

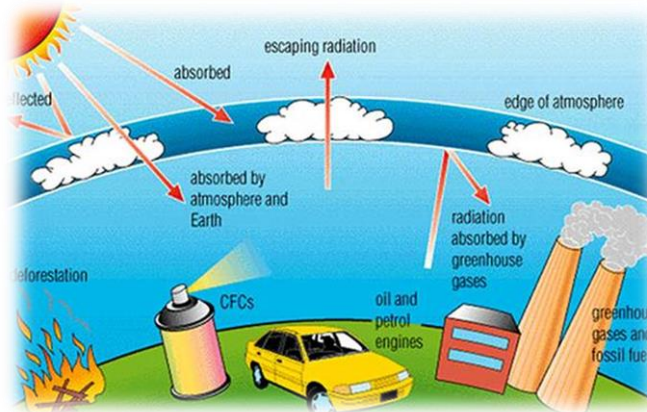
سلول های خورشیدی

نام استاد : جناب آقای دکتر محمدنژاد



سلول‌های خورشیدی

رشد مصرف جهانی انرژی در قرن اخیر و همراه با آن افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، با آلودگی بیش از پیش محیط زیست و خسارات جبران ناپذیر برای منابع حیاتی همراه بوده است. به منظور کاهش اتکا جهانی به منابع طبیعی پایان پذیر و سوخت‌های مخرب محیط زیست، تلاش‌های علمی فراوانی برای کاهش هزینه‌های تولید انرژی از منابع تجدید پذیر صورت گرفته است. از جمله، تلاش برای تولید انرژی الکتریکی با استفاده از نور خورشید، که با استفاده از خاصیت ذاتی نیمه رساناها انجام شده است. نخستین سلول‌های خورشیدی بر پایه نیمه رساناها، که بازده آن‌ها به بیش از ۱۰٪ می‌رسید در سال‌های ۱۹۶۰-۱۹۵۰ ساخته شدند. هم اکنون ۹۰-۸۵٪ قطعات فوتوولتایی خورشیدی در سراسر جهان بر پایه قرص‌های نازک بلوری سیلیکون ساخته می‌شوند. امروزه استفاده از نیمه رساناها تحول عظیمی در صنایع اپتیک و الکترونیک بوجود آورده است.



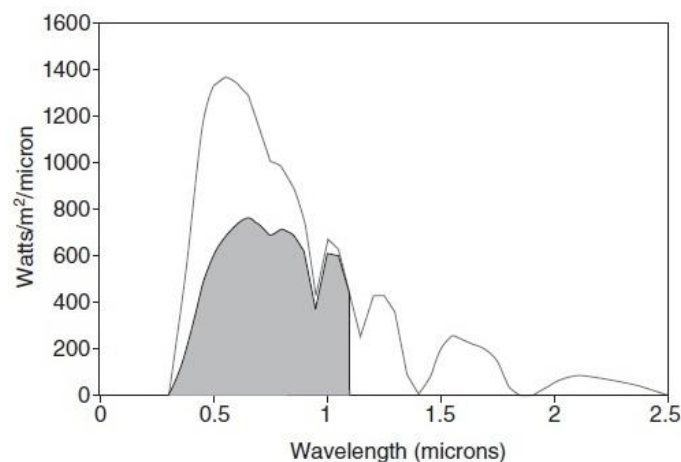
سلول‌های خورشیدی

بسیاری از نیمه‌رساناها می‌توانند الکتریسیته را از نور خورشید تولید کنند. سلول‌های فوتوولتایی، که اغلب سلول‌های خورشیدی نامیده می‌شوند، از جمله قطعات حالت جامد هستند که بر اساس تبدیل انرژی خورشید به الکتریسیته، کار می‌کنند. از مزایای این روش تبدیل انرژی این است که، مواد غیر دوستدار محیط زیست تولید نمی‌کند و منبع نامحدودی از انرژی در اختیار ما قرار می‌دهد. متداول ترین و بهترین سلول‌های خورشیدی توسعه یافته، از سیلیکون ساخته می‌شوند. از آنجا که سیلیکون ۲۷,۷٪ پوسته زمین را تشکیل می‌دهد، به نظر می‌رسد سلول‌های خورشیدی سیلیکونی به طور بالقوه ارزان باشند، اما تبدیل سیلیکون به سلول خورشیدی، فرآیندی پرهزینه است.



طیف خورشید و فوتونها

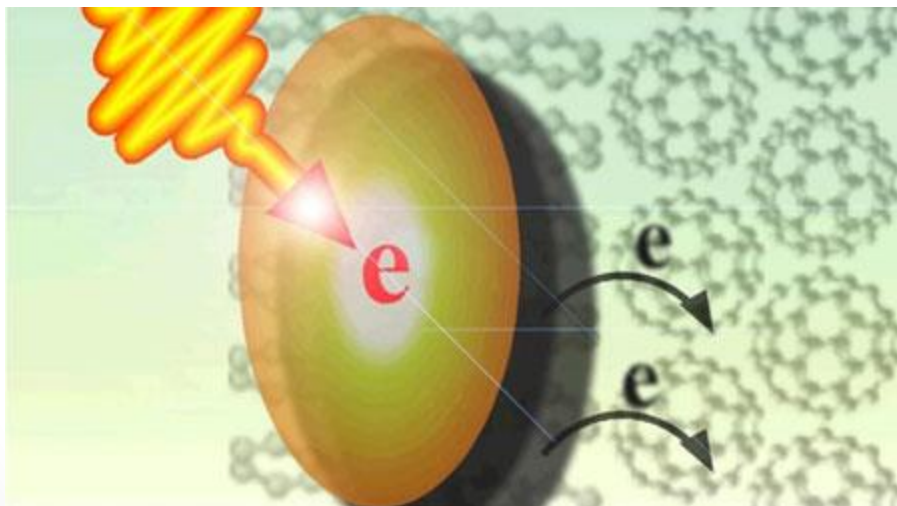
سؤال این است که نور خورشید چگونه توصیف می‌شود؟ مشاهده رنگ‌های طیف نشان می‌دهد که نور خورشید می‌تواند به رنگ‌های مختلفی تقسیم شود. همچنین، استفاده از خطوط موازی بسیار نزدیک، به عنوان توری پراش، نشان می‌دهد که رنگ‌ها می‌توانند با فاصله خطوط مرتبط باشند. بدین معنی که طول موجی مربوط به هر رنگ وجود دارد. از این رو نور یک موج الکترومغناطیسی است و می‌توان یک طول موج به آن نسبت داد. از سوی دیگر، با مشاهده پدیده‌هایی چون اثر فوتوالکتریک انشتین توضیح داد که نور به صورت بسته‌های کوچک انرژی حرکت می‌کند، که مانند ذره رفتار می‌کنند و فوتون نامیده می‌شوند. در شکل (۱) طیف خورشیدی نشان داده شده است.



