

影像原理概論

醫學影像範圍

- **放射線**

1. 一般攝影 Skull C-spine CXR Abd KUB Bone
2. 對照攝影 UGI,LGI,IVP,IVC
3. 侵入性攝影 Myelography
4. 電腦斷層攝影 CT/Enhance

- **超音波** 一般 **Soft tissue** 彩色 **Heart**

- **同位素**

1. 檢查 體內 體外
2. 治療 I-131

- **磁共振造影** **Magnetic Resonance Imaging**

X光 發現

- 1880 哥爾斯坦(德)
- 1887 克魯克斯(德)
- 1890 古茲彼得(美)
- 1895 斯密施(英)
- 1895 倫琴(德)



X光的演進

- 手動
- 透視
- 手提
- 移動 野戰 C-arm
- 遙控 電視遙控
- CT vs 3D/三度空間
- MRI/核磁共振
- 骨密 微量X光/超音波
- 影像傳輸系統 picture archiving & communication system/HIS

X光相關事與物

- 放射技術學
- 相關儀器 X光 骨密 洗片機
- 相關設備 量尺 看片箱 Grid Bucky
- 相關藥品
暗房藥水 顯像劑 同位素治療、檢驗試劑
- 顧客 病患 醫師
- 品管 廢片率 儲片系統
- 影像管理 電腦 HIS PACS

游離輻射的產生

- 原子核的蛻變
- 電磁場作用
- 核分裂
- 核融合

游離輻射的產生與作用都會符合
質能互變及能量不滅定律

游離輻射的產生-原子核的蛻變

- 原子的衰變，如原子核裡的質子或中子數超過使原子核能穩定的存在時，或是部分核子所處的能階高於其穩定存在的能階時，原子核就會發生衰變（**decay**）。這是因為原子是由質子、中子、電子所構成。依據**庫侖定律**，質子與質子間會有排斥力，中子與中子、質子間有吸引力，當排斥力大於吸引力，則該原子將會因核內排斥力太大而不穩定，故產生衰變，使原子得以形成穩定狀態。

游離輻射的產生-原子核的蛻變

- Law of decay : $N(t)=N_0 e^{-\lambda t}$
由 $dN / dt = -\lambda N$ 以積分方法得之
- λ 為衰變常數（單位： S^{-1} ），會隨不同的核種而有不同數值。

α decay - α 蛻變

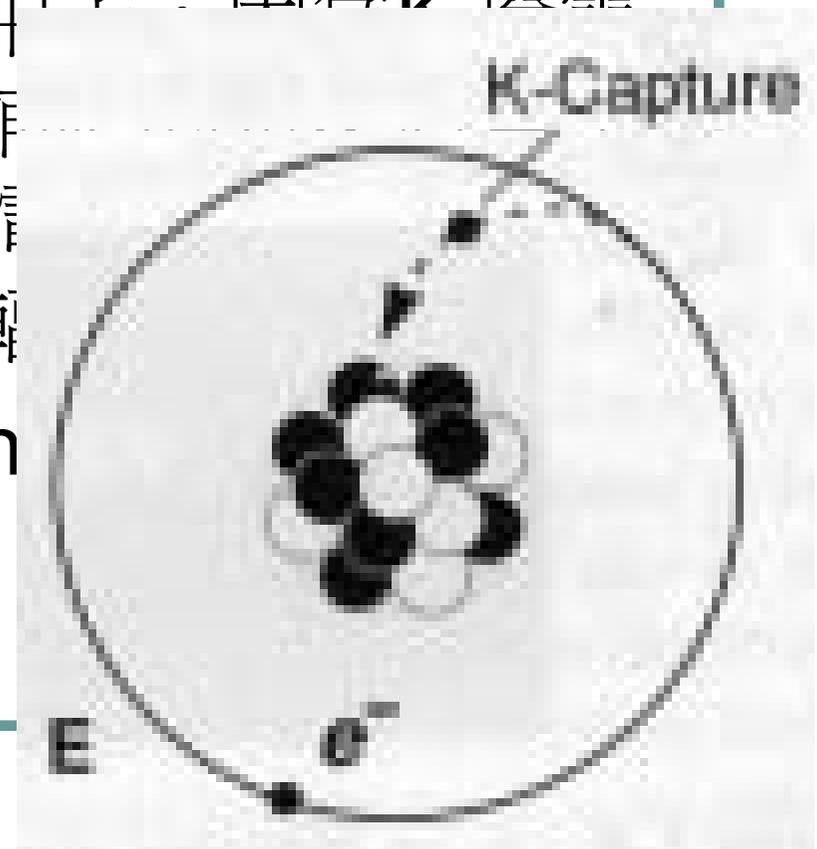
- 原子核以釋放 α 粒子來完成其蛻變過程。 α 粒子就是氦原子核，由兩個質子與兩個中子所組成。

β decay β 蛻變

- β^- 蛻變：中子數超過穩定所需，將發生 β^- 蛻變。反應式為： $n \rightarrow p^+ + \beta^- + \bar{\nu}$ （ $\bar{\nu}$ 為反微中子antineutrino）
- β^+ 蛻變：原子核中中子數較穩定時少，原子中的質子蛻變為中子和正子。反應式為： $p^+ \rightarrow n + \beta^+ + \nu$ （ ν 為微中子neutrino）
- 其中電子和正子於 β 蛻變時產生，且可由原子處所獲得的能量，但所獲能量不是固定的。 β 蛻變時，粒子平均獲得能量通常是 E_{\max} 的三分之一。 E_{\max} 是粒子可獲得之最大能量。

Electron capture (EC) 電子捕獲

- 原子核中中子數較穩定時少，原子也可以從其核外電子中捕捉一個電子，使他與原子核中的質子結合形成中子。因為K層電子與原子核相近故通常捕捉K層電子，所以常稱為**K capture**。衰變後，一定會有特性輻射輻射。
- 反應式為： $p + e^- \rightarrow n$



Internal conversion (IC) 內轉換

- 放射性核種在蛻變時常常先蛻變到子核種的受激態，當子核由受激態返回基態時，多餘的能量，就以 γ 射線形式釋出。有時會被原子核外電子所吸收而使核外電子游離出來，這種變化稱為內轉換，被游離的電子稱為鄂惹電子（Auger electron）。

Isomeric transformation

異構物躍遷

- 放射性核種蛻變到子核種的受激態，在此狀態時間夠長的話，我們就稱做這一種狀況為介穩狀態（**metastable state**），並認定處於介穩狀態的核種，和基態核種是兩種不同核種。如 ^{99m}Tc 其與 ^{99}Tc 多了一個m 就是指**metastable state**，表示這兩者是不同的核種。

游離輻射的產生－電磁場的作用

- 電磁場的作用產生游離輻射有X-ray 和粒子加速器等運用。其中產生X-ray 的方式有Bremsstrahlung X-ray 制動輻射及Characteristic X-ray 特性輻射兩種。
- 一般我們對光的分類，多以其波長來分類，但應可發現 γ -ray 和 X-ray 的分佈波長有部分重疊。

γ -ray 是由原子核所釋放的，

X-ray 是由原子軌道的電子所釋放的，

其產生的地方不同就是 γ -ray 和 X-ray 最大的差別。

制動輻射

制動輻射的產生為當電子非常接近原子核時，因帶正電原子核與帶負電電子的強吸引力，使得電子方向改變並突然減速而損失能量，損失的能量將以電磁波呈現出來。電子由於突然地減速而產生的輻射以德文**Bremsstrahlung** 來表示，以英文表示既是 **braking radiation**。

此輻射即為X光機之X光產生的主要因子

Characteristic X-ray 特性輻射

當電子受到外界能量激發時，能夠吸收能量跑到較高能階上，不再受到激發時，電子會跳回原來位置，而把多餘的能量以電磁波形式釋放出來。

不同能階間有著一定的能量差，所以當電子回跳時，所產生的電磁波波長也隨元素而異，一定的元素會產生一定波長的電磁波。

游離輻射與物質的作用

游離輻射與物質的作用可分帶電粒子及不帶電粒子兩大類。

帶電粒子包括 α 、 β 粒子。

不帶電粒子則包含中子、光子等。

帶電粒子與原子間的作用，除了一般彈性、非彈性碰撞外，還有與兩者間的庫侖力有關。不帶電粒子中的中子，有較重的質量，故與光子對於物質的作用，有著更複雜的關係，於此不多說明。

光與物質三種交互作用

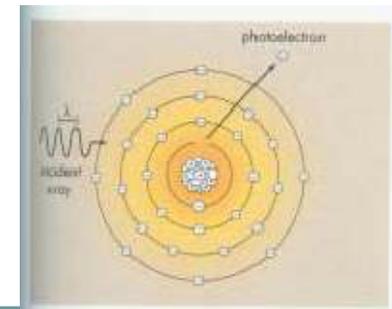
光與物質三種交互作用一般可分為光電效應、康普吞效應及成對效應三種。

1. 原子將光子完全吸收而將軌道上的電子打出稱為光電效應。
2. 當光子與外圍電子產生彈性碰撞，入射光子能量部分轉移至電子，部分由散射光子帶走，稱為康卜吞效應。
3. 當光子能量大於 1.022MeV 以上時，光子和原子核起作用，而形成一對正負電子，稱為成對效應。

