

非傳統加工

第十一章 化學加工

- 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>

第十一章 化學加工

Chemical Machining

- 第一節 化學銑切
- 第二節 光化學腐蝕加工
- 第三節 光刻加工
- 第四節 化學蒸鍍
- 第五節 無電電鍍



化學加工是利用酸、鹼、鹽等化學溶液與金屬產生化學反應，使金屬腐蝕溶解，改變工件形狀、尺寸的加工方法。

第一節 化學銑切

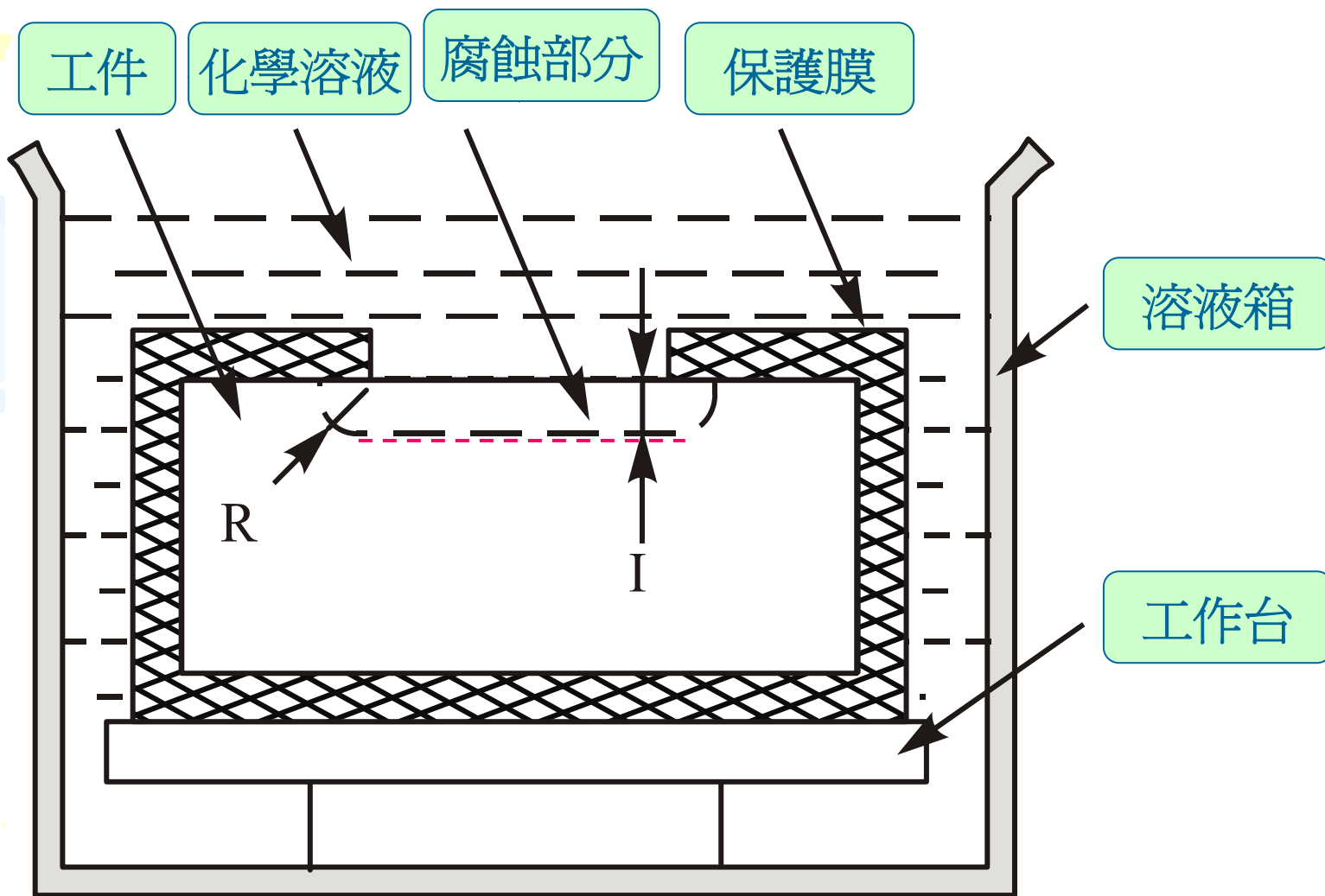
- 11-1-1 化學銑切的基本原理
- 11-1-2 化學銑切的加工過程
- 11-1-3 化學銑切的特點和應用

化學銑切加工的基本原理

化學銑切(Chemical Etching Machining)又稱化學蝕刻。其主要加工原理是

- (1)把不需加工的部位用耐蝕性塗料保護，將需要加工部位的表面顯露
- (2)將工件噴灑或浸到化學溶液中進行腐蝕
- (3)金屬按特定的部位溶解，從而獲得所需的加工尺寸和精度

化學銑切加工原理圖

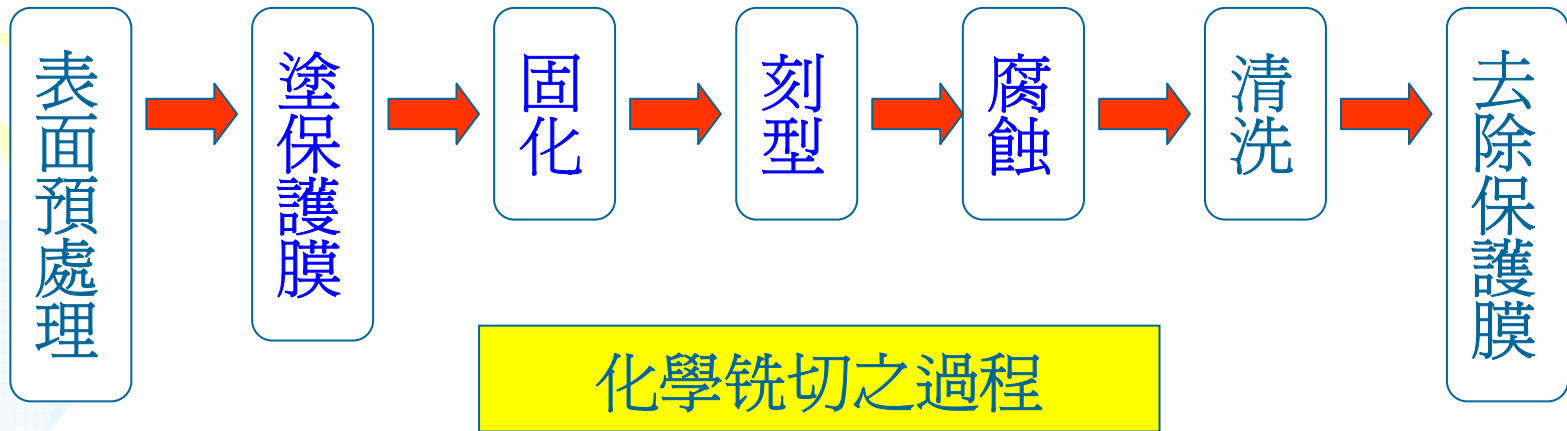


化學銑切加工的認識

- (1) 是一種無刀痕，無切屑的特種切削加工
- (2) 加工時，除了垂直腐蝕外，也會產生側向腐蝕，可使用氣相蝕刻或離子束等乾蝕刻方法來改善
- (3) 加工速度與工件材料種類及溶液成份份有關度

加工材料	溶液成分	加工溫度 (°C)	腐蝕速度 (mm/min)
鋁、鋁合金	NaOH 150 ~ 300g/L (Al:5 ~ 50g/L)	70 ~ 90	0.02 ~ 0.05
	FeCl ₃ 120 ~ 180g/L	50	0.025
銅、銅合金	FeCl ₃ 300 ~ 400g/L	50	0.025
	(NH ₄) ₂ SO ₃ 200g/L	40	0.013 ~ 0.025
	CuCl ₂ 200g/L	55	0.013 ~ 0.015
鎳、鎳合金	HNO ₃ 48% + H ₂ SO ₄ 5.5% + H ₃ PO ₄ 11% + CH ₃ COOH 5.5%	45 ~ 50	0.025
	FeCl ₃ 34 ~ 38g/L	50	0.013 ~ 0.025
不銹鋼	HNO ₃ 3N + HCl 2N + HF 4N + C ₂ H ₄ O ₂ 0.38N (Fe:0 ~ 60g/L)	30 ~ 70	0.03
	FeCl ₃ 35 ~ 38g/L	55	0.02
碳鋼、合金鋼	HNO ₃ 20% + H ₂ SO ₄ 5% + H ₃ PO ₄ 5%	55 ~ 70	0.018 ~ 0.025
	FeCl ₃ 35 ~ 38g/L	50	0.025
	NHO ₃ 10% ~ 35% (體積)	50	0.025
鈦、鈦合金	HF 10% ~ 50% (體積)	30 ~ 50	0.013 ~ 0.025
	HF 3N + HNO ₃ 2N + HCl 0.5N (Ti:5 ~ 31g/L)	20 ~ 40	0.001

化學銑切的加工過程



1. 清潔

以溶劑擦拭或蒸氣除脂清潔氣孔多的材料表面；清潔鋁、鎂、鋼或鈦合金時的程序有蒸氣除脂、鹼洗，和去氧

2.塗膜

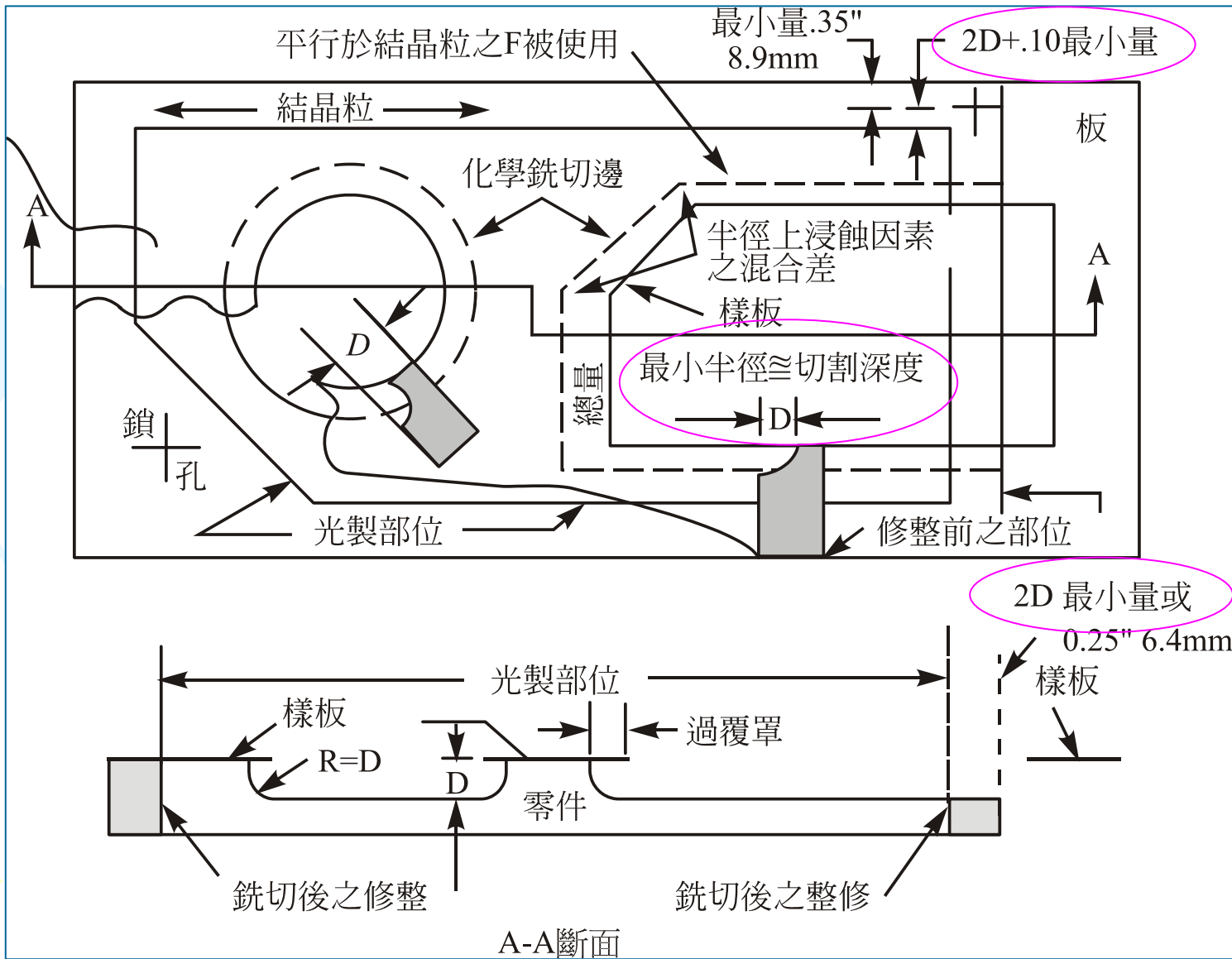
常用保護層有氯丁橡膠、丁基橡膠、丁苯橡膠等耐蝕塗料；塗覆的方法有浸漬、噴塗或刷塗等三種；塗層厚度一般控制在**0.2mm**左右

