

東南技術學院機械工程系
專題製作報告

台幣八千元蓋一座八吋晶圓廠

指導老師：王俊程

學生： 林沅右 872091
何銘銓 872156
林明聖 872022
楊士逸 872052

中華民國 91 年 12 月 16 日

摘 要

我國半導體工業蓬勃發展，尤其是晶圓廠的 IC 產品製造，其產業規模與技術水準，已經是世界領先地位。為了讓在學同學明白晶圓廠高科技製造相關知識，本專題製作一座實際營運中之八吋廠縮小模型，目的是提供未曾於晶圓廠內工作，或未曾參觀晶圓廠，也可以藉由此模型明瞭半導體產業實際製造運作的大致面貌。

本模型材料是採用壓克力製作，每一壓克力方塊代表一台潔淨室設備，使用不同顏色色帶區分不同製程設備。模型具備半導體晶圓廠之完整面貌，具備實用性之教學教具，並且可以當成部份研究性主題的實體參考，如廠房佈置最佳化、排程模擬、製造自動化、生產管理等。

本 3D 模型製作之長度比例是實際晶圓廠的百分之一，寬度 150 公分，高度 120 公分，此大小極適合於教室裡之教學使用。為方便使用，模型共分成八塊製作，以拼圖方式結合成為一體。此方式可以方便模型的快拆快卸，成為攜帶方便之活動式教學教具。

目 錄

摘要	1
第一章 前言	4
1-1 製作目的	4
1-2 章節介紹	6
第二章 八吋晶圓廠模型製作流程	7
2-1 模型製作流程	7
2-1-1 材料準備	7
2-1-2 主體架構製作	8
2-1-3 機台方塊粗製作	10
2-1-4 機台方塊細製作	12
2-2 製作經費	13
第三章 八吋晶圓廠潔淨室之綜覽	15
3-1 潔淨室廠房佈置綜覽	15
3-1-1 潔淨室基本概念與主體佈置	15
3-1-2 潔淨室自動化概念與佈置	18
3-1-3 潔淨室缺陷檢測概念	19
3-2 五大單元製程區域綜覽	20
第四章 某家晶圓廠五大模組之製程與設備分類	22

4-1 黃光區 (photo-lithography)	22
4-2 蝕刻區 (etching)	23
4-3 擴散區 (diffusion)	25
4-4 薄膜區 (thin-film)	27
4-5 化學機械研磨區 (chemical mechanical polish)	28
第五章 結論	31
參考文獻	31

第一章 前言

1-1 製作目的

一般而言，一座八吋晶圓廠面積大概是東南學院的操場大小，加上中正大樓與經國圖書館作為行政辦公大樓外，東南校地大概可以蓋兩座晶圓廠。這說明半導體晶圓廠高科技產業的特徵，並非土地需要廣大之屬性，而是資本密集與技術密集屬性，也是世界各國想要發展的重點工業。

網際網路上，有些文章宣稱半導體晶圓製造產業是污染性與危險性之產業，美國與日本都不要繼續發展了，我們幹麻還要。事實上，半導體晶圓廠屬於高科技產業，雖然製造過程，牽涉環保與公安等問題，但因其相關設施設計的安全係數皆非常之高，大幅降低環保與公安等問題的發生。

舉例而言，新加坡比台灣更小，但是新加坡政府一直鼓勵發展半導體產業，甚至政府也投資特許（Charter）公司，她是全球第三大晶圓代工公司（第一大與第二大是台積電公司與聯華電子公司）。其他各國也都傾全力發展，包括中國大陸、韓國、東南亞等國家。因此，如何培養足夠的人力資源，以發展半導體高科技產業，也是本專題製作的動機。

半導體產業屬高風險的產業，起伏相當大，賺多賠多。其產業特性是生命週期短，IC 產品世代變化快。以南亞科技公司的 DRAM 產品為例，開始

是 $0.45\mu\text{m}$ 製程技術，持續微縮至 $0.36\mu\text{m}$ 、 $0.32\mu\text{m}$ 、 $0.28\mu\text{m}$ 、 $0.20\mu\text{m}$ 生產，目前正由 $0.175\mu\text{m}$ 轉換成 $0.14\mu\text{m}$ 。製造技術一直在往前，產業的特徵不進則退。而且因為市場規模之故，廠房必須持續投資，八吋一廠與八吋二廠建造後，十二吋晶圓廠也繼續動工興建。比較特別的是，三廠究竟是八吋還是十二吋廠的決策，確實是考驗經營者的智慧。由歷史發展來看，沒有公司想要成為第一家十二吋晶圓廠，也沒有公司想成為最後一家八吋晶圓廠。因為第一家十二吋晶圓廠必須付出高額的學習資金代價，而最後一座八吋晶圓廠可能會喪失未來市場競爭力。圖 1.1 是一座真實的晶圓廠建築外觀照片圖，供作參考。



圖 1.1 一座晶圓廠建築外觀照片

我國半導體工業蓬勃發展，尤其是晶圓廠的 IC 產品製造，其產業規模與技術水準，已經是世界領先地位。為了讓在學同學明白晶圓廠晶片製造相關知識，本專題製作一座實際營運中之八吋廠縮小模型，目的是提供即使未曾於晶圓廠內工作，也可以由此模型明瞭半導體產業實際製造運作的大致面

貌。

1-2 章節介紹

本報告共分成五章敘述。第一章介紹專題製作的目的，第二章敘述專題模型製作過程階段之內容，包括材料準備、機台方塊黏製、方塊細部製作等流程。第三章說明晶圓廠主要的幾個廠房佈置區隔與五大單元製程模組區域，並藉著本次專題製作之模型介紹與說明。第四章說明半導體機台的細部分類，包含製程與設備兩類，進一步對機台有更多的認識。第五章是結論。

