



# بررسی ساختار الکترونیکی سلول های خورشیدی

# فهرست مطالب

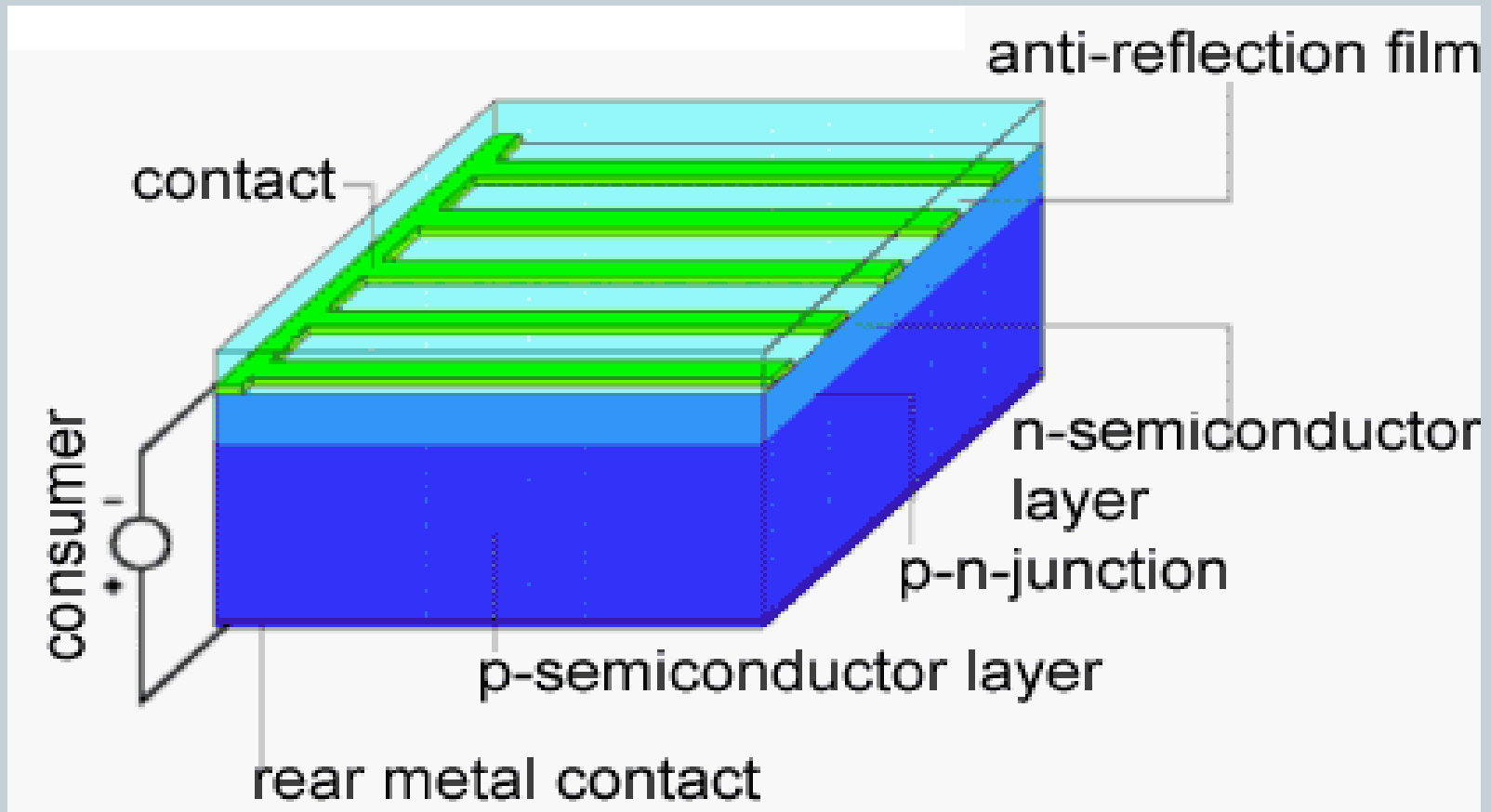


- مقدمه
- طیف خورشید
- گپ انرژی
- تولید جریان الکتریکی
- پیوند  $p - n$
- مشخصه  $I - V$
- مدار معادل یک سلول خورشیدی
- راه های افزایش بازده سلول های خورشیدی
  - انتخاب ماده مناسب
  - استفاده از روکش ضد انعکاس مناسب
  - سلول های خورشیدی با ساختار متوالی (tandem)
  - استفاده از متمرکز کننده ها
- انواع سلول های خورشیدی

## مقدمه



- سلول خورشیدی ساده از یک پیوند  $p - n$  به صورت زیر تشکیل شده است

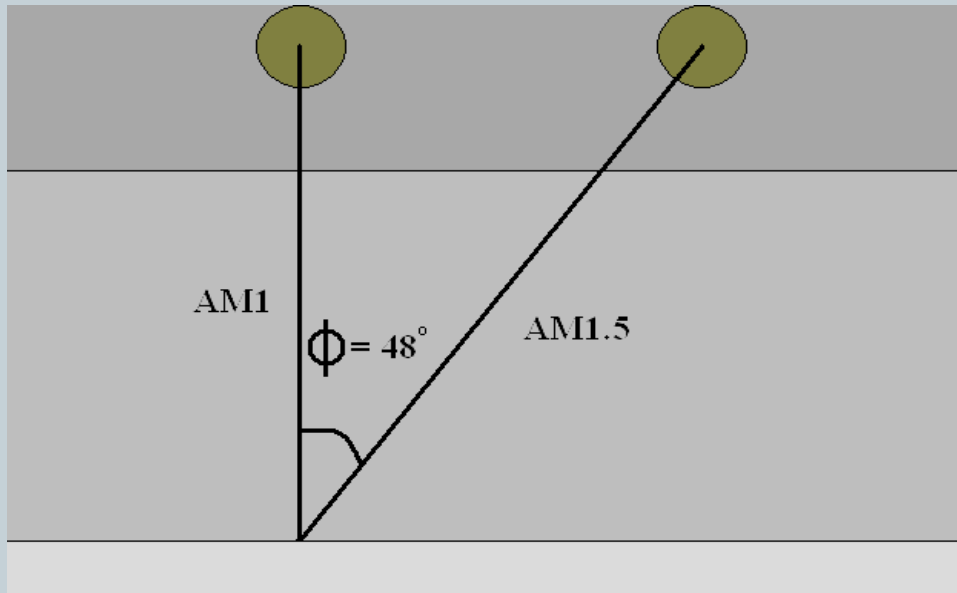


# طیف خورشید



## Airmass (AM)

- نسبت طول مسیر نوری برای نور از یک منبع آسمانی به زمین نسبت به حالت عمود بر سطح زمین Airmass نامیده می شود.



$$AM = \frac{1}{\cos \theta}$$

- AM0: تشعشع خورشیدی در بیرون اتمسفر زمین
- AM1: تشعشع خورشید زمانی که دقیقا بالای سر ماست. (تابش عمودی از خط الراس)
- AM1.5: تشعشع خورشید زمانی که محل خورشید با خط الراس زاویه ۴۸ درجه ایجاد می کند.