شکل ۱- طیف خورشید، ناحیه خاکستری انرژی فوتونی قابل استفاده برای سلول خورشیدی سیلیکونی است

سلول خورشیدی

در یک سلول خورشیدی، نیروی الکتریکی در نتیجه جذب فوتون، تولید جفت‌های الکترون-حفره و عبور آن‌ها از یک ولتاژ، بوجود می‌آید. نیمه‌رساناها به طور ذاتی، یک انرژی جذب آستانه دارند که با آن ولتاژی که الکترون در نیمه‌رسانا می‌بیند، تعیین می‌شود. انرژی‌های فوتونی و جذب آستانه با واحد الکترون‌ولت داده می‌شود. برای مثال انرژی آستانه جذب برای سیلیکون 1.1 eV است که مساوی با 1.1 میکرون می‌باشد. فوتون‌هایی با انرژی کمتر از 1.1 eV جذب نمی‌شوند و انرژی خورشید با طول موج بزرگ‌تر از 1.1 میکرون تلف می‌شود.



گاف نواری مستقیم و غیر مستقیم در نیمه رساناها

در نیمه رساناهای مستقیم، یک فوتون با انرژی $E_g = h\nu$ می تواند یک الکترون را از نوار ظرفیت به نوار رسانش برانگیخته کند (عبور مستقیم). اما در نیمه رساناهای غیر مستقیم، این نوع عبور، امکان پذیر نمی باشد. به دلیل آن که فوتون ها اندازه حرکت بسیار کوچکی دارند، در حالی که الکترون باید دستخوش تغییر بزرگی در اندازه حرکت شود. در این موارد، عبور الکترون از نوار ظرفیت به نوار رسانش، می تواند با اتلاف یک فونون شبکه (انرژی گرمایی) رخ دهد، در این صورت اندازه حرکت مورد نیاز، تأمین می شود (عبور غیر مستقیم؛ به دلیل برهم کنش بین اتم ها، یک جامد مدهای ارتعاشی دارد. کوانتوم انرژی ارتعاشی، فونون نامیده می شود، در برهم کنش فونون- الکترون انرژی و اندازه حرکت پایسته می مانند). البته عبورهای مستقیم نیز امکان پذیر هستند، اما یک انرژی فوتونی مینیمم برای برانگیخته کردن الکترون مورد نیاز است که بزرگتر از گاف انرژی باشد.

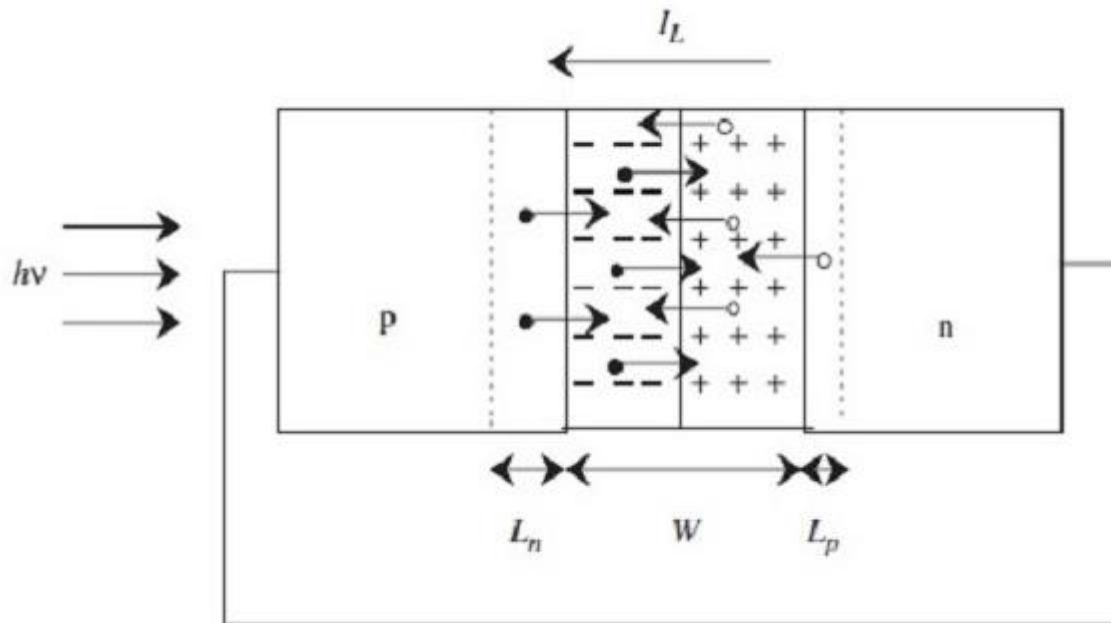
اثر فوتوولتایی :

