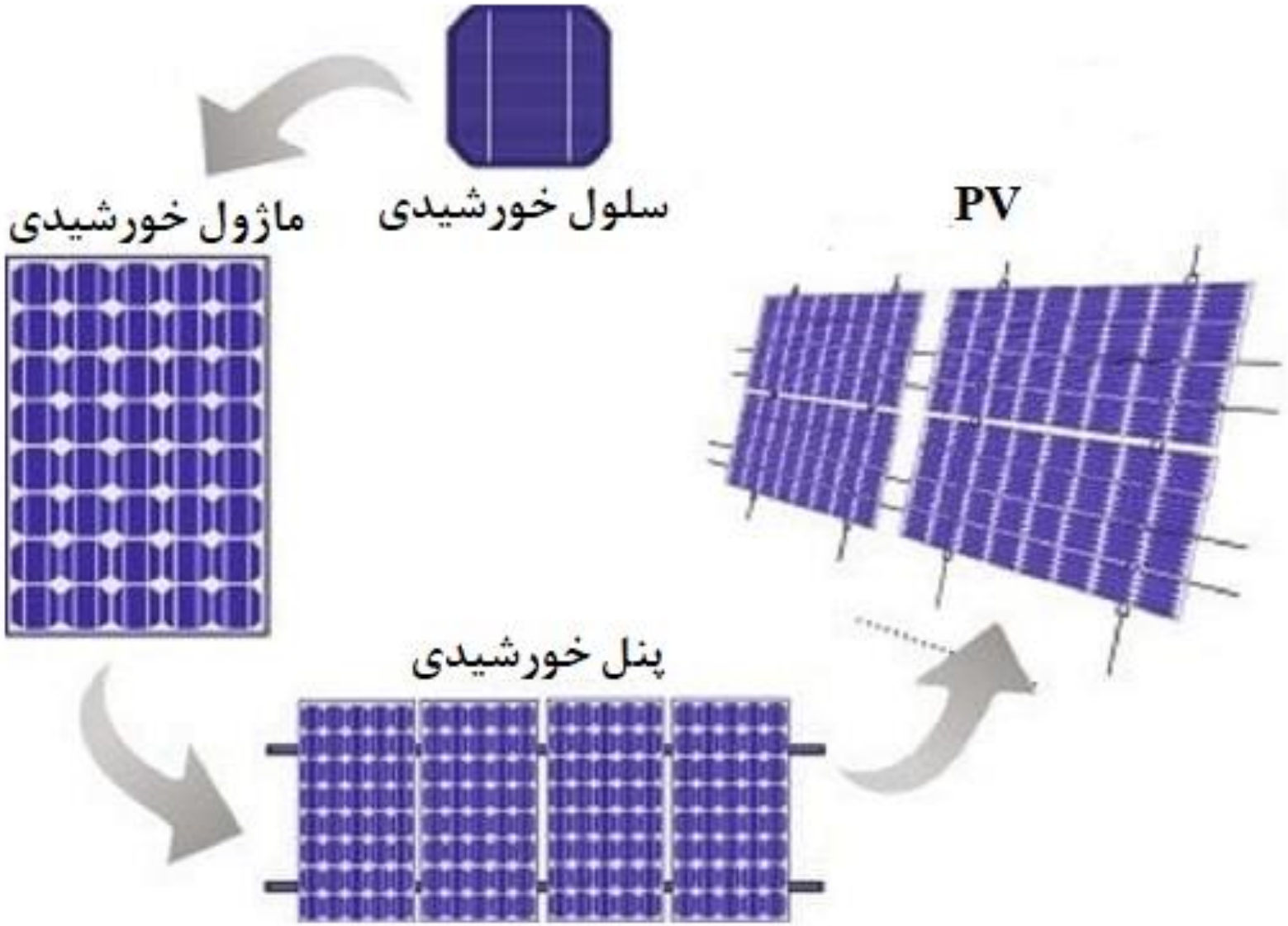
دانشگاه صنعتی شاهرود

سلول های خورشیدی

سلول خورشیدی چیست؟

- سلول خورشیدی یک قطعه الکترونیکی است که نور خورشید را می‌گیرد و آن را مستقیماً به برق تبدیل می‌کند.
- هر سلول تقریباً به اندازه کف دست یک فرد بزرگسال، به شکل هشت ضلعی و به رنگ سیاه مایل به آبی است.
- سلول‌های خورشیدی معمولاً به هم می‌پیوندند و واحدهای بزرگتری به نام ماژول خورشیدی را می‌سازند، و این واحدها خود در واحدهای بزرگتری نیز شناخته می‌شوند که به صفحه یا پنل خورشیدی معروف هستند.
- صفحه‌های سیاه یا آبی که روی سقف برخی خانه‌ها مشاهده می‌کنید، پنل خورشیدی هستند.
- همچنین، سلول خورشیدی می‌تواند به شکل تراشه‌های کوچک برای تأمین برق وسایل کوچک مانند ماشین‌حساب‌های جیبی و ساعت‌های دیجیتال باشد.