3.固化溫度與時間

保護層	加熱溫度(°C)	保溫時間(h)
氯丁橡膠	100 ~ 120	1.5 ~ 3
丁基橡膠	140 ~ 150	1.5 ~ 3

4.刻型或劃線

典型的化學銑切樣板



$$K = 2H / (W_2 - W_1) = H / B$$

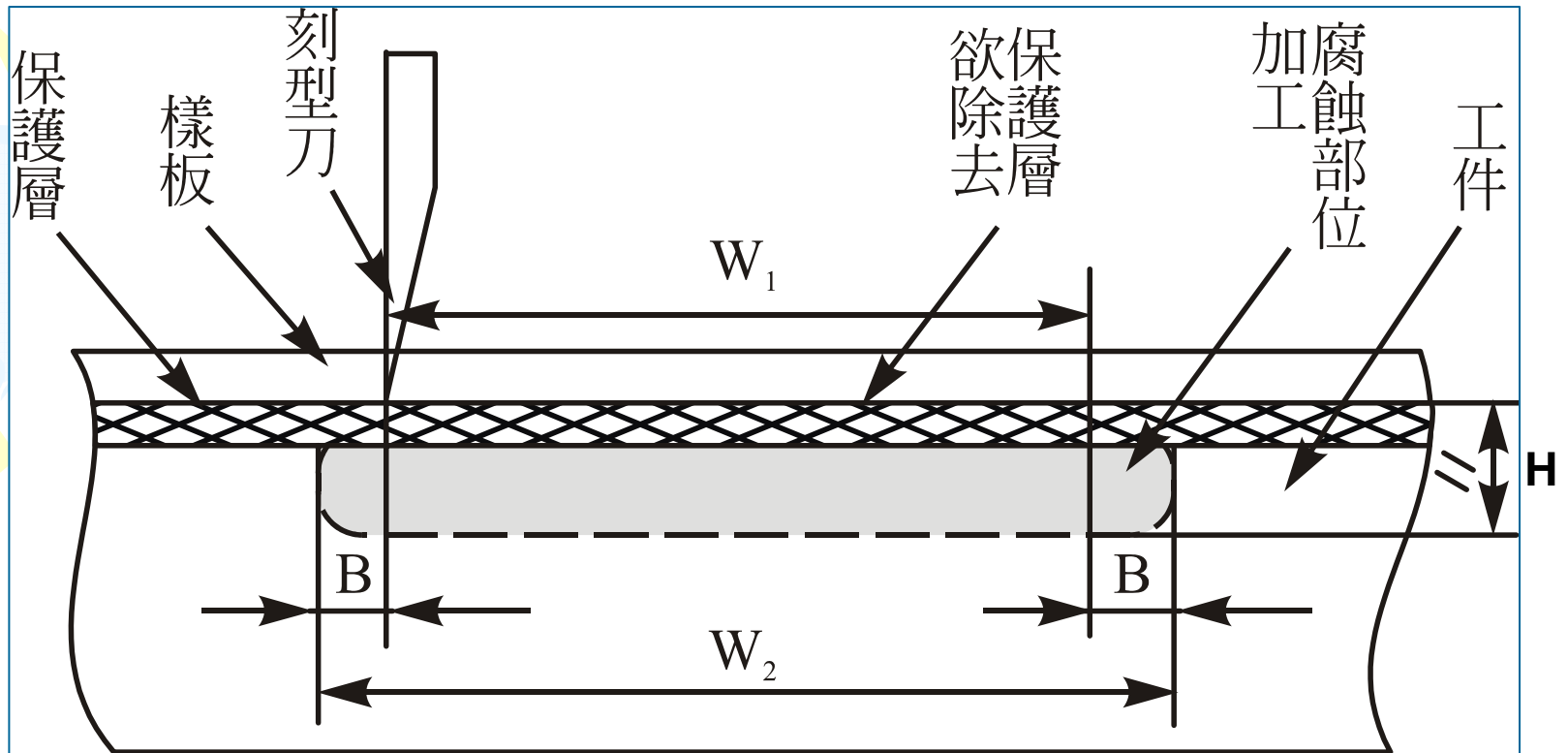
K-腐蝕系數

H-腐蝕深度(mm)

B-側面腐蝕寬度(mm)

W1-刻型尺寸(mm)

W2-最後腐蝕尺寸(mm)



5. 浸蝕

浸蝕期間必須將工件旋轉以確保均勻浸蝕和內圓角半徑。
腐蝕深度、腐蝕速度與腐蝕時間的關係如下式所示

$$V = H / T$$

$$T = H / V$$

V—金屬的腐蝕速度(mm/min)
H—工件加工表面的腐蝕深度(mm)
T—腐蝕時間(min)

6. 清洗

藍翔耀 老師

7. 除膜

化學銑切的特點

不受任何硬度和強度的限制

適合大面積加工和多件加工

不適合加工窄而深的槽、型孔

表面粗糙度可達 **$Ra2.5 \sim 1.25\mu m$**

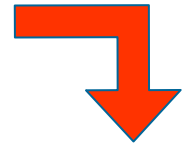
原加工材料若有缺陷時不易去除

腐蝕液對人、環境、設備均有害

化學銑切的應用

化學下料

外形加工

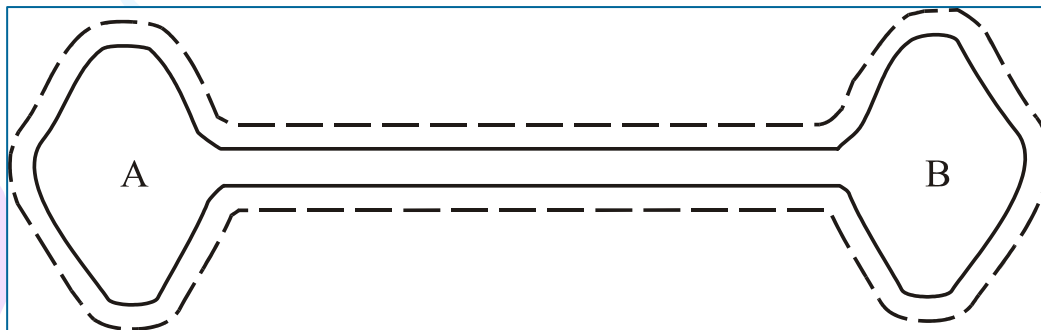


清除金屬材料表層
減輕零件重量

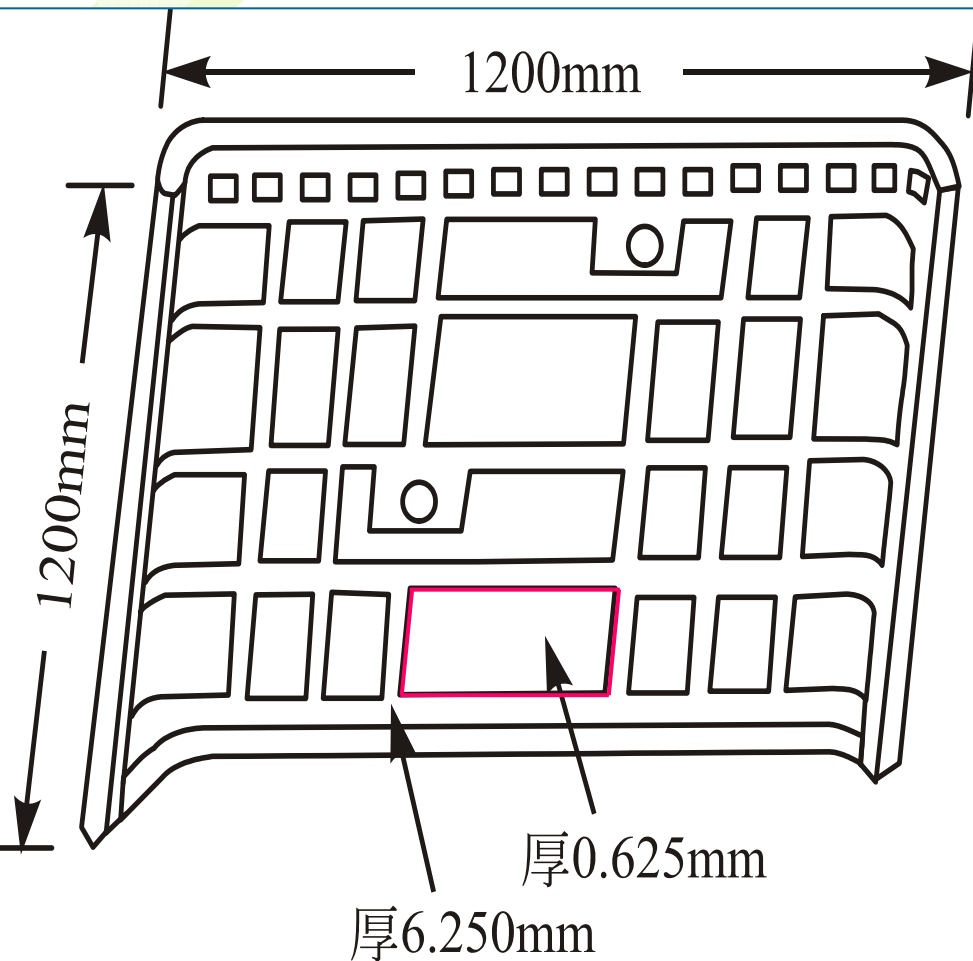
可加工較淺或較
深的空腔和凹槽

對板材、片材、成形
零件及擠壓成形零件
進行錐形銑切加工

鍛造工件的化學銑切加工



以化學銑切之飛機機體零件



24Kg ⇒ 6Kg

- 目前化學銑切外形加工常用來加工各種平面或外形雕刻的表面，從電梯門到徽章、招牌、煙灰缸及其他的產品都有應用。在許多情況下，只要在薄膜上黏貼不透明的文字，就可加工出儀器表盤、商標等所需要的原圖。在航空工業中，可以加工特殊外形的飛機機翼和機身外形輪廓、航空員座艙壁表面或蒙皮板上的凹槽，以及特殊拋物線形雷達反射鏡、陀螺儀外殼、熱交換器等產品。

