

第一章 緒論

1.1 研究動機

由過去整個半導體產業來看,台灣確實累積了相當多的豐富經驗,但是這個優勢目前面臨大陸市場開放的競爭以及國內半導體人才外移至大陸的情況,而對台灣半導體產業產生相當大之影響,繼大陸中芯積體電路於 2000 年 9 月動土及宏力半導體於 2000 年 11 月奠基之後,即揭開台灣與大陸之間的激烈競爭。台灣半導體產業在大陸的威脅下,如何繼續保有自身的競爭優勢--良率,是一個非常重要的議題。因此,本研究以改善晶圓良率為主題,以新竹科學園區某家半導體廠所發生的閘極缺陷案例為研究對象,找出一個可改善其晶圓良率之最佳方法。此閘極缺陷問題會讓矽化鎢沉積後之表面形成小凸起的現象,以致在閘極線路製作完成後發生嚴重的線路橋接問題,讓晶圓良率降至 3 % 左右,因此本研究除希望能夠利用實驗設計(Design of Experiments, DOE)的方法來解決該公司所遭遇的閘極缺陷的問題外,也希望藉由本研究來達到拋磚引玉的作用,讓業界能夠更加重視實驗設計方法來解決其製程上缺陷問題並縮短整個製程改善時間,使實驗設計能夠在台灣半導體製程良率改善上能夠獲得業界的重視。

1.2 研究目的

要改善晶圓缺陷相當不易,因為半導體的製程少則有 100 至 200 道步驟,多則有 200 至 500 道步驟。在這樣複雜的製程中要找出製程上哪一個機台出了問題相當不容易,更何況還要解決相關機台或製程上的異常問題。由於在晶圓上所遭遇之缺陷問題相當多,例如 Peterson[16]提到關於黃光區域中所產生的一些問題,如圖 1-1 及圖 1-2 所示。圖 1-1 主要在說明晶片在表面所發現黃光之微小缺陷問題,如光阻洗邊(edge bead removal,EBR)太寬會造成完整晶圓顆粒(die)的損失而直接影響良率,而定點曝光不良(hot spots)的問題則是由於黃光曝光機構內的 E-chuck 上有異物或晶片背面有異物殘留而導致曝光時有局部失焦的問題所造成。圖 1-2 主要說明晶片之剖面圖上所發現之黃光『微小缺陷』的問題,如關鍵尺寸(critical dimension,CD) 差異問題,主要是因為黃光在能量和焦距設定不適當,以致黃光在曝光後之圖像產生 CD 值異常。

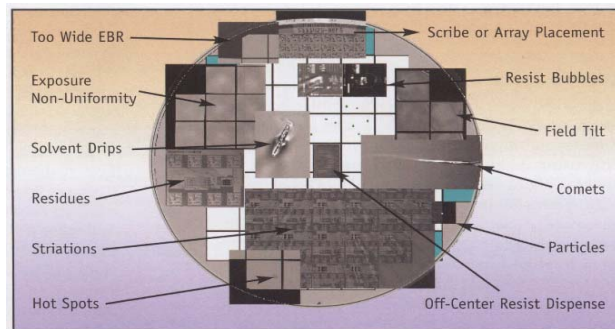


圖 1-1 黃光微觀缺陷

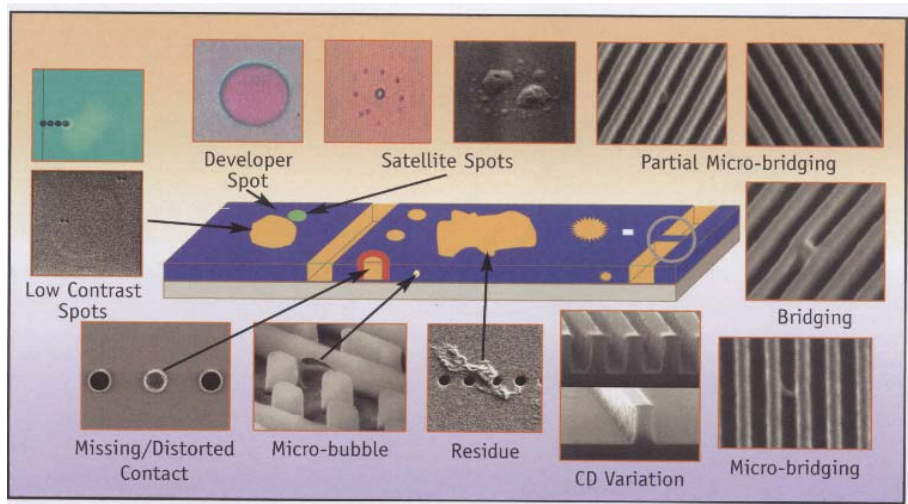
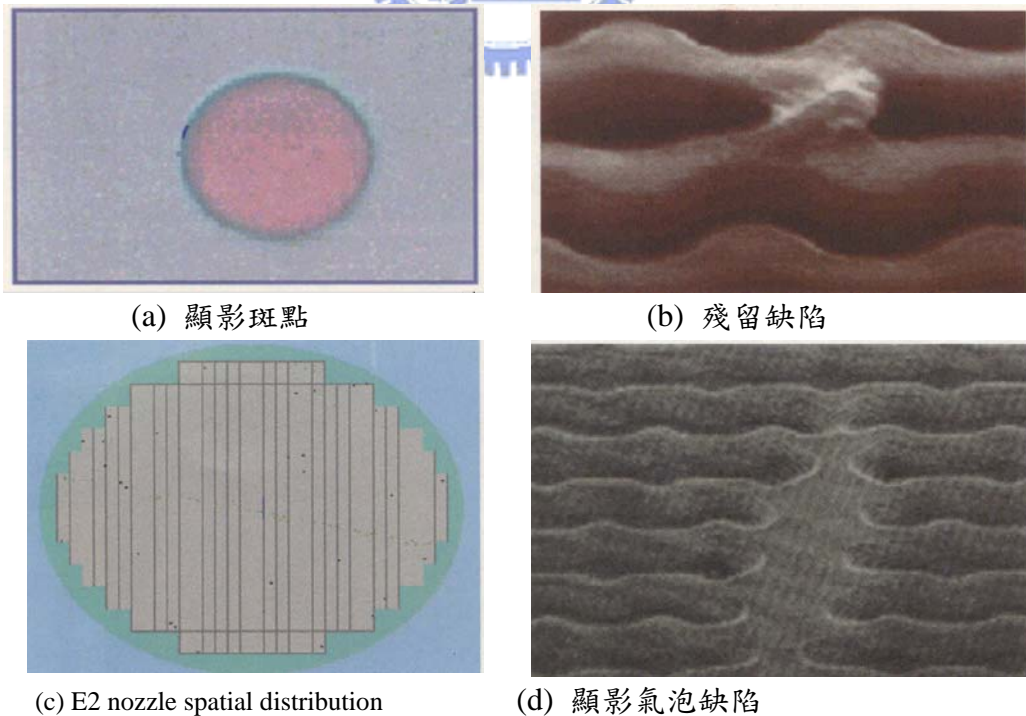


圖 1-2 黃光微觀缺陷剖面圖

Peterson [17]提出有關黃光區域所發生的典型問題有相關照片及晶片圖 (wafer map)如圖 1-3 所示。圖 1-3 所發生之顯影斑點(Developer spot)缺陷主要成因是顯影後之殘留物,此乃為顯影後超純水清洗不夠所產生的問題;而殘留缺陷 (Residue defect) 主要是光阻本身或光阻管路有結晶物所產生的問題,此結晶物會導致光阻曝光不良而讓後續的蝕刻製程產生異常之橋接(Bridge)現象; E2 nozzle spatial distribution 在半導體業界簡稱『值星帶』,主要成因是顯影系統之顯影管路或 E2 噴嘴或顯影過濾器髒污所造成之顯影後污染的問題;最後顯影氣泡缺陷 (developer bubble defect)主要是顯影系統在整個管路中有氣泡殘留所致,此問題會造成顯影後光阻在成像上有嚴重之橋接問題。



