

مروری بر بررسی نقاط کوانتومی: روش‌های سنتز و کاربردهای آن

اعظم زمانی *

دکترای تخصصی شیمی معدنی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده

نیم‌رساناهای نقاط کوانتومی، که اندازه ذرات آن‌ها در گستره نانومتر هستند، دارای ویژگی بسیار غیرمعمولی هستند. نقاط کوانتومی دارای شکاف باند هستند که بر تعدادی از عوامل، شرح داده شده در مقاله بستگی دارد. روابط ساختار-پردازش و خواص عملکرد برای بررسی ترکیبات نیم‌رساناهای نقاط کوانتومی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. روش‌های متفاوت برای سنتز این نقاط کوانتومی و همچنین، ویژگی‌شان مورد بحث قرار گرفته است. حالت کوانتومی و محدودیت در برانگیختگی‌شان ممکن است باعث تغییر مکان جذب نوری و نشرانرژی‌شان شود که چنین اثراتی برای تنظیم تحریک لومینسانس خود به خود با فوتون (درخشندگی نوری) یا میدان الکتریکی (الکترولومینسانس) مهم هستند. در این مقاله، برنامه‌های کاربردی چندبعدی نقاط کوانتومی، از جمله در دستگاه الکترولومینسانس، سلول‌های خورشیدی و تصویربرداری زیستی بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی: نقاط کوانتومی، نانومواد نیم‌رسانا، الکترولومینسانس، فوتولومینسانس، سلول‌های خورشیدی، تصویربرداری زیستی

ایمیل نویسنده مسئول: azamani646@gmail.com

۱-مقدمه

کوانتومی می‌توان بطور گسترده به دو سیستم عنصری و یا ترکیب طبقه بندی کرد. در این مقاله، ما بر ترکیب نیم‌رسانا براساس مواد نانو ساختار و برنامه‌های چند کاربردی بر اساس ویژگی نوری تاکید می‌کنیم.

فرایند برای سنتز نقاط کوانتومی سولفید سرب بیش از ۲۰۰۰ سال پیش توسعه داده شد که با استفاده از مواد طبیعی کم هزینه مانند اکسید سرب، هیدروکسید کلسیم و آب سنتز می‌شود [۷]. رومی‌ها و یونانی این مواد به عنوان مواد آرایشی برای رنگ مو استفاده می‌کردند. در تاریخ اخیر، کنترل در ساینز نقاط کوانتومی در عینک سیلیکات یکی از قدیمی ترین و رایج ترین تکنیک برای کنترل رنگ شیشه است. در اوایل قرن بیستم برای رنگ های قرمز و زرد، سولفید کادمیم و سلنید کادمیم به عینک سیلیکات گنجانیده شد. در سال ۱۹۳۲، روکس بی با استفاده از پراش پرتو X (XRD) تعیین کردند که رسوب سولفید کادمیم و سلنید کادمیم باعث ایجاد رنگ های قرمز و زرد می شود [۸]. همچنین، پیش از این ذرات نیم‌رسانا دوپ شده با عینک در نوری به عنوان فیلتر استفاده می‌شود. در سال ۱۹۸۱ یک جا به جایی آبی طیف نوری برای اندازه نانومتر کلرید سدیم در سیلیکات شیشه ای توسط اکینوف و اونیشچنکو گزارش شده است [۹]. در سال ۱۹۹۱، تغییر در رنگ محلولهای

مواد نانو ساختار بسیار جذاب هستند [۱-۴]، زیرا آنها می‌توانند همانند پلی بین اندازه و سطح مولکولی باشند که این ویژگی منجر به راه‌های جدید و کاملی برای برنامه های کاربردی، به ویژه در الکترونیک، اپتوالکترونیک و زیست شناسی می‌شود. هنگامی که یک جامد، تنوع مجزا از ویژگی نوری و الکترونیکی با تنوع اندازه ذرات کمتر از ۱۰۰ نانومتر، نمایش می‌دهد می‌توان آن را به عنوان یک نانو ساختار، و به عنوان (۱) دو بعدی همانند، فیلمهای نازک (۲) یک بعدی، همانند کوانتومی سیم های رسانا و یا (۳) صفر بعدی مانند نقاط طبقه بندی کرد. در طول دوده آخر، مقدار زیادی از توجهات روی ویژگی نوری از نیم‌رسانا نانو ساختار ها یا نقاط کوانتومی متمرکز شده بود تعداد زیادی از این ویژگی‌ها اساسی هستند که اندازه آن‌ها در گستره نانومتر وابسته است. نقطه کوانتومی که صفر بعدی است به حجم، و تعداد محدودی از الکترون ها وابسته است نتایج در انرژی کوانتیده گسسته در حالتیابی از چگالی برای ساختارهای صفر بعدی است [۵،۶]. (اگر چه آن برای یک حجم به صورت صفر بعدی است، به عنوان یک جعبه در مکانیک کوانتومی در نظر گرفته؛ اندازه جعبه مهم است). طیف عظیمی از ویژگی‌های اساسی را می‌توان با تغییر در اندازه در یک ترکیب ثابت متوجه شد برخی از این موارد بحث شده است. نقاط

۲-۲- سطح ساختار

با توجه به نسبت سطح به حجم از نقاط کوانتومی، حالات کوانتومی الکترونیکی مرتبط با سطح (حالات سطح نامیده می شود) اثرات قابل توجهی در ویژگی نوری نقاط کوانتومی دارند. به عنوان مثال، حدود ۱۵ درصد از اتما در یک نقطه کوانتومی سولفید کادمیم ۵ نانومتر در سطح هستند [۱۹]. چنین افزایش نسبت سطح به حجم ممکن است باعث افزایش یا کاهش سرعت انتقال بار های حامل تولید کننده نور می شود که به علت تراکم بالا از مکان های سطح می باشد. حالات سطح نقاط کوانتومی ممکن است در اثر جذب نوری (بر انگیختگی فوتولومینسانس)، بازده کوانتومی، شدت لومینسانس و اثرات طیف باشد [۲۰]. به طور کلی، حالات سطوح از پیوندهای اشباع نشده در بازسازی سطح بوجود می آیند، و ممکن است باعث ایجاد حفره شود. انرژی از این حالات سطح به طور کلی در شکاف نوار نقاط کوانتومی قرار دارد [21]. بنابراین، آنها می توانند بار های حامل دام (الکترون و یا حفره) و رفتار به عنوان کاهش (الکترون) و یا عوامل اکسید کننده (حفره) باشند. این واکنش های الکتروشیمیایی و یا رفتار در سطح قابل توجهی می تواند عامل هدایت کلی و ویژگی نوری نقاط کوانتومی باشد. در نتیجه، حالات سطح می تواند اثرات قابل توجهی بر ویژگی نوری نقاط کوانتومی داشته باشد. سطح غیر فعال نقاط کوانتومی می تواند حامل داخل هسته رامحود کند و ویژگی نوری نقاط کوانتومی را بهبود دهد. اما این لایه غیر فعال به صورت عایق و با مانع برای انتقال شارژ عمل می کند.

٢-٢-١- لا اله غير فعال

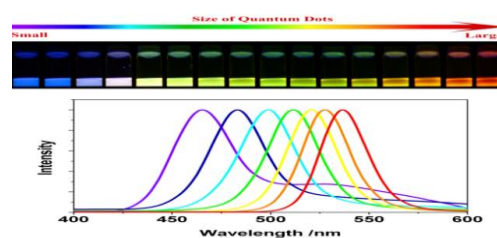
همانطور که در بالا مورد بحث شد، نقص سطح در نقاط کوانتومی به عنوان یک تله موقت برای الکترون، حفره و یا برانگیختگی، نورکیبی تابش خاموشی و کاهش بازده کوانتومی عمل می کند. بنابراین، غیر فعال بودن سطح در توسعه پایدار بودن نوری نقاط کوانتومی بسیار مهم است. در اصل، یک سطح کاملاً غیر فعال یک نقطه کوانتومی دارای تمام پیوندهای آویزان اشباع شده است. و در نتیجه دیگر هیچ حالت سطح را نشان نمی دهد، و تمام حالات نزدیک لبه نوار دارای محدودیت کوانتومی داخلی هستند. برای یک نیم رسانا مرکب، اگر آئین پیوندهای آویزان در سطح غیرفعال نباشد یک نوار از حالات سطح در فاصله درست بالای لبه باند ظرفیت انتظار می رود. با این حال، غیر فعال بودن آئینوها با سطح کاتینوها که پیوندهای آویزان را ترک می کنند منجر به یک نوار گسترده ای از حالات سطح درست در زیر لبه نوار انتقال می شود. بنابراین، اصلاح سطح نقاط کوانتومی بسیار سخت است و به طور کلی توسط نشست یک لایه آلی یا معدنی بر نقاط کوانتومی انجام شده است.

کلونیدی از نیم‌رسانا توسط روزتی و همکارانش مورد بحث قرار گرفت [۱۰]. چندین روش متفاوت سنتز در این دوره توسعه داده شد [۱۳-۱۰]. در طول دو دهه گذشته، تحقیقات تجربی و نظری در این نانوذرات به طور قابل توجهی به منظور کشف بسیاری از ویژگی اولیه از نقاط کوانتومی با تلاش‌های تجاری افزایش یافته است [۱۸-۱۴]. در این مقاله ما به اختصار به ساختار، ویژگی، فرایندها و عملکردهای نقاط کوانتومی در برنامه‌های چند کاربردی می‌پردازیم.

