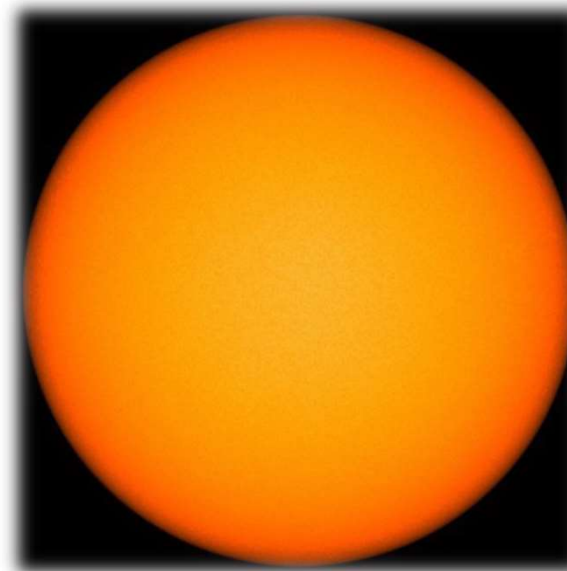
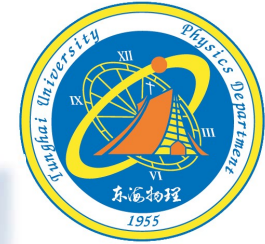


太陽能電池



<https://www.nasa.gov/sun>



綠能：
綠色能源 (Green Energy)

- 太陽能
- 風
- 潮汐
- 地熱



- 1- 對環境相對友善
- 2- 低溫室氣體排放
- 3- 可藉由大自然的循環來產生源源不絕的能源
- 4- 不會造成環境污染

又被稱『潔淨能源』或『再生能源』



歐盟把核能、天然氣都列「過渡性」綠能



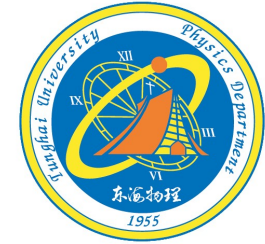
太陽能 (Solar Energy)

太陽能是指太陽內部連續不斷的**核聚變**反應過程產生的能量。

儘管太陽輻射到地球大氣層的能量
僅為其總輻射能量(約為 3.75×10^{26} W) 的22億分之一，
但已高達 1.73×10^{17} W = 1.73×10^{14} kW.

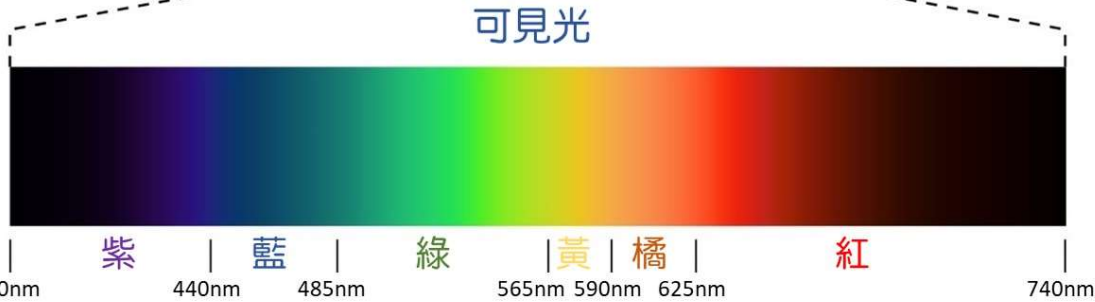
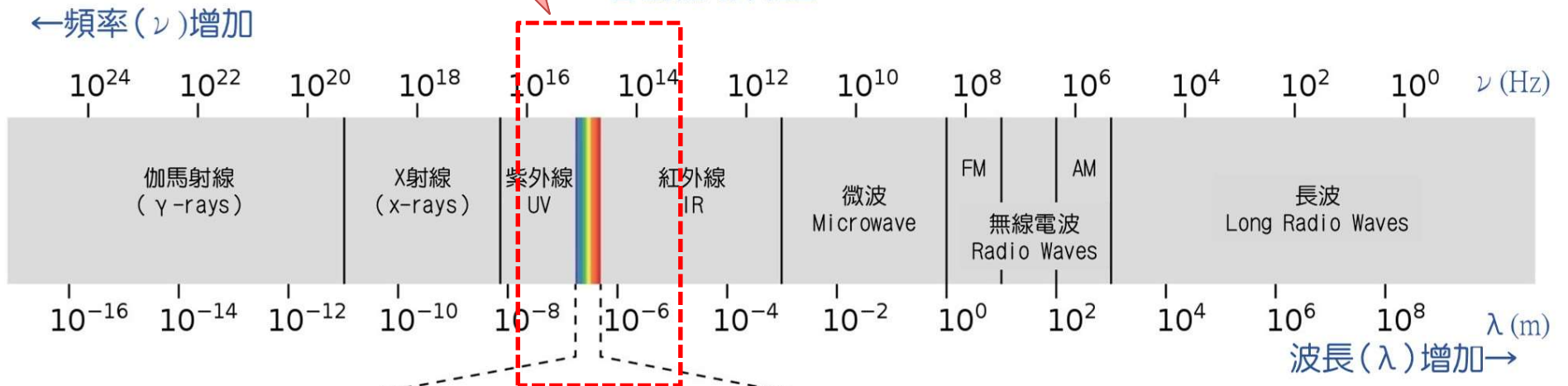
也就是說太陽每秒鐘照射到地球上的能量就相當於 500萬噸煤，遠遠超過地球上一天所使用的能量。

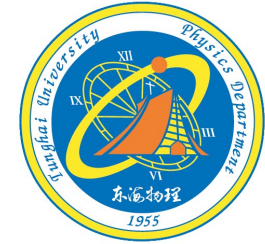




太陽光譜

電磁波頻譜

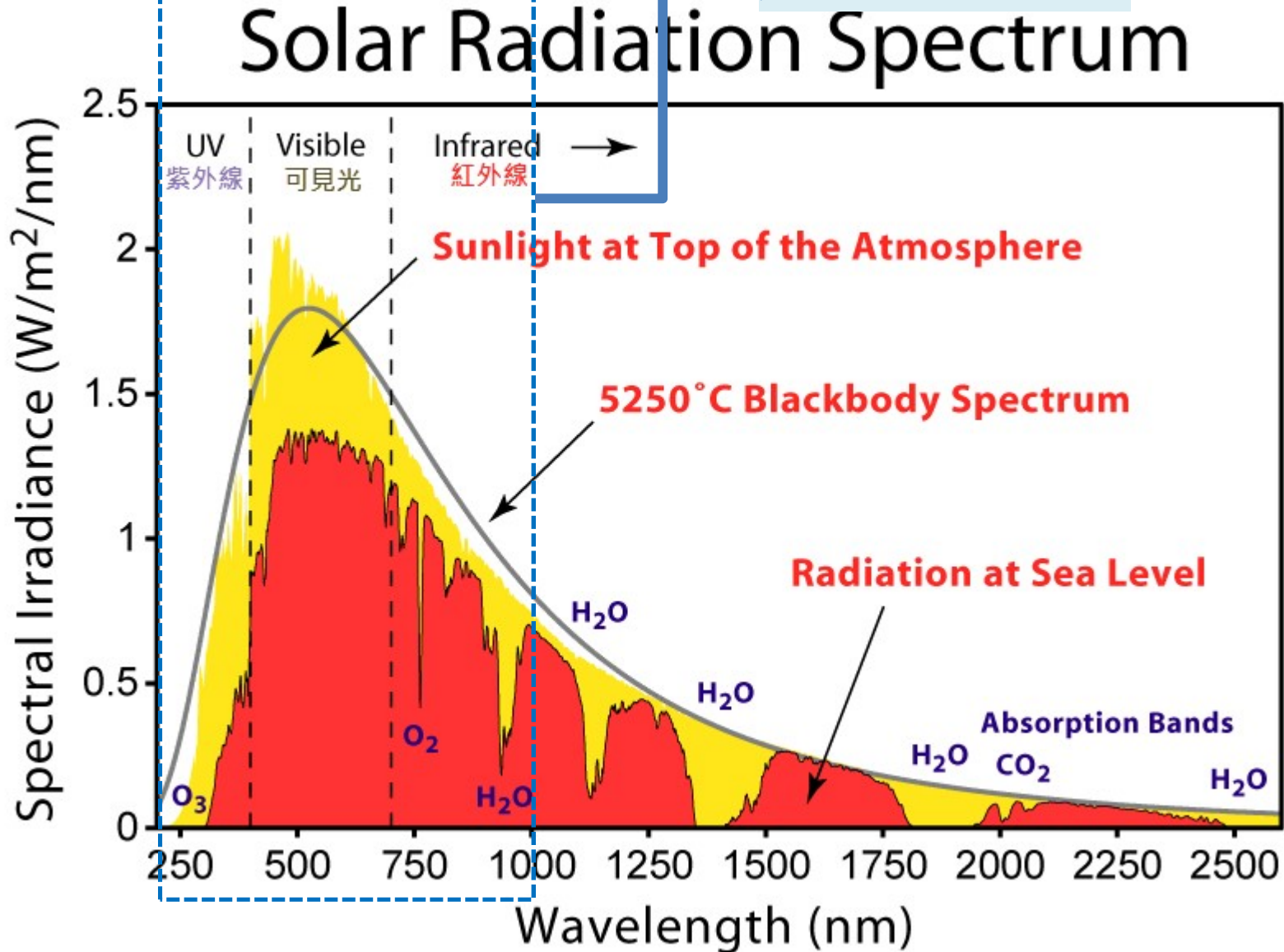




太陽輻射光譜

太陽電池吸收0.2 μm~1 μm波長的太陽光

(200nm-1000nm)



關於太陽能的幾個專有名詞：

日射強度 (insolation intensity)

單位時間單位面積所獲得的能量： kW/m^2

光伏 (Photovoltaic)

光是一種能量

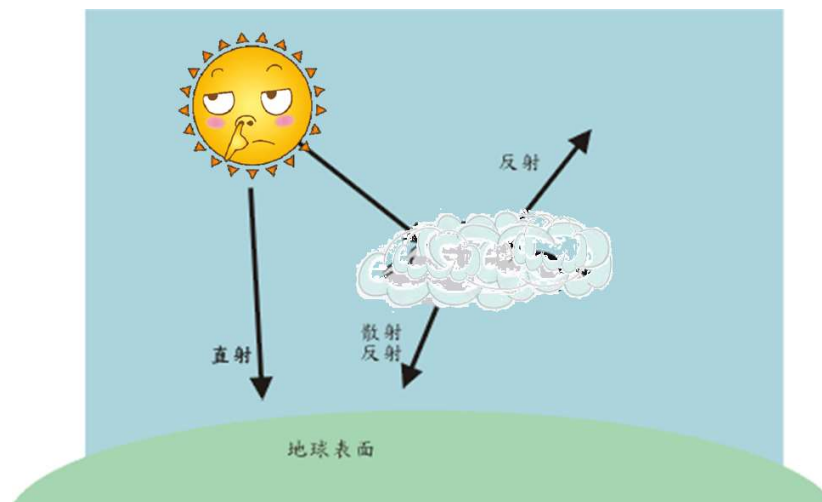
能將光能轉換為電能即為光伏 (Photovoltaic) 作用

太陽能電池 (Solar Cells)

能將太陽光能轉換為電能即為太陽能電池 (Solar Cells)

與光伏作用相同，因此可與光伏元件互用

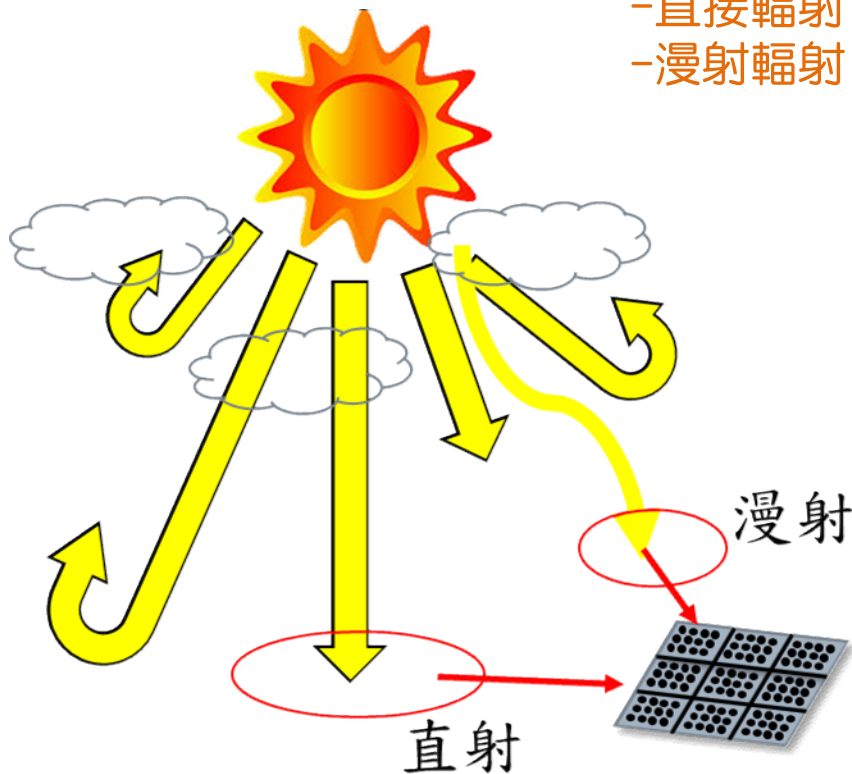
唯光伏組件通常表示面積較大，由眾多太陽能電池組成之群組。



日射強度 (insolation intensity)

