



بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹



کد مقاله : ۱-۲۵۹۷-۱۰-A

بررسی عملکرد حسگر فیبری بر پایه تشدید پلاسمون سطحی با پوششی از نانوذرات طلا و اکسید تلوریم

پریسا اسمعیلی دستجردی پور، فاطمه شهشهانی

esmaili.parisa.24@gmail.com, f_shahshahani@alzahra.ac.ir

چکیده - در این مقاله عملکرد یک حسگر فیبر نوری بر پایه تشدید پلاسمون‌های سطحی با پوشش نانو ذرات طلا و اکسید تلوریم به صورت تئوری مورد بررسی قرار گرفت. در این ساختار قسمتی از غلاف فیبر تک مد برداشته شده و با لایه ای از نانوذرات طلا و اکسید تلوریم جایگزین شد. طیف توان عبوری و حساسیت حسگر برای لایه ای با ضخامت ۵۰ نانومتر به ازای مقادیر مختلف فاکتور پر کنندگی حجم رسم شده است. براساس نتایج، تغییرات فاکتور پر کنندگی حجم با طول موج تشدید و حساسیت حسگر رابطه مستقیم دارد و با افزایش ضخامت لایه نانوساختار، طول موج تشدید افزایش می‌یابد. طبق نتایج به دست آمده، این قطعه حساسیت بالایی در محیط‌های آبی در طول موج مرئی (۶۰۰ نانومتر) از خود نشان می‌دهد. این محاسبات در محیط نرم افزار Wolfram Mathematica و با روش ماتریس انتقال انجام شده اند.

کلید واژه: تشدید پلاسمون سطحی، تلوریم اکسید، حسگر فیبر نوری، طلا، فاکتور پر کنندگی حجم

Investigation of fiber SPR sensor with nanostructure of gold and tellurium oxide

ParisaEsmailiDastjerdipour, FatemehShahshahani

esmaili.parisa.24@gmail.com, f_shahshahani@alzahra.ac.ir

Abstract-In this paper, the performance of a fiber optic sensor based on surface Plasmon resonance, coated with nanoparticles of gold and tellurium oxide was theoretically investigated. In this structure, part of the single-mode fiber clad was removed and replaced with a layer of gold and tellurium oxidenanoparticles. The spectrum of transmitted power and sensitivity of the sensor is plotted for a layer with a thickness of 50 nm for different values of volume filling factor. According to the results, the changes in the volume filling factor are directly related to the resonant wavelength and the sensitivity of the sensor, and the resonant wavelength increases with increasing the thickness of the nanostructure layer. According to the obtained results, this tool shows high sensitivity in aqueous media at visible wavelength (600 nm). These calculations were performed in Wolfram Mathematica software environment and by transfer matrix method.

Keywords: gold, optical fiber sensor, surface Plasmon resonance, tellurium oxide, volume filling factor

بدست آمده اختصاص یافته و در پایان نتیجه گیری کوتاهی ارائه شده است.

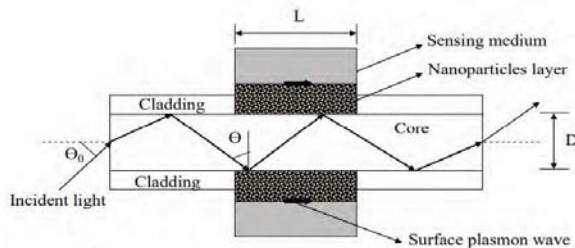
مقدمه

تشدید پلاسمون‌های سطحی (*SPR*) در قرن اخیر مورد توجه بسیار قرار گرفته است. یکی از دامنه‌های کاربردی تشدید پلاسمون‌های سطحی (*SPR*) در حوزه حسگری و به دست آوردن پارامترهای مربوط به محیط می‌باشد [۱].

