



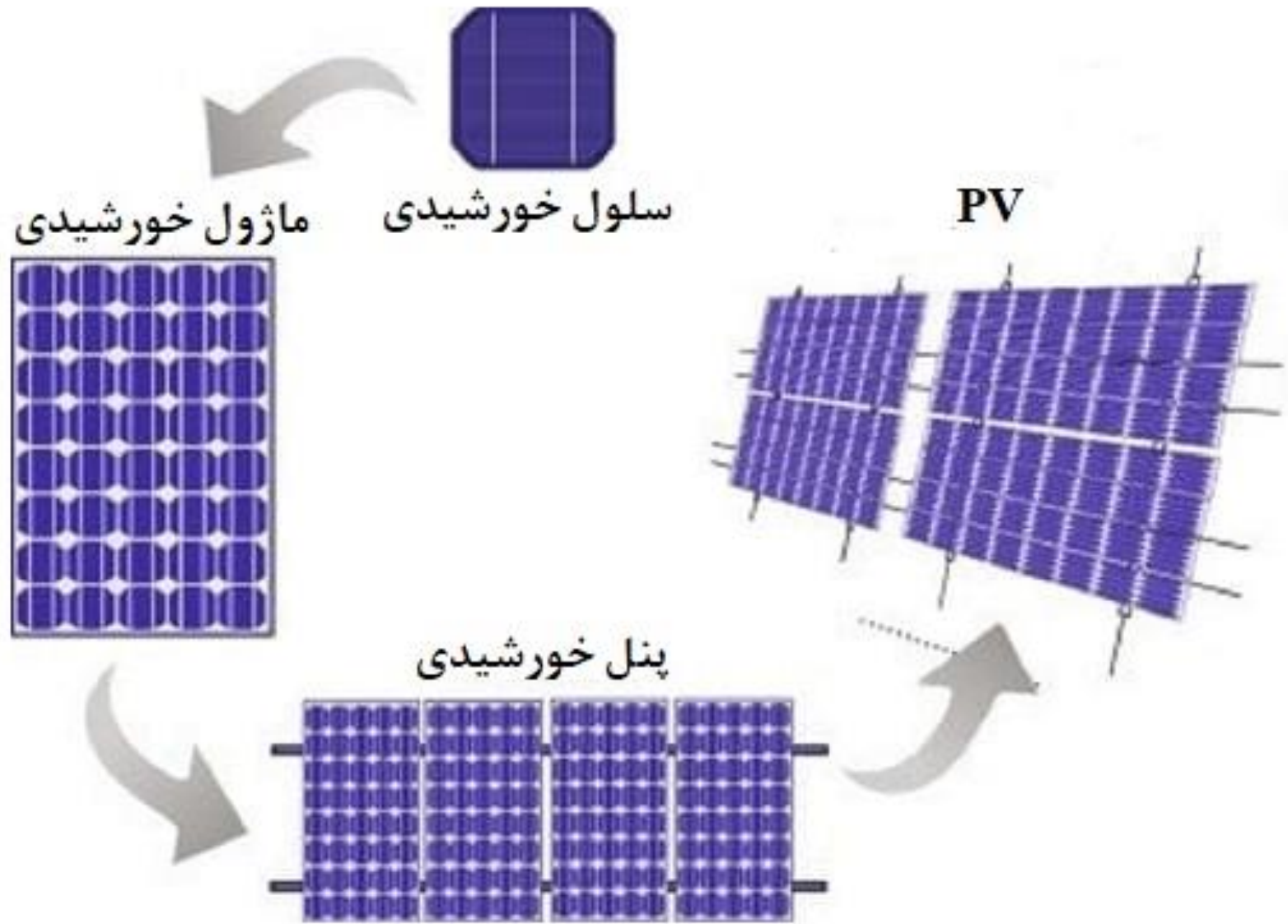
# سلول های خورشیدی



# 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 ماشین حساب‌های جیبی و ساعت‌های دیجیتال باشد.







# فناوری فتوولتائیک

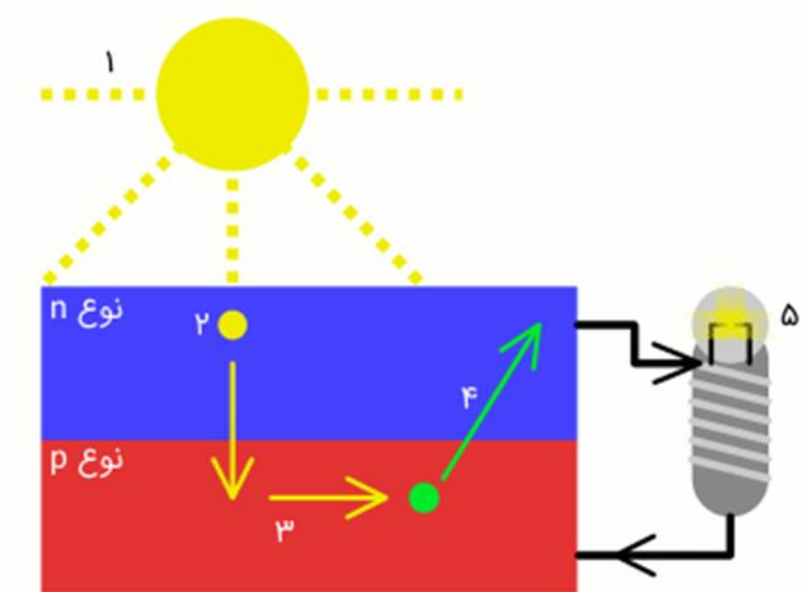
- در فناوری فتوولتائیک، پرتوهای خورشیدی توسط صفحات سلول کوچکی از نیمه رساناها به الکتریسیته تبدیل می شود
- سلول های فتوولتائیک به دو شکل صفحه تخت و متمرکزکننده ساخته می شوند.
- نوع صفحه تخت همان سلول های خورشیدی رایج است که نور را بی واسطه به نیمه رسانا می رساند و به الکتریسیته تبدیل می کند.
- سلول های 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 کانونی ساز

