

ORIGINAL ARTICLE

Investigation of the Optical Properties of Fluid Containing Core (Silica)/Shell (Silver) Nanoparticles of Various Sizes

Morteza Pishbini^{1*}, Sara Mohammadi Bilankohi², Tooraj Ghaffary³

1 Assistant Professor, Department of Physics, Payame Noor University, Tehran, Iran.

2 Assistant Professor, Department of Physics, Payame Noor University, Tehran, Iran.

3 Associate Professor, Department of Physics, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

Correspondence

Morteza Pishbini

Email: mpishbini@pnu.ac.ir

How to cite

Pishbini, M. Mohammadi Bilankohi, S. Ghaffary, T. (2024). Investigation of the Optical Properties of Fluid Containing Core (Silica)/Shell (Silver) Nanoparticles of Various Sizes, Optoelectronic, 7(1), 19-26.

ABSTRACT

The phenomenon of localized surface plasmon resonance (LSPR) can be utilized to enhance the light absorption of nanofluids. Core/shell (silica/silver) nanoparticles of various sizes are among the compounds that can be used to increase absorption in nanofluids. Therefore, the optical properties of a hybrid plasmonic nanofluid composed of silica/silver core/shell nanoparticles were studied. The results indicate that the combination of silica/silver core/shell nanostructures of different sizes results in broadband absorption, particularly with core radii ranging from 20 to 50 nanometers. Additionally, as the core radius of the silica increases, the absorption band of the nanofluid extends to longer wavelengths, making the hybrid nanofluid capable of overcoming the limitations of conventional nanofluids with narrowband absorption. Compared to nanofluids containing particles of a single size, the hybrid nanofluid exhibits broadband absorption in the visible to infrared wavelength range. As the particle size increases, the plasmon resonance peak shifts to longer wavelengths. Therefore, larger particles in the hybrid nanofluid enhance light absorption at longer wavelengths.

KEYWORDS

Nanofluid, Core/Shell Nanoparticles, Silica, Silver.

فصلنامه علمی
اپتوالکترونیک

«مقاله پژوهشی»

بررسی ویژگی‌های اپتیکی سیال حاوی نانوذرات هسته (سیلیکا)/پوسته (نقره) در اندازه‌های مختلف

مرتضی پیش بینی^{1*}، سارا محمدی بیلانکوهی²، تورج غفاری³

چکیده

از پدیده تشدید ایجاد شده توسط پلاسمون‌های سطحی می‌توان برای افزایش جذب نور نانوسیال استفاده کرد. نانوذرات هسته / پوسته (سیلیکا/ نقره) با اندازه‌های مختلف از جمله ترکیباتی هستند که می‌توان از آنها در جهت افزایش جذب در نانوسیال استفاده کرد. از این رو، ویژگی‌های نوری نانوسیال پلاسمون ترکیبی که از نانوذرات هسته/پوسته سیلیکا/نقره تشکیل شده است، مطالعه شد. نتایج نشان می‌دهد که ترکیب نانوساختار هسته/پوسته سیلیکا/نقره در اندازه‌های مختلف، باعث ایجاد جذب پهن‌بند به خصوص در اندازه‌های شعاع هسته بالای 20 تا 50 نانومتر می‌گردد. همچنین با افزایش شعاع هسته سیلیکا، باند جذب نانوسیال به سمت طول موج‌های بلندتر گسترش می‌یابد، به طوری که نانوسیال ترکیبی می‌تواند نواقص نانوسیال‌های معمولی با جذب باند باریک را جبران کند. در مقایسه با نانوسیالی که تنها شامل ذرات با یک اندازه است، نانوسیال ترکیبی جذب پهن‌بند در محدوده طول موج‌های مرئی تا مادون قرمز دارد. با افزایش اندازه ذرات، قله تشدید پلاسمونی به طول موج‌های بلندتر جا به جا می‌شود. بنابراین؛ ذرات بزرگ در نانوسیال ترکیبی قابلیت جذب نور در طول موج‌های بلندتر را افزایش می‌دهند.

واژه‌های کلیدی

نانوسیال، نانوذرات هسته/پوسته، سیلیکا، نقره.

