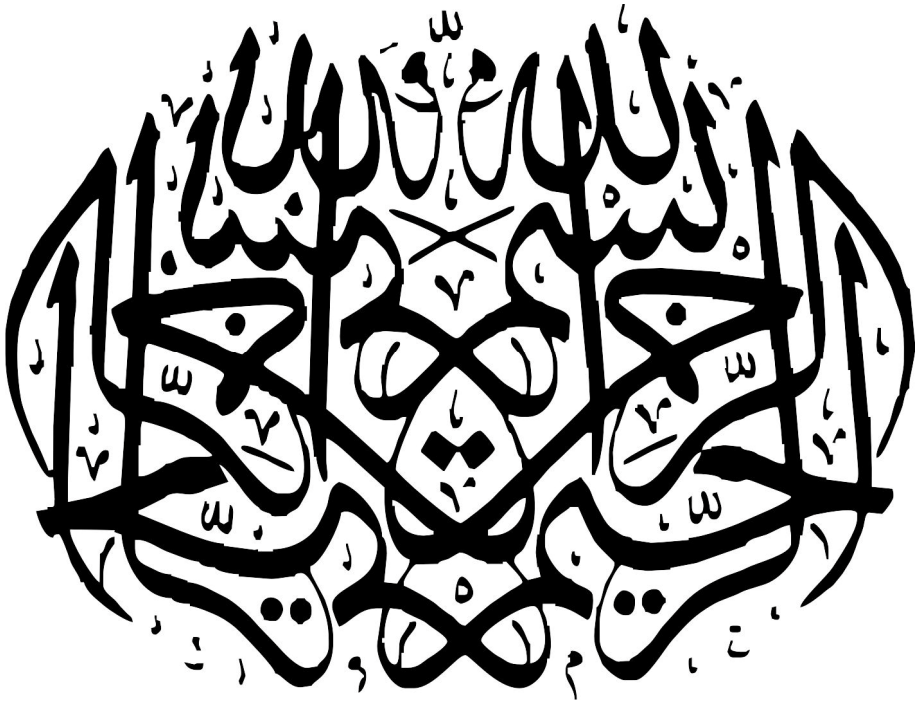

دانشگاه کاشان

پژوهشکده علوم وفناوری نانو

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته علوم و فناوری نانو

گرایش نانوشیمی

عنوان:

سنتز و شناسایی نانوساختارهای $CuInS_2$، $CuInSe_2$، PbS و Bi_2S_3 به روش مایکروویو و بررسی رفتار آن‌ها در سلول‌های خورشیدی

استاد راهنما:

پروفسور مسعود صلواتی نیاسری

به وسیله:

محمد ثابت

تیرماه ۱۳۹۰

تقدیم

به

همسرعزیزم

هر آن که جانب اهل خدا نگه دارد | خداش در همه حال از بلا نگه دارد

حدیث دوست نگویم مگر به حضرت دوست | که آشنا سخن آشنا نگه دارد

دلا معاش چنان کن که گر بلغزد پای | فرشته‌ات به دو دست دعا نگه دارد

گرت هواست که معشوق نگسلد پیمان | نگاه دار سر رشته تا نگه دارد

صبا بر آن سر زلف ار دل مرا بینی | ز روی لطف بگویش که جا نگه دارد

چو گفتمش که دلم را نگاه دار چه گفت | ز دست بنده چه خیزد خدا نگه دارد

سر و زر و دل و جانم فدای آن یاری | که حق صحبت مهر و وفا نگه دارد

غبار راه راهگذارت کجاست تا حافظ | به یادگار نسیم صبا نگه دارد

بر خود لازم می‌دانم از استاد ارجمند، **جناب آقای دکتر صلواتی نیاسری**، که راهنمایی این پروژه را به عهده گرفته و اینجانب را از راهنمایی‌های خردمندانه خود بهره‌مند کردند، کمال تشکر را داشته باشم.

از **جناب آقای دکتر همدانیان و جناب آقای دکتر اکبری** به عنوان داوران داخل دانشگاه که مطالعه‌ی پایان‌نامه‌ی اینجانب را بر عهده گرفته و در جلسه‌ی دفاع شرکت نمودند بسیار سپاس‌گزارم. همچنین از **جناب آقای دکتر منصورنیا** که به عنوان نماینده-ی تحصیلات تکمیلی در جلسه‌ی دفاع حضور به عمل رساندند کمال تشکر را دارم.

در پایان از تمامی دوستانی که من را یاری رساندند سپاسگزارم.

