



高科技產業製程廢棄物減量

CONTENT

01

前言

02

台灣高科技產業製程現況

03

台灣高科技產業製程廢棄物資源循環技術

04

結語

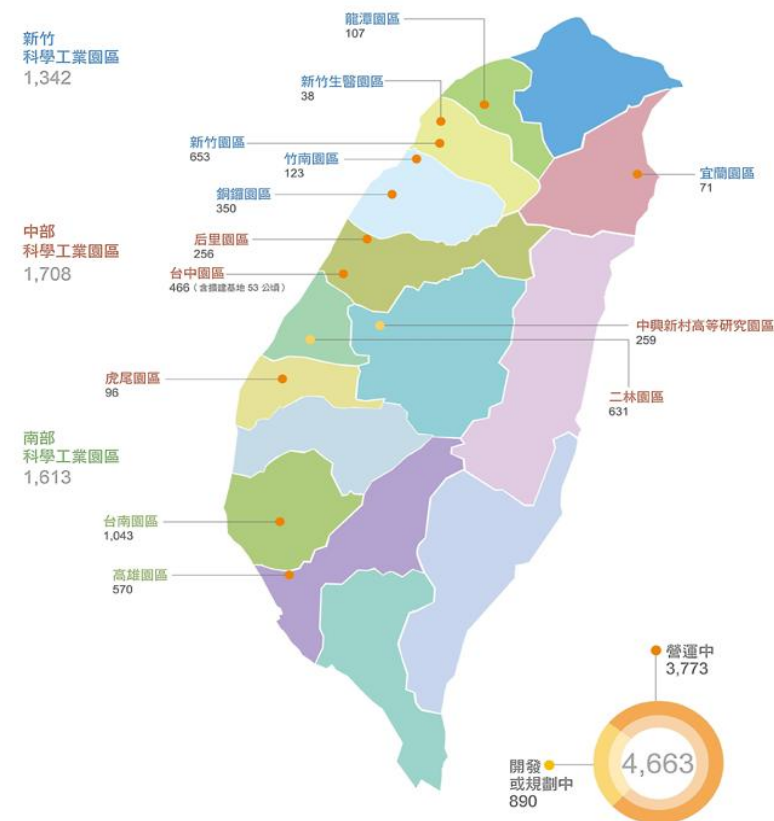
目前臺灣高科技產業中，主要以下列三大項為發展目標，分別是：**電子零組件產品**、**IC產業**、**資訊硬體產業**等，且主要分布範圍為北中南三大科學園區內。

電子零組件產品：體積電路、液晶顯示面板、發光二極體、印刷電路板等。

IC產業：IC設計、IC代工、IC封裝等。

資訊硬體產業：電腦、主機板等。

科學工業園區分布及開發情形
(面積單位：公頃)



以台灣最著名之電子產業一半導體業來做為參考：
2018年產值為新台幣2.62兆元，占台灣GDP超過**15%**，
為台灣經濟的靠山

台灣世界排名：

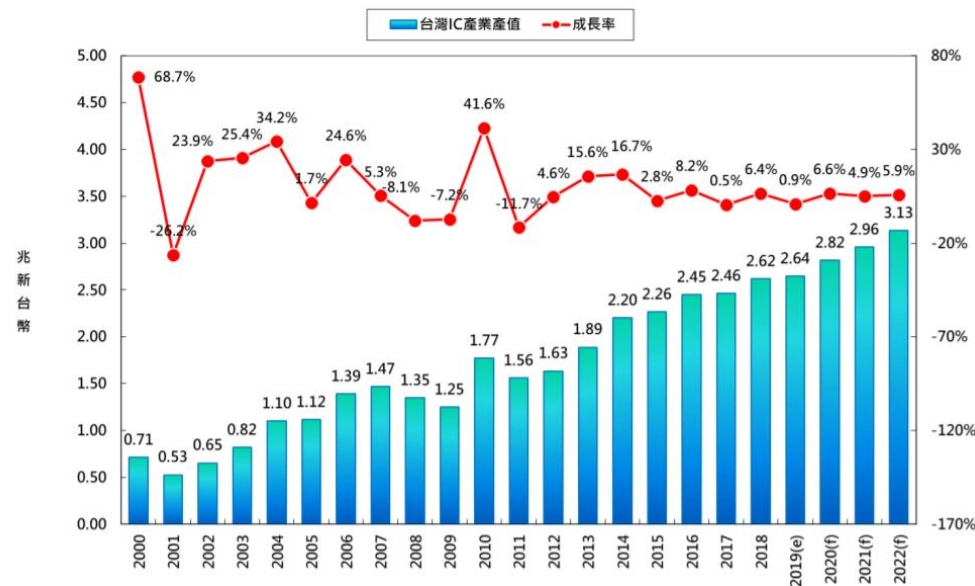
IC設計：全球第二

IDM（含記憶體）：全球第五

晶圓代工：全球第一

IC封測代工：全球第一

IC產品產值：全球第四



2018年	台灣產值 (億美元)	全球產值 (億美元)	台灣佔有率 (%)	台灣 排名	台灣 大廠	領先國
IC產業鏈產值 = A+B+C+D	868	5,812	14.9%	No.3	台積電	韓, 美
A.IC設計	212	1,234	17.2%	No.2	聯發科	美
B.IDM(含記憶體)	66	3,694	1.8%	No.5	南亞科	韓, 美, 日, 歐
C.晶圓代工	427	592	72.2%	No.1	台積電	台
D.IC封測代工	163	292	55.9%	No.1	日月光	台
IC產品產值(IC品牌) = A+B	278	4,928	5.6%	No.4	聯發科	韓, 美, 日

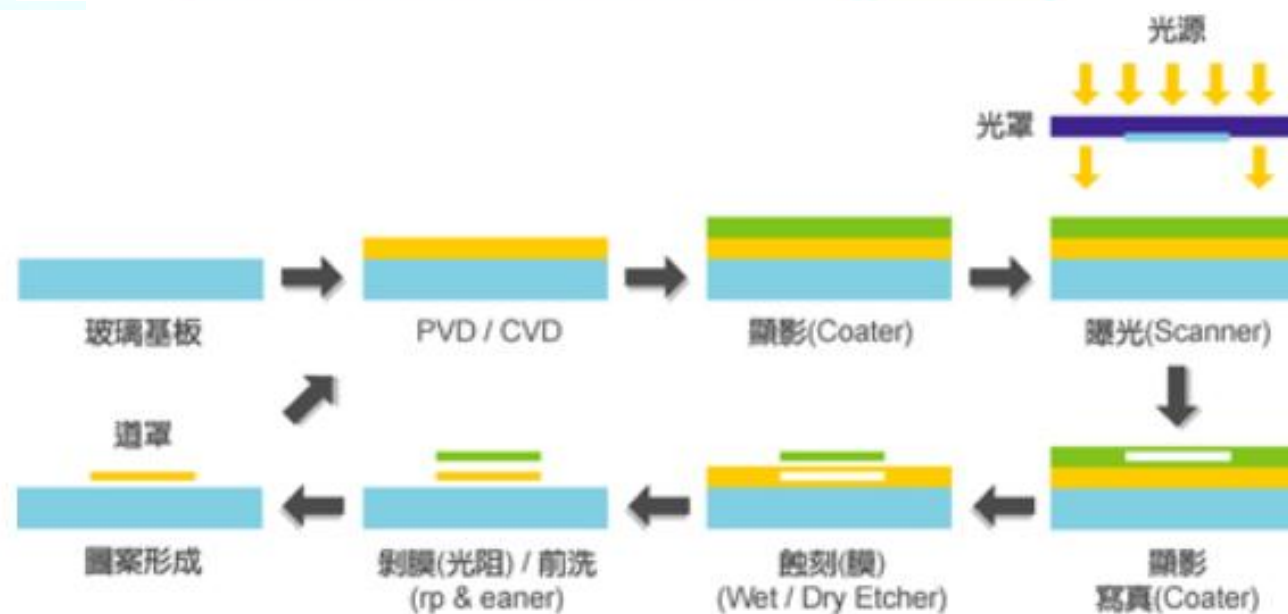
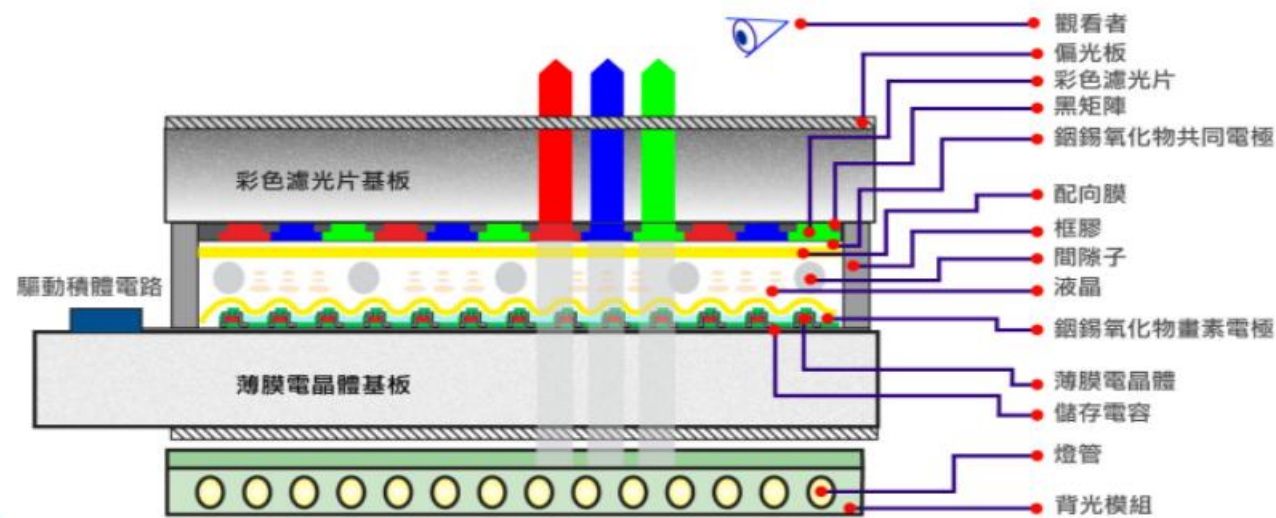
然而高科技業屬於高耗能產業，且會產生大量廢棄物，以新竹科學園區(106年)為例，高科技工業所產生廢棄物占主要包含廢塑料、廢酸液、廢溶劑、**無機汙泥、廢矽晶片與金屬廢液**等，在切削研磨過程中亦會有許多矽資源浪費，因此未來將做為廢棄物回收標的。

行業別	申報產生量(公噸)
積體電路	155,464.26
光電產業	45,716.12
電腦及週邊	1,189.82
通訊	341.34
精密機械	1,135.62
生物科技	771.17



廢棄物代碼	廢棄物名稱	公噸
D-1504	非有害有機廢液或廢溶劑	6,283.03
D-1599	非有害性混合廢液	24,956.63
C-0202	廢液pH值小(等)於2.0	39,186.12
D-0902	無機性汙泥	5,175.11
C-0301	廢液閃火點小於60°C	4,070.30
C-0110	銅及其化合物	8,313.12
D-0299	廢塑膠混合物	571.08
D-1704	廢切削油(液)	488.60

