بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

بهبود بازدهی سلول‌های خورشیدی حساس شده به نقاط کوانتومی کربنی به وسیله آلایش نقاط کوانتومی کربنی با نیتروژن

الهام حاجی ماهانی[۱]، وحید صاحب[۲]، حسین روح الامینی نژاد[۱]، مرجان سعید[۱]

۱- دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید باهنر، کرمان
۲-بخش شیمی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان

Email: ElhamHmahani2018@gmail.com

Rooholamini@uk.ac.ir

چکیده – اخیرا نقاط کوانتومی کربنی به علت داشتن ویژگی‌های بی‌نظیرشان به عنوان جایگزینی مناسب برای نقاط کوانتومی نیمه‌رسانای غیرارگانیک مطرح شده‌اند. برای بهبود خواص این نقاط کوانتومی، آن‌ها را با عناصری چون نیتروژن می‌آلایند. به منظور بررسی اثر آلایش نیتروژن بر عملکرد سلول‌های خورشیدی، نخست نقاط کوانتومی کربنی و نقاط کوانتومی کربنی آلاییده با نیتروژن سنتز شدند، سپس در ساخت سلول خورشیدی به کار گرفته شدند. مشخص شد آلایش نیتروژن اثری مثبت بر بازده سلول خورشیدی داشته است.

کلید واژه- سلول خورشیدی مبتنی بر نقاط کوانتومی کربنی، نقاط کوانتومی کربنی آلاییده شده با نیتروژن

Improving the efficiency of carbon quantum dot sensitized solar cells by doping of carbon quantum dots with nitrogen

Elham Hajimahani[1], Vahid Saheb[2], Hossein Rooholamini Nejad[1], Marjan Saeed[1]

1-Faculty of Physics, Shahid Bahonar University, Kerman
2-Department of Chemistry, Shahid Bahonar University, Kerman

Abstract- Carbon quantum dots have recently emerged as alternatives to traditional semiconductor quantum dots because of their unique properties. Doping of carbon quantum dots with nitrogen can improve their properties. In order to investigate the effect of nitrogen doping on the performance of solar cells, first carbon quantum dots and nitrogen doped carbon quantum dots were synthesized then used to construct solar cells. It was determined that nitrogen doping has a positive effect on the solar cell efficiency.

Keywords: carbon quantum dot solar cell, nitrogen-doped carbon quantum dots

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-19]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر سلول‌های خورشیدی حساس شده به نقاط کوانتومی به علت ویژگی‌های خاص نقاط کوانتومی مورد توجه قرار گرفته‌اند. تاکنون نقاط کوانتومی به کار گرفته شده در سلول‌های خورشیدی، به طور عمده بر پایه فلزات سنگین و سمی سرب و کادمیوم بوده است که علاوه بر دارا بودن خطرات زیست محیطی، پرهزینه نیز هستند [۳و۱]. یکی از مواد نانو ساختاری که معرفی شده است، نقاط کوانتومی کربنی (CQDs) است که دارای خاصیت فلورسانسی عالی هستند. این نانو ذرات شبه کروی، در اندازه زیر ۱۰ نانومتر می‌باشند. برخی از ویژگی‌های نقاط کوانتومی کربنی عبارت‌اند از: گاف انرژی وابسته به اندازه، پایداری کلوییدی بالا، سمیت بسیار پایین، جذب گسترده در سرتاسر طیف خورشید، فرآیند ساخت آسان و کم هزینه و غیره. نقاط کوانتومی کربنی به روش‌هایی چون سایش لیزری، اکسایش الکتروشیمیایی، پیرولیز، هیدروترمال و غیره سنتز می‌شوند. به طور کلی نقاط کوانتومی کربنی با یک هسته کربنی که سطح آن توسط گروه‌های عاملی (کربوکسیل، هیدروکسیل و غیره) پوشیده شده است، توصیف می‌گردند. معمولا هسته کربنی با ساختار هیبریدی sp^2 تشکیل شده است و با بخش‌ها و ترکیب‌های اکسیژن‌دار بر روی سطحش، محدود می‌شود [۲].

