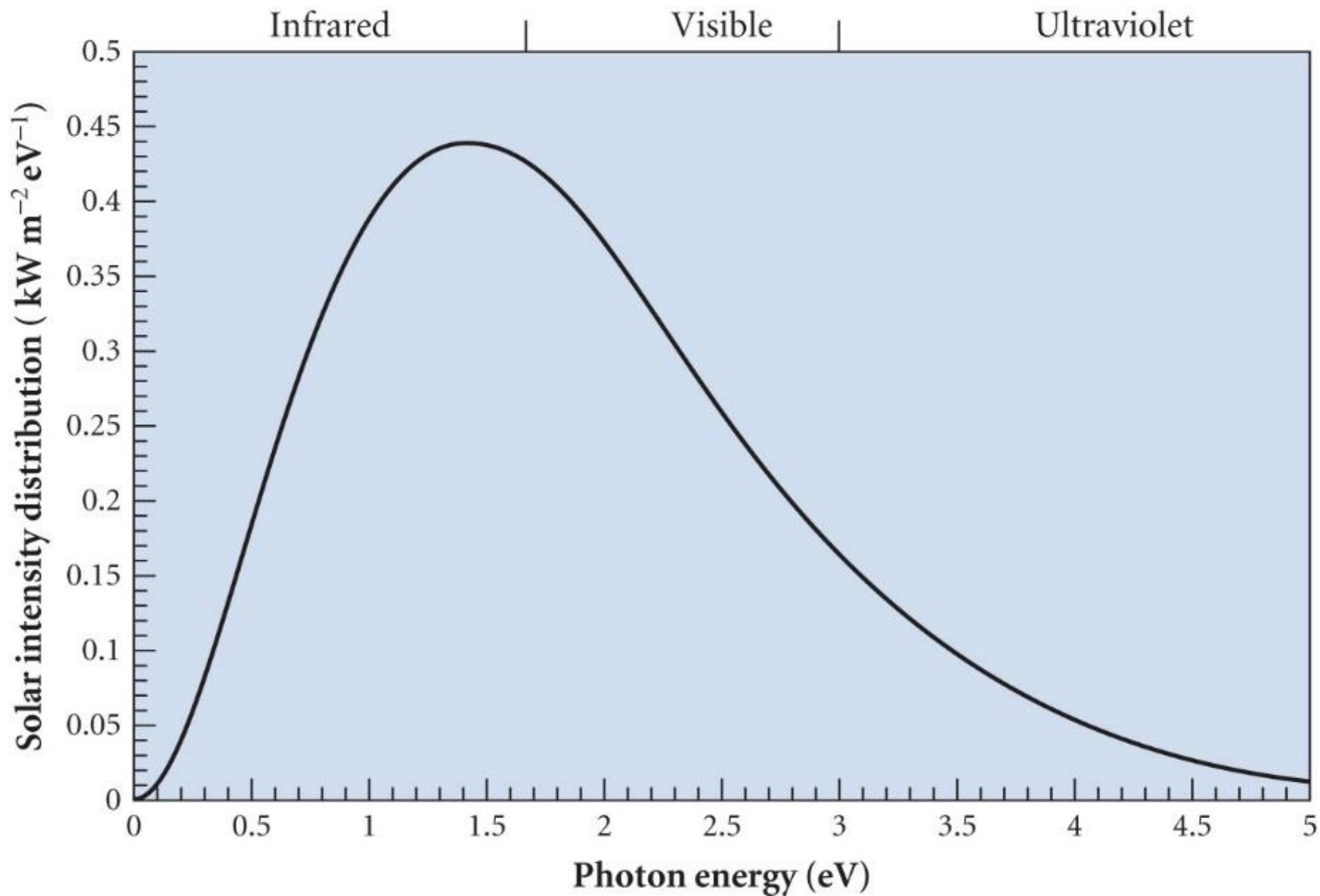


6.1. СПЕКТАР НА СОНЧЕВАТА СВЕТЛИНА

- Средната вредност на енергијата на сончевото зрачење е приближно 1000 Wm^{-2} или вкупно на целата земјина површина околу $100\,000 \text{ TW}$ што е многу повеќе од просечната земјина потрошувачка од приближно 15 TW .
- Директно искористената сончева енергија произведена преку фотоволтаични панели во светот е 142 GW (во 2013 г. извор Wikipedia).
- Постојат и индиректни начини на искористување на сончевата енергија преку создавање на биомаса и фосилни горива

- (преку користење на процесот на фотосинтеза-создавање на сложени јаглехидрати преку користење на водата и јаглеродниот диоксид, под дејство на сончевите зраци) што е неефикасен начин на користење на сончевата енергија бидејќи на овој начин процентот на искористување на сончевата енергија е помеѓу 0.2 и 2 %
- Најголемиот недостаток на производството на електрична енергија од сончевата енергија е малиот процент на разменета енергија и

