



"مقاله مروری"

توسعه فناوری سلول‌های خورشیدی کم هزینه با کارایی بالا با استفاده از نانوساختارهای پلاسمونیک

مجتبی جمعیتی*

گروه فیزیک، واحد نراق، دانشگاه آزاد اسلامی، نراق، ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: drmjamiati@gmail.com

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲، پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸)

چکیده

سلول‌های خورشیدی چند پیوندی مرکب III-V عملکرد راندمان فوق العاده بالایی را در طرح‌هایی که می‌توان از سلول‌های فرعی با کیفیت مواد بالا و راندمان کوانتومی داخلی بالا استفاده کرد، امکان‌پذیر می‌کند. با این حال، مسأله لایه‌نشانی آن‌ها مشروط به شکاف باندهای مناسب هر لایه با لایه‌های مجاور جهت افزایش بازدهی حائز اهمیت می‌باشد. برای داشتن بازدهی بالا در سلول‌های خورشیدی، علاوه بر توجه به انتخاب درست مواد تشکیل دهنده ساختار، بایستی طراحی ساختار نیز به گونه‌ای انجام شود که حداکثر جذب نور را در لایه فعال داشته باشد. بدین لحاظ با وارد کردن نانوذررات (طلا - نقره و...) در لایه فعال، خواص الکتریکی این لایه را در راستای افزایش جذب بهبود می‌بخشند. نانوذررات فلزی کاندیداهایی برای افزایش بازده تبدیل توان سلول‌های خورشیدی پلاسمونیک توسط تشدید پلاسمون سطحی متمرکز شده و توانایی به دام انداختن نور در فیلم می‌باشند. طیف کارایی کوانتومی برای سلول پیوندی، کاملاً مشابه با هر یک از زیرسلول‌های GaAs و InGaAs بدون پیوند بود. ولتاژ مدار باز سلول دو پیوندی باند برابر با مجموع ولتاژهای مدار باز سلول فرعی غیرپیوندی بود، که نشان می‌دهد فرآیند پیوند کیفیت مواد سلول را کاهش نمی‌دهد، زیرا هر گونه نقص کریستالی ایجاد شده که به عنوان مراکز نوترکیبی عمل می‌کند، باعث کاهش ولتاژ می‌شود. همچنین رابط پیوندی، نرخ نوترکیبی حامل قابل توجهی برای کاهش ولتاژ مدار باز ندارد.

واژه‌های کلیدی: سلول‌های خورشیدی، پلاسمونیک، کریستالی، نانوذررات، GaA

مقدمه

مصرف انرژی الکتریکی در جهان کنونی حدود $12-13$ TW است و در هر ثانیه حدود $10^{20} \times 1/1$ انرژی از خورشید ساطع می‌شود. تنها یک دو میلیاردم این انرژی به سطح بیرونی جو زمین برخورد می‌کند. این انرژی معادل $10^{15} \times 5/1$ KWh در سال است. که بدلیل بازتاب، تفرق و جذب توسط گازها و ذرات معلق در جو تنها 47% از این انرژی به سطح زمین می‌رسد. بدین ترتیب انرژی تابیده شده به سطح زمین سالانه حدوداً معادل $10^7 \times 7$ KWh است. بنابراین سهم زمین در دریافت انرژی از خورشید میزان کمی از کل انرژی تابشی آن می‌باشد (۶-۱).

با توجه به استانداردهای بین‌المللی مورد استفاده در دنیا اگر میانگین انرژی تابشی خورشید در روز بالاتر از $3/5$ کیلو وات ساعت در مترمربع (3500 وات/ساعت) باشد استفاده از مدل‌های انرژی خورشیدی نظیر کلکتورهای خورشیدی یا سیستم‌های فتوولتائیک بسیار اقتصادی و مقرون به صرفه است. انرژی خورشیدی یک عرصه جوان اما در حال پیشرفت سریع است. طی ده سال اخیر، دنیا هر چه فعال‌تر از فناوری مشهور تبدیل نور خورشید به انرژی گرمایی و برق استفاده می‌کند. فقط دلایل اقتصادی مانع از رسیدن انرژی خورشید به هر یک از خانه‌ها می‌شود زیرا فعلاً هر کیلووات برق دریافتی از آن بیش از حد گران تمام می‌شود که البته در سال‌های اخیر پیشرفت‌های چشم‌گیری در جهت کاهش این هزینه‌ها نیز صورت گرفته است. برای برآوردن نیاز مصرف انرژی در جهان، به منطقه وسیعی از مبدل‌های انرژی نیاز دارد. بنابراین تبدیل انرژی خورشیدی با راندمان

بالا بسیار مهم است. سلول‌های خورشیدی که فتوولتائیک نیز نامیده می‌شوند، دستگاه‌هایی هستند که انرژی نور خورشید را با اثر فتوولتائیک کشف شده توسط دانشمند فرانسوی هانری بکرل در سال 1839 به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. سلول خورشیدی متشکل از یک پیوند pn می‌باشد که در یک ماده نیمه‌رسانای چند لایه^۱ ایجاد شده است و در تاریکی مشخصه ولتاژ - جریان آن مشابه با مشخصه نمایی یک دیود می‌باشد. سلول‌های خورشیدی به ویژه از زمان بحران‌های نفتی دهه 1970 به عنوان یک منبع انرژی جایگزین مهم شناخته شده‌اند. سلول‌های خورشیدی همچنین به عنوان یک منبع انرژی بدون کربن برای غلبه بر گرمایش جهانی امیدوار کننده هستند.