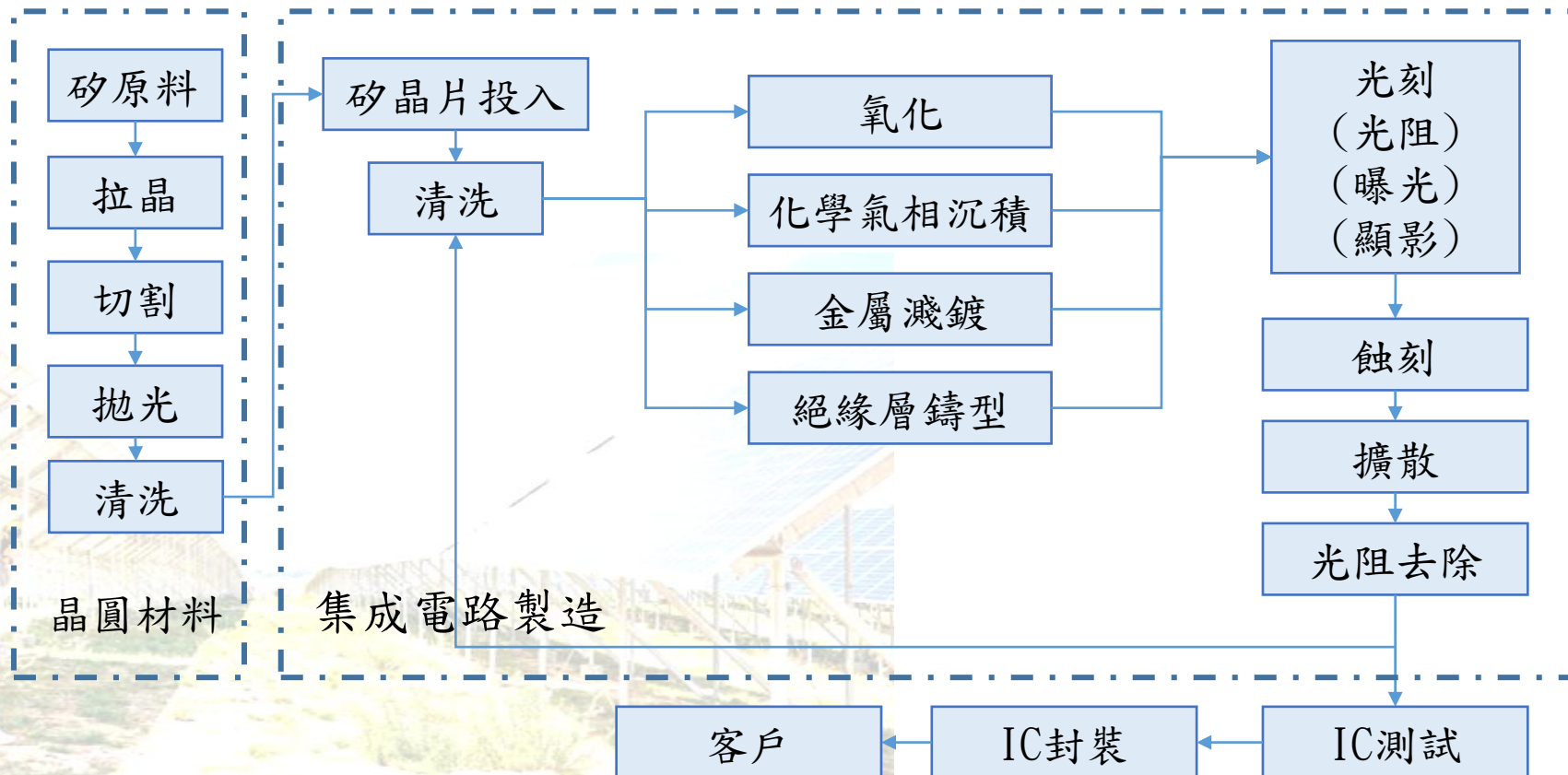
由於人類對高速且高畫質的需求，在各大面板產業亦開發出能夠產生不同色調的液晶面板製程，在製程中亦會有許多廢棄物如：廢蝕刻液、廢顯影液等產生，而如何將廢棄物減量並資源循環將是未來長遠發展的一大課題。



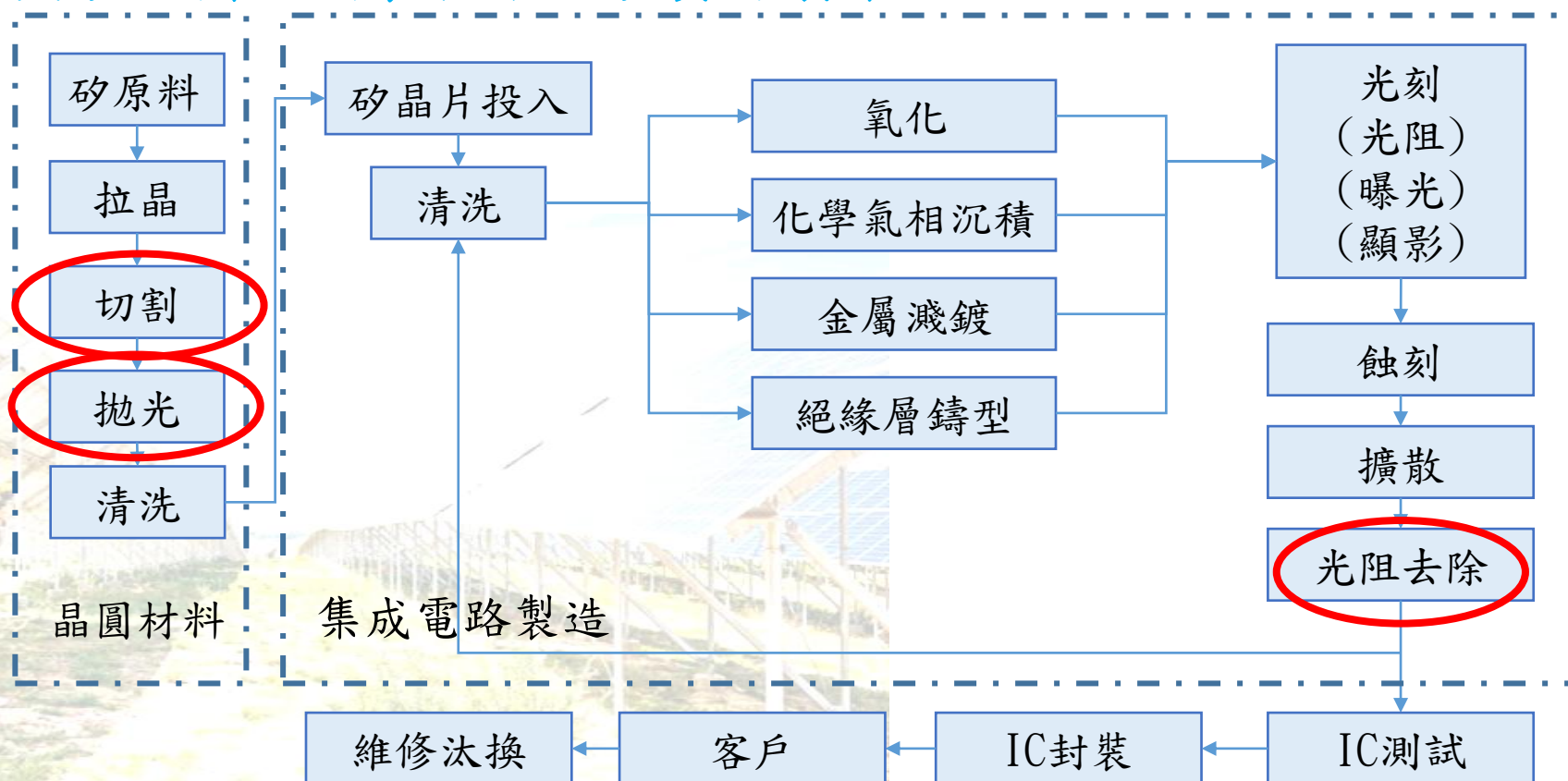


台灣高科技產業資源現況

隨著科技的進步，在一小顆微控制器的晶片製造就需要眾多的步驟，這些步驟包含著氧化、沉積、光刻、蝕刻、擴散等等。隨著半導體裝置的精密性增加製程步驟的次數。



在眾多半導體製程中，以晶圓材料製作矽晶圓切割、拋光與光阻去除製程的矽晶圓平坦化的化學機械研磨(Chemical Mechanical Planarization, CMP)產生最多矽資源廢棄物，但這些製程在半導體製造中佔有很重要的地位，不容易以其他方式取代。為了不浪費資源，**資源循環CMP與矽晶圓切削製程中的矽資源廢棄物**尤為重要。