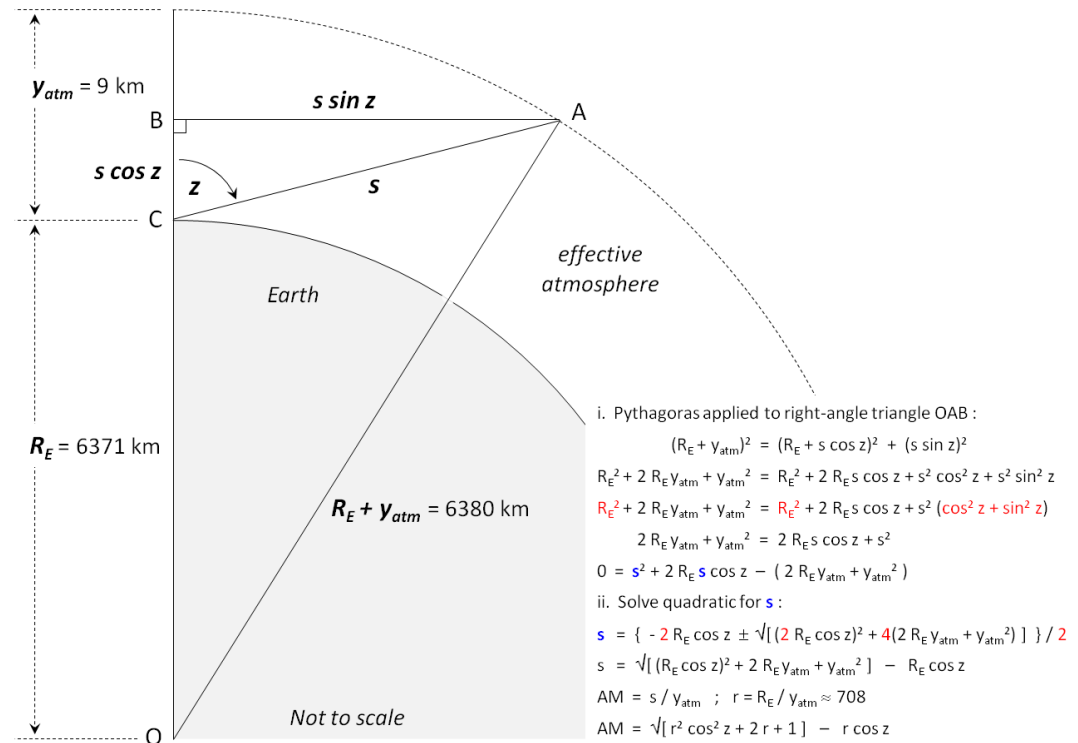
- сеуште високата цена на чинење на постројките, иако во подрачја кои се оддалечени од мрежата нивната цена на чинење е компетитивна со конвенционалните постројки за производство на електрична енергија.
- Во ова поглавје ќе се разработи детално производството на електрична енергија со користење на фотоволтаични панели, од спектарот на сончевата светлина, преку полупроводниците и појавите кои се јавуваат притоа.



Спектар на светлина на црно тело при $T=5800\text{K}$, нормализиран со AM1.5 спектарот на сончева светлина

- За патот на светлината со должина L на нашата планета, за сончевото зрачење под агол z во однос на нормалата на површината на Земјата, коефициентот на воздушна маса AM е:

$$AM = \frac{L}{L_0} \approx \frac{1}{\cos z} \quad (1)$$



- каде L_0 е патот на светлината во зенитот (т.е. нормален на површината на Земјата) на морското ниво и z е аголот на зенитот во степени.
- Постојат два референтни спектри на сончевата светлина:
- АМ0-Спектарот надвор од атмосферата, поистоветен со црно тело при $T=5800\text{ K}$, е наведен како "АМ0", што значи "нула атмосфери". Соларните ќелии во вселената го користат овој коефициент на воздушна маса, како кај комуникациските сателити.

- AM1.5-Соларните панели обично не работат со точно дефинирана дебелина на атмосферата. Ако сонцето е под агол во однос на површината на Земјата ефективната дебелина ќе биде поголема. Многу од главните центри на населението во светот, а со тоа и соларните постројки и индустријата, низ Европа, Кина, Јапонија, Соединетите Американски Држави и на други места (вклучувајќи ги и северна Индија, Јужна Африка и Австралија) лежат во умерените географски ширини.

- "AM1.5", 1,5 дебелина на атмосфера одговара на соларен зенит при агол $z = 48,2^\circ$.
- Специфичната вредност на коефициентот на воздушна маса AM1.5 е избран во 1970-тите како стандард, врз основа на кој се прави анализа на сончево зрачење при проектирање на соларни ќелии, при што енергијата што поминува низ атмосферата е 1 KWm^{-2} .
- Сончевата радијација која достигнува до земјината површина со директно зрачење

- (кое е единственото што може да се искористи кај фокусирачките огледала) и дифузна светлина која е некорисна и достигнува до 30 % од корисната светлина.
- Енергијата на сончевата светлина се разликува на површината на земјата во зависност од аголот по кој паѓа светлината, па така во подрачјата блиски до екваторот имаме околу 2300 kWhm^{-2} се до подрачјата блиски до арктичкиот круг каде имаме околу 800 kWhm^{-2} .
- Треба да се нагласи дека небото ако не постои дифузната светлина треба да е

- црно (со исклучок на сонцето и ѕвездите) додека поради дифузијата на светлосните зраци со мали бранови должини (виолетова и сина) во горните слоеви на атмосферата, небото ја прима бојата на дифузната светлина.
- Аналогно на тоа кога се гледа директно во сонцето се забележуваат жолто црвените светлосни зраци кои директно паѓаат на земјината површина.

Пример: Директна светлина со среден интензитет од 200 Wm^{-2} паѓа нормално на соларна ќелија. Површината на соларната ќелија е $0,1 \text{ m}^2$. Да се пресмета вкупната енергија на зрачење во текот на еден ден во KW и MJ. Колку од енергијата ќе биде на располагање ако светлината паѓа под агол од 30° во однос на површината.