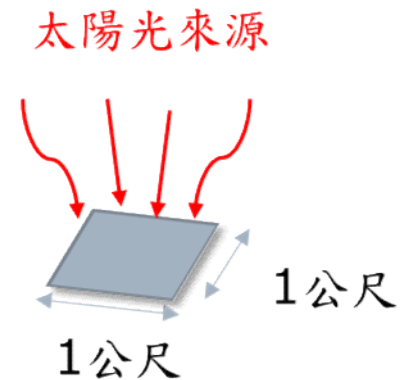
日射強度 (insolation intensity) 是指來自太陽光照射強度由太陽表面經太空、大氣層至地球表面之輻射能，波長由近紫外線至近紅外線 (300 - 4000 nm) 間所有直射、散射及反射等光波之總稱。

- 全天空輻射 (Global radiation)
- 直接輻射 (direct radiation)
- 漫射輻射 (diffused radiation)



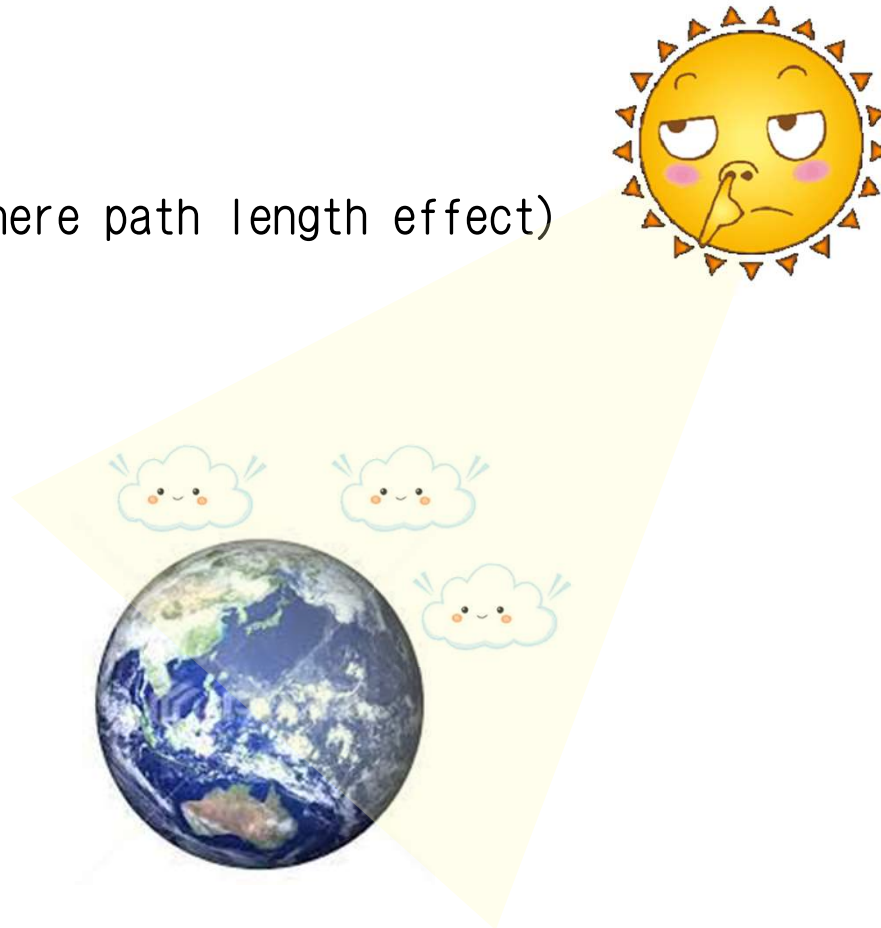
單位時間單位面積所獲得的能量： kW/m^2

地球表面所接收到直射光最強，陰雨天雖無直射光到達，經大氣層、雲層多次反射及散射之輻射能也不容忽視，對光伏組件也能夠有生電作用。



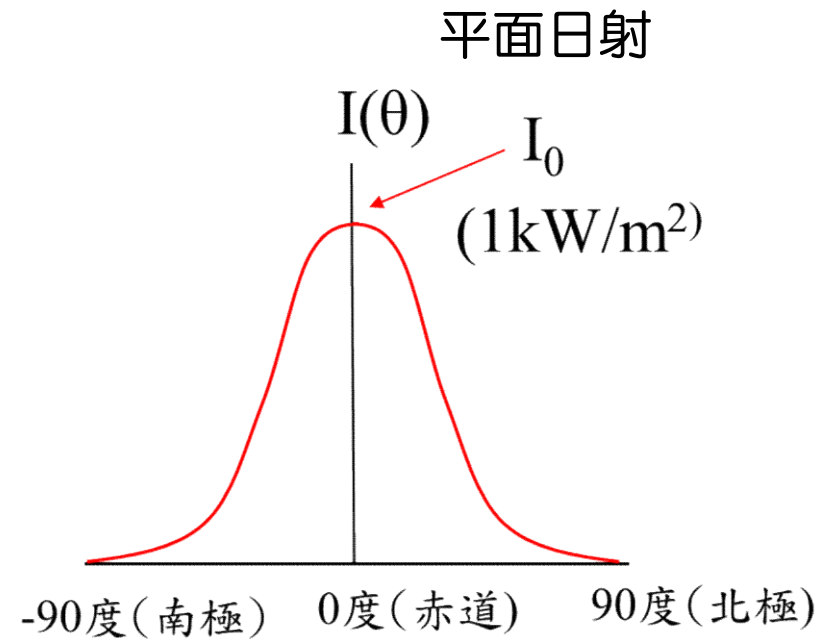
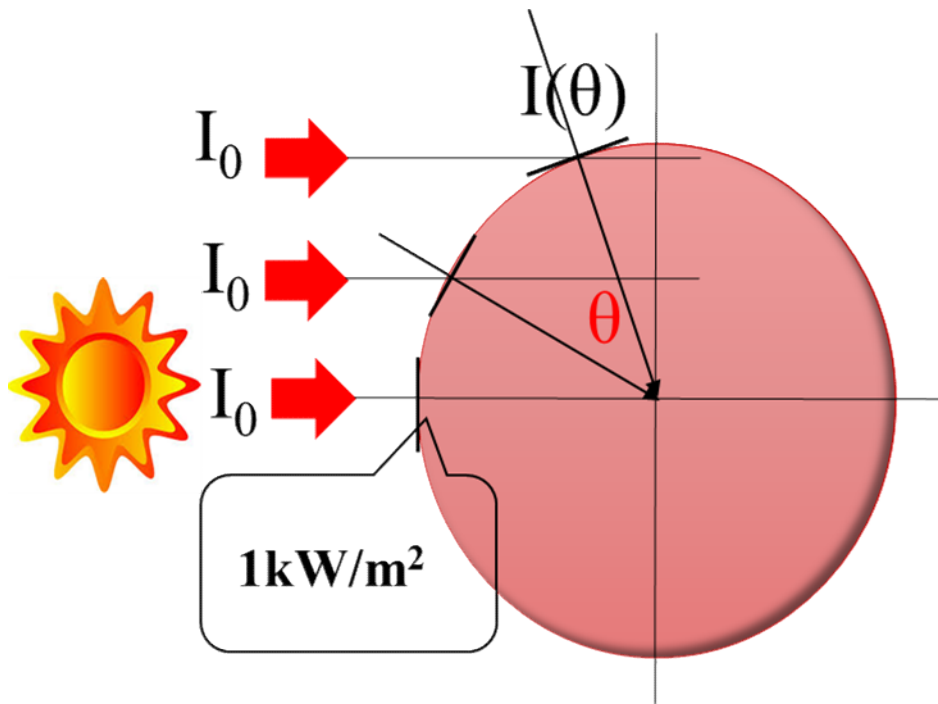
影響日射強度因素

- 緯度(local attitude effect)
赤道、熱帶
亞熱帶、溫帶、寒帶
- 大氣質量(Air mass, Atmosphere path length effect)
太陽直射、斜射到地面
- 季節(Seasonal effect)
春、夏、秋、冬
- 氣候(Weather effect)
晴天、陰天、雨天
- 遮陰(Shading effect)
雲、建築物、樹



緯度效應 (local attitude effect)

$$I(\theta) = I_0 \cos \theta \quad (\theta: \text{緯度})$$

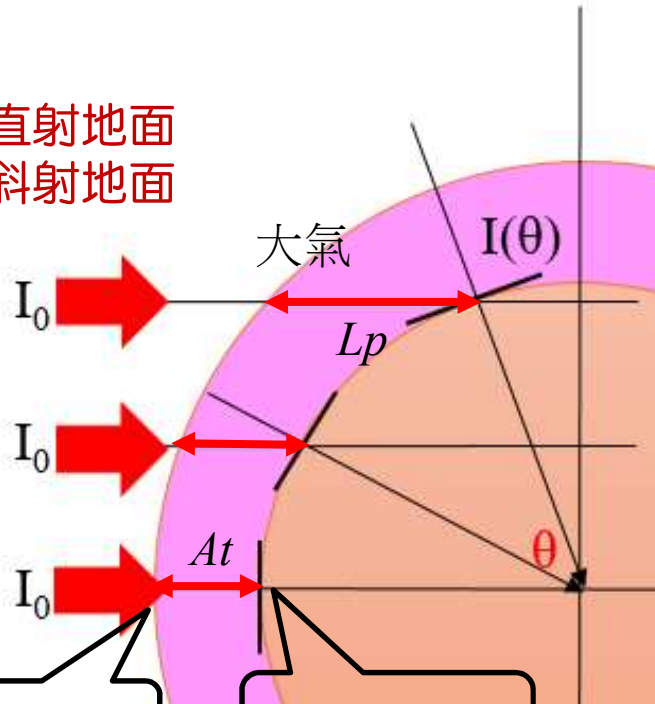




大氣質量 (Air Mass)

太陽

直射地面
斜射地面



1.37kW/m²

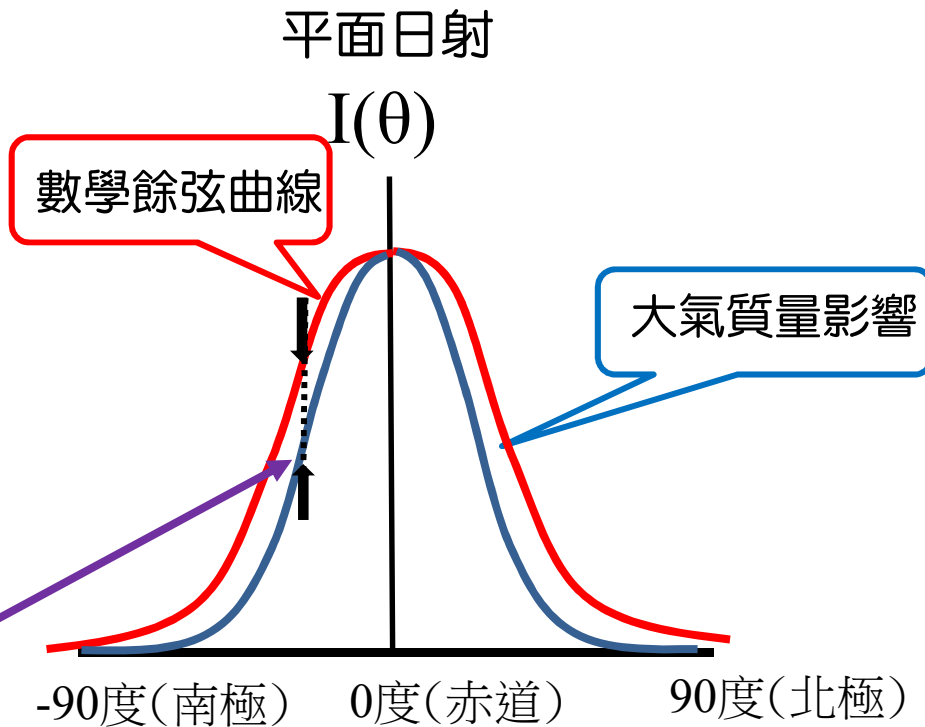
1.0kW/m²

“在大氣中行經長度”
與所在緯度有關聯



大氣質量效應

$$\text{大氣質量(air Mass)} = \frac{\text{在大氣中行經長度}(L_p)}{\text{大氣層厚度}(At)}$$





季節效應



6月

5月/7月

4月/8月

3月/9月

2月/10月

1月/11月

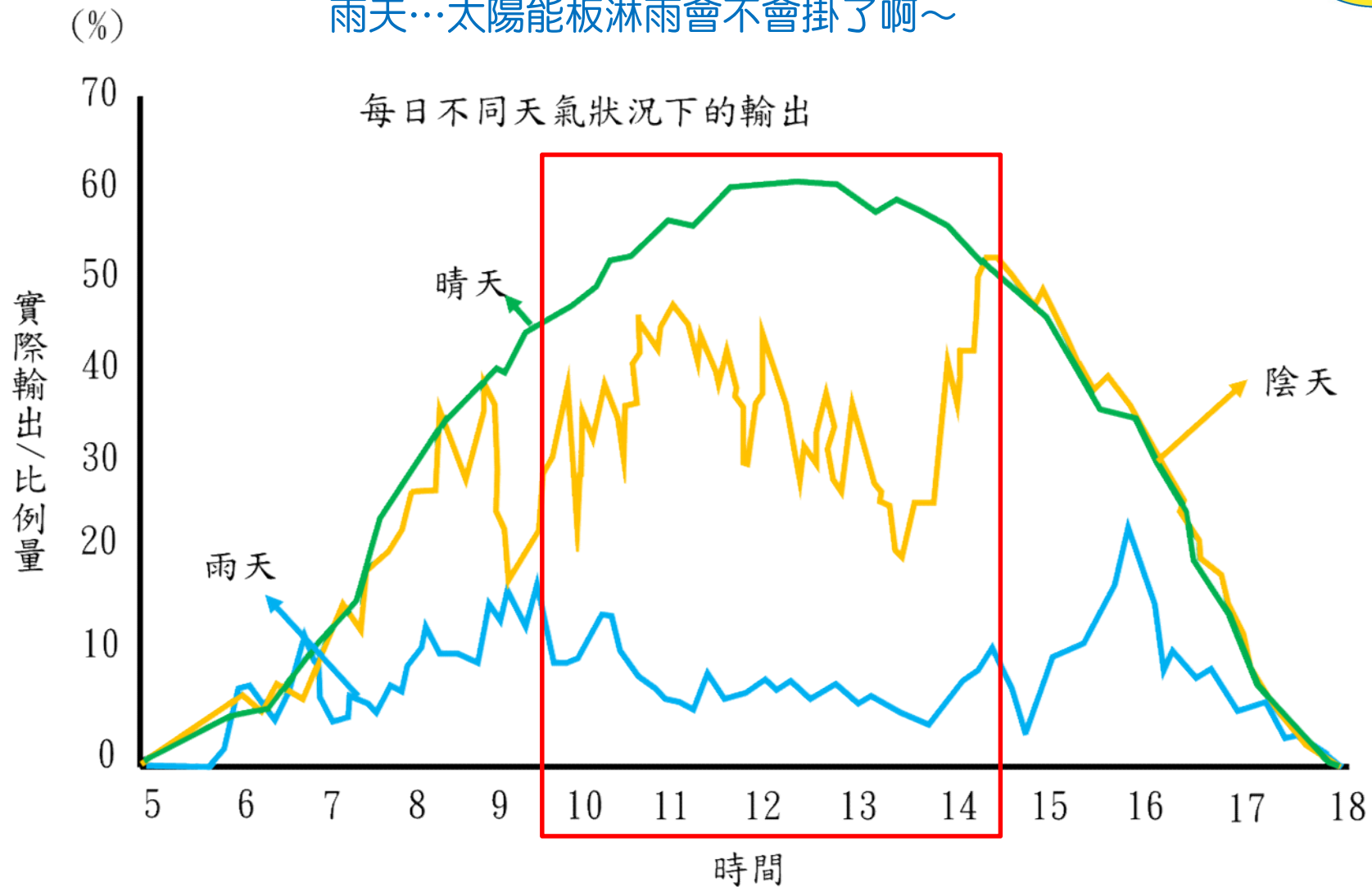
12月

	緯度	日照最大月份	日照最小月份
日本	北緯 35°	6月	12月
台灣	北緯 23.5°	7月	1月
新加坡	北緯 1°18'	3月/9月	6月/12月
澳大利亞	南緯 35°	12月	6月



