

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

**پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش اتمی و مولکولی
بررسی و شبیه سازی کاربرد نانو ذرات برای افزایش بازده سلول های خورشیدی**

استادان راهنما:

دکتر حمیدرضا فلاح

دکتر مرتضی حاجی محمودزاده

استاد مشاور:

دکتر فریبرز جهانشاه

پژوهشگر:

وحیدرضا شمسائی

مهر ماه ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات
و نوآوری های ناشی از پژوهش موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه اصفهان است.



دانشگاه اصفهان
دانشکده علوم
گروه فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش اتمی و مولکولی
آقای وحیدرضا شمسائی تحت عنوان

بررسی و شبیه سازی کاربرد نانو ذرات برای افزایش بازده سلول های خورشیدی

در تاریخ ۱۳۹۰/۰۷/۲۴ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

- | | | |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| دکتر حمیدرضا فلاح | با مرتبه‌ی علمی دانشیار امضا | ۱- استادان راهنمای پایان نامه |
| دکتر مرتضی حاجی محمودزاده | با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا | |
| دکتر فریبز جهانشاه | با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا | ۲- استاد مشاور پایان نامه |
| دکتر ابراهیم قنبری | با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا | ۳- استاد داور داخل گروه |
| دکتر مسعود کاوش | با مرتبه‌ی علمی دانشیار امضا | ۴- استاد داور خارج از گروه |

امضای مدیر گروه



چکیده:

کاربرد نانو ذرات (نانوبلورهای نیم‌رسانا) باعث افزایش بازدهی سلول‌های خورشیدی فوتوولتائی می‌شوند. عموماً با جذب یک فوتون در دستگاه نیم‌رسانای فوتوولتائی یک جفت الکترون حفره ایجاد می‌شود که تفاضل انرژی فوتون نسبت به گاف نوار نیم‌رسانا در اثر برهم کنش الکترون و حفره با شبکه بلور به صورت گرما هدر می‌رود، به تازگی برای نانو بلورهای نیم‌رسانای محلول نشان داده شده است که این انرژی اضافی می‌تواند چندین حامل بار به واسطه تولید اکسیتون‌های مضاعف ایجاد کند. با توجه به اینکه وسایل فوتوولتائی در آینده با این اثر کار می‌کنند در این پایان‌نامه ابتدا تولید اکسیتون‌های مضاعف را بررسی می‌کنیم و سپس با شبیه سازی سلول خورشیدی نقطه کوانتومی آرمانی که با این اثر کار می‌کند، به بازدهی بیشینه ۳۶٪ (برای نانوبلورهای PbSe) می‌رسیم. امید می‌رود در آینده با ساخت این نوع از سلول‌های خورشیدی بتوان انرژی الکتریکی مورد نیاز بشر را تا حد کافی مهیا کرد.

کلمات کلیدی: سلول خورشیدی، نقطه کوانتومی، اکسیتون مضاعف و نانوبلور نیم‌رسانا

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: انرژی خورشیدی و فوتولتائی
۷	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ تابش
۳	۱-۲-۱ خورشید
۴	۲-۲-۱ تابش مستقیم و پراکنده
۴	۳-۱ معرفی فوتولتائیکها
۵	۱-۳-۱ تاریخچه کوتاه PV
۷	۲-۳-۱ سلولهای PV نسل دوم
۷	۳-۳-۱ سلولهای PV نسل سوم
	فصل دوم: نانوبلورهای نیمرسانا (نقطه کوانتومی نیمرسانا)
۹	۱-۲ مقدمه
۱۰	۲-۲ چارچوب نظری
۱۰	۱-۲-۲ چگالی حالتها
۱۱	۲-۲-۲ رژیمهای محبس
۱۲	۳-۲-۲ مدل ذره در کره
۱۶	۴-۲-۲ احتمالهای گذار اپتیکی
۱۶	۵-۲-۲ بررسی بیشتر ساختار نواری
۱۸	۶-۲-۲ روش $k.p$
۱۹	۷-۲-۲ هامیلتونی لوتینگر
۲۰	۸-۲-۲ مدل کین
۲۰	۳-۲ ساختار الکترونی نانو بلورهای نیمرسانا

