

非傳統加工

第五章 電子束加工

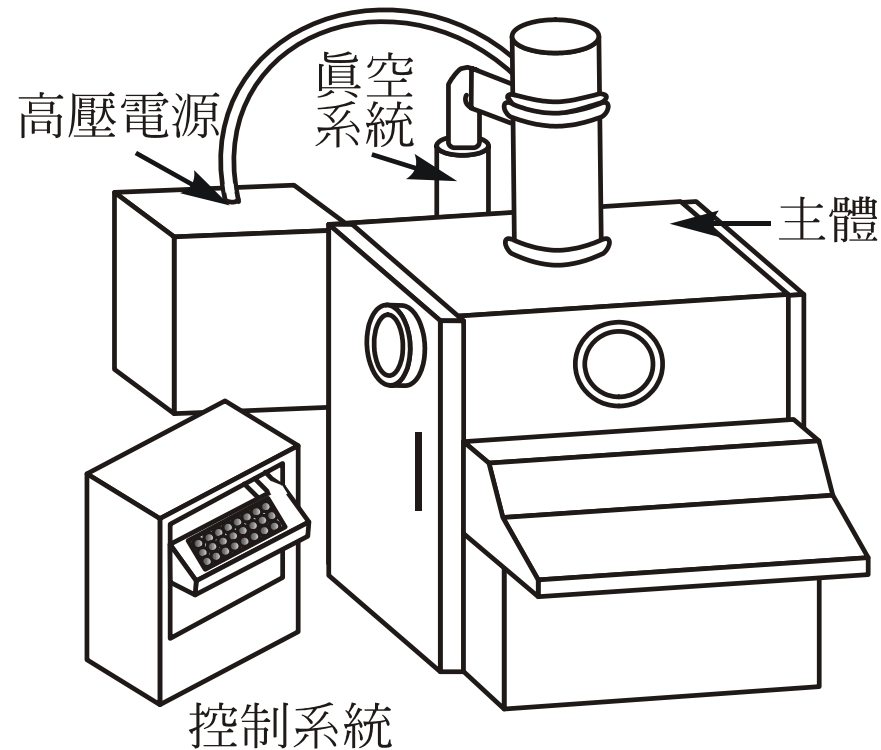
- 授課教師：藍翔耀
- 研究室：復華樓B406室(機械系4樓)
- 電話：機械系(02)27867048 分機38
- E-mail：lan@cc.cust.edu.tw
- 教學網頁：<http://cc.cust.edu.tw/~lan>

第五章 電子束加工

Electron Beam Machining

- 第一節 電子束加工的基本原理與分類
- 第二節 電子束的加工裝置
- 第三節 電子束加工的特點
- 第四節 各種電子束加工方法
- 第五節 電子束安全防護

第一節 電子束加工的基本原理與分類

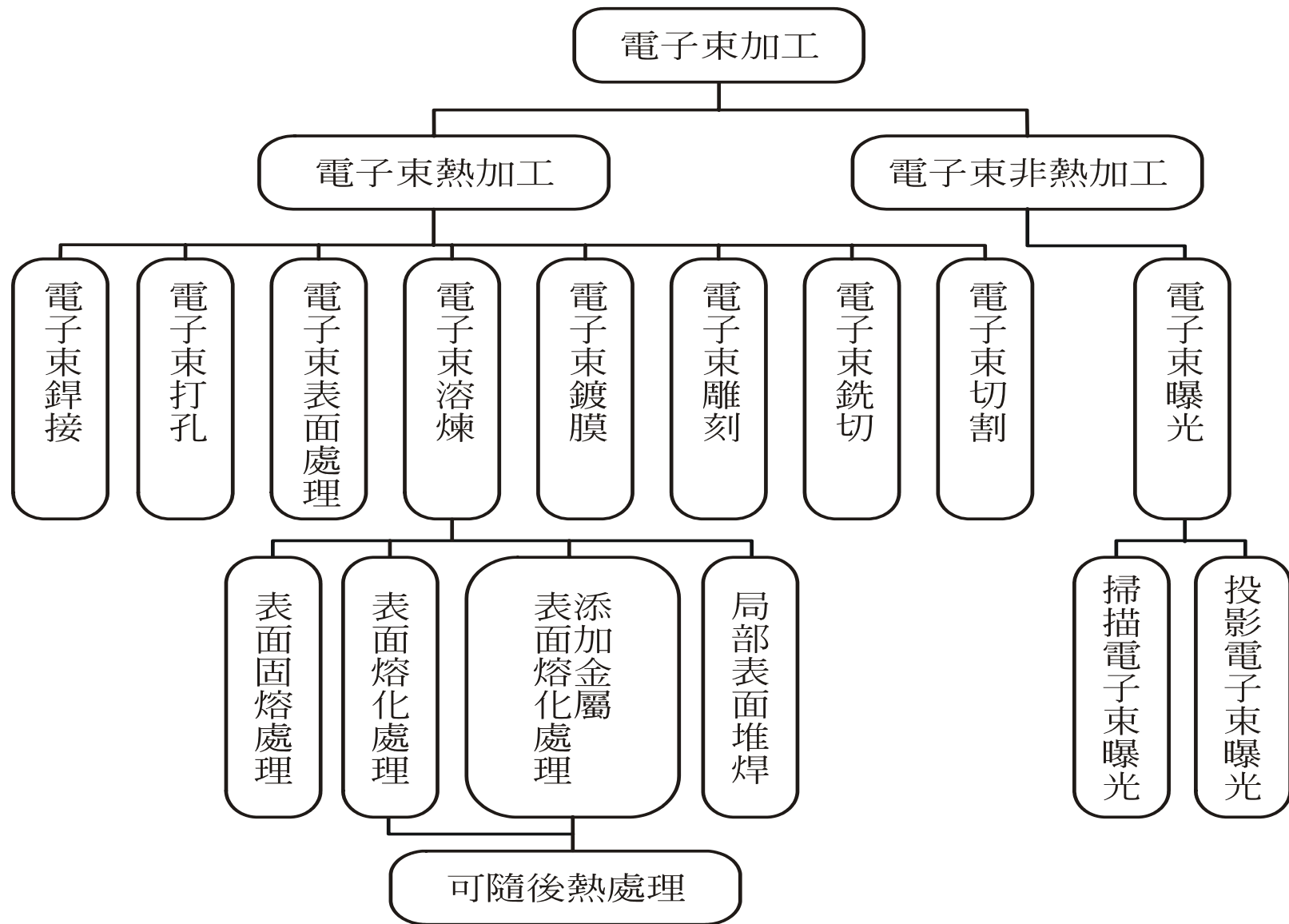


利用能量密度極高的高速電子細束，在高真空腔體中衝擊工件，使材料熔化、蒸發、汽化，而達到加工目的

電子束加工的應用

⇒ 只要能控制電子束能量密度的大小和加工時間，就可達到不同的加工目的。

- 使材料局部加熱 --- 電子束熱處理
- 使材料局部熔化 --- 電子束焊接
- 提高電子束能量密度，使材料局部熔化或汽化 --- 電子束打孔、切割等加工
- 降低電子束能量密度，衝擊高分子材料局部熔化或汽化 --- 電子束曝光