1 استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
2 استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
3 دانشیار، گروه فیزیک، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

نویسنده مسئول:

مرتضی پیش بینی

رایانامه: mpishbini@pnu.ac.ir

استناد به این مقاله:

مرتضی پیش بینی، سارا محمدی بیلانکوهی، تورج غفاری (1403). بررسی ویژگی‌های اپتیکی سیال حاوی نانوذرات هسته (سیلیکا)/پوسته (نقره) در اندازه‌های مختلف. فصلنامه علمی اپتوالکترونیک، 17(1)، 19-26.

مقدمه

نانوذرات فلزات به ویژه زمانی که الکترون‌ها به صورت جمعی نوسان می‌کنند دارای ویژگی‌های نوری منحصر به فردی هستند که در سال‌های اخیر به طور گسترده مطالعه شده‌اند. در صورتی که طول موج نور فرودی با طول موج الکترون‌ها هم‌خوانی داشته باشد، تشدید پلاسمون سطحی موضعی ناشی از تشدید جمعی الکترون‌ها در اطراف نانوذرات ایجاد می‌شود و میدان الکتریکی اطراف نانوذرات به طور قابل توجهی تقویت می‌شود، که منجر به تولید مقدار قابل توجهی گرما در ذرات می‌شود [1]. تشدید پلاسمون سطحی موضعی، دارای کاربردهای زیادی به ویژه در ساخت انواع سامانه‌های گرمایش خورشیدی است که، انرژی تابشی خورشیدی را به انرژی حرارتی تبدیل می‌کنند. چنین سیستم‌هایی، کاربرد نوآورانه‌ای از انرژی حرارتی هستند. از انرژی گرمایی خورشیدی می‌توان به طور مستقیم به عنوان گرما یا غیر مستقیم به عنوان نیروی محرک موتور گرمایی برای تولید انرژی مکانیکی استفاده کرد. همچنین از انرژی حرارتی برای تولید انرژی الکتریکی می‌توان استفاده نمود [6-2]. برای این منظور دستگاه‌های منحصر به فردی به نام کلکتورهای حرارتی خورشیدی به کار می‌روند. هدف کلکتور حرارتی خورشیدی جذب انرژی تابشی خورشید و انتقال گرمای قابل توجه به سیال است [9-7]. کلکتورهای حرارتی خورشیدی حجمی، با استفاده از نانوسیال، مستقیماً نور خورشید را جذب می‌کنند تا از اتلاف حرارتی غیرمستقیم توسط کلکتورهای حرارتی خورشیدی مبتنی بر جذب سطحی جلوگیری کنند. تایگی¹ و همکاران [10]، نشان دادند که بازدهی کلکتور حرارتی خورشیدی حجمی مبتنی بر نانوسیال آلومینیومی تا 10% بیشتر از کلکتور صفحه‌ای تخت² است. بازده تبدیل فوتو-حرارتی³ به شدت به خواص جذب نانوسیالات بستگی دارد. بنابراین؛ نانوسیال پلاسمونی برای افزایش جذب نور در سامانه‌های حرارتی خورشیدی می‌تواند پتانسیل کاربردی فراوانی داشته باشد. به عبارت دیگر، جذب تقویت شده توسط نانوذرات پلاسمونی به گرما تبدیل می‌شود و توسط محیط اطراف جذب می‌شود، که منجر به افزایش دمای نانوسیال می‌شود. برای نانوسیال پلاسمونی مبتنی بر نانوذرات طلا