(a) 顯影斑點

(b) 殘留缺陷

(c) E2 nozzle spatial distribution

(d) 顯影氣泡缺陷

圖 1-3 黃光典型缺陷問題

半導體缺陷問題由以上資料可以得知,單一個黃光區所產生的缺陷問題就很複雜,更何況再加上其他區域(包括蝕刻、擴散、薄模)所產生的問題。因此在從事半導體良率改善之實驗結果通常無法令人滿意。由於實驗設計方法不只有較少之實驗次數作實驗,並且考慮到各因子間之相互關係。本研究以新竹科學園區某半導體廠發生之閘極缺陷問題為個案研究,利用實驗設計方法,希望在最短時間內能夠將真正問題找出來並加以解決,以防止缺陷問題再一次發生,而達成提昇晶圓良率及降低晶圓生產成本之目的。本研究結論可以讓晶圓廠能夠在日趨惡劣的競爭環境中繼續保有競爭優勢。

1.3 研究架構

本計劃書共分成四章,第一章為緒論,說明本研究之動機、目的與架構;第二章為文獻探討,介紹實驗設計及混酸在半導體業的應用、物理洗淨技術、擴散製程等方面之相關文獻;第三章則利用新竹科學園區某家半導體晶圓廠在製程中所產生的晶圓良率資料進行分析,並運用實驗設計方法來找出製程上的主要問題點,以改善此缺陷問題及提升良率;第四章為本研究之後續工作及預期貢獻。



第二章 文獻探討

由於改善半導體晶圓缺陷改善之資料相當缺乏,本章僅介紹實驗設計相關文獻及與本研究有關的半導體文獻。

2.1 實驗設計(Design of Experiments;DOE)

一般來說,實驗是用來研究一個製程或系統的表現,而一個製程或系統可以圖 2-1 表示之。

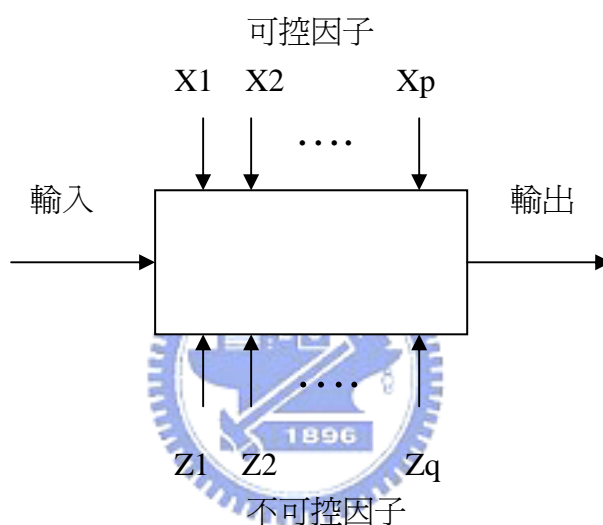


圖 2-1 一個製程或系統的廣義模型

實驗設計可探討多個輸入變數的效應同時對輸出(反應)變數之影響。實驗設計包含一連串的實驗點(run)或測試點,此指對輸入變數或因子進行有目的的改变,然後收集其輸出變數的數據。品質專業人員通常都會用實驗設計來確認影響流程的組合與產品元件,然後決定可以使輸出變數達到最佳結果的所有輸入變數(因子)水準之最佳設定。此處所謂輸出變數的最佳結果可能是望大(越大越好)、望小(越小越好)或望目(達到某一個目標值)。

實驗設計的三個基本原理(或基本原則)為:a.重複(replication):同一次實驗重複做幾次在統計分析上是非常重要的,增加重複次數可提高實驗結果之可靠性;b.隨機排列(random arrangement):隨機化是實驗設計中使用統計方法的基石,實驗本身透過隨機化,可消除(average out)可能出現之外來因子的干擾;c.區集劃分(Blocking):區集劃分可增加實驗精確度,能有效地控制實驗誤差。

實驗設計需要經過一連串嚴謹的實驗步驟來完成,其執行步驟如下:

- 步驟 1 瞭解問題的敘述
- 步驟 2 定義應變數或品質特性
- 步驟 3 選擇因子(自變數)和水準數(Level)
- 步驟 4 選擇適當的實驗設計
- 步驟 5 執行實驗
- 步驟 6 資料分析
- 步驟 7 結論與建議

經過以上執行步驟所得到寶貴之資訊,可將實驗的一些有利資訊推展至產品製程中進行最終製程改善。

2.1.1 實驗設計歷史演進[1]

實驗設計是一門應用統計學。早在 17 世紀,一位著名的阿拉伯醫師 Aricenna 就提到醫學實驗方法,在他七條試驗規則中就曾提到藥品用於治療疾病實驗時,要自由分配給病人服用(隨機),每種藥品要實驗多位病人(重複),且要用於人體的實驗才有實質的意義,若用於牛、馬或豬的實驗結果要應用於人體疾病的治療就無意義了。到了 18 世紀,在農業上就有比較進步的試驗方法,一位 23 歲英國農藝學家 Arithu Young 於 1763 年繼承父親一大片農場,他決定自己從事實驗工作來提高作物的產量,以獲取更大的利潤。經過幾年的田間試驗,終於在 1771 年發表了三大巨冊有關農作物的栽培法。他強調,實驗目的在於比較,要把兩種(或多種)欲比較的栽培法或作物品種同時同地放在一起試驗,才能分出其優劣來。Young 以小麥條播法(新栽培法)與撒播法(一般農家栽培法)來比較小麥的產量。因為作物的生長受土壤肥力,病蟲害及氣候等環境的影響很大,所以必須同時於相鄰的土地上栽培才有相似的條件,比較其試驗的結果才可靠。Young 又認為一次的試驗結果可能不足以採信,因此他把兩種耕種法在七塊同大小之田地上栽培,每塊田區劃分為二,而成試區(plot),每試區之面積大約為半畝或 1/4 畝。將七塊試區小麥收量合併再比較其高低。其後 Young 又認為每年氣候條件不同,兩種耕種法每年實驗結果產量有異,因此將此實驗連續做 5 年,再綜合 5 年實驗結果作最後結論。Young 之重複實驗法即為今日從事實驗研究之標準法,雖然他的試驗結果沒有統計學上之數量分析,可是他的見解深深影響今日的試驗研究法。

到了 19 世紀 Johnston 在農業實驗(experiments of agriculture)一書中發表了機會誤差(probable error)(簡稱機差)的觀念。Johnston 發現相鄰兩試區同品種作物產量雖然相似卻不相同,因此他建議相同的試驗要重複做幾次,以便估算其誤差,但他並沒有告訴我們誤差的估算法。在本世紀對於試驗世紀尚可一提的為英人 Lawes,他實驗各種人造肥料對農作物生長的影響,起先他把各種肥料施用於一大區(plot),試驗後他發現數年的實驗結果之平均數似乎較一年的實驗結果合理可靠,因此他也沿用 Young 的方法,將一大區劃分為二,並分別收穫,再比較各種肥料對作物收量的高低。後來丹麥人 P.Nielson (1880)從事牧草品種草收量比較試驗時,即依牧草品種(以 A,B,C,D 代表)排列如下:

BCAD

DABC

每一品種重複種兩次,此種設置重複的實驗比較合理。到了19世紀末葉及20世紀初期,實驗設計(其實也稱為田間試驗)又進入另一境界。Wagner於(1898年)已考慮實驗單位(experimental unit)(即試區)之形狀及大小(shape and size)問題,他採用多重覆小試區的試驗法,每一試區可能為100平方米或1/40畝,比Young之試區要小很多。到了1919年英人R. A. Fisher進入Rothamsted實驗農場工作,而於1923年發表變異數分析(analysis of variance)理論,以估算試驗誤差,至此實驗統計學有了劃時代的進步。在實驗統計學的發展史上是最重要的一年。Fisher利用空白試驗(blank test),規畫了各種實驗設計法,於是他在1925年首創隨機區集設計(randomized block design)及拉丁方設計(latin square design)兩種著名的實驗設計法。他強調實驗時隨機排列及環境控制的重要性,以有效減少誤差。爾後10年間(1926-1935),Fisher陸續發表多因子設計(factorial design),交絡設計(confounding design)及共變異分析(analysis of covariance)等,今日我們仍然沿用的實驗設計法,對近代實驗統計學之貢獻及影響至深且具,因此英人Frank Yates稱讚Fisher為實驗統計之先驅(拓荒者),之後還有像F. Yates, R. C. Bose, O. Kempthorne, W.G.Cochran, R.H.Myers, J.S.Hunter與W.G.Hunter等許多對實驗設計有重大貢獻的人。因此實驗設計發展至今已有相當良好的理論基礎,足可應付一般及複雜的實驗研究。

2.1.2 傳統實驗與實驗設計方法之比較

a. 傳統實驗方法

傳統的實驗方法是採取一次調動一個因子的設計法,改變某一個因子,如果此改變會產生好的結果,則保留此設定並改變一個其他因子;如果改變某一個因子會造成不好的結果,則將它設回原來的設定值並試著再改變其它因子。傳統的實驗方法主要缺點為:不能保證可以找到最佳解以及實驗結果是依第一次的改變之因子而定。

b. 實驗設計

實驗設計主要是在既有的設備下以最經濟,有效的方法取得有用的數據,然後進一步透過統計分析來建構一個受外來變異影響最小的因子水準組合以符合生產目標(如良率)之最佳生產條件組合。

整個實驗設計的過程包含兩大步驟:規畫實驗與分析實驗數據。若歷史資料不易取得或歷史資料不具有分析的價值,則應採取實驗設計方式取得有效資料來進行分析。

以下是實驗設計與傳統實驗方法之比較:

傳統實驗方法	實驗設計
● 不能保證可以找到最佳解	● 可以利用數學方法找尋最佳解並利用統計方法加以驗證
● 未考慮交互作用,因子之效應假設為線性	● 在設計時考慮因子之交互作用
● 無效率且需較長之實驗時間	● 有效率及實驗時間較短

2.1.3 隨機化集區設計(Randomized Complete Block Design;RCBD)

隨機化集區設計為 paired t-test 的推廣(generalization)。例如:某化學家正研究化學觸媒的反應速率,每一天僅能有效地分析五種觸媒,因為每天的差異可能影響到化學觸媒的反應速率,欲消除每一天對化學觸媒的反應速率,則用隨機集區設計,即把每一天視為一個集區,並且每天所有五種化學觸媒均以獨立隨機順序測試之。而在發展隨機集區設計的變異數分析時,必須考慮處理(treatment)及集區(block),但重點仍是放在檢定各處理間是否有差異,而非集區變數是否有差異。如上例中,我們的主要興趣仍是比較五種化學觸媒與反應速率的差異。”每一天”間的差異只是附帶檢定,若”每一天”間無明顯的差異,則在未來的實驗中即可不必考慮”每一天”這個集區因素。隨機集區設計的主要目的是將誤差項中因集區變數所引起之變異去掉,以能更精確的比較出各處理間是否有差異存在。如此,減少實驗誤差,增進實驗結果的精確度。

隨機化集區設計之統計模型(statistical model),假設我們有 a 個處理要比較 b 個集區。在每個集區裡每個處理各有一個觀測值,和每個集區中處理進行的順序是隨機決定的,因為唯一的處理隨機化是在集區裡,我通常稱集區代表是一個受制的隨機化(restricted randomization)。

此設計的模式是:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad \begin{cases} i=1,2,\dots,a \\ j=1,2,\dots,b \end{cases}$$
$$\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$$

其中 μ 是總平均, τ_i 是第 i 個處理的效應, β_j 是第 j 個的集區的效應,和 ε_{ij} 是一般的 $NID(0, \sigma^2)$ 隨機誤差項。處理和集區暫時考慮為固定效應因子。在者,處理和集區效應都是定義為從總平均的離差,所以 $\sum_{i=1}^a \tau_i = 0$ 和

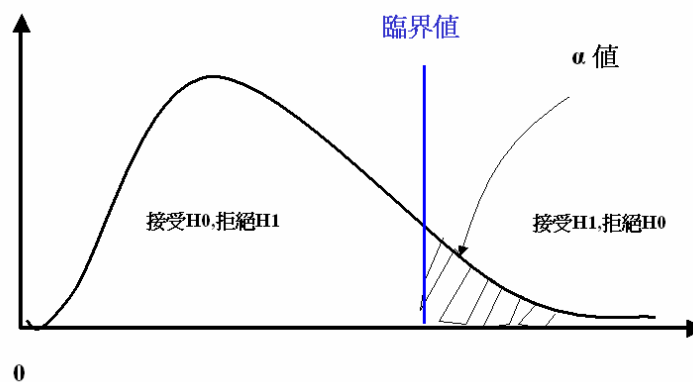
$\sum_{j=1}^k \beta_j = 0$, 其檢定假設如下:

(1) 檢定處理平均相等與否

$$H_0: \tau_i = 0$$

H1: 至少有一個 $\tau_i \neq 0$

而所使用之檢定統計量為 $F = MS_{Tr} / MSE$, 自由度為 $[(a-1), (a-1)(b-1)]$ 來和 $F_{\alpha, (a-1), (a-1)(b-1)}$ 臨界值比較是否位於棄卻域(位於臨界值右邊)或接受域(位於臨界值左邊), 並以此來檢定各處理間是否有無顯著相關性存在。如下圖所示:

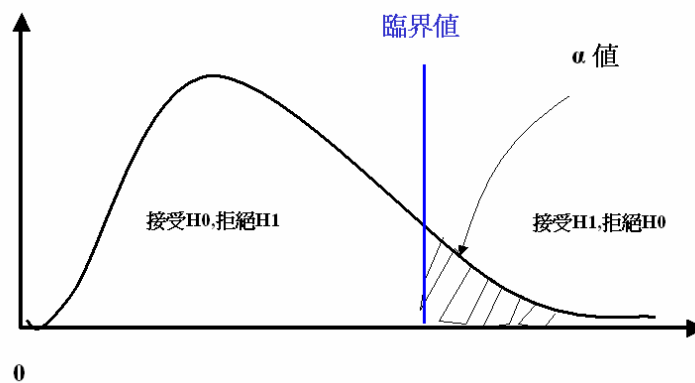


(2) 檢定各集區間平均相等與否

$$H_0: \beta_j = 0$$

H1: 至少有一個 $\beta_j \neq 0$

而所使用之檢定統計量為 $F = MS_{Blocks} / MSE$, 自由度為 $[(b-1), (a-1)(b-1)]$ 來和 $F_{\alpha, (b-1), (a-1)(b-1)}$ 臨界值比較是否位於棄卻域(位於臨界值右邊)或接受域(位於臨界值左邊), 並以此來檢定各集區間是否有無顯著相關性存在。



一般手算之計算公式如下所示：

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$$

$$SS_{Tr} = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^a y_{i.}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$$

$$SS_{Blocks} = \frac{1}{a} \sum_{j=1}^b y_{.j}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr} - SS_{Blocks}$$

將此分析程序摘要成如表 2-1 的 RCBD 的變異數分析表:[2]

