100 年特種考試地方政府公務人員考試試題　　代號：34030　　全一頁

等　　別：三等考試
類　　科：電子工程
科　　目：半導體工程
考試時間：2 小時　　座號：＿＿＿＿＿＿

※注意：(一)可以使用電子計算器。
(二)不必抄題，作答時請將試題題號及答案依照順序寫在試卷上，於本試題上作答者，不予計分。

一、在熱生長 SiO_2 機制中，SiO_2 厚度 X 與生長時間 t 之關係式為 $X^2+AX=B(t+\tau)$，其中 τ 為 $t=0$ 時初始厚度 X_o 所需之相對應生長時間，已知 $A=0.1\ \mu m$，$B=0.01\ \mu m^2/hr$，$X_o=0.01\ \mu m$，請求出再生長 2 hr 後之總氧化層厚度為多少？（20 分）

二、已知矽晶體鑽石結構之晶格常數（lattice constant）為 5.43×10^{-8} cm，請繪出矽晶體中矽原子與四個相鄰原子間之空間關係圖，並求出相鄰兩原子間之距離為多少？（15 分）

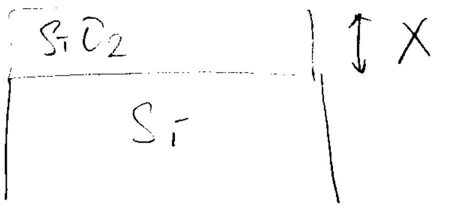
三、在矽材料中已知常溫下之本質載子濃度 $n_i=1.5\times10^{10}\ cm^{-3}$，$1kT/q=0.0259$ V，$q=1.6\times10^{-19}$ C，熱平衡下之電洞濃度 $p_o=5\times10^{10}\ cm^{-3}$，電洞之位移率 $\mu_p=850\ cm^2/V\cdot S$，電子之位移率 $\mu_n=120\ cm^2/V\cdot S$，請求出該材料之熱平衡電子濃度 $n_o=$？電阻率（resistivity）$\rho=$？（15 分）

四、在理想 p-n 接合面中，假設流入空乏區之電流等於流出之電流，p 區與 n 區之摻雜濃度比值為 $N_A/N_D=5$，電洞與電子之擴散係數（diffusion coefficient）比值為 $D_p/D_n=1/2$，擴散長度（diffusion length）比值為 $L_p/L_n=1/3$，請求出在順偏壓下空乏區內電洞與電子電流之比值 $I_p/I_n=$？（20 分）

五、在雙極性電晶體 n^+pn 中，令（n_{Eo}，p_{Eo}）、（n_{Bo}，p_{Bo}）、（n_{Co}，p_{Co}）分別為射極、基極、集極於熱平衡時之（電子，電洞）濃度，W_{EB}、W_{BC} 分別為射基極與基集極間之空乏區寬度，當工作於順向作用（forward active）區時，請繪出元件各區域之電子濃度 n(x) 與電洞濃度 p(x) 之分布曲線圖。（15 分）

六、p-n 結構太陽電池之面積為 $A=2\ cm^2$，在入射光功率為 $P_{in}=100\ mW/cm^2$ 之照射下，已知光電功率轉換效率為 12%，開路電壓為 $V_{oc}=0.5$ V，短路電流密度為 $J_{sc}=30\ mA/cm^2$，請求出該元件之填充因素（fill factor）FF =？照光下光電流是由 p 或 n 端流出元件？（15 分）

一、



$$X^2+AX=B(t+\tau) \underset{t=0}{\Rightarrow} X_0^2+AX_0=B\tau \quad —(2)$$

$$A=0.1\,\mu m,\quad B=0.01\,\frac{\mu m^2}{hr},\quad X_0=0.01\,\mu m$$

$$\therefore eq(2)\quad (0.01\mu m)^2+0.1\mu m\cdot 0.01\mu m=0.01\frac{\mu m^2}{hr}\tau$$
$$=2\cdot(0.01\mu m)^2$$

$$\therefore \tau=\frac{2(0.01\mu m)^2}{0.01\left(\frac{\mu m^2}{hr}\right)}=0.02\,hr$$