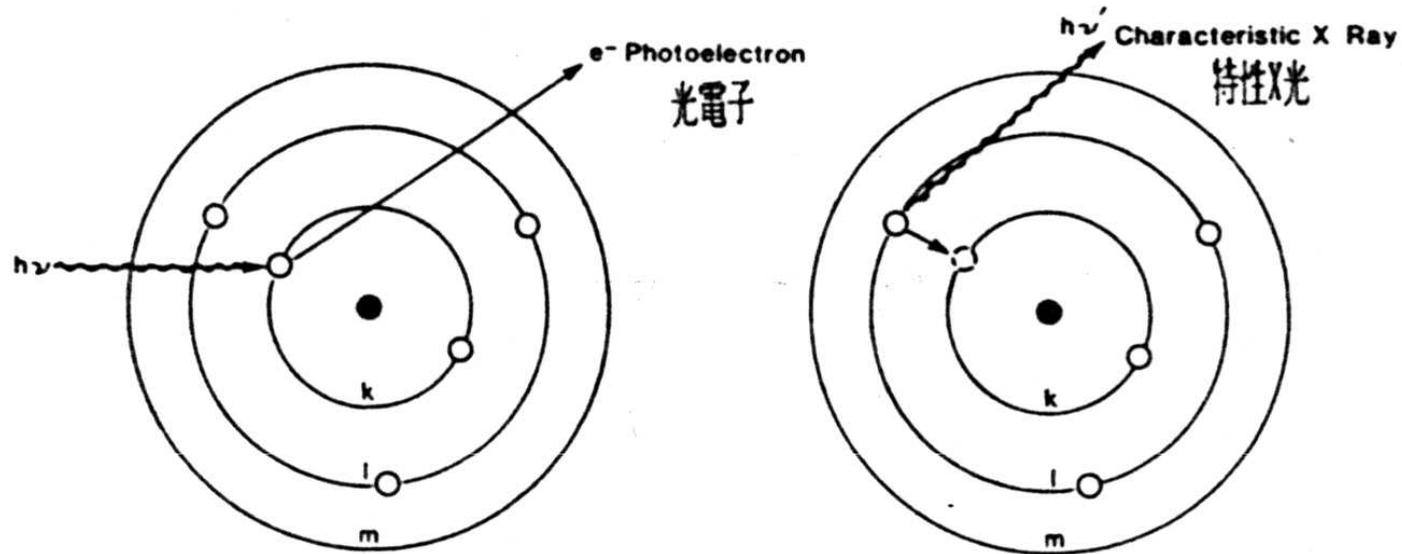
Photoelectric effect 光電效應

- 當光子的能量恰稍大於作用物質核外電子的束縛能，是光電效應最易產生的情況，作用後電子的動能等於光子能量減去束縛能。束縛能越大，越容易產生光電效應，也就是越接近原子核的內層電子，越易發生光電效應。光電效應的發生機率為

$$Z^3 / (h\nu)^3 \quad Z \text{ 為原子序。}$$



光電效應 (photoelectric effect)

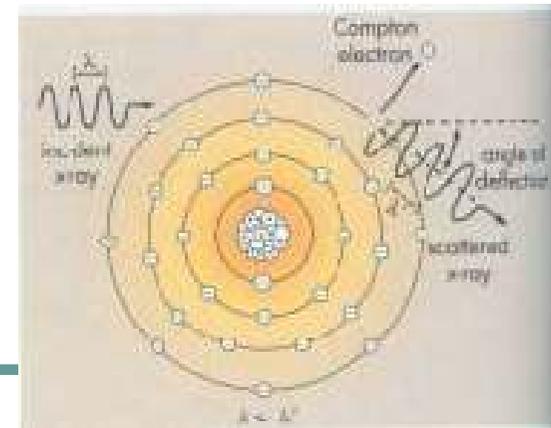


光子將全部能量交給束縛電子而消失。電子利用部份能量克服軌道能階的束縛，其餘能量則轉換成本身的動能。

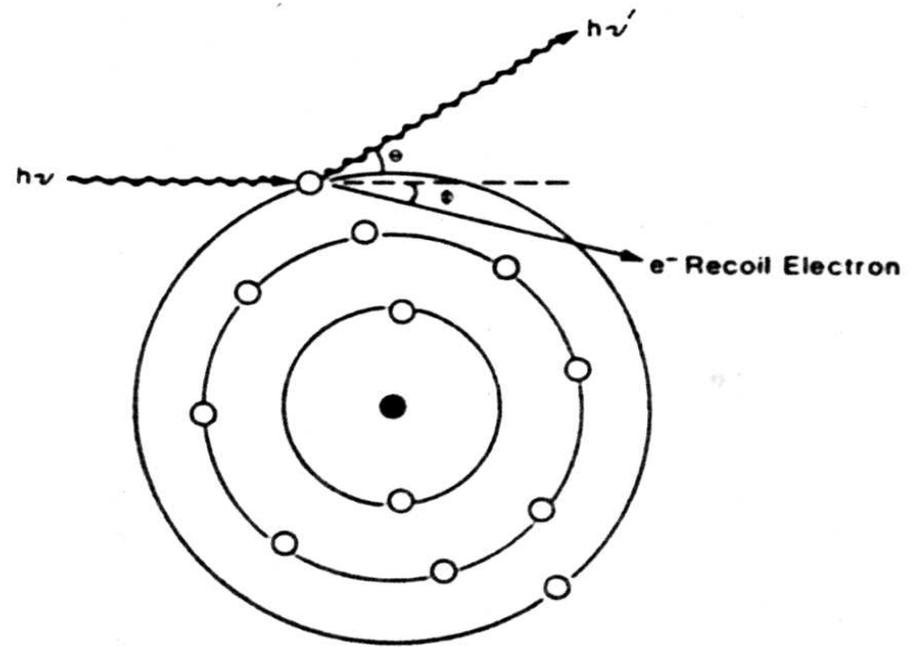
受激電子稱為光電子 (photoelectron)。 $h\nu = KE_{\max} + h\nu_0$ 。
其中 $h\nu$ 為光子所帶的能量， KE_{\max} 為光電子的最大能量， $h\nu_0$ 為光電子所要克服的束縛能。光電子的離開方向與光子的入射方向成直角。光電子留下的空洞，馬上由高軌道的電子填補，填補電子會放出多餘的能量，而釋出特性輻射。

Compton effect 康普吞效應

- 涉及光子和外圍電子的作用，因為外圍電子的束縛較小，故可視為自由電子。在碰撞中，光子將部分能量轉讓給電子，使電子獲得反衝動。由於碰撞是彈性的，光子的能量會減少，波長會增加。這導致了康普頓效應，即散射光子的波長比入射光子的波長長。康普頓效應的實驗證據是康普頓散射圖，顯示了散射光子的波長與散射角之間的關係。



康普吞效應 (Compton Effect)



如圖，光子和自由電子產生碰撞，如此使電子以能量 E 在運動，其運動方向和入射光子的方向成 θ 角，而其餘能量則由在 θ 角方向的光子所帶走，此能量為 $h\nu'$ ，由能量守恆，得知 $h\nu = h\nu' + E$ 。因為動量也是守恆的，所以當 θ 是已知時，將只有一個唯一的值。

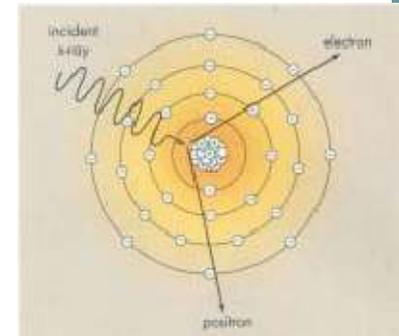
若能量為 $h\nu$ 的光子與電子發生正撞，則光子以 180° 向後散射，電子將向前方運動，在此種碰撞，電子將獲有最大能量。若光子與電子擦身而過，則電子將出現在幾乎呈直角的方向上（ $\approx 90^\circ$ ）且幾乎沒獲得能量，而散射光子則朝前走，且幾乎帶走全部的能量。

Pair production 成對效應

- 成對效應的產生需要在強大庫侖力場內始可發生，在原子核附近的力場，發生機率遠大於電子附近的力場內，光子在運動中接近強大庫侖力場時，發生作用消失並產生一對正子、電子，此過程的低限能是 1.02MeV （此為正、電子的靜止質量）。當能量超過低限能量時，此過程發生的機率迅速地上升

Pair production 成對效應

發生機率和原子序平方成正比。轉換成動能的能量是 $h\nu - 1.022\text{MeV}$ 。每一作用將產生兩個互毀光子從吸收體輻射出去，每個光子的能量為 0.511MeV 。可由 $E=mc^2$ 得知。



(電子質量 $9.109 \times 10^{-31}\text{kg}$ 、 $c = 3 \times 10^8\text{ms}^{-1}$ 、 $1\text{ev} = 1.608 \times 10^{-19}\text{J}$)

放射醫學中各種不同作用的相對重要性

- 50KeV 以下 主要是光電效應
- 60KeV~90KeV 光電效應和康普吞都重要
- 200KeV~2MeV 康普吞效應明顯
- 5MeV~10MeV 成對效應開始顯得重要
- 50MeV~100MeV 成對效應最重要

一般的X光機所使用的能量為60~100KeV，故可知光電效應和康普吞效應對於影像醫學來說，是相當重要的。

X-ray tube

- 1895 Roentgen: crookes tube
- 1896 → cup
- 1899 → aperture diaphragm
- 1913 → coolidge tube
- 1919 → shocking proof

X-ray tube

- 陰極 鎢絲
- 電阻→生熱/如燈泡一般
- 陽極 金屬靶，吸引負電荷粒子
- 負電子→陽極 產生熱量與X光



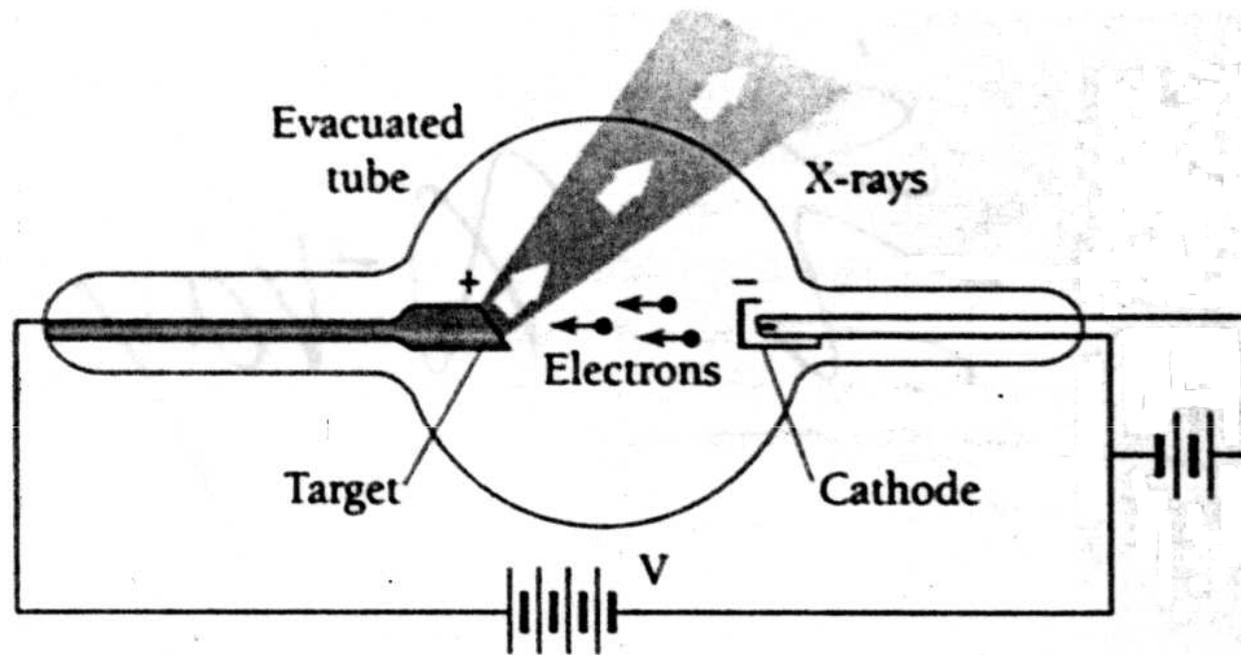
X-ray tube

- Filament → tungsten coil
- 高電流加熱 → 2200°C
- Thermionic emission
- Space charge
- Electron equilibrium