فصل سوم: اکسیتون‌های مضاعف

۱-۳	مقدمه	۲۴
۲-۳	پیش زمینه تولید اکسیتون‌های مضاعف	۲۶
۱-۲-۳	جذب گذار فمتوثانیه	۲۶
۲-۲-۳	برهم‌کنش‌های حامل - حامل و حامل - شبکه در نیمرساناهای حجیم	۲۹
۳-۲-۳	سردشدگی حامل در نانو بلور نیمرسانا	۳۲
۳-۳	واپاشی اوزه غیرتابشی از اکسیتون‌های مضاعف	۳۵
۱-۳-۳	طول عمر اوزه	۳۵
۲-۳-۳	فرآیند سه-ذره در برابر دو-ذره برای بازترکیب اوزه	۳۶
۳-۳-۳	وابستگی اندازه به طول عمر اوزه	۳۸
۴-۳	تولید اکسیتون‌های مضاعف	۴۰
۱-۴-۳	آشکار کردن اکسیتون‌های مضاعف	۴۰
۲-۴-۳	بقای انرژی و بازدهی حامل مضاعف	۴۵
۳-۴-۳	بررسی تطبیقی تولید حامل‌های مضاعف در نانوبلورهای CdSe و PbSe	۴۸
۴-۴-۳	فرآیند حامل مضاعف	۵۲

فصل چهارم: سلول خورشیدی نقطه کوانتومی آرمانی

۱-۴	مقدمه	۵۷
۲-۴	تابش جسم سیاه	۵۸
۱-۲-۴	مقدمه‌ای بر تابش جسم سیاه	۵۸
۲-۲-۴	چگالی فوتون در یک کاواک	۶۲
۳-۴	سلول خورشیدی آرمانی	۶۵
۱-۳-۴	سلول خورشیدی NQD بدون اثر حامل مضاعف	۶۶
۲-۳-۴	سلول خورشیدی NQD با اثر حامل مضاعف	۷۲

فصل پنجم: نتایج شبیه‌سازی سلول خورشیدی نقطه کوانتومی آرمانی

۱-۵ مقدمه	۷۴
۲-۵ شبیه‌سازی تابش خورشید	۷۴
۱-۲-۵ شبیه‌سازی جسم سیاه	۷۴
۲-۲-۵ تابش خورشید و بازدهی کوانتومی	۷۵
۳-۵ شبیه‌سازی سلول خورشیدی نقطه کوانتومی PbSe بدون حامل مضاعف	۷۶
۴-۵ شبیه‌سازی سلول خورشیدی نقطه کوانتومی PbSe با تولید حامل مضاعف	۷۸
۵-۵ مقایسه بین وجود اثر حامل مضاعف و عدم وجود این اثر	۸۰
۶-۵ افزایش بازدهی سلول خورشیدی نقطه کوانتومی	۸۲
۷-۵ نتیجه	۸۴
پیوست، کدهای مطلب	۸۵
منابع	۹۰

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳	شکل ۱-۱ تابش انرژی خورشید به زمین و از زمین به فضا.....
۱۰	شکل ۱-۲ طرحواره از دو باند ظرفیت و رسانش نیمرسانا حجیم.....
۱۷	شکل ۲-۲ شکافتگی تراز انرژی برای یک ترکیب دوتایی.....
۱۸	شکل ۳-۲ ساختار نوار ظرفیت برای نیمرساناهای شبه الماس و سولفور روی.....
۲۲	شکل ۴-۲ طرحواره اعداد کوانتومی.....
۲۲	شکل ۵-۲ طرحواره ساختار الکترونی در نانو بلورها.....
۲۳	شکل ۶-۲ حالت‌های جفت الکترون-حفره.....
۲۳	شکل ۷-۲ طرحواره تراز انرژی، نقطه کوانتومی غیر کروی (شبه سولفور روی).....
۲۷	شکل ۱-۳ طرحواره دستگاه TA برای بیناب‌نمایی جذب گذار فمتوثانیه.....
۲۸	شکل ۲-۳ طرحواره آزمایش TA را نشان می‌دهد و نمودار تغییرات ضریب جذب.....
۲۹	شکل ۳-۳ نمودار ضریب جذب بر حسب انرژی.....
۳۱	شکل ۴-۳ دینامیک نخست حامل‌های برانگیخته فوتونی.....
۳۱	شکل ۵-۳ نمودار بازدهی کوانتومی سلیکون بر حسب طول موج.....
۳۳	شکل ۶-۳ واهلش از حالت p به s در اندازه‌های مختلف نانو بلور InP
۳۴	شکل ۷-۳ نمودار نرخ سردشدگی بر حسب اندازه نقطه کوانتومی.....
۳۶	شکل ۸-۳ دینامیک نمایی از حالت‌های جفت الکترون-حفره.....
۳۸	شکل ۹-۳ نمودار τ_2/τ_3 بر حسب تابعی از نسبت ابعاد نانو بلور.....
۴۰	شکل ۱۰-۳ طول عمر اوزة دو جفت الکترون حفره (دو اکسیتونی) بر حسب حجم نانوبلور.....
۴۲	شکل ۱۱-۳ بیناب‌نمایی جذب گذار با تفکیک زمانی در نانو بلور $PbSe$
۴۳	شکل ۱۲-۳ اندازه‌گیری دینامیک TA ، $1S$ برای نانوبلورهای $PbSe$
۴۴	شکل ۱۳-۳ اندازه‌گیری دینامیک TA ، $1S$ برای نانوبلورهای $PbSe$ ($E_g = 0.64 \text{ eV}$).....
۴۴	شکل ۱۴-۳ متوسط تعدد اکسیتون بر حسب شدت دمش.....
۴۶	شکل ۱۵-۳ طرح واره، آرمانی QE بر حسب انرژی فوتون ورودی بر انرژی گاف.....
۴۷	شکل ۱۶-۳ بیناب‌نمایی جذب گذار با تفکیک زمانی در نانو بلور $PbSe$ با شدت دمشی کم.....
۴۸	شکل ۱۷-۳ تطابق کامل بین طول عمر اکسیتون‌های مضاعف محاسبه شده با ثابت‌های واپاشی اولیه.....

