

سنتز و بررسی خواص اپتیکی و ساختاری نانو ذره‌های پوسته/هسته CdS/ZnS

عاطفه امام دوست^۱، صابر فرجامی شایسته^{*}، مازیار مرندی^۲

۱- گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه گیلان

۲- گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه اراک

(دریافت مقاله: ۹۱/۱/۳۰، نسخه نهایی: ۹۱/۷/۱)

چکیده: در این پژوهش نانو ذرات CdS و پوسته/هسته (CdS/ZnS) با استفاده از روش سنتز شیمیایی مرطوب تهیه شدند و از 3-mercaptopropionic acid (MPA) به عنوان مولکول پوششی استفاده شد. اثر پوسته‌ی ZnS بر خواص اپتیکی و ساختاری CdS مورد بررسی قرار گرفت. شدت فوتولومینسانس (Intensity of photoluminescence) نانو ذرات CdS پس از پوشش پوسته‌ی ZnS افزایش یافت. طیف پراش پرتو X نانو ذرات CdS پس از گرمادهی در دمای اتاق، ساختار سولفور روی را نشان می‌دهد. همچنین طیف پراش پرتو X نانو ذرات CdS/ZnS به علت روی هم افتادگی خطوط طیف پراش CdS و ZnS پهن می‌شود. اندازه‌ی بلورکها در نانو ذرات CdS و CdS/ZnS با استفاده از رابطه‌ی دبی-شرر پیش از گرمادهی به ترتیب ۲/۷ و ۱/۷ نانومتر و پس از گرمادهی در دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتیگراد، ۳/۳ و ۱/۹ نانومتر به دست آمد. طیف FTIR، پوشانده شدن سطح نانو ذرات با مولکول پوششی MPA را به خوبی نشان می‌دهد. در تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) نانو ذرات CdS/ZnS، کوچک بودن نانو ذرات مشهود بود و انباشت دیده شده در تصویر ناشی از توزیع ناهمگن پودر روی توری نگاه دارنده‌ی نمونه هنگام تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی عبوری بوده است.

واژه‌های کلیدی: CdS، CdS/ZnS؛ خواص ساختاری؛ خواص اپتیکی؛ نانوذره؛ پوسته/هسته؛ هم‌نهشتی شیمیایی مرطوب.

مقدمه

نانو ذرات نیم‌رسانا به دلیل ویژگی‌های الکتریکی و اپتیکی منحصر به فردشان که اغلب متفاوت از خواص مواد کپه‌ای متناظرشان است، در سال‌های اخیر مورد بررسی بسیاری قرار گرفته‌اند [۲،۱]. نانو ذرات به عنوان یکی از ترکیبات کلیدی در بسیاری از زمینه‌ها مانند قطعات الکتریکی [۳-۵]، دارویی [۶]، ابررساناها [۷]، نیم‌رساناها [۸]، کاتالیزورها [۹]، به کار می‌روند. نانو ذرات مختلف از قبیل، فلزات [۱۰]، سولفیدهای فلزی [۱۱]، اکسیدها [۱۲]، سرامیک‌ها، کامپوزیت‌ها [۱۳] و پوسته/هسته

[۱۴] با فازهای بلوری، بی‌شکل و بس بلوری با ویژگی‌های مغناطیسی [۱۵]، مکانیکی و شیمیایی، اپتیکی و الکترونیکی بی‌نظیر با استفاده از روش‌های مختلف سنتز شده‌اند. نانو ذرات CdS یکی از مهمترین نیم‌رساناها در گروه II-VI، با پهنای گاف ۲/۵ eV که دارای ویژگی‌های برتری در نورتایی (Luminescence) و نور شیمی (Photochemistry) دارد. پوشاندن سطح نانو ذرات CdS روش مناسبی برای جلوگیری از تجزیه و بهبود عملکرد نورتایی این نانو ذرات است. برای بهتر پوشاندن سطح نانو ذرات CdS، ZnS با انرژی گاف بالاتر

$[CdS]/[ZnS] = ۲,۱۰,۱۰۰$ در نظر گرفته شده است (البته برای نسبت‌های دیگری نیز آزمایش شده است). برای به دست آوردن پودر برای آنالیز XRD، به محلول بالا اتانول اضافه کردیم. و سپس یک بار در دمای اتاق و بار دیگر در دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتیگراد در درون کوره خشک کردیم. فرایند ترکیب نانوذرات در شکل ۱ ارائه شده است.

روش‌های سرشتی یابی

اندازه‌ی نانو ذرات با استفاده از طیف پراش پرتو X، و با استفاده از دستگاه (XRD) مدل Philips pw 3710 با طول موج معین $\lambda = ۱/۵۴۲$ انگستروم مربوط به K_{α} عنصر مس به دست آمد. اندازه گیری جذب اپتیکی برای نانوذرات در طول موج‌های ۲۰۰-۸۰۰ نانومتر به وسیله‌ی طیف‌نمای UV-Vis مدل Carry100 انجام شد. طیف PL نمونه‌ها با طیف‌نمای فوتولومینسانس [نوررخشان] مدل Perkin Elmer LS-5، طیف FTIR با استفاده از Perkin Elmer و تصویر TEM و وسیله‌ی میکروسکوپ الکترونی تراگسیلی Philips CM100 به دست آمدند.