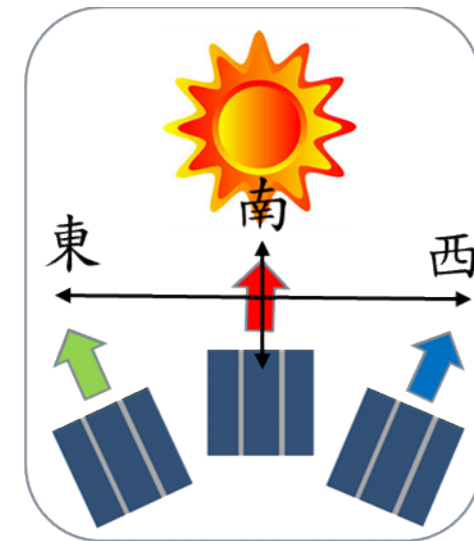
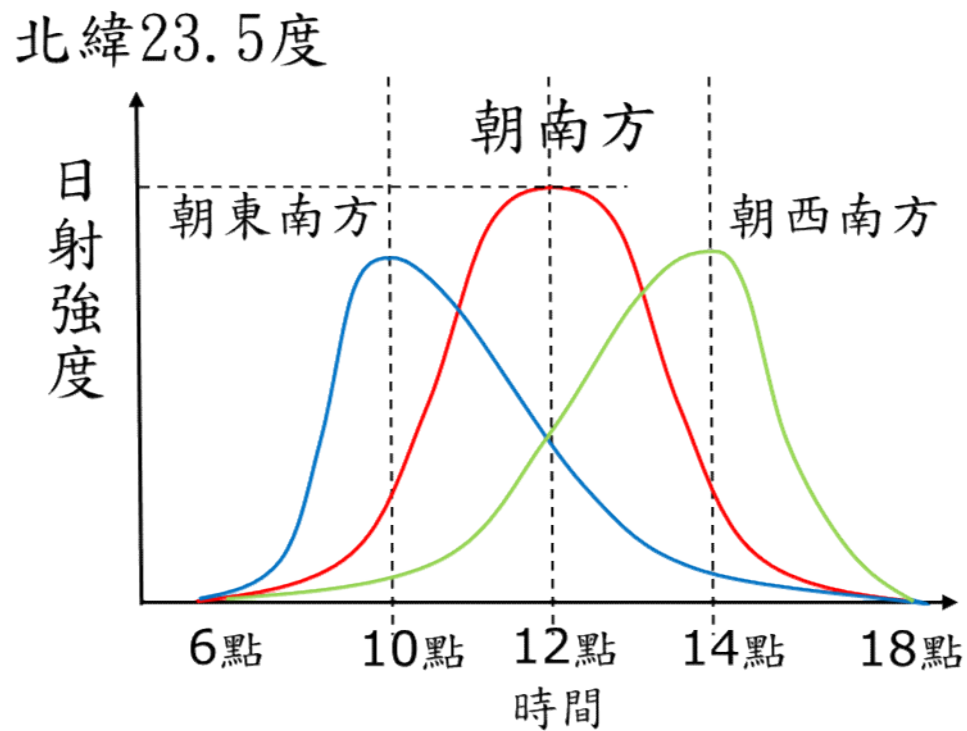
氣候效應

晴天...大太陽~太好了~
陰天...還能發電嗎?
雨天...太陽能板淋雨會不會掛了啊~



太陽能板擺放角度之影響

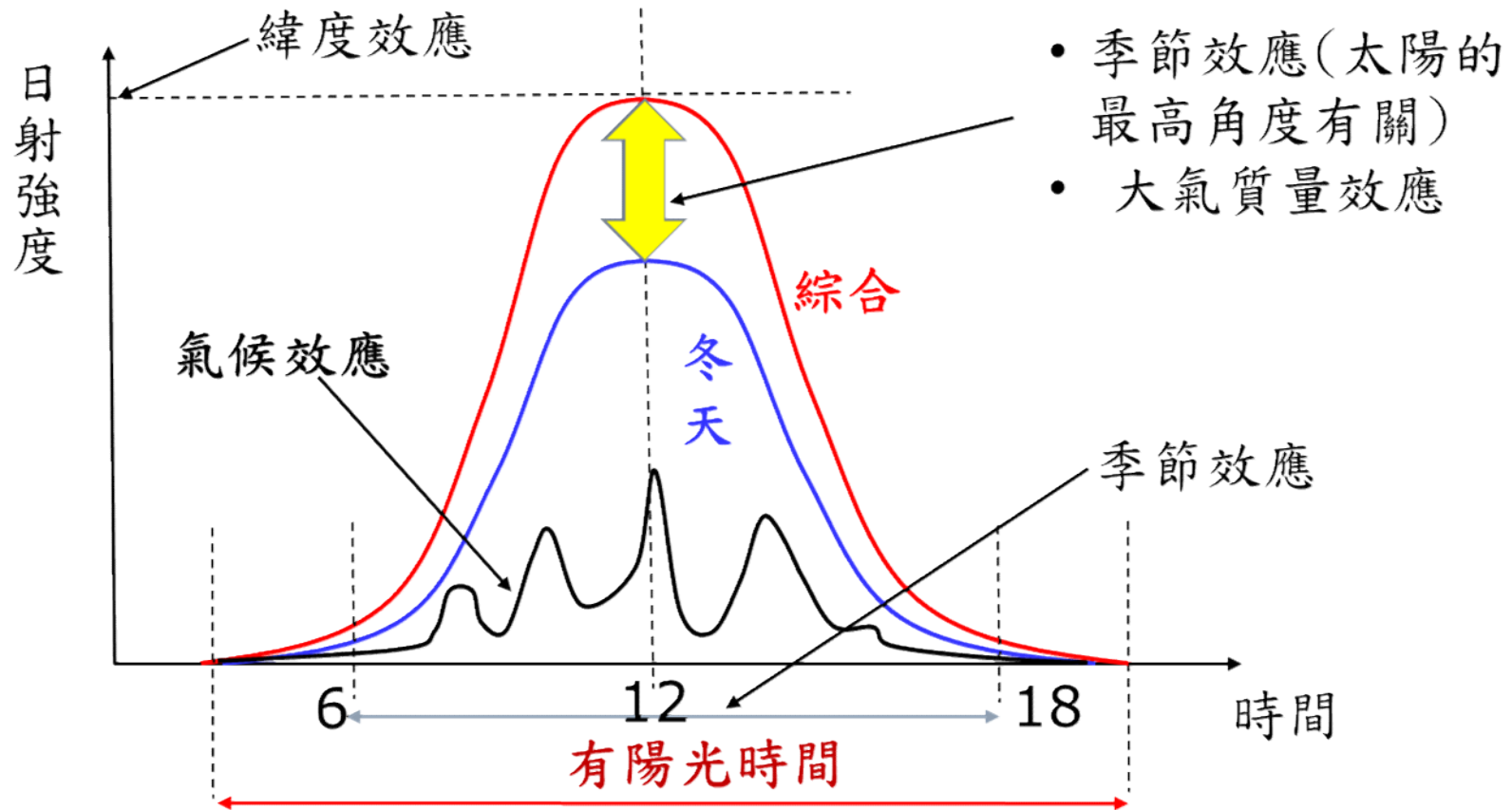
- 假如將太陽能板面偏向**東南方**，則輸出峰值將會向**左**偏移
- 假如將太陽能板面偏向**西南方**，則輸出峰值將會向**右**偏移



北緯地區



綜合每個因素的日射強度曲線





太陽能電池 PV (Photovoltaics)?

- 光伏 Photovoltaic = Photon + voltaic
光是一種能量
能將光能轉換為電能即為光伏 (Photovoltaic) 作用

光能 → 電能

- 太陽能電池 (Solar Cells)
能將太陽光能轉換為電能即為太陽能電池 (Solar Cells)
與光伏作用相同，因此可與光伏元件互用
唯光伏組件通常表示面積較大，由眾多太陽能電池組成之群組。

太陽光能 → 電能

- 包含三個過程：
 - ✓ 光照產生電荷
 - ✓ 電荷受結構內部電位差 (電場) 影響，正負電荷往相反方向移動
 - ✓ 正負電荷透過金屬電極向外部負載流動，形成電流
- 輸出電功率 (瓦特) = 電流 (I) × 電壓 (V)



它現在很夯，就讓他幫忙回答嘍～



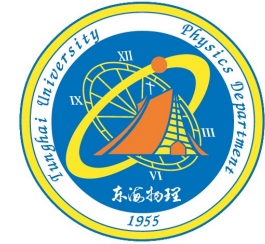
太陽能發電原理？



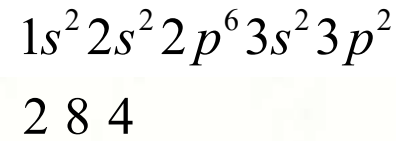
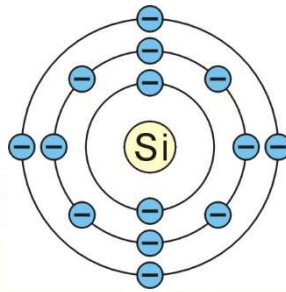
太陽能發電是通過太陽能電池板將太陽能轉換為電能的過程。太陽能電池板是由半導體材料製成，如矽、硒等。當太陽光照射到太陽能電池板上時，光子會被半導體材料吸收，導致材料中的電子從僵硬的能態跳躍到一個較高的能態。這種跳躍產生了電子和空穴（缺陷）對。由於半導體材料中的電子和空穴具有相反的電荷，它們會被電場分開。

這導致了在電池板兩端之間的電壓差，稱為開路電壓。當這兩端通過一個外部電路連接在一起時，電子會從一端流動到另一端，產生電流。這產生了一個稱為短路電流的電流，其大小取決於太陽能電池板的大小、太陽光照射的強度和外部負載的阻抗。