عنوان

صفحه

- شکل ۳-۱۸ بهنجارشده اثر زمانی TA در طول تأخیر زمانی برای نانوبلورهای CdSe..... ۴۹
- شکل ۳-۱۹ بازدهی کوانتومی CM برای نانوبلورهای CdSe و PbSe..... ۵۰
- شکل ۳-۲۰ نمودار نوارهای شبه حجیم با جذب فوتون $2E_g$ ۵۱
- شکل ۳-۲۱ دینامیک تجمع حالت الکترون IS در نانوبلورهای PbSe برای فوتون‌های دمشی $3.63E_g$ ۵۳
- شکل ۳-۲۲ دینامیک تجمع حالت الکترون IS در نانوبلورهای PbSe برای فوتون‌های دمشی $4.9E_g$ ۵۵
- شکل ۳-۲۳ طرحواره‌ای از فرآیند مرتبه دوم اختلال..... ۵۵
- شکل ۳-۲۴ محاسبه طول نرخ تولید تک اکسیتونی (W_1) و دواکسیتونی (W_2)..... ۵۶
- شکل ۴-۱ نمودار شدت نور گسیل شده از جسم سیاه در سه دمای مختلف..... ۵۹
- شکل ۴-۲ نمودار IQE برحسب انرژی فوتون دمشی بر گاف انرژی..... ۶۵
- شکل ۴-۳ طرحواره سلول خورشیدی نقطه کوانتومی آرمانی..... ۶۶
- شکل ۴-۴ فرآیندهای تولید و بازترکیب حامل در سلول خورشیدی NQD..... ۶۷
- شکل ۴-۵ وابستگی E_g به طیف جذبی نانوبلور PbSe..... ۷۱
- شکل ۵-۱ چگالی توان تابش خورشید بر حسب طول موج..... ۷۵
- شکل ۵-۲ نمودار بازدهی کوانتومی نانوبلور PbSe با گاف انرژی مؤثر $1/2eV$ برحسب انرژی فوتون..... ۷۵
- شکل ۵-۳ نمودار بازدهی کوانتومی نانوبلور PbSe با گاف انرژی مؤثر $0/4eV$ برحسب انرژی فوتون..... ۷۶
- شکل ۵-۴ نمودار بازده سلول خورشیدی نانوبلور PbSe بدون CM بر حسب انرژی‌های گاف متفاوت..... ۷۷
- شکل ۵-۵ نمودار مشخصه V-I سلول خورشیدی نانوبلور PbSe با پهنای گاف $1/2eV$ ۷۷
- شکل ۵-۶ نمودار مشخصه V-I سلول خورشیدی نانوبلور PbSe با نانو بلورهایی به اندازه ۱۰ نانومتر..... ۷۸
- شکل ۵-۷ $\bar{\sigma}_s^* (\sigma_g \Gamma_g)^{-1}$ بر حسب انرژی گاف..... ۷۹
- شکل ۵-۸ نمودار بازده سلول خورشیدی نانوبلور PbSe بر حسب انرژی‌های گاف متفاوت..... ۷۹
- شکل ۵-۹ نمودار مشخصه V-I سلول خورشیدی نانوبلور PbSe با نانوبلورهایی به اندازه ۱۰ نانومتر..... ۸۰
- شکل ۵-۱۰ نمودار بازده سلول خورشیدی نانوبلور PbSe بر حسب انرژی گاف..... ۸۰
- شکل ۵-۱۱ نمودار بازده سلول خورشیدی نانوبلور PbSe بر حسب انرژی گاف..... ۸۱
- شکل ۵-۱۲ نمودار مشخصه V-I سلول خورشیدی نانوبلور PbSe برای دو حالت..... ۸۱
- شکل ۵-۱۳ نمودار مشخصه V-I سلول خورشیدی نانوبلور PbSe برای دو حالت در انرژی گاف $0/4eV$ ۸۲
- شکل ۵-۱۴ تغییرات در بازدهی با تغییر DQE از ۱۱۴٪ (دایره توپر) به ۱۰۰٪ (مربع تو خالی)..... ۸۳
- شکل ۵-۱۵ تغییرات در بازدهی با تغییر آستانه تولید از $2/85E_g$ (دایره توپر) به $2E_g$ (مربع تو خالی)..... ۸۳