بررسی نتایج

بررسی اپتیکی نانوذرات پوسته/هسته CdS/ZnS

شکل ۲ طیف جذبی نانوذرات CdS و CdS/ZnS تهیه شده با نسبت‌های مولی مختلف را نشان می‌دهد. هنگام اندازه‌گیری طیف جذب، برای از بین بردن اثر باز تاب، از دو سل با ضخامت مختلف استفاده شد. طیف جذب نانوذرات CdS و $[CdS]/[ZnS] = ۲,۱۰,۱۰۰$ نسبت به حالت کپه‌ای ($\lambda = ۵۱۵$ nm) یک جابه‌جایی به سمت طول موج‌های آبی نشان می‌دهند، که به دلیل کوچکتر شدن اندازه‌ی نانوذرات و اثر تحدید کوانتومی است [۱۶].

طیف جذب نانوذرات پوسته/هسته CdS/ZnS با کاهش در نسبت‌های $[CdS]/[ZnS] = ۲,۱۰,۱۰۰$ ، به سمت طول موج-های آبی جابه‌جا شد که به دلیل کوچکتر بودن اندازه‌ی نانوذرات پوسته/هسته CdS/ZnS نسبت به نانوذرات CdS و نیز تشکیل پوسته‌ی نامنظم ZnS با گاف بزرگتر است. این جابه‌جایی آبی در کارهای پنگ و دابوسی به ترتیب در طیف جذب نانوذرات CdSe/CdS و CdSe/ZnS نیز دیده شده است [۱۷-۱۹].

(۳/۵ eV) و عدم برازش شبکه کمتر گزینه مناسبی است. در این مقاله، نانوذرات پوسته/هسته CdS/ZnS به روش سنتز شیمیایی مربوط تهیه شده و از 3-mercaptopropionic acid (MPA) به عنوان عامل پوششی استفاده شد. اگر چه مقاله‌های زیادی در مورد سنتز نانوذرات CdS/ZnS وجود دارد، ولی، در این پژوهش، یک روش ساده، کم هزینه، با سمیت کمتر و قابل کنترل را برای تهیه نانوذرات CdS/ZnS ارائه داده ایم. نانو ذرات سنتز شده با استفاده از طیف گسیلی، جذب^۱، پراش پرتو X^2 ، طیف سنجی تبدیل فوریه‌ی فرو سرخ^۳ (FTIR) و میکروسکوپ الکترون عبوری^۴ (TEM) مورد بررسی قرار گرفتند.

روش کار

دراین پژوهش از $Na_2S \cdot 9H_2O$ (Aldrich)، $CdCl_2$ (Merck)، $acid3-mercaptopropionicZn(NO_3)_2 \cdot 9H_2O$ (Merck)، آب دو بار تقطیر شده و محلول آبی NH_3 استفاده شد.

سنتز نانو ذرات CdS

به محلول آبی $۰/۰۰۲$ مولار $CdCl_2$ ، $۰/۰۱۷$ سی سی MPA اضافه می کنیم. سپس به وسیله NH_4OH ، PH محلول را به $۱۱/۲$ تغییر دادیم و به مدت یک ساعت و نیم در محیط گاز N_2 هم زدیم. سپس محلول $۰/۰۰۲$ مولار Na_2S را قطره قطره به محلول بالا اضافه کردیم. تغییر رنگ محلول به رنگ زرد، بیانگر تشکیل CdS می‌باشد. در این آزمایش نسبت MPA/ $CdCl_2$ / Na_2S به صورت $۲/۱/۱$ می‌باشد.

ترکیب نانوذرات پوسته/هسته CdS/ZnS

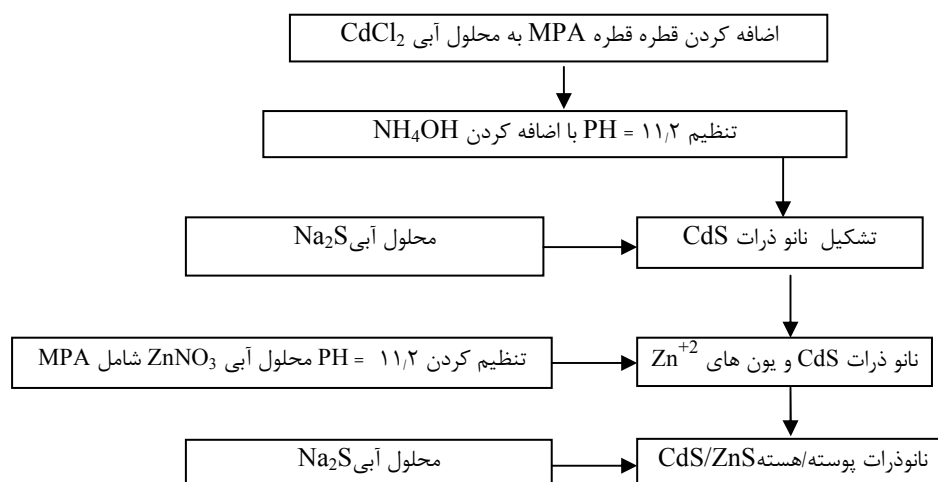
نخست به محلول آبی $Zn(NO_3)_2$ ، MPA اضافه می‌کنیم، سپس به وسیله NH_4OH ، PH محلول را به $۱۱/۲$ (در این حالت شدت طیف کسبیلی بیشینه می‌شود) تغییر دادیم و به مدت یک ساعت و نیم در محیط گاز N_2 هم زدیم. سپس برای ایجاد پوسته، محلول بالا را به آرامی به محلول CdS اولیه اضافه کردیم و پس از آن محلول آبی Na_2S را قطره قطره به محلول بالا افزوده تا یون‌های S^{2-} با یون‌های Zn^{+2} ترکیب شده و پوسته‌ی ZnS تشکیل شود. در این پژوهش نسبت