کشف اثر فوتوولتایی به سال ۱۸۳۹ برمی گردد، اما توسعه و کاربردی شدن آن به کندی صورت گرفته است. با پیشرفت مکانیک کوانتومی در اوایل قرن بیستم، توضیح پدیده‌های مربوط به تبدیل نور به الکتریسیته، میسر گردید و اهمیت مواد نیمه‌رسانای تک بلور کشف و رفتار پیوند $n-p$ توضیح داده شد. در سال ۱۹۵۴ چاپین و همکارانش در آزمایشگاه بل یک سلول خورشیدی سیلیکونی (با بازده ۶٪) اختراع کردند. در اواخر دهه ۱۹۵۰، سلول‌های خورشیدی برای تأمین نیروی الکتریکی سیستم‌های ماهواره‌ای استفاده شدند، زیرا این قطعات برای یک دوره طولانی نیاز به حفاظت و نگهداری نداشتند و بدون افت زیاد در بازده تبدیل، بسیار مفید بودند. در دهه ۱۹۷۰ دانشمندان دریافتند که استفاده از اثر فوتوولتایی، می‌تواند پیشنهاد مناسبی در جهت تولید انرژی از منابع غیر فسیلی باشد.



اثر فوتوولتایی :

هنگامی که پیوند n-p تحت تابش نور خورشید قرار می گیرد، جفت های الکترون - حفره، تولید می شوند، که تعدادشان وابسته به شدت نور است. به دلیل میدان الکتریکی موجود در ناحیه سدی، سوق الکترون ها به سمت ناحیه n و حفره ها به ناحیه p، صورت می گیرد. هنگامی که یک سیم خارجی به صورت مدار کوتاه به پیوند متصل شود، این جدایی بار، جریانی از n به سمت p بوجود می آورد.

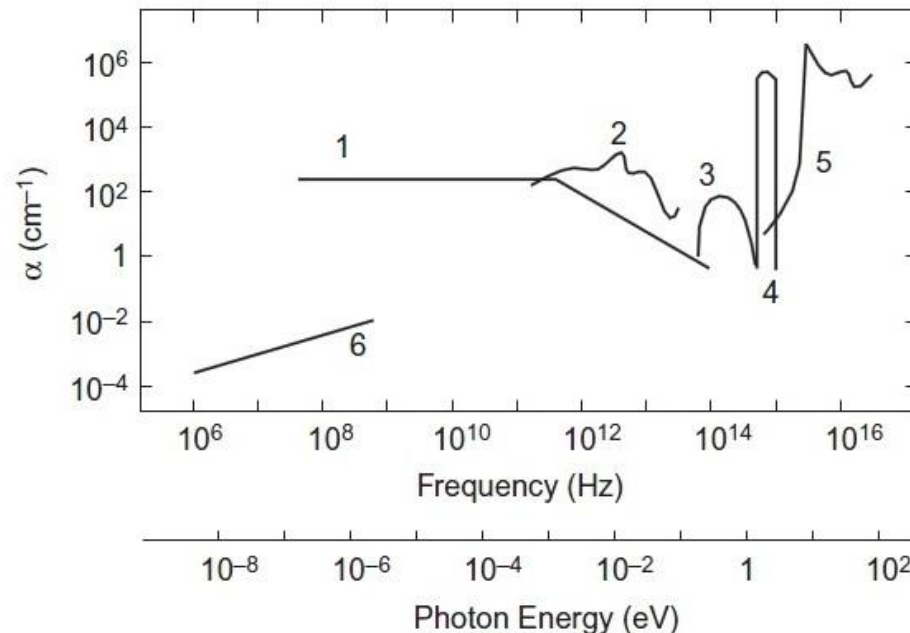


باز ترکیب (Recombination)

هنگامی که نیمه‌رسانا در معرض منبع نور قرار می‌گیرد با تولید جفت الکترون-حفره، خاصیت رسانایی آن افزایش می‌یابد. این پدیده اثر فوتورسانایی Photoconductive Effect نامیده می‌شود. حامل‌های بار اضافی تولید شده در نیمه‌رسانا، پس از خاموش شدن منبع نور، نابود می‌شوند. این فرآیند باز ترکیب نامیده می‌شود. در جامدات حجیم، پدیده باز ترکیب به صورت باز ترکیب مستقیم، غیرمستقیم (از طریق ترازهای انرژی جایگزیده در گاف انرژی ممنوع) و باز ترکیب اوره انجام می‌شود. باز ترکیب مستقیم معمولاً در نیمه‌رسانای مستقیم غالب است. در یک نیمه‌رسانای مستقیم، هنگامی که یک الکترون از نوار رسانش سقوط می‌کند تا یک جای خالی در نوار ظرفیت را پر کند، انرژی به صورت یک فوتون نوری باز پس داده می‌شود. در حالی که در مورد نیمه‌رسانای غیرمستقیم، این نوع عبور، علاوه بر تغییر در انرژی، شامل تغییری در اندازه حرکت می‌باشد و اختلاف انرژی، به جای یک فوتون نوری، معمولاً به صورت گرما به شبکه بلوری داده می‌شود. بنابراین قطعات گسیل نوری عموماً از نیمه‌رساناهای مستقیم ساخته می‌شوند. همچنین، باز ترکیب اوره هنگامی رخ می‌دهد که یک الکترون انرژی اضافی خود را به الکترونی دیگر در نوار رسانش یا ظرفیت می‌دهد که منجر به برانگیخته شدن الکترون به سطح بالاتری از انرژی می‌شود. فرآیند اوره هنگامی که تراکم حامل زیاد باشد، اهمیت پیدا می‌کند؛ بویژه در نیمه‌رساناهایی با گاف نواری کوچک.