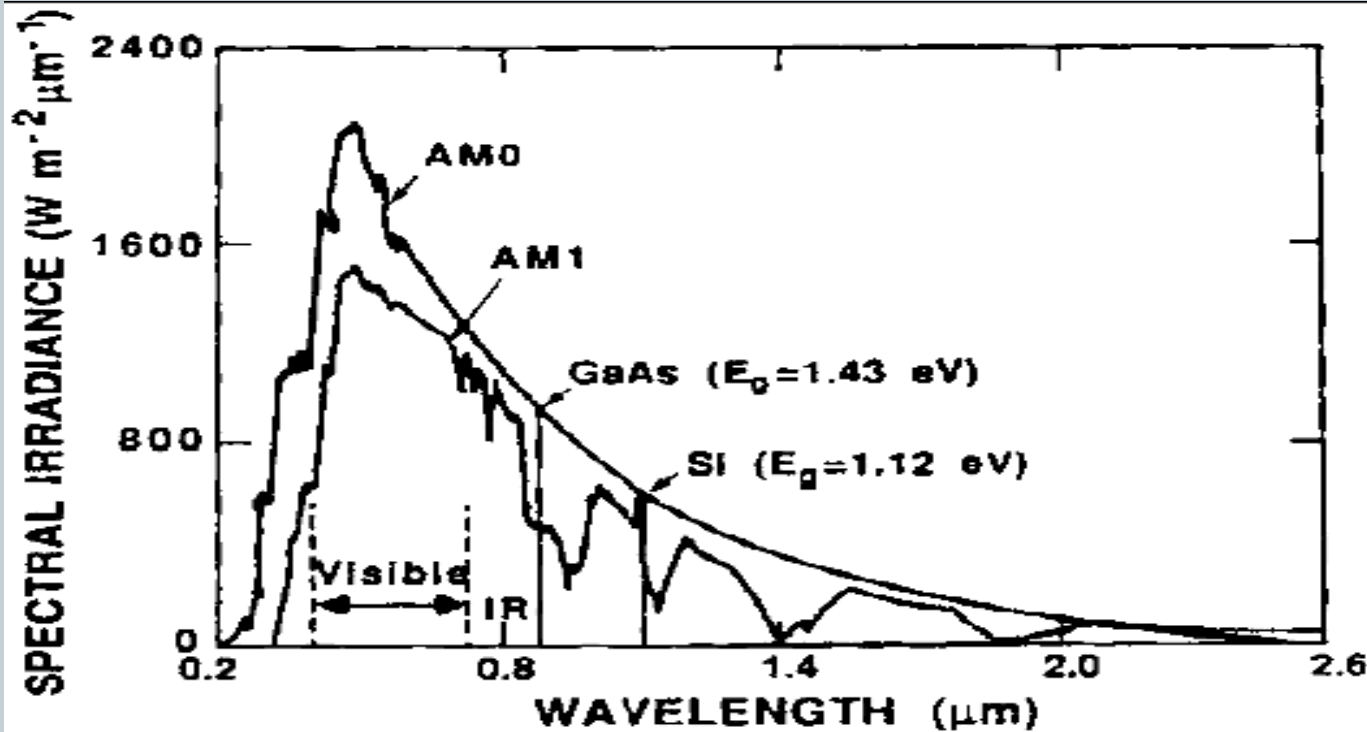
# طیف خورشید (ادامه)



• توان تابشی خورشید:

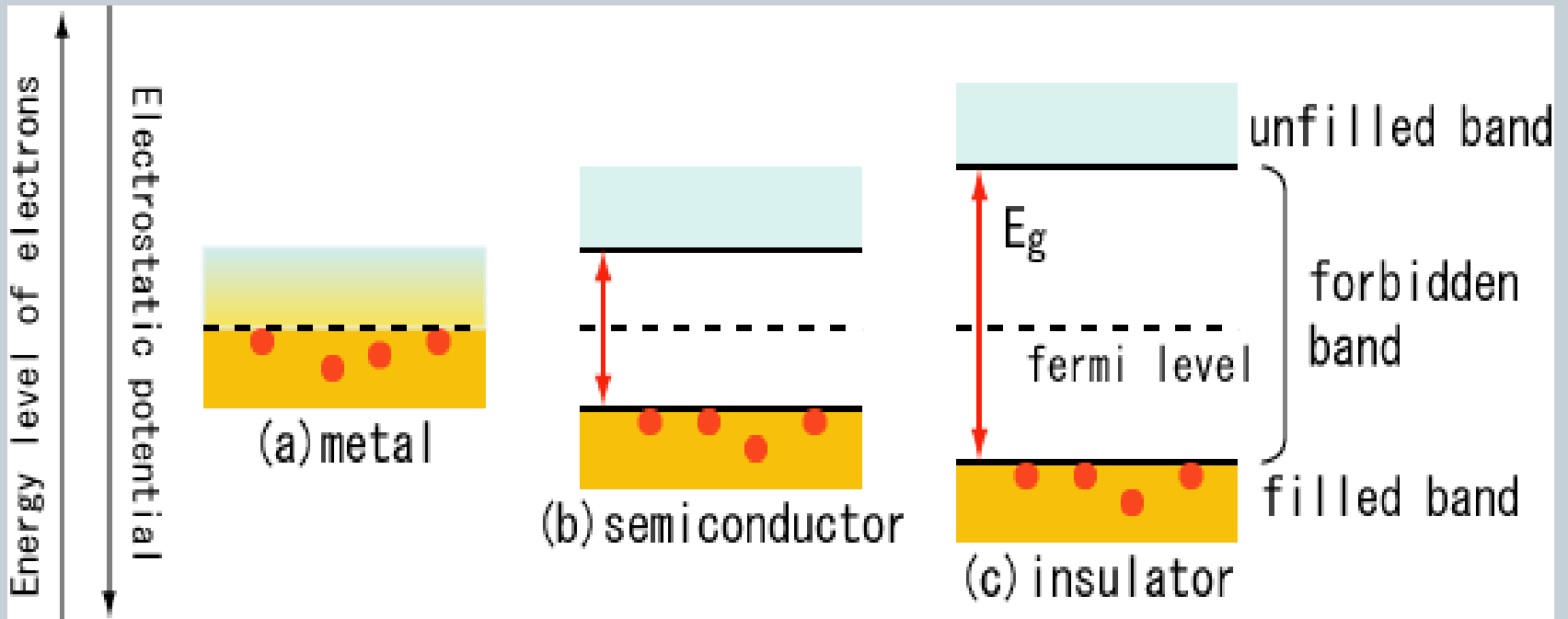
□ برای AM0 : 1366 W/m<sup>2</sup>

□ برای AM1 : 925 W/m<sup>2</sup>



# گپ انرژی

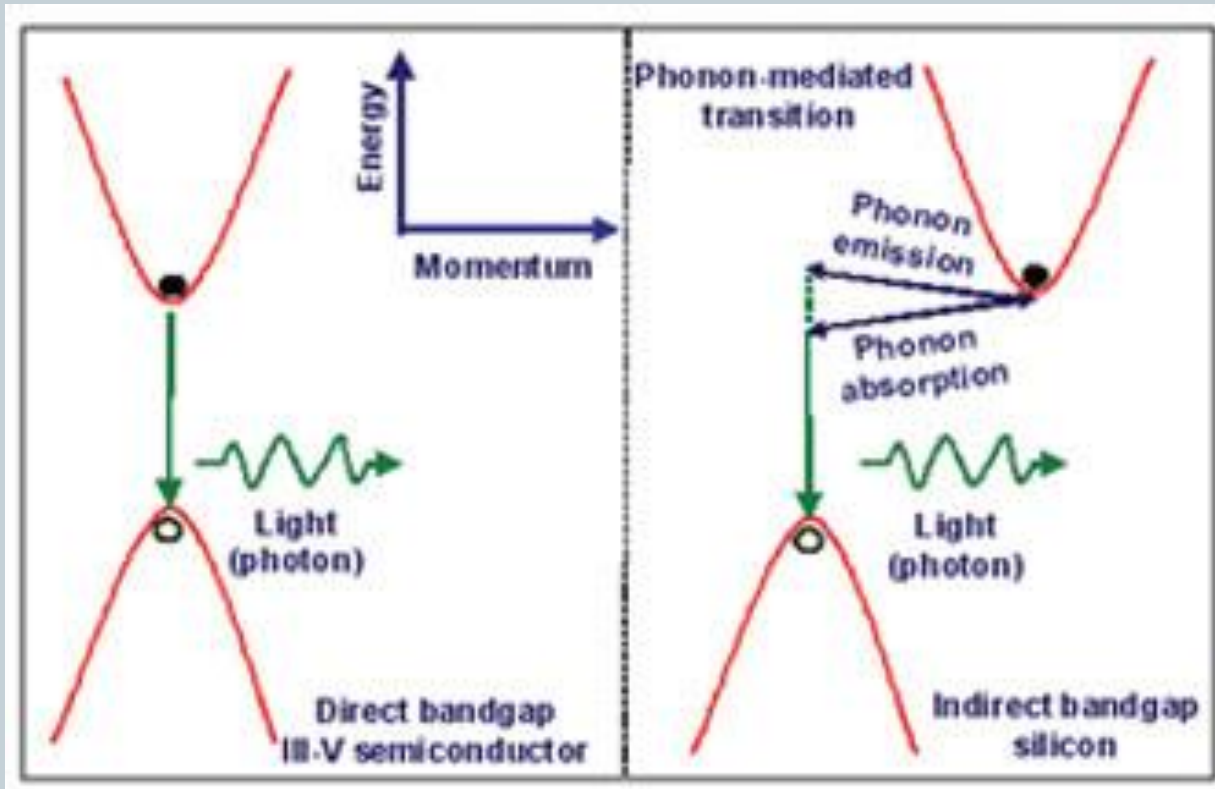
- مواد هادی گپ انرژی ندارند



# گپ انرژی (ادامه)

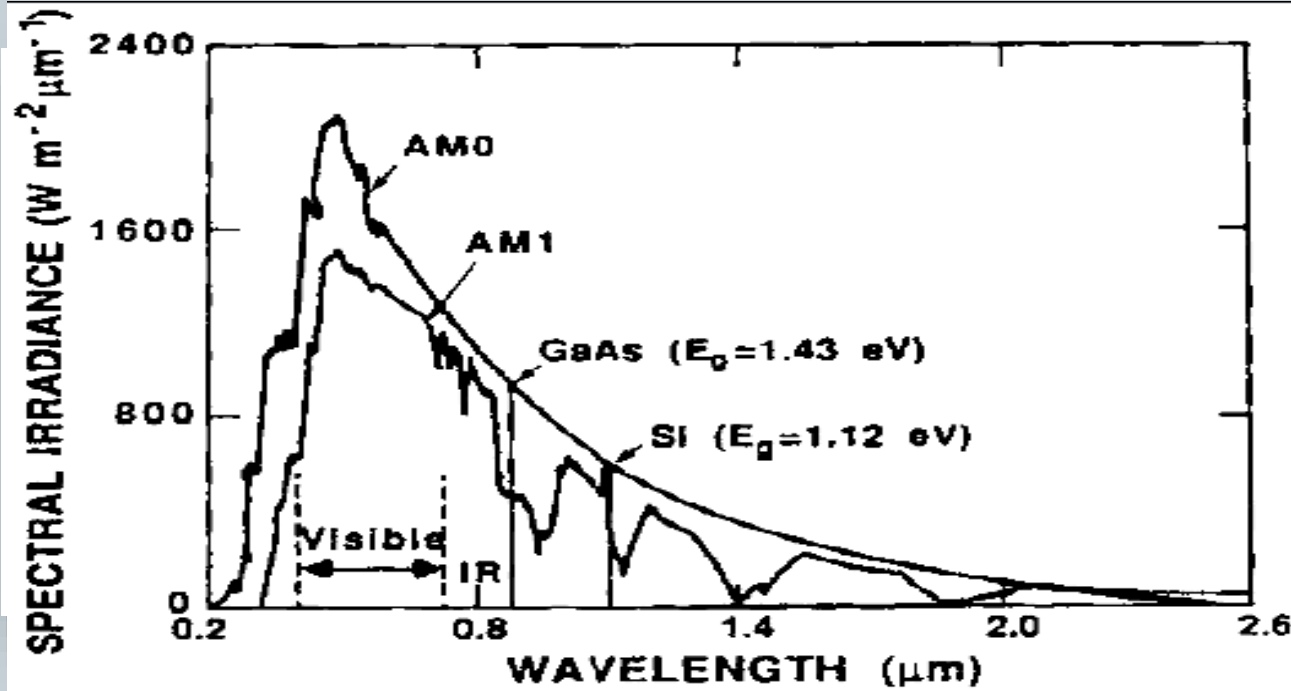


- مواد با گپ انرژی مستقیم و غیر مستقیم



# گپ انرژی (ادامہ)

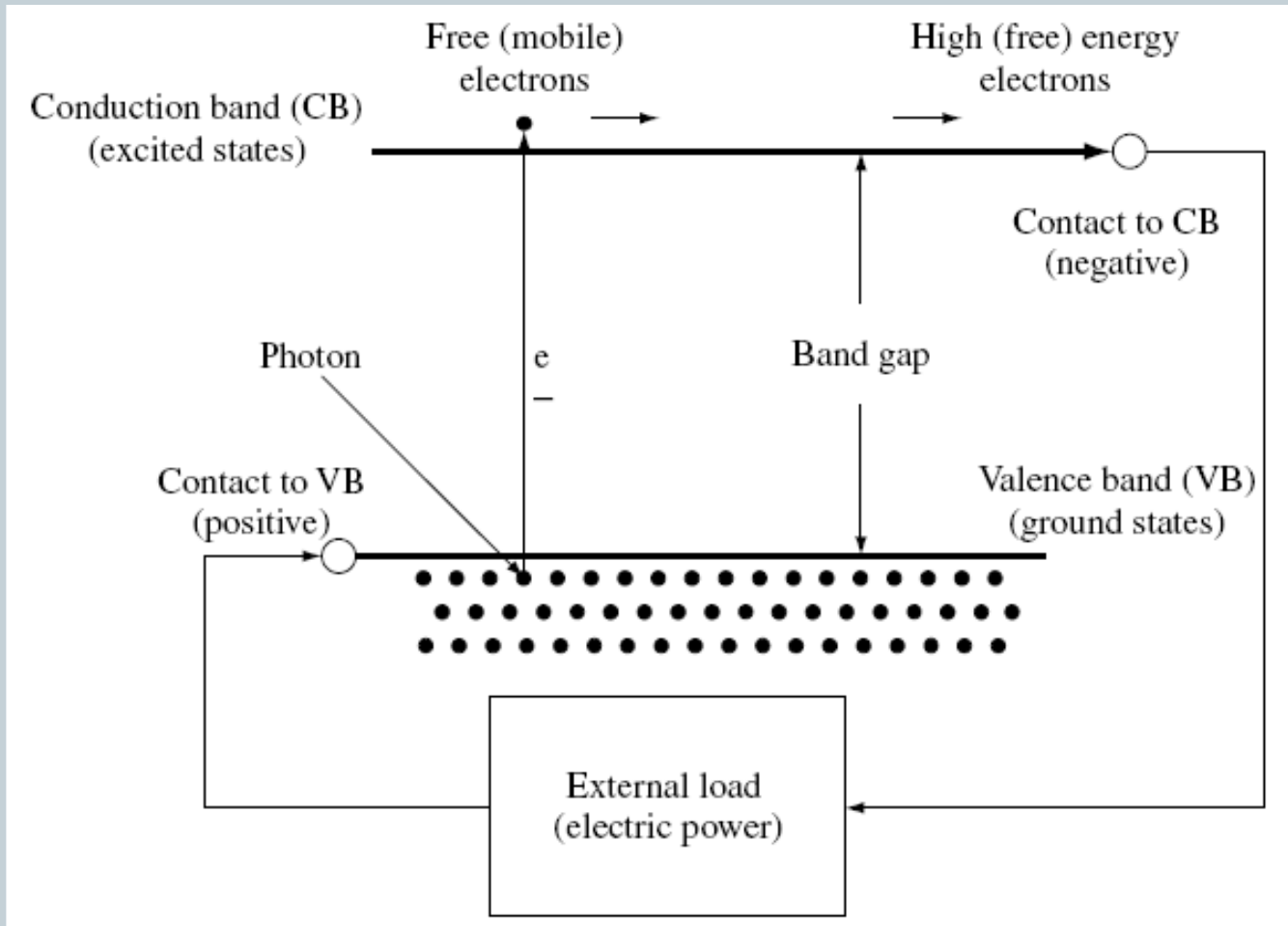