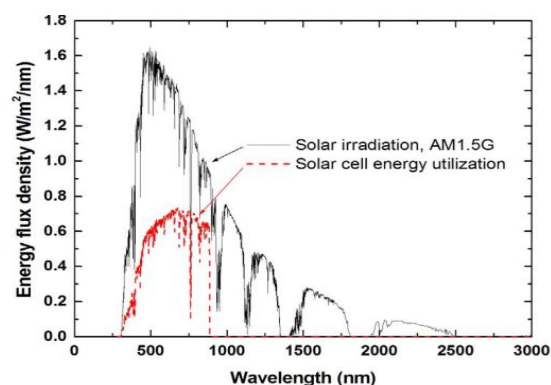
بازده تبدیل انرژی یک سلول خورشیدی به عنوان نسبت توان الکتریکی تولید شده توسط سلول خورشیدی به انرژی نور خورشید وارد شده به سلول خورشیدی در هر زمان تعریف می‌شود. در حال حاضر بالاترین راندمان سلولی گزارش شده در آزمایشگاه‌ها حدود 40% است در حالی که راندمان تبدیل انرژی برای تولید برق حرارتی می‌تواند از 50% فراتر رود. اما این واقعیت هرگز به معنای برتری تولید حرارتی نیست زیرا منابع آن مانند سوخت‌های فسیلی محدود است در حالی که انرژی خورشیدی اساساً نامحدود است. طیف شار انرژی فرودی نور خورشید برای بازده سلول‌های خورشیدی گزارش شده به عنوان برخی از طیف‌های تعریف شده خاص مانند جرم هوا صفر (AM0) جرم هوا $1/5$ جهانی و مستقیم (AM1.5G, AM1.5D) استاندارد شده است ($10-7$). شکل ۱ طیف‌های خورشید را نشان می‌دهد، که بیش‌تر

^۱ Wafer

تمرکز نور خورشید در ناحیه برخوردی کوچک‌تر با استفاده از لنزها دو مزیت برای کاربردهای سلول خورشیدی دارد. اولین مورد کاهش هزینه مواد با مساحت کوچک‌تر سلول‌های خورشیدی گزارش شده به عنوان برخی از طیف‌های تعریف شده خاص مانند جرم هوا صفر (AM0)، جرم هوا ۱/۵ جهانی و مستقیم (AM1.5G, AM1.5D) استاندارد شده است (۱۰-۷). شکل ۱ طیف‌های خورشید را نشان می‌دهد، که بیشتر برای سلول‌های خورشیدی زمینی تحت اندازه‌گیری‌های طیف نور خورشید غیر متمرکز ذکر شده است.

سلول‌های خورشیدی ساخته شده از ترکیبات نیمه هادی III - V به جای سایر موادی که توسط سیلیکون نشان داده شده‌اند، بازده تبدیل انرژی بالاتری را نشان می‌دهند (۹). علاوه بر پتانسیل برای راندمان بالا، مواد ترکیبی نیمه‌هادی III - V دارای مزایایی از جمله قابلیت تنظیم شکاف باند توسط ترکیبات عنصری، جذب فوتون بیش‌تر توسط انرژی‌های باند مستقیم، مقاومت بالاتر در برابر پرتوهای پرنرژی در فضا، و تخریب بازده کم‌تر توسط گرما نسبت به سلول‌های خورشیدی Si راندمان تبدیل انرژی سلول‌های خورشیدی III - V به طور پیوسته سال به سال افزایش می‌یابد و برای سلول‌های در مقیاس آزمایشگاهی به ۴۰٪ می‌رسد که در شکل ۲ مشاهده می‌شود (۱۰). تا به امروز تلاش‌های زیادی برای بهبود عملکرد سلول به منظور توسعه فعالیت‌های فضایی و راه حلی برای بحران انرژی آتی و مسائل زیست محیطی جهانی صورت گرفته است.

برای سلول‌های خورشیدی زمینی تحت اندازه‌گیری‌های طیف نور خورشید غیر متمرکز ذکر شده است.



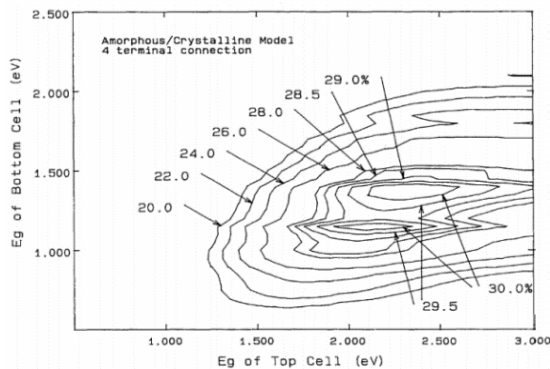
شکل (۱): طیف تابش خورشیدی AM1.5G و طیف استفاده از انرژی توسط یک سلول خورشیدی تک اتصالی با فاصله باند انرژی 1.4 eV (۵).

