بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

افزایش حساسیت سنسور فیبرنوری مبتنی بر تشدید پلاسمون‌های سطحی با استفاده از نانوکامپوزیت حاوی نانوذرات پلاتین

الهام غضنفری و حمید واحد

دانشکده مهندسی فناوریهای نوین، دانشگاه تبریز، تبریز

چکیده – سنسور فیبر نوری مبتنی بر تشدید پلاسمونهای سطحی به خاطر امکان سنجش با دقت بالای پارامترهای فیزیکی و بیوشیمیایی توجه زیادی را جلب کرده است. در این مقاله، سنسور فیبر نوری مبتنی بر پایه تشدید پلاسمون سطحی با لایه‌ی نانو کامپوزیت حاوی ذرات نانوی پلاتین بررسی شده است و حساسیت این سنسور فیبر نوری هم با لایه نانو کامپوزیت حاوی نانو ذرات پلاتین و هم لایه پلاتین به طور جداگانه به صورت عددی محاسبه شده است. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که با افزایش ضخامت لایه‌ی نانو کامپوزیت و افزایش کسر حجمی نانو ذرات پلاتین حساسیت سنسور افزایش یافته است. علاوه بر این مشخص شده است که حساسیت سنسور فیبر نوری با لایه‌ی نانو کامپوزیت *حاوی نانوذرات پلاتین* به ازای همه ضریب شکست‌های محیط حساس بیشتر از حساسیت سنسور فیبر نوری حائی لایه فلزی پلاتین است.

کلید واژه- سنسور فیبر نوری، تشدید پلاسمون سطحی، نانوکامپوزیت.

Sensitivity Enhancement of Optical Fiber Sensor Based On SPR By Using of Nanocomposite containing Platinum Nanoparticles

Elham Ghazanfari and Hamid Vahed

School of Engineering-Emerging Technologies, University Of Tabriz, Tabriz

Abstract: Surface Plasmon Resonance (SPR) sensors based on optical fibers have attracted a great attentions due to high sensitivity measuring of physical and biochemical parameters. In this paper has been investigated SPR optical fiber sensor containing nanocomposite that have Platinum nanoparticles. Numerically, we calculated the sensitivity of this sensor with nanocomposite layer containing platinum nanoparticles and with the platinum layer, separately. The results show that the sensitivity of sensor increases with increasing the thickness of nonocomposite layer and with increasing the platinum nanoparticle fraction volume. Also, we show that the sensitivity of sensor with nanocomposite layer containing platinum nanoparticles is more than the sensitivity of sensor with platinum layer for all value refractive indexes of sample media.

Keywords: Optical Fiber sensor; Surface Plasmon Resonance; Nanocomposite.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

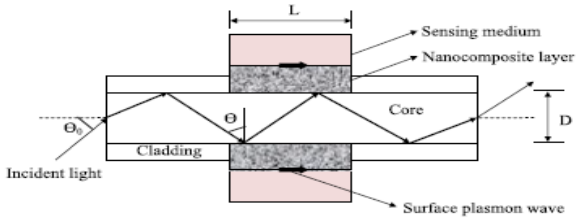
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱- مقدمه

