فصل اول

پیل خورشیدی

۱.۱. مقدمه

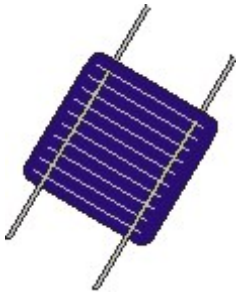
پس از بحران انرژی در سال ۱۹۷۳ و احتمال وقوع بحرانی دیگر در اوایل قرن آتی، استفاده از منابع سالم انرژی نظیر انرژی های تجدید پذیر خورشیدی، باد، آب، امواج دریا ،استخرهای خورشیدی، هیدروژن، بیو گاز و غیره لازم بوده و نیز ضرورت استفاده از سیستم های مبدل انرژی نظیر فتوولتایی پیل های سوختی و فیوژن یا گداخت هسته ای را ناگزیر نموده است. گداخت هسته ای منبع انرژی سالم و پایان ناپذیری می باشد که در صورت دستیابی به تکنولوژی بسیار پیشرفته آن برای تولید مستمر انرژی در اثر جوش های هسته ای سبک هیدروژن و تولید هسته های سنگین هلیوم و آزاد سازی مقادیر عظیمی از انرژی، می تواند انرژی مورد نیاز جهان را در دراز مدت تامین نماید. از آنجا که بهره برداری کلان آن تا نیمه اول قرن آتی غیر محتمل به نظر می رسد، لذا استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر و سیستم های پیل خورشیدی مناسب ترین روش برای جایگزین نمودن سوخت های فسیلی در دراز مدت می باشند[1].

پیل های خورشیدی دستگاههایی هستند که نور تابیده به سطحشان را به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند. پیل های های خورشیدی از مواد خاصی به نام نیمه هادی ساخته شده اند. نیمه هادی های نوع N و P در یک پیل خورشیدی جهت تولید به ترتیب الکترون و حفره و درنتیجه بار منفی و مثبت به کار برده می شوند. انواع متنوعی از پیل های فتوولتائیک وجود دارد که در این میان پیل های خورشیدی CIGS به دلیل قابلیت استفاده بر روی سطوح انعطافپذیر بسیار مورد توجه می باشند[۱و۲و۳].

بیشترین راندمان پیل های خورشیدی CIGS که تا کنون ثبت شده برابر با ۱۹.۵ درصد می باشد و بنابراین هنوز تحقیقات بسیاری باید در این زمینه صورت گیرد تا به راندمان تبدیل انرژی معقولی دست یابیم[3].

۱.۲. پیل خورشیدی

پیل های خورشیدی همانگونه که از نامشان پیداست، برای تبدیل (حداقل یک بخشی از) نور موجود به انرژی الکتریکی طراحی شده اند. این دستگاه تبدیل انرژی را بدون استفاده از واکنش های شیمیایی و اجزاء متحرک انجام می دهد[۱].



شکل۱.۱: شماتیک یک پیل خورشیدی[۱].

۱.۲.۱. تاریخچه

عبارت فتوولتائیک از واژه یونانی ζωφ (phos) به مهنای نور و ولتائیک به معنای " الکتریکی" می باشد که از نام فیزیکدان ایتالیایی ولتا ، بعد از اینکه واحد نیروی الکتروموتیو ولت نام گرفت، ریشه گرفته است. عبارت فتوولتائیک در انگلستان از سال ۱۸۴۹ مورد استفاده قرار گرفته است. می توان گفت که آغاز کار پیل های خورشیدی از آزمایشات فیزیکدان فرانسوی آنتونی بکوئرل در سال ۱۸۳۹ میلادی نشات گرفته است[۱].

بکوئرل اثر فتوولتائیک را حین آزمایش با یک الکترود جامد در یک محلول الکترولیت کشف کرد. او مشاهده کرد که هنگامیکه نور بر روی الکترود می تابد، ولتاژ افزایش می یابد[۲].

حدود ۵۰ سال بعد، چارلز فریتز، اولین پیل خورشیدی واقعی را که از تقاطع های متشکل از نیمه هادی سلنیوم، با یک لایه ی فوق نازک تقریباً شفاف طلا بود، ساخت[۲].

دستگاه فریتز دارای راندمان بسیار کمی بود و حدوداً کمتر از ۱ درصد از نور جذب شده را به انرژی الکتریکی تبدیل می کرد[۲].

فیزیکدان روسی الکساندر استولتوف اولین پیل خورشیدی بر پایه اثر فتوالکتریک بیرونی را که توسط هاینریش هرتز در سال ۱۸۸۷ کشف شده بود، را ساخت[۲].

آلبرت اینشتین اثر فتوالکتریک را در سال ۱۹۰۵ توضیح داد که برای این کار موفق به کسب جایزه ی نوبل در سال ۱۹۲۱ شد[۲].

در سال ۱۹۴۶ راشل اهل پیل خورشیدی مدرن تقاطعی را، حین کار روی سری های پیشرفته ای که منجر به ایجاد ترانزیستور می شوند، اختراع کرد[۲].

در سال ۱۹۷۲ یک پیل خورشیدی فلز–نیمه هادی ساخته شد. در این نمونه مس به عنوان فلز و اکسید مس به عنوان نیمه هادی به کار رفته بود[۳].

در سال ۱۹۳۰ هم از پیل های خورشیدی سلنیومی و هم از پیل های خورشیدی مس–اکسید مس در دستگاههای حساس نوری، تاز قبیل فتومتر ها برای استفاده در فتوگرافی، استفاده شد[۳].

این پیل های خورشیدی جدید، هنوز دارای راندمان های تبدیل انرژی پائینی(کمتر از ۱ درصد) بودند.

در سال ۱۹۴۱ با ظهور پیل های خورشیدی سیلیکونی ساخته شده توسط راسل ال، سر انجام بر راندمان پائین پیل های خورشیدی غلبه شد[۳].

