لیزر در پزشکی؛ ۱۳۹۸، دورهٔ ۱۶، شمارهٔ ۲، صفحات: ۱۷–۱۱.

مقاله يژوهثي

ابرجاذب پلاسمونیک مرئی بر پایهٔ نانوجزیرهٔ نقره با قابلیت کاربرد زیست حسگری

خلاصه

مقدم مع اخیراً، زمینهٔ تحقیقاتی جدیدی از ساختار پلاس مونیک، مع روف به ابر جاذب پلاسمونیک، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. ابر جاذب ها به طور وسیعی در زمینه های نوظهور مثل حسگری شیمیایی و زیستی قابل کاربرد می باشند. رایج ترین طراحی برای ابر جاذب براساس ساختار سه لایه ای شامل فلز -عایق -فلز (MIM) می باشد. با ترکیب حسگرهای تشدید پلاس مون سطحی جایگزیده (LSPR) و حس گرهای MIM می توان از مزیت های هر دو حسگر به طور همزمان بهره برد.

روش بررسی: یک ابرجاذب پلاسمونیک (بدون استفاده از روش لیتوگرافی) متشکل از نقره-دیالکتریک-لایهٔ نانوجزیرهٔ نقره که در فرکانس مرئی کار می کند و مفهوم ابرجاذب و حسگر LSPR را در یکجا جمع می کند، با بهره گیری از روش لایهنشانی تبخیر حرارتی ساخته شد. طیف بازتاب ابرجاذب با استفاده از روش طیفسنجی بازتابی پخشی ثبت شد. از ویژگیهای این ساختار بهعنوان حسگر، تغییر رنگ قابل مشاهده با چشم هنگام تغییر ضریب شکست محیط اطراف است. همچنین با استفاده از شبیه سازی FDTD امکان استفاده از این ساختار به عنوان یک زیست حسگر مورد بررسی قرار گرفت.

یافته ها: نتایج نشان می دهد این ابر جاذب امکان استفاده به عنوان حسگر ضریب شکست و حسگر زیستی را دارد. همچنین تغییر رنگ قابل مشاهده با چشم هنگام تغییر ضریب شکست محیط اطراف، قابلیت زیاد این ساختار برای عملکرد حسگری حتی در محیط غیر آزمایشگاهی را نشان می دهد.

بحث و نتیجه گیری: وابستگی شدید نمونه به مواد اطراف، این ابرجاذب را گزینهای مناسب برای کاربرد بهعنوان حسگر می کند.

واژههای کلیدی: پلاسمونیک، ابرجاذب، زیستحسگر، نانوجزیره، تشدید پلاسمون سطحی جایگزیده فاطمه حبیبی مقدم ^۱ حسین مهرزاد ^۱ عزالدین مهاجرانی ^۱ افشان شیر کوند ^{۲،۱}

 آزمایشگاه فوتونیک مواد آلے و پلیمرها، پژوهشکدهٔ لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. گروه پژوهشی لیزر پزشکی، مرکز تحقیقات لیزر در پزشکی، پژوهشـکده یارا جهاد دانشگاهی واحد علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

نويسندهٔ مسئول: عزالدين مهاجرانی، تلفن: ۲۱۶۶۴۱۵۹۷۱ پست الکترونيک: e-mohajerani@sbu.ac.ir

مقدمه

پلاسمونیک، مطالعهٔ برهم کنش بین میدان الکترومغناطیسی و الکترون های آزاد در فلزات، به خاطر کاربردهای فراوان از جمله حسگری شیمیایی و زیستی، سلول های خورشیدی، تصویربرداری با وضوح بالا^۱ و ... همچنین خواص اپتیکی شگفتانگیز نانوساختارهای فلزی از جمله جذب، پراکندگی و افزایش میدان محلی مورد توجه تحقیقات زیادی قرار گرفته است [۳–۱].