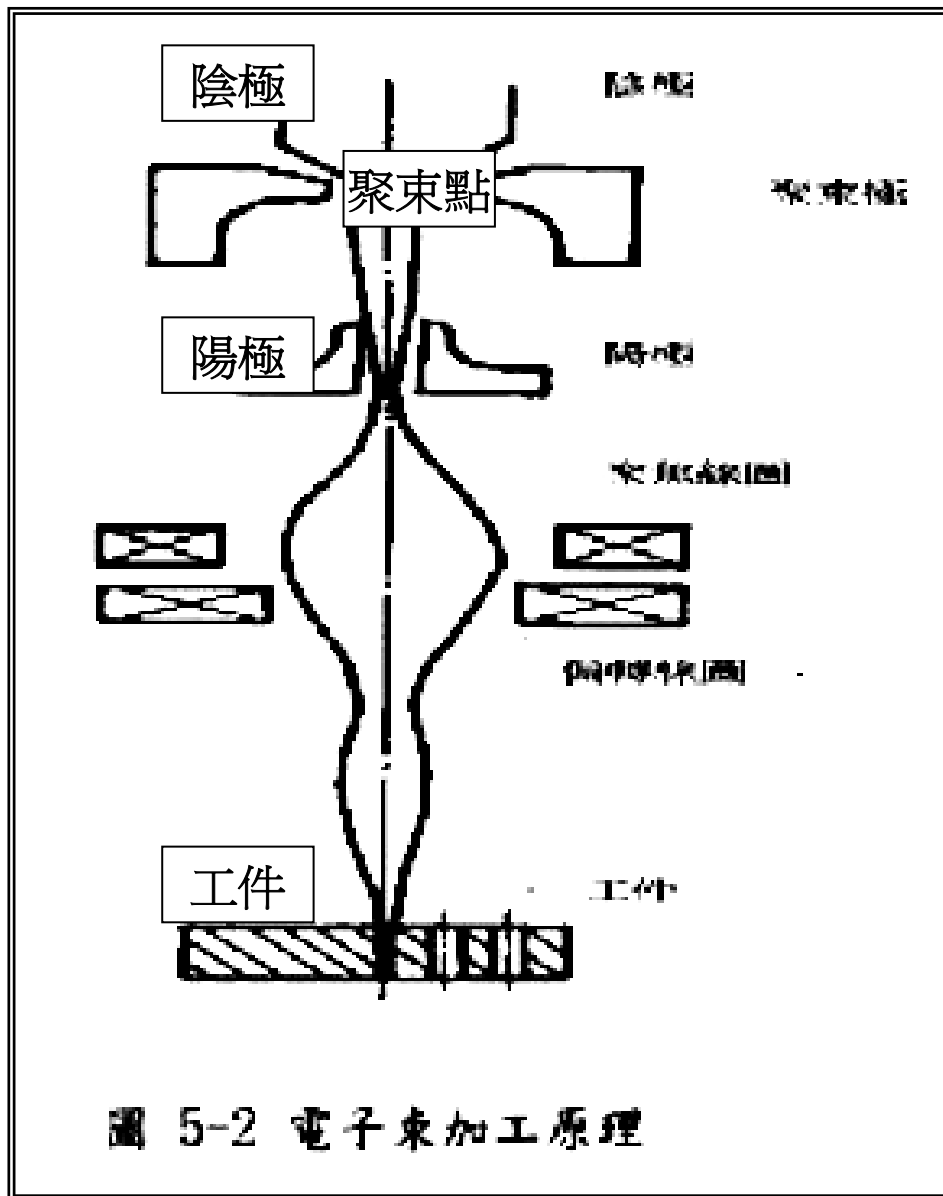
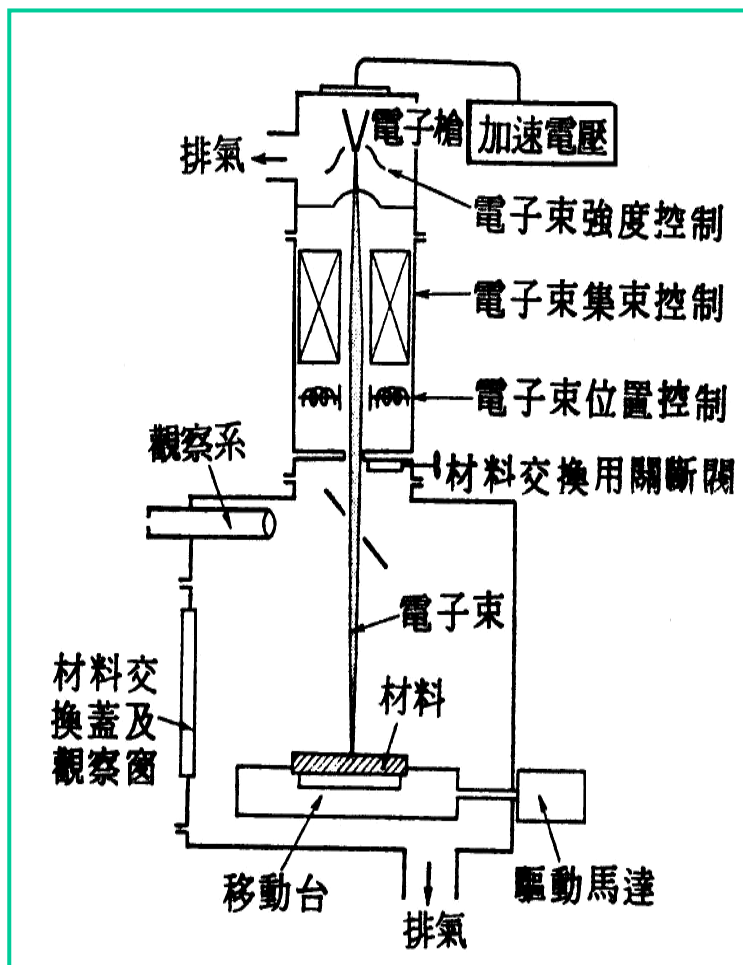


