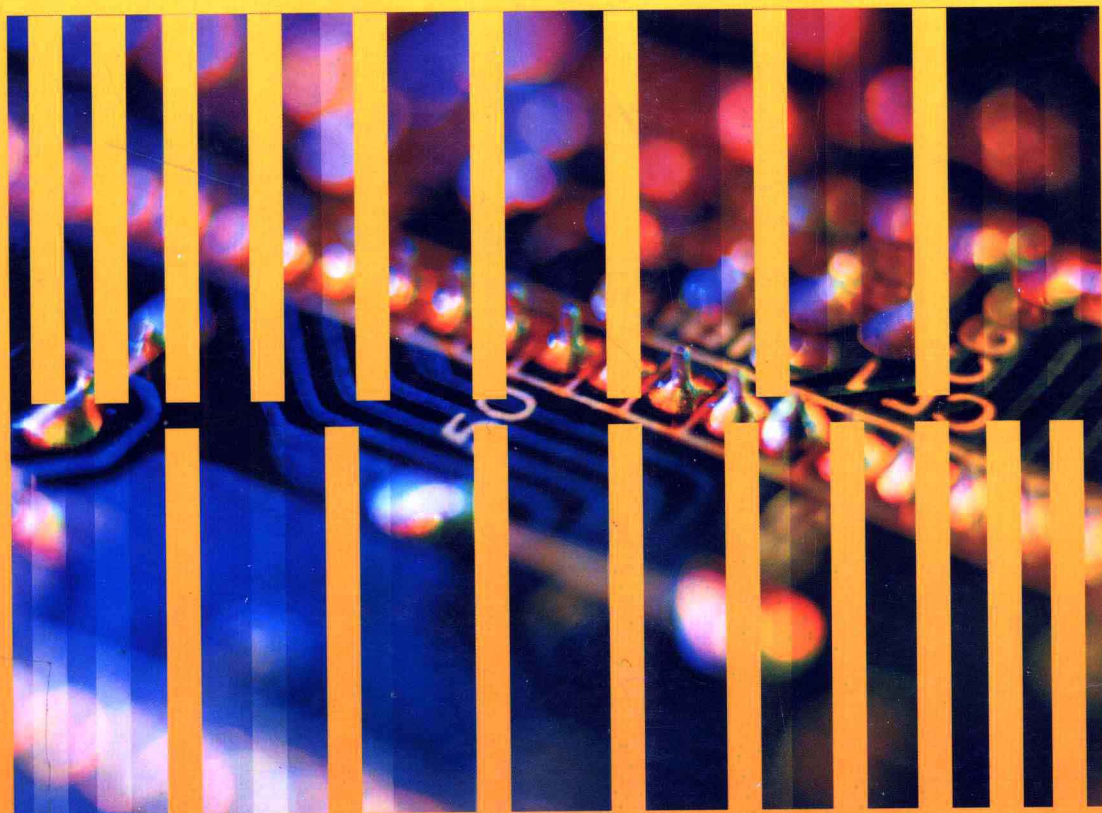


半導體系列叢書
Semiconductor
Technology Series

Semiconductor Processing Equipment

半導體製程設備



張勁燕 著

半導體製程設備

張 勁 燕 著

逢甲大學電子系副教授

獻給我的內人和孩子們

五南圖書出版公司 印行

國家圖書館出版品預行編目資料

半導體製程設備 / 張勁燕著. -- 三版. -- 臺
北市：五南, 2005[民 94]
面；公分
含參考書目及索引
ISBN 957-11-4007-4(平裝)

1. 半導體

448.65

94010124

5D24

半導體製程設備

作 者 張勁燕(214.1)

出版者 五南圖書出版股份有限公司
發行人 楊榮川

地 址：台北市大安區 106
和平東路二段 339 號 4 樓

電 話：(02)27055066 (代表號)

