بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۲-۱۴ بهمن ۱۴۰۰

سنتز نانوکامپوزیت GO-Au و کاربرد آن در سلول خورشیدی رنگدانه‌ای

حمیده حسن زاده جشاری، حسین روح الامینی نژاد، وحید صاحب
دکتری فیزیک، هیات علمی دانشگاه شهید باهنر کرمان
Rooholamini@uk.ac.ir
دکتری شیمی، هیات علمی دانشگاه شهید باهنر کرمان
Vahidsaheb@uk.ac.ir
دانشجوی دکتری فیزیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان
Hm.hassanzade@gmail.com

چکیده –هدف این مطالعه سنتز یک نانوساختار مبتنی بر گرافن و طلا و به‌کارگیری آن در فوتوآند سلول خورشیدی رنگدانه‌ای است. خاصیت پلاسمونیکی نانوذرات طلا باعث افزایش جذب ناحیهٔ مرئی می‌شود. از طرفی اکسید گرافن با داشتن خواص کارآمدی مانند شفافیت بالا در ناحیهٔ مرئی، مقاومت پایین در مقابل انتقال الکترون، پایداری و سطح ویژه بالا می‌تواند در لایهٔ انتقال دهنده الکترون و فوتوآند سلول به‌کار برده شود که در اینجا با استفاده از یک روش سنتز مناسب و اتصال مناسب نانوذرات طلا به صفحات گرافن، نانوکامپوزیت بهینه‌ای برای فوتوآند سلول خورشیدی رنگدانه‌ای ساخته شد. علاوه بر آن استفاده از نانوذرات طلا با سایز بسیار کوچک در حد ۲nm در محلول رنگدانه توانست جذب را در قسمت رنگ نیز افزایش دهد. دلیل انتخاب سایز کوچک در این قسمت این است که نانوذرات مانع جذب رنگدانه روی سطح $TiO_۲$ نشوند.

کلید واژه- اکسید گرافن، پلاسمونیک، سلول خورشیدی رنگدانه‌ای، نانوذرات طلا، نانوکامپوزیت

Synthesis of GO-Au nanocomposite and its application in dye solar cell

Hasanzadeh Jeshari Hamideh, Rooholamininejad Hossein, Saheb Vahid
Faculty of Physics, Shahid Bahonar University of Kerman
Rooholamini@uk.ac.ir
Vahidsaheb@uk.ac.ir
Hm.hassanzade@gmail.com

Abstract –The aim of this study is the synthesis and utilization of a nanostructure based on graphene and gold in the photoanode of dye sensitized solar cell. The plasmonic properties of gold nanoparticles increase the absorption of the visible region. On the other hand, graphene oxide with its efficient properties such as high transparency in the visible region, low resistance to electron transfer, stability and high specific surface area can be used in the electron transfer layer and photoanode of the cell, which here an optimal nanocomposite was made for photoanode of dye solar cell with applying an appropriate synthesis method and proper bonding of gold nanoparticles to graphene plates. In addition, the use of gold nanoparticles with a very small size of ۲ nm in the dye solution was able to increase the absorption in the dye. The reason for choosing a small size is that the nanoparticles do not interfere with the adsorption of dye on the surface of $TiO_۲$.

Keywords: Graphene oxide, plasmonics, dye solar cell, gold nanoparticles, nanocomposite

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-29]

