دانشگاه کاشان

پژوهشکده علوم و فناوری نانو

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته علوم و فناوری نانو

گرایش نانوشیمی

عنوان:

تهیه و شناسایی نانوساختارهای $MInS_2$ [M=Cu(I) , Ag(I)] و Cu_2S با استفاده از امواج فراصوت و مایکروویو و بررسی رفتار آن‌ها در سلول های خورشیدی

استاد راهنما:

پروفسور مسعود صلواتی نیاسری

توسط:

مهدی موسوی کمازانی

شهریور ۱۳۹۱

تاریخ : ۱۳۹۱/۰۶/۱۲
شماره: ۲۰۴۷۳۱
پیوست :

دانشگاه کاشان

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی دانشجو: **مهدی موسوی کمازانی** شماره دانشجویی: ۸۹۳۱۵۱۰۰۰۸

رشته: **علوم و فناوری نانو** گرایش: **نانو شیمی** پژوهشکده: **علوم و فناوری نانو**

عنوان پایان‌نامه: " **تهیه و شناسایی نانوساختارهای $MInS_2$ [M=Cu(I) , Ag(I)] و Cu_2S با استفاده از امواج فراصوت و مایکروویو و بررسی رفتار آن‌ها در سلول های خورشیدی**"

این پایان‌نامه به مدیریت تحصیلات تکمیلی به منظور بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد ارائه می‌گردد.دفاع از پایان نامه در تاریخ ۹۱/۰۶/۰۶ مورد تأیید و ارزیابی هیأت داوران قرار گرفت و با نمره به عدد: ۲۰ به حروف: بیست و درجه عالی به تصویب رسید.

اعضاء هیأت داوران

عنوان	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱.استاد راهنما :	دکتر مسعود صلواتی نیاسری	استاد	
۲. متخصص وصاحب نظر داخل دانشگاه:	دکتر مسعود همدانیان دکتر مصطفی زاهدی‌فر	دانشیار دانشیار	
۳ . نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه:	دکتر محسن سیفی	استادیار	

محمدرضا منصورنیا

مدیر تحصیلات تکمیلی

تقدیم به...

مادر عزیزم که خیال سبز شدن را در روح من پروراند و خود باران شد تا تشنه کویر وجودم را سیراب کند.

همسر فداکارم، او که دریای محبت، کوه صبر و چراغ پرفروغ زندگی‌ام است.

و

روح بلند **پدر عزیزم** که یادش چون بهار، همیشه در خیالم سبز و جاری است.

تشکـــر و قـــدردانـــی

الهـــی

ادای شکر تو را هیچ زبان نیست و دریای فضل تو را هیچ کران نیست و سر حقیقت تو بر هیچ کس عیان نیست. هدایت کن بر ما رهی که بهتر از آن نیست.

الهـــی

دانایی ده که در راه بیفتم و بینایی ده که در چاه نیفتم.

سر بر آستان جلال پروردگار بی همتا می‌سایم که دگر با توفیق اندوختن دانشی هر چند اندک را به من عطا فرمود.

سراسر وجودم اگر به تقدیر از ***مهربان پدر*** و ***نازنین مادرم*** واژه واژه تشکر شوند، تنها برگ سبزی خواهند بود به تلافی هزاران دشت صفا و مهربانی.

سر تعظیم بر بلندی نظر و راهنمایی‌های مشفقانه‌ی استاد فرزانه و بزگوارم ***آقای دکتر مسعود صلواتی نیاسری*** فرود می‌آورم که به من آموختند به افق‌های آینده نظر داشته باشم. نتایج این تحقیق را مرهون رهنمودهای ارزنده و حکیمانه ایشان می‌دانم و به راستی که شاگردی ایشان افتخاری بس بزرگ برای اینجانب است.

بر خود لازم می‌دانم تا به رسم ادب از اساتید بزرگوار ***آقای دکتر مسعود همدانیان*** و ***آقای دکتر مصطفی زاهدی‌فر*** که قبول زحمت نموده و پایانامه اینجانب را مطالعه فرمودند و همچنین ناظر تحصیلات تکمیلی جناب ***آقای محسن سیفی***، نهایت تشکر و قدردانی را داشته باشم.

همچنین قدردان دوستان دوران تحصیل به پاس تمام آموزه‌هایی که از این عزیزان دارم می‌باشم.