簡而言之，太陽能發電的原理是通過將太陽能轉換為電能的過程來利用太陽能電池板的半導體特性。



半導體：矽 Si、鍺 Ge
四價元素 (IVA族元素)
外層有 4 個價電子



元素週期表

圖例： 元素符號

原子序
元素名稱
原子量

1 H 氫 1.008

- 固體
- 液體
- 氣體
- 人造元素
- 金屬元素
- 非金屬元素
- 兩性元素

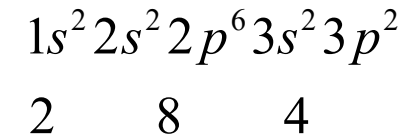
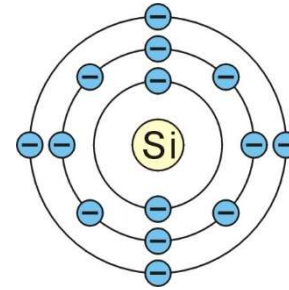
本週期表係根據最新年份的美國原子能委員會之同位素表和國際化學學會之資料編製而成。
▲由本週期表中可以查到下列各項數據：元素符號、元素名稱、原子序、原子量、金屬元素、非金屬元素、元素中的氣體、液體、固體及人造元素。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 A	2 A	3 B	4 B	5 B	6 B	7 B	8 B	9 B	10 B	11 B	12 B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII A
1 H 氫 1.008	2 He 氦 4.003	3 Li 鋰 6.941	4 Be 鈹 9.012	5 B 硼 10.81	6 C 碳 12.011	7 N 氮 14.007	8 O 氧 15.999	9 F 氟 18.998	10 Ne 氖 20.180	11 Na 鈉 22.990	12 Mg 鎂 24.305	13 Al 鋁 26.982	14 Si 矽 28.086	15 P 磷 30.974	16 S 硫 32.065	17 Cl 氯 35.453	18 Ar 氬 39.948
19 K 鉀 39.098	20 Ca 鈣 40.078	21 Sc 鈾 44.956	22 Ti 鈦 47.88	23 V 鈦 50.942	24 Cr 鉻 52.004	25 Mn 錳 54.938	26 Fe 鐵 55.845	27 Co 鈷 58.933	28 Ni 鎳 58.693	29 Cu 銅 63.546	30 Zn 鋅 65.38	31 Ga 鎵 69.723	32 Ge 鍺 72.64	33 As 砷 74.922	34 Se 硒 78.96	35 Br 溴 79.904	36 Kr 氬 83.80
37 Rb 鉀 85.468	38 Sr 銣 87.62	39 Y 鈦 88.906	40 Zr 鈦 91.224	41 Nb 鈦 92.906	42 Mo 鉬 95.94	43 Tc 鈦 98.906	44 Ru 鈦 101.07	45 Rh 鈦 102.905	46 Pd 鈦 106.42	47 Ag 銀 107.868	48 Cd 鈦 112.411	49 In 鈦 114.818	50 Sn 鈦 118.710	51 Sb 鈦 121.757	52 Te 鈦 127.6	53 I 碘 126.905	54 Xe 氬 131.29
55 Cs 鉀 132.905	56 Ba 銣 137.327	57-71 鐳系元素	72 Hf 鈦 178.49	73 Ta 鈦 180.948	74 W 鈦 183.84	75 Re 鈦 186.207	76 Os 鈦 190.23	77 Ir 鈦 192.222	78 Pt 鈦 195.084	79 Au 金 196.967	80 Hg 汞 200.59	81 Tl 鈦 204.384	82 Pb 鉛 207.2	83 Bi 鈦 208.980	84 Po 鈦 209	85 At 砒 210	86 Rn 氬 222
87 Fr 鈦 223	88 Ra 銣 226	89-103 鐳系元素	104 Rf 鈦 261	105 Db 鈦 262	106 Sg 鈦 263	107 Bh 鈦 264	108 Hs 鈦 265	109 Mt 鈦 266	110 Ds 鈦 267	111 Rg 鈦 268	112 Cn 鈦 269	113 Nh 鈦 270	114 Fl 鈦 271	115 Lv 鈦 272	116 Ts 鈦 273	117 Og 鈦 274	118 Uu 鈦 275
89 La 鈦 138.905	90 Ce 鈦 140.12	91 Pr 鈦 140.908	92 Nd 鈦 144.24	93 Pm 鈦 144.913	94 Sm 鈦 150.36	95 Eu 鈦 151.964	96 Gd 鈦 157.25	97 Tb 鈦 158.925	98 Dy 鈦 162.5	99 Ho 鈦 164.930	100 Er 鈦 167.259	101 Tm 鈦 168.930	102 Yb 鈦 173.054	103 Lu 鈦 174.967	104 La 鈦 175.053	105 Ce 鈦 176.033	106 Pr 鈦 176.943
105 Ac 鈦 227	106 Th 鈦 232.038	107 Pa 鈦 231.036	108 U 鈦 238.029	109 Np 鈦 237	110 Pu 鈦 239.042	111 Am 鈦 243.061	112 Cm 鈦 247	113 Bk 鈦 247	114 Cf 鈦 251	115 Es 鈦 252	116 Fm 鈦 257	117 Md 鈦 258	118 No 鈦 259	119 Lr 鈦 260	120 Uu 鈦 261	121 Uub 鈦 262	122 Uuq 鈦 263

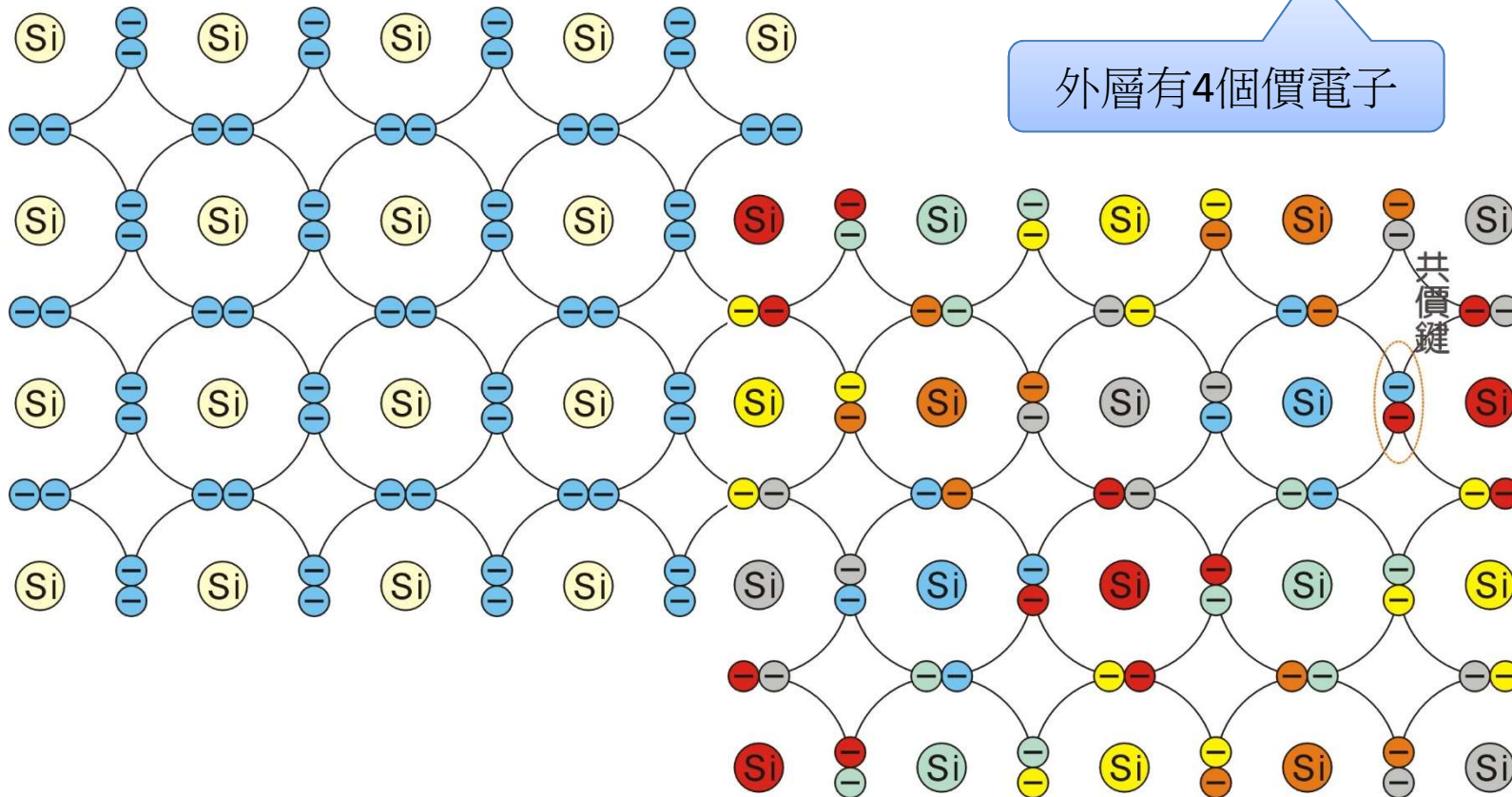


半導體：矽 Si、鍺 Ge—四價元素。
外層有4顆價電子。

共價鍵：兩原子共用電子對而結合在一起。
電子對同時對兩原子核有吸引力



外層有4個價電子





半導體：矽 Si、鍺 Ge—四價元素

P型半導體

摻雜**三價元素**（硼B、鋁 Al、鎵 Ga、...）

由於加入三價元素後會造成一個空缺，故三價元素又被稱為**受體原子**。

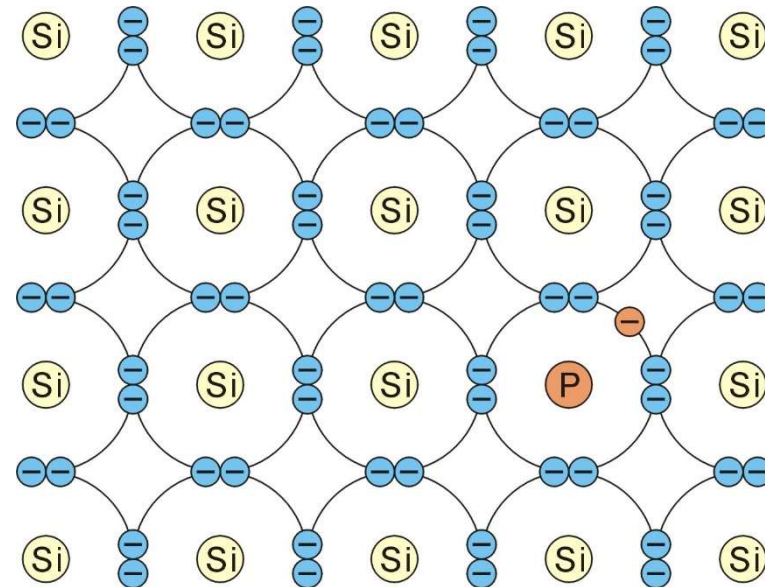
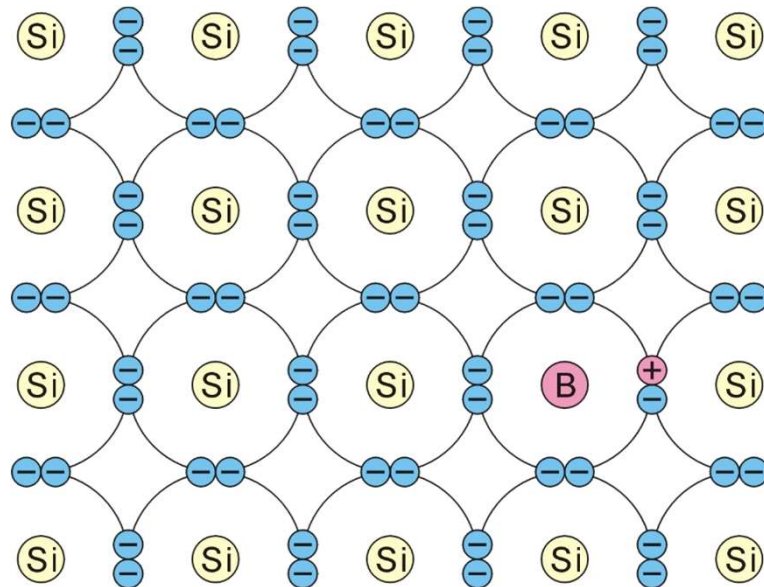
P 表示**positive**；電洞可視為正電荷