آلاییدن نقاط کوانتومی کربنی با اتم‌های ناهمجنس می‌تواند ویژگی‌های اپتیکی و الکترونیکی آن‌ها را بهبود بخشد که به علت پوشش‌دهی مؤثر سطح و یکی شدن این عناصر با هسته کربنی است. در این میان نیتروژن (N) بیش‌ترین توجه را به خود جلب کرده است چرا که آثار بسیار مطلوب و قابل توجهی بر خصوصیات نقاط کوانتومی کربنی به ویژه ویژگی‌های اپتیکی آنان داشته است [۳].

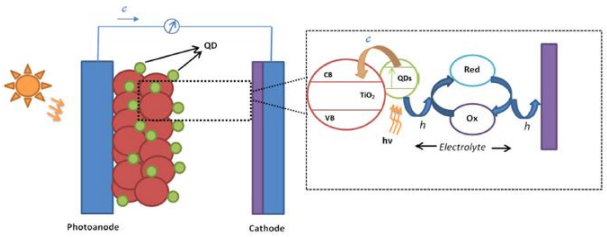
۲- بخش تجربی

برای سنتز نقاط کوانتومی کربنی، ۴ گرم اسید سیتریک (پیش‌ماده کربنی) در ۱۰ میلی لیتر آب دیونیزه حل شد. بعد از ۳۰ دقیقه هم زدن، محلول به دست آمده در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شد. محلول در ابتدا بی رنگ است اما پس از مدتی زرد می‌گردد که معنای به وجود آمدن نقاط کوانتومی کربنی است. در این مرحله ماده به شکل ژله‌ای است که با افزودن آب می‌توان آن را به شکل مایع درآورد. برای سنتز نقاط کواننتومی کربنی آلاییده شده با نیتروژن (N-CQDs)، همان مراحل قبلی طی شد تنها به مقدار ۴ گرم اسید سیتریک، ۱ گرم آمونیاک (پیش‌ماده نیتروژنی) اضافه شد، هنگامی که ماده زرد رنگ ژله‌ای پدید آمد و خنک شد، به آن ۴۰ میلی لیتر استون اضافه شد. به تدریج ذراتی معلق درون استون مشاهده می‌شود که به کمک سانتریفیوژ جمع‌آوری شدند. با تبخیر استون نقاط کوانتومی کربنی آلاییده شده با نیتروژن به شکل پودر به دست آمدند [۴]. می‌توان پودر را در آب نیز حل کرد و محلول کلوییدی شفاف زرد رنگی به دست آورد. برای ساخت سلول خورشیدی حساس شده با نقاط کوانتومی سنتز شده، نخست قطعات شیشه‌های رسانای شفاف FTO، شستشو داده شدند. سپس خمیر TiO_2 که ترکیبی از ۰/۵ گرم نانو ذرات اکسید تیتانیوم (P 25) و ۱ میلی لیتر اسید استیک است به روش دکتر بلید بر روی FTO لایه نشانی شد. سپس FTO/TiO_2 در دمای۴۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه پخت می‌گردد. بدین ترتیب فوتوآند آماده می‌شود. فوتوآند به مدت ۲ ساعت در محلول آبی نقاط کوانتومی سنتز شده قرار داده شد. سپس از محلول بیرون آورده و شسته شد. برای ساخت الکترود کاتد از لایه نشانی نانو ذرات حاصل از دوده شمع بر روی شیشه FTO استفاده شد. برای مونتاژکردن سلول، فوتوآند و الکترود کاتد بین دو گیره

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-19]

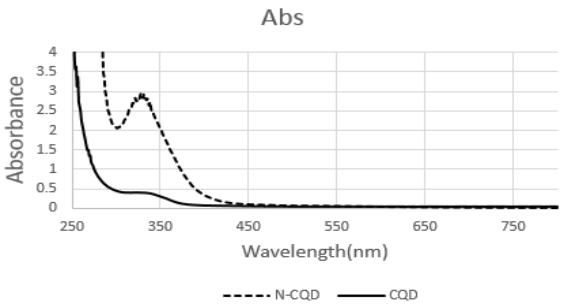
ساندویچ می‌گردند. سپس چند قطره از محلول الکترولیت بر (پایه ید)، بین دو الکترود ریخته می‌شود.