طیف خورشیدی به طور گسترده‌ای بین ۳۰۰ نانومتر تا ۲۰۰۰ نانومتر است که اوج آن در حدود ۵۰۰-۶۰۰ نانومتر است و کسر بزرگی از محدوده مرئی ناشی می‌شود. فرو رفتگی‌هایی که در طول موج‌های ۱۱۰۰، ۱۴۰۰ نانومتر و غیره مشاهده می‌شوند، به دلیل جذب عمدتاً توسط CO₂ و H₂O در جو است. کسر انرژی طیف خورشیدی مورد استفاده توسط یک سلول خورشیدی ایده آل تک اتصالی با فاصله باند انرژی 1/4 eV تعیین شده توسط محاسبه تعادل دقیق بر اساس ترمودینامیک با در نظر گرفتن تلفات نوترکیبی حامل‌ها (جفت الکترون-حفره) پیشنهاد شده توسط شاکلی و کويسر^۲ (۵) در شکل ۱ نشان داده شده است. نسبت مساحت این طیف تولید انرژی توسط سلول خورشیدی به طیف تابش خورشیدی با بازده تبدیل انرژی مطابقت دارد و در این مورد ۳۱٪ است (۱۱).

^۲ Shockley and Queisser

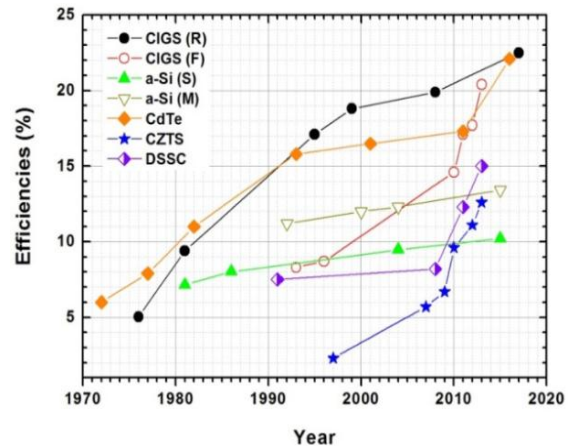
نظری بر اساس محاسبه تعادل دقیق برآورد شده توسط هنری^۳ نشان می‌دهد که یک سلول ۳۶ اتصال به طور ایده‌آل می‌تواند به بازده ۷۲ درصد نسبت به ۳۷ درصد برای یک سلول ۱ شکاف برسد (۵).

یک محاسبه نظری برای بازده ایده‌آل با توجه به ترکیب انرژی باند مواد نیمه‌رسانای بالا و پایین در سلول‌های خورشیدی دو اتصال^۴ (J_۲) در شکل ۳ نشان داده شده است (۵).



شکل (۳): نقشه بازدهی محاسبه شده برای سلول‌های خورشیدی چهار پایانه دو پیوندی تحت طیف AM 1.5 G در روشنایی یک خورشیدی با توجه به شکاف‌های باند سلول بالا و پایین (۶)

برای سلول‌های چند پیوندی، ساختارهای یکپارچه یا دو ترمینالی به جای ساختارهای سه یا چهار ترمینالی گران‌قیمت و غیر عملی معمولاً مورد علاقه و استفاده قرار می‌گیرند. یک نمودار مقطعی شماتیک از یک ساختار سلول خورشیدی یکپارچه J_۳^۵ در شکل ۴ نشان داده شده است (۱۲-۵).



شکل (۲): ثبت زمانی راندمان تبدیل انرژی سلول‌های

خورشیدی (۶)

