

# کنترل مورفولوژی و ساختار کریستالی نانوکریستالهای کادمیم سلنید توسط تغییر نسبت حجمی بین اتانول آمین و اتیلن دی آمین در محلول ترکیبی از آنها

وحيد ضرغامي، محمدرضا محمدي

دانشکده مهندسی و علم مواد، دانشگاه صنعتی شریف

Zarghami.mse@gmail.com

چکیده: مورفولوژی و اندازه ذرات نانوکریستالهای کادمیم سلنید میتواند با تغییر نسبت حجمی حلالهای اتانول آمین و اتیلن دی آمین در محلول ترکیبی از آنها در فرایند سولووترمال کنترل شود. طیف XRD تمام نمونهها داشتن ساختار کریستالی وورتزیت را نشان داد. اندازه بلورکها با افزایش نسبت اتانول آمین کاهش مییابد. تصاویر FE-SEM تشکیل نانوذرات و نانومیلههایی با شکل و ابعاد مختلف را نشان دادند. با افزایش نسبت اتیلندی آمین به اتانول آمین ساختار شد. همچنین مکانیزم شکل گیری مورفولوژیهای مختلف از مکانیزم SCMT تبعیت میکند. نهایتا طیف FTIR، تشکیل نانو کریستالهای کادمیم سلنید را در هر یک از نمونهها در محل پیک در حدود <sup>1</sup>

#### ۱– مقدمه

نیمه رساناهای گروه II-IV دارای خواص فتوالکتریک منحصر به فردی بوده و پتانسیل خوبی برای استفاده در ابزارهای اپتوالکترونیک، مواد لومینسنس، لیزرها و نشانه گذاریهای بیولوژیکی دارند (۱) و (۲). از جمله این مواد میتوان به مواردی چون ZnO و BeO و ZnS و CdS و CdS و ZnS اشاره کرد (۳) و (۴). از این بین CdSe به دلیا دارا بودن خواص اپتوالکترونیک مناسب، یکی از نیمه رساناهای مهم در ساخت سلولهای خورشیدی نانوساختار میباشد. شکاف انرژی CdSe دمای از دمای اتاق برابر با vo 1/va میباشد (۱). این مقدار انرژی در ناحیه فروسرخ قرار دارد و مقدار آن نزدیک طول موجهای نورمرئی و نور قرمز است. به این دلیل این نیمه هادی نسبت به طول موجهای ناحیه فروسرخ شفاف است.

به طور کلی ترکیبات نیمه هادیهای خانوده II-IV مواد سمی و خطرناک هستند. به این جهت کادمیم سیلند نیمه رسانایی خطرناک برای محیطزیست محسوب می شود. این علت باعث می شود تا استفاده از این نیمه هادی به عنوان یک ترکیبی مناسب در کاربردهای مختلفی که در ارتباط با محیط زیستاند محدود شود (۵).

برای تهیه نانوساختارهای CdSe روشهای متعددی وجود دارد. از جمله این روشها می توان به مواردی چون سونوشیمی، رسوبدهی الکتروشیمیایی، سل- ژل، میکرو و نانو امولسیون، هیدروترمال و سلووترمال اشاره کرد (۶) و (۷) و (۸). امروزه فرایند سلووترمال به یکی از روشهای قابل اطمینان برای تولید انواع نانو ساختارها تبدیل شده است. مهمترین عاملی که بر خواص نانوساختارهای کادمیم سلنید اثرگذار میباشد مورفولوژی و ساختار کریستالی این مواد میباشد. یکی از مهمترین مزیتهای فرایند سلووترمال آسانی کنترل مورفولوژی و ریزساختار میباشد. از جمله مهمترین عواملی که بر این فرایند موثر هستند مواردی چون حلال، دما و زمان، مقدار و نوع آغازگرها میباشند (۸).

برای انجام این فرایند خواص فیزیک و شیمیایی حلال به شدت موثر میباشد و اغلب حلالهایی مورد استفاده قرار می گیرند که خاصیت احیا کنندگی و یا ایجاد کنندگی کمپلکس داشته باشند (۹).

