

تهیه نانوذرات پنتاکسید تانتال به روش کندوسوز لیزری و طراحی نانوسنور به عنوان کاربرد آن

مریم یوسفی و محمدرضا حنطهزاده*

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه فیزیک، تهران، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۴۰۱/۰۴/۲۵، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۴۰۱/۰۷/۲۸، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۴۰۱/۰۸/۱۱

چکیده

در این مطالعه، نانوذرات پنتاکسید تانتال به روش کندوسوز لیزری تولید شدند و سپس توسط SEM، پراکندگی دینامیکی نور، XRD، طیف سنجی پراکندگی انرژی اشعه X، FTIR، طیف سنجی رامان، طیف سنجی فوتولومینسانس آنالیز شدند. اندازه متوسط نانوذرات پنتاکسید تانتالوم برای نمونه سنتز شده ۱۲۳ nm بدست آمد. بعد از مقایسه اندازه نانوذرات توسط آنالیزهای DLS و TEM به این نتیجه می‌رسیم که اندازه نانوذرات از آنالیز TEM بسیار کوچکتر از اندازه گیری شعاع هیدرودینامیکی توسط آنالیز DLS است. تجزیه و تحلیل XRD تایید کرد نانوذرات Ta₂O₅ در فرآیند کندوسوز لیزری در آب دیونیزه تشکیل شدند و تنها قله مشاهده شده مربوط به ساختار اورتورومبیک Ta₂O₅ با شاخص میلر ۱۱۰ است. در آنالیز FESEM، تعداد زیادی از نانوذرات با اندازه‌های مختلف که به هم چسبیده‌اند نشان داده می‌شود. آنالیز EDX نشان داد که قله‌های مربوط به عناصر تانتالوم و اکسیژن به وضوح دیده شده است. گروه‌های عملکردی روی سطح نانوذرات را توسط آنالیزهای FTIR و Raman بررسی کردیم. با توجه به داده‌های FTIR و EDX، نتیجه می‌گیریم که نانوذرات Ta₂O₅ تولید شده‌اند. سه قله متمایز در ۳۰۰، ۴۳۰ و ۵۲۰ nm^{-۱} منطبق با انتشار Ta₂O₅، بوسیله آنالیز PL نشان داده شد. علاوه بر این به عنوان کاربرد این نانوذرات، نانوسنور گازی با گریتینگ Ta₂O₅-گرافن، برای تشخیص گازها و بیومولکول‌های موجود در هوا طراحی شد و در شبیه‌سازی آن توسط نرم‌افزار Comsol Multiphysics نتایج قابل قبولی بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: نانوذرات پنتاکسید تانتال، کندوسوز لیزری، نانوسنور.

۱- مقدمه

[۱، ۲] تانتالوم (Ta)، یک فلز آبی-خاکستری کمیاب است که به عنوان یک آلیاژ جزئی در نظر گرفته می‌شود. تانتال به دلیل مقاومت بالای آن در خوردگی و بی‌اثری شیمیایی، در تجهیزات آزمایشگاهی، لایه‌های ضد بازتابی و همچنین در

نانوذرات به دلیل کاربردهای متنوع در حوزه‌های پزشکی، مهندسی، کشاورزی، عکاسی و ... همواره مورد توجه بوده‌اند

* عهده‌دار مکاتبات: محمدرضا حنطهزاده

نشانی: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه فیزیک، تهران، ایران

تلفن: ۰۲۱-۴۴۸۶۹۶۲۷، دورنگار: ۰۲۱-۴۴۸۶۹۶۲۵، پست الکترونیکی: hantehzadeh@hotmail.com

تولید نانوذرات با مورفولوژی منحصر بفرد و اندازه کنترل شده است [۱۴، ۱۵].