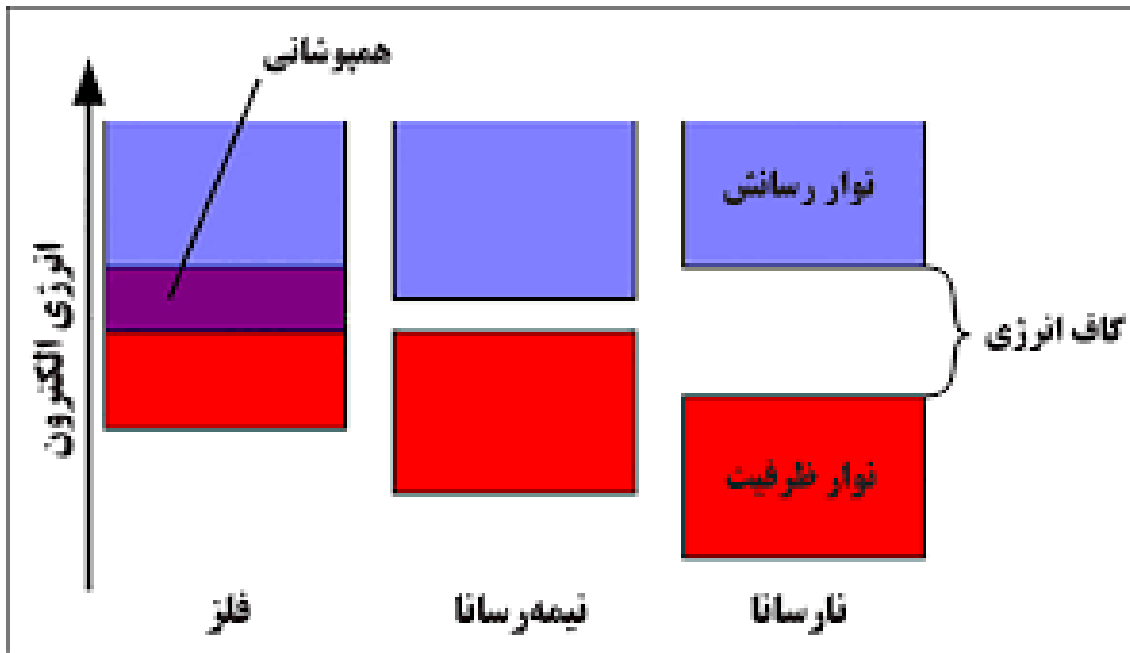


# نیمه هادی

- نیمه هادی ها موادی هستند که رسانایی آنها چیزی بین رسانایی هادی ها (اغلب فلزات) و غیرهادی ها یا عایق ها (مانند سرامیک ها) است. نیمه هادی ها می توانند ترکیباتی مانند **گالیم آرسنید** یا عناصر خالص مانند **ژرمانیوم** یا **سیلیکون** باشند.
- نیمه هادی ها را می توان به صورت زیر دسته بندی کرد:

۱- نیمه هادی ذاتی

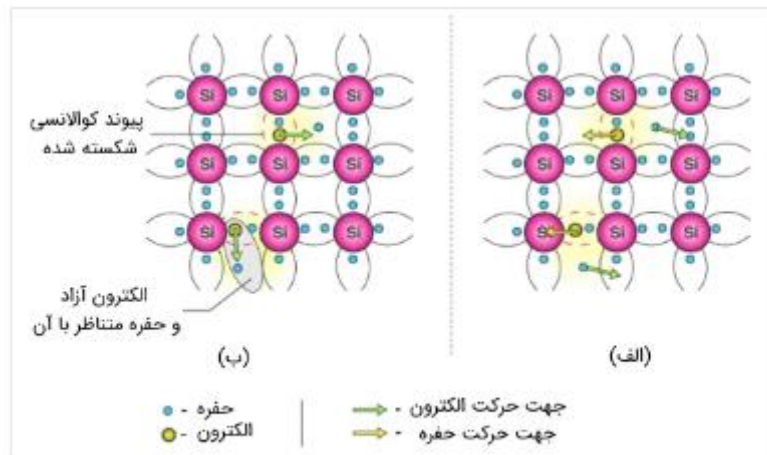
۲- نیمه هادی غیر ذاتی





# نیمه هادی ذاتی

- این نیمه‌هادی فقط از یک نوع عنصر تشکیل شده است. ژرمانیوم **Ge** و سیلیکون **Si** متداول‌ترین انواع عناصر نیمه‌هادی ذاتی هستند.
- وقتی دما افزایش می‌یابد یا تحت تاثیر میدان الکتریکی قرار می‌گیرند، در اثر برخورد اتم‌ها 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 هادی‌ها 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 ناخالص شده جایگزین می‌شود. یک نیمه‌هادی غیرذاتی را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی کرد:
- نیمه‌هادی نوع N
- نیمه‌هادی نوع P