Моќноста на сончевата светлина се дефинира преку равенката:

$$P = \int \mathbf{I} \cdot d\mathbf{A} = |I| \cdot A_{\text{surf}} = 200 \cdot 0,1 = 20 \text{ W}$$

Енергијата на сончевата светлина за 24 часа е:

$$E = P \cdot t = 0,02 \text{ KW} \cdot 24 \text{ часа} = 0,48 \text{ KWh}$$

$$E = P \cdot t = 20 \text{ W} \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ секунди} = 1,73 \text{ MJ}$$

Ако сончевата светлина паѓа под агол од 30° во однос на површината тогаш енергијата на сончевата светлина за 24 часа е ќе се корегира за факторот $\cos 30^\circ$ и ќе се добие:

$$E = P \cdot t \cdot \cos 30^\circ = 0,42 \text{ KWh}$$

$$E = P \cdot t \cdot \cos 30^\circ = 1,50 \text{ MJ}$$

Пример: Светлина со среден интензитет од 500 Wm^{-2} и бранова должина од 510 nm (зелена) паѓа нормално на соларна ќелија. Да се пресмета светлосниот флуks на фотоните?

Енергијата на фотоните се пресметува со следната равенка:

$$\begin{aligned} E_\gamma &= h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240}{510} \text{ eV} = 2,43 \text{ eV} \\ &= 2,43 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 3,89 \cdot 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

каде:

h е планкова константа = $6.62606957 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg/s}$

c е брзина на светлината во вакуум = $299\,792\,458 \text{ m/s}$

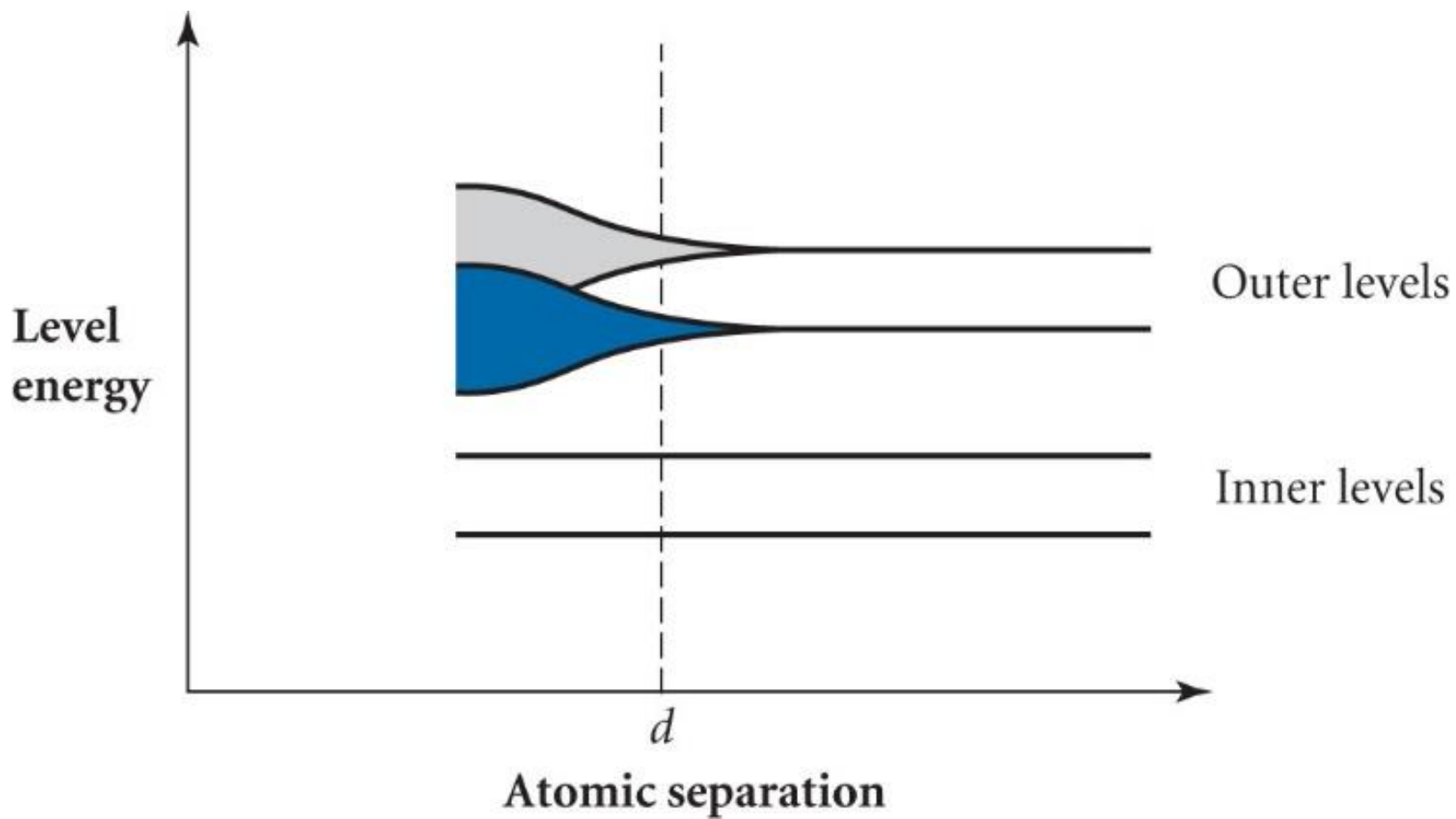
λ е брановата должина на светлината

Флуксот на фотони се пресметува преку равенката за интензитет на светлина:

$$F = \frac{I}{E_{\gamma}} = \frac{500}{3,89 \cdot 10^{-19}} = 1,29 \cdot 10^{21} \text{ фотони} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

