نانومقياس

تهیه و بررسی خواص نوری نمونه نانوذرات کلوئیدی کربن

مرتضی ساسانی قمصری'* | اشکان مومنی بیدزرد' | هیونگ هو پارک"

۱. پژوهشکده لیزر و اپتیک، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، تهران ۲.دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران ۳.دانشکده مواد و مهندسی، دانشگاه یونسئی کرهجنوبی

چکیدہ

دراین تحقیق، نمونه کلوئیدی از نقاطکوانتومی کربنی، با استفاده از فرآیند اکسیدکردن سلولزاستات با کمک ترکیبات قلیایی و بدون نیاز به ترکیبات پایدارکننده سطحی در محیط آب تهیه شده است. اندازه و شکلواره نقاط کوانتومی بلورین کربن با استفاده از تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی عبوری با وضوح بالا مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین خواص نوری این نانو ذرات مورد بررسی نظری و عملی قرار گرفت. مشخص شد ذرات تولید شده دارای ابعاد ۵–۴ نانومتر بوده و ساختار آنها شش وجهی میباشد. نتایج تجربی بررسی خواص نوری این ذرات بیانگر وجود خواص لومینسانس نوری مناسب و پایدار با طیفهای تابشی گسترده ای در ناحیه های مرئی و مادون قرمزاست. تحلیل نظری نتایج تجربی بیانگر آن است که تابشهای مرئی و مادون قرمز مشاهده شده میتواند به ترتیب ناشی از اثر محبوس شدن کوانتومی و اثرات سطحی مرتبط با ترکیبات اکسید باشند.

واژگان کلیدی: کربن، نقاط کوانتومی، فوتولومینسانس نوری،اثرمحبوس شدن کوانتومی،اثرات حالت های سطحی.

۱ مقدمه

در سال های اخیر، نانوذرات کربن با خواص نوری مناسب به دلیل قابلیت های کاربری گسترده در دیودهای گسیل نوری [۱]، لیزرها [۲]، تصویربرداری پزشکی [۳،۴]، جوهرهای پرینتری [۴]، فوتوکاتالیست ها و سنسورها [۶،۶] مورد توجه زیادی قرار گرفته است. تاکنون، مطالعات زیادی جهت یافتن دلائل مشاهده طیف نشری نانوذرات کربن در محدوده طول موجهای نور مرئی و مادون قرمز انجام شده است. اگرچه هنوز ابهاماتی در این زمینه وجود

دارد، ولی اثر محبوس شدن کوانتومی و اثرات سطحی (ناشی از حضور ترکیبات سطحی مختلف) به عنوان مکانیزم های اصلی در فرآیند تابش نورهای مرئی و مادون قرمز از نقاط کوانتومی کربن معرفی شده است [۱۴–۷]. نتایج کارهای تحقیقاتی انجام شده بیانگر آن است که نقاط کوانتومی کربن با توزیع اندازهها و ترکیبات سطحی مختلف خواص تابشی متفاوتی از خود نشان داده و بر این اساس از قابلیت کاربری مناسبی جهت استفاده در تجهیزات اپتوالکترونیک و پزشکی برخوردار هستند [۱۸–۹]. از این رو نیاز هست تا تحقیقات بیشتری در زمینه خواص نوری نقاط کوانتومی کربن و یافتن فرآیندهای ممکن در زمینه خواص تابشي آن ها انجام شود. هدف اصلى اين طرح تحقيق، مطالعه و بررسی خواص نوری نقاط کوانتومی کربن در محیطهای مایع مانند آب است. برای تولید نانو ذرات کلوئیدی کربن روشهای مختلفی توسط محققین ارائه شده است. بر این اساس، یک نمونه کلوئیدی از نانوذرات کربن با اندازههای کمتر از ۱۰ نانومتر با استفاده از فرآیند اکسید کردن سلولز استات با کمک ترکیبات قليايي وبدون نيازبه تركيبات يايداركننده سطحى درمحيط مايع آب با بازدهی مناسبی انجام شده است [۱۰]. نتایج این تحقیق نشان میدهد که انجام فرآیند شیمیایی فوق سبب تولید نقاط کوانتومی کربن با ابعاد ۵-۴ نانومتر و با لایه های یایدار کننده اکسید سطحی شده است. به منظور بررسی مکانیزم های ممکن در زمینه فرآیندهای تابشی، خواص نوری کلوئید نقاط کوانتومی کربن شامل طیفهای جذبی (UV-visible) و فوتولومینسانس (PL) در طول موجهای برانگیختگی مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج حاصل بیانگر آن است که کلوئید نقاط کوانتومی کربن در محیط آب خواص لومینسانس نوری با طیفهای تابشی گستردهای در ناحیههای مرئی و مادون قرمز