نوسانات تشدید الکترونی‌های آزاد روی سطح فلزات یک موج الکترومغناطیس تولید می‌کند که مولفه‌ی مماسی آن در راستای موازی با سطح فلز منتشر می‌شود و موج پلاسمون سطحی نام دارد. این موج می‌تواند به وسیله‌ی موج میرای نور فرودی (که به صورت نمایی فروافت می‌کند) تحریک شود. در صورتی که فرکانس نور فرودی با فرکانس موج پلاسمون‌های سطحی یکسان باشد پدیده‌ی تشدید رخ می‌دهد که در این صورت در بیناب سیگنال خروجی یک فروافت شدید ایجاد می‌شود. روش حسگری با استفاده از تشدید پلاسمون‌های سطحی (*SPR*) به طور معمول با روش‌های متعددی امکان‌پذیر است. یکی از این روش‌ها استفاده از فیبر نوری به عنوان بستر انتشار نور می‌باشد [۲]. در این روش قسمت کوچکی از غلاف فیبر برداشته شده و با مواد فلزی جایگزین می‌گردد فلزاتی از قبیل طلا، نقره و مس از مواد معمولی هستند که در لایه‌ی نشانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما استفاده از این فلزات به تنهایی به دلیل اتلاف بالا، مقدار حساسیت حسگر را کاهش می‌دهد. تحقیقات نشان می‌دهد که در صورتی که به جای تک لایه‌ی فلزی از لایه‌های متشکل از نانو ذرات فلزات به همراه بعضی از مواد اکسیدی استفاده شود، عملکرد حسگر و حساسیت ساختار بهبود می‌یابد [۳]. در این مقاله عملکرد حسگر فیبر نوری برپایه تشدید پلاسمون سطحی و با پوشش نانو ساختار مرکب از طلا و تلوریم اکسید بصورت نظری بررسی شده است. در بخش دوم مقاله به مبانی نظری پژوهش پرداخته شده است. بخش سوم به بحث درباره نتایج عددی

مبانی نظری

در این تحقیق یک حسگر فیبر نوری با لایه‌ای از نانو ساختار مرکب از طلا و تلوریم اکسید مطابق شکل ۱ بررسی شده است. فیبر نوری مورد استفاده تک مد و با روزنه‌ی عددی ۰/۲۴ در نظر گرفته شده است [۴].



شکل ۱: طرحواره‌ای از حسگر فیبری مبتنی بر تشدید پلاسمون سطحی و لایه نانو کامپوزیت.

برای محاسبه‌ی ضریب انعکاس فرنل در این ساختار از رهیافت ماتریس انتقال استفاده شده است [۵] و [۶]. هسته‌ی فیبر نوری از سیلیکای ذوب شده تهیه شده که ضریب شکست آن از معادله زیر به دست می‌آید.

(۱)

در رابطه‌ی (۱)، λ طول موج نور بر حسب میکرومتر، کمیت‌های a و b با زیروندهای یک تا سه ضرایب *sellmier* نامیده می‌شوند. در ساختار مورد نظر، قسمتی از پوشش فیبر نوری برداشته شده و نانوساختار مرکب از طلا و تلوریم اکسید جایگزین شده است. ضریب دی‌الکتریک فلز طلا از مدل درود و لورنس از رابطه‌ی (۲) محاسبه می‌شود که در آن λ_p و λ_c به ترتیب طول موج‌های پلازما و برخورد می‌باشد.

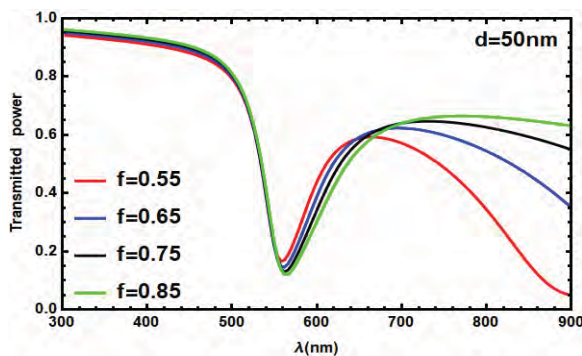
(۲)

(۷)

در روابط فوق L و D به ترتیب قطر فیبر نوری و طول محل پوشانده شده با لایه نانو ساختار مرکب است که در این پژوهش به ترتیب 600 میکرون و 15 میلیمتر در نظر گرفته شده است. کمیت n_{clad} ضریب شکست غلاف فیبر نوری است [۷] و [۸] و [۹].