6.2. ПОЛУПРОВОДНИЦИ

- Фотоволтаичните соларни келии најчесто се изработени од полупроводнички материјали.
- За да се разбере начинот на функционирање на полупроводните материјали треба да се дефинира што е проводник, што е изолатор а што е полупроводник.
- Проводници се оние материјали (најчесто метали) кај кои постојат голем број на слободни електрони во т.н. проводлив појас на атомите (најчесто надворешните орбити на електроните)

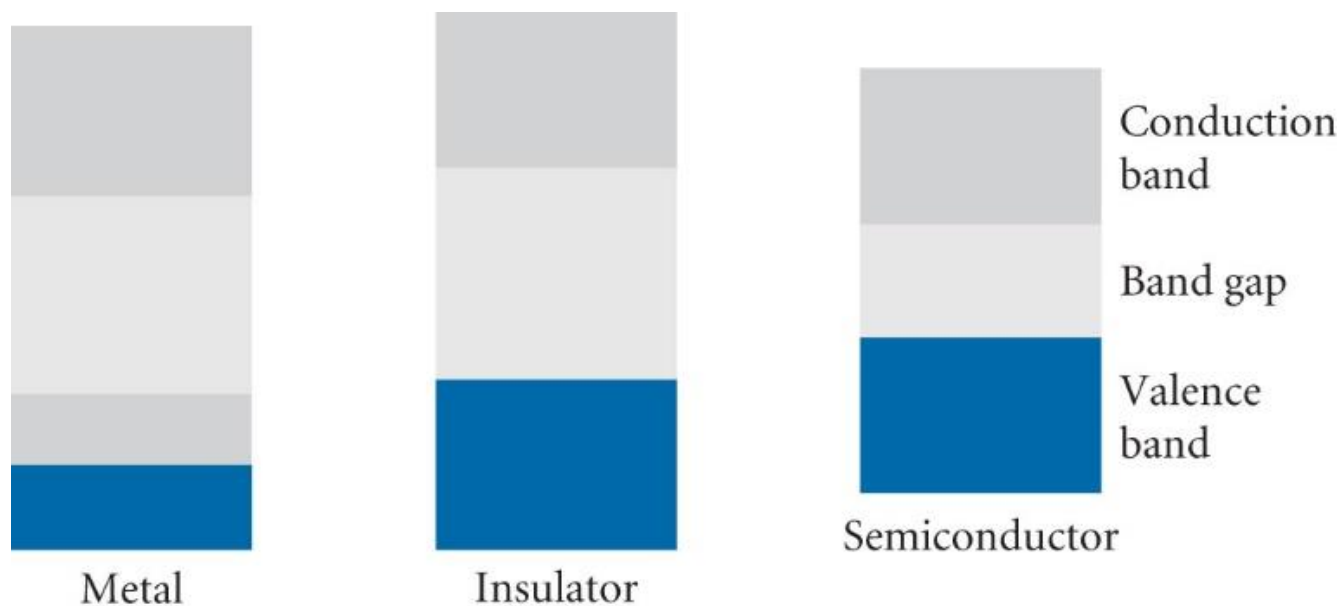


Енергетските нивоа како функција од растојаниете на атомското одделување

- Изолаторите пак се материјали кај кои надворешните електрони од спроводливиот појас градат цврсти ковалентни врски со соседните атоми, поради што не постојат слободни електрони и поради тоа е невозможно да има протекување на електрони низ изолаторот. Дополнително енергетските нивоа на последните два појаси (валентниот и проводливиот) во кои се наоѓаат електроните кај изолаторите се прилично оддалечени и оневозможуваат дури и при

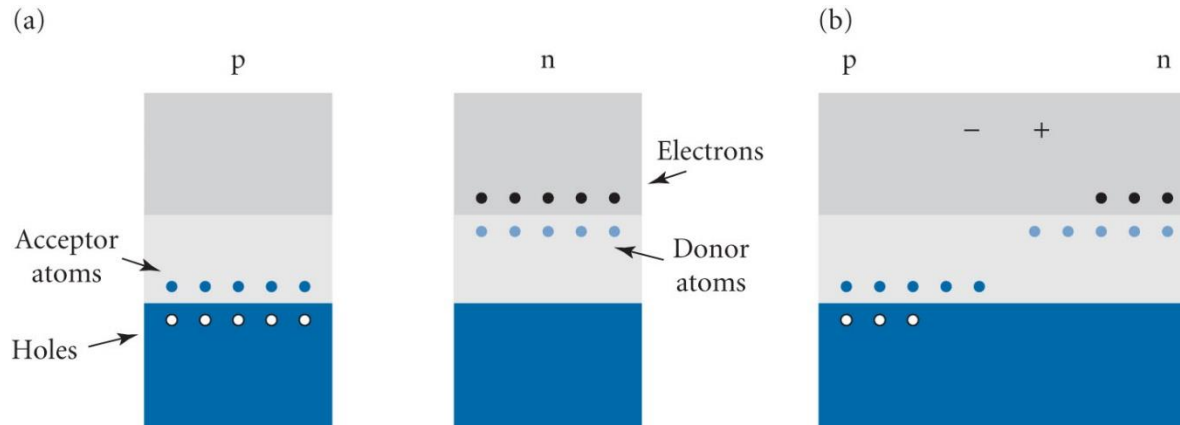
- внес на поголемо количество енергија да се ослободат електрони од ковалентните врски.
- Кај полупроводниците најчесто користените елементи се силициумот, германиумот и јаглеродот, кои во основната состојба се 4 валентни и градат правилни кристални решетки во кои нема слободи електрони, па поради тоа тие се изолатори.
- За да станат проводници, треба да се изврши постапка на т.н. Допингување т.е.