圖 5-2 電子束加工原理

補充 第二節 電子束的加工裝置

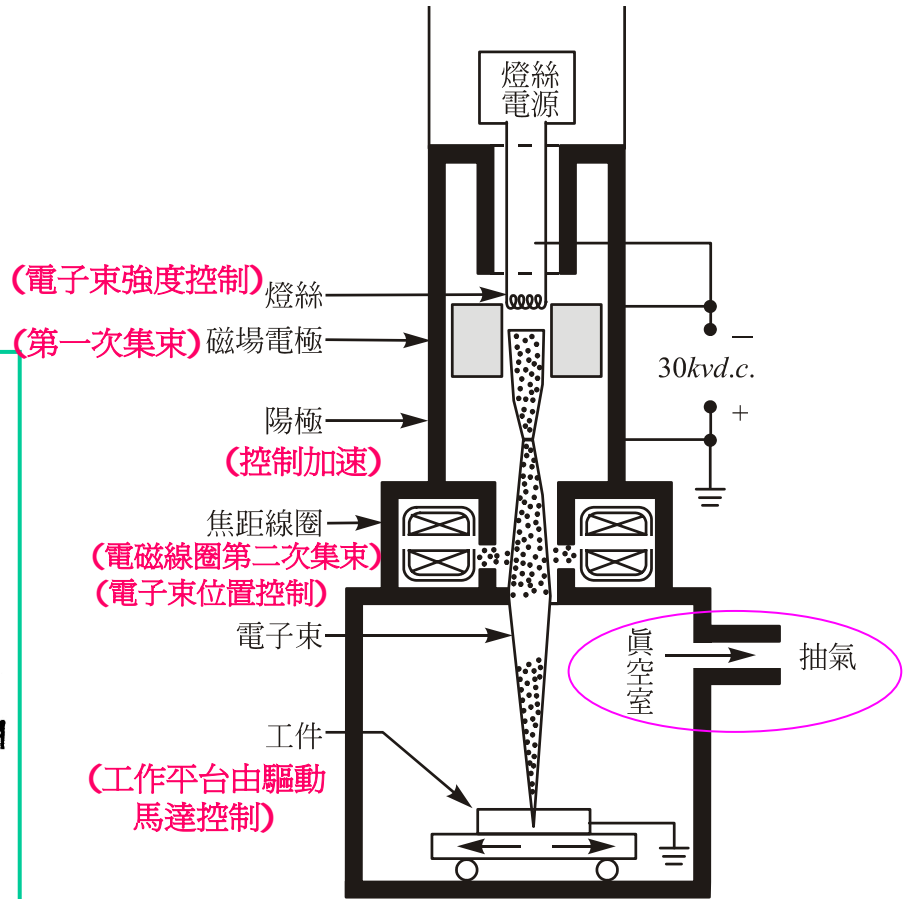
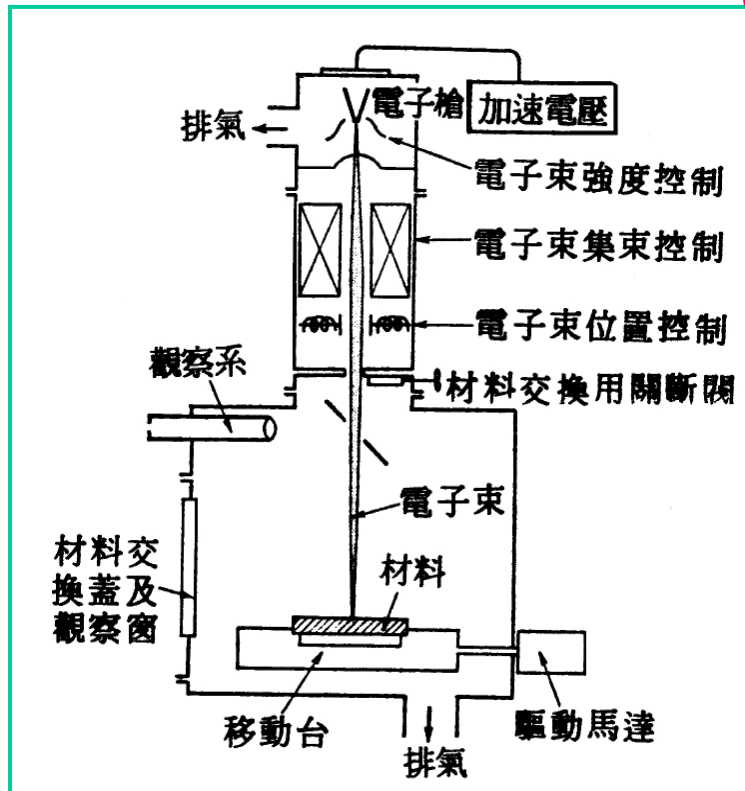
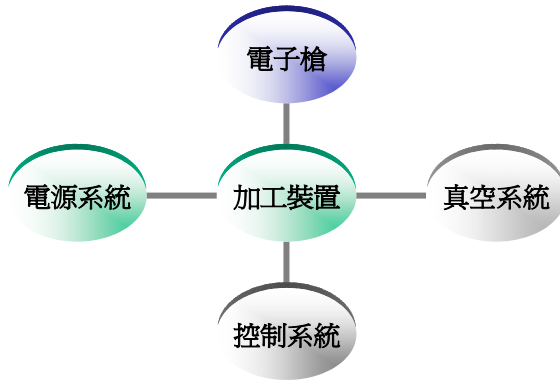