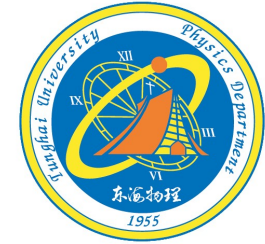
N型半導體

摻雜**五價元素**（磷P、砷 As、碲 Te、...）

由於加入五價元素後會增加電子，故五價元素又被稱為**施體原子**。

N 表示**negative**；電子帶負電



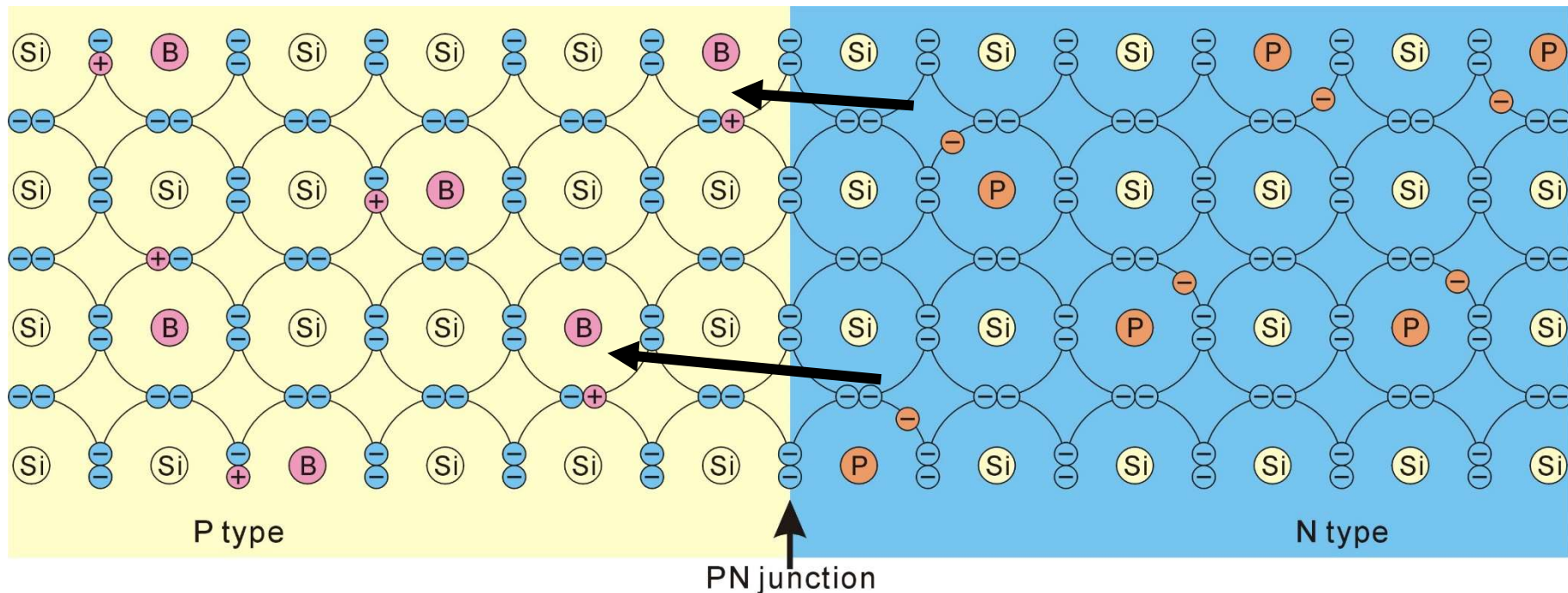


當P-N結合起來時，接合面 (P-N junction) 附近的電子會填入電洞中。

N形半導體中的電子會不斷的透過接合面與電洞結合，直到所有電子與電洞消失為止？

電子與電洞完全消失？

想太多~哪有可能~~

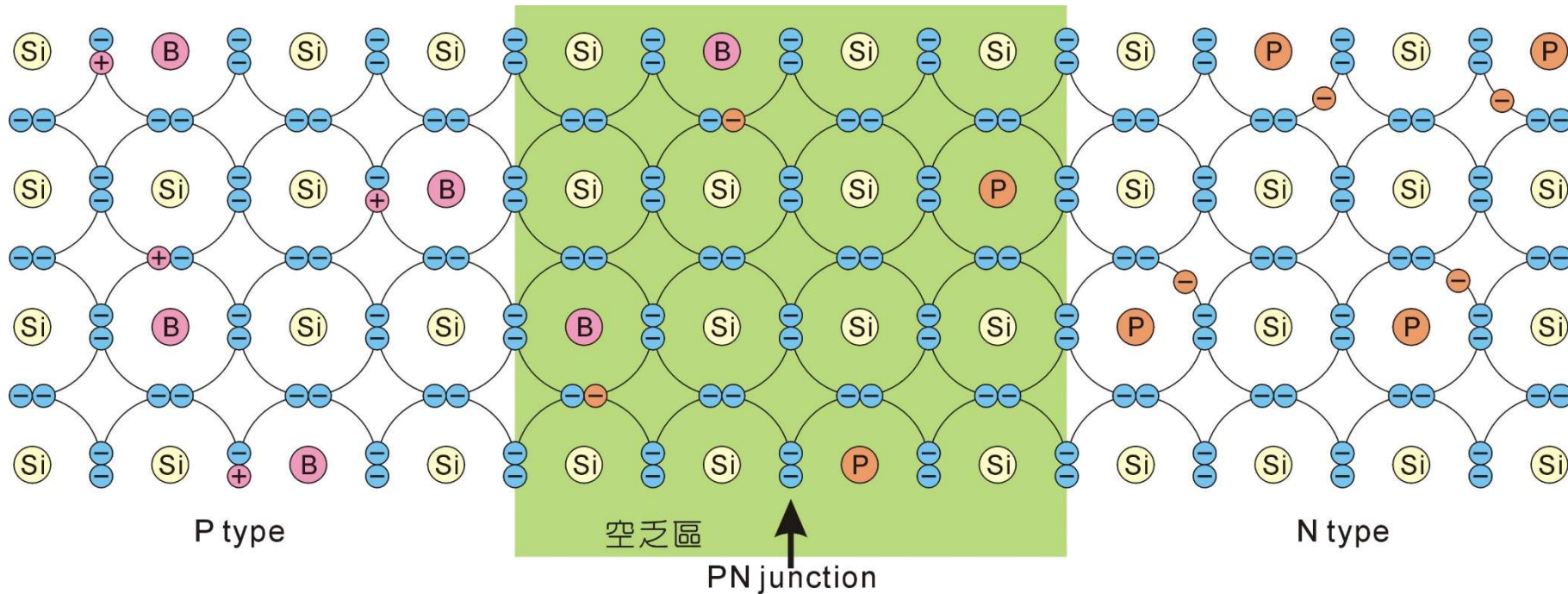


電子與電洞完全消失？ 錯！

靠近接合面的N形半導體失去了電子後便成正離子，P形半導體失去了一些電洞後就變成負離子。

此時正離子會排斥電洞，負離子會排斥電子，因而阻止了電子與電洞的繼續結合，因而產生平衡狀態，使得作用不再發生。

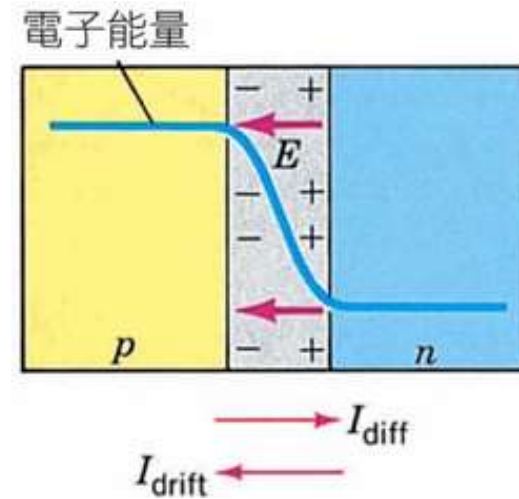
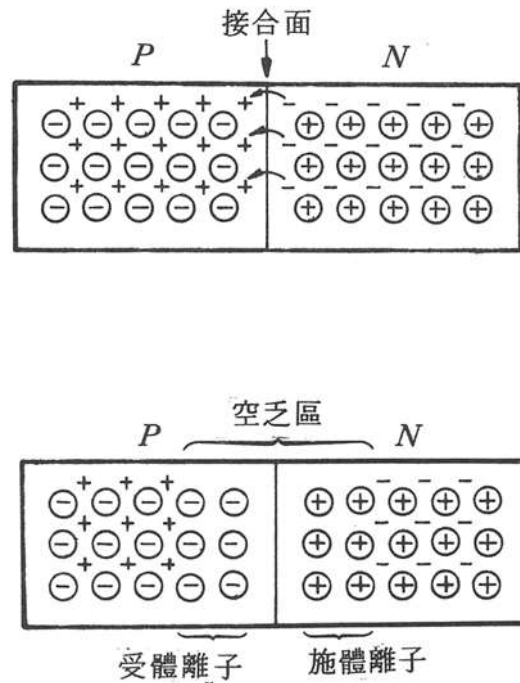
在PN接合面 (P-N junction) 附近沒有載體 (電子或電洞)，只有離子之區域稱為空乏區 (depletion region)



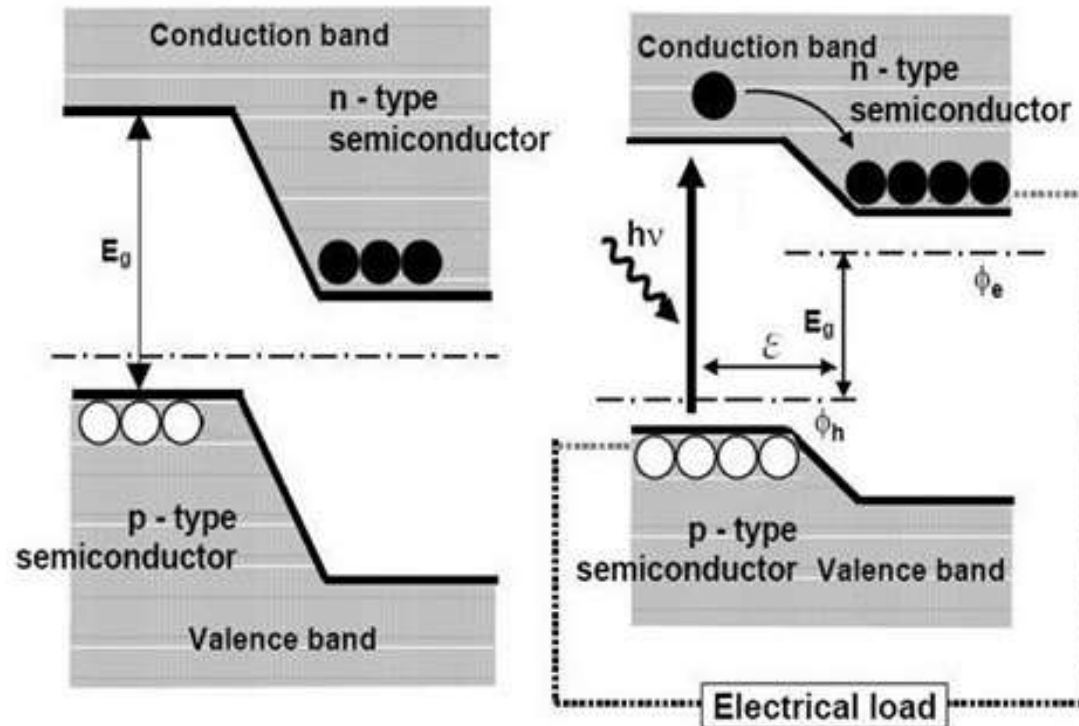


空乏區的離子所產生的阻止電子、電洞通過接合面的力量，稱為**障礙電位**（potential barrier）。

障礙電位依半導體的摻程度而定，一般而言，Ge的P-N接合面約為0.2~0.3V，而Si的P-N接合面約為0.6~0.7V。

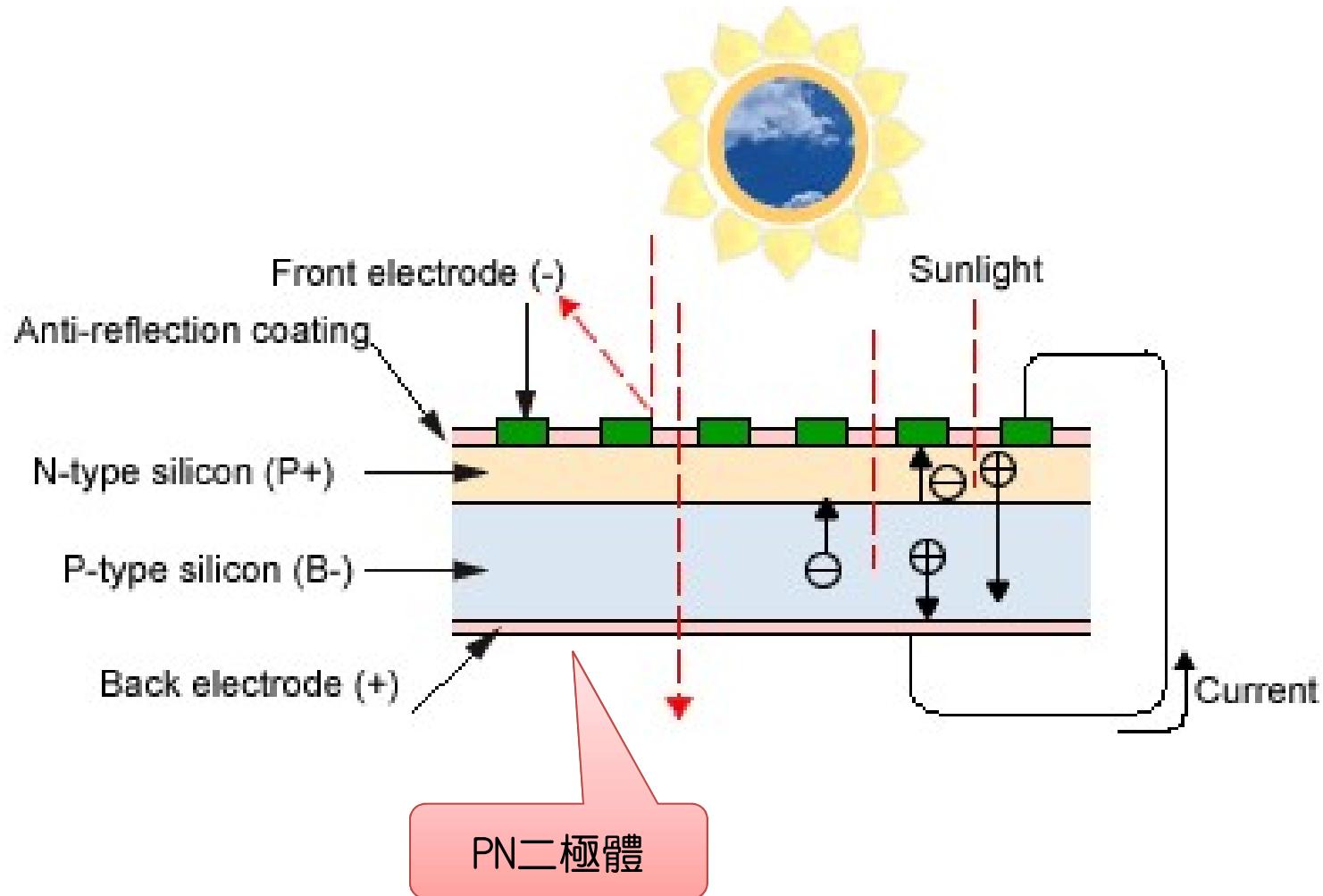


當太陽光照射到這P-N結構時，P型和N型半導體因吸收太陽光而產生電子－電洞對。由於空乏區所提供的內建電場，可以讓半導體內所產生的電子在電池內流動，因此若經由電極把電流引出，就可以形成一個完整的太陽能電池。



太陽電池 (a) 未照光 與 (b) 照光圖

太陽能電池的光電轉換原理

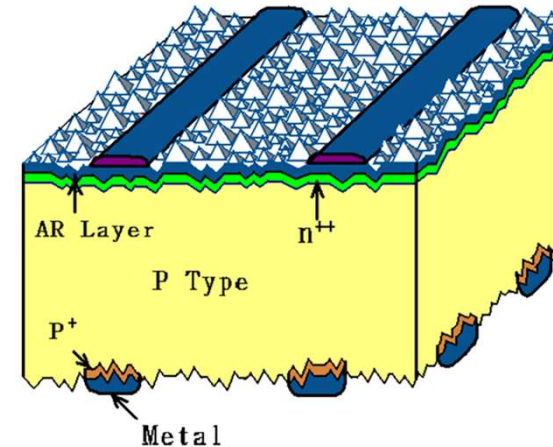


矽太陽能電池外觀與結構

- 單晶矽 (mono crystal) : 效率較佳。色澤較深且均勻。



太陽能電池典型結構例(單晶矽)



