

تهیه و بررسی ابرساختارهای سرب سولفید به عنوان ماده جاذب مؤثر نور خورشید

جواد نظامی فر^۱، کمال قانی^{۲*} و آرش شکرالهی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد شیمی کاربردی، دانشکده شیمی کاربردی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین شهر، اصفهان، ایران

۲- استادیار شیمی کاربردی، دانشکده شیمی کاربردی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین شهر، اصفهان، ایران

دریافت: شهریور ۱۳۹۵، بازنگری: مهر ۱۳۹۵، پذیرش: آبان ۱۳۹۵

چکیده: در این پژوهش، ابرساختارهای سرب سولفید با استفاده از روش حلال گرمایی و به کار بردن پیش ماده تک منبع سرب هیدروکسی تیوسیانات $(\text{Pb}(\text{OH})\text{SCN})$ تهیه شدند. ابرساختارهای سرب سولفید در دو حلال اولئیک اسید (OA) و دی‌متیل فراماید (DMF) تهیه شدند و تأثیر ریخت بر ویژگی‌های نوری آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. پس از تهیه سرب سولفید ساختار بلوری ذرات با استفاده از الگوی پراش پرتو ایکس و مورفولوژی آن‌ها با میکروسکوپ الکترونی رویشی گسیل میدان (FE-SEM) تعیین شد. ویژگی‌های جذب و بازتابش آن‌ها با طیف‌نورسنج DR-UV-Vis بررسی شد. بررسی ویژگی‌های نوری آن‌ها در ناحیه مرئی - فرابنفش نشان داد که سرب سولفید تهیه شده در حلال DMF در مقایسه با سرب سولفید تهیه شده در حلال OA بازتابش کمتری دارد و ضریب جذب خورشیدی (α) برای آن‌ها به ترتیب ۰.۹۱۸ و ۰.۹۵۵ است. ضریب جذب خورشیدی بالا و ضریب نشر پایین این مواد نشان می‌دهد که برای استفاده در پوشش‌های جاذب نور خورشیدی مناسب هستند.

واژه‌های کلیدی: ابرساختار سرب سولفید، روش حلال گرمایی، ترکیبات جاذب نور خورشید

مقدمه

به حساب می‌آیند. هدف اصلی آن‌ها بالا بردن مقدار تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی گرمایی و بنابراین، افزایش بازده جمع‌کننده است. صفحات جاذب خورشیدی به طور معمول صفحات فلزی مانند آلومینیم، فولاد، مس و... هستند که با رنگ سیاه مات رنگ زده شده‌اند. ویژگی سطوح جاذبی که از رنگ‌های سیاه استفاده می‌کنند این است که این سطوح حتی در زوایای تابشی غیر عمود نیز دارای ضریب جذب بالایی هستند [۲ و ۳]. پوشش‌های رنگی ویژگی‌های جذابی از قبیل آسانی کاربرد، هزینه کم، سهولت نگهداری و قابلیت استفاده تجاری دارند. در روش تهیه پوشش

در طی چند دهه اخیر به دلیل کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و آثار مخرب استفاده از این سوخت‌ها بر محیط‌زیست، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مورد توجه بسیار قرار گرفته است. انرژی خورشیدی یک انرژی پاک است که می‌تواند بخش قابل‌توجهی از نیاز جهانی به انرژی را تأمین کند. یکی از روش‌های استفاده از انرژی خورشیدی استفاده از جمع‌کننده‌های^۱ خورشیدی است [۱]. صفحات جاذب خورشیدی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین قسمت‌های یک جمع‌کننده خورشیدی در سامانه‌های گرمایش خورشیدی

ترکیب شیمیایی از نانومتر تا میکرومتر متغیر است [۱۲]. ماتکس پوشش انتخابی سرب سولفید را با مخلوط کردن ذرات سرب سولفید با پیونده سلیکون آماده و ضریب جذب خورشیدی ۰٫۹۴ را گزارش کرد [۱۳]. ویلیامز^۶ و همکارانش پوشش سرب سولفید را از مخلوط کردن ذرات بسیار ریز سرب سولفید با یک پیونده سلیکونی بر روی زیرلایه آلومینیومی صیقلی تهیه کردند که ضریب جذب α برابر با ۰٫۹ و ضریب نشر (100°C) ϵ برابر با ۰٫۳۷ دارد [۱۴]. در پژوهشی دیگر پوشش انتخابی سرب سولفید از مخلوط کردن ذرات سرب سولفید با پیونده پلی پروپیلن با ضخامت ۲۰۳ میکرومتر تهیه شد، که ضریب جذب خورشیدی α برابر با ۰٫۹۲ و نشر گرمایی (100°C) ϵ برابر با ۰٫۸۰ را به نمایش گذاشت [۱۵].

در این پژوهش، ابرساختارهای متفاوت سرب سولفید با استفاده از پیش ماده سرب هیدروکسی تیوسیانات در حلال‌های اولئیک اسید و N_2N -دی‌متیل‌فرمامید تهیه شدند و ویژگی‌های نوری آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

بخش تجربی

مواد

سرب (II) استات سه‌آبه $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ و پتاسیم تیوسیانات KSCN از شرکت Merck آلمان، N_2N -دی‌متیل‌فرمامید (DMF) (با خلوص ۹۹٪ از شرکت PANREAC QUIMIC SA اسپانیا) و اولئیک اسید از شرکت DAE JUNG کره خریداری شدند.