# نیمه‌هادی نوع N

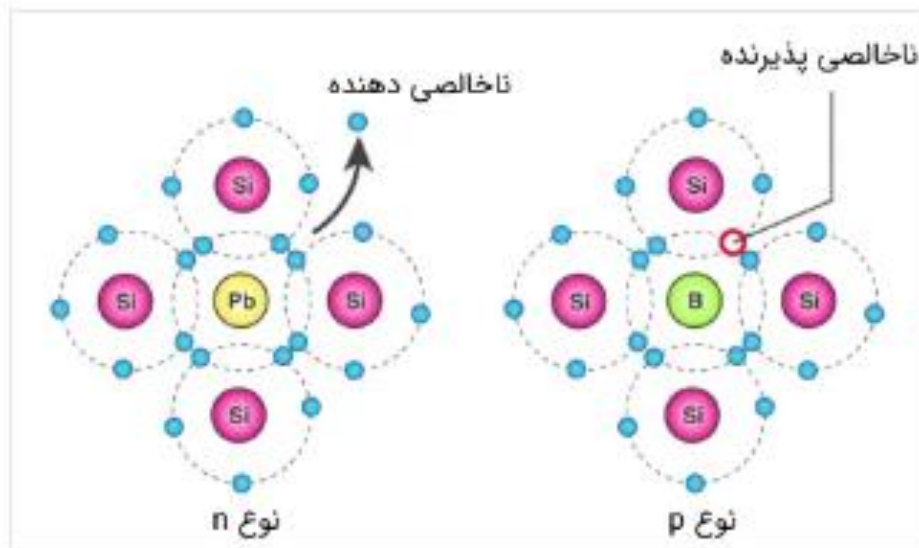
- هنگامی که یک نیمه‌هادی خالص (سیلیکون یا ژرمانیوم) توسط ناخالصی پنج ظرفیتی (P, As, Sb, Be) ناخالص شود، چهار الکترون از پنج الکترون با چهار الکترون Ge یا Si پیوند می‌خورند.
- پنجمین الکترون دوپینگ آزاد می‌شود. بنابراین، اتم ناخالصی یک الکترون آزاد برای هدایت در شبکه می‌دهد و دهنده نامیده می‌شود. از آنجا که تعداد الکترون آزاد با افزودن ناخالصی افزایش می‌یابد، حامل‌های بار منفی نیز افزایش می‌یابند. از این رو به آن نیمه‌هادی نوع n گفته 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.

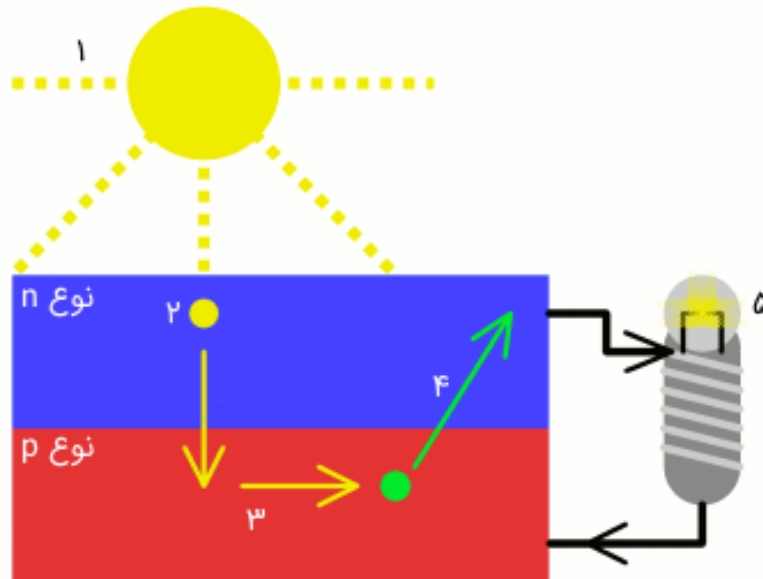
- این امر باعث عدم وجود الکترون (حفره) در ناخالصی می‌شود. این اتم‌های ناخالصی که آماده پذیرش الکترون‌های پیوندی هستند «پذیرنده» نامیده می‌شوند.



انواع نیمه‌هادی غیرذاتی

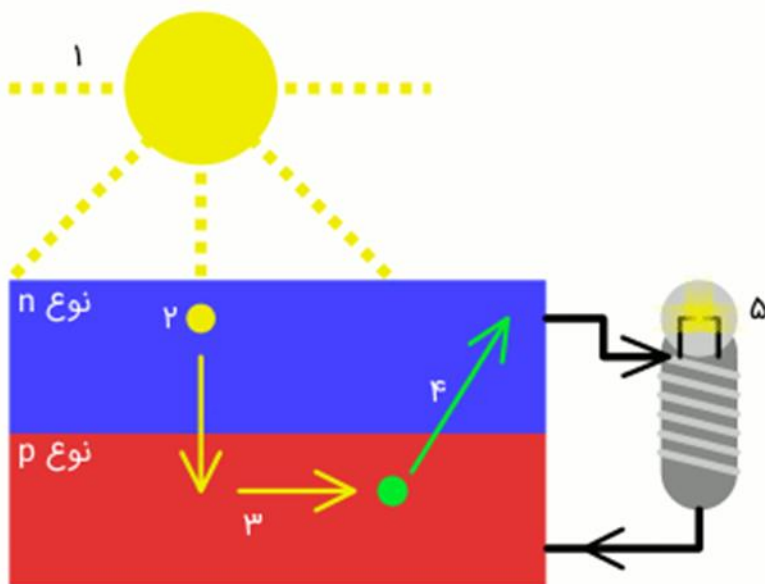
# سلول خورشیدی چگونه کار می کند

- سلول خورشیدی یک ساندویچ از دو لایه مختلف سیلیکون است که به طور خاص آلاینده شده اند (به آنها ناخالصی افزوده شده است)
- وقتی یک لایه سیلیکون نوع  $n$  را روی یک لایه سیلیکون نوع  $p$  قرار می دهیم.