فرآیندهای جذب اپتیکی

در این بخش برهم کنش‌های فوتون با یک جامد را بررسی می‌کنیم. فرض کنید یک نیمه‌رسانا در معرض نور خورشید واقع شود، هنگامی که انرژی فوتون کوچکتر از گاف نواری نیمه‌رسانا باشد، نور از ماده عبور خواهد کرد و نیمه‌رسانا برای نور شفاف خواهد بود. البته در چنین شرایطی بازتاب نیز امکان پذیر است. هنگامی که انرژی فوتون، بزرگتر از گاف نواری باشد، فوتون برخوردی به صورت‌های گوناگون جذب خواهد شد. احتمال جذب فوتونی با انرژی، با ضریب جذب تعیین می‌شود (خاصیت ماده و مستقل از هندسه جسم است) در شکل (۲) نموداری از فرآیندهای مختلف جذب تابش الکترومغناطیس در جامدات و محدوده اثر آن‌ها بر حسب ضریب جذب ماده و فرکانس نور نشان داده شده است.

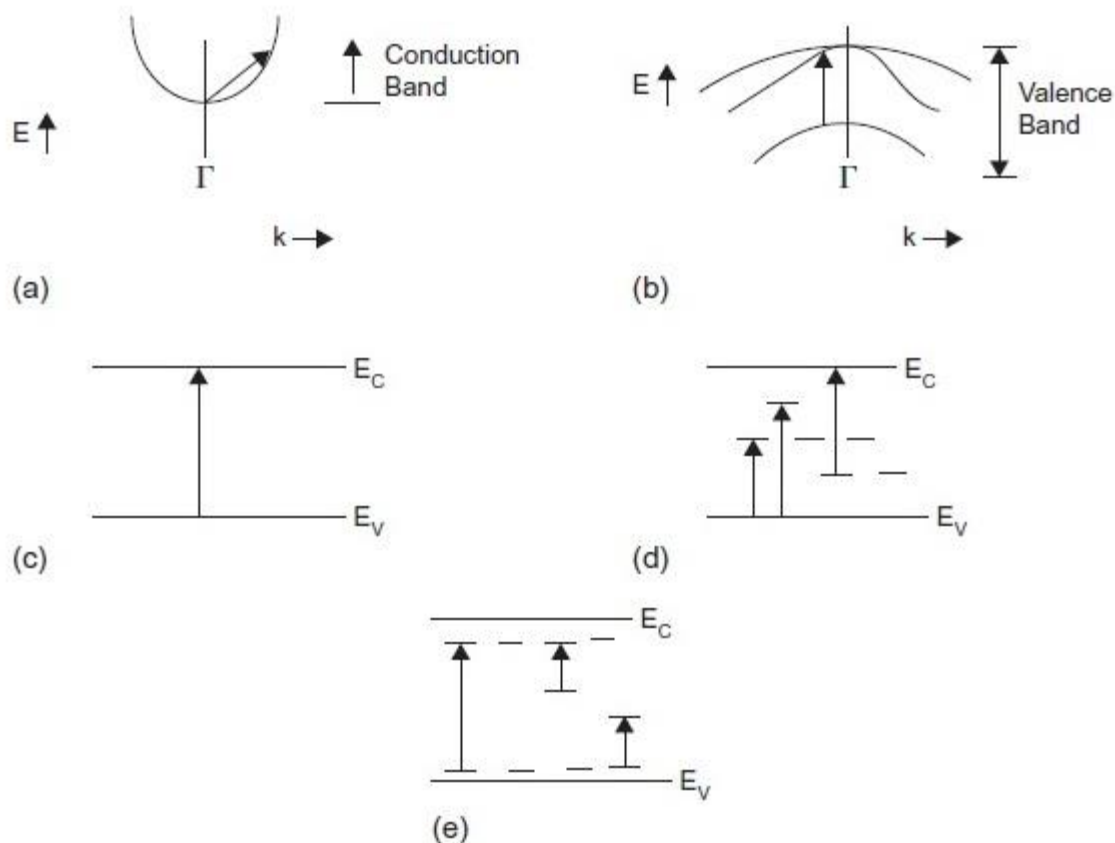


شکل ۲- نمودار شماتیک از گستره فرآیندهای جذب اپتیکی در جامدات

فرآیندهای جذب اپتیکی

نموداری از این گذارهای درون نواری intraband transitions در شکل 3(a), 3(b) نشان داده شده است. این نوع گذار در فلزات و نیمه‌رساناهایی که تراکم حامل‌ها در یک نوار، قابل ملاحظه باشد از اهمیت برخوردار است. فرآیند ۲ در شکل (۲) مربوط به جذب فونونی است؛ بدین معنی که نور با برانگیختن مدهای فونونی در ماده جذب می‌شود. الکترون‌ها در این فرآیند درگیر نمی‌شوند. به دلیل انرژی‌های کمی که فونون‌ها دارند، این فرآیند جذب در محدوده فروسرخ طیف نور رخ می‌دهد. فرآیند ۳ همه انواع گذار ناشی از جذب فوتون، بین ترازهای موجود در گاف نواری و همچنین بین ترازهای موجود در گاف و یک نوار را شامل می‌شود. شکل 3(d), 3(e) ترازهای انرژی در گاف نواری نیمه‌رسانا می‌تواند به دلیل وجود ناخالصی‌ها در نیمه‌رسانا بوجود آید. به این ترازهای انرژی الکترونی، حالت‌های جایگزیده ناشی از اتم‌های دهنده یا پذیرنده می‌گویند. فرآیند ۴ مربوط به جذب فوتون همراه با تولید اکسایتون‌ها (جفت‌های الکترون-حفره مقید) exciton است. جذب در مواد ارگانیک، از قبیل مولکول‌های کوچک رنگ‌ها در سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای dye-sensitized solar cells و جاذب‌های پلیمری در سلول‌های خورشیدی ارگانیک، عموماً یک فرآیند اکسایتونی است. همچنین در نانوذرات، اکسایتون‌ها نقش کلیدی در جذب دارند.