圖5-3 電子束的加工裝置

補充圖 電子束的加工裝置

電子槍

發射高速電子流、完成電子束預聚焦和控制發射強度的裝置



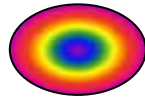
控制柵極



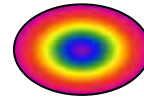
電子發射陰極燈絲



加速陽極

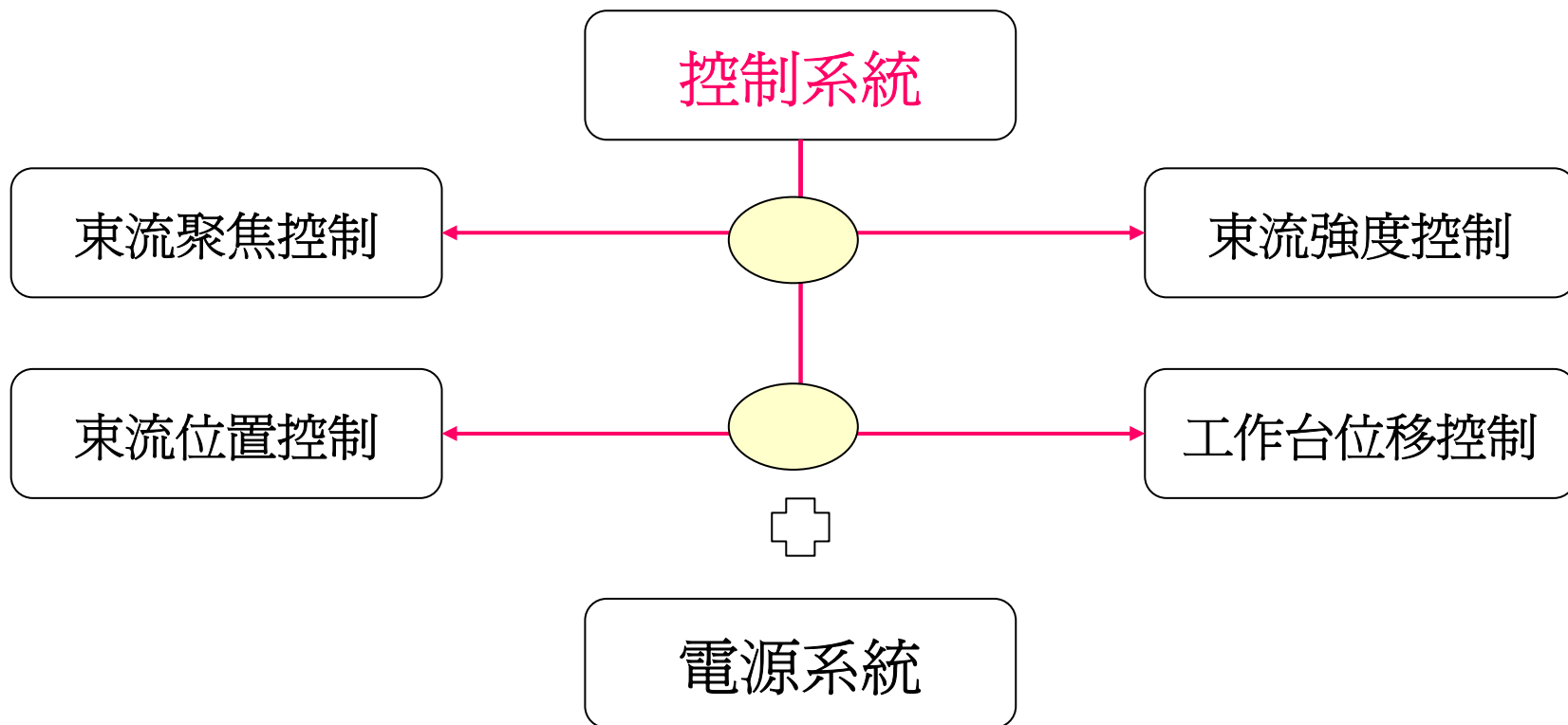


真空系統



避免與空氣分子產生碰撞，達成高速飛行運動

所需真空度一般在 1.3×10^{-2} 到 1.3×10^{-4} Pa 之間



第三節 電子束加工的特點

能量使用率可高達90%



電子束的直徑能夠聚焦到0.1 μm



於真空腔中進行，污染少
材料加工表面不氧化



利用磁場或電場對電子束
強度、位置、聚焦等直接控制



可使材料衝擊部位的溫度超過材料的熔化和氣化溫度，使材料瞬時蒸發



需要一套專用設備和真空系統，價格較貴



電子束加工的應用

⇒ 只要能控制電子束能量密度的大小和加工時間，就可達到不同的加工目的。

- 使材料局部加熱 --- 電子束熱處理
- 使材料局部熔化 --- 電子束焊接
- 提高電子束能量密度，使材料局部熔化或汽化 --- 電子束打孔、切割等加工
- 降低電子束能量密度，衝擊高分子材料局部熔化或汽化 --- 電子束曝光

第四節 各種電子束加工方法

🔴 5-4-1 電子束銲接

🔴 5-4-1-1 電子束銲接的特點

🔴 5-4-1-2 電子束銲接的形式

🔴 5-4-2 電子束打孔

🔴 5-4-3 電子束表面
改質處理

🔴 5-4-4 電子束熔煉

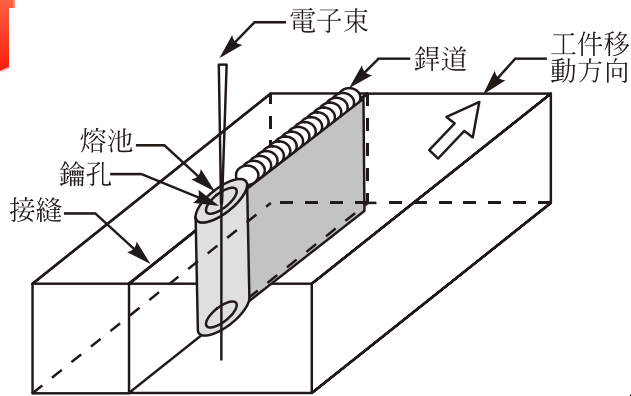
🔴 5-4-5 電子束曝光

🔴 5-4-6 電子束蝕刻

🔴 5-4-7 電子束鍍膜

🔴 5-4-8 電子束加工
中的缺陷
及產生原因

電子束銲接



聚集的高速電子衝擊工件接縫處，使材料**局部熔化**、**蒸發**

銲縫深寬比大，可達**60:1**

銲接速度快，熱影響區小

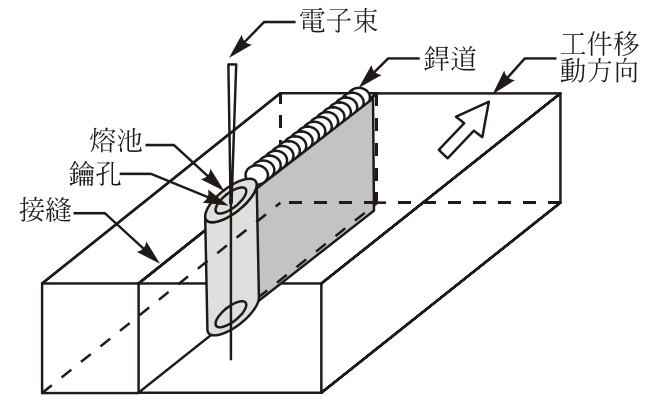
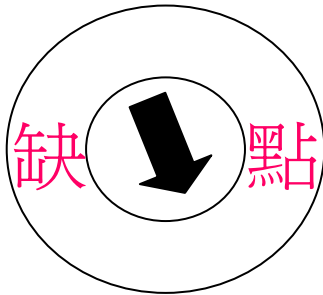
防止熔化金屬受到氧、氮等有害氣體的影響