本模型根據製程與設備不同的屬性作機台分類，提高本專題模型製作的應用價值。也就是除了提供半導體廠無塵室內的機台佈置展示之外，可以進一步提昇作為機台佈置與生產速率之間的研究參考，以及有關晶圓廠自動化的相關議題。

第二章 八吋晶圓廠模型製作流程

本章敘述專題晶圓廠模型之製作過程，共分成四個步驟：(1)材料準備、(2)主體架構製作、(3)機台方塊粗製作、(4)機台方塊細製作。並且列出專題製作的經費，共花費台幣八千元？底下依章節說明之。

2-1 模型製作流程

2-1-1 材料準備

專題首先是材料選用、購買、組合設計與裁切。

- 材料的選擇：必須考慮到容易剪裁、塊材固定方便、強度足夠與不易損毀等因素，因此選用壓克力作為專題製作的材料。
- 材料的購買：因為考慮模型縮小比例是百分之一，與完成後之模型長寬大小約 150/120cm。為攜帶方便，採快拆快卸方式，以拼圖方式組合。

經簡單計算後，共購買八塊 5 厘米厚之壓克力底板，其尺寸規格為 400mm * 600mm * 5mm。並且購買 4 根壓克力條棒，規格是 20mm * 20mm * 1200mm。底板是作為本廠房模型的主體，若厚度太薄，強度可能不足；若太厚，重量太重，不易攜帶。條棒是作為晶圓廠設備的代表，20*20mm 表示一般設備 2*2m 的大小，大一點的設備以 40*20mm 方塊代表之。

- 組合設計與裁切：由於此座晶圓廠廠房長度是 127.5 公尺，寬度是 94 公尺。如前節所述，百分之一模型比例，也就是模型實際長寬約 1~1.5 公尺。共分為八塊壓克力底板組合而成，如圖 2.1 所示之編號與組合。

4	3	2	1
8	7	6	5

圖 2.1 八塊壓克力底板之編號與組合

裁切加工，使用線鋸鋸切成拼圖形狀，如圖 2.2 所示。加工後，能否快速順利拆卸與組合，這是模型作為教學用之基本要求。

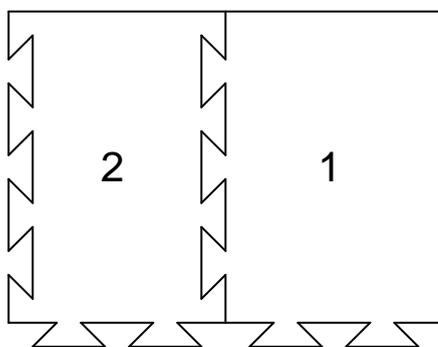


圖 2.2 壓克力底板之拼圖組合

2-1-2 主體架構製作

參考晶圓廠平面配置圖之資料 [2]，影印放大至百分之一的比例後，黏貼於壓克力底板下方，作為主體架構製作之參考。購買壓克力專用色帶，在

設計規劃之顏色選用下，進行潔淨室主體架構的貼製工作。

- 先使用藍色色帶裁剪成寬 10mm 的粗線條，作為無塵室廠房建築的實體大小，藍色代表著建築體外面的藍色天空，至於 5mm 較細的藍色細線條，用來作為無塵室外圍的支援性空間區域。
- 使用綠色色帶裁剪成寬 10mm 的粗線條，作為潔淨度最高等級 class1 的無塵室區域，綠色代表著潔淨之意。至於進出潔淨室的三道空氣淋浴 (air shower)，使用 5mm 綠色細線條製作。
- 粉紅色色帶裁剪成寬 5mm 的線條，作為區隔機台設備維修 (maintenance and repair) 工作區與晶圓所處的無塵室，潔淨度等級 class 1000，減輕空調運轉成本。因為潔淨度 class1 之運轉成本相當高。
- 銀色色帶作為晶圓廠自動化的代表，主要有三項，自動倉儲 (stocker)、無人搬運車 (AGV) 與頭頂式天車 (OHV)，銀色取自於 AGV 之導引銀色光帶。
- 褐色色帶代表潔淨室廠務空調之氣流循環區隔，顏色是根據較骯髒的氣流與實際的密封式牆壁區隔。

經由上述主題色帶的貼製後，潔淨室整體雛形逐漸形成，相關詳細之說明，參見第三章。廠房輪廓漸漸完成之後，接著進行下面階段之設備壓克力方塊的製作。

2-1-3 機台方塊粗製作

在撕去貼在壓克力底板下方之廠房佈置影印圖之前，利用壓克力專用之黏貼藥劑 - 乙醯，將代表機台設備之壓克力方塊，黏貼在底板之適當位置上，並且在方塊上貼上具代表性之顏色色帶，再將透明片噴墨印表機印製之機台設備的編號黏上。此項工作的機台方塊高達兩百個，必須講求正確美觀與快速有效，稱為「機台方塊粗製作」階段。

因為機台方塊的黏貼製作，以及自動物料搬運系統 (AMHS, automatic material handling system) 之頭頂式天車 (OHV) 的呈現，使得本模型具備三維 (3D) 的展示效果，比起二維 (2D) 模型更具真實感。雖然如此，專題製作的難度比 2D 模型增加許多。