نشان داده شده است که بازده تبدیل فوتو- حرارتی سیال پایه با غلظت پایین ذرات تا 20% افزایش می‌یابد [11]. البته قله جذب ایجاد شده در اثر تشدید پلاسمون سطحی موضعی نسبت به شکل، اندازه و غلظت ذرات حساس است. بنابراین؛ با تنظیم این عوامل، می‌توان بازدهی تبدیل فوتو- حرارتی را بهبود بخشید. ون⁴ و همکاران بازده فوتو- حرارتی نانوسیال نقره با شکل و غلظت مختلف ذرات را بررسی کردند. نتایج نشان داد که جذب نور توسط نانومیله‌ها بیشتر از نانوذرات دیگر بوده و بازده فوتو- حرارتی با کمترین غلظت ذرات از 43% به 61% افزایش یافته است [12]. اثر تشدید پلاسمون سطحی موضعی می‌تواند جذب نور بیشتری ایجاد کند، اما متأسفانه قله جذب فقط در فرکانس تشدید با باند باریک ایجاد می‌شود. با توجه به اینکه طیف نور خورشید از طول موج‌های نور فرابنفش تا نور نزدیک به مادون قرمز گسترش می‌یابد، برای افزایش جذب نور در باندی گسترده، مطلوب است که قله تشدید پلاسمونی در یک باند موج وسیع تنظیم شود [17-13]. با وجود اینکه ویژگی‌های تشدید پلاسمون سطحی موضعی با تنظیم اندازه ذرات قابل کنترل است، بنابراین؛ این مسئله به نانوذرات فلزی خاصی محدود می‌شود. به طور مثال، نانوذره طلا با اندازه 5 نانومتر، دارای قله تشدید در 530 نانومتر هستند در حالی که با افزایش اندازه به 100 نانومتر، طول موج تشدید فقط به میزان 25 نانومتر قابل تنظیم است [18].

با این حال، برای نانوذرات هسته/پوسته، می‌توان جذب وسیعی به دست آورد زیرا تحریک تشدید پلاسمون سطحی موضعی با تنظیم اندازه‌های شعاع هسته و ضخامت پوسته در باند موج گسترده‌ای می‌تواند تنظیم کرد [19]. به طور مثال، دما برای نانوذره طلا با اندازه 30 نانومتر، 45/1 کلوین افزایش می‌یابد، ولی برای نانوذره طلا 30 نانومتری با پوشش پوسته سیلیکا (SiO₂) با ضخامت 10 نانومتر، افزایش دما به 71/4 کلوین می‌رسد که 58 درصد افزایش دارد [20]. در نتیجه، نانوسیال که از ترکیبی نانوذرات هسته/پوسته با اندازه‌های مختلف تشکیل شده است، می‌تواند جذب نور را در ناحیه طول موج گسترده‌تری افزایش دهد. اغلب گزارش‌های پژوهشی در مورد نانوسیال ترکیبی بیشتر بر خواص ترمودینامیکی آنها تمرکز دارند [21]. در حالی که مطالعات بر روی ویژگی‌های نوری نانوسیال ترکیبی می‌تواند توسعه

1 Tyagi

2 Flat-Plate Collector

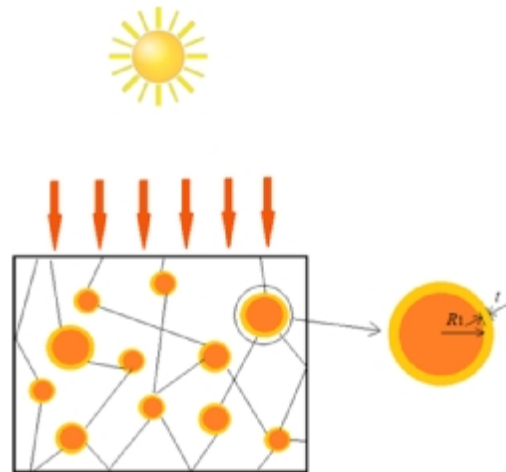
3 Photo-Thermal Conversion Efficiency

نانوسیال‌های پلاسمونی را بهبود بخشد.

بنابراین؛ در این مقاله، ما بر روی خواص نوری نانوسیال ترکیبی تمرکز می‌کنیم. نانوسیال ترکیبی از نانوذرات هسته/پوسته سیلیکا/نقره با اندازه‌های مختلف هسته و پوسته تشکیل شده است. ذرات با اندازه‌های مختلف به صورت تصادفی در آب معلق هستند. بحث در مورد نانوذرات معلق در موقعیت‌های مختلف به درک تأثیر عمق بر جذب کلی نانوسیال ترکیبی کمک می‌کند.

تئوری و روش شبیه‌سازی

هسته سیلیکا با پوشش پوسته نقره را می‌تواند به عنوان نانوساختار پلاسمونی مورد توجه قرار گیرد. این نانوذرات با اندازه‌های مختلف به صورت تصادفی در آب معلق هستند. شعاع هسته R و ضخامت پوسته t است. مدل ساختاری این نانوسیال ترکیبی بر اساس نانوذرات هسته/پوسته با اندازه‌های مختلف در شکل 1 نشان داده شده است. همان طور که در شکل 1 نشان داده شده است، نور از بالا به نانوسیال تابیده شده و سپس توسط نانوذرات جذب یا پراکنده می‌شود. به دلیل نانوذرات معلق، نور در داخل نانوسیال چندین بار پراکنده می‌شود.