表 2-1 RCBD 的變異數分析表

變異來源	平方和	自由度	均方	F0
處理	SSTr	a-1	SSTr/a-1	MSTr/MSE
集區	SSBL	b-1	SSBL/b-1	MSBL/MSE
誤差	SSE	(a-1)(b-1)	SSE/(a-1)(b-1)	
總和	SST	N-1		

2.2 混酸在半導體業的應用

混酸在半導體的製程運用主要是去除半導體相關的一些異物(particle)、金屬不純物、有機物、氧化層等...,以維持矽晶圓表面的之最佳潔淨度,以提高整體晶圓製程的良率。半導體的基本製程一般可以分成潔淨、黃光、蝕刻、擴散、薄膜、平坦化等等。以下就陳文章[3]在積體電路製程及設備技術手冊中的半導體製程材料及化學品論文中所提到的半導體製程上所使用的相關材料與化學品彙整如表 2-2。

表 2-2 半導體製程材料及化學品

製程	材料之化學品	
潔淨	Particle	NH ₄ OH/H ₂ O ₂
	金屬不純物	H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂ ,HCl/H ₂ O ₂ /H ₂ O,HNO ₃ /HF/H ₂ O
	有機物	H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂ ,NH ₄ OH/H ₂ O ₂ /H ₂ O
	氧化層	HF/H ₂ O
	乾燥	IPA
微影技術	曝光	光阻劑 (g-line,I-line,Deep UV 光阻)

		顯影	顯影劑
蝕刻		SiO ₂	HF, HF/NH ₄ F(BHF)系
		Si非晶矽	HF/HNO ₃ /CH ₃ COOH系
		SiN ₄	H ₃ PO ₄
		Al	H ₃ PO ₄ /HNO ₃ /CH ₃ COOH系
化學氣相沈積	Dielectric Precursor		TEOS, TMPI, TMB, TDEAT, TAETO, DMAH TDMAT, Ba _{1-x} Sr _x TiO ₃ Precursor
		Metal Precursor	Cu, Al, Ti Precursor
平坦化	SOG	Silicate, Siloxane	SOG 液
	CMP	Dielectric film	SiO ₂ slurry, PU Pad, carrier film
		Metal film	Al ₂ O ₃ slurry, PU Pad, carrier film

2.2.1 濕式清洗製程

濕式清洗技術是 60 年代由 RCA 公司研發出來,使用至今已有之相當歷史,原因是因為目前尚未有新的清洗技術可以取代它 (APM SC-1, HPM SC-2), 故其仍然在半導體的領域之中屹立不搖。濕式清洗技術之功能主要有:a.他能有效去除在經片表面的各式污染源,並且不會造成晶圓表面的缺陷與刻痕或刮傷等;b.使用操作相當方便。就林義凱[4]在半導體科技之濕式清洗檯操作危害及安全防範的論文中,針對 RCA 清洗技術及其他三種潔淨方式做了簡要說明如下:

RCA Standard Clean (SC-1, 又稱 APM)— NH₄OH/H₂O₂/H₂O 主要是應用在微粒子之清除。利用 NH₄OH 之弱鹼性來活化 Si 晶片的表層,將附著於表面之微粒子去除,此外 NH₄OH 具強化合力,也可同時去除部分金屬離子。一般是以 NH₄OH:H₂O₂:H₂O = 1:1:5 之體積比例混合液在 70°C 溫度下進行 5 分鐘之浸泡清洗。

RCA Standard Clean (SC-2, 又稱 HPM)— HCl/H₂O₂/H₂O: 主要是應用在金屬離子之去除。利用 HCl 所形成之活性離子易於金屬離子化合之原理。一般是以 HCl:H₂O₂:H₂O = 1:1:6 之體積比例混合液在 70°C 溫度下進行 5~10 分鐘之浸泡清洗。

Piranha Clean (SPM)— H₂SO₄/H₂O₂: 主要是應用在有機化合物之去除。利用 H₂SO₄ 之強氧化性來破壞有機物之碳酸鍵結。一般是以 H₂SO₄:H₂O₂ = 4:1 之體積比例混合液在 130 °C 溫度下進行 10~15 分鐘之浸泡清洗。

Dilute HF Clean (DHF)— HF/H₂O: 主要是應用在清除矽晶片表面自然生成之二氧化矽層,由於此氧化物層厚度有限(約在 1~1.5um),一般均使用經稀釋處理之 HF (以 HF 1% 最為普遍) 在室溫下與 SiO₂ 形成 H₂SiF₆ 之方式去除之。清洗時間一般在 15~30 秒。

而下表為陳宏銘[5]於電子月刊中之濕式化學清洗技術與設備研究動向的文章中有彙整之不同清洗液及其使用目的,可供參考其如下表 2-3 所示:

表 2-3 清洗液在半導體扮演角色

清洗液名稱	目的
1.APM: NH ₄ OH/H ₂ O ₂ /H ₂ O	去除微粒、金屬離子與輕有機物
2.HPM:HCl/H ₂ O ₂ /H ₂ O	去除重金屬離子、鹼金屬離子與金屬氫氧化物
3.DHF: HF/H ₂ O	去除自然的二氧化矽層、矽玻璃 (PSG, BPSG) 以及銅以外的金屬離子使裸露矽層提供其他化學液作用
4.SPM:H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂	去除重有機物與氧化物
5.FPM:HF/H ₂ O ₂ /H ₂ O	去除自然的二氧化矽層
6.BHF:HF/NF ₄ F	去除氧化薄膜
7.Hot H ₃ PO ₄	氮化矽層之圖案製作或去除

以上兩篇論文章所介紹的濕式清洗的製程目前在業界被廣泛使用,但是一般來說主要是由 RCA SC-1 SC-2 兩段步驟並搭配 SPM 及 DHF 為主流,其主要的清洗機制與步驟如下:

1. SC-1:清除晶圓表面的微粒子(particle)
2. SC-2: 清除晶圓表面的金屬離子(metal impurity)
3. SPM: 清除晶圓表面的有機物(organic)
4. DHF: 清除晶圓表面的氧化層(native oxide)

本研究會運用 RCA Standard Clean (SC-2, 又稱 HPM)— HCl/H₂O₂/H₂O 作為一項實驗因子來探討它是否與閘極缺陷有顯著相關性存在及另一項因子是針對矽化鎢與多晶矽之間的表面氧化層來進行分析。

2.2.2 化學站系統

化學站之主要製程傳送之說明如下：當晶舟盒 (Cassette) 裝置於 SMIF 處, 晶片自動的轉放置於船形晶舟盒 (boat cassette) 上並傳送至每個反應槽 (bath), 反應槽會搭配 APM/SPM/HPM/DHF 等混酸來對晶片做潔淨處理,而空的晶舟盒 (cassete) 藉由 C/S (transport empty cassette stocker)傳送至卸貨處 (unloader)。圖 2-2 為林義凱[6]在半導體科技之濕式清洗檯操作危害及安全防範的文章中所提供之化學站系統圖。