فصل اول

انرژی خورشیدی و فوتوولتائی

۱-۱ مقدمه

محدود شدن سوخت‌های فسیلی و تأثیر مخرب آن‌ها بر محیط زیست، توجه همگان را برای استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر معطوف ساخته است. در ۱۰۰ سال اخیر، افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی باعث افزایش غلظت اتمسفری دی‌اکسید کربن تا ۳۰٪ شده است. همگان به خوبی می‌دانند که ذخیره سوخت‌های فسیلی در دنیا در آینده نه چندان دور سریعاً کاهش یافته و به اتمام می‌رسد. علاوه بر آن اثرات این سوخت‌ها بر اکوسیستم، آب و هوا و سلامتی موجودات زنده به خصوص انسان به ویژه از طریق تولید گازهای گلخانه‌ای و پدیده گرم شدن زمین، باران‌های اسیدی و سایر پدیده‌های زیست محیطی باعث شده است که توجه همگان به استفاده از انواع دیگری از سوخت جلب شود. در دسترس بودن انرژی ارزان و فراوان با حداقل مخاطرات زیست محیطی و اکولوژیکی مرتبط با تولید و استفاده از آن، یکی از مهم‌ترین عوامل در بهینه‌سازی کیفیت زندگی مردم و پیشبرد اهداف توسعه پایدار به خصوص در کشورهای در حال توسعه می‌باشد.

یکی از سوخت‌هایی که به زودی در دنیا رتبه اول مصرف و استفاده را به خود اختصاص خواهد داد انرژی خورشیدی می‌باشد [۱]. مشکل اساسی در تبدیل و استفاده از این انرژی از این امر ناشی می‌شود که هنوز مجبور

نشده‌ایم آن را در مقیاس‌های کلان به شکل قابل استفاده برای خود تبدیل کنیم، چرا که به سادگی با حفاری زمین منابع انرژی را استخراج کرده و به مصرف می‌رسانیم. اما امروزه کشورها بخشی از انرژی مورد نیاز خود را با استفاده از سلول‌های خورشیدی تأمین می‌نمایند و در این رابطه به پیشرفت‌های فراوانی نائل شده‌اند. در این کشورها توسعه فن‌آوری انرژی خورشیدی نقش مهمی در برآورده ساختن نیازهای انرژی این کشورها، افزایش رفاه و نزدیک‌تر شدن به اهداف توسعه پایدار داشته است.

آن مقدار از شار تابشی خورشید که فقط بر قسمت کوچکی از سطح زمین فرود می‌آید، برای تأمین تمام انرژی مورد نیاز بشر در آینده‌ی قابل پیش‌بینی کفایت می‌کند. به همین دلیل است که انرژی خورشیدی می‌تواند جانشین جذابی برای سوخت فسیلی، که فراوانی محدودی دارد، باشد. برای پی‌بردن به ارزش آن، برآورد متوسطی (طی روز ۲۴ ساعتی) از شار تابش روی هر متر مربع از سطح زمین در هر جا به دست می‌دهیم. این مقدار را تابش‌گیری می‌نامیم.

تنها عددی که برای این محاسبه نیاز داریم، شار خورشیدی در بیرون از جو زمین است که مثلاً به کمک ماهواره‌ای که در مداری به دور زمین در حرکت است اندازه‌گیری می‌شود. مقدار این عدد، 1353 W/m^2 ، تا حد بسیار زیادی ثابت است و تغییرات آن طی سال‌های طولانی بیش از چند درصد نیست. در واقع، چون خورشید یکی از ستاره‌های رشته اصلی است و در حالت تکامل کنونی‌اش پایدار است، این عدد طی میلیاردها سال آینده تا حد بسیار زیادی ثابت خواهد ماند. اگر با این عدد شروع کنیم، اول باید آن را به ۴ تقسیم کنیم؛ زیرا سطح مقطع زمین که در معرض پرتوهای خورشیدی قرار دارد برابر πr^2 است، در حالی که مقدار میانگین نسبت به تمام سطح زمین محاسبه می‌شود که برابر $4\pi r^2$ است. سپس لازم است که پوشش جوی و ابری را نیز به حساب آوریم. در اینجا مدل‌سازی رایانه‌ای می‌تواند میانگین تابش‌گیری را در مکان‌های مختلف، با استفاده از تاریخچه داده‌های وضع هوای محلی، پیش‌بینی کند. اگر خواهان برآورد اولیه باشیم ضریب ۲ کافی خواهد بود. بدین ترتیب، مقدار تقریبی 170 W/m^2 را برای تابش‌گیری میانگین (روز ۲۴ ساعتی) برآورد خواهیم کرد، که تقریباً برابر دریافت 4 kWh انرژی توسط سطحی به مساحت 1 m^2 در هر روز است. در واقع تابش‌گیری میانگین از شمال شرقی تا جنوب غربی ایالات متحده آمریکا کمتر از ۵۰٪ تغییر می‌کند. به عنوان معیاری برای مقایسه، می‌توان نیروگاه بزرگی را در نظر گرفت که توان آن در حدود 1000 kW است. با استفاده از برآورد بالا یک نیروگاه خورشیدی با توانی در همین حدود که با بازده معادل ۱۰٪ کار کند، به مساحتی در حدود 60 km^2 نیاز دارد. اما انرژی خورشیدی توزیع شده است و نیازی به نیروگاه مرکزی ندارد. به عبارت دیگر، خانه عادی