• جذب نور



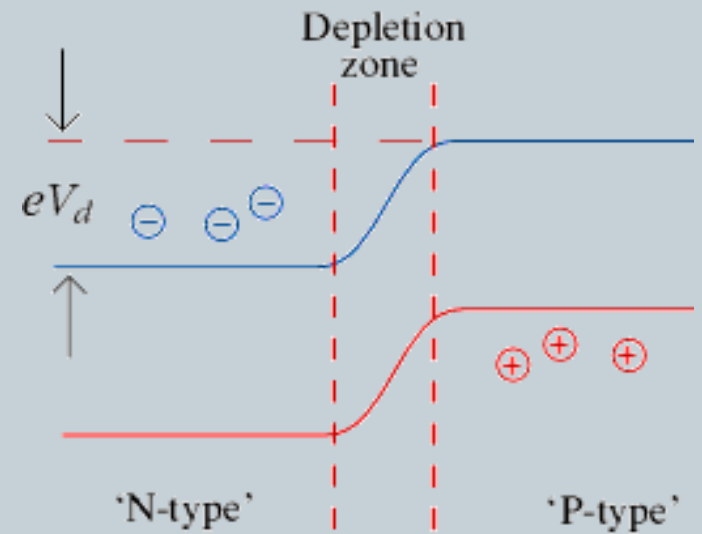
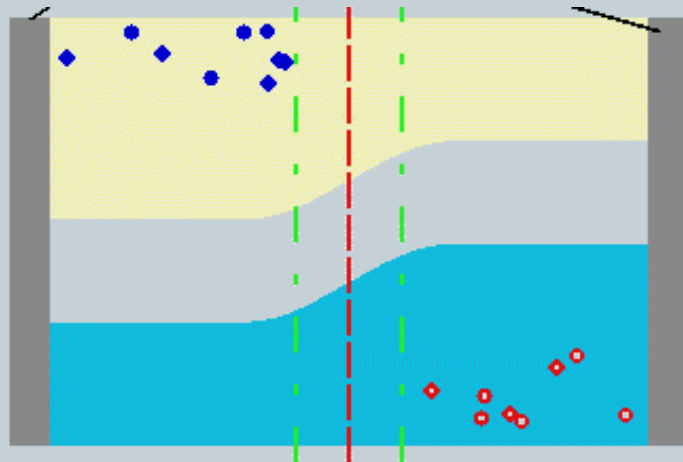
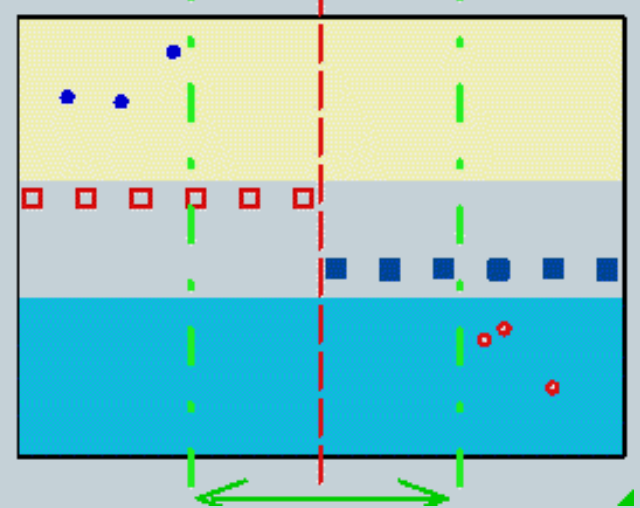
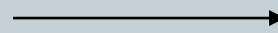
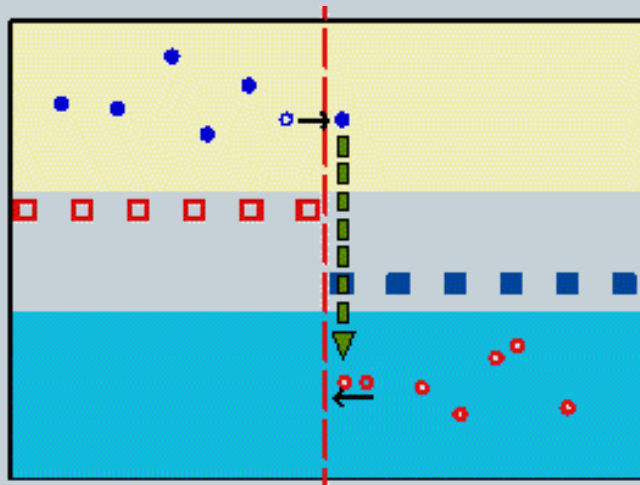
$$E \geq E_g \Rightarrow h\omega \geq E_g \Rightarrow \lambda(\mu m) \leq \frac{1.24}{E_g(eV)}$$