هدف از این مطالعه تولید نانوذرات پنتاکسید تانتالوم با استفاده از روش کندوسوز لیزری پالس خواهد بود. در این پژوهش هدف تانتال غوطه‌ور در آب دیونیزه شده مورد تابش لیزر پالسی قرار می‌گیرد و میدان الکتریکی نیز عمود بر این سیستم اعمال می‌گردد. سپس بررسی ویژگی‌های ساختاری و نوری نانوذرات انجام می‌شود. به عنوان کاربرد این نانوذرات، نانوسنور گازی با گریتنینگ Ta₂O₅-گرافن، برای تشخیص گازها و بیومولکول‌های موجود در هوا طراحی و شبیه‌سازی می‌شود.

۲- فعالیت‌های تجربی

در این پژوهش، نانوذرات تانتال، توسط تکنیک لیزر ابلیشن پالسی در حضور میدان الکتریکی ساخته شدند. فرآیند آزمایش به این صورت است که در ابتدا ورق تانتالوم با یک کاغذ سنباده ۱۵۰۰ درجه جلا داده شد، بعد از آن با اتانول و آب مقطر در حمام التراسونیک به مدت ۲۰ min تمیز شد. هدف تانتالوم با ضخامت ۰/۵ mm و ۹۹/۹۵ درصد خلوص درون یک ظرف استوانه‌ای پیرکس که حاوی ۴۰ mL آب دیونیزه شده با عمق ۹ mm بالاتر از سطح هدف تانتالوم بود، قرار گرفت. سپس، هدف تانتال با استفاده از یک منبع لیزر نانوثانیه Nd:YAG مدل Q-PLUS تحت ابلیشن قرار گرفت. پهنای پالس، طول موج، نرخ تکرار و تعداد پالس‌های لیزری به ترتیب ۷ نانوثانیه، ۱۰۶۴ nm، ۵ Hz و Pulse ۳۰۰۰ است. انرژی لیزر ۱ J/cm² قرار داده شد. میدان الکتریکی بوسیله دو الکترود طلا (۲/۶ × ۲ cm²) با خلوص ۹۹/۹۹ درصد که به موازات هم و در دو طرف ظرف قرار داشتند، برقرار شد. طوری که میدان الکتریکی بر بیم لیزر عمود شد. فاصله دو الکترود ۱۵ mm بود و هدف تانتالوم در وسط آن‌ها قرار گرفت. میدان الکتریکی ۳۳ W/cm به الکترودهای Au اعمال گردید. عدسی با فاصله کانونی ۱۰۰

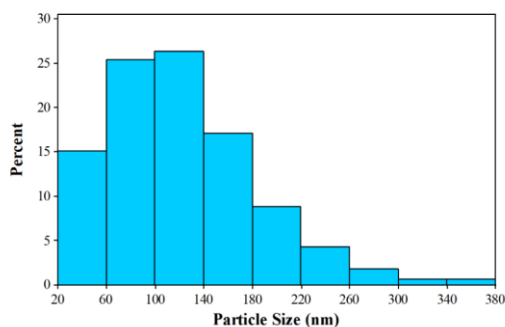
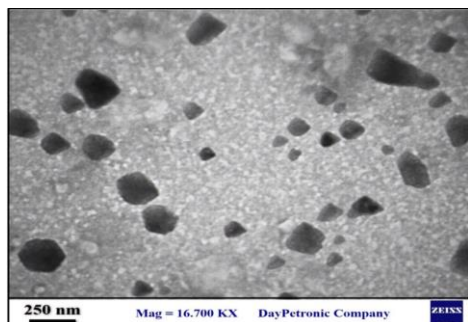
دستگاه‌های الکترونیکی به عنوان یک خازن، بطور گسترده‌ای بکار می‌رود [۳]. همچنین در سنسورهای گازی، دستگاه‌های حافظه دسترسی تصادفی پویا، فوتوکاتالیست‌ها، ایمپلنت‌های پزشکی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴-۶]. این عنصر، یک فلز نسوز با نقطه ذوب حدود ۳۰۰۰ °C است. این فلز دارای ضریب شکست بالا، ثابت دی الکتریک بالا و همچنین پایداری حرارتی بالا است. نانوذرات تانتالوم و نانوذرات طلا خواص مشابهی دارند در حالی که نانوذرات تانتالوم بسیار مقرون به صرفه‌تر هستند، بنابراین می‌توانند جایگزین خوبی برای طلا در ردیابی پیوندهای سلولی از طریق تصویربرداری مبتنی بر اشعه ایکس و داروهای احیا کننده برای برچسب گذاری باشند [۴، ۷].