可實現複雜接縫的自動銲接

在真空中可以進行遠距離的銲接

優點

電子束銲接



設備複雜，比較昂貴

銲接前對接頭加工、裝配要求嚴格

被焊工件尺寸和形狀
受到工作室的限制

易受電磁場干擾

銲接時會產生X
射線，有害人體

電子束鐳接的形式

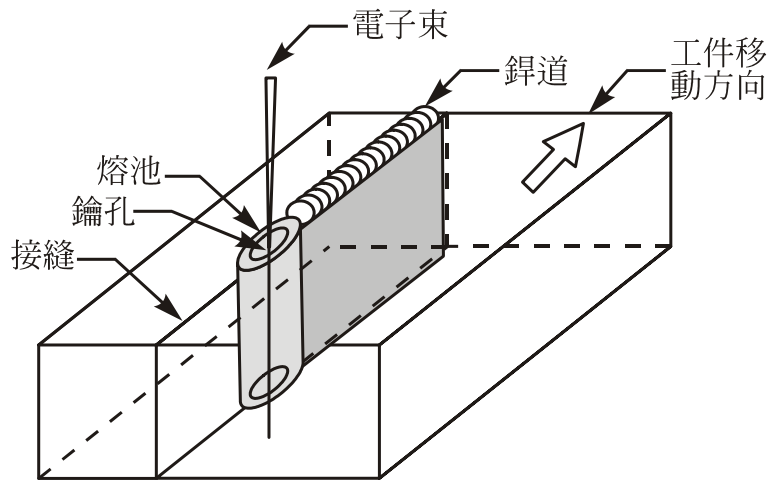
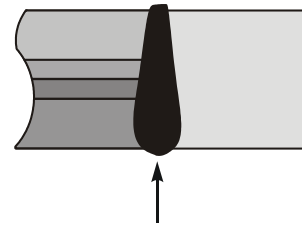
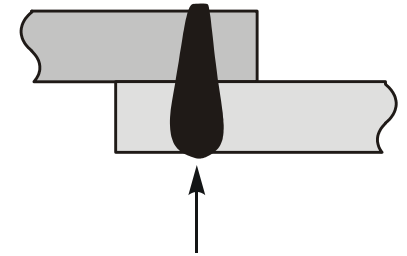


