



## بهبود جذب در نانو پوسته‌های فلزی کروی با استفاده از زیر لایه گرافنی

حمیده نوری مهتاج | ساغر جارچی\* | اصغر کشت کار

گروه مهندسی برق - مخابرات، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین

**چکیده:** در این مقاله تأثیر استفاده از زیر لایه گرافنی بر روی جذب نانوپوسته‌های فلزی کروی طلا (Au) و نقره (Ag) مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی‌ها برای هر کدام از دو پوسته فلزی مذکور به طور جداگانه سه نوع هسته دی‌الکتریک متفاوت هوا (Air)، سیلیکون (Si) و آلومینا ( $Al_2O_3$ ) در نظر گرفته شده است. بررسی، شبیه سازی و مقایسه این نانو پوسته‌ها برای دو اندازه‌ی شعاع کل ساختار برابر با ۲۵ نانومتر و ۵۰ نانومتر، انجام گرفته است. هدف اصلی این مقاله بررسی پارامترهای مختلف ساختار جهت دستیابی به بهبود جذب می باشد. نمودار برش مقطع عرضی (ACS) در تمام موارد مطالعه شده است. در مطالعات انجام شده بر روی نتایج، مشاهده می‌شود حضور زیر لایه گرافنی در زیر نانوپوسته‌های فلزی بر میزان دامنه جذب آنها می‌افزاید. در این بین عواملی مانند اندازه ضخامت پوسته‌ی فلزی نانوپوسته، اندازه ضخامت زیر لایه گرافنی، جنس دی‌الکتریک مورد استفاده، اندازه شعاع کلی ساختار و همچنین جنس محیط پیرامون، به شدت در میزان بهبود و افزایش در دامنه نمودار برش مقطع عرضی جذب ساختار، مؤثر هستند و برای داشتن بیشینه‌ی جذب، باید مصالحه‌ای بین این کمیت‌ها وجود داشته باشد.

**واژگان کلیدی:** نانوپوسته فلزی، زیر لایه‌ی گرافنی، برش مقطع عرضی جذب.

s.jarchi@eng.ikiu.ac.ir

توجه به منابع مختلف، ضخامت یک تک لایه گرافنی معادل با ۰٫۳۴ نانومتر می‌باشد که در عمل نیز قابل ساخت است.

در کاربردهای عملی می‌توان از گرافن‌های چند لایه که شامل تعدادی تک لایه گرافنی هستند بهره گرفت. بین ۳ تا ۱۰ لایه گرافنی (در واقع ضخامتی بین ۱٫۰۲ تا ۳٫۴ نانومتر) را گرافن کم لایه و بین ۱۰ تا ۳۰ لایه گرافنی (در واقع ضخامتی بین ۳٫۴ تا ۱۰٫۲ نانومتر) را گرافن ضخیم می‌نامند در ادامه ضخامت بیش از این اندازه وارد محدوده تعریف گرافیت می‌گردد [۱-۳].

گرافن در مراجع مختلف به هنگام دارا بودن طراحی مناسب به عنوان جاذب کامل مطرح گردیده است. در واقع یک لایه نانو از گرافن خالص تنها، فقط در حدود (۲٫۳ درصد) نور تابیده شده را

### ۱- مقدمه

هدف از انجام این پژوهش مقایسه میزان جذب در دو حالت ذیل می‌باشد که عبارت اند از:

(الف) نانوپوسته‌های فلزی به تنهایی و بدون زیر لایه گرافنی؛

(ب) نانو پوسته فلزی همراه زیر لایه گرافنی.

این مقاله بر پایه دو مفهوم فیزیکی - شیمیایی شکل گرفته است، ورقه‌های گرافنی و پلاسمون‌های سطحی متمرکز (LSPs). گرافن، یک تک لایه دو بعدی از گرافیت است که شبکه‌ای از ترکیبات شش ضلعی کربنی (لانه زنبوری) را شکل می‌دهد. با

در روابطی که مطرح شد،  $\tau$  معادل با زمان استراحت (Relaxation Time) فراباندی در حین روند تفرق الکترونی است،  $T$  نمایانگر دما،  $\mu_c$  پتانسیل شیمیایی (انرژی فرمی)،  $k_B$  ثابت بولتزمن،  $e$  عدد نپر،  $\omega$  فرکانس و  $\hbar$  ثابت پلانک کاهش یافته را معین می‌کند. که در محاسبات انجام گرفته در این مقاله؛  $(T = 300^\circ\text{K})$  برابر با دمای اتاق و  $(\mu_c = 0)$  و  $(\tau = 10^{-13})$  در نظر گرفته شده‌اند.

در فرکانس‌های باند تراهرتز که انرژی فوتون از رابطه  $(\hbar\Omega \ll \mu_c)$  تبعیت می‌کند، می‌توان از بخش میان‌باندی در رابطه کلی هدایت سطحی گرافن صرف نظر کرد و بنابراین هدایت سطحی گرافن از مدل مشابه درود (Drude Like Model) پیروی می‌کند که در آن انجام محاسبات مربوط به بخش درون‌باند کفایت می‌کند. و در زمانی که رابطه  $(\mu_c \gg k_B T)$  برقرار باشد هدایت سطحی گرافن مطابق با فرمول ۵ به صورت خطی با انرژی فرمی در ارتباط خواهد بود [۴ و ۷]:

$$\sigma = \frac{e^2 \mu_c}{\pi \hbar^2} \cdot \frac{i}{\omega + i\tau^{-1}} \quad (5)$$

پلاسمون‌های سطحی متمرکز دومین نوع برانگیختگی بنیادین ذرات پلاسمونی هستند که شامل برانگیختگی غیرانتشاری الکترون‌های نانوساختارهای فلزی تزویج شده با میدانهای الکترومغناطیسی می‌باشند. تشدید پلاسمونی می‌تواند به وسیله تابش مستقیم نور برانگیخته شده و به وقوع پیوندد. یکی از انواع ساختارهای در برگیرنده مشخصات پلاسمون‌های سطحی متمرکز، نانوپوسته‌های فلزی هستند که از یک روکش فلزی و هادی که یک دی‌الکتریک یا عایق را می‌پوشاند تشکیل می‌شوند. آنها می‌توانند هر شکل هندسی دلخواهی را در برگیرند. شکل هندسی انتخابی برای این پژوهش شامل ساختارهای کروی متحدالمرکز می‌باشد [۹-۱۳].