کندوسوز لیزر پالسی در مایعات، یک روش سنتز مناسب برای تولید نانوذرات خالص است [۸]. از مزیت‌های آن می‌توان به آسان بودن، سادگی روش و پایداری نانوذرات در محلول کلئیدی اشاره کرد. علاوه بر این، این روش سنتز یک روش غیر آلوده و مقرون به صرفه برای تولید نانوذرات با اندازه کوچک است [۱]. در این فرآیند، لیزر پالسی بر روی یک هدف جامد غوطه‌ور در یک مایع می‌تابد. سپس، برهمکنش فوتون-اتم باعث گذار انرژی از الکترون‌های برانگیخته به شبکه کریستالی می‌شود که یک محیط بیش از حد گرم بوجود می‌آورد و باعث کنده شدن منطقه‌ای که توسط لیزر روشن شده است، می‌شود و فلز را در حلال تبخیر می‌کند و ستون پلاسما تشکیل می‌شود. پس در این تکنیک، تولید، تحول و جمع‌شدگی پلاسما تولید شده توسط لیزر رخ می‌دهد. محدودیت تقویت ستون پلاسما منجر به ایجاد هسته و سرانجام، رشد نانوذرات با بار الکتریکی می‌شود [۹]. روش کندوسوز لیزری در محیط مایع در حضور میدان‌های خارجی گوناگون از جمله میدان دمایی [۱۰]، میدان الکتریکی [۱۱]، میدان مغناطیسی [۱۲] و الکتروشیمیایی [۱۳]، به تازگی گسترش یافته است. روش کندوسوز لیزری به کمک میدان الکتریکی در مایعات، یک روش جدید برای

استفاده شد. از دستگاه مدل Zetasizer از شرکت Malvern انگلستان برای تحلیل‌های DLS استفاده شد. برای تهیه طیف فتولومینسانس PL طیف‌سنج Cary Eclipse Varia PL در دمای اتاق استفاده شد. نانوذرات Ta از طریق یک لامپ ازن در طول موج ۲۰۰ nm برای ثبت طیف فتولومینسانس برانگیخته شدند. برای آنالیز رامان، مدل XploRA-Plus ساخته شده توسط HORIBA در ژاپن استفاده شد که منبع برانگیختگی لیزر ۷۸۵ nm بود.

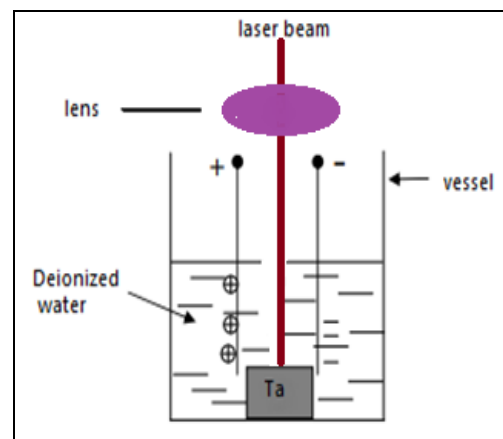
۳- نتایج و بحث

در این پژوهش، برای بررسی مورفولوژی و اندازه نانوذرات تانتال از آنالیز TEM استفاده شد. برای همین منظور یک قطره از نانوذرات تانتال را روی یک گرید مسی که توسط یک فیلم کربنی پوشش داده شده بود، قرار دادیم. نتیجه در شکل ۲ نشان داده شده است. نانوذرات تانتال، کروی هستند [۴]، میدان الکتریکی اعمال شده منجر به تغییر در مورفولوژی نانوذرات از حالت کروی به حالت‌های شش ضلعی و چهار ضلعی می‌شود (تصویر ۲ را ببینید) [۱۶].