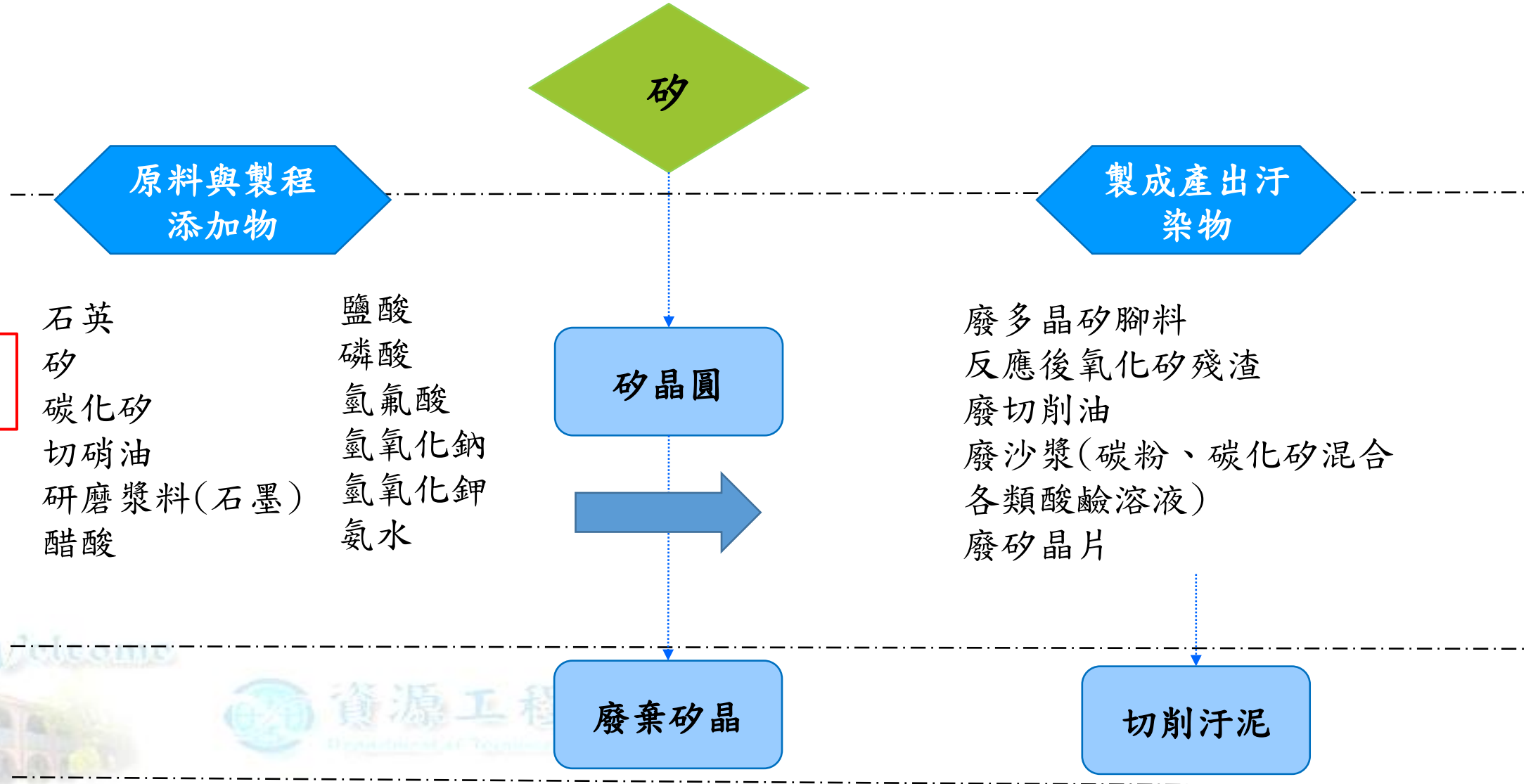
矽晶柱長成後需要將晶柱裁切成特定大小，以利後續製程與檢測進行，

其中將經過：

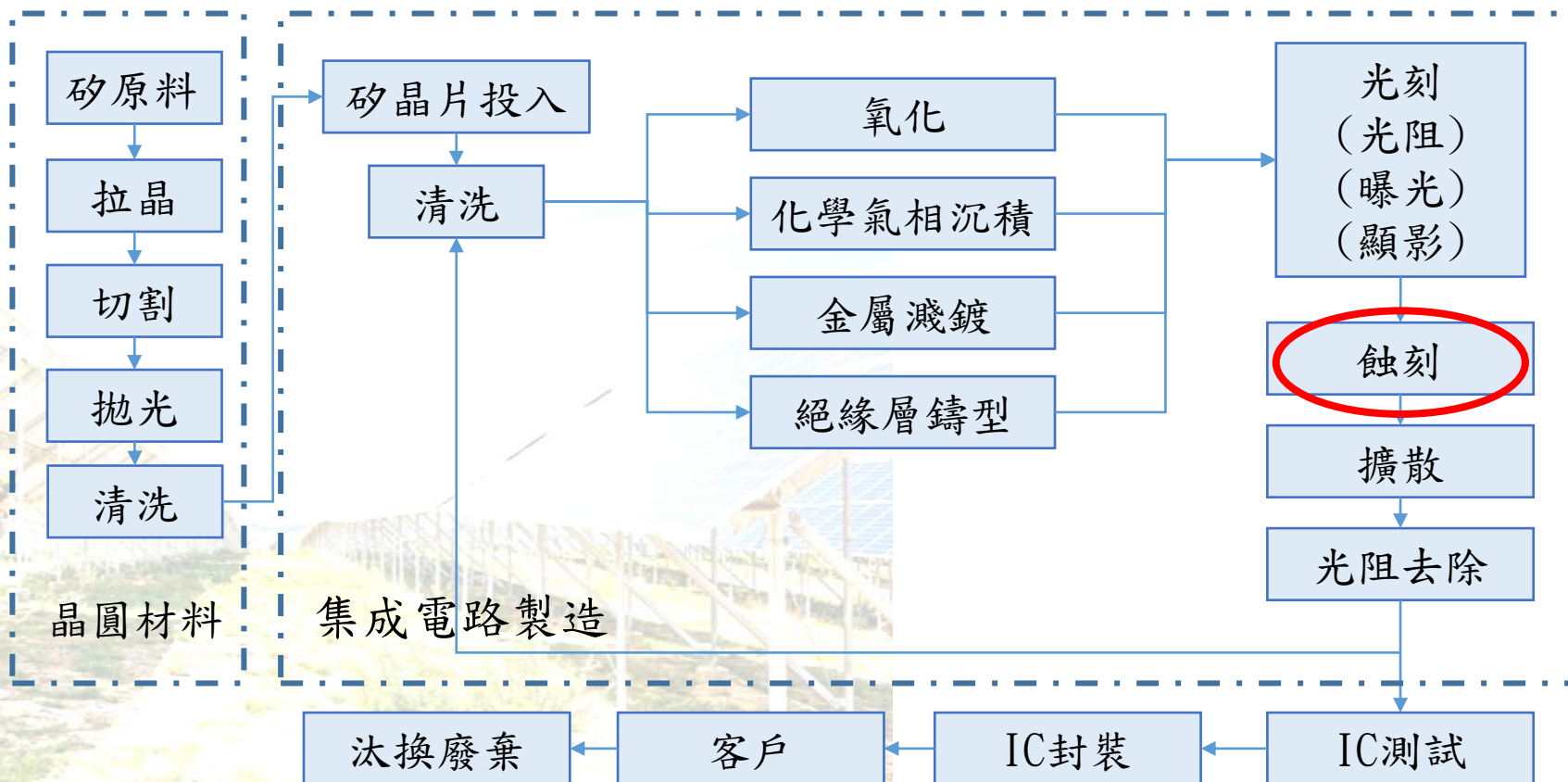
切片(Slicing)與圓邊(Edge Polishing)：利用一內徑邊緣鑲有鑽石顆粒的環狀內徑鋸進行切割，晶棒在切片前會先預黏一**石墨板**，避免切割時造成晶板破裂。

研磨(Lapping)與蝕刻(Etching)：為了方便後續拋光製程進行，以研磨方式去除切割所造成的鋸痕與表面破壞層，並在拋光之前以化學蝕刻方式去除因家供應力形成的損傷層(Damaged layer)，常用藥劑包含**醋酸、鹽酸、硝酸、氫氟酸與鹼性溶液**，完成後便以**噴砂法(碳化矽)**將晶圓上的瑕疵與缺陷去除。

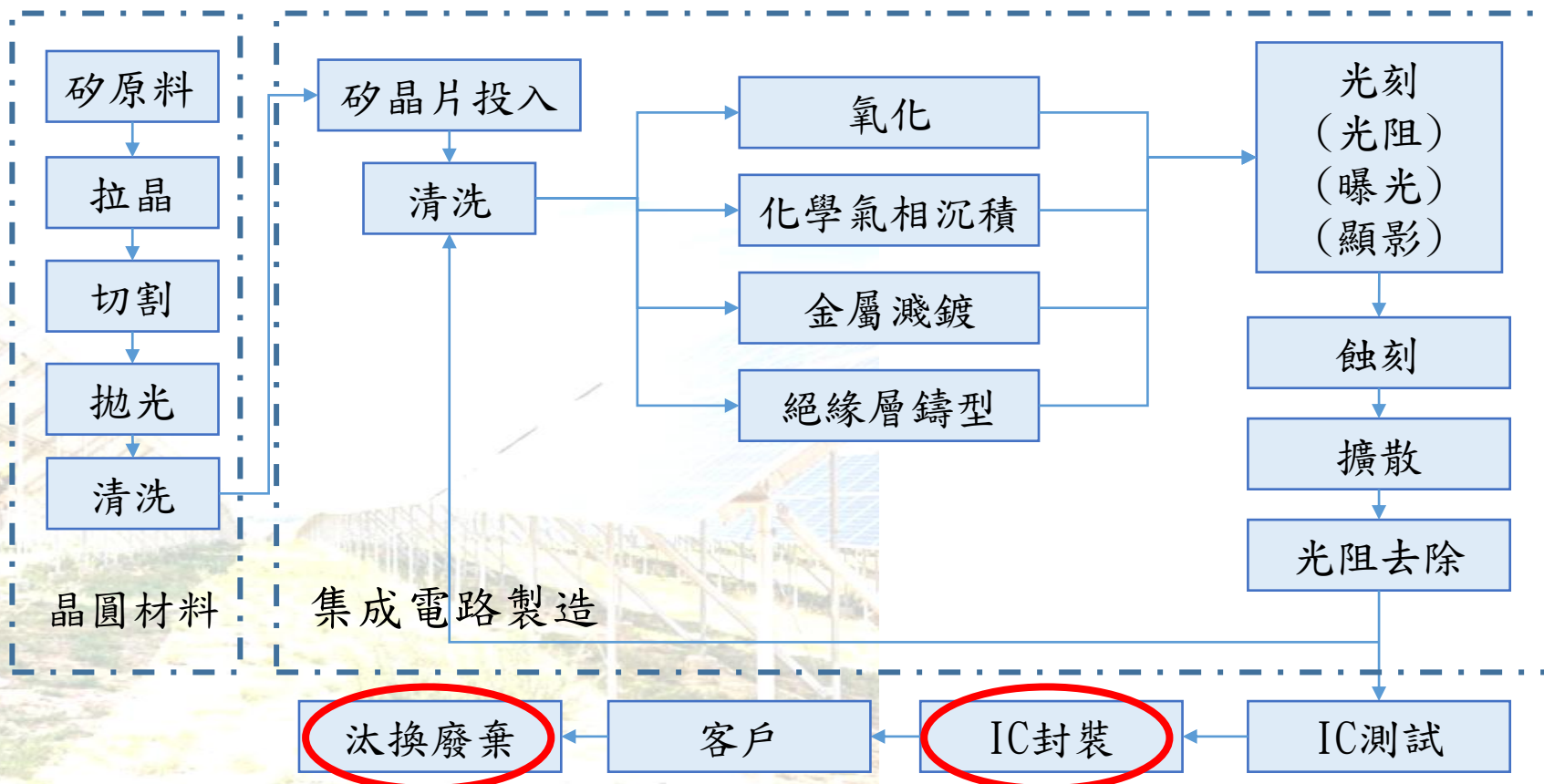
拋光(Polishing)：將晶圓拋光，改善前述製程中遺留的缺陷，取得局部平坦度最佳化，以利後續集成電路製程進行，移除晶圓表面厚度約10-20微米。此反應為化學-機械反應製程，研磨劑中的反應機制以**氫氧化鈉、氫氧化鉀與氨水**為主，腐蝕晶圓表層，由機械摩擦作用提供腐蝕的動能。



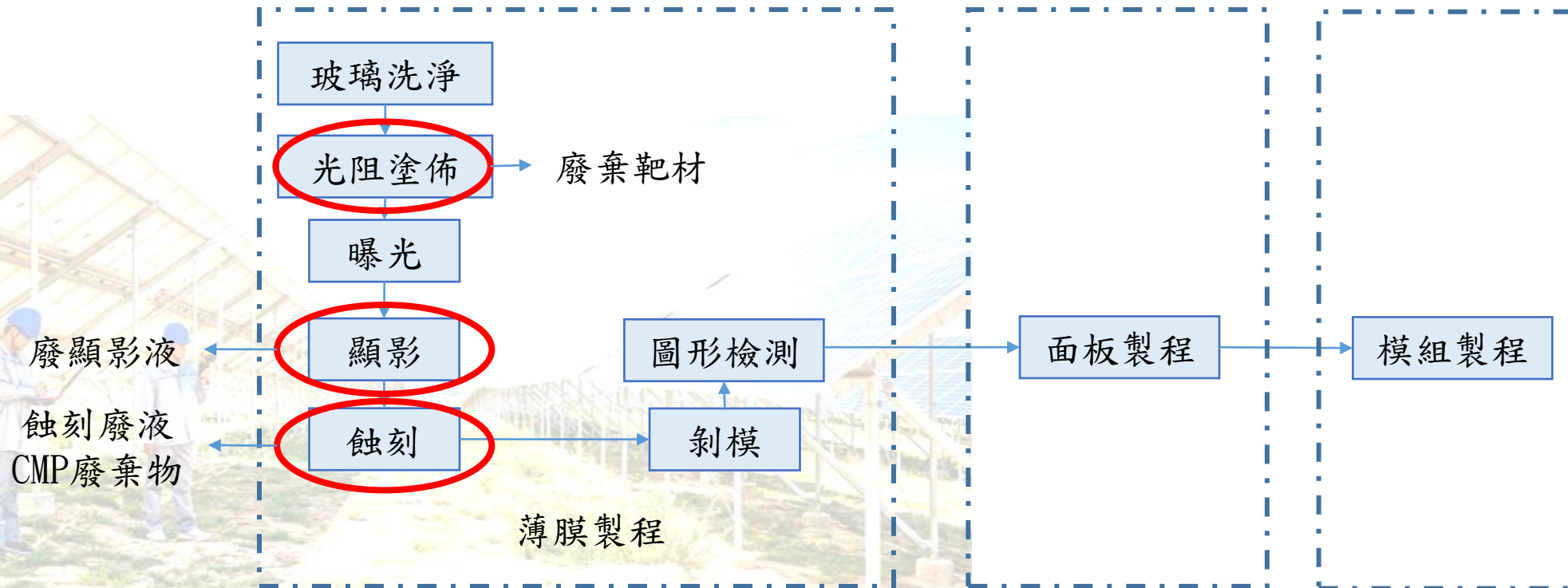
目前業界常使用蝕刻方式多為乾蝕刻與濕蝕刻參雜使用，在蝕刻過程中常利用**氫氟酸**搭配無機酸做為去除薄膜製程(銅、鋁、鎢、鈦)不需要的物件，蝕刻製程完成後多數蝕刻廢液以參雜鈣離子做為氟離子的沉澱劑，沉澱成氟化鈣離子貯存，卻為有效應用氟化鈣導致廢棄物堆積。



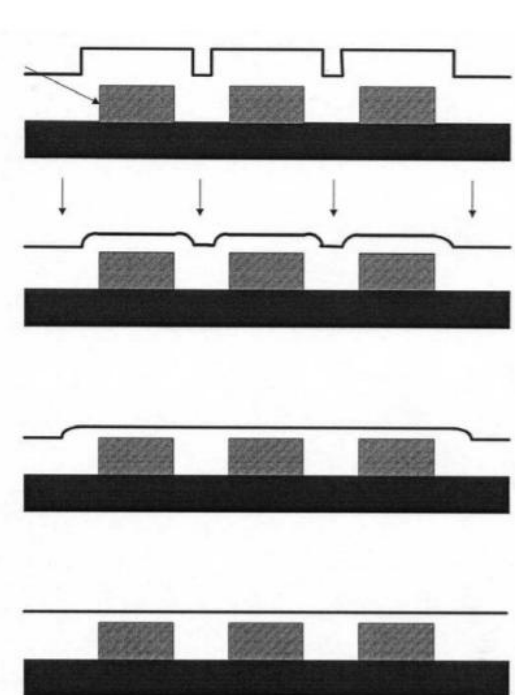
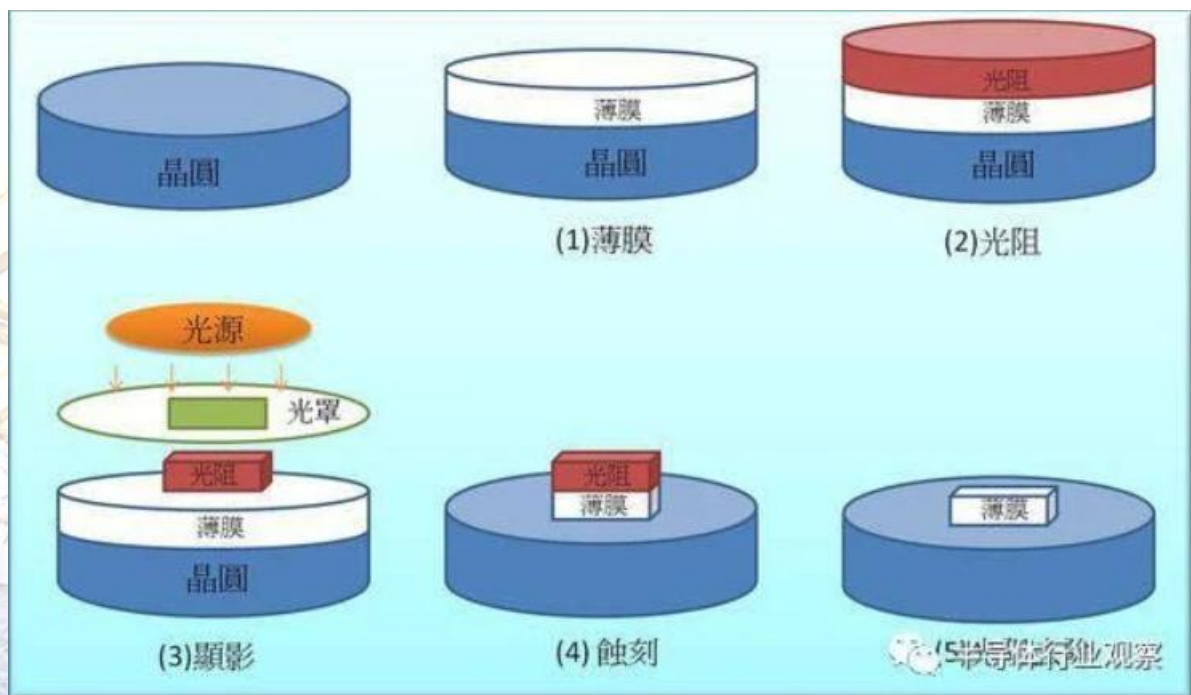
測試封裝後的半導體材料被運用在各產業使用，最終隨著使用壽命到期而被汰換，產生的電子垃圾內矽資源與用於封裝模組的矽膠條將影響環境，為了不浪費資源，**資源循環廢棄封裝矽膠條**亦尤為重要。