چکیده:

روش مایکروویو، روشی سریع برای تهیه‌ی نانوساختارها در کوتاه‌ترین زمان ممکن است. در میان نیمه‌رساناهای مختلف، نیمه‌رساناهای با شکاف نوار مستقیم برای استفاده در سلول خورشیدی و کاربردهای فوتوولتایی مفید می‌باشد. به این دلیل، در این پروژه سنتز نانوساختارهای $CuInS_2$، $CuInSe_2$، PbS و Bi_2S_3 به‌روش مایکروویو انتخاب گردید. تاثیر پارامترهایی از قبیل منبع گوکرد، غلظت واکنشگر، نوع حلال، توان و زمان مایکروویو بر مورفولوژی و اندازه‌ی ذرات مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت. محصولات بوسیله‌ی پراش اشعه‌ی ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)، طیف سنجی ماوراء بنفش-مرئی (UV-vis)، طیف سنجی فوتولومینسانس (PL) و طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FT-IR) مورد مطالعه قرار گرفتند. با روش دکتر-بلید لایه‌ی نازکی از نانوساختارهای تهیه شده فراهم گردید و سلول خورشیدی از لایه‌های شیشه-ITO/ نیمه‌رسانای نوع p/نیمه‌رسانای نوع n/ پلاتین/ ITO-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: مایکروویو، نیمه‌رسانا، سلول خورشیدی، $CuInS_2$، $CuInSe_2$، PbS و Bi_2S_3.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: تئوری ۱

۱-۱ - مقدمه ۲

۱-۲- روش‌های ساخت نانوذرات ۴

۱-۳- نقاط کوانتومی ۸

۱-۴-کاربرد نقاط کوانتومی در سلول‌های خورشیدی ۱۱

۱-۴-۱- ساختار سلول های خورشیدی ساخته شده از نقاط کوانتومی ۱۲

۱-۴-۲- فوتوالکترودهای حاوی آرایه های نقاط کوانتومی ۱۲

۱-۴-۳- سلول های خورشیدی حاوی TiO_2 حساس شده با نقاط کوانتومی ۱۳

۱-۴-۴- نقاط کوانتومی پراکنده شده در ماتریکس پلیمری نیمه هادی ۱۴

۱-۵- اصول اساسی سلول‌های خورشیدی با پیوندگاه $\boldsymbol{p-n}$ ۱۵

۱-۵-۱- خصوصیات الکتریکی ۱۵

۱-۵-۱-۱- پتانسیل داخلی ۱۵

۱-۵-۱-۲- ناحیه تهی ۱۷

۱-۵-۱-۳- مشخصه‌های جریان – ولتاژ ایده آل تحت تاریکی ۱۸

۱-۵-۱-۴- اثرات تولید و بازترکیب ۲۱

۱-۵-۲- خصوصیات فوتوولتایی ۲۱

۱-۵-۳- پارامترهای بروندهی سلولهای خورشیدی با پیوندگاه $\boldsymbol{p-n}$ ۲۵

۱-۵-۳-۱- جریان مدار- کوتاه ۲۵
۱-۵-۳-۲- ولتاژ مدار – باز ۲۹
۱-۵-۳-۳- فاکتور انباشتن و راندمان تبدیل ۳۰
۱-۵-۴- اتلاف انرژی در سلول‌های خورشیدی با پیوندگاه $\boldsymbol{p-n}$ ۳۱
۱-۵-۴-۱- اتلاف انرژی در سلول خورشیدی ایده‌آل ۳۱
۱-۵-۴-۲- اتلاف انرژی در سلول خورشیدی واقعی ۳۳
۱-۶- اصول اساسی سلول خورشیدی با استفاده از مواد نانوبلوری ۳۴
۱-۶-۱- خصوصیات بنیادی مواد نانوبلوری ۳۴
۱-۶-۲- ساختار نوار انرژی ۳۶
۱-۶-۳- جدایی بار ایجاد شده توسط نور ۳۷
۱-۶-۴- جمع‌آوری حامل‌های بار ایجاد شده توسط نور ۴۰
۱-۷- سلول‌های خورشیدی نانوساختار ۴۲
۱-۷-۱- ویژگی‌های عمومی سلول‌های خورشیدی نانوساختار ۴۲
۱-۸- سلول‌های خورشیدی **CdS/CIS** ۴۴
۱-۹- تئوری برهمکنش مواد شیمیایی با امواج مایکروویو ۴۵
۱-۹-۱- مقدمه ۴۵
۱-۹-۲- گرمای دی‌الکتریک مایکروویو ۴۶
۱-۹-۳- ضریب اتلاف ۴۹
۱-۹-۴- حلال‌ها در مایکروویو ۵۰
۱-۹-۵- مزایای مایکرویو ۵۱