جذب می‌کند و لازم است تمهیداتی جهت استفاده کارآمد از آن بکار برد. یکی از راهکارهای افزایش جذب، استفاده از لایه گرافنی به عنوان نانو نوار در کنار ساختارهای پلاسمون سطحی متمرکز می‌باشد و به این ترتیب می‌توان از افزایش جذب دو جانبه هم در لایه‌های گرافنی و هم در ساختارهای پلاسمونی مذکور بهره برد. اگر طراحی نحوه استفاده از گرافن به گونه ای دقیق صورت بگیرد محدوده جذب آن را می‌توان تا ۵۰٪ افزایش داد و بنابراین میزان جذب گرافن نسبت به ضخامت آن زیاد می‌باشد. به همین علت برای کاربردهایی که در آنها به جذب بالا نیاز داریم، استفاده از گرافن گزینه مناسبی است [۴-۸].

## ۲- محاسبات

هر ورقه‌ی گرافنی دارای مشخصه‌ای است که هدایت سطحی نام دارد و به توسط این پارامتر است که ویژگی‌های گرافن توصیف می‌گردد. این قابلیت به سبب آن است که این مشخصه به طور کاملاً واضح و مشخص در گستره وسیع بازه فرکانسی از امواج رادیویی تا امواج تراهرتز قابل محاسبه می‌باشد. در حالت کلی این کمیّت توسط مشارکت دو وضعیّت درون‌باند (Intraband) و میان‌باندی (Interband) تعریف می‌گردد و به فرم معادلات ریاضی زیر شرح داده می‌شود [۴ و ۷]:

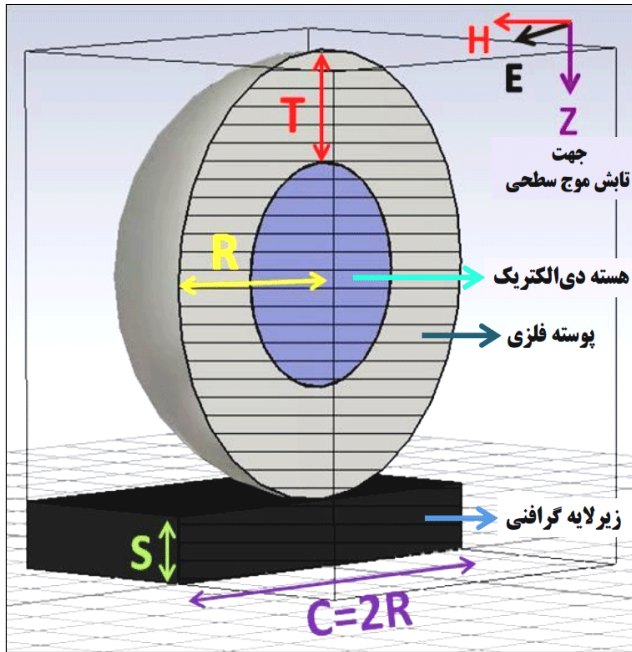
$$\sigma = \sigma^{\text{intra}} + \sigma^{\text{inter}} \quad (1)$$

$$\sigma^{\text{intra}} = \frac{2e^2}{\pi \hbar} \cdot \frac{k_B T}{\hbar} \ln \left[ 2 \cosh \left[ \frac{\mu_c}{2k_B T} \right] \right] \cdot \frac{i}{\omega + i\tau^{-1}} \quad (2)$$

$$\sigma^{\text{inter}} = \frac{e^2}{4 \hbar} \left[ H \left( \frac{\omega}{2} \right) + i \frac{4\omega}{\pi} \int_0^\infty \frac{H(\Omega) - H \left( \frac{\omega}{2} \right)}{\omega^2 + 4\Omega^2} d\Omega \right] \quad (3)$$

$$H(\Omega) = \sinh \left( \frac{\hbar\Omega}{k_B T} \right) / \left[ \cosh \left( \frac{\hbar\Omega}{k_B T} \right) + \cosh \left( \frac{\mu_c}{k_B T} \right) \right] \quad (4)$$

## ۳- مدلسازی



در این فرآیند از نرم افزار شبیه ساز (CST) بهره گرفته شده است. برای به دست آوردن نتایج صحیح و نزدیک به واقعیت، برای جایگذاری پارامترهای تشکیل دهنده بخش‌های متعدد ساختار شامل؛ فلزات نجیب، دی‌الکتریک‌ها، و لایه‌های گرافنی از نتایج حاصل از پژوهش‌های تجربی مقالات متعدد به همراه اندکی کد نویسی استفاده شده است. در این شبیه سازی‌ها جهت انطباق بیشتر با واقعیت جهت معرفی آن‌ها برای کاربرد سلول‌های خورشیدی، محیط پیرامون هوا در نظر گرفته شده است. مشخصات فضای مورد شبیه سازی برای یک مورد خاص با ذکر توضیحات در شکل ۱ نشان داده شده است.

در این پروسه، تنها نمودار تابع برش مقطع عرضی جذب (ACS) ساختارها به علت تمرکز موضوع مقاله بر مسأله جذب، مورد بررسی واقع شده است. رابطه تابع جذب با توابع خاموشی (Extinction) و تفرق (Scattering) به شکل زیر می‌باشد [۱۳]:

$$F_{EXT} = F_{SCA} + F_{ABS} \quad (۶)$$

مطابق با این رابطه تابع جذب معادل با تفاضل تابع خاموشی و تابع تفرق می‌باشد. لازم به ذکر است این نرم افزار در حالت کلی از مدل درود برای بررسی توابع دی‌الکتریک بخش‌های مختلف ساختار و بر مبنای شبیه سازی (FDTD) و با دقت بالا عمل می‌کند. در این نرم افزار امکان ایجاد تغییر در مدل مورد نیاز مطالعات، منطبق بر معادلات ریاضی آن نیز وجود دارد.

