edo lehenik tiraketa bidez bitarteko kanabera bat lortuz, eta ondoren polimerozko hodi huts batean estuki bilduz (1. taulan eskuineko behearanzko bidea). Deskribatutako kasu bietan zuntz optikoa bigarren aurreforma tiratuz lortzen da.

5. irudia. Tiraketa-dorrearen eskema. a) Lehen aurreformatik kanaberarako trantsizioa. b) Bigarren aurreformatik zuntz optikorako trantsizioa



Prozesu osoa aurreformaren beroketarekin hasten da. Infragorri-labean kokatutako aurreformaren tenperaturak polimeroaren beira-trantsizioko tenperatura gainditzen duenean aurreforma labe erresistibora jaisten da, tiraketa-prozesua hasi aurretiko aurreforma-beroketa ahalik eta doitasun handienarekin egiteko asmoz. Aurreformaren eremu beroena behar beste biguntzen denea, tiraketa-prozesuari egiten zaio aurreformari bi abiadura desberdin aplikatuz; bata V_e elikadura-abiadura aurreformaren sarrera-abiadura labean da, eta bestea, V_t tiraketa abiadura aurreformaren irteera-abiadura labetik.

Tiraketa prozesuan baldintza egokiak betetzen direnean masaren kontserbazio printzipioak V_e elikadura abiaduraren, d_k kanabera-diametroaren, V_t tiraketa-abiadura eta d_z zuntz-diametroaren arteko erlazioa definitzen du (Large et al., 2007). Hona hemen emaitza:

$$\frac{d_k^2}{d_z^2} = \frac{V_t}{V_e}. \quad (1)$$

Adierazpen horren arabera, sarrera-abiaduraren eta tiraketa-abiaduraren arteko zatidurak definituko du diametroa.

4. Ondorioak

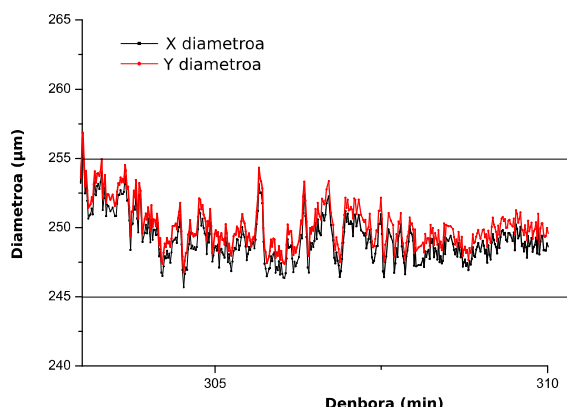
PZOm-en fabrikazio egokiaren arrakasta zenbait parametroren menpe dago:

Lehenik eta behin polimeroaren zenbait ezaugarri -pisu molekularra, saretze-maila, ezpurutasun edukia, eta abar- neurtu eta kontrolpean izan behar dira. Txirbil-harroketa bidezko egituraren mekanizazioan barautsaren, ebaketa-abiaduraren eta ebaketa-sakoneraren hautaketa egokiak ezinbestekoak dira polimerozko bloke zilindrikoan egitura-txertaketa egokia izatea nahi bada.

Azkenik, tiraketa-prozesuan lortutako zuntzaren diametroa ahalik eta egonkorren mantentzeko bi labeen arteko isolamendu termikoa erabakiorra da. Adibidez, 6. irudian,

tiraketa-prozesuan zehar neurtutako zuntz-diametroak elkarren perpendikularrak diren bi norabidetan zehar (x eta y norabideak) duen egonkortasuna beha daiteke; momentu oro diametroa balio izendatuaren ($250\text{ }\mu\text{m}$) % 2-a baino txikiagoa da.

6. irudia. Tiraketa-prozesuan zehar x eta y norabideetan zehar neurtutako zuntzaren diametroa



Kalitatezko PZOm-ak fabrikatzeko parametro bakoitzaren hautaketa egokiena egin beharko da.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Gure tiraketa-dorreen fabrikatutako PZOm-ak sentsoreen garapenerako erabili nahi dira, PZOm-ek eskaintzen dituzten abantailak aprobetxatuz:

- *Gas eta likido desberdinen detekziorako sentsoreak:* PZOm-aren mikroegiturak gas eta likidoak onartzen ditu, eremu berean argia eta materia estuki konfinatuz. Era horretan, argiaren eta materiaren arteko elkarrekintza bortitza bultzatzen da, sentsore optikoen diseinu eta garapenerako oso garrantzitsua dena.
- *Elongazio-sentsoreak:* batetik PZOm-etan hedapen modubakarduna, eta bestetik, polimeroen elastikotasun-maila altua aprobetxatuz (Large et al., 2010).

6. Erreferentziak

Large, M.C.J., Blacket, D., eta Bugne, C.A.,(2010): “Microstructured polymer optical fibres compared to conventional POF: Novel properties and applications”, *IEEE Sensors J.* 10(7), 1213-1217
 Large, M.C.J., Poladian, L., Barton, G.W., eta van Eijkelenborg, M.A., (2007). *Microstructured polymer optical fibres*, Springer, New York.
 Russell, P., (2003): “Photonic Crystal Fibers”, *Science*, 299, 358-363.

7. Eskerrak eta oharrak

Lan honetan diruz lagundu duten erakundeak Europar Batasuna (Eskualdeen Garapenerako Europako Funtsa) Ministerio de Economía y Competitividad (TEC2012-37983-C03-01), Gobierno Vasco/Eusko Jaurlaritza (IT664-13 eta ETORTEK14/13), Fundación Iberdrola (FP14/25) eta UPV/EHU (UFI11/16 eta US13/09) izan dira.