۱-۱۰- پیشینه‌ی تحقیق ۵۲
۱-۱۰-۱- سنتز نانوساختارها به کمک مایکروویو ۵۲
۱-۱۰-۱-۱- سنتز نانو ذرات اکسیدی به روش مایکروویو ۵۲
۱-۱۰-۱-۲- تهیه نانوذرات فلزی تحت امواج مایکروویو ۵۴
۱-۱۰-۱-۳- تهیه نانوذرات سولفیدی به کمک امواج مایکروویو ۵۵
۱-۱۰-۲- مروری بر نانوساختارهای Bi_2S_3 ..... ۵۵
۱-۱۰-۲-۱- مقدمه ۵۵
۱-۱۰-۲-۲- تهیه‌ی نانوساختارهای Bi_2S_3 ..... ۵۶
۱-۱۰-۳- مروری بر نانوساختارهای PbS ۵۷
۱-۱۰-۳-۱-مقدمه ۵۷
۱-۱۰-۳-۲- سنتز نانوساختارهای PbS ۵۷
۱-۱۰-۴- مروری بر نانوساختارهای $CuInS_2$ ۵۸
۱-۱۰-۴-۱- مقدمه ۵۸
۱-۱۰-۴-۲- سنتز نانوساختارهای $CuInS_2$ ۵۹
۱-۱۰-۵- مروری بر نانوساختارهای $CuInSe_2$ ۶۰
۱-۱۰-۵-۱- مقدمه ۶۰
۱-۱۰-۵-۲- تهیه‌ی نانوساختارهای $CuInSe_2$ ۶۰
فصل دوم: بخش تجربی ۶۲
۲-۱- مواد و وسایل آزمایشگاهی ۶۳
۲-۲- دستگاه‌های مورد استفاده ۶۴

۲-۳-روش انجام آزمایش ۶۶
۲-۳-۱-تهیه نانوساختارهای $CuInS_2$ ۶۶
۲-۳-۱-۱- سنتز پیش‌ماده ۶۶
۲-۳-۱-۲- سنتز نانوساختارهای $CuInS_2$ ۶۸
۲-۳-۲- سنتز نانوساختارهای $CuInSe_2$ ۶۸
۲-۳-۳- سنتز نانوساختارهای PbS ۶۹
۲-۳-۴- تهیه نانوساختارهای Bi_2S_3 ..... ۶۹
۲-۴- ساخت سلول خورشیدی از نانوساختارهای سنتز شده ۷۰
۲-۴-۱- سلول خورشیدی ITO/$CuInS_2$/CdS/Pt-ITO ۷۰
۲-۴-۲- سلول خورشیدی ITO/$CuInSe_2$/CdS/Pt-ITO ۷۱
۲-۴-۳- سلول خورشیدی ITO/Bi_2S_3/PbS /Pt-ITO ۷۱
۲-۵-آماده سازی نمونه برای گرفتن تصویر SEM ۷۲
۲-۶- آماده سازی نمونه برای گرفتن تصویر TEM ۷۲
۲-۷- آماده سازی نمونه برای بررسی خواص نوری ۷۲
۲-۸- شرایط آزمایشگاهی ۷۳
فصل سوم: بحث و نتیجه‌گیری ۸۱
۳-۱- نانوساختارهای $CuInS_2$ سنتز شده از پیش‌ماده‌ی $[Cu(Hsal)_2]$ ۸۲
۳-۱-۱- بررسی آنالیز فاز به روش پراش اشعه ایکس ۸۲
۳-۱-۲- اثر منبع گوگرد بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۸۳
۳-۱-۳- اثر زمان بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۸۴

۳-۱-۴- اثر توان بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۸۶
۳-۱-۵- اثر حلال بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۸۶
۳-۱-۵-۱- مقدمه ۸۶
۳-۱-۵-۲- نقش حلال در مایکروویو ۸۷
۳-۱-۶- تصویر TEM ۸۸
۳-۱-۷- طیف FT-IR ۸۹
۳-۱-۸- بررسی خاصیت نوری نانوذرات سنتز شده ۸۹
۳-۱-۸-۱- محاسبه شکاف نوار از طریق طیف Vis ۸۹
۳-۱-۸-۲- طیف فوتولومینسانس ۹۱
۳-۱-۹- بررسی فیلم نازک تهیه شده ۹۲
۳-۱-۱۰- مشخصه‌ی جریان-ولتاژ سلول خورشیدی S1 ..... ۹۲
۳-۱-۱۱- ساز و کار تشکیل $CuInS_2$ از $[Cu(Hsal)_2]$ ۹۴
۳-۲- نانوساختارهای $CuInS_2$ سنتز شده از پیش‌ماده‌ی $[Cu(acac)_2]$ ۹۵
۳-۲-۱- بررسی آنالیز فاز به روش پراش اشعه ایکس ۹۵
۳-۲-۲- اثر منبع گوگرد بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۹۵
۳-۲-۳- اثر زمان تابش امواج مایکروویو بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۹۶
۳-۲-۴- اثر توان مایکروویو بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۹۶
۳-۲-۵- اثر حلال بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۹۷
۳-۲-۶- تصویر TEM ۹۷
۳-۲-۷- طیف FT-IR ۹۸