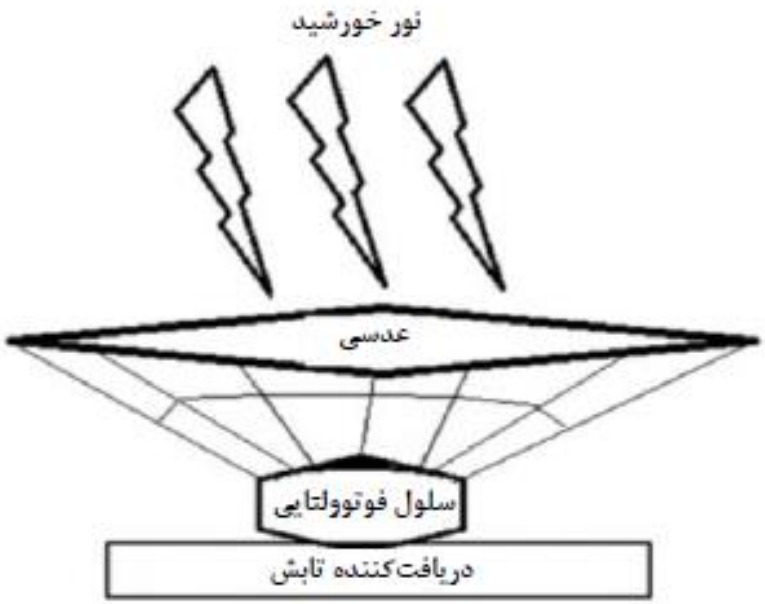

سلول خورشیدی
ماژول خورشیدی
PV
پنل خورشیدی

فناوري فتوولتائيک

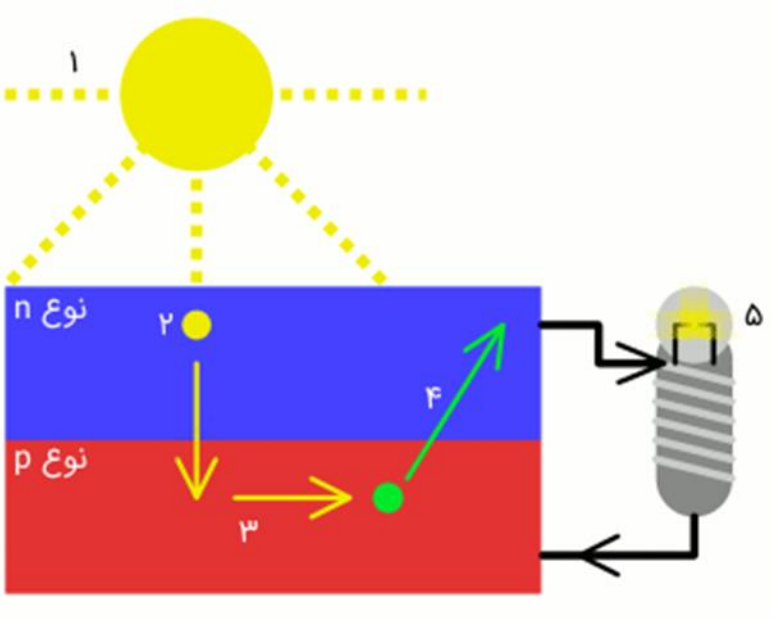
- در فناوری فتوولتائیک، پرتوهای خورشیدی توسط صفحات سلول کوچکی از نیمه رساناها به الکتریسیته تبدیل می شود
- .
- **سلول های فتوولتائیک به دو شکل صفحه تخت ومتمرکزکننده ساخته می شوند.**

- **نوع صفحه تخت همان سلول های خورشیدی رایج است که نور را بی واسطه به نیمه رسانا می رساند و به الکتریسیته تبدیل می کند.**
- **سلول های متمرکزکننده ابتدا نور خورشید را به کمک یک بازتابنده متمرکز و سپس آن را به سمت سلول خورشیدی هدایت می کنند.**

- برای اینکه سلولهای خورشیدی توضیح داده شود، نیاز هست نیمه هادی ها را توضیح دهیم



سلول‌های خورشیدی کانونی‌ساز

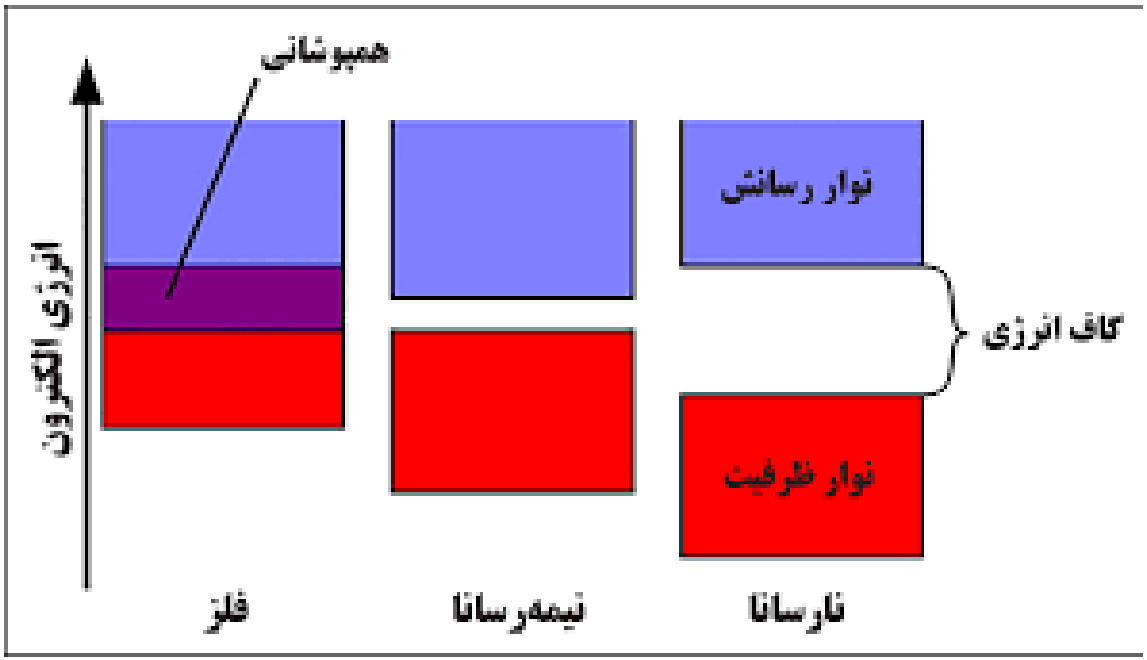


نیمه هادی

- نیمه هادی ها موادی هستند که رسانایی آن‌ها چیزی بین رسانایی هادی‌ها (اغلب فلزات) و غیرهادی‌ها یا عایق‌ها (مانند سرامیک‌ها) است. نیمه هادی ها می‌توانند ترکیباتی مانند گالیم آرسنید یا عناصر خالص مانند ژرمانیوم یا سیلیکون باشند.
- نیمه هادی ها را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

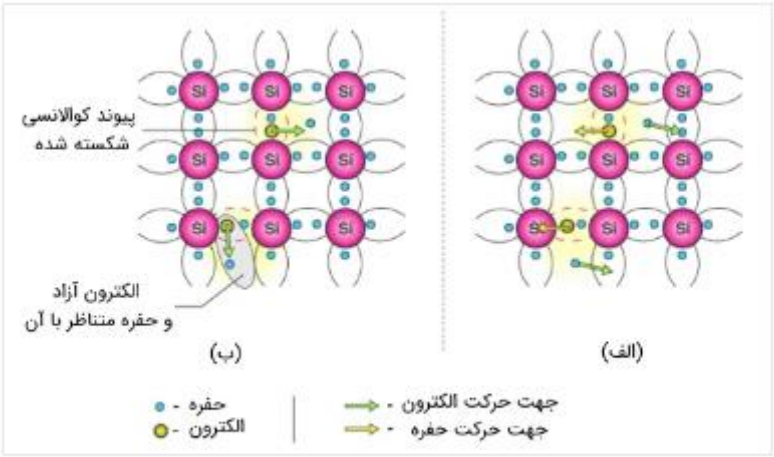
۱- نیمه هادی ذاتی

۲- نیمه هادی غیر ذاتی



نیمه هادی ذاتی

- . این نیمه‌هادی فقط از یک نوع عنصر تشکیل شده است. ژرمانیوم Geو سیلیکون Siمتداول‌ترین انواع عناصر نیمه‌هادی ذاتی هستند.
- وقتی دما افزایش می‌یابد یا تحت تاثیر میدان الکتریکی قرار می گیرند، در اثر برخورد اتم ها به یکدیگر ، تعداد کمی الکترون می‌توانند آزادانه در شبکه حرکت کنند، بنابراین در موقعیت اصلی (حفره) خود غیبت ایجاد می‌شود.
- این الکترون‌ها و حفره‌های آزاد به هدایت الکتریسیته در نیمه‌هادی کمک می‌کنند.