در سال ۱۹۵۴ سه محقق آمریکائی دیگر با نام های جی.ال.پیرسون، داریل چپین و کالوین فولر یک پیل خورشیدی سیلیکونی را طراحی کردند که دارای راندمان تبدیل انرژی ۶ درصد(در معرض تابش مستقیم نور خورشید) بود. در اواخر سال ۱۹۸۰ پیل های خورشیدی ای مشابه پیل های خورشیدی ساخته شده از آرسنید گالیم، با راندمانهای بیش از ۲۰ درصد تولید شدند[۳].

در سال ۱۹۸۹ یک پیل خورشیدی متمرکز کننده[1] ساخته شد. این نوع پیل های خورشیدی دستگاههایی هستند که نور خورشید را توسط لنز هایی بر روی سطح پیل متمرکز می کنند. راندمان این پیل ها به ۳۷ درصد می رسید. این راندمان بالا به علت افزایش شدت نور تابیده و در نتیجه افزایش مقدار انرژی موجود می باشد. در طی ۴ دهه ی اخیر تلاش های قابل ملاحظه ای در استفاده و کاربرد عملی انرژی تولیدی

1. concentrator

خورشیدی صورت گرفته است که این الکتریسیته اغلب به یک گرید الکتریکی، که از اینورتر یا مبدل ها استفاده می کند (سیستم فتوولتائیک متصل به گرید) منتقل می شده است[۴].

۱.۲.۲. پیل های فتوولتائیک چگونه کار می کنند؟

فتوولتائیک نام دیگر پیل های خورشیدی است. پیل های خورشیدی مسئول تولید انرژی از نور خورشید تابیده به آنها می باشند. پیل های خورشیدی از مواد خاصی به نام نیمه هادی ساخته شده اند. وقتی نور خورشید به سطح این نیمه هادی ها می رسد، الکتریسیته تولید می کنند. استفاده از پیل های خورشیدی الکتریکی بسیار آسان است. این پیل ها برای کار و تولید الکتریسیته به هیچ چیز دیگر بجز تابش نور خورشید نیاز ندارند. پنل های خورشیدی دارای طول عمر متوسط ۲۵ سال می باشند[۵].

۱.۲.۳. انواع پیل های خورشیدی

پیل های خورشیدی معمولاً از سیلیکون ساخته می شوند که همان ماده ی مورد استفاده در ترانزیستورها و مدارهای integrated است. سیلیکون تحت عملیات قرار گرفته و یا دوپ می شود تا اینکه وقتی نور به آن می تابد، الکترون ها آزاد شوند و در نتیجه یک جریان الکتریکی تولید شود.

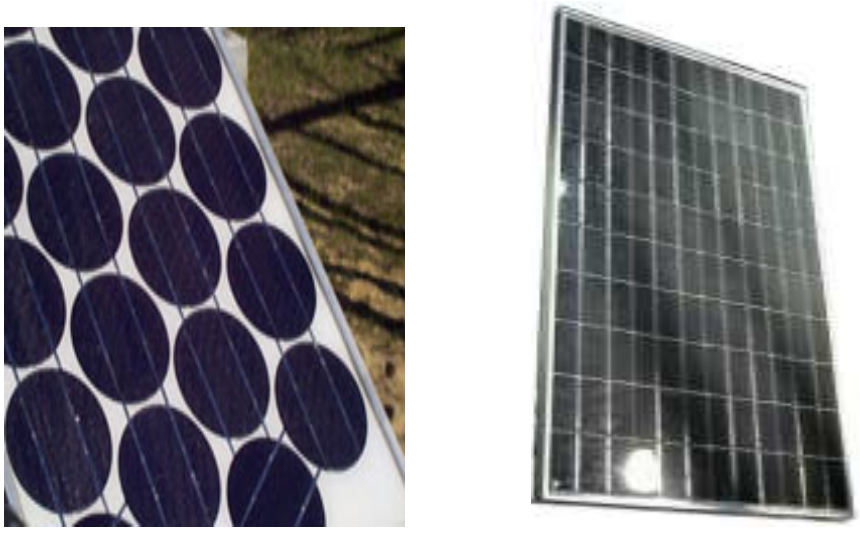
برای پیل های خورشیدی تکنولوژی های بسیار متعددی وجود دارد که در حال پیشرفت و توسعه می باشند. اما سه نوع از آنها بیشترین استفاده را دارند.این تکنولوژی ها عبارتند از :

۱. سیلیکون کریستالی
۲. فیلم نازک متمرکز کننده
۳. پیل های ترمو فتوولتائیک

از این پیل ها در نیروگاههای خورشیدی جهت تولید الکتریسیته استفاده می گردد[۲و۴و۵] .

۱.۲.۳.۱. سیلیکون کریستالی

پیل های سیلیکون کریستالی به طرز وسیعی در اغلب نیروگاه های خورشیدی مورد استفاده قرار می گیرند. این انواع پیل ها شامل دو لایه می باشند، لایه ی مثبت و لایه ی منفی درست شبیه آنچه در اغلب نیمه هادی ها می باشد. لایه ی مثبت در لبه ی بالایی در حالیکه لایه ی منفی در پائین قرار می گیرد. میدان الکتریکی در بین لایه ها ساخته می شود. فوتون هایی از نور خورشید که به نیمه هادی وارد می شوند منجر به تولید الکترون های آزاد می شوند. این الکترون ها همان بار الکتریکی می باشند. این الکتریسیته تولیدی به صورت جریان مستقیم (dc) الکتریسیته در پنل منتقل می شود. پیل هایی متشکل از سیلیکون پلی کریستال وجود دارد. این پیل ها از کریستال های متعدد سیلیکون با سایز کوچک ساخته شده اند. این نوع پیل ها نسبتاً دارای پروسه ی تولید ارزانی می باشند و لی راندمانشان پایین است در حالیکه پیل های سیلیکونی تک کریستاله دارای عملکرد و کارایی بهتری می باشند[۶و۷] .



شکل۱ –۲ : پیل های خورشیدی تک کریستاله [۶] .

