





دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش اتمی مولکولی

**بررسی تاثیر ضخامت لایه میانگیر بر کارایی سلول‌های خورشیدی نانومتری
CdTe/CdS**

استادان راهنما:

دکتر حمیدرضا فلاح

دکتر مرتضی حاجی محمودزاده

پژوهشگر:

فائزه دهقان

آبان ماه ۱۳۹۱

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات
و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه اصفهانا است.



دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش اتمی مولکولی خانم فائزه دهقان

تحت عنوان

بررسی تأثیر ضخامت لایه‌ی میانگیر بر کارایی سلول‌های خورشیدی

نانومتری CdTe/CdS

ع

در تاریخ ۹۱/۰۸/۲۹ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه به تصویب نهایی رسید .

امضا

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر حمیدرضا فلاح با مرتبه علمی دانشیار

امضا

۲- استاد راهنمای پایان نامه دکتر مرتضی حاجی محمودزاده با مرتبه علمی استادیار

امضا

۳- استاد داورداخل گروه دکتر مجتبی مستجاب الدعواتی با مرتبه علمی استادیار

امضا

۴- استاد داور خارج از گروه دکتر فریبرز جهانشاه با مرتبه علمی استادیار

امضا

مدیر گروه



پاس خدا برای نعمت های بی دینی که به من ارزانی داشت.

پاس بیکران برهدلی و همراهی و همگامی پدر و مادر دلنوز و مهربانم که سجده های ایشان گل محبت را در وجودم پروراند و دامن کهرشان
نقطه های مهربانی را به من آموخت.

پاس بیکران از همسر عزیزم بابت همراهی، صبر و بردباری بی پیمانش.

تقدیم بہ:

امام عصر عجل اللہ تعالیٰ فرجہ الشریف

پدر مہربانم

مادر دلسوزم

بھسسر عزیزم

خواہر خوبم

چکیده:

سلول‌های خورشیدی متشکل از قطعات نیم‌رسانایی هستند که مستقیماً انرژی تابشی خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. امروزه سلول‌های خورشیدی سیلیکونی به‌صورت صنعتی و با بازدهی بالا تولید می‌شوند، ولی هزینه تولید آنها بسیار زیاد است. تحقیقات زیادی در زمینه سلول‌های خورشیدی بر پایه CdTe صورت گرفته است از جمله مزایای این سلول‌های خورشیدی می‌توان به بازده بالا، قیمت کمتر و حساس نبودن نسبت به زاویه تابش نور خورشید و تغییرات درجه حرارت اشاره کرد. سلول خورشیدی CdTe/CdS نمونه‌ای از یک پی‌وندگاه است که، روی بستره‌های لایه نشانی شده با اکسید رسانای شفاف که به عنوان الکتروود جلویی به کار می‌روند، ساخته می‌شوند. گاف انرژی کادمیوم تلوراید برابر 1.45eV است. این گاف انرژی بسیار نزدیک به گاف انرژی بهینه برای سلول خورشیدی می‌باشد، و از این نظر ماده مناسبی برای سلول‌های فتوولتائیک لایه نازک است. چون ضریب جذب CdTe بالاست ($5 \times 10^5 \text{cm}^{-1}$) می‌تواند همه فوتون‌های با انرژی بیش از 1.45eV را جذب کند. کادمیوم سولفاید نیز با گاف انرژی 2.45eV و رسانایی خوب معمولاً همراه با CdTe استفاده می‌شود. استفاده از لایه نازک کادمیوم سولفاید شیوه‌ای برای بالا بردن کارایی دستگاه است. در این پایان‌نامه تحت ساختار سلول خورشیدی CdTe/CdS بررسی می‌کنیم. سپس سلول خورشیدی را با دو لایه رسانای شفاف ITO و SnO_2 شیبی‌سازی کرده و ضخامت لایه‌های مختلف سلول را تغییر دادیم و تأثیر ضخامت لایه‌های میانی ZnO ، ZnTe ، As_2Te_3 ، Sb_2Te_3 را بر هر دو سلول خورشیدی بررسی کردیم. در نهایت بهترین طراحی ما منجر به شیبی‌سازی سلول خورشیدی CdTe/CdS با لایه میانی زینک تلوراید با ساختار $\text{SnO}_2(30\text{nm})/\text{CdS}(20\text{nm})/\text{CdTe}(1\mu\text{m})/\text{ZnTe}(20\text{nm})/\text{Au}$ که بازده 21.04% می‌شود.