با توجه به تمامی مطالب ذکر شده در این قسمت، نتایج بدست آمده در این پژوهش با تقریب خوبی صحیح می‌باشند [۴ و ۷-۱۳].

شکل ۱: برش مقطع عرضی نمونه یک نانوپوسته فلزی به همراه زیرلایه گرافنی و نمایش نام گذاری مشخصات ظاهری و ابعاد در آن (ساختار در این شکل دارای ابعادی نمادین است). این ساختار تحت تابش مستقیم موج سطحی می‌باشد و در حال تشدید است. حرف R در این شکل نمایانگر شعاع کل ساختار می‌باشد. حرف T نمایانگر ضخامت پوسته فلزی است که می‌تواند از جنس طلا یا نقره انتخاب گردد. حرف S ضخامت زیر لایه گرافنی را نشان می‌دهد. بررسی‌های انجام شده در هر حالت به طور جداگانه برای سه نوع هسته دی‌الکتریک هوا، سیلیکون و آلومینا در حضور و عدم حضور زیرلایه گرافنی تکرار گردیده است.

### ۳-۱- بررسی نانوپوسته‌های فلزی بدون زیرلایه‌ی گرافنی

در ابتدا نانوپوسته‌های فلزی طلا و نقره، برای سه اندازه شعاع کلی ساختار (۵۰ و ۲۵ و ۵ نانومتر)، هریک به طور مجزاً حاوی سه نوع دی‌الکتریک هوا، سیلیکون و آلومینا (اکسید آلومینیوم)، به تنهایی و بدون زیرلایه گرافنی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نمودار ۱ نحوه انتخاب اندازه‌های متفاوت بخش‌های مختلف، در ۵۴ ساختار طبقه بندی شده مورد بررسی را نشان می‌دهد. این ساختارها به واسطه روش آزمون و خطا از بین چندین ساختار دارای ابعاد متفاوت انتخاب گردیده‌اند.

جدول ۱: ساختارهای نانوپوسته با نتایج بهینه در نمودار برش مقطع عرضی جذب.

ساختار ساختمان نانو پوسته	ضخامت پوسته فلزی بر حسب نانو متر در ساختار با شعاع کل ۵ نانومتر	ضخامت پوسته فلزی بر حسب نانو متر در ساختار با شعاع کل ۲۵ نانومتر	ضخامت پوسته فلزی بر حسب نانو متر در ساختار با شعاع کل ۵۰ نانومتر
شماره ساختار	(۱)	(۲)	(۳)
a Au-Air	۲,۵	۱۲	۲۵
b Au-Silicon	۲,۵	۱۲	۶
c Au-Alumina	۲,۵	۱۲	۲۵
d Ag-Air	۲,۵	۱۲	۲۵
e Ag-Silicon	۱,۲	۶	۶
f Ag-Alumina	۱,۲	۱۲	۱۲

### ۳-۲- بررسی نانوپوسته‌های فلزی بر روی زیرلایه گرافنی

در ادامه این بخش، به شبیه سازی و مطالعه نانو پوسته‌های فلزی بر روی زیرلایه گرافنی پرداخته شده است. در ابتدا ممکن است بهینه سازی رفتار نانوپوسته‌ها، با قراردادن صرف یک زیرلایه گرافنی با هر خصوصیات فیزیکی دلخواه ممکن و ساده به نظر برسد. اما لازم به ذکر است که همین که ایده‌ی اضافه شدن زیرلایه گرافنی در مطالعات به میان می‌آید، به همراه آن شرایط و محدودیت‌هایی نیز جهت استفاده از آن پیش روی قرار می‌گیرد. مانند بررسی‌های قبلی در این مبحث نیز تعداد بسیار زیادی ساختار با خصوصیات متنوع در کنار زیرلایه‌های گرافنی با ضخامت‌های متعدد مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند که بیش از ۱۰۰ حالت مختلف را در بر می‌گیرند.

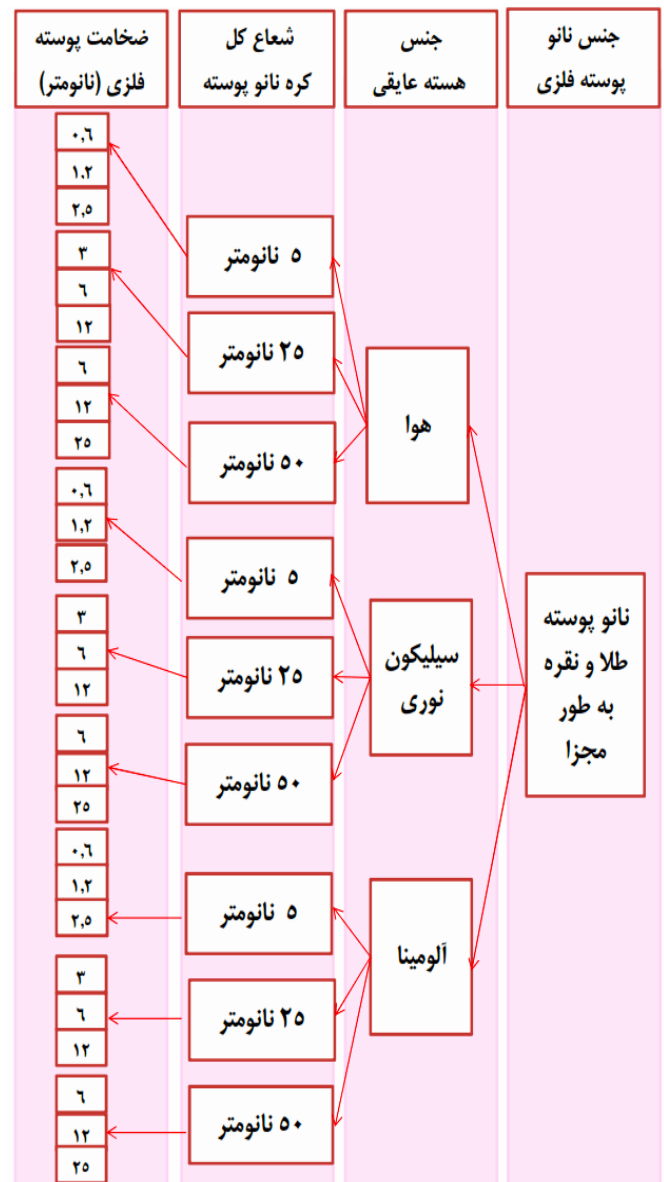
زیرلایه گرافنی به کار رفته در زیر نانوپوسته‌ها، یک ساختار مکعبی دارای سطح مربعی است که طول اضلاع آن برابر با قطر کلی نانو پوسته می‌باشد.