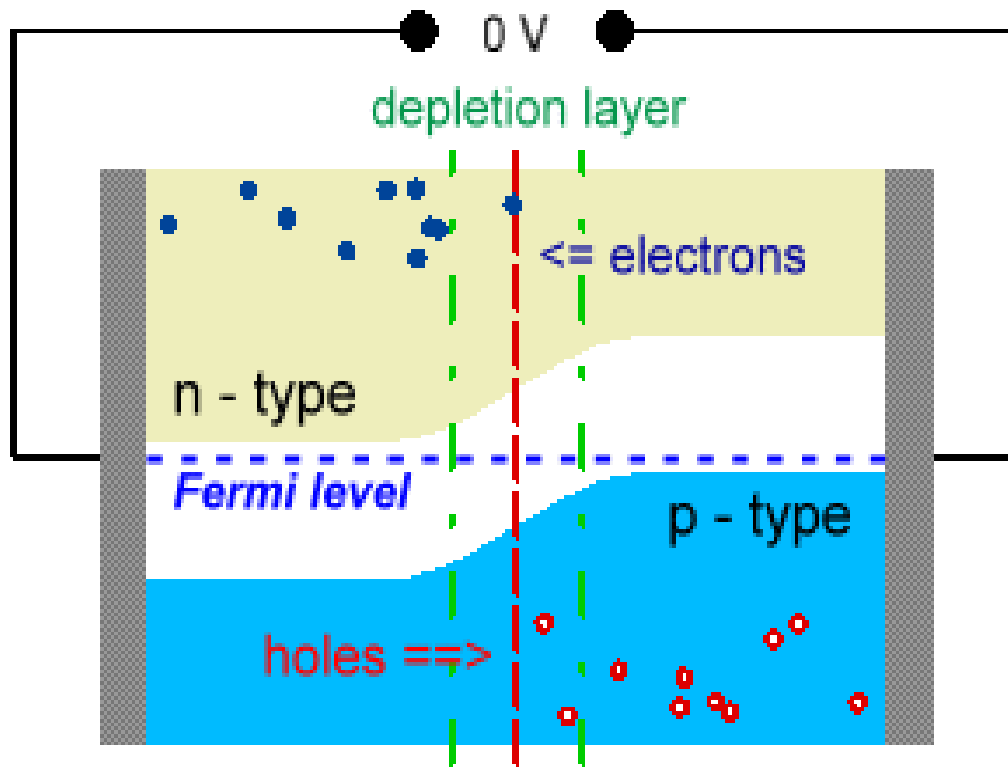
# تولید جریان الکتریکی



# پیوند p-n

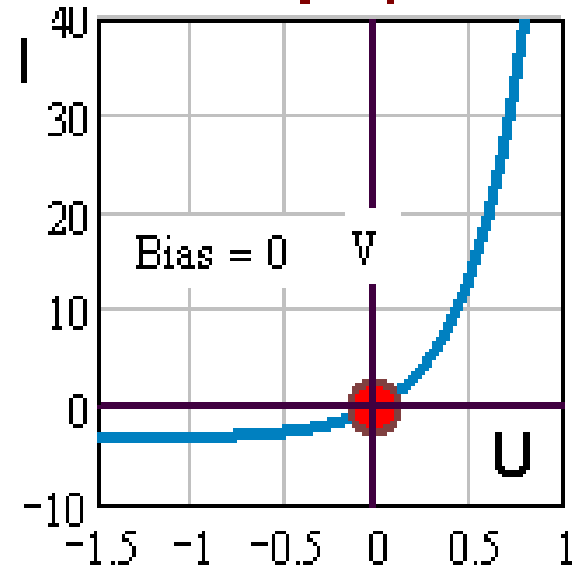


# پیوند p-n



n-p Diode

Shockley equation



# مشخصه I - V

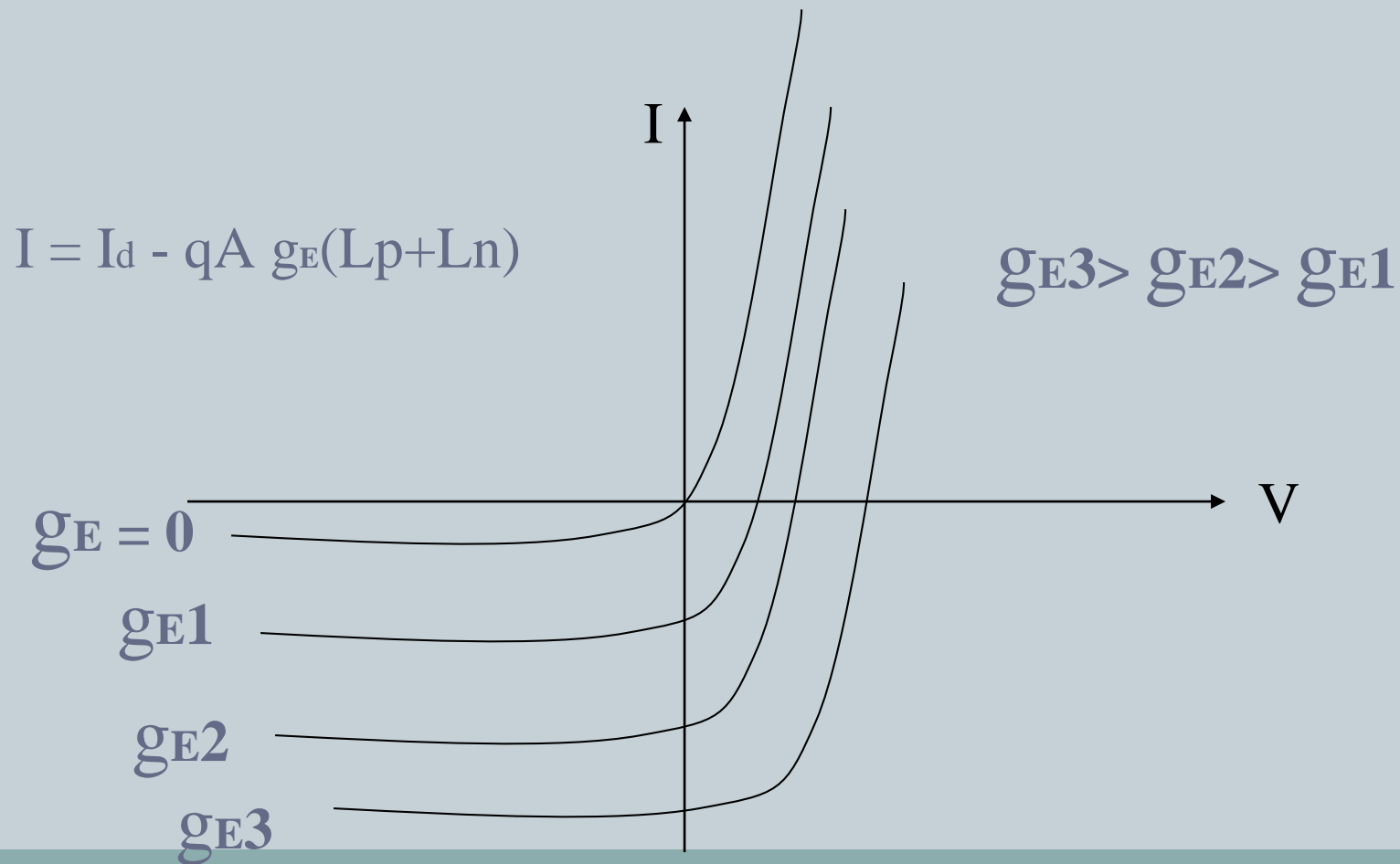


- زمانی که فوتون هایی با انرژی  $h\nu \geq E_g$  به یک پیوند p-n می تابد جریان حاصل از حامل های تولید شده به صورت زیر خواهد بود:

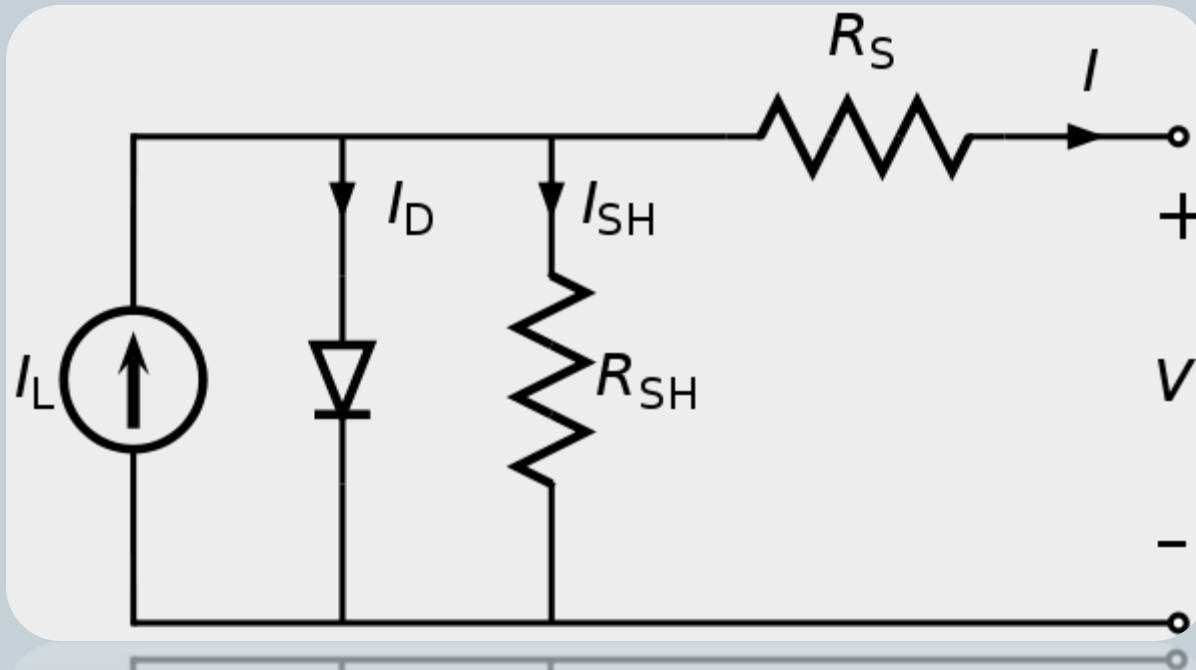
$$I = I_d - qA g_E(L_p + L_n)$$

- $I_d$ : جریان تاریک
- $g_E$ : نرخ بازترکیب الکترون - حفره

# مشخصه I - V (ادامه)



# مدار معادل یک سلول خورشیدی

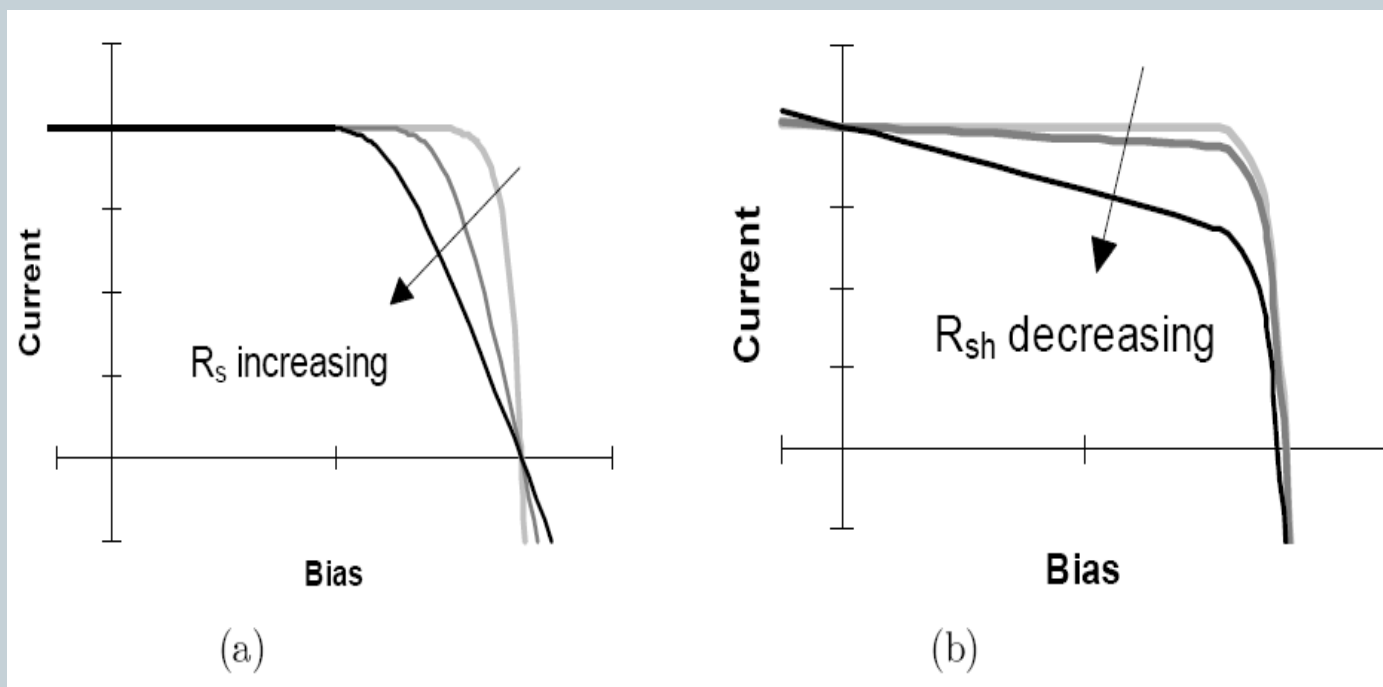


- مقاومت سری از مقاومت ماده سلول در برابر شارش جریان، مخصوصا از طریق سطح بالایی به اتصالات، و همچنین اتصالات مقاومتی است. مقاومت سری در چگالی جریان های بالا، برای مثال تحت نور متمرکز شده یک مشکل خاص به شمار می رود.
- مقاومت موازی در اثر نشت جریان از طریق سلول در اطراف لبه های قطعه ایجاد می شود.

# مدار معادل یک سلول خورشیدی (ادامه)



- هنگامی که  $R_{SH}$  کاهش می یابد، مقدار  $V_{OC}$  افت می کند در حالی که به طور مشابه، افزایش  $R_S$  باعث کاهش  $I_{SC}$  می گردد.

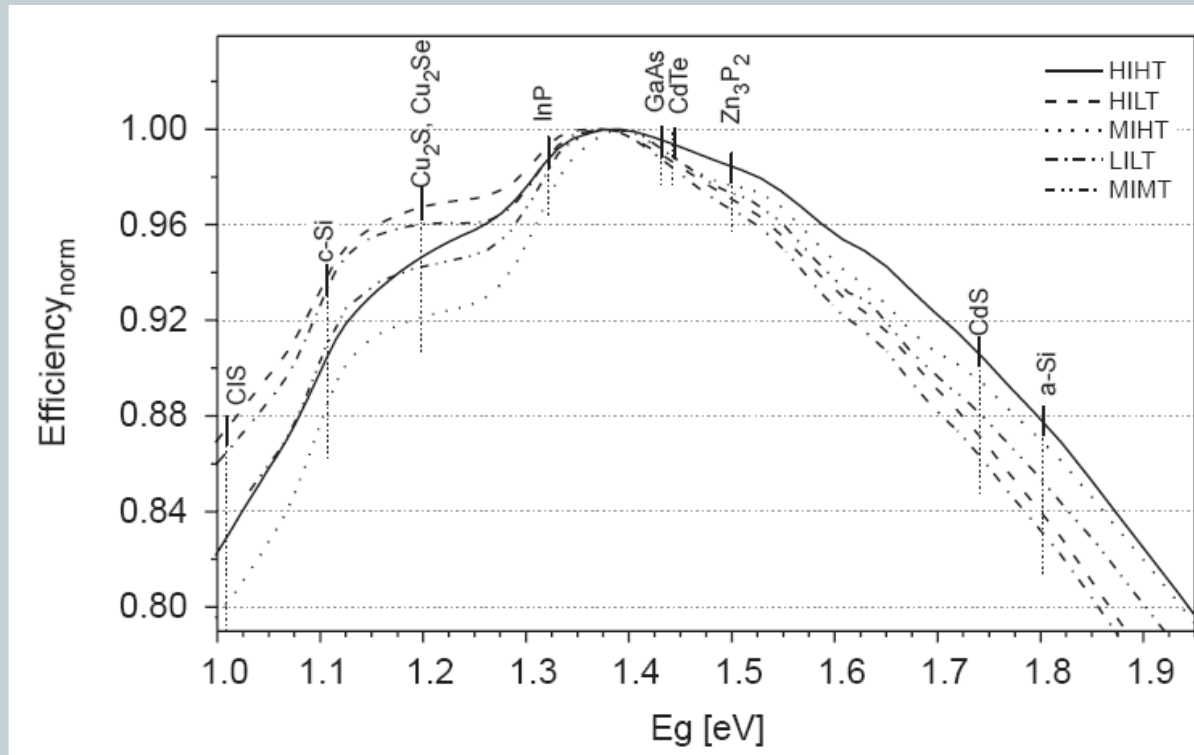


- در نهایت کاهش مقاومت موازی و افزایش مقاومت سری باعث کاهش توان ماکزیمم خواهد بود.