第二節 光化學腐蝕加工

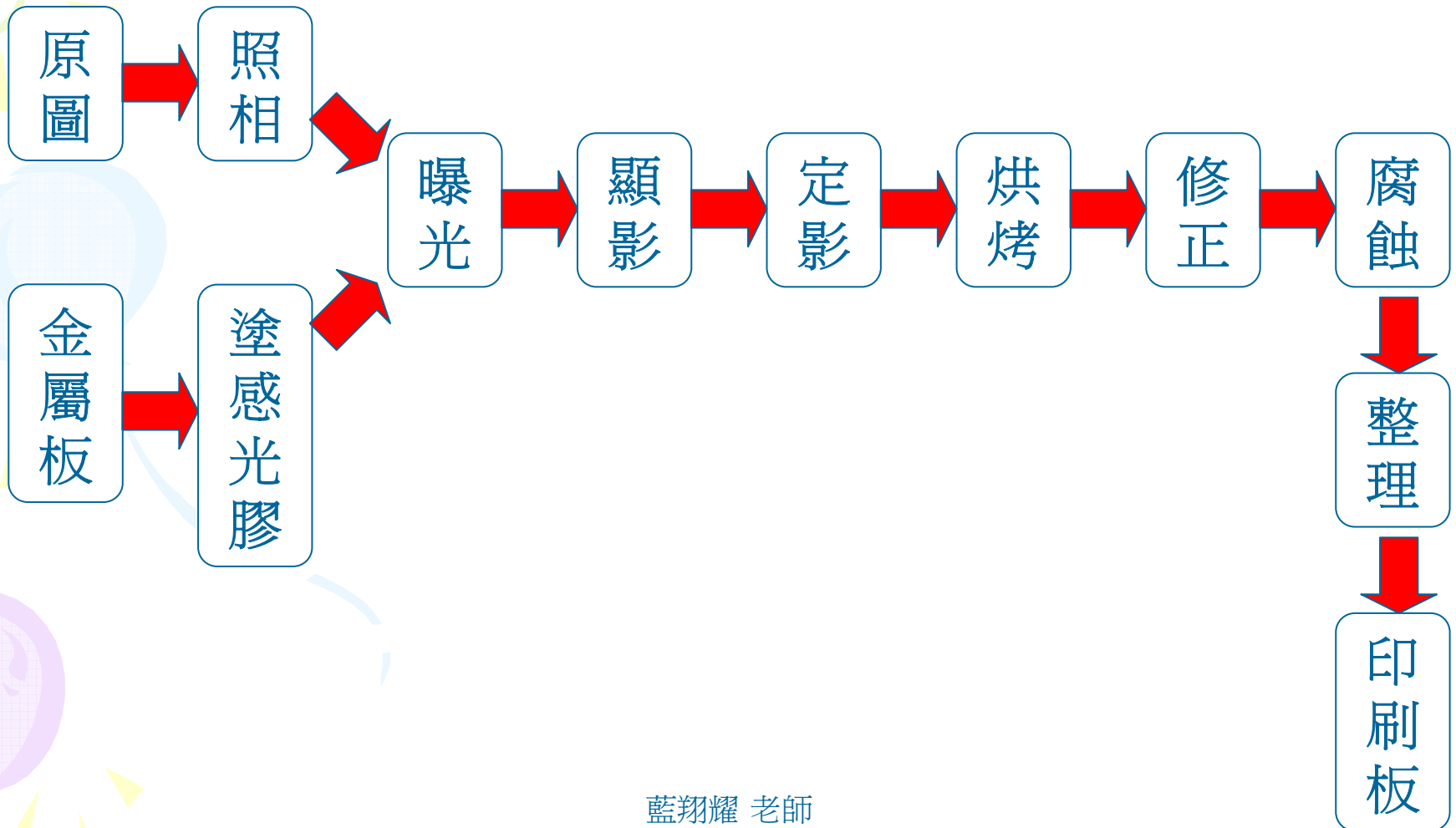
Optical Chemical Machining, OCH

- 11-2-1 光化學腐蝕加工的基本原理
- 11-2-2 光化學腐蝕加工的製作過程
- 11-2-3 光化學腐蝕加工的特點和應用

光化學腐蝕加工的基本原理

- 1.光化學腐蝕加工(Optical Chemical Machining, OCH) ，亦稱光化學加工，是結合光學照相製版和光刻的一種精密細微加工技術
- 2.加工的基本原理
 - (1)把所需圖案攝影到照相底片上
 - (2)經光化學反應，將圖案複製到塗有感光膠的銅(鋅)板上
 - (3)經過電子束或紫外光定影固化處理，使感光膠具有抗蝕力
 - (4)最後經過化學腐蝕方式將金屬溶除，即可獲得所需圖形的金屬版

光化學腐蝕加工的製作過程

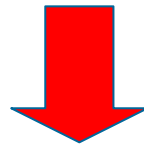


原圖和照相

原圖是將所需圖形按比例放大，描在紙上或刻在玻璃上。需放大數倍，通過照相，將原圖按需要大小縮小在照相底片上。

金屬版和感光膠的塗覆

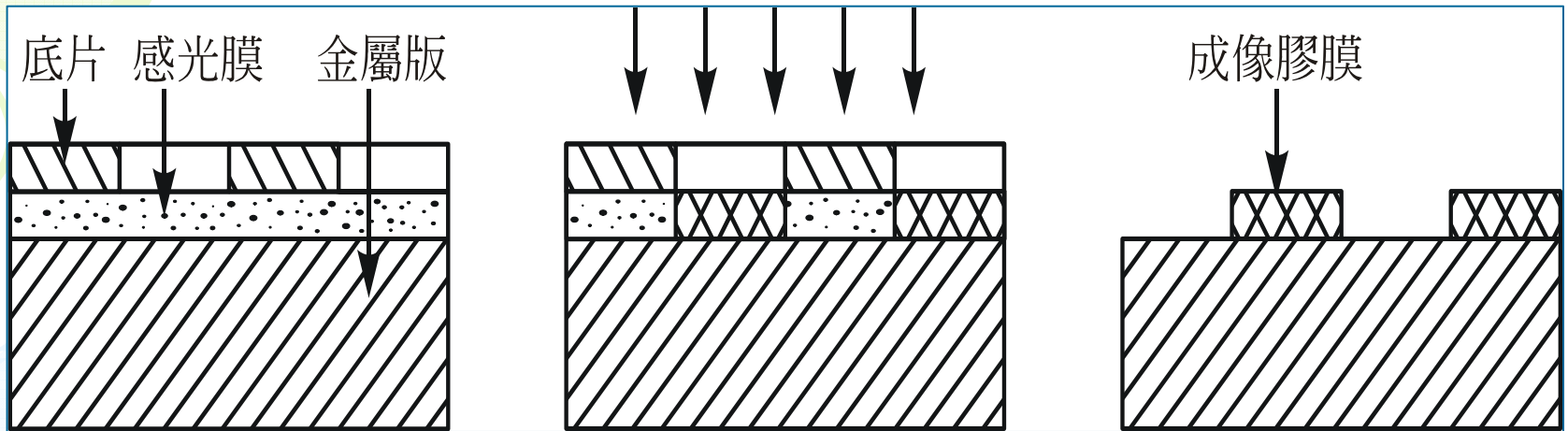
金屬版多採微晶鋅版和紅銅版，需具一定的硬度和耐磨性，表面光整，無雜質、氧化層、油垢



感光膠的配方

配方	感光膠成分	方法		濃度	備註
1	聚乙烯醇 80g A： 水 600mL 烷基苯磺酸鈉 4~8滴	各成分 混合後 放在容 器內蒸 至透明	A、B兩液 冷卻後混合 並過濾	A液加B 液約 800mL ，4度波 美	放在 暗處
	B： 重鉻酸鉍 12g 水 200g	溶化			
2	A： 骨膠 500g 水 1500mL	在容器 內攪拌 蒸煮溶 解	A、B兩液 混合過濾	A液加B 液約 2300~ 2500m L ，8度 波美	放暗處 (冬天 用熱水 保溫使 用)
	B： 重鉻酸鉍 75g 水 600mL	溶化			

曝光、顯影和定影



光化學腐蝕加工曝光顯影示意圖

定影液成分和處理時間

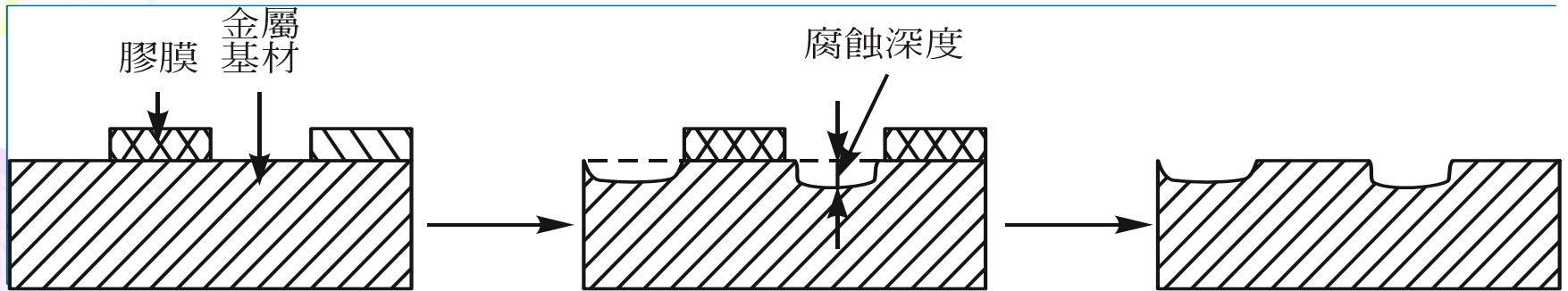
感光膠	定影液	處理時間		備註
聚乙烯醇	鉻酸酐 400g 水 4000mL	新定影液	春、秋、冬季 10s ; 夏季 5~10s	用水沖淨 晾乾烘烤
		舊定影液	30s左右	