نگارنده بر خود فرض می‌داند از ستاد توسعه فناوری نانو و نیز تمامی اعضای پژوهشکده‌ی علوم و فناوری نانو دانشگاه کاشان تقدیر نماید.

چکیده

خواص منحصر به فرد نیمه‌هادی‌ها به‌وسیله‌ی شکل و اندازه‌ی آن‌ها کنترل می‌شود. بنابراین، انتخاب یک روش مناسب و ساده برای تهیه‌ی آن‌ها با اندازه و شکل‌های متفاوت می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. نیمه‌هادی‌های $CuInS_2$(CIS)، Cu_2S و $AgInS_2$(AIS) به ترتیب باندگپ برابر ۱/۵، ۱/۲ و ۱/۹ eV دارند که در رنج مناسب برای جذب طول موج‌های خورشید قرار دارند و بنابراین از معروف‌ترین ترکیبات برای کاربردهای فوتوولتائیک هستند. به این دلیل، در این پروژه سنتز نانوساحتارهای CIS، Cu_2S و AIS با استفاده از امواج مایکروویو و مافوق‌صوت انتخاب شد. در این بررسی سعی شد از پیش‌ماده‌های جدید استفاده شود. همچنین اثر پارامترهای مختلف مانند نوع منبع سولفید، توان و زمان مایکروویو و التراسونیک، غاظت و حلال بر اندازه و مورفولوژی نانوساختارها بررسی شد. محصولات به دست آمده توسط دستگاه‌های FT-IR، پراکندگی اشعه‌ی X (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و فوتولومینسانس (PL)، طیف‌سنجی فوتوالکترون با اشعه‌ی X (XPS) و تفرق انرژی اشعه‌ی ایکس (EDX) شناسایی شدند. نتایج نشان‌دهنده‌ی سنتز نانوساختارهایی با اندازه‌ی کوچک و اشکال متنوع بود که قابلیت بالقوه برای کاربردهای متفاوت را دارا هستند. با روش دکتر-بلید لایه‌ی نازکی از نانوساختارهای تهیه شده فراهم گردید و سلول خورشیدی از لایه‌های شیشه-FTO/ نیمه‌رسانای نوع p/ نیمه‌رسانای نوع n/پلاتین/FTO -شیشه ساخته شد. در پایان، مشخصه‌ی این سلول‌ها مورد محاسبه قرار گرفت و رفتار لایه‌های نازک تهیه شده از نانوساختارها، در سلول‌های خورشیدی مورد مطالعه قرار گرفت.

کلمات کلیدی: نیمه‌رسانا، سلول خورشیدی، CIS، Cu_2S و AIS.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱-۱. روش‌های تهیه‌ی نانوساختارها ۲