در طی دهه‌های گذشته پدیده تشدید پلاسمون سطحی به دلیل سرعت و دقت حسگری نوری در اندازه گیری پارامترهای مختلف فیزیکی، شیمیای و بیوشیمیایی توجه زیادی به خود جلب کرده است [۱]. پلاسمون‌های سطحی چگالی نوسانات الکترون‌های آزاد در یک فلز هستند که در طول سطح مشترک فلز-دی الکتریک انتشار پیدا می‌کنند و این موج الکترومغناطیسی عرضی به عنوان موج پلاسمون سطحی شناخته می‌شود. وقتی که فرکانس و بردار موج نور فرودی پلاریزه P و موج پلاسمون سطحی با هم برابر می‌شوند، این نور به طور تشدیدی موج پلاسمون سطحی را تحریک می‌کند و این شرایط تشدید بستگی به زاویه نور و ثابت دی‌الکتریک فلز و دی‌الکتریک دارد. به طور کلی برای مطالعه تشدید موج پلاسمون سطحی، پیکربندی کریشمن که براساس بازتاب داخلی کلی است، استفاده می‌شود. در پیکربندی کریشمن یک منشور با ضریب شکست بالا با یک لایه نازک فلزی که این لایه فلزی در تماس با لایه ماده نمونه است، پوشش داده می‌شود. و موج پلاسمون سطحی ایجاد شده با موج محو شونده در شرایط بازتاب داخلی کلی، تحریک می‌شود. سنسور SPR براساس منشور عیب‌های مختلف از قبیل اندازه سایز بزرگ و ناتوانی سنجش از راه دور را دارد. در حالی که سنسور فیبر نوری براساس SPR قابلیت انعطاف پذیری، سنجش از راه دور نسبت به سنسور براساس منشور دارد. در سنسور مبتنی بر SPR، منشور با هسته فیبر نوری جایگزین می‌شود و طلا و نقره و مس اغلب فلزاتی هستند که به عنوان ماده‌ی پلاسمونیکی در سنسور فیبر نوری مبتنی بر SPR، مورد استفاده قرار می‌گیرند، در حالی که این فلزات برای سنجش نمونه‌هایی با ضریب شکست پایین مناسب نیستند. اخیرا یک سنسور فیبر نوری SPR براساس نانو کامپوزیت برای حس کردن غلظت کم گازهای مرئی به صورت تئوری ارائه شده است[۲]. در تحقیق دیگری، با افزودن لایه سیلیکونی بالای لایه فلزی از جنس طلا یا نقره، تاثیر تغییر ضخامت لایه‌ها بر حساسیت سنسور SPR بصورت تجربی بررسی شده است[۳]. در این مقاله، حساسیت سنسور فیبر نوری مبتنی بر SPR با لایه نانوکامپوزیت حاوی نانوذرات پلاتین و سنسور فیبر نوری مبتنی بر SPR با لایه‌ی پاتین، به صورت عددی و جداگانه مورد بررسی و مقایسه قرار داده شده است. علاوه بر این، تاثیرات ضخامت لایه‌ی نانوکامپوزیت و درصد حجمی نانوذرات فلزی بر حساسیت سنسور بررسی شده است. ما نشان خواهیم داد که حساسیت سنسور فیبر نوری بر اساس نانوکامپوزیت Pt-InN به ازای همه‌ی ضریب شکست‌های محیط حساس بالاتر از حساسیت سنسور فیبر نوری مبتنی بر SPR با لایه‌ی پلاتین است.

۲- ساختار سنسور

در این سنسور فیبرنوری SPR پیشنهاد شده شامل هسته فیبر، لایه نانوکامپوزیت و محیط حساس در نظر گرفته شده است. همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، روکش پلاستیکی در اطراف هسته از قسمت وسط برداشته شده و سپس با یک لایه‌ی نانوکامپوزیت نازک پوشانده شده که در نهایت توسط محیط حساس احاطه شده است.



شکل ۱:شکل شماتیک از سنسور فیبر نوری SPR

۲-۱- هسته فیبر

لایه‌ی اول هسته فیبر نوری است. فرض شده است که هسته فیبر نوری از سیلیکا ساخته شود. ضریب شکست سیلیکا در طول موج‌های متفاوت از رابطه پاشندگی سلمایر زیر بدست می‌آید[۴]:

$$n_1(\lambda)=\sqrt{1+\frac{a_1\lambda^2}{\lambda^2-b_1^2}+1+\frac{a_2\lambda^2}{\lambda^2-b_2^2}+1+\frac{a_3\lambda^2}{\lambda^2-b_3^2}} \quad (۱)$$

که λ برحسب میکرومتر و a_1,a_2,a_3,b_1,b_2,b_3 ضرایب سلمایر هستند که مقادیر این ضرایب هم بصورت زیر داده شده است[۴]:

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

$a_1 = 0.696166, a_2 = 0.407942$
$a_3 = 0.897474, b_1 = 0.068404\mu m$
$b_2 = 0.1162421\mu m, b_3 = 9.8961\mu m$

۲-۲- لایه نانو کامپوزیت

لایه دوم از نانوکامپوزیت ساخته شده است که نانوذرات فلزی پلاتین در یک آرایش ماتریس مانندی در دی-الکتریک میزبان InN تعبیه شده‌اند. اگر اندازه نانوذرات بسیار کوچکتر از طول موج تابش فرودی باشد، در این صورت بدون نقض تئوری پراکندگی رایلی، ثابت دی الکتریک موثر نانوکامپوزیت را می‌توان با استفاده از رابطه ماکسول-گارنت تعیین کرد[۵]. اگر ε_1 ثابت دی الکتریک نانوذرات فلز و ε_2 ثابت دی‌الکتریک ماتریس دی‌الکتریک میزبان باشند، ثابت دی‌الکتریک نانوکامپوزیت با رابطه‌ی زیر داده شده است[۶]:

$$\varepsilon_{eff} = \varepsilon_2[\frac{\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2 + 2f\ (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2 - 2f\ (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}] \qquad (۲)$$