# مراحل تولید برق سلول خورشیدی

۱. سلول خورشیدی با استفاده از نورخورشید و انرژی الکترونی که در این فرآیند تولید می‌شود. این سیستم‌ها از سیلیکون ساخته شده‌اند و دارای دو لایه سیلیکون هستند، یکی نوع  $n$  آبی و دیگری نوع  $p$  قرمز.
۲. وقتی نورخورشید به سلول می‌تابد، فوتون‌ها یا ذرات نور، سطح بالایی را بمباران می‌کنند.
۳. فوتون‌ها انرژی خود را به الکترون‌ها در لایه پایین‌تر و نوع  $P$  می‌دهند.
۴. در نتیجه، الکترون‌ها از این انرژی برای پرش از طریق سد به لایه فوقانی نوع  $n$  و گردش از مدار استفاده می‌کنند، به عنوان نتیجه این فرآیند، جریان برق تولید می‌شود.



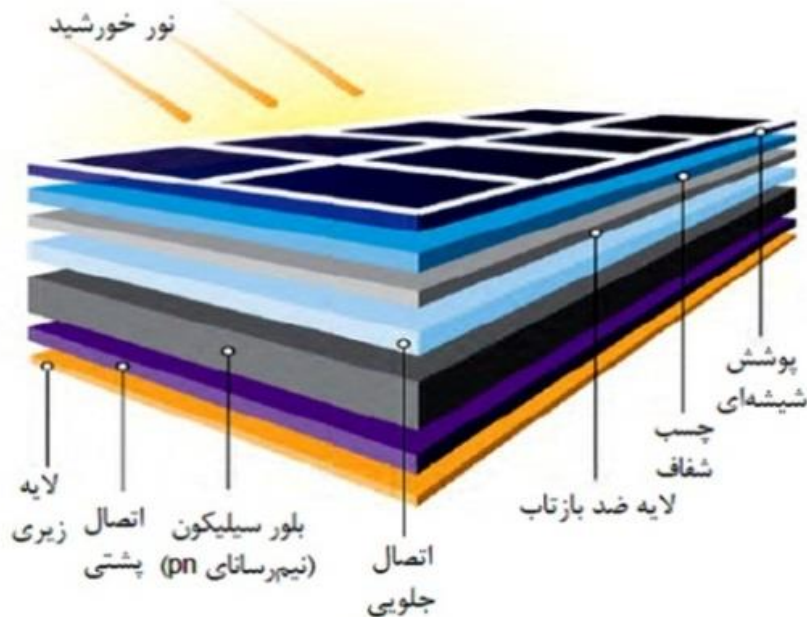
# سلول های خورشیدی نسل اول

- 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 ۱۹۵۴ در آزمایشگاه بل آمریکا ساخته شد و تا دهه ۱۹۸۰ بیشترین کاربرد این سلول ها محدود به فضاییماها 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.





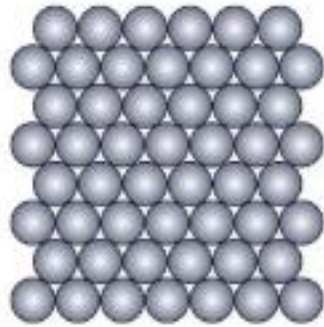
# سیلیکون چند بلوری

- 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 ماژول های خورشیدی معمولی حدود ۵ تن پلی سیلیکون 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. در حالی که سلول های پلی کریستال، از تجمع چندین کریستال سیلیس در یک سلول ساخته می شوند.