ســال دوم | شــبـاره ی چـهـارم | زمـسـتـان ۱۳۹٤

از خود نشان میدهد. بررسی نتایج تجربی بیانگر این موضوع است که تابشهای مرئی و مادون قرمز مشاهده شده از کلوئید نقاط کوانتومی کربن میتواند به ترتیب ناشی از اثر محبوس شدن کوانتومی و اثرات سطحی مرتبط با ترکیبات اکسید باشد.

۲ بخش تجربی

مواد و تجهيزات

مشخصات ساختاری و خواص نوری نمونه کلوئیدی تهیه شده از نقاط کوانتومی کربن با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری با وضوح بالا ساخت شرکت فیلیپس موجود در دانشگاه یونسئی کره جنوبی مورد مطالعه قرار گرفت. خواص نوری نمونه تولید شده با استفاده از طیف سنج نوری محدوده مرئی تا ماورای بنفش دستگاه طیف سنجی Perkin–Elmer بررسی شد. فوتولومینسانس نوری در حالتهای پایدار و در برگیرنده زمان توسط دستگاه (Spectrophotometer) مورد

روش آزمایش

فرآيند ساخت نمونه كلوئيدي نقاط كوانتومي كربن

در این کار تحقیقاتی تولید یک نمونه کلوئیدی از نقاط کوانتومی کربن در محیط آب با استفاده از یک روش شیمیایی با بازدهی مناسب و بر اساس فرآیند پایین به بالا انجام شده است [۱۰]. این فرآیند به دلیل سادگی و یک مرحله ای بودن و همچنین عدم نیاز به شرایط خاص آزمایشگاهی و ترکیبات شیمیایی مختلف جهت تولید کلوئید پایدار نقاط کوانتومی کربن مفید و مؤثر است. در مرجع [۱۰] فرآیند در دمای نسبتاً بالای ۳۰۰ درجه سانتیگراد استفاده شده و از چگونگی کنترل فرآیند در این درما صحبتی به میان نیامده است. لذا در این تحقیق دما تا نصف میزان قبلی کاهش داده شد و با کنترل فرآیند، نمونه تهیه شد. به منظور انجام این فرآیند، تجهیزات آزمایشگاهی و مواد اولیه مورد نیاز (مانند سلولز استات، سدیم هیدروکسید و ...) خریداری شده است.

نخست، مقدار ۱ گرم از ماده سلولز استات به همراه ۱ گرم سدیم هیدروکسید درون ۲۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل شده و به مدت تقریباً ۲ ساعت با استفاده از همزن ترکیب شده است. پس از آن ترکیب فوق به مدت زمان تقریباً ۱ ساعت در دمای ۲۰۵۲ نگهداری

شده است که در نتیجه آن یک نمونه کلوئیدی از نانوذرات کربن (با رنگ زرد ملایم) تهیه شده است. بعد از انجام مراحل فوق و انحلال تقریباً کامل مواد اولیه، نمونه کلوئیدی حاصل به مدت زمان تقریباً ۱۰–۱۰ دقیقه درون دستگاه التراسونیک قرار داده شده است. در مرحله پایانی، مقداری از نمونه کلوئیدی حاصل درون دستگاه سانتریفیوژ قرار داده شده (به مدت زمان ۱۵ دقیقه و با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه) و پس از آن قسمت تقریباً شفاف فوقانی لوله سانتریفیوژ جداسازی شده است که حاوی کلوئیدی از نانوذرات کربن با مقدار غلظت تقریباً ۱/۲۵ ± ۲/۷۵ میلیگرم بر میلیلیتر می باشد.