# راه های افزایش بازده سلول های خورشیدی



(۱) انتخاب ماده مناسب



• مواد دارای گپ انرژی مستقیم مناسب تر هستند.

• گپ انرژی بهینه :  $1.39\text{eV}$



# راه های افزایش بازده سلول های خورشیدی (ادامه)



(۲) روکش ضد انعکاس

- مواد با گاف انرژی بالا مثل  $\text{SiO}_2$  ،  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  و  $\text{Si}_3\text{N}_4$

تلفات بازتابش یک سلول سیلیکونی

- بدون روکش ضد انعکاس: ۳۵٪

- با ۱۱۰nm روکش  $\text{SiO}_2$  تلفات بازتابش ۷٪

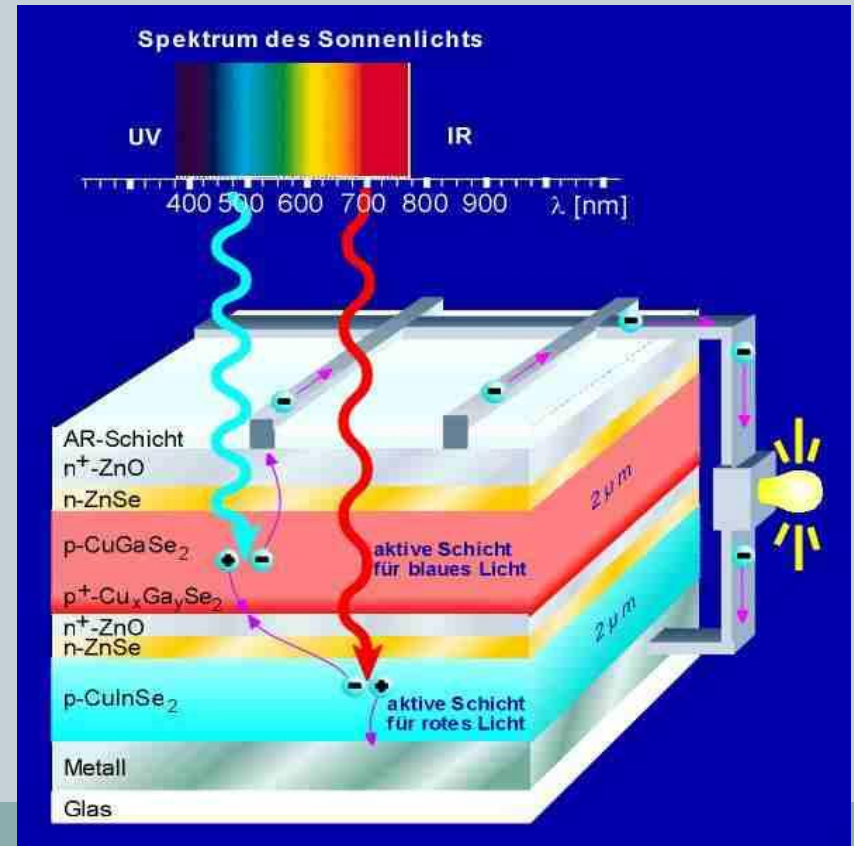
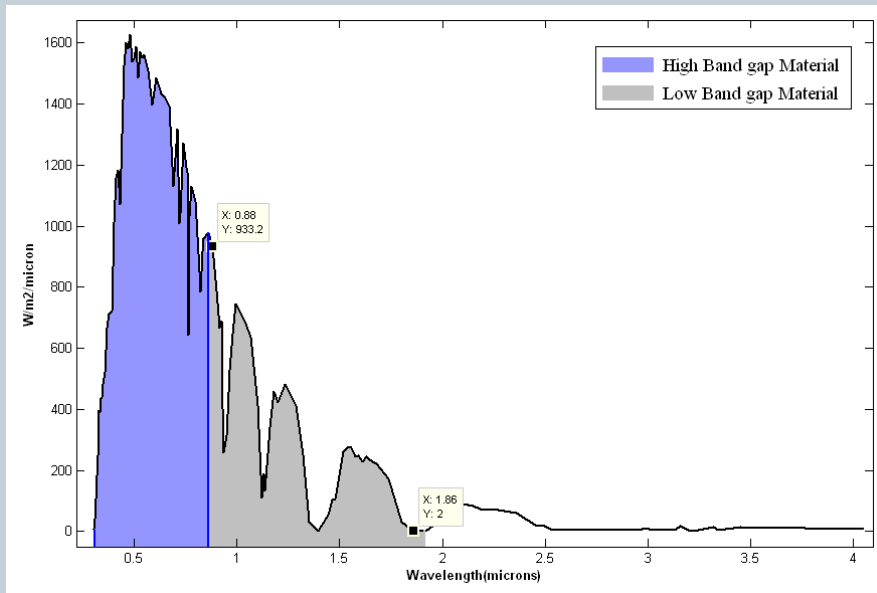
- با ۷۰nm روکش  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  تلفات بازتابش ۵٪