شکل 1. شماتیکی از مدل ساختاری نانوسیال هیبریدی بر اساس نانوذرات هسته/پوسته با اندازه‌های مختلف

مدل لورنتز و مدل درود مدل‌های معمول برای توصیف خواص نوری مواد هستند. اما برای برخی مواد، تنها مدل لورنتز یا درود نمی‌تواند به خوبی مواد را توصیف کند. برای ایجاد توافق بین داده‌های آزمایشی و مدل تطبیق داده شده، مدل‌ها (مدل لورنتز یا درود) باید لزوماً تصحیح شوند. این

مدل می‌تواند به صورت زیر بیان شود [22]:

$$e(w) = e_{\infty} + \sum_{m=0}^M \frac{f_m w_p^2}{w_m^2 - w^2 + igw} \quad (1)$$

که در آن e_{∞} گذردهی الکتریکی نسبی در فرکانس بی‌نهایت، w_p فرکانس پلاسما، M تعداد نوسانگرها با فرکانس w_m ، قدرت f_m و ضریب میرایی g_m هستند. ثابت‌های نوری سیلیکا و نقره از مرجع [23] با مدل لورنتز-درود تطبیق داده شده‌اند.

چگالی انرژی در نانوذره با استفاده از معادله (2) محاسبه می‌شود که متناسب با مربع میدان الکتریکی است:

$$P_{abs} = \frac{1}{2} \mathbf{e}_0 \mathbf{w} \text{Im}(\mathbf{e}_r) |E|^2 \quad (2)$$

که در آن \mathbf{e}_0 گذردهی الکتریکی خلا، w فرکانس نور فرودی، \mathbf{e}_r ثابت دی‌الکتریک نانوذره و E میدان الکتریکی در نانوذره است. همان طور که در معادله (3) نشان داده شده است، انرژی جذب شده توسط نانوذره با انتگرال چگالی انرژی در حجم ذره محاسبه می‌شود:

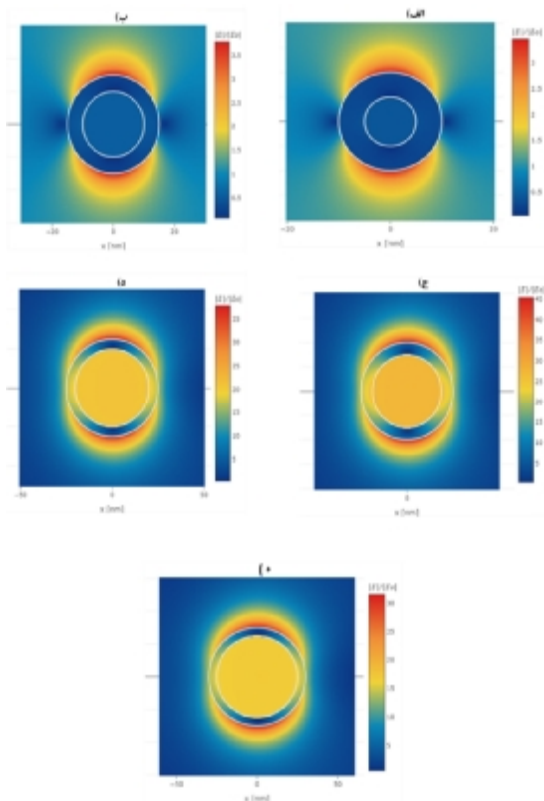
$$P = \oint \frac{1}{2} \mathbf{e}_0 \mathbf{w} \text{Im}(\mathbf{e}_r) |E|^2 dV \quad (3)$$

محاسبه سطح مقطع جذب نانوذرات بر حسب طول موج فرودی اطلاعات ارزشمندی در مورد خواص نوری و پتانسیل کاربردهای آن‌ها فراهم می‌کند. این محاسبات به بهینه‌سازی و طراحی نانوذرات برای کاربردهای مختلف مانند فتوکاتالیست‌ها، سنسورها، سلول‌های خورشیدی و درمان‌های فوتوترمال کمک می‌کند و به درک بهتر از رفتار نوری نانوذرات منجر می‌شود.