پلاسمونهای سطحی^۲ (نوسان گروهی الکترونهای رسانش در مرز بین مــواد با گذردهیالکتریکی مثبت و منفی، معمولاً یک دیالکتریک و فلز) به دوگروه تقسیمبندی میشوند:

پلاسـمونهای پلاریتون سطحی^۳ (پلاسـمونهای سطحی انتشاری) و پلاسمونهای سطحی جایگزیده^۴ (پلاسمونهای سطحی که اطراف نانوذره و در یک محل نوسان می کنند، بهعبارتی در ساختار زیر طول موج جایگزیده می شوند). تحریک پلاسمونهای سـطحی توسط تابش الکترومغناطیسی با فرکانسـی برابر فرکانس پلاسمونهای سـطحی منجر به ایجاد تشدید پلاسمون سطحی^۵ (SPR) و در مورد پلاسمونهای سطحی جایگزیده منجر به ایجاد تشـدید پلاسمون سطحی جایگزیده^۶ (LSPR) می شوند [۶-۴].

چنین تشدید پلاسمون سطحی جایگزیدهای به شدت، به اندازه، شکل و تغییر ضریب دیالکتریک محیط اطراف نانوساختار وابسته است. این نوع وابستگی به مواداطراف آن رابرای کاربردهای حسگری مناسب می کند [۸-۶].

حسگرهای SPR به منظور پایش برهم کنش بین مولکول های زیستی و سطح حسگر از امواج SPP (امواجی که در امتداد مرز فلز-دیالکتریک منتشر می شوند) استفاده می کنند. این حسگرها اصولاً بر اساس هندسهٔ بازتاب کلی تضعیف یافته ۲ ATR می باشند، به طوری که شرط تحقق تحریک SPR توسط نور فرودی در زاویهٔ مایل به دست می آید. در هندسهٔ محریک SPR، یک فیلم فلزی نازک روی یک سطح منشور لایه نشانی می شود که محیط حسگری و منشور را از هم جدا می کند. اما این حسگرها به خاطر ساختار حجیم برای سیستم های حسگری کوچک سازی شده و مدارهای مجتمع فوتونیکی مناسب نیستند. بر خلاف حسگرهای SPR مسگرهای LSPR حجیم نیستند و کوچک سازی شده اند، همچنین در زاویهٔ عمود تحریک می شوند [۹].

اخيراً، حوزة تحقيقاتي جديدي از ساختار پلاسمونيک، معروف به

- 1. Super-resolution imaging
- 2. SPs: Surface plasmons
- 3. SPPs: Surface plasmon polaritons
- 4. LSPs: Localized surface plasmons
- 5. SPR: Surface plasmon resonance
- 6. LSPR: Localized surface plasmone resonance
- 7. ATR: Attenuated total reflection

ابرجاذب پلاسـمونیک، توجه زیادی را به خود جلب کرده است[۶]. ابرجاذبها بهطور وسیعی در زمینههای نوظهور از تبدیل انرژی خورشیدی تا حسگری شیمیایی و زیستی و درمان سرطان توسط حرارت تولید شده با نور قابل کاربرد میباشـند. رایجترین طراحی برای ابرجاذب براسـاس ساختار سهلایهای شامل لایهٔ فلزی مهندسیشدهٔ بالایی، لایهٔ دیالکتریک میانی و بازتابندهٔ فلزی پایینی است که بهاصطلاح ساختار فلز-عایق-فلز^{*} (MIM) نامیده میشود[۱۰].

حسـگرهایی با سـاختار MIM یا به اصطلاح ابرجاذب که قادر است برهم کنش های مولکول های مختلف از جمله مولکول های زیستی را آشکار کند، بر خلاف حسگرهای SPR، در زاویهٔ عمود تحریک می شوند. بنابراین می توان حسگرهای LSPR و حسگرهای MIM را در یک حسگر جمع کرد و از مزیتهای هر دو حسگر به طور همزمان بهره برد [۹].

اولین حسـگر زیستی براسـاس ترکیب MIM و LSPR توسط گروه تحقیقاتی آلمانی در سـال ۲۰۱۴ مطرح گردید[۶]. حسـگر از آرایهای دوبعدی از نانودیسـکهای طلا قرار گرفتـه برروی فیلم نازک طلا (فیلم طلا بهعنوان آینه عمل میکند) که توسط دیالکتریک MgF₂ از هم جدا شدهاند، تشکیل شده بود[۹].

