



電子材料

Electronic Materials

半導體材料

~ 積體電路



積體電路

現今最廣泛使用的積體電路為以矽單晶作基板材料的單石(monolithic)半導體積體電路。其他基板材料有絕緣物基板，以薄膜或厚膜技術完成電路的薄膜積體電路(film IC)及兩種技術合用的混成(hybrid)積體電路。再以更廣泛的意義而言，將超小型電子元件以高密度組合成之高密度包裝電路(high density assembly)或陶瓷諧振元件、SAW(surface acoustic wave)元件等單獨就可以具備電子電路一樣的动作功能的稱為功能元件(functional device)。這些統稱為積體電路。

如上所述分類之外，也有以構成電路元件之 bipolar 電晶體，MOS 電晶體而稱為 bipolar IC 或 MOS IC，也可由動作特性如數位電路或類比電路之功能而稱為數位積體電路或類比積體電路。一般類比積體電路以線性電路為主故也可稱為線性積體電路。

表 8-1 積體電路之種類

- A. 廣義積體電路之分類
- (1) 高密度包裝電路...micromodule cordwood
 - (2) 積體電路
 - ① 膜積體電路——薄膜電路(thin film circuit)
厚膜電路(thick film circuit)
...R, L, C 被動元件為主
 - ② 混成積體電路.....如 IBM 之 SLT 等
 - ③ 半導體積體電路...multi-chip IC
monolithic IC
 - (3) 功能元件(functional device)...陶瓷諧振子
- B. 由電晶體構造而分類
- (1) Bipolar IC
 - (2) MOS IC
- C. 由動作特性之分類
- (1) 數位積體電路(digital IC)
 - (2) 類比積體電路(analog IC)

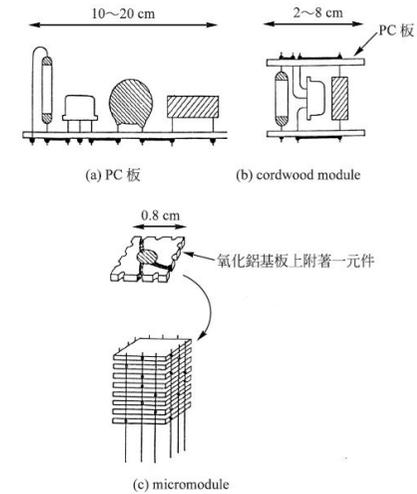
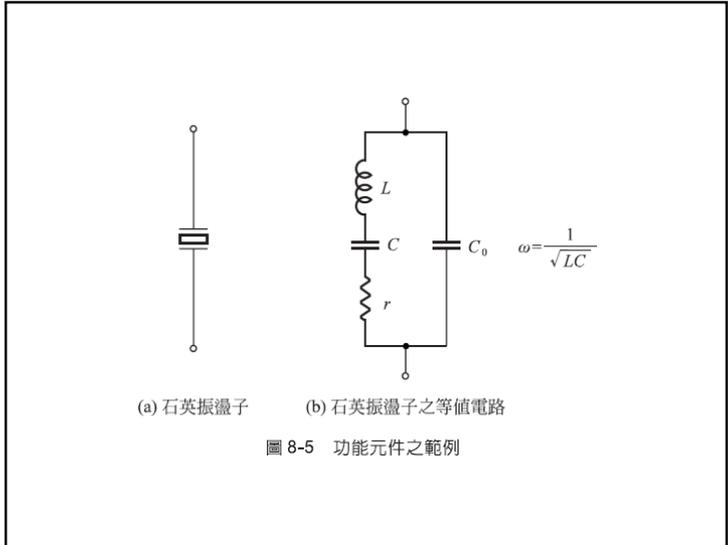
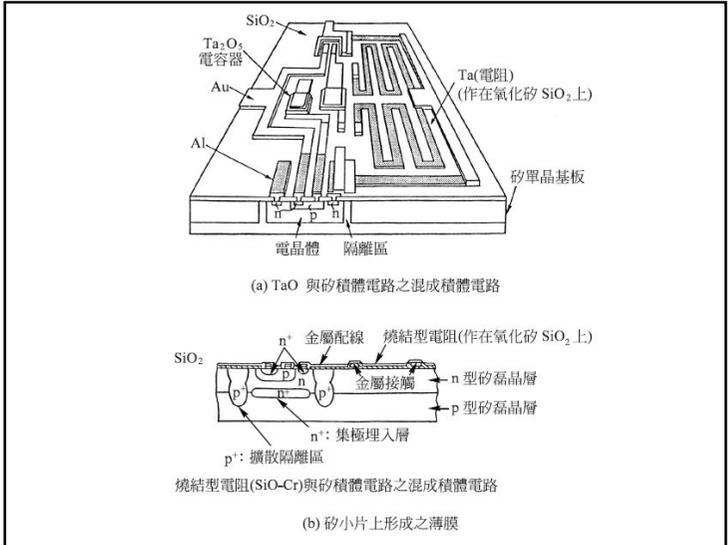
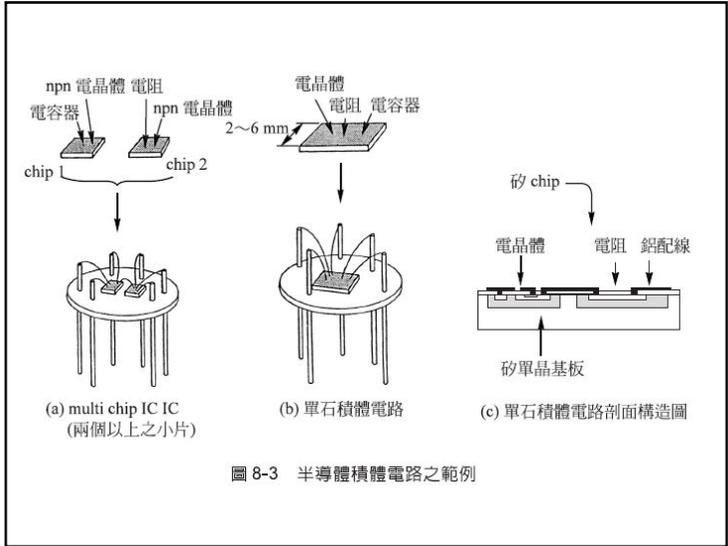
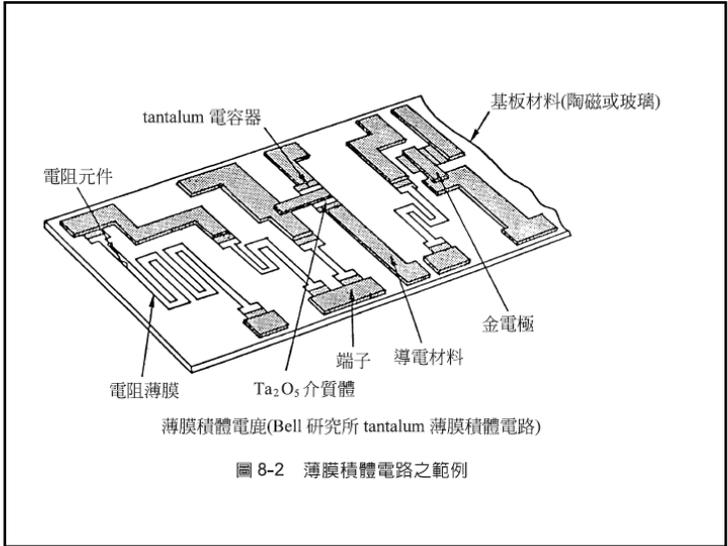