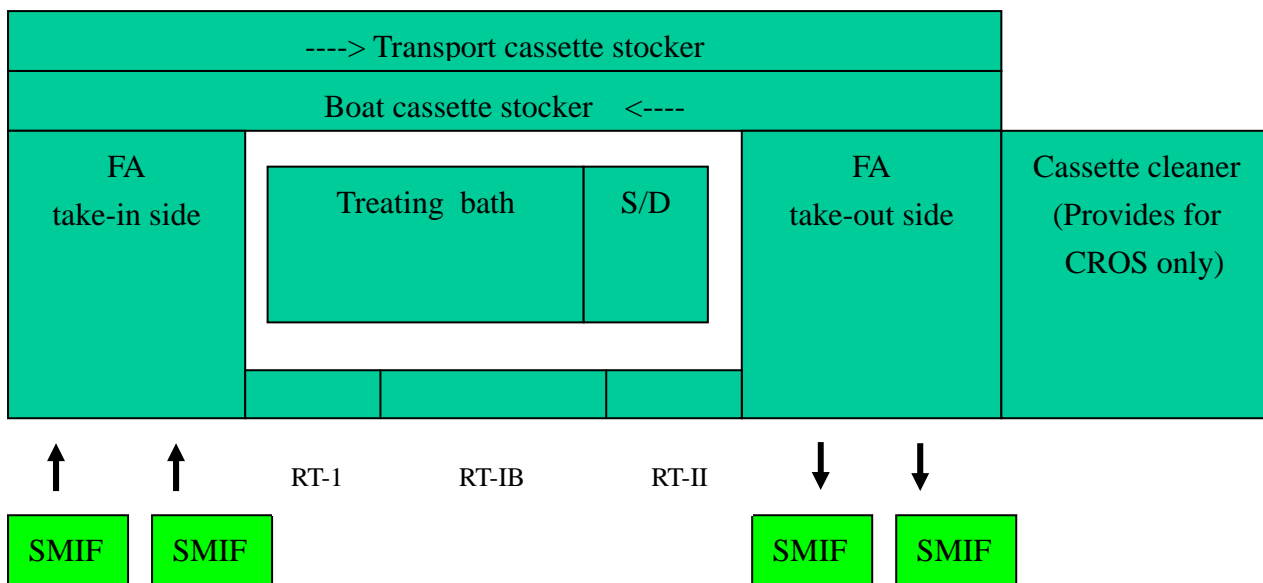


圖 2-2 化學站系統圖

目前半導體設備中最常使用之化學站，可以分成下列三種形式及其特徵如下所示：

a. 傳統化學站（目前是半導體界的主流），如圖 2-3[7]所示：

特徵：

- a-1 應用範圍廣泛且產能高且技術已相當成熟
- a-2 潔淨室佔地大
- a-3 化學品與純水耗量大
- a-4 蝕刻均勻度控制不易
- a-5 晶圓間交互污染嚴重
- a-6 設備機動調整彈性度不高

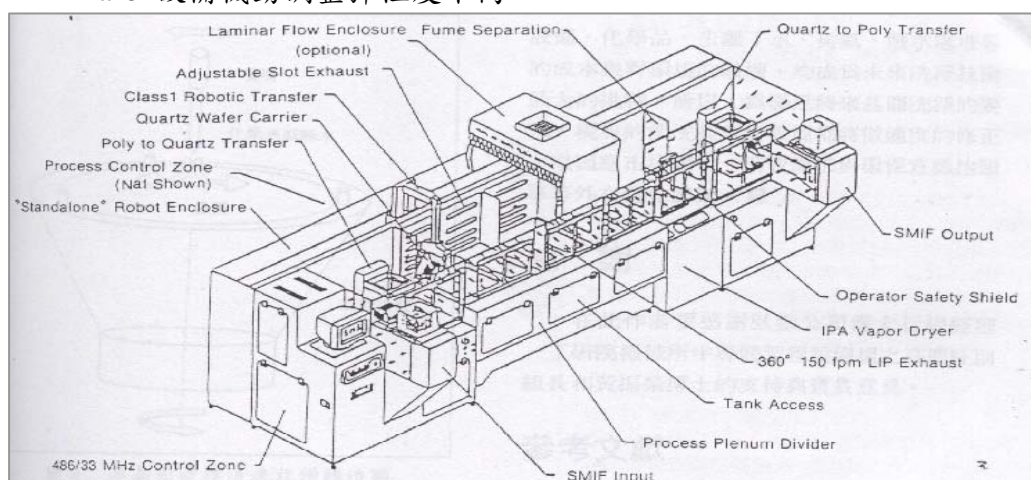


圖 2-3 全自動溼式清洗站

b. 單批清洗化學站,如圖 2-4[8]所示:

特 徵:

- b-1 較佳的环境製程與微粒控制能力
- b-2 潔淨室佔地小
- b-3 化學品與純水耗量較少
- b-4 設備機動調整彈性度高
- b-5 產能較低且晶圓間仍有交互污染的現象

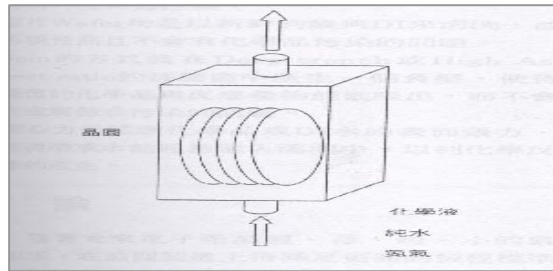


圖 2-4 全流式密閉容器清洗系統

c. 單片清洗化學站 (未來 IC 晶圓廠清洗設備的主流),如圖 2-5[9]所示:

特 徵:

- c-1 高的环境製程與微粒控制能力
- c-2 潔淨室佔地小
- c-3 化學品與純水耗量較少
- c-4 極富彈性設備機動調整能力

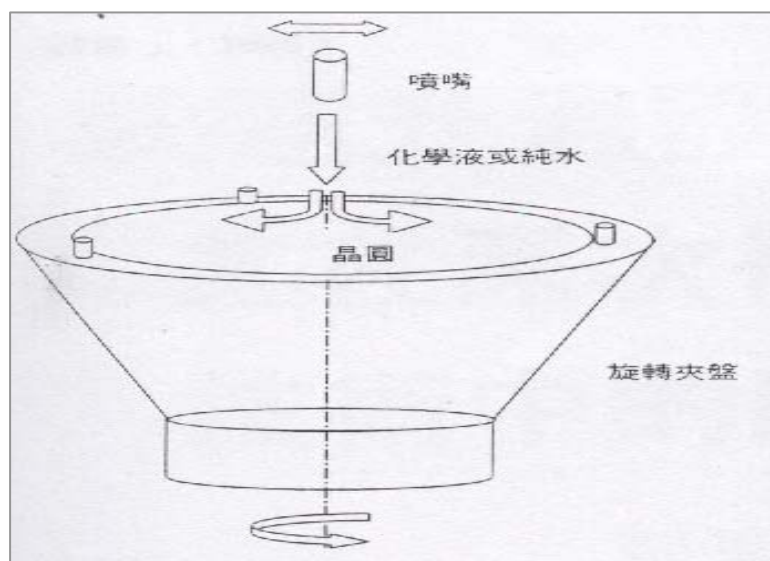


圖 2-5 單片晶圓旋轉清洗設備構造圖

2.3 物理洗淨技術

一般物理洗淨技術主要是以物理原理及物理作用來清洗晶圓,而不使用任何化學藥品來處理的一種洗淨方式,此種洗淨方式是相當環保;這一種洗淨技術主要是去除微粒的污染,而在半導體中在此部分最常用的洗淨方式是以刷洗(Scrubbing)、超音波震盪(Megasonic)、高壓噴洗(Jet Spray)及高壓氣體噴洗(Aerosol),將附著於晶圓表面的微粒去除乾淨的一種技術。

2.3.1 刷洗機 (Scrubber)

刷洗機的設計主要是利用特殊有彈性、低污染鐵弗龍刷子(Sponage Teflon Brush)在高速旋轉的晶圓上來回刷洗,同時 DI 純水洗滌晶圓表面並將微粒沖洗乾淨,其中刷洗的程式(recipe)可設定為單面或雙面刷洗(One-Sided or Double-sided Scrubbing)。如圖 2-6/圖 2-7 所示,為日本 TEL 公司[15]所製作 SS-2 型的刷洗機(SS-2 Scrubber System)。

