

حسگری دوپامین با استفاده از مد تم پلاسمون در بلور فوتونی یک بعدی

فرناز عمویان، امیررضا صدرالحسینی، سیده مهری حمیدی*

آزمایشگاه مگنتوپلاسمونیک، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

چکیده: وجود غلظت‌های مختلفی از دوپامین را می‌توان دلیلی بر سلامتی یا عدم سلامتی در برخی از عضوهای بدن دانست. در این پژوهش، به ساخت حسگر بر پایه‌ی پدیده تم پلاسمون در بلور فوتونی یک بعدی پرداخته شده است. به این منظور، بلور فوتونی یک بعدی با روش تفنگ الکترونی ساخته شد و نمونه در معرض غلظت‌های مختلف دوپامین با کمک کانال میکروفلوئید قرار گرفت. نتایج اندازه‌گیری جابجایی مد تم در نمونه با قطبش‌های مختلف و غلظت‌های دوپامین، نشان دهنده حساسیت ۱۶/۹۶ نانومتر بر غلظت است.

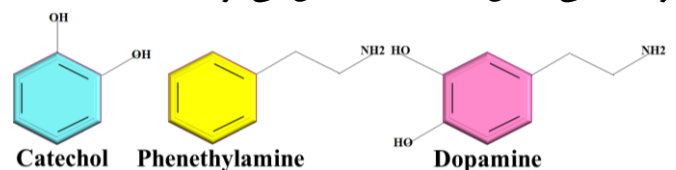
واژگان کلیدی: حسگر زیستی پلاسمونی، دوپامین، بلور فوتونی، تم پلاسمون.

*M_hamidi@sbu.ac.ir

فعالیت‌های اجتماعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین، برخی از بیماری‌های سیستم عصبی مانند پارکینسون^۱، اسکیزوفرنی^۲، سندرم پای بیقرار، اختلال و بیش‌فعالی کمبود توجه به دلیل اختلال در مقدار دوپامین ایجاد می‌شود. از این رو، اندازه‌گیری مقدار دوپامین در نمونه‌های زیستی حائز اهمیت است [۵-۸]. به‌طوریکه تشخیص بسیاری از بیماری‌های عصبی از طریق اندازه‌گیری دقیق مقدار دوپامین در نمونه‌های زیستی است، و تاکنون برای اندازه‌گیری و آشکارسازی دوپامین نانومواد و روش‌های شیمیایی و فیزیکی متفاوتی از جمله حسگرهای نوری مورد بحث قرار گرفته است. با توجه به اهمیت فیزیولوژیکی دوپامین، غلظت آن توسط پژوهشگران پزشکی با استفاده از روش‌های کروماتوگرافی، الکتروفورز، سنجش آنزیمی و طیف‌سنجی جرمی اندازه‌گیری می‌شود [۷ و ۸]. که این روش‌ها بسیار زمان‌بر هستند و نیاز به فرایندهای آماده‌سازی پیچیده، ابزارهای گران قیمت و تخصص برای عملیات و تکرارپذیری کم هستند. در برخی از

۱- مقدمه

دوپامین یک ترکیب آلی از خانواده کاتکول آمین‌ها و فنتیل آمین‌ها است و نقش بسیار مهمی در بدن و مغز دارد. یک مولکول دوپامین شکل (۱) از یک واحد کاتکول (حلقه بنزن با دو گروه عاملی هیدروکسیل) که به کمک یک زنجیره‌ی اتیل به واحد آمینی متصل شده است، تشکیل می‌شود.



شکل ۱: اجزای مولکول دوپامین شامل کاتکول آمین و فنتیل آمین.

افزون بر مغز، که دوپامین در آن با نورون‌ها ساخته می‌شود، در کلیه‌ها نیز توسط غدد فوق کلیوی سنتز می‌شود، دوپامین در غلظت‌های نانومولار تا میکرومولار (۱۰ نانومولار تا ۱ میکرومولار) در مایع خارج سلولی سیستم عصبی مرکزی وجود دارد [۱]. وجود دوپامین در بدن به دلیل رابطه مقدار آن با

¹ Parkinson

² Schizophrenia

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۰

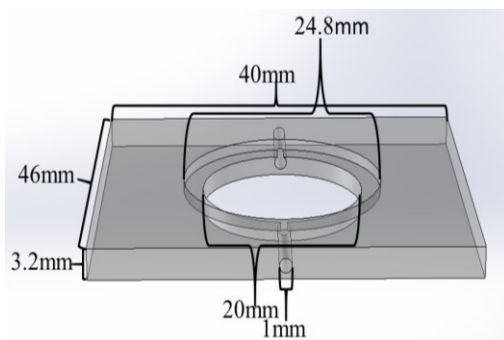
جدول ۱ فهرست پژوهش‌های مهم انجام شده برای شناسایی دوپامین.