傳 真：(02)27066100

劃 撥：0106895-3

網 址：<http://www.wunan.com.tw>

電子郵件：wunan@wunan.com.tw

顧 問 財團法人資訊工業策進會科技法律中心

版 刷 2000 年 11 月 初版一刷
2001 年 9 月 二版一刷
2005 年 9 月 三版一刷

定 價 680 元

版權所有・請予尊重

作者簡介

張勁燕博士，1944 年生。

學歷：

交通大學電子工程系學士，1968 年

交通大學電子工程研究所碩士，1971 年

交通大學電子工程研究所博士，1989 年

經歷：

新加坡 Intersil 電子公司工程師 1971～1973

ITT 環宇電子公司 工程經理 1973～1976

EMMT 台灣電子電腦公司 半導體廠廠長、總經理 1976～1981

萬邦電子公司 總工程師 1981～1982

明新工專電子科副教授（或兼科主任） 1986～1989

逢甲大學電子系副教授 1989～1992，2002～迄今

逢甲大學電機系副教授（或兼系主任） 1992～2002

現職：

逢甲大學電子系副教授

已出版著作：

金氧半數位積體電路，大海書局，1986。

固態工業電子學，第三波文化事業公司，1989。

工業電子學實習，第三波文化事業公司，1989。

微電子電路實習，第三波文化事業公司，1989。

半導體廠務供應設施之教學研究，工研院電子所，1993。

半導體設備和材料安全標準指引 SEM1 S1-S11，勞委會勞工衛生安全研究所，1999。

電子材料，五南圖書公司，1999。

工程倫理，高立圖書公司，2000。

工業電子學，五南圖書公司，2001。

深次微米矽製程技術，五南圖書，2002。

家庭：

內人王全靜自中學教師退休。

長子張綱在美國，長女張絢在清華大學物研所攻讀博士，次女張綾於東海大學美術系畢業。

序

自從貝爾實驗室的巴丁博士(John Bardeen)，布萊登博士(Walter Brattain)，及蕭克利博士(John Shockley)等三人在 1947 年發明了雙極接面電晶體(bipolar junction transistor)，人類的文明，就進步到以半導體電子元件為主的矽時代(silicon age)。伴隨而來的矽科技和矽文明，深入人類生活的每一層面，改變了人類的生活方式，大大提升了人類的生活品質。造成半導體文明的最大動力，當然就是其製程設備。本人自 1999 年編著了電子材料一書，獲得各界認同，銷路相當不錯。因此 2000 年就再接再勵，編著這本“半導體製程設備”。

本書介紹的半導體製程設備，從提煉矽或砷化鎵晶圓，到晶圓加工製程和封裝的各種設備。資料收集至 2000 年出書前。內容共分 13 章。其相關的元件、物理、製程、材料、廠務也有提及，使主題能夠更為清楚完整。

本書可供普通大學、科技大學、技術學院或專科學校為教科書。提供給電機、電子、自控、機械、化工、化學、物理、材料、環工、工業工程等系(科)的同學們使用。也可供和半導體製作、維修、銷售的工程師、經理、研究生、教授、老師們參考，工程公司、材料或機器代理公司、證券公司、翻譯社、投資顧問公司同仁也可以此書為參考。

編著者承財團法人自強工業科學基金會和中國生產力中心之邀請，講授半導體製程設備一課近五年之久。科學園區台積電、華隆微、光磊科技、德基半導體、茂矽電子、力晶半導體以及福昌、強茂、益鼎、七益、豪勉、精威機電、台中精機、中山科學院、廣東中山、復盛、佳樂電子、欣隆等公司邀請講授相關課程。逢甲大學電機系所、電子系所給予很多機會，講授半導體工程和 VLSI 製程。使我才能日積月累，收集到豐富的資料，累積相關知識在此一併致謝。