مطابق حالت قبل مشاهده می‌شود از بین ساختارهای مورد بررسی، تعدادی دارای بیشینه جذب در نمودار برش مقطع عرضی جذب خود می‌باشند که در جدول ۲ به آنها اشاره شده است. در این مقاله تنها به موارد کاملاً بهینه و دارای بیشینه جذب، چه در حالت حضور گرافن و چه در حالت عدم حضور آن پرداخته شده است.

همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود بین ضخامت لایه رویین نانوپوسته و هسته مرکزی آن برای اندازه‌های شعاع کلی ساختار (R) متفاوت، ضریب تناسب مشخصی انتخاب شده است.

در این میان مطابق انتظار تعدادی از ساختارها از نقطه نظر میزان جذب، رفتار مطلوب‌تری از خود بروز می‌دهند و به عبارت بهتر در برخی از آنها بیشینه میزان جذب مشاهده می‌شود. این موارد در جدول ۱ مشخص شده‌اند.

نمودار ۱: نمودار ابعاد بخش‌های مختلف نانوپوسته‌های مورد بررسی



جدول ۲: ساختارهای نانوپوسته همراه با زیرلایه گرافنی دارای نتایج بهینه در نمودار برش مقطع عرضی جذب.

	ساختار ساختمان نانو پوسته فلزی در حضور زیر لایه گرافنی	ضخامت پوسته فلزی برحسب نانو متر در ساختار با شعاع کل ۲۵ و ۵۰ نانو متر [T]	بازه تغییرات ضخامت گرافن بر حسب نانو متر جهت کسب نتایج بهینه [S]
A	Au-Air (R=۲۵nm)	۱۲	۱٫۸-۹
B	Au-Silicon (R=۲۵nm)	۶	۱٫۸-۹
C	Au-Alumina (R=۲۵nm)	۶	۱٫۸-۹
D	Ag-Air (R=۲۵nm)	۶	۱٫۸-۹
E	Ag- Silicon (R=۲۵nm)	۱۲	۱٫۸-۹
F	Ag- Alumina (R=۲۵nm)	۱۲	۱٫۸-۹
G	Au-Air (R=۵۰nm)	۲۵	۲٫۸-۲۴
H	Au-Silicon (R=۵۰nm)	۱۲	۲٫۸-۱۸
I	Au-Alumina (R=۵۰nm)	۱۲	۲٫۸-۱۸
J	Ag-Air (R=۵۰nm)	۲۵	۲٫۸-۲۴
K	Ag- Silicon (R=۵۰nm)	۶	۲٫۸-۱۸
L	Ag- Alumina (R=۵۰nm)	۱۲	۲٫۸-۱۸

کنار زیرلایه گرافنی مشابه رفتار یک تابع نمایی است که به قدری عملکرد نامحسوسی دارد که هیچ استدلال و برداشت منطقی از آن نمی توان داشت. همین رفتار را برای نانو پوسته نقره با شعاع کمتر از ۱۱ نانومتر شاهد هستیم (این رخداد برای هر سه نوع دی الکتریک به طور مشترک مشاهده می شود). بنابراین در این مبحث به بررسی جامع ساختارهایی با اندازه شعاع بیشتر از محدوده مذکور پرداخته شده است.

## ۴-۲- وابستگی جذب به ضخامت نانوپوسته و ضخامت لایه گرافنی

یکی از نتایج بدست آمده این است که نانوپوسته های درارای ضخامت بهینه معرفی شده در جدول ۱ در بعضی موارد استثنایی همان مطلوبیت حداکثری و بیشینه جذب را در کنار زیرلایه گرافنی ندارند. به همین دلیل، جهت یافتن ضخامت های بهینه برای نانو پوسته های واقع شده در مجاورت زیرلایه گرافنی در این پژوهش مطالعات و شبیه سازی های فراوانی صورت گرفته است که در امتداد آنها این ابعاد بهینه معین گردیده اند و در جدول ۲ معرفی شده اند. قابل توجه است که، می بایست تناسب معینی بین ضخامت لایه رویین ساختار نانوپوسته و ضخامت لایه گرافنی به کار رفته در زیر آن وجود داشته باشد، تا بتوان به بیشینه مطلوب مورد انتظار دست یافت. جالب توجه است که دست آوردهای این پژوهش می تواند زیرلایه های با هر تعداد لایه گرافنی را در برگیرد. با اضافه کردن زیرلایه گرافنی و یافتن بهترین ضخامت برای لایه های نانوپوسته به شبیه سازی ها برای یافتن بهینه ترین حالت برای اندازه ضخامت لایه گرافنی ادامه داده شد و در حین اعمال تغییرات، رخداد ذیل توجه را جلب کرد. طبق آنچه در جدول ۲ مطرح گردیده است، بررسی ضخامت زیرلایه گرافنی برای نانو پوسته های با شعاع ۲۵ و ۵۰ نانومتر از یک مقدار مشخص آغاز شده است (ضخامت زیرلایه گرافنی بهبود دهنده ی به کار رفته در زیر نانوپوسته ها، برای ساختارهای نانوپوسته با ابعاد ۲۵ نانو متر، از ۱٫۸ نانومتر و برای ساختارهای نانوپوسته با ابعاد ۵۰ نانومتر، از ۲٫۸ نانومتر آغاز گردیده است) و در ادامه به تدریج به مقدار آن افزوده شده است. در طی این روند مشاهده شد که تا هنگام رسیدن به یک ضخامت معین، دامنه توابع مورد بررسی (جذب، تفرق و خاموشی) به طور تقریبی ثابت