- 機台方塊鋸製：先將購買之 20mm*20mm*1200mm 壓克力長棒，用鋸台鋸成數量約 150 個之 20mm 的立方體，與數量約 50 個之 40mm 的立方體。一般設備以 20mm 方塊作代表，大型設備(例如：濕式清洗機、自動倉儲、微影)以 40mm 方塊作代表。
- 機台方塊黏製：按照壓克力底板下的影印草圖，用壓克力專用黏著劑，將眾多 200 個大小方塊黏在底板上。有時，遇上拼圖接縫處，方塊位置略作修正。值得注意的是，本專題製作以關鍵性設備為主要製作機台方塊鋸製：對象，潔淨室內之工作桌、晶圓暫時物料架、設備輔助性裝置、廠務氣體控制箱等，並未製作於模型上。並且，

自動化物料搬運系統之頭頂式天車的製作，利用高 20mm 之扁平式壓克力條黏貼，位於無塵室的中央處，作為 inter-bay 自動化的晶匣傳送用。

- 設備色帶貼製：在不同的單元製程區域中，使用不同顏色色紙貼在機台方塊上。分別是八吋晶圓廠半導體主要的五大區域：黃色 黃光區 (photo)、橙色 蝕刻 (etch)、紅色 擴散區 (diffusion)、桃紅色 薄膜區 (thin film)、與靛色 化學機械研磨 (chemical mechanical polish, CMP)。顏色的選用有代表意義，詳細參見第四章的說明。圖 2.3 顯示本專題使用的顏色一覽表與選用意義。

項次	顏色	區域	英文名稱與縮寫	顏色選用意義
1	黃	黃光	photo, PH	微影製程
2	橙	蝕刻	etch, ET	蝕刻電漿顏色
3	紅	擴散	diffusion, DF	高溫前段製程
4	桃紅	薄膜	thin-film, TF	低溫後段製程
5	靛	化學機械研磨	CMP, CM	研磨液
6	藍	建築體	class 1000	天空顏色
7	綠	無塵室	class 1	代表潔淨
8	粉紅	設備維修區	Eq Zone	動力設備維修
9	銀	自動化	Automation, FA	AGV 反光銀帶
10	淺綠	缺陷檢測	Defect, PH	檢查缺陷之潔淨
11	褐	廠務	facility	污染空氣與牆壁材料
12	淺黃	黃光區區隔	photo bay	微影 bay 區隔示意
13	黑	機器說明	documentation	模型文字說明

圖 2.3 晶圓廠模型製作顏色選用一覽表

- 設備機台編號貼製：先將機台編號輸入電腦內，調整適當大小後，

印製在透明之具強黏性投影片上，再將投影片機台編號剪成高度 7mm 大小，貼至機台色帶上之下側。機台編號前兩碼是指設備的區域分類碼，分別有：FA 系列 自動倉儲、DW 系列 濕式清洗機、PH 微影步進機等等，完整之區域分類碼參見圖 2.3。機台編號後面的數字為機台的號碼。

2-1-4 機台方塊細製作

完成機台方塊黏貼粗製作後，接著是根據晶圓廠完整設備之明細資料，將代表設備之細部製程屬性與設備製造供應廠商，製作於機台方塊色帶上方的左右兩側。左側標出機台方塊單元製程內更細密的分類，顏色由上而下依次為藍、綠、粉紅等等；右側標出設備機台的製造供應廠商，顏色由上而下依次為褐、淺綠、銀等等。顏色順序不同，為了防止重複，使模型的呈現更加清楚。左右細製作色帶大小皆是 10*10mm。

由於上層細製作色帶與下層粗製作色帶相疊之後，部份顏色會有改變。解決方法之一是將底層上半的色帶刮除，另一方法則是選用不會造成混淆的顏色色帶。最後再將一些說明性的文字，黏貼於模型適當的地方，增加本模型的可讀性。底下分別描述之。

- 機台方塊製程細分類：根據五大單元製程的屬性，機台可以再進一步分類。例如：黃光區機台根據微影製程，可以再細分為 DUV, UV, COAT,與 SEM 等，分別以藍、綠、粉紅顏色的色帶代表。同理，其

他區的機台也可以適用。

- 機台方塊設備細分類：根據機台製造供應商的屬性，機台可以再進一步分類 例如：黃光區機台根據製造商來源，可以再細分為 NIKON, CANON, TEL 與 HITACHI 等，分別以褐、淺綠、銀色的色帶代表。同理，其他區的機台也可以適用。由於空間有限，部份分類未在其中。
- 模型文字說明：有關廠房主體佈置、五大製程區域、與機台方塊的製程與設備分類內容，用具黏性之透明片列印後，黏貼在模型右邊的空白處，提高本模型豐富內容的閱讀性。由於空間有限，部份字數較多之文字，以較小字體呈現之。

2-2 製作經費

建造一座八吋晶圓廠，大概需要台幣 300 億元，建造一座十二吋晶圓廠，大概需要台幣 800 億元。本專題八吋晶圓廠模型的製作經費是台幣八千元，相當適合作為教育訓練與研究參考。

本專題製作費用共台幣八千元。主要購買之材料與經費，參見圖 2.4 所示。最後之壓克力模型成品，請參見圖 2.5。

項次	材料品名	規格	數量	單價	金額小計
1	壓克力底板	400 * 600 * 5mm	8	350	2800
2	壓克力長方條	20 *20 *1200mm	5	300	1500
3	壓克力長扁條	5 *20 *500mm	5	100	500
4	壓克力黏著劑	乙醃	2	200	400
5	壓克力色帶	卡典紙	12	100	1500
6	黏性透明紙	投影片紙	2	300	600
7	其他	紙、剪刀等	1	700	700
	總計				8000