۲- ساختار نقاط کوانتومی

۲-۱- ساختار هسته

همانطور که پیشتر اشاره شد، نقاط کوانتومی دارای ابعاد و تعداد اتم‌ها بین سطح اتمی-مولکولی و مواد با حجم زیاد با یک شکاف فاصله دارند که بستگی به مد پیچیده با تعدادی از عوامل، از جمله نوع پیوستگی و نیروی کشش با نزدیکترین همسایه دارد. برای اتم جدا شده، قله انتشار لومینسانس تیز و باریک قابل مشاهده شده است. با این حال، یک نانوذره، متشکل از حدود ۱۰۰-۱۰۰۰۰ اتم، طیف خط نوری باریک و مجزایی را نشان می‌دهد. به همین دلیل است که نقاط کوانتومی اغلب به عنوان اتمهای مصنوعی (یک تابع همانند δ) توصیف می‌شوند [۱۸]. مقدار قابل توجهی از پژوهش حاضر با استفاده از ویژگی نوری منحصر به فرد نقاط کوانتومی در دستگاههایی، مانند دستگاه‌های نشر کننده نور (LED)، سلول‌های خورشیدی و نشانگرهای زیستی است. بیشترین تغییر جذاب نقاط کوانتومی با اندازه ذرات کمتر از ۳۰ نانومتر تفاوت شدید در جذب نوری، انرژی‌های برانگیختگی و نوترکیبی جفت الکترون-حفره است. استفاده از این ویژگی نقاط کوانتومی نیاز به کنترل کافی در طول سنتز شان است، به دلیل ویژگی ذاتی آنها که با عوامل متفاوتی، از جمله اندازه، شکل، نقص، ناخالصی‌ها و تبلور تعیین می‌شود. وابستگی به اندازه ناشی از (۱) تغییرات نسبت سطح به حجم با اندازه و (۲) اثرات حبس کوانتومی است. با این وجود، نقاط کوانتومی رنگ‌های متفاوتی از انتشار با تغییر در اندازه را نشان می‌دهند. شکل ۱ تغییر درخشندگی نوری (PL) رنگ انتشار با اندازه برای نقاط کوانتومی سلنید کادمیم را نشان می‌دهد.

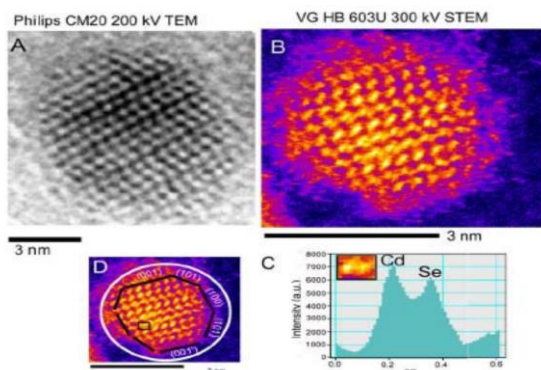


شکل ۱. بالا: شانزدهمین رنگ انتشار از کوچک (آبی) به بزرگ (قرمز) نقاط کوانتومی سلنید کادمیم برانگیخته شده توسط لامپ فرابنفش نزدیک باین: طیف لومینسانس نقاط کوانتومی سلنید کادمیم

۳-۲- شناسایی ساختار پوسته

به تازگی، توزیع شیمیایی مواد پوسته در روی نقاط کوانتومی پوسته / هسته سلنیم کادمیم / سولفید روی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری روبشی همراه با طیف سنجی از دست دادن انرژی الکترون (EELS) توسط یو و همکارانش انجام شد [۲۲]. با توجه به تجزیه و بررسی آنها در طیف EELS الکترون و به طور همزمان در سیگنال زمینه تاریک حلقوی (ADF)، پوسته سولفید روی در اطراف هسته سلنیم پوسته به علت تفاوت در فعالیت های شیمیایی و جهای کریستال از هسته سلنیم کادمیم احتمالاً بسیار ناهمسانگرد بود [۲۳]. دقت در اندازه گیری سوال برانگیز است که به عنوان مجموعه ای از طیف EELS موضعی از یک منطقه کوچکتر از نانومتر در یک نقطه کوانتومی تک که می تواند به راحتی به وسیله مناطق نزدیک نقاط کوانتومی یکسان یا همان همسایه نقاط کوانتومی که در نتیجه حرکت نقاط کوانتومی تحت انرژی بالا پرتو الکترونی به وجود می آید، پوشانده شود. تجزیه و تحلیل STEM دارای مزایای متعددی نسبت به میکروسکوپ معمولی الکترونی عبوری (TEM) است [۲۴]. شکل ۲، یک STEM در مقابل وضوح بالا میکروگراف TEM یا HRTEM یک نقطه کوانتومی سلنیم کادمیم را نشان می دهد. در STEM، الکترون های پراکنده شده با یک حلقه آشکارساز با زاویه بالا زمینه تاریک (HAADF) کنترل می شوند. با توجه به معادله پراکندگی رادفورد، شدت پراکندگی الکترون متناسب با مربع عدد اتمی برای گستره زاویه ای به اندازه کافی بالا است. بنابراین، جرم کنتراست را می توان به طور مستقیم از تصاویر مشاهده کرد. اگرچه مک براید و همکارانش تصویربرداری از هر دو نقاط کوانتومی سلنیم کادمیم و پوسته / هسته نقاط کوانتومی را با استفاده از STEM با انحراف صحیح شده نشان دادند [۲۵-۲۶]، چالش واقعی تفسیر اطلاعات پیوند از آنالیز TEM است. افزون بر این، تصاویر STEM از نقاط کوانتومی با یک پوسته بی شکل سیلیکا نزدیک به غیرممکن است. طیف سنجی فوتوالکترون پرتو ایکس (XPS) یک ابزار حیاتی برای تجزیه و تحلیل سطح نقاط کوانتومی است [۲۷-۲۸]. یکی از نخستین و گسترده ترین مطالعات XPS را در طبیعت از نقاط کوانتومی سلنیم کادمیم توسط Katari و همکارانش انجام شد. [۲۹]. آنها نشان دادند که طیف XPS موقعیت سطح هسته برای کادمیم و سلنیم از پیوندهای کووالانسی سلنیم کادمیم متصل به طلا بر پیش ماده سیلسیم سازگاری داشتند با آنهایی که از سلنیم کادمیم حجیم بودند. با این حال، هر دو کادمیم و سلنیم به طور کامل شسته و در معرض هوا نقاط کوانتومی سلنیم کادمیم اکسید شدند [۳۰]. همچنین، طیف XPS به منظور بررسی بمباران نقاط کوانتومی در هسته / پوسته [۳۱-۳۲] استفاده شد. تمام مطالعات بالا نشان داد که ترکیب سطح لیگاند، پوشش پوسته و اکسایش سطحی نقاط کوانتومی را می توان به وسیله XPS مورد بررسی قرار داد. با این حال، XPS به طور خاص برای تجزیه و تحلیل سطح،

ساختار پوسته و پیوند رابط هسته-پوسته نقاط کوانتومی نمی-تواند استفاده شود، زیرا طول فرار در طیف XPS معمولی قابل مقایسه با اندازه نقاط کوانتومی است. علاوه بر این، کوچکترین اندازه نقطه در تجزیه و تحلیل XPS بسیار بزرگتر از میکرومتر از نقاط کوانتومی کادمیم به خوبی تعریف شده بود. با این حال، توزیع مواد است.

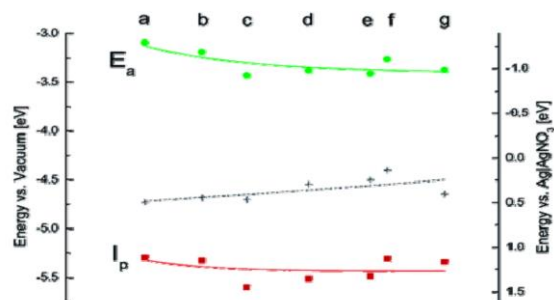


شکل ۲. (A) تصویری از یک میکروسکوپ الکترون عبوری با تفکیک بالا (B) میکروسکوپ الکترونی (STEM) از نقاط کوانتومی سلنیم کادمیم (C) تصویر میکروسکوپ الکترونی (STEM) توزیع جرم را برای تعیین سطح کریستالی نشان می دهد. (D) سطوح کریستالی سلنیم کادمیم در میکروسکوپ الکترونی (STEM) را نشان می دهد.