1- UV-Vis Absorption

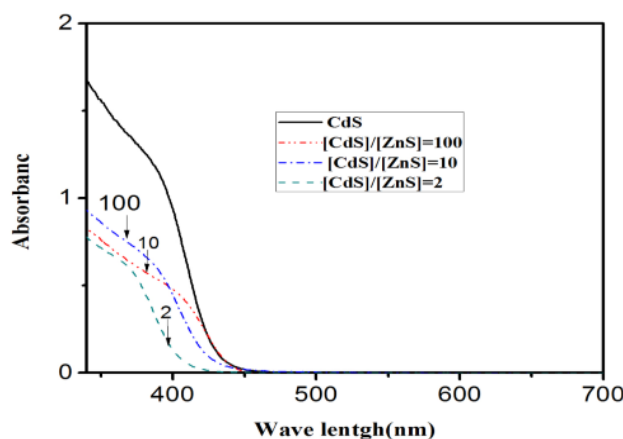
2- X Ray Diffraction Spectrum

3- Fourier Transform Infrared Spectroscopy

4- Transmission Electron Microscopy



شکل ۱ نمودار چرخه‌ی هم‌نهشت نانوذرات CdS/ZnS پوسته‌ی-هسته.

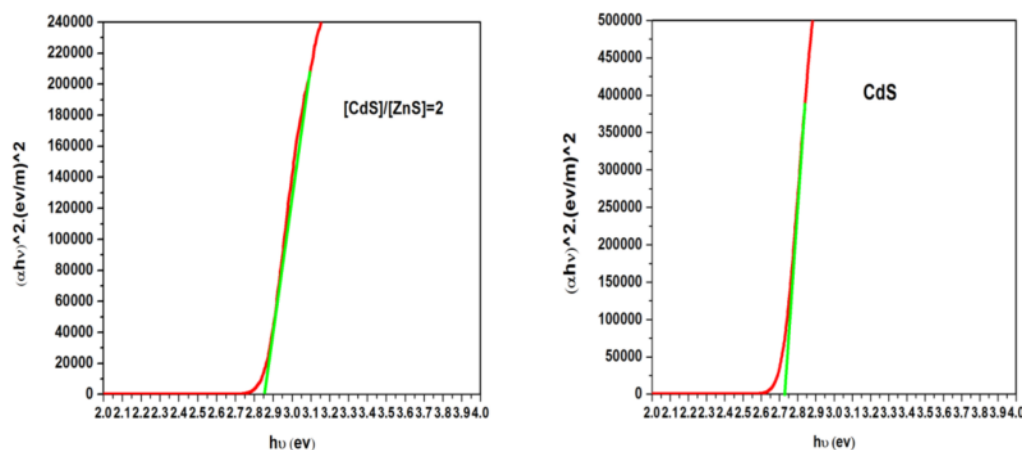


شکل ۲ طیف جذب نانوذرات CdS و $[CdS]/[ZnS] = 2, 10, 100$

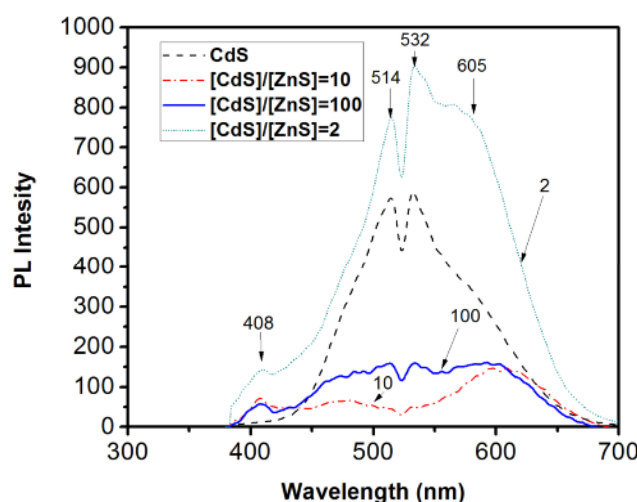
برای محاسبه گاف انرژی از تقریب جرم موثر و رسم نمودار $ah\nu^2$ بر حسب $h\nu$ استفاده کردیم. چنانکه از شکل ۳ پیداست، گاف انرژی اپتیکی نانوذرات CdS، 2.7 eV و گاف انرژی اپتیکی نانوذرات پوسته/هسته $[CdS]/[ZnS] = 2$ ، 2.8 eV بدست آمد که با جابه‌جایی به سمت طول موج‌های آبی طیف جذب و اثر تحدید کوانتومی در توافق است.