برای محاسبه سطح مقطع جذب نانوذرات بر حسب طول موج فرودی، اغلب از نظریه مای¹ استفاده می‌شود که راه حلی برای پراکندگی و جذب نور توسط ذرات کروی است. این نظریه به ویژه برای نانوذرات فلزی که اثرات پلاسمونی را نشان می‌دهند، مفید است. فرمول کلی برای محاسبه سطح مقطع جذب به شکل زیر است:

$$C_{abs}(l) = \frac{2p}{k^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) \text{Re}(a_n + b_n) \quad (4)$$

نشان‌دهنده حضور مدهای پلاسمون دوقطبی در سطح تماس دی الکتریک/فلز است. با توجه به اینکه، برای نانوذرات کروی دیگر با شعاع هسته 15 تا 25 نانومتر و ضخامت ثابت پوسته 5 نانومتر، قله‌های تشدید به ترتیب در طول موج‌های 547، 604 و 661 نانومتر رخ می‌دهند، با افزایش قله طول موج تشدید نواحی با بیشترین میدان الکتریکی در سطح تماس سیلیکا/نقره نیز به وجود می‌آیند.



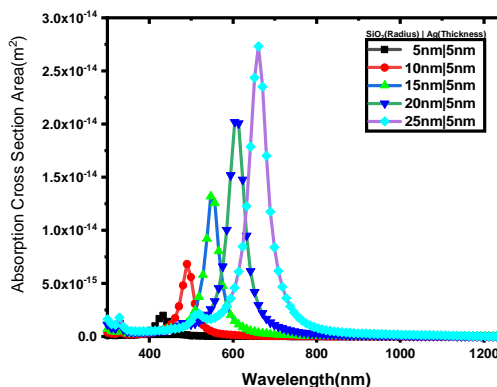
شکل 3. محاسبه میدان الکتریکی $|E|/|E_0|$ برای نانوذرات هسته /پوسته سیلیکا/نقره با ضخامت پوسته 5 نانومتر و شعاع هسته الف) 5 نانومتر ب) 10 نانومتر ج) 15 نانومتر د) 20 نانومتر ه) 25 نانومتر.

در شکل 4، نمودار تغییرات سطح مقطع جذب با طول موج نور فرودی برای نانوذراتی با اندازه شعاع هسته سیلیکا از 30 تا 50 نانومتر و ضخامت پوسته نقره 5 نانومتر در بازه طول موج‌های 300 تا 1250 نانومتر نشان داده شده است.

که در آن $k = \frac{2p}{l}$ بردار موج در محیط، a_n و b_n ضرایب مای که به ضریب شکست نانوذره و محیط و اندازه ذره بستگی دارند [24].

نتایج

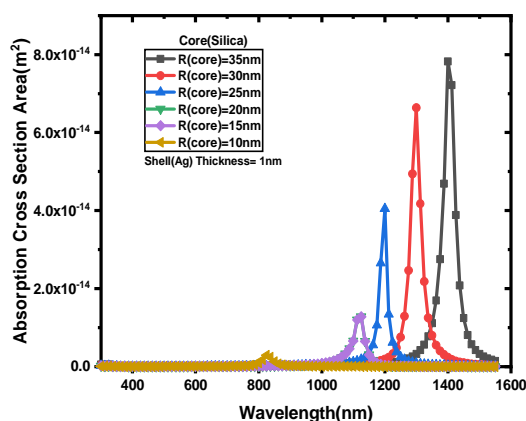
نانوسیال ترکیبی با نانوذرات هسته/پوسته سیلیکا/نقره در دو بخش شعاع هسته سیلیکا بین 5 تا 25 نانومتر و 30 تا 50 نانومتر با ضخامت ثابت پوسته نقره (5 نانومتر) بررسی شدند. در شکل 2 نمودار سطح مقطع جذب نانوسیال حاوی نانوذرات هسته/پوسته سیلیکا/نقره در بخش اول نشان داده شده است. مشاهده می‌گردد با افزایش شعاع هسته سیلیکا بین 5 تا 25 نانومتر، سطح مقطع جذب به مقدار قابل توجهی افزایش یافته و قله‌های جذب به سمت طول موج‌های بلندتر جا به جا می‌شوند.