固化

經過感光定影後的膠膜，抗蝕能力仍不強，必須進一步固化

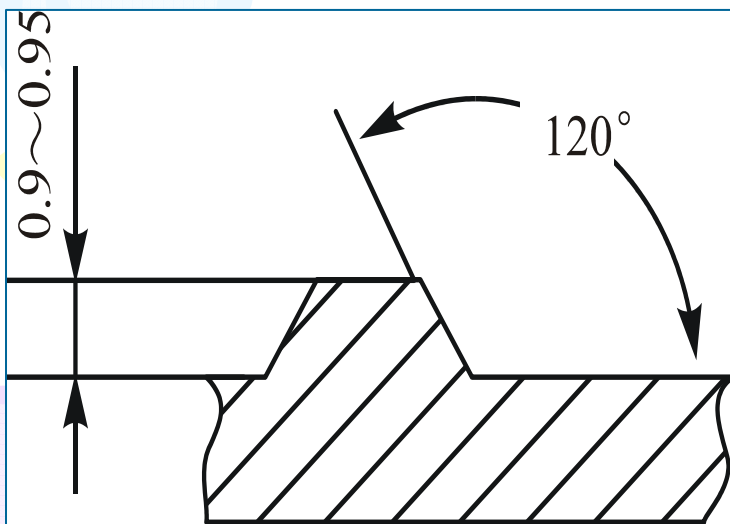
腐蝕

照相製版的腐蝕原理

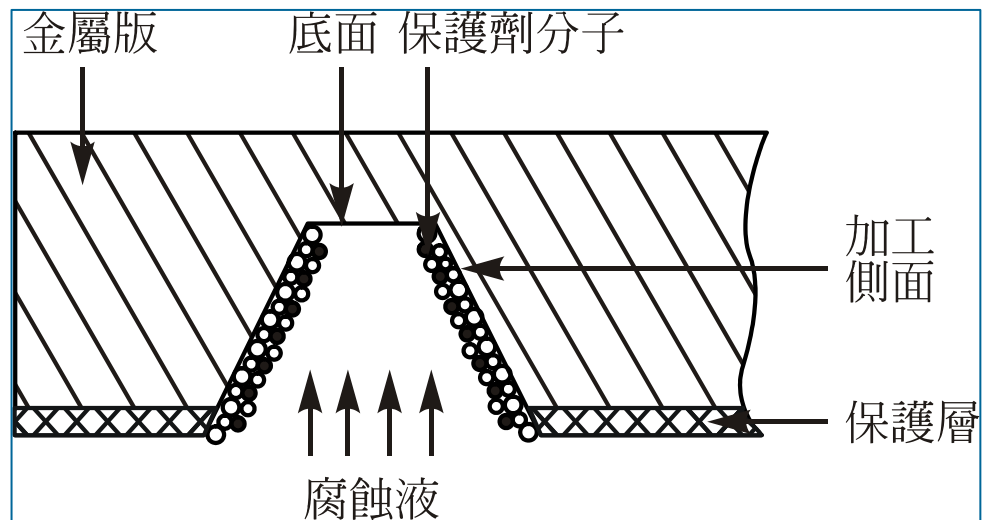


光化學腐蝕加工腐蝕液配方

金屬版	腐蝕液成分	腐蝕溫度 (°C)	轉速 (r/s)
微晶鋅版	硝酸10~11.5波美度 +2.2%~3%添加劑	22~25	250~300
紅銅版	三氯化鐵27~30波美度 +1.5%添加劑	20~25	250~300