شکلهای مختلفی از سطحهای نانوساختار MIM شامل نانودیسکها، نانومربعها و نانومکعبها مورد بررسی قرار گرفتهاند[۹].

به منظور دستیابی به فرکانس های مرئی باید نانوذرات لایهٔ بالایی اندازه ای کمتر از ۱۰۰ نانومتر داشته باشند. چنین ساختار ظریفی میتواند توسط لیتوگرافی باریکهٔ الکترونی حاصل شود، اما باتوجه به تکنولوژی های امروزی اندازهٔ نمونهٔ پایانی محدود به کمتر از ۱ میلی متر می شود در نتیجه تولید انبوه آن ها مشکل و کاربردهایشان محدود می شود. چندین گزارش برای تولید نانوذرات لایهٔ بالایی با استفاده از سنتز شیمیایی ذرات و انتقال ذرات روی زیر لایهٔ از قبل آماده شده وجود دارد. این شیوه مشکلاتی مثل توده شدن نانوذرات یا غیریکنواختی توزیع خرات را دارد[۱].

در لایهنشانی فیلمهایی با ضخامت کمتر از nm ۲۰، فیلم پیوسته و یکنواخت ایجاد نمیشود بلکه جزایر جداازهم^۴ تولید میشود. حرارتدهی فیلم، شکل جزایر و شرایط رزونانس و بنابراین رنگ فیلم را تغییر میدهد. درواقع، بهمحض پردازش حرارتی، فیلمهای جزیرهای خیلی نازک فلزی تقریباً پیوسته با شکل ناهمسانگرد که روی زیرلایهٔ شفاف لایهنشانی شدهاند، ازنظر انرژی ناپایدار میشوند و به صورت گسسته در میآیند و درنهایت به آرایهای از ذرات کرهمانند جداازهم تجزیه میشوند [۱۲].

اســــتفاده از نانوجزیــره دو مزیــت دارد: ســهولت تولیــد انبــوه و کاتورهایبــودن توزیع و اندازهٔ ذرات که باعث میشــود خواص اپتیکی

8. MIM: metal-insulator-metal

9. Isolated islands

مستقل از قطبش نور فرودی باشد[۱۳].

تاکنون، ابرجاذبها در ناحیهٔ مادنقرمز یا مرئی با استفاده از ساختارهای فلزی طراحیشده با لیتوگرافی ساخته میشدند که تولید انبوه آنها سخت و در نتیجه کاربردشان کم میشد[۱۴].

این مطالعه باهدف استفاده از روش لایهنشانی مستقیم فیلم جزیرهای فلزی برای ساخت نانوذراتی که توزیع و اندازهٔ کاتورهای ۲۰ دارند و توده نمی شوند و اندازهٔ متوسط آنها می تواند در طول فرآیند لایهنشانی و حرارت دهی کنترل شود، به منظور دستیابی به یک ابر جاذب بدون لیتو گرافی که در فرکانس مرئی کار می کند، اجرا گردید و حساسیت ساختار نسبت به محیط دی الکتریک اطراف به عنوان حسگر ضریب شکست بررسی گردید. به علاوه امکان سنجی کاربری این ساختار به عنوان زیست حسگر مورد بررسی قرار گرفت.

روش بررسی

مبانی نظری

در نانوساختارهای پلاسمونیک فلزی بهعنوان ابرجاذب، لازم است ضریب عبور (T) و ضریب بازتاب (R) را همزمان حذف کرد. از آنجایی که عبور بهخاطر حضور بازتابندهٔ فلزی کاملاً حذف می شود، جذب ساختار (A) به صورت ذیل تعریف می شود:

 $A = 1 - R \qquad ()$

بنابراین برای افزایش جذب باید بازتاب کمینه شود. ابرجاذب بیشتر نور فرودی را بازتاب میکند و فقط محدودهٔ طیفی باریکی از نور در ساختار محبوس می شود، بنابراین جایی که بازتاب کمینه (درهٔ طیف بازتاب) می شود، جذب بیشینه است [۶و۷].