در شکل ۴ طیف فوتولومینسانس [نوررخشان] نانوذرات CdS و $[CdS]/[ZnS] = 2, 10, 100$ با طول موج برانگیختگی 360 nm نانومتر دیده می‌شوند. در طیف گسیلی نانوذرات پوسته/هسته چهار قله در طول موج‌های $408, 514, 532$ و 605 nm نانومتر مشاهده می‌شوند. با توجه به طیف جذب، قله‌ی مشاهده شده در 408 nm نانومتر مربوط به گسیل لبه نواری و قله‌های مشاهده شده در 514 و 532 nm مربوط به گسیل نور سبز ناشی از گسیل تله‌ها و ترازهای سطحی و قله‌ی 605 nm نانومتر

ناشی از باز ترکیب تابشی الکترون و حفره در تهی جاهای سولفور (Sulfur) است [۲۵-۲۰]. برای نسبت ۲، شدت گسیل PL نانوذرات پوسته/هسته CdS/ZnS، افزایش یافته است. برانگیختگی شدت طیف گسیلی را می‌توان بر مبنای ارتباط بین نواری در سطح تماس هسته (CdS) و پوسته (ZnS) غیرمنظم دانست. به این دلیل که پوسته جفت‌های الکترون-حفره برانگیخته به طریق نوری را در سطح هسته مقید می‌نماید و این فرایند سبب خنثی سازی باز ترکیب گذارهای غیرتابشی شده و در نتیجه شدت گسیل افزایش می‌یابد [۲۶]. این پدیده بیانگر تشکیل موفقیت آمیز پوسته ZnS به دور هسته CdS است [۲۷]. با کاهش غلظت پوسته‌ی ZnS شدت گسیل PL نانوذرات CdS کاهش یافته است که نشان می‌دهد با کاهش غلظت پوسته، پوشش سطح نانوذرات CdS به خوبی صورت نگرفته است [۲۹، ۲۸].



شکل ۳ نمودار $(ah\nu)^2$ بر حسب $h\nu$ نانوذرات CdS و CdS/ZnS.



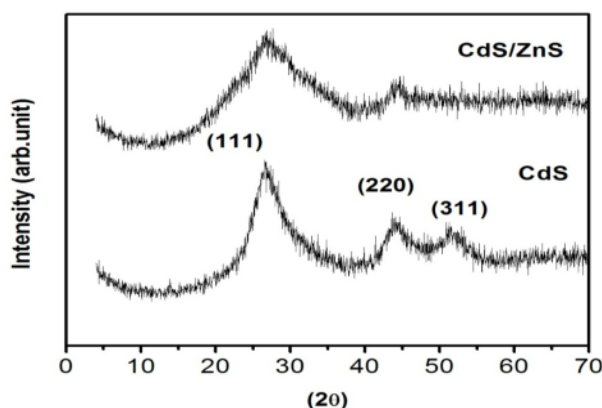
شکل ۴ طیف فوتولومینسانس نانوذرات CdS و $[CdS]/[ZnS] = 2, 10, 100$.

بررسی ساختاری نانوذرات CdS و CdS/ZnS

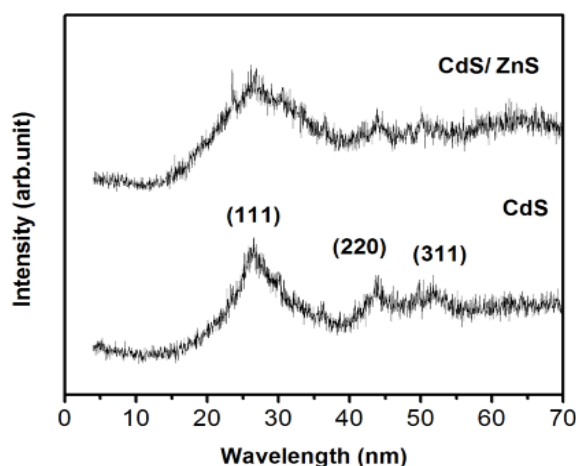
در شکل ۵ و ۶ طیف پراش پرتو X نانوذرات CdS و CdS/ZnS که به ترتیب، در دمای اتاق و دمای 100°C خشک شده‌اند مشاهده می‌شود. طیف پراش پرتو X نانوذرات CdS در دمای اتاق دارای خطوطی در زاویه‌های (2θ) ۲۷/۳، ۴۴/۵ و ۵۱/۴ درجه است، که معرف بازتاب سازنده از صفحات (۱۱۱)، (۲۲۰) و (۳۱۱) هستند، و بیانگر ساختار مکعبی (سولفور روی) است. چنانکه از شکل پیداست طیف پراش پرتو X نانوذرات CdS/ZnS نسبت به CdS کمی به سمت زاویه‌های بزرگتر جابه‌جا شده است ولی نسبت به طیف پراش پرتو X نانوذرات ZnS جابه‌جایی کمی به سمت زاویه‌های کوچکتر است. پهن بودن خطوط طیف، از سرشتی‌های بلوری مواد نانومتری است. خطوط طیف نانوذرات CdS/ZnS نسبت به طیف نانوذرات CdS پهن‌تر است. از آنجاکه خطوط