۱-۱-۱. سنتز در فاز جامد ۲

۱-۱-۲. سنتز در فازگاز ۳

۱-۱-۳. سنتز در فاز مایع ۳

۱-۱-۳-۱. امواج مایکروویو ۴

۱-۱-۳-۱-۱. برهم‌کنش مواد با امواج مایکروویو ۴

۱-۱-۳-۱-۲. گرمادهی دی الکتریکی مایکروویو ۵

۱-۱-۳-۱- ۳. خواص دی الکتریک ۶

۱-۴-۳-۱-۴. حلال‌ها در مایکروویو ۶

۱-۱-۳-۲. سونوشیمی ۷

۱-۱-۳-۲-۱. اساس واکنش‌های سونوشیمیایی ۸

۱-۱-۳-۲-۲ عوامل موثر بر فرآیندهای سونوشیمی ۱۱

۱-۲. سلول‌های خورشیدی و تاریخچه ۱۳

۱-۲-۱. انرژی مورد نیاز بشر و انرژی خورشید ۱۳

۱-۲-۲.عملکرد باتری خورشیدی ۱۴

۱-۲-۳. فناوری‌های ساخت سلول‌های خورشیدی ۱۵

۱-۲-۴. پارامترهای مهم در منحنی مشخصه‌ی جریان-ولتاژ یک سلول خورشیدی ۱۶

۱-۳. نانوذرات Cu_2S ۱۹

۱-۳-۱. مثال‌هایی از سنتز نانوساختارهای Cu_2S در سال‌های اخیر ۲۰

۱-۴. نانوساختارهای CIS و AIS ۲۴

۱-۴-۱. مثال هایی از تهیه‌ی نانوساختارهای CIS ۲۵

۱-۴-۲. مروری بر تهیه‌ی نانوذره AIS ۲۷

فصل دوم: بخش تجربی

۲-۱. وسایل، مواد و دستگاه‌های مورد استفاده ۳۰

۲-۱-۱. وسایل آزمایشگاهی ۳۰

۲-۱-۲. مواد شیمیایی ۳۰

۲-۱-۳. دستگاه‌های مورد استفاده جهت تولید محصولات ۳۰

۲-۱-۴. دستگاه‌های مورد استفاده جهت شناسایی محصولات ۳۲

۲-۲. روش انجام آزمایش ۳۳

۲-۲-۱. ساخت پیش‌ماده ۳۳

۲-۲-۲. تهیه‌ی نانوساختارهای $CuInS_2$ با استفاده از امواج مافوق صوت ۳۵

۲-۲-۳.تهیه‌ی نانوساختارهای Cu_2S با استفاده از امواج مایکروویو ۳۶

۲-۲-۴. سنتز نانوساختارهای Cu_2S با استفاده از امواج مافوق‌صوت ۳۸

۲-۲-۵. تهیه‌ی نانوساختارهای $CuInS_2$ با استفاده از امواج مایکروویو و سدیم سولفیت به‌عنوان کاهنده.. ۳۹

۲-۲-۶. تولید نانوساختارهای $CuInS_2$ با استفاده از امواج مافوق‌صوت و سدیم سولفیت به‌عنوان کاهنده. ۴۰

۲-۲-۷. سنتز نانوذرات $AgInS_2$ با استفاده از امواج مافوق‌صوت و امواج مایکروویو ۴۱

۲-۳. ساخت سلول خورشیدی از نانوساختارهای تهیه شده ۴۲

۲-۳-۱- سلول خورشیدی $FTO/CuInS_2/CdS/Pt\text{-}FTO$ ۴۲

۲-۳-۲- سلول‌های خورشیدی $FTO/Cu_2S/CdS/Pt\text{-}FTO$ و $FTO/AgInS_2/CdS/Pt\text{-}FTO$ ۴۳

۲-۴. آماده سازی نمونه برای گرفتن تصویر SEM ۴۳

۲-۵. آماده سازی نمونه برای گرفتن تصویر TEM ۴۴

۲-۶. آماده سازی نمونه برای بررسی خواص نوری ۴۴

۲-۷. شرایط آزمایشگاهی ۴۴

فصل سوم: بحث و نتیجه‌گیری

۳-۱. معرفی ۵۰

۳-۲. تهیه‌ی نانوساختارهای $CuInS_2$ با استفاده از امواج مافوق‌صوت ۵۱

۳-۲-۱. نتایج XRD ۵۱

۳-۲-۲. آنالیز EDX ۵۵
۳-۲-۳. اثر منبع گوگرد برمورفولوژی ذرات ۵۶
۳-۲-۴. بررسی اثر زمان امواج مافوق‌صوت بر موروفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۶۳
۳-۲-۵. اثر شدت امواج مافوق‌صوت بر مورفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۶۳
۳-۲-۶. اثر سورفکتانت و امواج مافوق‌صوت برمورفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۶۵
۳-۲-۷. اثر منبع مس بر روی مورفولوژی و اندازه ی ذرات ۶۹
۳-۲-۸- طیف بینی FT – IR ۷۱
۳-۲-۹. طیف بینی فوتولومینسانس ۷۳
۳-۲-۱۰. ساز و کار تشکیل $CuInS_2/CuS$ با استفاده از امواج مافوق‌صوت ۷۴
۳-۳. تهیه‌ی نانوساختارهای Cu_2S با استفاده از امواج مایکروویو ۷۴
۳-۳-۱. نتایج XRD ۷۴
۳-۳-۲. اثر کاهنده و pH ۷۵
۳-۳-۳. اثر زمان بر مورفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۷۸
۳-۳-۴. اثر توان مایکروویو بر موروفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۷۹
۳-۳-۵. اثر حجم HCl ۸۱
۳-۳-۶. آنالیز EDX ۸۳
۳-۳-۷. طیف بینی فوتولومینسانس ۸۴
۳-۳-۸. طیف‌بینی FT – IR ۸۴
۳-۳-۹. ساز و کار تشکیل Cu_2S با استفاده از امواج مایکروویو ۸۶
۳-۴. ساخت نانوذرات Cu_2S با استفاده از امواج مافوق‌صوت ۸۶
۳-۴-۱. نتایج XRD ۸۶
۳-۴-۲. نتایج EDX ۹۰
۳-۴-۳. نتایج SEM ۹۱
۳-۴-۳-۱. اثر کاهنده و pH ۹۱
۳-۴-۳-۲. اثر زمان امواج مافوق‌صوت بر مورفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۹۲