在面板產業薄膜製程中所使用技術與半導體製程類似，亦需要黃光製程後顯影鍍上IC設計圖後蝕刻，其中在去除光阻中需要CMP技術做為平坦化製程，蝕刻則會產生廢蝕刻酸液，故仍需要進行資源化流程來減少廢棄物產生。在物理氣相沉積製程中會有IGZO、GZO等使用後廢棄的稀貴金屬靶材，其中含有部分銻、鎘貴重金屬未處理。



晶圓經由黃光製程在上了光阻之後，經過曝光處理，再由顯影液將曝光區的正光阻溶解、清洗與晾乾，再經由蝕刻去除曝光阻的絕緣層，而未曝光區的光阻則不會收到蝕刻影響。此步驟用以針對IC設計所需的絕緣層與作用層做區分，完成蝕刻後則**利用CMP技術將光阻層與其他凹凸不平的雜層拋光磨平去除**。在整個積體電路的系統製程中，將重複的多次以上的印刻與蝕刻程序，而**CMP則是作為每一道薄膜程序與下一道程序中間的平坦化角色**。



CMP平坦化示意圖

集成電路CMP製程簡介



由於各類製程差異，所需磨除的物質亦有所不同，顧使用的藥劑會隨著須處理的物質而有所改變。常見的CMP種類包含：**氧化矽CMP(Oxide CMP)製程**、**銅CMP(Copper CMP)製程**與**鎢CMP(Tungsten CMP)製程**，其中的差異性亦有所不同，所產生廢棄物也會有差異。**隨著多次研磨，研磨漿料與研磨粒子亦會淘汰成為廢棄物。**

Oxide CMP通常使用強鹼性的化學藥劑參雜大量的研磨粒子幫助增加機械力移除氧化矽層。因為單純以強鹼無法有效率的研磨氧化矽，故其參雜的研磨粒子比例遠高於Copper CMP 與 Tungsten CMP。Oxide slurry中常見到的研磨粒子有**二氧化矽**與**二氧化鈾**。

Tungsten CMP之研磨藥劑選擇以pH2-3為主，原因為鎢金屬在強酸環境下較容易氧化，而鎢氧化成氧化鎢後硬度變軟，便可藉由研磨粒子移除，若鎢金屬沒被順利氧化，則會導致研磨效率下降，故Tungsten CMP也被認為是以化學移除為主的製程。

Copper CMP由於銅金屬在任何pH值下皆容易游離成銅離子，容易導致CMP中銅被腐蝕過於嚴重，因此以化學藥劑有效控制銅的腐蝕作用極為重要，除了氧化劑外也會增加螯合劑與抗腐蝕有機劑。

CMP slurry 主要包含有30-500奈米的矽為研磨粉磨、pH緩衝劑(氫氧化鉀、氨水、硝酸或有機酸)、氧化劑(雙氧水、硝酸鐵、碘酸鉀)與介面活性劑。CMP是需要大量純水的製程，研磨粉末參雜添加劑與大量的純水將導致大量廢水與污泥產生，而根據統計，1組CMP製程機具每天約產生40立方公尺的廢水與污泥。

而台灣對於回用CMP廢水與研磨粉體廢棄物比例不高，且缺乏實驗與統計證實可回用至製程，回用技術投資短時間也無法有效獲利，投資效益較差。

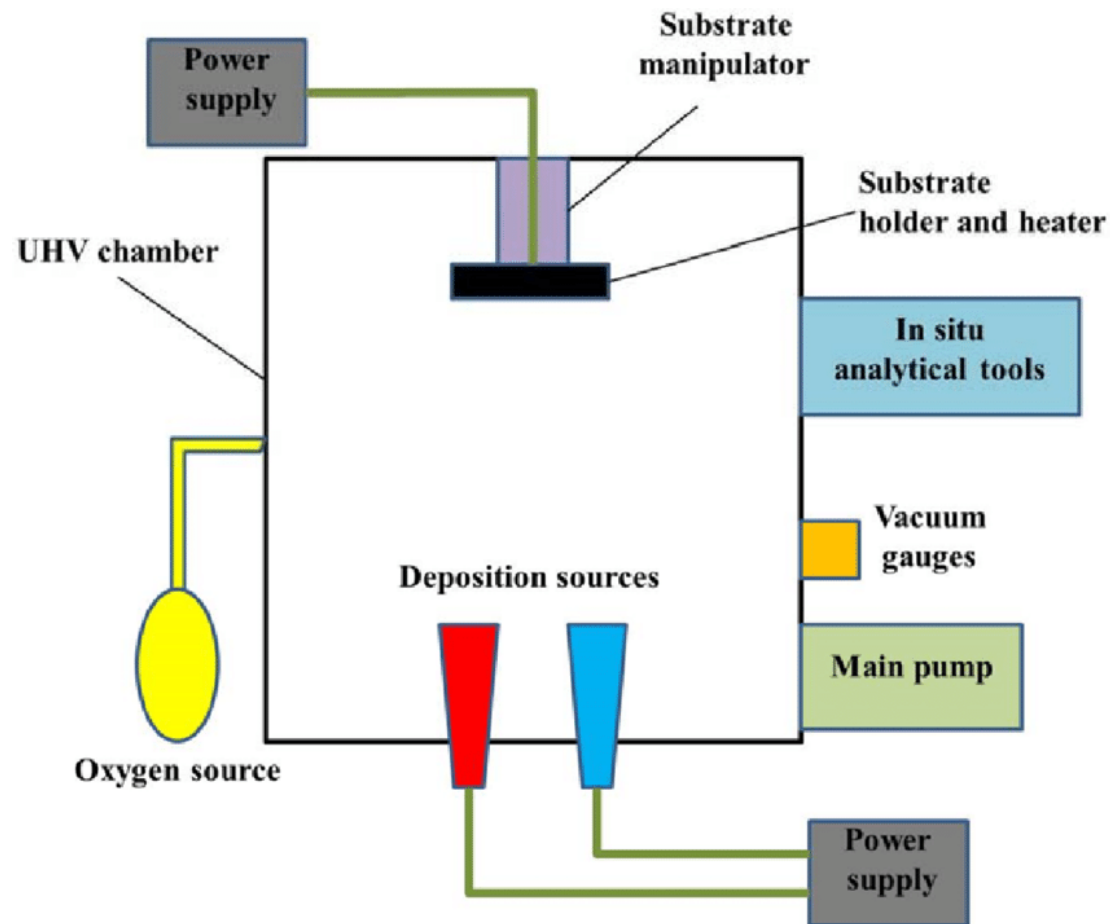
CMP的研磨對象		研磨液	
		研磨粉體	添加劑
SiO ₂ (層間絕緣膜, Inter Level Dielectric, ILD)		SiO ₂ CeO ₂ ZrO ₂ γ-Al ₂ O ₃ Mn ₂ O ₃	KOH、NH ₄ OH - - (有機分散劑)
Metal	W (plug)	Al ₂ O ₃ Mn ₂ O ₃ SiO ₂	H ₂ O ₂ 、Fe(NO ₃) ₃ 、KIO ₃ H ₂ O ₂
	Al (wire/plug)	SiO ₂	H ₂ O ₂ 、Fe(NO ₃) ₃ 、KIO ₃
	Cu (wire/plug)	Al ₂ O ₃	H ₂ O ₂ 、Fe(NO ₃) ₃ 、KIO ₃



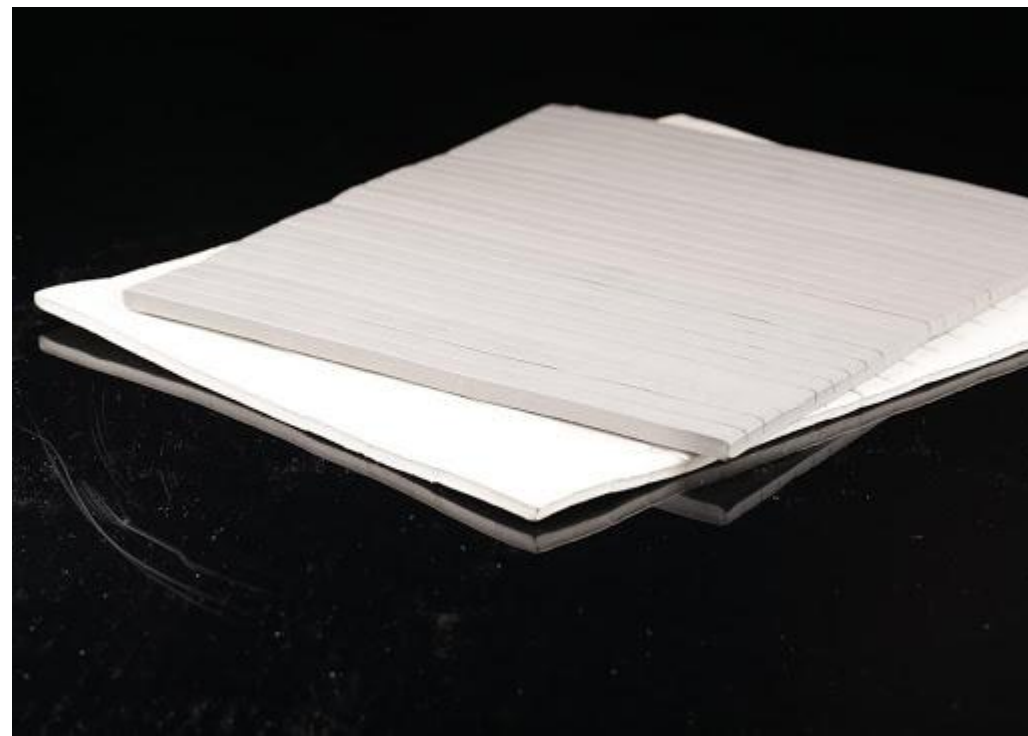
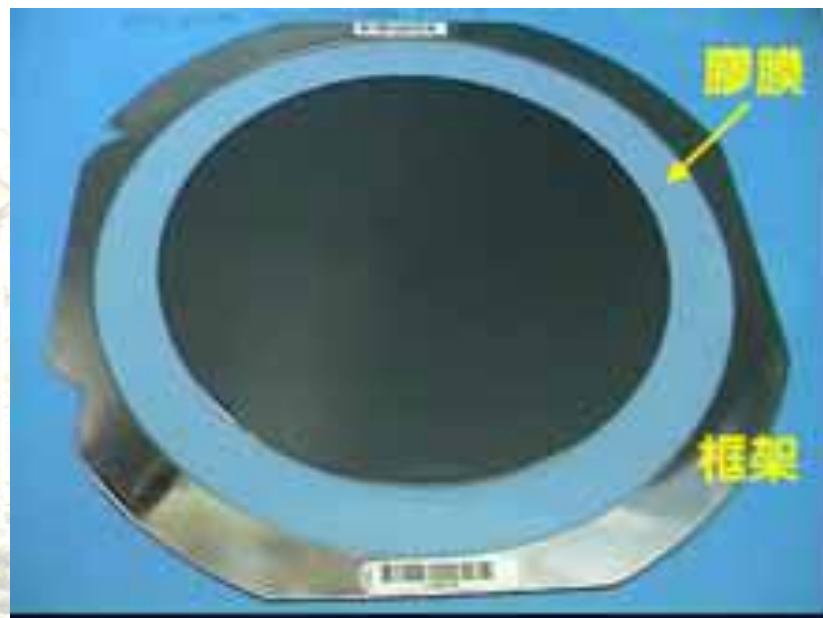
濕蝕刻為利用化學藥劑方式將載體表層物件去除，包含黃光製程後的光阻層去除與薄膜製程中符合IC設計圖樣挖深用途等，為能夠快速且精準挖深，需要依照各酸類對各材料的蝕刻速率來分配製程所需的蝕刻液，右表為金屬常見的蝕刻藥劑。