$$\therefore X^2+AX=\left(0.01\frac{\mu m^2}{hr}\right)(2hr+0.02hr)$$

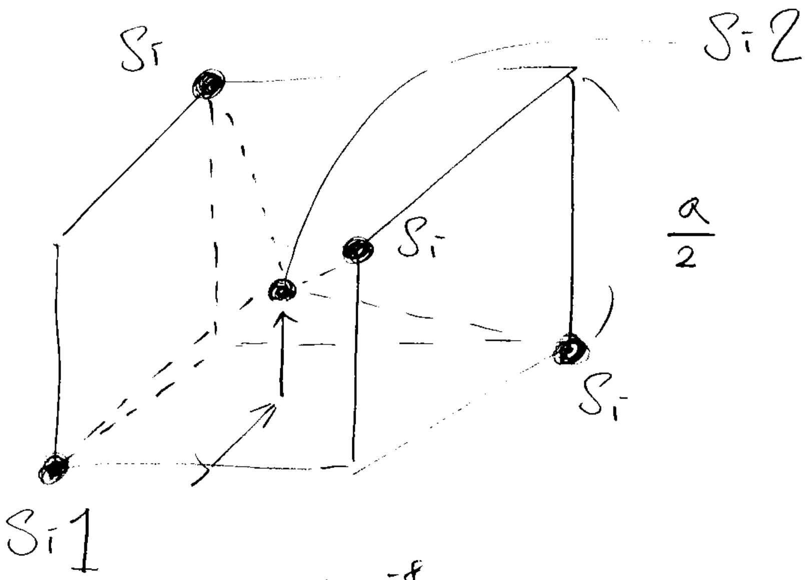
$$=X^2+0.1\mu m\,X=0.0202\,\mu m^2$$

$$\therefore X=\frac{-0.1\mu m+\sqrt{(0.1\mu m)^2+4\cdot 0.0202\,\mu m^2}}{2}$$

$$=\frac{-0.1\,\mu m+0.30133\,\mu m}{2}=0.1006\,\mu m$$

∴ 總氧化層 $=X+X_0=0.1006+0.01=0.1106\,\mu m$

二、



$a = 5.43 \times 10^{-8}\,cm$

設 Si1 座標 $(0, 0, 0)$

Si2 座標 $\left(\frac{a}{4}, \frac{a}{4}, \frac{a}{4}\right)$

∴ 距離 $= \sqrt{\left(\frac{a}{4}\right)^2 + \left(\frac{a}{4}\right)^2 + \left(\frac{a}{4}\right)^2}$

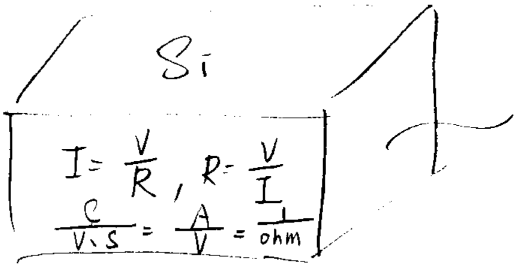
$= \frac{a}{4}\sqrt{3}$

$= \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot 5.43 \times 10^{-8}\,cm = 2.351 \times 10^{-8}\,cm$

$= 2.351 \times 10^{-10}\,m = 2.351\,\mathring{A}$

注意：鑽石結構的堆積僅 $\frac{\sqrt{3}\pi}{16} \sim 34\%$
是相當空的結構但其在最新的摩斯
硬度还是最高者15等級（舊制者等級10）

三、



$n_i = 1.5\times10^{10}\ cm^{-3}$

$\frac{1KT}{q} = 0.0259\ V = 25.9\ mV$

$q = 1.6\times10^{-19}\ C$

$p_o = 5\times10^{10}\ cm^{-3}$

$\mu_p = 850\ \frac{cm^2}{VS}$, $\mu_n = 120\ \frac{cm^2}{VS}$

$$n_i^2 = n_o p_o = N_c e^{-\left(\frac{E_c - E_{Fi}}{KT}\right)} \cdot N_v e^{-\left(\frac{E_{Fi} - E_v}{KT}\right)}$$

$$= N_c N_v e^{-\left(\frac{E_c - E_v}{KT}\right)} = N_c N_v e^{-\frac{E_g}{KT}}$$

$$\therefore n_o = \frac{n_i^2}{p_o} = \frac{(1.5\times10^{10}\ cm^{-3})^2}{5\times10^{10}\ cm^{-3}} = 0.45\times10^{10}\ cm^{-3}$$

$$= 4.5\times10^{9}\ cm^{-3}$$

$$\vec{J}_{drf} = e(\mu_n n + \mu_p p)\vec{E} = \sigma\vec{E} \quad \therefore \sigma = e(\mu_n n + \mu_p p)$$