۱.۲.۳.۲. پیل های فتوولتائیک پلی کریستاله

پیل های خورشیدی اغلب با اتصال الکتریکی به هم متصل می شوند و به صورت یک بسته به نام مدول در می آیند. مدول های فتوولتائیک اغلب دارای یک صفحه ی شیشه ی در طرف جلوی خود (رو به تابش

خورشید) می باشند، تا نور قابلیت عبور از این لایه را داشته باشد، ولی آلودگی ها امکـان نشسـت روی آن را نداشته باشند[۶و۷] .

پیل های خورشیدی اغلب در مدول هابه صورت موازی قرار می گیرند تا ولتاژ فزاینده ای را ایجاد کنند. اگـر پیل های خورشیدی به طور موازی در مدار قرار گیرند، باعث تولید جریان الکتریکی بیشتر می شوند. سـپس مدول ها به طور سری یا موازی و یا هر دو (سری و موازی) جهت تولید یک آرایه بـا پیـک جریـان و ولتـاژ DC مورد نظر به هم متصل می شوند[۸] .

در این روش یک حفره می تواند درون ساختار ماده حرکت کند. پس می توان گفت که فوتون های جذب شده در نیمه هادی منجر به تولید زوج های الکترون–حفره ی متحرک می شوند. یک فوتون تنها لازم است که دارای انرژی بیشتری نسبت به انرژی باند گپ باشد تا بتواند یک الکترون را از لایه والانـس بـه لایـه ی رسانش (یا هدایت) بر انگیزد[۹].

به هر حال طیف فرکانس خورشیدی تقریبا" حدود طیف یک جسم سیاه در دمای ۶۰۰۰ درجـه ی کلـوین می باشد و نیز، مقدار زیادی از تابش خورشیدی که به زمین می رسد، از فوتون های با انرژی هـای بیشـتر از باند گپ سیلیکون تشکیل شده اند. این فوتون های با انرزی بالاتر به وسیله ی پیل خورشـیدی جـذب مـی شوند، اما اختلاف انرژی این فوتون ها با انرژی باندگپ ماده ی نیمه هادی (از طریق ارتعاشات شبکه ای کـه فونونس نامیده میشوند) به گرما تبدیل می شود و لذا به انرژی مفید الکتریکی تبدیل نمی شود[۱۰].

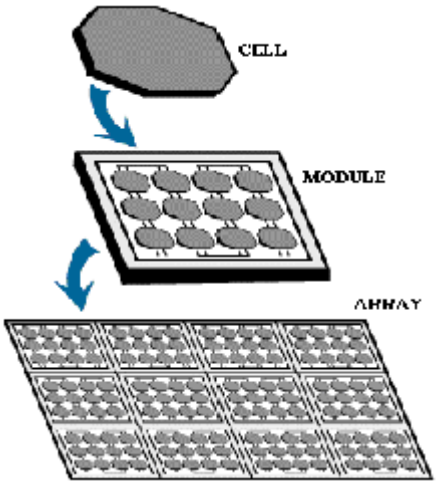
۱.۲.۳.۲.۱. کاربرد پیل خورشیدی سیلیکونی[۱۱و۱۲]

پیل های خورشیدی معمولی دارای سایز کوچکی می باشند و در نتیجه مقادیر کمی الکتریسیته تولید می کنند. یک پیل سیلیکونی می تواند برای تامین نیروی ماشین حساب ها یا ساعت ها استفاده شود.

شکل ۱–۳ : یک پنل حورشیدی بر پایه سیلیکون پلی کریستاله و ماشین حسابی که برای تولید نیرو در آن از این نوع پیل استفاده شده است[۱۳و۱۴و۱۵] .

جهت تولید انرژی کافی با استفاده از این نوع پیل برای روشن سازی کل یک خانه مدول های پیل های سیلیکونی مورد نیاز می باشند، که در آنها تعداد زیادی پیل سیلیکونی به همدیگر متصل شده اند. این مدول ها واحد های ساختاری نیروی خورشیدی می باشند. برای افزایش ظرفیت نیروی الکتریکی خورشیدی تولیدی،تعداد زیادی مدول به هم متصل می شوند. به این مجموعه آرایه گویند. از این آرایه ها جهت تامین نیرو در ماهواره ها استفاده می گردد[۱۶].

مدول ها و آرایه های خورشیدی جریان الکتریسیته مستقیم تولید می کنند. در شکل – طرح شماتیک ساخت مدول و آرایه را مشاهده می کنیم. این آرایه ها را می توان با هر دو اتصال موازی و سری به هم وصل کرد تا ترکیب جریان و ولتاژ دلخواه حاصل شود[۱۷و۱۸] .



شکل ۱–۴: طرح شماتیک اتصال چند پیل به هم و ساخت مدول وتشکیل آرایه از مدول ها[۱۷].

۱.۲.٤. تفکیک ذرات باردار یا حاملان بار

برای تفکیک حاملان بار در یک پیل خورشیدی، دو مد عمده وجود دارد:

۱. تغییر مسیر حاملان بار، ذرات باردار بر اثر وجود یک میدان الکترواستاتیک درون دستگاه، تحریک شده و لذا از مسیر خود منحرف می گردند.

۲. نفوذ ذرات باردار از نواحی با غلظت بالاتر به نواحی با غلظت کمتر در اثر یک شیب پتانسیل الکتروشیمیایی

در پیل های خورشیدی با تقاطع N-P مد غالب حرکت ذرات باردار توسط نفوذ می باشد. به هر حال، در فیلم های نازک مکانیزم عمده جهت جابجایی بار، میدان الکتریکی و در نتیجه تغییر مسیر حاملان بار می باشد[۱۹] .