۳-۲-۸- بررسی خاصیت نوری نانوذرات سنتز شده ۱۰۲
۳-۲-۸-۱- محاسبه شکاف نوار از طریق طیف Vis ۱۰۲
۳-۲-۸-۲- طیف فوتولومینسانس ۱۰۲
۳-۲-۹- بررسی فیلم نازک تهیه شده ۱۰۲
۳-۲-۱۰- مشخصه‌ی جریان-ولتاژ سلول خورشیدی S2 ..... ۱۰۳
۳-۲-۱۱- ساز و کار تشکیل $CuInS_2$ از پیش‌ماده‌ی $[Cu(acac)_2]$ ۱۰۴
۳-۳- نانوساختارهای $CuInS_2$ سنتز شده از پیش‌ماده‌ی $[Cu(HAP)_2]$ ۱۰۵
۳-۳-۱- بررسی آنالیز فاز به روش پراش اشعه ایکس ۱۰۵
۳-۳-۲- اثر منبع گوگرد بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۱۰۵
۳-۳-۳- اثر زمان بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۱۰۸
۳-۳-۴- اثر توان مایکروویو بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۱۰۸
۳-۳-۵- اثر حلال بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۱۰۹
۳-۳-۶- تصویر TEM ۱۱۰
۳-۳-۷- طیف FT-IR ۱۱۱
۳-۳-۸- بررسی خاصیت نوری نانوساختارهای سنتز شده ۱۱۱
۳-۳-۸-۱- محاسبه شکاف نوار از طریق طیف Vis ۱۱۱
۳-۳-۸-۲- طیف فوتولومینسانس ۱۱۲
۳-۳-۹- بررسی فیلم نازک تهیه شده ۱۱۳
۳-۳-۱۰- مشخصه‌ی جریان-ولتاژ سلول خورشیدی S3 ..... ۱۱۳
۳-۳-۱۱- ساز و کار تشکیل $CuInS_2$ از $[Cu(HAP)_2]$ ۱۱۴

۳-۴- نانوساختارهای $CuInS_2$ سنتز شده از پیش‌ماده‌ی $[Cu(sal)_2]$ ۱۱۵
۳-۴-۱- بررسی آنالیز فاز به روش پراش اشعه‌ی ایکس ۱۱۵
۳-۴-۲- اثر منبع گوگرد بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۱۱۵
۳-۴-۳- اثر زمان بر مورفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۱۱۶
۳-۴-۴- اثر توان بر مورفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۱۱۷
۳-۴-۵- اثر حلال بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۱۱۹
۳-۴-۶- طیف FT-IR ۱۲۰
۳-۴-۷- طیف فوتولومینسانس ۱۲۱
۳-۴-۸- بررسی فیلم نازک تهیه شده ۱۲۳
۳-۴-۹- مشخصه‌ی جریان-ولتاژ سلول خورشیدی S4 ..... ۱۲۳
۳-۴-۱۰- ساز و کار تشکیل $CuInS_2/CuS$ از $[Cu(sal)_2]$ ۱۲۴
۳-۵- نانوساختارهای $CuInS_2$ سنتز شده از پیش‌ماده‌ی $[Cu(en)_2]^{2+}$ ۱۲۵
۳-۵-۱- بررسی آنالیز فاز به روش پراش اشعه ایکس ۱۲۵
۳-۵-۲- اثر منبع گوگرد بر مورفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۱۲۶
۳-۵-۳- اثر زمان بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۱۲۷
۳-۵-۴- اثر توان بر مورفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۱۲۹
۳-۵-۵- اثر حلال بر مورفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۱۲۹
۳-۵-۶- طیف FT-IR ۱۳۰
۳-۵-۷- طیف فوتولومینسانس ۱۳۱
۳-۵-۸- بررسی فیلم نازک تهیه شده ۱۳۲