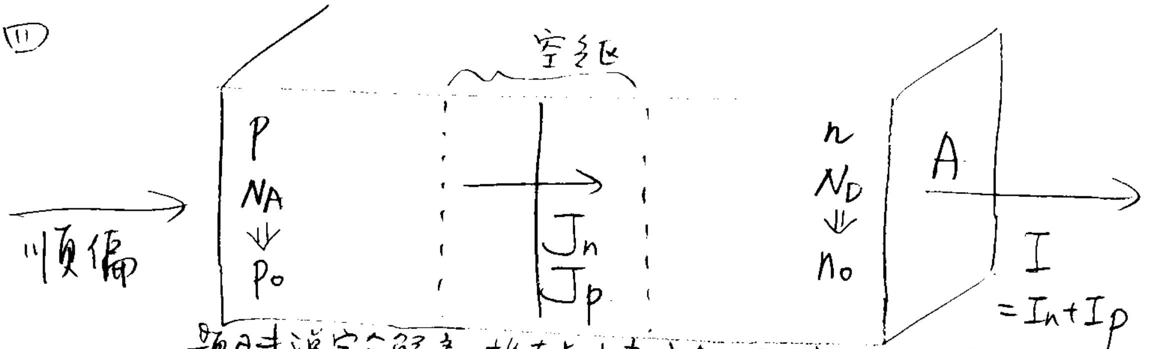
$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{e(\mu_n n + \mu_p p)} \quad (ohm\text{-}cm)$$

$$= \frac{1}{(1.6\times10^{-19}\ C)\left[120\ \frac{cm^2}{VS}\cdot 4.5\times10^{9}\ cm^{-3} + 850\ \frac{cm^2}{VS}\cdot 5\times10^{10}\ cm^{-3}\right]}$$

$$= \frac{1}{(1.6\times10^{-19}\ C)\left[5.4\times10^{11}\ \frac{1}{V\cdot s\cdot cm} + 425\times10^{11}\ \frac{1}{V\cdot s\cdot cm}\right]} = 1.452\times10^{5}\ ohm\cdot cm$$

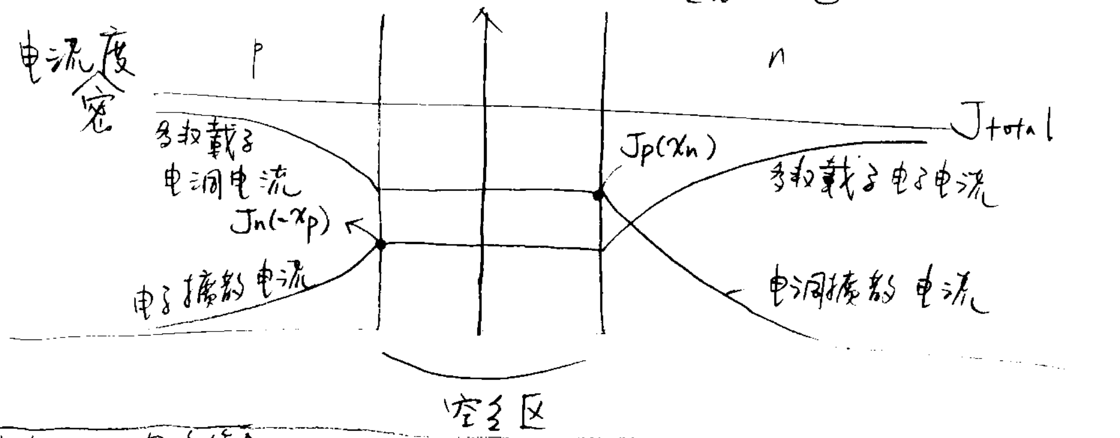
∴電阻率為 $145.2\ kohm\cdot cm$

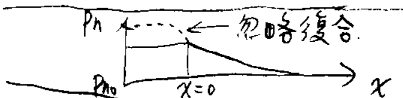
(四)



题目未说完全解离，故有可能未尽完全，但假设完全解离 ∴ $N_A=p_o$，$N_D=n_o$

$$\frac{N_A}{N_D}=5\ ,\quad \frac{D_p}{D_n}=\frac{1}{2}\ ,\quad \frac{L_p}{L_n}=\frac{1}{3}$$