۳ نتایج و بحث

در شکل ۱ شاهد نتایج بررسی خواص نوری نمونه کلوئیدی نانو ذرات كربن هستيم، در اين شكل طيف جذبي فرابنفش- مرئي و طيفهاي فوتولومينسانس نمونه كلوئيدي نقاط كوانتومي كربن در آب که با طول موج هائی مختلف برانگیخته شدهاند دیده می شوند. شکل (۱ الف) طیف جذب فرابنفش- مرئی حاصل از کلوئید نقاط کوانتومی کربن در دمای اتاق را نشان میدهد همينطور عكس نمونه كلوئيدي نانوذرات كربن نيز ملاحظه می شود. این طیف، شامل یک دنباله جذبی بلند با آهنگ افزایشی ملایم دربازه طول موجی ۸۰۰ نانومتر (۱/۵۵eV) تا تقریباً ۳۵۰ نانومتر (۳/۵۴ eV) و یک افزایش ناگهانی در آهنگ جذب از طول موج تقريباً ۳۵۰ نانومتر است. مطابق شکل (۱ الف)، یک بیشینه جذبی گسترده در ناحیه طول موجی ۲۷۰–۲۵۰ نانومتر (با بیشینه طول موجی ۲۶۵ نانومتر) مشاهده شده است که مربوط به فرآیند گذارهای π-π* انجام شده در گروههای کربونیل(=C O) واقع بر سطح نقاط كوانتومى كربن است [۱۸، ۱۸]. همچنين، بييشينه جذبى در محدوده طول موج تقريباً ٢٢٠ نانومتر مشاهده شد که ناشی از گذارهای π-π* در باند C=C میباشد [۶، ۱۹]. طيفهای فوتولومينسانس كلوئيد نقاط كوانتومی كربن (شكل ۱ ب) وجود تابش های مرئی با شدت بالا را در اثر برانگیختگی با طول موجهای مختلف در بازه ۵۰۰–۳۰۰ نانومتر نشان میدهد. شایان ذکر است، طیفهای فوتولومینسانس ارائه شده در این شکل نسبت به شدت های نور تحریکی یکسان در طول موجهای برانگیختگی مختلف نرمالیزه شدهاند. از این رو می توان گفت که بیشینه شدت تابشی مشاهده شده از کلوئید مربوط به زمانی است که با طول موج ۳۲۰ نانومتر برانگیخته شده است. افزون بر