۳-۵-۹- مشخصه‌ی جریان-ولتاژ سلول خورشیدی S5 ..... ۱۳۲
۳-۵-۱۰- ساز و کار تشکیل $CuInS_2/CuS$ از $[Cu(en)_2]^{2+}$ ۱۳۴
۳-۶- نانوساختارهای $CuInSe_2$ سنتز شده از کمپلکس‌های مختلف ۱۳۴
۳-۶-۱- بررسی آنالیز فاز به روش پراش اشعه‌ی ایکس ۱۳۴
۳-۶-۲- اثر منبع مس بر مورفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۱۳۶
۳-۶-۳- اثر زمان واکنش بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۱۳۷
۳-۶-۴- اثر توان مایکروویو بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۱۳۸
۳-۶-۵- طیف FT-IR ۱۳۸
۳-۶-۶- بررسی خاصیت نوری نانوذرات $CuInSe_2$ ۱۳۸
۳-۶-۶-۱- محاسبه شکاف نوار از طریق طیف Vis ۱۳۸
۳-۶-۶-۲- طیف فوتولومینسانس ۱۴۱
۳-۶-۷- بررسی فیلم نازک تهیه شده ۱۴۱
۳-۶-۸- مشخصه‌ی جریان-ولتاژ سلول خورشیدی S6 ..... ۱۴۱
۳-۶-۹- ساز و کار تشکیل $CuInSe_2$ ۱۴۳
۳-۷- نانوساختارهای PbS سنتز شده از پیش‌ماده‌ی $[Pb(Hsal)_2]$ ۱۴۴
۳-۷-۱- بررسی آنالیز فاز به روش پراش اشعه ایکس ۱۴۴
۳-۷-۲- اثر منبع گوگرد بر مورفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۱۴۴
۳-۷-۳- اثر غلظت منبع سولفور بر مورفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۱۴۵
۳-۷-۴- اثر حلال بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۱۴۵
۳-۷-۵- اثر زمان واکنش بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۱۴۶

۳-۷-۶- اثر توان واکنش بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۱۴۹
۳-۷-۷- طیف FT-IR ۱۴۹
۳-۷-۸- طیف فوتولومینسانس ۱۵۰
۳-۸- نانوساختارهای Bi_2S_3 ..... ۱۵۱
۳-۸-۱- بررسی آنالیز فاز به روش پراش اشعه ایکس ۱۵۱
۳-۸-۲- اثر غلظت منبع سولفور بر مورفولوژی و اندازه‌ی ذرات ۱۵۲
۳-۸-۳- اثر زمان واکنش بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۱۵۳
۳-۸-۴- اثر توان واکنش بر مورفولوژی و اندازه ذرات ۱۵۴
۳-۸-۵- طیف FT-IR ۱۵۴
۳-۸-۶- طیف فوتولومینسانس ۱۵۴
۳-۸-۷- بررسی فیلم نازک تهیه شده ۱۵۷
۳-۸-۸- مشخصه‌ی جریان-ولتاژ سلول خورشیدی S7 ..... ۱۵۷
۳-۹- نتیجه‌گیری ۱۵۹
فهرست مراجع ۱۶۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱- ۱- تقسیم بندی نانوساختارها بر اساس ابعاد و اندازه‌ی آن‌ها. ۳

شکل ۱- ۲- تغییر رنگ نقاط کوانتومی در اثر تغییر اندازه ۸

شکل ۱-۳- شکاف انرژی در نیمه‌رسانا. ۱۱

شکل ۱- ۴- ساختارهای سلول های خورشیدی حاوی نقاط کوانتومی. (A) یک آرایه نقطه کوانتومی که به عنوان الکترود نوری برای فرآیند فوتوالکتروشیمیایی استفاده شده است (B) نقاط کوانتومی استفاده شده برای حساس‌سازی یک فیلم نانوبلوری TiO_2. (C) نقاط کوانتومی پراکنده شده در یک پلیمر نیمه‌هادی..... ۱۳

شکل ۱- ۵- سلول خورشیدی حاوی TiO_2 حساس شده با نقاط کوانتومی CdSe..... ۱۴

شکل ۱- ۶- سلول خورشیدی دارای نقاط کوانتومی پراکنده در پلیمر نیمه هادی. ۱۴

شکل ۱-۷-تصاویر نوار انرژی و حامل‌های بیشینه نیم‌رسانای نوع n و نوع p. ۱۵

شکل ۱- ۸- (**a**) ساختارهای شماتیکی پیوندگاه p-n و (**b**) دیاگرام نوار انرژی آن در تعادل حرارتی ۱۶