دستگاه‌ها

طیف‌سنج مدل TENSOR27 ساخت شرکت BRUKER (آلمان) به منظور طیف‌سنجی فرورسرخ تبدیل فوریه (FT-IR)، دستگاه XRD مدل STOE ساخت آلمان به منظور تعیین ساختار PbS، میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE-SEM) مدل S4160 ساخت شرکت Hitachi (ژاپن) برای ریخت‌شناسی

می‌توان از رنگدانه‌های با ریخت مناسب استفاده کرد و ویژگی‌های نوری مطلوب را با توجه به نوع ساختار به دست آورد که در پوشش‌های انتخابی طیفی باعث جذب و بازتابش نور می‌شوند [۴]. یک ترکیب جاذب خورشیدی ایده‌آل بایستی در ناحیه طیف خورشیدی ضریب جذب بالا (نزدیک به ۱) و در طول موج‌های بزرگ‌تر از ۲ میکرومتر ضریب نشر کم (نزدیک به صفر) داشته باشد. ترکیبات زیاد اکسیدهای فلزی (شامل آهن (III) اکسید، کبالت (III) اکسید و نیکل (II) اکسید)، سیلیسیدها و کربیدهای فلزی متنوع و نیم‌رساناهای خالص (ژرمانیم، سیلیکون، مس (I) سولفید و سرب سولفید) با روش‌های گوناگون رسوب‌گذاری شده و به عنوان جمع‌کننده خورشیدی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۵]. سرب سولفید به دلیل دارا بودن ضریب جذب بالا (α برابر با ۰٫۹) و ضریب نشر پایین (ϵ برابر با ۰٫۲) از گزینه‌های مناسب برای کاربرد در جمع‌کننده‌های خورشیدی معرفی شده و با روش‌های پاشش گرمایی، ته‌نشست فیزیکی بخار و مخلوط شدن با پیونده^۱ برای تهیه پوشش^۲ روی سطوح متفاوت جمع‌کننده‌ها قرار داده‌اند [۶].

سرب سولفید یکی از نیم‌رساناهای مهم گروه چهار است. این نیم‌رسانا دارای شعاع اکسیژنی بور^۳ ۱۸ نانومتر و شکاف نوار ۰٫۴۱ الکترون‌ولت در دمای اتاق است که این امر سبب ایجاد کاربردهای مؤثری از آن در آینده در جاذب‌های خورشیدی، سوئیچ‌های نوری، فوتوگرافی و آشکارسازهای فرورسرخ می‌شود [۷ تا ۹]. روش‌های متفاوتی برای تهیه این ماده وجود دارد، یکی از این روش‌ها، روش حلال‌گرمایی^۴ است. روش حلال‌گرمایی دارای مزایایی مانند واکنش سریع، زمان فرایند کوتاه، خلوص بالا، بلورینگی زیاد و هزینه‌ی کم است. بزرگ‌ترین مزیت فرایند حلال‌گرمایی این است که کنترل سطح، ریخت و اندازه را به صورت درجا آسان می‌کند [۱۰]. همچنین، با استفاده از پیش‌ماده، واکنش ملایم‌تر، ایمنی روش بیشتر و تجهیزات تولید ساده‌تر می‌شود [۱۱]. ابرساختارها^۵ از رشد بلور با شکل مشخص در امتداد صفحات معین به دست می‌آیند و با ساختار اولیه متفاوت هستند و ابعاد ابرساختار به دست آمده با توجه به شرایط رشد صفحات و نوع

1. Resin 2. Coating 3. Bohr exciton radius 4. Solvothermal 5. Superstructures 6. Mattox 7. Williams

نمونه‌ها، طیف‌سنج پراش انرژی پرتو ایکس مدل Philips CM300 برای تجزیه عنصری و دستگاه طیف‌نورسنج بازتابش پراکنده مرئی-فرابنفش^۱ مدل JASCOV-670 ساخت ژاپن برای تعیین مقدار جذب و بازتابش نمونه‌ها و برای تعیین نشر نرمال از دستگاه TEMP2000A ساخت شرکت AZ Technology آمریکا در گسترده طول موج ۲ تا ۲۵ μm استفاده شد.

روش کار

تهیه پیش‌ماده سرب هیدروکسی‌تیوسیانات

براساس روش گزارش شده لامبو^۲ [۱۶]، برای تهیه پیش‌ماده سرب هیدروکسی‌تیوسیانات (Pb(OH)SCN)، ۷,۵۸ گرم سرب (II) استات سه‌آبه و ۲,۰۳ گرم پتاسیم تیوسیانات (نسبت مولی ۱:۱) به ۱۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده و برای چهار ساعت درون یک ظرف دربسته به شدت هم‌زده شد تا واکنش به‌طور کامل انجام شود. در نهایت رسوب سفیدرنگ تشکیل شده با آب مقطر و اتانول چندین بار شسته و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد درون آن^۳ خشک شد.