۳-۳- ویژگی

۳-۱- اثر سلول کوانتومی و شکاف نوار

سلول کوانتومی به طور کلی در گسترش از شکاف نوار با کاهش اندازه نقاط کوانتومی به وجود می آید شکاف باند در مواد، انرژی مورد نیاز برای ایجاد یک الکترون و یک حفره در حالت استراحت، (به عنوان مثال، با انرژی جنبشی صفر) در فاصله به اندازه کافی دور که جاذبه کولمبیک است ناچیز است. اگر یک حامل به اتم دیگر نزدیک شود، آنها ممکن است به شکل یک جفت الکترون-حفره فرم بگیرند، به عنوان مثال، یک برانگیختگی، که انرژی معادل با چند میلی الکترون ولت کمتر از شکاف باند راتشکیل می دهد. این برانگیختگی مانند یک اتم هیدروژن عمل می کنند، به جز این که یک حفره، نه یک پروتون، هسته تشکیل می دهد. بدیهی است که جرم یک حفره بسیار کوچکتر از یک پروتون است که در معادله موج شروینگر هم تاثیر می گذارد. فاصله بین الکترون و حفره است که شعاع برانگیختگی بوهلر نامیده می شود (r_B). اگر m_e و m_h به ترتیب جرم موثر الکترون و حفره باشند شعاع برانگیختگی بوهلر برای نیم رسانا حجیم را می توان با معادله زیر بیان کرد که در آن ϵ ، $\hbar$ و e به ترتیب ثابت دی الکتریک نوری، ثابت پلانک و بار یک الکترون هستند. اگر شعاع (R) یک نقطه کوانتومی به r_B نزدیک شود به عنوان مثال، $R \approx r_B$ یا r_B



شکل ۳. مقدار تجربی پتانسیل یونیزاسیون (I_p) و الکترونخواهی (E_a) از (Trioctylphosphine oxide) در اندازه های متفاوت پوشش داده شده با نقاط کوانتومی سلنیم کادمیم (a: ۲,۳ نانومتر، b: ۳,۱ نانومتر، c: ۳,۲ نانومتر، d: ۳,۵ نانومتر، e: ۳,۷ نانومتر، f: ۳,۸ نانومتر، g: ۴,۰ نانومتر)

۴-۱- فرایندهای سنتز از بالا به پایین

در روش بالا به پایین، یک نیم‌رسانا حجیم به شکل نقاط کوانتومی نازک شده است. برای رسیدن به نقاط کوانتومی با قطر ۳۰ نانومتر معمولاً پرتو الکترون لیتوگرافی، قالب‌گیری یون فعال و یا قالب‌گیری شیمیایی مرطوب استفاده می‌شود، است. کنترل اشکال و اندازه با بسته‌بندی هندسه مورد نظر برای آزمایش سیستماتیک در اثر حبس کوانتومی دست یافتنی هستند. روش دیگر، تمرکز یون یا پرتوهای لیزر نیز برای ساخت آرایه‌ای از نقاط بعد صفر استفاده شده است. اشکالات بیشتر با این فرایندها شامل ورود ناخالصی به نقاط کوانتومی و عیوب ساختاری به عنوان نمونه است. قالب‌گیری، که بیش از ۲۰ سال شناخته شده است، نقش بسیار مهمی در این فرایند در ابعاد نانو ایفا می‌کند. در قالب‌گیری خشک، یک گونه گاز واکنش در یک محفظه قالب‌گیری قرار داده و برای ایجاد یک پلازما که موجب شکسته شدن مولکول‌های گاز به قطعات واکنش پذیرتر می‌شود، ولتاژ فرکانس رادیویی استفاده شده است. این گونه انرژی جنبشی بالا نمونه‌ها به سطح برخورد می‌کنند و این فرایند قالب‌گیری، قالب‌گیری یون فعال نامیده می‌شود. با ماسکه کردن نمونه‌ها، قالب‌گیری انتخابی پیش ماده به دست آمده است. ساخت ساختار کوانتومی آرسنیک گالیم / آرسنیک گالیم آلومینیم به کوچکی ۴۰ نانومتر با استفاده از قالب‌گیری یون فعال با مخلوطی از تری کلرید بور و آرگون گزارش شده است [۳۴]. این فرایند قالب‌گیری یون فعال به تولید آرایه‌هایی با بسته‌بندی‌های کنار هم برای تست لیزر در نیم‌رساناهای نقطه کوانتومی استفاده شده است. آرایه‌های بسته بند های کنار هم از نقاط کوانتومی تلوریم روی با فاصله از ۱۸۰ تا ۳۶۰ نانومتر با قالب‌گیری یون فعال با استفاده از CH_4 و H_2 تولید شده است [۳۵]. روش‌های پرتو یون متمرکز (FIB) امکان ساخت نقاط کوانتومی با رادقت جانبی بسیار بالا ارائه می‌دهد. پرتوهای بسیار متمرکز از یک منبع فلز مذاب (به عنوان مثال، گالیم، طلا / سیلیسیم، طلا / سیلیسیم / بریلیم و یا پالادیم / آرسنیک / بور) به طور مستقیم برای زبر کردن سطح

< حرکت الکترون ها و حفره‌ها بطور فضایی برای ابعاد نقطه کوانتومی محدود شده است که این باعث افزایش انرژی انتقال برانگیختگی و تغییر رنگ آبی مشاهده شده در شکاف باند نقطه کوانتومی و لومینسانس می‌شود. شعاع برانگیختگی بوهلر یک مقدار آستانه است، و اثر حبس مهم می‌شود زمانی که شعاع نقطه کوانتومی کوچکتر است. برای نقاط کوانتومی کوچک، برانگیختگی انرژی اتصال و دو برانگیختگی انرژی اتصال (برانگیختگی - برانگیختگی انرژی تعامل) برای تولید مواد حجیم بسیار بزرگتر است [۳۳]. توجه داشته باشید که برای یک ماده با ϵ به نسبت بزرگتر یا m_e و m_h کوچکتر، r_B بزرگتر است. دو روش نظری دقیق برای پیش بینی بهتر ویژگی برانگیختگی، به طور خاص که یکی مدل تقریب جرم موثر و دیگری نظریه ترکیب خطی اوربیتال اتمی است، استفاده می‌شود.

$$r_B = \frac{\hbar^2 \epsilon}{e^2} \left(\frac{1}{m_e} + \frac{1}{m_h} \right)$$

۳-۲- ویژگی لومینسانس

پس از برانگیختگی با انرژی خارجی، به عنوان مثال، فوتون برای فوتولومینسانس، میدان الکتریکی برای الکترو لومینسانس، الکترون اولیه برای خاصیت کاتد و لومینسانس و غیره، با توجه به انتقال الکترون از حالت پایه به حالت برانگیخته الکترون و حفره دارای انرژی بالایی هستند. انرژی در ارتباط با چنین جذب نوری به طور مستقیم با ساختار الکترونی مواد تعیین می‌شود. الکترون برانگیخته و حفره ممکن است یک برانگیختگی را تشکیل دهند، همانطور که در بالا مورد بحث قرار گرفته است. الکترون ممکن است با حفره ترکیب و به یک حالت انرژی پایین‌تر برود و در نهایت به حالت پایه برسد. انرژی اضافی حاصل از نوترکیبی و آسایش ممکن است به صورت تابشی (فوتونها ساطع می‌کند) و یا بدون تابش (الکترون اوژه یا فوتون ساطع می‌کند). آسایش تابشی در لومینسانس خود به خود حاصل از نقاط کوانتومی است. چنین لومینسانس ممکن است از لبه باند و یا در نزدیکی لبه باند انتقال یابد و یا از نقص یا حالات کوانتومی فعال به وجود آید. شکل ۳ مقدار تجربی پتانسیل یونش (I_p) و الکترونخواهی (E_a) در اندازه‌های متفاوت پوشش داده شده با نقاط کوانتومی سلنیم کادمیم را نشان می‌دهد.

۴-۲- فرایندهای سنتز

چند راه برای سنتز نقاط کوانتومی استفاده شده است. به طور کلی، روش‌های سنتز نقاط کوانتومی طبقه بندی می‌شوند یا به عنوان بالا به پایین و یا رویکرد پایین به بالا. در زیر، ما هر دو روش مورد بحث قرار می‌دهیم.

پیش ماده نیم‌رسانا استفاده می‌شود. شکل، اندازه و فاصله بین ذرات از نقاط کوانتومی به اندازه پرتو یون بستگی دارد اما حداقل با قطر ۸-۲۰ نانومتر برای هر دو سیستم آزمایشگاه و تجاری گزارش شده که باعث قالب‌گیری نقاط کوانتومی به ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر می‌شود [۳۶]. این روش FIB نیز می‌تواند به صورت انتخابی موجب نشست مواد با استفاده از یک گاز پیشرو با تفکیک ۱۰۰ نانومتر می‌شود. تصاویر پرتو یون اسکن (مشابه تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی) برای پرتو یون با ابعاد نانو مورد نظر، با مکانی از پیش تعیین شده با وضوح بالا هم توسعه یافته است [۳۶]. با این حال از معایب این روش آهسته بودن آن و به کارگیری تجهیزات گران قیمت است. روش دیگر برای رسیدن به الگوهای با ابعاد نقاط کوانتومی استفاده از لیتوگرافی پرتو الکترونی پس از قالب‌گیری و یا فرایند بلند کردن است. این رویکرد درجه بالایی از انعطاف‌پذیری در طراحی سیستم‌های نانو ساختار را ارائه می‌دهد. هر شکل از نقاط کوانتومی، سیم، یا حلقه با جداسازی دقیق و دوره ای ممکن است با این روش تشخیص داده شود. این روش موفقیت آمیز برای سنتز نقاط کوانتومی گروه‌های ۳-۵ و گروه‌های ۲-۶ با اندازه ذرات به کوچکی ۳۰ نانومتر استفاده شد.