شکل ۱- ۹- (a) تخمین مستطیلی بار فضایی و (b) توزیع میدان الکتریکی در پیوندگاه p-n.... ۱۷

شکل ۱-۱۰- دیاگرام نوار انرژی تحت (a) بایاس پیشرو و (b) بایاس معکوس..... ۱۹

شکل ۱- ۱۱- بیان شماتیکی از جریان حامل در پیوندگاه $p-n$ نورتابی شده در مورد مدار – کوتاه..... ۲۲

شکل ۱- ۱۲- دیاگرام نوار انرژی مربوط به پیوندگاه $p-n$ نورتابی شده در (a) جریان مدار – کوتاه و (b) جریان مدار – باز ۲۳

شکل ۱- ۱۳- مشخصه‌های ولتاژ – جریان مربوط به پیوندگاه $p-n$ تحت نورتابی و تاریکی ... ۲۴
شکل ۱-۱۴- شماتیک مقطع عرضی سلول خورشیدی با پیوندگاه $p-n$ برای محاسبه پارامترهای سلول خورشیدی ۲۵
شکل ۱- ۱۵- چگالی جریان مدار – کوتاه ایده‌آل سلول خورشیدی با پیوندگاه $p-n$ به عنوان تابعی از شکاف نوار..... ۲۹
شکل ۱- ۱۶- ولتاژ مدار – باز ایده‌آل سلول خورشیدی با پیوندگاه $p-n$ به عنوان تابعی از شکاف نوار..... ۳۰
شکل ۱- ۱۷- راندمان تبدیل ایده‌آل سلول خورشیدی با پیوندگاه $p-n$ به عنوان تابعی از شکاف نوار..... ۳۱
شکل ۱-۱۸- شماتیکی از تابش جسم سیاه در ۶۰۰۰ درجه کلوین و توزیع طیفی نورخورشید و اتلاف‌های انرژی. A : انرژی که به وسیله نیم‌رسانا جذب نمی‌شود، B: اتلاف انرژی اضافه، C اتلاف فاکتور ولتاژ و D: اتلاف فاکتور انباشتن..... ۳۲
شکل ۱- ۱۹- حالت‌های الکتروستاتیکی برای (**a**) نیم‌رسانای توده‌ای، (**b**) بلورهای ریز و (**c**) مولکول..... ۳۵
شکل ۱- ۲۰- دیاگرام‌های نوار انرژی ذرات (a) نیم‌رسانای بزرگ و (b) نیم‌رسانای کوچک در الکترولیت..... ۳۷
شکل ۱-۲۱- بیان شماتیکی از همترازی سطح انرژی برای دو مورد. فرض: شکاف نوار A بزرگتر از شکاف نوار B است و فوتون‌ها در B جذب می‌شوند. (a) جدایی بار اتفاق می‌افتد و (b) جدایی بار اتفاق نمی‌افتد..... ۳۹

شکل ۱- ۲۲- (a – d) تصویری از سطح مقطع عرضی نمونه‌هایی برای سلول‌های خورشیدی بر پایه مواد نانوبلوری. A و B به ترتیب به ماده A و B نشان داده شده در شکل ۱-۲۱ (a) نسبت داده می‌شود. ۴۱

شکل ۱- ۲۳- نیمرخ نوار انرژی سلول خورشیدی بر پایه مواد نانوبلوری ۴۱

شکل ۱- ۲۴- مثالی از سلول خورشیدی نانوساختار. ۴۳

شکل ۱- ۲۵- دیاگرام نوار انرژی پیوندگاه ناهمگن CdS/CIS ۴۵

شکل ۱- ۲۶: اجزاء میدان الکترومغناطیسی ۴۷

شکل ۱- ۲۷: مراحل مکانیسم قطبش مواد دو قطبی. ۴۹

شکل ۱- ۲۸: نمودار اتلاف دی‌الکتریک و ثابت دی الکتریک آب در برابر فرکانس ۵۲

شکل ۱- ۲۹: شماتیک آماده‌سازی نمونه. ۵۳

شکل ۱- ۳۰ : تصویر SEM مربوط به پودرهای MgO به‌دست آمده ۵۳

شکل ۱- ۳۱- تصاویر TEM نانوساختارهای پالادیوم با غلظت‌های متفاوتی از پیش ماده‌ها ۵۴