طبق تئوری پراکندگی مای^{۱۱}، طول موج تشدید پلاسمون سطحی جایگزیدهٔ مربوط به نانوذرات به ضریب شکست محیط اطراف آن ها بستگی دارد[۱۳].

برای تعیین رابطهٔ بین طول موج قلهٔ LSPR و تابع دی الکتریک محیط اطراف (٤٫٨)، می توان از مدل درود^{۱۲} (رابطهٔ ۲) برای وابستگی به فرکانس استفاده کرد:

$$\varepsilon_{\rm m} = 1 - \frac{\omega_{\rm P}^2}{\omega^2 + \gamma^2} \qquad (\Upsilon$$

که $_{ \mathbf{ Q }_{ \mathbf{ P }}}$ ، γ و $_{ \mathbf{ m }}^{ 3}$ به تر تیب فر کانس پلاســما، ثابت میرایی فلز حجیم و $\mathbf{ m }_{ \mathbf{ P }}$ ، $\mathbf{ m }_{ \mathbf{ P }}$ تابع دیالکتریک فلز هســتند. در ناحیــهٔ مرئی و مادون قرمز نزدیک، $\mathbf{ m }$

10. Random

11. Mie scattering

12. Drude model

LSPR است، بنابراین از γ در مقابل m صرفنظر می شود. وقتی $\gamma \sqcup \gamma$ است، بنابراین از γ در مقابل m صرفنظر می شود. وقتی LSPR به صورت ${a}_{\mathrm{m}} = -2{a}_{\mathrm{d}}$ به صورت رابطهٔ \r{m} بیان می شود.

$$\omega_{\rm LSPR} = \frac{\omega_{\rm P}}{\sqrt{2\varepsilon_{\rm d} + 1}} \qquad (\forall$$

هنگام تبدیل فرکانس به طول موج از طریق $\lambda = 2\pi c/\omega$ ، معادلهٔ بالا تبدیل به رابطهٔ ۴ میشود:

$$\lambda_{\rm LSPR} = \lambda_{\rm P} \sqrt{2\epsilon_{\rm d}} + 1 \qquad (4)$$

که $\lambda_{\rm p} \, debox{debox}$ مناظر با فرکانس پلاسیمای فلز حجمی است و $\lambda_{\rm p} \, dc$ مدر نتیجه با توجه به رابطهٔ ۲۰، یک افزایش در ثابت دی الکتریک یا ضریب شکسیت محیط اطراف منجر به جابه جایی قلهٔ LSPR نانوذرهٔ فلزی به سمت طول موج بلندتر می شود. این رابطه اساس کار حسگرهای پلاسمونیک می باشد [۱۵].

حساسیت زیستحسـگر بهصورت جابهجایی قلهٔ تشدید بهمیزان تغییر ضریبشکست محیط میباشد و طبق رابطهٔ ۵ تعریف میشود:

 $S = \Delta \lambda_{LSPR} / \Delta n$ (d)

در ایسن رابطه $\Delta \lambda_{ISPR}$ جابهجایسی قلهٔ LSPR ناشسی از تغییسر ضریب شکست محیط بهاندازهٔ Δn است. شاخص شایستگی عددی FOM نسبت حساسیت زیست حسگر به پهنای طیف (FWHM) است و از رابطهٔ ۶ محاسبه می شود:

FOM = S/FWHM (*

همچنین فاکتور کیفیت Q بهصورت رابطهٔ ۲ تعریف میشود[۹]:

Q factor = λ_{ISPR} /FWHM (Y

مواد و روشها

ابتدا سـه لایه یعنی ۱۷۰ نقره بهعنـوان بازتابنده بهروش تبخیر c_1 حرارتی با نرخ s/s / SA و ۵ ما عایق c_2 محرارتی با نرخ s/s / SA و در فشـار mbar استفره (بهروش تبخیر SiO_2 (بهروش تبخیر با تفنگالکترونـی) و ۲۵ منقره (بهروش تبخیر حرارتی) در فشـار $SiO_2 + 8$ و با نـرخ $s/s / SIO_2$ (وی زیر لایهٔ میشـه لایهنشانی شـد. سـپس در محفظهٔ گاز آرگون بهمدت ۲ دقیقه شیشـه لایهنشانی شـد. سـپس در محفظهٔ گاز آرگون بهمدت ۲ دقیقه این عملیات حرارتی نانوجزیرههای تقریباً پیوسـته از هم جدا می شوند و این عملیات حرارتی نانوجزیرههای تقریباً پیوسـته از هم جدا می شوند و نانوذرهها شکل می گیرند[۲]. با این کار میزان جذب و حساسیت نسبت به از حرارت داده شـد. طی نانوذرهها شکل می گیرند[۲]. با این کار میزان جذب و حساسیت نسبت به از حرارت هی در زاویهٔ عمود بهروش طیف سنجی بازتابی پخشی با استفاده از حرارت دهی در زاویهٔ عمود بهروش طیف سنجی بازتابی پخشی با استفاده از طیفسـنجی در والوژی دو شاخه و منجه و منجو می در محفظور آشـکار کردن حساسیت و منجه و مناخه و منجه و مناخه و از حرارت دو می در زاویهٔ عمود بهروش طیف سنجی بازتابی پخشی با استفاده منبع نور هالوژن-دوتریوم گرفته شـد. به منظور آشـکار کردن حساسیت و مناخه و منجه و منجو را حرارت دو ماخه و از حرارت دو می مان در دو شاخه و از حرارت دو مالوژن می می در زاویهٔ عمود بهروش طیف سنجی بازتابی پخشی دو شاخه و از حرارت دو مالوژن و مالوژن و مالوژن می مالوز آشـکار کردن حساسیت و منجو از می در زار به محیط دی الکتریک اطراف و تغییر ضریب شکست و



شکل۲: طیف بازتاب ابرجاذب قبل و بعد از حرارتدهی



شکل۳: طیف جذب، بازتاب و عبور ابرجاذب

همچنین متوجه شدیم که علاوهبر جابهجایی پیک جذب ابرجاذب با تغییر ضریب شکست به سمت طول موج بیشتر، پهنای طیف آرایهٔ نانوذرات نیز به تغییر ضریب شکست محیط حساس است و با افزایش ضریب شکست پهنای طیفی بیشتر می شود.

خواص طیفی ابرجاذب به عنوان حسگر ضریب شکست از جمله حساسیت، فاکتور کیفیت و شاخص شایستگی عددی مربوط به شکل ۴ در جدول ۱ آورده شده است. حساسیت ابرجاذب به عنوان حسگر 118.605 nm/RIU



شکل۴: طیف بازتاب ابرجاذب قبل و بعد از ریختن استون

توانایی حسـگری این ساختار روی سـطح نمونه با حلال استون مرطوب شـد و طیـف بازتاب سـاختار قبل و بعداز ریختن اسـتون ثبت شـد.

شبيەسازى

در این قسمت بهمنظور شبیهسازی ساختار سهلایهای شامل فیلم نقره-دیالکتریک- نانوجزیرهٔ نقره از نرمافزار لومریکال بستهٔ FDTD استفاده شده است. نانوجزیرهٔ نقره بهصورت آرایهای از نانوذرات نیمکروی درنظر گرفته شدهاند. در راستای X و Z از شرایط مرزی پریودیک و در راستای Y از شرط مرزی ML همچنین از منبع نور تخت با قطبشی در راستای Z برای روشنسازی نمونه استفاده شده است.

يافتهها

تصویر ســطح مقطع میکروســکوپ الکترونی روبشــی گسیل میدان^{۱۳} ابرجاذب در شکل ۱ نشان داده شده است.