کلمات کلیدی: سلول خورشیدی، کادمیوم تلوراید، کادمیوم سولفاید، لایه میانی، زینک تلوراید،

آنتی‌موان تلوراید، ارسنیک تلوراید، اکسید روی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: سلول های فتوولتائی یک	۱
۱-۱ مصرف انرژی	۱
۲-۱ انرژی خورشیدی و مزایای آن	۳
۳-۱ سلول های فتوولتائی یک	۴
۱-۳-۱ سلول های خورشیدی معدنی	۶
۱-۳-۱-۱ سلول های خورشیدی سی لی کونی	۷
۲-۱-۳-۱ سلول های خورشیدی CdTe/CdS	۱۰
۳-۱-۳-۱ سلول های خورشیدی CIGS	۱۱
۲-۳-۱ سلول های خورشیدی آلی	۱۲
۱-۲-۳-۱ انواع سلول های خورشیدی آلی:	۱۴
۴-۱ مقایسه انواع سلول های خورشیدی	۱۷
فصل دوم: سلول های خورشیدی CdTe/CdS	۱۸
۱-۲ سلول خورشیدی CdTe/CdS	۱۹
۲-۲ بستره	۱۹
۳-۲ لایه اتصال بالایی (الکتروشفاف)	۲۰
۴-۲ لایه پینجرهای CdS	۲۱
۵-۲ لایه مجاذب CdTe	۲۴
۶-۲ لایه اتصال پشتی	۲۳
۷-۲ لایه های می انگی ر	۲۵
۸-۲ عملیات CdCl ₂	۲۶

فصل سوم: شبیه سازی و بهی نه سازی ضخامت لایه های سلول خورشیدی CdTe/CdS	۲۹
۱-۳ مقدمه	۲۷
۲-۳ شبیه سازی سلول خورشیدی CdTe/CdS بالای پهرسانی شفاف SnO ₂	۲۸
۱-۲-۳ بهی نه سازی ضخامت لایه ها اتصال بالای (SnO ₂)	۲۹
۲-۲-۳ بهی نه سازی ضخامت لایه پینجرهای CdS	۳۳
۳-۲-۳ بهی نه سازی ضخامت لایه جذاب CdTe	۳۵
۴-۲-۳ اثر دمایی نقطه کار بر پارامترهای سلول خورشیدی CdTe/CdS	۳۷
۳-۳ شبیه سازی سلول خورشیدی CdTe/CdS بالای همی انگی ر	۴۳
۱-۳-۳ شبیه سازی سلول خورشیدی بالای همی انگی ر Sb ₂ Te ₃	۴۰
۱-۳-۳-۱ بهی نه سازی ضخامت لایه SnO ₂	۴۰
۳-۳-۱-۲ بهی نه سازی ضخامت لایه CdS	۴۱
۳-۳-۱-۳ بهی نه سازی ضخامت لایه CdTe	۴۲
۲-۳-۳ شبیه سازی سلول خورشیدی بالای همی انگی ر As ₂ Te ₃	۴۴
۳-۳-۳ شبیه سازی سلول خورشیدی بالای همی انگی ر ZnTe	۴۵
۱-۳-۳-۱ بهی نه سازی لایه ها اتصال بالای SnO ₂	۴۶
۲-۳-۳-۲ بهی نه سازی ضخامت لایه پینجرهای CdS	۴۸
۳-۳-۳-۳ بهی نه سازی لایه CdTe به هم راه لایه همی انگی ر ZnTe	۵۰
۴-۳-۳-۴ بهی نه سازی ضخامت لایه همی انگی ر ZnTe	۵۳
۵-۳-۳-۵ اثر تابع کار لایه ها اتصال پشتی	۵۵
۴-۳-۳-۴ شبیه سازی سلول خورشیدی بالای همی انگی ر ZnO	۵۶
۱-۴-۳-۳ بهی نه سازی ضخامت لایه SnO ₂	۵۶
۲-۴-۳-۳ بهی نه سازی ضخامت لایه ZnO	۵۷
۳-۴-۳-۳ بهی نه سازی ضخامت لایه CdS	۶۴
۴-۴-۳-۴ بهی نه سازی ضخامت لایه CdTe	۶۵

