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 : ۱-۱۹۹۳-۱۰-A

طراحی و ساخت حسگر فیبر نوری نازک شده برای آشکارسازی دی متیل متیل فسفات

مصیب اعرفی[۱]، علی ریاحی[۱و۲]، جواد خلیل‌زاده[۱]، محمد واحدی[۲] و بزرگمهر مداح[۳]

۱- مرکز اپتیک و لیزر دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۲-دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

۳-مرکز شیمی دانشگاه جامع امام حسین (ع)

چکیده- برای شناسایی مواد شیمیایی روش‌های متعددی وجود دارد. حسگر تارنوری نازک‌شده ازجدیدترین روش‌ها برای این منظور به حساب می‌آید. این حسگر به‌دلیل زمان پاسخ کوتاه، دقت بالا در غلظت‌های بسیار پایین و بازگشت‌پذیری مناسب در عمل گزینه بسیار مطمئن و مناسب برای مناطق حساس می‌باشد. این حسگرها را می‌توان در ابعاد کوچک ساخت که قابلیت پرتابل بودن را داشته باشد و به‌سرعت راه‌اندازی شود.در این مقاله نتایج ساخت و بررسی عملکرد بهینه حسگر فیبر نوری نازک شده برای شناسایی دی متیل متیل فسفات (DMMP)، با استفاده از لایه‌نشانی لایه‌جاذب پلی پیرول با روش رسوب درجا گزارش شده است. بعد از بررسی ضخامت بهینه لایه‌نشانی، تاثیر پارامترهای هندسی اعم از قطر و طول ناحیه نازک شده حساسیت حسگر مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژه: حسگر، تارنوری نازک‌شده، DMMP، لایه‌نشانی رسوب درجا.

Design and fabrication of a tapered fiber optic sensor for the detection of dimethyl methyl phosphate

M.Aarefi[1], A. Riahi[1, 2], J. Khalilzadeh[1*], M. Vahedi[2], B. Mddah[3]

Optics and Laser Research Center, Imam Hossein University, Tehran, Iran[1]

[2].Physics department, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Chemistry Research Center, Imam Hossein University, Tehran, Iran[3]

Abstract- There are several methods for detecting chemicals., The taperedfiber optic sensorsis one of the newestmethods for this porpose. This sensor is a very safe and suitable option due to its short response time,highsensitivity, high accuracy at very low concentrations and good reversibility.These sensors can be made in small dimensions that have the ability to be portable and set up quickly. In this paper, the results of fabrication and optimal function of the tapered fiber optic sensor for detection of dimethyl methyl phosphate (DMMP) is reported.We usedpolypyrrole adsorption layer on tapered zone,and deposited itby in situ method. After examining the thickness, the effect of the geometrical parameters of the sensor including tapered diameter and tapered length on the sensitivity is investigated.

Keywords: sensor, tapered fiber optic, DMMP, in situ deposition method.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

مقدمه

تارهای نوری ابزار انتقال بسیار مهمی برای سیستم‌های ارتباط نوری تا مسافت‌های طولانی و با ظرفیت زیادهستند. با پیشرفت‌های انجام شده در حوزه تار نوری، ساخت حسگر با آن به‌دلیل مزایایی ازجمله دقت اندازه‌گیری، زمان پاسخ کوتاه و مصونیت در برابر تداخلات الکترومغناطیسی، در حال گسترش است. از انواع حسگرهای ساخته شده با تار نوری در صنعت، لرزه‌نگاری و هواشناسی، محافظت از اماکن امنیتی، صنعت هواپیما، ساخت موشک، ماهواره، شناسایی و آنالیز مواد معدنی و شیمیایی و... کاربردهای متنوعی قابل ذکر است[۱].