圖 8-1 高包裝密度電路之範例





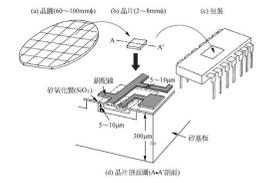
電子材料

Electronic Materials

半導體材料

~ 晶圓 / 晶片 / 元件

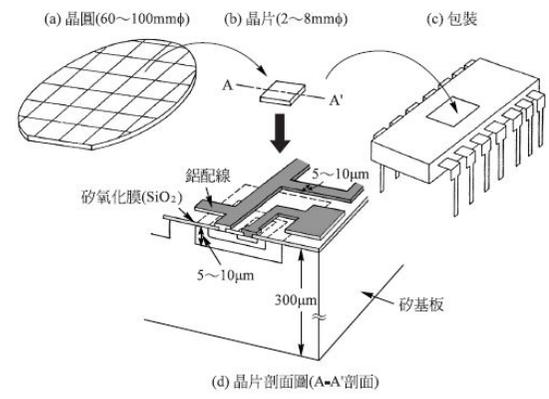
- (1) 晶圓 直徑 60~100mm ϕ ，厚度 0.2~0.4mm
- (2) 晶片(chip) 每邊長為 2~8mm，厚度 0.2~0.4mm
- (3) 晶片上構成的電路構造尺寸：
 絕緣層或導體層之膜厚 0.1~3 μ m
 配線層寬 3~50 μ m
 IC 元件之尺寸
 標準電晶體 40 μ m \times 60 μ m \times 10 μ m



晶圓 / 晶片 / 元件

積體電路技術涵蓋了材料技術、程序工程技術、元件技術、電路技術及系統技術等廣範圍的技術層次。各技術層次容後討論外，為瞭解全面技術，擬就積體電路技術之輪廓作介紹，並針對積體電路中應用最多的單石積體電路(monolithic IC)之構造及製造方法加以說明，以幫助理解。

單石積體電路(monolithic IC)之語源為，mono = 單一的，litho = 石，就是在一個石頭上作成積體電路之含義。所以在一個矽單晶片之主面上，以面板技術(planar technology)一次處理(batch process)方法製造電路，此乃積體電路之一大特色。



MOS IC

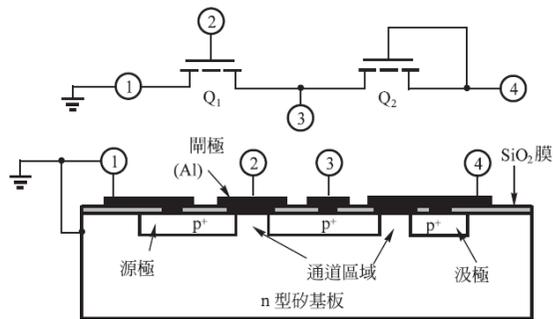


圖 9-4 MOS 單石積體電路剖面構造(p 通道, Al 閘極型)

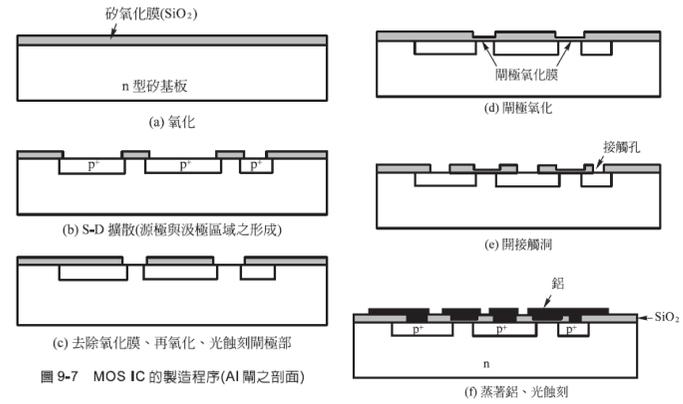
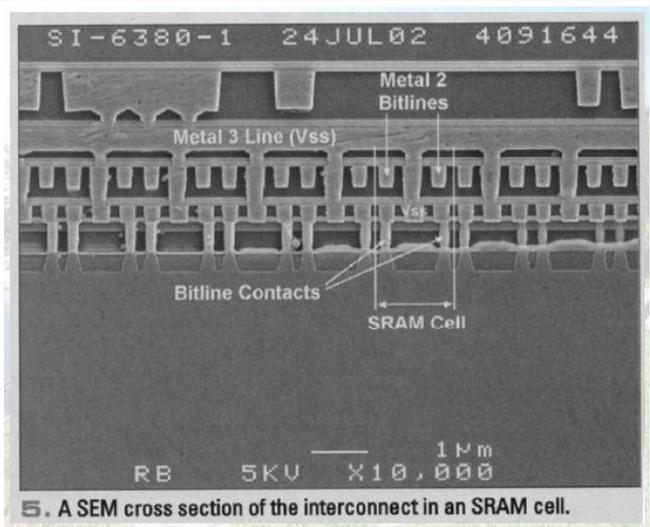


圖 9-7 MOS IC 的製造程序(Al 閘之剖面)

圖 9-7 MOS IC 的製造程序(Al 閘之剖面) (續)