Focus cup

Grid-control tube

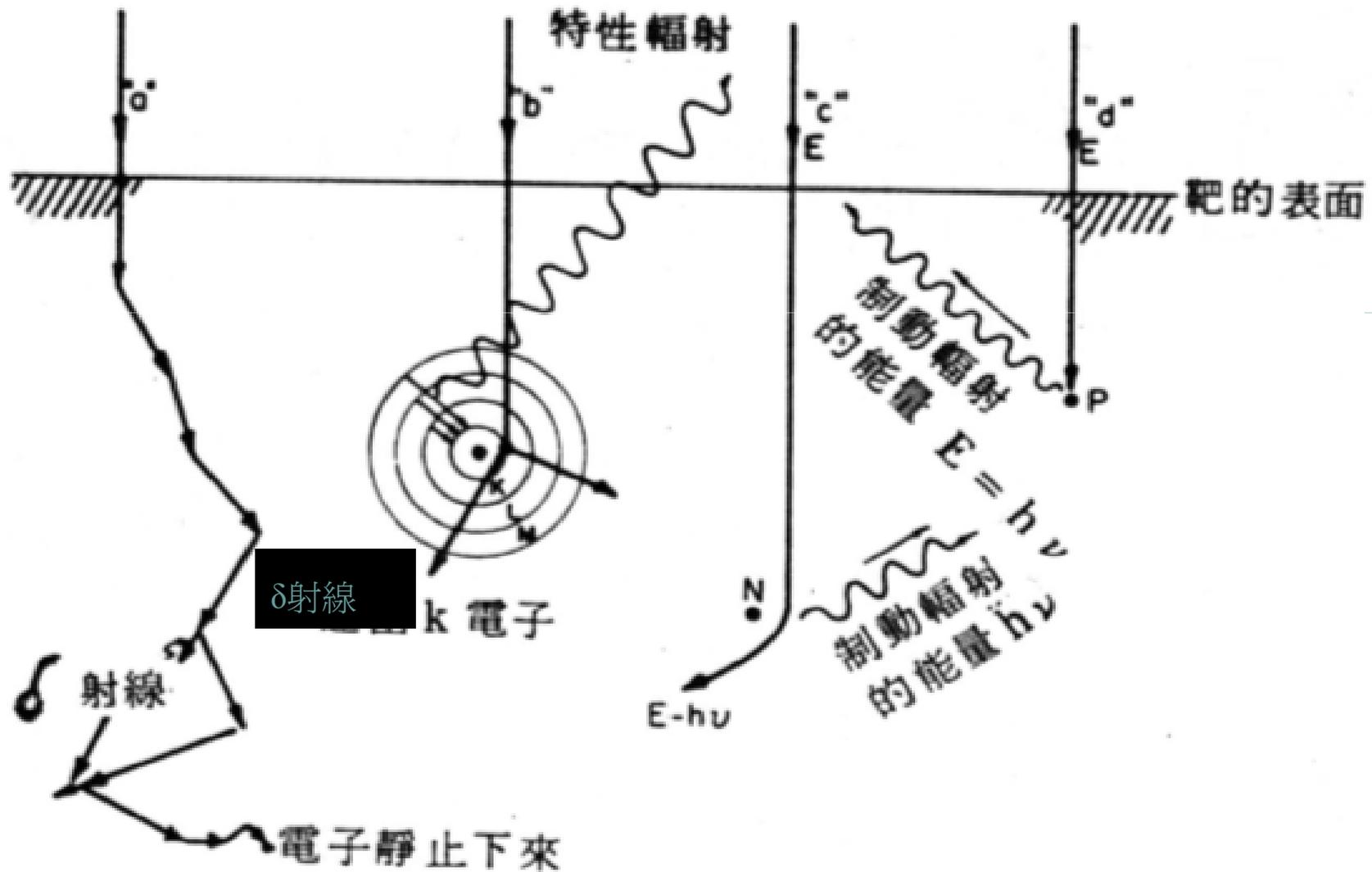
X光管



X光管包含一陰極（鎢絲）、陽極（鎢或鎢銻合金）、真空的玻璃封罩。鎢絲加上聚焦杯與陽極靶放在玻璃封罩內。

當鎢絲加到白熱時，電子將從鎢的表面逸出，若此時陽極電壓相對於鎢絲為正，則這些電子將被吸到陽極。因為陽極與陰極間為高度真空，電子在穿過兩者之間時將不會與氣體分子相碰撞，而可獲得非常高的速度到達陽極。

電子撞擊



電子撞擊

- 軌跡a，是最容易發生的（發生次數多）
- 在一連串的碰撞裡，電子的活動方向將改變而產生游離化，在這些歷程中將轉移一部份能量給原子中的電子，而將它從原子中打出來。這被打出來的電子可能有足夠的能量以產生自己的軌跡，這些軌跡通常稱為 δ 射線，最後都變成熱的形式出現。

電子撞擊

- 軌跡**b**，入射電子正好打到靶中鎢原子軌道上之**K**原子，因此鎢原子的軌道上將有一個空洞產生，而此空洞會由外層電子來填補。
- 由於外層電子是由高能階跳至低能階，當跳到**K**軌道時，多餘的能量會以輻射的形式釋放出來而發射出**特性輻射**。

電子撞擊

- 軌跡c，由於正電的原子核與負電子之間的強烈吸引力，使得電子部份繞著原子核旋轉。
- 根據電磁學的理論，假如帶電的粒子，因加速度的改變而使它的能量變小時，這多餘的能量就會以電磁波的形式發射出來。這種電子突然減速所產生的輻射，稱為**制動輻射**。

電子撞擊

- 軌跡d，是一種不太可能發生的情況。電子直直衝向原子核，在一次碰撞後即完全停止，全部的能量都以制動輻射的形式出現。他表示光子所能達到的最大能量，即沒有任何發射出的光子能量會高過此值。

X 光管通常分成 { 診斷用 — 焦斑小、時間短，瞬間輸出大
治療用 — 平均輸出大

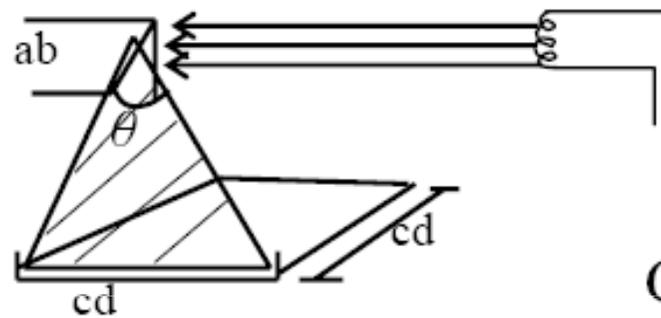
★ { 治療 tube 的平均輸出為診斷 tube 10 倍
治療 tube 的瞬間輸出為診斷 tube 1/10 倍

診斷用 X 光管：★電子 $E < 200\text{keV}$

· 診斷用 tube 是為了使 Pt' 的某一部位產生明顯並清楚的影像而設計；為了達到這個目的；X 光必須：

相衝突的！會導致負荷過大 { ★來自點源
★照射時間極短

ab 對 cd 來說可使 x-ray 視為來自極小的面積



$$Cd = ab \cdot \sin \theta$$

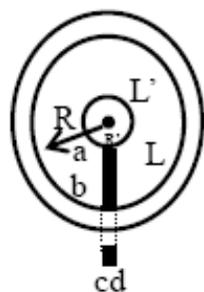
Ex : $ab = ?$, $cd = 2\text{mm}$, 靶角度為 16° , 求 ab 和增益 $gain$?

Solu : $\because ab$ 可寫成 $= \frac{cd}{\sin Q}$

$$\therefore ab = 7.2259_{(\text{mm})}$$

$$gain = 7.2259 \times \frac{2}{2 \times 2} = 3.6$$

Q 改為 6° 時, $gain = 9.5668$



因此負荷極度提高

- 旋轉陽極須加一轉子

{ standard 3000 轉 (60HZ 電源驅動) 同步轉速 = $60 \cdot 60 = 3600$

{ High speed 9000 轉 (120HZ ~)

又，因為轉子生渦電流，會產熱，每次開關約產生 $3 \times 10^3 \text{J}$ 的能量 (1 cal = 4.18J. ∴ 產生 717.703 卡)