مقدمه

در حال حاضر ۱۳TW انرژی برای تامین این سبک زندگی جمعیت ۶/۵ میلیارد نفری جهان لازم است که تا سال ۲۰۵۰، ۱۰TW دیگر (برای همین سبک زندگی)، به آن افزوده خواهد شد[۱]. انرژی خورشید که به زمین می‌رسد بسیار زیاد است و در حدود $۳۱۰^{۲۴} \frac{J}{year}$× تخمین زده می شود که $۱۰^{۴}$ برابر بیشتر از انرژی مصرفی رایج بشر است. از سوی دیگر پوشش تنها ۰/۱٪ از سطح زمین با دستگاه‌های فوتوولتاییک دارای بازده ۱۰٪ ، برای تامین نیازهای ما کفایت می‌کند. سلول‌های خورشیدی حساس شده به رنگدانه و یا نقاط کوانتومی نسل سوم سلول‌های خورشیدی هستند که به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی مانند انعطاف پذیری، قیمت پایین، ساخت آسان و غیره مورد توجه بسیاری قرار گرفته اند. عیب این سلول‌ها بازده نسبتا پایین آن‌ها می‌باشد که یک راه‌حل برای افزایش بازده، استفاده از نانوساختارهای فلزی همچون طلا و نقره می‌باشد که با استفاده از اثر تشدید پلاسمون و افزایش جذب نور می‌توانند باعث افزایش بازده این سلول‌ها شوند[۲-۵]. برای انواع سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای عمدتا امکان استفاده از فوتوآندهایی با ضخامت زیاد وجود ندارد. این مساله به طور معمول به این دلیل است که همهٔ حامل‌های بار بتوانند جمع‌آوری شوند. استفاده از الکترودهای ضخیم معمولا منجر به آن خواهد شد که حامل‌های بار قبل از رسیدن به اتصال نهایی بازترکیب شوند. این مشکل را می توان با به‌کارگیری نانوذرات فلزی و بهره‌گیری از اثر پلاسمونیک حل کرد. اثر پلاسمونیک سبب می‌شود که جذب نور در لایهٔ فعال سلول افزایش یابد و یک فوتوآند به طور فیزیکی نازک و به طور اپتیکی ضخیم خواهیم داشت[۶]. همچنین اخیراً مشخص شده است که نانوساختارهای کربنی پذیرنده‌های الکترونی بسیار خوبی هستند و برای کاربردهای فتوولتائیک بسیار رسانا می‌باشند[۸،۷]. انتظار می‌رود ترکیب صفحات گرافن در ماتریس نانوذرات تیتانیا دو خاصیت مهم را تقویت کند. یکی کاهش گاف نواری برای تقویت پاسخ نوری فیلم‌های نازک دی‌اکسید تیتانیوم و دوم استفاده از خاصیت رسانایی عالی نانوسیم گرافن برای انتقال الکترون از نوار رسانش اکسید تیتانیوم به الکترود که از بازترکیب الکترون حفره جلوگیری می‌نماید[۹]. در این پژوهش با به‌کاربردن نانوکامپوزیت مبتنی بر نانوذرات طلا و اکسید گرافن در فوتوآند سلول خورشیدی حساس شده با رنگدانهٔ طبیعی سعی بر این بوده است که بازدهی سلول افزایش یابد. برای لایهٔ رنگدانهٔ سلول نیز از محلول رنگدانه $N_{۷۱۹}$ حاوی نانوذرات طلای ۲ نانومتری استفاده شد.

روش تجربی

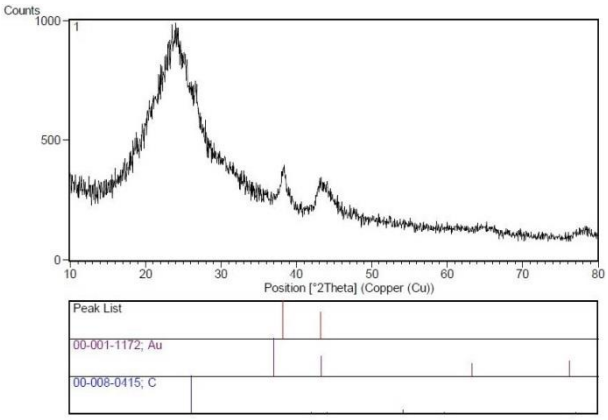
روش هیدروترمال اصلاح شده برای سنتز نانوساختار GO/Au انتخاب گردید. ابتدا برای سنتز اکسید گرافن از روش هامر اصلاح شده استفاده شد. در این روش مقدار ۱gr پودر گرافیت با خلوص بالا را با ۷۰cc اسید سولفوریک، ۲۵cc اسید نیتریک و ۱۰cc اسید فسفریک مخلوط کرده و برای مدت ۱۰ دقیقه هم زده شد. سپس در حمام یخ قرار داده و به آرامی در مدت زمان ۲ ساعت، مقدار ۶gr پودر پرمنگنات پتاسیم به مخلوط اضافه و سپس حمام یخ برداشته شد. پس از آن ۱۰۰ml آب دیونیزه به آرامی به مخلوط اضافه و مخلوط هم‌زده شد. مخلوط در حمام روغن داغ ۸۵ درجه قرار داده شد و آب دیونیزه و آب اکسیژنه به مخلوط اضافه گردید که رنگ مخلوط کاملاً به زرد مایل به نارنجی تبدیل شد. در مرحله بعدی، برای تولید اکسید گرافن، اکسید گرافیت در حمام فراصوت قرار گرفت. این کار باعث شکسته‌شدن پیوندهای واندروالس میان لایه‌های اکسید گرافیت و ورقه ورقه شدن لایه‌ها می‌گردد. در نهایت ماده با هیدروکلریک اسید و آب دیونیزه شستشو داده شده و خشک گردید. برای سنتز نانوکامپوزیت نهایی روش مورد نظر ما بر اساس یک روش با دما و فشار ثابت است که ابتدا نانوذرات طلا رشد داده شد و سپس اکسید گرافن به آن اضافه شد. در این روش برخلاف روش هیدروترمال با استفاده از اوتوکلاو که فشار و دمای بالا مورد نیاز است از یک بادکنک به منظور تنظیم