۳-۴-۳-۳. اثر شدت امواج مافوق‌صوت بر روی مورفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۹۲
۳-۴-۳-۴. اثر حجم HCl ۹۳
۳-۴-۳-۵. اثر منبع مس ۹۴
۳-۴-۴. طیف‌بینی فوتولومینسانس ۹۵
۳-۴-۵. بررسی فیلم نازک تهیه شده ۹۶
۳-۴-۶. مشخصه‌ی جریان- ولتاژ سلول خورشیدی ۹۶
۳-۵. تهیه‌ی نانوساختارهای $CuInS_2$ با استفاده از امواج مایکروویو و سدیم سولفیت به‌عنوان کاهنده ۹۸
۳-۵-۱. نتایج XRD ۹۸
۳-۵-۲. نتایج EDX ۹۹
۳-۵-۳. اثر حلال ۹۹
۳-۵-۴. اثر زمان و توان مایکروویو بر موروفولوژی و اندازه ۱۰۰
۳-۵-۵. طیف‌بینی FT-IR ۱۰۲
۳-۵-۶. طیف‌بینی فوتولومینسانس ۱۰۳
۳-۵-۷. مشخصه‌ی جریان- ولتاژ سلول خورشیدی ۱۰۳
۳-۶. تهیه‌ی نانوذرات $CuInS_2$ با استفاده از امواج مافوق‌صوت و سدیم سولفیت به‌عنوان کاهنده ۱۰۵
۳-۶-۱. نتایج XRD ۱۰۵
۳-۶-۲. آنالیز EDX ۱۰۵
۳-۶-۳. نتایج XPS ۱۰۸
۳-۶-۴. اثر منبع گوگرد بر مورفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۱۱۰
۳-۶-۴. اثر زمان امواج مافوق‌صوت بر موروفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۱۱۱
۳-۶-۵. اثر شدت امواج مافوق‌صوت بر روی مورفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۱۱۱
۳-۶-۶. اثر غلظت ۱۱۳
۳-۶-۷. اثر حلال بر مورفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۱۱۳
۳-۶-۸. اثر امواج مافوق صوت ۱۱۴
۳-۶-۹. طیف‌بینی FT-IR ۱۱۸

۳-۶-۱۰. طیف‌بینی فوتولومینسانس ۱۱۹
۳-۶-۱۱. بررسی فیلم نازک تهیه شده ۱۱۹
۳-۶-۱۲. مشخصه‌ی جریان- ولتاژ سلول خورشیدی ۱۲۰
۳-۶-۱۳. ساز و کار تشکیل $CuInS_2$ با استفاده از امواج مافوق‌صوت و Na_2SO_3 ..... ۱۲۱
۳-۷. تهیه‌ی نانوذرات $AgInS_2$ ۱۲۱
۳-۷-۱. نتایج XRD ۱۲۱
۳-۷-۲. نتایج EDX ۱۲۲
۳-۷ -۳. تصویر SEM ۱۲۳
۳-۷-۴. طیف‌بینی فوتولومینسانس ۱۲۵
۳-۷-۵. طیف‌بینی FT-IR ۱۲۶
۳ -۷-۶. بررسی فیلم نازک تهیه شده ۱۲۶
۳-۷-۷. مشخصه‌ی جریان- ولتاژ سلول خورشیدی ۱۲۷
۳-۸. نتیجه‌گیری ۱۲۸
منابع و مآخذ ۱۳۰

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱. منحنی مشخصه‌ی I-V یک سلول خورشیدی و نمایش پارامترهای مهم ۱۸

شکل ۱-۲. نانو ساختارهای توپی شکل Cu_2S با استفاده از نسبت حلال ۱/۰=آب/اتیلن گیکول در دمای ۱۶۰°C به مدت ۱۲ h ۲۰