شناسایی مواد شیمیایی، به‌دلیل پرخطر بودن و امکان انتشار، مستلزم زمان اندازه‌کیری است. یکی از سریع‌ترین روش‌های تشخیص مواد شیمیایی، استفاده از حسگر تارنوری است، که دارای ساختارهای متفاوت است. یکی از آن‌ها، حسگرتارنوری نازک‌شده با حساسیت بالا و تشخیص سریع ماده مجهول، است.برای استفاده از تارنوری به‌عنوان یک حسگر نیاز به تغییرات در هندسه تاراست که بتوان برهم‌کنش نور با محیط خارجی را ایجاد نمود. اساس کار حسگر تارنوری نازک‌شده،مبتنی بر میدان میرا است.زمانی که در مرز هسته-غلاف تار نوری بازتابش کلی رخ می‌دهد،مقداری از موج الکترومغناطیسی به داخل غلاف تونل می‌زند که آن را اصطلاحاً میدان میراشونده می‌نامند.

بعد از فرآیند نازک‌سازی، لایه جاذب ماده مورد نظر روی قسمت نازک شده لایه‌نشانی می‌شود. وقتی که نور به سطح غلاف می-رسد می‌تواند تحت تاثیر این لایه قرار بگیرد. نور بعد از برخورد به لایه جاذب و بازتاب از آن، حاوی اطلاعاتی است که می‌توان با تحلیل آن از وجود یا عدم وجود ماده مورد نظر در محیط مطلع شد.

با آنالیز شدت نور خروجی نسبت به ورودی، می‌توان ویژگی‌های میدان میرا و ازآن‌جا مشخصات (نوع و مقدار) ماده خارجی را به-دست‌آورد. حسگرهای میدان‌میرای تارنازک‌شده به‌دلیل حساسیت و عمق نفوذ بالا، ابعاد کوچک و وزن اندک توجهات زیادی را به خود جلب کرده است. از این حسگر می‌توانند شناسایی عوامل بیولوژیکی، عوامل شیمیایی و نیز گازهای بی‌بو و بی‌رنگ، که حتی درصد کمی از آن در محیط هم می‌تواند خطرآفرین باشد، استفاده کرد [۲ و ۳].

از سال ۲۰۰۲ میلادی درباره لایه‌جاذب شبه عوامل شیمیایی پژوهش‌هایی صورت گرفته است [۴]. اولین گروهی که لایه‌جاذب DMMPرا بررسی نمود، گروه زیمرمان بود که لایه‌جاذب DMMP بر پایهٔ SiO_2را لایه‌نشانی کرد و جذب نسبتاً خوبی را گزارش داد.این کار آشکارسازی غلظت‌های پایین (۲ppm-۲) با زمان پاسخ بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ ثانیه داشته است[۵].در سال۲۰۰۶ گروه بنسال، با لایه‌نشانی پلی‌پیرول، روی تار نازک‌شده (که به روش غوطه‌وری در اسید، غلاف را حذف نمودند) توانست، بخار DMMPبا غلظت ۱۳۵ppm، را در عرض چند ثانیه تشخیص دهد[۶]. همین گروه در سال ۲۰۰۷، HCL، NDSAو ASQAرا بطورجداگانه به پلی‌پیرولافزوده، و خواص حسگری را برای هر کدام بررسی کرد. از روش لایه‌نشانی رسوب‌درجا استفاده کرده حد تشخیص پلی‌پیرول آلاییده بهHCL و NDSA برای بخار DMMPرا حدود ppm ۴۰-۲۶، زمان پاسخ را حدود ۱۵s-۷ با درصد خطای بسیار پایین‌تری را نسبت به پلی‌پیرول خالص گزارش کرد. این لایه‌جاذب، قدرت تفکیک بالایی نسبت به دیگر مواد آلی از جمله، استون، اتانول، متانول و آب را دارد[۷]. در سال ۲۰۱۲ گروه وی‌لی، لایه جاذب فلئوروپلیمر را برای DMMPبررسی کرد که روی کوارتز لایه‌نشانی شده بود. این حسگر QCM با این لایه‌نشانی، حد تشخیص حدود ppb ۱۲۰و زمان پاسخی حدود ۲ دقیقه داشت [۹]. گروه پائولینا در سال ۲۰۱۶، لایه‌جاذب‌های متفاوتی را معرفی کردند که به روش کندوپاش (اسپاترینگ) روی کوارتز لایه‌نشانی کردند. حد تشخیص این حسگر در دمای اتاق ppm ۶۰ و زمان پاسخ آن ۳۰- ۱۵ ثانیه بود[۱۰].