金屬版的腐蝕坡度



腐蝕坡度形成原理

光化學腐蝕加工的特點

選用顯微攝影技術，照相制版加工精度高，重複性好

蝕除深度較淺，一般為**0.05~0.5mm**


採用顯微照相技術和感光防蝕層的光化學反應，來確定工件被加工部位的圖形

光化學腐蝕加工的应用

印刷版的製作

複製複雜的圖案、花紋、文字

各種印刷電路、積體電路，各類高導磁性鐵芯片的微細加工



第三節 光刻加工

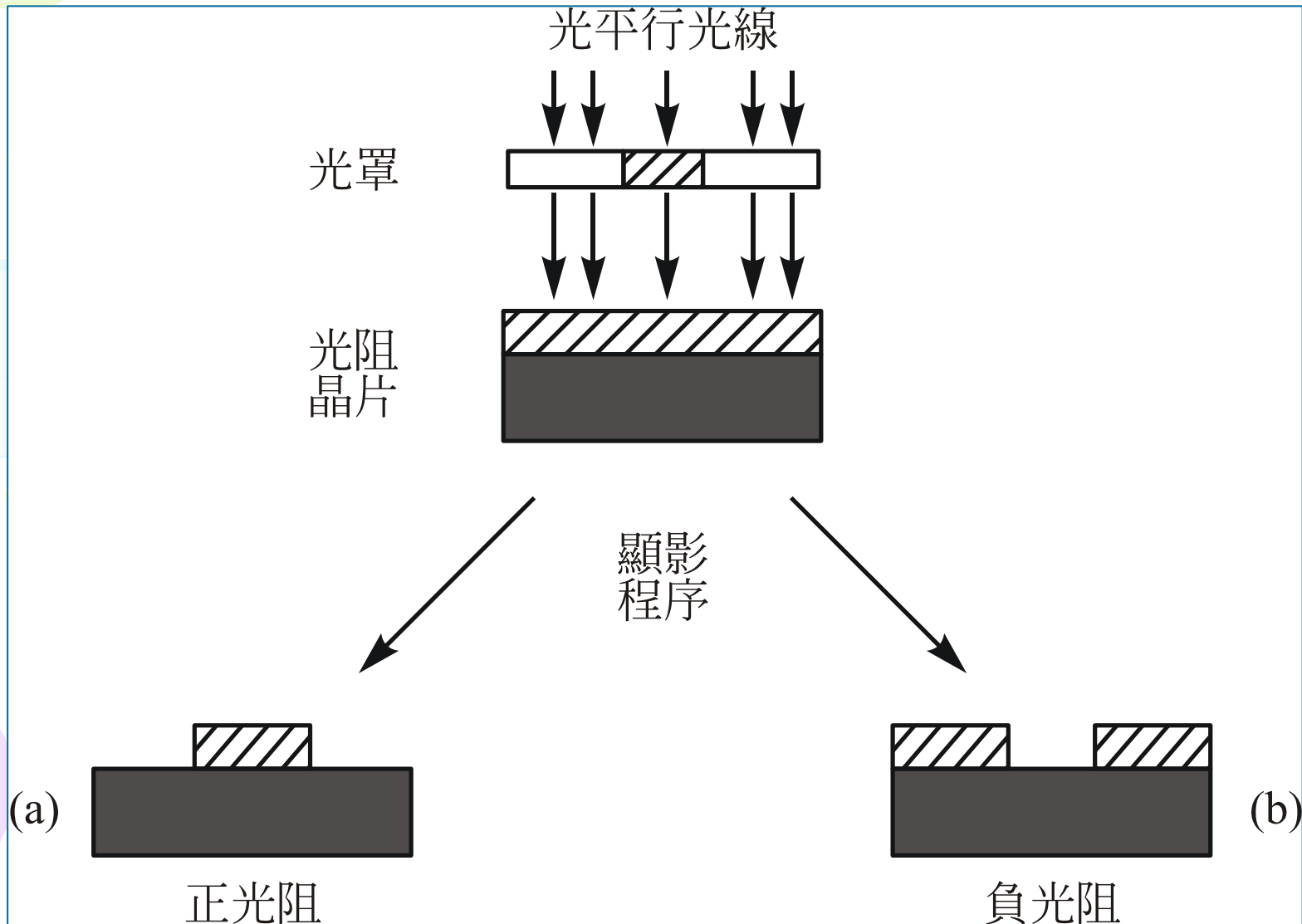
Photoetching

- 11-3-1 光刻加工的基本原理
- 11-3-2 光刻加工的方法
- 11-3-3 光刻加工的特點和應用

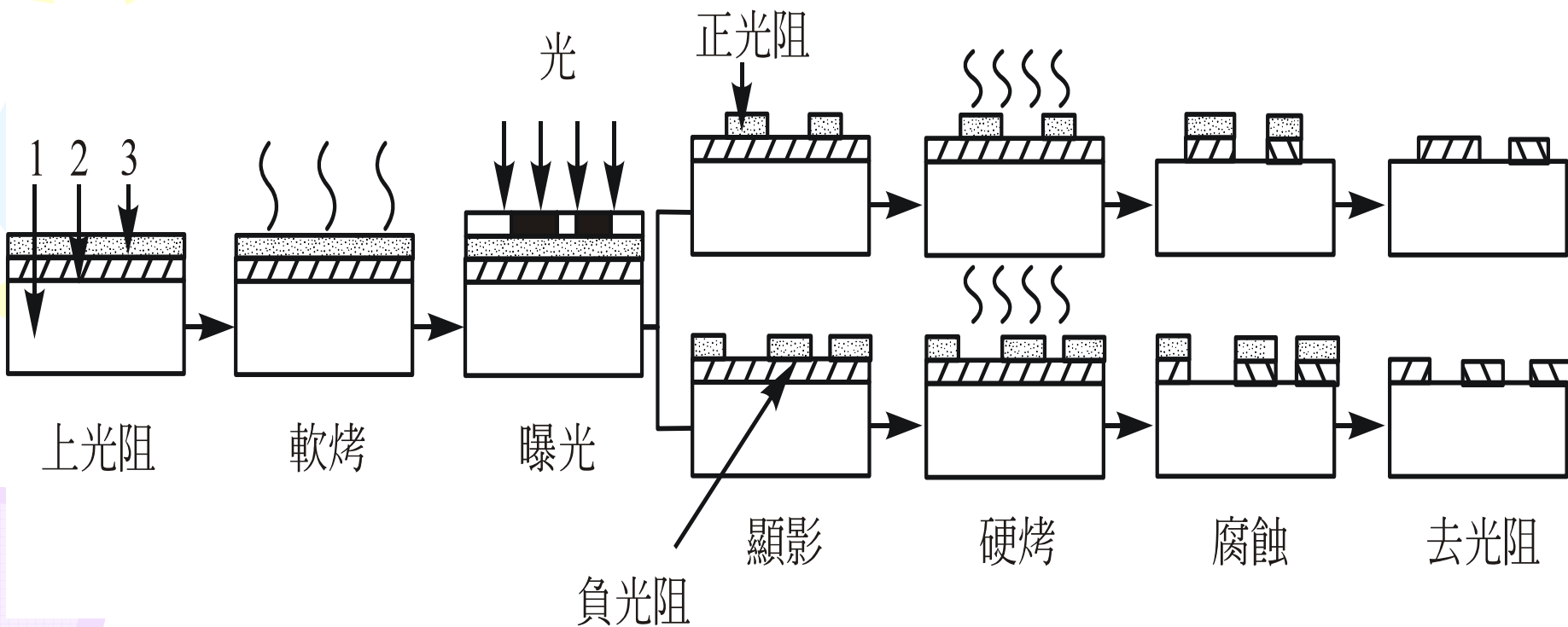
光刻加工的基本原理

利用光阻的光化學反應，將光罩上的圖形放大或縮小印製在塗有光阻的基材表面上，再利用光阻的耐腐蝕特性，對基材表面進行腐蝕，從而獲得極為複雜精細的圖形

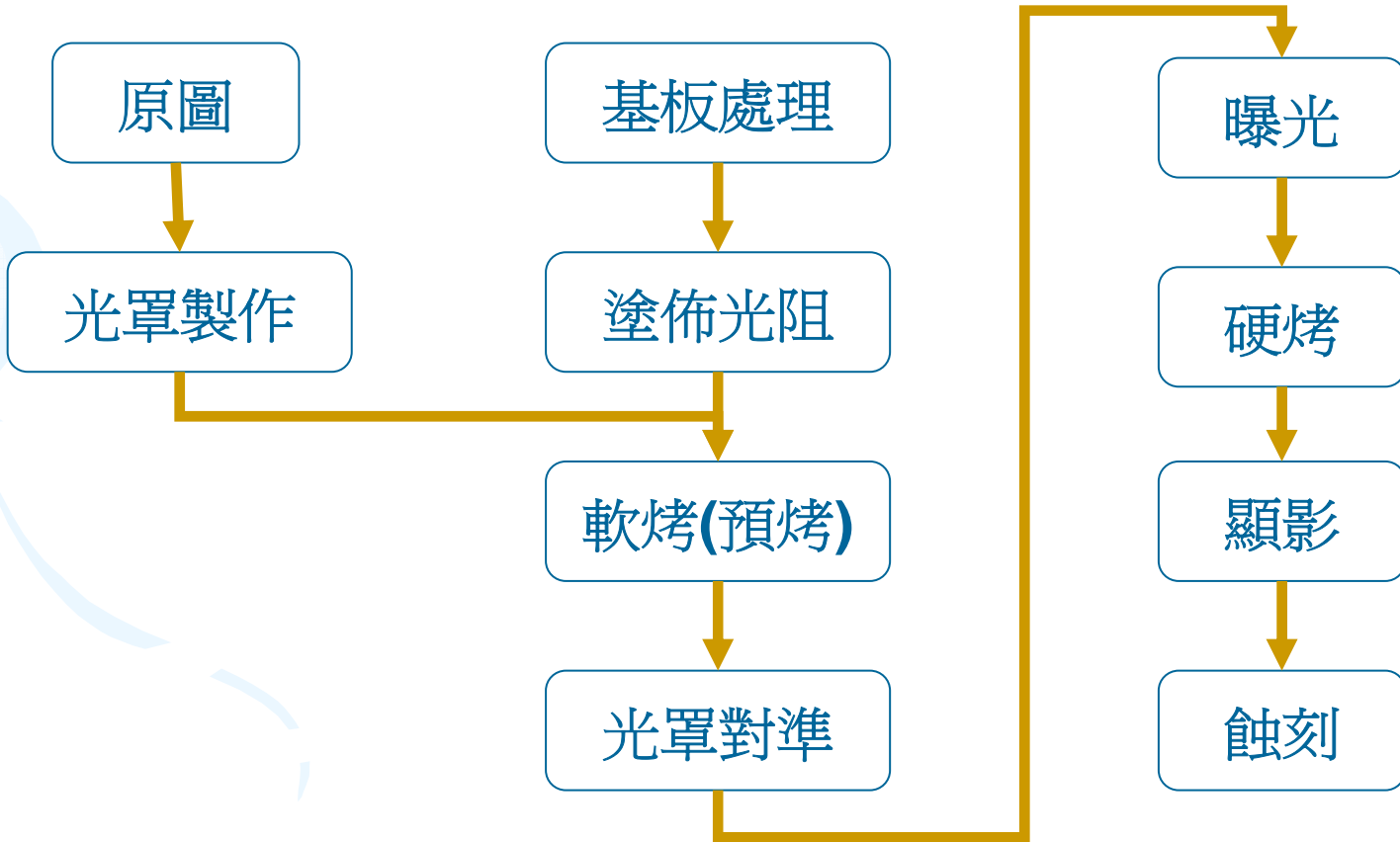
正光阻和負光阻之區別



光刻加工的示意圖



光刻加工的方法

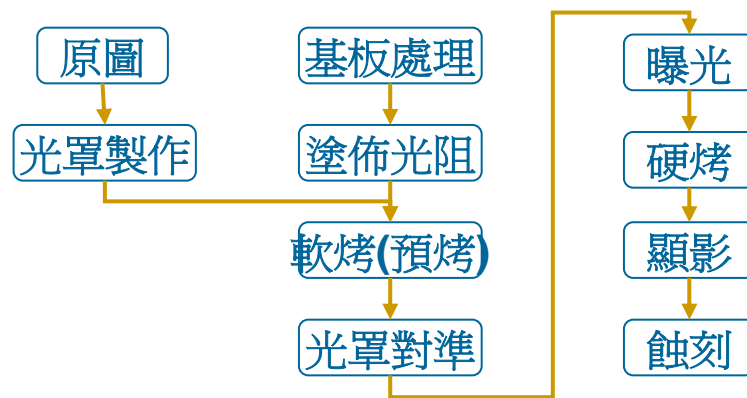


原圖與光罩製作

設計圖形，縮小，獲得照相底版，將圖形印製到塗有光阻的高純度鍍鉻玻璃板上，經過腐蝕即可得光罩

上光阻

光阻是一種對光敏感的高分子溶液
光阻厚度約為**0.5 μm** 至**3 μm** 之間

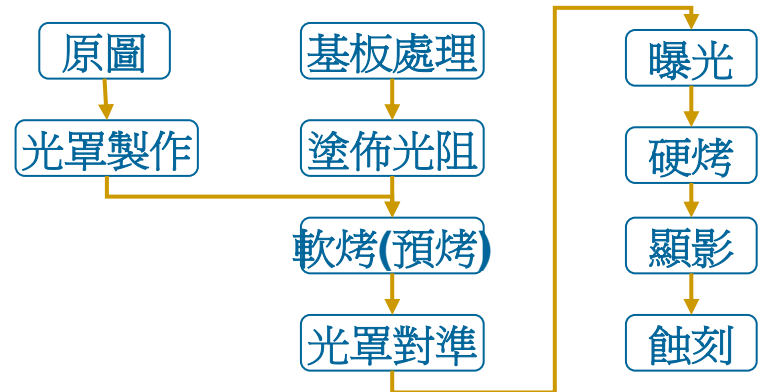


烤軟

軟烤的目的是將光阻薄膜加熱使溶劑蒸發，並且增加光阻的附著性，烘烤的溫度約為 90°C 至 100°C 之間

光罩對準

如果需進行多次曝光，每次曝光前須先對準光罩，否則所製作出來的元件會與所設計的不同



曝光

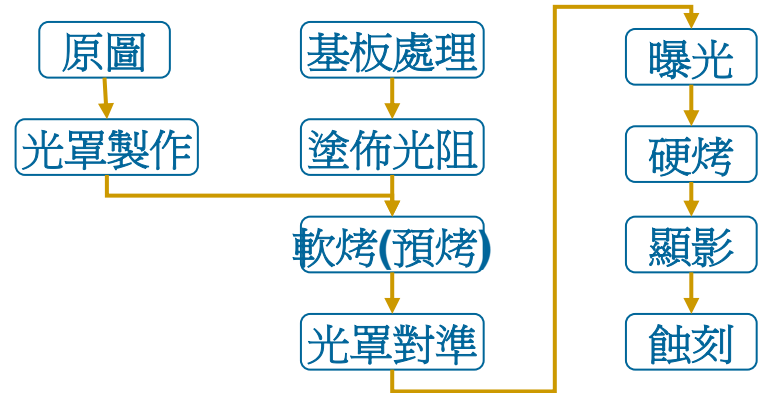
將光阻照射光線使產生光化學反應，造成光阻材料內部結構的改變的程序稱為曝光

硬烤

使光阻進一步硬化，使未曝光部分的光阻較難溶解

顯影

經由化學溶液將光阻材料的圖形顯現出來稱為顯影

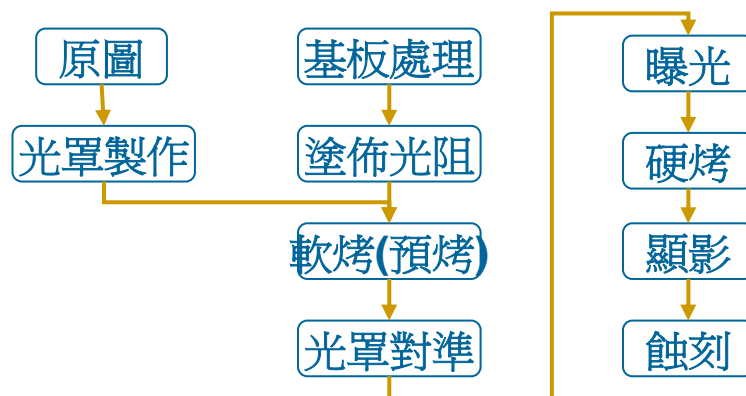


蝕刻

顯影之後，必須將為被光阻覆蓋的氧化物層去除，此程序為蝕刻

光阻剝除

光阻的剝除是使用如「丙酮」(acetone)、「甲基乙基酮」(methylethylketone、 $\text{CH}_3\text{COC}_2\text{H}_5$ 、縮寫MEK)等化學溶液



光刻加工的特點和應用

不產生加工變形、硬化、毛邊等，不受材料硬度限制

適於對複雜圖形、薄(膜)片進行精密加工，且可在大面積上將多個圖形一起處理

可製造刻線尺、刻度盤、光柵、細孔金屬網板、電路佈線板等

第四節 化學蒸鍍

- 11-4-1 化學蒸鍍的原理
- 11-4-2 化學蒸鍍法之種類
- 11-4-3 化學蒸鍍設備
- 11-4-4 化學蒸鍍之參數控制
- 11-4-5 化學蒸鍍之優點

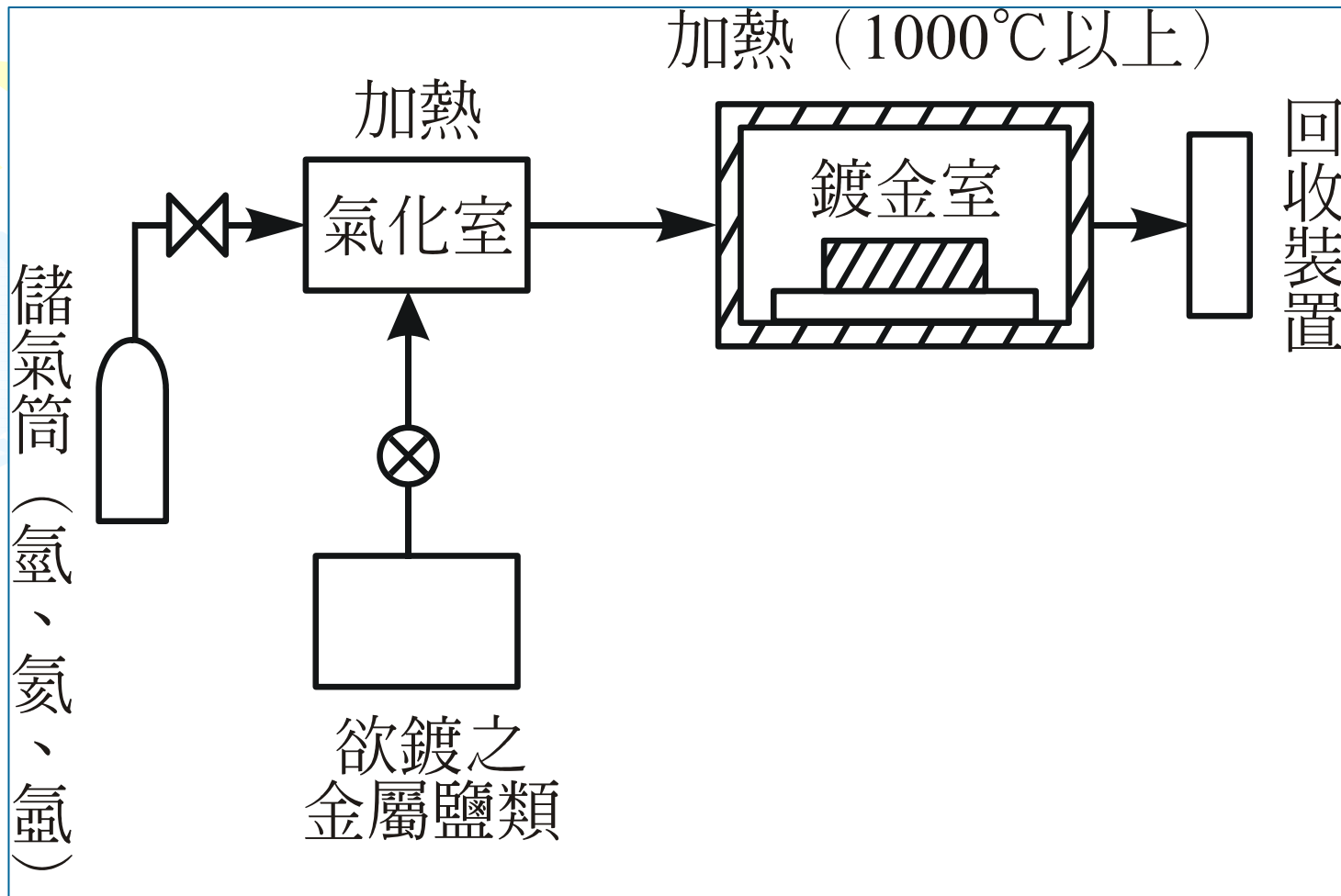
化學蒸鍍的基本原理

利用氣體的化學反應，在基材表面沉積固態生成物而達到被覆的目的

可化學蒸鍍之物質

金屬	Cu , Be , Al , Ti , Zr , Hf , Th , Ge , Sn , Pb , V , Nb , Ta , As , Sb , Bi , Cr , Si , Mo , Wo , W , U , Re , Fe , Co , Ni , Ru , Rh , Os , Ir , Pt 及多種合金與介金屬化合物
氮化物	BN , TiN , ZrN , VN , NbN , TaN , Si₃N₄
碳化物	C , B₄C , SiC , TiC , ZrC , HfC , ThC , ThC₂ , VC , NbC , Nb₂C , TaC , Ta₂C , CrC , Cr₄C , Cr₇C₃ , Cr₃C₂ , MoC , Mo₂C , WC , W₂C , V₂C₃ , VC₂
氧化物	Al₂O₃ , BeO , SiO₂ , ZrO₂ , Cr₂O₃ , SnO₂
硼化物	B , AlB₂ , TiB₂ , ZrB₂ , ThB , NbB , TaB , MoB , Mo₃B₂ , WB , Fe₂B , NiB , Ni₃B₂ , Ni₂B
矽化物	Ti , Zr , Nb , Mo , W , Mn , Fe , Ni , Co 之矽化物