طیف پراش ZnS و CdS بسیار به هم نزدیک‌اند احتمال روی هم افتادگی خطوط طیف پراش این دو ماده زیاد است. از طرف دیگر به دلیل اینکه پوسته‌ی تشکیل شده بی نظم است میزان بلورینگی نانوذرات CdS/ZnS کم است [۳۱،۳۰]. چنانکه از شکل ۶ پیداست، پس از گرمادهی طیف پراش پرتو X و ساختار نانوذرات تغییر چندانی نکرده‌اند. اندازه نانوذرات CdS/ZnS با استفاده از رابطه‌ی دبی-شرر پیش از گرمادهی به ترتیب ۲/۷ و ۱/۷ نانومتر و پس از گرمادهی ۳/۳ و ۱/۹ نانومتر به دست آمده‌اند [۳۲].

نتایج بدست آمده بیانگر این است که در فرایند ساخت، آلیاژ $Cd_{1-x}Zn_xS$ تشکیل نشده است، زیرا در این صورت با گرمادهی آلیاژ همگن و بزرگ شدن ذرات، خطوط پراش بطور چشمگیری باریک می‌شد. [۳۳].



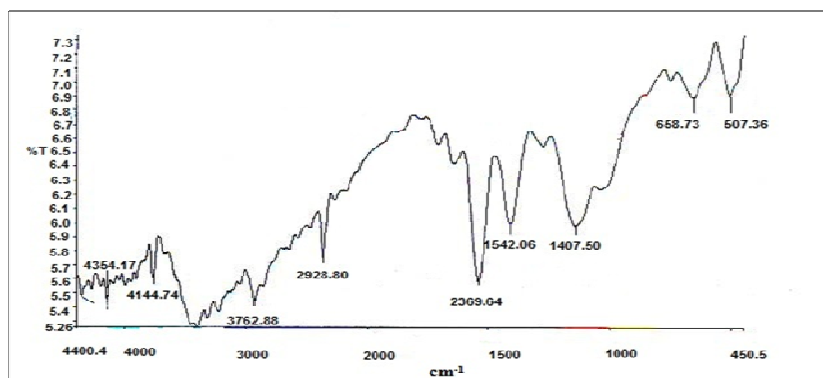
شکل ۵ طیف پراش پرتو X نانوذرات CdS و $[CdS]/[ZnS] = ۲$ در دمای اتاق.



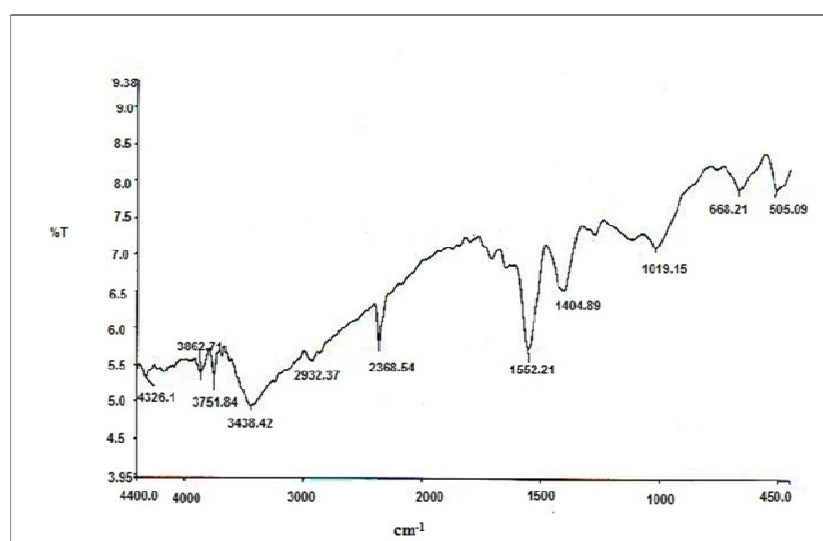
شکل ۶ طیف پراش پرتو X نانوذرات CdS و $[CdS]/[ZnS] = ۲$ پس از گرمادهی در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد.

از آنجا که پوشانیده شدن ذرات سولفید با تیول‌ها به این صورت است که نخست گروه مرکپتو، هیدروژن خود را از دست می‌دهد و سایر شکل ۸ به سطح نانوذرات وصل می‌شود، بودن قله‌ی مربوط به پیوند CH_2 و ناپدید شدن قله‌ی مربوط به پیوند S-H در طیف نانوذرات CdS و CdS/ZnS پوشاندن سطح نانوذرات توسط مولکول MPA را به خوبی نشان می‌دهد. وجود قله‌ی مربوط به پیوند OH به این علت است که برهمکنش با CdS و CdS/ZnS از طریق پیوند هیدروژنی است. این سازوکار برهمکنش به این دلیل پیوند هیدروژنی به نظر می‌رسد که این نانوذرات در محلولی که شامل مقدار زیادی از گروه هیدروکسیل است رشد می‌کنند که جایگاه‌های فعالی محسوب می‌شوند و با محیط اطراف خود با پیوند هیدروژنی برهمکنش دارند. بنابراین طیف FTIR، پوشانده شدن سطح نانوذرات CdS و CdS/ZnS را به خوبی نشان می‌دهد [۳۵، ۲۵].