به طور کلی حلالهایی که دارای گروه NH<sub>2</sub> هستند در فرایند ایجاد نانوساختارهای CdSe با ساختار بلند روی مـوثر هـستند و باعث شکل گیری این ساختار میشوند که در اتانول آمین، اتیلن دیآمین این اتفاق میافتد (۱۰)که البته این مـسئله اسـتثناهایی هم مانند دیاتیلنآمین دارد که در آن ساختار ووتزیت کامل میشود (۱۱).

دمای عملیات در فرایند سلووترمال بر اندازه ی ذرات، مورفولوژی و درجه ی کریستالی شدن اثر زیادی دارد. معمولا با افزایش دما اندازه ی ذرات بزرگ می شود و از نظر شکل، ذرات نامنظم و گوشه دار می شوند. درجه تبلور ذرات نیز افزایش می یابد. در دمای پایین ساختار ریزتر بوده و با افزایش دما ساختار درشت تر می شود و زمان نیز اثر مشابه دارد (۱۲) و همچنین افزایش دما تا یک حدی باعث افزایش طول نانو وایرها می شود ولی اگر از یک حدی بالاتر برود منجر به رشد جانبی و ضخیم تر شدن سیمها می گردد (۱۳). در این تحقیق برای تولید نانو کریستال های کادمیم سلنید از دو حلال اتانول آمین و اتیلن دی آمین به صورت ترکیبی استفاده گردید و اثر نسبت این دو حلال بر روی ساختار کریستالی و مورفولوژی کادمیم سلنیدهای به دست آمده مورد مطالعه قرار گرفت.

## ۲- مواد و روش تحقیق

در این تحقیق کادمیم نیترات ۴ آبه (Cd(NO<sub>3</sub>)2.4H<sub>2</sub>O) با درجه خلوص ۹۹ درصد (Fluka, USA)، سلنیم دی اکسید با درجه خلوص ۹۹/۵ درصد (Aldrich, UK) به ترتیب به عنوان شروع کنندههای منبع کادمیم و سلنیم مورد استفاده قرار گرفتند. از حلالهای اتانول آمین و اتیلن دی آمین با درجه خلوص ۹۹/۵ درصد (Merck, Germany) استفاده گردید. در این آزمایش کادمیم استات (به مقدار ۲/۲۵۲ گرم) و سلنیم دی اکسید (به مقدار ۲۵/۰۷ گرم) داخل یک بـشر ریختـه سـپس یک مقدار مناسب از حلالها (مطابق جدول ۱) را به آن اضافه می کنیم تا حجم محلول به ۳۲ میلی لیتر برسد اجازه می دهـیم که محلول به مدت چند دقیقه (۵ الی ۱۰ دقیقه) هم بخورد سپس محلول را به یک اتوکلاو ۴۵ میلی لیتری انتقال می دهیم. اتوکلاو سیل شده و به مدت ۱۸ ساعت در دمای ۲۵۰° قرار می گیرد سپس آن را تا دمای اتاق به طور عـادی سـرد می کنـیم. نهایتا

V <sub>en</sub> :V <sub>eth</sub>	مقدار اتانول آمين	مقدار اتیلن دی آمین	اسم نمونه
0:4	32 ml	0	CdSe 04
1:3	24 ml	8 ml	CdSe 13
3:1	8 ml	24 ml	CdSe 31
4:0	0	32 ml	CdSe 40

جدول ۱- نسبت و میزان حلالها برای تولید نانوساختارهای CdSe در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد، زمان ۱۸ ساعت.

۲۶ شمارهی ۳ زمستان ۱۳۹۱

در این بررسی نوع فاز کریستالی توسط آزمون پراش اشعه ی ایکس با استفاده از یک دستگاه Philips E'pert PW3020 و با تابش Cu Ka و به کمک نرم افزار Xpert High Score تعیین گردید. مورفولوژی توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی FE-SEM JEOL 6340 مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی نوع پیوندهای تشکیل شده از آزمایش طیف سنجی تبدیل فوریه (FTIR) به کمک دستگاه Bruker Optics Tensor 27 استفاده گردید.

#### ۳- نتايج و بحث

اثر چهار نسبت حجمی مختلف اتیلن دی آمین به اتانول آمین همان طور که در جدول ۱ ارائه شد، بـر مورفولـوژی و ریـز سـاختار CdSe سنتز شده مورد مطالعه قرار گرفت.