شکل ۲: تصویر TEM و توزیع اندازه نانوذرات تانتال.

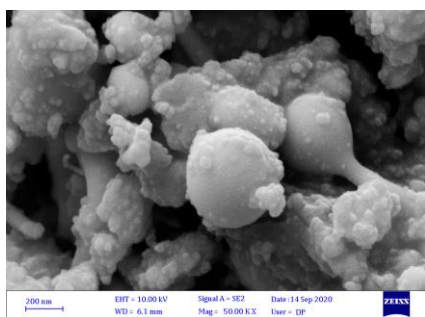
میلی‌متر باعث می‌شود تا پرتو لیزر بر روی یک نقطه از هدف تانتالوم متمرکز شود. اندازه لکه پرتو لیزر در سطح هدف ۶۰ μm بود. فرآیند ابلیش ۱۵ min به طول انجامید و هدف تانتالوم و آب دیونیزه شده در دمای اتاق نگهداری شدند. طرحواره آزمایش در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است. محلول کلئیدی قبل از تابش بی‌رنگ بود، در حالی که بعد از انجام آزمایش رنگ آن خاکستری شد.



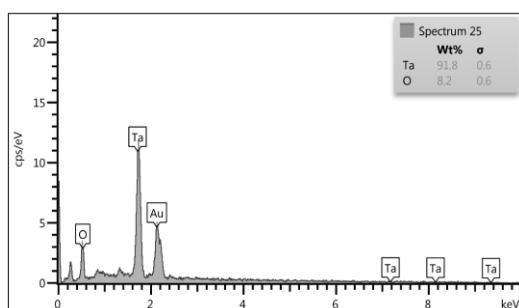
شکل ۱: طرحواره آزمایش لیزر ابلیش در حضور میدان الکتریکی.

برای بررسی ویژگی‌های نانوذرات تانتالوم، روش‌های میکروسکوپی و اسپکتروسکوپی مختلف انجام شد. آنالیز XRD توسط پراش پرتو ایکس TOE با تابش $\text{CuK}\alpha$ ، $\lambda = 1.54060 \text{ \AA}$ بدست آمد. برای آنالیزهای XRD و FESEM، سوسپانسیون به مدت ۷۲ ساعت در بستر سیلیکون خشک شد. تصاویر FESEM توسط میکروسکوپ شرکت ZEISS مدل Sigma VP گرفته شد. تصاویر TEM توسط دستگاه Zeiss-EM10C که در ۱۰۰ kV کار می‌کرد، و در آن سوسپانسیون تانتال بر روی یک گرید مسی، که تحت پوشش فیلم کربنی قرار داشت، گرفته شد. از نرم‌افزار اندازه‌گیری ریزساختار، برای اندازه‌گیری اندازه نانوذرات از روش محاسبه توزیع اندازه و میانگین اندازه بیش از ۵۰۰ نانوذره استفاده شد. آنالیز EDX توسط مدلی از شرکت England Oxford Instruments استفاده شد. برای آنالیز FTIR، دستگاه PerkinElmer در ناحیه $4000\text{--}400 \text{ cm}^{-1}$

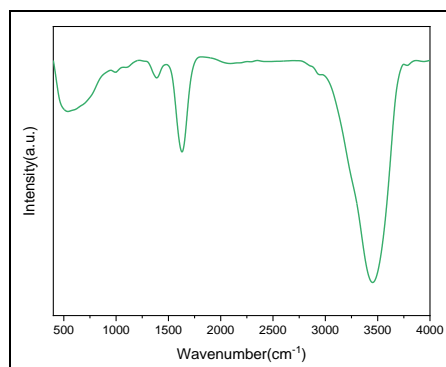
تنها قله XRD مشاهده شده در 29° مربوط به ساختار اورتورومبیک Ta_2O_5 با شاخص میلر ۱۱۰ است [۱۷] که نتیجه می‌دهد نانوذرات Ta_2O_5 در محلول در فرآیند لیزر ابلیشن، بر اساس داده‌های XRD تشکیل شدند. آنالیز FESEM، خواص مورفولوژی و پراکندگی نانوذرات را مورد مطالعه قرار می‌دهد. این تصویر، در شکل ۵ نشان داده شده است. تعداد زیادی از نانوذرات با اندازه‌های مختلف که به هم چسبیده‌اند نشان داده می‌شود. همچنین از جمع شدن ذرات ریز نانوذراتی در اندازه بزرگ وجود آمده است.