圖 2.4 本專題製作之經費

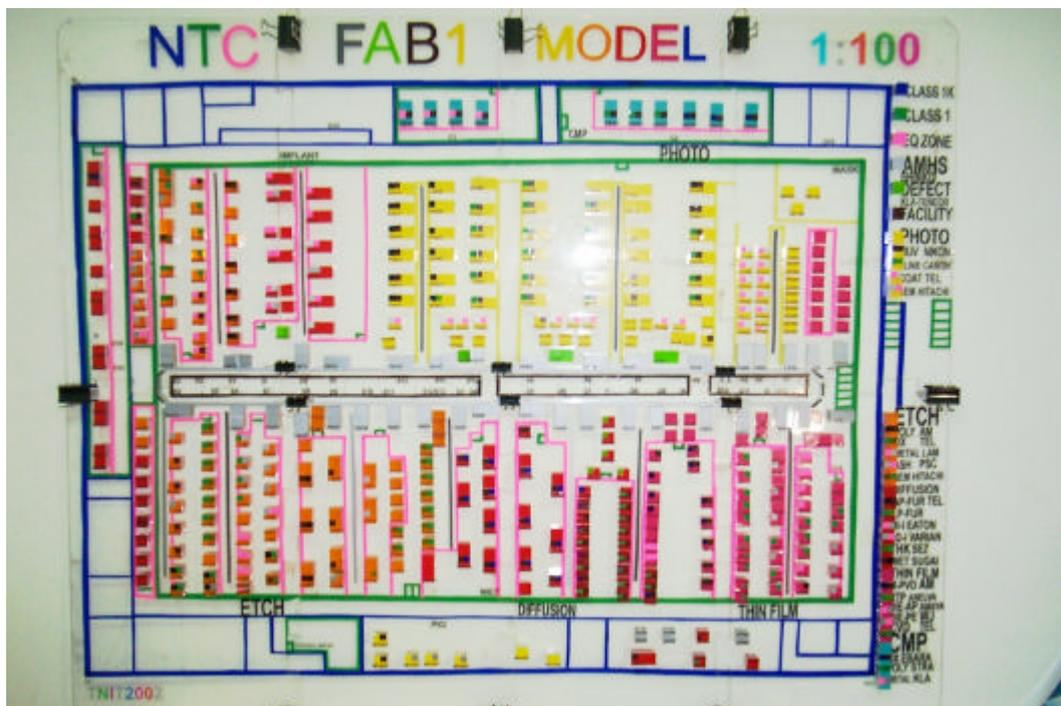


圖 2.5 本專題製作之八吋晶圓廠模型

第三章 八吋晶圓廠潔淨室之綜覽

本章說明一座晶圓廠無塵室主要的廠房廠務佈置區隔，也說明五大單元製程模組。除了相關原理與內容外，藉著本次專題製作之模型介紹與說明

3-1 潔淨室廠房佈置綜覽

3-1-1 潔淨室基本概念與主體佈置

潔淨室 (clean room) 又稱為無塵室，室內塵粒數目要比一般環境減少很多。潔淨室分類的標準定義，第一級 (class 1) 的無塵室是指在每立方英尺中，直徑大於 $0.5\mu\text{m}$ 的微粒數量必須少於 1 顆，潔淨等級相當高。第十級 (class 10) 的潔淨室則是少於 10 顆。class 1000 之微粒數量少於 1000 顆，其潔淨空調運轉成本將較 class 1 大幅降低 [1]。

一座製程技術 $0.25\mu\text{m}$ 之積體電路晶圓廠，需要 class 1 無塵室才能達到可接受的良率。圖 3.1 為無塵室內空氣所帶的粒子數目。

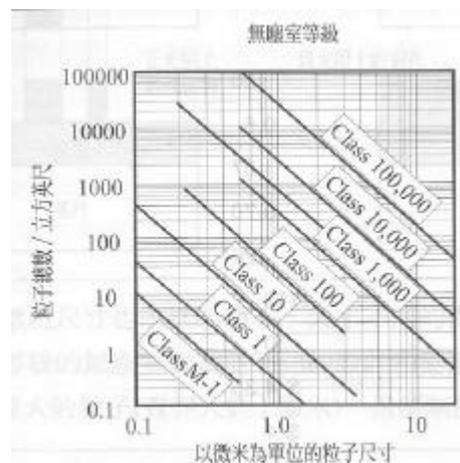


圖 3.1 為無塵室內空氣所帶的粒子數目

一座先進的無塵室基本結構，如圖 3.2 所示。地板通常是挑高的孔狀光行地板，以便氣流能夠從天花板垂直地流動到製程和設備區底下的區域。氣流再回送到無塵室，會先通高效率微粒空氣(HEPA)過濾器以去除所帶的大部分微粒。為了降低運轉成本，只有晶圓所在的製程區才需要最高級 class 1 的無塵室，設備區之等級較低 class 1000，其餘輔助性設備位於無塵室外圍區域。