• 為使 X 光機多用途，目前多具粗、細兩種燈絲

- 粗：大負荷、大照野、大焦斑→中 Resrlution
- 細：小負荷、小照野、小焦斑→高 Resrlution

或將 Target 設計成兩種角度

★Q 多在 $6^{\circ} \sim 16^{\circ}$ ； 6° 常用於 DSA 小焦斑、大負荷、小照野。

• 目前的 Target (Rotate Anode) 多以鎢銻加在鉬盤基上。

• 只有在最完美的情況下，焦斑才會是完美的長方形，實際上由於針孔影像，所以焦斑是類似兩條線的，

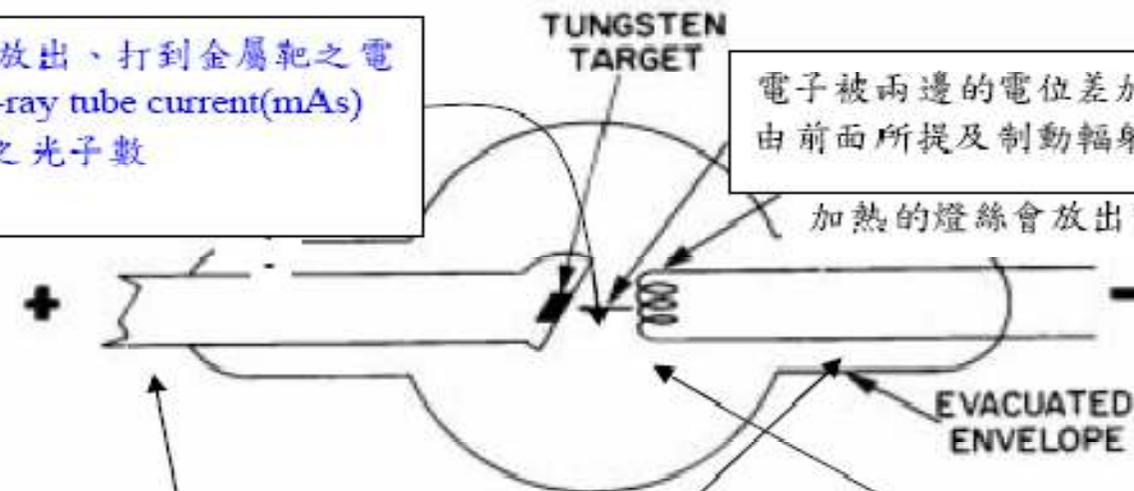
★焦斑的形狀與鎢絲在聚焦杯中的位置有關

scattering 是因為焦斑以外的地區，也受到散射電子撞擊。

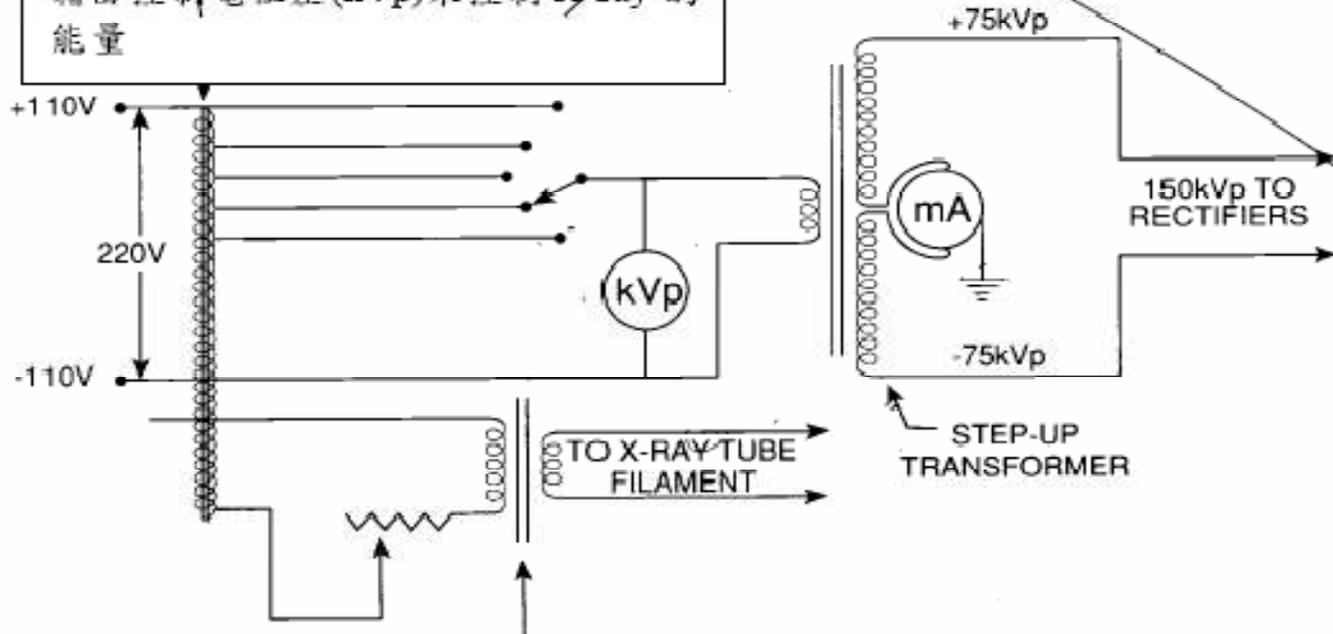
每秒由燈絲放出、打到金屬靶之電子數稱為 X-ray tube current(mAs)
決定 X-ray 之光子數

電子被兩邊的電位差加速，打到金屬靶，
由前面所提及制動輻射的原理放出 X-ray

加熱的燈絲會放出電子



藉由控制電位差(kVp)來控制 X-ray 的能量



控制可變電阻之電阻大小來控制通過燈絲之電流大小(與 X-ray tube current 相關
但非 X-ray tube current)，以控制 X-ray 之光子數

機頭部構造

1. 固定陽極管球
 - 因陽極固定，故其熱容量較小，通常使用於**100Ma**以下的移動或攜帶式**X**光機及牙科**X**光機等。
2. 迴轉陽極
 - 陽極加上軸承及驅動線圈使其如馬達之旋轉，以增加產生放射線之面積而達到承受高熱容量的目的。
3. **X**光管容器
 - 爲了防止散亂射線，應注意絕緣之處理與熱量之消散。通常管球容器均加裝一過熱保護開關，以保護管球因持續之照射而產生過熱的問題。
4. 準直儀
 - 此爲控制**X**光照射範圍之大小。通常準直儀都附帶可以簡單目測之燈泡，以做爲模擬照射區域之用。
5. 冷卻器
 - 因產生**X**光時，加於管球的能量大部份均變成熱量，爲了加速其散熱效果，於**X**光管球容器之外面加一風扇，以強迫風冷來達到目的，以加速冷卻。