شکل ۱: طرح شماتیک سلول خورشیدی ساخته شده [۱]

۳- بحث و نتایج

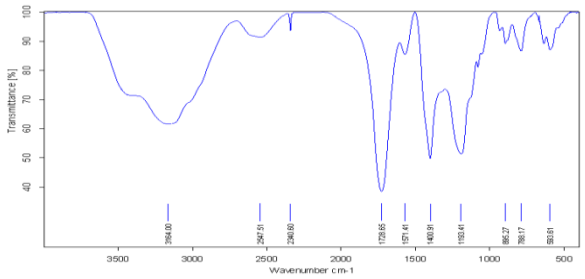
طیف جذبی فرابنفش- مرئی نقاط کوانتومی سنتز شده در شکل ۲ مشاهده می‌شود که توسط دستگاه اسپکتروفتومتر و یک سل کوارتزی به دست آمده است. پیداست، میزان جذب این نقاط کوانتومی بر روی ناحیه فرابنفش تمرکز دارد و به صورت ضعیفی تا ناحیه مرئی کشیده شده است. همچنین نشان‌دهنده اثر داشتن آلایش بر میزان جذب است. نه تنها قله جذب N-CQDs بالاتر است بلکه گستردگی جذب نیز بیش‌تر می‌باشد.



شکل ۲: نمودار طیف جذبی نقاط کوانتومی سنتز شده

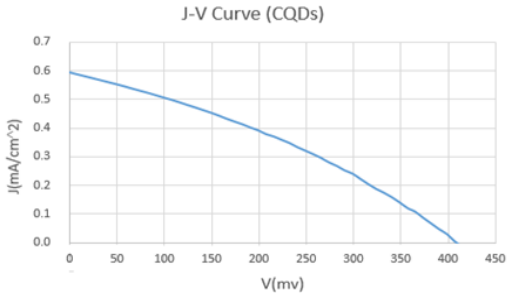
اندازه ابعاد هر دو نوع نقاط کوانتومی سنتز شده به کمک روش پراکندگی نور دینامیکی (DLS) به دست آمده است. اندازه میانگین برای ذرات N-CQDs، ۴ نانومتر و برای CQDs، ۶ نانومتر بود. ابعاد به دست آمده زیر ۱۰ نانومتر می‌باشد همان طور که انتظار می‌رفت. با توجه وابستگی گاف انرژی نقاط کوانتومی به ابعادشان و اینکه نقاط کوانتومی سنتز شده بسیار کوچک هستند، جذب در ناحیه فرابنفش توجیه می‌گردد. (بنا بر قضیه حد کوانتومی، هرچه اندازه نقاط کوانتومی کوچک‌تر شود گاف انرژی بزرگ‌تر می‌شود.)

شکل۳، مشخصه‌یابی FTIR نمونه N-CQDs سنتز شده می‌باشد. گروه‌های عاملی O-H نشان دهنده آب‌دوستی نقاط کوانتومی سنتز شده است که جذب واقع در ۳۱۶۴ این موضوع را نشان می‌دهد. پیک بلند در ۱۷۲۸ جذب ناشی از ارتعاش پیوند C=O است. به طور کلی جذب‌های پایین‌تر از ناحیه cm^{-1} ۱۵۰۰ مربوط به ارتعاش پیوندهای C-O و C-C و C-N می‌باشد که جذب واقع در ۱۱۹۳ مربوط به ارتعاش پیوند قوی C-N است که آلاییده شدن N را تایید می‌کند.



شکل ۳: نمودار FTIR مربوط به N-CQDs سنتز شده

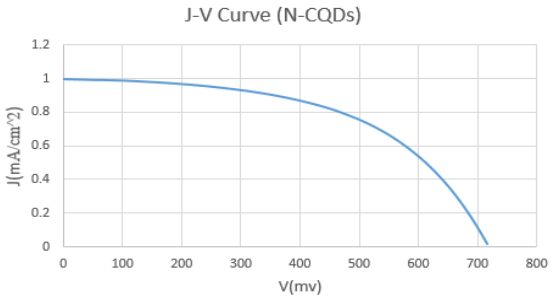
مهم‌ترین آنالیزی که در سلول‌های خورشیدی وجود دارد، بررسی منحنی جریان- ولتاژ می‌باشد. سلول‌های ساخته شده با نقاط کوانتومی سنتز شده به طور جداگانه، در برابر نور خورشید با شدت ۱۰۰ میلی وات بر سانتی‌متر مربع قرار داده شدند. با ثبت ولتاژها و جریان‌های به دست آمده این منحنی برای هرکدام به دست آمد.