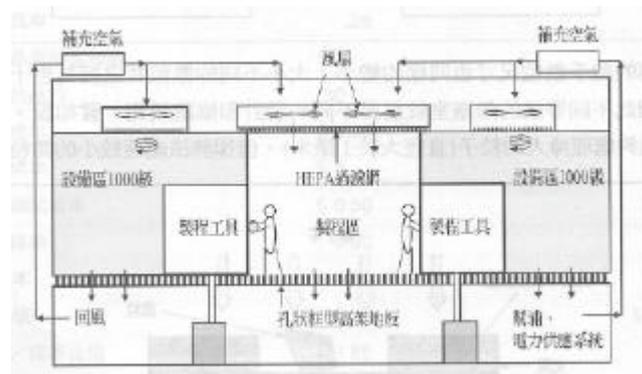


圖 3.2 先進無塵室之基本結構

為了達到潔淨度要求，層流 (laminar flow) 是必要條件，因為空氣擾流會將牆壁、天花板、桌子和機台表面的微粒帶入空氣中，造成良率損失。層流氣流可以將空氣中的微粒很快地帶走。

無塵室裡的氣壓永遠維持在比非無塵室區域要高 (positive pressure) 的狀態，以避免開門時造成空氣流入而帶進微粒。同樣的原理也適用在無塵室內的不同等級區域，較高等級區域 (例如：微影區) 的氣壓要比其他區域高。

一般而言，半導體廠務包括有水、電、空調和特殊氣體等輔助設施。

IC 生產的過程需要用到大量的水。濕式清洗需要用到高純度的去離子水 (de-ionized water, DI) 來沖洗晶圓。空調系統也要用到大量的自來水來進行冷卻，維持固定的溫度。

在製程中所用到的氣體、包括超高純度的氣體、純度較低的吹除淨化氣體 (purge gases)，如氮氣和用來驅動製程機台之氣動系統的乾燥空氣，而高純度的氮氣也被使用在 IC 製程中。大多數的製程氣體 (process gases) 都儲存在高壓鋼瓶內，並被放在特殊設計的氣櫃中。

一座 IC 工廠所消耗的電力是非常可觀的。以一個擴散爐為例，它可以消耗高達 28.8 千瓦 (480V x60A) 的電力。高溫爐是永遠保持在啟動狀態，除了必要的定期維護 (PM) 或是出了狀況時高溫爐才會停止運作，尤其是一座晶圓廠通常擁有超過五十座以上的高溫爐管。

工程師由辦公室 (百萬以上的塵粒) 進入到無塵室，通常會通過三道空氣淋浴 (air shower)。首先在管制口處，刷卡進入。將手洗乾淨後，進入第一道空氣淋浴。之後，穿戴口罩、頭罩、無塵衣、無塵鞋、與手套，也就是除了眼睛之外，身體其餘部位都包起來。再通過第二道空氣淋浴之後，便是 class 1000 的潔淨室。最後通過第三道空氣淋浴之後，便是晶圓所在位置之 class 1 的潔淨室。空氣淋浴進出門的設計是一開一關，不可進與出兩道門同時打開，否則灰塵就會跑進去無塵室內。無塵室內的溫溼度控制非常精確，溫度設定在 23 ± 0.5 °C。作業員與工程師在裡面工作是非常舒適的。

如圖 2.5 所示，藍色代表潔淨等級 class 1000，綠色代表潔淨等級 class 1。晶圓所處的空間位置是 class 1。褐色代表廠務，包括有水、電、空調和特殊氣體等。粉紅色代表是設備區，負責機台的保養與維修，敘述如下。

事實上，為數眾多的機器放在設備區（equipment zone or power zone）內，其潔淨等級為 class 1000。主要設計是可以降低生產區潔淨室運轉維護成本。本區是設備工程師主要工作區域，也是設備製造商人員裝機及維修之處。圖 3.3 顯示製程區與設備區之分別。

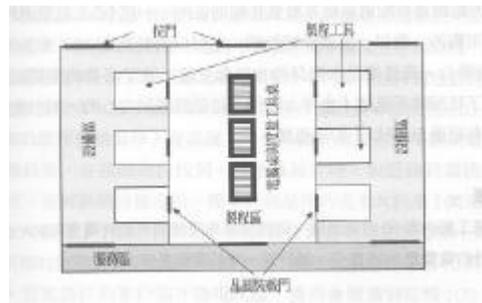


圖 3.3 潔淨室內之製程區與設備區的示意圖

3-1-2 潔淨室自動化概念與佈置

銀色代表自動物料搬運系統（AMHS），包含無人搬運車(AGV)、自動倉儲(stocker)、與頭頂式天車 (overhead vehicle, OHV)三部份。工廠自動化 (factory automation, FA) 是通稱的名詞，目前是由日本神剛公司（Shinko）所製作。

傳統上，晶圓製造廠(wafer fabrication)的物料搬運是採手推車，但隨者晶圓片尺寸由六吋、八吋，增大為 12 吋，人工搬運已無法負荷，加上產品

的良率 (yield) 及潔淨度等因素的考量，使得自動化物料搬運系統 (Automated Material Handling System , AMHS) 成為晶圓廠必要的配備。

一般而言，可將自動化物料搬運系統分為 Inter-bay 及 Intra-bay 兩種，目前國內外八吋晶圓廠的搬運設備仍以 Inter-bay 系統為主流，但近年來由於晶圓片尺寸已增大為十二吋。因此，在十二吋晶圓廠中導入 Intra-bay 系統可以說勢在必行。

由於搬運系統的運作績效將影響晶圓廠的整體績效，因此，在導入自動化物料搬運系統時，無論在規格設計、佈置規劃、車輛派送或人員安排等都應經審慎評估。

3-1-3 潔淨室缺陷檢測概念

淺綠色代表缺陷 (defect) 檢測，代表性機台是 KLA-Tencor。利用光學比對原理檢測晶圓是否異常，如同玉米的排列，只要有異常出現，必須盡快解決排除。提升產品良率、可靠性、與製程穩定性等。