فرآیندهای جذب اپتیکی



شکل ۳- نمودار گذار الکترون بین حالت‌های تک الکترونی در نتیجه جذب نور

فرآیندهای جذب اپتیکی

فرآیند ۵ در شکل (۲) مربوط به گذار بین دو نوار (band-to-band transitions) است، که در شکل (3) نشان داده شده است. فرآیند ۶ در برخی از جامدات آمورف (amorphous) مشاهده می‌شود و احتمالاً ناشی از الکترون‌هایی است که از یک مکان جایگزیده به حالت جایگزیده دیگری می‌روند. فرآیندهای ۳، ۴ و ۵ مورد توجه ما هستند، زیرا این مکانیسم‌ها می‌توانند منجر به تولید الکترون‌ها و حفره‌های آزاد شوند. همچنین، ضریب جذب نقش مهمی در عملکرد سلول خورشیدی دارد. خواص موجی نور نیز در بحث سلول‌های خورشیدی جالب توجه است. تابشی با طول موج ممکن است در عبور از فصل مشترک‌ها در یک سلول، متحمل بازتاب یا تداخل شود. همچنین در ساختارهای کوچک پراکنندگی نیز می‌تواند رخ دهد. به عنوان مثال ساختارهایی در مقیاس نانومتر پدیده بازتاب را به صورت قابل توجهی نشان می‌دهند و با افزایش ابعاد تا اندازه میکرومتر، بازتاب از سلول کاهش یافته و گیراندازی نور به طور مؤثرتری صورت می‌گیرد.

انواع سلول‌های خورشیدی

۱. سلول‌های خورشیدی مبتنی بر سیلیکون کریستالی

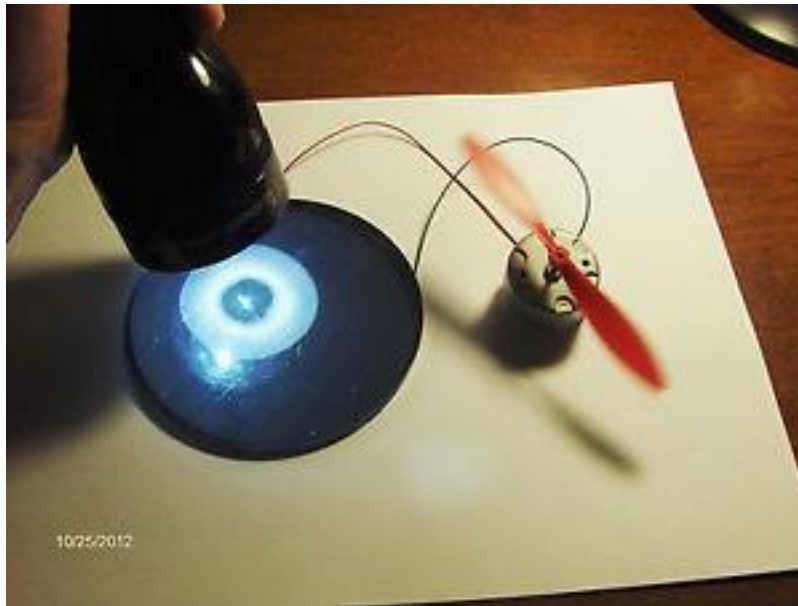
رایج‌ترین ماده توده برای سلول خورشیدی، سیلیکون کریستالی c-Si است. ماده توده سیلیکون با توجه به نوع کریستال و اندازه کریستال به چندین بخش تقسیم می‌شود.

- سیلیکون تک کریستالی c-Si
- سیلیکون پلی کریستالی poly-Si یا چند کریستالی mc-Si



انواع سلول‌های خورشیدی

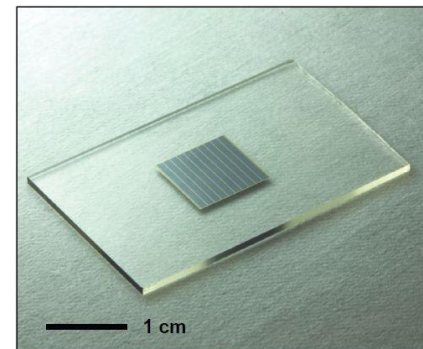
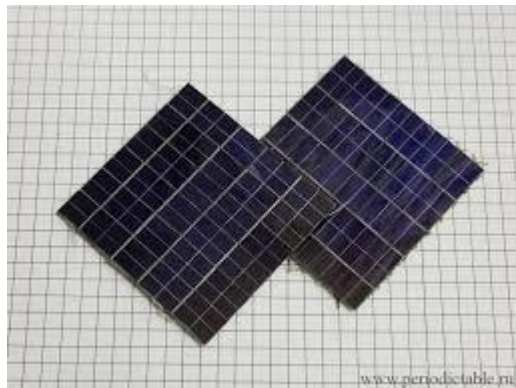
۲. سلول‌های خورشیدی مبتنی بر سیلیکون لایه نازک غیر کریستالی (آمورف)
هزینه پایین یکی از مزایای سلول‌های خورشیدی برپایه سیلیکون آمورف (a-Si) می‌باشد. دو جزء اصلی آلایژ a-Si، سیلیکون و هیدروژن است. علاوه بر این، مشخصه یک آلایژ a-Si داشتن ضریب جذب بالاست. تنها یک لایه نازک برای جذب نور نیاز است و این باعث کاهش هزینه مواد می‌شود.