Metal	Etching Chemistries
Cu	H ₂ SO ₄ , H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂ , (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ (Ammonium persulfate), HCl, CuCl ₂ /HCl, FeCl ₃ .
Cr	HCl, HClO ₄ (Perchloric acid), H ₃ CeN ₈ O ₁₈ (Ceric ammonium nitride), H ₃ CeN ₂ /CH ₃ COOH(Acetic acid), HNO ₃ .
Au	KI, HCl/HNO ₃ (Aqua regia), KCN.
Ti	H ₂ O ₂ , NH ₄ OH/H ₂ O ₂ , HF, HF/H ₂ O ₂ , HF/HNO ₃ .
TiW	H ₂ O ₂ , NH ₄ OH/H ₂ O ₂ , HF, HF/H ₂ O ₂ , HF/HNO ₃ .
Ni	H ₂ SO ₄ , H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂ , HNO ₃ /H ₂ SO ₄ /CH ₃ COOH
NiV	H ₂ SO ₄ , H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂ , HNO ₃ , HCl.
Al	H ₃ PO ₄ /CH ₃ COOH/HNO ₃ , HCl, H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂ .
PbSn	CH ₃ COOH/H ₂ O ₂ .

靶材主要應用於物理與化學氣相沉積 (PVD,CVD)做為提供面板與半導體表層薄膜原料使用，氣相沉積是利用plasma產生離子撞擊靶材，將靶材金屬離子化後沉積在目標物上的製程，為了能夠較好控制沉積速度與效率，靶材在使用到一階段即會更換，導致稀貴金屬浪費，而常見的靶材有IGZO(銦鎵鋅靶材)與GZO(鎵鋅靶材)，在製程過程中亦會有**集塵灰**產生，故也需要進行資源化處理，回收貴重金屬。

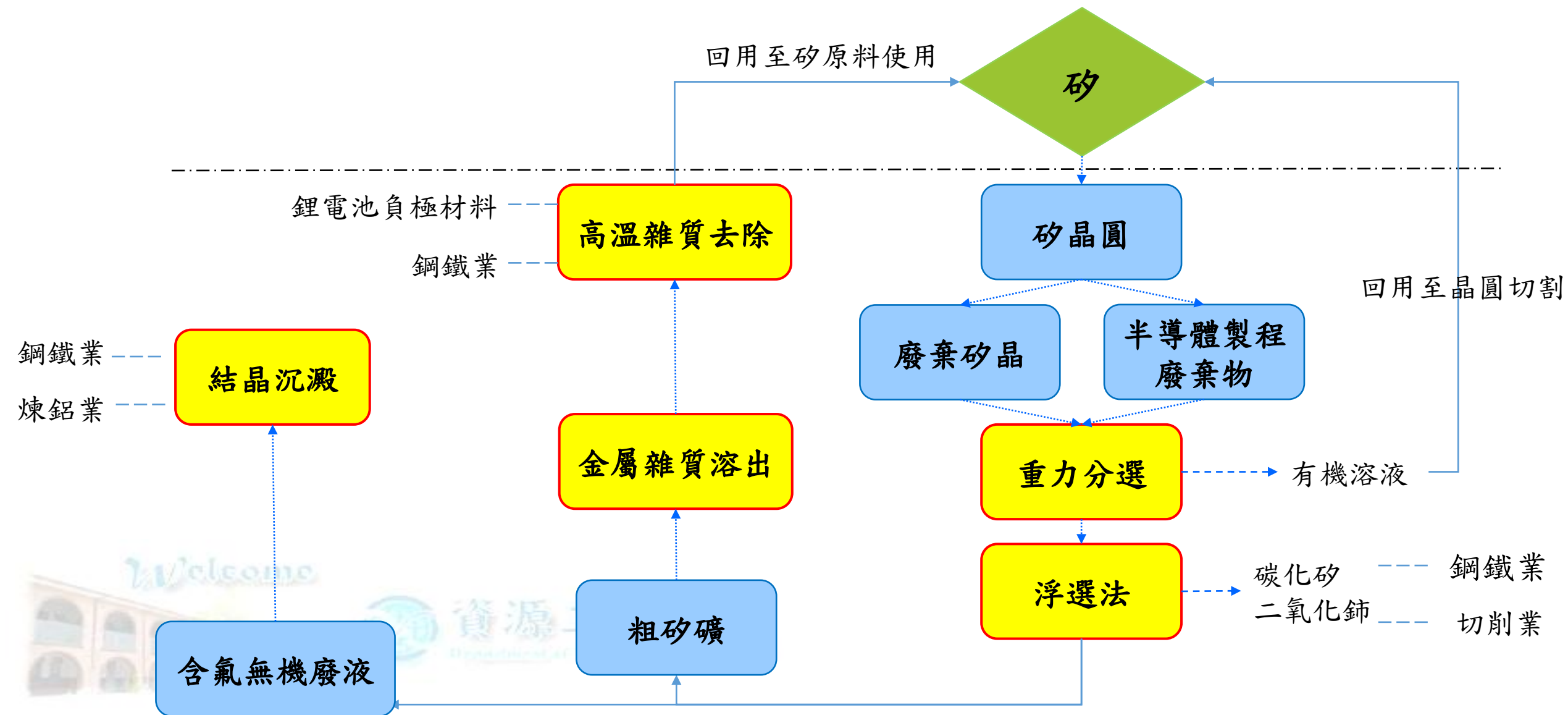


壓模膠條由於其出色的清潔功能、對模具無腐蝕性、使用壽命常、具有防爆功能而被廣泛用於半導體產業模組封裝與清除封裝過後殘存廢屑。廢壓模膠主要產生來源為在生產電晶體、積體電路等設施時，工廠在晶片切割、封裝、支架接線等處理過程中因切割所產生的廢氣封裝膠。而廢壓模膠主要成分為**二氧化矽**與**不可逆反應之熱固性樹脂**等物質，相較其餘半導體廢棄矽資源而言，較不易回收其中二氧化矽。





台灣半導體矽資源循環技術



1. 以浮選法分離矽與碳化矽

利用**界面調整劑**、**捕集劑**及**起泡劑**，先改變礦物表面的特性，使欲分選的礦物可以成為疏水性，氣泡將礦漿中的疏水性礦粒附著於泡沫層並濃集成為**浮礦(矽)**，而親水性的礦粒則存在於礦漿中成為**沉礦(碳化矽)**，因此可以對具有不同疏水程度的微細礦粒進行有效分選。

2. 以化學浸出法與焙燒純化矽

利用化學浸出法將金屬雜質溶出並純化矽，再以高溫將細微的雜質去除。

3. 結晶氟化物

利用化學特性將無機汙泥內的氟化物結晶成礦物並循環至煉鋼煉鋁廠。

4. 重力分選

利用有機物與塑料密度較小於矽晶與金屬方式，將有機物與塑料分離。

5. 資源化後產品測試

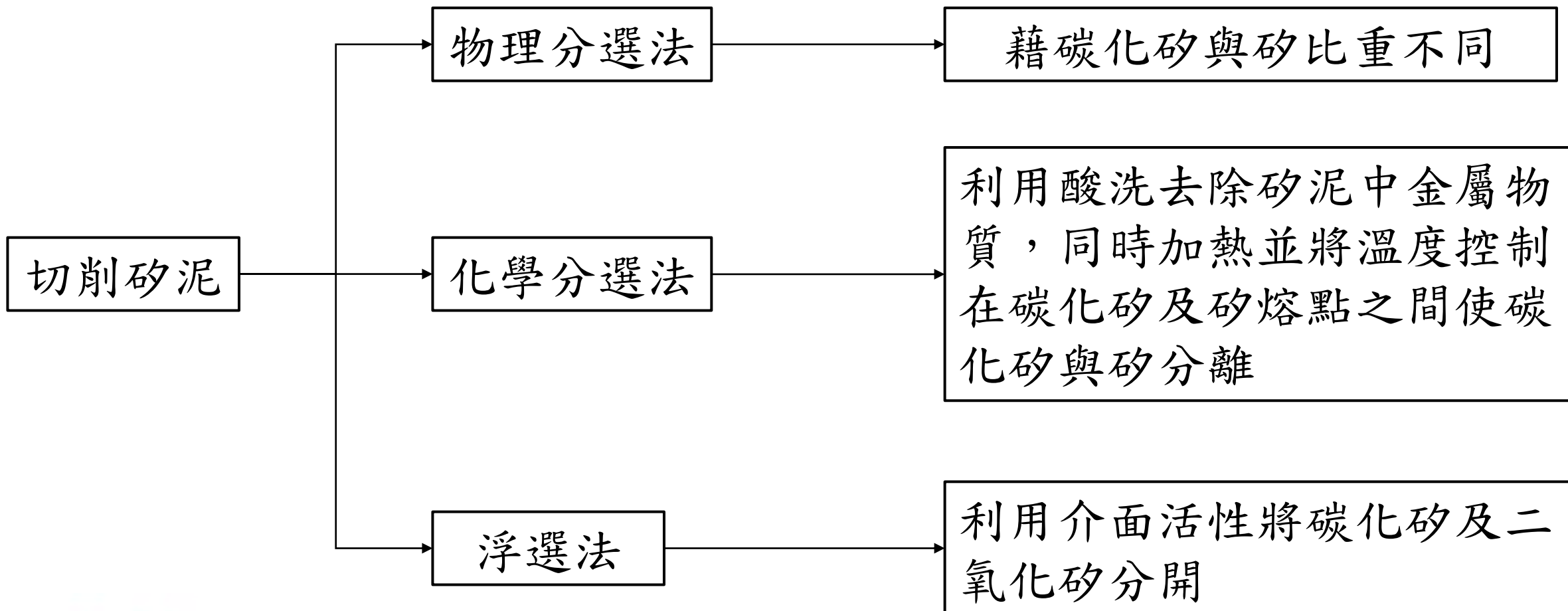
測試資源化後的產品與原產品效能差異與回用可能性，並增加二次資源循環再利用的配比，以最高替代率為目標努力，降低天然資源開採與使用。

矽泥資源循環技術

-切削矽泥成分分析



樣品成分	種類	含量wt%
液體成分 30.76%	含水量	30.04
	含油量	0.72
固體成分	碳化矽	51.2
	矽	45.6
	鐵	3.2



物理分選法

優：快速且低成本將碳化矽及矽分選

缺：碳化矽品位低

化學分選法

優：可獲得高純度的碳化矽

缺：無法回收矽將被耗損

浮選法

優：快速將碳化矽及矽分選且碳化矽品位高

缺：粒徑低於38um以下回收率差

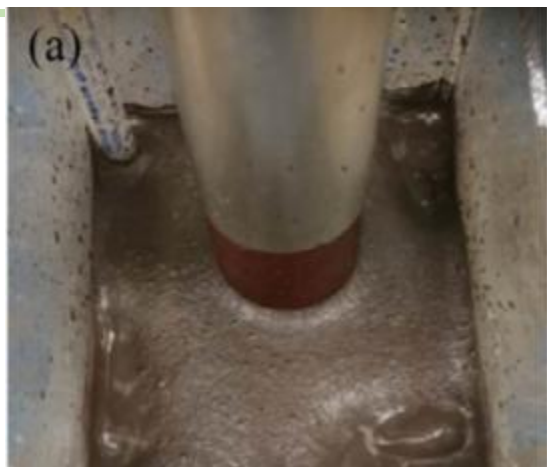
浮選法是利用**界面調整劑**、**捕集劑**及**起泡劑**，先改變礦物表面的特性，使欲分選的礦物可以成為疏水性，氣泡將礦漿中的疏水性礦粒附著於泡沫層並濃集成為**浮礦**，而親水性的礦粒則存在於礦漿中成為**沉礦**，因此可以對具有不同疏水程度的微細礦粒進行有效分選。