شکل ۱-۳. تصویر SEM نانونوارهای Cu_2S با استفاده از قالب Bi_2S_3 در بزرگ نمایی‌های مختلف ۲۱

شکل ۱-۴. تصویر SEM میکروکره‌ها و میکرولوله‌های Cu_2S با استفاده از $Cu(NO_3)_2.3H_2O$ و $Na_2S_2O_3$ و (a) با استفاده از SDBS، (b) بدون استفاده از SDBS ۲۲

شکل ۱-۵. تصویر SEM نانوساختارهای Cu_2S سنتز شده در دمای ۱۶۰ °C به مدت ۱۵ h در نسبت‌های حلال V(water):V(EG) (a) ۱:۳ (b) ۱:۶ (c)۰:۱ ..... ۲۳

شکل ۱-۶- تصویر (a) SEM (b) TEM و SAED نانوسیم Cu_2S ۲۳

شکل ۱-۷- تصویر SEM نانوساختار Cu_2S سنتز شده در دمای ۱۶۰ °C به مدت ۲۴ h ۲۴

شکل ۱-۸- تصاویر SEM سطوح فیلم‌های نازک CIS در بزرگ‌نمایی‌های مختلف ۲۶

۱-۹- تصاویر SEM پودرهای CIS تهیه شده در دمای ۱۹۵ °C ۲۷

شکل ۱-۱۰. (a) تصویر SEM (b) تصویر TEM (c) تصویر HR-TEM (d) الگوی EDX نانوذرات ۲۸

شکل ۲-۱. شماتیکی از تهیه‌ی پیش‌ماده‌ها a) $[Cu(HAP)_2]$، b) $[Cu(Hsal)_2]$و c) $[Cu(en)_2]SO_4$ ۳۴

شکل ۲-۲. الگوی a) XRD و b) طیف FT-IR پیش‌ماده‌ی $[Cu(HAP)_2]$ ۳۴

شکل ۲-۳. الگوی a) XRD و b) طیف FT-IR پیش‌ماده‌ی $[Cu(Hsal)_2]$ ۳۵

شکل ۲-۴. الگوی a) XRD و b) طیف FT-IR پیش‌ماده‌ی $[Cu(en)_2]SO_4$ ۳۵

شکل ۲-۵. a) الگوی XRD، b) طیف EDX، c) طیف FT-IR و d) تصویر SEM نانوذرات CIS/CuS ۳۶

شکل ۲-۶. a) الگوی XRD، b) طیف EDX، c) طیف FT-IR و d) تصویر SEM نانوساختار Cu_2S ۳۷

شکل ۲-۷. a) الگوی XRD، b) طیف EDX، c) و d) تصاویر SEM نانوذرات Cu_2S تهیه شده با امواج مافوق‌صوت ۳۸

شکل ۲-۸. a) الگوی XRD، b) طیف EDX، c) طیف FT-IR و d) تصویر SEM نانوساختار CIS (نمونه‌ی D1). ۴۰

شکل ۲-۹. a) الگوی XRD، b) طیف EDX، c) طیف XPS و d) تصویر SEM نانوذرات CIS (نمونه‌ی E1). ۴۱

شکل ۲-۱۰. a) الگوی XRD، b) طیف EDX، c) طیف FT-IR و d) تصویر SEM نانوذرات AIS (نمونه‌ی F4). ۴۲