منابع	بازه اندازه‌گیری شده	محدودیت اندازه‌گیری	روش اندازه‌گیری	ساختار حسگر
[۱۶]	0.1 nM-1 μ M	-	SPR	Au/graphene/DBA D-POF
[۱۷]	0.81-16.80 μ M	0.23 μ M	Colorimetry	S-CDs@AuNPs
[۱۸]	2.5 nM-5 μ M 5 μ M-10.4 μ M	0.9 nM	Fluorescence	MoS ₂ QDNS
[۱۹]	0-100 μ M	31 nM	SPR	Molecular Imprinted GNP/SnO ₂
[۲۰]	0.148-184 mg/L	6.4 mg/L	Spectrophotometry	PIMH iron (III) into PBVC NF
[۲۱]	1 pM-1 μ M	0.1 pM	PRRS	Au NPs
[۲۲]	1-10 mM	1 mM	SERS	CS-Au nanocomposite
[۲۳]	0-20 μ M	47 pM	Fluorescence	CNDs

۲- ساخت و شناسایی نمونه

۲-۱- ساخت هسته حسگری

در این آزمایش، بلور فوتونی متشکل از ۲۸ لایه متناوب TiO_2 و SiO_2 با کمک سیستم تفنگ الکترونی لایه نشانی شده اند. در این طراحی طول موج و پهنای باند به ترتیب ۶۵۰ نانومتر و ۱۵۰ نانومتر در نظر گرفته شد. به طوری که در این ساختار لایه SiO_2 با ضریب شکست ۱/۴۵ به عنوان اولین لایه و TiO_2 با ضریب شکست ۲/۲۱ به عنوان دومین لایه با ضخامت‌های ربع موج بر روی زیر لایه BK7 رشد داده شده اند. سپس لایه طلا با ضخامتی حدود ۳۰ نانومتر به عنوان لایه نهایی با روش کندوپاش بر آنها لایه نشانی شده است (شکل ۲).



شکل ۲: بلور فوتونی ۲۸ لایه و یک لایه طلا در حدود ۳۰ نانومتر.

روش‌های دیگر مانند فلورومتري^۱، رنگ‌سنجی^۲، طیف‌سنجی^۳، نورتایی شیمیایی^۴ و الکتروشیمی^۵ از خواص استثنایی نانومواد برای تشخیص ساختارها استفاده می‌شود [۸-۱۱]. تمامی این آزمایشها باید توسط افراد متخصص و بوسیله تجهیزات گران قیمت و در یک بازه زمانی طولانی انجام شود، و فرایند آماده سازی پیچیده، و تکرارپذیری کمی دارد. روش‌های نوری طراحی ساده ای دارند و از دقت و تکرارپذیری بالایی برخوردار هستند [۱۲]. از جمله روشهای نوری برای سنجش و ارزیابی دوپامین می‌توان رنگ‌سنجی فلورومتري، طیف‌سنجی رامان بهبود یافته سطحی و الکتروشیمی لومینسانس را نام برد. از طرفی نانو مواد برای افزایش حساسیت و جذب انتخابی در حسگرهای زیستی دوپامین نقش بسزایی ایفا می‌کنند [۱۳-۱۵]. از جمله نانوساختارهای مهم می‌توان گرافین [۱۶]، نقاط کوانتوم کربنی [۱۷ و ۲۵]، ساختارهای مبتنی بر نقاط کوانتومی و نمک‌های مولیبدن [۱۸]، اکسید قلع [۱۹]، نانو ذرات طلا [۲۱]، و ترکیبات مغناطیسی آهن III [۲۱]، کامپوزیت‌های طلا [۲۴] را نام برد. این نانومواد برای بهبود ویژگی نوری، افزایش حساسیت و بهبود پاسخ حسگر بکار برده شده‌اند و در جدول (۱) روش‌های اندازه‌گیری، بازه اندازه‌گیری و محدودیت اندازه‌گیری غلظت‌های دوپامین به کمک نانوذرات بیان شده است.