此外，衷心感謝五南圖書公司的饒恢中總經理和張超雄總編輯，繼電子材料一書，再給我這個機會。逢甲電腦打字行的鄧鈴鈴小姐、何麗玫小姐協助打字、製圖、排版。

編著者才疏學淺，雖已竭盡全力，然而匆忙之中，難免有錯，尚祈前輩先進、好友、同學們不吝指教。

張 勁 燕

逢甲大學電子系

中華民國八十九年十一月一日

九十年十月修正再版

九十四年八月修正三版

目 錄

第一章 晶體成長和晶圓製作

1.1	緒論	1
1.2	矽的精製	1
1.3	柴氏法長晶體	4
1.4	浮區法和布氏法	9
1.5	長晶方向、摻質濃度、缺陷和雜質吸除	15
1.6	晶圓表面處理	22
1.7	參考書目	24
1.8	習題	25

第二章 磊晶沉積設備

2.1	緒論	27
2.2	氣相磊晶	28
2.3	液相磊晶	38
2.4	分子束磊晶	43
2.5	固相磊晶和選擇磊晶	54
2.6	參考書目	55
2.7	習題	56

第三章 微影照像設備

3.1 緒論	59
3.2 微影照像的方式	60
3.3 主要支援設備和難題	68
3.4 光罩對準儀實例	73
3.5 步進照像機實例	80
3.6 進步的照像設備	87
3.7 參考書目	104
3.8 習題	107

第四章 化學氣相沉積爐

4.1 緒論	109
4.2 常壓化學氣相沉積爐	110
4.3 低壓化學氣相沉積爐	116
4.4 電漿加強化學氣相沉積爐	125
4.5 進步的化學氣相沉積	135
4.6 其他的沉積爐	153
4.7 參考書目	159
4.8 習題	162

第五章 氧化擴散高溫爐

5.1 緒論	163
5.2 氧化高溫爐	163
5.3 高壓氧化爐	175
5.4 垂直氧化爐	177

5.5	氧化製程之吸氣及將來趨勢	183
5.6	擴散高溫爐	186
5.7	化合物半導體的氧化擴散	194
5.8	氧化擴散製程監督及量測	197
5.9	參考書目	201
5.10	習題	203

第六章 離子植入機

6.1	緒論	205
6.2	植入機概略圖	206
6.3	植入機型式	215
6.4	植入機實例一	224
6.5	植入機實例二	238
6.6	植入機實例三	239
6.7	快速熱退火	246
6.8	安全輸送系統	251
6.9	參考書目	257
6.10	習題	258

第七章 乾蝕刻機

7.1	緒論	259
7.2	電漿的產生	260
7.3	各種乾蝕刻機的比較	268
7.4	高密度電漿蝕刻機	290
7.5	終點偵測和失敗分析	309

7.6	新材料的蝕刻	310
7.7	參考書目	312
7.8	習題	314

第八章 蒸鍍機

8.1	緒論	317
8.2	演進	317
8.3	熱阻式蒸鍍機	321
8.4	電子束蒸鍍機	328
8.5	電子束蒸鍍槍和電源供應器	335
8.6	電子束製程技術	343
8.7	蒸鍍在 ULSI 製程的應用	348
8.8	先進的蒸鍍系統	349
8.9	參考書目	356
8.10	習題	356

第九章 濺鍍機

9.1	緒論	359
9.2	濺鍍製程	360
9.3	直流濺鍍機	363
9.4	射頻濺鍍機	371
9.5	磁電濺鍍機	376
9.6	濺鍍理論	391
9.7	濺鍍系統	393
9.8	進步的濺鍍系統	395

9.9 參考書目·····	404
9.10 習題·····	405

第十章 化學機械研磨

10.1 緒論·····	407
10.2 裝程設備·····	408
10.3 和晶圓拋光製程的比較·····	419
10.4 機器實例·····	424
10.5 銅製程的應用·····	429
10.6 後洗淨·····	435
10.7 製程控制·····	439
10.8 參考書目·····	442
10.9 習題·····	444