شکل ۲-۱۱. شمایی از سلول خورشیدی FTO/CuInS2/CdS/Pt-FTO ۴۳

شکل ۳-۱. الگوی XRD پیش‌ماده‌ی $[Cu(HAP)_2]$. ۵۲

شکل ۳-۲. الگوی XRD نمونه‌ی A1 (بدون بازپخت). ۵۳

کل ۳-۳. الگوی XRD نمونه‌ی A1 (بازپخت شده در دمای ۳۵۰°C) ۵۳

شکل ۳-۴. الگوی XRD نمونه‌ی A1 (بازپخت شده در دمای ۳۵۰°C تحت اتمسفر آرگون). ۵۴

شکل ۳-۵. الگوی XRD نمونه‌ی A20 ۵۴

شکل ۳-۶. طیف EDX نمونه‌ی A1 ۵۵

شکل ۳-۷. تصویر SEM نمونه‌ی A1 ۵۷

شکل ۳-۸. تصویر SEM نمونه‌ی A2 ۵۸

شکل ۳-۹. تصویر SEM نمونه‌ی A3 ۵۹

شکل ۳-۱۰. تصویر SEM نمونه‌ی A4 ۶۰

شکل ۳-۱۱. تصویر SEM نمونه‌ی A5 ۶۱

شکل ۳-۱۲. تصویر SEM نمونه‌ی A6 ۶۲

شکل ۳-۱۳. تصاویر a SEM) نمونه‌ی A7، b) نمونه‌ی A8 و c) نمونه‌ی A9 ۶۴

شکل ۳-۱۴. تصاویر a SEM) نمونه‌ی A10، b) نمونه‌ی A11 و c) نمونه‌ی A12 ۶۵

شکل ۳-۱۵. ت[1]صاویر a SEM) نمونه‌ی A13، b) نمونه‌ی A14، c) نمونه‌ی A15 و d) نمونه‌ی A16 ۶۸

شکل ۳-۱۶. تصاویر SEM a) نمونه‌ی A17، b) نمونه‌ی A18، c) نمونه‌ی A19 ..... ۷۰
شکل ۳-۱۷. تصاویر SEM a) نمونه‌ی A20، b) نمونه‌ی A21 ..... ۷۱
شکل ۳-۱۸. طیف FT-IR a) پیش‌ماده‌ی $[Cu(HAP)_2]$ و b) نمونه‌ی A1 ..... ۷۲
شکل ۳-۱۹. طیف فوتولومینسانس نمونه‌ی A1 ..... ۷۳
شکل ۳-۲۰. شماتیکی از فرآیند تشکیل نانوساختارهای CIS/CuS با استفاده از امواج مافوق‌صوت ۷۴
شکل ۳-۲۱. الگوی XRD پیش‌ماده‌ی $[Cu(Hsal)_2]$ ۷۶
شکل ۳-۲۲. الگوی XRD نمونه‌ی B1 ..... ۷۶
شکل ۳-۲۳. الگوی XRD نمونه‌ی B2 ..... ۷۷
شکل ۳-۲۴. الگوی XRD نمونه‌ی B3 ..... ۷۷
شکل ۳-۲۵. تصاویر SEM a) نمونه‌ی B1، b) نمونه‌ی B2، c) نمونه‌ی B3 ..... ۷۸
شکل ۳-۲۶. تصاویر SEM a) نمونه‌ی B4، b) نمونه‌ی B5، c) نمونه‌ی B6 ..... ۸۰
شکل ۳-۲۷. تصاویر SEM a) نمونه‌ی B7، b) نمونه‌ی B8، c) نمونه‌ی B9 ..... ۸۱
شکل ۳-۲۸. تصویر SEM نمونه‌ی B10 ..... ۸۲
شکل ۳-۲۹. طیف EDX نمونه‌ی B3 ..... ۸۳
شکل ۳-۳۰. طیف فوتولومینسانس نمونه‌ی B3 ..... ۸۴
شکل ۳-۳۱. طیف FT-IR نمونه‌ی B3 ..... ۸۵
شکل ۳-۳۲. شماتیکی از فرآیند تشکیل نانوساختارهای Cu_2S با استفاده از امواج مایکروویو. ۸۶
شکل ۳-۳۳. الگوی XRD پیش‌ماده‌ی $[Cu(en)_2]SO_4$ ۸۷
شکل ۳-۳۴. الگوی XRD نمونه‌ی C1 ..... ۸۸
شکل ۳-۳۵. الگوی XRD نمونه‌ی C9 ..... ۸۸
شکل ۳-۳۶. الگوی XRD نمونه‌ی C2 ..... ۸۹
شکل ۳-۳۷. الگوی XRD نمونه‌ی C10 ..... ۸۹