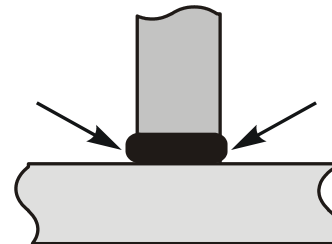
圖5-4電子束鐳接之鐳縫示意圖。



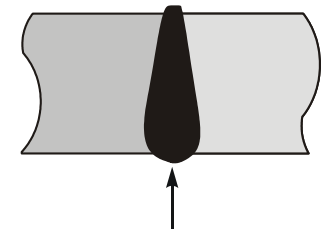
(a) 多層鐳



(b) 鉚鐳



(c) 填角鐳



(d) 單道鐳

電子束打孔

最小加工直徑可達**0.003mm**左右

孔的深徑比大於**10 : 1**，
其深度亦可達**10公分**以上

孔徑誤差在**±5%**以內

適合硬度高的材料打孔

可打斜度的孔，傾斜角可達**15°**

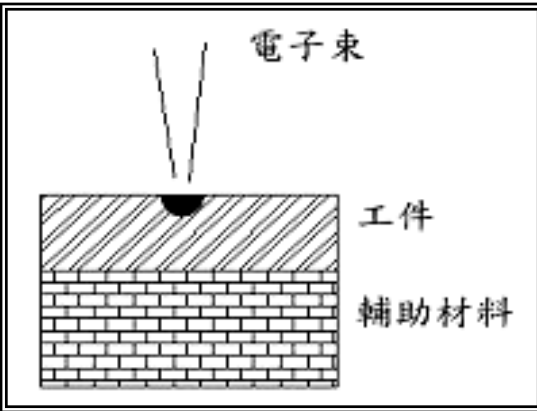
可加工彎孔和立體曲面

孔的密度可連續變化，
其孔徑大小以可隨時調整

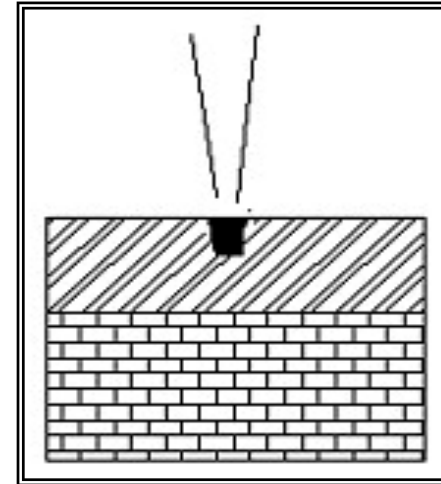
電子束打孔

材料表面受到電子束衝擊開始熔化，汽化

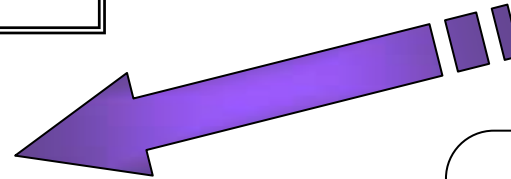
電子束打到材料表面



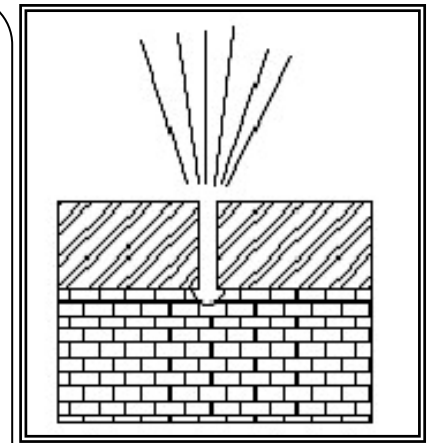
電子束打到材料內部



材料汽化形成氣泡，破裂後隨著蒸汽溢出，形成空穴



電子束衝擊到工件下面的輔助材料，產生噴射，將空穴周圍熔化材料吹出，完成打孔過程



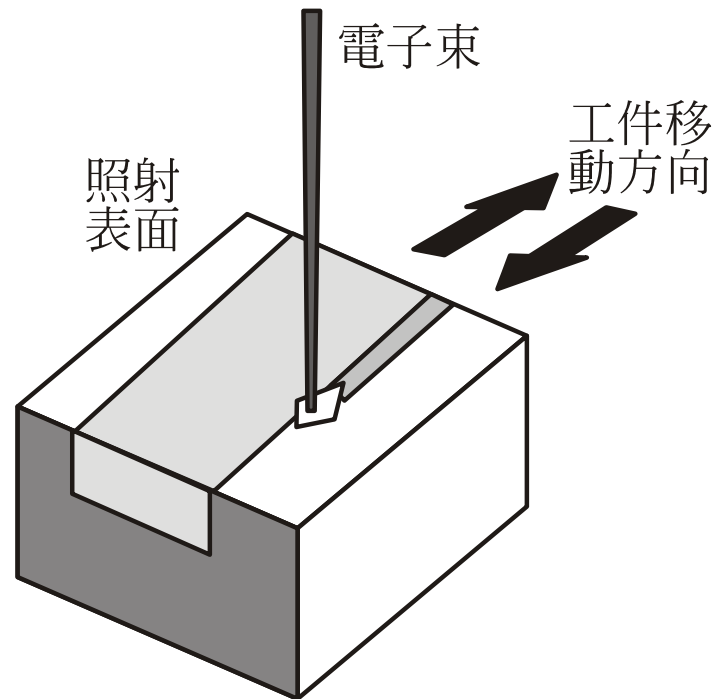
電子束打到輔助材料產生噴射

繼續受到電子束作用

電子束貫穿材料



電子束表面改質處理

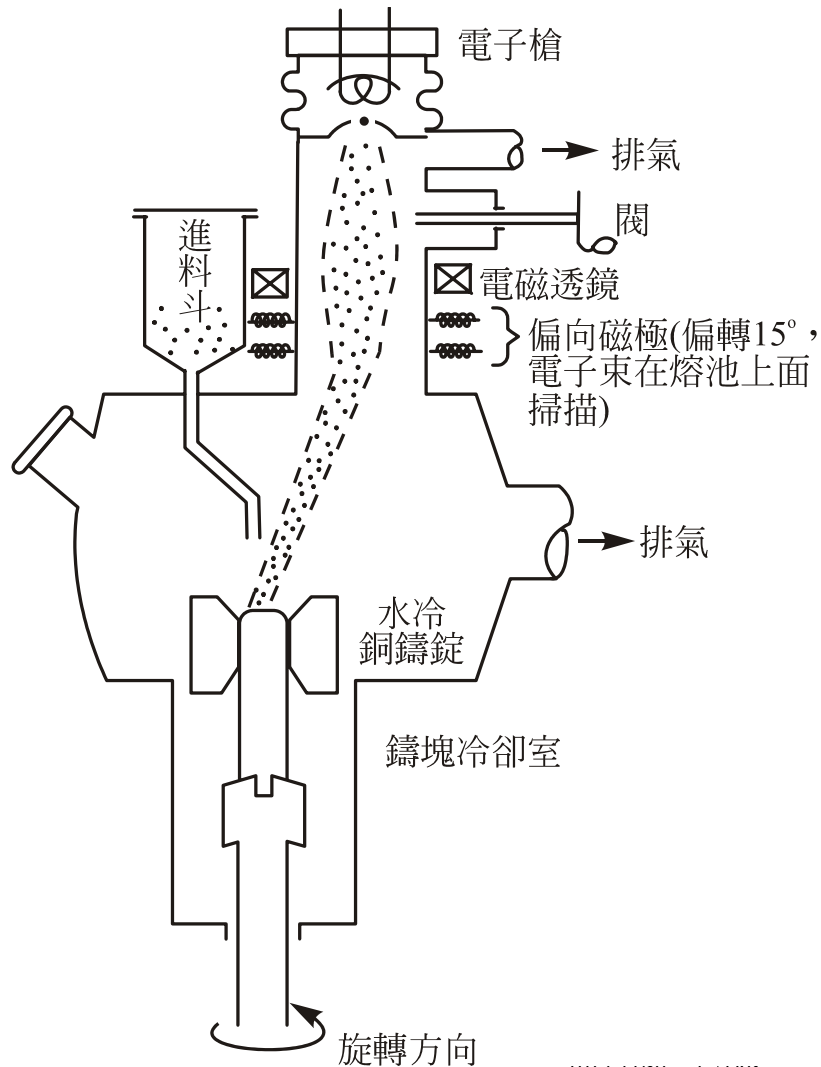


電子束將工件表面加熱至相變化溫度以上再快速冷卻，而達到表面改質處理之目的

表面改質處理和表面熔化處理的比較

項目	電子束表面改質處理 (EBT)	電子束表面熔化處理 (EBFT)
能量密度 (W/cm ²)	小於10 ³	10 ⁴ ~10 ⁶
材料	含碳量45%以上的鋼、低合金鋼、灰口鑄鐵、球墨鑄鐵等	高合金鋼、特殊鋼、鋁合金鈦合金、灰口鑄鐵、球墨鑄鐵等
加工特點	加熱和冷卻的時間極快，淬火溫度比正常熱處理高，晶粒細小、表面的硬度比正常熱處理高。	適合高合金與特殊鋼的熱處理，可提高高溫疲勞強度約45%