شکل 2. نمودار تغییرات سطح مقطع جذب با طول موج نور فرودی در بازه 300 تا 1250 نانومتر برای شعاع هسته سیلیکا بین 5 تا 25 نانومتر و ضخامت ثابت پوسته نقره 5 نانومتر

در شکل 3، توزیع شدت میدان الکترومغناطیسی جایگزیده برای نانوذرات هسته/پوسته سیلیکا/نقره در اندازه‌های مختلف نشان داده شده است. همان طور که در شکل 3 الف نشان داده شده است، هنگامی که طول موج تشدید در 433 نانومتر برای نانوکره با شعاع هسته 5 نانومتر و برای نانوکره با شعاع هسته 10 نانومتر با طول موج تشدید 490 نانومتر قرار دارد، نواحی محدودی مطابق شکل با بیشترین شدت میدان در اطراف نانوذره مشاهده می‌گردد. این میدان الکتریکی

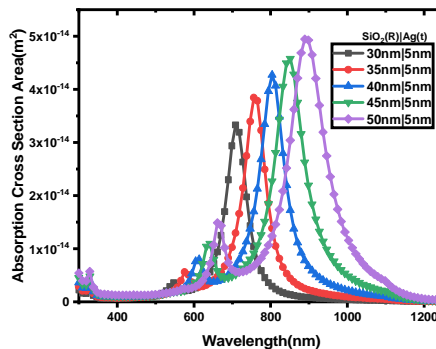
همان طور که در شکل 6 مشاهده می‌گردد در صورتی که ضخامت نقره 1 نانومتر در نظر گرفته شود، با افزایش شعاع هسته سیلیکا، جذب افزایش یافته و به سمت طول موج‌های نور مادون قرمز جا به جا می‌شود، به طوری که شعاع بحرانی هسته سیلیکا با پوسته نقره 1 نانومتر، به منظور اینکه تشدید در طول موج‌های خارج از محدوده نور مرئی و نزدیک مادون قرمز رخ دهد 10 نانومتر است.



شکل 6. نمودار تغییرات سطح مقطع جذب با طول موج نور فرودی در بازه 300 تا 1550 نانومتر برای شعاع هسته سیلیکا بین 10 تا 35 نانومتر و ضخامت ثابت پوسته نقره 1 نانومتر

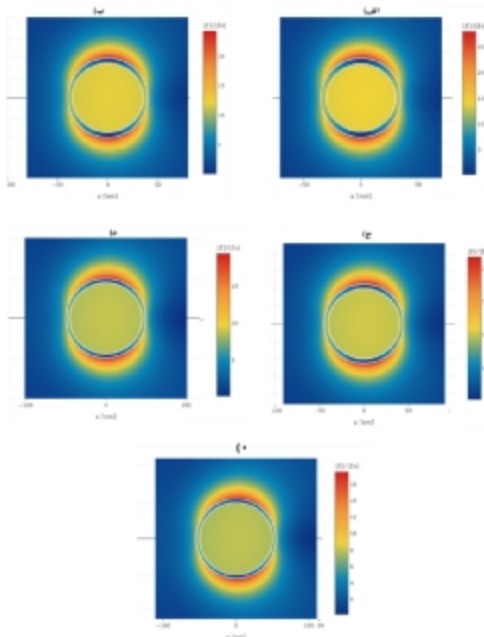
بحث و نتیجه‌گیری

ویژگی‌های نوری نانوسیال پلاسمونیک ترکیبی که از نانوذرات هسته/پوسته سیلیکا/نقره تشکیل شده است، مطالعه شد. اثر پلاسمونی برای افزایش جذب نور نانوسیال به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد فلز نقره به وجود می‌آید. بنابراین؛ ترکیب سیلیکا با نقره در اندازه‌های مختلف، باعث ایجاد جذب پهن‌بند به خصوص در اندازه‌های شعاع هسته بالای 20 نانومتر گردید. همچنین با افزایش شعاع هسته سیلیکا، باند جذب نانوسیال به سمت طول موج‌های بلندتر گسترش می‌یابد، به طوری که نانوسیال ترکیبی می‌تواند نواقص نانوسیال‌های معمولی با جذب باند باریک را جبران کند. جذب کلی نانوسیال ترکیبی تحت تأثیر اندازه ذرات، جنس ذرات، تعداد ذرات مختلف و غیره قرار دارد. برای نانوسیال ترکیبی با اکثریت ذرات کوچک با شعاع هسته 5 تا