## ۴- نتایج و بحث

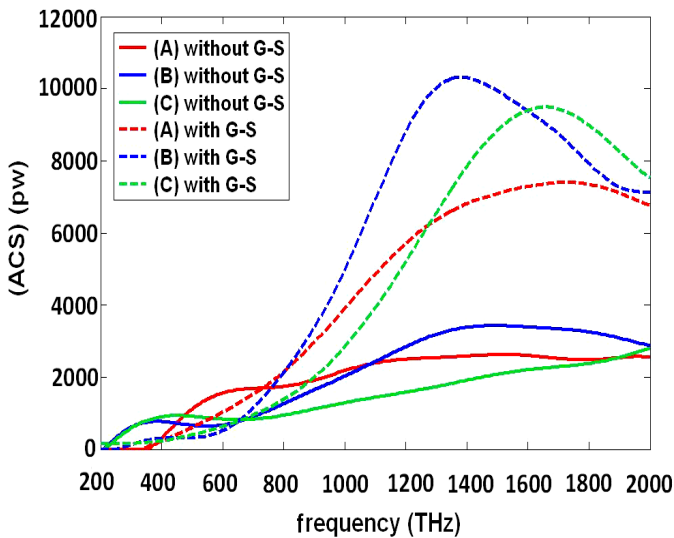
در پایان انجام فرآیند پژوهش به مشاهدات و نتایجی دست یافتیم که در ادامه به آنها به طور کاملتری اشاره می شود. به طور مختصر می توان این چنین نتیجه گرفت که دامنه جذب نانو پوسته ها هم به شعاع کل ساختار، هم به ضخامت پوسته فلزی نانوپوسته فلزی و هم به ضخامت زیرلایه گرافنی وابسته است.

## ۴-۱- وابستگی جذب به شعاع نانو پوسته

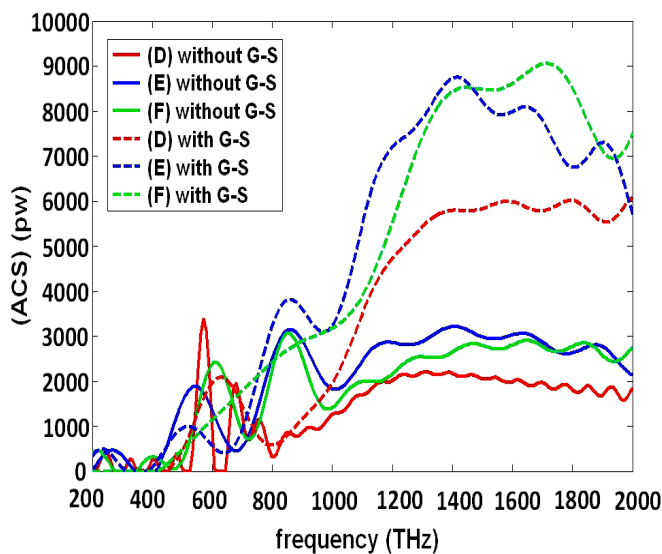
نانو پوسته های طلا با شعاع کلی ساختار تا اندازه کمتر از ۱۳ نانومتر، وقتی روی زیرلایه گرافنی قرار می گیرند، هیچ گونه بهبودی در عملکرد نانو پوسته را شاهد نیستیم. ولی برای شعاع های کل ساختار بیشتر از ۱۳ نانومتر نانوپوسته در کنار زیرلایه گرافنی به نقش آفرینی در جهت افزایش جذب و در حالت کلی بهبود عملکرد ساختار خواهد پرداخت. در ساختارهای با شعاع کمتر از ۱۳ نانومتر رفتار جذب، تفرق و خاموشی نانوپوسته ها در



**راهنمایی:** نمودارها بر اساس ساختارهای جدول ۲ در حضور و عدم حضور زیرلایه گرافنی رسم شده‌اند و بر مبنای نام سطرهای آن جدول نامگذاری شده‌اند ((G-S) نمایانگر مخفف عبارت انگلیسی زیرلایه گرافنی می‌باشد).



شکل ۲: مقایسه برش مقطع عرضی جذب ساختارهای نانوپوسته طلا با شعاع کلی ۲۵ نانومتر در دو حالت حضور و عدم حضور زیرلایه گرافنی، مرتبط با جدول ۲.



شکل ۳: مقایسه برش مقطع عرضی جذب ساختارهای نانوپوسته نقره با شعاع کلی ۲۵ نانومتر در دو حالت حضور و عدم حضور زیرلایه گرافنی، مرتبط با جدول ۲.

است و با تغییراتی جزئی همراه است و دارای مقدار بیشینه خود می‌باشد. اما با رسیدن به ضخامت مشخص که آن را در اینجا «ضخامت شکست» می‌نامیم و مقدار آن تنها یک نانومتر بیش از آخرین مقدار ضخامت بهینه می‌باشد، در دامنه جذب، کاهش دیده می‌شود که میزان دامنه را از حالت حداکثری خود به مقداری معینی کاهش می‌دهد.

نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که دامنه توابع جذب، تفرق و خاموشی مورد بررسی، پس از ضخامت شکست و زمانی که دارای مقدار کاهش یافته خود هستند، باز هم از میزان جذب در نانو پوسته تنها بیشتر است. بنابراین می‌توان گفت که وجود زیرلایه گرافنی و در ابعاد بالاتر و حتی در ضخامت‌های گرافیتی، بر میزان دامنه توابع مورد بررسی در هر حالتی می‌افزاید، اما در این مقاله تنها حالت جذب بیشینه مطرح گردیده و بررسی شده‌است و در نهایت با ساختارهای دیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌است.