3-2 五大單元製程區域綜覽

一般而言，半導體製程大致分成幾個模組區域，分別是黃光區 (photo-lithography)、蝕刻區 (etching)、擴散區 (diffusion)、薄膜區 (thin-film)

與化學機械研磨區(CMP)。此種佈置型態與機械加工廠裡之車床、洗床、磨床、鑽床等佈置相同。

黃光區主要有光阻塗佈(resist coating)、曝光(exposure)、顯影(development)、關鍵尺寸(CD, critical dimension)量測與重疊性(overlay)量測等製程步驟。圖 3.4 顯示本模型之黃光製程區。

蝕刻區之製程通常以對象分為多晶矽(poly-silicon)、二氧化矽(silicon dioxide)、金屬(metal)、濕蝕刻(wet etching)等組別。而設備通常是依不同的設備廠商分組,如 Applied Material、TEL、LAM、Hitachi 等組別。圖 3.5 顯示本模型之蝕刻製程區。

擴散區大致由清洗(wet cleaning)、離子植入(ion implanting)、爐管(furnace)三大類。其中爐管有兩種化學氣相沉澱(CVD),分別是低壓(LPCVD, low pressure)與常壓(APCVD, atmospheric pressure)。離子植入常分為高電流(HI)與一般電流,也可以分為高能量(HE)、中能量(ME)、低能量(LE)三類。圖 3.6 顯示本模型之擴散製程區。

薄膜區一般分成介電層(dielectric)與金屬層(metal)。工作範圍分佈在產品製程的中後半段。圖 3.7 顯示本模型之薄膜製程區。

化學機械研磨區是新興起的製程,功能是全域平坦化(global planarization),為先進產品所必要。主要分為多晶矽(poly-silicon)、二氧化矽(silicon dioxide)、金屬(metal)三種。圖 3.8 顯示本模型之 CMP 製程區。



圖 3.4 本模型之黃光製程區



圖 3.5 本模型之蝕刻製程區 - >

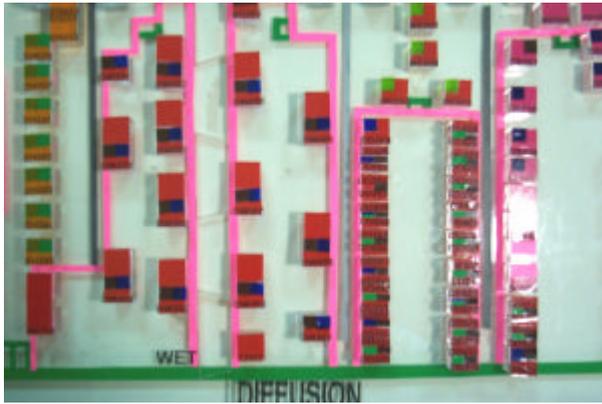
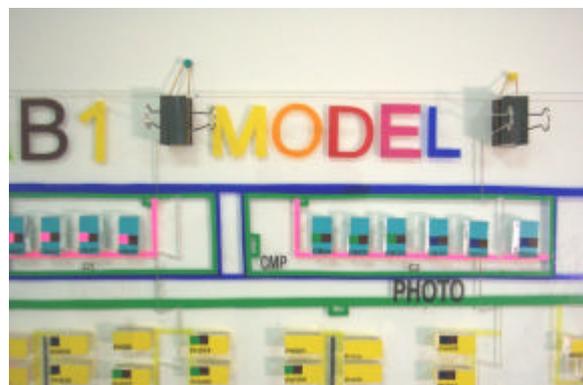


圖 3.6 本模型之擴散製程區



圖 3.7 本模型之薄膜製程區 - >

圖 3.6 本模型之 CMP 製程區



第四章 某家晶圓廠五大模組之製程與設備分類

一座八吋晶圓廠裡之機台數目高達數百部，每部機台各有其不同的製程功能，並來自於不同的設備製造商。本章將對此次專題製作之模型詳加說明。

半導體之 IC 產品製造需要數百道製程，可以分類成四類：添加製程、移除製程、圖案化製程，和加熱製程。其中，? 雜、薄層生長和沉積都屬於添加過程；蝕刻、清洗和研磨屬於移除過程；顯影技術是圖案化製程；而熱處理、合金化和再流動步驟（re-flow）都是加熱製程。

晶圓製程通常分隔成數個製程區間，包含了濕式製程區間（wet）、擴散區間（diffusion）、光學微影區間（photo-lithography）、蝕刻區間（etch）、佈植區間（ion implant）、薄膜區間（thin-film）以及 CMP 區間。製程工程師和生產作業員主要在這些製程區內工作。

底下說明本專題模型建構之五大單元模組區域，依顏色代表五個主要的區域分別敘述。

4-1 黃光區（photo-lithography）

顯影技術是將光罩上的設計圖案轉移到晶圓表面上的光阻層。步進機（stepper）是一部整合型機台，可以執行底漆（primer）、光阻塗佈、烘烤、

對準、曝光與顯影製程等步驟。在光學區間內也有一些量測機台，如光阻厚度光譜儀，疊蓋（overlay）、關鍵尺寸（CD）、圖案線寬（line width）掃描式電子顯微鏡。

黃光區又稱為微影區。色帶顏色是黃色，因為本區之燈光照明是黃色，避免光阻於曝光前之失誤感光。圖 4.1 顯示黃光區機台之製程與設備細部分類。依製程屬性分類由上而下依次為：