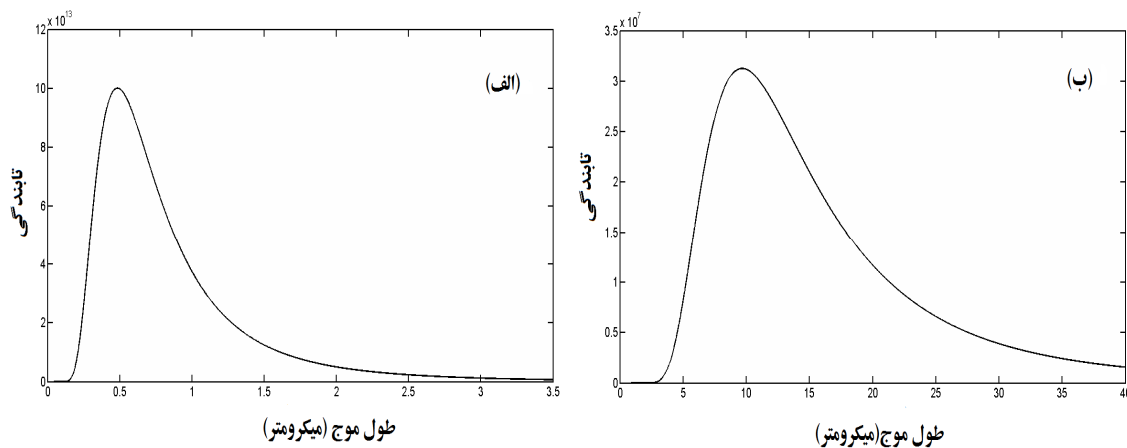
که مساحت سقف آن 100m^2 است به طور میانگین در معرض 15 kW تا 20 kW تابش است که اگر بازده تبدیل آن 10% باشد، انرژی دریافتی آن در حدود 2 kW می شود که بسیار بیشتر از نیاز یک خانوار معمولی است.

۲-۱ تابش

۱-۲-۱ خورشید

خورشید در حقیقت مانند یک رآکتور گداخت (جوش) هسته ای است، که هیدروژن را با سرعتی معادل 4 میلیون تن در ثانیه به هلیوم، تبدیل می کند. دمای بالای سطح خورشید که حدود 6000 درجه سانتیگراد است، موجب تابش انرژی می شود. از این مقدار تابش به کره زمین 33% آن دوباره به فضا بازتاب می شود و بقیه، جذب کره زمین شده و سرانجام دوباره با طول موج بلند فرسوخ به فضای بی کران فرستاده می شود. زمین همان مقدار انرژی را که دریافت می کند، دوباره تابش داده و در نتیجه در یک توازن انرژی پایدار و دمایی مناسب برای زندگی، باقی می ماند.

اگر چه ما پرتوی خورشید را به صورت نور سفید مشاهده می کنیم، ولی در واقع این نور شامل طیفی از طول موج های مختلف، از طول موج های بلندتر فرو سرخ تا طول موج های کوتاه تر فرابنفش است. الگوی توزیع طول موج (بیناب) توسط دمای سطح خورشید تعیین می شود (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱ تابش انرژی خورشید به زمین (الف) و از زمین به فضا (ب)

زمین که متوسط دمای آتمسفر آن 20°C - و متوسط دمای سطح آن ۱۵ است، با طول موج بلند فروسرخ انرژی خود را به اعماق فضا گسیل می‌کند، جایی که دمای آن فقط چند درجه‌ای بالاتر از صفر مطلق، یعنی 273°C - است [۱].