化學蒸鍍爐示意圖



化學蒸鍍法的種類

熱分解法

在高溫下使反應氣體在基材表面分解，留下不揮發產物而成為鍍膜
低溫時(~600°C或更低)，氣體原料為氫化物、炭氧化物、有基金屬
化物，或少數穩定性低的鹵族元素化合物，高溫時(高於600°C)
則大多使用各各類鹵族元素化合物

還原法

利用氫氣或金屬蒸氣，將其他原料氣體在基材表面還原
原料氣體多為鹵化物，有時使用氫鹵化物

基材反應法

利用反應原料氣體與材料表面進行反應而得；
反應後，原基材表面層與蒸鍍層會互溶形成合金鍍膜；
方法之運用僅限於能與鍍層或原料氣體產生反應之基材

氧化還原法

利用多價之金屬化合物，在溫度改變時，自身產生氧化還原反應，而將中價位金屬化合物轉化成零價位金屬(還原)和高價金屬化合物(氧化)。當此反應在基材表面發生時，零價金屬便沉基在基材上而形成鍍膜

化學蒸鍍設備

熱壁式

間接加熱型，反應所需加熱源自爐外經爐壁傳導而送至基材

冷壁式

能源直接送到基材加熱。蒸鍍反應在基材表面發生，氣體使用效率高

化學蒸鍍之參數控制

- 基材表面處理的重點在控制表面的粗糙程度、油垢雜物的清理和氧化層的去處
- 氣體之控制決定蒸鍍速度與鍍膜性質
- 壓力亦為蒸鍍速率及鍍膜品質控制之重要因素



化學蒸鍍之優點

- 高溫材料可於低溫製成

- 鍍膜密度高

- 鍍膜結構可控制，包括膜中晶體之方向性

- 鍍膜晶粒大小可控制

- 多孔性或不易接觸之表面亦可蒸鍍

- 一大氣壓或部分真空皆可蒸鍍

- 鍍膜與基材之接合力極優良

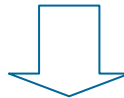
第五節 無電電鍍

- 11-5-1 無電電鍍的原理
- 11-5-2 電荷交換法之無電電鍍
- 11-5-3 接觸法無電電鍍
- 11-5-4 還原法無電電鍍

無電電鍍的原理

在不用外接電源之情況下使金屬析鍍，其金屬離子還原時所需之電子，直接由溶液內之化學變化產生，這種方式之電鍍稱為無電電鍍

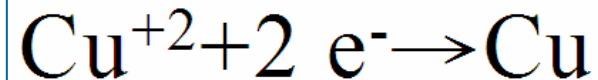
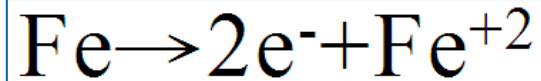
金屬自一水溶液中析出



在溶液中存在之**Z**價帶有陽電荷之金屬離子**M^{+z}**，在接受與其價數**Z**相等之電子**e⁻**便成為金屬原子**M**，並在適當情況下附著於鍍件表面而成為鍍層

電荷交換法之無電電鍍

為使發生電荷交換之無電電鍍，
須使被鍍之金屬**M1**(如鐵)，
較可析出之金屬**M2**(如銅)，
其正常電位為較低較負



常用浸鍍法

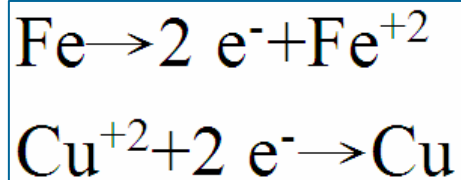
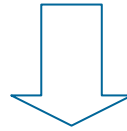
鐵件之浸鍍銅層

銅及黃銅件之浸鍍銀層

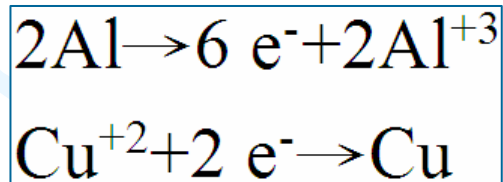
浸鍍汞層

接觸法無電電鍍

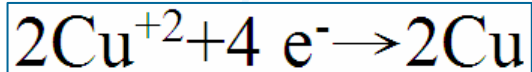
除了被鍍金屬**M1(鐵)**及析鍍金屬**M2(銅)**之外，尚須使使用第三種金屬**M3(鋁)**



電荷交換：**Fe** ↔ **Cu**

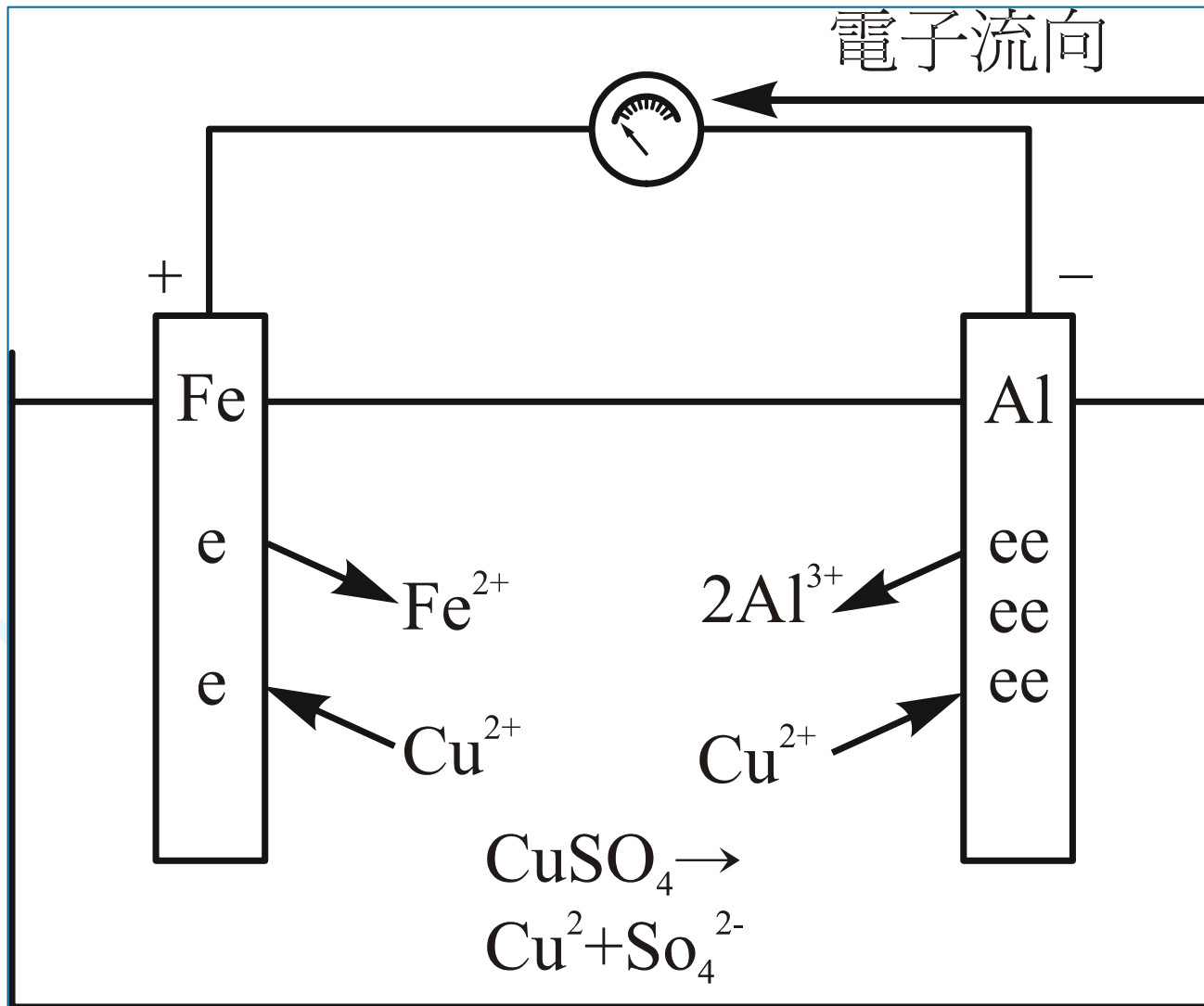


電荷交換：**Al** ↔ **Cu**



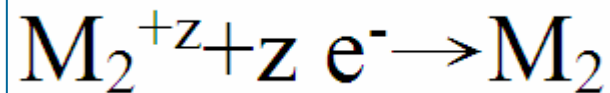
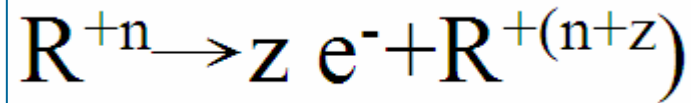
接觸析鍍於**Fe**上