(a) Monocrystalline



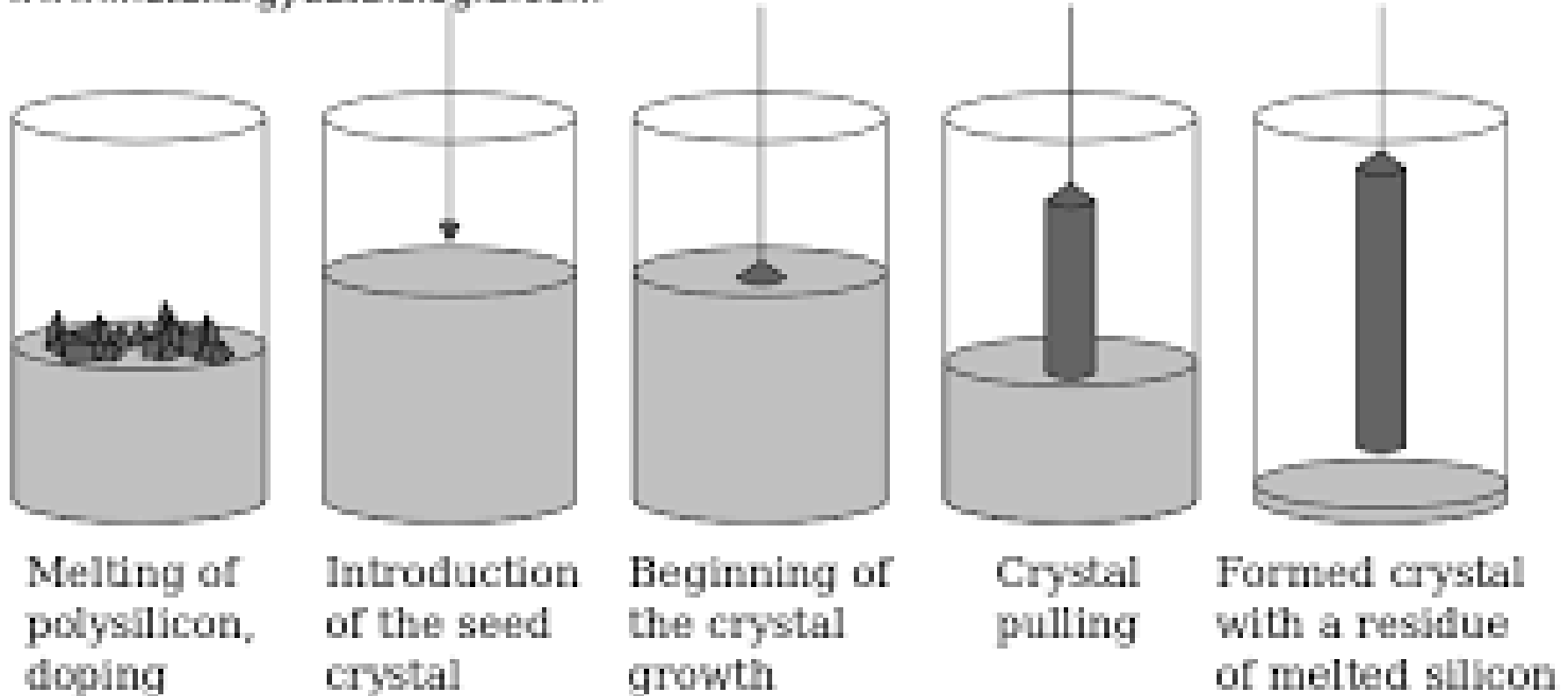
(b) Multicrystalline

- همانطور که در شکل می بینید 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 های م 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 چوکراسکی)، 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.







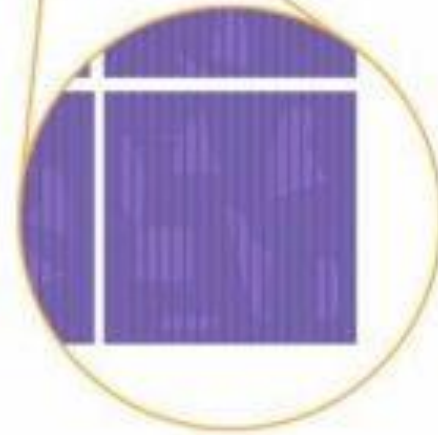
## Mono

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



## Poly

To make cells for polycrystalline panels, fragments of silicon are melted together 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 TFPV نیز نامیده می شود.
- نسل دوم سلول های خورشیدی است که از قرار دادن یک یا چند لایه یا پوشش نازک TF از مواد فتوولتائیک بر روی لایه ای از شیشه، پلاستیک یا فلز درست می شود.
- از لحاظ تجاری سلول های خورشیدی فیلم نازک با استفاده از تکنولوژی های مختلفی ساخته می شوند

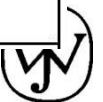




# لایه نازک سیلیکون آمورف

- کلمه “آمورف” در لغت به معنای بی شکل است.
- سلول‌های خورشیدی آمورف برای کاربردهای مقیاس کوچک‌تر مانند ماشین حساب‌های جیبی و ساعت‌های دیجیتال و.. مفید می باشد و اخیراً تلاشهایی برای نصب پنل خورشیدی از نوع سیلیکون آمورف شده است.
- تولید این ماده نیازمند فرایند دمایی پایین می باشد .
- با توجه به استفاده از مواد ارزان قیمت و انعطاف پذیر، تولیدی قابل توجهی داشته و نیازمند مواد سیلیکونی کمی می باشد.