نتایج عددی و بحث

در شکل ۲ طیف توان عبوری برای حسگری با یک لایه-ی نانو ساختار مرکب از طلا و اکسید تلوریم و با ضخامت 50 نانومتر و به ازای مقادیر مختلف فاکتور f نشان داده شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که با افزایش فاکتور f طول موج تشدید نیز افزایش می‌یابد. در شکل ۳ نمودار تغییرات طول موج تشدید بر حسب تغییرات جزئی ضریب شکست محیط آزمون به ازای مقادیر مختلف ضخامت لایه‌ی نانو ساختار و به ازای $f=0.85$ رسم شده است و مشاهده می‌شود که با افزایش ضخامت لایه، طول موج تشدید افزایش می‌یابد. شکل ۴ نمودار تغییرات حساسیت حسگر را بر حسب تغییرات فاکتور f نمایش می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که با افزایش فاکتور f حساسیت حسگر نیز افزایش می‌یابد. البته نتیجه‌گیری دقیق به محاسبه و بررسی بیشتری نیاز دارد که به دلیل طولانی شدن مقاله از بحث در این مقوله صرف نظر می‌شود.



شکل ۲: توان عبوری بر حسب طول موج (ضخامت لایه‌ی نانو ساختار مرکب 50 نانومتر است)

هم چنین ضریب شکست اکسید تلوریم از رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌شود. در رابطه طول موج بر حسب میکرومتر می‌باشد.

(۳)

ضریب دی الکتریک موثر نانو ساختار مرکب از رابطه (۴) محاسبه می‌شود [۵].

(۴)

در رابطه‌ی فوق ϵ_1 و ϵ_2 به ترتیب ضرایب دی الکتریک طلا و تلوریم اکسید می‌باشد و کمیت f فاکتور پرکنندگی حجم نام دارد. محیطی که اطراف حسگر را احاطه کرده است، محیط آزمون نامیده و حساسیت حسگر نسبت به تغییرات ضریب شکست آن بررسی می‌شود. حساسیت حسگر به صورت نسبت تغییرات طول موج تشدید به تغییرات ضریب شکست محیط آزمون تعریف می‌شود. حد تشخیص حسگر (LOD) به صورت حاصل ضرب عکس حساسیت در کوچکترین بازه‌ی طول موجی قابل تشخیص توسط حسگر تعریف می‌گردد. در این مقاله محیط آزمون آب و با ضریب شکست 1.33 در نظر گرفته شده است. با محاسبه‌ی ضریب انعکاس فرنل با استفاده از روش ماتریسی توان اپتیکی عبوری را می‌توان با کمک رابطه (۵) محاسبه کرد:

(۵)

در رابطه‌ی فوق R ضریب انعکاس فرنل و N_{ref} تعداد انعکاس‌هایی است که نور در داخل فیبر انجام می‌دهد و θ_c زاویه بحرانی است. دو پارامتر اخیر از معادلات (۶) و (۷) قابل محاسبه هستند:

(۶)

تشدید و مقدار حساسیت حسگر موثر باشند. طول موج تشدید در این ساختار در محدوده‌ی نور دیدنی و در طول موج تقریبی ۶۰۰ نانومتر رخ می‌دهد.

منابع

[۱] افزایش حساسیت سنسور فیبرنوری مبتنی بر تشدید پلاسمونهای سطحی با استفاده از نانوکامپوزیت حاوی نانو ذرات پلاتین، غظنفری الحام، واحد حمید، بیست و سومین همایش اپتیک و فوتونیک ایران ۱۳۹۵

[۲] بررسی رفتار حسگر فیبر نوری مبتنی بر تشدید پلاسمون سطحی نسبت به تغییرات ضخامت لایه فلزی و ضریب شکست محیط خارجی، ویسی هاوری، اشرفگنجوی علیرضا، سدیدیان مهدی، هجدهمین همایش اپتیک و فوتونیک ایران

[3] Anuj, K.S. and Gupta, B.D., "Absorption-based fiber optic surface plasmon resonance sensor: a theoretical evaluation", *Sensors and Actuators B*, 100, 423-431 (2004).

[4] K.-S. Lee and M. A. El-Sayed, "Gold and silver nanoparticles in sensing and imaging: Sensitivity of plasmon response to size, shape, and metal composition," *J. Phys. Chem. B*, vol. 110, no. 39, pp. 19220-19225, Oct. 2006.