- внесување на мало количество на елементи кои се 3 или 5 валентни со што се нарушува основната кристална решетка и се ослободуваат или електрони (5 валентни, n-тип) или шуплини (3 валентни, p-тип).

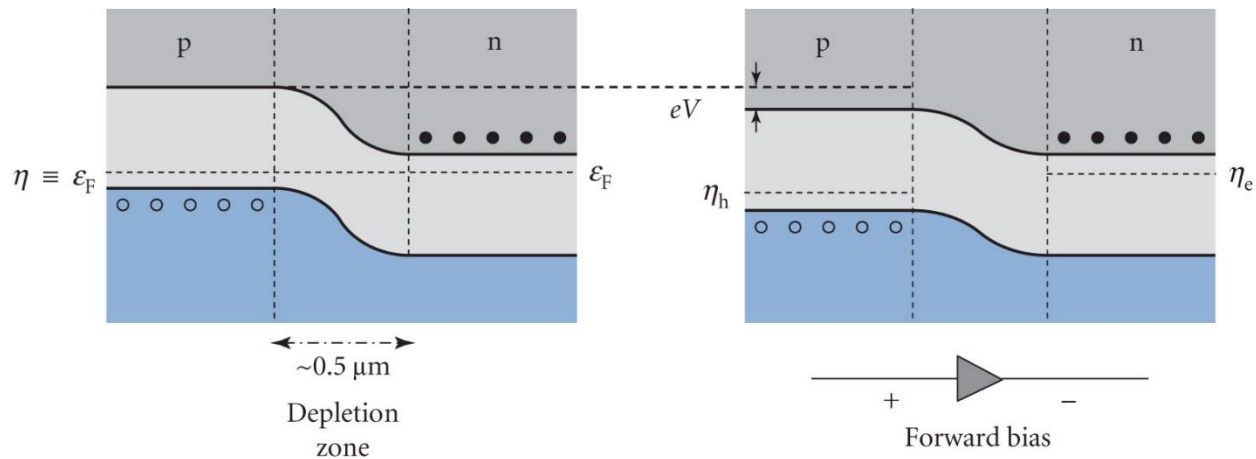


Позиција на појасите, растојанијата и структурата на проводник, изолатор и полупроводник

6.3. П-Н СПОЕВИ

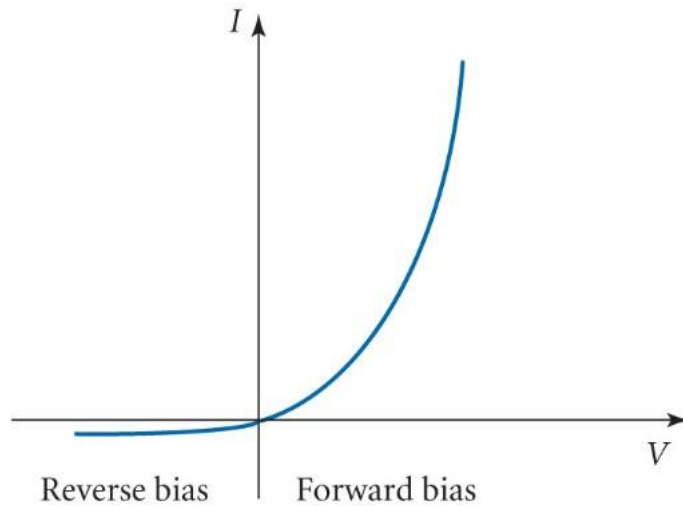


Материјали од типот П, Н и П-Н спој

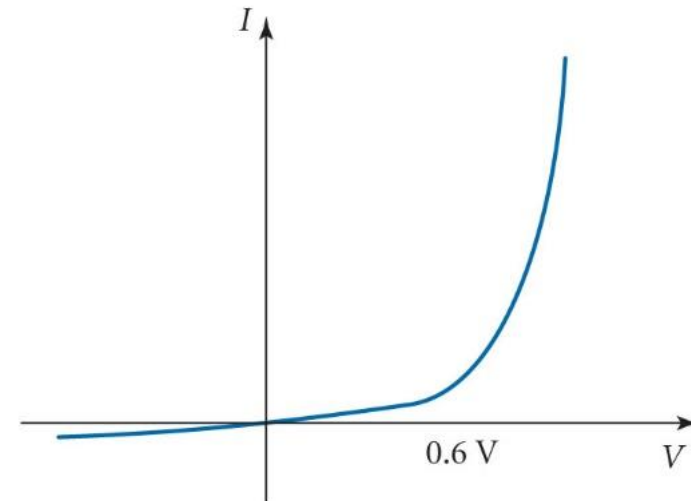


Енергетски нивоа и зона на осиромашување кај П-Н споевите.