高電壓發生裝置

內部構造：

(1) 高壓變壓器：

又稱為主變壓器，其作用為將普通之低電壓變為超高壓之卷線變壓器。

(2) 燈絲變壓器：

供給X光管燈絲加熱用之電源。

(3) 整流管：

1965年後因半導體之發展而漸漸減少使用。

(4) 整流器：

此為利用很多數目之半導體串聯而達到可耐超高之電壓，以代替整流管。唯一的缺點是對於溫度與異常電壓須注意。

(5) 高壓切換器：

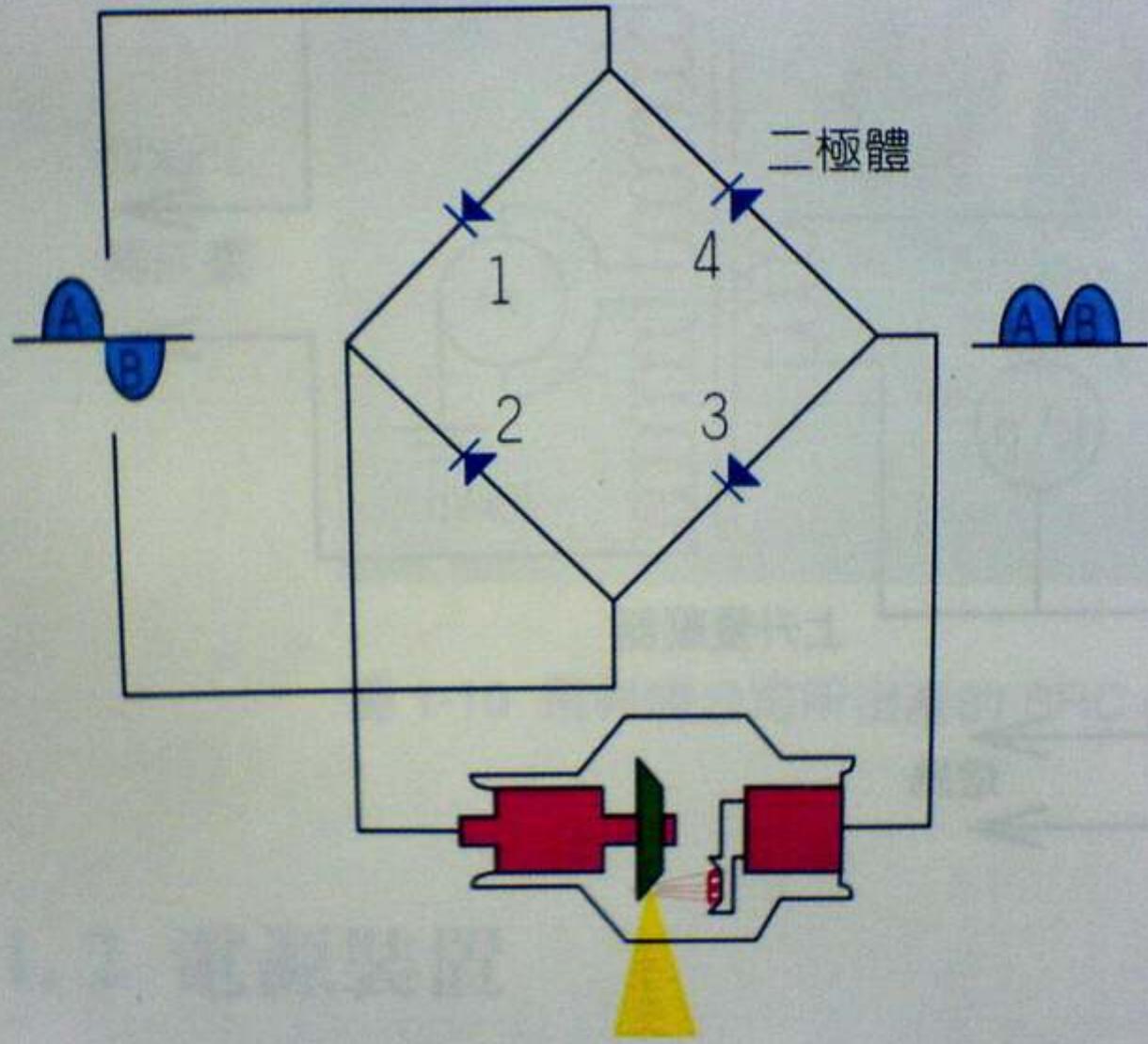
此為更換高壓之輸出至兩個或兩個以上管球時所必備之東西。

(6) 高壓電纜：

為了使用上之安全與絕緣空間之縮小，故X光使用特殊設計之高壓電纜與電纜接頭。

(7) 低壓導線：

此為變壓器一次側之入力電線、中性點接地測量用、燈絲變壓及安全用之接地線等。



整流器

波形

漣漪

單相半波
整流



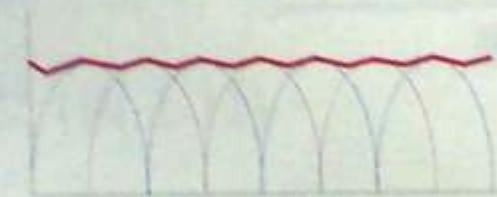
100%

單相全波
整流



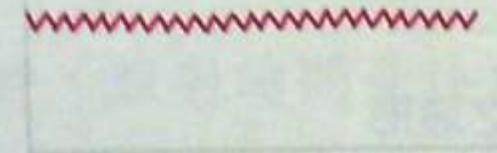
100%

三相十二
脈衝



3-5%

高頻整流

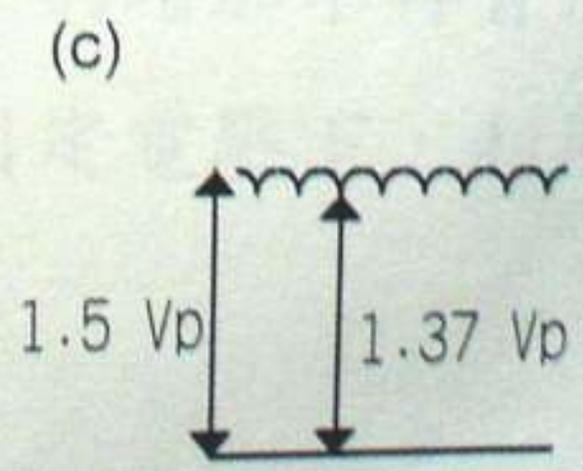
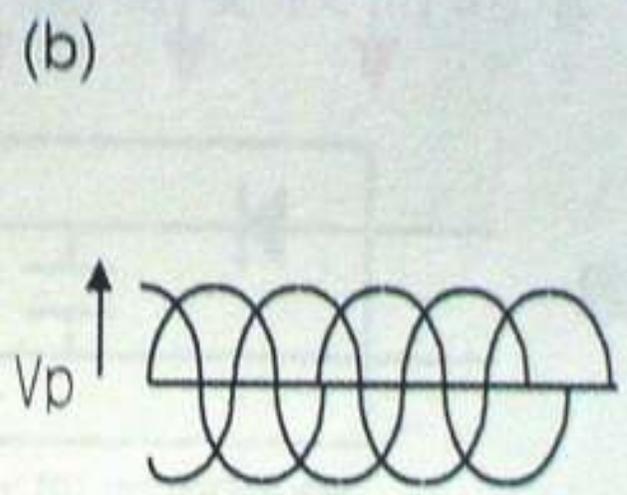
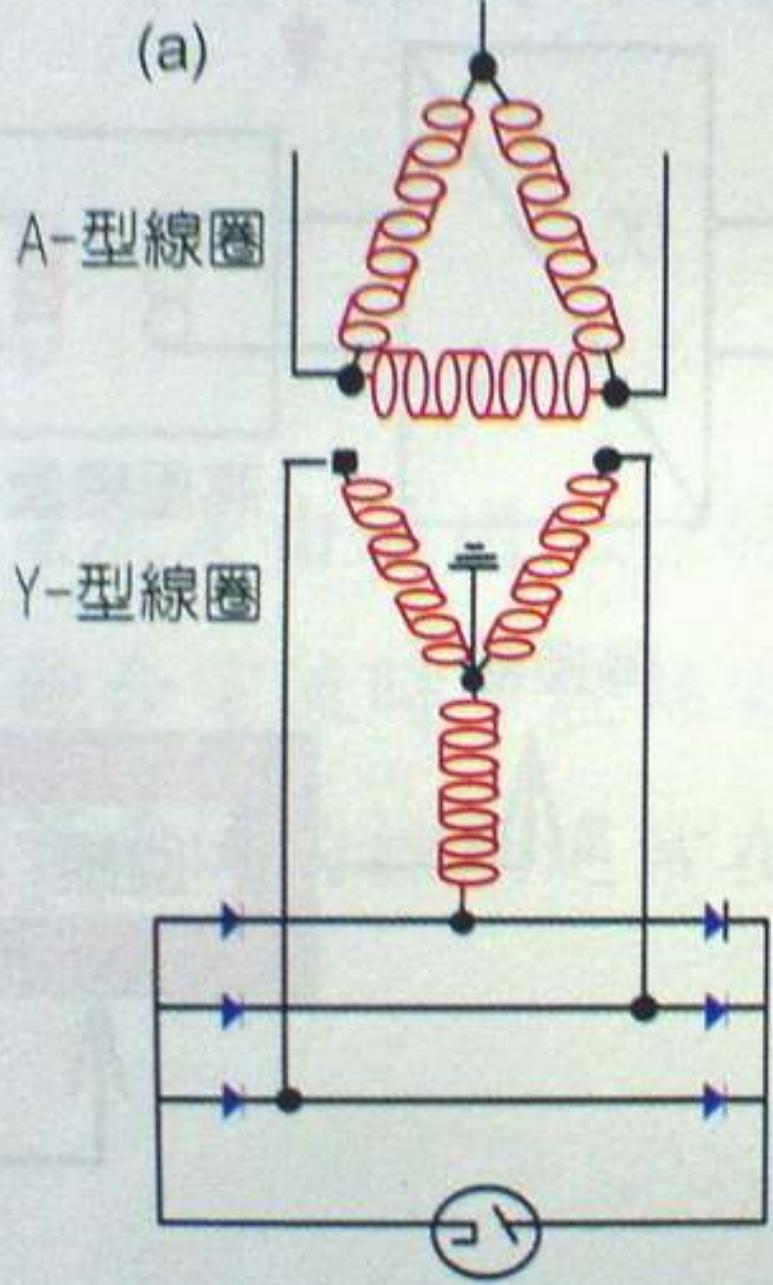