در نتیجه همان‌طور که مشاهده می‌شود برای رسیدن به یک ساختار بهینه در میان ساختارهای مورد بررسی باید یک سری شرایط و به عبارتی محدودیت‌ها اعمال گردد و یافتن بهترین نتیجه به سادگی امکان پذیر نیست.

### ۳-۴- مقایسه نمودارهای برش مقطع عرضی جذب برای نانوپوسته در حضور و عدم حضور زیرلایه گرافنی

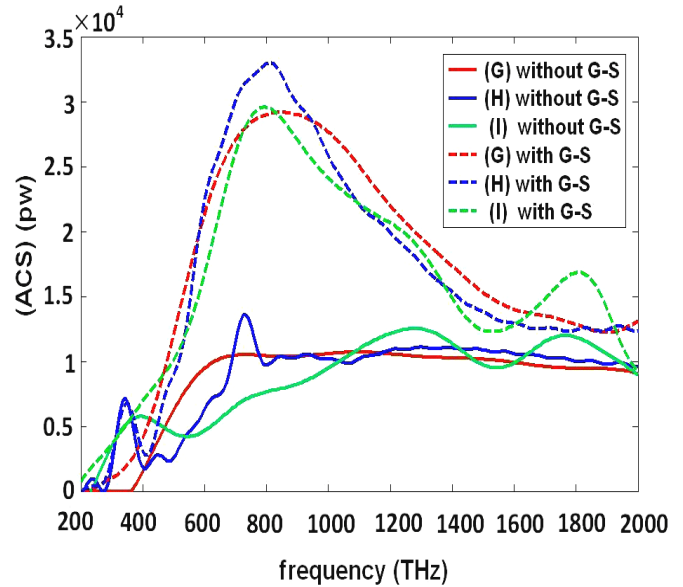
در نهایت پس از طبقه بندی کامل اطلاعات، جهت مقایسه، فقط نانوساختارهای بهینه موجود در جدول ۲ در حضور و عدم حضور زیرلایه گرافنی و تحت شرایط کاملاً یکسان مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در شکل‌های (۲ الی ۵) منحنی‌های نمودار جذب برای ساختار بدون زیرلایه گرافنی با خط توپر و برای همان ساختار در حضور زیرلایه گرافنی با خط چین و رنگ مشابه نشان داده شده‌است. در تمامی شکل‌های نشان داده شده نمودار جذب در ساختار در حالت حضور زیرلایه گرافنی افزایش قابل توجهی داشته‌است.

ضخامت زیرلایه گرافنی وابسته می‌باشد. اما برای داشتن حالت بهینه و مناسب‌ترین نتیجه مطلوب در افزایش دامنه جذب، نیاز به برآورده شدن تمامی شرایط مطرح شده در متن مقاله می‌باشد.

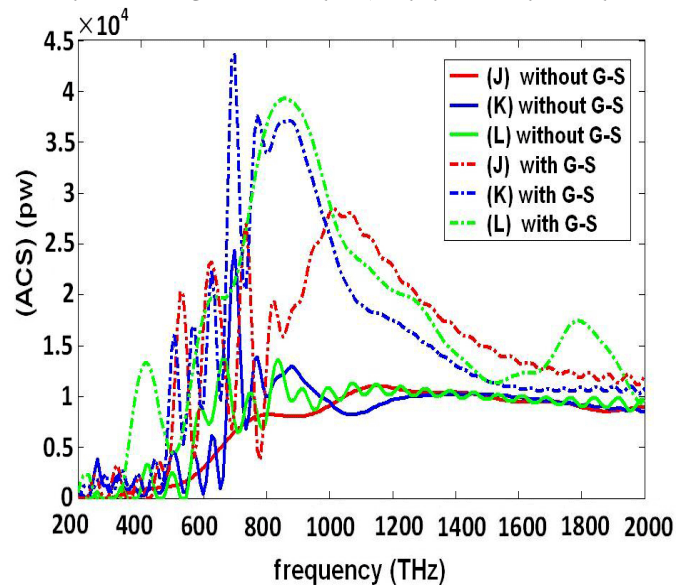
با افزایش شعاع کلی نانوپوسته و به تبع آن اضلاع سطح لایه گرافنی، بر میزان دامنه جذب کل ساختار افزوده می‌شود و در همین حین از لحاظ فرکانسی شاهد یک جابجایی فرکانسی به سمت طیف مادون قرمز (Red Shift)، به صورت تدریجی نیز هستیم که فرکانس تشدید ساختارها را به طیف نوری نزدیکتر می‌سازد. همچنین هر چه بر میزان شعاع کلی نانوپوسته‌ها افزوده می‌شود نانوپوسته‌های نقره نتایج بهتری را از نقطه نظر دامنه جذب از خود نشان می‌دهند، اما به علت اینکه ساختارهای طلا تنها یک بیشینه فرکانسی دارند ولی ساختارهای نقره دارای چند بیشینه تشدید هستند، ساختارهای طلا از نقطه نظر مطالعات بر روی تشدید و بیشینه جذب، رفتار بهتر و مطلوب‌تری دارند. به طور خلاصه با توجه به جدول ۲ و شکل‌های (۴ و ۵) می‌توان گفت، پوسته نقره با ضخامت ۶ نانومتر و برای ساختار با اندازه شعاع کلی ۵۰ نانو متر با هسته سیلیکونی بیشترین دامنه جذب را در محدوده اپتیکی (تقریباً ۴۴۰ الی ۷۶۰ تراهرتز) نسبت به سایر ساختارها دارا می‌باشد و از این جهت نسبت به نانو پوسته با ضخامت پوسته طلا (۱۲) نانومتری دارای اندازه شعاع کلی ساختار (۵۰) نانومتر با هسته سیلیکونی، برتری دارد.