شکل ۱: الگوی XRD نانوساختارهای CdSe سنتز شده در دمای ۲۰°۸۰ به مدت ۱۸ ساعت در نسبتهای مختلف اتیلن دی آمین به اتانول آمین را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود در کلیه ی نسبتها ساختار CdSe مطابق با شماره کارت JCPDS:00-008-0459 دارای شبکه ورتزیت می باشد که ثوابت شبکه در آن برابر 2900 مطابق با شماره کارت می باشد. در نسبت حجمی ۲:۰ و ۳: ۱ اتیلن دی آمین به اتانول آمین (شکل ۱: 40 -CdSe و 21 -CdSe) جهات مرجح رشد نانوساختارهای CdSe در 20.91 دارای شبکه ورتزیت می باشد که ثوابت شبکه در آن برابر CdSe مطابق با شماره کارت نانوساختارهای CdSe در 20.91 دارای شبکه ورتزیت می باشد که ثوابت شبکه در آن برابر CdSe مع در استای موجع رشد نانوساختارهای CdSe در 20.91 در استای صفحه (100) و 25.92 -40 درجه در راستای صفحه (000) می باشد و اندازه متوسط بلور کهای کادمیم سلنید مطابق رابطه شرر به ترتیب برابر با 3.44 و 20.10 نانوساختارهای CdSe در و ۰ : ۴ اتیلن دی آمین به اتانول آمین (شکل ۱: 40 -26) و 21 -26) می باشد و در 19 دازه متوسط بلور کهای کادمیم سلنید مطابق رابطه شرر به ترتیب برابر با 20.45 و 20.01 نانومتر است. در نسبت حجمی ۲:۰ و ۰ : ۴ اتیلن دی آمین به اتانول آمین (شکل ۱: 40 -26) و 21 -26) جهات مرجح رشد نانوساختارهای CdSe در 24.19 در 24.19 در 24.19 مین (شکل ۱: 20 -25.40 و 21 -26) می باشد و اندازه متوسط بلور کهای کادمیم سلنید در این حالتها مطابق رابطه شرر به ترتیب برابر با 3.01 و 20.01 می باشد و اندازه متوسط



شکل ۱– الگوی XRD نانوساختارهای CdSe سنتز شده در دمای ۲۵۰°۲ به مدت ۱۸ ساعت در نسبتهای مختلف اتیلندیآمین به اتانول آمین

<sup>1</sup> Fourier transform infrared spectroscopy



شکل ۲– تصویر FE-SEM نانوساختارهای CdSe سنتز شده در دمای ۲۰°۱۸ به مدت ۱۸ ساعت در نسبتهای مختلف اتیلندیآمین به اتانول آمین: الف) CdSe- 40، ب) CdSe- 31، ج) CdSe- 13، د) CdSe- 04.

شکل۲ تصویر FE-SEM نانوساختارهای CdSe سنتز شده در دمای ۲۵۰°۲۰ به مدت ۱۸ ساعت در نسبتهای مختلف اتیلندی آمین به اتانول آمین را نشان میدهد. همان طور که مشاهده می شود در حضور اتیلن دی آمین خالص (شکل۲:الـف)