توسعه سلول‌های خورشیدی ترکیبی نیمه‌هادی

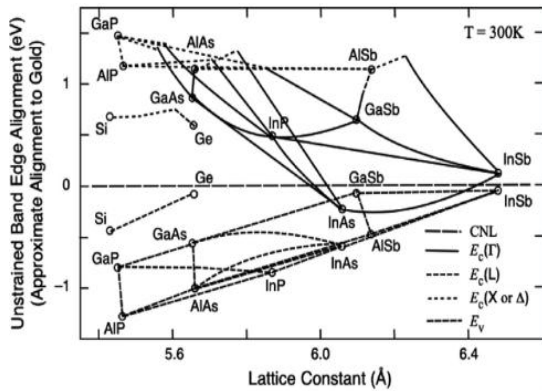
III-V چند پیوندی

یکی از عوامل اصلی اتلاف انرژی در یک سلول خورشیدی، شکاف بین انرژی فوتون و انرژی گپ باند مواد فتوولتائیک است. اگر انرژی فوتون کوچک‌تر از انرژی فوتون باشد، هیچ جذبی رخ نمی‌دهد و صرفاً می‌توان بخشی معادل انرژی فاصله باند از انرژی فوتون را به عنوان نیروی الکتریکی استخراج کرد و بخش دیگر را به عنوان گرما هدر داد، اگر بزرگ‌تر باشد. بنابراین، انباشته شدن چندپشته مواد فتوولتائیک با انرژی‌های مختلف باند معمولاً برای سلول‌های خورشیدی با راندمان بالا III-V برای کاهش این اتلاف انرژی و جذب انرژی فوتون از طیف نور خورشید به طور گسترده‌تر و کارآمدتر، با بهره‌گیری از قابلیت تنظیم انرژی‌های باند و ثابت‌های شبکه استفاده می‌شود. با ترکیبات نیمه‌هادی III-V که سلول‌های چند پیوندی یا پشت سر هم نامیده می‌شوند. حد بازده

^۳ Henry

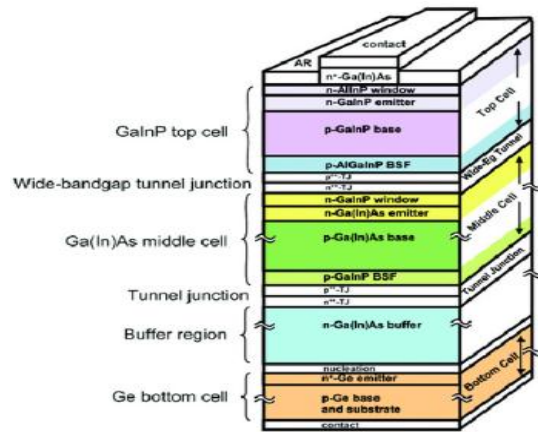
^۴ two-junction

^۵ three-junction



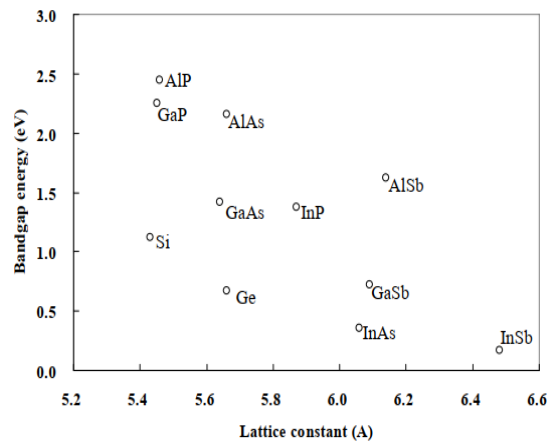
شکل (۶): انرژی لبه نوار رسانایی و لبه باند ظرفیت به عنوان تابعی از ثابت شبکه نیمه‌هادی‌ها رسم شده است. نقطه انرژی صفر موقعیت تقریبی مانع شاتکی طلا را در شکاف نواری هر آلیاژ معین نشان می‌دهد (۱۳).

یکی از رایج‌ترین و با بالاترین راندمان سلول‌های دوتایی J۲ شامل ترکیبی از $\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{P}$ و GaAs با ثابت شبکه 5.64Å و انرژی باندگپ به ترتیب 1.86 eV و 1.42 eV است. این سلول InGaP/GaAs دارای بالاترین بازده 30.3% درصدی تحت طیف خورشیدی AM1.5D با شدت ۱ خورشیدی (۱۰۰ میلی‌وات بر سانتی‌متر مربع) در میان سلول‌های یکپارچه J۲ است، در حالی که پیکربندی ۴ ترمینالی راندمان بالاتر از J2 در حد 32.6% را در طیف AM1.5 D در ۱۰۰ خورشید برای پشتی GaAs/GaSb شبکه‌ای مجاز می‌کند (0.70 eV , 6.09 Å). برای ساخت سلول‌های J۳، معمولاً، یک سلول پایین Ge به سلول InGaP/GaAs (J2) اضافه می‌شود تا یک ساختار InGaP/GaAs/Ge برای ثابت شبکه Ge با 5.66 Å ، تقریباً برابر با InGaP/GaAs تشکیل دهد. این ساختار J۳ بر روی یک بستر Ge رشد می‌کند و مزیت آن این است که Ge ماده‌ای ارزان‌تر و از نظر



شکل (۴): شماتیک مقطعی ساختار سلول سه اتصالی (۱۲)

سلول‌های خورشیدی چند پیوندی با رشد همپایه به طور کلی با رسوب بخار شیمیایی آلی فلزی (MOCVD) لایه‌بندی شده‌اند که نیاز به تطبیق شبکه بین مواد نیمه هادی انباشته دارد. شکل‌های ۵ و ۶ رابطه بین ثابت‌های شبکه و انرژی‌های باند شکاف را برای ترکیبات نیمه هادی III-V که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند نشان می‌دهد.