5. A SEM cross section of the interconnect in an SRAM cell.

VIDEO check

電子材料

Electronic Materials

半導體材料

~ 材料/特性/製程

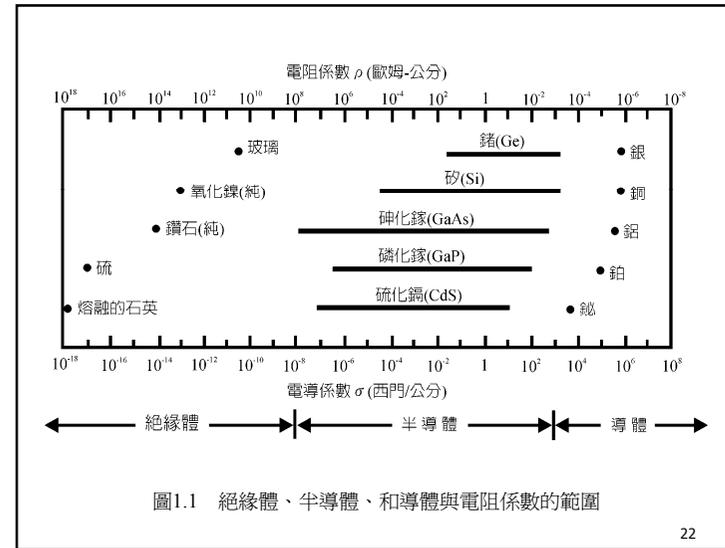
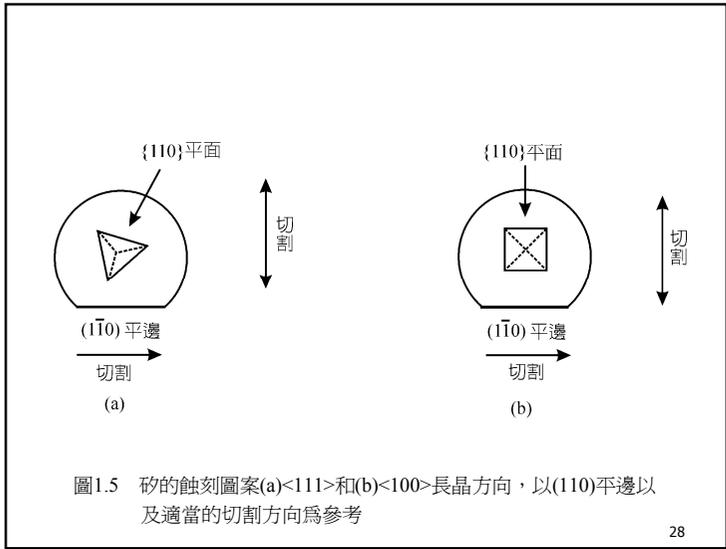
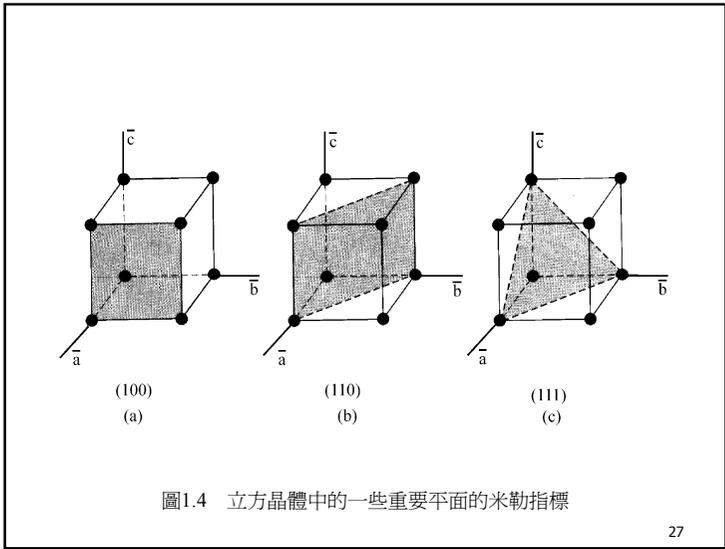
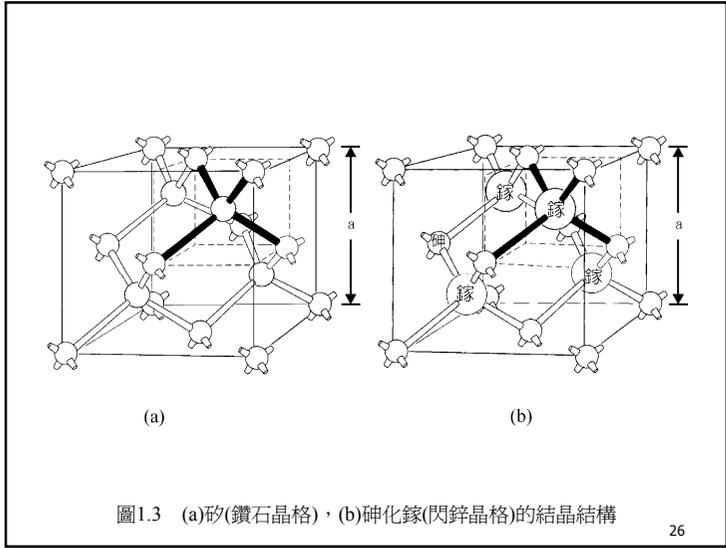
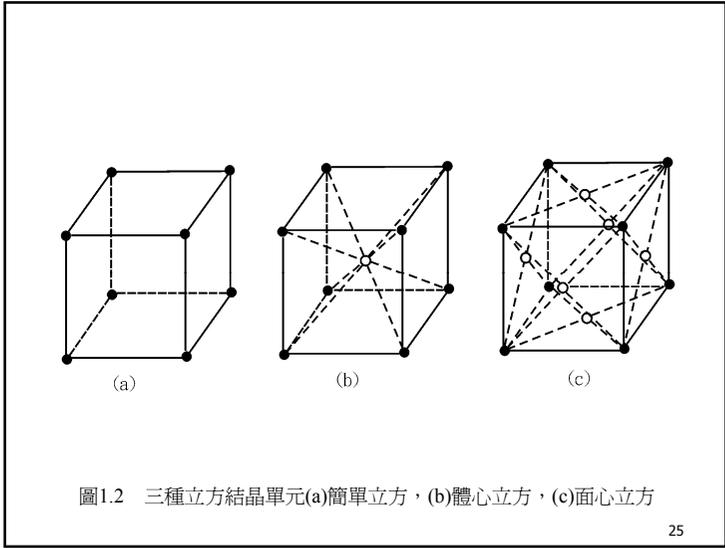


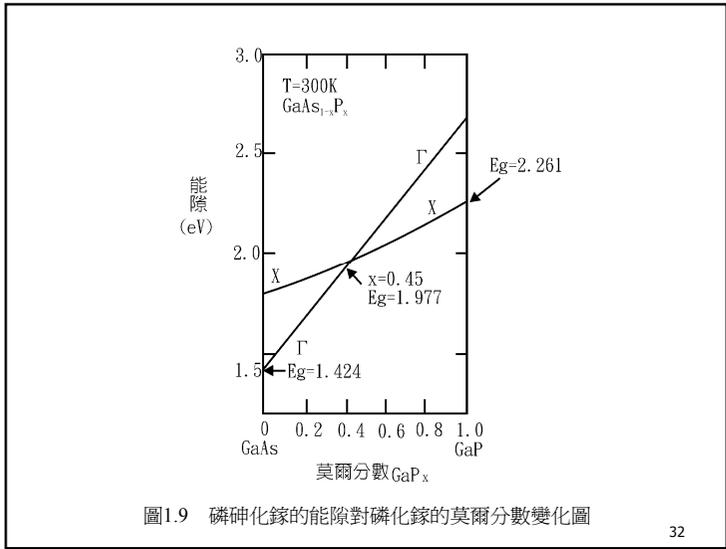
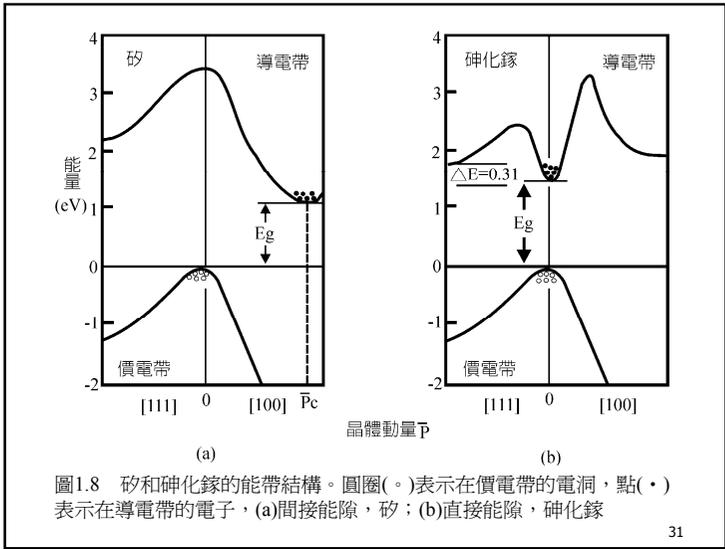
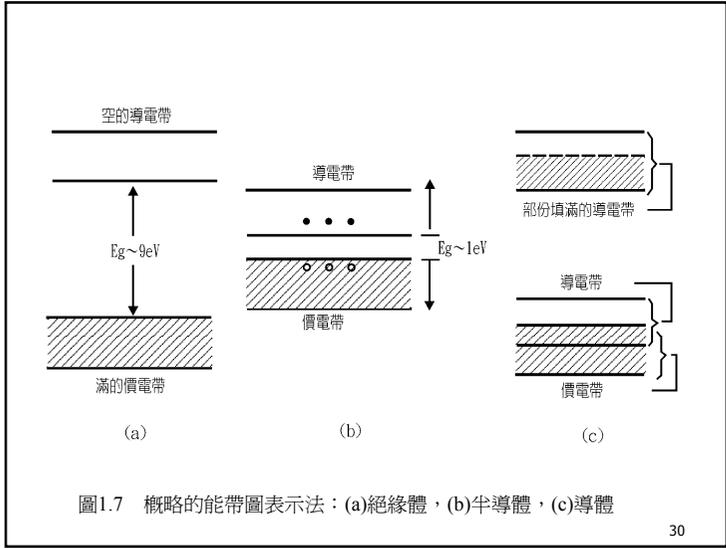
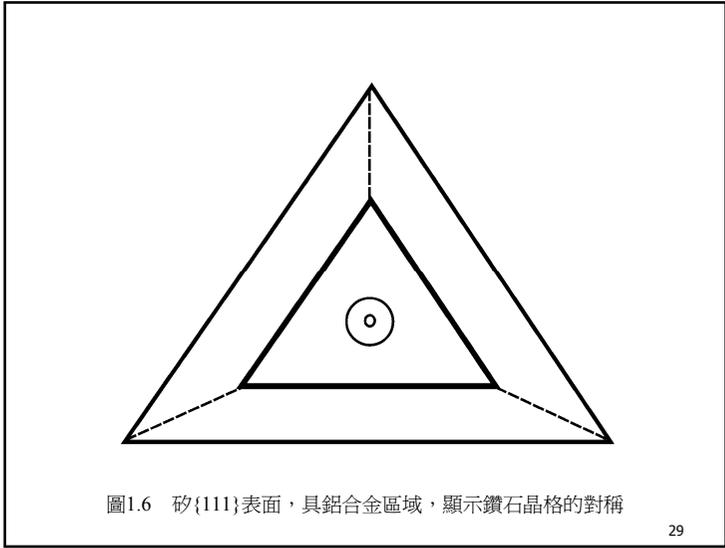
表 1.1 周期表中中和半導體相關的元素