> ۱۳۹۱ شمارهی ۳ زمستان ۱۳۹۱ *www.SID.ir*

ساختار به صورت نانو ذرات می باشد. در این حالت اندازه متوسط ذرات CdSe در حدود Chen می باشد. در نسبت حجمی اتیلن دی آمین به اتانول آمین برابر ۳ : ۱ (شکل ۲:۰۰) ساختار CdSe به صورت نانو میله هایی بوده که در راستای قطر کشیده شده اند و تمایل به صفحه شدن پیدا کرده اند. قطر متوسط این نانومیله ها برابر با ۲۰۰ ۳ و طول آنها در حدود 0.5 میکرومتـر می باشد. در نسبت حجمی اتیلن دی آمین به اتانول آمین برابر ۱ : ۳ (شکل ۲:ج) ساختار CdSe به صورت ذرات به هم متصل مده می باشد. در نسبت حجمی اتیلن دی آمین به اتانول آمین برابر ۱ : ۳ (شکل ۲:ج) ساختار PS۵ به صورت ذرات به هم متصل شده می باشد که تمایل به ایجاد نانومیله دارند. قطر متوسط ایـن نانومیلـه ها برابـر با ۳۰۰ ۳ و طول آنها در حدود 0.4 میکرومتر می باشد که تمایل به ایجاد نانومیله دارند. قطر متوسط ایـن نانومیلـه ها برابـر با ۳۰۰ ۳۵ و طـول آنهـا در تشکیل شده به طور متوسط برابر ۴۵۰۳ اندازه گیری گردید. هنوز مکانیزم دقیق جوانهزنی و رشد در این فرایند شناخته نـشده است و تفاسیر مختلفی در مورد نحوهی شکل گیری نانوساختارها وجود دارد اما به طور کلی واکنشهـایی کـه در ایـن فراینـ اتفاق می افتند به ۵ نوع تقسیم می شوند: ۱ – اکسایش– کاهش ۲ – هیدرولیز ۳ – ترمـولیز ۴ – تـشکیل کمـپلکس ۵ – واکـنش تشکیل محصول (۱۴).

برای اینکه بتوانیم فرایند را کنترل کنیم بایستی ویژگیهایی فیزیکوشیمیایی حلال را به طور عمیق درک کرده باشیم و با نحوهی عملکرد آن در فرایند آشنا باشیم (۱۴).

به طور کلی شکل نانوکریستالها به وسیله انرژیهای سطحی ناشی از صفحات کریـستالی تعیین مـیشـود. در حالـت تعـادلی نانوکریستالها دارای پیوندهای سطحی بوده و کمترین انرژی سطحی را دارند. همچنین شکل نانوکریستال میتواند به عنوان تابعی از سرعت رشد در نظر گرفته شود، با توجه به این نکته که صفحاتی که بیشترین سرعت رشد را دارند در صفحات محصول نیز حاضر می شوند. با استفاده از این بحث می توان نتیجه گرفت که حلال مناسب و همچنین جدیدا ترکیب حلال های مختلف و همچنین استفاده از تسطیح کنندههای مناسب چقدر در کنترل مورفولوژی میتواند اثر گذار باشد (۱۵). یکی از مکانیزمهایی ک برای تشکیل نانوکریستالهای کادمیم سلنید ارائه شده است مکانیزم <sup>۲</sup> SCMT است. در مکانیزم SCMT (مکانیزم شبکه گوشهدار مولکولی حلال) اتیلن دی آمین نقش اصلی و اساسی برای تشکیل یک شبکهی اتمی یا مولکولی را ایفا میکند و تحت آن همان طور که در شکل ۳ ملاحظه می فرمایید نانوبلور کها فرم می گیرند. تعداد زیادی از داده های تجربی این مکانیزم و نحوهی شکل گیری نانوذرات تک بعدی از طریق این مکانیزم را تایید می کنند. تحقیقات نشان می دهد که کادمیم با اتیلندیآمین تشکیل کمپلکس به صورت <sup>+2</sup>[Cd(en)2] میدهد (۱۶). زمانی که دما افزایش می یابد پایداری کمپلکسها کاهش می یابد. به طور معمول این اتفاق در دماهای بالای C°۲ اتفاق می افتد، در ایـن شـرایط معتقـد هـستند کـه اتـمهـای E کـه E=Se,Te,S می تواند باشد تحت تاثیر حلال (اتیلن دی آمین یا هیدرازین) کاهش می یابند و مثلا Se تبدیل به Se<sup>2-</sup> می شود (۱۷). آنیونها به کمپلکس حاصل از حلال و کادمیم حمله میکنند و باعث شکستن پیوندهای <sup>+C</sup>d<sup>2+</sup> با اتمهای نیتروژن حلال می شوند و یک پیوند ضعیفی بین یون های -Se<sup>2</sup> و Cd<sup>2+</sup> شکل می گیرد و به تدریج اتمهای نیتروژن از اتـمهـای کـادمیم جـدا می شوند و در نتیجه یون های -Se<sup>2</sup> و Cd<sup>2+</sup> به هم ملحق می شوند و سر انجام یک ساختار تک بعدی CdSe را ایجاد می نمایند .(۱۸)