شکل (۵): انرژی‌های باند به عنوان تابعی از ثابت شبکه نیمه هادی‌ها (۶)

۶ Metal organic chemical vapor deposition

این ویژگی‌ها به شدت به جذب پلاسمون سطحی، یعنی جذب افزایش یافته نور یا میدان‌های الکترومغناطیسی با جفت شدن بین فوتون‌های فرودی و نوسان جمعی الکترون‌های آزاد در سطح فلز وابسته است (۸ و ۹). از نظر تئوری پیشنهاد شده که انرژی الکترومغناطیسی را می‌توان در امتداد آرایه‌های زنجیره‌ای تناوبی از نانوذرات فلزی با فاصله نزدیک هدایت کرد که حالت نوری را به پلاسمون‌های سطحی غیر تابشی تبدیل می‌کند (۱۰). چنین دستگاه‌های پلاسمونیکی از مکان‌یابی نور در جفت شدن دو قطبی یا نوسانات پلاسمون دو قطبی جمعی الکترون‌ها در ذرات فلزی در مقیاس نانو در فرکانس پلاسمون استفاده می‌کنند. موجبرهای پلاسمون متشکل از نانوذرات نقره با فاصله نزدیک با قطر حدود ۳۰ نانومتر به طور تجربی برای هدایت انرژی الکترومغناطیسی در فواصل چند صد نانومتری از طریق فعل و انفعالات ذرات میدان نزدیک مشاهده شده است (۱۱). علاوه بر این، پیشنهاد شده است که نور را می‌توان به طور موثر در اطراف گوشه‌های تیز آرایه‌های زنجیره‌ای نانوذرات هدایت کرد (۱۲). چنین فناوری‌های موجبر پلاسمونی به طور بالقوه می‌تواند برای ساخت تمام نوری مورد استفاده قرار گیرد.

چنین فناوری‌های موجبر پلاسمونی را می‌توان به طور بالقوه برای ساخت شبکه‌های نانومقیاس نوری مورد استفاده قرار داد (۱۳). لایه‌های فتولتائیک نازک‌تر جذب نور کم‌تری خواهند داشت در حالی که لایه‌های ضخیم‌تر باز ترکیب حامل بیش‌تری دارند، این

مکانیکی قوی‌تر از GaAs نسبت به سلول‌های رشد یافته روی بسترهای GaAs است.

به طور خاص برای استفاده در فضا، سلول‌های بسیار نازک، سبک و انعطاف‌پذیر InGaP/GaAs (J2) و InGaP/GaAs/Ge (J3) اخیراً در حال توسعه هستند. اگرچه فرآیندهای ساخت به خوبی فاش نشده است، لایه‌های فتولتائیک به فیلم‌های پشتیبان فلز یا پلیمر و زیرلایه‌های اصلی برای رشد همبافته^۷ (روشی برای پوشش لایه‌ای تک‌بلور روی زیرلایه‌ای تک‌بلور است) متصل شده‌اند (۵).

برای بهبود بیش‌تر کارایی سلول، سلول‌هایی با اتصالات بیش‌تر مانند ساختار InGaP/GaAs/InGaAsN/Ge (J4) و سلول AllnGaP/InGaP/InGaAsN/Ge (J6) پیشنهاد شده‌اند راندمان این سلول (J6) در حد ۲۳٫۶٪ تحت (AM0) در ۱ خورشید (2 mWcm^{-2}) گزارش شده است (۵).

پلاسمونیکی برای کاربردهای سلول خورشیدی

نانوذرات فلزی ویژگی‌های نوری متمایزی مانند پراکندگی رامان تقویت شده سطحی (SERS)^۸ و نسل دوم هارمونیک (SHG)^۹ را نسبت به شکل توده‌ای فلزات نشان می‌دهند (۱-۳). سایر میدان‌های الکترونیکی نوری با تابش نانوذرات فلزی مانند جذب چند فوتونی و تحریک فلورسانس برای میکروسکوپ، میکروساخت و ذخیره‌سازی داده‌های نوری نیز در حال ظهور هستند (۶ و ۷).