ساز و کار هدایت نیمه‌هادی‌های ذاتی (الف) در حضور میدان الکتریکی (ب) در صورت عدم وجود میدان الکتریکی

نیمه هادی غیر ذاتی

- با افزودن تعداد کمی از اتم‌های جایگزین مناسب به نام ناخالصی می‌توان رسانایی نیمه هادی ها را بسیار بهبود بخشید.
- به فرایند افزودن اتم‌های ناخالصی به نیمه‌هادی خالص آلاییدن یا دوپینگ گفته می‌شود. معمولاً فقط یک اتم در 10^7 تا اتم کل، در نیمه‌رسانای ناخالص‌شده جایگزین می‌شود. یک نیمه‌هادی غیرذاتی را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی کرد:

- نیمه‌هادی نوع N
- نیمه‌هادی نوع P

نیمه‌هادی نوع N

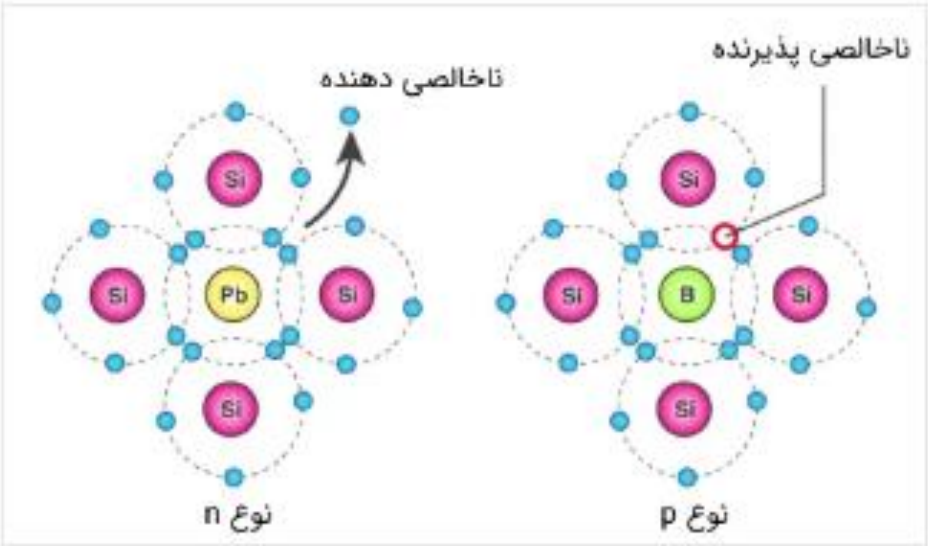
- هنگامی که یک نیمه‌هادی خالص (سیلیکون یا ژرمانیوم) توسط ناخالصی پنج ظرفیتی (P، As، Sb، Be) ناخالص شود، چهار الکترون از پنج الکترون با چهار الکترون Geیا Siپیوند می‌خورند.

- پنجمین الکترون دوپینگ آزاد می‌شود. بنابراین، اتم ناخالصی یک الکترون آزاد برای هدایت در شبکه می‌دهد و دهنده نامیده می‌شود. از آنجا که تعداد الکترون آزاد با افزودن ناخالصی افزایش می‌یابد، حامل‌های بار منفی نیز افزایش می‌یابند. از این رو به آن نیمه‌هادی نوع nگفته می‌شود.

نیمه‌هادی نوع P

- هنگامی که یک نیمه‌هادی خالص با یک ناخالصی سه ظرفیتی ناخالص شود، (Ga ،In ،Al,B)پس از آن، سه الکترون ظرفیت پیوند ناخالصی با سه الکترون از چهار الکترون نیمه‌هادی پیوند می‌خورند.

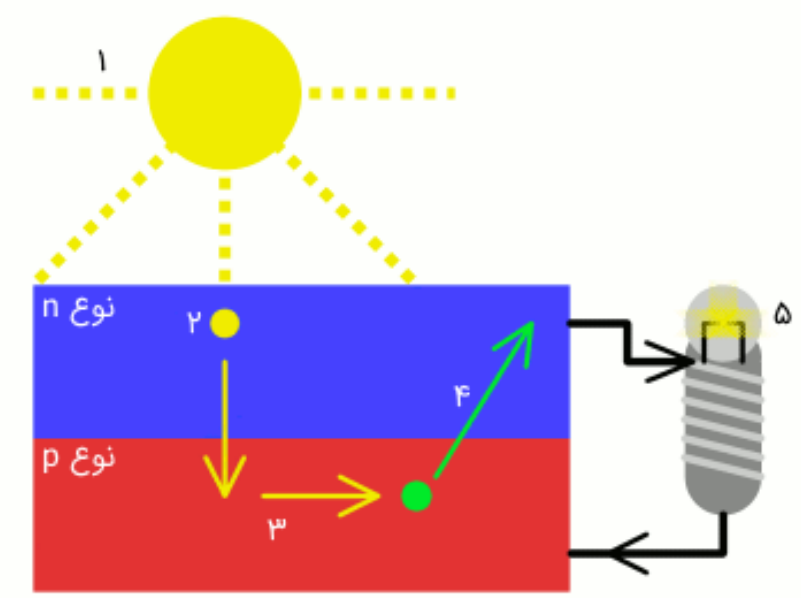
- این امر باعث عدم وجود الکترون (حفره) در ناخالصی می‌شود. این اتم‌های ناخالصی که آماده پذیرش الکترون‌های پیوندی هستند «پذیرنده» نامیده می‌شوند.



انواع نیمه هادی غیرذاتی

سلول خورشیدی چگونه کار می کند

- سلول خورشیدی یک ساندویچ از دو لایه مختلف سیلیکون است که به طور خاص آلاییده شده‌اند (به آن‌ها ناخالصی افزوده شده است)
- وقتی یک لایه سیلیکون نوع nرا روی یک لایه سیلیکون نوع p قرار می‌دهیم.
-