شکل ۱- ۳۲. تصاویر SEM نانوساختارهای CdS ۵۵

شکل ۱-۳۳: تصاویر TEM مربوط به نانومیله‌های Bi_2S_3 تهیه شده به روش سولوترمال ۵۶

شکل ۱-۳۴. تصاویر TEM مربوط به نانوکریستال‌های PbS تهیه شده به روش سونوشیمی در حلال‌های(a) اتانول، (b) آب، (c) اتیلن گلیکول و (d) پلی اتیلن گلیکول ۵۸

شکل ۱-۳۵. تصاویر SEM پودرهای $CuInS_2$ تهیه شده در دمای ۱۹۵°C ۵۹

شکل ۱- ۳۶. تصاویر SEM و TEM نانوساختارهای $CuInSe_2$ ۶۱

شکل ۲- ۱. ساختار شیمیایی برخی از مواد شیمیایی به کار رفته در این پروژه. ۶۴

شکل ۲- ۲ ساختار لیگاندهای استفاده شده در تهیه‌ی پیش‌ماده‌های واکنش. ۶۶

شکل ۲- ۳. شمایی از سلول خورشیدی $ITO/CuInS_2/CdS/Pt-ITO$ ۷۰

شکل ۲- ۴. شمایی از سلول خورشیدی $ITO/Bi_2S_3/PbS\ /Pt-ITO$ ۷۱

شکل ۳-۱. الگوی XRD (a) پیش ماده‌ی $[Cu(Hsal)_2]$ و (b) نمونه‌ی A2. ..... ۸۳

شکل ۳- ۲. (a-h) به ترتیب تصاویر SEM نمونه‌های A1-A8. ..... ۸۵

شکل ۳- ۳. (a) تصاویر SEM نمونه‌ی A9 و (b) نمونه‌ی A10. ..... ۸۶

شکل ۳- ۴. تصاویر SEM از (a) نمونه‌ی A11 و (b) نمونه‌ی A12. ..... ۸۸

شکل ۳- ۵ . تصاویر SEM (a) نمونه‌ی A13 و (b) نمونه‌ی A14. ..... ۸۸

شکل ۳- ۶. تصویر TEM نمونه‌ی A2. ..... ۸۹

شکل ۳- ۷. طیف FT-IR (a) پیش‌ماده‌ی $[Cu(Hsal)_2]$ و (b) نانوذرات $CuInS_2$. ۹۰

شکل ۳- ۸. (a) طیف Vis و (b) نمودار $(\alpha h\nu)2$ در برابر $h\nu$ نمونه‌ی A2. ..... ۹۱

شکل ۳-۹. طیف PL نمونه‌ی A2. ..... ۹۲

شکل ۳- ۱۰. تصویر SEM فیلم تهیه شده از نمونه‌ی A2. ..... ۹۳

شکل ۳-۱۱. مشخصه‌ی I-V سلول خورشیدی S1. ..... ۹۴

شکل ۳-۱۲. شماتیک فرآیند تشکیل نانوساختارهای $CuInS_2$ از پیش ماده‌ی $[Cu(Hsal)_2]$. ۹۴