تهیه ابرساختارهای سرب سولفید در حلال اولئیک‌اسید

برای تهیه این ترکیب از روش دوان^۴ استفاده شد [۱۷]. ابتدا مقدار ۱,۳۶ گرم از پیش‌ماده سرب هیدروکسی‌تیوسیانات به درون دمقشار^۵ حاوی ۷۵ میلی‌لیتر اولئیک‌اسید انتقال یافت و برای مدت ۱۴ ساعت در دمای ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد درون آن گرم‌داده شد، سپس در دمای اتاق سرد شد. سرب سولفید سیاه‌رنگ تشکیل شده با آب مقطر و اتانول به‌خوبی شسته شد تا حلال و ناخالصی‌های موجود در آن خارج شود و در نهایت درون آن با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد.

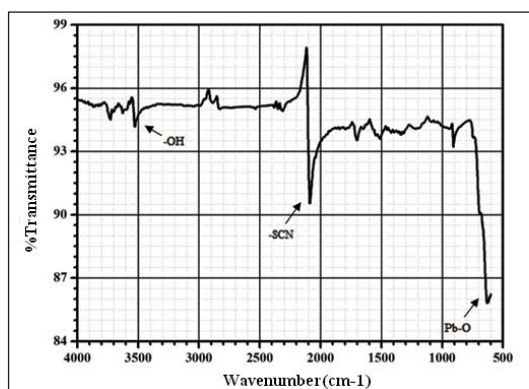
تهیه ساختارهای داربست‌سرب سولفید در حلال N,N-دی‌متیل فرامید

برای این کار، مقدار ۱,۳۶ گرم از پیش‌ماده سرب

نتیجه‌ها و بحث

نتیجه‌های طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز

شکل ۱ طیف به‌دست آمده از طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ سرب هیدروکسی‌تیوسیانات را در گسترده ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ cm^{-1} نشان می‌دهد. پیک‌های جذب تیز، در گسترده ۳۴۰۰ تا ۳۷۰۰ cm^{-1} مشاهده می‌شود که در نتیجه ارتعاش کششی گروه OH- و یا آب جذب شده است [۱۸]. افزون‌بر این، ارتعاش‌ها در گستره ۵۰۰ تا ۸۰۰ cm^{-1} مربوط به پیوند کووالانسی فلز با اکسیژن است، بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که ارتعاش در عدد موجی ۶۳۰ cm^{-1} مربوط به پیوند فلز سرب با اکسیژن (Pb-O) است [۱۹]. از طرف دیگر، ارتعاش در عدد موج ۲۱۰۰ cm^{-1} مربوط به یون‌های تیوسیانات (SCN-) است که ناشی از پیوند سه‌گانه کربن-نیتروژن است [۲۰]. بنابراین، نتیجه می‌گیریم مجموعه واکنش‌های شیمیایی صورت گرفته، منجر به تشکیل Pb(OH)SCN شده است.



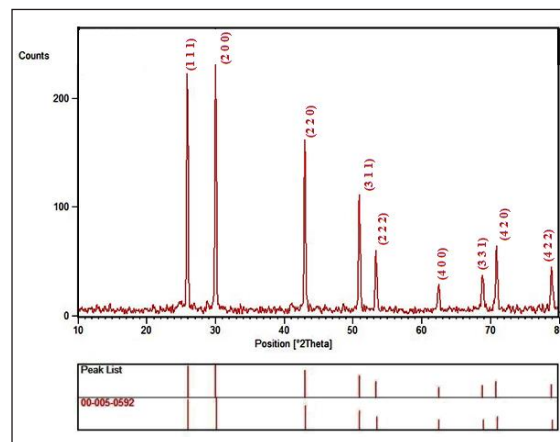
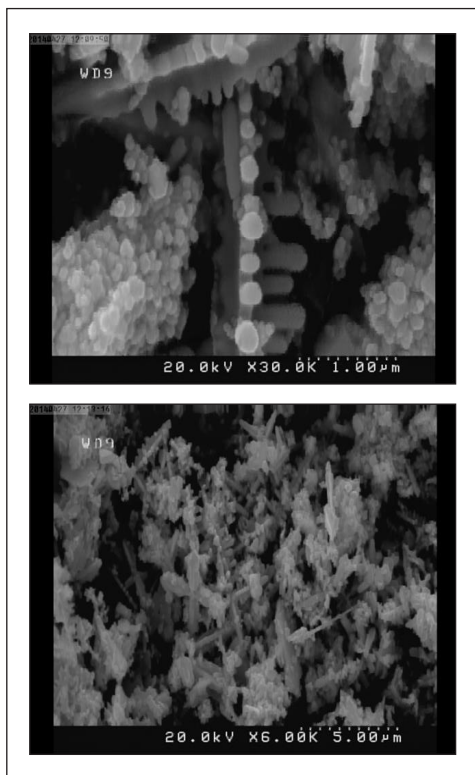
شکل ۱ طیف FT-IR پیش‌ماده Pb(OH)SCN