شکل ۵: تصویر FESEM از نانوذرات تانتال.

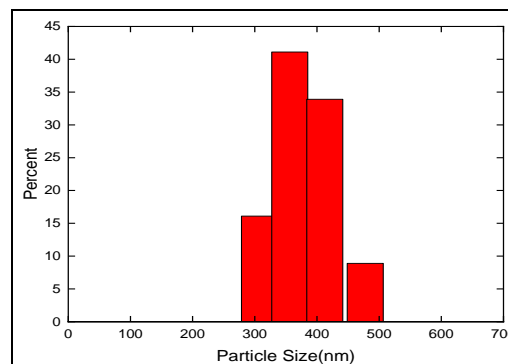


شکل ۶: طیف EDX نانوذرات تانتالوم.



شکل ۷: طیف FTIR نانوذرات تانتال.

هیستوگرام از نانوذرات از طریق محاسبه 500 ذره در تصاویر TEM بدست می‌آید، اندازه متوسط نانوذرات تانتالوم برای نمونه سنتز شده 123 nm بدست آمد.

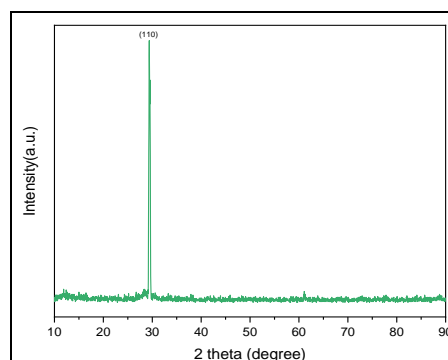


شکل ۳: محاسبه توزیع اندازه نانوذرات توسط آنالیز DLS.

اندازه ذرات همراه با شعاع پتانسیل الکترواستاتیکی احاطه شده آن معرف قطر هیدرودینامیکی برای ذرات با اندازه نانو است. توسط آنالیز DLS، اندازه گیری شعاع هیدرودینامیکی نانوذرات، قابل اندازه گیری است. شکل ۳ توزیع اندازه نانوذرات بدست آمده توسط آنالیز DLS را نمایش می‌دهد. بیشترین تعداد نانوذرات در شعاع 356 nm است.

بعد از مقایسه اندازه نانوذرات توسط آنالیزهای DLS و TEM، مشاهده می‌شود که اندازه نانوذرات از روش TEM بسیار کوچکتر از اندازه گیری شعاع هیدرودینامیکی توسط روش DLS است.

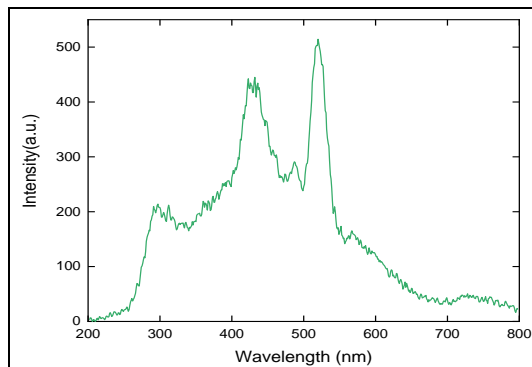
الگوهای XRD نانوذرات تانتال، برای بررسی ساختار بلوری آن‌ها، در محدوده 10° - 90° ، در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: الگو XRD نانوذرات تانتال.