第十一章 真空泵和真空系統

11.1 緒論·····	447
11.2 真空系統·····	448
11.3 真空泵的分類·····	457
11.4 機械粗抽泵·····	463
11.5 動力式泵·····	479
11.6 氣體凝集式泵·····	486
11.7 真空測量計·····	493
11.8 參考書目·····	507
11.9 習題·····	508

第十二章 濕洗淨和乾洗淨製程設備

12.1	緒論	511
12.2	污染源	512
12.3	RCA 清洗製程	514
12.4	晶圓濕洗淨設備	520
12.5	濕蝕刻設備和濕化學站	529
12.6	乾洗淨設備	533
12.7	洗淨廢氣廢水和環保對策	538
12.8	參考書目	541
12.9	習題	543

第十三章 封裝製程設備

13.1	緒論	545
13.2	封裝型式的演變	546
13.3	封裝製程流程	558
13.4	封裝製程設備	560
13.5	參考書目	585
13.6	習題	587

索引	589
----	-----

第一章 晶體成長和晶圓製作

1.1 緒論

電子工業最重要的半導體材料是矽(Si)，目前矽製元件的銷售量大約為全世界半導體元件的 95%。其次為砷化鎵(GaAs)。矽在地殼中的含量約為 28%，是僅次於氧的元素，但在自然界，矽絕對不會以元素存在。矽有很好的機械特性，有天生的介電質—二氧化矽(SiO_2)。天然的矽是以矽土(silica, 不純的 SiO_2)和矽酸鹽(silicate)的型態存在。矽的能隙(energy gap)為 1.1 eV，大小適中，矽元件可在 150°C 以內工作。二氧化矽不溶於水，使平面製程技術成功地製造電晶體或積體電路。近代人類的文明史，真可以說是矽晶時代(Silicon age)。

1.2 矽的精製

將石英岩、木炭、焦煤和木屑放在一大型電弧爐中，加熱到 1780~2000 °C，可得純度為 98% 的冶金級矽(MGS, metallurgical grade silicon) (如圖 1.1)。在電弧爐中，可生成碳化矽(SiC)。 SiC 和 SiO_2 作用，以生成 Si、SiO 和 CO。矽由底部取出。SiO 和 CO 氣體經由木屑所造成的空隙而逸出。此反應消耗電功率非常大 (12—14 千瓦小時／公斤)。冶金級矽的主要雜質為鋁和鐵。