(a)



(b)



Струјно напонски карактеристики на идеален и реален П-Н спој
(напон на побуда)

$$I = I_s \{ \exp(V/V_T) - 1 \} \quad (6.1)$$

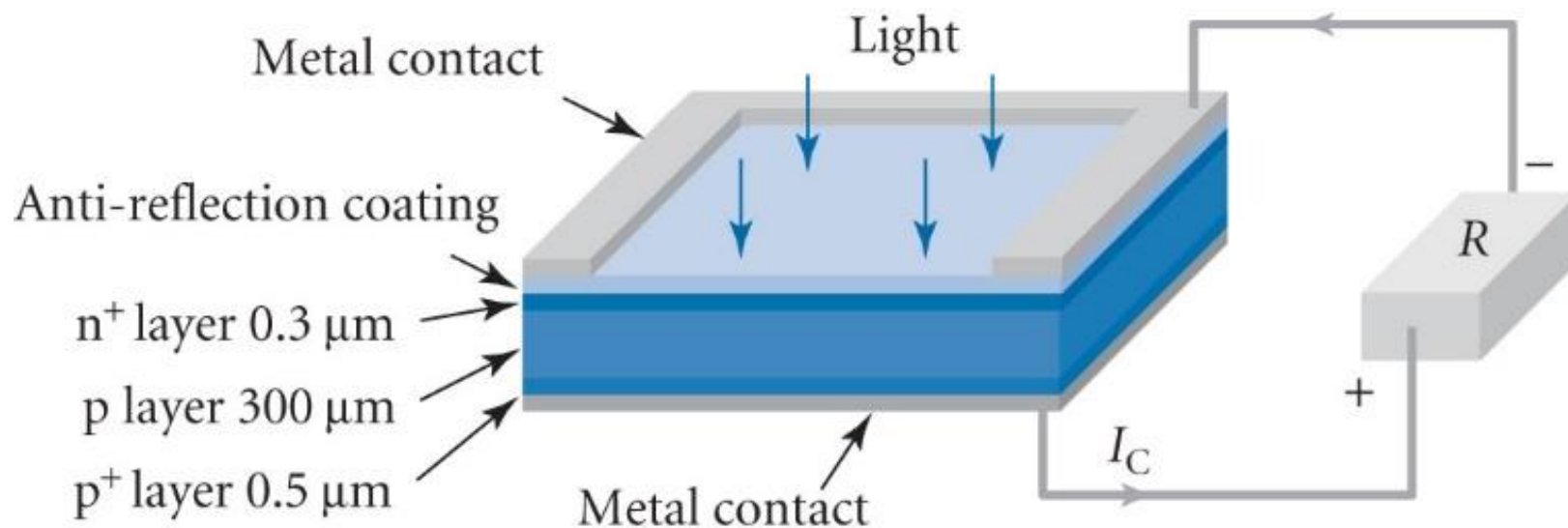
- Каде:
- I_s – струја на заситување
- $V_T = kT/|e|=0,026$ [V] – топлински напон кој зависи од болцмановата константа
- $k = 1,38 \times 10^{-23}$ [J/K]
- e претставува елементарен набој на електронот и е $1,60 \times 10^{-19}$ кулони

6.4. СОЛАРНИ ФОТОЌЕЛИИ

- Фотоволтаичните соларни келии најчесто се изработени од полупроводнички материјали.
- Кога светлината паѓа на полупроводнички П-Н спој, фотоните со повисоко ниво на енергија ($>1,1$ eV кај силициумот) можат да создадат парови електрон-шуплина кои преминуваат од валентна врска во проводлива врска (т.е. го менуваат енергетското ниво во атомот).
- Струјата низ фотоќелијата е:

$$I_C = I_L - I_S \left[\exp(V/V_T) - 1 \right] = I_L - I_S \left[\exp(I_C R / V_T) - 1 \right] \quad (6.2)$$