انواع سلول‌های خورشیدی

۳. سلول‌های خورشیدی لایه نازک GaAs

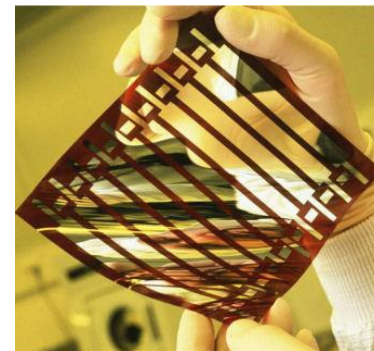
اولین لازمه موادی که باید در یک قطعه مبدل انرژی فتوولتائیک خورشیدی به کار برود، تطبیق گاف انرژی با طیف خورشیدی و نیز داشتن قابلیت تحرک بالا و طول عمر حامل‌های زیاد می‌باشند. این شرایط توسط بسیاری از ترکیبات II-VI، III-V و Si برآورده می‌شوند. مواد گروه V – III علی‌رغم هزینه‌های بالای ساخت این نیمه‌هادی‌ها، با موفقیت زیاد در کاربردهای فضایی که در آنها هزینه، فاکتور مهمی نیست مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در سال ۱۹۶۱، دانشمندان با در نظر گرفتن یک سلول خورشیدی پیوندی به شکل یک جسم سیاه با دمای ۳۰۰ کلوین نشان دادند که بیشترین بازدهی یک سلول خورشیدی صرف نظر از نوع تکنولوژی بکار رفته در آن، ۳۰٪ است که برای سلولی با گاف انرژی ماده برابر ۱٫۳۹ eV بدست می‌آید. با توجه به اینکه انرژی شکاف گالیم آرسناید برابر ۱٫۴۲۴ eV است می‌تواند ماده مناسبی برای طراحی سلول‌های خورشیدی باشد. سلول‌های خورشیدی ساخته شده بر پایه لایه نازک GaAs به عنوان نسل دوم سلول‌های خورشیدی نامگذاری می‌شوند.



انواع سلول‌های خورشیدی

۴. سلول‌های خورشیدی مبتنی بر مواد آلی

سلول‌های خورشیدی ساخته شده از مواد آلی در مقایسه با همتایان دیگر خود بازده بسیار کمتری دارند. اما به دلیل هزینه ساخت پایین و همچنین قابلیت‌هایی مانند انعطاف پذیری برای مصارف غیرصنعتی مناسب هستند. انواعی از سلول‌های خورشیدی مبتنی بر مواد آلی شامل سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ، سلول‌های خورشیدی پلیمری و سلول‌های خورشیدی مبتنی بر کریستال‌های مایع هستند.

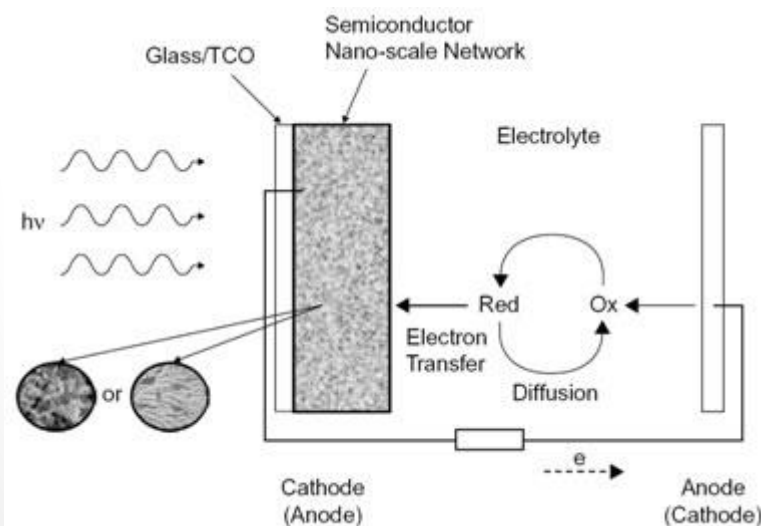


انواع سلول‌های خورشیدی

۴. سلول‌های خورشیدی مبتنی بر مواد آلی

- سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ DSSC

ساختار پایه یک DSSC وارد کردن بهینه یک نیمه هادی نوع n شفاف (با شکاف انرژی پهن) در یک شبکه ای از ستون‌ها در ابعاد نانو در تماس با نانوذره‌ها یا برآمدگی‌های مرجانی شکل است.