این، با افزایش طول موج برانگیختگی به سمت ۵۰۰ نانومتر مکان بیشنه طیف فوتولومینسانس از ۴۰۰ نانومتر به ۵۵۰ نانومتر انتقال به قرمز ییدا کرده و بیشینه شدتهای تابشی متناظر نیز (مشابه رفتار طيف جذبي) كاهش يافته است. طيف هاي فوتولومينسانس نرمالیزه شده از کلوئید نقاط کوانتومی کربن، تابشهای نوری مناسب با قابلیت کوک پذیری در محدوده گستردهای از طیف مرئی (بازه ۵۵۰-۴۰۰ نانومتر) را نشان می-دهند. کوک پذیری در اینجا به معنای تغییر در طیف گسیل نمونه در اثر تغییری در طيف تحريك آن مي باشد. چنانچه نمونه، داري خواص كوك پذیری بوده باشد، میتوان از آن برای تولید انواع مختلفی از طیفهای گسیل نوری در حالتی که نه اندازه و نه خواص سطحی آنها تغییر کرده باشد بهره جست که این ویژگی بسیار مهمی در حوزه نانوفتونیک محسوب می گردد. این قابلیت کوک پذیری در خواص تابشی میتواند ناشی از اثر محبوس شدن کوانتومی در نانوذرات کربن باشد [۱۰، ۱۴]. در واقع، این امر را می توان ناشی از توزیع اندازه نقاط کوانتومی کربن دانست، زیرا در طول موجهای برانگیختگی بیشتر، تنها ذرات بزرگتر که دارای گاف انرژی کوچکتری هستند در فرآیند گسیل نور سهیم میشوند. بطور مشابه، در طول موجهای برانگیختگی کمتر بیشینه تابشی طيف فوتولومينسانس مربوط به سهم نقاط كوانتومي كربن کوچکتر موجود در کلوئید است. این نتایج بیانگر آن است که نقاط کوانتومی کربن نقش موثری را در جذب نور در فرآیند فوتولومينسانس کلوئيد ايفا ميکنند. در شکل (۱ ج) طيفهاي تابشی نسبتاً ضعیف واقع در ناحیه مادون قرمز نزدیک ناشی از برانگیختگی کلوئید نقاط کوانتومی کربن را می توان مشاهده کرد. در قسمت (۱ د) همان شکل منحنی های واپاشی زمانی طیف های فلورسانس كلوئيد اوليه از نقاط كوانتومي كربن مشاهده مي شود. این منحنیهای وایاشی زمانی با استفاده از تابع نمایی سه تایی مطابقت داده شده و براین اساس مقادیر طول عمر زمان میانگین در هریک از این بیشینه های تابشی محاسبه شده است که نتایج آن در جدول ۱ مشاهده می شود. مطابق این نتایج، ماهیت چند نمایی منحنی های وایاشی زمانی بیانگر تشکیل حالت های انرژی گسترده است که در نتیجه حضور ترکیبات سطحی کربونیل ایجاد شده است [۶، ۷]. گزارشات انجام شده حاکی از آن است که فرآیند گذار الکترونی از این حالتهای سطحی میتواند سبب تولید تابش های فوتولومینسانس در ناحیه های آبی و مادون قرمز از نقاط کوانتومی کربن شود [۶، ۷، ۹]. اشاره به این نکته ضروری

است که مقادیر طول عمر زمانی میانگین بدست آمده در این کار در مقایسه با سایر مقادیر گزارش شده از نانوذرات کربن نسبتاً بیشتر است که این مشخصه، نمونه تهیه شده از نقاط کوانتومی



شکل ۱)] (الف) طیف جذبی فرابنفش – مرئی و (ب) طیفهای فوتولومینسانس (ج) طیفهای تابشی در ناحیه مادون قرمز نزدیک. (د) منحنیهای واپاشی زمانی طیفهای فلورسانس.

جدول ۱ 🚺 دادههای بدست آمده برای محاسبه طول عمر زمان واپاشی نمونههای کربن.

λem(nm)	$\tau_1(\mathbf{ns})$	Α ₁ (%)	$\tau_2(\mathbf{ns})$	A ₂ (%)	$\tau_{_3}(\mathbf{ns})$	A ₃ (%)	$\tau_{\text{average}}(\mathbf{ns})$
۳۶.	4/.1	f7/8	17/07	21/40	٠/٩٧	36/20	٨/٢۴
FIA	17/04	51/10	۵/۰۹	۵۳/۲۶	۱/۵۳	20/09	٨/٢٨
٧٢.	٣/٧۵	۳۸/۵۵	٠/٩١	۳۸/۲۳	11/88	22/22	٨
٧٨٠	۱۲/۳۸	۲۱/۲	۴/۵۷	49/88	1/29	22/11	۸/۲۲