۲-۴-۲- فرایندهای سنتز پایین به بالا

تعدادی از روش‌های متفاوت جمع‌آوری شده، برای سنتز نقاط کوانتومی استفاده شده و آنها ممکن است به طور گسترده به روش شیمیایی مرطوب و فاز بخار تقسیم شوند. میکروامولسیون، سل-ژل، واکنش شیمیایی رقابتی و الکتروشیمی به طور کلی در رده‌بندی روش شیمیایی مرطوب قرار می‌گیرد. رشد مواد با پرتو مولکولی، روش پاشش، منابع یون فلزی مایع و یا تجمع نیکار گازی به طور کلی می‌توان تحت روش فاز بخار دسته بندی کرد.

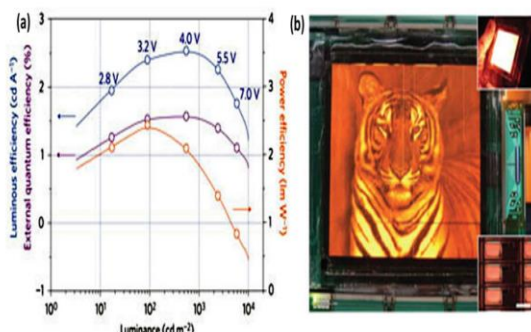
۲-۴-۱- فرایندهای شیمیایی مرطوب

روش شیمیایی مرطوب به طور عمده به دنبال روش رسوب گیری معمولی با کنترل دقیق پارامترهای برای یک محلول و یا مخلوطی از محلول‌ها است. روند رسوب‌گیری همواره شامل هر دو رشد محدود هسته و نانوذرات است. هسته‌ها ممکن است به عنوان همگن، ناهمگن و یا هسته های ثانویه دسته بندی کرد [۳۷]. هسته همگن موقعی رخ می‌دهد که بدون کمک از یک ماده جامد آنها یا مولکول‌های املاح ترکیب وقتی به یک اندازه بحرانی می‌رسند. می‌توان با عوامل متفاوت، مانند دما، ضخامت دو لایه الکترواستاتیک، تثبیت کننده و یا تشکیل میسل، غلظت از پیش ماده ها، نسبت‌های آنیونی به گونه ها کاتیونی و حلال نقاط کوانتومی را با اندازه دلخواه، شکل و ترکیب مورد نظر، را می‌توان به دست آورد.

۲-۴-۲- فرایند فاز بخار

این روش فاز بخار در آغاز برای تولید نقاط کوانتومی با فرایندهای که در آن لایه ها به وسیله فرایند اتم با استفاده از

اتم رشد خواهند کرد. در نتیجه، رشد خود به خودی نقاط کوانتومی در پیش ماده بدون هیچ الگویی رخ می‌دهد [۴۱-۳۸]. به طور کلی، مواد لایه دار مانند یک لباس رشد می‌کنند، در ابتدا به‌عنوان یک لایه صاف گاهی با رشد هسته و جزایر کوچک رشد می‌کنند [۴۲]، و یا به طور مستقیم به عنوان جزایر کوچک (نقاط کوانتومی) بر پیش ماده رشد می‌کنند [۴۳]. بسته به سطح و انرژی سطحی و عدم تطابق شبکه (فشار شبکه)، یکی از این حالت رشد مشاهده شده است. به عنوان مثال، نقاط کوانتومی ممکن است توسط رشد استرانسکی- کریستائف (SK) با مواد لایه دار که دارای یک تطابق شبکه خوب با پیش ماده است، تشکیل شوند. در روش بعد از رشد زیر لایه ماده اصلی نقطه کوانتومی رشد داده می‌شود. اما انرژی سطح پیش ماده (σ_1) کمتر از مجموع انرژی سطحی بین پیش ماده و مواد لایه دار (γ_{12}) و انرژی سطح مواد لایه دار (σ_2) است. به عنوان مثال، هنگامی که $\sigma_1 > \sigma_2 + \gamma_{12}$ [۴۴]. در موارد دیگر، تشکیل نقاط کوانتومی با توجه به آسایش از فشار مورد نیاز برای حفظ حالت آن است. در مورد پیش ماده با مواد لایه دار با عدم تطابق شبکه های بزرگ و انرژی مناسب سطح مشترک، رشد اولیه مواد لایه‌دار از طریق رشد لایه به لایه (FvdM) رخ می‌دهد. با این حال، زمانی که این فیلم به اندازه کافی ضخیم (چند تک) برای القاء انرژی کششی بزرگ است، سیستم انرژی آزاد خود را در کل با شکستن فیلم به جزایر جدا شده و یا نقاط کوانتومی کاهش می‌دهد. کیم و همکارانش [۴۵] نقاط کوانتومی سلنیم روی / سولفید روی با حالت رشد SK با استفاده از روش‌های آلی فلزی رسوب شیمیایی بخار در یک لایه اتمی سنتز کردند. میانگین ارتفاع نقطه ۱-۱٫۹ نانومتر بود. دمای آشکار وابسته، رفتار غیر عادی از حامل های محدود شده در نقاط کوانتومی سلنیم روی مشاهده شده است. پرتو مولکولی اپیتکسی (MBE) برای رسوب مواد لایه‌دار و رشد عنصری، ترکیب و یا نیم‌رسانا آلایز مواد نانو ساختار در یک پیش ماده گرم تحت شرایط خلاء فوق العاده بالا (10^{-10} تور و یا 7.5×10^{-6} PA) استفاده شده است [۴۶-۴۷]. اصل اساسی فرایند MBE تبخیر از یک منبع (سلول نفوذی نادرین) به شکل یک پرتو از اتم‌ها یا مولکول است. پرتوها در فرایند MBE را می‌توان از مواد جامد (به عنوان مثال، عناصر گالیم و آرسنیک برای تولید نقاط کوانتومی آرسنیک گالیم استفاده می‌شود) تشکیل داد و یا ترکیبی از گازهای همراه جامد (به عنوان مثال، PH_3 ، AsH_3 و یا ترکیبات آلی- فلزی مانند تری متیل گالیم و تری اتیل گالیم). منابع آلی فلزی ممکن است غلظت بالایی از کربن در نقاط کوانتومی را از دست بدهند. پرتو مولکولی اپیتکسی (MBE) عمدتاً استفاده شده برای خودآرایی نقاط کوانتومی از نیم‌رسانا های گروه ۳-۵ و نیم رساناهای گروه ۲-۶ با استفاده از عدم تطابق بزرگ شبکه به عنوان مثال InAs روی GaAs دارای عدم تطابق ۷٪ و منجر به رشد SK می‌شود [۴۸]، همانطور که در بالا مورد بحث قرار گرفت. رشد لایه‌ها به وسیله رسوب فیزیکی بخار (PVD) ناشی



شکل ۴ (a) بازده در مقابل داده های لومینسانس با استفاده از نشر نور قرمز دستگاه های QLED ساخته شده از نقاط کوانتومی سلنیم کادمیم (b) صفحه نمایش QLED ماتریس فعال چهار اینچ (۲۴۰×۳۲۰ پیکسل) با استفاده از a-Si TFT

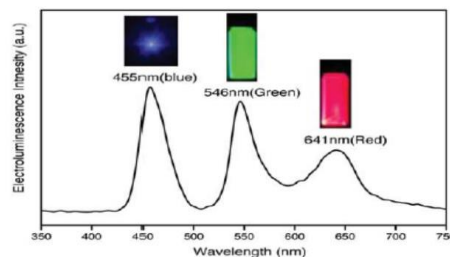
۵-۲- تبدیل به انرژی پایین تر با نور آبی یا ماوراء بنفش
نقاط کوانتومی در تبدیل انرژی بالا به نور انرژی پایین تر استفاده می شوند. مزایای استفاده از فسفرس نقاط کوانتومی بیش از فسفر معدنی معمولی و / یا رنگ های آلی شامل QY بالا از نقاط کوانتومی، (ب) گستره انتشار از پرتو ماوراء بنفش به مرئی به NIR، (ج) ثبات بهتر در مقایسه با مواد آلی، (د) باریک FWHM با ۳۰ نانومتر (اشباع رنگ بالاتر نسبت به فسفر معمولی با FWHM معمولی با ۵۰-۱۰۰ نانومتر) و (ه) یک پنجره جذب بزرگ (شکاف باند به UV، امکان تحریک همزمان نقاط کوانتومی با اندازه های متفاوت). نقطه ضعف اصلی نقاط کوانتومی خود جذب ناشی از همپوشانی طیف جذب از نقاط کوانتومی بزرگتر با طیف نشر و طیف نشر از نقاط کوانتومی کوچکتر است. در سال ۲۰۰۰، لی و همکارانش گزارش کردند که تبدیل به انرژی پایین تر از نور آبی با طول موج ۴۲۵ نانومتر (از نیتريد گالیم مبتنی بر LED تجاری) و نور UV (از لامپ جیوه) با استفاده از نقاط کوانتومی سلنیم کادمیم و سولفید روی با طول موج ۲، ۲،۶، ۴،۶ و ۵،۶ نانومتر در یک ماتریس بسپاری پلی اوریل متا اکریلات پراکنده می شوند. این ترکیب در 70°C - 75°C به مدت ۲ ساعت با مخلوط کردن نقاط کوانتومی سلنیم کادمیم و سولفید روی در بسته و منومر ۱- اوریل متا اکریلات وسپس، با افزودن اتیل ان گلیکول و آغازگر رادیکال بیس- ایزو بوتیرو نیتریل برای اتصال عرضی سنتز و آماده شد. به تازگی، نقاط کوانتومی سلنیم روی با پوشش آلی برای تولید نور سفید با UV نزدیک InGaN LED برانگیخته کردند. تبدیل انرژی نور آبی (۴۵۵ نانومتر) از یک InGaN LED با شاخص رنگ بزرگتر از ۹۰ به وجود آمد وقتی که یک ماتریکس از سبز و قرمز نقاط کوانتومی سلنیم کادمیم و سلنیم روی استفاده شد [۵۱] همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است.