روی سطح نانوذرات تانتال جذب می‌شوند را نشان می‌دهد. [۲۳]

آنالیز PL برای نانوذرات تانتال، در منطقه UV با طول موج برانگیختگی ۲۰۰ nm، اندازه‌گیری شد. شکل ۹ طیف PL نانوذرات تانتال را در دمای اتاق به تصویر می‌کشد. مشخص است که سطوح متعددی از نقص در ساختار نمونه و همچنین شکل‌گیری مناسب باندهای الکترونیکی وجود دارد. انتشار Ta_2O_5 در منطقه قابل مشاهده، سه قله متمایز در ۳۰۰ nm، ۴۳۰ و ۵۲۰ nm را نشان می‌دهد و می‌تواند به جای خالی O_2 در ساختار آن نسبت داده شود [۲۴] قله فتو لومینسانس در ۵۲۰ nm وجود دارد.



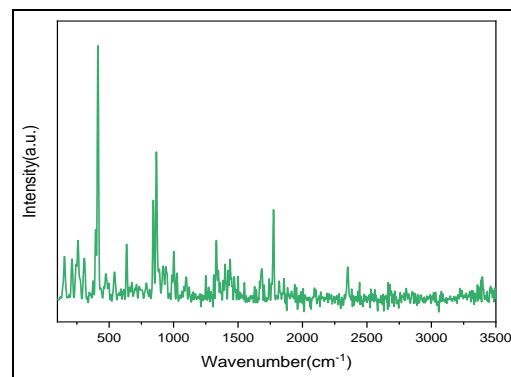
شکل ۹: طیف PL نانوذرات تانتالوم.

تعامل مولکول‌های زیستی با سطح یک سنسور پیشنهادی می‌تواند توسط بیوسنسورهای رزونانس پلاسمون سطحی نوری (SPR) کاوش شود که این سنسورها از یک موج الکترومغناطیسی عمودی به نام امواج پولاریتون پلاسمون سطحی استفاده می‌کنند.

اتصال بین یک فلز و یک دی الکتریک، محیط سنجش می‌شود، که در آن یک پولاریتون پلاسمون سطحی (SPP) می‌تواند گذر کند [۲۵، ۲۶]. بنابراین تغییر غلظت مولکول‌های زیستی و گازها در محیط سنجش بر مقدار ضریب شکست (RI) تأثیر می‌گذارد. بعد از آن، تکنیک بازتاب کل تشدید شده بطور نوری باعث تغییر ثابت انتشار پلاریتون پلاسمون

آنالیز FTIR برای مطالعه گروه‌های عملکردی بر روی سطح نانوذرات، انجام می‌شود. تعداد اتم‌های روی یک سطح می‌تواند بر لرزش طیف تأثیر بگذارد. طیف FTIR نانوذرات تانتال در شکل ۷ ارائه شده است. با توجه به جذب استاندارد IR، باند $1630/10\text{ cm}^{-1}$ مربوط به خمش ارتعاشی $\delta(O-H)$ بر روی نانوذرات تانتالوم است [۱۸].

مد کشش بین تانتالوم-اکسیژن $\nu(Ta-O \text{ and } Ta-O-Ta)$ باند $538/61\text{ cm}^{-1}$ را بوجود می‌آورد. گروه عملکردی آب دیونیزه شده که نانوذرات تانتالوم را محصور می‌کند در $3452/04\text{ cm}^{-1}$ (O-H stretching band) است [۱۹]. با توجه به عدم جذب برای TaO و Ta_2O_5 که مربوط به بازه $1000-800\text{ cm}^{-1}$ می‌شود [۲۰] و با توجه به داده‌های EDX، نتیجه می‌گیریم که نانوذرات Ta_2O_5 تولید شده‌اند.



شکل ۸: طیف رامان برای نانوذرات تانتالوم.