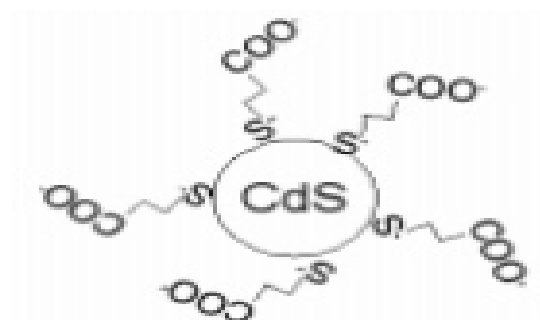
در شکل ۷-الف طیف FTIR نانوذرات CdS و در شکل ۷-ب طیف FTIR نانوذرات پوسته‌ی/هسته CdS/ZnS رسم شده‌اند. نوارهای جذب IR برای ملکول MPA در ۳۰۳۴ cm^{-1} (νOH), ۲۹۴۶ cm^{-1} (νCH_2), $۲۶۷۰-۲۵۵۰\text{ cm}^{-1}$ ($\nu S-H$), ۱۷۰۷ cm^{-1} ($\nu C=O$), $۲۶۷۰-۲۵۵۰\text{ cm}^{-1}$ ($\nu C-O$), ۱۴۲۶ cm^{-1} ($\nu C-O$), ۱۲۵۰ cm^{-1} (νS), ۹۴۰ cm^{-1} (δOH) بوده‌اند، که این نوارهای جذب IR برای نانوذرات CdS، ۳۵۰۰ cm^{-1} (νOH), ۲۹۲۸ cm^{-1} (νCH_2), ۱۵۴۲ cm^{-1} (νS), ۱۴۰۷ cm^{-1} ($\nu C-O$), ۱۱۴۰ cm^{-1} ($\nu C-S$), ۶۵۸ cm^{-1} ($\nu C-S$) بودند. این نوارهای جذب IR به ترتیب برای نانوذرات زیر برابرند با ZnS، ۳۴۳۸ cm^{-1} (νOH), ۲۹۳۲ cm^{-1} (νCH_2), ۱۴۰۴ cm^{-1} ($\nu C-S$), ۱۵۵۲ cm^{-1} (νS), ۱۰۱۹ cm^{-1} ($\nu C-O$) و ۶۶۸ cm^{-1} (νS) [۳۴].



شکل ۷-الف طیف FTIR نانوذرات CdS.



شکل ۷-ب طیف FTIR نانوذرات پوسته‌ای/هسته CdS/ZnS.



شکل ۸ تصویر نموداری از پوشاندن سطح نانوذرات CdS به وسیله‌ی گروه تیول MPA [۲۵].

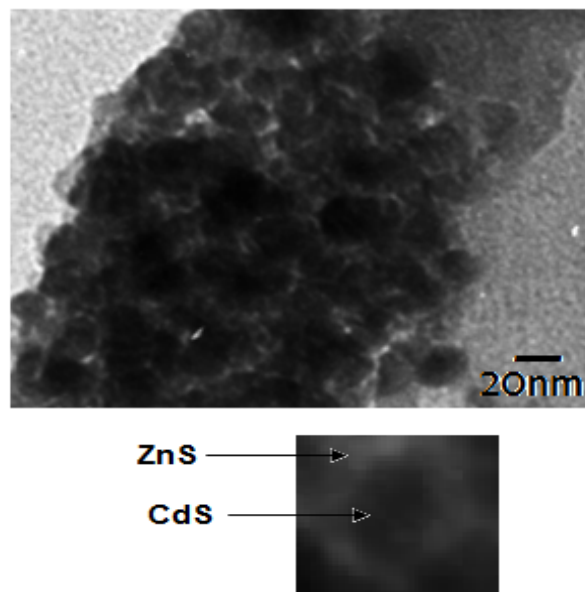
دست آمده از طیف XRD دارد. نانو ذرات CdS با نقاط سیاه رنگ و پوسته‌ی ZnS با رنگ خاکستری مشخص شده‌اند. انبوهش دیده شده در تصویر به دلیل فرایند خشک‌سازی محلول ذرات روی توری مسی نگاه دارنده‌ی نمونه هنگام گرفتن تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری است.

در شکل ۹ تصویر TEM نانوذرات پوسته/هسته CdS/ZnS آورده شده است. برای تهیه نمونه، ابتدا نانوذرات را درون اتانول پراکنده کرده و سپس یک قطره از محلول را روی توری مسی که با کربن پوشیده شده می‌پاشیم تا خشک شود. میانگین اندازه‌ی ذرات با شمردن اندازه‌ی ۲۰ ذره در تصویر به طور تقریبی ۳nm به دست آمد که اختلاف بسیار کمی با اندازه‌ی به

نانومتر و پس از گرمادهی ۳/۳ و ۱/۹ نانومتر به دست آمده‌اند. طیف FTIR، پوشانده شدن سطح نانوذرات CdS و CdS/ZnS با مولکول MPA را به خوبی نشان می‌دهد. تصویر TEM ساختار پوسته/هسته نانوذرات CdS/ZnS را نشان می‌دهد.