Welcome



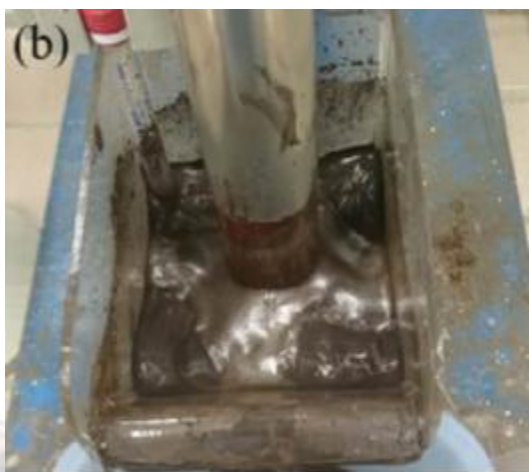
矽泥資源循環技術

-回收浮選條件與流程



礦漿混和：

將切削矽泥與去離子水充分混合均勻，以利後續調整劑加入反應固液比為1：4。

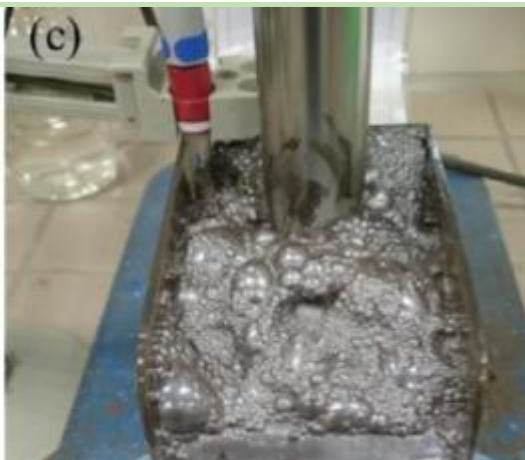


加入調整劑：

加入氫氟酸做為介面調整劑，使切削矽泥中的碳化矽變成親水性，矽則變成疏水性，並溶解顆粒表面的二氧化矽。

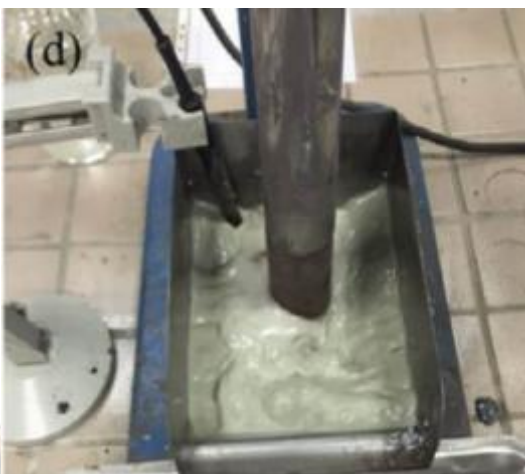
矽泥資源循環技術

-回收浮選條件與流程



起泡刮除：

打開起泡機通入氮氣與氧氣讓疏水礦(矽顆粒)附著於氣泡中，再以浮選機刮板刮除成為浮礦，並烘乾以利後續處理。



沉礦回收：

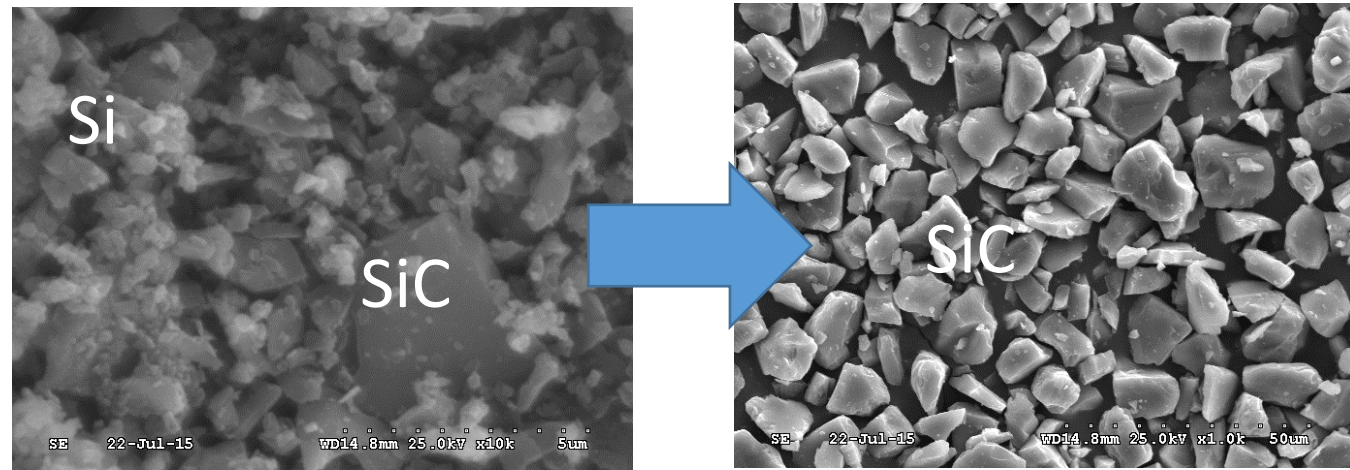
刮除浮礦後碳化矽沉入礦漿中形成沉礦，倒出後烘乾以利後續處理

矽泥資源循環技術 -回收碳化矽



1. 浮選前平均粒徑大小與中位平均粒徑大小分別為 $3.976 \mu\text{m}$ 與 $1.708 \mu\text{m}$ 而浮選後則分別為 $9.294 \mu\text{m}$ 與 9.695 。由此可知浮選法能有效分離出碳化矽顆粒。
2. 本流程回收碳化矽能有效回收52.8%碳化矽且具有98.1%；浮礦矽則較低品味25%，回收率為37%。

(μm)	平均粒徑	中位粒徑
矽泥	3.967	1.708
碳化矽	9.294	9.695



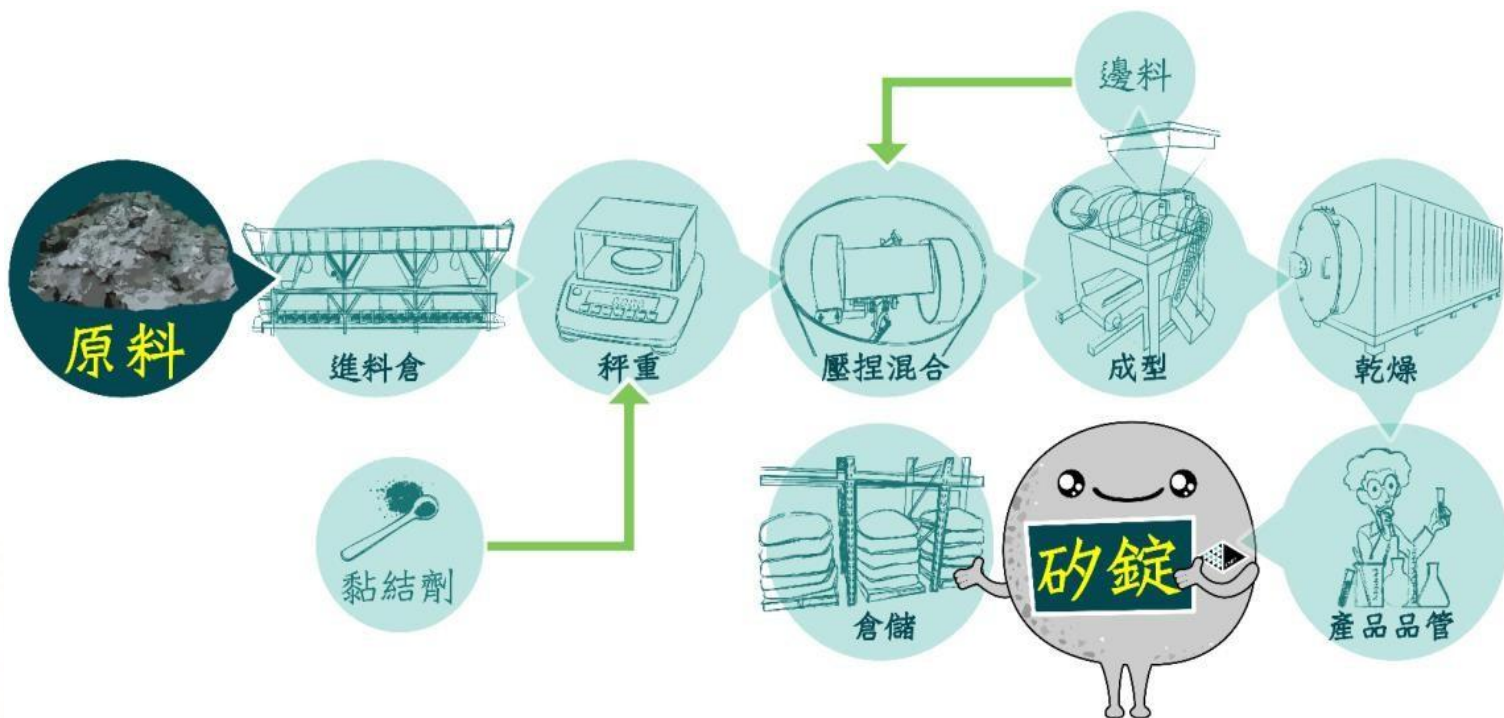
Welcome

矽泥資源循環技術

-資源循環流程



矽泥分選後的矽與碳化矽經過純化後會進入壓釘成型的流程，成為市面上用以高爐燃燒輔料與切削材料等產品。



- **鋰電池負極材料：**

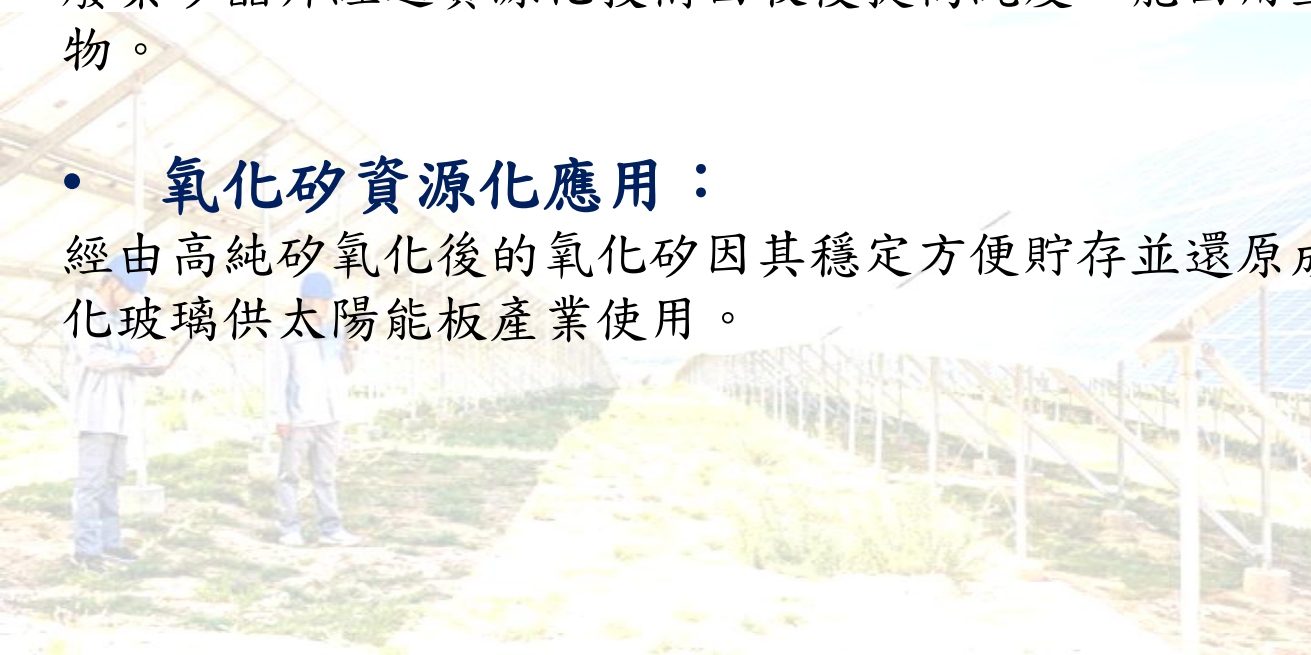
矽是能夠大幅度提高鋰離子電池表現能力的負極材料，相較於傳統的石墨，**矽能夠提高約10倍的電容量表現**，但隨著電池充電，矽顆粒體積將膨脹4倍，雖放電後恢復正常，但通常充一次電就會導致矽破裂成粉末。現今僅以10%矽取代石墨，可高電容量表現仍具有未來發展潛力。