۶۶	..... اثر تابع کار لایه‌ها اتصال پستی	۳-۴-۵
۶۳	..... طراحی‌های پی‌شی‌ن	۳-۴-۶
۶۴	..... شیبی‌سازی سلول خورشیدی CdTe/CdS بالای پهرسانای شفاف ITO	۳-۴-۴
۶۴	..... شیبی‌سازی سلول خورشیدی CdTe/CdS بدن لایه‌ی همی‌انگی ر	۳-۴-۱
۶۵	..... بهی‌نه‌سازی ضخامت لایه‌ی پهرسانای شفاف ITO	۳-۴-۱-۱
۶۷	..... بهی‌نه‌سازی ضخامت لایه‌ی پهنجرهای CdS	۳-۴-۱-۲
۷۰	..... بهی‌نه‌سازی ضخامت لایه‌ی به‌جاذب CdTe	۳-۴-۱-۳
۷۲	..... شیبی‌سازی سلول خورشیدی CdTe/CdS بالای همی‌انگی ر Sb ₂ Te ₃	۳-۴-۲
۷۳	..... شیبی‌سازی سلول خورشیدی CdTe/CdS بالای همی‌انگی ر As ₂ Te ₃	۳-۴-۳
۷۴	..... شیبی‌سازی سلول خورشیدی CdTe/CdS بالای همی‌انگی ر ZnTe	۳-۴-۴
۷۴	..... بهی‌نه‌سازی ضخامت لایه‌ی ITO	۳-۴-۴-۱
۷۶	..... بهی‌نه‌سازی ضخامت لایه‌ی CdS	۳-۴-۴-۲
۸۳	..... بهی‌نه‌سازی ضخامت لایه‌ی CdTe	۳-۴-۴-۳
۷۹	..... بهی‌نه‌سازی ضخامت لایه‌ی ZnTe	۳-۴-۴-۴
۸۰	..... اثر فلزات مختلف بر پارامترهای سلول خورشیدی CdTe/CdS	۳-۴-۴-۵
۸۱	..... بررسی اثر ضخامت لایه‌ی به‌جاذب CdTe	۳-۵-۵
۸۵	..... فصل چهارم: نتایج‌گیری و پیشنهادات	
۸۵	..... ۱-۴ نتایج‌گیری	
۸۷	..... ۲-۴ پیشنهادات	
۸۸	..... پیوست الف	
۹۴	..... مراجع	

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
فصل اول: سلول‌های فتوولتائیک	۱
شکل ۱-۱: سهم منطقه‌ای از مصرف انرژی در جهان	۳
شکل ۱-۲: نمای کلی از سلول‌های خورشیدی معدنی	۷
شکل ۱-۳: نمونه‌ای از یک سلول خورشیدی سیلیکونی p-i-n	۹
شکل ۱-۴: انعطاف‌پذیری یک سلول خورشیدی CIGS	۱۱
شکل ۱-۵: تصویر رستمتر استسطح مقطع سلول‌های خورشیدی CIGS و سمت چپ تصویر SEM	۱۲
شکل ۱-۶: سلول‌های خورشیدی آل‌تکالی‌های	۱۴
شکل ۱-۷: سلول‌های خورشیدی آل‌دولای‌های	۱۵
شکل ۱-۸: سلول‌های آل‌p-i-n	۱۵
شکل ۱-۹: تشکی‌لاکسای تونسل‌های مخلوط‌آزی‌وندناهمگن	۱۶
شکل ۱-۱۰: مقالی سه‌تولی‌دتجاری‌انواع سلول‌های معدنی	۱۷
فصل دوم: سلول‌های خورشیدی CdTe/CdS	۱۸
شکل ۱-۲: نمای کلی از سلول‌خورشی‌دی CdTe/CdS	۱۸
شکل ۲-۲: سلول‌خورشی‌دی CdTe/CdS در وضعیت‌های الف- رولایه‌وب- زی‌رلایه	۱۹
شکل ۲-۳: شبک‌هبلوری‌کادمی‌ومتلورای‌د	۲۳
شکل ۲-۴: تراز‌های انرژی‌چی‌وندگا‌ها‌تصال‌پشتی‌فلز/نی‌مرسانا	۲۴
فصل سوم: شبی‌سازی و بهی‌نه‌سازی ضخامت لای‌های سلول خورشیدی CdTe/CdS	۲۷
شکل ۱-۳: نمای کلی از سلول‌خورشی‌دی بالایی‌هرسانایی‌شفاف SnO ₂	۲۹
شکل ۲-۳: نمای کلی از ساختار چهاروجهی‌روتایی‌ل SnO ₂	۳۰
شکل ۳-۳: اثر ضخامت‌لای SnO ₂ بر روی پارامترهای سلول‌خورشی‌دی CdS/CdTe (الف) ولتاژ مدار باز، (ب) چگالی‌جری‌انمدار کوتاه، (ج) ضری‌ب‌پیش‌دگی، (د) کارایی	۳۳
شکل ۳-۴: نمودار چگالی‌جری‌انبر حسب ولتاژ در هر دو حالت تئوری‌کوروشندر ضخامت‌بیهی‌نه SnO ₂	۳۱
شکل ۳-۵: نمودار ظرفی‌تناحی‌هتهی‌در ضخامت ۲۵ نانومتر لای‌هرسانایی‌شفاف SnO ₂	۳۲