کربن را به عنوان گزینه مناسبی برای پروب های نوری جهت کاربردهای پزشکی معرفی مینماید [۲، ۲۰]. در جدول ۱ نتایج مربوط به طول عمر زمانی منحنیهای واپاشی را نشان میدهد. منحنیهای واپاشی زمانی طيفهای فلورسانس کلوئيد نقاط کوانتومی کربن با استفاده $I(t) = A_1 e^{-t/T} + A_r e^{-t/T} + A_r e^{-t/T}$ از تابع نمایی سه تایی ا مقادير $\tau_{average} = \frac{\sum A_{l} \tau_{l}^{2}}{\sum A_{t} \tau_{l}}$ مقادير طول عمر زمان میانگین در هر یک بیشینههای تابشی زیر محاسبه شده است. طول موج برانگیختگی ۳۰۰ نانومتر است. همانطور که در شکل (۱ ج) نشان داده شده است، طیفهای فوتولومینسانس نسبتاً ضعیف با بیشنههای تابشی واقع در ناحیه مادون قرمز نزدیک (بیشینه طول موجی ۷۷۵ نانومتر) نیز از کلوئید اولیه از نقاط کوانتومی کربن در محدوده طول موجهای برانگیختگی ۳۴۰–۳۰۰ نانومتر مشاهده شده است. لازم به ذکر است، این بازه طول موج برانگیختگی در نزدیکی محدوده گاف انرژی نقاط کوانتومی کربن قرار گرفته است، جایی که یک افزایش ناگهانی در آهنگ جذب کلوئید از طول موج تقریباً ۳۵۰ نانومتر مشاهده شده است (شکل ۱ الف). این تابشهای مادون قرمز مشاهده شده را نمی توان به سادگی براساس مدل محبوس شده کوانتومی برای نقاط کوانتومی کربن با توزیع اندازههای بزرگتر توجیه کرد. دلیل این امر آن است که این نانوذرات کربن احتمالی با اندازههای بزرگ تر قابلیت برانگیختگی با طول موجهای بیشتر را دارند و این در حالی است که این تابشهای مادون قرمز در طول موجهای برانگیختگی ۵۰۰ – ۳۶۰ نانومتر مشاهده نشده اند. افزون بر این، باید به این نکته توجه کرد که تابشهای مادون قرمز مشاهده شده در طيف فوتولومينسانس با تغيير طول موج برانگیختگی جابه جایی قابل ملاحظه ای انجام نداده است. این موضوع تائیدی بر آن است که اثر محبوس شدن کوانتومی تنها مکانیزم ممکن برای این بیشینههای تابشی مشاهده شده در

طیف فوتولومینسانس حاصل از کلوئید نقاط کوانتومی کربن نیست. در واقع، حضور لایه اکسید در سطح نقاط کوانتومی کربن (ترکیبات C=O) میتواند سبب تشکیل مراکز تابشی برای انجام فرآیند بازترکیب الکترون-حفره برای انجام فرآیند بازترکیب الکترون- فره مادون قرمز مشاهده شده از کلوئید نقاط کوانتومی کربن گردد. تابشهای مادون قرمز

در انرژیهای برانگیختگی بیشتر از گاف انرژی نقاط کوانتومی کربن زمانی رخ میدهد که فرآیند فوتولومینسانس با تحریک و برانگیختگی حامل های بار درون هسته نقاط کوانتومی کربن آغاز شود. سپس، این حاملهای بار برانگیخته میتوانند به گروهی از ترازهای سطحی جایگزیده نزدیک به نوار رسانش منتقل شده و از آن جا با انجام گذارهای تابشی به نوار ظرفیت و یا ترازهای سطحی جایگزیده نزدیک به نوار ظرفیت سبب ایجاد تابشهای مادون قرمز شوند [۹]. بنابراین اینگونه به نظر میرسد که در محدوده طول موج برانگیختگی نزدیک به گاف انرژی نقاط كوانتومى كربن، طيفهاى فوتولومينسانس نورى مشاهده شده از کلوئید ناشی از هر دو فرآیندهای اثر محبوس شدن کوانتومی و نیز اثرات حالتهای سطحی مربوط به ترکیبات اکسیژن هستند. افزون براین، جهت مطالعه و بررسی توزیع اندازه و ساختار بلورین نقاط کوانتومی کربن تولید شده از تصویربرداری میکروسکوپ الكتروني عبوري با وضوح بالا استفاده شده است. شكل (٢ الف) تصویر TEM نمونه کلوئیدی از نقاط کوانتومی کربن در آب را نشان میدهد. بر اساس این تصویر، نقاط کوانتومی کربن کروی شکل با توزیع اندازه های تقریباً ۵-۴ نانومتر مشخصه یابی شده است. به منظور بررسی ساختار بلورین نقاط کوانتومی کربن، تصویر HR-TEM تهیه شده با استفاده از روش پردازش تصویر بررسی شده و بر این اساس طرح پراش الکترونی ناحیه انتخاب شده (SAED) فراهم آمده است. شکل (۲ ب) صفحات شبکه ای (۱۰۰) از نانوبلورهای کربن با فواصل صفحه ای متناظر ۲/۱۲ آنگستروم (Å) را به وضوح نشان میدهد که بیانگر تشکیل نقاط کوانتومی بلورین کربن با ساختار شش وجهی است [۶].افزون بر این، پایداری نمونه کلوئیدی نقاط کوانتومی کربن در محیط آب با استفاده از طیفهای جذبی فرابنفش-مرئی و فوتولومینسانس بررسی شده است. شکل (۳ الف)، مقایسه طیفهای جذبی کلوئید اولیه از نقاط کوانتومی کربن را پس از گذشت مدت