- **矽晶圓回收至高科技產業：**

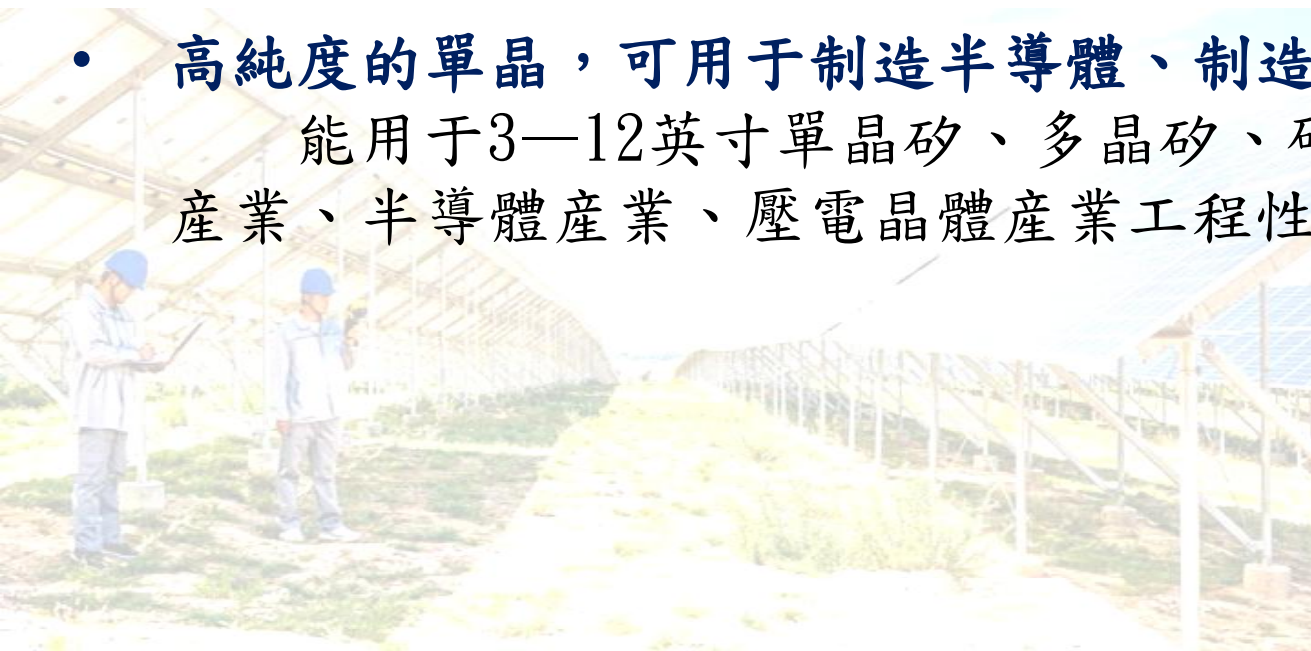
廢棄矽晶片經過資源化技術回收後提高純度，能回用至高科技產業，達到資源循環目標並減少廢棄物。

- **氧化矽資源化應用：**

經由高純矽氧化後的氧化矽因其穩定方便貯存並還原成矽工高科技產業使用，亦能夠熔融塑型成鋼化玻璃供太陽能板產業使用。



- 作為磨料：可用來做磨具，如砂輪、油石、磨頭、砂瓦類等。
- 作為冶金脫氧劑和耐高溫材料：
主要有四大應用領域：**功能陶瓷**、**高級耐火材料**、**磨料及冶金原料**。
- 高純度的單晶，可用于制造半導體、制造碳化矽纖維：
能用于3—12英寸單晶矽、多晶矽、砷化鉀、石英晶體等線切割。太陽能光伏產業、半導體產業、壓電晶體產業工程性加工材料。



- 氟化物經過結晶乾燥後經過再製可生成：

螢石：

作為煉鋼助溶劑使用，用以增加流動性，利於排渣，能回用至鋼鐵產業使用。

冰晶石：

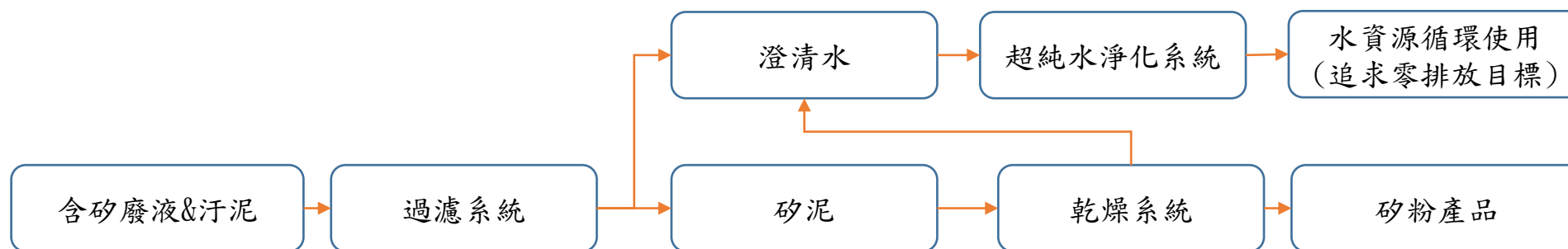
作為氧化鋁電解分離的助溶劑，將高純度的氧化鋁加入熔融態的冰晶石內並以電解法將氧與鋁分離，能回到煉鋁產業使用。

氟化氫：

因對玻璃具有腐蝕性，用於矽晶圓表面處理的藥劑，可回用至高科技產業使用。



含砂廢液&汙泥回收製程技術

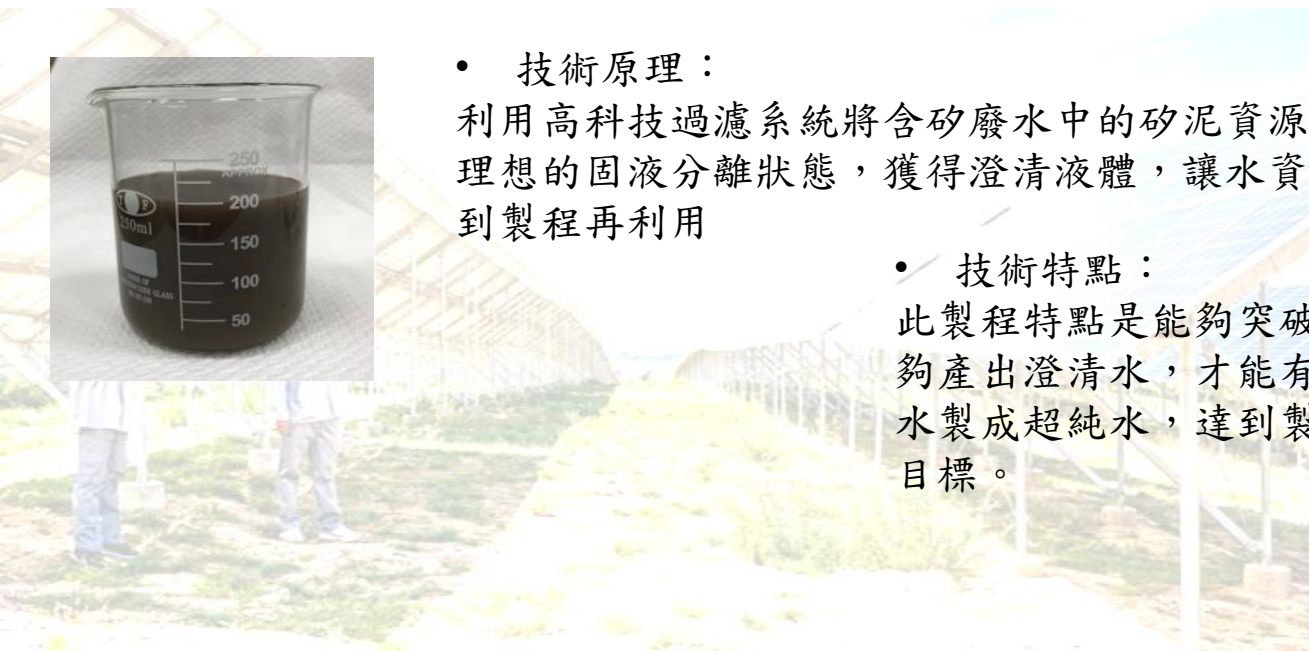


- 技術原理：

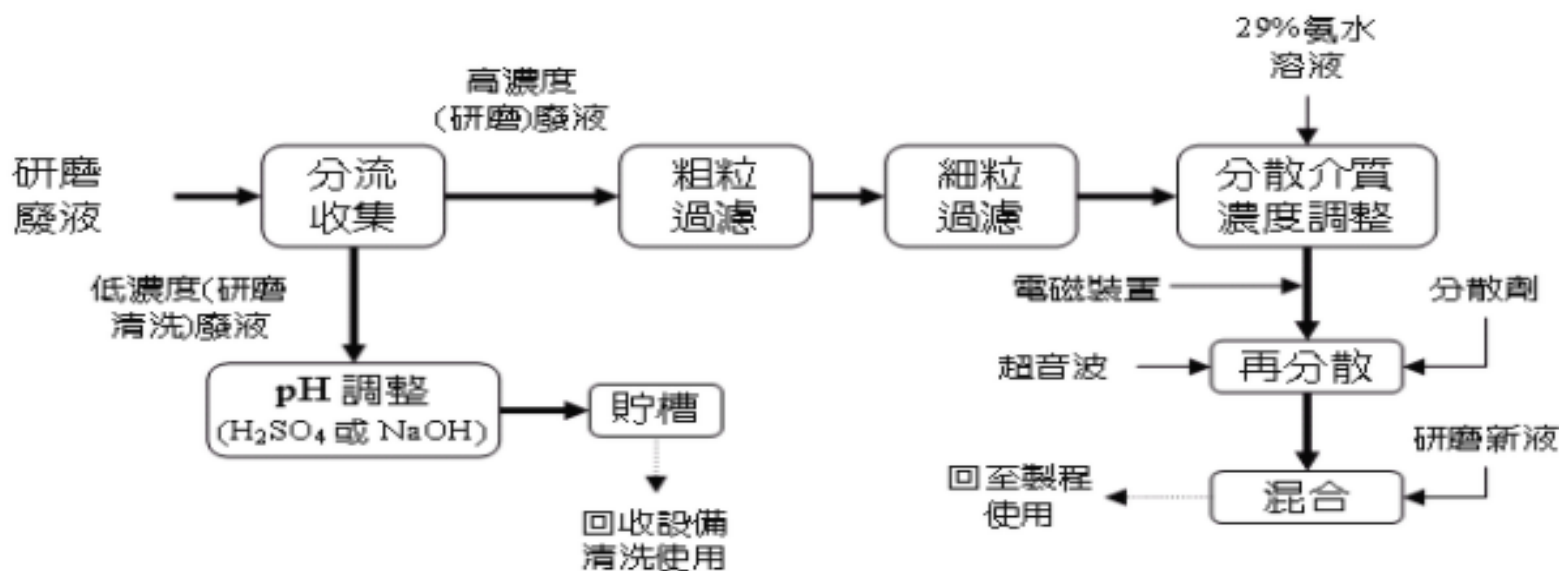
利用高科技過濾系統將含砂廢水中的矽泥資源取出，達到理想的固液分離狀態，獲得澄清液體，讓水資源有機會回到製程再利用