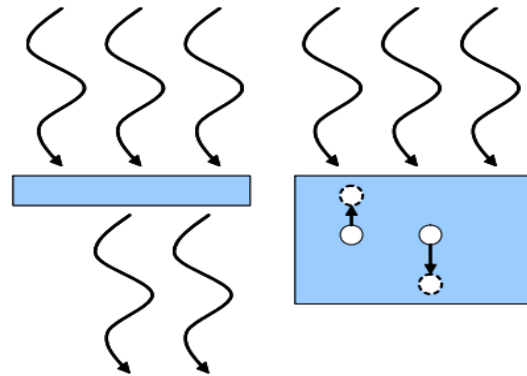
^۷ Epitaxy

^۸ Surface-enhanced Raman scattering

^۹ Second harmonic generation

نوری در سلول خورشیدی، پراکندگی رامان و پدیده‌های نوری غیرخطی در فرکانس‌های تشدید به شدت به به محیط دی‌الکتریک، خواص مواد، اندازه و شکل نانوذرات فلزی وابسته و حساس هستند. این امر استفاده از تشدید پلاسمونی سطحی را به‌عنوان سنسورهای شیمیایی یا زیستی ممکن می‌سازد (۱۴). یکی از محدودیت‌های ذاتی ادوات نوری مجتمع، کوچک‌سازی عناصر سازنده آن است که توسط حد پراش نور محدود می‌شود. پلاسمون پلاریتون‌های سطحی به دلیل غلبه بر این مشکل و امکان هدایت نور در ابعاد زیر طول موج، می‌توانند کاربردهای گسترده‌ای در مجتمع سازی مدارهای نوری داشته باشند. این پدیده می‌تواند رویای رسیدن به فناوری پردازنده‌های فوق سریع را واقعیت ببخشد. موج‌برهای فلز-عایق-فلز به علت هدایت پلاسمون‌های سطحی در سطح مقطع فلز-دی‌الکتریک ساختارهای بسیار مهمی در ادوات پلاسمونیک هستند (۱۵). در سال‌های اخیر این ساختارها محبوبیت زیادی در میان محققین بدست آورده‌اند چراکه این موج‌برها نه تنها از انتشار مدهای با طول موج بسیار کوچک و با سرعت گروهی بالا پشتیبانی می‌کنند، بلکه توانایی هدایت موج تا فواصل نسبتاً بالا را از خود نشان می‌دهند. ترکیب این موج‌برها با نانوشدیده‌گرهایی با شکل‌های مختلف که از پهلوی به آن‌ها کوپل شده‌اند، ساختارهای متنوع جدیدی را به وجود می‌آورند که کاربردهای زیادی در ادوات تمام نوری دارند. این ساختار می‌تواند گزینه‌ی مناسبی برای طراحی سوئیچ‌های پلاسمونی در قدرت‌های پایین باشد (۱۶).

موضوع به صورت شماتیک در شکل ۷ نشان داده شده است.



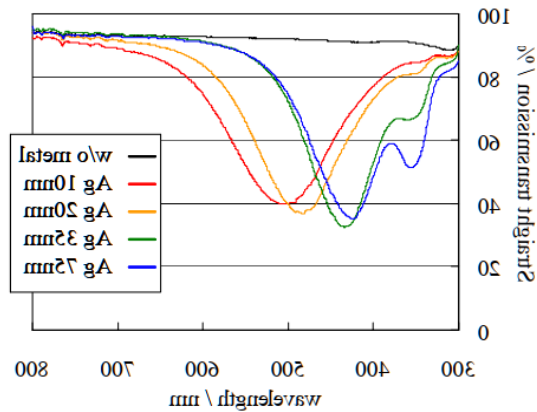
شکل (۷): شماتیک برای مسئله مبادله در ضخامت لایه فتوولتائیک. لایه‌های فتوولتائیک نازک‌تر جذب نور کم‌تری دارند (سمت چپ) در حالی که لایه‌های ضخیم‌تر نور ترکیب حامل حجیم‌تر را دارند (راست) (۵).

هر دوی این دو عامل تلفات خروجی الکتریکی سلول خورشیدی تبدیل شده از انرژی نور خورشید تابشی خواهد بود. بنابراین ضخامت لایه فتوولتائیک فعال معمولاً برای به حداکثر رساندن راندمان تبدیل انرژی از طریق آن مبادله بهینه می‌شود. نانو ساختارهای فلزی می‌توانند پلاسمون‌های سطحی را تحریک کنند و می‌توانند به طور چشمگیری طول مسیر نوری را در لایه‌های نازک فتوولتائیک فعال افزایش دهند تا جذب نور کلی را افزایش دهند.

در تشدید پلاسمون‌های سطحی، پراکندگی و جذب نانو ذرات فلزی به ابعاد فلزی تا چندین برابر آت نانوذره افزایش می‌یابد که منجر به یک فیلترینگ در باندهای خاص از طیف الکترومغناطیس خواهد شد. نتیجه دیگر تشدید پلاسمون‌های سطحی این است که در مجاورت نانوذرات فلزی افزایش شدت رخ خواهد داد که این برای ارتقای پدیده‌های نوری وابسته به شدت استفاده شده است. برای مثال جذب

قابل توجهی بالاتر است، که می‌توان آن را به بازده تابش بسیار بالاتر نسبت داد.

طیف انتقال برای آرایه‌های نانوذرات نقره با قطر ذرات ۶۰ نانومتر و ارتفاع‌های ذرات مختلف که روی لایه‌های شیشه‌ای قرار گرفته‌اند در شکل ۹ نشان داده شده است. تشدید پلاسمون سطحی در نانوذرات فلزی به صورت افت در حدود ۴۰۰-۵۰۰ نانومتر دیده می‌شود.