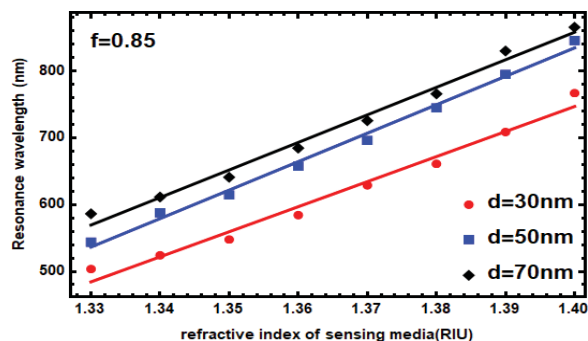
[5] M.Rani, S.Shukla, N.K. Sharma, and V.Sajal, "Theoretical study of nanocomposites based fiber optic SPR sensor", *J.elsevier*.303-314.Oct.2013.

[6] W. Li, A. Zhang, Q. Cheng, C. Sun, and Y. Li, "Theoretical analysis on SPR based optical fiber refractive index sensor with resonance wavelength covering communication C+L band," *J.elsevier*. 164-696, Apr.2020.

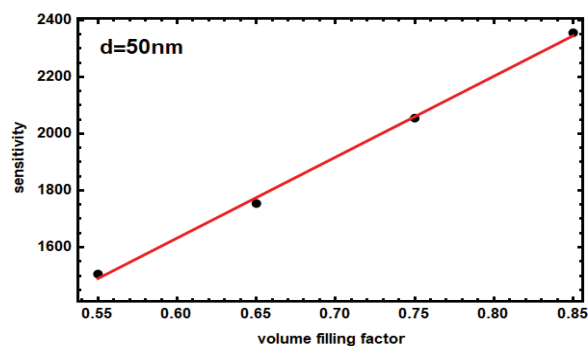
[7] X. Wang, X. Bai, Z. Pang, J. Zhu, Y. Wu, H. Yang, Y. Qi, and X. Wen, "Surface-enhanced Raman scattering by composite structure of gold nanocube-PMMA-gold film," *Opt. Mater. Express* 9(4), 1872-1881 (2019).

[8] T. Endo, S. Yamamura, N. Nagatani, Y. Morita, Y. Takamura, and E. Tamiya, "Localized surface plasmon resonance based optical biosensor using surface modified nanoparticle layer for label-free monitoring of antigen-antibody reaction," *Sci. Technol. Adv. Mater.*, vol. 6, no. 5, pp. 491-500, Jul. 2005.

[9] Sepulveda, B., Carrascosa, L.G., Regators, D., Otte, M.A., Farina, D. and Lechuga, L.M., "Surface plasmon resonance biosensors for highly sensitive detection in real samples", *Proc.SPIE*7397,73970Y(2009).



شکل ۳: نمودار طول موج تشدید بر حسب تغییرات جزئی ضریب شکست محیط آزمون



شکل ۴: نمودار حساسیت بر حسب فاکتور f

جدول زیر خلاصه ای از نتایج را نشان می‌دهد.

جدول ۱- پارامترهای مربوط به حسگر برای ضخامت ۵۰ نانومتر

فاکتور پرکنندگی حجم	۰/۵۵	۰/۶۵	۰/۷۵	۰/۸۵
طول موج تشدید (nm)	۵۵۹/۴۹	۵۶۱/۷۵	۵۶۲/۸۹	۵۶۴/۰۲
حساسیت (nm/RIU)	۱۵۰۵/۶	۱۷۵۴/۱	۲۰۵۴/۹	۲۳۵۵/۵

نتیجه‌گیری

در این پژوهش حسگر فیبر نوری بر پایه تشدید پلاسمونهای سطحی با استفاده از یک لایه‌ی نانوساختار مرکب از طلا و تلوریم اکسید بررسی شد و در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که این ساختار می‌تواند حساسیت نسبتاً بالایی را برای محیط‌هایی مانند آب و یا حتی محلول‌های آبی با تغییرات جزئی در ضریب شکست از خود نشان دهد. عواملی از جمله ضخامت لایه و فاکتور پرکنندگی حجم می‌توانند در طول موج