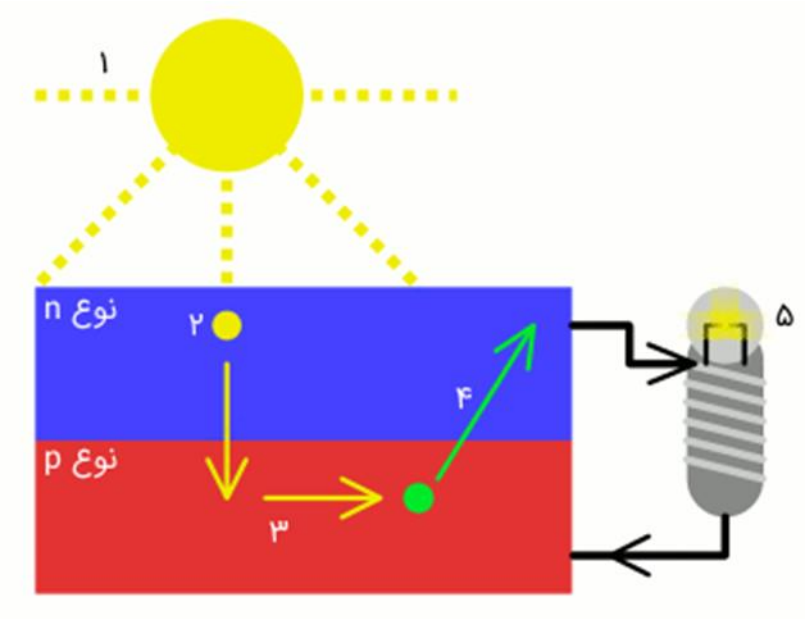
مراحل تولید برق سلول خورشیدی

۱. سلول خورشیدی با استفاده از نورخورشید و انرژی الکترونی که دراین فرآیند تولید می‌شود. این سیستم‌ها از سیلیکون ساخته شده‌اند و دارای دو لایه سیلیکون هستند، یکی نوع nآبی و دیگری نوع pقرمز .

۲. وقتی نورخورشید به سلول می‌تابد، فوتون‌ها یا ذرات نور، سطح بالایی را بمباران میکنند.

۳. فوتون‌ها انرژی خود را به الکترون‌ها درلایه پایین‌تر و نوع Pمی‌دهند.

۴. در نتیجه، الکترون‌ها ازاین انرژی برای پرش از طریق سد به لایه فوقانی نوع nو گردش از مداراستفاده می‌کنند، به عنوان نتیجه این فرآیند، جریان برق تولید میشود.



اتصال P-N

- **وقتی این دو نوع سیلیکون را در کنار هم قرار می‌دهیم، در ناحیه اتصال، الکترون‌های اضافی لایه Nبه سمت لایه Pنفوذ کرده و با حفره‌ها ترکیب می‌شوند. این جابجایی باعث می‌شود:**

۱) لایه N در مجاورت اتصال، کمی بار مثبت پیدا کند.

۲) لایه Pدر مجاورت اتصال، کمی بار منفی پیدا کند.

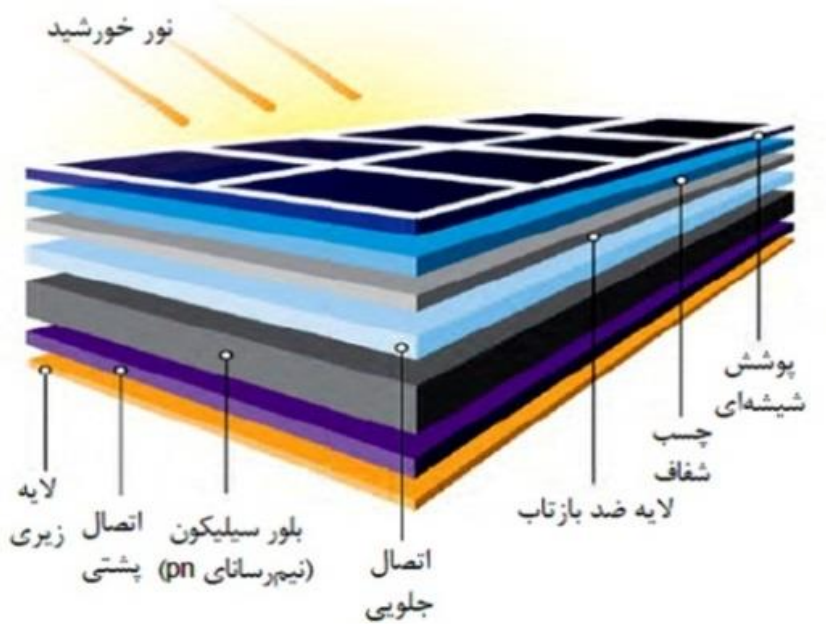
۳) این عدم تعادل، یک میدان الکتریکی داخلی قوی در محل اتصال ایجاد می‌کند (مانند یک دیود). این میدان یک دیوار نامرئی است که اجازه عبور آسان بارها را فقط در یک جهت می‌دهد.

سلول های خورشیدی نسل اول

- تک بلور سیلیکونی
- چند بلور سیلیکونی

سیلیکون تک بلوری

- سلول های سیلیکون بلوری نخستین نسل از سلول های خورشیدی هستند.
- اولین سلول سیلیکون بلوری در سال ۱۹۵٤ در آزمایشگاه بل آمریکا ساخته شد و تا دهه ۱۹۸۰بیشترین کاربرد این سلول ها محدود به فضاپیماها و ماهواره ها می شد.
- با توسعه این سلول ها و کار روی بازدهی آن ها از سال ۱۹۸۰ تا به امروز، بازده ۲۵ ٪ در شرایط آزمایشگاهی برای سلول های سیلیکون تک بلوری نیز حاصل شده است.

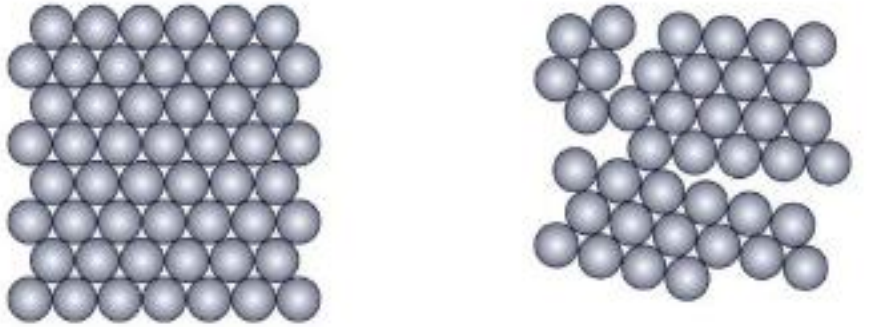


سیلیکون چند بلوری

- پردازش سلول های خورشیدی سیلیکونی چندبلوری بسیار مقرون به صرفه اند که با خنک کردن در قالب گرافیتی پر شده از سیلیکون مذاب ایجاد می شوند.
- سلول های خورشیدی سیلیکونی چندبلوری در حال حاضر معروف ترین نوع سلول های خورشیدی اند.
- برای تولید ۱ مگاوات ماژول‌های خورشیدی معمولی حدود ۵ تن پلی‌سیلیکون مورد نیاز است

تفاوت پنل خورشیدی مونو و پلی کریستال سیلیکونی

- تفاوت پنل خورشیدی مونو و پلی در واقع، تفاوت در نوع ساختار سیلیکونی سلول خورشیدی آنهاست.
- در ساخت سلول های خورشیدی مونوکریستال همانطور که از اسمش مشخص است از یک کریستال سیلیس استفاده می شود. درحالی که سلول های پلی کریستال، از تجمع چندین کریستال سیلیس در یک سلول ساخته می شوند.