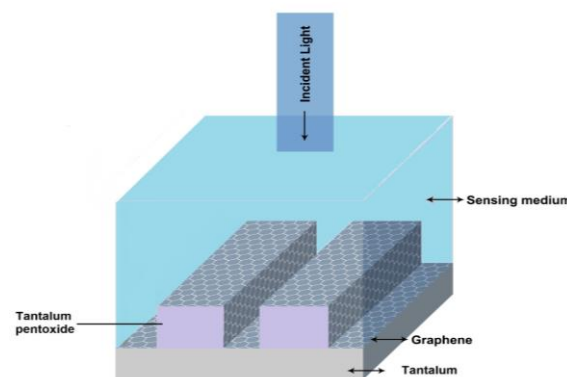
تصویر ۸ طیف رامان نانوذرات تانتال سنتز شده در محدوده 100 تا 3500 cm^{-1} را به تصویر کشیده است. باندهای مختلف با گونه‌های چسبنده در محلول همخوانی دارند، مدهای خمش $O-Ta-O$ ، باندهای $258/30$ و $412/70\text{ cm}^{-1}$ را بوجود می‌آورند [۲۱]. مدهای کشش برای پیوند تانتالوم-اکسیژن $\nu(Ta-O)$ در محدوده‌های $635/89$ و $866/45\text{ cm}^{-1}$ دیده می‌شوند که نشان می‌دهند گروه‌های عملکردی آب دیونیزه شده، نانوذرات تانتال سنتز شده را محصور می‌کنند [۲۲]. باند $1775/73\text{ cm}^{-1}$ ، حالت‌های خمش $H-O-H$ که بر

کاربرد این نانوذرات، نانوسنور گازی با گریتنینگ Ta_2O_5 -گرافن، برای تشخیص گازها و بیومولکولهای موجود در هوا طراحی و در شبیه‌سازی آن توسط نرم‌افزار Comsol Multiphysics نتایج قابل قبولی بدست آمد.

مراجع

- [1] S. Moniri, M.R. Hantehzadeh, M. Ghoranneviss, M. Asadi Asadabad, *Optical and Quantum Electronics*, **49**, 2017, 174.
- [2] S. Mornet, S. Vasseur, F. Grasset, E. Duguet, *Journal of Materials Chemistry*, **14**, 2004, 2161.
- [3] F. Azadi Kenari, S. Moniri, M.R. Hantehzadeh, D. Dorrani, M. Ghoranneviss, *Journal of Modern Optics*, **65**, 2017, 899.
- [4] S. Moniri, M. Ghoranneviss, M.R. Hantehzadeh, M. Asadi Asadabad, *Soft Materials*, **15**, 2017, 153.
- [5] B. Baruwati, R.S. Varma, *Crystal Growth and Design*, **10**, 2010, 3424.
- [6] E.V. Barmina, M. Barberoglu, V. Zorba, A.V. Simakin, E. Stratakis, K. Fotakis, G.A. Shafeev, *Quant. Electron*, **39**, 2009, 89.
- [7] G. Mohandas, N. Oskolkov, M.T. McMahon, P. Walczak, M. Janowski, *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, **74**, 2014, 188.
- [8] S. Moniri, M. Ghoranneviss, M.R. Hantehzadeh, M. Asadi Asadabad, *Bulletin of Materials Science*, **40**, 2017, 37.
- [9] G. Cristoforetti, E. Pitzalis, R. Spiniello, R. Ishak, M. Muniz-Miranda, *Journal of Physical Chemistry C*, **115**, 2011, 5073.
- [10] J. Xiao, P. Liu, Y. Liang, H.B. Li, G.W. Yang, *Journal of Applied Physics*, **114**, 2013, 73513.
- [11] X.Z. Lin, P. Liu, J.M. Yu, G.W. Yang, *J Phys Chem C*, **113**, 2009, 17543.
- [12] Y. Liang, P. Liu, J. Xiao, H.B. Li, C.X. Wang, G.W. Yang, *Laser Phys. Lett.*, **11**, 2014, 56001.
- [13] Y. Liang, P. Liu, H.B. Li, G.W. Yang, *Cryst. Eng. Comm*, **14**, 2012, 3291.
- [14] S. Moniri, M. R. Hantehzadeh, M. Ghoranneviss, M. Asadi-Asadabad, *Applied Physics A*, **123**, 2017, 684.
- [15] G. Compagnini, M. Sinatra, P. Russo, G.C. Messina, O. Puglisi, S. Scalese, *Carbon*, **50**, 2012, 2347.
- [16] J. Xiao, P. Liu, C. Wang, G. Yang, *Progress in Materials Science*, **87**, 2017, 140.
- [17] A. Meidanchi, A. Jafari, *Optics and Laser Technology*, **111**, 2019, 89.
- [18] B.H. Stuart, "Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications", John Wiley, 2004.
- [19] E. Fazio, A.M. Mezzasalma, G. Mondio, F. Neri, R. Saija, *Appl. Surf. Sci.*, **272**, 2013, 30.
- [20] J. Yu, J. Nan, H. Zeng, *Appl. Surf. Sci.*, **402**, 2017, 330.
- [21] Y. Xing, B. Yan, Z. Yuan, K. Sun, *RSC Advances*, **6**, 2016, 59081.
- [22] Y.C. Sheng-hai, Yanan, Y. Hai-Ping, J. Sheng-Ming, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, **19**, 2009, 1504.
- [23] E. E. Fileti, M.A. Castro, S. Canuto, *Chemical Physics Letters*, **452**, 2008, 54.
- [24] R.S. Devan, C.L. Lin, S.Y. Gao, C.L. Cheng, Y. Liou, Y.R. Ma, *Chemistry, Chemical Physics*, **13**, 2011, 13441.
- [25] S.A. Maier, "Plasmonics: Fundamentals and Applications", Springer, 2007.