接觸法無電電鍍

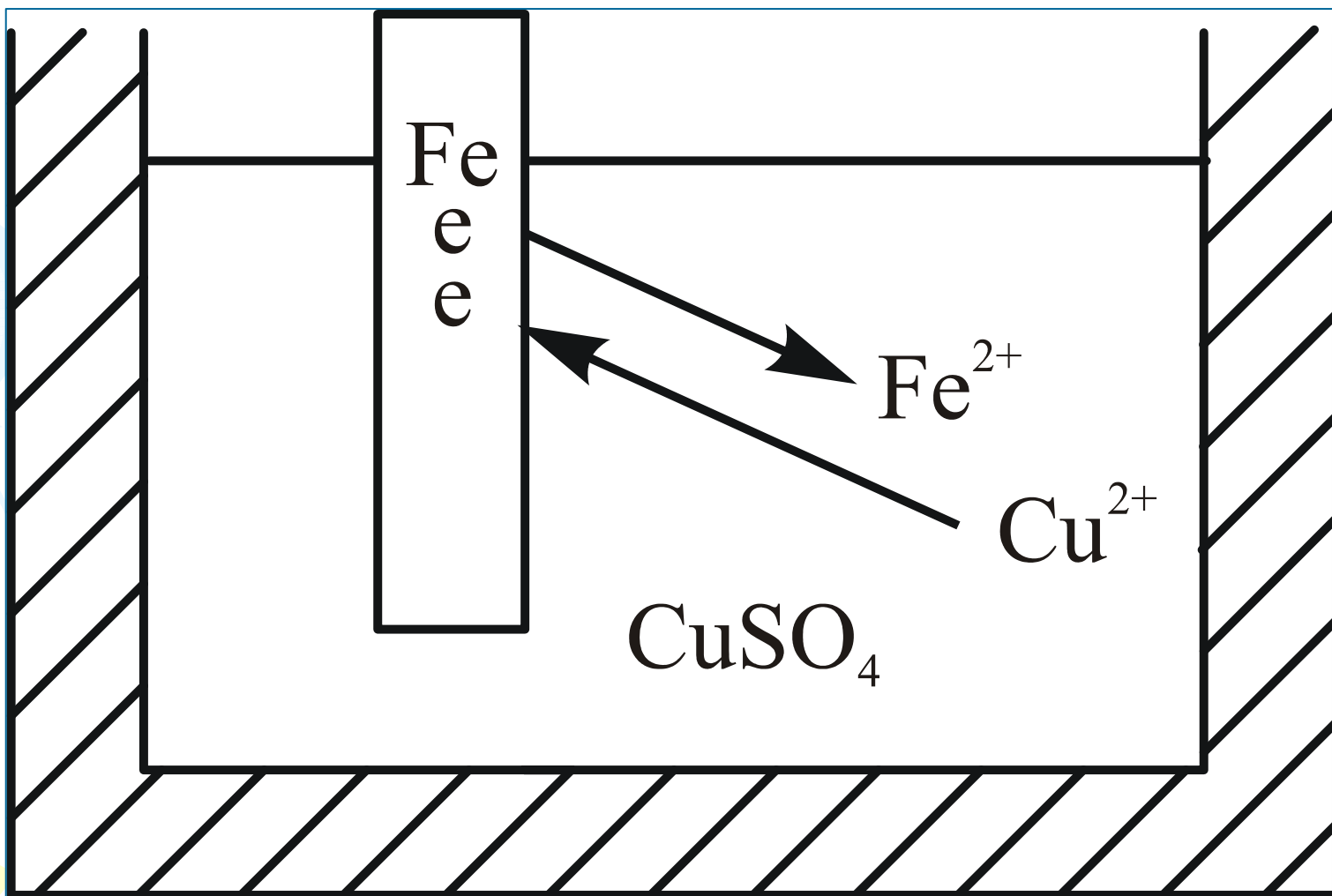


還原法無電電鍍

金屬離子還原成金屬時所需用之電子，由化學方法所產生，但不由金屬之溶解而由於一種化合物(還原劑)之化學反應。還原劑之電位必須低於析鍍金屬

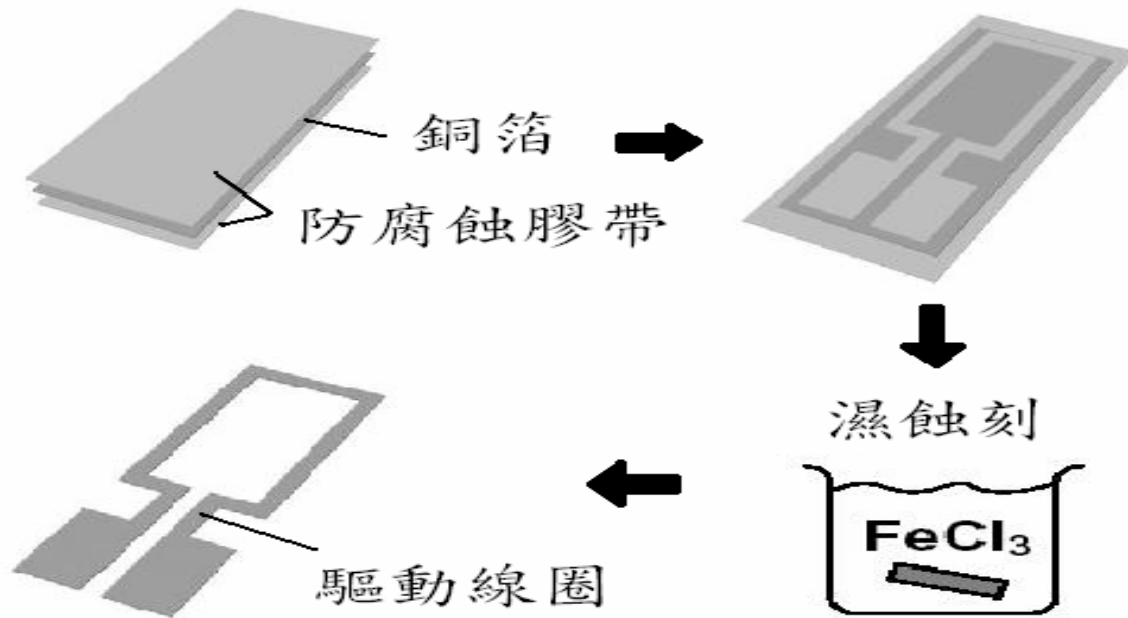


還原法無電電鍍

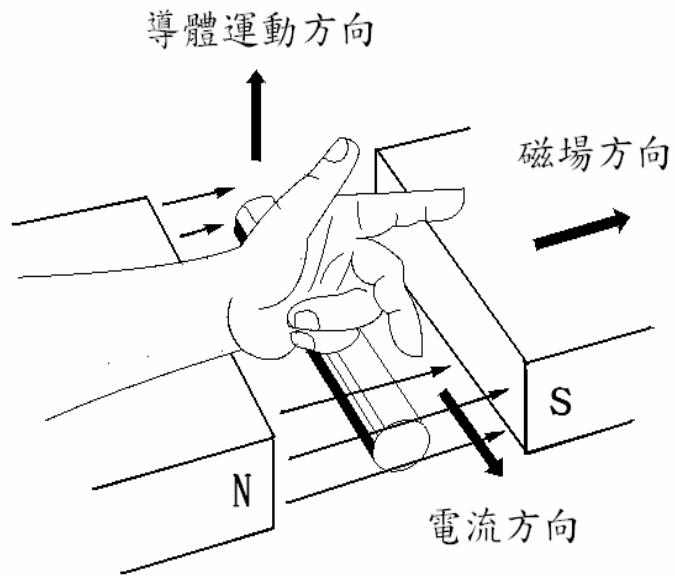


補充1. 微掃描器製作

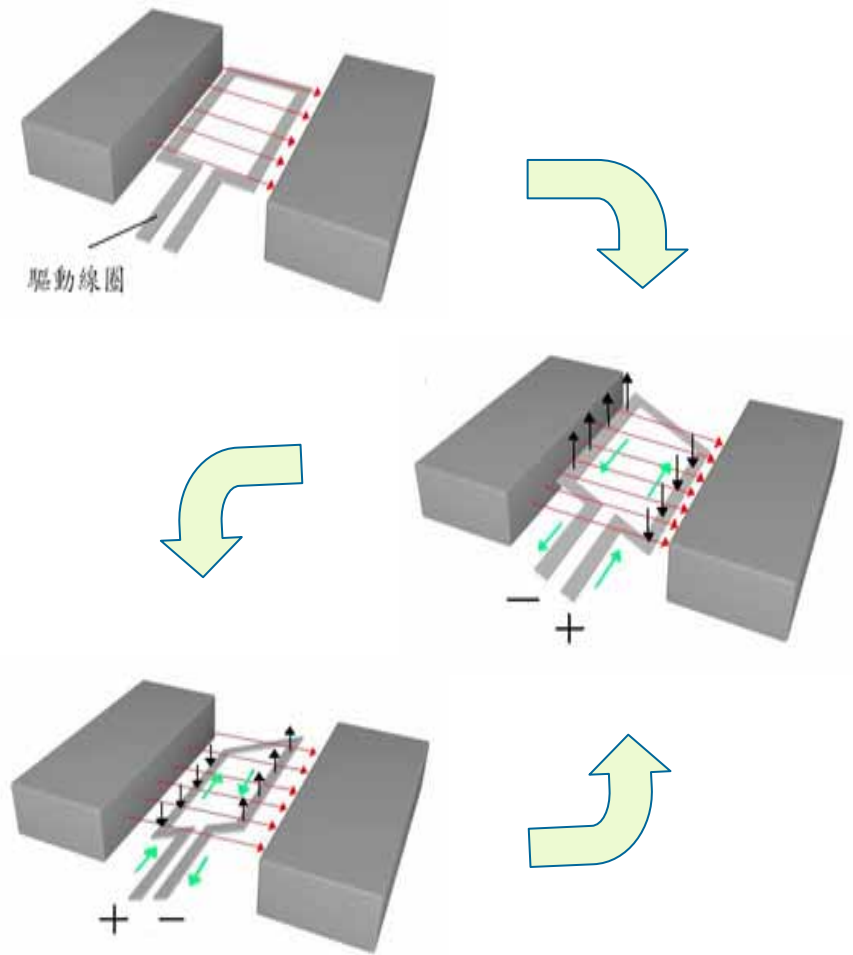
• 銅質驅動線圈製作



文獻回顧

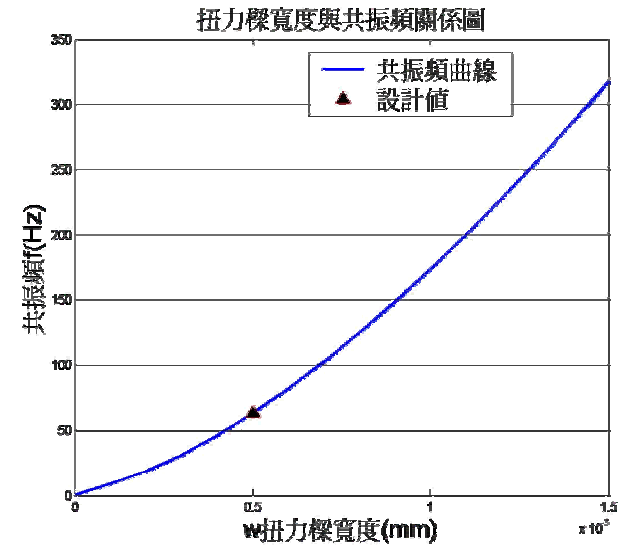
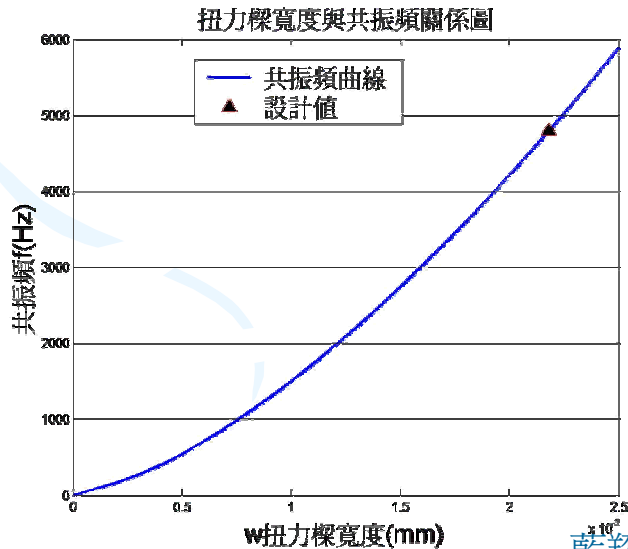
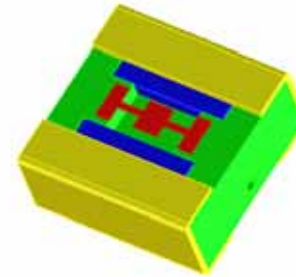
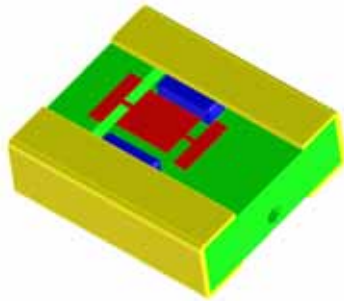