طیف بازتاب ابرجاذب قبل و بعد از حرارتدهی در شکل ۲ آورده شده است. همان طور که می توان دید طیف بعد از حرارتدهی به سمت طول موج کمتر جابه جا شده است و پهنای طیف نیز کمتر شده است که دلیل آن افزایش جدایی متوسط بین نانوذرات شکل گرفته (نانوجزایر) و همچنین ضعیف شدن اثر جفت شدگی است. چون پهنای باند رابطهٔ مستقیم با مقدار جفت شدگی دارد، بنابراین هرچه جفت شدگی ضعیف تر شود، پهنای باند نیز کمتر می شود و یک جابه جایی به سمت آبی رخ می دهد [17].

طیف جذب، بازتاب و عبور ابرجاذب بعد از حرارتدهی در شکل ۳ نسان داده شده است. ابرجاذب ساخته شده جذب بالایی، در حدود ۷۵ درصد، نشان میدهد.

به منظور مطالعهٔ وابستگی موقعیت طیفی این جذب به محیط پیرامون روی سطح نمونه با حلال استون مرطوب شد. همان طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، پیک جذب ساختار به سمت طول موج بیشتر جابه جا شده است (که با رابطهٔ ۴ ساز گار است) به نحوی که منجر به تغییر رنگ قابل مشاهده با چشم می شود.



شکل۱: تصویر Cross-sectional FESSEM مربوط به ساختار ابرجاذب

13. Cross-sectional FESSEM

میباشد. قبل از ریختن استون طول موج رزونانس m 493.918 nm FWHM مربوطه 97.506، فاکتور کیفیت 5.065 و شاخص شایستگی عددی 1.216 و بعد از ریختن استون طول موج رزونانس 536.616 nm FWHM مربوطه 117.586، فاکتور کیفیت 4.563 و شاخص شایستگی عددی 1.008 میباشند. همان طور که مشخص است با افزایش ضریب شکست پهنای طیف بیشتر شده است و مقادیر فاکتور کیفیت و شاخص شایستگی عددی کاهش یافتهاند.

جدول۱: خواص طیفی ابرجاذب بهعنوان حسگر

Refractive index (RI)		1.0	1.36
Peak	Reseonant wavelength (nm)	493.918	536.616
	FWHM	97.506	117.586
	Q-factor	5,065	4,563
Sensitivity S (nm/RIU)	Saverage=118.605		
Figure of merit (FOM)	1.216	1,008	

طیف بازتاب ابرجاذب شبیه سازی شده به عنوان حسگر ضریب شکست در شکل ۵نمایش داده شده است و خواص طیفی آن در جدول ۲ آور ده شده است. در اینجا نیز با افزایش ضریب شکست طیف پهن تر شده است و به سمت طول موج های بلندتر جابه جا شده است. حساسیت محاسبه شده نیز 105.827 nm/RIU می باشد.

از مقایسهٔ جدول ۱ و ۲ میتوان فهمید که پهنای نمونهٔ واقعی نسبت به نمونهٔ شبیهسازیشده بیشتر است که دلیل آن کاتورهای بودن اندازه و فاصلهٔ ذرات شکل گرفته در نانوجزیره بعد از حرارتدهی میباشد درحالی که در شبیهسازی نانوجزیره بهصورت آرایهای از ذرات با فاصله



شکل۵: طیف باز تاب ابرجاذب شبیهسازی شده به عنوان حسگر ضریب شکست

و اندازهٔ معین درنظر گرفته شدهاند. همچنین حساسیت نمونهٔ واقعی نسبت به نمونهٔ شبیهسازی شده بیشتر است. اما مقادیر شایستگی عددی و فاکتور کیفیت نمونهٔ شبیهسازی شده نسبت به نمونهٔ واقعی بیشتر است که دلیل آن کمتر بودن پهنا در نمونهٔ شبیهسازی شده می باشد.

