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

سنتز و بررسی خواص نوری نقاط کوانتومی سیلیکون برای کاربردهای نانو حسگری

مجید طاهری، سید مجید محسنی ارمکی

دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، اوین، تهران

چکیده – در این کار پژوهشی، خواص اپتیکی نقاط کوانتومی سیلیکون در محیط اتانول برای کاربردهای حسگر زیستی مورد بررسی قرار گرفته است. برای تولید محلول کلوئیدی نقاط کوانتومی سیلیکون در محیط اتانول با فوتولومینسانس آبی، روش کندوسوز لیزری استفاده شده است. مشخصه‌یابی نمونه با دستگاه طیف سنج فرابنفش-مرئی و ساختار کریستالی آن با دستگاه پراش ایکس انجام شده است. نتایج طرح پراش پرتو ایکس بیانگر این است که نقاط کوانتومی سیلیکون سنتز شده ساختار بلوری دارند. طیف فوتولومینسانس حاصل از نقاط کوانتومی سیلیکون در محیط اتانول، گسیل نور آبی در محدوده طول موجی ۴۸۰-۴۶۰ نانومتر، ناشی از برانگیختگی در بازه ۴۱۵-۳۶۵ نانومتر، را نشان می‌دهد. همچنین طیف فلورسانسی این نقاط کوانتومی پایداری نوری خوبی و شدت قوی‌تری در pH 6 از خود نشان می‌دهد. خواص تابشی بدست آمده از این نقاط کوانتومی، آنها را به گزینه مناسبی برای پروب‌های اپتیکی با کاربرد نانو حسگری تبدیل می‌کند.

کلید واژه- نانو حسگر، فوتولومینسانس، کندوسوز لیزری، نانوذرات سیلیکون.

Synthesis of Silicon Quantum Dots and its Optical Properties Study for Nano-sensor Applications

Majid Taheri, Seyed Majid Mohseni Armaki

Department of Physics, Shahid Beheshti University, Evin, Tehran

Abstract- In this work, optical properties of silicon quantum dots in ethanol for biosensor applications has been investigated. A nanosecond pulsed laser ablation method for the synthesis of silicon quantum dots disperse in ethanol with blue photoluminescence is reported. The sample is characterized by UV-visible absorption spectrometer and the crystal structure analyzed by X-ray diffraction. The results of X-ray diffraction pattern have shown the formation of silicon nanocrystal in the colloid. The silicon quantum dots in ethanol exhibits blue emissions in the spectral range of 460-480 nm when excited in the wavelength range of 365-415 nm. In addition, the fluorescence measurement of the colloid exhibits a good photostability and maximum intensity in pH 6 sodium phosphate buffer. The observed emission properties of the silicon quantum dots make it a valuable material for the optical probe in nano-sensor systems.

Keywords: Nano-sensor, Photoluminescence, Laser ablation, Silicon Nanoparticles.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

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

مقدمه

اخیرا نقاط کوانتومی سیلیکون به‌دلیل زیست سازگاری، بازده کوانتومی فوتولومینسانس بالا و پایداری نوری در حوزه زیست و پزشکی مورد توجه قرار گرفته‌اند [۱]. کاهش اندازه از ابعاد توده به ابعاد نانو باعث ظهور خواص نوری جدیدی می‌شود که در مورد نقاط کوانتومی سیلیکون تغییرات عمده ناشی از پدیده محبوس شدگی کوانتومی است [۲]. براساس این پدیده خواص فوتولومینسانسی نقاط کوانتومی تابع اندازه ذرات می‌باشد. بطور کلی خواص نوری نانوذرات به اندازه، مورفولوژی و شیمی سطح آن‌ها بستگی دارد که خود تحت تاثیر روش سنتز و شرایط آن می‌باشد. تاکنون روش‌های شمیایی و فیزیکی متفاوتی برای تولید نقاط کوانتومی سیلیکونی به کار گرفته شده است. از جمله روش‌های ساده و پرکاربرد فیزیکی برای تهیه نانوکلوییدها روش کندوسوز لیزری در محیط مایع می‌باشد [۳]. بررسی بسیاری از فرآیندها در علوم زیست و پزشکی نیازمند یک روش تشخیص سریع، حساس، دقیق، صحیح و تکرارپذیر می‌باشد. تکنیک فوتولومینسانس روش بسیار مناسبی برای رسیدن به این اهداف می‌باشد. ظرفیت این روش به وسیله خواص فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ی مورد استفاده تعیین می‌گردد. این خواص شامل اندازه ذرات، ماهیت شیمیایی، زیست سازگاری و قدرت برهمکنش با گونه زیستی می‌باشد. برای نقاط کوانتومی مورد استفاده، داشتن پایداری بالا، بهره کوانتومی فوتولومینسانس ذاتی در محدوده مرئی و حلالیت در محیط‌های آبی ضروری است [۴]. در این پژوهش، نقاط کوانتومی سیلیکون با استفاده از لیزر پالسی نئودیمیوم یاگ در محیط اتانول تهیه و مشخصه‌یابی آن توسط طرح پراش پرتو ایکس، طیف سنج فرابنفش-مرئی و طیف سنج فوتولومینسانس انجام شده‌است. همچنین پایداری نوری و تاثیر pH برروی قله طیف فوتولومینسانس بررسی شده‌است. ظهور قله‌ی در طیف فوتولومینسانس استفاده از این نقاط کوانتومی را در حسگرهای زیستی و جایگزینی این نانوذرات به جای نقاط کوانتومی سمی فراهم می‌کند.