مراجع

- [1] Alivisatos A.P., "Semiconductor Clusters, Nanocrystals, and Quantum Dots", Science 271 (1996) 933.
- [2] Moriarty P., "Nanostructured materials", Rep. Prog. Phys. 64 (2001) 297.
- [3] Shipway A.N., Katz E., Willner I., "Nanoparticle arrays on surfaces for electronic, optical and sensoric applications", Chem. Phys. Chem. 1 (2000) 18.
- [4] Hao E., Sun H., Zhou Z., Liu J., Yang B., Shen J., "Synthesis and Optical Properties of CdSe and CdSe/CdS Nanoparticles", Chem. Mater. 11 (1999) 3096.
- [5] Zhou H.S., Honma I., Haus J.W., Sasabe H., Komiyama H., "Synthesis and optical properties of coated nanoparticle composites", J. Lumin. 70 (1996) 21.
- [6] Sahoo S.K., De T.K., Ghosh P.K., Maitra A., "pH- and Thermo-sensitive Hydrogel Nanoparticles", J. Colloid Interface Sci. 206 (1998) 361.
- [7] Kumar P., Pillai V., Shah D.O., "Preparation of Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O oxide superconductors by coprecipitation of nanosize oxalate precursor powders in the aqueous core of water in oil microemulsions", Appl. Phys. Lett. 62 (1993) 765.
- [8] Correa-Duarte M.A., Giersig M., Liz-Marzan L.M., "Stabilization of CdS Semiconductor Nanoparticles Against Photodegradation by a Silica Coating Procedure", Chem. Phys. Lett. 286 (1998) 497.
- [9] Ung T., Liz-Marzan L.M., Mulvaney P., "Redox Catalysis Using Ag@SiO₂ Colloids", J. Phys. Chem. B 103 (1999) 6770.
- [10] Bagwe R.P., Khilar K.C., "Effects of Intermicellar Exchange Rate on the Formation of Silver Nanoparticles in Reverse Microemulsions of AOT", Langmuir 16 (2000) 905.
- [11] Suzuki K., Harada M., Shioi A., "Growth mechanism of CdS ultrafine particles in water in oil microemulsion", J. Chem. Eng. Jpn. 29 (1996) 26.
- [12] Hingorani S., Pillai V., Kumar P., Multani M.S., Shah D.O., "microemulsion mediated



شکل ۹ تصویر TEM نانوذرات پوسته/هسته CdS/ZnS در مقیاس ۲۰ nm و تصویر یک تک ذره.

برداشت

نانوذرات CdS و نانوذرات پوسته/هسته (CdS/ZnS) با استفاده از روش سنتز شیمیایی مرطوب تهیه و از 3-mercaptopropionic acid (MPA) به عنوان مولکول پوششی استفاده شد. وجود پوسته‌ی ZnS در نسبت $[CdS]/[ZnS] = 2$ به دلیل خنثی کردن بازترکیب‌های غیرتابشی در سطح هسته باعث افزایش شدت تراگسیل نانوذرات CdS شده است. با کاهش غلظت پوسته، پوشش سطح نانوذرات CdS به خوبی صورت نگرفته است و شدت PL کاهش یافته است. به دلیل کوچکتر بودن اندازه‌ی نانو ذرات پوسته/هسته CdS/ZnS نسبت به نانوذرات CdS و نیز تشکیل پوسته‌ی نامنظم ZnS با گاف بزرگتر باعث جابه‌جایی آبی در طیف جذب شده است. طیف پراش پرتو X نانوذرات CdS در دمای اتاق و ۱۰۰ درجه بیانگر ساختار آمیزه‌ی روی (Zinc Blende) این نانوذرات است. به دلیل نزدیک بودن خطوط طیف پراش ZnS و CdS و احتمال روی هم افتادگی آنها، خطوط پراش طیف نانوذرات CdS/ZnS نسبت به طیف نانوذرات CdS پهن تر است و مکان خطوط پراش نمونه‌های پوسته‌ی هسته نسبت به خطوط CdS به سمت ZnS جابه‌جایی شده‌اند. اندازه‌ی نانوذرات CdS و CdS/ZnS با استفاده از رابطه دبای-شرر قبل از گرمادهی به ترتیب ۲/۷ و ۱/۷