از تراکم یک جامد از بخارات تولید شده با تبخیر حرارتی یا با پاشش نتیجه می شود [۳۶]. روش های متفاوت به علت تبخیر استفاده شده است، مانند گرمایش پرتو الکترونی، مقاومتی و یا گرمایش ژول و قوس تخلیه. در هر صورت، عوامل مورد بحث (فشار و سطح انرژی) تشکیل نقاط کوانتومی از فیلم های نازک رسوب شده را کنترل خواهد کرد. رسوب شیمیایی بخار (CVD) روش دیگر برای تشکیل فیلم های نازک از نقاط کوانتومی که می تواند خود آرایی کنند. در رسوب شیمیایی بخار، پیش ماده ها در یک محفظه در فشار و دمای خاص قرار می گیرند و آنها به پیش ماده گرم نفوذ می کنند، و به شکل یک فیلم واکنش نشان می دهند، پس از آن به وسیله فاز گاز فرآورده های جانبی از پیش ماده وا جذب شده و از محفظه خارج می شوند. نقاط کوانتومی InGaAs و AlInAs با استفاده از انرژی سطحی و یا نیروی کششی ناشی از فرایندهای رشد SK سنتز شده است [۴۹]. اگر چه، خود آرایی نقاط کوانتومی با استفاده از روش فاز بخار در تولید آرایه بدون قالب نقاط کوانتومی اثرگذار است، نوسان در اندازه نقاط کوانتومی اغلب باعث ویژگی نوری ناهمگن می شود.

۵- کاربردها

۵-۱- نقاط کوانتومی برای ساخت دستگاه الکترو لومینسانس

بر اساس نقاط کوانتومی دیود ساطع نور فعالیت های شدید در پژوهش و تجاری سازی در دهه گذشته جذب کرده است [۲۲]. در واقع، دیود ساطع نور دارای چندین مزیت نسبت به LED های آلی (OLED) هستند. این مزیت ها به شرح زیر است: پیک نشری FWHM از نقاط کوانتومی تنها ۲۰-۳۰ نانومتر است، در مقایسه با همتای آلی خود بیش از ۵۰ نانومتر است، که برای یک تصویر با کیفیت بالا لازم است. (ب) مواد معدنی معمولاً پایداری حرارتی بهتر از مواد آلی را نشان می دهد. تحت عواملی مانند روشنایی بالا یا جریان بالا، گرمای ژول یکی از مشکلات غالب برای تخریب دستگاه است. با استحکام حرارتی بهتر، دستگاه های مواد معدنی انتظار می رود که طول عمر طولانی تر را داشته باشند. (ج) رنگ صفحه نمایش OLED های عموماً با گذشت زمان با توجه به طول عمر متفاوت از پیکسل های قرمز، سبز و آبی تغییر می یابد [۵۰]. توان سه رنگ برتر را از نقاط کوانتومی با همین تغییر در ترکیب و اندازه ذرات (به علت اثر حبس کوانتومی، همانطور که در بالا مورد بحث قرار گرفته) به دست آورد. ترکیب شیمیایی مشابه باید تخریب مشابه با زمان را نشان دهند. (د) دستگاه QLED می توانید نشر IR را تولید کند در حالی که، مولکولهای آلی در OLED ها معمولاً طول موج های کوتاه از ۱ میکرومتر را نشان می دهند. (ه) آمار چرخش برای نقاط کوانتومی محدود نیست. شکل ۴ (a) بازده در مقابل داده های لومینسانس با استفاده از نشر نور قرمز دستگاه های QLED ساخته شده از نقاط کوانتومی سلنیم کادمیم را نشان می دهد و شکل ۴ (b) صفحه نمایش QLED ماتریس فعال چهار اینچ (۲۴۰×۳۲۰ پیکسل) با استفاده از a-Si TFT را نشان می دهد.



شکل ۵. Downconversion از انتشار آبی با ۴۵۵ نانومتر از نشر نور دیود InGaN به رنگ سبز و قرمز توسط تنظیم اندازه نقاط کوانتومی CdSe / ZnS در یک ماتریس سیلیکون.

۳-۵- نقاط کوانتومی در دیگر دستگاه های الکترونیکی

دستگاه های فوتونی نقطه کوانتومی، از جمله تقویت کننده های نوری و عملکرد لیزرها در دمای اتاق، مورد مطالعه قرار گرفته اند [۷۶، ۷۷]. مشکل اصلی در دستیابی به لیزری بدون تابش در فرایندهای نوترکیبی اوژه بسیار موثر است. چند استراتژی برای بهبود لیزری، از جمله افزایش غلظت نقطه کوانتومی در لایه فعال، استفاده از بهبود ساختار بازخورد نوری و بهینه سازی امواج نوری آورده شده است. دو موج دو بعدی وارد شده با رشد کلوئیدی لومینسانس نقاط کوانتومی تلوریم کادمیم و با روش رسوب لایه به لایه بررسی شده است [۷۸]. موج برها ضرایب کاهش انتشار را کمتر از 1 cm^{-1} نشان می دهد. تلفات به طور ضعیف به عرض موج برها وابسته است اما به طور قویتری به زبری سطح خشونت دارد. ارزش بهره نوری برابر با 230 cm^{-1} که با استفاده از پالس های فمتوثانیه مشخص شده است [۷۹]، نشان دادن که این نوع از موج برهای نقاط کوانتومی برای لیزر و تقویت کننده های نوری می تواند مناسب باشد. نقاط کوانتومی کائوچو و مواد مرکب تعبیه شده برای نشان دادن حالت انکسار نور و دیگر ویژگی نوری غیر خطی استفاده شده است [۸۰]. نقاط کوانتومی سلنیم سرب در یک میزبان بسپاری انکسار نوری بزرگ، هدایت کننده نوری و بهره نوری را نشان داده است. زمانی که با یک قدرت کم، لیزر موج پیوسته در ۱۵۵۰ نانومتر برانگیخته می شود [۸۱]. توری هولوگرافی پویا انکسار نور در ترکیب نوشته شده بود. افزایش نوری خالص و بازده پرتو قابل توجهی با لیزر کم قدرت باعث می شود این نانوچندسازه برای تصویربرداری فروسرخ و برنامه های کاربردی ارتباطات نوری انتخاب بالقوه باشد. نیم رساناهای گروه های سوم تا پنجم، مانند InP، GaAs، GaP، InGaAlN و InAs برای توسعه دستگاه های الکترونیک نوری بسیار مهم است برای ساختن نقاط کوانتومی گروه های سوم تا پنجم که به سادگی با تنظیم اندازه نقاط کوانتومی و ترکیبی که در هر نقطه از IR به UV نشر می کند، این امکان پذیر است [۸۲، ۸۳]. نقاط کوانتومی مبتنی بر نیتريد پژوهش زیادی به خاطر ساختار بزرگ ساخته شده در زمینه برق، به خود جلب کرده اند [۸۴]. این میدانهای بزرگ از هر دو قطبش خود به خود در ساختار ورتزیت، و همچنین، فشار شبکه وعدم تطابق از طریق

ثابت پیزوالکتریک بزرگ خود سرچشمه می گیرند. انتشار نقاط کوانتومی InP / InAs را می توان با اندازه به خوبی غلظت های As و P کنترل کرد. و برای سیستم های مخابراتی فیبر نوری مهم هستند [۸۵]. مواد بر اساس InP در گستره طول موج لازم برای دستگاه های فوتونی به خصوص در نزدیکی ۱،۵۵ میکرومتر می توانند نشر کنند. نقاط کوانتومی InAsP برای دستگاه های فوتونی یکنواخت بر روی یک تراشه، از جمله لیزر، تعدیل کننده فاز، حسگرها و موج برهای منفعل مناسب هستند.