<sup>2</sup> Solvent coordination molecular template



نکتهای که وجود دارد این است که چنانچه سیستم از حالت تعادلی خارج بشود مورفولوژی از تک بعدی به دو بعدی و سه بعدی تغییر خواهد نمود که در این سیستم به این نحو است. کمپلکس کنندگی اتانول آمین و اتیلن دی آمین با همدیگر متفاوت است. لذا بسته به میزان هر کدام از حلالها موفولوژی تحت تاثیر قرار گرفته و از حالتی به حالتی دیگر تغییر فرم داده است چرا که نوع حلال نقش اصلی را در مکانیزم SCMT داشته و ساختار را تحت تاثیر قرار میدهد.



شکل ۴- طیف FTIR نانوساختارهای CdSe سنتز شده در حضور اتیلن دی آمین و اتانول آمین با نسبت حجمی ۱ : ۳ اتیلن دی آمین به اتانول آمین در دمای ۲۰°۱۸ به مدت ۱۸ ساعت.

برای بررسی نوع پیوندهای تشکیل شده از آزمایش FTIR استفاده گردید. به طور معمول در طیف FTIR کادمیم سلنید در محلولهای آلی پیک در حدود <sup>1</sup>-۲۹۰۰ متعلق به ارتعاش پیوندهای H-O است. پیک در حدود <sup>1</sup>-۲۹۰۰ متعلق به ارتعاش پیوندهای H-O است. پیک در حدود <sup>1</sup>-۲۹۰۰ متعلق به ارتعاش پیوندهای H-N است. پیک در حدود <sup>1</sup>-۲۹۰۰ متعلق به ارتعاش پیوندهای H-N است. پیک در حدود <sup>1</sup>-۲۹۰۰ متعلق به ارتعاش پیوندهای H-N است. پیک در حدود <sup>1</sup>-۲۹۰۰ متعلق به ارتعاش پیوندهای H-N است. پیک در حدود <sup>1</sup>-۲۹۰۰ متعلق به ارتعاش پیوندهای H-N است. پیک در حدود <sup>1</sup>-۲۹۰۰ متعلق به ارتعاش پیوندهای H-N است. پیک در حدود <sup>1</sup>-۲۹۰۰ متعلق به ارتعاش پیوندهای H-N است. پیک در حدود <sup>1</sup>-۲۹۰۰ متعلق به ارتعاش پیوندهای H-N است. پیک در حدود <sup>1</sup>-۲۹۰۰ متعلق به ارتعاش پیوندهای H-N مارپیچی شکل است. نهایت ا پیک در حدود <sup>1</sup>-۲۹۰ می در حدود <sup>1</sup>-۲۹۰۰ محلول قبل از انجام واکنش مشاهده ارتعاش پیوندهای TR۸۰ متعلق به ارتعاش پیوندهای H-N مارپیچی شکل است. نهایت ا پیک در حدود <sup>1</sup>-۲۹۰ می در حدود <sup>1</sup>-۲۹۰ محلول قبل از انجام واکنش مشاهده درود <sup>1</sup>-۲۹۰ معلول قبل از انجام واکنش مشاهده عرود داد CHL می می در طیف TIR محلول قبل از انجام واکنش مشاهده ارتعاش پیوندهای CHL می در طیف CdSE محلول قبل از انجام واکنش مشاهده از می شود. لذا وجود این پیک طیف FTIR نمایان گر تشکیل نانوساختارهای CdSE است (۹۰) و (۲۰). شکل ۴ طیف TIR نانوساختارهای CdSE است (۹۰) و (۲۰). شکل ۴ طیف Tile نانوساختارهای کادمیم زندان دی آمین به اتانول آمین با نسبت حجمی ۱ : ۳ اتیلن دی آمین به اتانول آمین با نانوساختارهای کادمیم نیترات۴ آبه و سلنیم دی اکسید در دمای <sup>2</sup>۰۰ در مدت ۱۸ ساعت سنتز شدهاند، نشان می دهد. در این