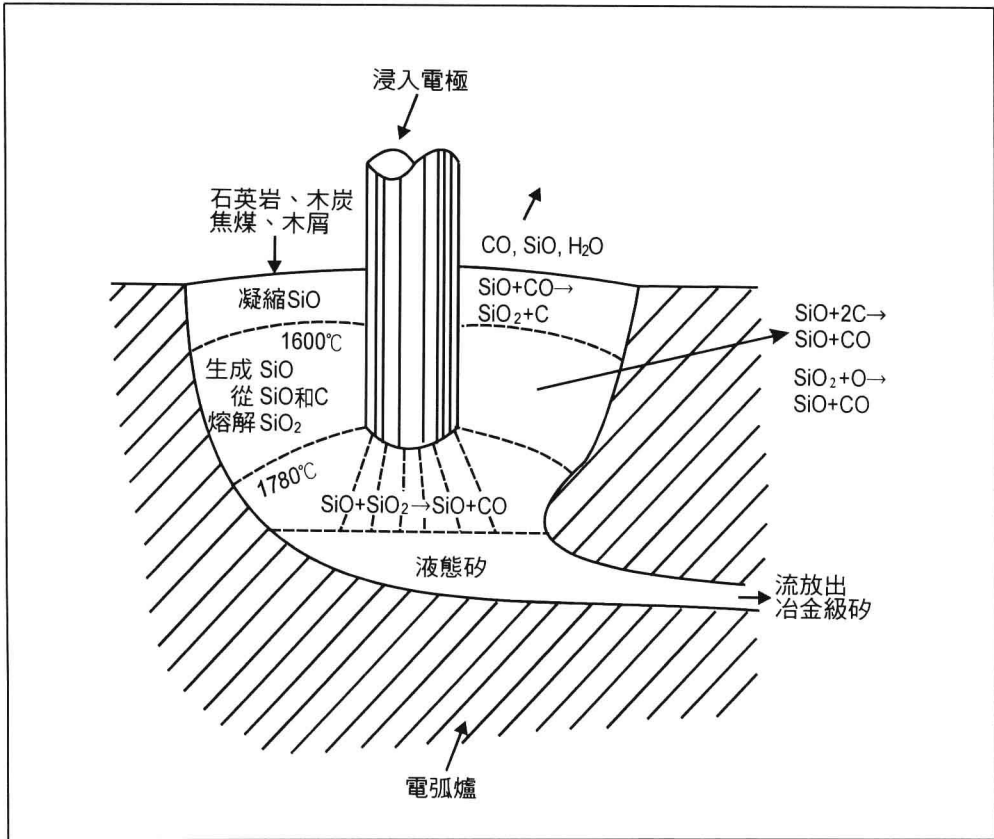


圖 1.1 以浸入式電極電弧爐製造冶金級矽的概略圖

(資料來源：Grossman and Baker, Semiconductor Silicon)

然後以機械方式將矽磨碎，並使它和無水氯化氫(HCl)反應，利用催化劑，溫度為 300°C，以生成三氯矽甲烷(SiHCl_3 ，TCS)和四氯化矽(SiCl_4)，再以分餾法除去四氯化矽和其他的雜質，如 AlCl_3 、 BCl_3 等。 