۴-۵- استفاده از نقاط کوانتومی در کاربردهای تصویری

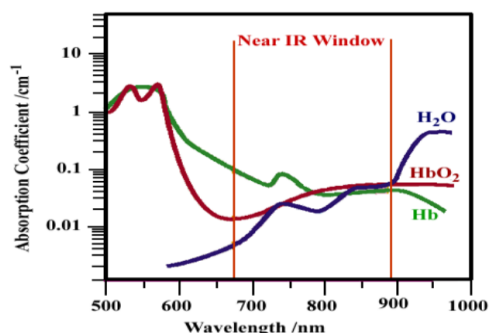
در حال حاضر، تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (MRI)، تصویربرداری نوری و تصویربرداری هسته ای به عنوان تکنیک های کلیدی تصویربرداری در سیستم های زیستی در حال ظهور هستند [۸۶]. آنها از نظر حساسیت، وضوح تصویر، پیچیدگی، زمان کسب و هزینه های عملیاتی متفاوت است. با این حال، این تکنیک مکمل زمان های بسیاری دیگر هست. چندین نقد و بررسی بر اساس فیزیکی از این تکنیک، ابزار دقیق و مسائلی که بر روی عملکردشان اثر گذار هستند وجود دارد [۸۶]. در حال حاضر، مقدار قابل توجهی از تحقیقات در استفاده از ویژگی نوری منحصر به فرد از نقاط کوانتومی در تصویربرداری زیستی وجود دارد [۸۷]. بسیاری از تصویر های نوری است که در رنگهای سنتی بکار می رود [۸۸]. اما اشکالاتی چند در ارتباط با آنها وجود دارد. که به خوبی شناخته شده است که سلول فلورسانس خود به خود در طیف مرئی منجر به پنج اثر زیر می شود [۸۵]. (۱) فلورسانس خود به خود می تواند سیگنال هایی از مولکولهای رنگ آلی را بپوشاند. (۲) بی ثباتی از رنگ های آلی تحت تابش نور است که به خوبی در تصویر زنده که در نتیجه زمانهای مشاهده شده کوتاه، شناخته شده است. (۳) به طور کلی، مولکولهای رنگ معمولی یک درجه برانگیختگی باریک دارند که موجب تحریک همزمان رنگ های متفاوت می شود. (۴) رنگ ها حساس به شرایط محیطی، مانند تنوع در PH هستند. (۵) بسیاری از رنگ های آلی یک طیف انتشار گسترده با دم باریک در طول موج قرمز دارند که ایجاد بحث متقابل طیفی بین کانال های متفاوت و تشخیص را مشکل می کند. نقاط کوانتومی، از سوی دیگر، به دلایل متفاوت در زیست شناسی هم جذاب هستند. از جمله (۱) ضرایب انقراض بیشتر است. (۲) QYs بالاتر؛ (۳) کمتر شدن نورشان؛ (۴) جذب و انتشار را می توان با اندازه تنظیم شود. (۵) درجه برانگیختگی به طور کلی گسترده اما قله انتشار باریک؛ (۶) نقاط کوانتومی متفاوت را می توان در روش های مشابه با حداقل تداخل با یکدیگر استفاده شود (۷) سمیت ممکن است کمتر از رنگ های آلی معمولی باشد و (۸) نقاط کوانتومی ممکن است با عوامل زیستی فعال متفاوت عامل دار شده باشند. افزون بر این، نقاط کوانتومی نشر کننده فروسرخ نزدیک (NIR) می توان برای جلوگیری از تداخل فلورسانس خود به خود استفاده شوند. از آنجایی که سلول هموگلوبین و آب

کرده اند. این به خاطر این واقعیت است که این نقاط کوانتومی ویژگی نوری، الکترونیکی و فیزیکی متفاوتی به طور قابل توجهی در مقایسه با مواد حجیم به نمایش می گذارند. با توجه به سنتز نقاط کوانتومی، پیشرفت های قابل توجهی در مطالعات رشد سینتیک از طریق هر دو مدل نظری و داده های تجربی ساخته شده است، در تولید نقاط کوانتومی روش های متفاوت از روش های شیمیایی مرطوب ساده تا روش رسوب لایه اتمی، تجهیزات فشرده و بسیار پیچیده استفاده می شود که روش پایین به بالا، به طور گسترده ای مورد بررسی وسیع تری از روش ها برای تولید نقاط کوانتومی هست. با وجود مقدار زیادی از پژوهش ها، هنوز هم بسیاری پژوهش ها برای درک از نقاط کوانتومی مورد استفاده در برنامه های کاربردی زیستی و حالت جامد نوری در مقیاس بزرگ وجود دارد به عنوان مثال، LED بر اساس نقاط کوانتومی است. همچنین، یک صفحه نمایش بر اساس QLED امکان پذیر است. اگر چه آزمایش های اولیه در سطح آزمایشگاهی موفق بوده اند، اما تولید و حفظ ویژگی نقاط کوانتومی ناچیز نیست. ادامه تحقیق و توسعه در نقاط کوانتومی پیشرفت بیشتر در بازده کوانتومی، دستگاه بهتر و مواد جدید که گسترش از انتشار در منطقه IR نزدیک رانمکن ساختند، فراهم کرده است. نانوزیست فناوری یک منطقه بزرگ D & R رابرای قرن آینده پیش بینی کرده است. با این حال چند موانع باید برای اطمینان از رابطه زیست شناسی و فناوری نانو بر طرف شود. عامل دار کردن نقاط کوانتومی و مهندسی رابط برای کنترل این که چه زمانی الکترونیک می تواند عبور کند چالش های عمده ای است. برنامه های متفاوتی مانند نمایش، روشنایی، حسگر انتخابی، تصویربرداری زیستی، عوامل تضاد MRI، و نشان های زیستی، نیاز توجه به بهبود بیشتر و پاسخ به پرسش در مورد سنتز نقاط کوانتومی، ویژگی، پیری و سمیت از لحاظ علمی و جامعه مهندسی است.

۷. منابع

- [5] A.P. Alivisatos, Perspectives on the physical chemistry of semiconductor nanocrystals. J. Phys. Chem. 100, 13226–13239, (1996).
- [6] D.Bera, L.Qian, P.H. Holloway, Phosphor Quantum Dots; John Wiley & Sons, Ltd: West Sussex, UK, (2008).
- [7] P.Walter, E.Welcomme, P.Hallegot, N.J. Zaluzec, C. Deeb, J. Castaing, P.Veyssiere, R. Breniaux, J.L. Leveque, G. Tsoucaris, Early use of PbS nanotechnology for an ancient hair dyeing formula. Nano Lett. 6, 2215–2219, (2006).
- [8] H.P. Rocksby, Color of selenium ruby glasses. J. Soc. Glass Technol, 16, 171 (1932).

ضریب جذب پایین تر و دارای اثرات پراکندگی در منطقه فروسرخ نزدیک در گستره ۶۵۰-۹۰۰ نانومتر هستند (شکل ۶). نور به طور معمول در میکروسکوپ های نوری استفاده می شود، اما تصویربرداری از بافت عمیق تر (۵۰۰ میکرومتر - cm) نیاز به استفاده از فروسرخ نزدیک نور هستند [۸۷]. نقاط کوانتومی معدنی تحت تحریک فرابنفش بیشتر از مولکول های آلی در مقابل نور پایدار هستند، و فلورسانس آنها بیشتر اشباع است. در میان مواد نانو ساختار بر اساس نقاط کوانتومی، رنگ انتشار قابل تنظیم با اندازه پتانسیلی برای توسعه یک روش برنامه نویسی نوری با چند رنگ بکار می رود. به عنوان مثال، با عامل دار کردن نقاط کوانتومی متفاوت، نقاط کوانتومی سلنیم کادمیم با مولکول های متفاوت هم اندازه می شوند. پژوهشگران نقاط کوانتومی را در داخل بدن و در تصویربرداری آزمایشگاهی و تشخیص سلول زنده به عنوان یک مکمل و یا جانشین رنگ های آلی معمولی استفاده کرده اند [۸۸].



شکل ۶. جذب بر حسب طول موج هموگلوبین و آب از فروسرخ نزدیک (NIR) تصویربرداری در داخل بدن برای به حداقل رساندن جذب

۶. نتیجه گیری

در این بررسی، ابعاد ساختار، ویژگی، کاربرد و عملکرد نقاط کوانتومی بحث شده است. در میان شاخه های متفاوت در زمینه فناوری نانو، این بعد صفر نانوساختارها راه را برای پیشرفت های متعدد در هر دو علوم بنیادی و کاربردی هموار

- [1] A. Henglein, Small-particle research-physicochemical properties of extremely small colloidal metal and semiconductor particles. Chem. Rev. 1861–1873, (1989).
- [2] T. Trindade, P. O'Brien, N.L. Pickett, Nanocrystalline semiconductors: Synthesis, properties, and perspectives. Chem. Mater. 13, 3843–3858, (2001).
- [3] S. Kuchibhatla, A.S. Karakoti, D. Bera, S. Seal, One dimensional nanostructured materials. Prog. Mater. Sci. 52, 699–913, (2007).
- [4] D. Bera, S.C. Kuiry, S. Seal, Synthesis of nanostructured materials using template-assisted electrodeposition. JOM, 56, 49–53, (2004).