- 多晶矽 (poly crystal) :
效率比單晶矽差。呈**五彩色**的多晶矽。
簡單製程、成本低廉。

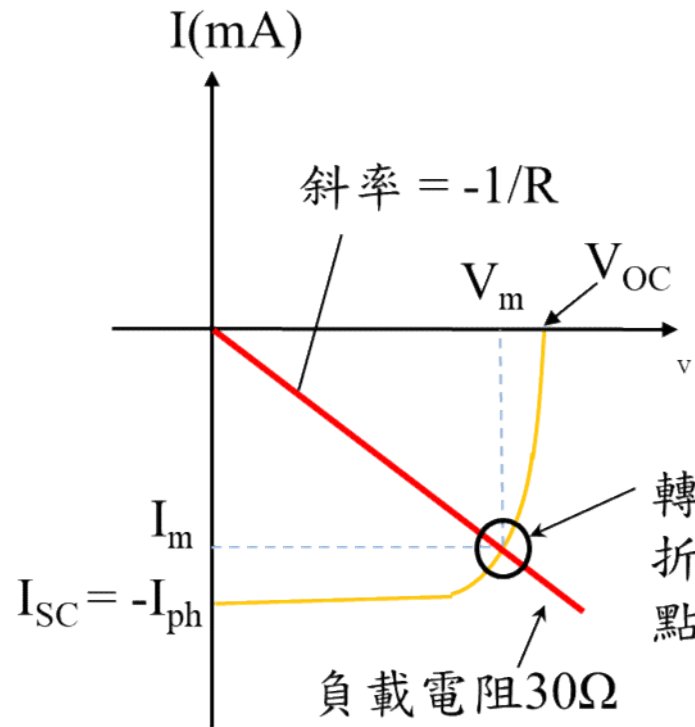
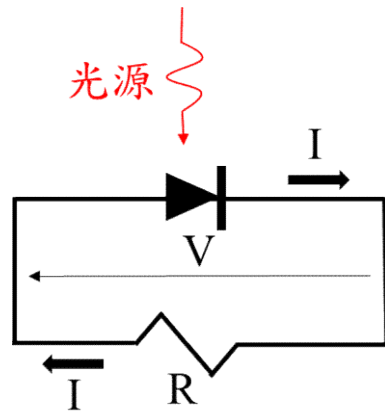


- 非晶矽 (amorphous) :
非晶矽薄膜雖然效率低，
但**價格便宜**及**可捲曲**的特性，
在消費性產品上擁有相當大地利基點。





太陽能電池電壓-電流特性曲線



$$I = -\frac{V}{R}$$

$$V = -IR$$

- 電流是從高電壓往低電壓流動。
- 斜率為電阻值。
- P點是轉折點且經由畫繪所發現的。
- 上式歐姆定律。
- 填充因子(F.F.)= 圖示中正方形最大值，一般值：0.7-0.8。

當最大功率時：

填充因子 (Fill Factor ; FF)

$$FF = \frac{P_m}{V_{OC} \times I_{SC}} = \frac{\eta \times A_c \times E}{V_{OC} \times I_{SC}}$$

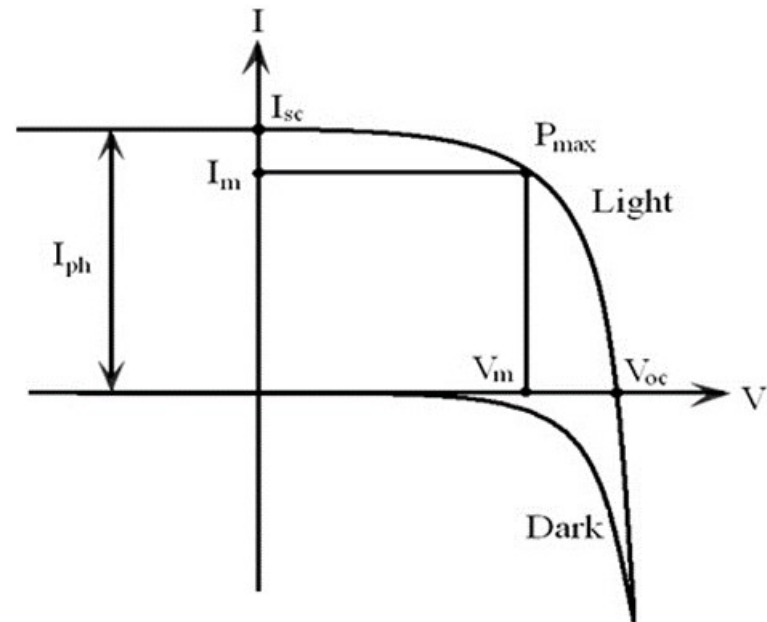
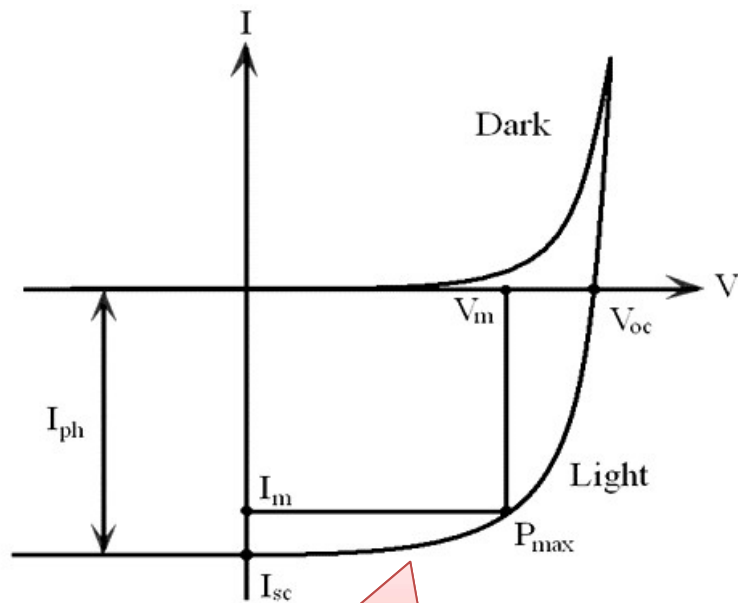


太陽能電池電壓-電流特性曲線

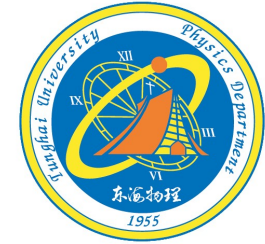
【補充說明】

太陽能板V-I特性曲線
一般估狗查詢看到的有兩種畫法

太陽能板是二極體
太陽能板照光會產生光電流

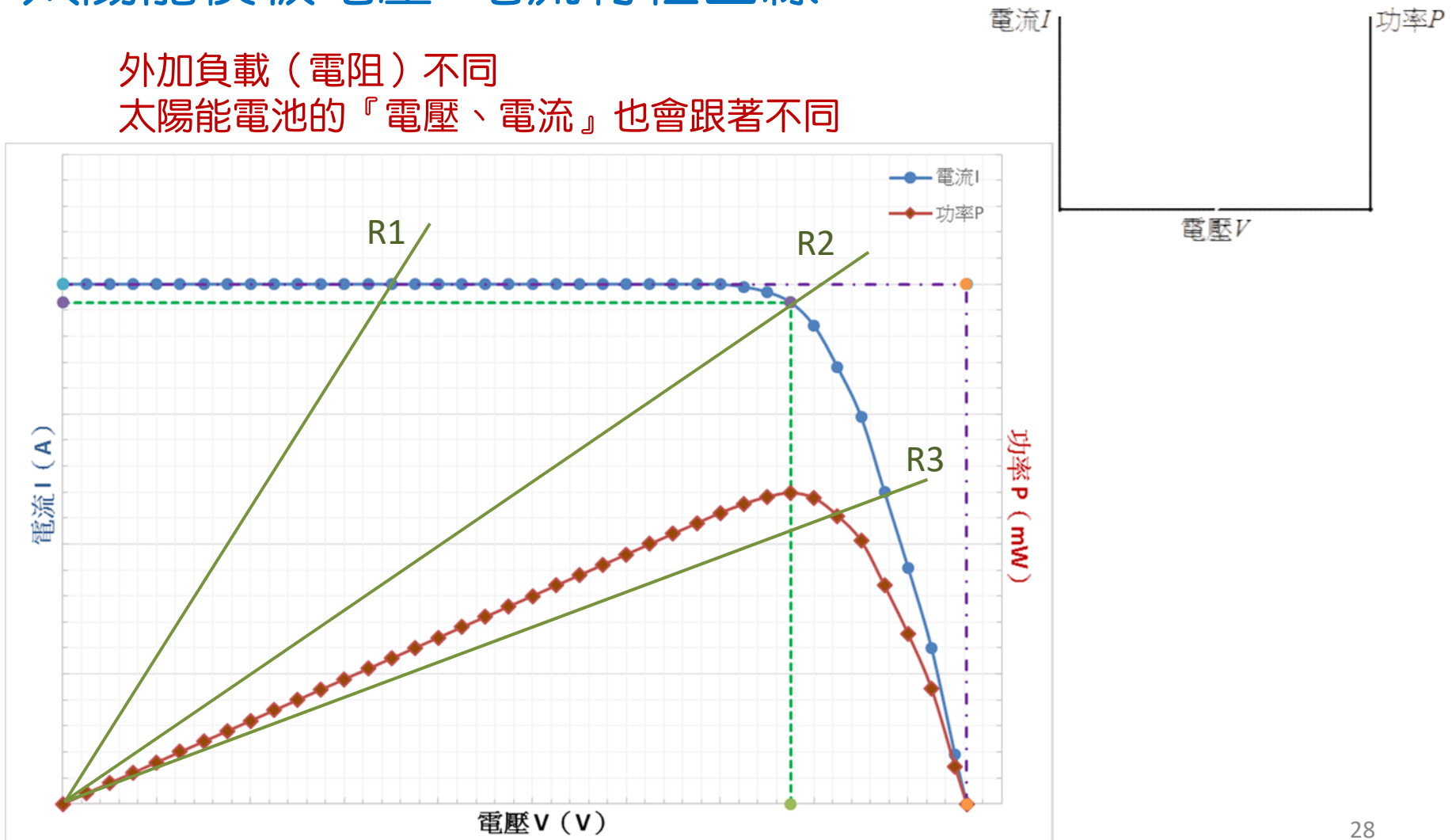


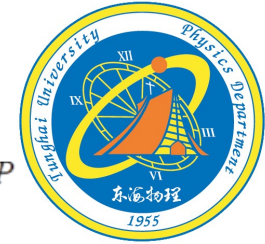
二極體特性曲線畫法



V-I 曲線 太陽能模板電壓-電流特性曲線

外加負載（電阻）不同
太陽能電池的『電壓、電流』也會跟著不同





太陽光電池之電流-電壓曲線

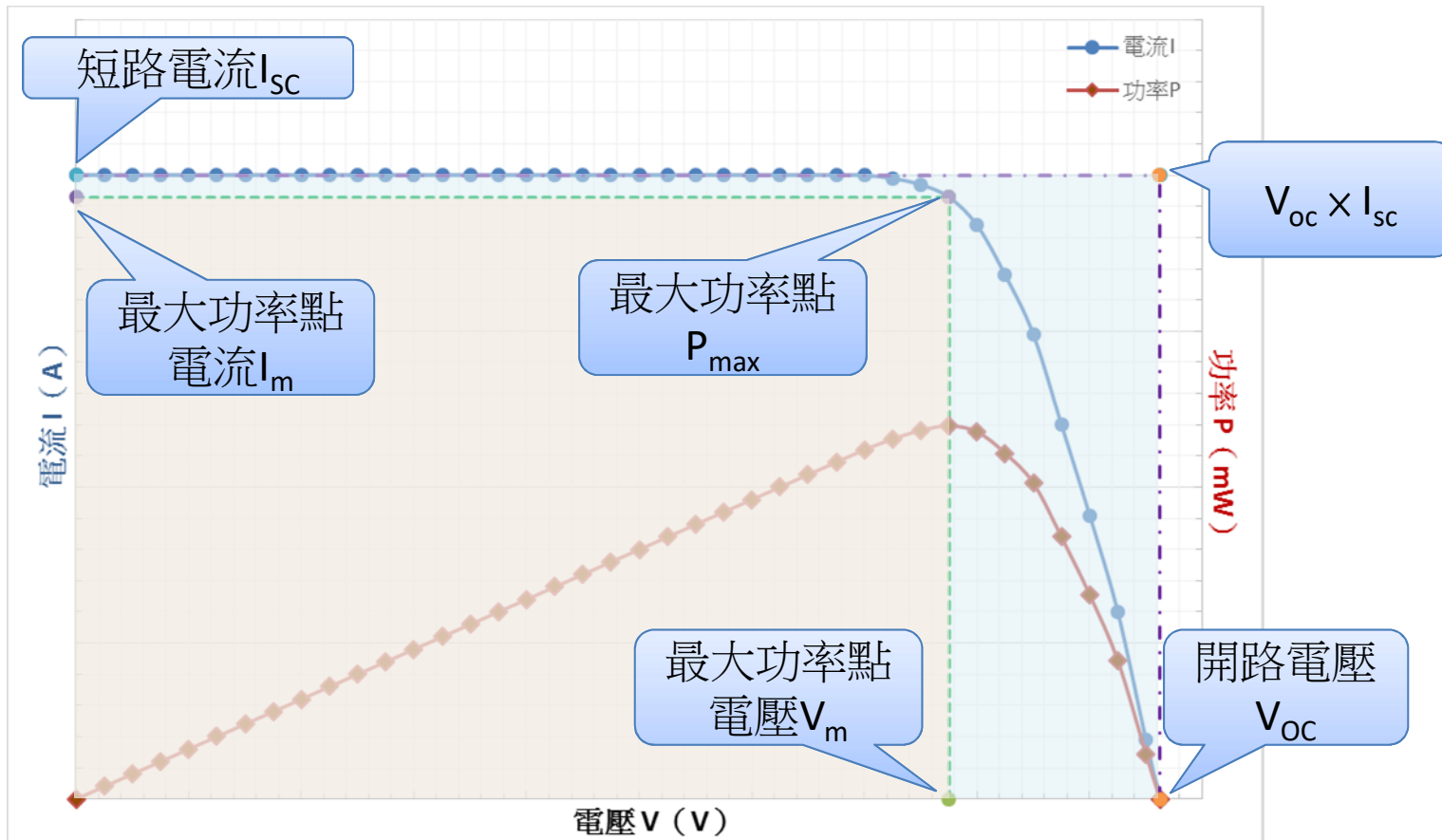
填充因子 (Fill Factor ; FF)

$$FF = \frac{P_m}{V_{OC} \times I_{SC}} = \frac{\eta \times A_C \times E}{V_{OC} \times I_{SC}}$$

