



بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و  
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس  
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،  
دانشگاه خوارزمی،  
تهران، ایران.  
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸



## حسگر پلاسمونیک با ریز ساختار تار نوری برای تشخیص نارسایی های معده

فاطمه آزادی، محسن حاتمی

F.azadi@sutech.ac.ir

شیراز، دانشگاه صنعتی شیراز، دانشکده فیزیک

چکیده - در این مقاله یک حسگر زیستی پلاسمونیک مبنی بر تار نوری ریز ساختار برای تشخیص نارسایی های معده انسان شبیه سازی شده است. این حسگر با استفاده از یک شبکه شش ضلعی با ۱۴ سوراخ هوا در یک تار پوشیده از لایه طلا ساخته می شود و در هنگام استفاده لایه ای از معده روی آنرا می گیرد. با استفاده از نرم افزار لومریکال، مدهای انتشاری و ثابت انتشار را برحسب ضریب شکست در محدوده ی متناسب با جداره معده و نارسایی های معده به دست آوردیم. براساس نتایج به دست آمده با اندازه گیری ثابت انتشار می توان به جنس ماده مورد نظر در معده دست یافت و نارسایی های نقاط مختلف آنرا تشخیص داد.

کلیدواژه- پلاسمونیک، ثابت انتشار، معده.

### Plasmonic Sensor with Microstructure

### Optical Fiber for Stomach Failure Detection

Fatemeh Azadi, Mohsen Hatami

F.azadi@sutech.ac.ir, hatami@sutech.ac.ir

Faculty of Physics, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran

**Abstract-** In this paper a plasmonic biosensor based on microstructure optical fiber is simulated for detecting of human stomach failure. This sensor is made by a 14 air holes in a hexagonal lattice, gold-coated fiber and a layer of stomach surrounds sensor when is using. By using Lumerical software, we obtain propagation mode and propagation constant in terms of refractive index in the range of gastric wall and gastric failure. Based on the obtained results by measuring propagation constant, it can detect the failure of different parts of the stomach.

**Keywords:** plasmonic, propagation constant, stomach.

## مقدمه

است. معادله حاکم بر انتشار میدان‌های الکترومغناطیسی در حالت کلی به شکل زیر است:

$$\nabla^2 E(x,y,z) + \frac{\epsilon\omega^2}{c^2} E(x,y,z) = 0 \quad (1)$$

که برای میدان مغناطیسی نیز صدق می‌کند. و برای انتشار امواج در فیبر، وابستگی انتشار به صورت  $e^{i\beta z}$  در نظر گرفته می‌شود، که در آن  $\beta$  ثابت انتشار است. و بنابراین:

$$\nabla_{\perp}^2 E(x,y) + \left(-\beta + \frac{\epsilon\omega^2}{c^2}\right) E(x,y) = 0 \quad (2)$$

با حل این معادله ثابت انتشار و توزیع میدان به دست می‌آید.

## محاسبات عددی

حسگر مورد بررسی برای اندازه‌گیری پارامترهای بیوشیمیایی طراحی شده است، مانند اندازه‌گیری ضریب شکست بافت‌های معده که مقادیر آن‌ها در محدوده ۱۴ تا ۱۳۶/۱ تا ۱۴۵/۱ قرار دارند [۴]. تارنوری ریزساختار از  $r_1 = r_2 = 0.6\mu m$  که در راس یک شبکه شش ضلعی استوانه‌ای به فاصله  $d=3\mu m$  قرار گرفته اند تشکیل شده است. و بر روی آن یک لایه نازک طلا به شعاع داخلی  $r_{15} = 7\mu m$  و ضخامت 50nm قرار گرفته است. شایان ذکر است که نوع فلز و ضخامت آن جهت برانگیختن پلاسمون‌های سطحی حائز اهمیت می‌باشند. ضریب شکست طلا [۵]، با استفاده از جدول ۱ و جایگزاری در فرمول (۳) و (۴) به دست می‌آید:

$$\epsilon_{DL}(\omega) = \epsilon_{\infty} - \frac{\omega_D^2}{\omega(\omega + i\gamma_D)} - \frac{\Delta\epsilon * \Omega_L^2}{(\omega^2 - \Omega_L^2) + i\Gamma_L\omega} \quad (3)$$