- [24] HuiLi., Wan Y. Shih., Wei-Heng Shih., "Synthesis and Characterization of Aqueous Carboxyl-Capped CdS Quantum Dots for Bioapplications", Ind. Eng. Chem. Res 46 (2007) 2013.
- [25] Mandal S., Rautaray D., Sanyal A., Sastry M., "Synthesis and Assembly of CdS Nanoparticles in Keggin Ion Colloidal Particles as Templates", J. Phys. Chem. B 108 (2004) 7126.
- [26] Cristiane W. Raubach., Yuri V.B. de Santana., Mateus M. Ferrer., Valéria M. Longo., José A. Varela., Waldir Avansi Jr., Prescila G.C. Buzolin, Júlio R. Sambrano, Elson Longo., "Strutural and optical properties of CdS@ZnS core-shell system", Chemical Physics Letters 536 (2012) 96.
- [27] Heesun Yanga., Paul H. Holloway, "Photoluminescent and electroluminescent properties Of Mn-doped ZnS nanocrystals", Appl. Phys. Lett. 82 (2003) 12.
- [28] Lin Yao., Guiying Xu., Xiaodeng Yang., Yuxia Luan., "CdS@SiO₂ nanoparticles synthesized from polyoxyethylene (10) tertocetylphenyl ether based reverse microemulsion", Colloids and Surfaces A 333 (2009) 1.
- [29] L.M. Qi., H. Cölfen., M. Antonietti, "Synthesis and Characterization of CdS Nanoparticles Stabilized by Double-Hydrophilic Block Copolymers", Nano Lett. 1 (2001) 61.
- [30] HaoZeng, Jing Li., Z. L. Wang., J. P. Liu., Shouheng Sun., "Bimagnetic Core/Shell FePt/Fe₃O₄ Nanoparticles", Nano Lett. 4 (2004) 187.
- [31] Aparna Deshpande, Pallavi Shah, R.S. Gholap, Narendra M. Gupta, " Journal of Colloid and Interface Science", 333 (2009) 263.
- [32] Patterson A.L., "The Scherrer Formula for X-Ray Particle Size Determination", 56 (1939) 978.
- [33] D.F. Fang, Z.M. Zhang, Z.P. Wangand Z.J. Ding., "Study of Photoluminescence of CdS/ZnS Core/Shell Quantum Dots", Physics Proced. 32 (2012) 920.
- [34] Chen Bo., Zhong Ping., Anal Bioanal Chem, 17 (2006) 3812.
- [35] Kwanhwi Park., Hong Jeong Yu., Won Keun Chung., Byung-Jea Kim., Sung Hyun Kim., "Effect of heat-treatment on CdS and CdS/ZnS nanoparticles", J Mater. Sci. 44 (2009) 4315.
- synthesis of zinc-oxid nanoparticle for varistor studies ", Mater. Res. Bull. 28 (1993) 1303.
- [13] Meldrum A., Haglund R.F., Boatne L.A., White C.W., "Nanocomposite Materials Formed by Ion Implantation", Adv. Mater. 13 (2001) 1431.
- [14] Abid J.P., Girault H.H., Brevet P.F., "Selective Structure Changes of Core-Shell Gold-SilverNanoparticles by Laser Irradiation : Homogeneisation vs SilverRemoval", Chem. Commun. 9 (2001) 829.
- [15] Pillai V., Kumar P, Shah D.O., "Magnetic properties of barium ferrite synthesized using a microemulsion mediated process" J. Magn. Magn.Mater. 116 (1992) L299.
- [16] Zhang M., Drechsler M., Axel H.E., "Template-Controlled Synthesis of Wire-Like Cadmium Sulfide Nanoparticle Assemblies within Core-Shell Cylindrical Polymer Brushes", Chem. Mater. 16 (2004) 537.
- [17] Peng X.G., Schlamp M.C., Kadavanich A.V., Alivisatos A.P., "Epitaxial Growth of Highly Luminescent CdSe/CdS Core/Shell Nanocrystals with Photostability and Electronic Accessibility", J. Am. Chem. Soc. 119 (1997) 7019.
- [18] Dabbousi B.O., Rodriguez-Viejo J., Mikulec F.V., Heine J.R., Mattoussi H., Ober R., Jensen K.F., Bawendi M.G., "CdSe)ZnS Core-Shell Quantum Dots: Synthesis and Characterization of a Size Series of Highly Luminescent Nanocrystallites", J. Phys. Chem. B 101 (1997) 9463.
- [19] Myriam Protiere., Peter Reiss., "Facile synthesis of monodisperse ZnS capped CdS nanocrystals exhibiting efficient blue emission", Nanoscale Res. Lett. 1 (2006) 62.
- [20] Zhong X. H., Xie R. G., Zhang Y., Basche T., Knoll W., "High-Quality Violet- to Red-Emitting ZnSe/CdSe Core/Shell Nanocrystals", Chem. Mater 17(2005)4038.
- [21] Holmes J.D., Bhargava P.A., Korgel B.A., Johnston K.P., "Synthesis of Cadmium Sulfide Q Particles in Water-in-CO₂ Microemulsions", Langmuir 15 (1999) 6613.
- [22] Wang Y., Meng G., Zhang L., Liang C., Zhang J., "Catalytic Growth of Large-Scale Single-Crystal CdS Nanowires by Physical Evaporation and Their Photoluminescence", Chem. Mater 14 (2002) 1773.
- [23] Tata M., Banerjee S., John V.T., Waguespack Y., McPherson G.L., " Fluorescence quenching of CdS nanocrystallites in AOT water-in-oil microemulsions", Colloid Surf. A 127 (1997) 39.