周 期	II	III	IV	V	VI
2		硼 (B)	碳 (C)	氮 (N)	
3	鎂 (Mg)	鋁 (Al)	矽 (Si)	磷 (P)	硫 (S)
4	鋅 (Zn)	鎵 (Ga)	鍺 (Ge)	砷 (As)	硒 (Se)
5	鎘 (Cd)	銦 (In)	錫 (Sn)	銻 (Sb)	碲 (Te)
6	汞 (Hg)		鉛 (Pb)		

表 1.2 元素和化合物的半導體

元 素	IV – IV 化合物	III – V 化合物	II – VI 化合物	VI – IV 化合物
矽 (Si)	碳化矽(SiC)	砷化鋁(AlAs)	硫化鎘(CdS)	硫化鉛(PbS)
鍺 (Ge)	鎘化矽(SiGe)	氮化硼(BN)	碲化鎘(CdTe)	碲化鉛(PbTe)
		砷化鎵(GaAs)	銻化鎘(CdTe)	
		磷化鎵(GaP)	硫化鋅(ZnS)	
		砷化銦(InAs)	碲化鋅(ZnSe)	
		磷化銦(InP)	碲化鋅(ZnTe)	
		磷化鋁(AlP)		
		氮化鎵(GaN)		
		銻化鋁(AlSb)		
		銻化鎵(GaSb)		





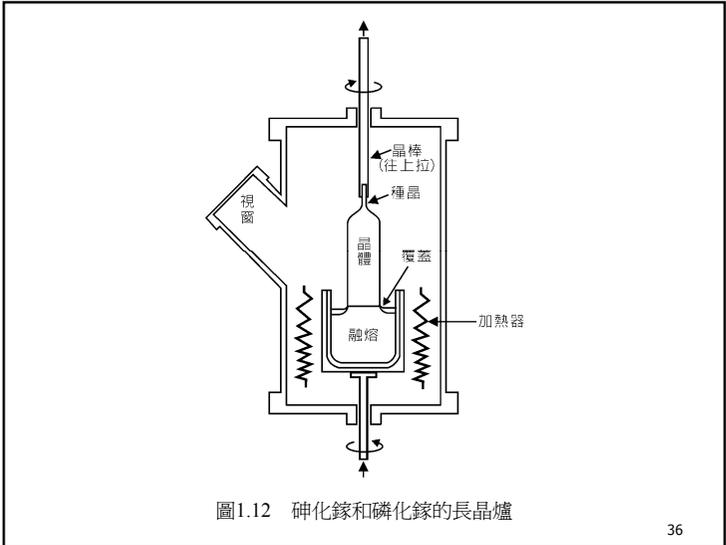
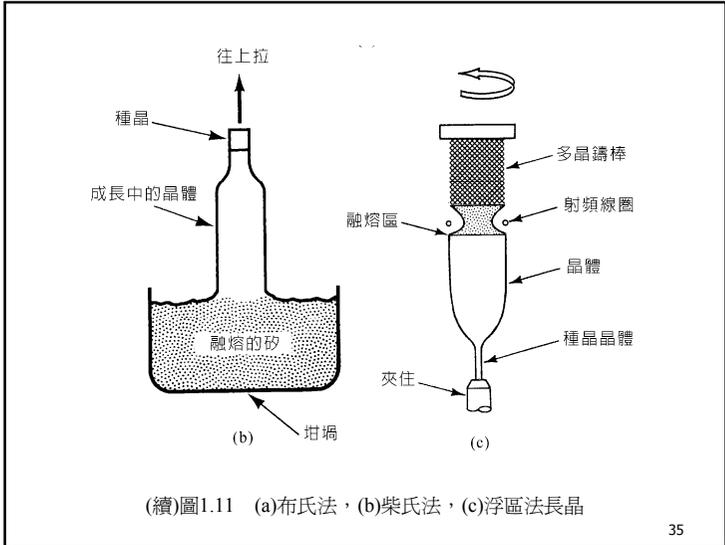
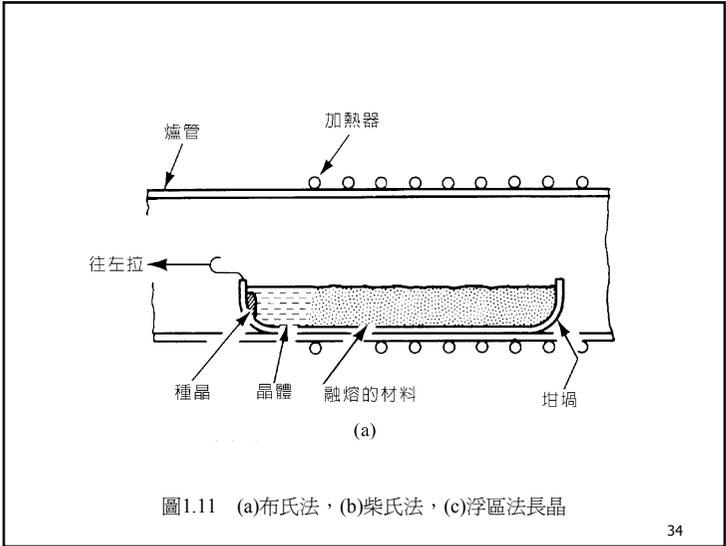
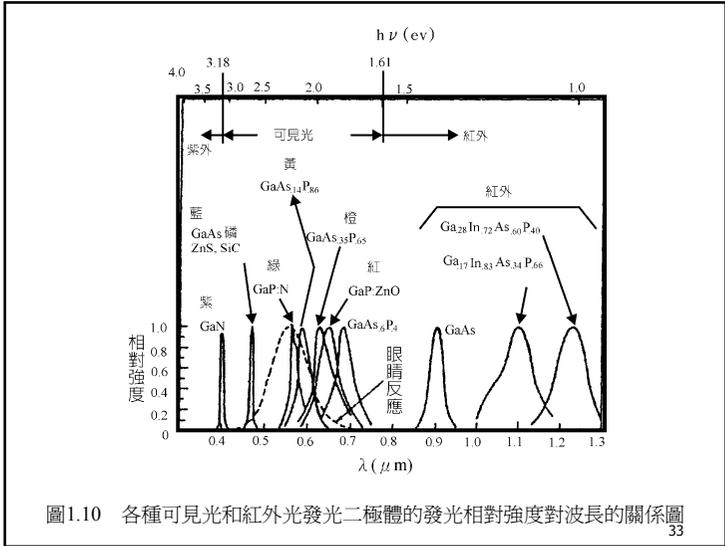