از این رو، اندازه‌گیری غلظت دوپامین به کمک بلور فوتونی یک بعدی که متشکل از لایه‌های TiO_2 و SiO_2 است، مورد بررسی قرار گرفته است.

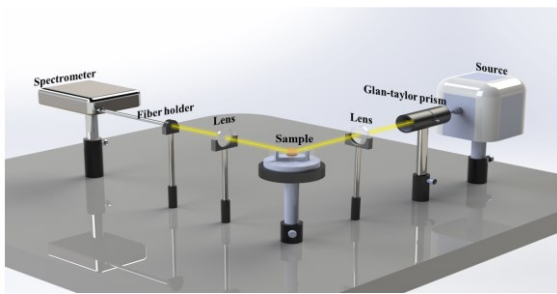
¹ Fluorometry

² Colorimetry

³ Spectrophotometry

⁴ Chemiluminescence

⁵ Electrochemistry

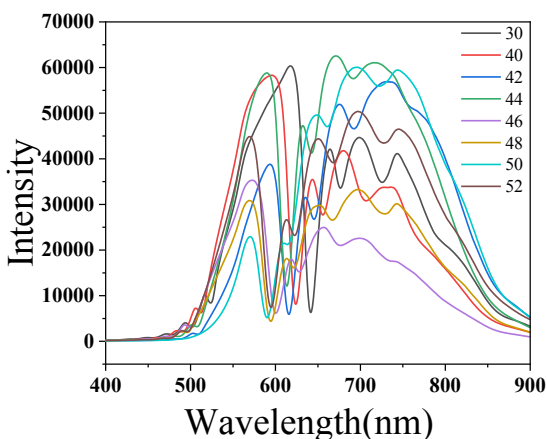


شکل ۴: چیدمان بازتاب استفاده شده در اندازه‌گیری‌ها که شامل منبع نور، قطبشگر، لنز با فاصله کانونی ۱۰ سانتی‌متر، بلور فوتونی، لنز با فاصله کانونی ۵ سانتی‌متر، نگهدارنده فیبر و طیف سنج است.

نور لامپ زنون، پس از عبور از قطبشگر، توسط عدسی بر روی بلور فوتونی متمرکز می‌شود و پرتوهای بازتابی از آن توسط عدسی دوم بر روی آشکار ساز، که به طیف سنج متصل است، متمرکز می‌شود. در این آزمایش قطبش‌های S و P بوسیله منشور گلن تیلور تنظیم می‌شود و طیف بازتابی برای هر دو قطبش ثبت می‌شود.

۳- نتایج و بحث

برای آزمون حسگر بلور فوتونی براساس پدیده تم پلاسمون، ابتدا بلور فوتونی با ۲۸ لایه در چیدمان بازتابی قرار گرفت، و طیف بازتابی برای زاویه‌های 30° ، 40° ، 42° ، 44° ، 46° ، 48° ، 50° ، 52° ثبت شده است. نتایج آزمایش در شکل ۵ ارائه شده است و مد تم پلاسمون در بازه ۵۸۰ نانومتر تا ۶۵۰ نانومتر مشاهده می‌شود.

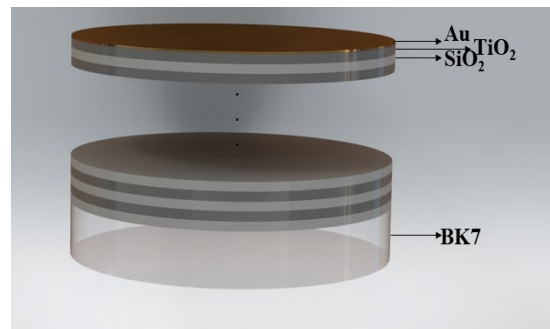


شکل ۵: طیف بازتاب ثبت شده از بلور فوتونی و لایه طلا تحت قطبش P بدون حضور دوپامین.

غلظت‌های مختلف دوپامین، از رقیق کردن دوپامین موجود در ویال‌های تزریقی با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر ۵ میلی‌لیتر (۴۰ میلی‌گرم بر لیتر)، در آب مقطر بدون یون و به ترتیب لیست شده در جدول زیر تهیه شده است.

جدول ۲ ساخت غلظت‌های مختلف دوپامین

نمونه	غلظت‌های ساخته شده
دوپامین خالص	۴۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر
1N	۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر
2N	۳ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر
3N	۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر
4N	۷ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر



شکل ۳: کانال میکروفلوئید به منظور نگهداری بلور فوتونی بر روی چیدمان بازتاب و تزریق غلظت‌های مختلف دوپامین.