زمانهای ۳۰ و ۱۰۰ روز از زمان تولید نشان میدهد. مطابق این شکل، طیف جذبی کلوئید تازه تهیه شده (نمودار پیوسته) پس از مدت زمان ۱۰۰ روز (نمودار نقطه چین) تقریباً بدون تغییر باقی مانده که این موضوع بیان کننده پایداری نمونه کلوئیدی حاصل است. دلیل این امر را میتوان ناشی از تشکیل باندهای اکسید سطحی پایدار کننده در سطح نقاط کوانتومی کربن جهت جلوگیری از بهم پیوستگی آنها دانست.



شکل ۲ ک) (الف) تصویر HR- TEM از کلوئید نقاط کوانتومی کربن در محیط آب. (ب) صفحات شبکه ای (۱۰۰) نانوبلورهای کربن با فواصل صفحه ای متناظر ۲/۱۲ آنگستروم (چاچوب زرد رنگ، طرح SAED را نشان می دهد که بیانگر تشکیل نقاط کوانتومی بلورین کربن با ساختار شش وجهی است).



شکل ۲) (الف) طیفهای جذبی کلوئید نقاط کوانتومی کربن پس از گذشت مدت زمانهای ۳۰ و ۱۰۰ روز از زمان تولید. (ب) طیفهای فوتولومینسانس حاصل از نمونه کلوئیدی تازه تهیه شده از نقاط کوانتومی کربن و نمونه کلوئیدی پس از گذشت مدت زمان شش ماه در طول موج بر انگیختگی ۳۴۰ نانومتر.

همچنین، شکل (۳ ب) مقایسه طیفهای فوتولومینسانس حاصل از نمونه کلوئیدی تازه تهیه شده و نمونه کلوئیدی پس از گذشت مدت زمان شش ماه را در طول موج بر انگیختگی ۳۴۰ نانومتر به تصویر میکشد. این نتایج بیان کننده آن است که خواص نوری کلوئید نقاط کوانتومی کربن در محیط آب از پایداری مناسبی جهت کاربرهای مختلف در زمینههای اپتوالکترونیکی و به ویژه در پزشکی برخوردار است. استفاده از کلوئید نقاط کوانتومی کربن با خواص لومینسانس نوری مناسب و پایدار در ناحیههای مرئی و مادون قرمز، میتواند در صنعت الکترونیک، دیودهای گسیل نوری و صفحات نمایش حائز اهمیت باشد. همچنین، بواسطه خواص سازش پذیری کربن با بدن انسان، این کلوئید گزینه مناسبی جهت کاربردهای بیولوژیکی و به ویژه تصویربرداری