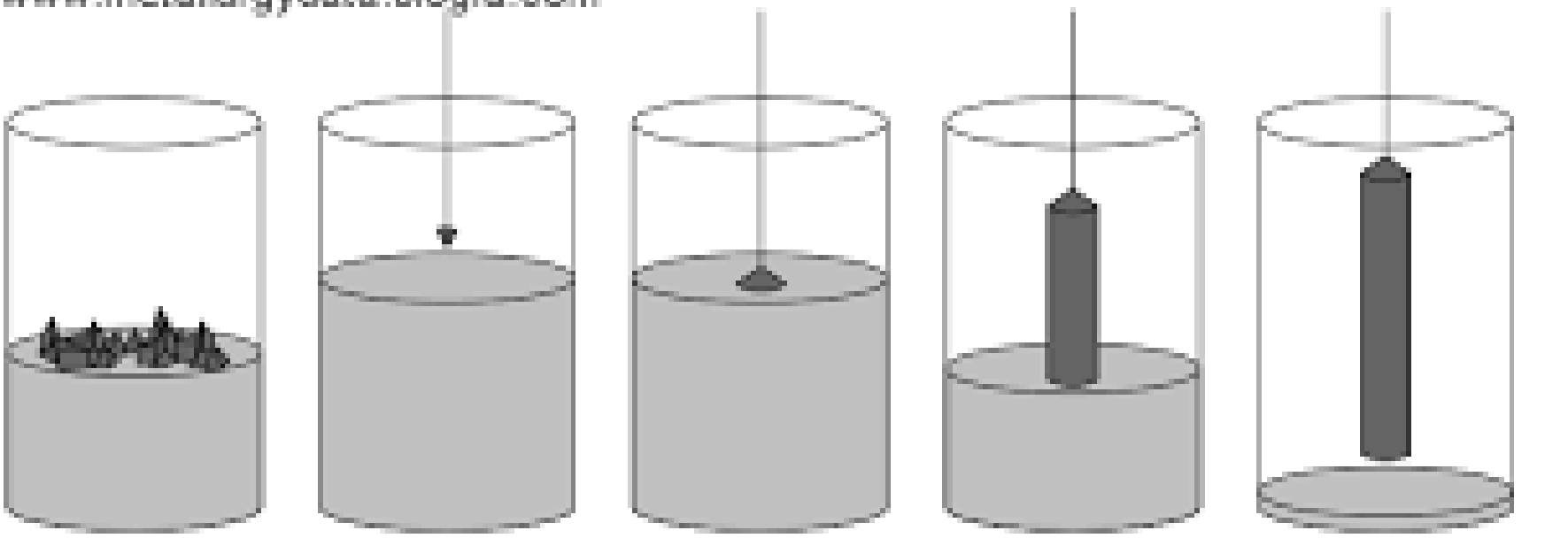
(a) Monocrystalline (b) Multicrystalline

- همانطور که در شکل می‌بینید سلول مونوکریستال از یک کریستال سیلیکونی یکپارچه ساخته شده و به همین دلیل الکترون ها می توانند به راحتی درون سلول حرکت کنند و به همین دلیل انرژی الکتریکی بیشتری تولید می شود و راندمان پنل خورشیدی افزایش می یابد.
- اما در سلول پلی کریستال، به دلیل عدم یکپارچگی کریستال سیلیکونی و هم چنین استفاده از کریستال های متفاوت، الکترون ها به راحتی حرکت نمی کنند، در نتیجه انرژی الکتریکی کمتری تولید می شود و راندمان پنل خورشیدی کاهش می یابد.
- همین ساختار یکپارچه سلولی و بازدهی بیشتر پنل های مونوکریستال، باعث می شود ابعاد آن ها نسبت به پنل های پلی کریستال کاهش یافته و در نتیجه فضای کمتری اشغال کنند.

- تفاوت پنل خورشیدی پلی و مونو در ظاهر هم قابل تشخیص است. بهترین روش تشخیص، تفاوت رنگ آن هاست.همان طور که در تصویر زیر می بینید پنل های خورشیدی مونوکریستال معمولا سیاه و یا آبی تیره هستند در حالی که پلی کریستال ها، آبی روشن هستند.

- هم چنین در پنل ها برای بالا بردن راندمان و حداکثر استفاده از مساحت پنل، باید سلول ها به شکل مربع کنار هم قرار بگیرند تا بیشترین سطح پنل را پوشش دهند.
- از آنجا که تولید سیلیکون مونوکریستال (فرایند چوکرالسکی)، فرآیند بسیار هزینه بری است با صرف نظر از گوشه های ۹۰ درجه، مقدار پرتی کاهش می یابد در نتیجه شکل ظاهری سلول های مونوکریستال، معمولا به شکل مربعی با گوشه های زاویه دار است.

www.metallurgydata.blogfa.com



Melting of polysilicon, doping

Introduction of the seed crystal

Beginning of the crystal growth

Crystal pulling

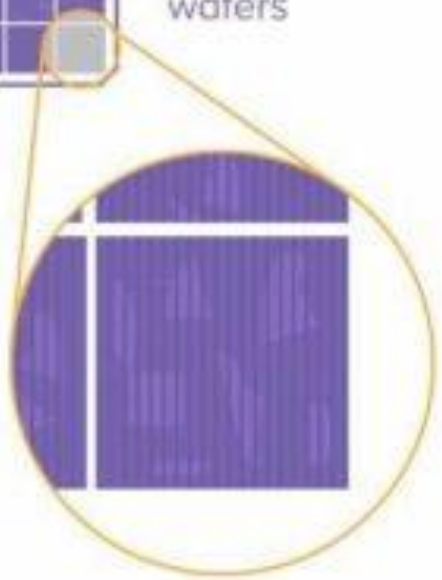
Formed crystal with a residue of melted silicon

Mono

To make sells for monocrystalline panels, silicon is formed into bars and cut into wafers

Poly

To make cells for polycrystalline panels, fragments of silicon are melted toghether to form the wafers



- خیلی افراد بر این باورند که پنل های خورشیدی در آب و هوای گرم بهتر عمل می کنند اما مساله این است که آنچه در عملکرد پنل های خورشیدی بسیار موثر است زاویه تابش و میزان تابش خورشید است.

- پنل های مونوکریستال، در شرایط نور کم و در هوای ابری، بازدهی بالاتری نسبت به پلی کریستال ها دارند، در نتیجه در مکان هایی که تعداد روز های ابری بیشتر است استفاده از پنل های مونوکریستال توصیه می شود.