شکل ۳-۱۳. طیف XRD نمونه‌ی B1. ..... ۹۸

شکل ۳- ۱۴. (a-h) به ترتیب تصاویر SEM نمونه‌های B1-B8. ..... ۹۹

شکل ۳-۱۵. تصاویر SEM (a) نمونه‌ی B9 و (b) نمونه‌ی B10. ..... ۱۰۰

شکل ۳- ۱۶. تصاویر SEM (a) نمونه‌ی B11 و (b) نمونه‌ی B12. ..... ۱۰۰

شکل ۳- ۱۷. تصاویر SEM (a) نمونه‌ی B13 و (b) نمونه‌ی B14. ..... ۱۰۰

شکل ۳- ۱۸. تصویر TEM نمونه‌ی B1. ..... ۱۰۱

شکل ۳- ۱۹. طیف FT-IR نمونه‌ی B1. ..... ۱۰۱
شکل ۳-۲۰. (a) طیف Vis و (b) نمودار $(\alpha h\nu)^2$ در برابر hν نمونه‌ی B1..... ۱۰۲
شکل ۳-۲۱ . طیف PL نمونه‌ی B1..... ۱۰۳
شکل ۳-۲۲. فیلم تهیه شده از نمونه‌ی B1..... ۱۰۳
شکل ۳- ۲۳. مشخصه‌ی I-V سلول خورشیدی S2. ..... ۱۰۴
شکل ۳- ۲۴. شماتیک فرآیند تشکیل نانوساختارهای $CuInS_2$ **از** پیش ماده‌ی $[Cu(acac)_2]$.. ۱۰۴
شکل ۳-۲۵. طیف XRD (a) پیش ماده‌ی تهیه شده‌ی $[Cu(HAP)_2]$، (b) نمونه‌ی C2 و (c) نمونه‌ی C2 بازپخت شده در دمای $450^{o}C$ به مدت ۲ ساعت. ۱۰۶
شکل ۳-۲۶. (a-h) به ترتیب تصاویر SEM نمونه‌ی C1-C8..... ۱۰۷
شکل ۳-۲۷. تصاویر SEM (a) نمونه‌ی C9 و (b) نمونه‌ی C10. ..... ۱۰۸
شکل ۳- ۲۸. تصاویر SEM (a) نمونه‌ی C11 و (b) نمونه‌ی C12. ..... ۱۰۹
شکل ۳-۲۹. تصاویر SEM (a) نمونه‌ی C13 و (b) نمونه‌ی C14. ..... ۱۱۰
شکل ۳- ۳۰. تصویر TEM نمونه‌ی C1..... ۱۱۰
شکل ۳- ۳۱. طیف FT-IR (a) پیش‌ماده‌ی $[Cu(HAP)_2]$ و (b) نانوذرات $CuInS_2$. ۱۱۱
شکل ۳-۳۲. (a) طیف Vis و (b) نمودار $(\alpha h\nu)^2$ در برابر hν نمونه‌ی C2..... ۱۱۲
شکل ۳-۳۳. طیف PL نمونه‌ی C2. ..... ۱۱۲
شکل ۳-۳۴. فیلم تهیه شده از نمونه‌ی C2..... ۱۱۳
شکل ۳-۳۵. مشخصه‌ی I-V سلول خورشیدی S3. ..... ۱۱۴
شکل ۳-۳۶. شماتیک تشکیل نانوساختارهای $CuInS_2$ از پیش ماده‌ی $[Cu(HAP)_2]$. ۱۱۴
شکل ۳- ۳۷. طیف XRD (a) پیش ماده‌ی $[Cu(sal)_2]$، (b) نمونه‌ی D2..... ۱۱۶

شکل ۳-۳۸. (a-h) به ترتیب تصاویر SEM نمونه‌های D1-D8. ۱۱۸
شکل ۳-۳۹. تصاویر SEM (a) نمونه‌ی D9 و (b) نمونه‌ی D10. ۱۱۹
شکل ۳-۴۰. تصاویر SEM (a) نمونه‌ی D11 و (b) نمونه‌ی D12. ۱۱۹
شکل ۳-۴۱. تصاویر SEM (a) نمونه‌ی 13 و (b) نمونه‌ی D14. ۱۲۰
شکل ۳- ۴۲. طیف FT-IR (a) پیش ماده‌ی $[Cu(sal)_2]$ و (b) نمونه‌ی D2. ۱۲۱
شکل ۳- ۴۳. طیف PL نمونه‌ی D2. ۱۲۲
شکل ۳- ۴۴. تصویر SEM فیلم تهیه شده از نمونه‌ی D2. ۱۲۳
شکل ۳-۴۵. مشخصه‌ی I-V سلول خورشیدی S4. ۱۲۴
شکل ۳- ۴۶. شماتیک فرآیند تشکیل نانوساختارهای $CuInS_2/CuS$ از پیش ماده‌ی $[Cu(sal)_2]$. ۱۲۵
شکل ۳-۴۷. طیف XRD (a) پیش ماده‌ی $[Cu(en)_2]^{2+}$، (b) نمونه‌ی E1. ۱۲۶
شکل ۳- ۴۸. (a-h) به ترتیب تصاویر SEM نمونه‌های E1-E8. ۱۲۸
شکل ۳- ۴۹ .تصاویر SEM (a) نمونه‌ی E9 و (b) نمونه‌ی E10. ۱۲۹
شکل ۳- ۵۰. تصاویر SEM (a) نمونه‌ی E11 و (b) نمونه‌ی E12. ۱۳۰
شکل ۳- ۵۱. تصاویر SEM (a) نمونه‌ی E13 و (b) نمونه‌ی E14. ۱۳۰
شکل ۳- ۵۲. طیف FT-IR (a)پیش ماده‌ی $[Cu(en)_2]^{2+}$ و (b) نمونه‌ی E1. ۱۳۱
شکل ۳- ۵۳. طیف PL نمونه‌ی E1. ۱۳۲
شکل ۳- ۵۴. تصویر SEM فیلم تهیه شده از نمونه‌ی E1. ۱۳۳
شکل ۳- ۵۵. نمودار I-V سلول خورشیدی S5. ۱۳۳