۲-۲-۱ تابش مستقیم و پراکنده

وقتی که پرتوی خورشید به جو زمین برخورد می‌کند، مقداری از آن پراشیده می‌شود که بستگی به غلظت و ابری بودن هوا دارد. نسبتی از این نور پراکنده به زمین می‌رسد و تصور می‌شود که این نور از تمام آسمان آمده است. قسمتی از آن را به صورت نور آبی آسمان می‌بینیم اما بیشتر آن به صورت نور سفید پراشیده شده توسط ابرها، دیده می‌شوند (نور آبی به دلیل داشتن طول موج کوتاه‌تر دارای بیشترین پراش بوده و آسمان را آبی می‌کند و در مقابل نور قرمز با طول موج بیشتر دارای کم‌ترین پراش بوده و بنابراین خورشید در هنگام غروب یا طلوع قرمز می‌شود).

چیزی که ما به آن آفتاب می‌گوییم، قسمتی از نور خورشید است که به طور مستقیم می‌تابد و به عنوان تابش مستقیم شناخته می‌شود. در یک روز شفاف چگالی انرژی آن برابر ۱ کیلووات بر متر مربع است که به نام یک خورشید^۱ برای مقاصد تست کلکتورهای خورشیدی به کار برده می‌شود. اغلب در اروپای شمالی و در مناطق مرکزی شهر در اروپای جنوبی، حداکثر چگالی انرژی خورشیدی حدود ۱۰۰۰ - ۹۰۰ وات بر متر مربع است. در اروپای شمالی، به طور متوسط ۵۰ درصد تابش در سال مستقیم و ۵۰ درصد غیر مستقیم (پراکنده) است. در اروپای جنوبی که سطح تابش خورشید بالاتر است، بیشتر تابش به ویژه در تابستان مستقیم است، هم تابش مستقیم و هم پخش هر دو در کاربردهای گرمایی خورشید مفیدند، ولی فقط تابش مستقیم برای ایجاد دماهای بالا می‌تواند کانونی و استفاده شود. از طرف دیگر این نور پخش و پراکنده هست، که بیشتر نور منازل را به ویژه در اتاق‌های رو به شمال (که نور مستقیم وجود ندارد) ایجاد می‌کند.

۳-۱ معرفی فوتولتائیک‌ها

اگر از شما خواسته شود که یک سامانه تبدیل انرژی آرمانی را طراحی کنید، شاید شما چیزی بهتر از پیل فوتولتائیک (PV) نخواهید یافت.

¹ One Sun

در این رهگذر، وسیله‌ای نیمه‌هادی داریم که فراوان‌ترین منبع انرژی روی زمین را می‌تواند به کار گیرد، ورودی خالص انرژی خورشیدی به زمین بیش از ۱۰۰۰۰ برابر میزان مصرف سوخت‌های فعلی در دست بشر یعنی فسیلی و هسته‌ای است [۱].

یک سلول PV در حالت معمولی خود، تقریباً به طور کامل از سیلیکان دومین عنصر فراوان پوسته زمین ساخته شده است. سلول‌های PV دارای قطعات متحرک نیستند، بنابراین از دیدگاه نظری (اگر از نظر عملی هنوز این-طور نباشد) می‌توانند تا بی‌نهایت زمان بدون فرسایش کار کنند و خروجی آن‌ها الکتریسیته یعنی شاید مفیدترین شکل تمام انواع انرژی‌ها هست.

۱-۳-۱ تاریخچه کوتاه PV

عبارت "فتولتایک"^۱ ترکیبی است از کلمه یونانی فوتو به معنی نور با ولت که نام واحد نیروی محرکه الکتریکی یعنی نیرویی که موجب حرکت الکترون‌ها می‌شود (یعنی جریان الکتریکی) است. در واقع ولت نام فیزیکدان ایتالیایی "گنت آلساندرو ولتا"^۲ مخترع باتری است، بنابراین فتولتائیک تولید الکتریسیته از نور را انجام می‌دهد. کشف پدیده فتولتائیک به فیزیکدان فرانسوی ادموند بکرل^۳ نسبت داده می‌شود، که در سال ۱۸۳۹ با چاپ مقاله‌ای تجربیات خود را با عنوان سلول تر^۴ ارائه کرد. او مشاهده کرد که ولتاژ باتری وقتی که صفحات نقره‌ای آن تحت تابش نور خورشید قرار می‌گیرند، افزایش پیدا می‌کند.

اما اولین گزارش از پدیده PV در یک ماده جامد در سال ۱۸۷۷ بود، یعنی زمانی که دو دانشمند کمبریج آدامز^۵ و دی^۶ در مقاله‌ای به انجمن سلطنتی، تغییراتی را که در خواص الکتریکی سلنیوم ایجاد می‌شود (وقتی که تحت تابش نور قرار می‌گیرد) توضیح دادند.