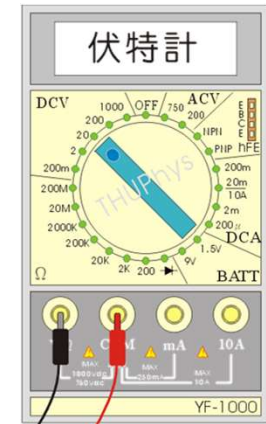
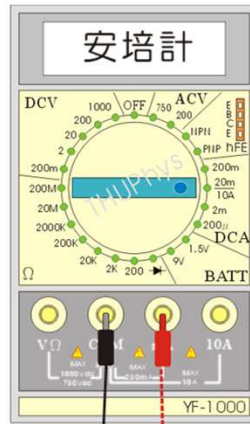
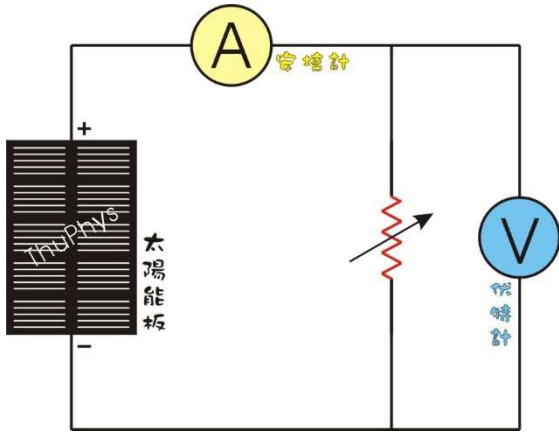
電流 I

功率 P

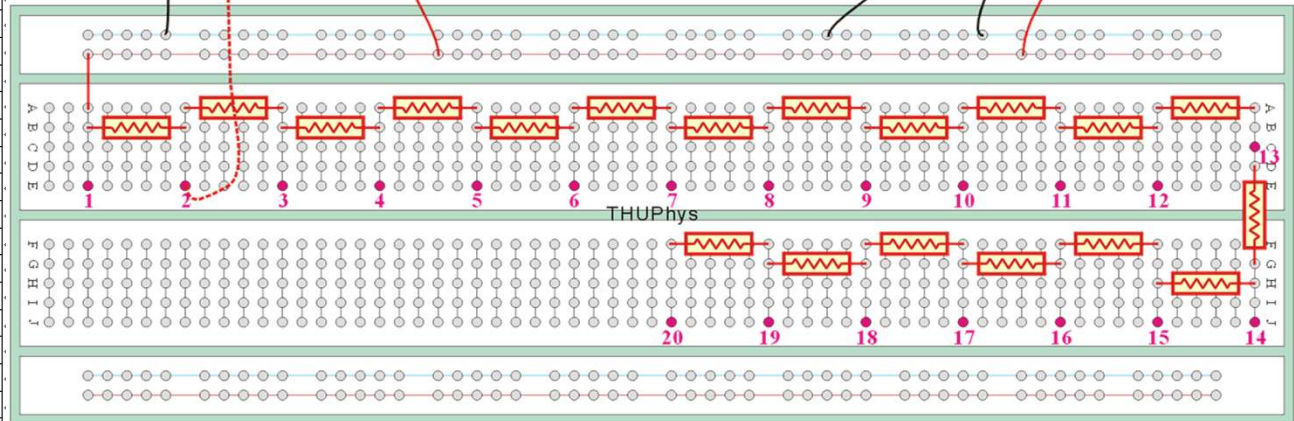
電壓 V



太陽能電池特性曲線量測



數據 ^o	電阻 R ^o (Ω) ^o	電壓 V ^o (V) ^o	電流 I ^o (mA) ^o	功率 $P=V \cdot I$ ^o (mW) ^o
1 ^o	0 ^o	^o	^o	^o
2 ^o	^o	^o	^o	^o
3 ^o	^o	^o	^o	^o
4 ^o	^o	^o	^o	^o
5 ^o	^o	^o	^o	^o
6 ^o	^o	^o	^o	^o
7 ^o	^o	^o	^o	^o
8 ^o	^o	^o	^o	^o
9 ^o	^o	^o	^o	^o
10 ^o	^o	^o	^o	^o
11 ^o	^o	^o	^o	^o
12 ^o	^o	^o	^o	^o
13 ^o	^o	^o	^o	^o
14 ^o	^o	^o	^o	^o
15 ^o	^o	^o	^o	^o
16 ^o	^o	^o	^o	^o
17 ^o	^o	^o	^o	^o
18 ^o	^o	^o	^o	^o
19 ^o	^o	^o	^o	^o
20 ^o	^o	^o	^o	^o

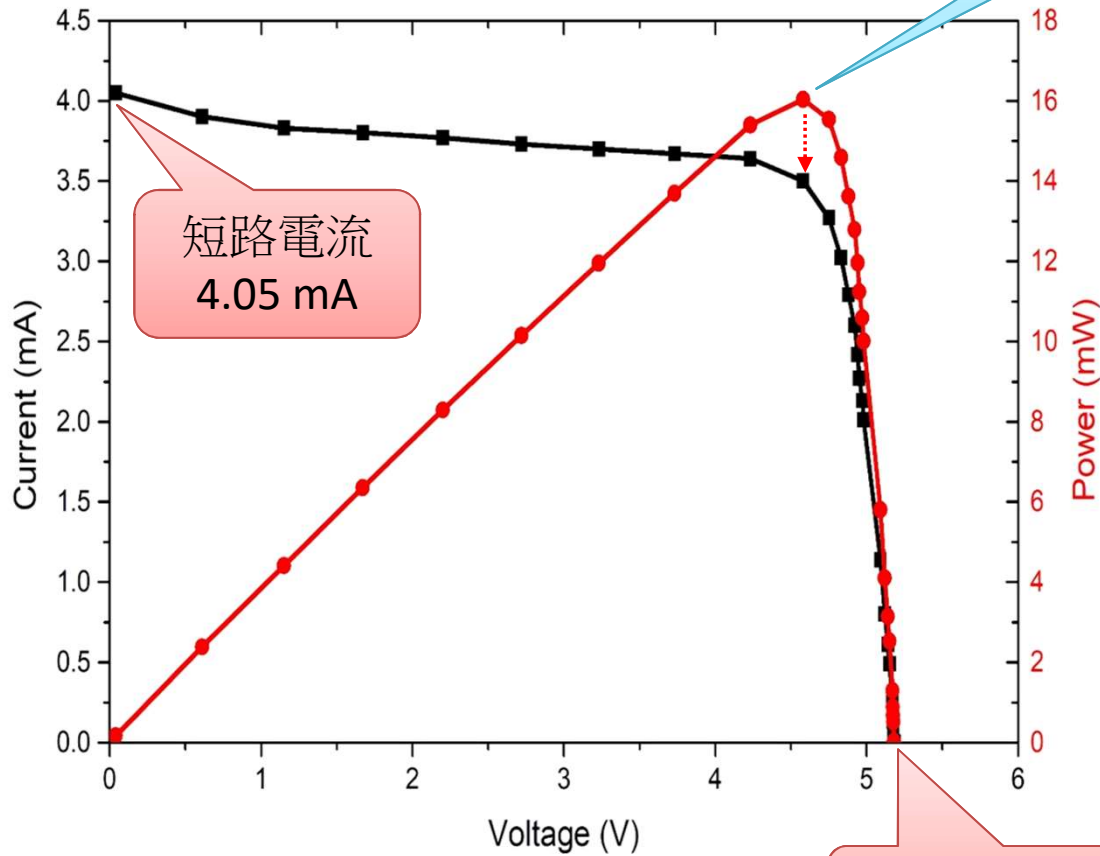




太陽光電池電流-電壓曲線量測

最大功率點
16.03mW

今天這組套件的實驗結果

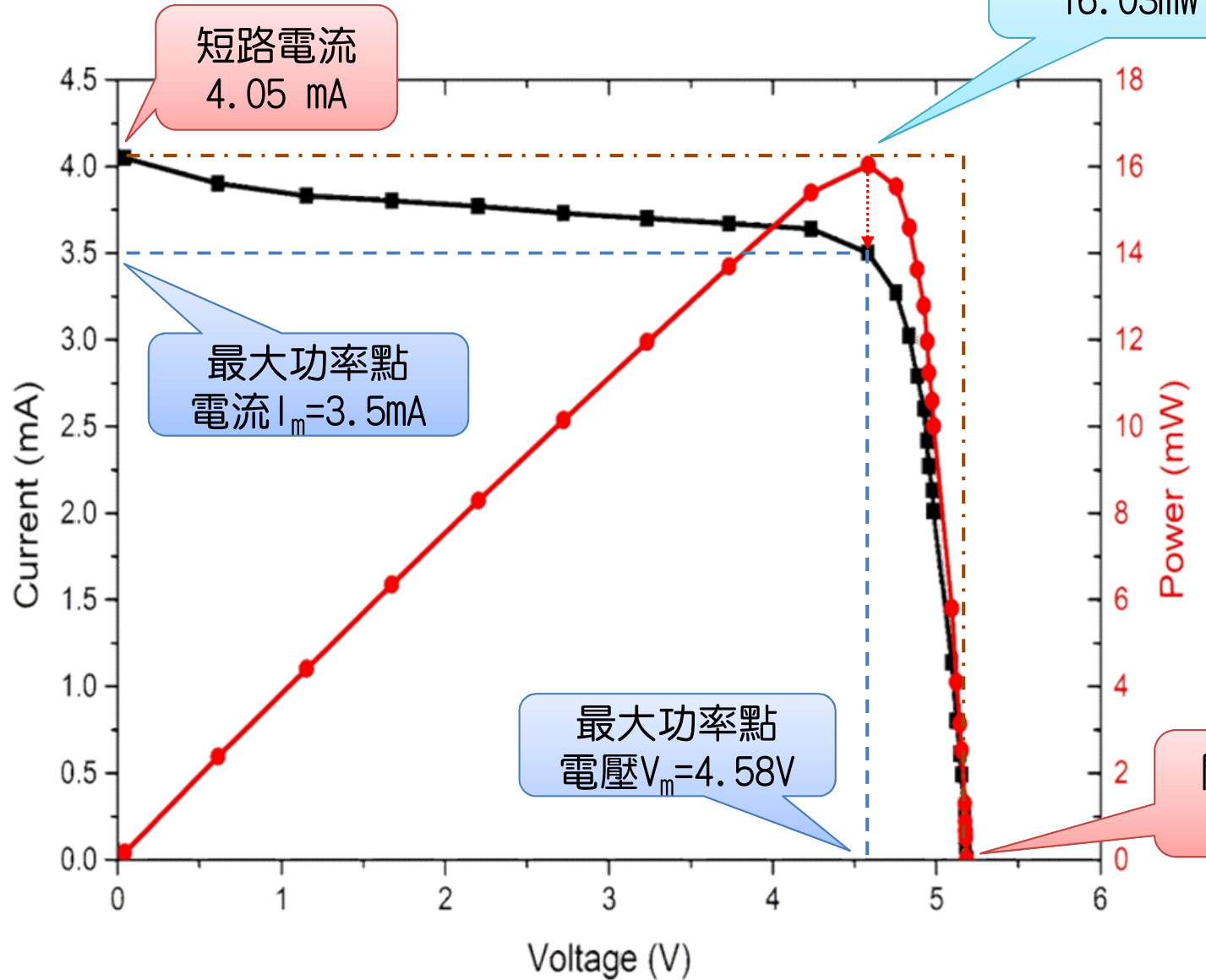


Comments	A(X) Voltage (V)	B(Y) Current (mA)	D(Y) Load Resistance (Ohm)	E(Y) Power (mW)
1	0.04	4.05	0	0.162
2	0.61	3.9	147	2.379
3	1.15	3.83	304	4.4045
4	1.67	3.8	447	6.346
5	2.2	3.77	592	8.294
6	2.72	3.73	738	10.1456
7	3.23	3.7	884	11.951
8	3.73	3.67	1029	13.6891
9	4.23	3.64	1176	15.3972
10	4.58	3.5	1323	16.03
11	4.75	3.27	1470	15.5325
12	4.83	3.02	1617	14.5866
13	4.88	2.79	1763	13.6152
14	4.92	2.6	1910	12.792
15	4.94	2.42	2.05k	11.9548
16	4.95	2.27	2.2k	11.2365
17	4.97	2.13	2.35k	10.5861
18	4.98	2.01	2.49k	10.0098
19	5.09	1.14	4.49k	5.8026
20	5.12	0.8	6.49k	4.096
21	5.14	0.61	8.5k	3.1354
22	5.15	0.49	10.5k	2.5235
23	5.17	0.25	20.3k	1.2925
24	5.172	0.17	30k	0.87924
25	5.174	0.13	39.8k	0.67262
26	5.176	0.1	49.6k	0.5176
27	5.18	0.005	1.03M	0.0259
28	5.182	0.002	2M	0.01036
29	5.184	0	200M	0
30				

開路電壓5.184V

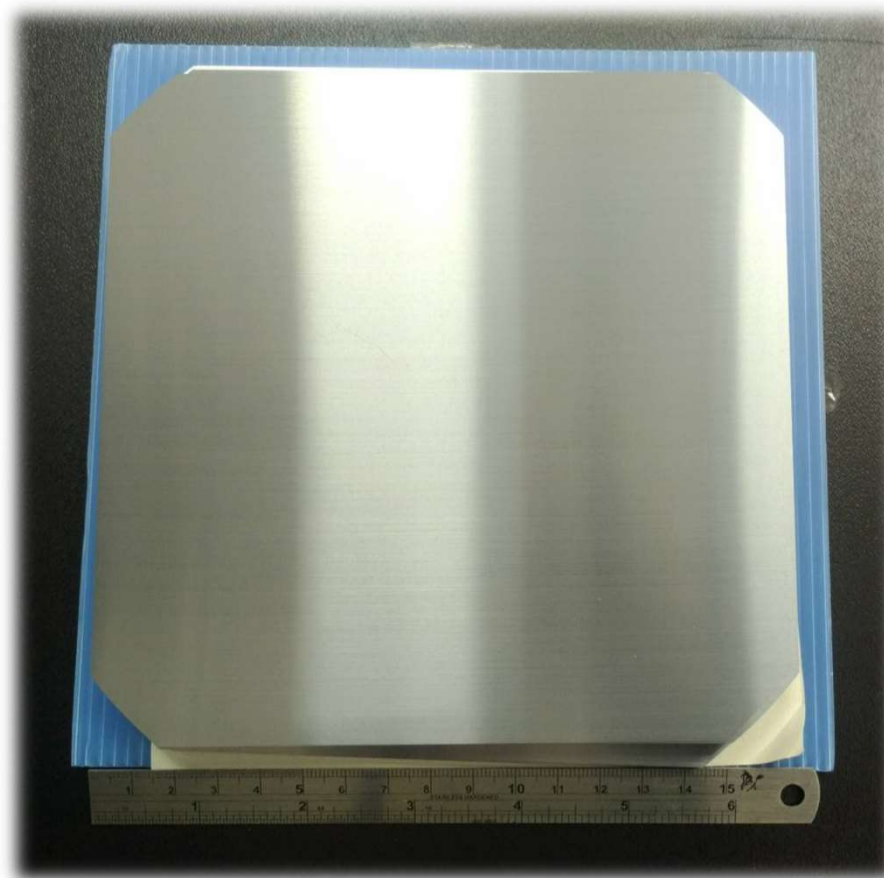


太陽光電池電流-電壓曲線量測



問
填充因子FF=?