بهمنظور بررسی امکان استفاده از ابرجاذب بهعنوان زیستحسگر، از آنجایی که ضریب شکست بیشتر پروتئینها در محدودهٔ ۱/۳ تا ۱/۵ است، جابه جایی طیف باز تاب شبیه سازی شده نسبت به تغییر ضریب شکست در

Refractive index (RI)		1.0	1.36
Peak	Reseonant wavelength (nm)	496.580	534.678
	FWHM	56.43	72.777
	Q-factor	8.799	7.346
Sensitivity S (nm/RIU)	Saverage=105.827		
Figure of merit (FOM)	1.875	1.454	

جدول۲: خواص طیفی ابرجاذب شبیهسازی شده به عنوان حسگر

این محدوده رسم شد (شکل۶)[۱۶]. همان طور که انتظار داریم با افزایش ضریب شکست طیف به سـمت طول موجهای بلندتر جابه جا (رابطهٔ ۴) و همچنین پهن تر می شود.

بحث و نتيجه گيري

در این تحقیق ابرجاذب پلاسـمونیک برپایهٔ LSPR طراحی و ساخته شد. از ویژگیهای این سـاختار جذب بسیار بالا و حساسیت زیاد نسبت به تغییرات ضریبشکسـت، عدم حساسیت به قطبش نـور، عدم نیاز بـه لیتوگرافی و فعال بودن در ناحیهٔ مرئی و برگشـتپذیر بودن اسـت.



شـــکل۶: طیف بازتاب ابرجاذب شبیه سازی شــده با تغییر ضریب شکست محیط اطراف بهعنوان زیست حسگر

نکت هٔ قابل توجه درمورد این ساختار پهنای جذب بالا میباشد که به تغییر ضریب شکست محیط اطراف حساس است. این ویژگی به ابعاد متفاوت نانوذرات مربوط می شود که از برهم نهی طیف پاسخ آن ها طیف پهنی ظاهر شده است. تغییر رنگ قابل مشاهده با چشم هنگام تغییر ضریب شکست محیط اطراف، قابلیت زیاد این ساختار برای عملکرد حسگر حتی در محیط غیر آزمایشگاهی را نشان می دهد. همچنین این ساختار می تواند به عنوان یک زیست حسگر استفاده شود که به دلیل عدم نیاز به مولکول های برچسب^۱ فلوروفور برای آشکار سازی بیومار کرها یا مولکول های شیمیایی و زیستی مطلوب می نماید.

براساس تغییرات ضریب شکست در ساختارهای ابر جاذب پلاسمونیک، حسگری نمونه های شـیمیایی و زیستی امکان پذیر می شود. در پژوهشی که توسط جایان^{۱۵} و همکاران انجام شده است با استفاده از لایهٔ نانوجزیرهٔ طلا یک زیست حسگر پلاس مونیک طراحی شده است به گونه ای که حساس یت طیفی با محاس بهٔ میزان جابه جایی طول موج پیک LSPR نسبت به تغییر رات ضریب شکست به صورت LSPR (2879 nm/RIU نسبت به تغییر رات ضریب شکست به مسورت LSPR (2879 nm/RIU نویب یه ای ماهده شده است. تغییر (تجربی) و LSPR اسازی تغییر ضخامت لایهٔ پروتئین بر آوردی از تغییر طیف LSPR به ازای تغییر ضخامت لایهٔ پروتئین بر آوردی از تغییر ضریب شکست نمونهٔ زیستی می باشد. بنابراین با ردیابی یکی از این مریب شکست فیزیکی نمونه قابل مطالعه می شـود [۶۱]. نمونه ای مشابه از حسگرهای نانوجزیرهی نقره با حساس یت بالا برای مطالعهٔ موصیات مورفولوژی اگزوزومه ا^{۹۲} و برهمکنش های پروتئین -پروتئین معرفی شدهاند [۱۷].

حساسیت ابرجاذب پلاسمونیک گزارششده در این مقاله بهصورت 118.605 nm/RIU (تجربی) و 105.827 nm/RIU (شبیهسازی) میباشد که نسبت به حساسیت گزارششده در نانوجزیرهٔ تنها توسط جایان و همکاران بهبود یافته است. با توجه به کارهای انجامشده میتوان نتیجه گرفت که از این ابرجاذب میتوان برای پایش برهمکنش پروتئین-پروتئین استفاده کرد.