表 1.3 矽材料特性的比較

特 性	特 性		
	柴氏法	浮區法	VLSI的要求
電阻係數(磷)·n型	1-50	1-300及以上	5-50及以上
電阻係數(銻)·n型	0.005-10	—	0.001-0.02
電阻係數(硼)·p型	0.005-50	1-300	5-50及以上
電阻係數梯度	5-10	20	<1
少數載子生命期	30-300	50-500	300-1000
氧	5-25	未測出	均勻且可控制
碳	1-5	0.1-1	<0.1
差排	≤500	≤500	≤1
表面平坦	≤5	≤5	≤1
重金屬雜質	≤1	≤0.01	≤0.01

37

表 1.4 各種材料中的雜質含量 (以 ppm 表示)

雜 質	石英岩	碳	冶金級矽	電子級矽	石英坩堝
鋁(Al)	620	5500	1570	—	—
硼(B)	8	40	44	<1 ppb	—
銅(Cu)	<5	14	—	0.4	0.23
金(Au)	—	—	—	0.07 ppb	—
鐵(Fe)	75	1700	2070	4	5.9
磷(P)	10	140	58	<2 ppb	—
鉻(Cr)	—	—	137	1	0.02
鈷(Co)	—	—	—	0.2	0.01
錳(Mn)	—	—	70	0.7	—
鎳(Ni)	—	—	4	6	0.9

38

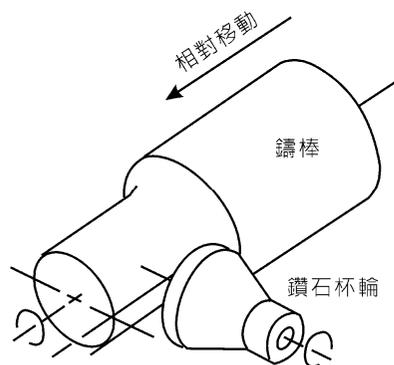


圖 1.13 磨晶棒製程

39

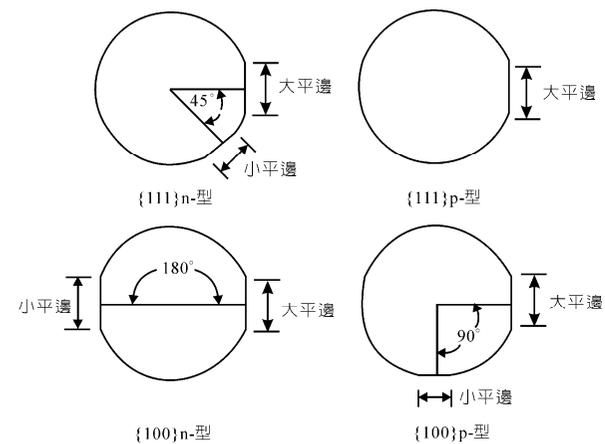


圖 1.14 將矽晶棒標示平邊

40

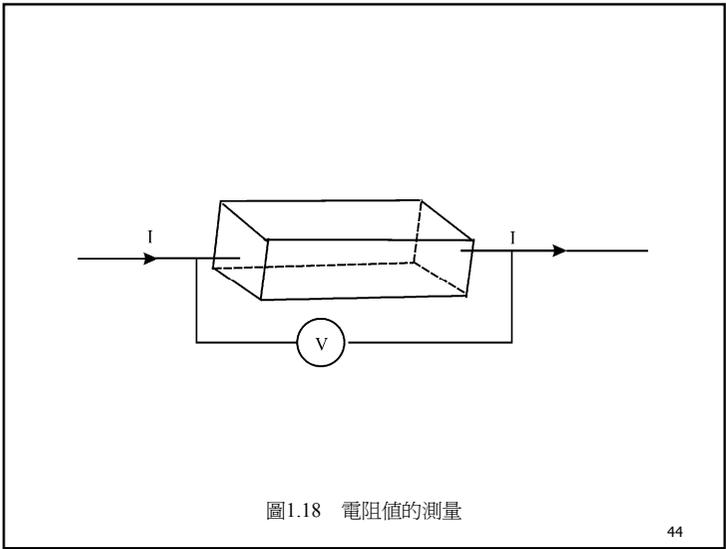
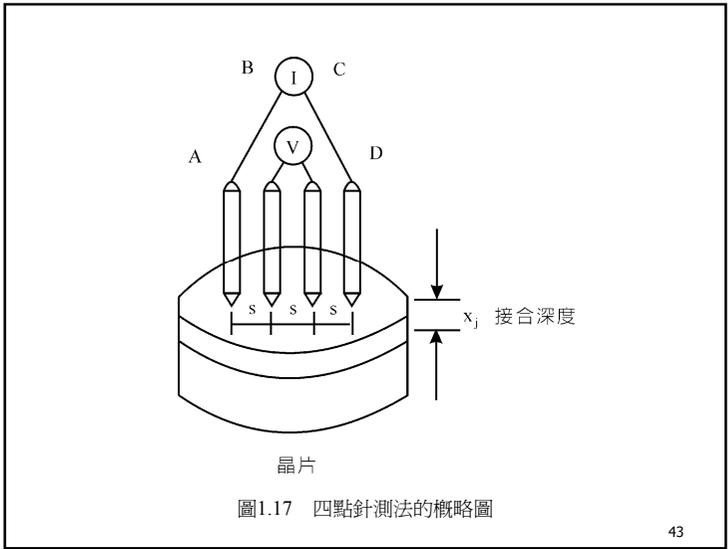
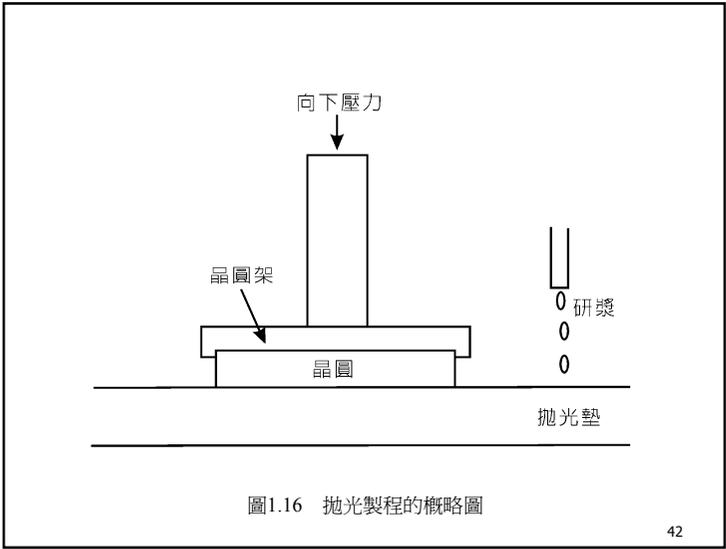
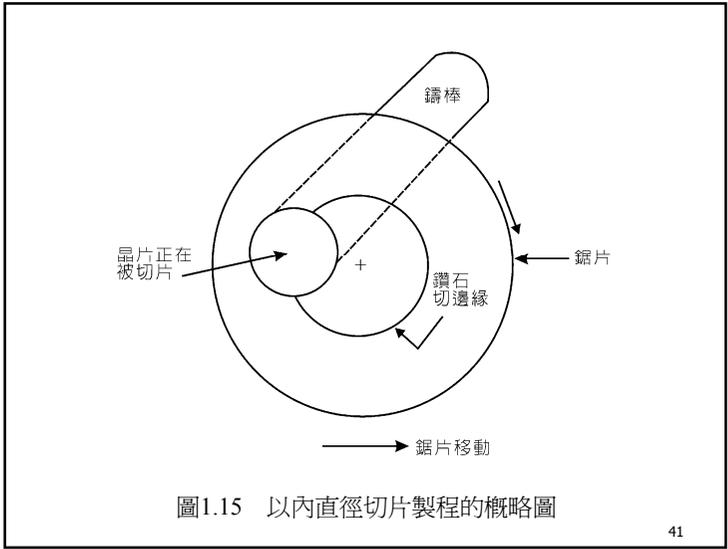