- شکل ۳-۶: نمودار بازده کوآنتومی در ضخامت‌بندی SnO_2 ۳۲
- شکل ۳-۷: اثر ضخامت‌بندی CdS بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe (الف) و لتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۳۳
- شکل ۳-۸: منحنی جری انباز ترکیبی چگالی جری انبر حسب لتاژ ۳۴
- شکل ۳-۹: نمودار ظرفی تناحی پتهی در ضخامت ۲۰ نانومتر لایه‌پنجرهای CdS ۳۴
- شکل ۳-۱۰: نمودار بازده کوآنتومی در ضخامت‌بندی نهایی CdS ۳۵
- شکل ۳-۱۱: اثر ضخامت‌بندی CdTe بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe (الف) و لتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۳۶
- شکل ۳-۱۲: منحنی بازده کوآنتومی برای سلول خورشیدی CdTe/CdS در ضخامت‌های مختلف CdTe ۳۶
- شکل ۳-۱۳: اثر دمی نقطه‌کار بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe (الف) و لتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۳۷
- شکل ۳-۱۴: اثر ضخامت‌بندی SnO_2 بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe بالای همی‌انگی Sb_2Te_3 : (الف) و لتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۴۱
- شکل ۳-۱۵: اثر ضخامت‌بندی CdS بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe بالای همی‌انگی Sb_2Te_3 : (الف) و لتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۴۵
- شکل ۳-۱۶: اثر ضخامت لایه CdTe بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdTe/CdS با لایه می‌انگی Sb_2Te_3 (الف) و لتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۴۳
- شکل ۳-۱۷: تصویری سمت راست منحنی $J-V$ در روشنایی و تصویری سمت چپ منحنی لگاریتمی چگالی جری انباز ترکیبی بر حسب و لتاژ Sb_2Te_3 ۴۴
- شکل ۳-۱۸: تصویری سمت راست منحنی $J-V$ در روشنایی و تصویری سمت چپ منحنی لگاریتمی چگالی جری انباز ترکیبی بر حسب و لتاژ As_2Te_3 ۴۵
- شکل ۳-۱۹: نمودار بازده کوآنتومی از سلول خورشیدی CdS/CdTe بالای همی‌انگی ZnTe ۴۶
- شکل ۳-۲۰: _____ کل ۲۰-۳
- اثر ضخامت‌بندی SnO_2 بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe به همراه لایه همی‌انگی ZnTe (الف) و لتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۴۷
- شکل ۳-۲۱: مشخصه جری ان-ولتاژ در حالت تاریک و روشن در ضخامت‌بندی نهایی SnO_2 ۴۷
- شکل ۳-۲۲: نمودار ظرفی تناحی پتهی در ضخامت ۳۰ نانومتر لایه‌پنجرهای شفاف SnO_2 ۴۸
- شکل ۳-۲۳: نمودار بازده کوآنتومی بر حسب طول موج در ضخامت‌بندی نهایی SnO_2 ۴۸
- شکل ۳-۲۴: _____ کل ۲۴-۳

اثر ضخامت لایه CdS بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe به همراه لایه همی انگی ر ZnTe (الف) : الف) ولتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۴۹