1. UV-Vis diffuse reflectance
2. Lambou
3. Oven
4. Duan
5. Autoclave
6. Dendritic

بررسی الگوی پراش پرتو ایکس

برای نمونه سرب سولفید سنتز شده در حضور N_2N -دی متیل فرامید نشان می دهد. بر اساس این شکل ها مشخص شد که سرب سولفید دارای ساختار داربسیار است. با بررسی تصاویر SEM متعدد مشخص شد که اکثر ذرات تشکیل شده داربسیار هستند. نتیجه ها نشان می دهد که ساختارهای داربسیار سرب سولفید به خوبی تحت شرایط حلال گرمایی ساخته شده اند. ابرساختار داربسیار سرب سولفید منفرد (تکی) دارای ساختار سه بعدی با یک تنه (محور طولانی) و چهار شاخه (محور کوتاه) هستند. نانومیلها در هر شاخه موازی با یکدیگر و عمود بر تنه هستند. تصویر با بزرگنمایی بالاتر به طور واضح ساختار سه بعدی آن ها را نشان می دهد. طول تنه و قطر شاخه های این ابرساختار به ترتیب در حدود ۱ تا ۳ میکرومتر و ۷۵ تا ۱۸۰ نانومتر است.

شکل ۲ الگوی پراش پرتو ایکس نمونه سرب سولفید که در حلال N_2N -دی متیل فرامید تهیه شده است را نمایش می دهد. با استفاده از اطلاعات نرم افزار اکسپرت های اسکور^۱ نمودار فوق دارای ۹ پیک شدید در زاویه های 2θ ، 30.02 ، 42.99 ، 50.91 ، 53.32 ، 62.45 ، 68.80 ، 70.82 و 78.89 درجه است که این زاویه ها نیز بنا به استاندارد JCPDS برابر با $005-0592$ با ثابت شبکه a برابر با 5.9362 \AA ، به ترتیب اختصاص به صفحات (111) ، (200) ، (220) ، (311) ، (331) ، (400) ، (420) ، (431) و (442) سرب سولفید دارد. با توجه به داده های حاصل از الگوی پراش پرتو ایکس هیچ گونه پیکی مبنی بر حضور فاز دیگر در نمونه سرب سولفید مشاهده نمی شود و شکل پیک ها نشان دهنده ساختار بلوری و مقارن در این ترکیب است [۱۷].



شکل ۲ الگوی پراش پرتو ایکس مربوط به سرب سولفید تهیه شده در حلال N_2N -دی متیل فرامید

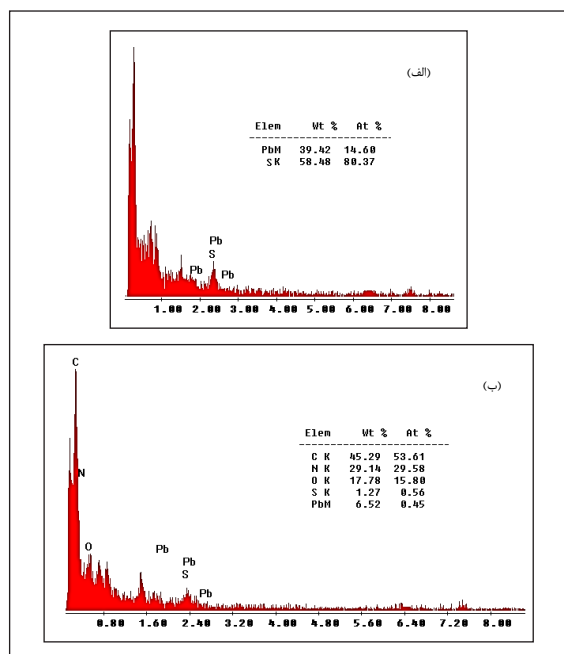
نتیجه های به دست آمده از میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس برای بررسی شکل و اندازه ذرات ابرساختارهای سرب سولفید تهیه شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE-SEM) استفاده شد. شکل ۳ تصاویر FE-SEM با بزرگنمایی متفاوت را

شکل ۳ تصاویر FE-SEM ساختارهای داربسیار سرب سولفید تهیه شده در حلال N_2N -دی متیل فرامید