بخش تجربی

برای تولید نقاط کوانتومی، یک ویفر سیلیکون نوع n داخل بشر حاوی ۱۵ سانتی‌مترمکعب اتانول قرار گرفته، و پرتو لیزر به آن تابیده می‌شود. در این کار، لیزر پالسی نئودیمیوم با طول موج ۱۰۶۴ نانومتر، پهنای پالس ۱۵ نانوثانیه با آهنگ تکرار ۱۰ Hz و انرژی ۱۰۰ mJ مورد استفاده قرار گرفته‌است. باریکه لیزر توسط یک عدسی با فاصله کانونی ۵۰ سانتی‌متر برروی هدف متمرکز شده است. بعد از ۵ دقیقه پرتودهی ویفر سیلیکون، رنگ محلول کلوئیدی عوض شده و رنگ محلول کلوئیدی زرد متمایل به قهوه‌ای می‌شود. غلظت سیلیکون محلول کلوئیدی بعد از پرتودهی ۰،۰۲ gr/L خواهد بود.

مشخصه‌یابی نوری محلول کلوئیدی تولید شده توسط طیف‌سنج فرابنفش-مرئی (PerkinElmer LAMBDA 25) و طیف‌سنج فوتولومینسانس (Cary Eclipse) انجام گرفته-است. ساختار کریستالی و تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) کلوئیدها به ترتیب توسط Stoe-Stadv X-ray diffractometer و Phillips CM-120 بررسی شده است. جهت بررسی پایداری نوری و تاثیر pH روی طیف فوتولومینسانس از طیف‌سنج Ocean Optics USB2000،

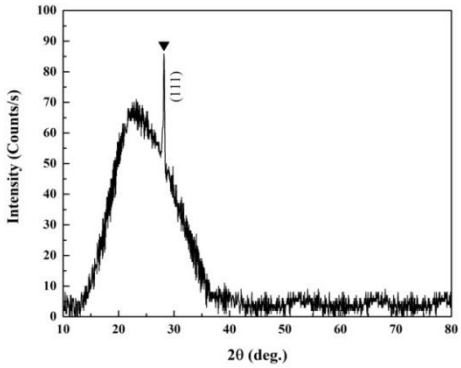
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

مجهز به لیزر پیوسته با طول‌موج ۴۰۵ نانومتر و توان ۳۰ میلی‌وات، استفاده شده‌است.

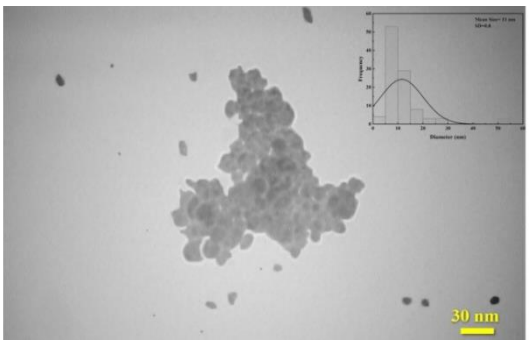
نتایج تجربی و بحث

طرح پراش پرتو ایکس نقاط کوانتومی سیلیکون در شکل۱ نشان داده شده‌است. این شکل دارای یک پیک پراش در زاویه $28/5^{\circ}$ مربوط به صفحات کریستالی (۱۱۱) از نانوذرات سیلیکون و یک پیک پهن از ۱۵ تا ۳۵ درجه مربوط به ساختار آمورفی اکسید سیلیکون می‌باشد. اندازه نانوذرات را می‌توان براساس رابطه دبی-شرر از طیف پراش پرتو ایکس بدست آورد [۳]. طبق این رابطه و نتایج بدست آمده، قطر نقاط کوانتومی در حدود ۸ نانومتر تخمین زده شده‌است.