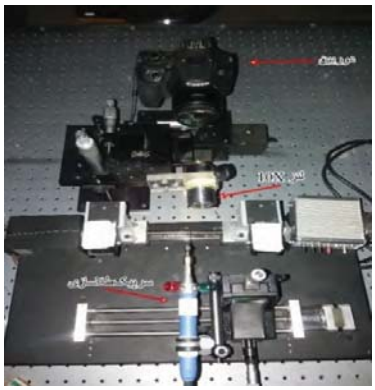
برای طراحی حسگر تار نوری نازک شده با حساسیت مناسب، باید هندسه تار نوری شامل قطر و زاویه نازک‌شده تنظیم شود. تلاش‌های بسیاری برای مطالعه تأثیر این کمیات صورت گرفته است [۳-۱].

در این کار پژوهشی، از روش گرما-کشش برای ساخت حسگر تار نوری نازک شده استفاده شده است. در این روش از یک سیستم موتورایز، طراحی و ساخته شده توسط این گروه، جهت ساخت این حسگر استفاده شد.لایه جاذب پلی‌پیرول برای شناسایی دی-متیل‌متیل‌فسفات مورد استفاده قرار گرفته و بعد از بررسی ضخامت بهینه لایه نشانی،تاثیر هم‌زمان قطر و طول ناحیه نازک شده روی حساسیت حسگر مورد بررسی قرار گرفت.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

نازک‌سازی تار نوری به روش گرما کششی

در فرآیند بخشی از تار تا نزدیک نقطه‌ذوب گرم می‌شود. در این حالت با اعمال کشش به یک سر یا دو سر تارقسمت خمیر شده آن باریک می‌شود شکل ۱ تصویری از ابزار ساخت تار نازک‌شده با استفاده از شعله هوا-گاز را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نحوه ساخت تار نوری باریک شده با استفاده از شعله بوتان-اکسیژن [۲].

تارنوری توسط گیره‌های مغناطیسی، روی دستگاه کشش تار نوری نگه‌داشته می‌شود. بر روی این آهنربا تار محکم نگه داشته می‌شود. با حرکت دادن شعله ترکیب گاز بوتان و اکسیژن با استفاده از یک موتورپله‌ای،تاربه نقطه تخمیر می‌رسد (علت استفاده از اکسیژن، بالا بردن دمای شعله و تیز کردن آن است که حرارت تا حد امکان به‌طور جایگزیده روی تار اثر کند). توسط یک دستگاه کشش تار نوری که دارای دو موتور پله‌ای است،تار از دو طرف کشیده می‌شود. بعد از گرم شدن تار نوری، ویسکوزیته آن کاهش یافته و به‌علت نیروی کششی ایجادشده توسط موتورها از دو طرف، تارنازک می‌شود.تار انتخاب شده دارای هسته با قطرμm۹ و ضریب‌شکست ۱/۴۶و غلاف با قطر μm ۱۲۵ و ضریب‌شکست ۱/۴۵۳ می‌باشد.

لایه نشانی و برپایی چیدمان آزمایش

با توجه به بررسی‌های انجام شده و شرایط آزمایشگاهی موجود، بهترین لایه‌جاذب (پلی پیرول) انتخاب گردید. فاز ماده نمونه که قرار است برای آن حسگر ساخته شود، مایع بود. با توجه به اینکه در این فاز، آب دیونیزه و دیگر مایعات به‌عنوان حلال با حسگر تارنوری نازک‌شده ارتباط مستقیم دارند باید لایه‌ای انتخاب نمود که خاصیت آب‌گریزی داشته باشد، معمولاً پلیمرها از این دسته هستند.

به دلیل این‌که لایه‌جاذب تقریباً به‌صورت متقارن روی سطح ناحیه نازک‌شده لایه‌نشانی می‌شود، لایه‌نشانی به روش رسوب-درجا، مناسب‌ترین روش است. در این روش،ابتدا باید محلول-های لایه‌جاذب (در یک بشر آب دیونیزه به‌علاوه پیرول و در یک بشر $FeCl_3$ به‌علاوه HCl) را تهیه نموده و سپس فرآیند لایه-نشانی این لایه‌جاذب روی فیبر را به ترتیب زیر انجام داد.