1. X'PertHighScore

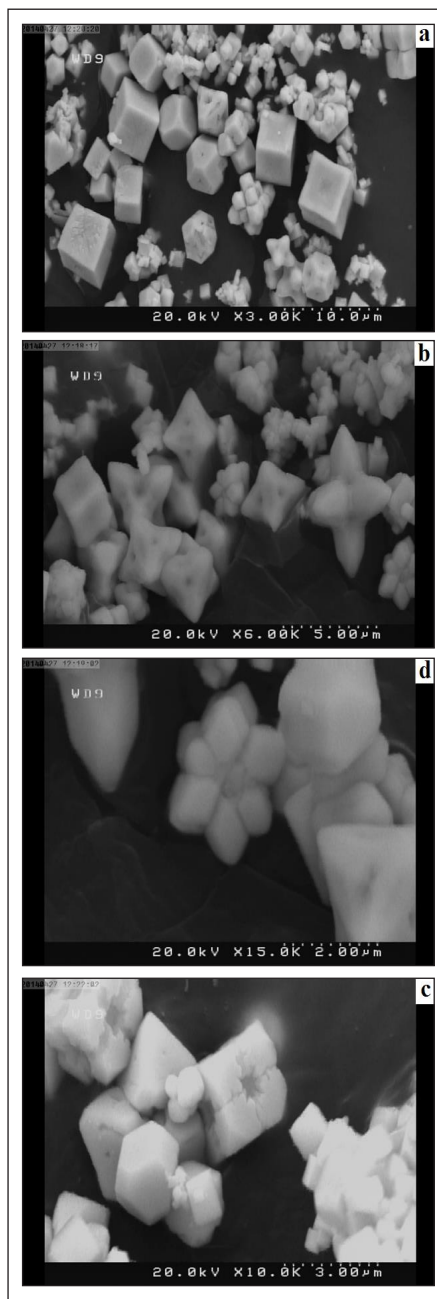
همان‌گونه که در شکل ۴ مشخص است این ابرساختارها عبارت‌اند از الف- ساختار مکعبی کامل با اندازه تقریبی ۵ میکرومتر و میکرومکعب‌های ناقص با اندازه کوچک ۵۰۰ نانومتر تا اندازه بزرگ ۲٫۵ میکرومتر، چهارده‌وجهی (شش وجه مربع {۱۰۰} و هشت وجه شش گوشه {۱۱۱}) با اندازه تقریبی ۳ میکرومتر و چند وجهی‌های منظم دارای منفذ (شکل ۴ قسمت a)، ب- ابرساختارهای متخلخل ستاره‌ای شکل با شش بازو (پا) متقارن که طول هر بازو حدود ۱ تا ۲ میکرومتر است، همان‌طور که در شکل ۴-b نشان داده شده است. پ- میکرومکعب‌های با اندازه حدود ۳ میکرومتر که دارای حفره هستند (شکل ۴-c). ت- ابرساختارهای گل مانند با اندازه تقریبی ۲ میکرومتر که دارای شش گلبرگ متقارن و مرکز دایره شکل با قطر حدود ۵۰۰ نانومتر است که در شکل ۴-d نشان داده شده است.

تجزیه عنصری سرب هیدروکسی تیوسیانات و سرب سولفید تهیه شده در حلال DMF با استفاده از طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس انجام شد و حضور اتم‌های تشکیل‌دهنده در این ترکیبات با استفاده از طیف‌های به‌دست آمده (شکل ۵) تأیید شد.



شکل ۵ طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس الف) سرب سولفید در حلال DMF و ب) سرب هیدروکسی تیوسیانات

شکل ۴ تصاویر FE-SEM مربوط به نمونه سرب سولفید تهیه شده در حلال اولئیک اسید را نشان می‌دهد. این تصاویر به‌طور شگفت‌انگیز وجود ابرساختارهای متنوع تشکیل شده در این حلال را تأیید کرد.



شکل ۴ تصاویر FE-SEM مربوط به ابرساختارهای سرب سولفید سنتز شده در حلال اولئیک اسید

سازوکار رشد ابرساختارهای سرب سولفید

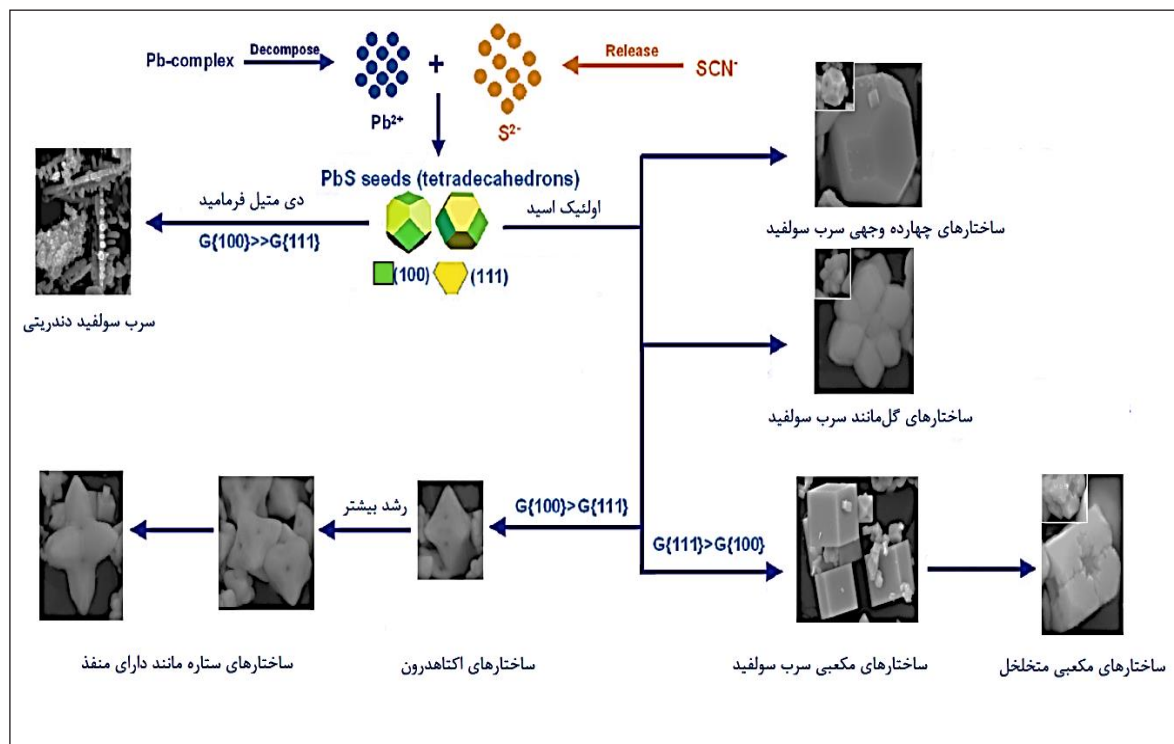
در طرحواره شکل ۶ سازوکار مربوط به تشکیل ابرساختارهای متفاوت سرب سولفید در حلال‌های N,N-دی‌متیل‌فرامید و اولئیک‌اسید نشان داده شده است.