🗚 شمارهی ۳ زمستان ۱۳۹۱

طیف باند حاصل در <sup>1-</sup> ۳۳۱۴ متعلق به ارتعاش پیوند O-H است. باند حاصل در <sup>1-</sup> ۲۹۷۴ و ۲۸۸۲ متعلق به ارتعاش پیوند C-H است. باند حاصل در <sup>1-</sup> ۱۰۴۵ و ۱۰۴۸ متعلق به ارتعاش را C-H است. باند حاصل در <sup>1-</sup> ۱۰۴۵ و ۱۰۴۸ متعلق به ارتعاش پیوند C-H است. باند حاصل در <sup>1-</sup> ۲۹۵۹ متعلق به ارتعاش ریوند C-H است. باند حاصل در <sup>1-</sup> ۲۹۵۹ متعلق به ارتعاش ریوند C-H است. باند حاصل در <sup>1-</sup> ۲۹۵۹ متعلق به ارتعاش ریوند C-H مارپیچی شکل است. باند حاصل در <sup>1-</sup> ۲۹۵۹ متعلق به ارتعاش پیوند N-H است. باند حاصل در <sup>1-</sup> ۲۹۵۹ متعلق به ارتعاش ریوند C-H ماری است. باند حاصل در <sup>1-</sup> ۲۹۵۹ متعلق به ارتعاش متعلق به ارتعاش را C-H مارپیچی شکل است. باند حاصل در <sup>1-</sup> ۲۹۵۱ متعلق به ارتعاش روند C-H مارپیچی شکل است. باند حاصل در <sup>1-</sup> ۲۹۵۱ متعلق به ارتعاش را C-H مارپیچی محل است. باند حاصل در <sup>1-</sup> ۲۹۵۱ متعلق به ارتعاش پیوند C-H مارپیچی محل است. باند حاصل در <sup>1-</sup> ۲۹۵۱ متعلق به ارتعاش رود در C-H مارپیچی محل است. باند حاصل در <sup>1-</sup> ۲۹۵۱ متعلق به ارتعاش را C-H مارپیچی محل مار در C-I-C-P مار در <sup>1-</sup> ۲۹۵۱ مار C-I-C-P مارپیچی محل مارپیچی محل مارپیچی محل است. باند حاصل در <sup>1-</sup> ۲۹۵۱ متعلق به ارتعاش پیوند C-I-C-P مارپیچی محل محل در <sup>1-</sup> ۲۹۵۱ معلی در مورد وجود محل از آزمون FTIR برای سایر نمونه مشابه همین نمونه به دست آمد از آوردن و بحث تکراری در مورد آنها اجتناب میگردد.

## ۴– نتیجهگیری

در این تحقیق برای تولید نانو کریستالهای کادمیم سلنید از دو حلال اتانول آمین و اتیلن دی آمین به صورت ترکیبی استفاده گردید و اثر نسبت این دو حلال بر روی ساختار کریستالی و مورفولوژی نانو کریستالهای کادمیم سلنید به دست آمده مورد مطالعه قرار گرفت. در اثر افزایش نسبت اتانول آمین در محلول، زاویه قرارگیری جهات مرجح رشد نسبت به حالتی که اتیلندی آمین غالب بود دچار تغییر و جابه جایی شد. همچنین با افزایش نسبت اتانول آمین به محلول شاهد این هستیم که ابتدا اندازه بلورکها افزایش می یابد و در 31 -Cdse مقدار ۲۰۱۳ می رسد سپس کاهش می یابد و در حالت اتانول آمین خالص (CdSe - 04) به ۱۷/۵۸m می رسد. مورفولوژی روند خاصی را در ارتباط با نسبت حلالها طی نکرده است. مورفولوژی های نانوذره و نانومیله در حالتهای مختلف حاصل شده است که بیشترین طول نانومیلهها (۵/میکرومتر) در حالتی به دست آمد که نسبت اتیلن دی آمین به اتانول آمین سه به یک (CdSe - 31) بود. نهایتا طیف FTIR تشکیل نانو کریستالهای کادمیم سلنید را در هر یک از حلالها در محل پیک در حدود <sup>1</sup>