۱- ۱۰میلی‌لیتر آب دیونیزه در یک بالن کوچک ریخته و سپس ۰/۰۶ میلی‌لیتر پیرول به آن اضافه می‌گردد ۲- جهت رسیدن به محلولی یکنواخت، بالن به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه التراسونیک قرار داده می‌شود ۳-۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه در یک بالن کوچک ریخته شده و ۰/۳۵ گرم $FeCl_3$ به آن اضافه می-شود. محلول به‌دست آمده هم زده شده و در ادامه ۱ مول HCl (معادل با ۰/۱ میلی‌لیتر) نیز در ادامه به آن اضافه می‌شود ۴- فیبر نوری نازک‌شده (که با پایه‌های پلکسی ثابت شده) در محفظه مخصوص لایه‌نشانی جاگذاری شده و محلول‌های لایه-جاذب به صورت جداگانه و به‌ترتیب در هر شیار اضافه می‌گردد. مجموعه به‌مدت معینی در دستگاه شیکر قرار داده می‌شود. ۶- بعد از انجام لایه‌نشانی هر فیبر (که در شیاری جدا قرار دارد) محلول لایه جاذب تخلیه می‌شود.

اندازه‌گیری‌های تجربی با استفاده از دیود سوپرلومینسانس (SLD) مدل SLD-1550S-A40 و دستگاه تحلیلگر طیف‌نوری (OSA) مدل 203B (با دقت pm ۱) هر دو از شرکت Thorlabs (شکل۲) انجام شد.

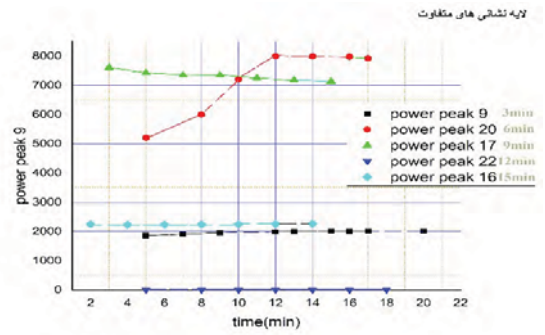
نتایج و بحث

بعد از نازک‌سازی تار نوری با قطر و طول‌نازک‌سازی معین، ۵ عدد تارنوری نازک‌شده، که همگی تقریباً دارای قطر و طول نازک‌شده یکسان (قطر μm۳۲ و طول mm۲۵) بودند در مدت زمان متفاوت (۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ دقیقه) لایه‌نشانی شدند. پس از بررسی نمودارهای تغییرات توانی حسگرها (شکل۳)، معلوم شد که بهترین زمان لایه‌نشانی، ۶ دقیقه است (با ضخامت تقریبی nm ۳۰۰) که علاوه بر حساسیت بسیار بیشتر به DMMPنسبت به دیگر حسگرها، درصد تغییراتش هم بیشتر از سایرحسگرها است.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

شکل۲: چیدمان آزمایش

بعد از انتخاب ضخامت بهینه لایه‌جاذب تاثیر مشخصات هندسی فیبر نازک شده اعم از قطر و طول ناحیه نازک شده مورد بررسی قرار گرفت (جدول۱). با کاهش قطرِ نازک‌شدگی، به‌دلیل افزایش عمق نفوذ در لایه جاذب و تاثیر بیشتر تغییر ضریب‌شکست این لایه،حساسیت افزایش می‌یابد. این بدان‌جهت است که توان جفت‌شده به مد اصلی تارنوری کاهش و به مد دوم افزایش و در نتیجه شدت میدان میرای خارج از تارنوری کاهش می‌یابد که در نهایت درصد تغییرات (حساسیت) برای قطرهای بزرگتر نازک-شدگی کاهش می‌یابد.



شکل۳: نمودار توان - زمان حسگرهای با زمان لایه‌نشانی متفاوت.