表 1.5 鍺、矽和砷化鎵的特性(室溫 300K)

特 性	鍺(Ge)	矽(Si)	砷化鎵(GaAs)
原子量	72.60	28.09	144.63
晶體結構	鑽石	鑽石	閃鋅
密度(克/立方公分)	5.3267	2.328	5.32
介電常數	16.0	11.9	13.1
崩潰電場(伏/公分)	~10 ⁵	~3x 10 ⁵	~4x 10 ⁵
能隙(電子伏特)	0.66	1.12	1.424
本質電阻係數(歐姆-公分)	47	2.3x 10 ⁵	10 ⁸
晶格常數(埃)	5.64613	5.43095	5.6533
線性膨脹係數(℃ ⁻¹)	5.8x 10 ⁻⁶	2.6x 10 ⁻⁶	6.86x 10 ⁻⁶
熔點(℃)	937	1410	1238
少數載子生命期(秒)	10 ⁻³	2.5x 10 ⁻³	10 ⁻⁸
移動率(平方公分/伏-秒)			
電子	3900	1500	8500
電洞	1900	450	400
比熱(焦耳/克-℃)	0.31	0.7	0.35
熱導係數(瓦/公分-℃)	0.6	1.5	0.46

45

表 1.6 一些半導體和金屬的機械特性

	熔點(℃)	Knoop 硬度(公斤/ 平方毫米)	彎曲強度 10 ¹⁰ 達因/平方公分	熱導係數 (瓦/公分-℃)	熱膨脹 (10 ⁻⁶ δ L/L-℃)
鑽石	> 3550	7000	53	20	1.0
鍺(W)	3410	485	4.0	1.78	4.5
碳化矽(SiC)	2700	2480	21	3.5	3.3
鉬(Mo)	2610	275	2.1	1.35	5.0
砷化鎵(GaAs)	1740	481		0.8	5.20
碲化鎵(ZnSe)	1520	150		0.13	7
磷化鎵(GaP)	1467	945		0.97	5.8
矽(Si)	1415	1150	7.0	1.57	2.56
砷化鎵(GaAs)	1238	750		0.54	6.8
不銹鋼	1000-1400	600	2.1	0.32	12
碲化鎵(CdTe)	1098	100		0.07	5.5
磷化鎵(InP)	1070	535		0.68	4.5
砷化鎵(InAs)	973	381		0.26	5.19
鋁(Al)	660	130	0.17	2.36	25
碲化鎵(InSb)	525	223		0.18	5.04

46

表 1.7 微機電常用基板材料特性

材 料	破裂	長金屬	機械加工	介電常數	壓性	楊氏係數 E(GPa)	導熱係數 (w/mk)
單晶							
矽	脆、強	好	很好	11.8	壓阻	165	150
石英	脆、強	好	差	4.8	壓電	87	7
砷化鎵	脆、弱	好	差	13.1	壓電	119	50
寶石	脆、強	好	差	9.4	無	490	40
非晶							
熔融的矽石	脆、弱	好	差	3.9	無	72	1.4
塑膠	韌、強	差	普通	-	無	-	-
玻璃	脆、弱	好	差	4.6	無	64	1.1
多晶							
氧化鋁	脆、強	普通	差	9.4	無	400	~30
鋁	韌、強	好	很好	-	無	77	~240

47

表 1.8 在地殼中各種半導體成份的蘊藏量

元 素	蘊藏量	元 素	蘊藏量
矽(Si)	0.283	砷(As)	1.8x 10 ⁻⁶
鋁(Al)	0.083	銻(Sb)	2x 10 ⁻⁷
磷(P)	0.01	鎘(Cd)	2x 10 ⁻⁷
硫(S)	2.6x 10 ⁻⁴	銦(In)	1x 10 ⁻⁷
碳(C)	2x 10 ⁻⁴	汞(Hg)	8x 10 ⁻⁸
鋅(Zn)	7x 10 ⁻⁵	硒(Se)	5x 10 ⁻⁸
鎵(Ga)	1.5x 10 ⁻⁵	碲(Te)	1x 10 ⁻⁹
鍺(Ge)	5x 10 ⁻⁶		

48

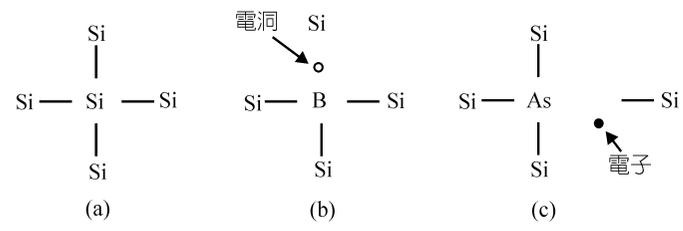


電子材料

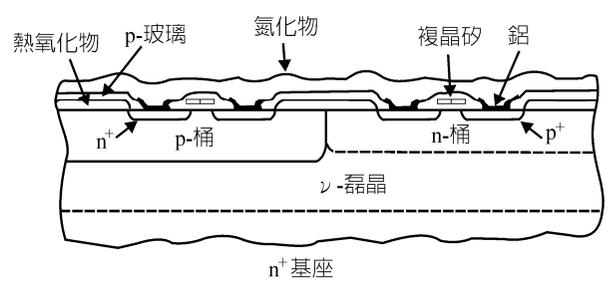
Electronic Materials

半導體材料與製程

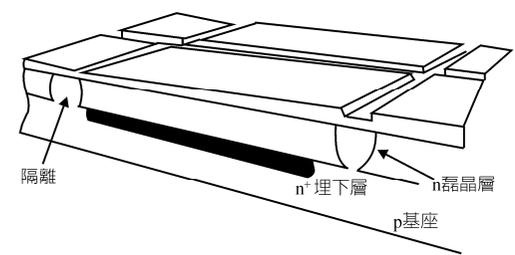
~ 摻質材料



(a)完全鍵結的矽, (b)摻入硼成爲p-Si, (c)摻入砷成爲n-Si



磊晶在CMOS的例子



磊晶晶片

磊晶矽用的一些矽源材料

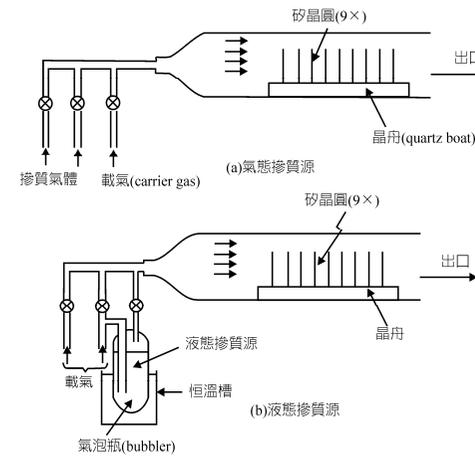
矽源材料	沈積溫度(°C)	反應方程式	危險性
四氯化矽 (SiCl ₄)	1150-1250	SiCl ₄ +11/2Si→SiHCl ₃ +HCl	
三氯矽甲烷 (SiHCl ₃ , TCS)	1100-1200	SiHCl ₃ →SiCl ₂ +HCl SiCl ₂ +H ₂ →Si+2HCl	
二氯矽甲烷 (SiH ₂ Cl ₂ , DCS)	1000-1100	SiH ₂ Cl ₂ →Si+2HCl	可燃，有毒
四氫化矽 (SiH ₄)	950-1050	SiH ₄ →Si+2H ₂	可燃，有毒