- [21] S. Coe-Sullivan, Quantum dot developments. *Nat. Photonics*, 3,315–316,(2009)
- [22] Y.Wang, N. Herron, Nanometer-sized semiconductor clusters–materials synthesis, quantum size effects, and photophysical properties. *J. Phys. Chem.* 95, 525–532,(1991).
- [23] J. Bang, H. Yang, P.H. Holloway, Enhanced and stable green emission of ZnO nanoparticles by surface segregation of Mg. *Nanotechnology*, 17, 973–978,(2006).
- [24] E. Kucur, W.Bucking, R. Giernoth, T. Nann, Determination of defect states in semiconductor nanocrystals by cyclic voltammetry. *J. Phys. Chem. B*, 109,20355–20360, (2005).
- [25] Z.H. Yu, L. Guo, H. Du, T. Krauss,; J. Silcox, Shell distribution on colloidal CdSe/ZnS quantum dots. *Nano Lett.* 5, 565–570,(2005).
- [26] H. Yang, P.H. Holloway, Efficient and Photostable ZnS-passivated CdS:Mn luminescent nanocrystals. *Adv. Func. Mater.*, 14,152–156,(2004).
- [27] S.J. Rosenthal, J. McBride, S.J. Pennycook, L.C. Feldman, Synthesis, surface studies, composition and structural characterization of CdSe, core/shell and biologically active nanocrystals. *Surf. Sci. Rep.* 62, 111–157,(2007).
- [28] J.R. McBride, T.C. Kippeny, S.J. Pennycook, S.J. Rosenthal, Aberration-corrected Z-contrast scanning transmission electron microscopy of CdSe nanocrystals. *Nano Lett.* 4,1279–1283, (2004).
- [29] J. McBride, J.Treadway, L.C. Feldman, S.J.Pennycook, S.J. Rosenthal, Structural basis for near unity quantum yield core/shell nanostructures. *Nano Lett.* 6,1496–1501,(2006).
- [30] J.E.B. Katari, V.L. Colvin, A.P. Alivisatos, X-Ray photoelectron-spectroscopy of CdSe nanocrystals with applications to studies of the nanocrystal surface. *J. Phys. Chem.* 98, 4109–4117 , (1994).
- [31] D. Bera, L. Qian, S. Sabui, S. Santra, P.H. Holloway, Photoluminescence of ZnO quantum dots produced by a sol-gel process. *Opt. Mater.* 30, 1233–1239 ,(2008).
- [32] M.A.Hines, P. Guyot-Sionnest, Synthesis and characterization of strongly luminescing ZnScapped CdSe nanocrystals. *J.Phys. Chem.* 100,468–471,(1996).
- [33] B.O. Dabbousi, J. RodriguezViejo, F.V.Mikulec, J.R. Heine, H. Mattoussi, R. Ober, K.F. Jensen, M.G. Bawendi, (CdSe)/ZnS core-shell quantum dots:
- [9] A.I.Ekimov, A.A. Onushchenko, Quantum size effect in 3-dimensional microscopic semiconductor crystals. *JETP Lett.* 34, 345–349,(1981).
- [10] R. Rossetti, J.L.Ellison, J.M.Gibson, L.E. Brus, Size effects in the excited electronic states of small colloidal CdS crystallites. *J. Chem. Phys.* 80, 4464–4469,(1984).
- [11] L Spanhel, M. Haase, H. Weller, A. Henglein, Photochemistry of colloidal semiconductors. 20. Surface modification and stability of strong luminescing CdS particles. *J. Am. Chem. Soc.* 109, 5649–5655,(1987).
- [12] A.R. Kortan, R. Hull, R.L Opila, M.G. Bawendi, M.L Steigerwald, P.J. Carroll, L.E. Brus, Nucleation and growth of CdSe on ZnS quantum crystallite seeds, and vice versa, in inverse micelle media. *J. Am. Chem. Soc.* 112,1327–1332,(1990).
- [13] C.B. Murray, D.J. Norris, M.G. Bawendi, Synthesis and characterization of nearly monodisperse CdE (E = S, Se, Te) semiconductor nanocrystallites. *J. Am. Chem. Soc.* 115, 8706–8715,(1993).
- [14] F. Grieser, D.N. Furlong, D. Scoberg, I. Ichinose, N. Kimizuka, T. Kunitake, Size-quantized semiconductor cadmium chalcogenide particles in Langmuir-Blodgett-films. *J. Chem. Soc. Faraday Trans.* 88,2207–2214,(1992).
- [15] M. Sundaram, S.A. Chalmers, P.F. Hopkins, A.C. Gossard, New quantum structures. *Science*, 254, 1326–1335,(1991).
- [16] R. Cingolani, K. Ploog, Frequency and density dependent radiative recombination processes in III-V semiconductor quantum-wells and superlattices. *Adv. Phys.* 40,535–623,(1991).
- [17] A.P. Alivisatos, Semiconductor clusters, nanocrystals, and quantum dots. *Science*. 271, 933–937,(1996).
- [18] V.I. Klimov,; A.A.Mikhailovsky,; S.Xu,; A.Malko,; J.A.Hollingsworth, C.A.Leatherdale, H.J.Eisler, M.G. Bawendi, Optical gain and stimulated emission in nanocrystal quantum dots. *Science*, 290,314–317,(2000).
- [19] M.V.Artemyev, U. Woggon,; R.Wannemacher, H.Jaschinski, W. Langbein, Light trapped in a photonic dot: Microspheres act as a cavity for quantum dot emission. *Nano Lett.* 309–314,(2001).
- [20] D. Graham-Rowe, From dots to devices. *Nat. Photonics*, 3,307–309,(2009).

- 127–133, (2003).
- [44] M. Volmer, A. Weber, Keimbildung in übersättigten gebilden. Z. Phys. Chem., 119,277,(1926).
- [45] I.N. Stranski, V.L. Krastanow, Sitzungberichte der akademie der wissenschaften in wien. Akad. Wiss. Lit. Mainz Math.-Natur. KI. Iib, 146, 797,(1939)
- [46] D.J. Eaglesham, M. Cerullo, Dislocation-free stranski-krastanow growth of Ge on Si(100). Phys. Rev. Lett. 64,1943–1946 , (1990).
- [47] Y.G. Kim, Y.S. Joh, J.H.Song, K.S. Baek, S.K. Chang, E.D. Sim, Temperature-dependent photoluminescence of ZnSe/ZnS quantum dots fabricated under the Stranski-Krastanov mode. Appl. Phys. Lett. 83, 2656–2658,(2003).
- [48] S. Tsukamoto, G.R. Bell, Y. Arakawa, Heteroepitaxial growth of InAs on GaAs(001) by in situ STM located inside MBE growth chamber. Microelectron. J. 37, 1498–1504,(2006).
- [49] Y.H. Jiao, J. Wu,; B. Xu, P. Jin, L.J.Hu, L.Y. Liang, Z.G. Wang, MBE InAs quantum dots grown on metamorphic InGaAs for long wavelength emitting. Physica E, 35, 194–198,(2006).
- [50] S. Nakamura, K. Kitamura, H. Umeya,; A. Jia, M. Kobayashi, A.Yoshikawa, M. Shimotomai, S.Nakamura, K.Takahashi, Bright electroluminescence from CdS quantum dot LED structures. Electron. Lett. 34, 2435–2436 , (1998).
- [51] C. Lobo, R. Leon, InGaAs island shapes and adatom migration behavior on (100), (110), (111), and (311) GaAs surfaces. J. Appl. Phys. 83,4168–4172,(1998).
- [52] J.Lee, V.C.Sundar, J.R. Heine, M.G. Bawendi, K.F. Jensen, Full color emission from II-VI semiconductor quantum dot-polymer composites. Adv. Mater. 12, 1102 ,(2000).
- [53] H.S. Chen, C.K. Hsu, H.Y. Hong, InGaN-CdSe-ZnSe quantum dots white LEDs. IEEE Photonics Technol. Lett. 81, 193–195, (2006).
- [54] M. Gratzel, From space to earth: The story of solar electricity. Nature (London), 403, 363,(2000)
- [55] W. Shockley, H.J. Queisser, Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells. J. Appl. Phys. 32,510–519, (1961).
- [56] King, R.R.; Law, D.C.; Edmondson, K.M.; Fetzer, C.M.; Kinsey, G.S.; Yoon, H.; Sherif, R.A.; Karam, N.H. 40% efficient metamorphic GaInP/GaInAs/Ga
- Synthesis and characterization of a size series of highly luminescent nanocrystallites. J. Phys. Chem. B, 101,9463–9475,(1997).
- [34] V.I. Klimov, Mechanisms for photogeneration and recombination of multiexcitons in semiconductor nanocrystals: Implications for lasing and solar energy conversion. J. Phys. Chem. B, 110, 16827–16845,(2006).
- [35] A.Scherer, H.G. Craighead, E.D. Beebe, Gallium-arsenide and aluminum gallium-arsenide reactive ion etching in boron-trichloride argon mixtures. J. Vac. Sci. Technol. B, 5, 1599–1605,(1987).
- [36] K.Tsutsui, E.L.Hu, C.D.W. Wilkinson, Reactive ion etched II-VI quantum dots-dependence of etched profile on pattern geometry. Jpn. J. Appl. Phys. Part 1. 32, 6233–6236, (1993).
- [37] E.Chason, S.T.Picraux, J.M. Poate, J.O. Borland, M.I. Current, T.D. delaRubia, D.J. Eaglesham, O.W. Holland,; M.E. Law, C.W. Magee, J.W.Mayer, J. Melngailis, A.F. Tasch, Ion beams in silicon processing and characterization. J. Appl. Phys. 81, 6513–6561,(1997).
- [38] C. Burda, X.B. Chen, R. Narayanan, El-Sayed, M.A. Chemistry and properties of nanocrystals of different shapes. Chem. Rev. 105, 1025–1102, (2005).
- [39] D.Leonard, M.Krishnamurthy, C.M.Reaves, S.P. Denbaars, P.M. Petroff, Direct formation of quantum-sized dots from uniform coherent islands of InGaAs on GaAs-surfaces. Appl. Phys. Lett. 63,3203–3205, (1993).
- [40] S.H. Xin, P.D. Wang, A. Yin,; Kim, M. C. Dobrowolska, J.L. Merz, J.K. Furdyna, Formation of self-assembling CdSe quantum dots on ZnSe by molecular beam epitaxy. Appl. Phys. Lett., 69,3884–3886,(1996).
- [41] K. Leonardi, H. Selke, H. Heinke, K. Ohkawa, D. Hommel, F. Gindele, U. Woggon, Formation of self-assembling II-VI semiconductor nanostructures during migration enhanced epitaxy. J. Cryst. Growth, 184,259–263,(1998).
- [42] E. Kurtz, J.Shen, M . Schmidt, M. Grun, S.K. Hong, D. Litvinov, D. Gerthsen, T. Oka, T.Yao, C. Klingshirm, Formation and properties of self-organized II-VI quantum islands. Thin Solid Films, 367,68–74,(2000).
- [43] M.T. Swihart, Vapor-phase synthesis of nanoparticles. Curr. Opin. Colloid Interface Sci. 8,