شکل 4. نمودار تغییرات سطح مقطع جذب با طول موج نور فرودی در بازه 300 تا 1250 نانومتر برای شعاع هسته سیلیکا بین 30 تا 50 نانومتر و ضخامت ثابت پوسته نقره 5 نانومتر

مطابق نمودار فوق، طول موج تشدید برای نانوذرات با شعاع هسته 30، 35، 40، 45 و 50 نانومتر به ترتیب برابر با 756، 803، 851 و 898 نانومتر است. قله‌های تشدید با افزایش شعاع هسته به سمت طول موج‌های نور مادون قرمز جا به جا می‌شود. شدت میدان الکتریکی $|E|/|E_0|$ برای نانوذرات هسته/پوسته سیلیکا/نقره با شعاع هسته بین 30 تا 50 نانومتر و با ضخامت 5 نانومتر در شکل 5 نشان داده شده است. در قله‌های تشدید پلاسمون در 708، 756، 803، 851 و 898 نانومتر، افزایش شدید میدان در اطراف نانوذره هسته/پوسته ظاهر می‌شود. این همان نتیجه‌ای است که در شکل 3 نیز مشاهده گردید.



شکل 5. محاسبه میدان الکتریکی $|E|/|E_0|$ برای نانوذرات هسته/پوسته سیلیکا/نقره با ضخامت پوسته 5 نانومتر و شعاع هسته الف) 30 نانومتر ب) 35 نانومتر ج) 40 نانومتر د) 45 نانومتر ه) 50 نانومتر.

انتخابی ذرات با اندازه‌های مختلف، عمقی که ذرات مختلف در آن قرار دارند، تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های جذب نور دارد. جذب نور توسط ذرات در لایه‌های پایین‌تر محدود است که، به طور عمده به دلیل حضور ذراتی با شعاع هسته سیلیکا بزرگ‌تر در لایه بالایی نانوسیال است که باعث می‌شود سهم ذرات در لایه‌های پایین‌تر نسبتاً ضعیف باشد.

25 نانومتر، جذب قابل توجهی در طول موج‌های نور مرئی اتفاق می‌افتد، در حالی که برای ذرات بزرگ‌تر با اندازه شعاع هسته 30 تا 50 نانومتر جذب نانوسیال ترکیبی به وضوح در طول موج‌های بلندتر (از 708 نانومتر تا 898 نانومتر) بهبود می‌یابد. بنابراین؛ با افزایش اندازه شعاع هسته سیلیکا؛ باند جذب پهن‌تر می‌شود. همچنین با در نظر گرفتن جذب

References

- [1] Lu X, Rycenga M, Skrabalak SE, Wiley B, Xia Y. Chemical synthesis of novel plasmonic nanoparticles. *Annual review of physical chemistry*. 2009 May 5;60:167-92.
- [2] Olson J, Dominguez-Medina S, Hoggard A, Wang LY, Chang WS, Link S. Optical characterization of single plasmonic nanoparticles. *Chemical Society Reviews*. 2015;44(1):40-57.
- [3] Liu J, He H, Xiao D, Yin S, Ji W, Jiang S, Luo D, Wang B, Liu Y. Recent advances of plasmonic nanoparticles and their applications. *Materials*. 2018 Sep 26;11(10):1833.
- [4] Alkhalayfeh MA, Aziz AA, Pakhuruddin MZ. An overview of enhanced polymer solar cells with embedded plasmonic nanoparticles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021 May 1;141:110726.
- [5] Ebrahimzadeh M, Salaki M. Investigation of Optical Properties of Ellipsoidal Metal Nanoparticles at Different Scales and Dielectric Environments. *Biquarterly Journal of Optoelectronic*. 2021 Aug 23;3(2):51-62.
- [6] Ebrahimzadeh M, Ghaffari M, Ghaffari L. The Effect of External Magnetic Field on the Creation of Energy Levels Degeneracy in a Quantum Anti-Dot. *Biquarterly Journal of Optoelectronic*. 2021 Feb 19;3(1):81-8.
- [7] Wole-Osho I, Okonkwo EC, Abbasoglu S, Kavaz D. Nanofluids in solar thermal collectors: review and limitations. *International Journal of Thermophysics*. 2020 Nov;41(11):157.
- [8] Hissouf M, Najim M, Charef A. Numerical study of a covered Photovoltaic-Thermal Collector (PVT) enhancement using nanofluids. *Solar Energy*. 2020 Mar 15;199:115-27.
- [9] Abd Elaziz M, Senthilraja S, Zayed ME, Elsheikh AH, Mostafa RR, Lu S. A new random vector functional link integrated with mayfly optimization algorithm for performance prediction of solar photovoltaic thermal collector combined with electrolytic hydrogen production system. *Applied Thermal Engineering*. 2021 Jul 5;193:117055.