شکل ۴: منحنی چگالی جریان- ولتاژ مربوط به سلول خورشیدی حساس شده به CQDs سنتز شده

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-19]



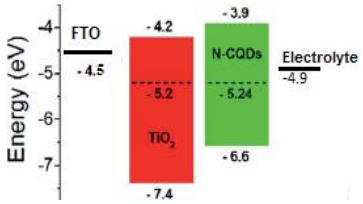
شکل۵: منحنی چگالی جریان- ولتاژ مربوط به سلول خورشیدی حساس شده به N-CQDs سنتز شده

پارامترهای فوتوولتاییک سلول‌های خورشیدی ساخته شده از جمله: چگالی جریان در حالت اتصال کوتاه (J_{sc}) ، ولتاژ در حالت مدار باز (V_{oc})، فاکتور پرشدگی (FF) و بازده تبدیل توان (PCE) در جدول زیر مشاهده می‌شود.

جدول ۱: پارامترهای فوتوولتاییک سلول‌های خورشیدی ساخته شده

پارامتر فوتوولتاییک / سلول حساس شده با	V_{oc} (mV)	J_{sc} (mA/cm^2)	PCE (%)	FF (%)
CQDs	۴۳۰	۰/۶	۰/۰۹	۳۳/۲۵
N-CQDs	۷۲۱	۱	۲/۵	۵۲/۹

با توجه به داده‌های بالا به طور کلی عملکرد سلول حساس شده با N-CQDs در همه پارامترها بهتر بود. زیرا اتم‌های نیتروژن رسانایی را افزایش داده‌اند. با این حال تنها عاملی که باعث کم شدن بازده آن‌ها می‌شود کم بودن فوتوجریان است. به علت تمرکز طیف جذبی نقاط کوانتومی سنتز شده در محدوده فرابنفش تعداد بسیار کمی فوتون توانایی تولید فوتوالکترون را دارند که به همین نسبت فوتوجریان کاهش می‌یابد. همین فوتوالکترون‌های اندک نیز به جای تزریق به TiO_2 به علت وجود دام‌های گوناگون در سطح نقاط کوانتومی بازترکیب می‌شوند. وجود نیتروژن باعث افزایش میزان جذب و کاهش دام‌ها شده و جریان را افزایش می‌دهد. گاف انرژی نقاط کوانتومی سنتز شده، ۲/۸ الکترون ولت به دست آمد که با نتایج تجربی دیگر هم‌خوانی دارد.



شکل۶: نمایی از همخوانی ترازهای انرژی لایه‌های سلول [۳]

۴- نتیجه گیری

در این مقاله اثر آلایش نقاط کوانتومی کربنی با نیتروژن بر عملکرد سلول خورشیدی بررسی شد. پس از سنتز نقاط کوانتومی کربنی و آلاییده شده آن با نیتروژن از آن‌ها در ساخت سلول خورشیدی استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که آلایش نقاط کوانتومی کربنی موجب افزایش رسانایی و به وجود آمدن حالات و ترازهای جدید انرژی می‌شود که منجر به کارایی بهتر سلول می‌گردد.

۵- مرجع‌ها

[1] M. Kouhnavard, S. Ikeda, N. A. Ludin, N. B. Ahmad Khairudin, B.V. Ghaffari, M.A. Mat-Teridi, M.A. Ibrahim, S.Sepeai, and K. Sopian. “A review of semiconductor materials as sensitizers for quantum dot-sensitized solar cells,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp. 397-407, 2014.

[2] R. Wang, K. Lu, Z. Tang, and T. Xu, “Recent progress in carbon quantum dots: synthesis, properties and applications in photocatalysis,” J. Mater. Chem. A, pp. 3717-3734, 2017.

[3] D. Carolan, C. Rocks, D. B. Padmanaban, P. Maguire, V. Svrcek, and D. Mariotti, “Environmentally friendly nitrogen-doped carbon quantum dots for next generation solar cells,” Sustainable Energy & Fuels 1, no.7, pp. 1611-1619, 2017.

[4] H. Wang, P. Sun, S. Cong, J. Wu, L. Gao, Y. Wang, X. Dai, Q. Yi, and G. Zou, “Nitrogen-doped carbon dots for “green” quantum dot solar cells,” Nanoscale research letters, no. 1, 2016.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-19]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.