به منظور تماس دوپامین و هسته حسگری، بلور فوتونی در داخل یک میکروفلوئید (شکل ۳) از جنس پلی‌متیل متاکریلات (PMMA) قرار داده شده است. به‌طوری‌که اطراف آن کامل عایق‌بندی شده است و محلول دوپامین در داخل آن تزریق می‌شود و با سطح بلور فوتونی در تماس است.

۳-۲- چیدمان بازتاب

چیدمان آزمایش در شکل ۴ نمایش داده شده است، که شامل یک منبع نور، منشور گلان تیلور (کنترل‌کننده قطبش نور)، عدسی با فاصله کانونی ۱۰ سانتی‌متر، بلور فوتونی، عدسی با فاصله کانونی ۵ سانتی‌متر، فیبر نوری با نگهدارنده، آشکارساز و طیف سنج است.

X بیانگر تعداد لایه های متناوب است که در بلور ذکر شده شامل ۱۲ لایه متناوب بود.

$$[H][L] = \begin{pmatrix} 0 & \frac{i}{n_H} & 0 \\ i n_H & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{i}{n_H} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & \frac{i}{n_L} & 0 \\ i n_L & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{i}{n_L} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{n_L}{n_H} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{n_H}{n_L} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{n_L}{n_H} \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{n_L}{n_H} & 0 \\ 0 & -\frac{n_H}{n_L} \end{pmatrix}^x \begin{bmatrix} 1 \\ n_{sub} \end{bmatrix} \quad (7)$$

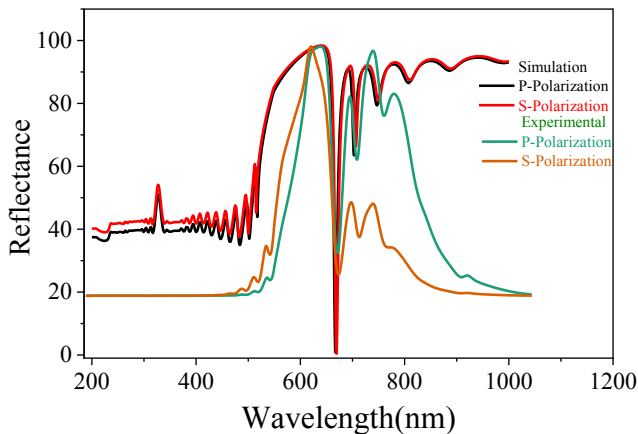
$$B = \left(-\frac{n_L}{n_H} \right)^x$$

$$C = \left(-\frac{n_H}{n_L} \right)^x n_{sub}$$

و مقدار r را از رابطه مقابل محاسبه می شود [۲۷].

$$r = \frac{n_0 B - C}{n_0 B + C} \quad (8)$$

نمودار شبیه سازی شده از روی این روابط که در شکل ۶ نشان داده شده است، در تطابق کاملی با نمودار تجربی شکل ۵ ثبت شده از نمونه اصلی در این پژوهش است.



شکل ۶: طیف بازتاب ثبت شده و شبیه سازی شده از بلور فوتونی و لایه طلا تحت قطبش های مختلف بدون حضور دوپامین.

پس از بدست آمدن نتایج تجربی و مقایسه آن با نتایج شبیه سازی، دوپامین خالص (جدول ۲) به میکروفلوئید تزریق شد و طیف بازتابی برای زاویه های بین 30° تا 52° به کمک طیف سنج ثبت شده است و نتایج آزمایش برای قطبش های p و s به ترتیب در شکل های ۷ و ۸ نمایش داده شده است. به طوریکه در شکل ۷ مشاهده می شود، با تغییر زاویه تابش از 30° تا 52° مقدار جابجایی مد تم بدلیل تغییر ضریب شکست لایه آخر و تاثیر آن

و با توجه به روابط ریاضی حاکم، وجود و نوع این مد اثبات می شود [۲۴]. امواج تم پلاسمون، در مرز بین دو ماده همسانگرد و دی الکتریک که حداقل یکی از آن ها در راستای عمود بر مرز دارای ساختار تناوبی باشد تشکیل می شوند [۲۴]. از ویژگی های مهم این امواج این است که، این امواج با هر دو قطبش S و P تشکیل می شوند و می توان آن را با تابش عمودی بدون استفاده از جفت کننده ها تحریک کرد.