که f در رابطه (۲)، ضریب پرشدگی حجمی (کسر حجمی) نانوذرات است. در معادله (۲) ثابت دی‌الکتریک نانوکامپوزیت، به اندازه و شکل نانوذرات بستگی دارد. ثابت دی‌الکتریک هر فلز توسط مدل درود قابل محاسبه است[۷]:

$$\varepsilon_1 = 1 - \frac{\lambda^2 \lambda_c}{\lambda_p^2(\lambda_c + \mathrm{i}\lambda)} \qquad (۳)$$

که در این رابطه طول موج پلاسمای پلاتین $\lambda_p = 0.2415\mu m$ و طول موج برخورد پلاتین $\lambda_c = 17.95\mu m$ است. ثابت دی‌الکتریک ماتریس دی‌الکتریک میزبان InN طبق مدل درود بصورت زیر است[۶]:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_\infty[1 + \frac{w_{lo}^2 - w_{To}^2}{w_{lo}^2 - w^2 - iw\gamma} - \frac{w_p^2}{w^2 + iw\Gamma}] \qquad (۴)$$

که در اینجا ε_∞ ثابت دی‌الکتریک فرکانس بالا، w_{lo}, w_{To} فرکانس مدهای فونونی، w_p فرکانس پلاسما و γ, Γ دو ثابت میرایی هستند که برای InN مقادیرشان برابر است با $\varepsilon_\infty = 7.5$، $w_p = 4100cm^{-1}$، $w_{lo} = 590cm^{-1}$، $w_{To} = 450cm^{-1}$، $\gamma = 120cm^{-1}$، $\Gamma = 1382cm^{-1}$.

۳-۲- محیط حساس

لایه‌ی ۳ محیط حساس است که ثابت دی‌الکتریک محیط حساس ε_s است. اگر n_s ضریب شکست محیط حساس باشد در این صورت $\varepsilon_s = n_s^2$ خواهد بود. شرایط رزونانس برای تحریک موج پلاسمون سطحی به صورت زیر است[۷]:

$$\frac{2\pi}{\lambda} n_1 \sin\theta = R_e\{\mathrm{K}_{sp}\} \qquad (۵)$$

λ ثابت انتشار موج پلاسمون سطحی و C سرعت نور در خلاء است. طرف چپ معادله (۵)، ثابت انتشار نور فرودی در یک زاویه‌ی θ و طرف راست معادله، قسمت حقیقی ثابت انتشار موج پلاسمون سطحی را نشان می‌دهد. ضریب انعکاس نور پلاریزه‌ی P نور فرودی را می توان با استفاده از روش ماتریس TMM برای مدل N لایه‌ای بدست آورد[۵].

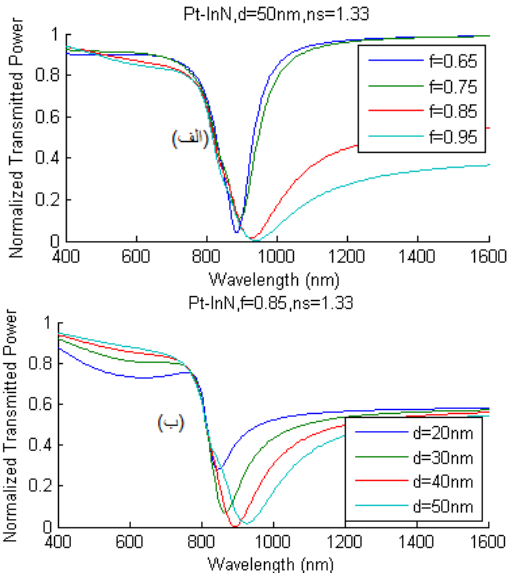
۳- نتیجه‌ها و بحث‌ها

در شکل ۲، برای ساختار سه لایه‌ای هسته، نانوکامپوزیت و محیط نمونه حساس، تغییر توان عبوری نور فرودی برحسب طول موج رسم شده است. لایه نانوکامپوزیت شامل میزبان InN حاوی نانوذرات پلاتین است. ضریب شکست محیط حساس ۱/۳۳ فرض شده است. در شکل ۲-الف، توان عبوری برحسب طول موج برای ضخامت ۵۰ نانومتری از لایه نانوکامپوزیت و به ازای کسر حجمی متفاوت نانوذرات پلاتین (۰/۶۵، ۰/۷۵، ۰/۸۵ و ۰/۹۵) رسم شده است که شیفت طول موج رزونانس و افزایش حساسیت از شکل مشخص است. در شکل ۲-ب، توان عبوری برحسب طول موج برای کسر حجمی ۰/۸۵ و ضخامتهای متفاوت از لایه نانوکامپوزیت (۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ نانومتر) رسم شده است که شیفت طول موج رزونانس و افزایش حساسیت با افزایش ضخامت لایه نانوکامپوزیت کاملا از روی نمودار مشهود است. حساسیت یک سنسور SPR در