تشکیل ابرساختار در دو مرحله هسته‌زایی و رشد بلور رخ می‌دهد. ریخت نهایی بلورها به چگونگی رشد بلور به صورت سینتیکی یا ترمودینامیکی بستگی دارد. در کنترل ترمودینامیکی فرایند رشد به آرامی اتفاق می‌افتد و تک‌پار به صورت لایه به لایه روی سطوح بلور قرار می‌گیرد تا رشد کامل شود و از این رو، رشد در امتداد و جهت خاصی اتفاق می‌افتد و در نتیجه ساختارهای مکعبی، هشت‌وجهی، ده‌وجهی و دوازده‌وجهی به دست می‌آید. در کنترل سینتیکی سرعت رشد زیاد است و امکان رشد بلورها در همه جهات وجود دارد و از این رو ساختارهای شاخه‌دار تشکیل می‌شود [۲۱ و ۲۲]. در این پژوهش، اثر حلال‌های اولئیک‌اسید و دی‌متیل‌فرامید روی ریخت ابرساختار سرب سولفید مورد بررسی

قرار گرفت و از آنجا که قدرت تشکیل کمپلکس این حلال‌ها با سرب متفاوت است، نرخ آزاد شدن یون‌های سرب نیز در هر یک از این حلال‌ها در شرایط یکسان دما و فشار متفاوت است. اولئیک‌اسید با نقطه جوش بالا (۲۸۵°C) باعث آهسته شدن تجزیه $Pb(OA)_2^{2+}$ شده و رشد بلور به صورت ترمودینامیکی کنترل می‌شود و در نهایت ساختارهای مکعبی به دست می‌آید. با توجه به این مطالب تنوع گسترده ریخت‌های به دست آمده به خاطر سرعت پایین رشد بلورها است. در مورد حلال DMF به خاطر نقطه جوش پایین (۱۵۳°C) تجزیه شدن $Pb(DMF)_2^{2+}$ سریع‌تر اتفاق می‌افتد و رشد بلورهای سرب سولفید به صورت سینتیکی کنترل می‌شود که منجر به تشکیل ساختار داربست‌پای می‌گردد.

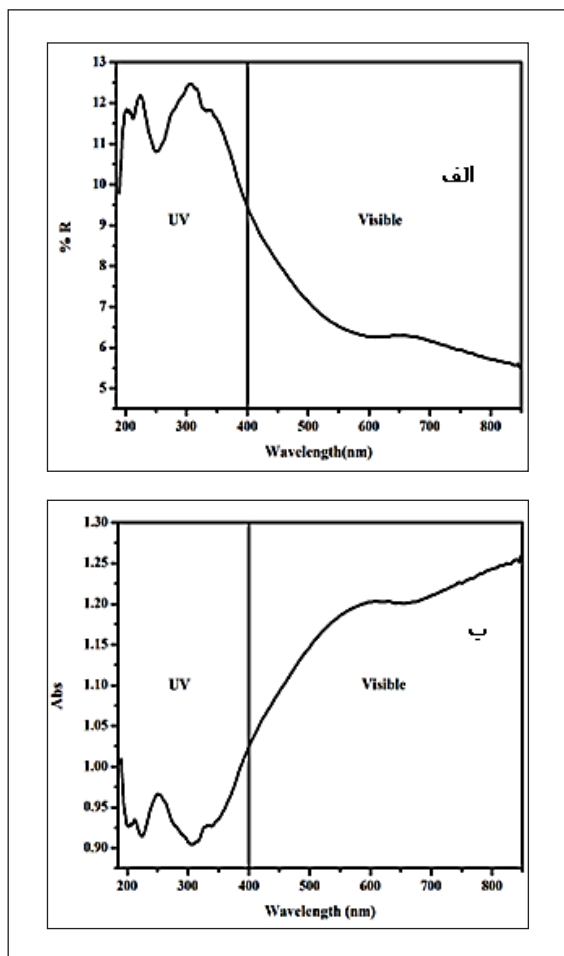
نتیجه‌های بررسی ویژگی‌های نوری (بررسی طیف‌سنجی مرئی-فرابنفش)

در شکل ۷ نمودار بازتابش پراکنده مرئی-فرابنفش



شکل ۶ طرحواره تشکیل ساختارهای متفاوت سرب سولفید در حلال‌های N,N-دی‌متیل‌فرامید و اولئیک‌اسید