اتلاف دی الکتریکی این امواج نسبت به پلاسمون پولاریتون های سطحی بسیار کم است و این موجب می شود که تشدید جفت-شدگی تیزتر، میدان های سطحی بهتر و طول انتشار بیشتری نسبت به پلاسمون پولاریتون های سطحی داشته باشند [۲۵]. پاشندگی پلاسمونی این امواج به صورت سهمی است بنابراین می توان برای آن جرم موثر تعریف کرد و رابطه پاشندگی را به صورت زیر نوشت:

$$\hbar\omega = \frac{2\hbar^2 k^2}{2m} \quad (1)$$

در این رابطه، m جرم تم پلاسمون است که بر حسب جرم الکترون (m_e) نوشته می شود که برای دو قطبش S و P متفاوت هستند [۲۶].

ماتریس لایه های معادل برای یک محیط دی الکتریک به صورت زیر تعریف می شود:

$$M = \begin{pmatrix} \cos \delta & \frac{i \sin \delta}{n} \\ i n \sin \delta & \cos \delta \end{pmatrix} \quad (2)$$

و مقدار δ برای لایه های ربع موج به شکل زیر محاسبه می شود

$$\delta = \pi/2 \quad (3)$$

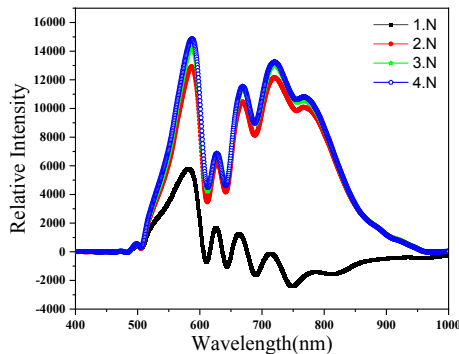
در این پژوهش، بلور فوتونی با از لایه های SiO_2 و TiO_2 تشکیل شده است، که هر کدام به ترتیب با H و L نام گذاری شده اند که برای لایه های تناوبی، ماتریس معادل به صورت مقابل محاسبه می شود:

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = [H][L][H][L] \dots [L] \begin{bmatrix} 1 \\ n_{sub} \end{bmatrix} \quad (4)$$

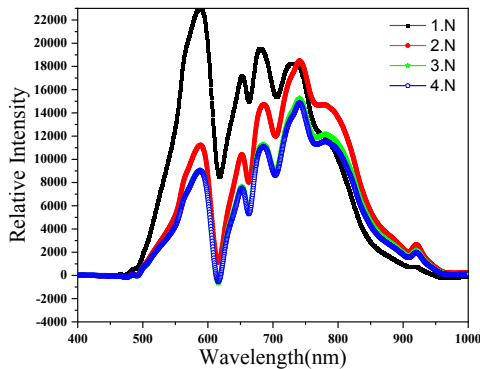
$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \{[H][L]\}^x \begin{bmatrix} 1 \\ n_{sub} \end{bmatrix} \quad (5)$$

ضخامت فازی^۱

سپس اثرات غلظت‌های گوناگون دوپامین بر تغییرات جابجایی و شدت طیف بازتابی برای غلظت‌های ۱ و ۳ و ۵ و ۷ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر (جدول ۲) بررسی شد و پس از تزریق دوپامین با غلظت‌های یاد شده بطور جداگانه طیف بازتابی در زاویه 46° با طیف‌سنج ثبت شده است، و نتایج به ترتیب برای قطبش‌های p و s در شکل‌های ۹ و ۱۰ نمایش داده شده است.



شکل ۹: طیف بازتابی ثبت شده تحت قطبش P و زاویه ثابت 46° برای غلظت‌های مختلف دوپامین است.

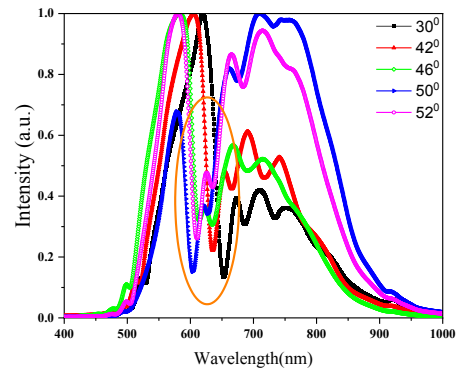


شکل ۱۰: طیف بازتابی ثبت شده تحت قطبش S و زاویه ثابت 46° برای غلظت‌های مختلف دوپامین است.