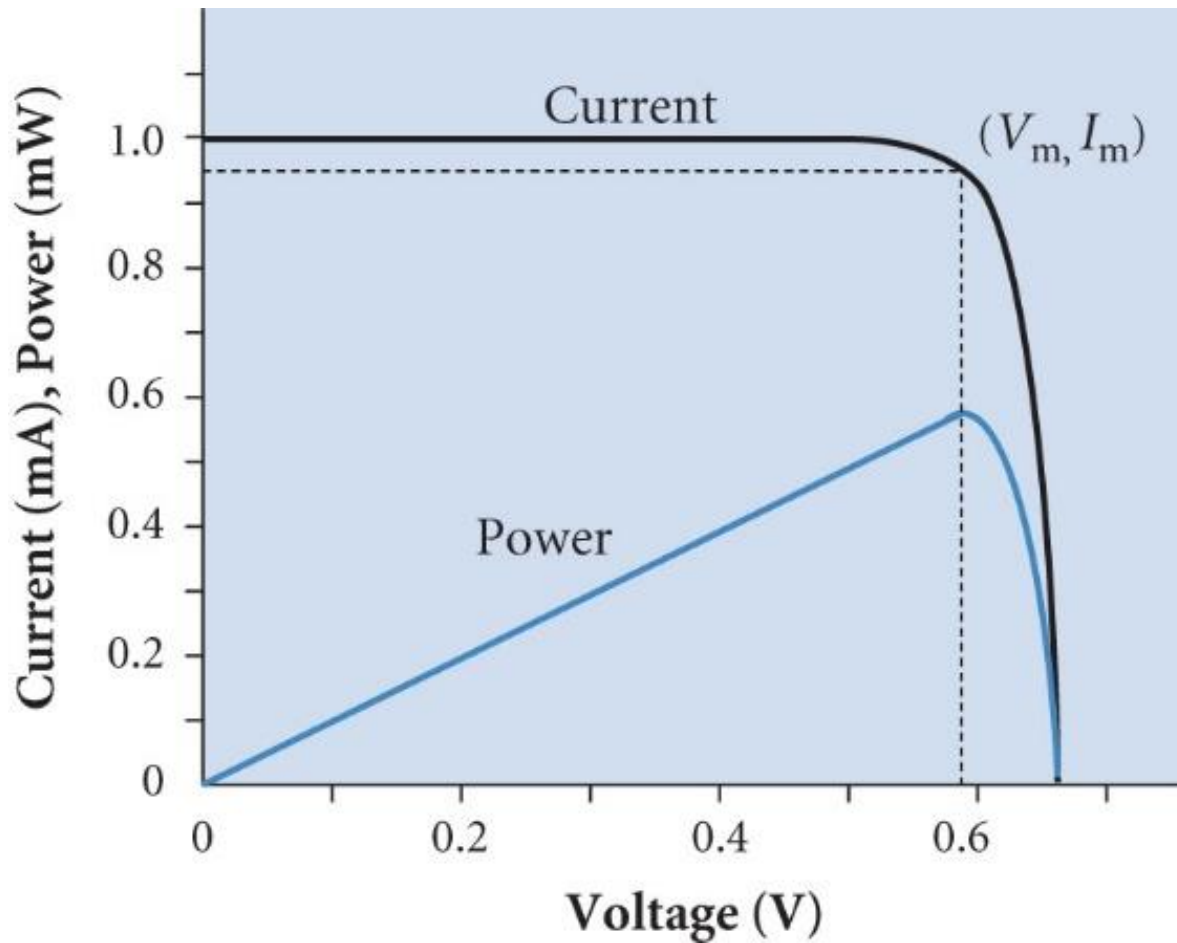
- I_L – инверзна струја предизвикана од светлината
- I_C – струја на фотоќелијата



- Функционална шема на соларната фотоќелија

- Кога R е бесконечно тогаш I_C е нула и напонот на отворено коло е:
- $V_{OC} = V_T \ln(1 + I_L/I_S) \approx V_T \ln(I_L/I_S) \quad (6.3)$
- Бидејќи $I_L \gg I_S$ тогаш напонот на отворено коло е помал од енергијата за преминување на парот електрон-шуплина на повисоко енергетско ниво.
- Кога R е нула тогаш и V е нула па струјата е I_L
- За конечен отпор R струјата на ќелијата создава моќност:

$$I_C = I_C V = I_C^2 R \quad (6.4)$$



- Карактеристика на соларната фотоќелија
- Фактор на исполнување $FF = P_m / (I_{sc} V_{oc})$ (6.5)

Table 6.1 I_C , P_C and V for cell with $I_{SC} = 1 \text{ mA}$, $I_S = 10^{-14} \text{ A}$

V (volts)	0.10	0.30	0.50	0.55	0.58	0.60	0.62	0.64	0.66
I_C (mA)	1.0	1.0	1.0	0.98	0.95	0.89	0.77	0.51	0.0
P_C (mW)	0.1	0.3	0.5	0.54	0.55	0.53	0.48	0.33	0.0

- Табела 6.1: карактеристични вредности за соларни ќелии
- Пример 6.3
- Фотоќелија има струја на заситување $I_S = 2 \times 10^{-12} \text{ A}$, струја на кратка врска $I_{SC} = 30 \text{ mA}$ и површина од 1 cm^2 . Да се пресмета максималната излезна моќност, факторот на исполнување и ефикасноста на конверзија на ќелијата. Да се пресмета отпорот за да се добие максимална моќност.

- Од равенка 6.3 го пресметуваме $V_{OC}=0,61$ V. Според равенка 6.2 и 6.4 се пресметуваат вредностите од следната табела:

V (V)	0.50	0.52	0.53	0.54	0.56
I (mA)	29.6	29.0	28.6	27.9	25.5
P (mW)	14.8	15.1	15.2	15.1	14.3

Максималната моќност изнесува 15.2 mW па од равенката 6.5 го пресметуваме $FF=83\%$