- 藍：DUV，deep ultra violet，深紫外光波長 248nm
- 綠：I-LINE，紫外光波長 365nm
- 粉紅：COAT，photo-resist coating，光阻塗佈
- 銀：SEM，scan electron microscope，掃描式電子顯微鏡，作為微影結束後之關鍵尺寸（CD, critical dimension）線寬量測

依設備供應商分類由上而下依次為：

- 褐：NIKON，日本尼康 NIKON 公司，主要是供應 DUV stepper
- 淺綠：CANON，日本 CANON 公司，主要是供應 I-line stepper
- 銀：TEL，日本東京威力公司 Tokyo electronics limited corporate，主要是供應光阻塗佈機
- 粉紅：HITACHI，日本日立公司，主要是供應 SEM tool

4-2 蝕刻區（etching）

當光阻形成圖案後，便可依照光阻定義的圖案蝕刻晶圓，屬於永久性地

將設計圖案轉到晶圓表面上。蝕刻是一種利用化學與物理原理來選擇性地移除晶圓表面的材料。一台電漿蝕刻機通常是由真空反應室、射頻系統、晶圓傳送機制和氣體輸送系統所組成。

蝕刻製程常使用於四種應用。(1) 介電質蝕刻：矽氧化物 (oxide) 和氮化物 (nitride)，作為接觸窗、接合墊片區、硬遮蔽層 (hard mask)。(2) 矽蝕刻：單晶矽，作為淺溝槽絕緣 (STI, shallow trench isolation) 或電容器的深溝槽 (deep trench)。(3) 多晶矽蝕刻：多晶矽或金屬矽化合物與多晶矽堆疊的薄膜以形成閘極和局部連線 (local interconnect)。(4) 金屬蝕刻：金屬導線。

蝕刻區以乾式電漿蝕刻 (plasma etching) 為主，底層色帶顏色是橘色，根據某種電漿之顏色。圖 4.2 顯示蝕刻區機台之製程與設備細部分類。依製程屬性分類由上而下依次為：

- 藍：POLY, poly-silicon, 多晶矽導體之蝕刻
- 綠：OX, silicon di-oxide, 二氧化矽絕緣體之蝕刻
- 粉紅：METAL, metal layer, 金屬層導體之蝕刻
- 銀：ASH, resist ashing, 蝕刻後之光阻去除
- 淺綠：SEM, 掃描式電子顯微鏡, 作為蝕刻結束後關鍵尺寸之線寬量測

依設備供應商分類由上而下依次為：

- 褐：AM，Applied Material，美國應用材料公司，全球最大
- 淺綠：TEL，日本東京威力公司，全球第二大
- 銀：LAM，Lam Research，美國公司
- 粉紅：PSC
- 綠：HITACHI，日本日立公司，主要是供應 SEM tool

4-3 擴散區 (diffusion)

擴散區是進行加熱製程的區域。這些製程可能是添加製程，如氧化、LPCVD 和擴散參雜；或者是加熱製程，如佈植後 (post implant) 熱處理、參雜物驅入 (drive-in) Annoy 熱處理，或介電質的再流動步驟 (re-flow)。氧化、LPCVD 和擴散參雜製程以及加熱製程都是在擴散區間的高溫爐中進行。

高溫爐屬於批量 (batch) 製程機器，它能夠同時處理超過 100 片的晶圓。由於佔地面積較小以及較佳的汙染控制，因此在先進的積體電路生產工廠均以直立式高溫爐來取代水平式高溫爐。有些生產工廠也採用單片晶圓反應式的群集工具 (cluster tools) 來進行多晶矽和氮化矽 CVD 以及金屬矽化合物熱處理的製程。

- 離子佈植可以應用於 CMOS 井區之高能量與低電流佈植，源汲極之低能量與高電流佈植。其它應用是中電流與中等能量的佈植。濕式清洗機進行光阻剝除、濕式蝕刻和濕式清洗製程。經常使用氫氟酸、

鹽酸、硫酸、硝酸、磷酸與過氧化氫等酸液，並且使用大量高純度的去離子水（DI, de-ionized water）來清洗晶圓。濕式製程通常分成處理、清洗和吹乾步驟。機台屬於批量設備，可以一次處理多個裝有 25 片晶圓的晶匣（cassette）。機械手臂從載入（load）位置將開盒拿起後，浸入酸液中，經過所需時間後，再將晶匣取出並放入去離子水清洗槽中，將晶圓表面的化學藥品洗除。接著晶匣會被放到旋乾機內，利用高速旋轉將晶圓旋乾。最後將晶匣放在載出（unload）位置。

擴散區之高溫製程以紅色之底層顏色作為代表。晶圓廠內可以分成三個主要製程區塊，分別是爐管（furnace）、離子植入（ion implant）。各區塊可以再細分之。圖 4.3 顯示擴散區機台之製程與設備細部分類。

依製程屬性分類由上而下依次：

- 藍：AP-FUR，atmospheric pressure，常壓爐管化學氣相沉積
- 綠：LP-FUR，low pressure，低壓爐管化學氣相沉積
- 粉紅：HI-I，high current，高電流離子植入
- 銀：LO-I，low current，中低電流離子植入
- 淺綠：THK，thickness，厚度量測
- 褐：WET，wet bench or wet cleaning，濕式清洗機

依設備供應商分類由上而下依次為：

- 褐：TEL，日本東京威力公司，主要提供垂直式爐管
- 淺綠：無
- 銀：EATON，高電流離子植入機
- 粉紅：VARIAN，中低電流離子植入
- 綠：SEZ，單一晶片式 (single-wafer) 濕式清洗機
- 藍：SUGAI，批次式 (batch) 濕式清洗機