۱.۲.۵. تقاطع N-P

متداول ترین پیل خورشیدی با ساختار تقاطع N-P با سطح زیاد از سیلیکون ساخته ی شود. برای ساده سازی می توان تصور کرد که یک لایه سیلیکون نوع N را مستقیماً با یک لایه سیلیکون نوعP متصل کرده ایم. در عمل، تقاطع های N-P پیل های خورشیدی سیلیکونی به اینصورت ساخته نشده و ترجیحاً به وسیله ی نفوذ یک دوپانت نوع N در یک سمت قرص نوع P یا بالعکس تهیه می شوند. اگر یک تکه سیلیکون نوع P را دراتصال با یک تکه سیلیکون نوع N قرار دهیم، نفوذ الکترون ها از ناحیه ی با غلظت الکترون زیاد (سمت نوع N تقاطع) به سمت ناحیه ی با غلظت الکترون کم (طرف نوع P تقاطع) رخ خواهد داد [۲۰].

۱.۲.٦. فیلم نازک[۲]

پیل های خورشیدی های فیلم نازک ساده با طول عمر بالاتر، سبکتر و قابلیت مجتمع سازی بالاتر در مقایسه با مدول های پیل های خورشیدی سیلیکونی می باشند. جهت ساخت پیل های خورشیدی فیلم نازک از مواد آمورف با بهترین کیفیت استفاده می شود. در این نوع پیل خورشیدی چیدمان اتم ها دارای نظم خاصی نمی باشد. این نوع پیل خورشیدی دارای راندمان بسیار بالایی می باشد که قابلیت تبدیل ۹۰ درصد

[۲] Thin film

انرژی خورشیدی مفید به الکتریسیته را وقتی که در معرض تابش نور قرار می گیرند، دارا می باشند. ، تنها با استفاده از پیل های فیلم نازک سیلیکونی آمورف که تنها دارای ضخامت یک میکرون می باشند.

پیل های فیلم نازک دارای قیمت مناسب می باشند. زیرا نیازمند مواد نیمه هادی کمتری در ساختارشان هستند [۲۱و۲۲و۲۳] .

شکل۱-۵ :پیل خورشیدی فیلم نازک انعطافپذیر [۲۳] .

۱.۲.٦.۱. کاربردهای فیلم نازک

این نوع پیل ها به صورت منفرد تولید نمی شوند بلکه به صورت مدول ها تهیه می شوند و سپس به هم متصل شده اند.

لایه های نازک نیمه هادی ها برای تولید فیلم نازک با استفاده از مواد زیرلایه مثل پلاستیک و شیشه، استفاده می شوند. مواد زیر لایه به صورت مستقیم با مواد ضد انعکاسی ونیز لایه های محافظ، پوشش داده می شوند. فیلم های نازک match shape مواد زیر لایه طراحی می شوند. که این امر این نوع پیل ها را قادر می سازد که در گستره ی وسیعی از اشکال جدید، ابتکاری و متفاوت قابل استفاده باشند [۲۳و۲۴] .

۱.۲.۷.۱. متمرکز کننده ها[۳]

اصول کاری پیل های خورشیدی متمرکز کننده به آسانی قابل فهم می باشد. این پیل ها درست مثل لنز های نوری[۴] کار می کنند. اصول کلی اش بسیار شبیه شیشه های ذره بین می باشد. در پیل های متمرکز کننده نور، جهت تولید ماکزیمم انرژی ممکن، با استفاده از لنز ها روی پیل متمرکز می شوند. با استفاده از پیل های متمرکز، کننده شدت نور، با هدف گیری روی سطحی مشخص، افزایش می یابد و منجر به افزایش الکتریسیته ی تولیدی می گردد. امروزه اغلب پیل های متمرکز کننده ی تولیدی از مواد سیلیکونی کریستالی ساخته شده اند. اما مواد دیگری از قبیل آرسنید گالیم و فسفید ایندیم-گالیم نیز جهت افزایش کارایی و راندمان پیل، مورد استفاده قرار می گیرند. بنابراین شانس افزایش استفاده و به کارگیری این پیل های خورشیدی در مقایسه با پیل های سیلیکونی وجود دارد [۲۵و۲۶و۲۷] .

شکل ۱-۶: پیل های خورشیدی متمرکز کننده

۱.۲.۷.۲. کاربرد پیل های متمرکز کننده

پیل های متمرکز کننده به طرز وسیعی در صنایع با تکنولوژی بالا مثل هوافضا و ماهواره ها مورد استفاده قرار می گیرند. پیل های متمرکز کننده پیل های معتبر و قابل اطمینانی بوده و این امر دلیل استفاده از آنها در اینچنین کاربردهای فضایی حساس و گران قیمت می باشد. این پیل ها یک راهی را باز کرده اند که

---

[۳] concentrators
[۴] Optical lense

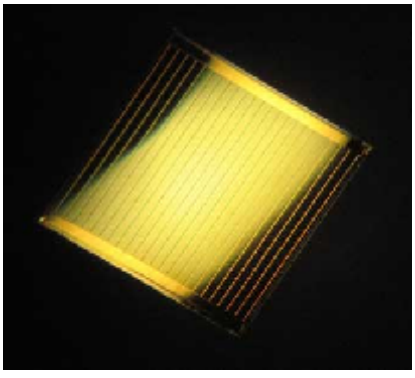
بتوان انرژی بیشتری را، حتی با استفاده از مواد نیمه هادی ارزان تر و با کیفیت پایین تر در مقایسه با دیگر پیل های خورشیدی، تولید نمود [۲۸].

یک پیل متمرکز معمولی متشکل می باشد از لنزهایی که نور خورشید را روی موضع دقیقی از سطح پیل متمرکز می کنند، مجموعه پیل های خورشیدی، سیم هایی جهت برقراری اتصال الکتریکی و وسیله ای که گرمای اضافه را خارج می کند. این واحد ها قادر به ترکیب شدن با واحد هایی از اشکال دیگر و با سایز متفاوت، جهت ساخت یک مدول بزرگتر می باشند.

بهترین نحوه ی کار پیل های متمرکز کننده در شرایط تابش نور مستقیم خورشید و آب و هوای خشک می باشد. وسایل پیشرفته و مدرن باید از این نوع پیل ها استفاده کنند زیرا این پیل ها می توانند جهت گیری مناسب به سمت نور خورشید را تنظیم کنند [۲۹].