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-29]

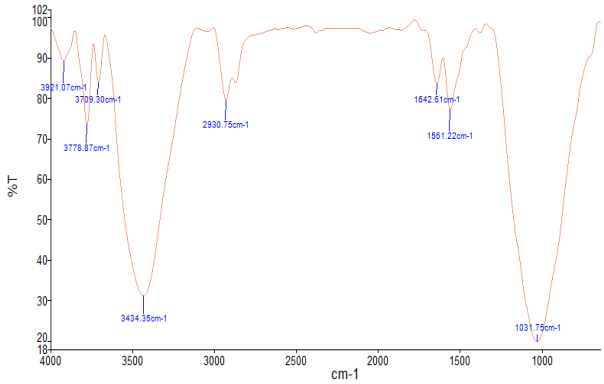
فشار استفاده می‌شود و همچنین منبع گرما نیز ظرف حاوی روغن سیلیکون است و به این ترتیب دیگر به دماهای زیاد و فشارهای بالا نیازی نمی‌باشد. ابتدا مقداری (۰/۲gr) نمک طلا $HAuCl_4$ در ۶۰cc آب دیونیزه ریخته و ۰/۵gr سدیم بوروهیدرید ۱M به آن اضافه شد و به مدت ۱۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه تحت هم خوردن باقی ماند. سپس برای سنتز GO/Au، میزان بهینه‌ای از اکسید گرافن به مخلوط اضافه و به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه هم‌زده شد. سپس این نانوکامپوزیت به صورت مخلوط با TiO_2 به عنوان لایهٔ فوتوآند روی شیشه ITO لایه‌نشانی شد و برای حساس‌سازی آن از رنگدانهٔ N_{719} حاوی نانوذرات طلای ۲ نانومتری سنتزشده به روش براست-شیفرین (ارائه شده در کارهای قبلی[۱۰]) استفاده شد. پس از ساندویچ کردن این الکترود با کاتد پلاتینی، الکترولیت یدید-تری یدید به سلول تزریق شد.