از نتایج بدست آمده در شکل ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود که با کاهش غلظت دوپامین مقدار جابجایی مد تم پلاسمون کاهش یافته است. در نتیجه کمترین غلظتی که می‌توان تغییرات را با حسگر مشاهده کرد ۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر است که حد حسگر خواهد بود.

در شکل ۱۱، تغییرات طول موج تشدید با غلظت‌های دوپامین نمایش داده شده است (جدول ۳ اطلاعات مربوط به آنالیز داده و معادله منحنی تطبیق داده شده با داده‌های تجربی آورده شده

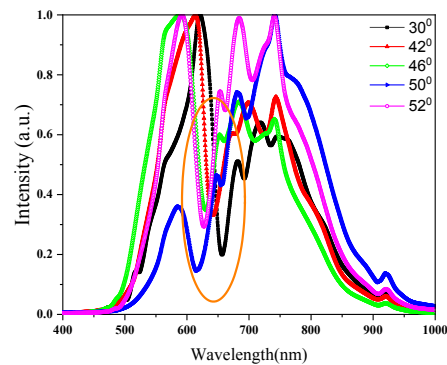
بر بازتاب پرتوهای فرودی مطابق معادله ۲ و ۷ تغییر پیدا کرده است، و بر اساس نتایج بدست آمده از منحنی‌های طیفی شکل ۷ مشاهده می‌شود.



شکل ۷:

طیف بازتابی قطبش p از سطح بلور فوتونی برای زاویه‌های متفاوت و غلظت خالص دوپامین.

مناسب‌ترین زاویه بازتاب، زاویه‌هایی هستند که مقدار آن‌ها بزرگتر از 46° است. از این رو برای بررسی اثر غلظت دوپامین، آزمایش‌ها در زاویه 46° تکرار شده است.



شکل ۸: طیف بازتابی ثبت شده از سطح بلور تحت قطبش S و زاویه‌های مختلف برای غلظت ثابت دوپامین است.

برای بررسی اثر قطبش، هر دو قطبش p و s بررسی شده است. همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، همواره مد تم پلاسمون در بازه ۵۸۰ تا ۶۵۰ نانومتر ظاهر شده است. از بررسی شکل ۸ مشاهده می‌شود، که شدت تم پلاسمون در قطبش S کمتر است و در همان بازه ظاهر شده است و همچنین مناسب‌ترین زاویه بازتاب، زاویه‌های بزرگتر از 46° است.

پس از این بررسی که تغییرات مد تم پلاسمون برای دوپامین خالص مشاهده شد و مناسب‌ترین بازه زاویه‌ای انتخاب شد؛

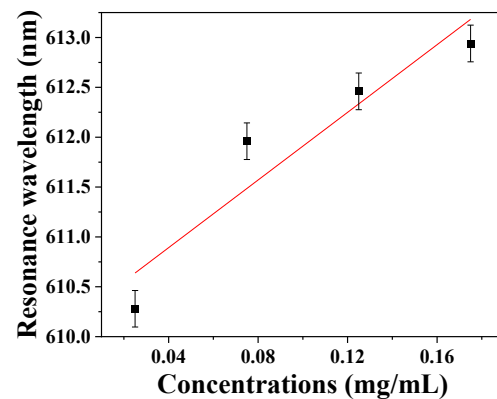
۴- نتیجه گیری

یکی از پدیده‌های مهم در بلورهای فوتونی پدیده تم پلاسمون است که در این پژوهش، با بلور فوتونی یک بعدی با ۲۸ لایه مشاهده شده است، و پاسخ تم پلاسمون برای غلظت‌های متفاوت دوپامین بررسی شد. به‌طوریکه با کاهش غلظت‌های دوپامین جابجایی مدها کاهش و شدت آنها افزایش می‌یابد، و این تغییرات تاغلظت ۱ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شده است. به‌طوریکه حساسیت حسگر ۱۶/۹۶ نانومتر بر غلظت است.