佛策明左手定則(電動機原理)



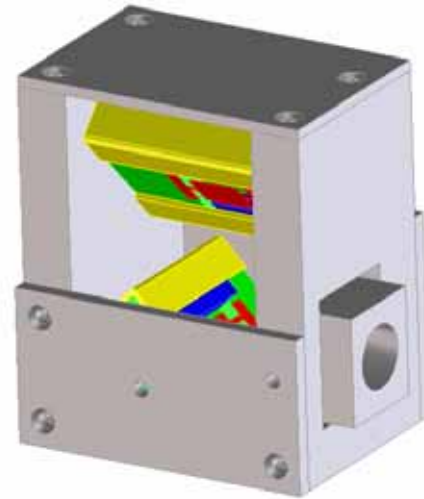
微掃描器設計

$$f = \frac{K_c}{2\pi} \sqrt{\frac{2 \cdot w \cdot t_b \cdot G (w^2 + t_b^2)}{L \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot t_p (a^2 + t_p^2)}}$$



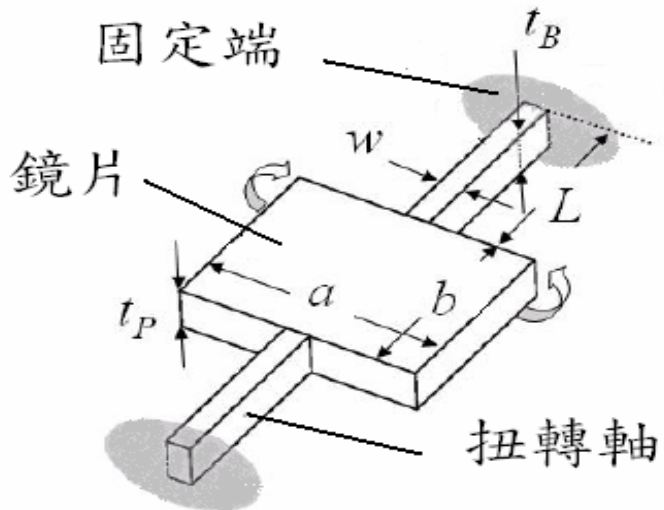
微掃描器製作

- 微掃描結構
 - 低頻 - PMMA
 - 高頻 - 硼矽玻璃
- 驅動線圈
 - 銅箔 - 濕蝕刻
- 微掃描器基座
 - 壓克力 - CNC

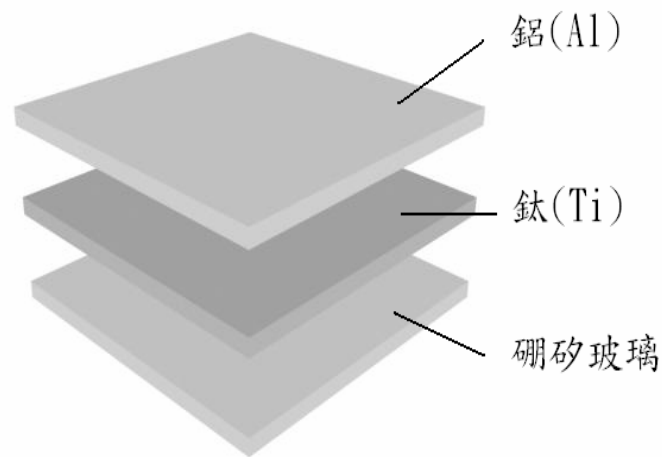


微掃描器製作

- 微掃描結構及反射鏡片製作



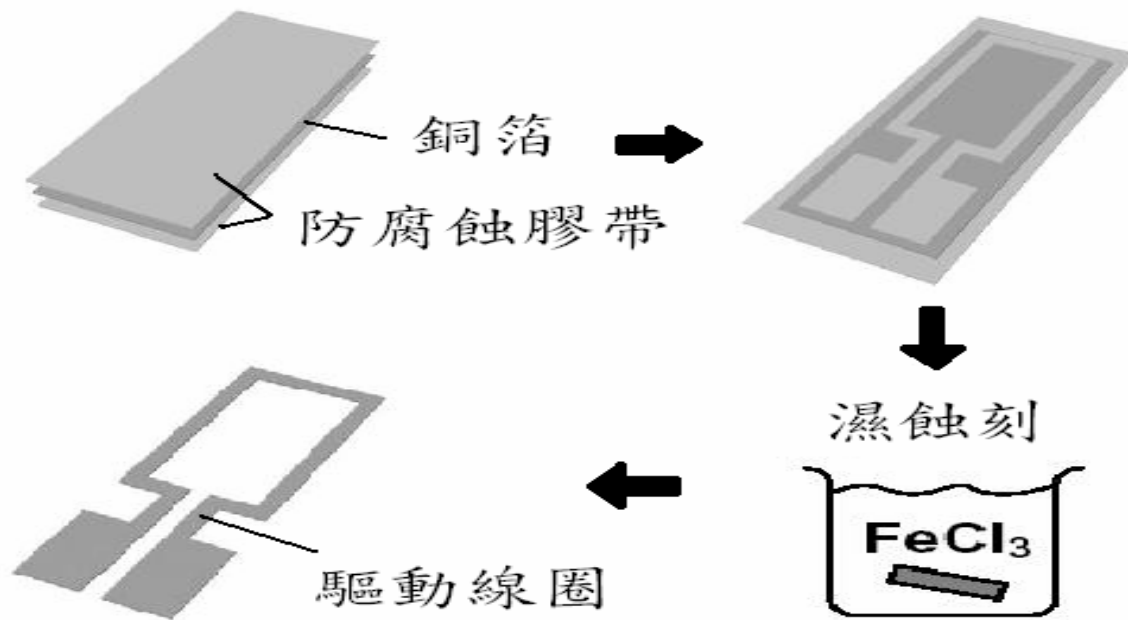
微掃描結構



反射鏡片示意圖

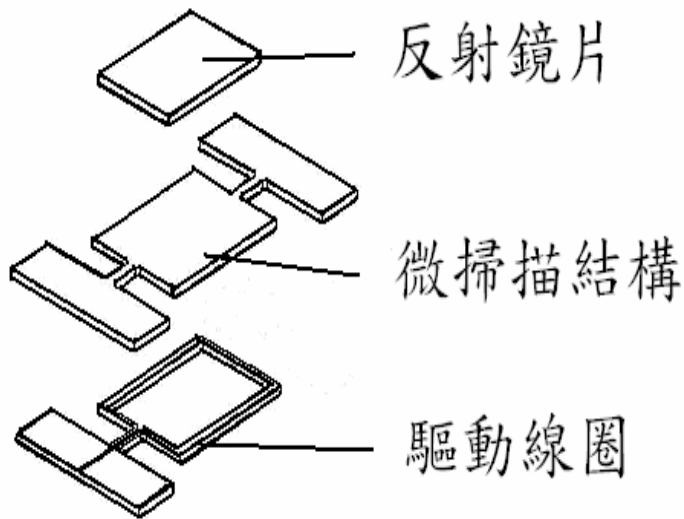
微掃描器製作

• 銅質驅動線圈製作

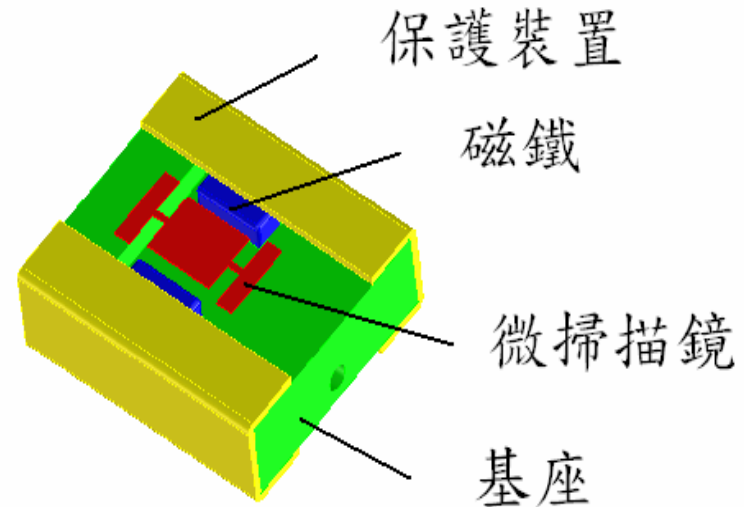


微掃描器製作

- 微掃描器元件組裝



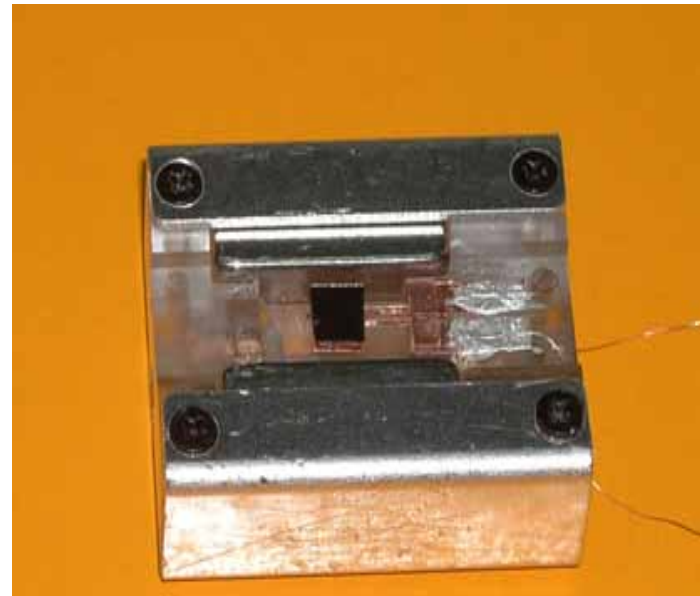
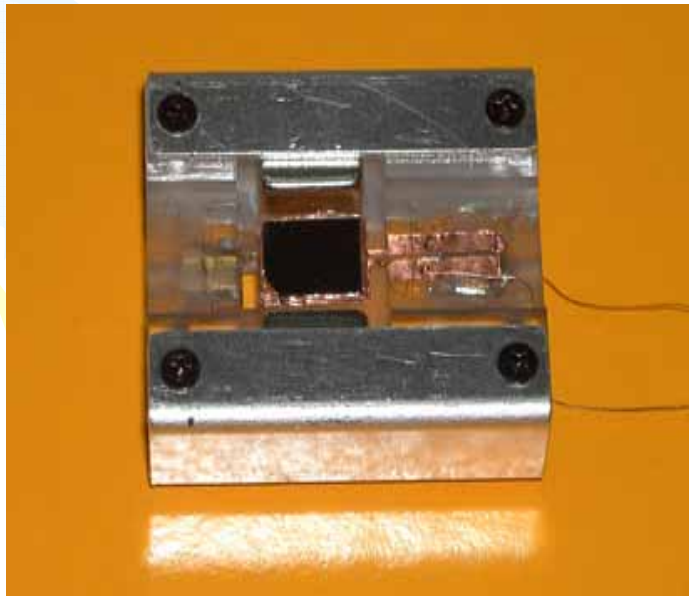
微掃描結構組裝示意圖



微掃描器

微掃描器製作

- 低頻及高頻微掃描器



補充2. 電子束微影技術