شکل ۳-۲۵: نمودار چگالی جری ان بر حسب ولتاژ در ضخامت بهی نه CdS ۵۰

شکل ۳-۲۶: منحنی بازده کوانتومی بر حسب طول موج در ضخامت ۲۰ نانومتر ۵۰

شکل ۳-۲۷: اثر ضخامت لایه CdTe بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe (الف) : الف) ولتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۵۱

شکل ۳-۲۸: نمودار چگالی جری ان بر حسب ولتاژ در ضخامت ی ک می کرون CdTe ۵۲

شکل ۳-۲۹: نمودار بازده کوانتومی در ضخامت های مختلف لایه هجاذب CdTe ۵۲

شکل ۳-۳۰: اثر ضخامت لایه همی انگی ر ZnTe بر پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe (الف) : الف) ولتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۵۴

شکل ۳-۳۱: مشخصه جری ان ولتاژ در دو حالت تاری کی و روشنای ی در ضخامت بهی نه ZnTe ۵۵

شکل ۳-۳۲: منحنی مشخصه جری ان ولتاژ با تابع کارهای مختلف در روشنای ی ۵۵

شکل ۳-۳۳: نمای ی از سلول خورشیدی CdS/CdTe بالای ه بافر ZnO ۵۶

شکل ۳-۳۴: اثر ضخامت لایه SnO2 بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe با لایه بافر ZnO (الف) : الف) ولتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری ان مدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۵۷

شکل ۳-۳۵: اثر ضخامت لایه ZnO بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe بالای همی انگی ر ZnO : الف) ولتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۵۸

شکل ۳-۳۶: منحنی مشخصه جری ان - ولتاژ در حالت تاری ک و روشنای ی لایه ZnO ۵۸

شکل ۳-۳۷: منحنی بازده کوانتومی بر حسب طول موج در ضخامت ۱۰ نانومتر برای لایه ZnO ۵۹

شکل ۳-۳۸: اثر ضخامت لایه CdS بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe بالای همی انگی ر ZnO : الف) ولتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۶۰

شکل ۳-۳۹: اثر ضخامت لایه CdTe بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe بالای همی انگی ر ZnO : الف) ولتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۶۱

شکل ۳-۴۰: منحنی I-V برای لایه اتصال پستی از فلز اتباتوابعار مختلف ۶۲

شکل ۳-۴۱: منحنی بازده کوانتومی برای اتصال پستی از فلز اتباتوابعار مختلف ۶۳

شکل ۳-۴۲: منحنی ری شهی ابی تابع $f(x)$ بر حسب X ۶۴

شکل ۳-۴۳: نمای ی از سلول خورشیدی CdS/CdTe بالای هر سانای شفاف ITO ۶۵

شکل ۳-۴۴: اثر ضخامت لایه ITO بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe (الف) : الف) ولتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۶۶

- شکل ۳-۴۵: منحنی مشخصه جری ان-ولتاژ در حالت تاری کوروشن برای لایه ITO..... ۶۷
- شکل ۳-۴۶: منحنی بازده کوآنتومی در ضخامت ۵۰ نانومتر برای لایه ITO..... ۶۷
- شکل ۳-۴۷: اثر ضخامت لایه CdS بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe (الف) ولتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۶۸
- شکل ۳-۴۸: منحنی مشخصه جری انولتاژ در ضخامت بهی نه CdS..... ۶۹
- شکل ۳-۴۹: منحنی بازده کوآنتومی در ضخامت ۴۰ نانومتر برای لایه CdS..... ۶۹
- شکل ۳-۵۰: منحنی ظرفی تناحی پتهی بر حسب ولتاژ در ضخامت ۴۰ نانومتر CdS..... ۷۰
- شکل ۳-۵۱: اثر ضخامت لایه CdTe بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe (الف) ولتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۷۱
- شکل ۳-۵۲: منحنی بازده کوآنتومی بر حسب طول موج در ضخامت های مختلف لایه هجاذب CdTe..... ۷۱
- شکل ۳-۵۳: منحنی مشخصه جری ان-ولتاژ تصوی رسم تراست:..... ۷۲
- شکل ۳-۵۴: منحنی بازده کوآنتومی بر حسب طول موج سلول خورشیدی CdS/CdTe بالای همی انگی Sb_2Te_3 ۷۳
- شکل ۳-۵۵: منحنی مشخصه جری ان-ولتاژ تصوی رسم تراست:..... ۷۳
- شکل ۳-۵۶: منحنی بازده کوآنتومی بر حسب طول موج سلول خورشیدی CdS/CdTe بالکترود شفاف ITO به همراه لایه هجاذب ZnTe..... ۷۴
- شکل ۳-۵۷: اثر ضخامت لایه ITO بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe بالای همی انگی ZnTe: (الف) ولتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۷۵
- شکل ۳-۵۸: منحنی مشخصه جری انولتاژ در حالت تاری کوروشن سلول خورشیدی CdS/CdTe به همراه لایه همی انگی ZnTe..... ۷۶
- شکل ۳-۵۹: اثر ضخامت لایه CdS بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe بالای همی انگی ZnTe: (الف) ولتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۷۷
- شکل ۳-۶۰: منحنی مشخصه جری انولتاژ در حالت تاری کوروشن سلول خورشیدی CdS/CdTe به همراه لایه همی انگی ZnTe..... ۷۷
- شکل ۳-۶۱: منحنی بازده کوآنتومی در ضخامت بهی نه لایه CdS..... ۷۸
- شکل ۳-۶۲: اثر ضخامت لایه CdTe بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe بالای همی انگی ZnTe: (الف) ولتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۸۴
- شکل ۳-۶۳: اثر ضخامت لایه ZnTe بر روی پارامترهای سلول خورشیدی CdS/CdTe بالای همی انگی ZnTe: (الف) ولتاژ مدار باز، (ب) چگالی جری انمدار کوتاه، (ج) ضریب پیرشدگی، (د) بازده ۸۰