۱.۲.۸.۱. ترمو فتوولتائیک ها

پیل های ترموفتوولتائیک از تکنولوژی های متفاوتی جهت تولید الکتریسیته استفاده می کنند. ترمو به معنای گرما است. این پیل ها گرما را به الکتریسیته تبدیل می کنند و بقیه ی عملکردشان مشابه پیل های فتوولتائیک است، که نور را به الکتریسیته تبدیل می کنند. تنها تفاوت بین ترمو فتوولتائیک و پیل فتوولتائیک این است که پیل های ترموفتوولتائیک از نیمه هادی هایی استفاده می کنند که برای طول موج های بلند طراحی شده اند. نور نامرئی شبیه امواج مادون قرمز که از اجسام داغ آزاد می شود. این راه تولید الکتریسیته بسیار مرتب و تمیز است و نیز ساده تر از آنچه ما در تولید نیرو با استفاده از ژنراتورهاو توربین بخار با آن مواجه هستیم، می باشد [۲۸].



شکل ۱-۷ : تصویر یک پیل ترموفتوولتائیک [۳۰و۶].

۱.۲.۸.۲. کاربردهای پیل های ترمو فتوولتائیک

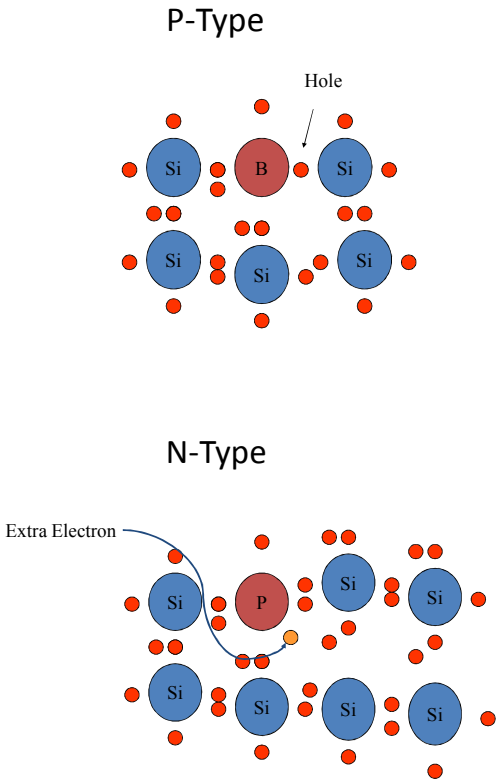
این نوع پیل های خورشیدی نیازی به نگهداری ندارند و لذا بسیارکاربردی می باشند. این پیل ها نه تنها انرژی گرمایی نور خورشید، بلکه انرژی گرمایی از هر منبع حرارتی (نظیر احتراق سوخت) را نیز به الکتریسیته تبدیل می کنند. پیل های ترموفتوولتائیک مثل دیگر انواع پیل های خورشیدی هیچ تولیدات مضری که بتواند به محیط زیست آسیب برساند، ایجاد نمی کنند. و به همین علت است که پیل های خورشیدی به عنوان منابع پاکیزه ی تولید انرژی مطرع هستند. شاید در آینده بتوان از پیل های ترموفتوولتائیک در کوره ها جهت تولید الکتریسیته خودشان استفاده کرد . این نوع پیل ها همچنین می توانند در شارژر باطری ها و ژنراتورهای نیرو مفید واقع شوند [۳۰ و ۲۸] .

۱.۲.۹. ساختار

متداول ترین پیل خورشیدی با ساختار تقاطع N-P با سطح زیاد از سیلیکون ساخته ی شود. برای ساده سازی می توان تصور کرد که یک لایه سیلیکون نوع N را مستقیماً با یک لایه سیلیکون نوعP متصل کرده ایم. در عمل، تقاطع های N-P پیل های خورشیدی سیلیکونی به اینصورت ساخته نشده و ترجیحاً به وسیله ی نفوذ یک دوپانت نوع N در یک سمت قرص نوع P یا بالعکس تهیه می شوند. اگر یک تکه سیلیکون نوع P را دراتصال با یک تکه سیلیکون نوع N قرار دهیم، نفوذ الکترون ها از ناحیه ی با غلظت الکترون زیاد (سمت نوع N تقاطع) به سمت ناحیه ی با غلظت الکترون کم (طرف نوع P تقاطع) رخ خواهد داد [۲۸].

پیل های خورشیدی جدید بر اساس اصل فیزیک نیمه هادی ها طراحی شده اند. آنها اساساً فتودیودهای تقاطعN-P با سطح حساس به نور بسیار زیاد می باشند. اثر فتوولتائیک، که منجر به تبدیل مستقیم نور خورشید به انرژی الکتریکی می گردد، در سه لایه تبادلی انرژی اتفاق می افتد. اولین لایه از این سه لایه لازم برای تبدیل انرژی از پیل خورشیدی، لایه تقاطع بالایی می باشد که از نیمه هادی نوع N ساخته شده

است. لایه بعدی در ساختار هسته ی دستگاه است. این لایه لایه ی جاذب است(تقاطع P-N). آخرین لایه، لایه ی تقاطع پشتی است(که از نیمه هادی نوع P ساخته شده است)[۱و۵و۳۱] .