- [68] M.C. Beard, R.J. Ellingson, Multiple exciton generation in semiconductor nanocrystals: Toward efficient solar energy conversion. *Laser Photonics Rev.* 2, 377–399,(2008).
- [69] G. Allan, C. Delerue, Influence of electronic structure and multiexciton spectral density on multiple-exciton generation in semiconductor nanocrystals: Tight-binding calculations, *Phys. Rev. B*, 77, 125340,(2008).
- [70] M.C. Beard, K.P. Knutsen, P.R.Yu, J.M. Luther, Q. Song, W.K. Metzger, R.J. Ellingson, A.J. Nozik, Multiple exciton generation in colloidal silicon nanocrystals. *Nano Lett.* 7, 2506–2512(2007).
- [71] A.J. Nozik, Quantum dot solar cells. *Physica E*, 14, 115–120,(2002).
- [72] V.I. Klimov, S.A. Ivanov, J. Nanda, M. Achermann, I. Bezel, J.A. McGuire, A. Piryatinski, Single-exciton optical gain in semiconductor nanocrystals. *Nature (London)*. 447, 441–446,(2007).
- [73] C.J. Wang, B.L. Wehrenberg, C.Y. Woo, Guyot-Sionnest, P. Light emission and amplification in charged CdSe quantum dots. *J. Phys. Chem. B*, 108, 9027–9031(2004).
- [74] J. Roither, S. Pichler, M.V. Kovalenko, W. Heiss, P. Feychuk, O. Panchuk, J. Allam, B.N. Murdin, Two- and one-dimensional light propagations and gain in layer-by-layer-deposited colloidal nanocrystal waveguides. *Appl. Phys. Lett.*, 89, 111–120.(2006).
- [75] B. Liu, H.P. Li, C.H. Chew, W.X. Que, Y.L. Lam, C.H. Kam, L.M. Gan, G.Q. Xu, PbSpolymer nanocomposite with third-order nonlinear optical response in femtosecond regime. *Mater. Lett.* 51, 461–469 (2001).
- [76] K.R. Choudhury, Y. Sahoo, P.N. Prasad, Hybrid quantum-dot-polymer nanocomposites for infrared photorefractivity at an optical communication wavelength. *Adv. Mater.* 17, 2877–2881,(2005).
- [77] D.P. Williams, A.D. Andreev, E.P. O'Reilly, Dependence of exciton energy on dot size in GaN/AlN quantum dots. *Phys. Rev. B*, 73, 241–301,(2006).
- [78] G.Q. Pan, M.E. Kordesch, P.G. Van Patten, New pyrolysis route to GaN quantum dots. *Chem. Mater.*, 18, 3915–3917.(2006).
- [79] S. Barik, H.H. Tan, C. Jagadish, N. Vukmirovic, P. Harrison, Selective wavelength tuning of self-multijunction solar cells. *Appl. Phys. Lett.*, 90, 183516,(2007).
- [57] H. Hoppe, N.S. Sariciftci, Organic solar cells: An overview. *J. Mater. Res.*, 19, 1924–1945,(2004).
- [58] Guldi, D.M.; Rahman, G.M.A.; Sgobba, V.; Kotov, N.A.; Bonifazi, D.; Prato, M. CNT-CdTe versatile donor-acceptor nanohybrids. *J. Am. Chem. Soc.*, 128, 2315–2323,(2006).
- [59] L.L. Han, D.H. Qin, X. Jiang, Y.S. Liu, L. Wang, J.W. Chen, Y. Cao, Synthesis of high quality zinc-blende CdSe nanocrystals and their application in hybrid solar cells. *Nanotechnology*, 17, 4736–4742,(2006).
- [60] C.C. Oey, A.B. Djuricic, H. Wang, K.K. Y. Man, W.K. Chan, M.H. Xie, Leung, Y.H. A. Pandey, J.M. Nunzi, P.C. Chui, Polymer-TiO₂ solar cells: TiO₂ interconnected network for improved cell performance. *Nanotechnology*, 17, 706–713,(2006).
- [61] D.C. Olson, J. Piris, R.T. Collins, S.E. Shaheen, D.S. Ginley, Hybrid photovoltaic devices of polymer and ZnO nanofiber composites. *Thin Solid Films*, 496, 26–29, (2006).
- [62] P. Michler, A. Imamoglu, M.D. Mason, P.J. Carson, G.F. Strouse, S.K. Buratto, Quantum correlation among photons from a single quantum dot at room temperature. *Nature (London)*, 406, 968–970,(2000).
- [63] D.H. Cui, J. Xu, T. Zhu, G. Paradee, S. Ashok, M. Gerhold, Harvest of near infrared light in PbSe nanocrystal-polymer hybrid photovoltaic cells. *Appl. Phys. Lett.* 88, 183111, (2006).
- [64] B. O'Regan, D.T. Schwartz, S.M. Zakeeruddin, M. Gratzel, Electrodeposited nanocomposite np heterojunctions for solid-state dye-sensitized photovoltaics. *Adv. Mater.* 12, 1263–1267, (2000).
- [65] S. Bereznev, I. Kononov, A. Opik, J. Kois, Hybrid CuInS₂/polypyrrole and CuInS₂ /poly(3,4-ethylenedioxythiophene) photovoltaic structures. *Synth. Met.*, 152, 81–84,(2005).
- [66] A.J. Nozik, Exciton multiplication and relaxation dynamics in quantum dots: Applications to ultrahigh-efficiency solar photon conversion. *Inorg. Chem.*, 44, 6893–6899,(2005).
- [67] J.J.H. Pijpers, R. Ulbricht, K.J. Tielrooij, A. Osherov, Y. Golan, C. Delerue, G. Allan, M. Bonn, Assessment of carrier-multiplication efficiency in bulk PbSe and PbS. *Nat. Physics*, 5, 811–814,(2009).

- [85] R. Weissleder, A clearer vision for in vivo imaging. *Nat. Biotechnol.*, 19, 316–317, (2001).
- [86] K.E. Sapsford, T. Pons, Medintz, I.L., H. Mattoussi, Biosensing with luminescent semiconductor quantum dots. *Sensors*, 925–953, (2006).
- [87] A. Sukhanova, M. Devy, Venteo, L.H. Kaplan, M. Artemyev, V. Oleinikov, D. Klinov, M. Pluot, J.H.M. Cohen, I. Nabiev, Biocompatible fluorescent nanocrystals for immunolabeling of membrane proteins and cells. *Anal. Biochem.* 324, 60–67, (2004).
- [88] M. Dahan, S. Levi, C. Luccardini, P. Rostaing, B. Riveau, A. Triller, Diffusion dynamics of glycine receptors revealed by single-quantum dot tracking. *Science*, 302, 442–445, (2003).
- assembled InAs quantum dots grown on InP. *Appl. Phys. Letter*, 88, (2006).
- [80] P.J. Cassidy, G.K. Radda, Molecular imaging perspectives. *J. R. Soc. Interface*, 2, 133–144, (2005)
- [81] P. Zrazhevskiy, X. Gao, Quantum dots for cancer molecular imaging. *Minerva Biotechnologica*, 21, 37–52, (2009).
- [82] E.M.C. Hillman, Optical brain imaging in vivo: Techniques and applications from animal to man. *J. Biomed. Optics*, 120, 51–402, (2007).
- [83] G.D. Luker, K.E. Luker, Optical imaging: Current applications and future directions. *J. Nucl. Med.* 49, 1–4, (2008).
- [84] W.W. Wu, A.D. Li, Optically switchable nanoparticles for biological imaging. *Nanomedicine* 2, 523–531, (2007).