شکل ۳-۶۴: منحنی جذب در لایه CdTe بر حسب ضخامت ۸۲

شکل ۳-۶۵: منحنی جذب در لایه CdTe بر حسب ضخامت با در نظر گرفتن مقاومت ۸۳

پیوستالف ۸۹

شکل الف-۱: صفحه ورودی نرم افزار ۸۹

شکل الف-۲: اطلاعات مورد نیاز برای لایه‌های مختلف سلول خورشیدی ۹۰

شکل الف-۳: تغیی‌رات در یک لایه ۹۱

شکل الف-۴: پنجره نمودارها ۹۲

شکل الف-۵: ذخیره سازی نمودار ۹۲

شکل الف-۶: تغیی‌ر پارامترهای خورشیدی با متغی‌رهای وابسته ۹۲

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
فصل دوم: سلول‌های خورشیدی CdTe/CdS	۱۸
جدول ۱-۲: تابعکار فلزهای مختلف	۲۵
فصل سوم: شبیه‌سازی و بهینه‌سازی ضخامت لایه‌های سلول خورشیدی CdTe/CdS	۲۷
جدول ۱-۳: پارامترهای استفاده‌شده در شبیه‌سازی	۲۸
جدول ۲-۳: اختلاف پارامترهای سلول خورشیدی با مقاومت‌های سری و موازی	۳۹
جدول ۳-۳: پارامترهای سلول خورشیدی CdTe/CdS بالای همی‌انگی As_2Te_3	۴۴
جدول ۴-۳: اثر مواد تابعکار مختلف بر پارامترهای سلول خورشیدی CdTe/CdS بالای همی‌انگی $ZnTe$	۵۵
جدول ۵-۳: اثر مواد تابعکار مختلف بر پارامترهای سلول خورشیدی CdTe/CdS بالای همی‌انگی ZnO	۶۲
جدول ۶-۳: پارامترهای سلول خورشیدی CdTe/CdS بالای همی‌انگی Sb_2Te_3	۷۲
جدول ۷-۳: اثر تابعکار فلزات مختلف بر پارامترهای سلول خورشیدی	۸۱