بحث و نتایج

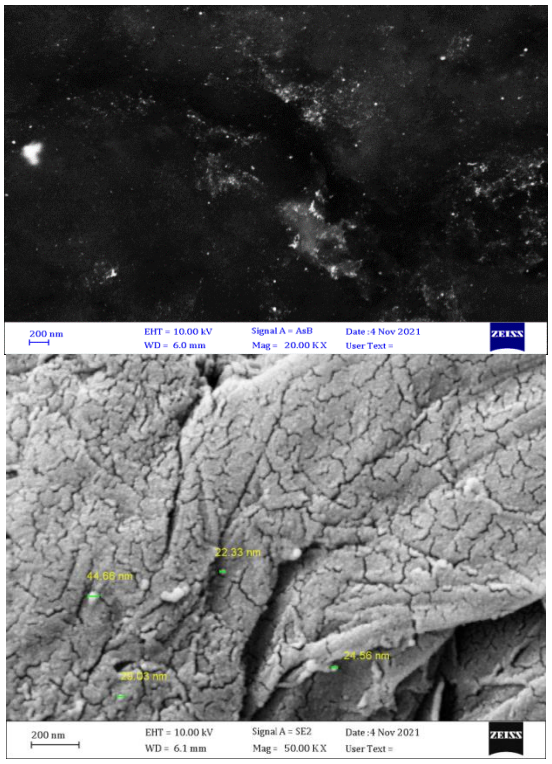
با توجه به شکل۱ (XRD) پیک پهن در ناحیهٔ ۲۰ الی ۲۸ درجه نشان‌دهندهٔ صفحات اکسید گرافن می‌باشد. قله‌های ناحیهٔ ۳۸ و تقریبا ۴۵ و ۶۵ درجه نیز مربوط به صفحات بازتاب (۱۱۱)، (۲۰۰) و (۲۲۰) طلا است که نشان می‌دهد نانوذرات خالص فلز طلا با تقارن مکعبی (FCC) در سطح اکسید گرافن رشد کرده‌اند. در طیف FTIR شکل۲، دو قلهٔ $۱۵۶۱ cm^{-1}$ و $۱۶۴۲ cm^{-1}$ مربوط به پیوند دوگانهٔ کربن-کربن (C=C) آروماتیک و پیوند دوگانهٔ C=O کربوکسیل است[۴۷]. پیک $۲۹۳۰cm^{-1}$ مربوط به پیوند C-H و باند پهن و قوی $۳۴۳۴cm^{-1}$ مربوط به ارتعاش پیوند O-H جذب شده در سطح نانوساختار است که نشانگر کاهش Au^{3+} به Au^{0} می‌باشد. قلهٔ دیگر در $۱۰۳۱ cm^{-1}$ مربوط به پیوند C-O آلکوکسی می‌باشد. با توجه به طیف شدت نسبی پیوند C=O نسبت به پیوند C=C ضعیف‌تر شده است که نشان می‌دهد که پیوندهای کربن-اکسیژن از ورقه‌های گرافیتی حذف شده و پیوندهای دوگانه‌ی کربن-کربن(C=C) تولید می‌شوند. نتایج به‌طور واضح نشان می-دهند که نانوکامپوزیت GO-Au تشکیل شده است[۱۱].



شکل ۱: تصویر الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به نانوکامپوزیت GO-Au

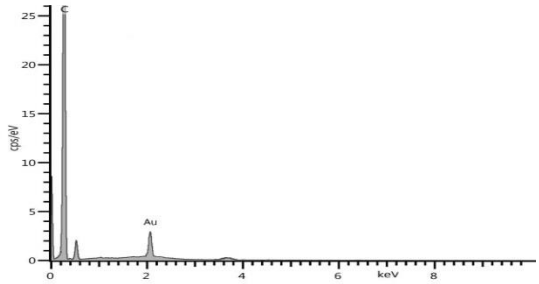


شکل ۲: طیف FTIR مربوط به نانوکامپوزیت GO-Au

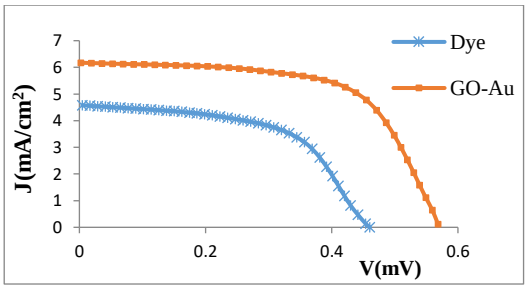


شکل ۳: تصاویر SEM مربوط به نانوکامپوزیت GO-Au

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-29]