這一種類型的機台有多功能的設計,為了提高微粒子的去除效果,有三種選擇可配合刷洗程式,此三種選擇如下所示:

- a. 自動刷洗(Auto Brush Scrubber)
- b. 高壓刷洗(Jet Scrub)
- c. 超音波刷洗(Megasonic Scrub)

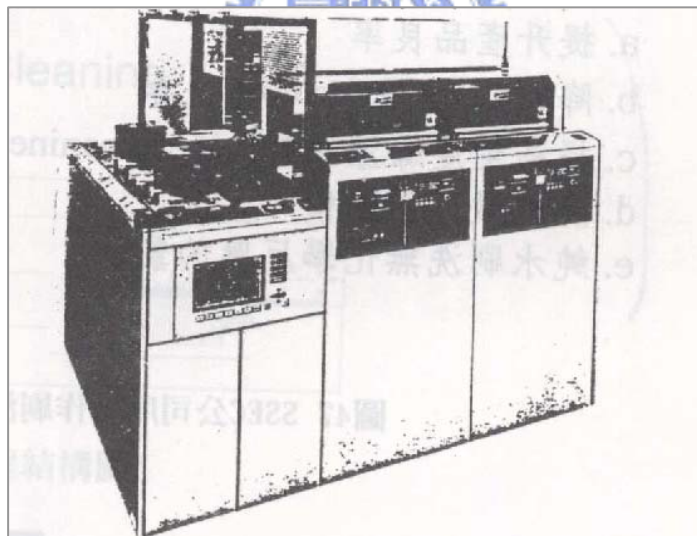


圖 2-6 TEL 公司 SS-2 刷洗機外觀

在刷洗頭的結構,左臂裝設有自轉的刷子在晶圓表面來回刷洗,右臂裝有高壓噴射系統(Jet System)或超音波洗淨器(Megasonic Cleaner)藉助高壓噴射系統或超音波震盪能量,將附著較為緊密強韌的微粒去除,其圖 2-7 所示:

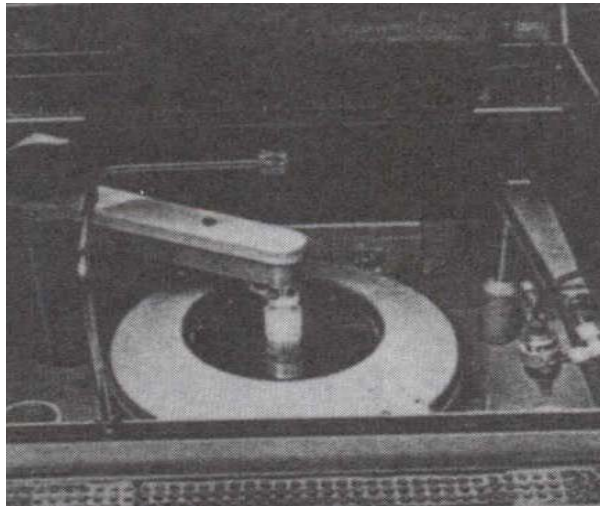


圖 2-7 SS-2 刷洗機刷洗系統結構圖

刷洗機在 ULSI 製程上,晶圓經由刷洗,去除晶圓表面及背面的微粒污染在對於製程上有許多的優點,其優點如下:

- a.提升產品良率
- b.降低散焦(defocus)不良率
- c.提高生產線潔淨度
- d.防止微粒再沈積
- e.純水刷洗無化學反應的影響



一般半導體業界都將刷洗機台放置於薄膜(film) 沈積後,來進行刷洗步驟;例如在矽化鎢 或 鎢 or 鋁銅 or SOG (Spin on glass)沉積之後,因為大部分會產生異物,因此一般會在之後製程直接加入刷洗的清洗步驟,來改善異物的問題。

2.4 擴散製程

擴散製程在半導體中所扮演的角色相當重要,其主要的工作內容就是薄膜(film)的成長,成長出薄膜是相當容易,但是如何成長出符合品質要求的薄膜,卻是攸關半導體成敗的關鍵因素之一。例如沈積 Poly 薄膜則一般會要求 a.較小的 grain 尺寸 ;b.較小的阻值;c.較佳的均勻度 ;d.較容易被蝕刻...等(然而不同薄膜將會有不同的要求標準)。

2.4.1 擴散爐管設備

一般半導體爐管可以分成水平式爐管與垂直式爐管,而目前不管是在台灣或在全世界是以垂直式爐管為主流。而爐管本身是一個石英管(Quartz Tube),因為石英是非常穩定的一種材料,故被廣泛應用在半導體(目前有更佳材料是碳化矽(SiC))

比石英(Quartz Tube)較昂貴,目前 TSMC 與 VIS 等園區半導體製造商已有在使用);其餘有一組加熱器其主要負責加熱至半導體製程的反應溫度、一組氣體注入器其主要將反應氣體注入爐管內進行製程反應,另一組熱電偶器其主要作用是用於測量爐管溫度是否有偏移製程設定溫度。以下為游文乾[10]在氧化製程與設備簡介文章中提到之相關爐管示意圖。

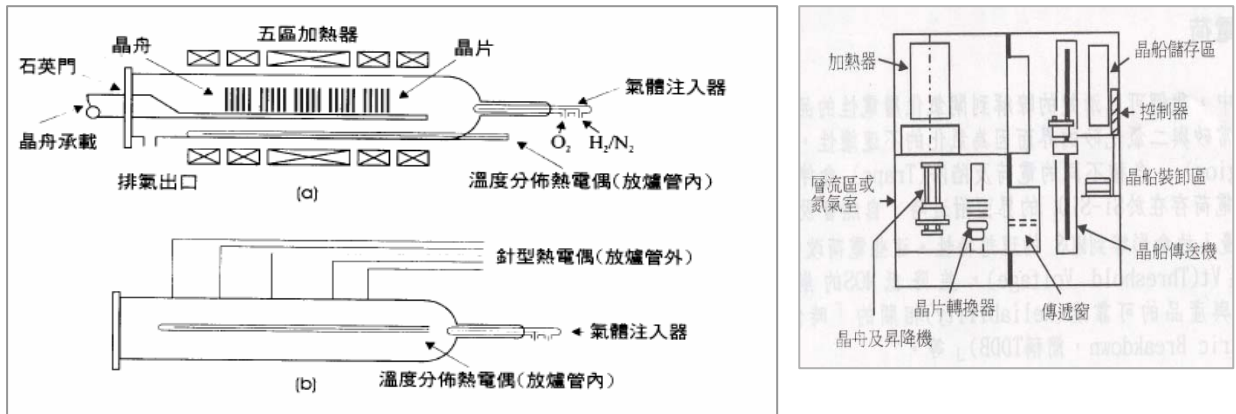


圖 2-8 傳統水平式爐管(左)與垂直式爐管(右)示意圖

2.4.2 化學氣相沈積(Cheical Vapor Deposition;CVD)反應原理

化學氣相沈積簡稱 CVD;通常主要分成下列五個步驟:(1)反應氣體擴散通過介面邊界層,主要是藉著主氣流(Main Stream)與晶片表面的濃度差,以擴散(Diffusion)的方式,由主氣流經由介面層,到達晶片的表面。(2)反應物到達晶片表面,失去部分動能而被晶片表面所吸附而沈積在晶片表面。(3)反應物在晶片表面獲得晶片表面提供的能量化學反應產生,在沈積過程中,反應生成物會在晶片表面移動,最後沈積完成。(4)當沈積反應反應發生後,未反應之反應物部分生成物會從晶片表面獲得能量而脫離晶片表面,並通過介面邊界層。(5)部分生成物與反應物回到主氣流裡,離開 CVD 系統。圖 2-9 為參考洪啟智[11]在複晶矽、矽氧化物及矽氮化物沈積製程與設備文章中之 CVD 反應機制圖示:

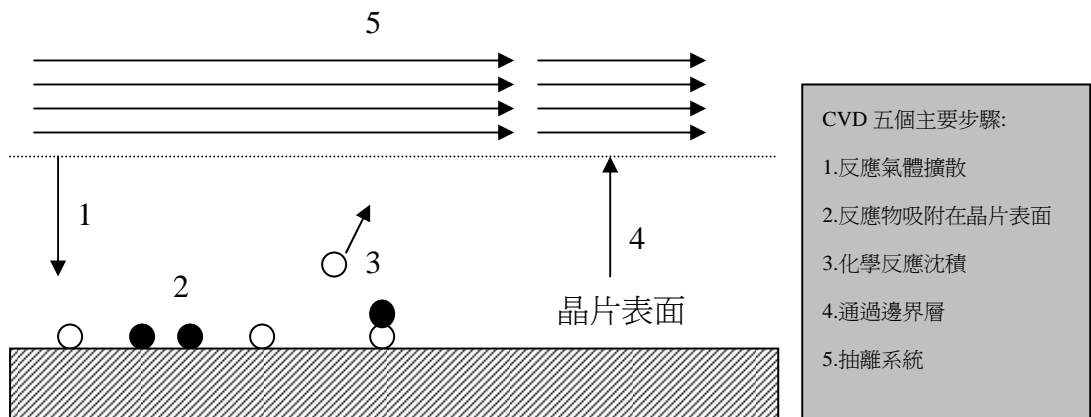


圖 2-9 CVD 反應的五個主要步驟

2.4.3 多晶矽 (Poly film) 沈積

在半導體製程中,沈積多晶矽 (Poly film)時,一般都是利用爐管方式做沈積,也就是使用低壓化學氣相沉積(LPCVD;Low Pressure chemical vapor deposition)方式,藉著矽甲烷 (SiH_4)經過爐管加熱解離方式,來沈積製程上所需要的多晶矽層。假如製程反應溫度低於 575°C 以下,則所獲得的矽沈積將以非晶矽(Amorphous)的形式存在;如果製程反應溫度介於 $575^\circ\text{C}\sim 625^\circ\text{C}$ 之間,則會發生多晶矽,而且溫度越高,其結晶性(Crystallinity)就越明顯。

施敏 [12] 在半導體元件物理與製作技術(Semiconductor devices Physics and Technology)書中於薄膜形成的章節中提到:沈積溫度在 $600^\circ\text{C}\sim 650^\circ\text{C}$ 之間,則 grain 尺寸的大小約在 $0.03\sim 0.3\mu\text{m}$;當磷在 950°C 沈積溫度擴散進入時,則 grain 尺寸的大小約在 $0.5\sim 1\mu\text{m}$ 之間;當溫度上升至 1050°C ,則 grain 尺寸將到達 $1\sim 3\mu\text{m}$ 之間。在本次實驗中我們會將多晶矽沉積之爐管溫度設定在高溫 1050°C 以及低溫 575°C 兩個水準。

以下為多晶矽沈積之反應化學式如下所示:



2.4.4 閘極歷史演進發展

一般常被用來做閘極材料有多晶矽(Poly)/多晶矽 & 矽化鎢 /矽化鈷 (CoSi_x)/矽化鈦(TiSi_x),而製程演進順序多晶矽(Poly) \rightarrow 多晶矽 & 矽化鎢 \rightarrow 矽化鈷(CoSi_x)或矽化鈦(TiSi_x)(由左而右意味從高阻值至低阻值),演進的原因是因為在競爭據烈的半導體市場環境中,各半導體廠無不致力於元件尺寸縮小,來增加單位晶圓的晶粒產出並降低生產成本,但元件尺寸縮小時,多晶矽局部連線的電阻也會增加(如下公式所示:),而這將會引起更多的電力耗損和較長 RC 時間遲滯。為了減少連線電阻並提高元件的速度,因此連線低電阻率的材質就被發展出來。圖 2-10 為連線間之電阻公式。

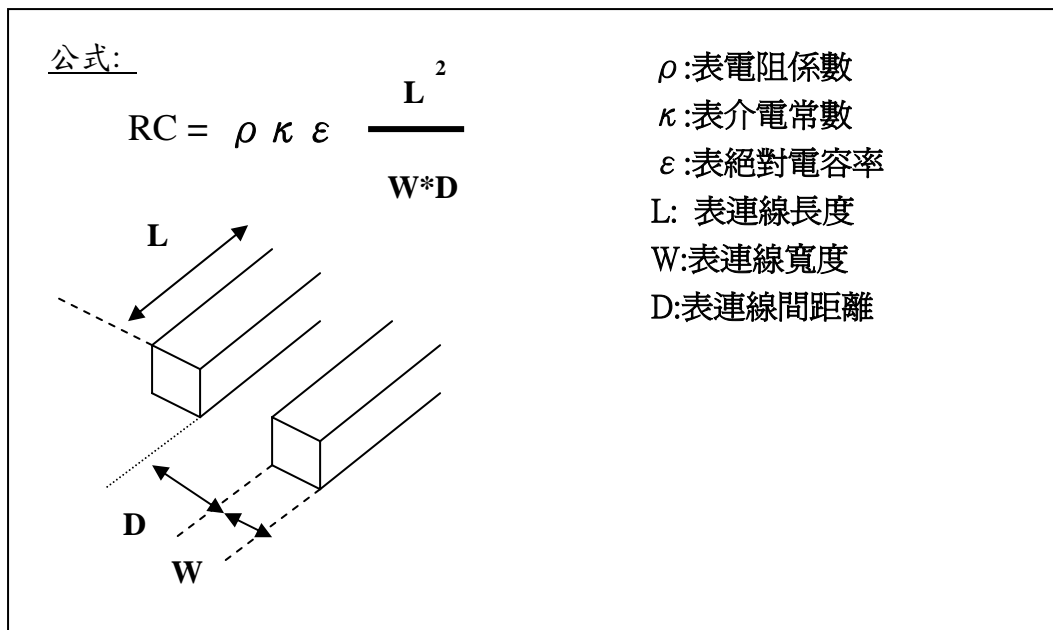


圖 2-10 連線間之電阻公式

以下為各閘極材料製程之說明:

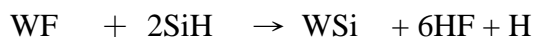
1. 多晶矽沈積:

多晶矽通常是以低壓化學氣相沉積製程來沈積;SiH₄ 或 SiH₂Cl₂ 可以成為矽的源材料。沈積溫度從攝氏 550 度至 750 度,而且可以在臨場沈積期間或藉由後續的離子佈植製程中進行大量地參雜硼、磷或砷。

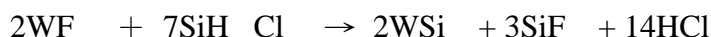
2. 矽化鎢(WSi_x)沈積:

矽化鎢沈積通常被用來當作閘極和局部連線。SiH₄ 與 SiH₂Cl₂ (DCS)都是矽來源氣體,而 WF₆ 是鎢來源材料。SiH₄ /WF₆ 之化學藥品需要較低的製程溫度(通常是攝氏 400 度),然而 DCS/WF₆ 的化學藥品卻需要攝氏 550 到 575 度的溫度。

SiH₄ /WF₆ 化學藥品:



DCS/WF₆ 的化學藥品可表達成:



以 DCS/WF₆ 為基礎的製程需要較高的沈積溫度。與 SiH₄ /WF₆ 為基礎的製程相比,DCS/WF₆ 具有較高的矽化鎢沈積速率和較佳的薄膜階梯覆蓋。它在薄膜中也有更低的氟濃度和較少的薄膜脫落,以及因張力較低而導致破裂的問題。