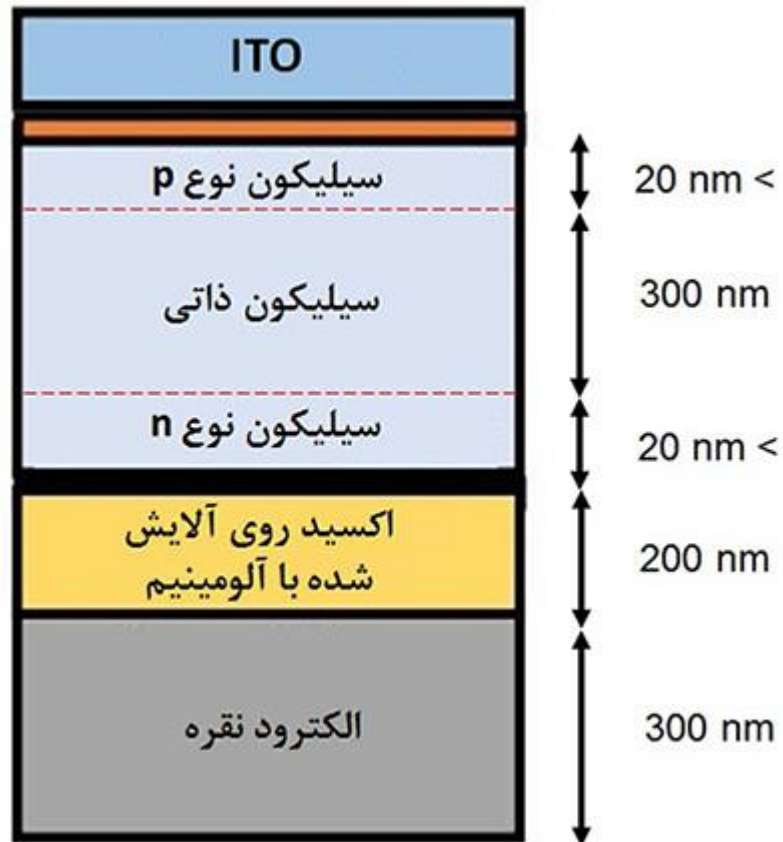
نوع پنل خورشیدی	مزایا	معایب	راندمان
تک کریستالی	راندمان و عملکرد بالا	هزینه های بالاتر	~۲۰٪
پلی کریستالی	هزینه های کمتر	راندمان و عملکرد کمتر	~۱۵٪
لایه نازک	قابل حمل و انعطاف پذیر	بازده و عملکرد پایین تر	~۷-۱۰٪



- 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 الکتروود 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 معمولاً از روش‌های تبخیری مانند رسوب دهی شیمیایی از فاز بخار به کمک پلاسما PECVD استفاده می‌شود.

## Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD)