شکل۴: نمودار EDS



شکل ۵: نمودار جریان ولتاژ برای سلول پایه و سلول حاوی نانوکامپوزیت سنتزشده

cell	J(mA/cm^2)	V(mV)	FF	η
Dye	۴/۵۸	۰/۴۶	۰/۵۷	۱/۱۹
GO-Au	۶/۱۷	۰/۵۷	۰/۶۳	۲/۲۱

جدول ۱: نتایج مشخصه‌یابی مربوط به شکل ۵

طبق این مشخصه‌یابی‌ها، بیشترین جریان و ولتاژ و بازده برای سلول با نانوکامپوزیت سنتزشده GO-Au است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان‌دهندهٔ ۳۵ درصد افزایش جریان، ۲۴ درصد افزایش ولتاژ، ۱۰ درصد افزایش فاکتور پرشدگی و نهایتا ۸۵ درصد افزایش بازده در حضور نانوکامپوزیت سنتزشده می‌باشد. ساختار سطوح انرژی در فوتوآند حاوی گرافن و دی اکسید تیتانیوم به گونه‌ای است که انتقال الکترون از باند رسانش دی‌اکسیدتیتانیوم به زیرلایه TCO و همچنین از طریق سطح انرژی گرافن به زیرلایه TCO صورت می‌گیرد و انتقال الکترون سریع‌تر انجام می‌شود. این انتقال‌ها منجر به کاهش بازترکیب الکترون تولید شده با مولکول رنگدانه اکسید شده می‌شوند و جریان افزایش می‌یابد. نانوذرات فلزی نیز در حالت تشدید پلاسمون سطحی نور فرودی را هم پراکنده و هم جذب می‌کنند و باعث افزایش طول راه نوری می‌شود و افزایش جریان و ولتاژ سلول را در پی دارد.

مرجع‌ها

[۱]. P.V.Kamat,Meeting The Clean Energy Demand: Nanostructure Architectures For Solar Energy Conversion,Phys. Chem, , pp.۲۸۳٤-۲۸٦۰. C ۲۰۰۷.

[۲]. H. Berk Giry, The Effects Of Platinum Particle Size To The Efficiency Of A Dye Sensitized Solar Cell,The Degree Of Master Of Science In Chemical Engineering Technical University,Chap.۱ ,۲۰۱۰.

[۳]. Q. Zhang, G. Cao, “Nanostructured Photoelectrodes For Dye-Sensitized Solar Cells”, Nano Today, ٦, pp.۹۱-۱۰۹, ۲۰۱۱.

[٤]. G.B. Smith And C.G. Granqvist, “Green Nanotechnology: Solutions For Sustainability And Energy In Then Built Environment”, Crs Press, United State Of America, ۲۰۱۱.

[٥]. B.E. Hardin, H.J. Snaith, M. D. Mcgehee, “The Renaissance Of Dye-Sensitized Solar Cells”, Nature Photonics, Vol ٦, March ۲۰۱۲.

[٦]. B.Ding, B.J. Lee,Surface-Plasmon Assisted Energy Conversion In Dye-Sensitized Solar Cells”, Adv. Energy Mater., ۱, pp.٤۱٥–٤۲۱, ۲۰۱۱.

[۷]. Robel, B.A. Bunker,Single-walled carbon nanotubeeCdS nanocomposites as light-harvesting assemblies: photoinduced charge-transfer interactions, Adv. Mater. ۱۷ (۲۰) (۲۰۰٥) ۲٤٥۸-۲٤٦۳.

[۸]. W.-C. Oh, F.-J. Zhang, M.-L. Chen, Synthesis and characterization of VeC ٦۰/ TiO۲ photocatalysts designed for degradation of methylene blue, J. Ind. Eng. Chem. ۱٦ (۲) (۲۰۱۰) ۲۹۹-۳۰٤.

[۹]. J. Du, et al., Hierarchically ordered macro_ mesoporous TiO۲_ graphene composite films:, and their enhanced photocatalytic activities, ACS Nano ٥ (۱) (۲۰۱۰) ٥۹۰-٥۹٦.

[۱۰]. HasanzadehJeshari H., RooholaminiNejad H., Applying the Synthesized Gold Nanoparticles and Investigating the Effect of Ligand-Functionalized Nanoparticles on Efficiency of Dye Sensitized Solar Cells, IOP Publishing, Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology, Vol. ۹, Number ۳, pp. ۰۳٥۰۱۷ (۸pp.), ۲۰۱۸.

[۱۱]. K. A.Willets, R. Duyne, “Localized Surface Plasmon Resonance Spectroscopy And Sensing”, Department Of Chemistry, Northwestern University, Annu. Rev. Phys. Chem.٥۸ Anrv۳۰۸-Pc٥۸-۱۰, ۲۰۰٦.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-29]

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-29]