از محدودیتهای این طرح میتوان به زمان بر بودن دستیابی به ساختار دلخواه برای ایجاد شرایط تغییر رنگ بهازای تغییر ضریب شکست اشاره نمود. همچنین ضخامت لایه نشانی انجام شده نیز با دقت ممکن دستگاه انجام می شرود که در صورت ارتقای این دقت شرایط ساختار ایدنال تری حاصل خواهد شرود. مطالعات جامع تری از بهینه سازی ساخت و انجام تستهای زیست حسگری از مولکول های شیمیایی و زیستی با این حسگر پیشنهاد می شرود که در دست انجام در قالب تحقیقات بین گروهی می باشد. به علاوه ساده سازی طرح و اجرای این حسگر و تلفیق آن در

14. Label-Free15. Jayan16. Exosomes

آرایههای میکروفلوئیدیک و ریزتراشهها پیشنهاد میشود بهنحویکه کاربری آن در مطالعات بیولوژیکی آزمایشگاهی و موجود زنده ممکن شود.

References:

1. Zhao Y. Light-driven tunable dual-band plasmonic absorber using liquid-crystal-coated asymmetric nanodisk array. 2012; 100(5): 053119.

2. Si G, Zhao Y, Leong E, Liu YJM. Liquid-crystalenabled active plasmonics: a review. 2014; 7(2): 1296-317.

3. Jenkins JA. Blue-shifted narrow localized surface plasmon resonance from dipole coupling in gold nanoparticle random arrays. 2014; 118(45): 26276-83.

4. Willets KA, Van Duyne RPJARPC. Localized surface plasmon resonance spectroscopy and sensing. 2007; 58: 267-97.

5. Devaraj V, Lee JM, Oh JWJN. Distinguishable Plasmonic Nanoparticle and Gap Mode Properties in a Silver Nanoparticle ona Gold Film System Using Three-Dimensional FDTD Simulations. 2018; 8(8): 582.

6. Jamali AA, Witzigmann BJP. Plasmonic perfect absorbers for biosensing applications. 2014; 9(6): 1265-70.

7. Liu Z. Common metal-dielectric-metal nanocavities for multispectral narrowband light absorption. 2016; 11(3): 781-6.

8. Liu N, Mesch M, Weiss T, Hentschel M, Giessen HJNI. Infrared perfect absorber and its application as plasmonic sensor. 2010; 10(7): 2342-8.

9. Le KQ, Ngo QM, Nguyen TKJIJoSTiQE. Nanostructured metal-insulator-metal metamaterials for refractive index biosensing applications: design, fabrication, and characterization. 2017; 23(2): 388-93.

10. Le KQ, Bai JJJB. Enhanced absorption efficiency of ultrathin metamaterial solar absorbers by plasmonic Fano resonance. OSA, 2015; 32(4): 595-600.

11. Yan M, Dai J, Qiu MJJoO. Lithography-free broadband visible light absorber based on a mono-layer of gold nanoparticles. 2014; 16(2): 025002.

12. Sun H, Yu M, Wang G, Sun X, Lian JJTJoPCC. Temperature-dependent morphology evolution and surface plasmon absorption of ultrathin gold island films. 2012;

116(16): 9000-8.

13. Caputo R, Palermo G, Infusino M, De Sio LJN. Liquid crystals as an active medium: novel possibilities in plasmonics. 2015; 1(1).

14. Moreau A. Controlled-reflectance surfaces with filmcoupled colloidal nanoantennas. 2012; 492(7427): 86.

15. Jiang N, Zhuo X, Wang JJCr. Active plasmonics: Principles, structures, and applications. 2017; 118(6): 3054-99.

16. Ozhikandathil J, Packirisamy M. Simulation and Implementation of a Morphology-Tuned Gold Nano-Islands Integrated Plasmonic Sensor. 2014; 14(6): 10497-513.

17. Raju D, Bathini S, Badilescu S, Ouellette RJ, Ghosh A, Packirisamy M. Study of Detection and Capture of Exosomes by Using the Morphologies of Ex Situ and In Situ Nanostructures. (in English), Journal of the Electrochemical Society, 2018; 166(9): B3001-B3006.