در میان عایق‌ها می‌توان گفت اثر عایق‌های سیلیکون نوری و آلومینا تقریباً در یک سطح می‌باشند. می‌توان علت وقوع این رخداد را نزدیک بودن مقادیر حاصل از تابع ضریب دی‌الکتریک نسبی ( $\epsilon_r$ ) برگرفته از مدل درود آنها دانست ولی هر دو آنها از عایق هوا در این زمینه بهتر عمل می‌کنند و شاید علت را بتوان بازم به اندازه تغییرات ضریب دی‌الکتریک نسبی این عایق‌ها مرتبط دانست که چند برابر تغییرات ضریب دی‌الکتریک نسبی هوا می‌باشند. با توجه به نتایج بدست آمده کاربردهایی را می‌توان برای ساختارهای مورد بررسی در این مقاله مطرح نمود که در ادامه متن به معرفی آنها پرداخته شده است.

کاربرد اول و اصلی مورد نظر نویسندگان این مقاله، به کاربرد ساختارهای معرفی شده در سلول‌های خورشیدی جهت افزایش میزان جذب انرژی در آنها است [۲۱-۱۶].



شکل ۴: مقایسه برش مقطع عرضی جذب ساختارهای نانوپوسته طلا با شعاع کلی ۵۰ نانومتر در دو حالت حضور و عدم حضور زیرلایه گرافنی، مرتبط با جدول ۲.



شکل ۵: مقایسه برش مقطع عرضی جذب ساختارهای نانوپوسته نقره با شعاع کلی ۵۰ نانومتر در دو حالت حضور و عدم حضور زیرلایه گرافنی، مرتبط با جدول ۲.

## ۵- نتیجه گیری

در حالت کلی استفاده از زیرلایه گرافنی و گرافیتی، بر میزان جذب ساختار نانوپوسته فلزی می‌افزاید. این افزایش در حالت بهینه تقریباً در حدود سه برابر (وابسته به نوع و اندازه ساختار کمی بیشتر یا کمتر) حالتی است که از زیرلایه گرافنی استفاده نشده است. این افزایش در میزان جذب، به طور مستقیم، به تعدیل ضخامت لایه فلزی نانوپوسته و همین‌طور افزایش

“Study of the absorption coefficient of graphene-polymer composites,” Scientific Reports, 8, 9132, 1-8, 2018.

[7] Andrei Andryieuski, and Andrei V. Lavrinenko, “Graphene Metamaterials Based Tunable Terahertz Absorber: Effective surface conductivity approach,” Optical Society of America, Optics Express, 7, 9144-9155, 2013.

[8] Kin FaiMaka, LongJu, FengWang, TonyF.Heinz, “An optical spectroscopy of graphene: From the far infrared to the ultraviolet,” ELSEVIER, 15, 1341-1349, 2012.

[9] Chris D. Geddes, “Reviews in plasmonics 2010,” © Springer Science+Business Media, 2012.

[10] Craig. F. Bohren, Donald R. Huffman, “Absorption and scattering of light by small particles,” John Wiley & Sons, Inc, 1983.

[11] Ki Young Kim, “Plasmonics principles and applications,” Copyright © InTech, 2012.

[12] R.B.M. Schasfoort and Anna J. Tudos, “Handbook of surface plasmon resonance,” © the Royal Society of Chemistry, 2008.

[13] Stefan. A. Maier, “Plasmonics fundamentals and applications,” Centre for photonics and photonic materials department of Physics, University of Bath, UK, 2007.

[14] Edward D. Palik, “Hand book of optical constants of solids,” Academic Press An Imprint of Elsevier, 1985.

[15] P.B.Johnson and R.W.Christy, “optical constant of noble metals,” physical review, 12, 4370-4379, 1972.

[16] Yuriy A. Akimov · Wee Shing Koh, “Design of plasmonic nanoparticles for efficient subwavelength light trapping in thin-film solar cells,” Springer Science+Business Media, 1, 155-161, 2011.

کاربرد دوّم استفاده از ابعاد ۱۰۰ نانومتری ساختارهای مذکور (به علت آنکه طبق اطلاعات موجود در مقالات متعدّد، ابعاد ۱۰۰ نانومتر به بالا درون بدن آثار سمی و نشست و ماندگاری خیلی کمتری نسبت ابعاد کوچکتر از آن دارند و این نکته از نقطه نظر دیدگاه سم شناسی نانو (Nano Toxicology) بسیار قابل تأمل است)، جهت عامل دار کردن آنها و ارسال آنها به بدن انسان یا سایر موجودات زنده جهت درمان برخی بیماریها (اغلب سرطان) می باشد [۲۲ و ۲۳].

کاربرد سوّم، استفاده از ساختارهای معرفی شده در روش نور و حرارت درمانی (PPT) است. این روش درمان با استفاده از خاصیت رزنانس و تولید انرژی فوتونی (حرارتی) توسط نانو ذرات پلاسمونی سطحی متمرکز بنا شده است و از آن برای درمان انواع تومورهای سرطانی به کمک تابش امواج، استفاده می شود [۲۴-۳۲].

## مراجع

[1] Jian Ru Gong, “Graphene – Synthesis, Characterization, Properties and applications, Published by InTech Janeza Trdine,” 2011.

[2] Raghu Murali, “Graphene nanoelectronics, Springer, 2012.

[3] M. Meyyappan, Wonbong Choi, Jo-won Lee, “Nanomaterials and Their Applications: Graphene synthesis and application, ” Taylor & Francis Group, 2014.

[4] Rasoul Alaei, Mohamed Farhat, Carsten Rockstuhl, and Falk Lederer, “A perfect absorber Made of a graphene micro-ribbon metamaterials,” Physics.Optics, Optics Express, 27, 28017-28024, 2012.