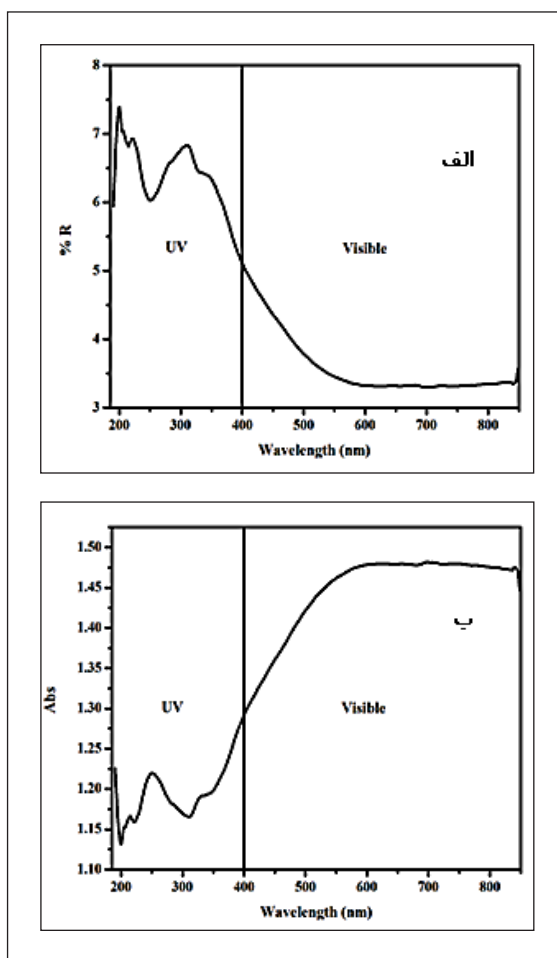
در شکل ۸ طیف‌های DR-UV-Vis سرب سولفید تهیه شده در حلال اولئیک‌اسید نشان داده شده است. با توجه به نمودار بازتابش ابرساختارهای سرب سولفید تهیه شده در حلال اولئیک‌اسید مشخص است که مقدار بازتابش از ۱۰ تا ۱۲ درصد در ناحیه فرابنفش به حدود ۶٫۵ درصد در ناحیه مرئی کاهش می‌یابد. همچنین، مقدار جذب از ۰٫۹۵ در ۳۵۰ نانومتر (ناحیه فرابنفش) به ۱٫۲۵ در ۸۵۰ نانومتر افزایش می‌یابد.



شکل ۸ طیف‌های DR-UV-Vis سرب سولفید تهیه شده در حلال اولئیک‌اسید (الف) بازتابش پراکنده و (ب) جذب

اندازه‌گیری ضریب جذب خورشیدی سرب سولفیدهای تهیه شده در حلال دی‌متیل فرمامید و اولئیک‌اسید مطابق با استاندارد

(DR-UV-Vis) سرب سولفید تهیه شده در حلال N,N -دی‌متیل فرمامید نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودار بازتابش مربوط به ساختارهای داربستار سرب سولفید تهیه شده در حلال N,N -دی‌متیل فرمامید مشاهده می‌شود، در ناحیه ۵۵۰-۸۵۰ نانومتر مقدار بازتابش به کمتر از ۳٫۵ درصد می‌رسد. با توجه به نمودار جذب، مقدار جذب از ۱٫۲ در طول موج ۳۴۰ نانومتر به ۱٫۴۷ در ۵۵۰ نانومتر افزایش می‌یابد. پس از این ناحیه مقدار جذب تا طول موج ۸۵۰ نانومتر به تقریب ثابت می‌ماند.



شکل ۷ طیف‌های DR-UV-Vis سرب سولفید تهیه شده در حلال N,N -دی‌متیل فرمامید (الف) بازتابش پراکنده و (ب) جذب

ASTM E903-96 انجام شد [۲۳]. ضریب جذب خورشیدی سرب سولفیدهای تهیه شده در جدول ۱ گزارش شد.

جدول ۱ مقدار ضریب جذب سرب سولفید تهیه شده در حلال‌های متفاوت

سرب سولفید	ضریب جذب خورشیدی (α)	ضریب نشر ($\epsilon(25^\circ\text{C})$)
ابرساختار سرب سولفید تهیه شده در حلال DMF	۰٫۹۵۵	۰٫۱۸
ابر ساختار سرب سولفید تهیه شده در حلال اولئیک‌اسید	۰٫۹۱۸	۰٫۱۷

ضریب جذب خورشیدی برای نمونه‌های سرب سولفید تهیه شده در حلال‌های N_2N -دی‌متیل‌فرامید و اولئیک‌اسید به‌ترتیب ۰٫۹۵۵ و ۰٫۹۱۸ محاسبه شد. افزایش جذب نور در نمونه سرب سولفید تهیه شده در حلال N_2N -دی‌متیل‌فرامید به دلیل ساختارهای داربست‌دار حفرات و شکاف‌های زیاد است که منجر به رسانایی نور بازتابش شده به درون نمونه شده و با افزایش تعداد برهمکنش‌های نور و ماده مقدار جذب افزایش می‌یابد [۲۴]. نمونه سرب سولفید تهیه شده در حلال اولئیک‌اسید به‌علت وجود ابرساختارهای مکعبی مقدار جذب کمتری را نشان داده است.