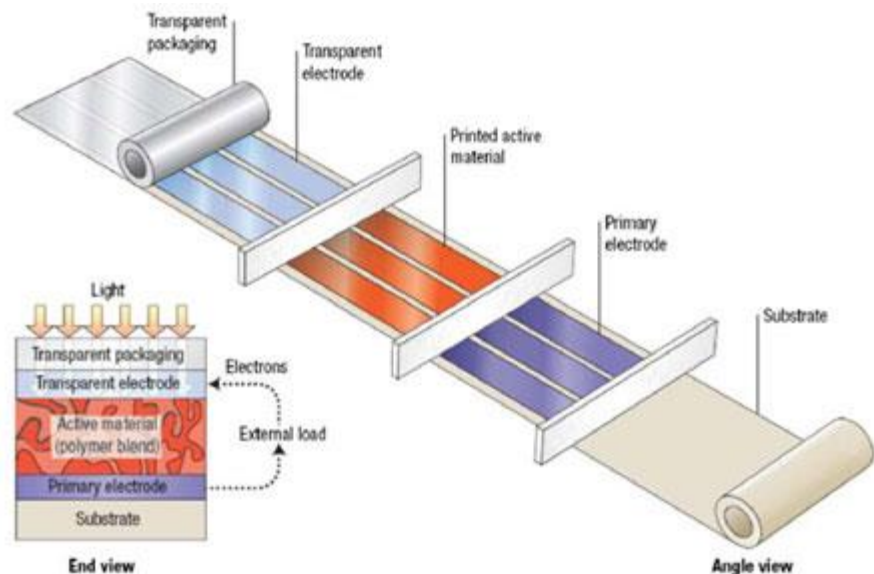


سطح شبکه بزرگ طراحی می‌شود و هر قسمت آن با یک تک لایه ای از یک رنگ یا پوششی از نقاط کوانتومی، که به عنوان رنگ عمل می‌کنند، پوشانده می‌شود. سپس یک الکترولیت برای نفوذ ساختار شبکه پوشش داده شده حاصل، مورد استفاده قرار می‌گیرد تا یک کانال یا مجرای بین رنگ و آند ایجاد کند. رنگ نور را جذب می‌کند و تولید اکسیژن می‌کند، که در سطح مشترک رنگ - نیمه هادی تفکیک می‌شود و منجر به ایجاد الکترون‌ها توسط فوتون برای نیمه هادی و مولکول‌های رنگ اکسید شده به وسیله الکترولیت (که باید کاهش یابند و دوباره تولید شوند) می‌شود.

انواع سلول‌های خورشیدی

• سلول‌های خورشیدی پلیمری

سلول‌های خورشیدی پلیمری دارای ویژگی‌های خاصی هستند. چون مواد اکتیو استفاده شده برای ساخت قطعات قابل حل شدن در حلال‌های آلی بسیاری هستند، بنابراین سلول‌های خورشیدی پلیمری دارای پتانسیل لازم برای انعطاف پذیری و قابلیت ساخت در یک فرایند چاپ پیوسته همانند چاپ روزنامه را دارند.



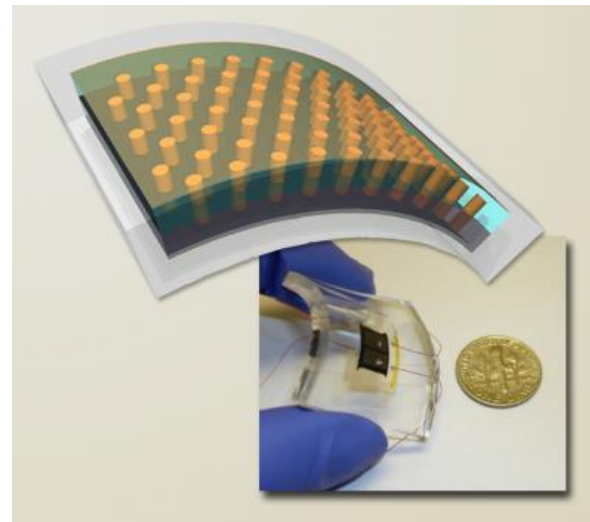
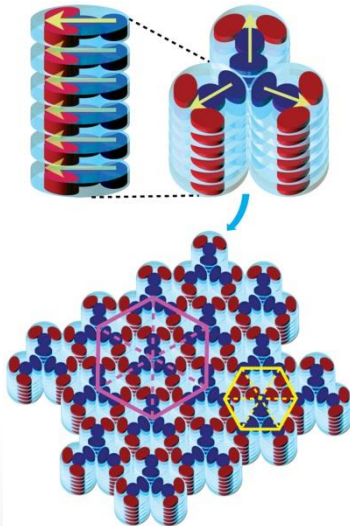
اخیرا بازده تبدیل توان حدود ۶٪ گزارش شده است ولی این مقدار با مقادیر لازم برای کاربردهای معمول فاصله دارد.

قابلیت ساخت سلول‌های خورشیدی پلیمری به صورت یک فرایند ساخت پیوسته

انواع سلول‌های خورشیدی

• سلول‌های خورشیدی مبتنی بر کریستال‌های مایع

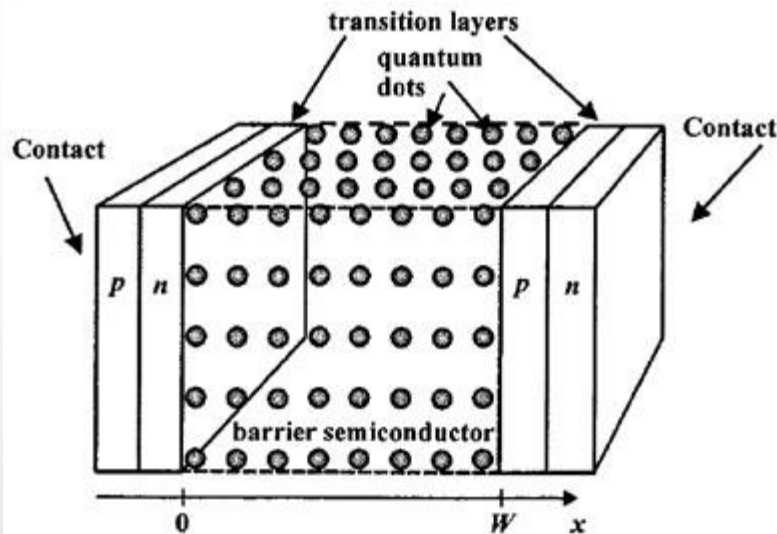
در نمونه‌ای از سلول‌های خورشیدی از این نوع از کریستال‌های مایع ستونی برای ساخت سلول استفاده می‌شود. گروهی از کریستال‌های مایع می‌توانند به حالت ستونی وجود داشته باشند. حالت ستونی حالتی است که مولکول‌های تشکیل دهنده کریستال‌های مایع که می‌توان آنها را به دیسکی تشبیه کرد روی هم قرار گرفته و ستون‌هایی را تشکیل می‌دهند. در ابتدا این گروه از کریستال‌های مایع، کریستال‌های مایع دیسکی نامیده می‌شدند. زیرا هر ستون از روی هم چیده شدن صفحات دیسک مانند مولکول‌ها روی هم درست می‌شود. تحقیقات اخیر نشان داده‌است که بعضی از کریستال‌های مایع ستونی از واحدهای غیر دیسکی ساخته می‌شوند در نتیجه بهتر است به این گروه از مواد کریستال‌های مایع ستونی گفته شود.