در سال ۱۸۸۳ چارلز ادگر فريتس^۷ که یک مهندس نیویورکی برق بود، یک سلول خورشیدی سلنیومی ساخت که از برخی جهات شبیه به سلول‌های خورشیدی سیلیکانی امروزی بود. این سلول تشکیل شده بود از یک ویفر

¹ Photovoltaic

² Count Alessandro Volta

³ Edmond Becquerel

⁴ wet cell

⁵ W.G.Adams

⁶ R.E.Day

⁷ Charles edgar frittts

(پولک) نازک سلیوم که با یک توری از سیم‌های خیلی نازک طلا و یک ورق حفاظتی از شیشه پوشانده شده بود. اما سلول ساخت او خیلی کم بازده بود.

بازدهی یک سلول خورشیدی عبارتست از درصدی از انرژی خورشیدی تابیده به سطح آن است که به انرژی الکتریکی تبدیل شده باشد. کمتر از یک درصد انرژی خورشیدی تابیده شده به سطح این سلول ابتدایی به الکتریسیته تبدیل می‌شد. با این وجود، سلول‌های سلیومی سرانجام در نورسنج‌های عکاسی به طور وسیعی به کار گرفته شد.

دلایل اساسی برای کم بازده بودن این وسیله ابتدایی، چند سال بعد وقتی که در نیمه اول قرن بیستم فیزیکدانانی مانند پلانک و اینشتین دیدگاه جدیدی را برای طبیعت تابش و خواص بنیادین مواد گشودند آشکار شد. در دهه ۱۹۵۰ اتفاق مهمی افتاد که حرکت نوین را برای توسعه سلول‌های خورشیدی پر بازده به وجود آورد. این اتفاق در آزمایشگاه‌های بل نیوجرسی آمریکا، افتاد که در آن تعدادی از دانشمندان و از جمله دارین چاپین، کالوین فولر و جرالید پیرسون در حال پژوهش اثرات نور روی نیمه‌های بودند. نیمه‌های مواد غیرفلزی هستند، مثل ژرمانیم و سیلیکان که ویژگی‌های الکتریکی آن‌ها بین هادی‌ها که دارای مقاومت کم در برابر جریان الکتریکی هستند و عایق‌ها که جریان الکتریکی را تقریباً به طور کامل سد می‌کنند، قرار گرفته و به همین علت به آن‌ها نیمه‌های گفته می‌شود.

چند سال قبل در سال ۱۹۴۸ دو پژوهشگر دیگر آزمایشگاه‌های بل یعنی باردین و براتین وسیله‌ی انقلابی دیگری به نام ترانزیستور با استفاده از نیمه‌های، ساختند. ترانزیستورها از نیمه‌های (معمولاً سیلیکان) در شکل کریستال به طور کامل خالص ساخته می‌شوند، که در داخل آن مقادیر اندکی از ناخالصی‌ها مثل بوران یا فسفر به طور دقیق دیفیوژ (پخش) شده است. این فرایند که به آن آکنده شدن ناخالصی گفته می‌شود، به طور فاحشی رفتار الکتریکی نیمه‌های را به حالتی مفید در می‌آورد.

در سال ۱۹۵۳ کار گروه چاپین - فولر - پیرسون قاچ سیلیکانی آلانیده شده تولید کردند که بسیار پربازده‌تر از قطعات پیشین تولید الکتریسیته از نور بود. در سال‌های بعد که آن‌ها مقاله کار خودشان را ارائه کردند، توانستند بازدهی تبدیل سلول‌های خورشیدی خود را به ۶ درصد برسانند.

سپس شرکت بل سعی در استفاده عملی از سلول‌های خورشیدی برای مثال به منظور تغذیه آمپلی فایرهای تلفن در نقاط دور افتاده کرد، اما در آن هنگام این وسیله بسیار گران‌تر از آن می‌شد که صرفه اقتصادی داشته باشد.

به هر حال در سال ۱۹۵۸ سلول‌های خورشیدی برای نیرودهی لازم به یک فرستنده رادیویی کوچک در روی دومین ماهواره فضایی آمریکا، ونگارد، استفاده شد. در پی انجام موفقیت آمیز این پروژه کاربرد PV به عنوان منبع تغذیه برای سفینه‌های فضایی تقریباً جهانی شد.

پیشرفت‌های سریعی در افزایش بازدهی و کاهش قیمت سلول‌های PV در چند دهه اخیر انجام شده است. کاربردهای زمینی نیز بسیار گسترش یافته، به ویژه برای تولید نیرو برای ارتباط از راه دور، روشنایی و سایر وسایل برقی در نقاط دور افتاده که استفاده الکتریسته در آنجا، بسیار گران تمام می‌شود.

یک سلول PV معمولی فقط ۱/۵ وات توان دارد بنابراین برای به دست آوردن توان بیشتر گروهی از سلول‌های PV را به یکدیگر وصل می‌کنند تا مدول‌های عمودی را تشکیل بدهد برای به دست آوردن توان باز هم بیشتر، این مدول‌ها دوباره می‌توانند کنار یکدیگر قرار گرفته و تشکیل آرایه‌ها را بدهند.