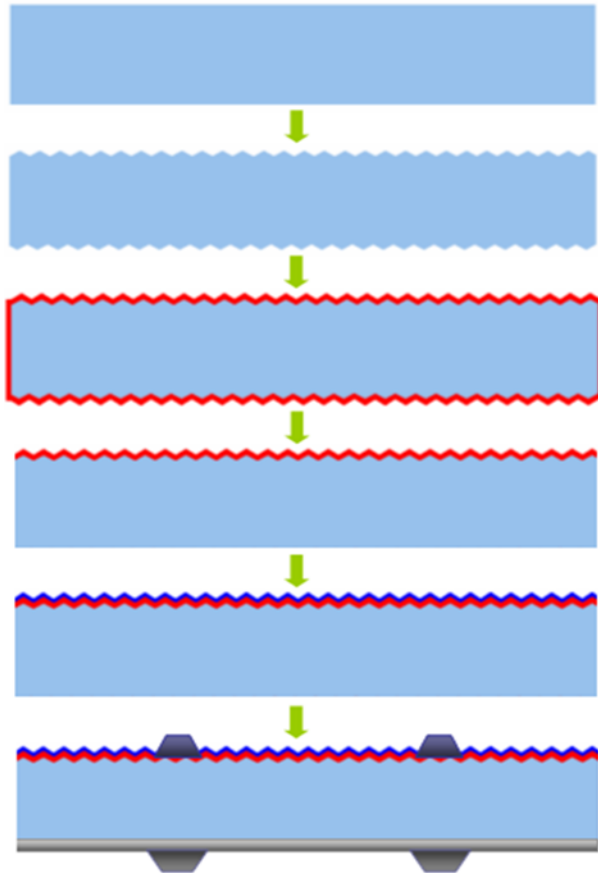
單晶矽晶棒與太陽能電池用晶圓



矽晶棒



太陽能電池製程



開始製程 · wafer清洗

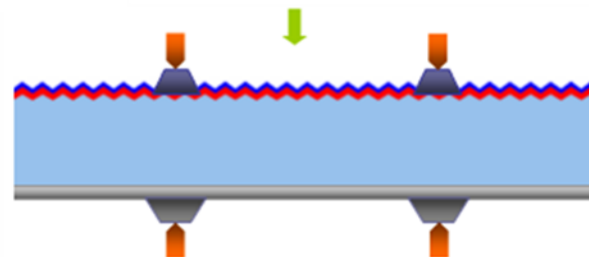
表面結構化 (Texturing)

磷擴散製程 (Diffusion)

邊緣絕緣 (Wet-etching Isolation)

抗反射層 (AR Coating)

電極塗佈 (Screen Printing)
燒結 (Firing)



測試 (Testing)

單晶矽太陽電池製程

P型矽晶圓



↓ 1. 清洗蝕刻



↓ 2. 磷擴散



↓ 3. 鍍抗反射層



↓ 4. 網印



↓ 5. 燒結



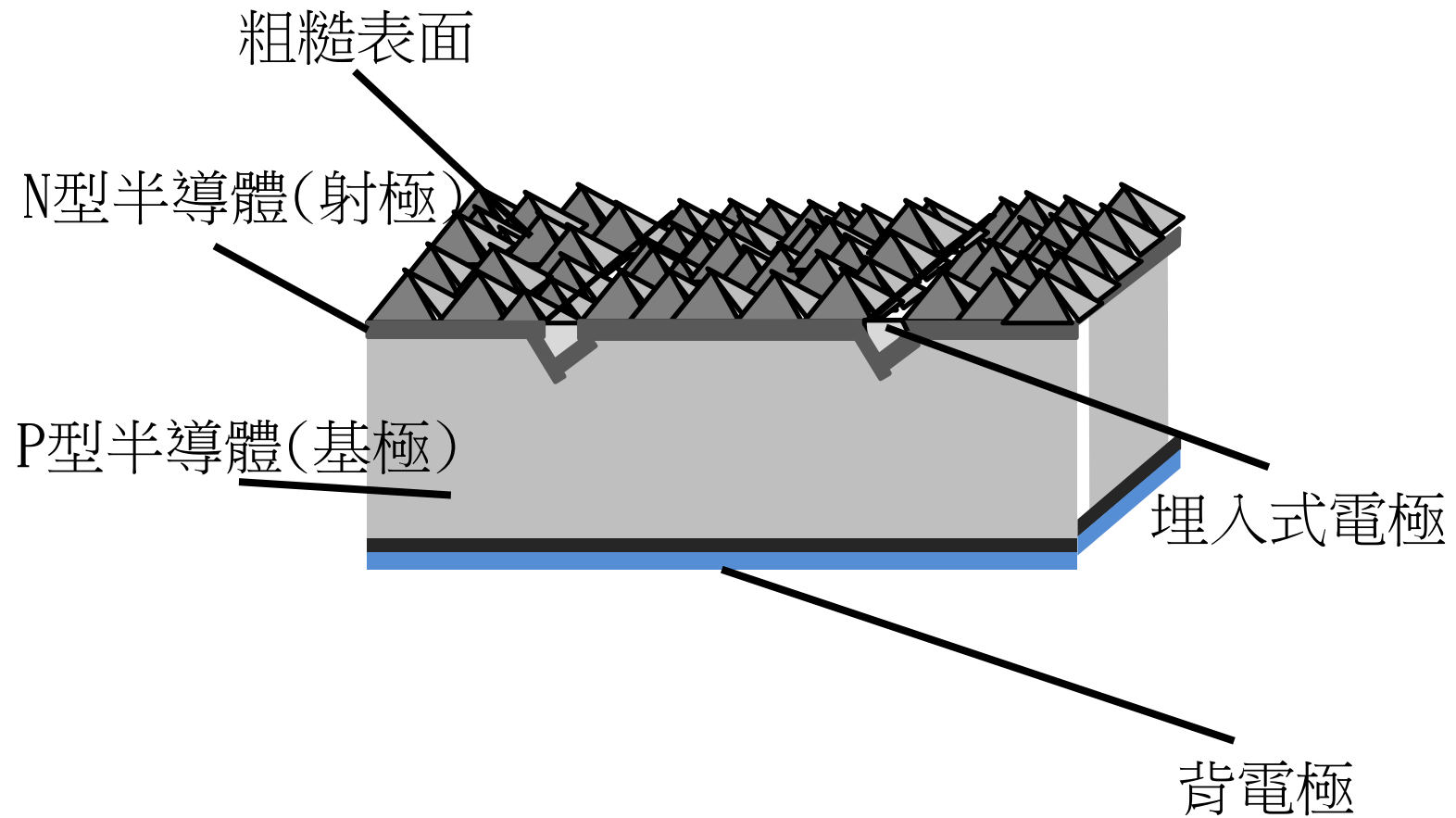
↓ 6. I-V測試



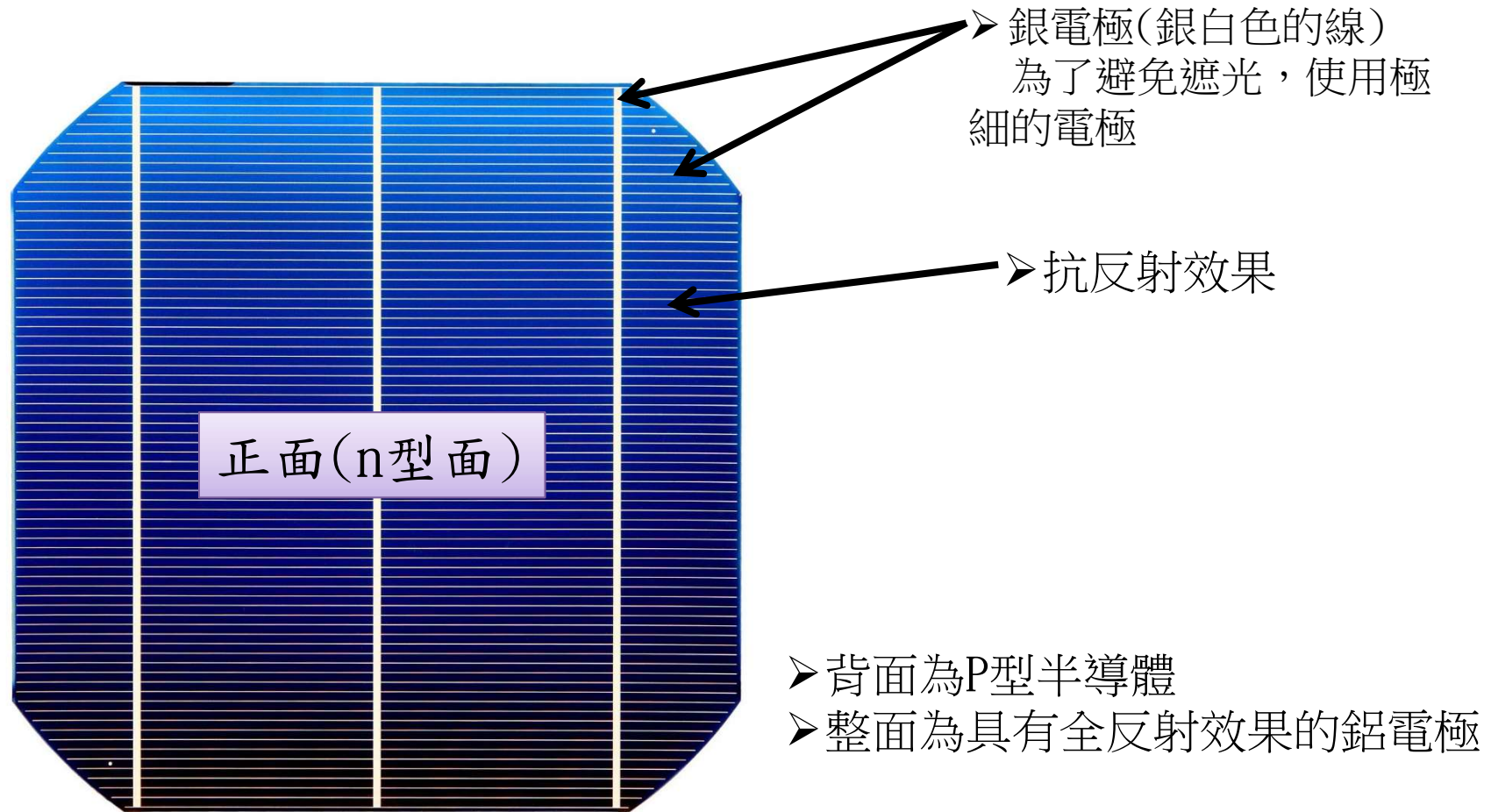
太陽能電池結構



太陽能電池構造



太陽能電池表面

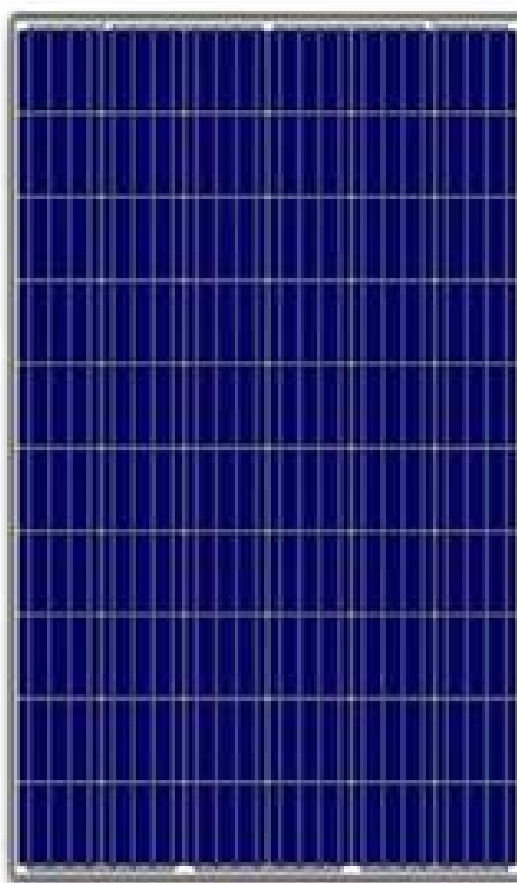


太陽能光電板

單晶



多晶



非晶





東海大學應用物理學系

地址：40704台中市西屯區東海大學BOX803

電話：04-23590121*32100

網址：<http://physics.thu.edu.tw/>