شکل ۳-۳۸. طیف EDX نمونه‌ی C2 ..... ۹۰
شکل ۳-۳۹. تصاویر SEM a) نمونه‌ی C1، b) نمونه‌ی C2 ..... ۹۱
شکل ۳-۴۰. تصاویر SEM a) نمونه‌ی C3، b) نمونه‌ی C4 و c) نمونه‌ی C5 ..... ۹۳
شکل ۳-۴۱. تصاویر SEM a) نمونه‌ی C6، b) نمونه‌ی C7 ..... ۹۴
شکل ۳-۴۲. تصاویر SEM a) نمونه‌ی C9، b) نمونه‌ی C10 ..... ۹۵
شکل ۳-۴۳. طیف فوتولومینسانس نمونه‌ی C2 ..... ۹۶
شکل ۳-۴۴. تصویر فیلم تهیه شده از نمونه‌ی C2 ..... ۹۷
شکل ۳-۴۵. مشخصه‌ی I-V سلول خورشیدی تهیه شده از نمونه‌ی C2 ..... ۹۷
شکل ۳-۴۶. الگوی XRD نمونه‌ی D1 ..... ۹۸
شکل ۳-۴۷. الگوی XRD نمونه‌ی D2 ..... ۹۹
شکل ۳-۴۸. طیف EDX نمونه‌ی D1 ..... ۱۰۰
شکل ۳-۴۹. تصاویر SEM a) نمونه‌ی D1، b) نمونه‌ی D2 ..... ۱۰۱
شکل ۳-۵۰. تصاویر SEM a) نمونه‌ی D3، b) نمونه‌ی D4 و c) نمونه‌ی D5 ..... ۱۰۲
شکل ۳-۵۱. طیف FT-IR نمونه‌ی D1 ..... ۱۰۳
شکل ۳-۵۲. طیف فوتولومینسانس نمونه‌ی D1 ..... ۱۰۴
شکل ۳-۵۳. مشخصه‌ی I-V سلول خورشیدی تهیه شده از نمونه‌ی D1 ..... ۱۰۴
شکل ۳-۵۴. الگوی XRD نمونه‌ی E1 ..... ۱۰۶
شکل ۳-۵۵. الگوی XRD نمونه‌ی E2 ..... ۱۰۶
شکل ۳-۵۶. الگوی XRD نمونه‌ی E3 ..... ۱۰۷
شکل ۳-۵۷. الگوی XRD نمونه‌ی E9 ..... ۱۰۷
شکل ۳-۵۸. طیف EDX نمونه‌ی E1 ..... ۱۰۸
شکل۳-۵۹. طیف XPS نانوذرات CIS ۱۰۹

شکل ۳-۶۰. تصاویر SEM a) نمونه‌ی E1 و b) نمونه‌ی E2 ..... ۱۱۰
شکل ۳-۶۱. تصاویر SEM a) نمونه‌ی E3، b) نمونه‌ی E4 و c) E5 ..... ۱۱۲
شکل ۳-۶۲. تصاویر SEM a) نمونه‌ی E6 و b) نمونه‌ی E7 ..... ۱۱۳
شکل ۳-۶۳. تصاویر SEM نمونه‌ی E8 ..... ۱۱۵
شکل ۳-۶۴. تصاویر SEM نمونه‌ی E9 ..... ۱۱۶
شکل ۳-۶۵. تصاویر SEM نمونه‌ی E10 ..... ۱۱۷
شکل ۳-۶۶. a) طیف FT-IR پیش‌ماده‌ی $[Cu(en)_2]^{2+}$ و b) نمونه‌ی E1 ..... ۱۱۸
شکل ۳-۶۷. طیف فوتولومینسانس نمونه‌ی E1 ..... ۱۱۹
شکل ۳-۴۴. تصویر فیلم تهیه شده از نمونه‌ی E7 ..... ۱۲۰
شکل ۳-۶۹. مشخصه‌ی I-V سلول خورشیدی تهیه شده از نمونه‌ی E7 ..... ۱۲۰
شکل ۳-۷۰. شماتیکی از فرآیند تشکیل نانوذرات CIS با استفاده از امواج مافوق‌صوت و Na_2SO_3 ..... ۱۲۱
شکل ۳-۷۱. الگوی XRD نانوذرات AIS/Ag_2S تهیه شده با استفاده از امواج فراصوت ۱۲۲
شکل ۳-۷۲. طیف EDX نانوذرات AIS/Ag_2S ۱۲۳
شکل ۳-۷۳. تصویر SEM نانوذرات AIS/Ag_2S ۱۲۴
شکل ۳-۷۴. طیف فوتولومینسانس نانوذرات AIS/Ag_2S ۱۲۵
شکل ۳-۷۵. طیف FT-IR نانوذرات AIS/Ag_2S ۱۲۶
شکل ۳-۷۶. تصویر فیلم تهیه شده از نانوذرات AIS/Ag_2S ۱۲۷
شکل ۳-۷۷. مشخصه‌ی I-V سلول خورشیدی تهیه شده از نانوذرات AIS/Ag_2S ۱۲۷