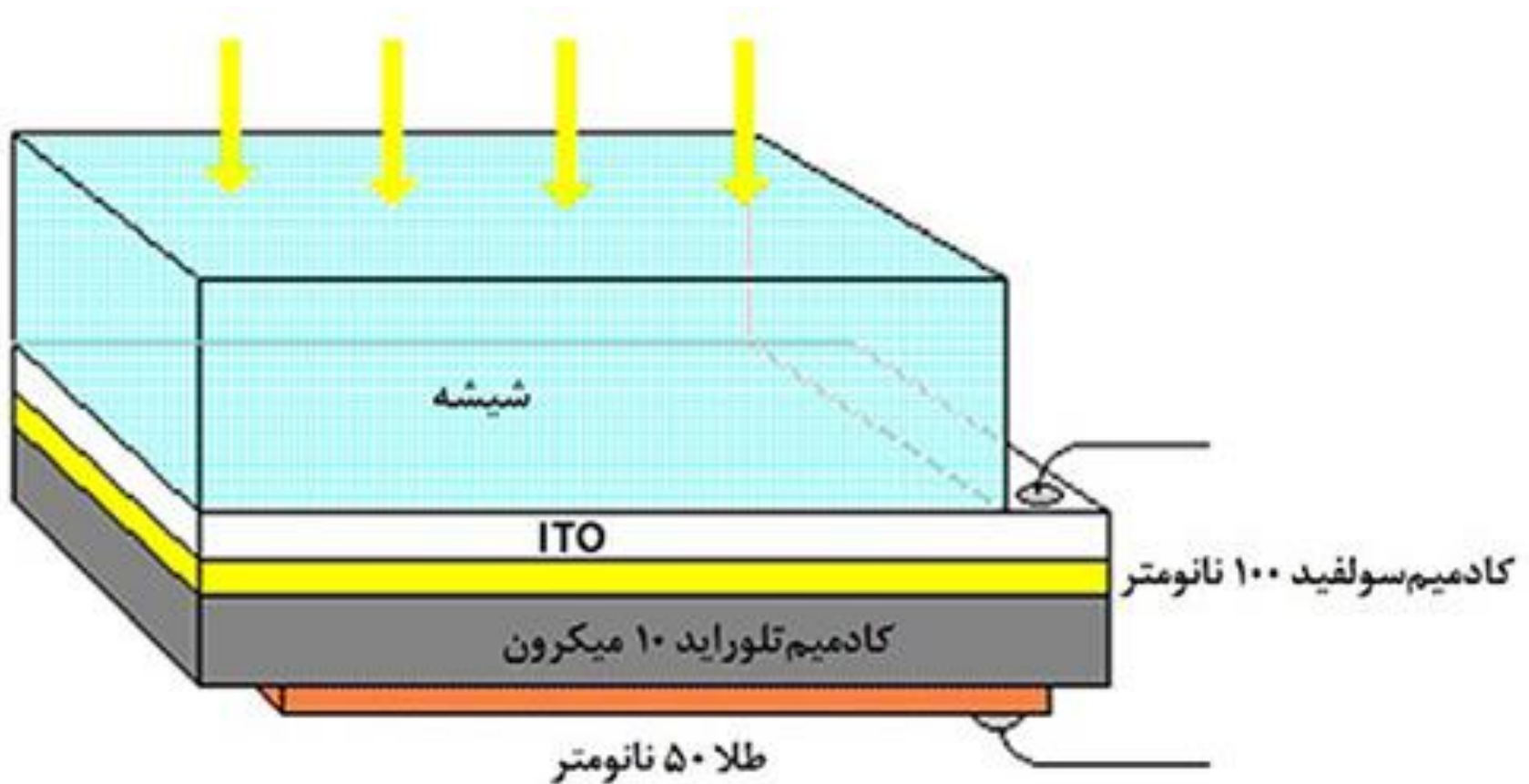




# لایه نازک کادمیم تلورید

- لایه جاذب این دسته از سلول‌های خورشیدی لایه‌ای با ضخامت ۱۰ میکرون از کادمیوم تلورید به صورت نیمه هادی غیر ذاتی نوع p است.
- لایه‌های به کار رفته در سلول‌های خورشیدی کادمیوم تلورید عبارت اند از:
  - ۱- شیشه رسانای هادی: معمولا از شیشه‌های حاوی لایه اکسید قلع ایندیم ITO به عنوان الکتروود جلویی استفاده می‌شود.
  - ۲- نیمه هادی کادمیم سولفید CdS پلی 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 p است
  - ۴- طلا با ضخامت ۵۰ نانومتر که به عنوان الکتروود پشتی لایه نشانی می‌شود.





تولید این نوع پنل‌ها تنها منحصر به دو شرکت خاص است؛ بطوریکه در حال حاضر تنها دو شرکت **First Solar** آمریکا و شرکت **Calyxo** آلمان به صورت تجاری اقدام به ساخت این نوع از پنل‌ها کرده‌اند

# مزایا و معایب سلول کادمیم تلوراید

- شرکت **First Solar** یک 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 حساس 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 .



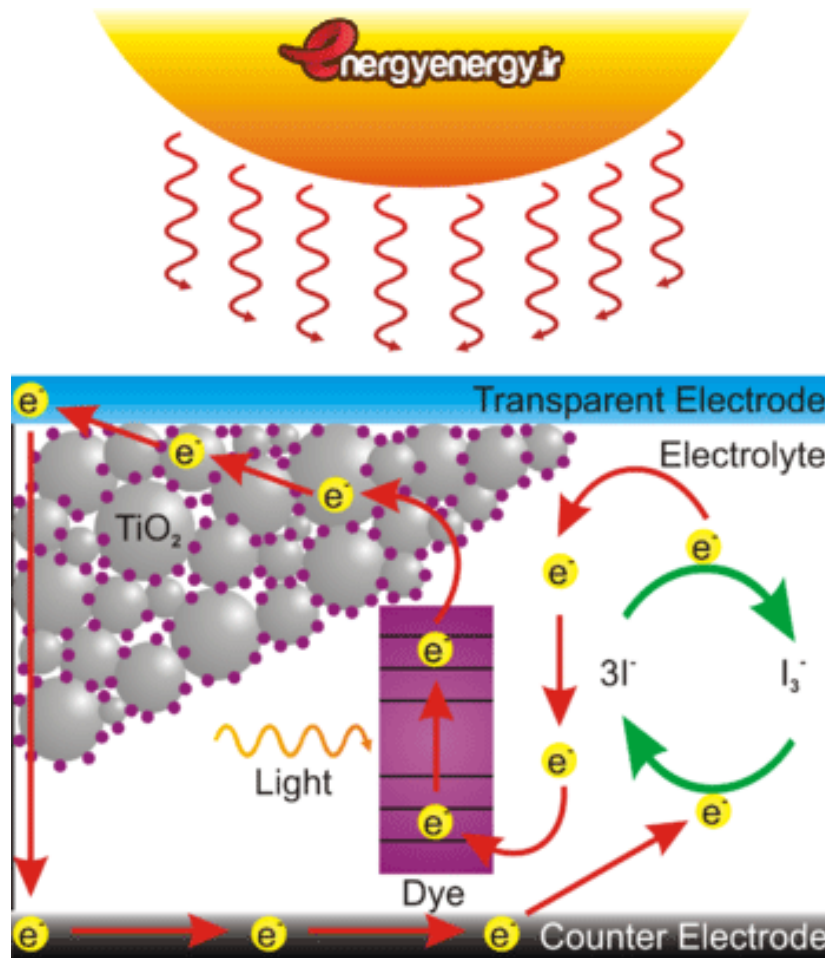
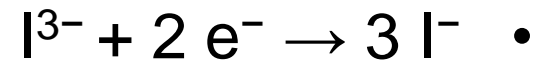
## مکانیسم عملکرد سلو های خورشیدی حساس شده به رنگ