مهم ترین سلول های خورشیدی نسل دوم

- لایه نازک سیلیکون آمورف
- لایه نازک کادمیم تلورید
- سلول خورشیدی فیلم نازک TFSC، که سلول فتوولتائیک فیلم نازک TFPVنیز نامیده می‌شود.
- نسل دوم سلول‌های خورشیدی است که از قرار دادن یک یا چند لایه یا پوشش نازک TFاز مواد فتوولتائیک بر روی لایه‌ای از شیشه، پلاستیک یا فلز درست می‌شود.
- از لحاظ تجاری سلول‌های خورشیدی فیلم نازک با استفاده از تکنولوژی‌های مختلفی ساخته می‌شوند

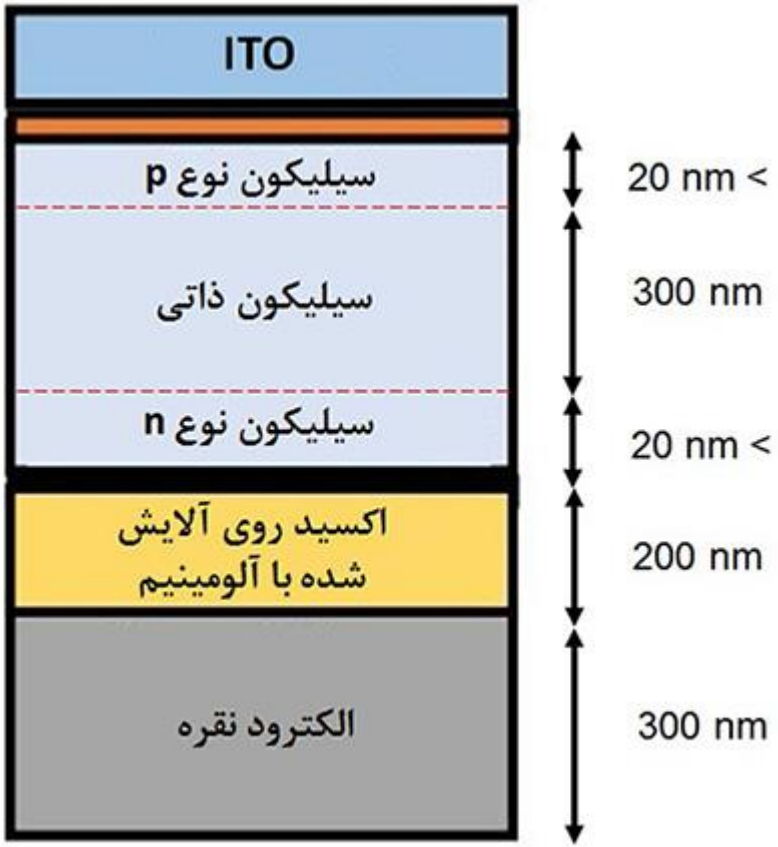
لایه نازک سیلیکون آمورف

- . کلمه "آمورف" در لغت به معنای بی شکل است.
- سلول‌های خورشیدی آمورف برای کاربردهای مقیاس کوچک‌تر مانند ماشین‌حساب‌های جیبی وساعت های دیجیتال و.. مفید می باشد و اخیرا تلاشهایی برای نصب پنل خورشیدی از نوع سیلکون آمورف شده است.
- تولید این ماده نیازمند فرایند دمایی پایین می‌باشد .
- با توجه به استفاده از مواد ارزان قیمت و انعطاف‌پذیر، تولیدی قابل توجهی داشته و نیازمند مواد سیلیکونی کمی می‌باشد.
-

نوع پنل خورشیدی	مزایا	معایب	راندمان
تک کریستالی	راندمان و عملکرد بالا	هزینه های بالاتر	~۲۰٪
پلی کریستالی	هزینه های کمتر	راندمان و عملکرد کمتر	~۱۵٪
لایه نازک	قابل حمل و انعطاف پذیر	بازده و عملکرد پایین تر	~۷-۱۰٪

- لایه‌های نازک سیلیکون نوع n و p با ضخامت‌های کمتر از ۲۰ نانومتر است.
- دیگر لایه‌های نازک به کار گرفته شده در این دسته از سلول‌های خورشیدی لایه سیلیکون ذاتی با ضخامت ۳۰۰ نانومتر، لایه اکسید ایندیم قلع ITO با ضخامت ۱۵۰ نانومتر، لایه اکسید روی آلایش شده با آلومینیوم AZO با ضخامت ۲۰۰ نانومتر و الکترود نقره با ضخامت ۳۰۰ نانومتر هستند
- ضخامت نهایی پنل‌های مونتاژشده بر پایه این سلول‌ها می‌تواند تا ۳۰۰ برابر نسبت به سلول‌های سیلیکونی بلوری کمتر باشد.
- برای تهیه لایه نازک سیلیکون آمورف معمولا از روش‌های تبخیری مانند رسوب دهی شیمیایی از فاز بخار به کمک پلاسما PECVD استفاده می‌شود.

Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD)