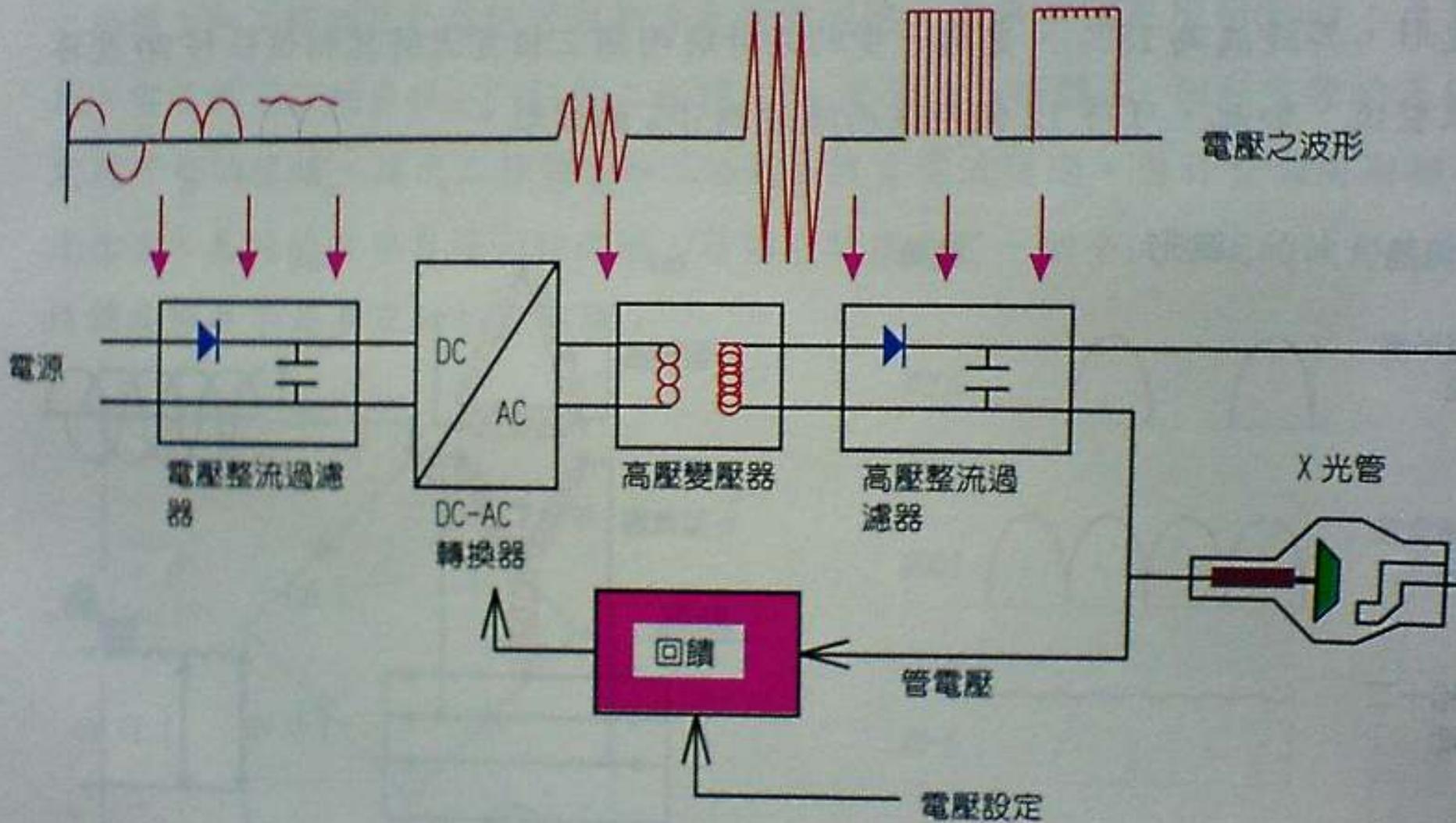
3-5%

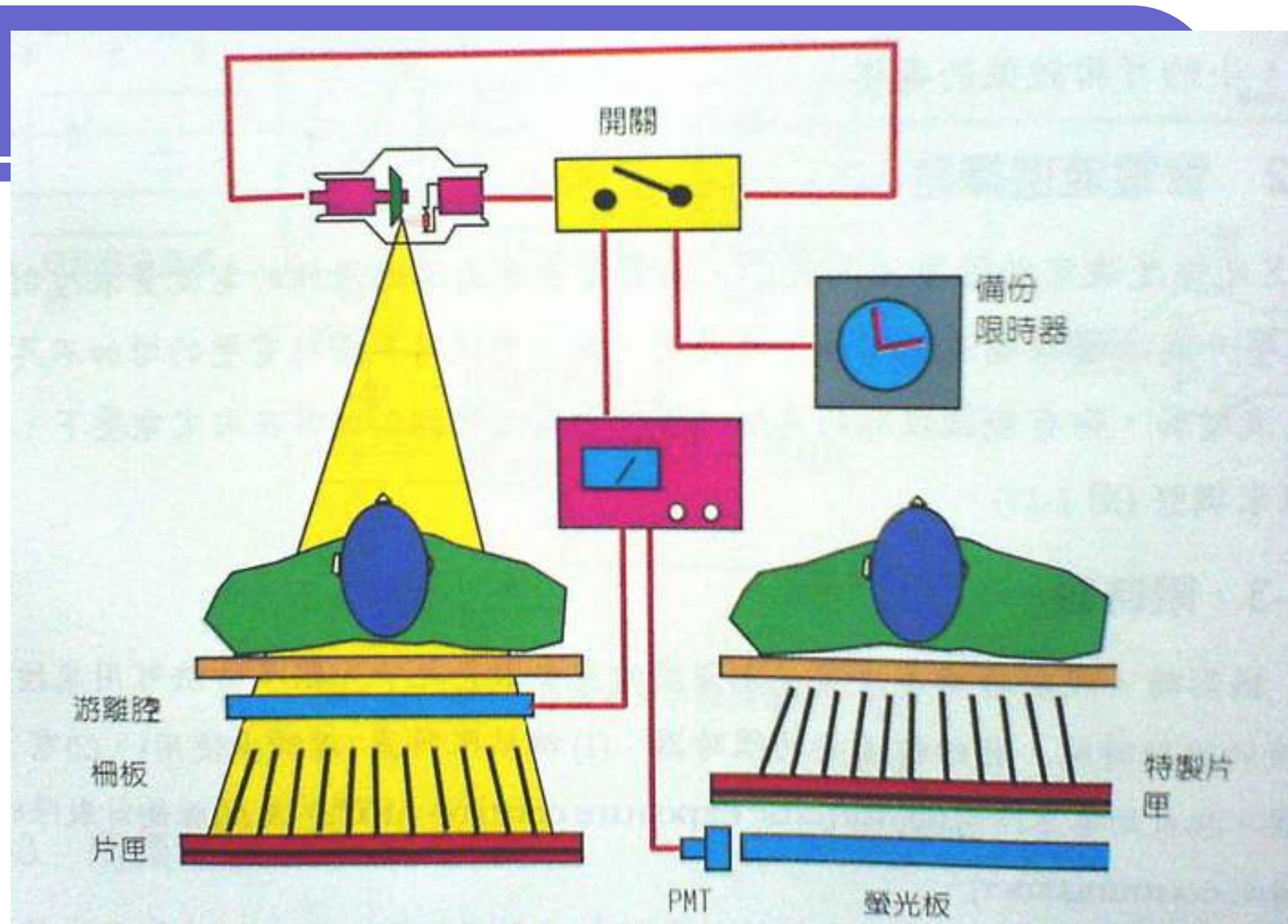
恆定電壓



0%







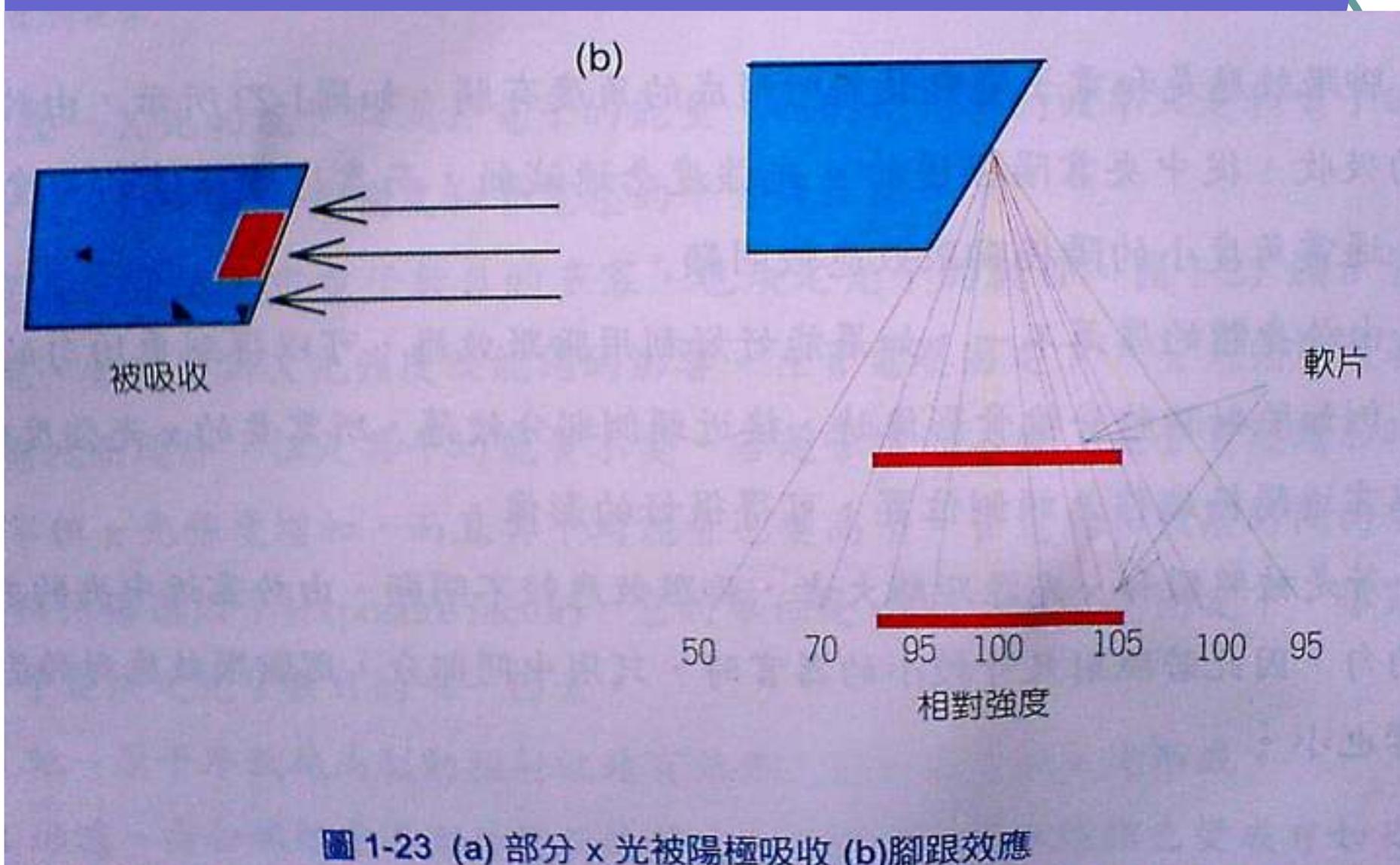


圖 1-23 (a) 部分 x 光被陽極吸收 (b) 腳跟效應

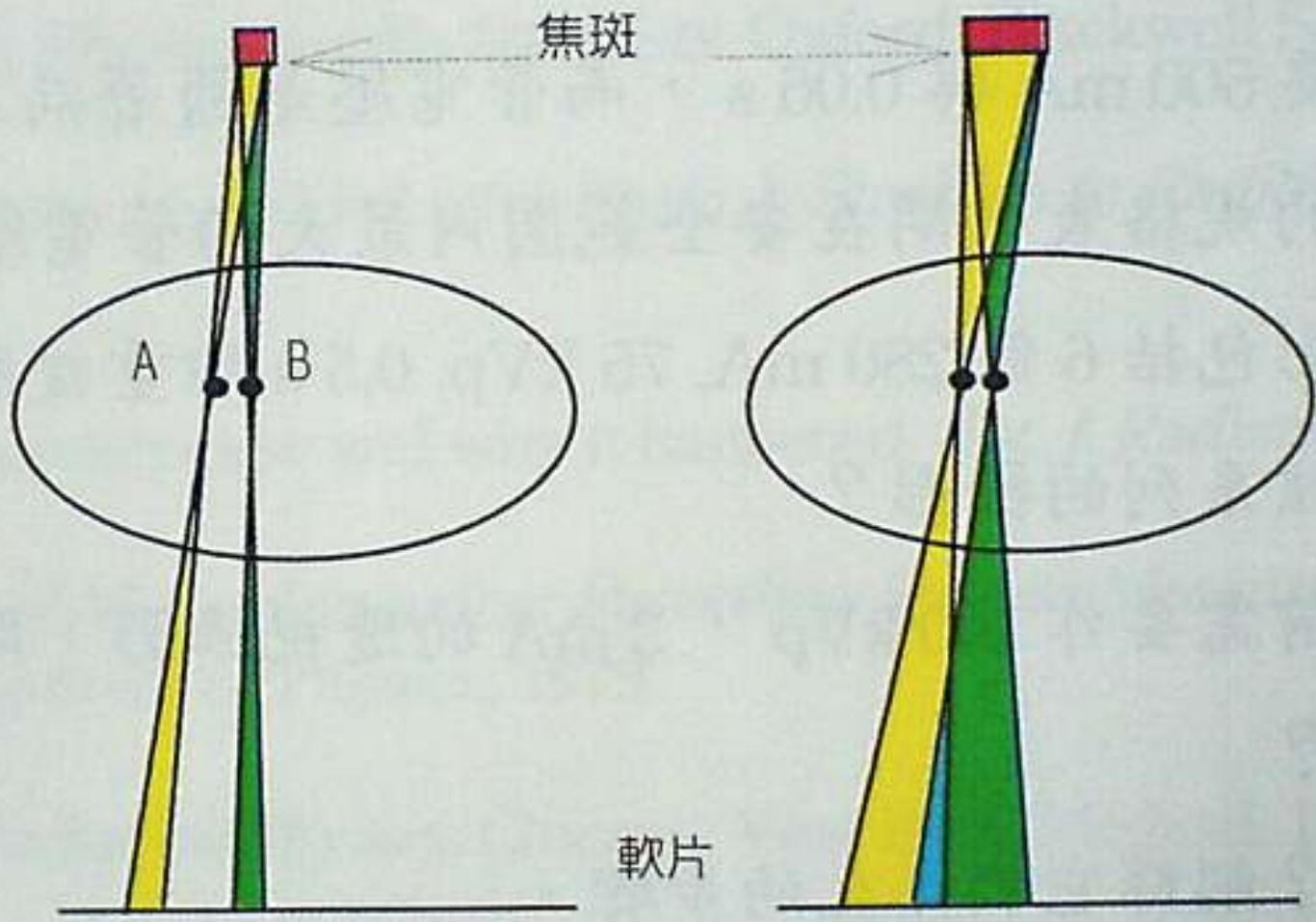


圖 1-24 焦斑對影像的影響

輻射產率

- 電子在減速過程中產生制動輻射的平均能量分數(fraction)

$$y \cong \frac{6 \times 10^{-4} ZE}{1 + 6 \times 10^{-4} ZE}$$

Z為靶材的原子序

E為電子能量(MeV)