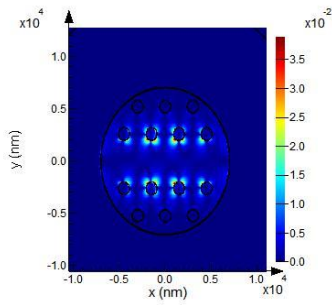
امروزه حسگر پلاسمونیک بر پایه تار نوری ریز ساختار [۱] مورد توجه دانشمندان و محققان این حوزه قرار گرفته است. مهمترین و اصلی‌ترین مزیت حسگرهای پلاسمونیک، ابعاد کوچک و قدرت تشخیص مواد مختلف با ضریب شکست‌های مختلف است. ضریب شکست نقش بسیار مهمی در تشخیص بین بافت‌های سالم و بدخیم انسان دارد. پلاسمونیک برای تشخیص تغییرات ضریب شکست با دقت بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد، و ممکن است منجر به توسعه دستگاه‌های آندوسکوپی و تکنیک‌های ارزیابی جراحی شود. در پژوهش‌های اخیر [۲]، [۳] از حسگرهای پلاسمونیک استوانه‌ای برای شناسایی گروه‌های خونی انسان A, B, O و انواع بافت کبد انسان استفاده شده است. در این مقاله، می‌خواهیم حسگر پلاسمونیک ریزساختار تارنوری، را برای شناسایی نارسایی بافت معده انسان به کاربریم. و ضمن شبیه‌سازی و تحلیل رفتار آن، به بررسی تغییرات ثابت انتشار بر ضریب شکست پرداخته می‌شود.

## مبانی نظری

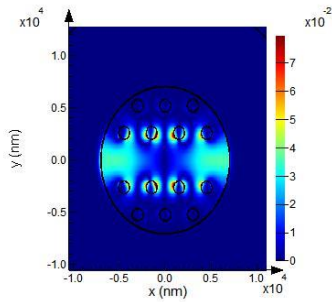
شکل ۱ تار نوری ریزساختار را نشان می‌دهد. این تار توسط یک هسته  $\text{SiO}_2$  با ۱۴ سوراخ کوچک هوا در راس یک شبکه شش ضلعی ساخته شده، که بر روی آن لایه‌ای از طلا است در عمل سپس یک لایه از بافت معده انسان در اطراف این تار قرار می‌گیرد. در حسگر پلاسمونیک به دلیل وجود چند لایه یک میدان الکتریکی در فصل مشترک آن ایجاد می‌شود که مولفه X در لایه حسگر قوی‌تر از مولفه Y است. در این حسگر دو نوع حالت تشدید بستگی به جهت‌گیری میدان الکتریکی دارد. که در شکل ۲ در قسمت الف، ب و ج نشان داده شده است. از طرفی تغییر در نوع ماده زیستی در سطح حسگر پلاسمونیک، باعث تغییر ضریب شکست شده و تغییرات ضریب شکست باعث تغییر در ثابت انتشار می‌شود همین مسئله اساس کار حسگر پلاسمونیک برای انواع مواد

جدول ۱. مقادیر پارامترهای مورد استفاده برای بهینه‌سازی مدل‌های Drude-Lorentz است. [۴]

	$\epsilon_{\infty}$	$\frac{\omega_D}{2\pi} (THz)$	$\frac{\gamma_D}{2\pi} (THz)$	$\frac{\Omega_L}{2\pi}$	$\frac{\Gamma_L}{2\pi} (THz)$	$\Delta\epsilon$	$\phi$
Drud-Lorentz	۵.۹۶۷	۳۱۱۳.	۱۵.۹	۶۵۰.۰۷	۱۰.۴۸	۱.۰۹	۱۴.۵
	۳	۶	۲		۶		۲۱



(ب)



(ج)

شکل ۲: میدان الکتریکی برای الف مولفه X، ب مولفه Y، ج مولفه Z است، یک تارنوری ریزساختار ساخته شده توسط ۱۴ سوراخ هوای کوچک ( $r_1 = r_2 = \dots = r_{14} = 0.6 \mu m$ ) که در راس یک شبکه شش ضلعی با فاصله  $d = 3 \mu m$  قرار می‌گیرند.

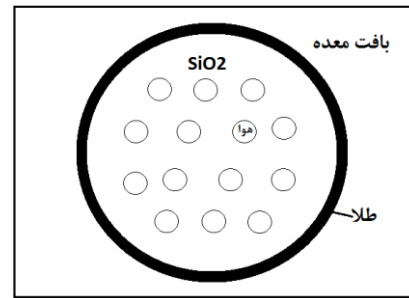
برای شبیه‌سازی از نرم افزار لومریکال از بسته

Mode solution استفاده می‌شود. حال می‌توان به ازای ضریب شکست  $n_{eff}$ ، که نرم افزار می‌دهد، ثابت انتشار را با استفاده از فرمول ۵ محاسبه کرد، و شکل آن را مطابق شکل ۳ رسم کردیم.