فصل اول

سلول‌های فتوولتائیک

۱-۱ مصرف انرژی

بشر از دی‌رباز با به کارگیری انرژی‌های فراوان و در دسترس طبیعت در پی گشودن دریچه‌ای تازه به روی خود بوده است و علاوه بر آسان‌تر کردن کارها، فعالیت‌های خود را با کم‌ترین هزینه و بالاترین سرعت به انجام می‌رساند و گامی برای آسایش بیشتر بر می‌دارد. تخریب‌ها و جنگ‌های اخیر اهمیت موضوع انرژی را بیش از پیش نمایان کرد. از یک سو جوامع صنعتی و شهرهای بزرگ با مشکل آلودگی محیط زیست روبرو هستند و از طرف دیگر نیاز به مواد اولیه و سوخت مورد نیاز برای تأمین انرژی حتی سری‌عتر از رشد جمعیت و توسعه مناطق رو به افزایش است. کشور ایران از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین کشورهای دارای منابع انرژی فسیلی دنیاست. انرژی استفاده شده در سرتاسر جهان در سال ۲۰۰۵ به طور متوسط $12TW$ بوده است. یک چهارم از کل انرژی به تنهایی توسط ایالات متحده امریکا استفاده شده است و ۸۵٪ از کل انرژی به سوخت‌های فسیلی (نفت، زغال سنگ و گاز طبیعی) مربوط می‌شود [۱]. بر اساس آمار سال ۲۰۰۵-۲۰۰۶ ایران با تولید سالانه ۲۱۶ میلیون تن نفت خام و ۱۳۲ میلیون تن صادرات، با سهم ۵/۵ درصدی از بازار تولید نفت دنیا و با تولید ۹۸۱۲۳ میلیون متر مکعب گاز سهم ۳/۳ درصدی، دومین کشور دارای

ذخایر گاز و ی‌کی از بازی‌گران اصلی انرژی دنیاست [۲]. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ مقدار مصرف انرژی به بیش از ۳۰ TW برسد. حال این سوال مطرح می‌شود که این انرژی از کجا تأمین می‌شود؟ آیا منابع انرژی موجود کافی هستند؟ منابع انرژی به دو دسته غیر تجدیدپذیر و تجدیدپذیر تقسیم می‌شوند. مهم‌ترین منابع انرژی غیر تجدیدپذیر شامل سوخت‌های فسیلی (نفت، زغال سنگ و گاز طبیعی) و همچنین برخی از هسته‌های سنگین است. بیش از ۸۰٪ درصد کل مصرف جهانی انرژی از سوخت‌های فسیلی و تنها حدود ۱۰٪ از نیروهای هسته‌ای تأمین می‌شود [۳، ۴]. سوخت‌های فسیلی علاوه بر مزایای فراوان، سالیانه چندین میلیون تن گاز NO_2 ، SO_2 و CO که حاصل از سوختن ذغال است در جو زمین رها می‌کنند و باعث بالا رفتن دمای کره زمین می‌شوند. تغییرهای دمای کره زمین در حال افزایش بوده و در دهه‌های آینده احتمالاً شاهد بلایای طبیعی و اثرات ویران‌کننده جبران‌ناپذیری در زمین برای انسان‌ها و دیگر موجودات و گیاهان خواهیم بود. همچنین علاوه بر فاجعه‌های زیست‌محیطی در اثر استفاده از سوخت‌های فسیلی این منابع محدود بوده و بالاخره به اتمام می‌رسند. استفاده از انرژی هسته‌ای به عنوان جایگزین سوخت‌های فسیلی چندان موفقیت‌آمیز نبوده و علاوه بر صرف هزینه‌های سنگین، تشعشعات خطرناک نیروگاه‌های هسته‌ای زیاده‌مقرون به صرفه نیست. پس مانند بسیاری از خطرناک‌پرتوزا با نیمه‌عمر بسیار طولانی که از سوخت‌های هسته‌ای ایجاد می‌شود چنانچه در محیط به همین نحو رها شود برای انسان‌ها و محیط زیست بسیار خطرناک می‌باشد [۵]. به دلیل حساسیت در مسائل زیست‌محیطی و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، خطر حوادث هسته‌ای، مشکلات نگهداری ضایعات هسته‌ای و محدود بودن این منابع توجه به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی باد، انرژی آب (انرژی جذر و مد و انرژی پتانسیل رودخانه‌ها)، انرژی زمین‌گرمایی و به ویژه انرژی خورشیدی معطوف شده است [۶]. منبع این انرژی‌ها منابع طبیعی هستند که نه تمام می‌شوند و نه اثرات زیان‌بار زیست‌محیطی دارند. از ویژگی‌های اصلی این انرژی‌ها نداشتن ضایعات مضر و همی‌شه در دسترس بودن است. شکل ۱-۱ روند تقاضای انرژی در زمان گذشته و حال را در کشورهای مختلف نشان می‌دهد. گزارش‌های اخیر نشان دهنده استفاده کشورهای مختلف از این انرژی‌ها به ویژه انرژی خورشیدی است.