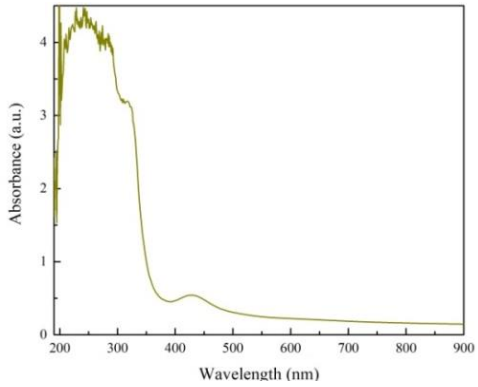
شکل ۱: الگویی پراش پرتو ایکس نقاط کوانتومی سیلیکون.

شکل ۲ تصویر TEM مربوط به محلول کلوئیدی نانوذرات سیلیکون را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود بیشتر ذرات داری قطری کمتر از ۱۰ نانومتر می‌باشند که موید نقاط کوانتومی بودن نانوذرات است.



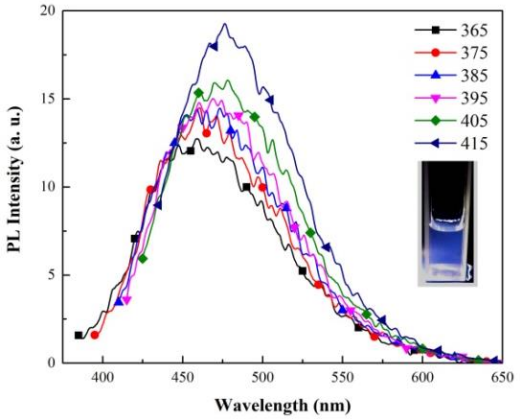
شکل ۲: تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نقاط کوانتومی سیلیکون.

شکل ۳ طیف جذبی فرابنفش-مرئی نقاط کوانتومی سیلیکون را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود این طیف دارای دو قله در ۳۲۰ و ۴۳۰ نانومتر می‌باشد. براساس پژوهش‌های قبلی [۳] از روی طیف تبدیل فوریه مادون قرمز نشان داده‌شده‌است که یک لایه اکسید برروی سطح نانوذرات سیلیکون تشکیل می‌شود. این پیوندهای سطحی باعث تشکیل ترازهای موضعی در گاف انرژی نقاط کوانتومی می‌شود و مکانیزم جذبی را افزایش می‌دهند.



شکل ۳: طیف جذبی فرابنفش-مرئی نقاط کوانتومی سیلیکون در اتانول.

طیف فوتولومینسانس نقاط کوانتومی سیلیکون به ازای طول موج‌های برانگیختگی مختلف در شکل ۴ نشان داده شده‌است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود بیشینه طیف فوتولومینسانس با افزایش طول موج برانگیختگی به سمت قرمز جابجا می‌شود. نشان می‌دهد که تابش نقاط کوانتومی ناشی از پدیده محبوس شدگی کوانتومی است. تصویر داخل شکل تابش آبی نمونه وقتی با لامپ UV ۳۸۵ نانومتر برانگیخته شده را نشان می‌دهد.

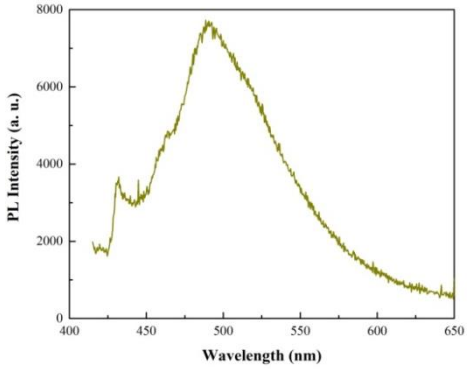


شکل ۴: طیف فوتولومینسانس به ازای طول موج‌های برانگیختگی مختلف.

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

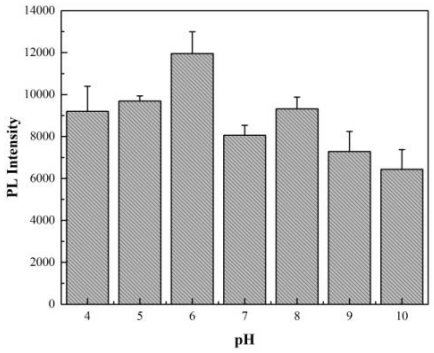
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

شکل ۵ طیف فوتولومینسانس نقاط کوانتومی سیلیکون برانگیخته شده توسط لیزر ۴۰۵ نانومتر را نشان می‌دهد. این طیف دارای پیک تیزی در ۴۹۰ نانومتر می‌باشد که جهت بررسی پایداری نوری و تاثیر pH برروی طیف فوتولومینسانس استفاده شده‌است.