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱. ضریب اتلاف دی‌الکتریک برای بعضی حلال‌ها ۷

جدول ۲-۱. انواع مواد شیمیایی مورد استفاده ۳۱

جدول ۲-۲. انواع دستگاه‌های مورد استفاده ۳۳

جدول ۲-۳. شرایط ازمایشگاهی به‌کاررفته برای سنتز نانوساختارهای CIS با استفاده از امواج مافوق صوت و پیش‌ماده‌ی $[Cu(HAP)_2]$ ۴۵

جدول ۲-۴. شرایط ازمایشگاهی به‌کاررفته برای سنتز نانوساختارهای Cu_2S با استفاده از امواج مایکروویو ۴۶

جدول ۲-۵. شرایط ازمایشگاهی به‌کاررفته برای سنتز ذرات Cu_2S با استفاده از امواج مافوق صوت ۴۷

جدول ۲-۶. شرایط ازمایشگاهی به‌کاررفته برای سنتز نانوساختارهای CIS با استفاده از امواج مایکروویو و کاهنده‌ی سدیم سولفیت ۴۷

جدول ۲-۷. شرایط ازمایشگاهی به‌کاررفته برای سنتز نانوساختارهای CIS با استفاده از امواج مافوق صوت و کاهنده‌ی سدیم سولفیت ۴۸

(فهرست علائم و اختصارات)

SEM	Scanning Electron Microscope
FT-IR	Fourier Transform Infra-Red
FWHM	Full Width at Half Maximum
JCPDS	Joint Committee on Powder Diffraction Standards
nm	nanometer
PL	photo Luminescent
EDX	Energy Dispersive Analysis of X-ray
XRD	X-ray diffraction pattern
I-V	Current-Voltage
HAP	2-Hydroxyacetophenato
Hsal	Salicylate
TAA	Thioacetamide
Tu	Thiourea
TSC	Thiosemicarbazide
TGA	Thioglycolic acid
PG	Propylene glycol
En	Ethylene diamine
XPS	X-ray photoelectron spectroscopy

فصل اول:

تئوری

۱–۱. روش‌های تهیه‌ی نانوساختارها

اندازه، توزیع، مورفولوژی، خلوص و درجه‌ی بلوری نانوساختارها به چگونگی نحوه‌ی تهیه و تولید آن‌ها وابسته است. بنابراین انتخاب روش سنتز بستگی به نوع ماده و کاربرد آن دارد. از دیدگاه سنتز بر مبنای فاز، تولید نانوساختارها به سه دسته‌ی زیر طبقه‌بندی می‌شوند [۱,۲].

۱. سنتز در فاز جامد

۲. سنتز در فاز گاز

۳. سنتز در فاز مایع.

۱–۱–۱. سنتز در فاز جامد

این روش شامل روش‌های آسیاب‌کردن، فرزکاری و آلیاژسازی مکانیکی است. در این فرآیندها از روش کوبیدن پودر و ریزکردن آن، استفاده می‌شود. خواص نانوذرات حاصل تحت تأثیر نوع ماده‌ی آسیاب‌کننده، زمان آسیاب و محیط اتمسفری آن قرار می‌گیرد. خرد کردن مکانیکی یکی از روش‌های مرسوم از نوع بالا به پایین در تهیه‌ی مواد نانوساختار است. در این روش انرژی دستگاه از طریق گلوله‌های آسیاب به ذرات وارد و در نتیجه نانوذرات بر اساس تنش‌های برشی وارده تولید می‌شوند. میزان انرژی به سرعت لغزش، اندازه و تعداد گلوله‌ها، نسبت وزنی گلوله به پودر، زمان آسیاب و اتمسفر آن بستگی دارد.

این روش به دلیل سهولت و تجهیزات نسبتاً ارزان قیمت و قابلیت ساخت اکثر مواد کاربرد فراوانی دارد. اما محدودیت‌هایی از جمله آلودگی ناشی از محیط، اتمسفر آسیاب، متراکم شدن و کلوخه شدن ذرات در حین آسیاب دارد [۳].