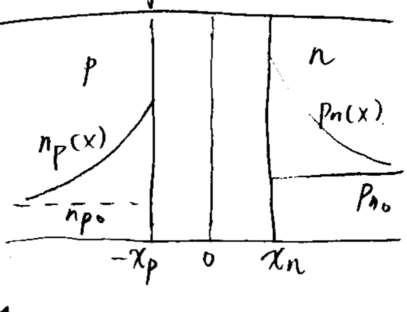




⇓ 题目假设流入空乏区的电流等于流出的电流，所以用理想接面电流公式即可不用考虑产生－复合电流。

$$\therefore J_p(x_n)=\frac{eD_p p_{no}}{L_p}\left[e^{\frac{eV_a}{kT}}-1\right]$$

$$J_n(-x_p)=\frac{eD_n n_{po}}{L_n}\left[e^{\frac{eV_a}{kT}}-1\right]$$



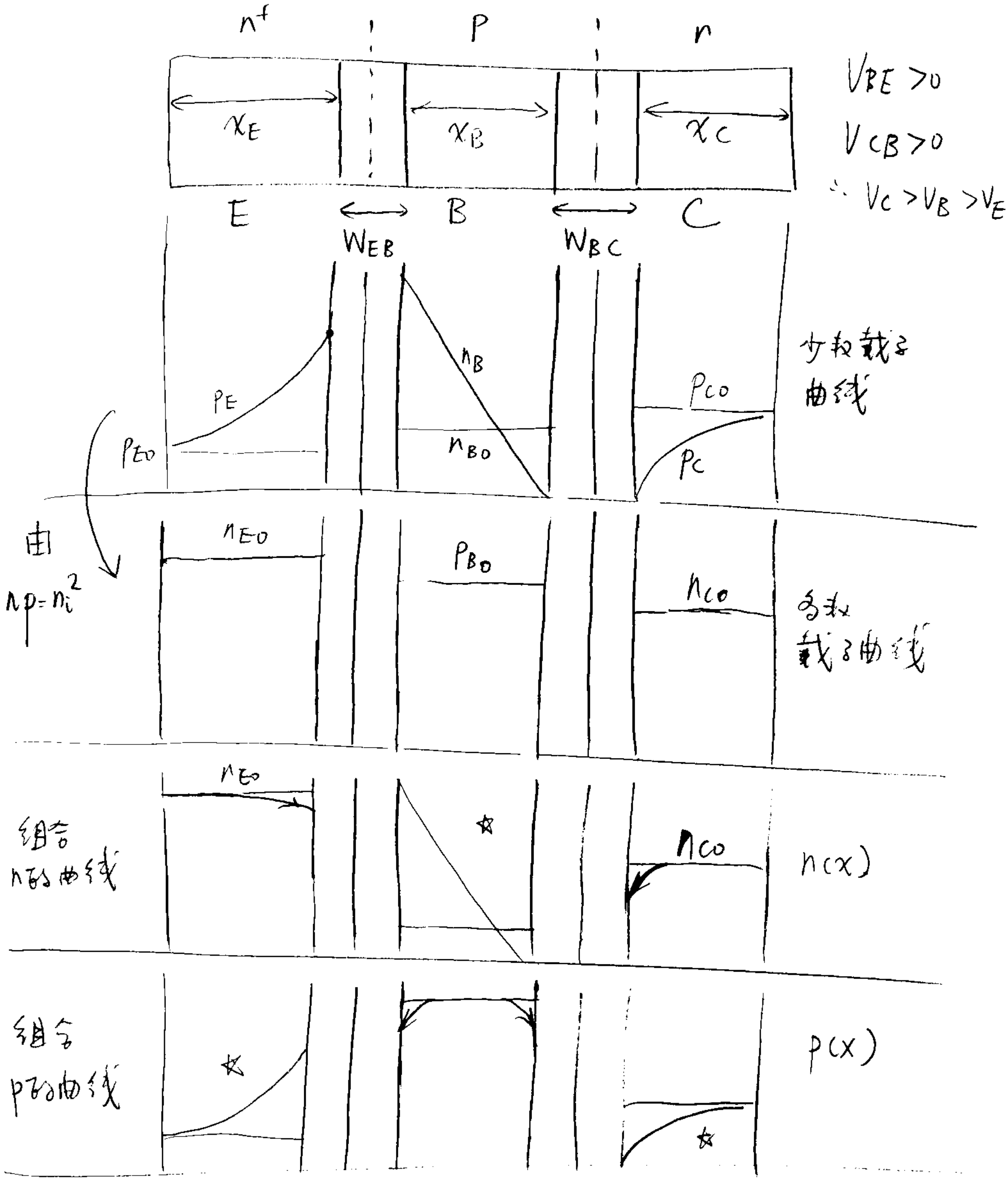
$$\therefore \frac{I_p}{I_n}=\frac{AJ_p}{AJ_n}=\frac{J_p}{J_n}=\frac{\frac{eD_p p_{no}}{L_p}\left[e^{\frac{eV_a}{kT}}-1\right]}{\frac{eD_n n_{po}}{L_n}\left[e^{\frac{eV_a}{kT}}-1\right]}=\frac{D_p}{D_n}\cdot\frac{p_{no}}{n_{po}}\cdot\frac{L_n}{L_p}$$