تعداد در حال رشدی از ساختمان‌های مسکونی، تجاری و صنعتی در حال حاضر دارای آرایه‌های PV هستند که قسمت مهمی از انرژی آن‌ها را تأمین می‌کند.

بازدهی بهترین تک سلول خورشیدی سیلیکونی در حال حاضر به ۲۴ درصد در شرایط آزمایشگاهی رسیده است.

۱-۳-۲ سلول‌های PV نسل دوم

هزینه زیاد تهیه و فرهای سلیکون کریستالی (حدود ۵۰٪-۴۰٪ قیمت تمام شده یک سلول خورشیدی)، منجر به تولید نسل دوم سلول‌های خورشیدی به عنوان سلول خورشیدی لایه نازک شده است.

سلول خورشیدی لایه نازک، از انباشت یک یا چند لایه نازک از مواد فوتولتائی بر روی بستره شکل می‌گیرد. و معمولاً ضخامتی از محدوده چند نانومتر تا چند ده میکرومتر دارند. سلول‌های خورشیدی لایه نازک معمولاً با توجه به مواد فوتولتائی مورد استفاده طبقه‌بندی می‌شوند که عبارتند از: سلیکون آمورف (A-Si) سلیکون لایه نازک (TF-Si)، کادمیوم تلورید (CdTe)، مس ایندیم گالیم سلنید (CIS یا CIGS)، سلول‌های خورشیدی رنگ‌دانه و سایر سلول‌های خورشیدی آلی

۱-۳-۳ سلول‌های PV نسل سوم

در میان پیشتازان پژوهش فوتولتائیک، فناوری نوبینی به نام سلول‌های PV نسل سوم وجود دارد که این ابزار بر پایه نانو فناوری کار می‌کند.

نسل سوم سلول‌های خورشیدی سلول‌های خورشیدی هستند که به طور بالقوه قادر به غلبه بر حد شاتکی-کویزر (بازدهی ۳۳٪) هستند [۲].

سیستم‌های نسل سوم، شامل سیستم سلول چند لایه‌ای^۱ که از سلیکون آمورف یا گالیم آرسناید ساخته می‌شوند که این سلول خورشیدی می‌تواند بیشتر بیناب خورشید را جذب کند که باعث افزایش بازدهی می‌شود و سلول‌های خورشیدی نقطه کوانتومی که این ویژگی را دارند که با دریافت فوتون پر انرژی چندین حامل ایجاد کنند، هستند.

سرانجام اگر پژوهش روی سلول‌های خورشیدی نسل سوم با موفقیت انجام شود، می‌تواند ما را به ساخت سلول‌هایی فوتوولتائی با بازدهی تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته بسیار بالا و قیمت بسیار پایین، هدایت کند.

¹ tandem

فصل دوم

نانوبلورهای نیم‌رسانا (نقطه کوانتومی نیم‌رسانا)

۱-۲ مقدمه

اولین چیزی که هنگام مطالعه بلورهای نیم‌رسانا در مقیاس نانو یا نانو بلورها مورد توجه قرار می‌گیرد این است که هنگامی که این نیم‌رساناها در حد نانو کوچک می‌شوند، چه اتفاقی می‌افتد. این پرسش نه تنها براساس ماهیت آن مورد مطالعه قرار می‌گیرد، بلکه برای اهمیت کاربردی (به عنوان ابزاری که در دستگاه‌های مدرن اپتوالکترونیکی و الکترونیکی که به سرعت در حال کوچک شدن هستند، قرار می‌گیرند) آن نیز که ما مایل به درک خواص آنها هستیم، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

داده‌های به دست آمده از بیناب‌نمایی نشان می‌دهد که در نیم‌رساناهایی با گاف مستقیم با جذب یک فوتون با انرژی بیشتر از پهنای گاف الکترون مستقیماً از باند ظرفیت به باند رسانش ارتقاء می‌یابد، در این فرآیند همان‌گونه در شکل الف ۱-۲ مشاهده می‌شود یک جفت الکترون حفره تولید خواهد شد، اگر اندازه ساختارهای نیم‌رسانا قابل مقایسه و یا کوچک‌تر از مقیاس طول یک جفت الکترون حفره باشند، حامل‌ها در مرزهای این ساختارها محدود می‌شوند، به این پدیده اثر اندازه کوانتومی می‌گویند که منجر به رفتاری مانند رفتار اتم‌ها می‌شود. مثل اینکه نوارهای حالت حجیم در نانو بلورها گسسته شوند (شکل ب ۱-۲) با کوچک‌تر کردن اندازه ساختارهای