電子束熔煉



電子束衝擊金屬錠，
使金屬熔化，然後在
坩堝中凝固結晶

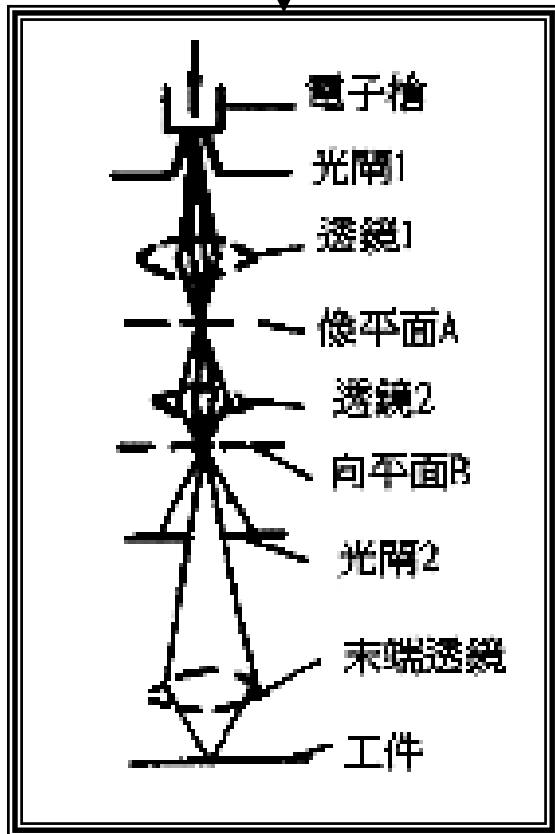
能得到密度極高的金屬

可熔高熔點的金屬

沒有電弧的產生

電子束曝光

圓形束

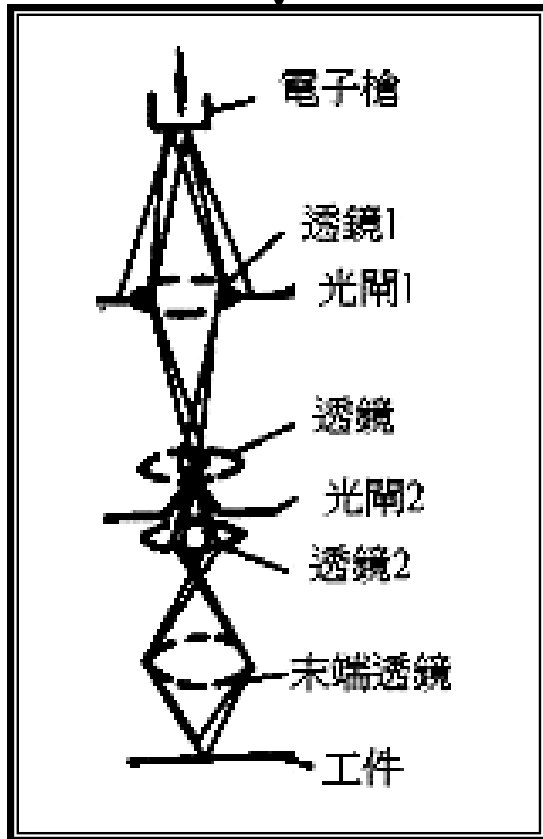


電子槍發出的電子聚焦成圓形的束斑，其電子流的密度分佈成高斯圓。打到工件時電子束的直徑為 **$0.1\mu\text{m} \sim 1\mu\text{m}$** ，且可連續變化

束斑的大小容易調整，精細

電子束曝光

方形束

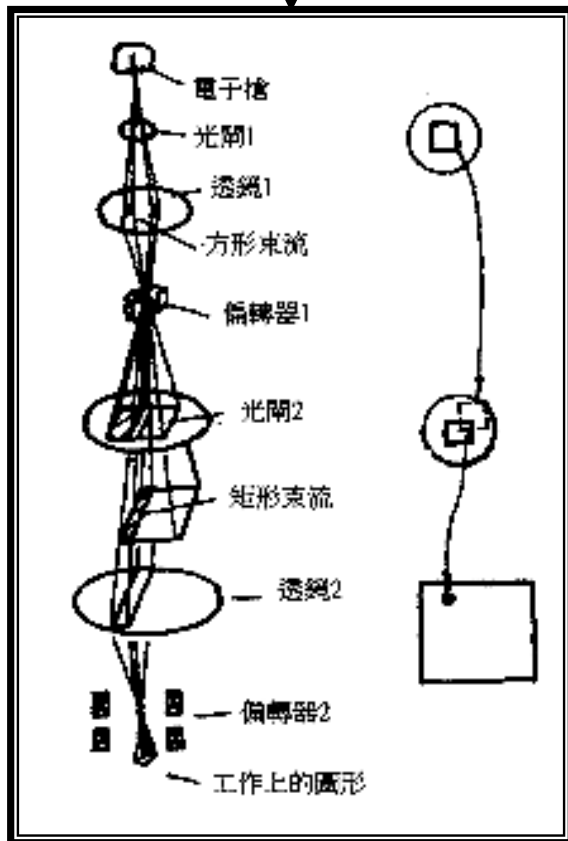


以電子槍交叉截面作為電子源，
照射在方形的光閘上，形成方形電子束，
在工件上形成 $2.5 \mu\text{m}$ 的方形束斑

曝光面積大，是圓形束的25倍，
但曝光線不為束斑尺寸的整數倍
時會有重疊區

電子束曝光

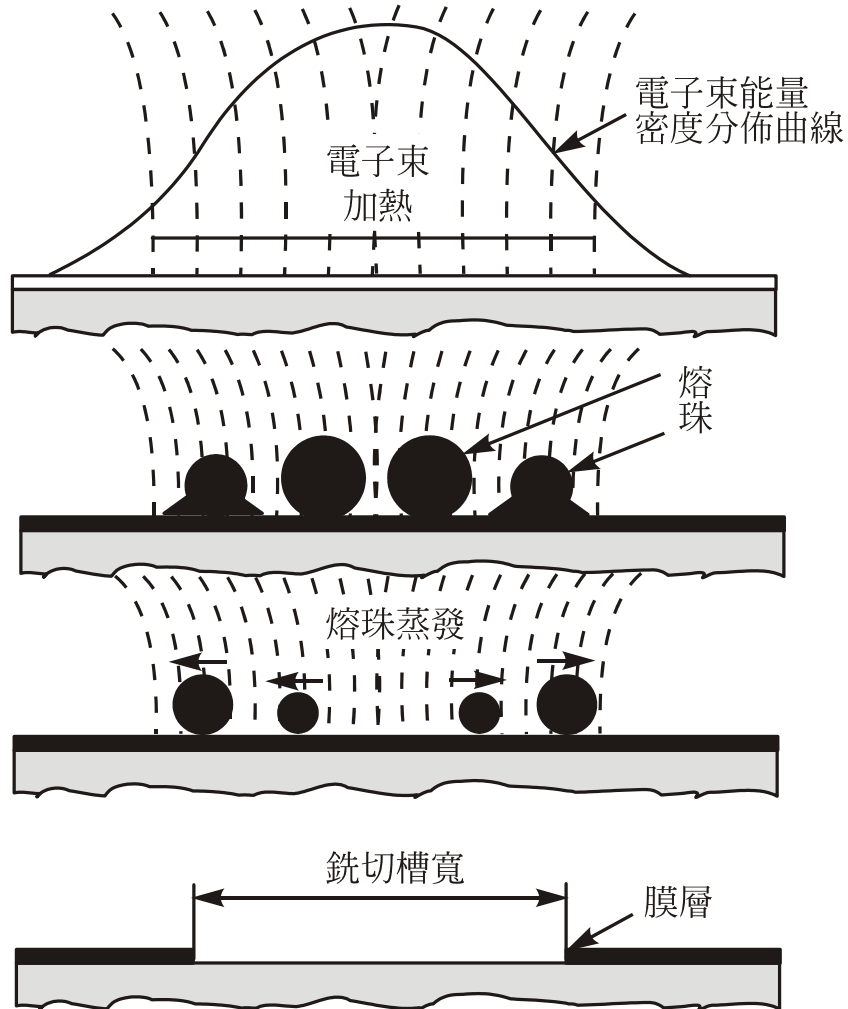
可變的成形束



光閘1和光閘2為方孔，所以通過電子束成爲方形，兩光閘中和光閘2下面有一套偏轉系統使電子光束形狀和尺寸可改變。第一次偏轉是用來確定束斑形狀和尺寸，第二次偏轉用來確定束斑在工件的位置