انواع سلول‌های خورشیدی

۵. سلول‌های خورشیدی مبتنی بر نقاط کوانتومی

یک فاکتور محدود کننده برای بازده تبدیل انرژی در سلول‌های خورشیدی با یک شکاف انرژی این است که انرژی فوتون جذب شده بالای شکاف انرژی نیمه هادی در اثر اندرکنش الکترون - فونون به صورت گرما تلف می شود تا حامل ها به لبه شکاف باند انرژی رسیده و به اصطلاح به آرامش برسند.



سلول خورشیدی مبتنی بر نقاط کوانتومی

یک فوتون با انرژی $E_g = h\nu$ می تواند یک الکترون را از نوار ظرفیت به نوار رسانش برانگیخته کند (عبور مستقیم). اما در نیمه رساناهای غیرمستقیم، این نوع عبور، امکان پذیر نمی باشد. به دلیل آن که فوتون ها اندازه حرکت بسیار کوچکی دارند، در حالی که الکترون باید دستخوش تغییر بزرگی در اندازه حرکت شود. در این موارد، عبور الکترون از نوار ظرفیت به نوار رسانش، می تواند با اتلاف یک فونون شبکه (انرژی گرمایی) رخ دهد، در این صورت اندازه حرکت مورد نیاز، تأمین می شود (عبور غیرمستقیم؛ به دلیل برهم کنش بین اتم ها، یک جامد مدهای ارتعاشی دارد. کوانتوم انرژی ارتعاشی، فونون نامیده می شود.

نسل های گوناگون سلول های خورشیدی

معایب

مزایا

۱- هزینه های بالا: فناوری های تولید پر هزینه مانند الف) استخراج سیلیسیم از ماسه و خالص سازی آن قبل از رشد بلورها، ب) مصرف بالای انرژی به هنگام رشد و برش شمش ها ۲- هدر رفتن بیشترین مقدار فوتون های پر انرژی در انتهای طول موج آبی و بنفش به صورت حرارت ۳- مصرف انرژی در حد سوخت های فسیلی	دامنه ی طیف جذبی گسترده (۱/۱۲ الکترون ولت) سیالیت بالای حامل ویفرهای سیلیکون تک بلوری (Single crystal silicon wafers, c-Si)	نسل اول
- بازده پایین تر نسبت به ویفرهای سیلیکونی نسل اول - نقص های ذاتی به دلیل کیفیت پایین بودن نسبت هزینه به واحد توان (وات) و نیز سبک بودن - عدم پایداری سیلیکون بی شکل - سمیت بالا	هزینه ی پایین تولید نیاز به مواد کمتر به دلیل پایداری نسبت هزینه به واحد توان (وات) و نیز سبک بودن انعطاف پذیری و تأثیر آن در تطبیق پنل ها روی سطوح منحنی شکل یا مواد انعطاف پذیر و سبک مانند پارچه ها قابلیت لوله شدن سیلیکون بی شکل (Amorphous silicon, a-Si) سیلیکون چند بلوری (Polycrystalline silicon, poly-Si) کادمیوم تلوراید (Cadmium telluride, CdTe) آلیاژ مس ایندیم گالیوم دی سلناید (Copper indium gallium diselenide alloy, CIGS)	نسل دوم

نسل های گوناگون سلول های خورشیدی

معایب

مزایا

بازده پایین در مقایسه با ویفرهای سیلیکونی سلول های خورشیدی پلیمری: تخریب پذیری و کاهش کارایی در طول زمان به دلیل اثرات محیطی، گاف انرژی بالا تخریب الکترودها توسط الکترولیت در سلول های فوتوالکتروشیمیایی	فناوری های کم انرژی جهت تولید انبوه قابل کنترل بودن سلول های پلیمری از نظر سنتز شیمیایی و همچنین هزینه های پایین سنتز کار کردن در شرایط نوری کم، بهبود پذیری و قابل شارژ بودن سلول های خورشیدی حساس شده با رنگ	سلول های نانو بلور (Nanocrystal solar cells) سلول های فوتوالکتروشیمیایی (Photoelectrochemical cells, PEC) سلول های پلیمری (Polymer solar cells) سلول های خورشیدی حساس شده با رنگ (Dye sensitized solar cells, DSSC)	نسل سوم
بازده کمتر نسبت به ویفرهای سیلیکونی تخریب پذیر همانند سلول های پلیمری بیمه سازی مطابق با پلیمرهای رسانا و نانو بلورها	قابلیت کنترل در حالت محلول مواد کم هزینه (پلیمرها) خود چیدمانی (مونتاز) نانو بلورهای قابل چاپ روی لایه ی پلیمری بازده تبدیل انرژی بهبود یافته	بلورهای معدنی هیبرید شده داخل ماتریکس پلیمری (Hybrid-inorganic crystals within a polymer matrix)	نسل چهارم



باساس
پ