۴ نتیجهگیری

نتایج این تحقیق نشان میدهد که با استفاده از یک فرآیند تک مرحله ای شیمیایی ساده، نقاط کوانتومی کربن با ابعاد ۵-۴ نانومتر و با لایه های اکسید سطحی در محیط آب ساخته شده است. خواص نوری کلوئید نقاط کوانتومی کربن حاصل مورد مطالعه قرار گرفته و تابشهای نوری مناسب با قابلیت کوک یذیری در گسترده ای از طیف مرئی (بازه ۵۵۰–۴۰۰ نانومتر) ناشی از برانگیختگی در ناحیه طول موجی ۵۰۰–۳۰۰ نانومتر مشاهده شده است. افزون بر این، در ناحیه طول موجهای برانگیختگی نزدیک به محدوده گاف انرژی نقاط کوانتومی کربن (بازه ۳۴۰-۳۰۰ نانومتر)، طیفهای فوتولومینسانس نوری نسبتاً ضعیفی با قلههای تابشی واقع در ناحیه مادون قرمز نزدیک (بیشینه طول موجى ٧٢٥ نانومتر) نيز از كلوئيد نقاط كوانتومي كربن مشاهده شده است. بررسی نتایج تجربی نشان میدهد که تابشهای مرئی و مادون قرمز مشاهده شده از کلوئید نقاط کوانتومی کربن مى تواند به ترتيب ناشى از اثر محبوس شدن كوانتومى و اثرات سطحی مرتبط با ترکیبات اکسید باشد. مقایسه طیفهای فوتولومینسانس حاصل از نمونه تهیه شده در زمانهای مختلف یس از تولید، بیان کننده آن است که خواص نوری کلوئید نقاط کوانتومی کربن در محیط آب از پایداری مناسبی (حداقل ۶ ماه) جهت کاربرهای مختلف در زمینههای ایتوالکترونیکی و به ویژه تصویربرداری یزشکی برخوردار است.

مراجع

- [1] F. Wang, Y. h. Chen, C. Y. Liu, and D. G. Ma," White light-emitting devices based on carbon dots' electroluminescence", Chem. Commun., vol. 47, pp. 3502-3504, 2011.
- [2] W. Zhang, H. Zhu, S. Yu, and H. Yang," Observation of lasing emission from carbon nanodots in organic solvents", Adv. Mater., vol. 24, pp. 2263-2267, 2012.
- [3] J. Wang, F. Peng, Y. Lu, Y. Zhong, S. Wang, M. Xu, X. Ji, Y. Su, L. Liao, and Y. He," Large-Scale Green Synthesis of Fluorescent Carbon Nanodots and Their Use in Optics Applications", Adv. Optical Mater., vol. 3, pp. 103–111, 2015.
- [4] S. Zhu, Q. Meng, L. Wang, J. Zhang, Y. Song, H. Jin, K. Zhang, H. Sun, H. Wang, and B. Yang, "Highly photoluminescent carbon dots for multicolor patterning, sensors, and bioimaging", Angew. Chem., vol. 125, pp. 4045-4049, 2013.
- [5] J. Lei, L. Yang, D. Lu, X. Yan, C. Cheng, Y. Liu, L. Wang, and J. Zhang," Carbon Dot-Incorporated PMO Nanoparticles as Versatile platforms for the Design of Ratiometric Sensors, Multichannel Traceable Drug Delivery Vehicles, and Efficient Photocatalysts", Adv. Optical Mater., vol. 3, pp. 57-63, 2015.
- [6] H. Nie, M. Li, Q. Li, S. Liang, Y. Tan, L. Sheng, W. Shi, and S. X.-A. Zhang," Carbon Dots with Continuously Tunable Full-Color Emission and Their Application in Ratiometric pH Sensing", Chem. Mater., vol. 26, pp. 3104–3112, 2014.
- [7] H. Li, Z. Kang, Y. Liu, and S.-T. Lee," Carbon nanodots: synthesis, properties and applications", J. Mater. Chem., vol. 22, pp. 24230-24253, 2012.
- [8] X. T. Zheng, A. Ananthanarayanan, K. Q. Luo, and P. Chen," Glowing Graphene Quantum Dots and Carbon Dots: Properties, Syntheses, and Biological Applications", Small, vol. 11, pp. 1620-1636, 2012.
- [9] L. Bao, C. Liu, Z.-L. Zhang, and D.-W. Pang," Photoluminescence-Tunable Carbon Nanodots: Surface-State Energy-Gap Tuning", Adv. Mater., vol. 27, pp. 1663–1667, 2015.
- [10] W. Zhang, D. Dai, X. Chen, X. Guo, and J. Fan," Red shift in the photoluminescence of colloidal carbon quantum dots induced by photon reabsorption", Appl. Phys. Lett., vol. 104, pp. 091902, 2014.
- [11] M. Wu, Y. Wang, W. Wu, C. Hu, X. Wang, J. Zheng, Z. Li, B. Jiang, and J. Qiu," Preparation

of functionalized water-soluble photoluminescent carbon quantum dots from petroleum coke", Carbon, vol. 78, pp. 480-489, 2014.