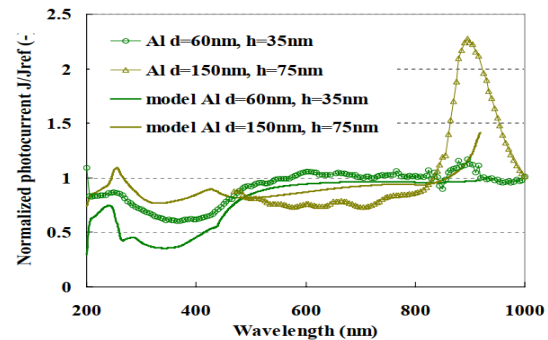
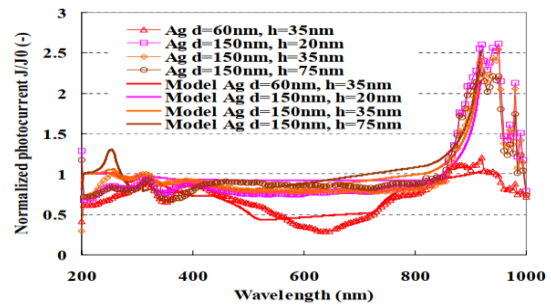


شکل (۹): طیف‌های مستقیم انتقال نوری آرایه‌های نانوذرات نقره با قطر ذرات ۶۰ نانومتر و ارتفاع‌های ذرات مختلف که بر روی لایه‌های شیشه‌ای قرار گرفته‌اند (۵).

در حالی که هیچ پراکندگی قابل توجهی برای منطقه نزدیک به IR مشاهده نمی‌شود. در شکل ۸، یک فرورفتگی احتمالاً ناشی از تشدید پلاسمون برای سلول با ذرات نقره با قطر ۶۰ نانومتر در حدود ۶۰۰ نانومتر دیده می‌شود، که اختلاف آن از طیف‌های انتقال به اثر لایه‌های مختلف نسبت داده می‌شود که در آن GaAs ضریب شکست بالاتری نسبت به شیشه دارد. فرکانس رزونانس را به قرمز منتقل کنید.

تجزیه و تحلیل نتایج

شکل ۸ طیف جریان نوری سلول‌های خورشیدی GaAs را با نانوذرات فلزی Ag و Al نشان می‌دهد. این داده جریان نوری توسط پاسخ طیفی سلول GaAs مرجع بدون نانوذرات فلزی نرمال می‌شود. حداکثر افزایش جریان نوری ۲۶۰ درصد در حدود ۹۰۰ نانومتر برای سلول GaAs با نانوذرات نقره با قطر ۱۵۰ نانومتر، ارتفاع ۲۰ نانومتر و ۳۰ درصد پوشش سطحی دیده می‌شود.



شکل (۸): طیف جریان نور نرمال شده برای سلول‌های خورشیدی GaAs با (الف) نانوذرات نقره و (ب) Al. منحنی‌های جذب نرمال شده محاسبه شده در سلول‌های خورشیدی GaAs با نانوذرات Ag و Al بر اساس مدل نوری نیز رسم شده‌اند (۵).

جریان نوری نرمال شده (J/J_0) برای سلول‌هایی با نانوذره با قطر ۱۵۰ نانومتر نسبت به سلول‌هایی با قطر ۶۰ نانومتر برای تقریباً کل محدوده طیفی به‌طور