مراجع

- [1] YH. Xiao, CX. Guo, CM. Li, YB. Li, J. Zhang, RH. Xue, S. Zhang, "Highly sensitive and selective method to detect dopamine in the presence of ascorbic acid by a new polymeric composite film." *Anal Biochem*, 2007, 371, 229–237.
- [2] KM. Tye, JJ. Mirzabekov, MR. Warden, EA. Ferenczi, HC. Tsai, J. Finkelstein, SY. Kim, A. Adhikari, KR. Thompson, AS. Andalman, LA. Gunaydin, IB. Witten, K. Deisseroth, "Dopamine neurons modulate neural encoding and expression of depression related behaviour." *Nature*, 2013, 493, 537–541.
- [3] J. Segura-Aguilar, I. Paris, P. Munoz, E. Ferrari, L. Zecca, FA. Zucca, "Protective and toxic roles of dopamine in Parkinson's disease", *J Neurochem* 2014, 129, 898–915.
- [4] DD. Dougherty, AA. Bonab, TJ. Spencer, SL. Rauch, BK. Madras, AJ. Fischman, "Dopamine transporter density in patients with attention deficit hyperactivity disorder," *Lancet* 1999, 354, 2132–2133,.
- [5] G. Tripp, JR. Wickens, "Research review: dopamine transfer deficit: a neurobiological theory of altered reinforcement mechanisms in ADHD." *J Child Psychol Psychiatry* 2008, 49, 691–704,.
- [6] M. Zahid, M. Saeed, L. Yang, C. Beseler, E. Rogan, and E.L. Cavalieri, "Formation of dopamine quinone- DNA adducts and their potential role in the etiology of Parkinson's

است). شیب منحنی بیانگر حساسیت حسگر است به‌طوریکه به ازای نخستین رویارویی بلور فوتونی با دوپامین، که رقیق‌ترین مقدار آن است، مدهای بلاخ پس از مد تم، با کاهش شدت مواجه شده‌اند.



شکل ۱۱: منحنی تغییرات جابجایی طول موجی بر حسب غلظت به ازای قطبش P

به ازای غلظت ۳ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر، رفتار مدها با شدت بیشتری ظاهر شده است که به دلیل افزایش شدت بازتاب است. همچنین، مشاهده می‌شود که مد اصلی تم پلاسمون در حضور دوپامین جابجا شده است.

جدول ۳: مشخصات تحلیلی نمودار شکل ۱۱

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	w p
Weight	No Weighting
Intercept	610.214 ± 0.47363
Slope	16.96 ± 4.13415
Residual Sum of Squares	0.42728
Pearson's r	0.9454
R-Square (COD)	0.89379
Adj. R-Square	0.84068

که این رفتار در قطبش S نیز به همین صورت و با جابجایی آبی اتفاق افتاده است. بر اساس نمودار جابجایی طول موجی بر حسب غلظت‌ها مختلف دوپامین که در شکل ۱۱ رسم شده نشان می‌دهد که، حساسیت حسگر ۱۶/۹۶ نانومتر بر غلظت دوپامین است.