- 技術特點：

此製程特點是能夠突破以往矽泥過濾的拖泥帶水瓶頸，能夠產出澄清水，才能有機會向上發展更高級技術，將澄清水製成超純水，達到製程回用，達成水循環零排放的最終目標。

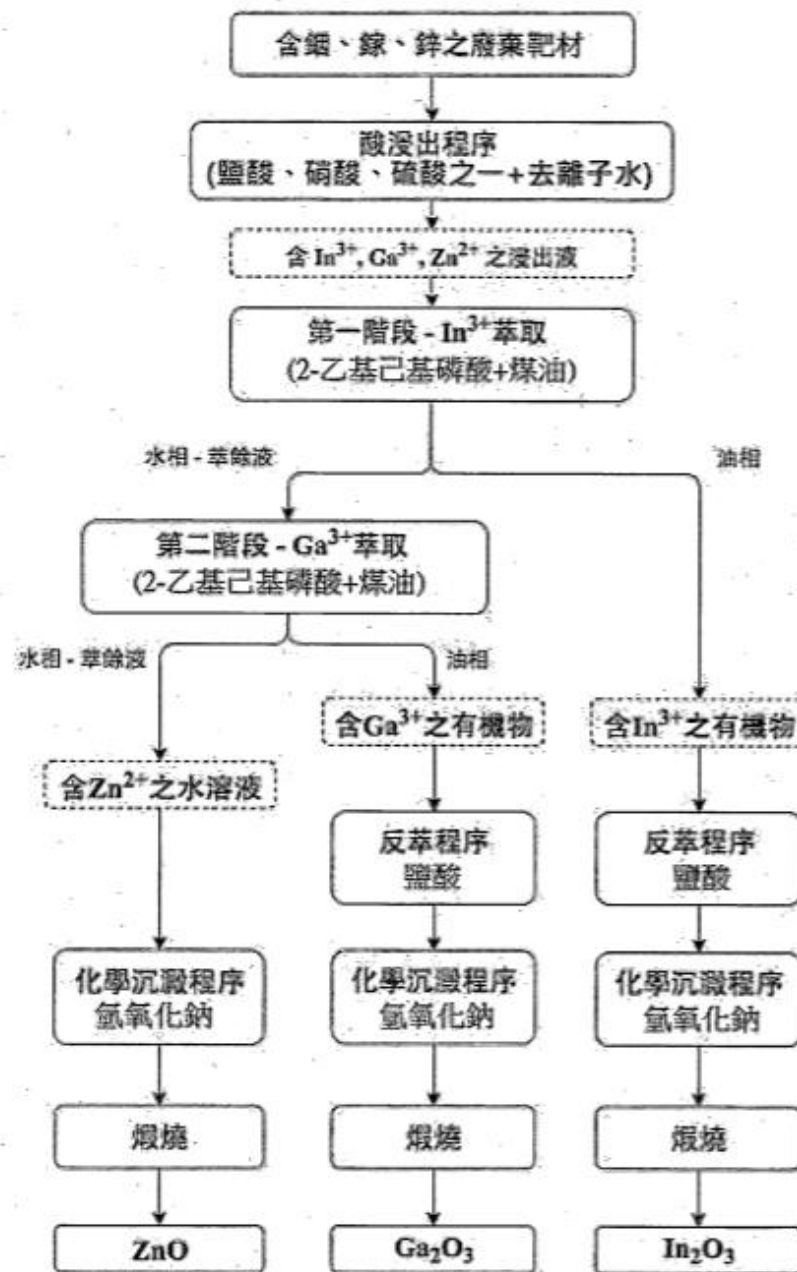


半導體晶圓加工製成中的CMP原料由於粒子凝聚特性關係，含氧化矽膠體顆粒將從20-30nm累積至約200nm左右，未處理將持續增大至超過1500nm，此技術利用過濾與分散方式將CMP廢液資源化處理。首先將高低濃度的CMP廢液分流處理，低濃度的廢液經由pH調整後貯存作為回收設備的清洗水，而高濃度的廢液則會經過兩階段過濾，去除過大顆粒與雜質後經由分散劑將CMP顆粒初步分散，在利用超音波與電磁裝置再分散，以確保研磨粒子分散情況。處理後的回收研磨液可再與新液混和，重新回到產業端使用。



技術特點與原理：

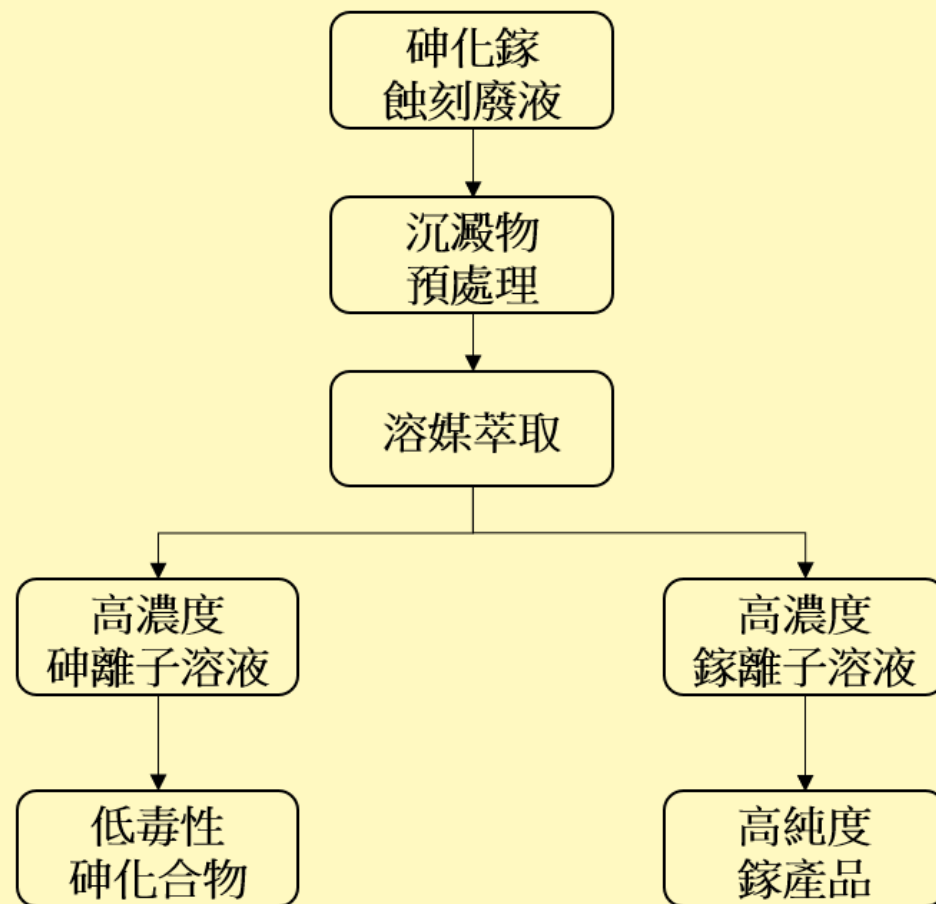
利用酸浸漬程序將銦、鎵、鋅離子化，以D2EHPA做為萃取劑將銦離子與鎵離子分別分離沉澱後煅燒即可得到含鎵與銦化合物。



技術特點與原理：

利用氫氧化鈉及過氧化氫進行浸漬，可以將砷及鎵都溶進液體中，調整pH值後，再利用溶媒萃取法進行萃取，萃取過後以硫酸進行反萃取，即可以得到富含鎵的溶液。

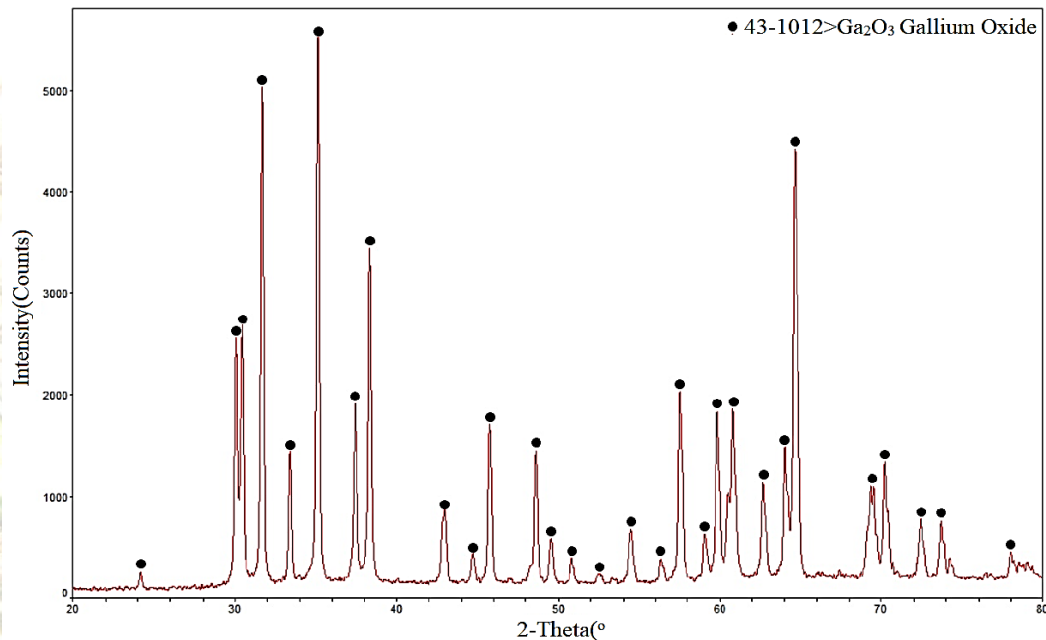
最後透過鍛燒即可得到含鎵化合物。



利用酸劑將氮化鎵粉末氧化成離子態後以離子交換樹脂在鹼性的環境下可以有效分離鎵，對鎵吸附率達到98%。

脫附方面，利用鹽酸加入少許脫附劑，可以將鎵從樹脂上脫附出來，當鹽酸濃度>9%時，至少有80%以上的脫附率。

脫附下來的含鎵溶液，調整其pH值即可使鎵沉澱出來，當pH在4左右時，鎵接近完全沉澱，將沉澱下來的鎵於900°C進行煅燒四小時，即可以獲得氧化鎵。

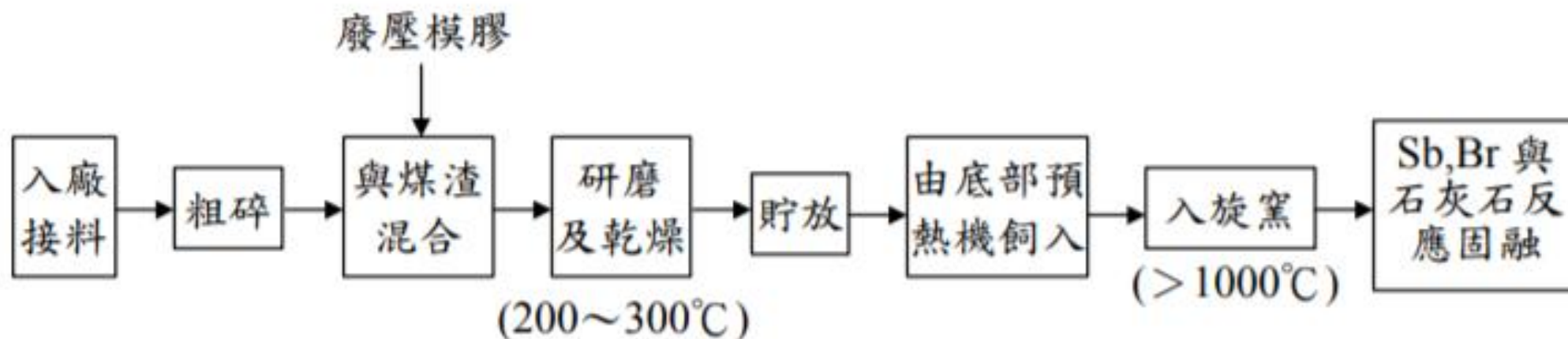


氧化鎵組成分析

Compound	Ga ₂ O ₃	In ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O
wt (%)	99.46%	N.D.	N.D.	N.D.	0.53%

由於廢壓模膠內具有熱固性樹脂，因此做為再利用途徑有限，但其中含有的二氧化矽可作為水泥原料與水泥製程中的燃燒熱能，因此可將廢壓模膠以適當處理後便可搭配水泥原料進入水泥產業使用。首先以 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 乾燥後研磨，並過篩將大小控制再 $88\mu\text{m}$ 且篩餘15%後即可放入水泥產業當作填料。

亦可先以高溫熱處理後利用除碳劑將熱固性樹脂殘餘碳粒去除，回收二氧化矽粉末作為材料使用。



1. 提供科技產業中矽與氟化物有效的資源循環技術並降低廢棄物產生量。
2. 加深台灣科技產業對資源永續與循環經濟的重視與推動台灣高科技產業能源轉型
3. 建構完整的高科技矽資源廢棄物資源化流程系統
4. 培養資源循環關鍵技術的人才
5. 提高國內二次矽資源使用比例並減少天然資源開採與使用
6. 增進台灣資源循環社會發展



1. 相較於線性經濟下，產品的資源價值逐漸被降低，最終只能被丟棄或焚化的概念；循環經濟使用再生能源、拒絕使用無法再利用的有毒化學物質，藉由重新數計材料、產品、製程及商業模式，避免廢棄物的產生，確保資源的價值在任何時刻皆能最大化，因此資源能夠循環再生、不斷被運用。
2. 半導體業不僅僅只與半導體業有關，除了內部可以達成良好的循環經濟外，也可以藉由彙整其他產業的力量，達到重新利用、降階使用、回收還原等目標。未來半導體業的廢棄物生產所代表的不再是汙染、難以處理的標籤，而是代表將進入下個循環，並被完美的重新利用，達到工業上的生生不息。

—

感謝聆聽