輻射強度

光子能量與數目的乘積和

電壓,
電流,
靶材質,
過濾相關

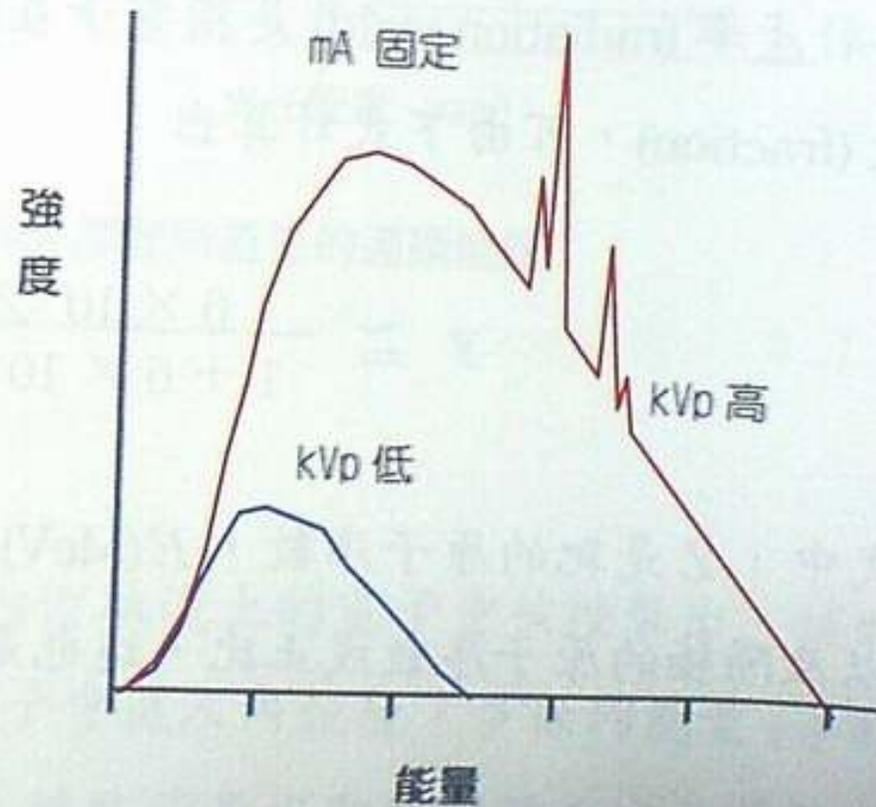
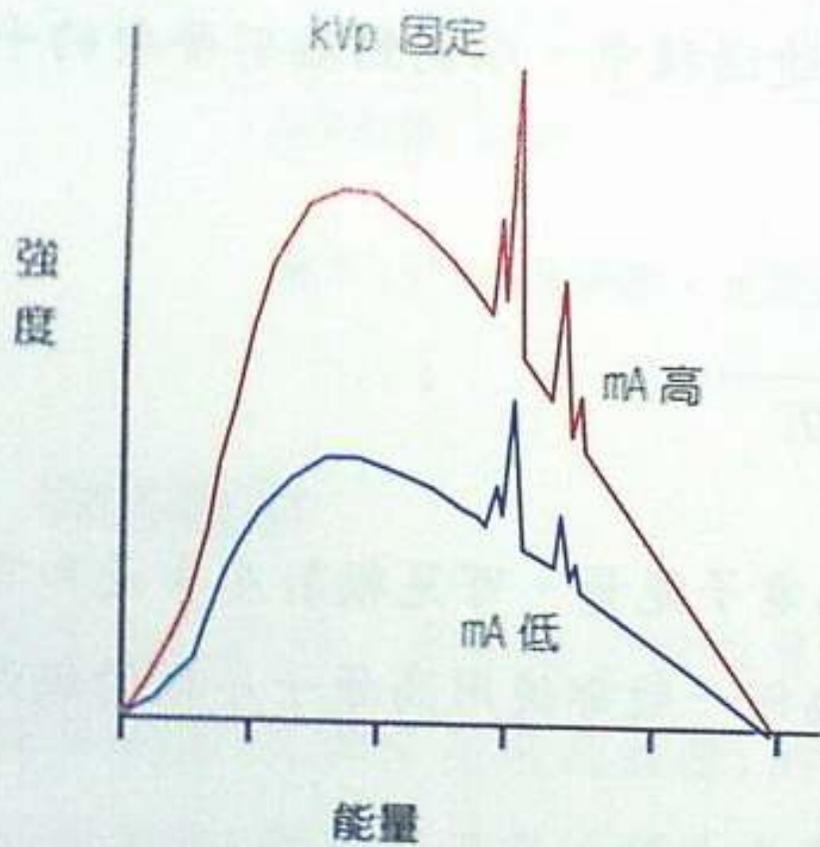


圖 1-21 管電壓與管電流對能譜的影響

X光控制器

主要部份如下：

1. 電源開關
2. 電源電壓調整器及電源電壓計
3. 管電壓調整器及管電壓計
4. 管電流調整器及管電流計
5. 電磁接觸器及X光發生指示燈
6. 攝影計時器
7. 透視計時器
8. 過負載保護器

機械設施

1. X光透視攝影台

X光攝影時，爲了要知道所照部位內之特定對象，須先利用透視觀察後，再攝取軟片來達到診斷效果。

2. X光攝影台

專指用於攝影而無透視功能攝影台。

3. 管球支持器

此爲支撐X光管球以利各部位攝影位置調整用。

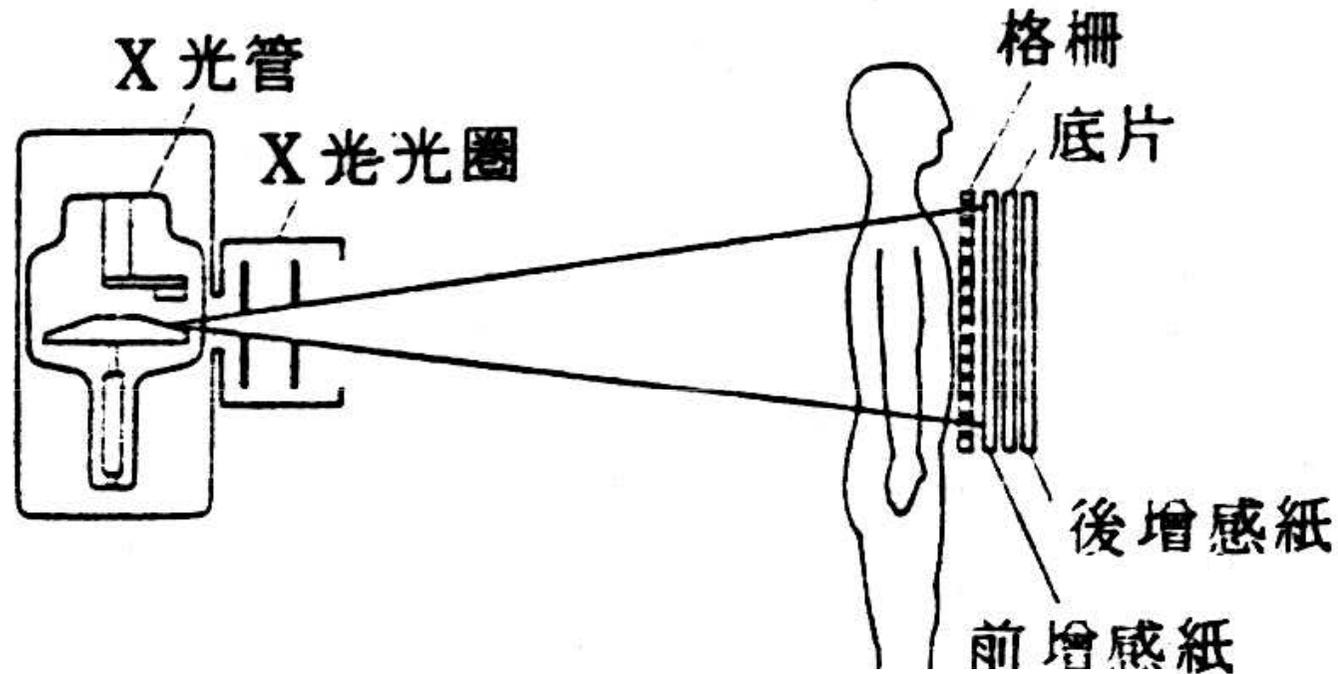
影像設施

1. **X**光電視系統
2. 螢光倍增管
3. 間接攝影用照相機
4. 軟片交換器
5. **X**光電影攝影機

X-ray的成像

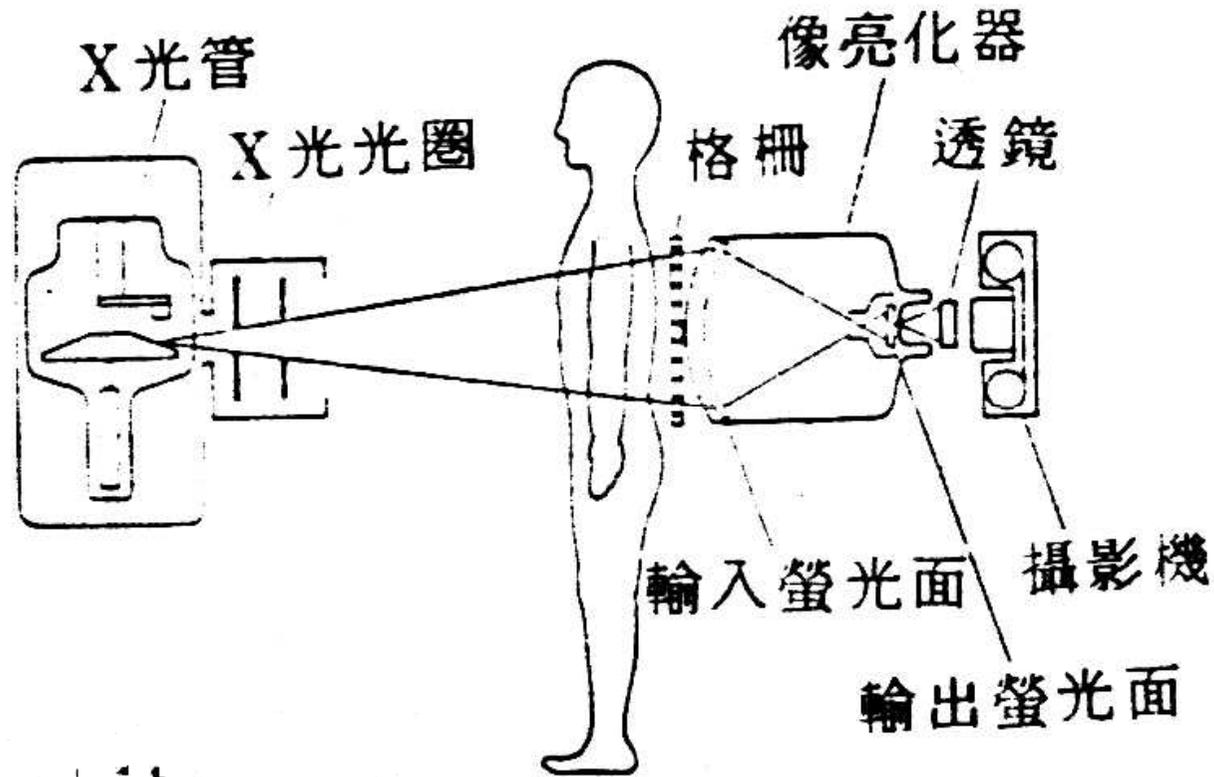
- 最原始的方式，映像裝置僅有由化學物質構成的感光底片。當X-ray穿過照射目標之後，打在感光底片上，將能量轉換給化學物質，形成底片的曝光而成像。
- 這種簡單的架構當然有許多不盡人意的缺點，像是X-ray的成像範圍控制、X-ray照射的範圍、X-ray的散射.....等等，於是，增加了濾片、螢光板、增感紙、影像增強管、鉛柵、X-ray光圈等輔助器具，來改善影像的品質。
- 更進一步的，以電子方式把影像訊號倍增、傳送，使用了X-ray螢光倍增管、X-ray電視等，包括了記錄影像的錄影機、電影攝影機等，使得X-ray影像應用更加廣大。