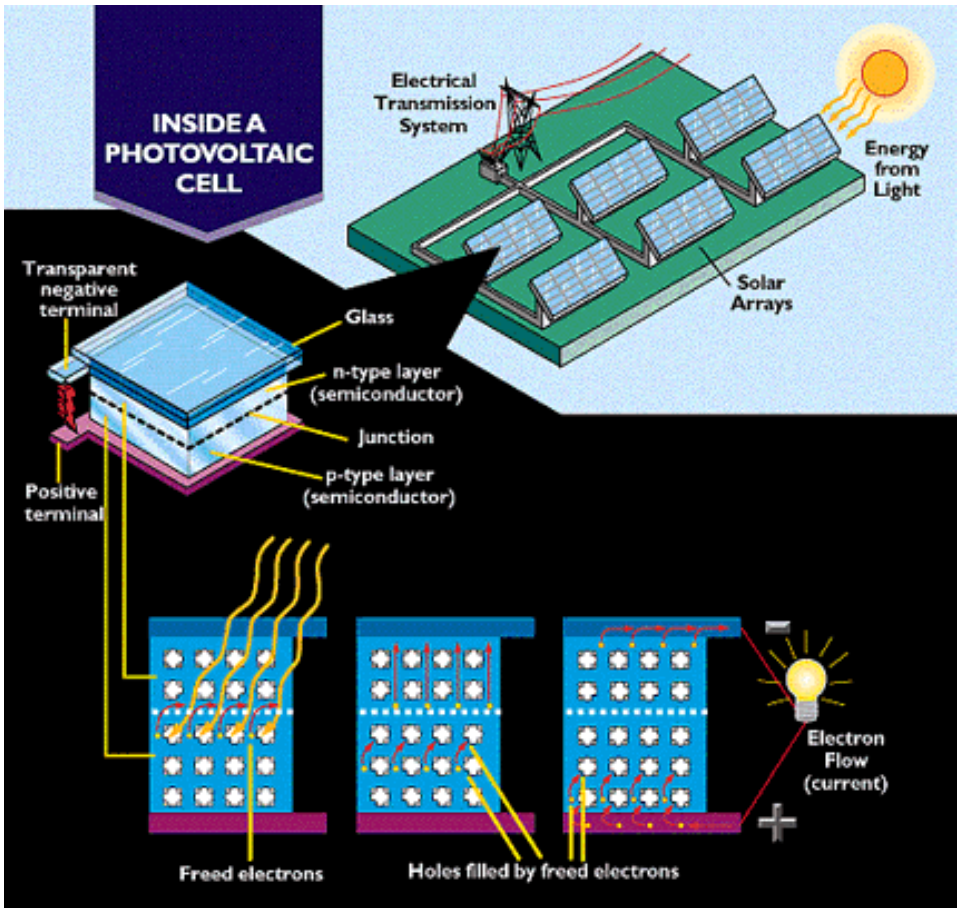
شکل ۱-۸ : طرح شماتیک نیمه هادی های نوع N و P)[۳۱] .

همانطوریکه در شکل – مشاهده می شود، دو لایه اضافه داریم که باید جهت برقراری اتصال الکتریکی وجود داشته باشند. این دو لایه جهت هدایت جریان الکتریکی به خارج از پیل یا به درون پیل باید وجود داشته باشند.

لایه تماسی الکتریکی بر روی سطح پیل در جائیکه نور باید به پیل وارد شود، عموما به صورت گرید یا توری مانند می باشند و لذا باید از یک هادی خوب مثلاً یک فلز تهیه شوند. طرح توری کل سطح پیل را نباید بپوشاند، زیرا هادی های خوب اغلب نسبت به نور شفاف نمی باشند یا به عبارت دیگر نور را از خود عبور نمی دهند و در نتیجه در طراحی گرید باید تا آنجا که ممکن است فواصل را زیاد کنیم تا به نور اجازه دهد که به پیل خورشیدی وارد شود. ولی دقت شود که این فواصل به حدی زیاد نباشند که لایه تماسی الکتریکی

به سختی جریان تولیدی بوسیله ی پیل را جمع آوری کند. در حالیکه لایه تماسی الکتریکی پشتی دارای محدودیت های ابعادی مشابه نمی باشد و فقط وظیفه ی ساده ای تحت عنوان اتصال الکتریکی داشته و لذا کل سطح پشتی ساختار پیل را می پوشاند. از آنجا که لایه پشتی باید یک هادی خوب الکتریکی باشد، همیشه از فلز تهیه می شود)[۳۲] .

شکل ۱–۹ طرح شماتیک موارد استفاده آرایه های خورشیدی و نیز ساختار داخلی یک پیل فتوولتائیک را نشان می دهد. ترمینال منفی به صورت لایه ای شفاف و به رنگ آبی و ترمینال مثبت به رنگ قرمز نشان داده شده است. لایه نیمه هادی نوع N در بالا و نیمه هادی نوع P در پائین قرار گرفته و مابین آنها تقاطعی ایجاد شده است. در قسمت پائینی شکل مکانیزم ایجاد حفره و پر شدن مکانهای حفره ها توسط الکترونها را نشان میدهد.



شکل ۱–۹ : طرح شماتیک موارد استفاده آرایه های خورشیدی و نیز ساختار داخلی یک پیل فتوولتائیک)[۱] .

۱.۲.۱۰.۱. اصول کار یک پیل خورشیدی

پیل های خورشیدی با ویژگی های زیر شناخته می شوند:

۱.ماکزیمم ولتاژ مدار باز(Voc) در جریان خروجی صفر

۲. جریان مدار کوتاه (Isc) در ولتاژ خروجی صفر

از آنجا که نیرو را از رابطه ی زیر می توان محاسبه نمود:

$$P=I*V$$

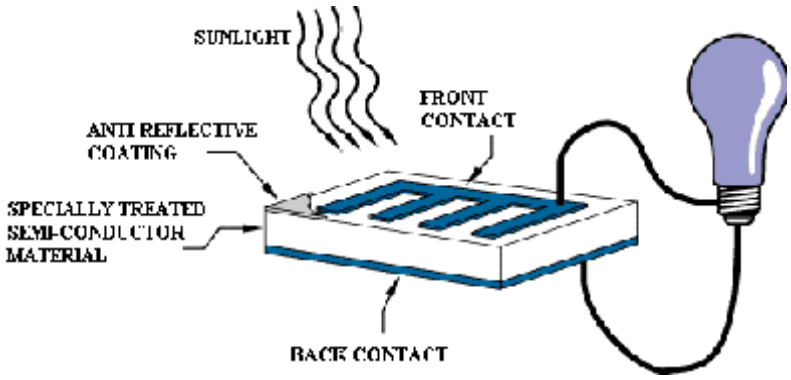
سپس با داشتن یکی از این پارامتر ها در این شرایط حدی (صفر) در نتیجه، مقدار نیرو نیز صفر می شود. همانطوریکه ممکن است شما انتظار داشته باشید، یک ترکیبی از کمتر از جریان ماکزیمم و ولتاژ ماکزیمم می تواند منجر به حصول ماکزیمم نیروی تولیدی گردد.که به عنوان "نقطه ی نیروی ماکزیمم" خوانده می شود.