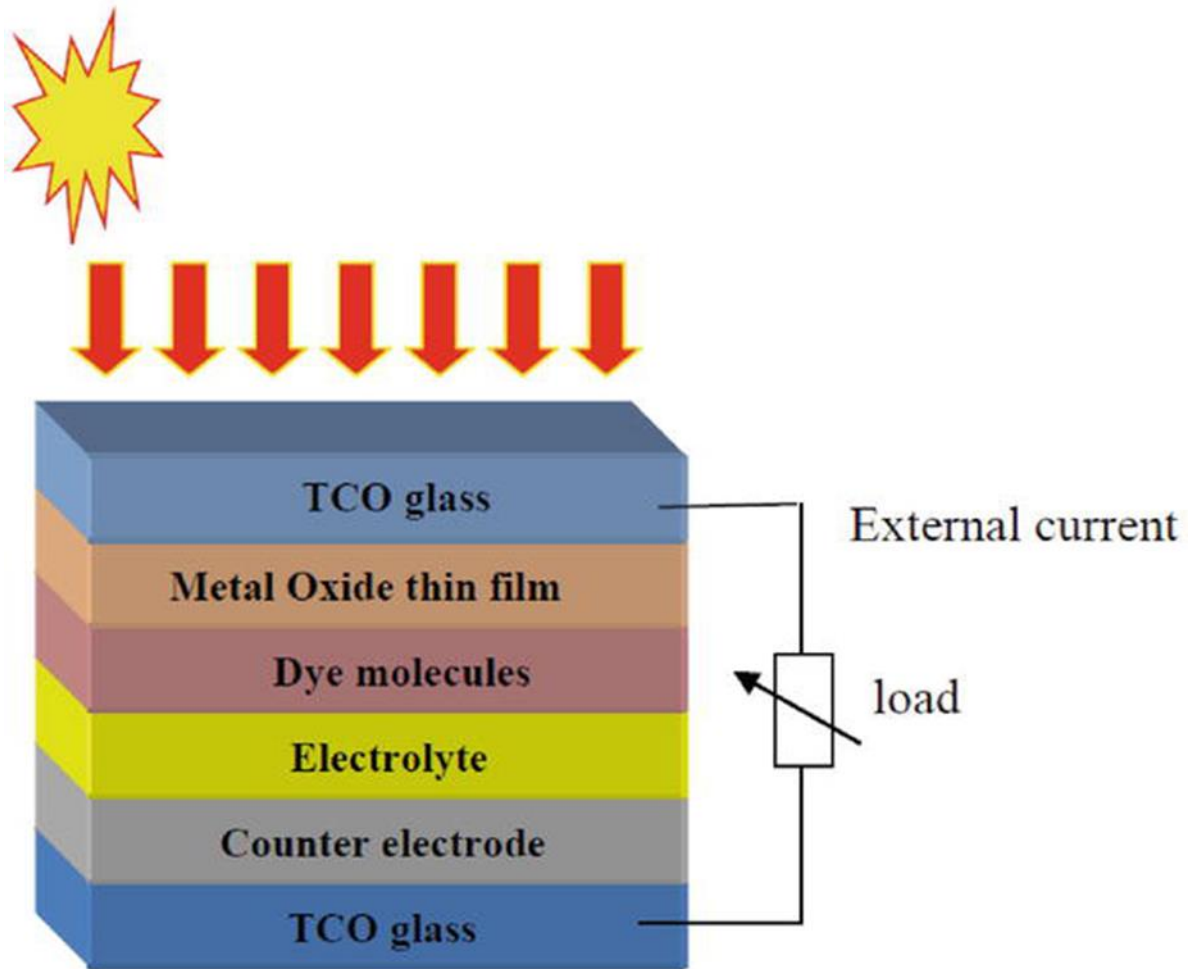
- نور خورشید با عبور از الکترولیت شفاف، به مولکول رنگ رسیده و الکترون‌های آن را برانگیخته می‌کند.
- این الکترون‌ها وارد تیتانیا می‌شوند. تیتانیا نیمه‌رسانا با نوار ممنوعه حدود  $3/5$  الکترون‌ولت است.
- الکترون‌ها در این نوار ممنوعه جذب و تیتانیا میدان الکتریکی و در نتیجه آن جریان ایجاد می‌کند. این جریان 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 الکترولیت‌ها تولید الکترون لازم برای بازگشت ماده رنگینه به حالت پایه و تکرار فرایند برانگیختگی است. بنابر این، عملکرد طولانی مدت سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگدانه وابسته به بخش الکترولیت است



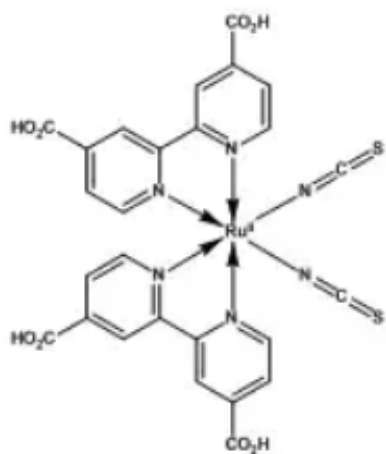


# مکانیسم عملکرد سلوهای خورشیدی حساس شده به رنگ

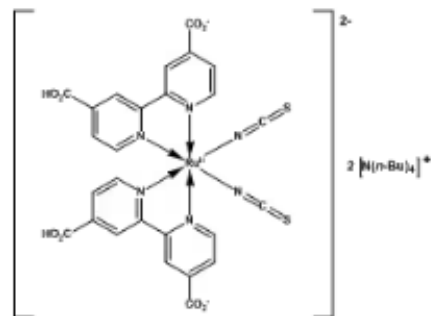




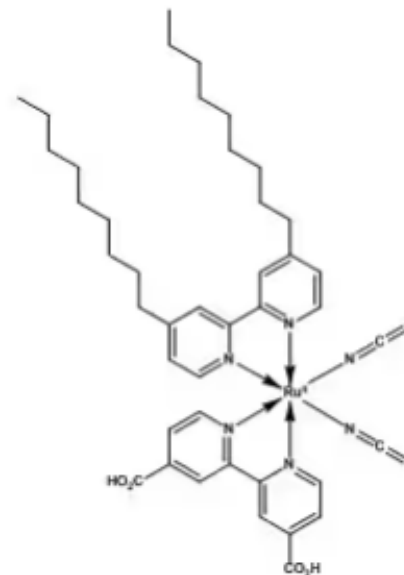
Transparent conductive oxide (TCO)



**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 معمولاً از کمپلکس‌های روتنیوم پلی‌پیریدین استفاده می‌شود