- [15] M. Holzinger, A. Le Goff, S. Cosnier. "Nanomaterials for biosensing applications: a review." *Front Chem*, 2014.
- [16] J. Sun, S. Jiang, J. Xu, Z. Li, C. Li, Y. Jing, X. Zhao, J. Pan, C. Zhang, B. Man, "Sensitive and selective spr sensor employing gold-supported graphene composite film/D-shaped fiber for dopamine detection. *J. Phys.*" *D Appl. Phys.*, 2019, 29, 465705.
- [17] M. Amiri, S. Dadfarnia, A.M. Haji Shabani, S. Sadjadi, "Non-Enzymatic sensing of dopamine by localized surface plasmon resonance using carbon dots-functionalized gold nanoparticles," *J. Pharm. Biomed. Anal.*, 2019, 172, 223–229.
- [18] N. Pallikarathodi Mani, M.Ganiga, J. Yriac, "MoS2 nanohybrid as a fluorescence sensor for highly selective detection of dopamine," *Analyst*, 2018,143, 1691–1698,.
- [19] S. Sharma, B.D. Gupta, "Surface plasmon resonance based highly selective fiber optic dopamine sensor fabricated using molecular imprinted GNP/SnO2 nanocomposite," *J. Light. Technol*, 2018, 36, 5956–5962.
- [20] B. Mudabuka, A.S. Ogunlaja, Z.R. Tshentu, N. Torto, "Electrospun Poly(Vinylbenzyl Chloride) Nanofibres Functionalised with Tris-(2, 20-Pyridylimidazole)Iron(III): A Test Strip for Detection of Ascorbic Acid and Dopamine," *Sens. Actuator B Chem*, 2016, 222, 598–604.
- [21] W.W. Qin, S.P. Wang, J. Li, T.H. Peng, Y. Xu, K. Wang, J.Y. Shi, C.H. Fan, D. Li, "Visualizing Dopamine Released from Living Cells Using a Nanoplasmonic Probe," *Nanoscale*, 2015,7, 15070–15074.
- [22] L. Ming, T. Peng, Y. Tu, "Multiple Enhancement of Luminol Electrochemiluminescence Using Electrodes Functionalized with Titania Nanotubes and Platinum Black: disease". *IUBMB life*, 2011, 63, 1087-1093.
- [7] K. Jackowska, P. Kryszynski, "New trends in the electrochemical sensing of dopamine." *Anal Bioanal Chem* 2013,405, 3753–3771,.
- [8] A. Pandikumar, GTS. How, TP. See, FS. Omar, S. Jayabal, KZ. Kamali, N. Yusoff, A. Jamil, R. Ramaraj, SA. John, HN. Lim, NM. Huang, "Graphene and its nanocomposite material based electrochemical sensor platform for dopamine." *RSC Adv* 2014, 4, 63296–63323,.
- [9] HVS. Ganesh, AM. Chow, K. Kerman, "Recent advances in biosensors for neurodegenerative disease detection." *TrAC, Trends Anal Chem* 2016,363–370.
- [10] J. Liu, L. Yuan, X. Dong, "Recent advances in analytical techniques for the determination of dopamine." *Int J Chem Study*, 2015,3, 39–45.
- [11] M. Sajid, MK. Nazal, M. Mansha, A. Alsharaa, SMS. Jillani, C. Basheer, "Chemically modified electrodes for electrochemical detection of dopamine in the presence of uric acid and ascorbic acid: a review. *TrAC,*" *Trends Anal Chem* 76, 15–29, 2016.
- [12] N. Yusoff, A. Pandikumar, R. Ramaraj, HN. Lim, NM. Huang, "Gold nanoparticle based optical and electrochemical sensing of dopamine." *Microchim Acta* 2015,182, 2091–2114.
- [13] T. Asefa, CT. Duncan, K. K. " Sharma Recent advances in nanostructured chemosensors and biosensors." *Analyst* 2009,134, 1980–1990,.
- [14] V. Biju, "Chemical modifications and bio conjugate reactions of nanomaterials for sensing, imaging, drug delivery and therapy." *Chem Soc Rev* 2014, 43, 744–764,.

Ultrasensitive Determination of Hydrogen Peroxide, Resveratrol, and Dopamine,” *Microchim. Acta*, 2016, 183, 305–310.

- [23] Q. Zhu, Y. Chen, W. Wang, H. Zhang, C. Ren, H. Chen, X. A. Chen, “Sensitive Biosensor for Dopamine Determination Based on the Unique Catalytic Chemiluminescence of Metal-Organic Framework HKUST-1,” *Sens. Actuators B Chem*, 2015, 210, 500–507.
- [24] F. Chiadini, V. Fiumara, A. Scaglione, and A. Lakhtakia, “Compound guided waves that mix characteristics of surface-plasmon-polariton, Tamm, Dyakonov–Tamm, and Uller–Zenneck waves,” *JOSA B*, 2016, 1197-1206.
- [25] K. J. Lee, J. Wu, and K. Kim, “Enhanced nonlinear optical effects due to the excitation of optical Tamm plasmon polaritons in one-dimensional photonic crystal structures,” *Optics express*, 2013, 28817-28823,.
- [26] I. Shelykh, M. Kaliteevskii, A. Kavokin, S. Brand, R. Abram, J. Chamberlain, and G. Malpuech, “Interface photonic states at the boundary between a metal and a dielectric Bragg mirror,” *physica status solidi (a)*, 2007, 522-525,.
- [27] H. A. Macleod, *Thin-film optical filters*: CRC press, 2017.



Dopamine sensing by the aid of Tamm plasmon in one dimensional photonic crystal

F.Amoyan, A.M. Sadrolhosseini, S.M. Hamidi*

Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract: The presence of different concentrations of dopamine can be a reason for the health or unhealthiness of some parts of the body. In this research, a sensor is made based on the plasmon theme phenomenon in one-dimensional photonic crystal. For this purpose, one-dimensional photonic crystal was fabricated by electron gun method and the sample was exposed to different concentrations of dopamine with the help of microfluidic channel. The results of measuring the theme mode displacement in the sample with different polarizations and dopamine concentrations show a sensitivity of 16.96 nm per concentration.

Keywords: Plasmonic sensors; Dopamine; Photonic crystal; Tamm Plasmon.