4-4 薄膜區 (thin-film)

薄膜區間主要是沉積介電質與金屬層。由於介電質在作多層連線 (multi-level inter-connection) 應用時，需要較低溫度，因此電漿增強型化學氣相沉積法 (PE-CVD) 廣泛的使用，其空隙 (gap-fill) 能力佳。

在金屬化區間中，PVD 可濺鍍沉積鋁銅合金、鈦以及氮化鈦，CVD 廣泛沉積鎢金屬。PVD 製程通常在一個非常高真空度的反應室進行，避免濕氣造成金屬氧化。薄膜區間常使用之量測工具是光反射係數光譜儀、橢圓光譜儀、稜鏡耦合器、應力量測計、四點探針、反射儀、輪廓量測器等。

薄膜區屬於晶圓廠中後段製程，溫度較低，以粉紅色代表。圖 4.4 顯示薄膜區機台之製程與設備細部分類。依製程屬性分類由上而下依次為：

- 藍：M-PVD，metal physical vapor deposition，金屬物理氣相沉積
- 綠：RTP，rapid thermal processing，快速熱製程
- 粉紅：DIE-AP，dielectric atmospheric pressure，介電層常壓 CVD

- 銀：DIE-PE，dielectric plasma enhanced，介電層電漿 CVD
- 淺綠：CVD，chemical vapor deposition，化學氣相沉積

依設備供應商分類由上而下依次為：

- 褐：AM，Applied Material，美國應用材料公司，主要提供 PVD
- 淺綠：ANELVA
- 銀：AMAYA
- 粉紅：WJ，Watkins Johnson，主要提供 APCVD
- 綠：TEL，日本公司

4-5 化學機械研磨區（CMP）

化學機械研磨是一種移除步驟。這個步驟是組合機械研磨和濕式化學反應將材料從晶圓表面剝除，廣泛使用的 CMP 製程包含二氧化矽、鎢金屬 CMP，以及最新的銅金屬。

CMP 後段（post-CMP）的清洗動作，確保 CMP 製程的良率是非常重要的，所以有些 CMP 機台整合了濕式清洗工作站，組成所謂的乾進（dry-in）與乾出（dry-out）CMP 系統。

細微的粒子在 CMP 扮演如同研磨料的重要角色，如矽玻璃（silicate glass）CMP 研磨漿中的二氧化碳或二氧化鈾；以及金屬 CMP 研磨漿中的氧化鋁。晶圓廠內的 CMP 區通常是與其他製程區間隔離以避免微粒物質的交叉汙染。

化學機械研磨屬於新進發展成功之製程機台，以靛色表示，由研漿（slurry）中之晶圓顏色作代表。圖 4.5 顯示 CMP 區機台之製程與設備細部分類。依製程屬性分類由上而下依次為：

- 藍：OX，silicon di-oxide，二氧化矽絕緣體之研磨
- 綠：POLY，poly-silicon，多晶矽導體之研磨
- 粉紅：METAL，金屬層之研磨

依設備供應商分類由上而下依次為：

- 銀：KLA，美國 KLA-Tencor 公司，提供研磨製程後，晶圓上缺陷（defect）之檢查機台
- 綠：STRA，美國 Strausbaug 公司，只有一部
- 褐：EBARA，日本 EBARA 公司，多部機台



圖 4.1 黃光區機台之製程與設備細部分類



圖 4.2 顯示蝕刻區機台之製程與設備細部分類 - >



圖 4.3 擴散區機台之製程與設備細部分類

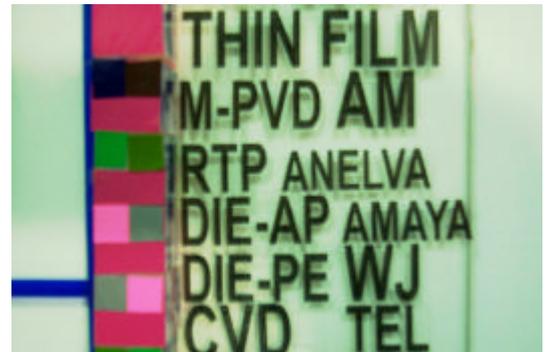


圖 4.4 薄膜區機台之製程與設備細部分類 - >



圖 4.5 化學機械研磨區機台之製程與設備細部分類

第五章 結論

本專題製作之八吋晶圓廠模型，長度比例是實際晶圓廠的百分之一，寬度 150 公分，高度 120 公分，此大小極適合於教室裡之教學使用。具有快拆快裝可攜帶性，充分呈現半導體潔淨室之整體面貌，可作為半導體課程與自動化相關課程之教材教具，用途相當廣泛。

模型主體材料是採用壓克力製作，每一壓克力方塊代表一台潔淨室設備，上面使用十幾種不同顏色色帶，將潔淨室區分成數個不同單元之製程設備。再加上方塊上之機台編號與分類色帶，具備豐富完整的潔淨室廠房佈置資訊，可以作為廠房佈置最佳化、排程模擬、製造自動化、生產管理等研究性主題之參考。

本模型屬靜態展示用，可進一步製作成動態式之模型。事實上，仍有一些缺失值得改進，包括細部分類工作仍待完成，並且部份製作較不美觀等。希望下一階段可以進一步改善之。

參考文獻

- 【1】 Introduction to Semiconductor Manufacturing Technology, Hong Xiao, Prentice-Hall, 2001, 半導體製程技術導論，羅正忠 張鼎張 譯，歐亞書局，91 年
- 【2】 NTC FAB1 Layout，南亞科技公司，1999