$$=\frac{D_p}{D_n}\cdot\frac{L_n}{L_p}\cdot\frac{\frac{n_i^2}{n_o}}{\frac{n_i^2}{p_o}}=\frac{D_p}{D_n}\frac{L_n}{L_p}\frac{p_o}{n_o}\underset{\text{完全解离}}{=}\frac{D_p}{D_n}\frac{L_n}{L_p}\frac{N_A}{N_D}=\frac{1}{2}\cdot 3\cdot 5=7.5$$

∴比值为 7.5

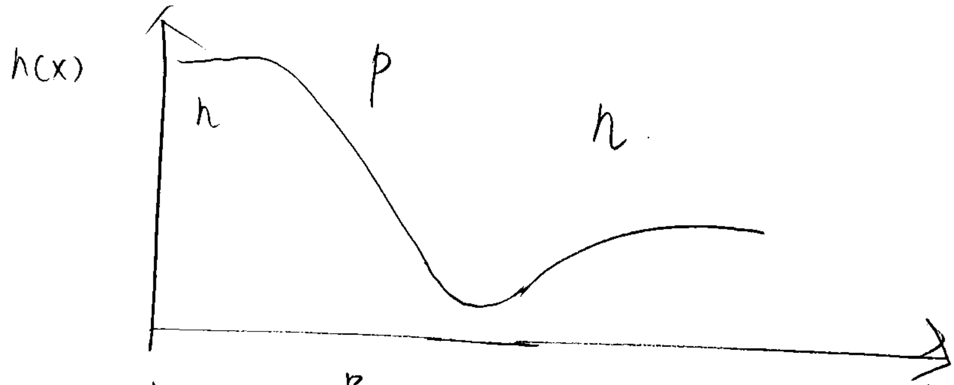
五.(1)

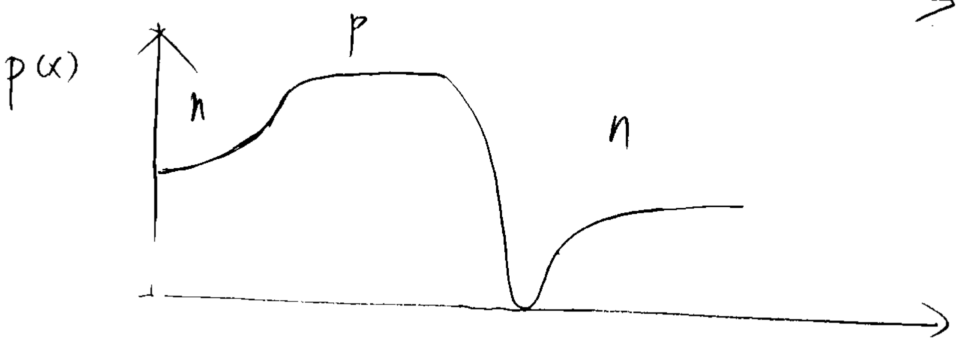
順向操作: n^+pn


n+
P
n
xE
xB
xC
VBE>0
VCB>0
∴ VC>VB>VE
E
B
C
WEB
WBC
pE
pEo
nB
nBo
pCo
pC
少數載子曲線
由
np=ni2
nEo
pBo
nCo
多數載子曲線
組合n的曲線
nEo
nCo
n(x)
組合p的曲線
p(x)