幾種氫化物摻質的特性

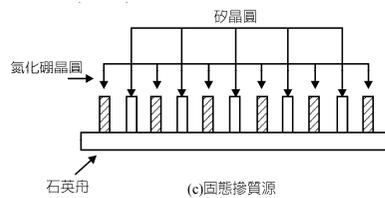
	凝固點	沸點	對空氣的密度	氣味	作用
AsH ₃	-113.5°C	-54.8°C	2.70	大蒜味	影響神經與循環系統，徵兆在感染後數小時才發覺。
PH ₃	-133°C	-88°C	>1	爛魚味	影響循環系統，特別是腎、心臟和腦，有可燃性。
B ₂ H ₆	-165°C	-92.5°C	>1	特異臭味	遇濕空氣爆炸。

磊晶層的缺陷

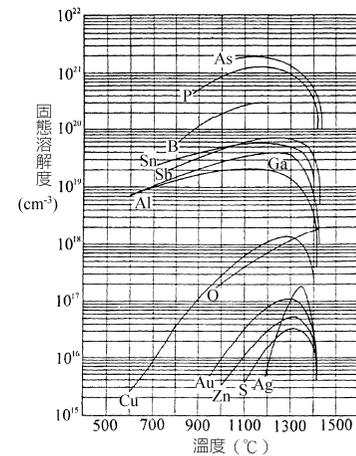
名稱	定義	可能的原因
差排(dislocation)	晶體晶格不規則	局部應力、排列、滑動、污染
擦傷(scratch)	摩擦	不小心處理
坑洞(pit)	表面下陷	磊晶成長時有異物在表面
空洞(void)	穿過磊晶層的洞	基板表面有外來的矽微粒
針尖(spike)	針形突出物	樹枝狀成長(通常附近有空洞)
堆積缺點(stacking fault)	金字塔形不規則	差排的延伸
橘子剝皮(orange peel)	粗糙的表面	不平的蝕刻或研磨不足
凹進去(dimple)	淺的表面下陷	不平的基板支持或下垂
邊緣突出(edge ledge)	在邊緣的尖細	結晶平面方向不同
皇冠(crown)	堆起來的區域	靠近邊緣成長速率較快
霧(haze)	朦朧的外表	高密度的堆積缺點，多晶成長



三種形式的擴散源



三種形式的擴散源

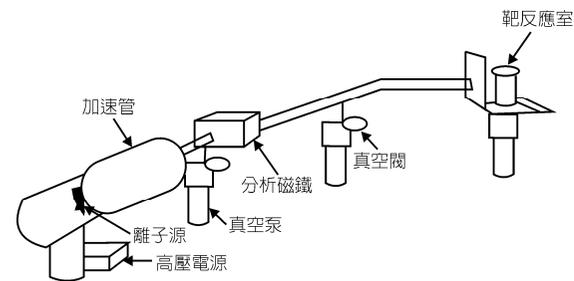


各種摻質在矽中的固態溶解度

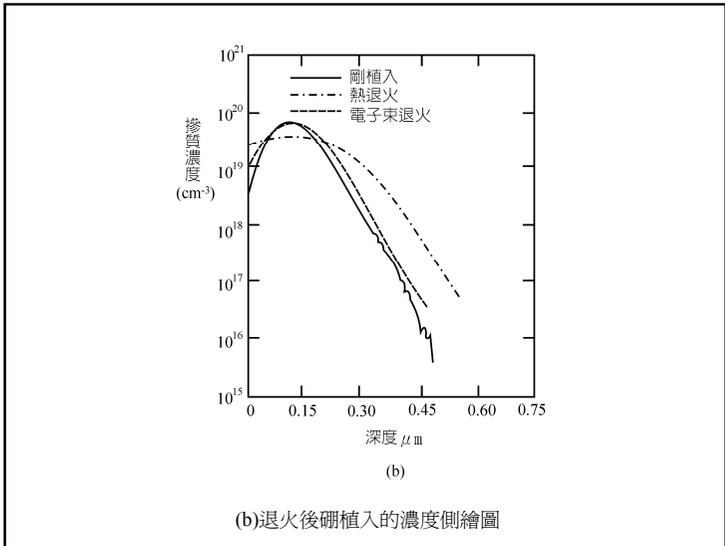
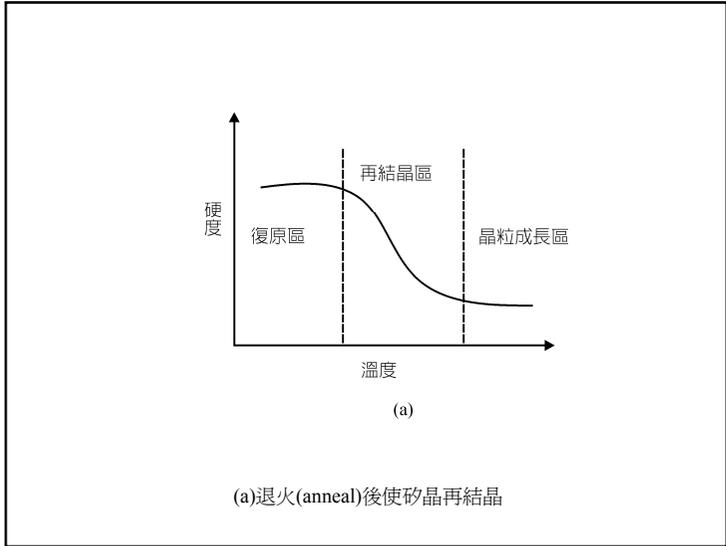
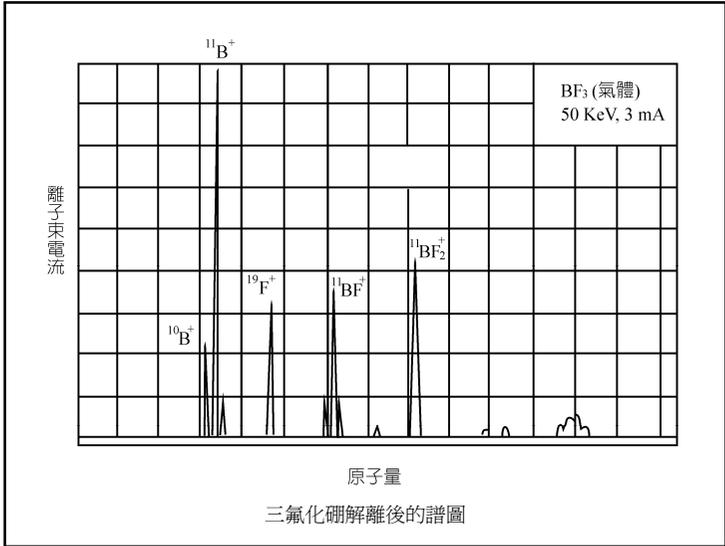
常用的鹵素化合物