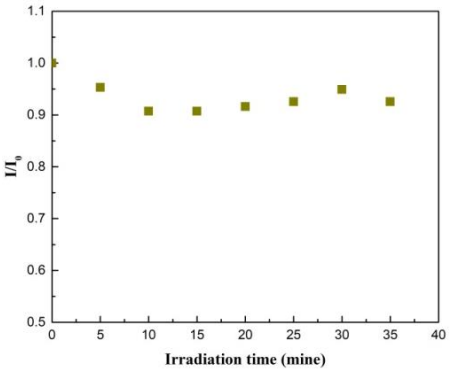
شکل ۵: طیف فوتولومینسانس در طول موج برانگیختگی ۴۰۵ نانومتر.

جهت بررسی پاسخ فلورسانسی نقاط کوانتومی سیلیکون به محیط مایع با pH مختلف، محلول بافر فسفات ۵۰ میلی-مولار استفاده شده‌است. شکل ۶ شدت فلورسانس نقاط کوانتومی سیلیکون در ۴۹۰ نانومتر به‌ازای pHهای مختلف را نشان می‌دهد. در نتیجه نقاط کوانتومی شدت فلورسانسی قوی‌تری را در pH6 نشان می‌دهد.



شکل ۶: شدت فلورسانس نقاط کوانتومی در ۴۹۰nm به‌ازای pHهای مختلف.

پایداری نوری طیف فلورسانسی نقاط کوانتومی سیلیکون در نقطه ۴۹۰ نانومتر با گذر زمان در شکل ۷ نشان داده شده-است (I و I_0 شدت در لحظه و در شروع). طیف فلورسانسی نقاط کوانتومی با گذشت ۳۰ دقیقه پایداری بسیار خوبی را نشان می‌هد که جهت استفاده در حسگرهای زیستی فاکتور مهمی می‌باشد.



شکل ۷: پایداری نوری طیف فلورسانس نقاط کوانتومی سیلیکون.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق نقاط کوانتومی سیلیکون با اندازه‌ی درحدود ۸ نانومتر به روش کندوسوز لیزری ویفر سیلیکون در محلول اتانول سنتز و مشخصه‌یابی شد. با توجه به طیف پراش پرتو ایکس نقاط کوانتومی دارای ساختار بلوری هستند و طیف جذبی فرابنفش-مرئی آن پیک جذبی را نشان می‌دهد. نتایج طیف فوتولومینسانس نشان می‌دهد که با افزایش طول موج برانگیختگی پیک تابشی نقاط کوانتومی سیلیکون به سمت طول موج‌های بلندتر جابه‌جا شده‌است. همچنین طیف فلورسانسی نقاط کوانتومی سیلیکون دارای پایداری نوری خوب و شدت قوی‌تری در pH 6 می‌باشند. که قابلیت کاربرد این نقاط کوانتومی در حسگرهای زیستی را نشان می‌دهد.

مرجع‌ها

[1] J. Vincent, V. Maurice, X. Paquez, O. Sublemontier, Y. Leconte, O. Guillois, C. Reynaud, N. Herlin-Boime, O. Raccurt, F. Tardif, “Effect of water and UV passivation on the luminescence of suspensions of silicon quantum dots”, *Journal of Nanoparticle Research*, Vol. **12**, No. 1, pp. 39-46, 2010.

[2] J. P. Wilcoxon, G. A. Samara, P. N. Provencio, “Optical and electronic properties of Si nanoclusters synthesized in inverse micelles”, *Physical Review B*, Vol. **60**, No. 4, pp. 2704-2714, 1999.

[3] M. Taheri, F. Hajiesmaeilbaigi, A. Motamedi, “Optical and structural characteristics of silicon nanoparticles thin film prepared by laser ablation”, *Thin Solid Films*, Vol. **519**, No. 22, pp. 7785-7788, 2011.

[4] X. Zhang, D. Neiner, S. Wang, A. Y. Louie, S. M. Kauzlarich, “A new solution route to hydrogen-terminated silicon nanoparticles: synthesis, functionalization and water stability”, *Nanotechnology*, Vol. **18**, No. 9, pp. 095601-095607, 2007.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]