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

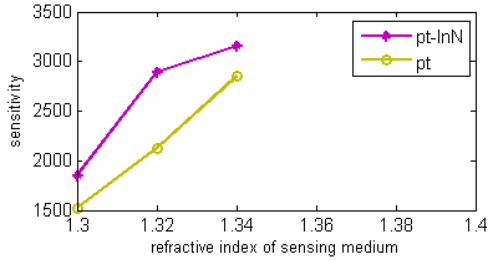
[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

بررسی طول موجی، بصورت تغییر در طول موج رزونانس بر تغییر در ضریب شکست محیط حساس تعریف می‌شود. مقایسه منحنی‌های توان عبوری نور فرودی بر حسب طول موج نشان می‌دهد که به ازای ضخامت نانوکامپوزیت ۵۰ نانومتر و درصد حجمی نانوذرات ۰/۹۵، سنسور فیبر نوری بهترین حساسیت را نشان می‌دهد.



شکل ۲: توان عبوری برحسب طول موج (الف) به ازای کسر حجمی مختلف و ضخامت ۵۰ نانومتر(ب) به ازای ضخامتهای مختلف و درصد حجمی ۰/۸۵

در شکل۳ ، حساسیت سنسور فیبر نوری حاوی لایه پلاتین و حساسیت سنسور فیبر نوری شامل لایه نانوکامپوزیت Pt-InN بر حسب ضریب شکست محیط حساس رسم شده و مقایسه شده است که نشان می-دهد حساسیت سنسور فیبر نوری با لایه نانوکامپوزیت به ازای تمامی ضریب شکست‌ها بیشتر از سنسور فیبر نوری پوشش داده شده با لایه پلاتین است. سنسورهای SPR حاوی لایه های فلزی از جنس طلا، نقره، آلومینیوم و مس یا حاوی نانو کامپوزیت شامل نانو ذرات فلزات نامبرده، معمولا دارای طول موج تشدیدی در محدوده ۳۰۰ تا ۶۰۰ نانومتر بوده ولی سنسور SPR حاوی لایه فلزی پلاتین یا نانوکامپوزیت شامل نانوذرات پلاتین طول موج تشدیدی سنسور در محدوده ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر بوده و در مقابل، حساسیت این سنسور SPR دارای پلاتین، حداقل یک مرتبه مقداری بیشتر از سنسور SPR حاوی سایر فلزات است.



شکل۳: مقایسه حساسیت بر حسب ضریب شکست محیط حساس برای لایه پلاتین (Pt) و لایه نانوکامپوزیت Pt-InN.

۴- نتیجه‌گیری

یک سنسور فیبر نوری مبتنی بر SPR پیشنهاد شد که از لایه نانوکامپوزیت Pt-InN برای تولید اثرات پلاسمونی در آن استفاده شده است. تاثیر کسر حجمی نانوذرات پلاتین و ضخامت لایه نانوکامپوزیت بر حساسیت سنسور بررسی شده است. همچنین نشان داده شد که حساسیت سنسور فیبر نوری با لایه نانوکامپوزیت به ازای تمامی ضریب شکست‌ها بیشتر از سنسور فیبر نوری پوشش داده شده با لایه پلاتین است.

۵- مراجع

[1] B. Liedberg, C. Nylander, and I. Lunström, “Surface plasmon resonance for gas detection and biosensing” Sensors and actuators, vol. 4, pp. 299–304, 1983.

[2] S. Singh and B. D. Gupta, “Simulation of a surface plasmon resonance-based fiber-optic sensor for gas sensing in visible range using films of nanocomposites,” Meas. Sci. Technol., vol. 21, no. 11, p. 115202, 2010.

[3] P. Bhatia and B. D. Gupta, "Surface-plasmon-resonance-based fiber-optic refractive index sensor: sensitivity enhancement," Appl. optics 50, no. 14 pp:2032-2036, (2011).

[4] J. Homola, “Optical fiber sensor based on surface plasmon excitation,” Sensors actuators B Chem., vol. 29, no. 1, pp. 401–405, 1995.

[5] M. Rani, S. Shukla, K. Sharma and V. Sajal, “Theoretical study of nanocomposites based fiber optic SPR sensor”Opt. Comm. 313, pp.303–314, 2014.

[6] S. Shukla, K. Sharma and V. Sajal, “Sensitivity enhancement of a surface plasmon resonance based fiber optic sensor using ZnO thin film: a theoretical study” Sensors actuators B Chem., vol. 206, pp. 463–470, 2015.

[7] S. Shukla, M. Rani, K. Sharma and V. Sajal, “Sensitivity enhancement of a surface plasmon resonance based fiber optic sensor utilizing platinum layer” Optik, 126, pp. 4636-4639, 2015.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]