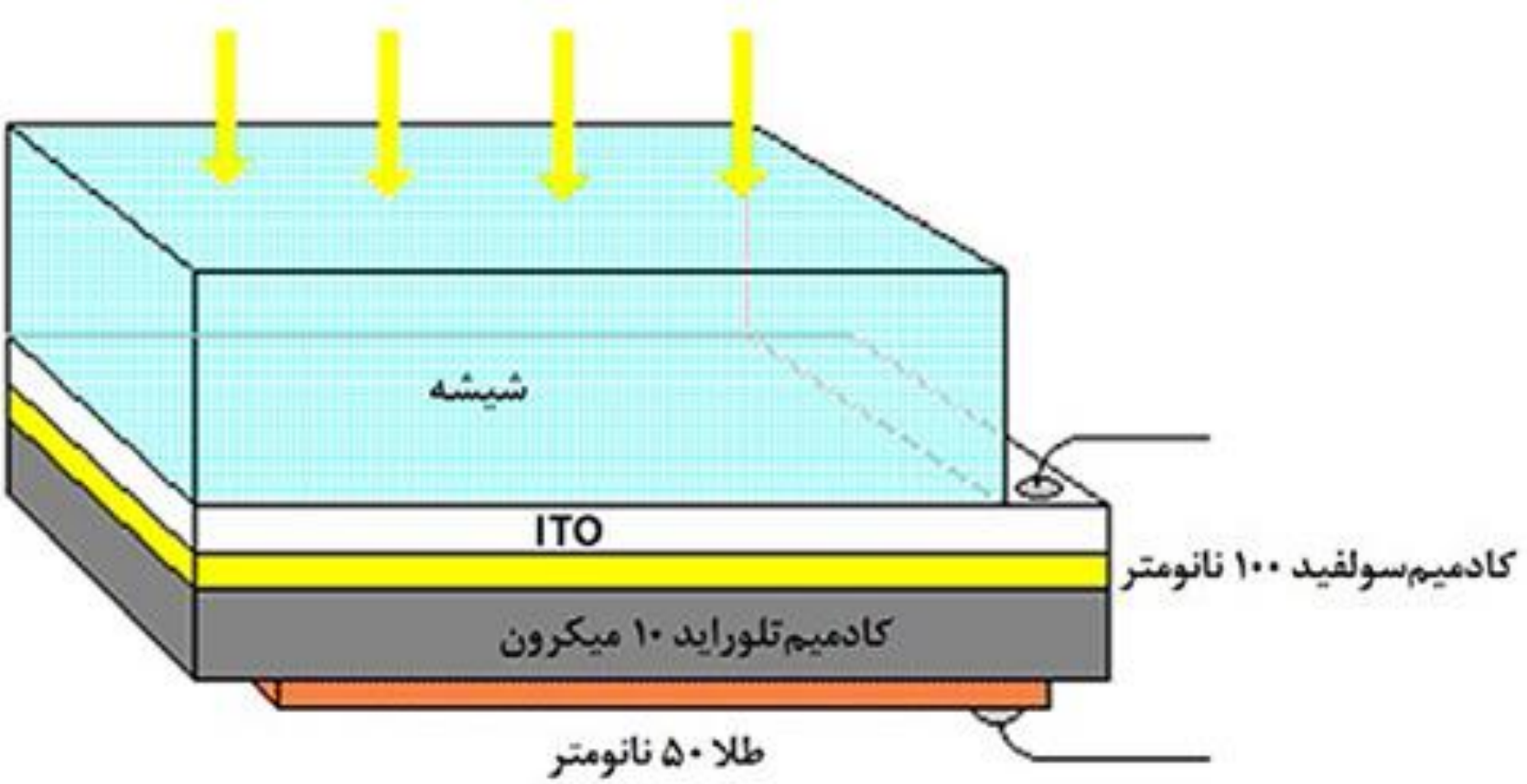

ITO
سیلیکون نوع p
سیلیکون ذاتی
سیلیکون نوع n
اکسید روی آلایش
شده با آلومینیم
الکترود نقره
20 nm <
300 nm
20 nm <
200 nm
300 nm

لایه نازک کادمیم تلورید

- لایه جاذب این دسته از سلول‌های خورشیدی لایه‌ای با ضخامت ۱۰ میکرون از کادمیوم تلورید به صورت نیمه هادی غیر ذاتی نوع pاست.

لایه‌های به کار رفته در سلول‌های خورشیدی کادمیوم تلورید عبارت اند از:

- ۱- شیشه رسانای هادی: معمولا از شیشه‌های حاوی لایه اکسید قلع ایندیم ITOبه عنوان الکترود جلویی استفاده می‌شود.
- ۲- نیمه هادی کادمیم سولفید CdSپلی کریستال نوع n با ضخامت ۱۰۰ نانومتر که به عنوان لایه پنجره عمل می‌کند.
- ۳- لایه جاذب این دسته از سلول‌های خورشیدی لایه‌ای با ضخامت ۱۰ میکرون از کادمیوم تلورید به صورت نیمه هادی غیر ذاتی نوع pاست
- ٤- طلا با ضخامت ۵۰ نانومتر که به عنوان الکترود پشتی لایه نشانی می‌شود.



تولید این نوع پنل‌ها تنها منحصر به دو شرکت خاص است؛ بطوریکه در حال حاضر تنها دو شرکت First Solarامریکا و شرکت Calyxoآلمان به صورت تجاری اقدام به ساخت این نوع از پنل‌ها کرده‌اند

مزایا ومعایب سلول کادمیم تلوراید

- شرکت First Solarیک طرح جامع بازیافت پنل‌های خورشیدی را پیاده کرده است. به طوری که تا ۹۵ درصد مواد نیمه‌هادی و ۹۰ درصد شیشه‌های مورد استفاده از پنل‌ها بازیافت شده و برای ساخت دوباره پنل از آن‌ها استفاده می‌شود.
- تلوریوم که از آن یون‌های تلوراید ساخته می‌شود، عنصری کمیاب و آزمایشگاهی است که باعث می‌شود تولید انبوه این تکنولوژی در آینده با مشکلات اقتصادی مواجه شود.

مهم ترین سلول های خورشیدی نسل سوم

سلول های خورشیدی حسااس شده به رنگ

- به طور کلی، از ویژگیهای سلولهای خورشیدی حساس شده با رنگ در مقایسه با سلولهای خورشیدی دیگر میتوان به هزینه ی پایین تولید، تنوع رنگ و شکل، انعطاف پذیری و سبک وزنی اشاره کرد.
- این در حالی است که سلولهای خورشیدی حساس شده با رنگ نسبت به سلولهای خورشیدی دیگر بازده پایینتری نشان میدهند که لازم است به طور قابل توجهی بهبود داده شود.
- سلول خورشیدی حساس شده با رنگ تنها نمونه ای از فناوری نسل سوم سلولهای خورشیدی است که تاکنون به مرحله ی تجاری سازی رسیده است .

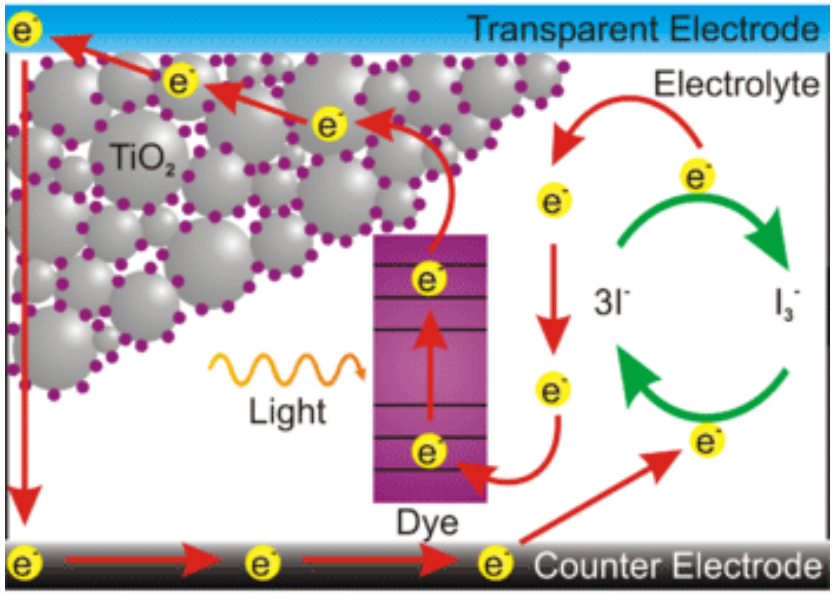
مکانیسم عملکرد سلو های خورشیدی حساس شده به رنگ