# راه های افزایش بازده سلول های خورشیدی (ادامه)

۱۷

## ۳) سلول های خورشیدی Tandem

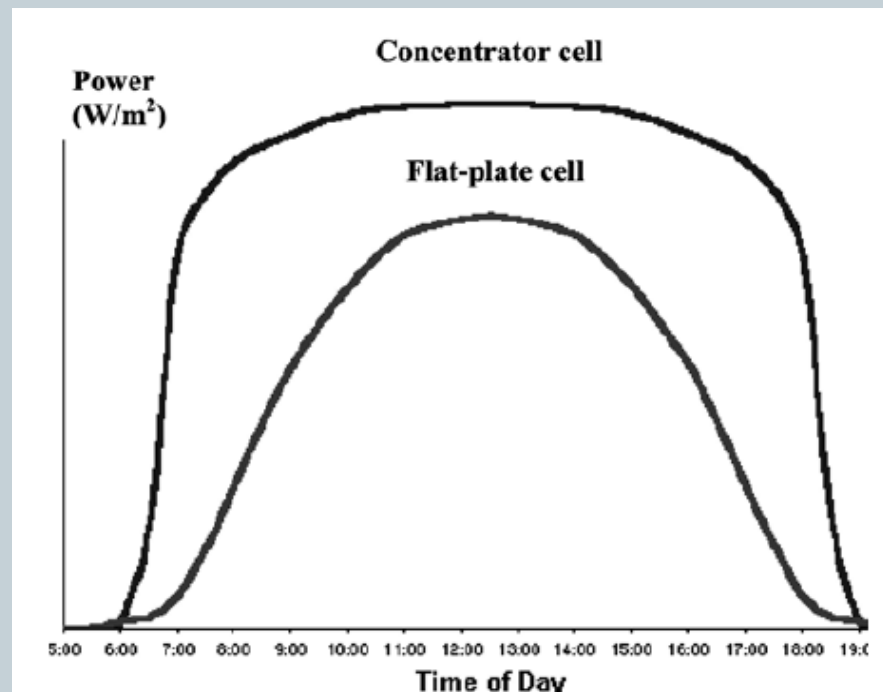
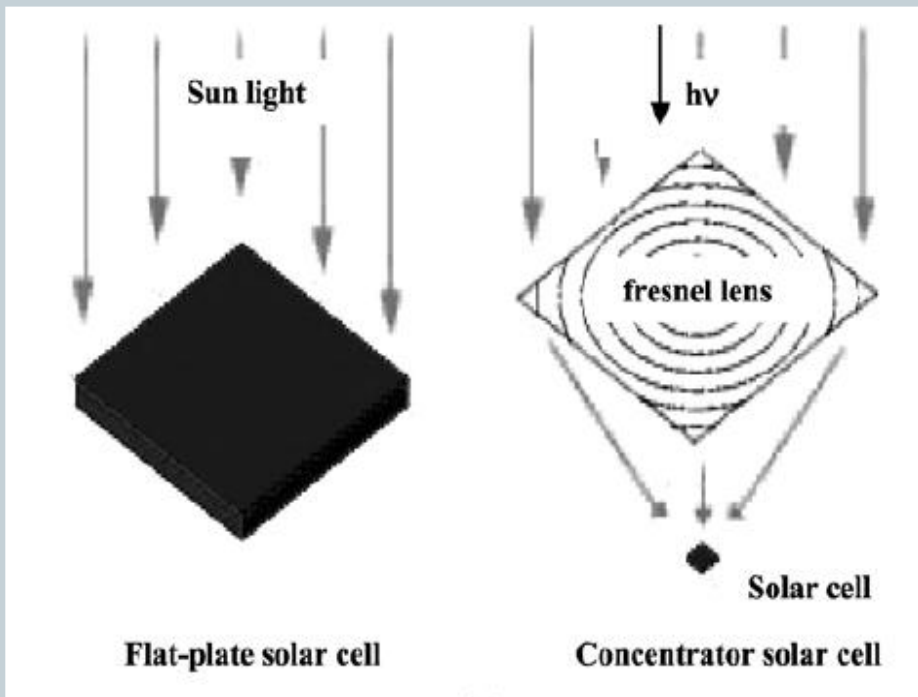
متشکل از چندین لایه پیوند p - n روی هم برای افزایش بازده



# راه های افزایش بازده سلول های خورشیدی (ادامه)



۴) استفاده از متمرکز کننده ها



# انواع سلول های خورشیدی



## ۱) سلول های خورشیدی مبتنی بر سیلیکون کریستالی

- سیلیکون تک کریستالی (c-Si)

□ سلول های ویفر تک کریستالی گران هستند.

□ چون آنها از شمش های خام استوانه ای بریده می شوند، به طور کامل یک ماژول سلول خورشیدی مربعی را پوشش نمی دهند.

بنابراین اکثر پنل های c-Si دارای فواصل پوشیده نشده ای در چهار گوشه سلول ها هستند.

- سیلیکون پلی کریستالی (poly-Si) یا چند کریستالی (mc-Si)

□ از شمش های خام مربعی قالب بندی شده بلوک های بزرگی از سیلیکون مذاب ساخته می شود که به طور دقیق سرد شده و جامد شده اند.

□ سلول های پلی کریستالی نسبت به حالت قبلی هزینه کمتری دارند ولی بازده پایینی نیز دارند.

□ میزان فروش این سلول ها نسبت به قبلی بیشتر است.

# انواع سلول های خورشیدی (ادامه)



## ۲) سلول های خورشیدی مبتنی بر سیلیکون لایه نازک غیر کریستالی (آمورف)

- هزینه پایین یکی از مزایای سلول های خورشیدی برپایه سیلیکون آمورف (a-Si) می باشد.
- دو جزء اصلی آلیاژ a-Si، سیلیکون و هیدروژن است.
- مشخصه یک آلیاژ a-Si داشتن ضریب جذب بالاست. تنها یک لایه نازک برای جذب نور نیاز است و این باعث کاهش هزینه مواد می شود.
- بازده تبدیل خوب مزیت دیگر سلول های خورشیدی برپایه سیلیکون آمورف است.

# انواع سلول های خورشیدی (ادامه)

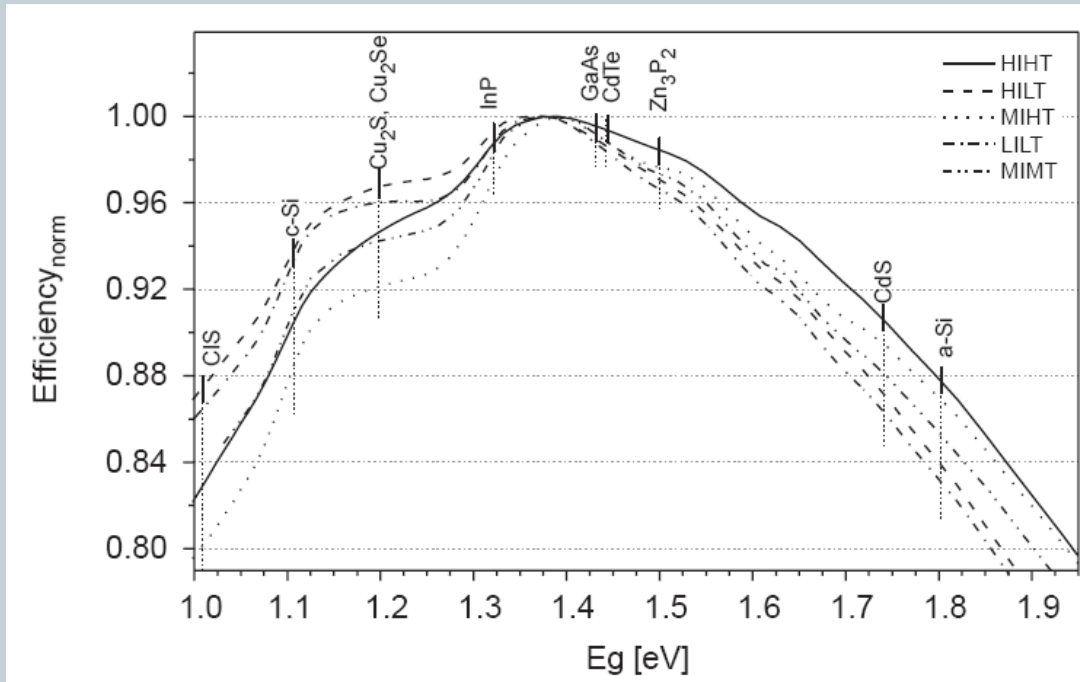


## ۳) سلول های خورشیدی مبتنی بر مواد آلی

- 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 قابلیت هایی مانند انعطاف پذیری برای مصارف غیرصنعتی مناسب هستند.
- شارژر موبایل قابل حمل، کار گذاشتن باطری ها در سطوح دارای انحناء مانند بدنه ماشین ها و حتی استفاده از آنها در لباس ها از مصارفی است که برای سلولهای خورشیدی آلی (ارگانیک) پیش بینی می شود.
- ساخت سلولهای خورشیدی آلی از دهه ۷۰ میلادی مورد تحقیق و بررسی علمی قرار گرفته است ولی هنوز نمونه بازاری آن ساخته نشده است.

# انواع سلول های خورشیدی (ادامه)

## ● (۴) سلول های خورشیدی مبتنی بر GaAs



● حد Shockley-Queisser

● حد کارنو

● (۵) نسل سوم سلول های خورشیدی (سلول های مبتنی بر چاه ها و نقاط کوانتومی، حامل های داغ و سلول های متوالی)



با تشکر از توجه شما

???