SiHCl_3 在室溫為液態（沸點為 31.8°C）。再將三氯矽甲烷和氫氣反應，以化學氣相沉澱(chemical vapor deposition, CVD)，製出電子級或稱半導體級（如圖 1.2 和圖 1.3 所示）的矽。此電子級矽屬於多晶矽(polysilicon)的結構。其中幾個重要的化學反應式為：

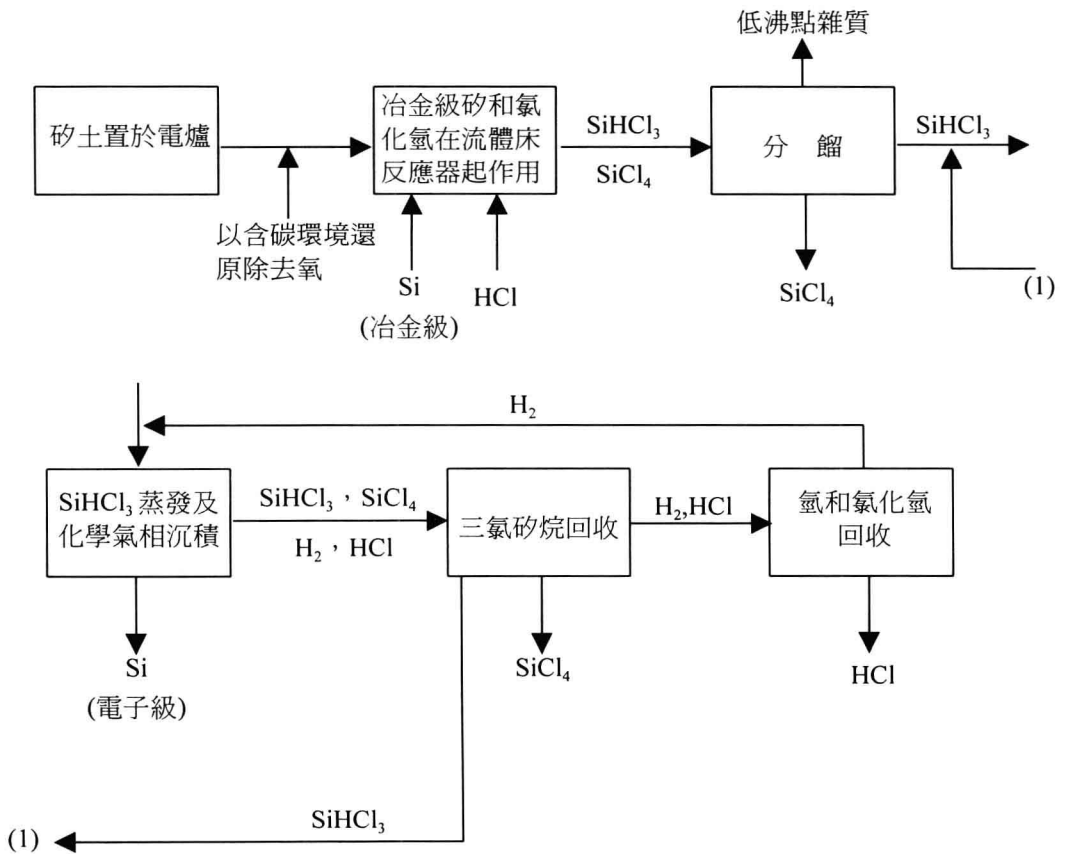
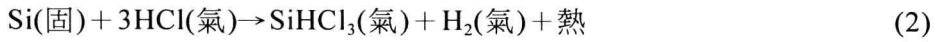