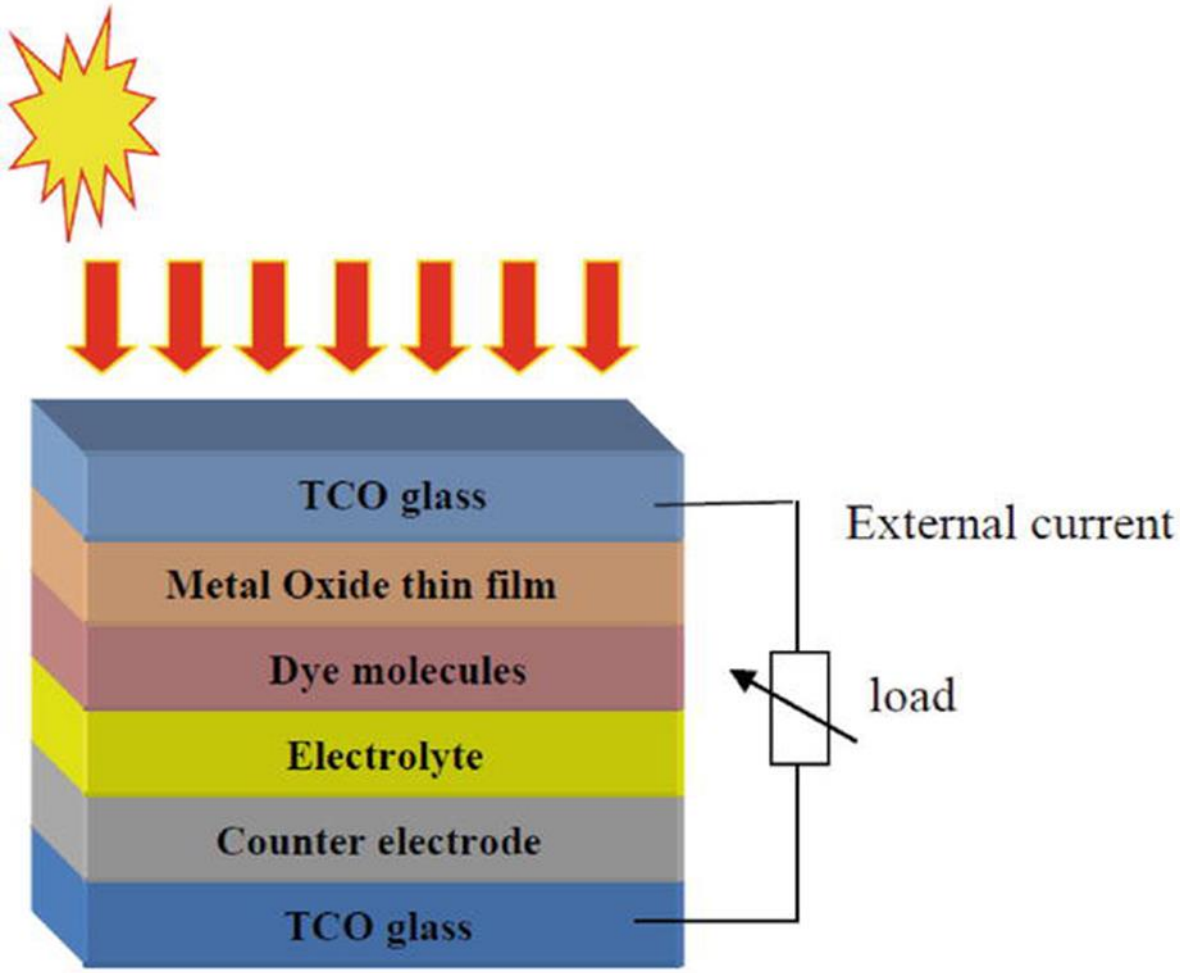
- نور خورشید با عبور از الکترولیت شفاف، به مولکول رنگ رسیده و الکترون‌های آن را برانگیخته می‌کند.
- این الکترونها وارد تیتانیا می‌شوند. تیتانیا نیمه‌رسانا با نوار ممنوعه حدود ۳/۵ الکترون‌ولت است.
- الکترون‌ها دراین نوار ممنوعه جذب و تیتانیا میدان الکتریکی و در نتیجه آن جریان ایجاد می‌کند. این جریان وارد مدار شده و بعد به کاتد انتقال می‌یابد.
- کاتد(پلاتین) همچنین نقش کاتالیزور نیز دارد و الکترون‌ها را وارد الکترولیت می‌کند تا از طریق واکنش شیمیایی در الکترولیت، دوباره الکترون‌ها وارد مولکول رنگ شوند.
- نقش الکترولیت ها تولید الکترون لازم برای بازگشت ماده رنگینه به حالت پایه و تکرار فرایند برانگیختگی است. بنابر این، عملکرد طولانی مدت سلول های خورشیدی حساس شده با رنگدانه وابسته به بخش الکترولیت است

الکترولیت ۱- متیل -۳-پروپیل ایمیدازولیوم یدید (MPII)

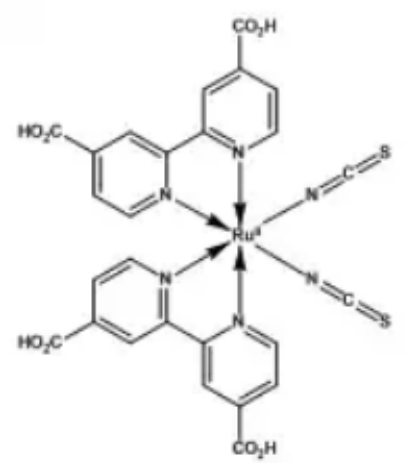
مکانیسم عملکرد سلو های خورشیدی حساس شده به رنگ

- $I^{3-} + 2\ e^{-} \rightarrow 3\ I^{-}$

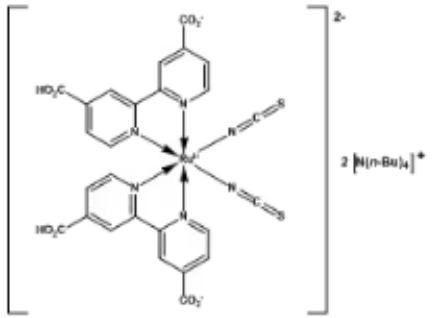




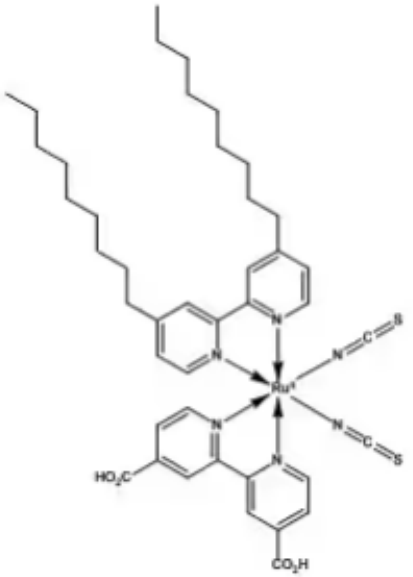
Transparent conductive oxide (TCO)



N-3 $C_{26}H_{16}N_6O_8RuS_2$ Mol Wt: 705.64



N-719 $C_{58}H_{86}N_8O_8RuS_2$ Mol Wt: 1188.55



Z-907 $C_{42}H_{52}N_6O_4RuS_2$ Mol Wt: 870.10

Figure 2. Ruthenium-based N-3, N-719 and Z-907 dyes.

رنگ‌های حساس به نور معمولا از کمپلکس‌های روتنیوم پلی‌پیریدین استفاده می‌شود