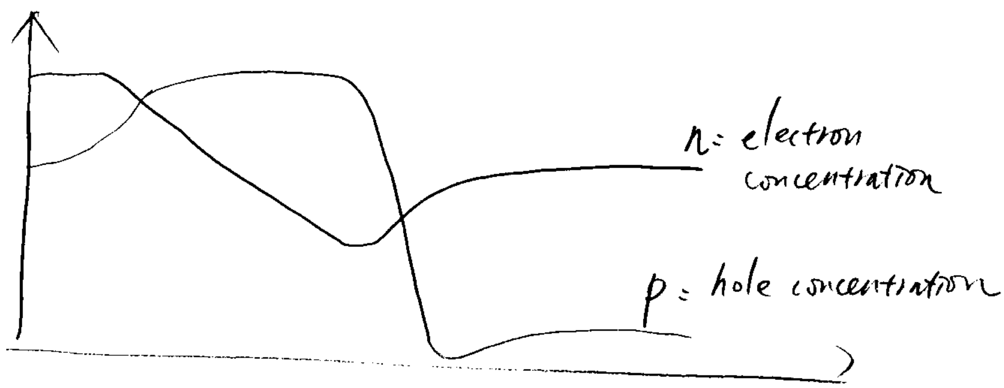
五(2)

畫在一起要有想像力且要小心



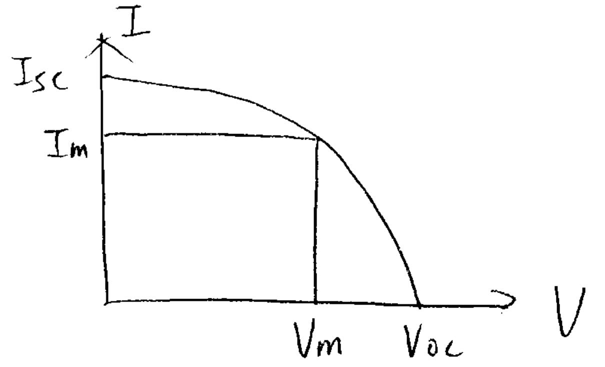


也畫在一起



六 $A = 2\,cm^2$, $P_{in} = 100\,\dfrac{mW}{cm^2}$

效率 $= 12\%$, $V_{oc} = 0.5V$, $J_{sc} = 30\,\dfrac{mA}{cm^2}$



$P = IV$

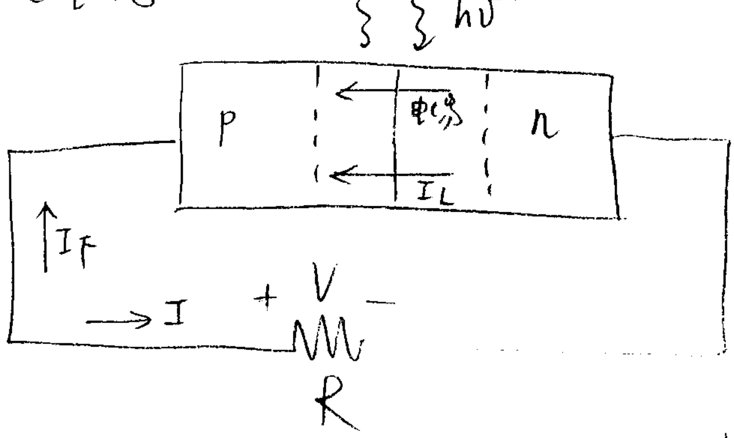
$$\begin{cases} \eta = \dfrac{P_m}{P_{in}} = \dfrac{I_m V_m}{P_{in}} \\ I_{sc} = J_{sc} \cdot A \end{cases}$$

$$FF = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}} = \frac{P_{in} \cdot \eta}{I_{sc} V_{oc}} = \frac{\left(100\,\frac{mW}{cm^2}\right)(12\%) \cdot 2\,cm^2}{\left(30\,\frac{mA}{cm^2} \cdot 2\,cm^2\right) \cdot 0.5\,V}$$

$$= \frac{2 \cdot 100 \cdot \cancel{10^{-3}} \cdot 0.12}{30 \cdot \cancel{10^{-3}} \cdot 2 \cdot 0.5} \quad \frac{W}{(A \cdot V)}$$

$$= 0.8 = 80\%$$

照光的光電流：



光電流 I_L 很明顯由 p端 流出元件，且永為逆向偏壓方向，故提供功率元件