圖 1.2 製造電子級矽的概略流程圖

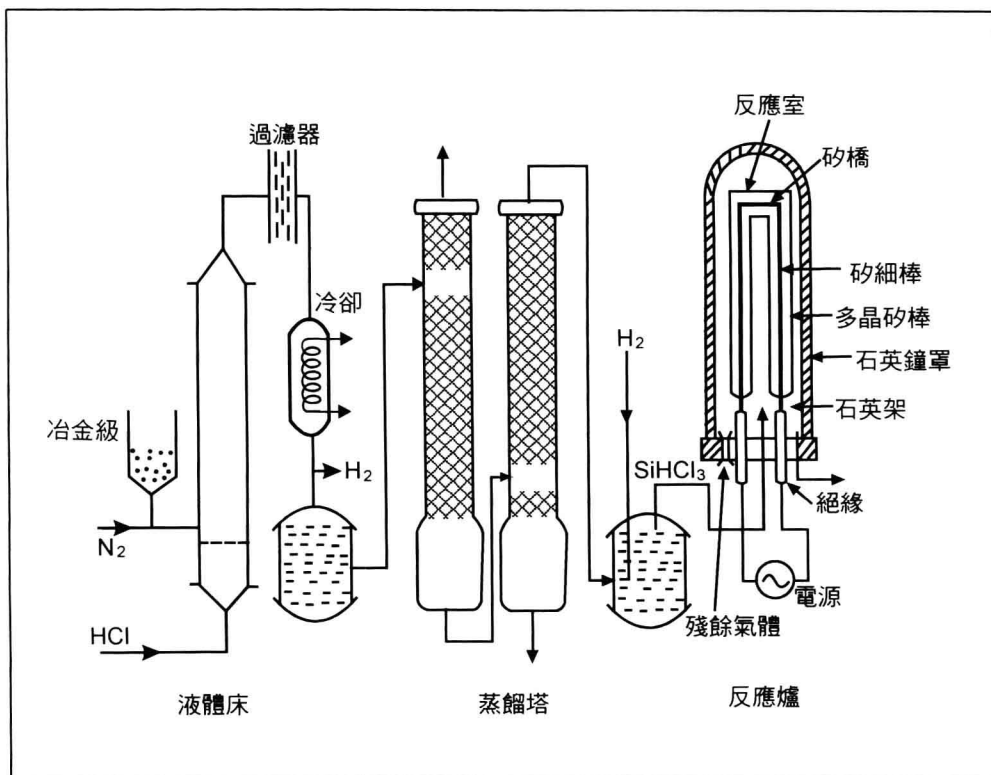


圖 1.3 精製電子級矽的設備（德國西門子製程）

1.3 柴氏法長晶體

柴氏法(Czochralski method)長矽晶體是將矽原料放在一坩堝內，加熱使矽融溶，藉由種晶(seed)的帶領，以拉昇器慢慢將鑄棒(ingot)向上拉，造成一個固相－液相的界面（如圖 1.4 所示）。拉昇之速度由矽的融解潛熱(latent heat, L)，鑄棒固化速率($\frac{dm}{dt}$)，溫度梯度($\frac{dT}{dx}$)，固相或液相的熱導係數(k_s , k_l)等決定。在方程式(4)中 A_1 和 A_2 為恆溫點 1 和 2 的面積。鑄棒直徑越大，拉昇速度越慢，要長一根 8 吋晶圓的鑄棒約需 1~2 天。

$$L \frac{dm}{dt} + k_\ell \frac{dT}{dx_1} A_1 = k_s \frac{dT}{dx_2} A_2 \quad (4)$$

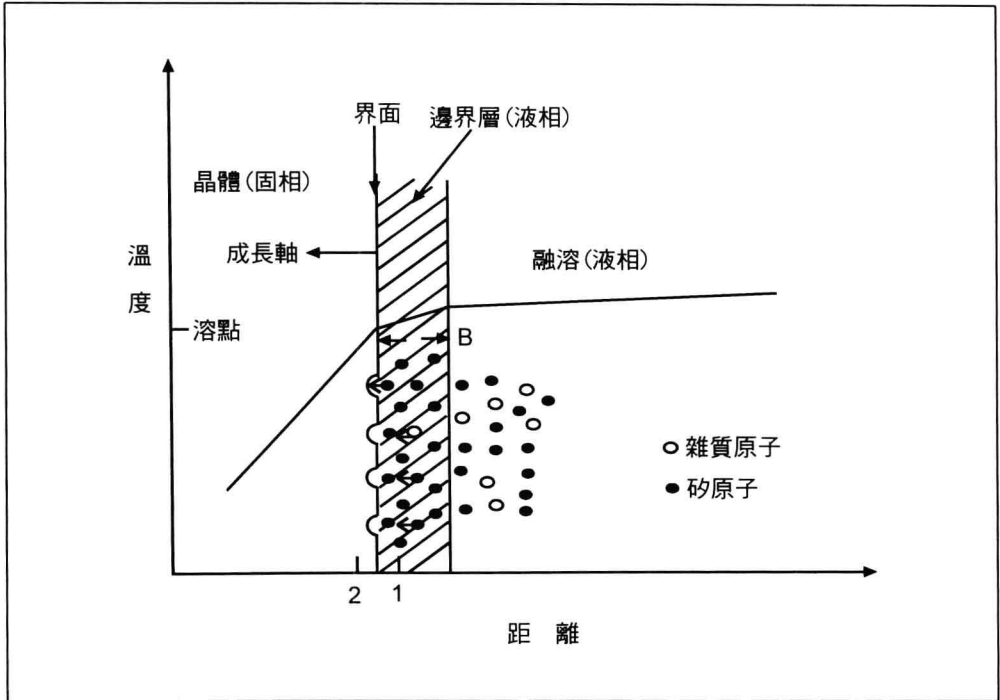


圖 1.4 柴氏法長晶，固－液相界面

（資料來源：Sze, VLSI Technology）

成長時，雜質原子有往液相跑的趨勢，分離係數(segregation coefficient) $k_o = C_s / C_\ell < 1$ ， C_s 和 C_ℓ 分別為雜質在固相或液相的濃度。因此，大多雜質被驅逐到液相，留在棒的尾端，最後可以切掉拋棄，此種技巧稱為區段精製(zone-refining)。矽晶棒的純度也可以同時提昇了。

工業用的柴氏爐包括以下四個部份：

1. 爐：由坩堝、坩堝支持器、轉動裝置、加熱器、電源供應器和反應室等組成。