بحث و نتیجه‌گیری

منابع

- [1] Luo, D., Su, R., Zhang, W., Gong, Q., Zhu, R., Vignolini, L., 2020, Minimizing non-radiative recombination losses in perovskite solar cells. *Nat Rev Mater*, 5 (1), 44-60.
- [2] Han, S. E., Chen, G., 2010, Optical absorption enhancement in silicon nanohole arrays for solar photovoltaics. *Nano Lett*, 10, 1012-1015.
- [3] Jamiati, M., 2020, Kinetic Energy Distribution for Neutron-Induced Fission of Thorium Isotopes. *Physics of Atomic Nuclei*, 83, 859-865.
- [4] Schertel, L., Vignolini, S., 2020, Nanotechnology in a Shrimp Eye's View. *Nature Nanotechnology*, 15, 87-88.
- [5] Katsuaki, T., 2008, Low-Cost High-Efficiency Solar Cells with Wafer Bonding and Plasmonic Technologies. In *Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy*, California Institute of Technology Pasadena, California.
- [6] Katsuaki, T., 2009, Review of Ultrahigh Efficiency III-V Semiconductor Compound Solar Cells: Multijunction Tandem, Lower Dimensional, Photonic Up/Down Conversion and Plasmonic Nanometallic Structures. *Energies*, 2(3), 504-530.
- [7] Patil, A., Mishra, V., Thakur, S., Riyaz, B., Kaur, A., Khursheed, R., Patil, K., Sathe, B., 2019, Nanotechnology Derived Nanotools in Biomedical Perspectives: An update. *Current Nanoscience*, 15, 137-146.
- [8] Jamiati, M., 2021, Modeling of Maximum Solar Power Tracking by Genetic Algorithm Method. *Iranian (Iranica) Journal of Energy & Environment*, 12(2), 118-124.
- [9] Raj S., Jose S., Sumod U.S., Sabitha M., 2012, Nanotechnology in cosmetics: Opportunities and challenges. *J. Pharm. Bioallied Sci.*, 4, 186-193.
- [10] Jamiati, M., Mehdipour, K. P., 2020, The calculation of total fragment excitation energy for photofission of Uranium isotopes. *Turkish Journal of Physics*, 44(4), 364-372.
- [11] Lv, P., Xie, D., Zhang, Z., 2018, Magnetic carbon dots based molecularly imprinted polymers for fluorescent detection of bovine hemoglobin. *Talanta*, 188, 145-151.
- [12] Cotal, H., Fetzer, C., Boisvert, J., Kinsey, G., King, R., Hebert, P., Yoon, H., & Karam, N.,
- افزایش جریان نوری و رفتار طیفی جریان نوری نرمال شده به‌طور کیفی توسط یک مدل نوری ساده که نشان‌دهنده تشدید پلاسمون سطحی نانوذرات فلزی و پراکندگی چند زاویه‌ای است، بازتولید می‌شود. به ویژه، ذرات فلزی با اندازه زیر موج بزرگ‌تر به دلیل راندمان تابش بالاتر برای Ag و Al منجر به جریان نوری بزرگ‌تر می‌شوند. سلول‌های بسیار نازک GaAs با لایه‌های پشتی Ag از طریق پیوند ویفری و انتقال لایه‌های GaAs ساخته شدند. این سلول GaAs موجبر مانند افزایش جریان نور خالص را در سراسر محدوده طیفی خورشیدی نسبت به سلول GaAs مرجع با لایه پشتی GaAs جذب کننده نشان داد. یک قله بزرگ برای جریان نوری نرمال شده در اطراف باند GaAs پیدا شد و به بازتاب چند زاویه‌ای در لایه پشتی Ag نسبت داده شد. یک پیک کوچک‌تر در ۶۰۰ نانومتر یافت شد که به دلیل جفت شدن پلاسمون سطحی یا اثر تشدید فابری-پرو است. طیف‌های جذب نرمال شده محاسبه شده برای سلول‌های خورشیدی GaAs با نانوذرات فلزی با جریان نوری نرمال شده تجربی برای سلول‌های مربوطه نتایج تجربی را به‌خوبی بازتولید می‌کند، از جمله پیک‌های اطراف ۳۰۰ نانومتر و ۹۰۰ نانومتر و شیب‌های اطراف در ۶۰۰ نانومتر برای ۶۰ نانومتر نقره و ۳۵۰ نانومتر برای قطر ۶۰ نانومتر Al. شیب حدود ۶۰۰ نانومتر در جریان نوری نرمال شده برای سلول با ذرات نقره با قطر ۶۰ نانومتر، احتمالاً به دلیل تشدید پلاسمون سطحی در ذرات نقره، برای قطر ۱۵۰ نانومتر دیده نمی‌شود.

- 2009, III-V multijunction solar cells for concentrating photovoltaics. *Energy and Environmental Science*, 2(2), 174-192.
- [13] Cheng, K. Y., 2020, Heterostructure Electronic Devices. *Energy and Environmental Science*, 2(2), 174-192.
- [14] Liu, N., Mesch, M., Weiss, T., Hentschel, M., Giessen, H., 2010, Infrared perfect absorber and its application as plasmonic sensor. *Nano letters*, 10 (7), 2342-2348.
- [15] Adedeji, M. A., Hamed, M. S. G., Mola, G.T., 2020, Light trapping using copper decorated nano-composite in the hole transport layer of organic solar cell. *Sol. Energy*, 203, 83-90.
- [16] Shabani, L., Mohammadi, A., Jalali, T., 2023, Performance analysis of polymer bulk heterojunction solar cells with plasmonic nanoparticles embedded into the P3HT:PC61BM active layer using the FDTD method. *Polym. Bull.*, 80, 9589-9610.

“Review article”

Development of low-cost, high-performance solar cell technology using plasmonic nanostructures**Mojtaba Jamiati***

Department of Physics, Naragh Branch, Islamic Azad University, Naragh, Iran

*Corresponding author: drmjamiati@gmail.com

(Received: 2 March 2024, Accepted: 8 September 2024)

Abstract

III-V compound multijunction solar cells enable ultra-high efficiency performance in designs where sub-cells with high material quality and high internal quantum efficiency can be used. However, the issue of their layering is subject to the proper band gap of each layer with the adjacent layers to increase the efficiency. In order to have high efficiency in solar cells, in addition to paying attention to the correct selection of the materials that make up the structure, the design of the structure should also be done in such a way that we have the maximum absorption of light in the active layer, in this sense, by introducing nanoparticles (gold, silver, etc.) . In the active layer, the electrical properties of this layer are improved in line with increasing absorption. Metal nanoparticles are candidates for increasing the power conversion efficiency of plasmonic solar cells by focused surface plasmon resonance and the ability to trap light in the film. The quantum efficiency spectra for the grafted cell were quite similar to each of the ungrafted GaAs and InGaAs subcells. The open-circuit voltage of the double-band bonded cell was equal to the sum of the open-circuit voltages of the non-bonded subcell, indicating that the bonding process does not reduce the quality of the cell material because any crystal defects created that act as recombination centers cause a voltage drop. Also, the junction interface does not have a significant carrier recombination rate to reduce the open circuit voltage.

Conflict of interest: None declared.**Keywords:** solar cells, plasmonic, crystal, nanoparticles, GaAs