- [12] F. Li, G. Wang, H. Li, Y. Li, and S. Zhou," Onepot solvothermal synthesis of highly photoluminescent carbon nanoparticles and their photocatalytic application", Mater. Lett., vol. 122, pp. 352-354, 2014.
- [13] Y. Q. Zhang, D. K. Ma, Y. Zhuang, X. Zhang, W. Chen, L. L. Hong, Q. X. Yan, K. Yu, and S. M. Huang, "One-pot synthesis of N-doped carbon dots with tunable luminescence properties", J. Mater. Chem., vol. 22, pp. 16714-16718, 2012.
- [14] Y. P. Sun, B. Zhou, Y. Lin, W. Wang, K. A. S. Fernando, P. Pathak, M. J. Meziani, B. A. Harruff, X. Wang, H. Wang, P. G. Luo, H. Yang, M. E. Kose, B. Chen, L. M. Veca, and S. Y. Xie," Quantum-Sized Carbon Dots for Bright and Colorful Photoluminescence", J. Am. Chem. Soc., vol. 128, pp. 7756-7757, 2006.
- [15] H. Yan, M. Tan, D. Zhang, F. Cheng, H. Wu, M. Fan, X. Ma, and J. Wang," Development of multicolor carbon nanoparticles for cell imaging", Talanta, vol. 108, pp. 59-65, 2013.
- [16] K. Bagga, R. McCann, M. Wang, A. Stalcup, M. Vázquez, and D. Brabazon," Laser assisted synthesis of carbon nanoparticles with controlled viscosities for printing applications", J. Colloid Interface Sci., vol. 447, pp. 263-268, 2014.
- [17] L. Shi, X. Li, Y. Li, X. Wen, J. Li, M. M. F. Choi, C. Dong, and S. Shuang, "Naked oats-derived dual-emission carbon nanodots for ratiometric sensing and cellular imaging", Sens. Actuators, B, vol. 210, pp. 533-541, 2015.
- [18] Q. Liang, W. Ma, Y. Shi, Z. Li, and X. Yang, "Easy synthesis of highly fluorescent carbon quantum dots from gelatin and their luminescent properties and applications", Carbon, vol. 60, pp. 421-428, 2013.
- [19] G. Oza, M. Ravichandran, V-I. Merupo, S. Shinde, A. Mewada, J.T. Ramirez, S. Velumani, M. Sharon, and M. Sharon," Camphor-mediated synthesis of carbon nanoparticles, graphitic shell encapsulated carbon nanocubes and carbon dots for bioimaging", Sci. Rep., vol. 6, 21286, 2016.
- [20] H. Li, H. Ming, Y. Liu, H. Yu, X. He, H. Huang, K. Pan, Z. Kang, S.-T. Lee, "Fluorescent carbon nanoparticles: electrochemical synthesis and their pH sensitive photoluminescence properties," New J. Chem,, vol. 35, pp. 2666-2670, 2011.

Preparation and Optical Characterization of Colloidal Carbon Quantum Dots

M. Sasani Ghamsari^{1*} | A. Momeni Bidzard² | H.H. Park³

1.Lasers & Optics Research School, NSTRI, Tehran, Iran 2.Department of Physics, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran 3.Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University, Seoul, Korea

Abstract

his paper presents optical properties of colloidal carbon quantum dots (C-QDs) in distilled water produced by using a method of alkaliassisted surfactant-free oxidation of cellulose acetate. The formation of colloidal carbon nanocrystals with the size range of ~ 4-5 nm was confirmed by using high-resolution transmission electron microscopy. The photoluminescence (PL) properties of the colloid were investigated at different applied excitation wavelengths and we observed a wide range of tunable visible to near-infrared (NIR) emissions with good stability from the C-QD colloid. A detailed analysis of the results shows that the visible and NIR luminescent properties of the colloidal C-QDs can be attributed to the mechanisms of quantum confinement and surface effects, respectively.

Keywords

Carbon, Quantum dots, Photoluminescence, Quantum confinement effect, Surface effects.