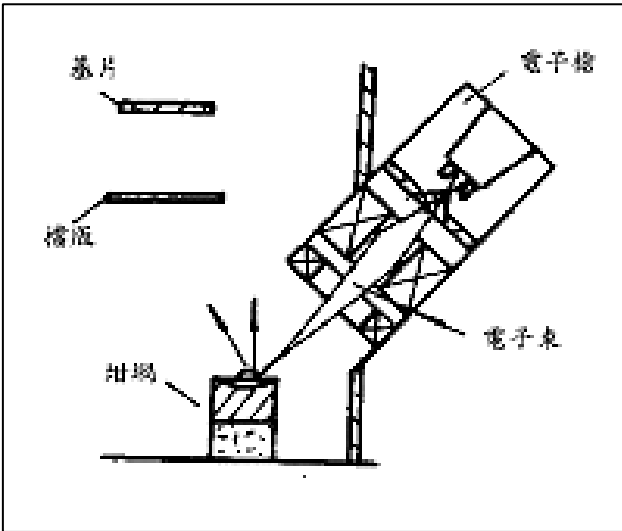
曝光速度爲方形束的2倍以上

電子束蝕刻



利用電子束的熱加工原理，對工件進行類似銑切的加工

電子束鍍膜

加工方式	示意圖	說明
直槍		<p>電子槍傾斜，電子束直射入坩堝。缺點：1.蒸發物進入電子槍設備造成高壓放電。會使壽命縮短。2.電子槍會佔空間，使基片不易旋轉。</p>

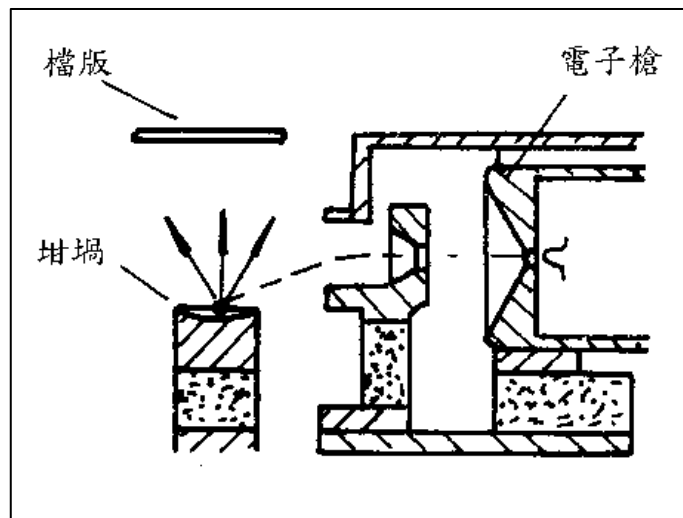
電子束鍍膜

加工方式

示意圖

說明

橫槍



電子槍橫置，電子束藉由磁偏器偏轉 90° 射入坩堝。束斑位置容易調。適合比較大的工件鍍膜。

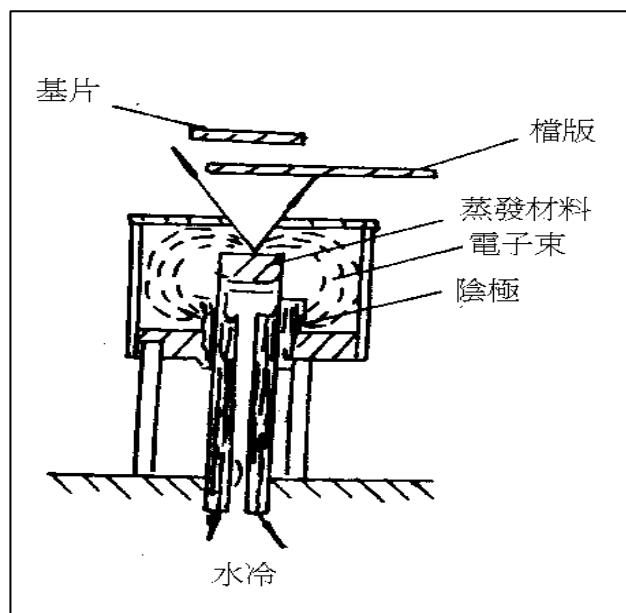
電子束鍍膜

加工方式

示意圖


說明

環狀槍



陰極和聚束極做成環狀，坩堝是陽極，電子束沿著環形聚焦極與陽極形成環形電場到達陽極並衝擊材料。缺點是能量密度較低。

電子束鍍膜

加工方式	示意圖	說明
E形槍		<p>跟環形槍類似，但陰極不是環形，電子束偏轉270°射到陽極（坩堝）。優點是工作穩定、功率大、坩堝容量大、電子束可以在X、Y軸做掃描、蒸發速度快。</p>

電子束加工中的缺陷及產生原因

缺陷	產生原因
孔徑不圓	<ol style="list-style-type: none">1. 聚焦不良、消像器調整不當2. 高速打孔時，電子束的動作跟工件的動作不同步3. 材料的材質不均勻
造成錐孔或喇叭孔	<ol style="list-style-type: none">1. 電子束脈衝調整不當，能量不夠或過大2. 打孔時，聚焦的調整與脈衝不同步
孔徑不均勻銑切或曝光線條不均勻	<ol style="list-style-type: none">1. 高壓、束流、脈衝寬度、聚焦等不穩定、造成束斑尺寸或能量波動2. 控制線路或電腦工作不穩定3. 傳動速度不穩定4. 材料的材質不均勻5. 受到外部磁場的影響
曝光圖形模糊、變形、線條分辨率低	<ol style="list-style-type: none">1. 電子光學系統沒有調整好2. 對鄰近的效應校正不足3. 曝光劑的量不足4. 抗蝕劑與基片選擇不當5. 基片彎曲6. 定位、圖形拼接及套準等精度不良7. 外部的干擾

第五節 電子束安全防護

	危害來源	防護措施
輻射線	電子束撞擊到金屬、氣體、金屬蒸發的氣體時，會產生X射線	放電子束加工的地方改為輻射屋
觸電	碰到運作中的高壓或絕緣性降低電器，可能會觸電	所有的設備都要有接地裝置，防止絕緣裝置受到潮濕
強光	熔化的金屬會發出強光，對眼睛有害	不要直接對著熔化部位看，或戴有防止紫外線的防護鏡
廢氣	非真空及低真空設備會產生臭氧、氧化氮及一些有害的氣體	工作現場要有良好的通風系統，真空泵的排氣口接到室外
噪音	抽真空的泵、分子泵及一些設備等發出的噪音	對於一些會發出較大噪音的設備加裝隔音設備