اندازه‌گیری مقدار نشر گرمایی (جدول ۱) مطابق با روش استاندارد [۲۵] نشان داد دو نمونه تهیه شده دارای ضریب نشر پایین در ناحیه فرسوخ دور ۲ تا $25\ \mu\text{m}$ هستند. با توجه به ویژگی‌های نوری به‌دست آمده برای این ترکیبات (جدول ۱)، از آن‌ها می‌توان به‌عنوان رنگ‌دانه در پوشش‌های جاذب نور خورشید استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ابرساختارهای متفاوت سرب سولفید به روش حلال گرمایی در حلال‌های N_2N -دی‌متیل‌فرامید و اولئیک‌اسید تهیه شدند. بررسی ویژگی‌های نوری آن‌ها نشان داد که سرب سولفید تهیه شده در حلال N_2N -دی‌متیل‌فرامید به دلیل ساختار داربست‌دار متشکل از نانومیله‌ها، بازتابش کمتری نسبت به ساختار سرب سولفید تهیه شده در حلال اولئیک‌اسید دارد و جذب نور در آن بیشتر است. ضریب جذب خورشیدی برای نمونه سرب سولفید تهیه شده در حلال‌های N_2N -دی‌متیل‌فرامید و اولئیک‌اسید به‌ترتیب ۰٫۹۵۵ و ۰٫۹۱۸ به‌دست آمد. ضریب جذب بالا و ضریب نشر پایین این مواد، نشان می‌دهد که این ابرساختارها قابلیت استفاده به‌عنوان رنگ‌دانه جاذب نور در پوشش‌های جاذب خورشیدی را دارند.

مراجع

- [1] Neville, R. C.; "Solar Energy Conversion", Elsevier, Arizona, USA; 32, 1995.
- [2] Thirugnansambandam, M.; Iniyar, S.; Goic, R.; Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 312-322, 2010.
- [۳] خلجی اسدی، مرتضی؛ فتح‌اللهی، وحید؛ نجاتی، محمدرضا؛ "فن‌آوری تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی گرمایی در سطوح جاذب کلکتورهای خورشیدی"، چهارمین همایش ملی انرژی، تهران، ۱۳۸۲.
- [4] Gunde, M. K.; Orel, Z. C.; Hutchins, M. G.; Solar Energy Materials and Solar Cells, 80, 239-245, 2003.
- [۵] آفانجفی، سیروس؛ دهقانی، علیرضا؛ "انرژی تشعشع خورشیدی پیشرفته و کاربردهای صنعتی"، دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران، چاپ اول، صفحه ۱۹۸، ۱۳۸۶.
- [6] Selvakumar,; Barshilia, H. C.; Solar Energy Materials and Solar Cells, 98, 1-23, 2012.
- [7] Kane, R. S.; Cohen, R.; Silbey, R. E.; Journal of Physical Chemistry, 100, 7928-7932, 1996.
- [8] Machol, J. L.; Wise, F. M.; Patel, R. C.; Tan-

- ner, D. B.; Physical Review B, 48, 2819-2822, 1993.
- [9] Wang, Y.; Tang, A.; Li, K.; Yang, C. H.; Wang, M.; Ye, H.; Hou, Y.; Teng, K.; Journal of The American Chemical Society, 28, 16436-16443, 2012.
- [10] Yoshimura, M.; Byrappa, K.; Journal of Materials Science, 43, 2085-2103, 2007.
- [11] Trindade, T.; Brien, P.; Chemistry of Materials, 9, 523-530, 1997.
- [12] Querejeta-Fernández, A.; Hernández-Garrido, J. C.; Yang, H.; Zhou, Y.; Varela, A.; Perras, M.; Calvino-Gámez, J.; González-Calbet, J. M.; Green, P. F.; Kotov, N. A.; ACS Nano, 6, 3800-3812, 2012.
- [13] Mattox, D. M.; Sowell, R.; Journal of Vacuum Science and Technology, 11, 793-796, 1974.
- [14] Considerations, I. T.; Williams, D. A.; Lap-pin, T. A.; Duffie, J. A.; Journal for Engineering for Power, 85, 213-220, 1963.
- [15] Agarwal, R. C.; Pillai, P.; Energy Conversion and Management, 21, 239-251, 1981.
- [16] Lambou, M. G.; Dollear, F. G.; Journal of the American Chemical Society, 23, 97-101, 1946.
- [17] Duan, X.; Ma, J.; Shen, Y.; Zheng, W.; Inorganic Chemistry, 51, 914-919, 2012.
- [18] Schrader, B.; "Infrared and raman spectroscopy: methods and applications" John Wiley & Sons, Germany; 247, 1995.
- [19] Senvaitiene, J.; Smirnova, J.; Beganskiene, A.; Kareiva, A.; Acta Chimica Slovenica, 54, 185-193, 2007.
- [20] Nakamoto, K.; "Infrared and raman spectra of inorganic and coordination compounds" John Wiley & Sons, USA; 158, 1997.
- [21] Lim, B.; Jiang, M.; Tao, J.; Camargo, P.; Zhu, Y.; Xia, Y.; Advanced Functional Materials, 19, 189-200, 2009.
- [22] Ma, Y.; Kuang, Q.; Jiang, Z.; Xie, Z.; Huang, R.; Zheng, L.; Angewandte Chemie International Edition, 47, 8901-8904, 2008.
- [23] Standard test method for solar absorptance, reflectance, and transmittance of materials using integrating spheres, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, E 903-96, 1-9, 1996.
- [24] Campbell, P.; Journal of optical Society of America B, 10, 12-17, 1993.
- [25] Standard test methods for total normal emittance of surfaces using inspection-meter techniques, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, E408-71, 1-3, 2008.