در بسیاری از طراحی های BEAM برای ماندن در یا نزدیک نقطه ی نیروی ماکزیمم. تلاش می شود. بخش حساس و سخت ان کار ارائه ی طرحی است که بتواند نقطه ی نیروی ماکزیمم را ، صرف نظر از شرایط نوری، بیابد.

یک پیل خورشیدی، دستگاهی است که انرژی نور خورشید را مستقیماً به الکتریسیته، تحت اثر فتوولتائیک، تبدیل می کند. گاهی اوقات عبارت پیل خورشیدی برای دستگاه هایی بکار می رود که تمایل خاصی به ذخیره ی انرژی نور خورشید دارند. در حالیکه پیل فتوولتائیک زمانی بکار می رود که منبع نور خاصی در نظر نباشد. مجموعه هایی (تعدادی) از پیل ها استفاده می شود تا پیل های خورشیدی، مدول های خورشیدی یا آرایه های فتوولتائیک را بسازند. فتوولتائیک یک زمینه ای (گرایشی) در تکنولوژی و تحقیقات مرتبط با کاربرد پیل خورشیدی در تولید الکتریسیته برای مصارف جزئی می باشد. انرژی تولیدی از این راه یک نمونه از انرژی خورشیدی (نیروی خورشیدی) است.

دیاگرام زیر طرز کار کلی یک پیل فتوولتائیک را که به عنوان پیل خورشیدی خوانده می شوند. پیل های خورشیدی نیز از همان نوع مواد نیمه هادی مورد استفاده در صنایع میکروالکترونیک، استفاده میکنند. برای پیل های خورشیدی یک لایه نازک (قرص) نیمه هادی تحت عملیات خاصی قرار می گیرد تا یک میدان الکتریکی را تشکیل دهد، مثبت در یک طرف و منفی در طرف مقابل ایجاد شود. وقتی نور خورشید به نیمه هادی برخورد کند، الکترون هایی از اتم های ماده نیمه هادی که انرژی فوتون مربوطه را جذب می کنند، آزاد می شوند. در این حالت اگر مواد رسانای الکتریکی به دو طرف مثبت و منفی متصل شده باشند، یک مدار الکتریکی تشکیل می شودو الکترونها می توانند در طول مدار حرکت کرده و جریان الکتریکی را ایجاد کنند.

که در ادامه این الکتریسیته میتواند برای روشن کردن لامپ یا تامین نیروی دیگر وسایل الکتریکی مورد استفاده قرار گیرد)[۳۳] .



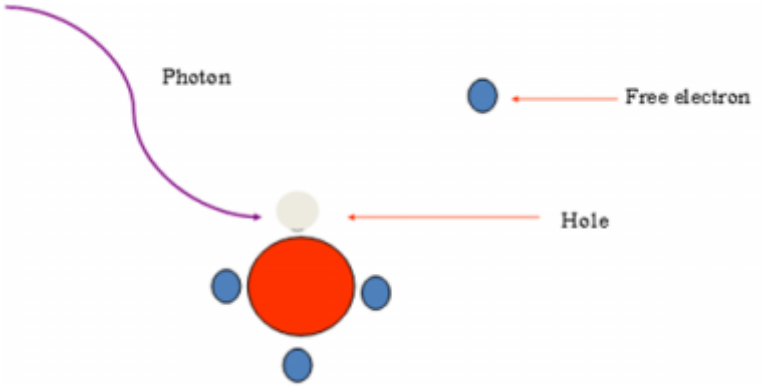
شکل ۱–۱۰: شماتیک طرز کار کلی یک پیل فتوولتائیک[۳۳] .

۱.۲.۱۰.۲. تعارف ساده)

۱. فوتون ها ی نور خورشید به پنل خورشیدی برخورد کرده و بوسیله ی مواد نیمه هادی مثل سیلیکون جذب می شوند.

۲. الکترون ها (بارهای منفی) از اتم های خود خارج شده و درون ماده شارش می یابند. به علت ترکیب ویژه ی پیل های خورشیدی، الکترون ها تنها اجازه ی حرکت در یک جهت را دارند.

قبل از تابش نور



بعد از تابش نور خورشید انرژی فوتون توسط الکترون های نیمه هادی جذب شده و الکترون آزاد شده و جای خالی آن به صورت حفره باقی می ماند.

شکل ۱-۱۱ : شماتیک ایجاد یک حفره در اثر تابش پرتو به ماده.

۳. هر آرایه ای از پیل های خورشیدی، انرژی خورشیدی را به یک مقدار قابل استفاده ای جریان الکتریسیته مستقیم (DC) تبدیل می کند[۱و۵] .

۱.۲.۱۰.۳. تولید فوتونی ذرات باردار

وقتی که یک فوتون به یک تکه نیمه هادی مثلاً سیلیکون برخورد می کند، یکی از سه حالت زیر ممکن است اتفاق افتد:

۱. فوتون می تواند از نیمه هادی عبور کند. این حالت معمولاً برای فوتونهای کم انرژی اتفاق می افتد.

۲. فوتون می تواند از سطح قطعه منعکس و بازتاب گردد.

۳. فوتون ممکن است به وسیله ی سیلیسیم جذب شود. اگر انرژی فوتون بیشتر از نقدار باند گپ سیلیکون باشد، این اتفاق می افتد. این امر منجر به تولید یک زوج الکترون-حفره و نیز گاهی اوقات گرما می شود که این امر به ساختار باند گپ ماده بستگی دارد.