### مراجع

- N. C. Greenham, X. Peng, and A. P. Alivisatos, Charge separation and transport in conjugatedpolymer/semiconductor-nanocrystal composites studied by photoluminescence quenching and photoconductivity, Phys. Rev. B 54 (1996) 17628–17637.
- V. L. Colvin, M. C. Schlamp, and A. P. Alivisatos, "Light-emitting diodes made from cadmium selenidenanocrystals and a semiconducting polymer", Nature 370 (1994) 354-357.
- Y. Xie, W. Z. Wang, T. Qian, X. M. Liu, "Solvothermal Route to Nanocrystalline CdSe", Journal of Solid State Chemistry 147 (1999) 82-84.
- M. Maleki, Sh. Mirdamadi, R. Ghasemzadeh, M. S. Ghamsari, "Preparation and characterization of cadmium sulfide nanorods by novelsolvothermal method", Materials Letters, 62 (2008) 1993-1995.

- C. H. Hill, "Reversal of Selenium Toxicity in Chicks by Mercury, Copper, and Cadmium", Journal of Nutrition, 104 (1974) 593-598.
- X. Liua, P. Peng, J. Ma, W. Zheng, "Preparation of novel CdSe microstructure by modified hydrothermal method", Materials Letters 63 (2009) 673-675.
- F. Xue, H. Li, Y.Zhu, Sh. Xiong, X. Zhang, T. Wang, X. Liang, Y. Qian, "Solvothermal synthesis and photoluminescence properties of BiPO4 nano-cocoons and nanorods with different phases", Journal of Solid State Chemistry 182, (2009) 1396–1400.
- M. R. Mohammadi, V. Zarghami, D. J. Fray, Tailoring of morphology and crystal structure of CdSe nanostructures by controlling the ratio of triethylenetetraamine and water in their mixed solution, J. App.l Phys A, 339 (2012) 6789-6796.
- Y. Li, H. Liao, Y. Fan, L. Li, Y. Qian, "A solvothermal synthetic route to CdE (E= S, Se) semiconductor nanocrystalline", Materials Chemistry and Physics 58 (1999) 87-89.
- H. Fan, J. Liang, Y. Zhang, M. Zhang, B. Xi, "Phase transition of CdSe nanocrystallines with controlled morphologies induced by ratios of ethanolamine and water in their mixed solution", Solid State Sciences 10 (2008) 901-907.
- H. Wang, Z. Guo, F. Du, "Solvothermal synthesis of CdSe nanorods via DEA solution", Materials Chemistry and Physics 98 (2006) 422–424.
- 12. J.Yang, C. Xue, Sh. Yu, J. Zeng, "General Synthesis of Semiconductor Chalcogenide Nanorods by Using the Monodentate Ligand n-Butylamine as a Shape Controller", 1145 (2002) 4891-4894.
- D. Xu, "solvothermal synthesis of CdS nanowires in a Mixed Solvent of Ethylenediamine and Dodecanethiol", (2005)14344-14349
- G. Demazeau, "Solvothermal reactions: an original route for the synthesis of novel materials", J Mater Sci (2008) 43:2104–2114.
- G. Zou, H. Li, Y. Zhang, K Xiong, Y.i Qian, "Solvothermal/hydrothermal route to semiconductor nanowires", Nanotechnology 17 (2006) S313–S320
- Y. Li, H. Liao, Y. Ding, Y. Fan, Y. Zhang, Y. Qian, "Solvothermal Elemental Direct Reaction to CdE (E) S, Se, Te) Semiconductor Nanorod", Inorg. Chem. 1999, 38, 1382-1387.
- 17. Y. Liua, J. Caoa, C. Lia, J. Zenga, K. Tanga, "Hydrazine route to one-dimensional structural metal selenides crystals", Journal of Crystal Growth 261 (2004) 508–513. [Online]

- X. Wang, Y. Li, "Solution-Based Synthetic Strategies for 1-D Nanostructures", Inorg. Chem. 45 (2006) 7522-7534.
- G. Socrates, "Infrared characteristics group frequencies: Table and charts." ,England: John Wiley & Sons, New York, 1994.
- J. Yanga, Ch. Zanga, G. Wangb, G. Xua, X. Chenga, "Synthesis of CdSe microspheres via solvothermal process in a mixed solution," Journal of Alloys and Compounds, 495 (2010) 158– 161.