سطحی می‌شود [۲۷]. تکنیک شبیه‌سازی در FEM با استفاده از نرم‌افزار COMSOL Multiphysics برای مطالعه سنسور انجام شد. برای بی‌حرکت کردن نانوذرات بر روی سطح، سنسورهای SPR مبتنی بر نانوذرات مورد توجه قرار دارند [۲۸]. برای بررسی چنین کاربردی، یک نانوسنور SPR با گریتنینگ Ta_2O_5 -گرافن، برای تشخیص بیومولکولها و گازها در هوا پیشنهاد شده است. محیط سنجش که هوا است بر روی سطح تانتالوم و گریتنینگ مستطیل Ta_2O_5 در شکل ۱۰ نشان داده شده است. یک لایه گرافن در بالای سطح تانتالوم و همچنین گریتنینگ Ta_2O_5 قرار گرفت تا بتواند اتصال بیومولکولها و گازها را با سطح سنسور افزایش دهد. این بیوسنور گازی در Comsol شبیه‌سازی شد و نتایج قابل قبولی برای آن بدست آمد.



شکل ۱۰: نانویوسنور SPR با گریتنینگ Ta_2O_5 -گرافن.

۴- نتیجه گیری

فلز تانتالوم به علت بی‌اثری شیمیایی و مقاومت بالای آن در مقابل خوردگی، در سنسورهای گازی مورد توجه قرار گرفته است. نانوذرات پنتاکسید تانتال در محلول آب دیونیزه شده به روش کندوسوز لیزری، بر اساس داده‌های XRD تولید شدند. اندازه متوسط این نانوذرات، توسط آنالیز TEM، ۱۲۳ nm بدست آمد. گروه‌های عملکردی روی سطح نانوذرات را توسط آنالیزهای FTIR و Raman بررسی کردیم. سه قله متمایز در ۳۰۰، ۴۳۰، ۵۲۰ nm، منطبق با انتشار Ta_2O_5 ، بوسیله آنالیز PL نشان داده شد. علاوه بر این، به عنوان

- 14395.
- [28] N.D. Samsuri, W.M. Mukhtar, A.R. Abdul Rashid, K.A. Dasuki, *EPJ Web of Conferences*, **162**, 01002, 2017.
- [26] M. Yousefi, N. Mozaffari, H. Shirvani, *Physica E*, **135**, 2021, 114987.
- [27] L. Wu, H. Chu, W. Koh, E.P. Li, *Optics Express*, **18**, 2010,