分子式	沸點($^{\circ}\text{C}$)	溶點($^{\circ}\text{C}$)	蒸氣壓(mmHg/ $^{\circ}\text{C}$)
AsCl ₃ Arsenic trichloride	131.1	-16	10/25
BCl ₃ Boron trichloride	12.4	-107	476/0
BBr ₃ Boron tribromide	90.9	-46	69/25
GaCl ₃ Gallium trichloride	200.0	78	10/78
GeCl ₄ Germanium tetrachloride	85.8	-50	87/25
MoCl ₅ Molybdenum pentachloride	280	194	
PCl ₃ Phosphorus trichloride	76.1	-92	120/25
POCl ₃ Phosphorus oxychloride	105.5	1	37/25

純度有 99.99%、99.999%、99.9999%等(4N、5N、或 6N)，容器有小玻璃瓶、鋼瓶等。

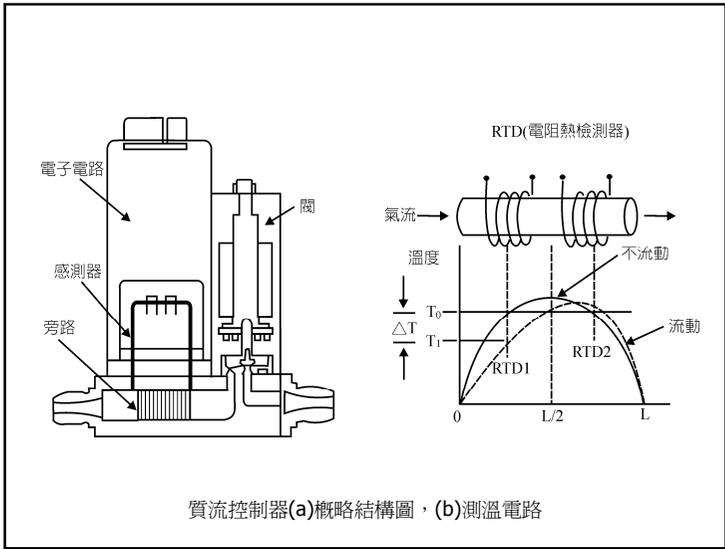
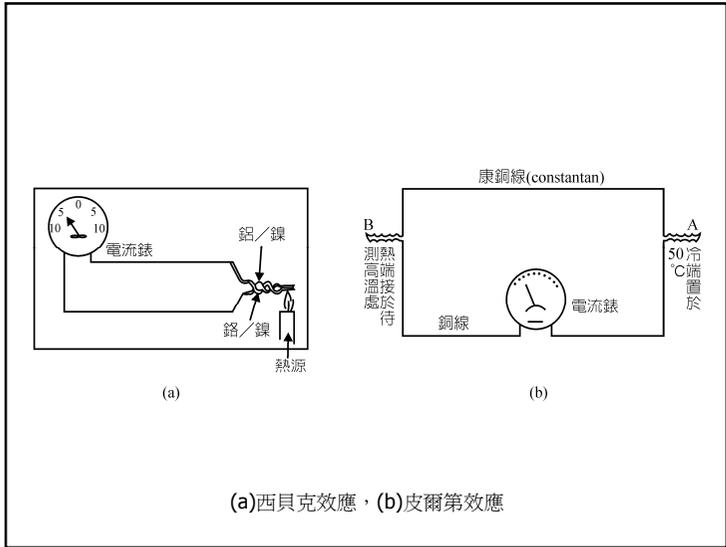
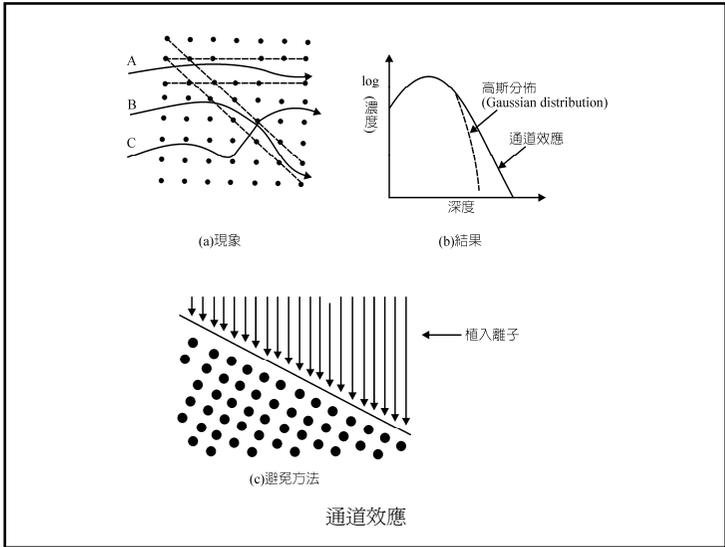


離子植入機的概略圖(德州大學之400 KeV機器)



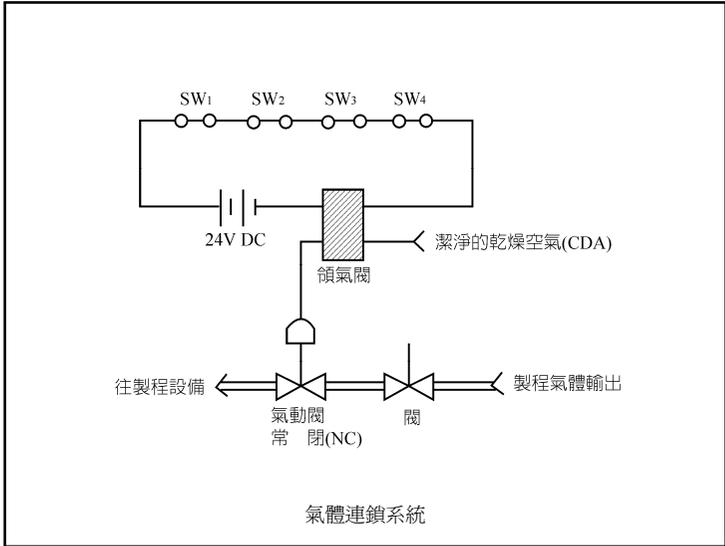
常用的有機金屬化合物

化學名	分子式	英文名	沸點(°C)	溶點(°C)	蒸氣壓(mmHg/°C)
三甲基鎵	Ga(CH ₃) ₃	Trimethyl gallium	55.6		218/25
三乙基鎵	Ga(C ₂ H ₅) ₃	Triethyl gallium	142.4	-16	68/25
三甲基鋁	Al(CH ₃) ₃	Triethyl gallium	124.7	15	8.4/20
三乙基鋁	Al(C ₂ H ₅) ₃	Triethyl aluminum	136	-58	12/25
二乙基鋅	Zn(C ₂ H ₅) ₂	Diethylzinc	116.8	-35.1	27/30
三甲基銲	In(CH ₃) ₃	Trimethyl indium	135.8	88.4	72/70
三乙基銲	In(C ₂ H ₅) ₃	Triethyl indium	144	-32	18/92



矽烷的特性

化學式	熔點 (°C)	沸點 (°C)
矽甲烷 (SiH ₄)	-185	-112
矽乙烷 (Si ₂ H ₆)	-133	-15
矽丙烷 (Si ₃ H ₈)	-117	53
矽丁烷 (Si ₄ H ₁₀)	-94	80



離子植入摻質氣體的毒性

氣體	臨限極限值(TLV)	立刻對生命或健康危險(IDLH)
AsH ₃	50 ppbV	3 ppmV
PH ₃	300 ppbV	50 ppmV
BF ₃	1 ppmV	50 ppmV

ppmV · ppbV 體積濃度 parts per million, parts per billion
 TLV: threshold limit value
 IDLH: immediately danger to life and health

常用吸附劑的特性

種類	表面積(m ² /gm)	體積(cm ³ /gm)	大小分佈(Å)
5-A沸石	300	0.3	5
活性碳	1100	0.6	5-30
活性礬土	150	0.2	10-50
矽膠	600	0.4	10-50