جدول۱: مقایسه قطر نازک‌شدگی

طول‌نازک سازی (mm)	قطر نازک‌شده (µm)	**ضخامت لایه‌نشانی (nm)**	درصد تغییرات **(حساسیت)**
۱۸	۵۵	۳۰۰	۰/۰۰۵
۱۷	۳۲	۳۰۰	۰/۰۲۸

بعد از بررسی تاثیر قطر نازک‌شدگیبر حساسیت، تاثیر طول نازک‌شدگی نیز مورد بررسی قرار گرفت. مطابق جدول ۲ مشاهده می‌شود هرچه طول ناحیه نازک‌شده بیشتر باشدحساسیت حسگر بالا می‌رود؛ چون سطح مقطع اندرکنش افزایش می‌یابد.

جدول۲: مقایسه طول ناحیه نازک شده

طول‌نازک‌سازی (mm)	**قطر نازک‌شده (µm)**	ضخامت لایه-نشانی (nm)	**درصد تغییرات (حساسیت)**
۲۸	۲۸	۳۰۰	۰/۱۲۵
۱۷	۳۲	۳۰۰	۰/۰۲۸

نتیجه‌گیری:

با لایه‌نشانی تارهای نوری نازک‌شده با مشخصات یکسان، بهترین ضخامت متناظر با زمان لایه‌نشانی ۶ دقیقه (با ضخامت تقریبی ۳۰۰ nm)بدست آمد. بعد از حصول ضخامت بهینه، تاثیر قطر و طول ناحیه نازک‌شده روی حساسیت نیز مشخص گردید که میزان نشت نور به محیط مجاور ناحیه نازک‌شده، با طول ناحیه رابطه مستقیم ولی با قطر ناحیه رابطه عکس دارد. اگر قطر ناحیه نازک‌شده کم باشد، نباید طول این ناحیه از یک حدی بیشتر شود، چراکه اتلاف نور عبوری از ناحیه نازک‌شده بیش از حد اتفاق می‌افتد. درنتیجه نور وقتی از ناحیه نازک‌شده عبور می‌کند، به‌طور فزاینده‌ای تلف می‌شود. علاوه‌براین می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش متناسب قطر و طول، هم حساسیت و هم پایداری حسگر افزایش می‌یابد و تاثیرناپذیری حسگر از عوامل خارجی تقویت می‌گردد.

مراجع

[1] Krohn, David A., Trevor MacDougall, and Alexis Mendez. Fiber optic sensors: fundamentals and applications. Bellingham, WA: Spie Press, 2014.
[2] Udd, Eric, and William B. Spillman Jr, eds. Fiber optic sensors: an introduction for engineers and scientists. John Wiley & Sons, 2011.
[3] Tabib-Azar, Massood, et al. "Highly sensitive hydrogen sensors using palladium coated fiber optics with exposed cores and evanescent field interactions." Sensors and actuators B: Chemical 56.1-2 (1999): 158-163.
[4] Abu-Qare, A. W., and M. B. Abou-Donia. "Sarin: health effects, metabolism, and methods of analysis." Food and Chemical Toxicology 40.10 (2002): 1327-1333.
[5] Zimmermann, Céline, et al. "Detection of GB and DMMP vapors by Love wave acoustic sensors using strong acidic fluoride polymers." IEEE Sensors Journal 4.4 (2004): 479-488.
[6] Bansal, Lalitkumar, and Mahmoud El-Sherif. "Intrinsic optical-fiber sensor for nerve agent sensing." Ieee Sensors Journal 5.4 (2005): 648-655.
[7] El-Sherif, Mahmoud, Lalitkumar Bansal, and Jianming Yuan. "Fiber optic sensors for detection of toxic and biological threats." Sensors 7.12 (2007): 3100-3118.
[8] Li, Wei, et al. "Determination of DMMP using a polymer coated QCM sensor." Advanced Materials Research. Vol. 542. Trans Tech Publications Ltd, 2012.
[9] [10] Powroźnik, Paulina, et al. "Study of sensing mechanisms in nerve agent sensors based on phthalocyanine-palladium structures." Procedia Engineering 168 (2016): 586-589.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.