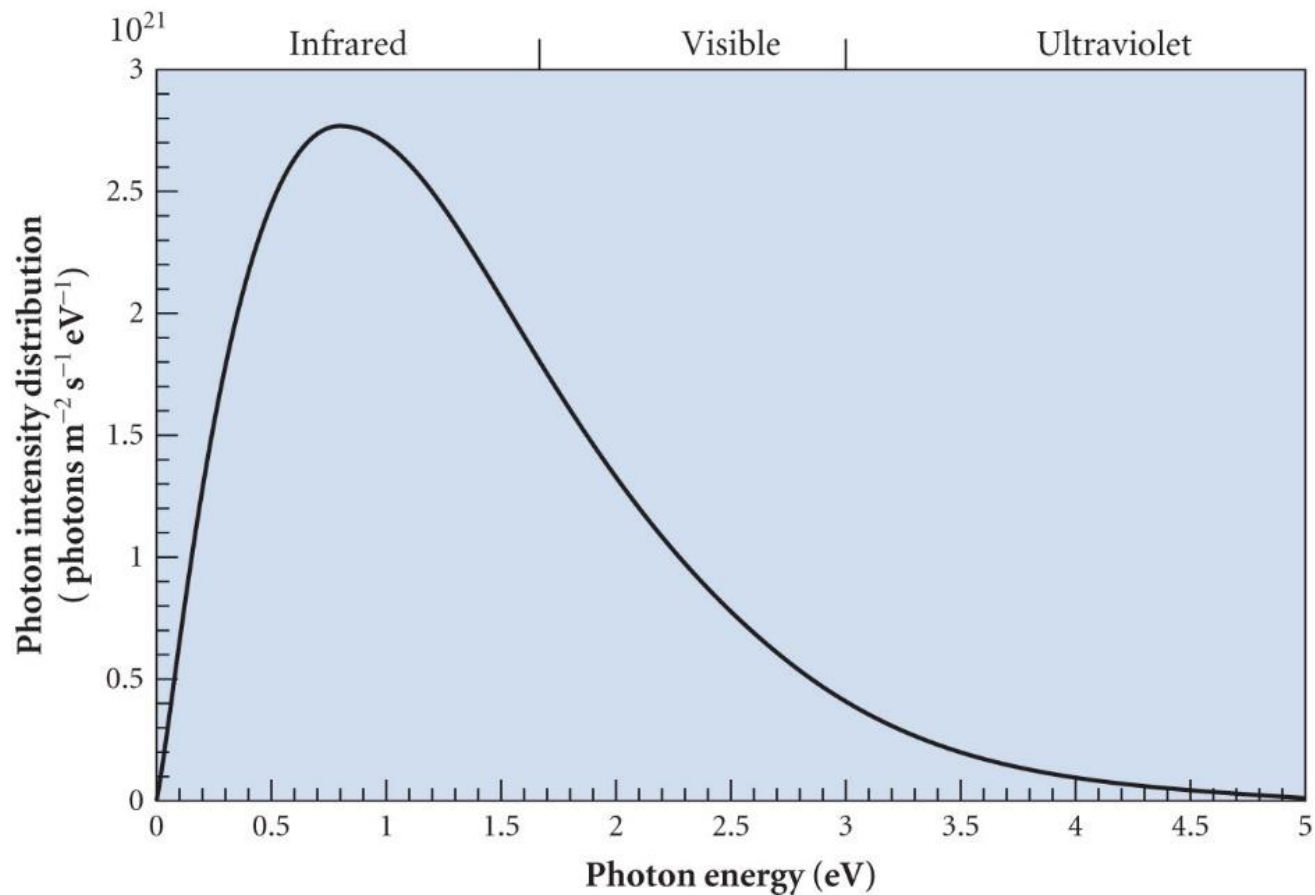
Ефикасноста на ќелијата е $15.2/100=0.152$

Отпорот е $R=V/I=18.5 \Omega$

6.5 Ефикасност на соларните ќелии

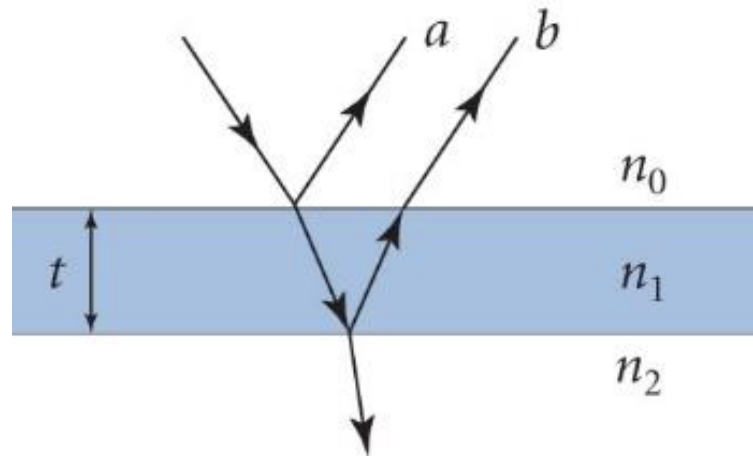
- Соларните ќелии имаат ефикасност помеѓу 10 и 30%
- Ефикасноста на конверзија се дефинира како искористена енергија (претворена) во однос на расположливата сончева енергија на единица површина што е приближно 100 mWcm^{-2} .
- Ефикасноста на конверзија е ниска поради повеќе причини меѓу кои:

- Не сите фотони имаат доволна енергија да создадат пар електрон – шуплина (23% од фотоните имаат пониска енергија од потребната види слика)



- Од останатите 77% од фотоните 30% се трансформираат во топлинска енергија, па остатокот од 47% е максималната расположлива енергија за конверзија.
- Второто ограничување е факторот на напон кој претставува минимален напон за ослободување на електрон и има вредност од 0.65
- Последната загуба е дека 10% од создадените парови електрон-шуплина се спојуваат.

- Заради рефрактивниот индекс на полупроводникот можни се големи загуби на сончева енергија поради рефлeksiја. Тоа се избегнува со користење на антирефлектирачка прекривка како на сликата



- Со користење на антирефлектирачка прекривка загубите поради рефлeksiја се намалуваат на 3-4%.

- Земајќи ги во предвид сите фактори на намалување на енергијата која се конвертира можеме да дојдеме до вкупната ефикасност која е помала од 30%.
- Оптималната вредност на E_{gap} е 1.4 eV, и таква енергија на процеп имаат следните полупроводници GaAs и CdTe.