منابع

- [10] Tyagi H, Phelan P, Prasher R. Predicted Efficiency of a Low-Temperature Nanofluid-Based Direct Absorption Solar Collector. *Journal of solar energy engineering*. 2009;131(4).
- [11] Zhang H, Chen HJ, Du X, Wen D. Photothermal conversion characteristics of gold nanoparticle dispersions. *Solar Energy*. 2014 Feb 1;100:141-7.
- [12] Wen D, Zhang H, Chen HJ, Lin G. Photothermal Conversion Characteristics of Silver Nanoparticle Dispersions. in: 4th Micro and Nano Flows Conference, London, 2014.
- [13] Fong KE, Yung LY. Localized surface plasmon resonance: a unique property of plasmonic nanoparticles for nucleic acid detection. *Nanoscale*. 2013;5(24):12043-71.
- [14] Parsons J, Hendry E, Burrows CP, Auguie B, Sambles JR, Barnes WL. Localized surface-plasmon resonances in periodic nondiffracting metallic nanoparticle and nanohole arrays. *Physical Review B—Condensed Matter and Materials Physics*. 2009 Feb 15;79(7):073412.
- [15] Ringe E, Sharma B, Henry AI, Marks LD, Van Duyne RP. Single nanoparticle plasmonics. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2013;15(12):4110-29.
- [16] Willets KA, Van Duyne RP. Localized surface plasmon resonance spectroscopy and sensing. *Annu. Rev. Phys. Chem*. 2007 May 5;58(1):267-97.
- [17] Tsarmpopoulou M, Ntemogiannis D, Stamatelatos A, Geralis D, Karoutsos V, Sigalas M, Pouloupoulos P, Grammatikopoulos S. Silver Nanoparticles' Localized Surface Plasmon Resonances Emerged in Polymeric Environments: Theory and Experiment. *InMicro* 2024 May 2 (Vol. 4, No. 2, pp. 318-333). MDPI.
- [18] Dey D, Schatz GC. Plasmonic surface lattice resonances in nanoparticle arrays. *MRS Bulletin*. 2024 May;49(5):421-30.
- [19] Tanaka D, Harajiri S, Fujita Y, Forbes KA, Pham TT, Andrews DL. Multipole Excitation of Localized Plasmon Resonance in Asymmetrically Coated Core-Shell Nanoparticles Using Optical

- Vortices. *Laser & Photonics Reviews*. 2024 Apr;18(4):2300536.
- [20] Li Q, Zhang W, Zhao D, Qiu M. Photothermal enhancement in core-shell structured plasmonic nanoparticles. *Plasmonics*. 2014 Jun;9:623-30.
- [21] Chakraborty S, Panigrahi PK. Stability of nanofluid: A review. *Applied Thermal Engineering*. 2020 Jun 25;174:115259.
- [22] Wang Q, Yang L, Zhao N, Xu G, Song J, Jin X, Li X, Liu S. A review of applications of plasmonic and conventional nanofluids in solar heat collection. *Applied Thermal Engineering*. 2023 Jan 25;219:119476.
- [23] Palik ED. Handbook of Optical Constants of Solids *Academic Press Inc. San Diego*. 1985.
- [24] Wriedt T. Mie theory: a review. *The Mie theory: Basics and applications*. 2012 Jun 30:53-71.