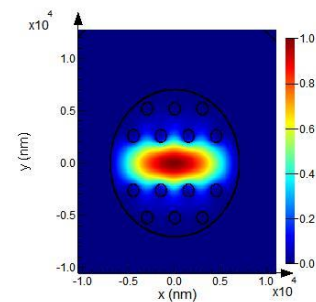
$$\beta = n_{eff}k \quad (۵)$$

که :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (۶)$$



شکل ۱: تار نوری ریزساختار ساخته شده توسط ۱۴ سوراخ هوای کوچک ( $r_1 = r_2 = \dots = r_{14} = 0.6 \mu m$ ) که در راس یک شبکه شش ضلعی با فاصله  $d = 3 \mu m$  قرار می‌گیرند.

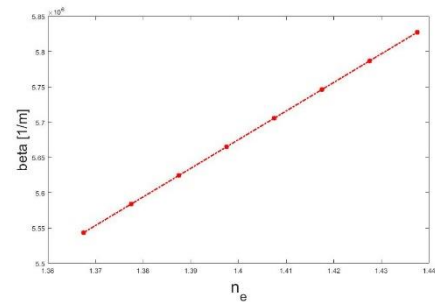


(الف)

سالم و یک معده معیوب ضریب شکست های متفاوتی خواهد داشت و بر این اساس می توان یک نوع ماده معیوب کننده نیز پی برد.

### مرجع ها

- [1] Popescu, V. A., N. N. Puscas, and G. Perrone. "Simulation of the sensing performance of a plasmonic biosensor based on birefringent solid-core microstructured optical fiber." *Plasmonics* 12.3 (2017): 905-911.
- [2] Popescu, V. A. "Application of a plasmonic biosensor for detection of human blood groups." *Plasmonics* 12.6 (2017): 1733-1739.
- [3] Popescu, V. A. "Application of a plasmonic biosensor for detection of human-liver tissues." *Plasmonics* 13.2 (2018): 575-582.
- [4] Bashkatov, Alexey N., et al. "Optical properties of human stomach mucosa in the spectral range from 400 to 2000 nm: prognosis for gastroenterology." *Medical Laser Application* 22.2 (2007): 95-104.
- [5] Vial, Alexandre, et al. "Improved analytical fit of gold dispersion: Application to the modeling of extinction spectra with a finite-difference time-domain method." *Physical Review B* 71.8 (2005): 085416.



شکل ۳: تغییرات ثابت انتشار برحسب ضریب شکست موثر.

همان طور که در شکل ۳ دیده می شود، ثابت انتشار با ضریب شکست موثر رابطه مستقیم دارد. به عنوان مثال در ضریب شکست ۱/۳۶ مقدار ثابت انتشار ۵/۵۳ و در ضریب شکست ۱/۴۲ این مقدار به ۵/۷۸ افزایش می یابد. عملاً می توان با قرار دادن این حسگر در نقاط مختلف معده و استفاده از تداخل گر ماخ زندر، ثابت انتشار را با دقت زیاد محاسبه کرد که با داشتن ثابت انتشار به ماده اطراف حسگر می توان پی برد و سپس عملکرد این حسگر با رابطه:

$$S = \frac{-2\pi}{\beta^2} \times \frac{\Delta\beta}{\Delta n} \quad (7)$$

مورد ارزیابی قرار می گیرد، که مقدار آن میزان حساسیت را نشان می دهد.

### نتیجه گیری

در این مقاله یک حسگر پلاسمونیک بر پایه تار نوری، با یک لایه نازک طلا و ۱۴ سوراخ کوچک هوا برای شناسایی نارسایی معده به کار رفته است. با استفاده از نرم افزار لومریکال مدهای انتشاری را بررسی کرده و ثابت انتشار برحسب ضریب شکست ساختارهای سالم و معیوب معده بدست آوردیم، عملاً می توان با قرار دادن این حسگر در نقاط مختلف معده و استفاده از تداخل گر ماخ زندر، ثابت انتشار را با دقت زیاد محاسبه کرد و سپس با داشتن ثابت انتشار به ماده اطراف حسگر پی برد. طبیعی است برای یک معده