X-ray的成像-直接攝影



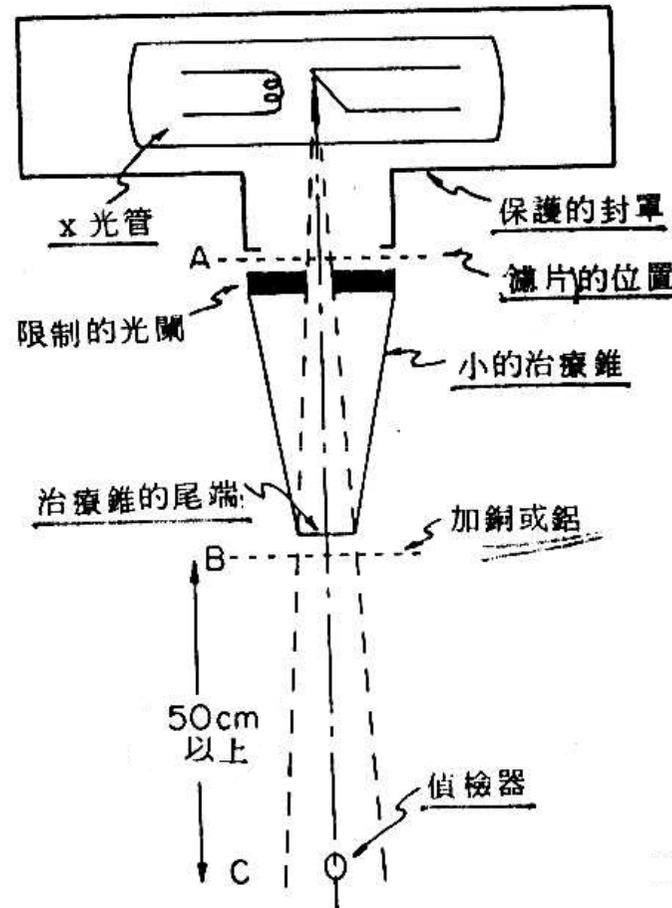
爲使照射目標被暴露量止於最小限度，以多重可變光圈節縮爲攝影或透視所必要的最小面積，透過照射目標。此時，從照射目標發生不少散射線，需以散射線除去用格柵將之除去。散射線量與照射目標厚度、照射野有很大的關係。X-ray被暗盒內增感紙（螢光板）的螢光體吸收，增感紙（螢光板）將之轉換爲可視光，發出螢光，藉此螢光使X-ray底片曝光，形成影像。

間接攝影



透視

濾片 (filters)

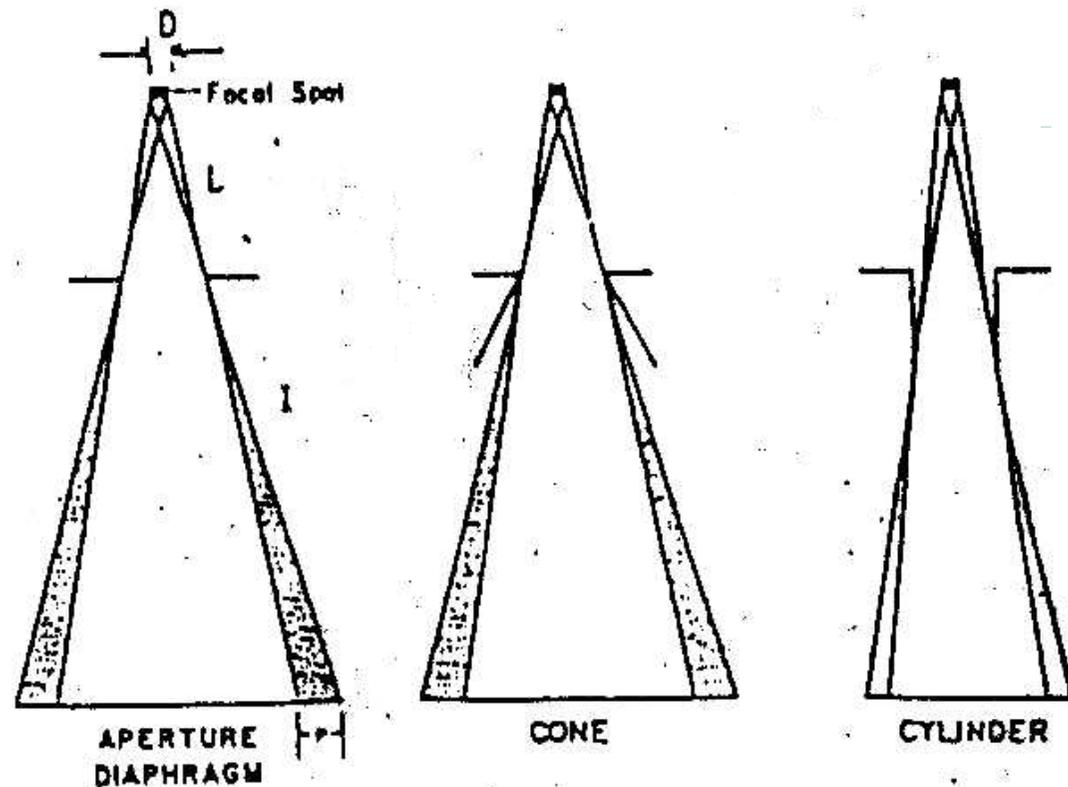


兩片1mm鋁夾一片0.25mm銅來製成，
稱為索雷洛斯濾片(Thoraes filters)

利用銅和鋁能吸收低於特定能量光子的特性，吸收某些能階的輻射。
通常在過濾低能量的X-ray是利用鋁製的濾片；
在過濾高能量的X-ray時，用銅製成的濾片。

X-ray 光圈 (collimeter)

- 四片鉛板相互重疊，置於X-ray發射處和被照射體之間，藉由其所圍出的可通過面積，原理同相機的光圈



KVP

- X光強度
電子飛向陽極速度，可以Voltage測知
- 伏特越高 電子吸引到陽極力量越大
- 真空管電伏 45,000~150,000
V/45~150KV
- 伏特越高 穿透力越高
- 攝影前 可依照標的厚度調整KV
- 完美影像 穿透力+x光劑量
- 所以.....

mAs

- 定義 電流時間 **amperage + second**
- 劑量/**Dose** 經過陰極的數量與時間
- 相同劑量 產生相同濃度

$$50\text{ma} \times 0.2 \text{ sec} = 100\text{ma} \times 0.1\text{sec}$$

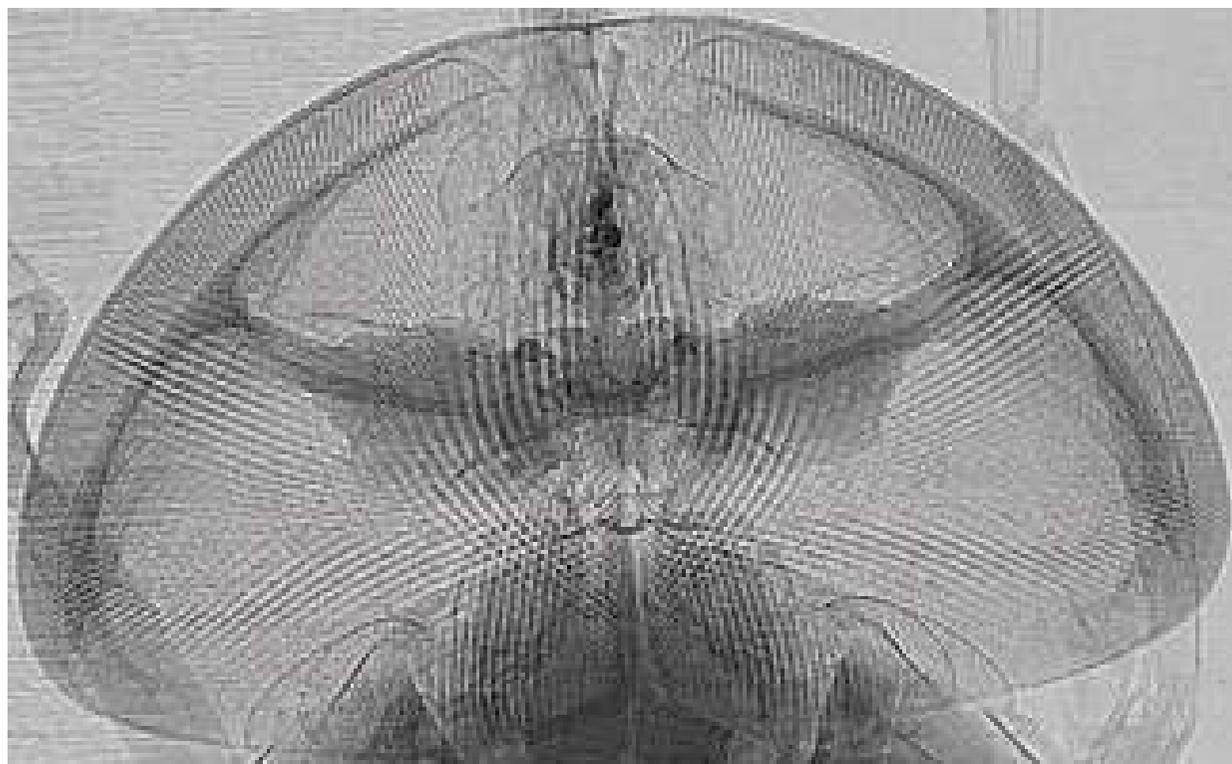
$$10 \text{ mas} \quad 10\text{mas}$$

攝影條件

- 無雜斑 mottle
- 不失真 distortion
- 不放大 magnify
- 濃度適當 density mas
- 對照度良好 contrast KVP
- 清晰 detail

X光顯微術

胡宇光，中央研究院物理研究所副研究員。



小而冷的 X 光源的碳奈米管在醫學上的應用

- 原始論文： Generation of continuous and pulsed diagnostic imaging x-ray radiation using a carbon-nanotube-based field-emission cathode Yue et al., App. Phys. Lett. 81 355-357 (2002).