وقتی یک فوتون جذب می شود، انرژی اش را به یک الکترون در ساختار کریستالی می دهد. این الکترون معمولاً یکی از الکترون های باند یا لایه ی ظرفیت اتم می باشد که با اتم های همسایه از طریق پیوند کوالانس درگیر بوده و در نتیجه قادر به تحرک زیادی نیست. انرژی فوتون را جذب می کند و این باعث برانگیخته شدن آن شده و لذا به باند یا لایه ی هدایت می رود. لایه هدایت جایی است که الکترون می

تواند در آن به صورت آزادانه درون نیمه هادی حرکت کند. با انتقال الکترون به لایه هدایت، حال لایه کوالانت یک الکترون کم دارد که این حالت را حفره نامند. حضور یک لایه کوالانت به الکترون های پیوندی اتم های همسایه اجازه ی حرکت به درون حفره را می دهد و در این حالت پشت سرش یک حفره به جای باقی می گذارد و به این طریق یک حفره می تواند درون ساختار ماده جابجا شود. پس می توان گفت که فوتون هایی که جذب نیمه هادی می شوند، منجر به تولید زوج" الکترون–حفره" ی متحرک می شوند. برای این که یک فوتون بتواند یک الکترون را از لایه ی ظرفیت به لایه رسانش منتقل کند، تنها باید دارای انرژی بیشتری از انرژی باند گپ نیمه هادی باشد[۳۴] .

به هر حال فرکانس طیف خورشیدی تقریباً حدود طیف یک جسم سیاه در ۶۰۰۰ درجه کلوین می باشد و همچنین مقدارزیادی از تابش خورشیدی که به زمین می رسد از وتون های با انرژی های بیشتر از باند گپ سیلیسیم تشکیل شده اند. این فوتون های با انرژی بالاتر بوسیله ی پیل خورشیدی جذب می شوند، اما اختلاف در انرژی بین این فوتون ها و باند گپ نیمه هادی به گرما تبدیل می شود(از طریق ارتعاشات شبکه ای که فونونس نامیده می شود) و به به انرژی الکتریکی قابل استفاده تبدیل نمی شود[۳۵] .

۱.۲.۱۰.٤. مواد جاذب نور

تمام پیل های خورشیدی به یک ماده ی جاذب نور درون ساختار پیل نیاز دارند تا فوتون ها را جذب کنند و از طریق اثر فتوولتائیک الکترونهای آزاد تولید کنند. مواد مورد استفاده در پیل های خورشیدی ویژگی جذب ترجیحی یک سری طول موج های نور خورشید را که به سطح زمین می رسند، ایجاد می کنند. به هر حال برخی از پیل های خورشیدی برای جذب نور ماوراء اتمسفر زمین طراحی بهینه سازی می شوند. مواد جاذب نور اغلب می توانند در ساختار های فیزیکی چند لایه مورد استفاده قرار گیرند تا از مزایای جاذب های نور مختلف بهره گرفت. پنل های فتوولتائیک معمولاً ازسیلیکون و یا پیل های فیلم نازک ساخته می شوند[۱و۳۶] .

ماده ای که استفاه ازآن در پیل های خورشیدی بسیار متداول است، سیلیکون تک کریستالی می باشد. پیل های خورشیدی ساخته شده از سیلیکون تک کریستاله دارای راندمان ۲۵درصد می باشند. این پیل های خورشیدی نسبت به نور مادون قرمز بیشترحساسیت داشته و چون در این ناحیه طیف امواج الکترومغناطیس

نسبتاً کم انرژی است، استفاده از آنها اخیراً محدود شده است. سیلیکون پلی کریستاله نیز برای ساخت پیل های خورشیدی به کار میروند. چون این نوع پیل ها از طریق ریخته گری سیلیکون مذاب درون یک قالب و سپس برش آن به صورت قرص هایی تهیه می شوند، به میزان قابل ملاحظه ای ارزانتر از پیل های سیلیکون تک کریستاله می باشند. ولی راندمان پیل های پلی کریستاله کمتر از ۲۰ درصد است که این امر به علت مقاومت داخلی در مرزدانه های کریستال های سیلیکون می باشد[۳۷] .

بسیاری از پیل های خورشیدی موجود در ابتدا به صورت مواد بالک تهیه می شوند که بعداً به صورت قرص هایی بریده می شوند و به روش تولید از بالا به پائین تهیه می شوند[۱و۵] .

دیگر مواد که به صورت یک فیلم نازک (لایه های غیرآلی، مواد آلیdye و پلیمر های آلی) تهیه می شوند، بر روی یک زیر لایه های محافظ یا ساپورت کننده نشست داده می شوند. گروه سوم که نانوکریستال ها می باشند، به عنوان نقاط کوانتومی (نانو ذرات confined الکترون) درون یک زمینه به روش ساخت از پائین به بالا توزیع می شوند. سیلیکون تنها ماده ای است که به خوبی هم به صورت بالک و هم به صورت فیلم نازک، به کار می روند[۳۸] .

۱.۲.۱۰.۵.۱. مدار متعادل پیل های خورشیدی

جهت فهم رفتار الکترونیکی پیل های خورشیدی، باید یک مدلی را بسازیم که از نظر الکتریکی متعادل باشد و بر اساس اجزاء الکتریکی مجزایی است که رفتارشان کاملاً مشخص و شناخته شده می باشد. یک پیل خورشیدی ایده آل ممکن است به وسیله ی یک منبع جریان موازی با یک دیود، مدله شود. در عمل هیچ پیل خورشیدی ایده آلی وجود ندارد و لذا یک مقاومت سری و یک مقاومت موازی نیز به این مدل افزوده می شود. مدار متعادل موجود یک پیل خورشیدی در شکل زیر نشان داده شده است. شماتیک ارائه ی یک پیل خورشیدی برای استفاده در دیاگرام های مداری آمده است[۳۹] .