[5] Yuancheng Fan; Zeyong Wei, Zhengren Zhang, and Hongqiang Li, “Enhancing infrared extinction and absorption in a monolayer graphene sheet by harvesting the electric dipolar mode of Split ring resonators,” physics.optics, Optics Letters, 24, 5410-5413, 2013.

[6] K. Zeranska-Chudek, A. Lapinska, A. Wroblewska, J. Judek1, A. Duzynska, M. Pawlowski, A. M. Witowski2 & M. Zdrojek,



- [26] Xiaohua, Mostafa A. El-Sayed, "Gold nanoparticles: Optical properties and implementations in cancer diagnosis and photothermal therapy," *Journal of Advanced Research*, 1, 13-28, 2010.
- [27] Jingyi Chen, AND Coworkers, "Gold nanocages as photothermal transducers for cancer treatment," *nationzl institute of helth*, 6, 811-817, 2010.
- [28] Feifan Zhou , Shengnan Wu , Baoyan Wu , Wei R. Chen, and Da Xing, "Mitochondria-targeting single-walled carbon nanotubes for cancer photothermal therapy," *Wiley*, 19, 2727-2735, 2011.
- [29] Laura C. Kennedy, Lissett R. Bickford, Nastassja A. Lewinski, Andrew J. Coughlin, Ying Hu , Emily S. Day , Jennifer L. West , and Rebekah A. Drezek , "A new era for cancer treatment: gold-nanoparticle-mediated thermal therapies," *small*, 2, 169-183, 2011.
- [30] Avi Schroeder, Daniel A. Heller, Monte M. Winslow, James E. Dahlman, George W. Pratt<sup>1,2</sup>, Robert Langer, Tyler Jacks and Daniel G. Anderson, "Treating metastatic cancer with nanotechnology," *Nature Reviews*, 12, 39-50, 2012.
- [31] Raviraj Vankayala, Chun-Chih Lin, Poliraju Kalluru, Chi-Shiun Chiang, Kuo Chu Hwang, "Gold nanoshells-mediated bimodal photodynamic and photothermal cancer treatment using ultra-low doses of near infra-red light," *bio materials*, elsevire, 21, 5527-5538, 2014.
- [32] Rachel S. Riley and Emily S. Day , "Gold nanoparticle-mediated photothermal therapy: applications and opportunities for multimodal cancer treatment," *Wiley Periodicals, Focus Article*, 4, 1-16, 2017.
- [17] Carl Hägglund, and S. Peter Apell, "Plasmonic near-field absorbers for ultrathin solar cells," *Physical Chemistry*, 10, 1275-1285, 2012.
- [18] Keisuke Nakayama, a\_ Katsuaki Tanabe, and Harry A. Atwater b\_ , "Plasmonic nanoparticle enhanced light absorption in GaAs solar cells," *Applied Physics Letters*, 93, 121904-1-121904-3, 2008.
- [19] Wenzhen Ren, Guanghui Zhang, Yukun Wu, Huaiyi Ding, Qinghe Shen, Kun Zhang, Junwen Li, Nan Pan, and Xiaoping Wang, "Broadband absorption enhancement achieved by optical layer mediated Plasmonics solar cell," *Optics Express*, 27, 26536-26550, 2011.
- [20] Michael D. Brown, Teeraporn Suteewong, R. Sai Santosh Kumar, Valerio D'Innocenzo, Annamaria Petrozza, Michael M. Lee, Ulrich Wiesner, and Henry J. Snaith, "Plasmonic dye-sensitized solar cells using core-shell metal-insulator nanoparticles," *Nano Letters*, 2, 438-445, 2011.
- [21] Hairen Tan, Rudi Santbergen, Arno H. M. Smets, and Miro Zeman, "Plasmonic light trapping in thin-film silicon solar cells with improved self-assembled silver nanoparticles," *Nano Letters*, 8, 4070-4076, 2012.
- [22] کتاب سم شناسی نانو ذرات، دکتر جابر جاویدی و همکاران، انتشارات علوم و فنون معین، ۱۳۹۶.
- [23] Mohammed Baalousha, Thilo Hofmann, "Nanoparticles: structure, properties, preparation and behavior in environmental media," *Ecotoxicology*, 5, 326-343, 2014.
- [24] Andreas Jordan, Regina Scholz, Peter Wust, Horst FaK hling, Roland Felix, "Magnetic uid hyperthermia (MFH): Cancer treatment with AC magnetic "eld induced excitation of biocompatible superparamagnetic nanoparticles," *Elsevier* , 201, 413-419, 1999.
- [25] Dan Peer, Jeffrey M. Karp, Seungpyo Hong, Omid C. Farokhzad, Rimona Margalit and Robert Langer, "Nanocarriers as an emerging platform for cancer therapy," *Nature Nanotechnology*, 2, 751-60, 2007.



# Absorption Enhancement of Spherical Nano-Shells Using Graphene Substrate

H. Noori mahtaj, S. Jarchi\*, A. Keshtkar

Department of Electrical Engineering, Faculty of Technical and Engineering,  
Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin

**Abstract:** In this article the effect of using graphene substrate on absorption of spherical metallic gold (Au) and silver (Ag) nano shells has been investigated. In this study, for each one of the two mentioned metallic nano shells, three kind of different dielectrics: air, silicon (si) and alumina ( $Al_2O_3$ ), have been considered. Investigation, simulation and comparison of these nano shells have been done in two sizes of structure overall radius equal to 25 nm and 50 nm. The main purpose of this paper is studying on parameters of the structure in order to provide absorption enhancement. Absorption cross section (ACS), for all cases, is investigated and shown plotted. According to performed studies on results, it is observed that utilizing graphene substrate under metallic nano shells increases amplitude of absorption. In this case, some parameters such as, thickness of metallic nano shells, thickness of graphene substrate, material of used dielectric, overall radius of structure and also material of surrounding medium are very effective on improving and increasing amplitude of absorption cross section. So, to have maximum absorption, a trade-off should be existed among mentioned parameters.

**Keywords:** Metallic nano shell, Graphene substrate, Absorption cross section (ACS)