DCS/WF₆ 金屬矽化鎢製程正逐漸取代以矽烷為基礎的製程。

3. 金屬矽化物:

首先在化學溶液內清洗晶圓表面以移除污染物和微粒。然後在真空反應室中,用氬濺射 (Argon Sputtering) 從晶圓表面移除原生氧化層。一層鈦金屬會藉由濺鍍製程(Sputtering Process) 而沈積在晶圓的表面,在源極/汲極和多晶矽閘極頂部的矽都與鈦接觸著。一個加熱退火製程 (最好是在快速加熱步驟 (RTP) 的工具下運作) 接著會在多晶矽的頂部和源極/汲極的表面形成矽化鈦,這是由於鈦和矽在高溫時產生化學反應的緣故。因為鈦並不會與二氧化矽起反應,所以金屬矽化物只會在矽與鈦直接接觸的地方形成。在濕式蝕刻製程中使用過氧化氫 (H_2O_2) 和硫酸 (H_2SO_4) 的混合物來剝除未反應的鈦,晶圓會再次退火以增加矽化鈦的晶粒尺寸,以增進傳導率並且降低接觸電阻。圖 2-11 為 Hong Xiao(蕭宏)[13]在半導體製程技術導論所給製之金屬化製程。

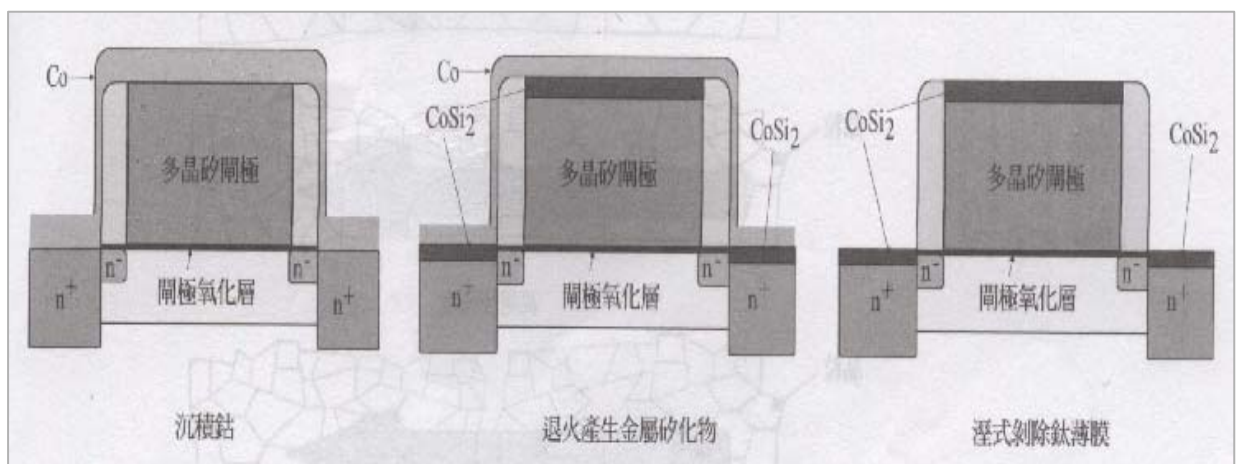


圖 2-11 鈦金屬矽化物自我對準的形成步驟

2.5 半導體製造流程之污染源

半導體廠在 IC 製造過程中由於製造流程相當冗長,因此只要有一個環節異常(如:機台沒有控制好,而產生 alarm 問題),就會造成大量異物或製程上的異常缺陷,而這樣的問題往往小則報廢數十萬的損失,大則甚至有上億的損失,所以說每個 IC 半導體廠無不殫足全力來針對 Fab 有關潔淨度(包括設備、程式與環境)與機台所造成異常事件的部分來進行改善。

一般而言,矽晶圓上可能的污染源大約有微塵粒、金屬、有機物、粗糙度及俱生氧化源等五種,以上就晶片表面的污染源之種類、來源及影響彙整如表 2-4 [14]所示:

表 2-4 晶片表面的污染源之種類、來源及影響

污染源	微塵粒	金屬	有機物	粗糙度	俱生氧化層
可能來源	儀器設備、環境、氣體、純水、化學藥品	儀器設備、化學藥品、活性離子、蝕刻、光組灰化	空氣、光阻殘留、儲存容器、化學藥品	原始晶片表面、化學藥品	環境、濕氣、純水
影響	1.低閘極氧化層崩潰電壓 2.低良率	1.接面漏電流 2.少數載子生存期降低 3.低氧化層崩潰電壓	1.影響氣化速率	1.低氧化層崩潰電壓 2.低移動率	1.氧化層劣化 2.磊晶矽品質變差 3.高接觸電阻值 4.金屬矽化物不好形成

2.5.1 晶片表面污染源改善之個案介紹

以下就選擇園區某家半導體廠所發生的微塵粒、有機物兩種污染源做個案介紹及說明其解決之道。

(1)微塵粒

個案一：

事件：片狀缺陷殘留(pattern defect)

問題描述：此種片狀缺陷殘留為半導體廠在蝕刻區最容易發現到的缺陷問題。

主要原因：不同程式之間(如 Logic/Dram 之製程溫度不同)混 run 所造成的問題,由於混run過程中需要升降溫,由於這一個升降溫會導致爐內 polymer 容易剝落至晶片表面而形成遮蔽效應,以致蝕刻/電漿酸槽後(Polymer 被酸槽去除掉)造成了片狀缺陷殘留現象。

解決方法： 1.減少不同程式間的混 run 問題。

2.不同程式間的轉換需要在增加熱機(burn in)步驟。

KLA map/ SEM map: 如圖 2-12 所示。

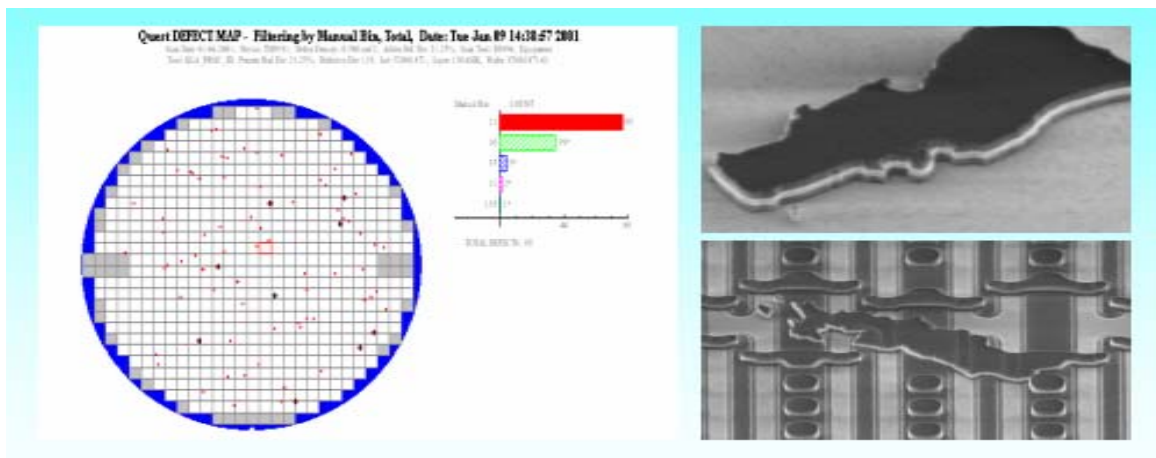


圖 2-12 片狀缺陷殘留之 SEM/KLA map

個案二:

事件: 矽化鎢異物

問題描述: 此種類型為半導體廠在薄膜區所發現到的異物問題.

主要原因: R loadlock chamber 所產生的異物問題, 導致在矽化鎢在沉積後異物被矽化鎢所包覆, 以致形成下面 SEM 相關照片問題.

解決方法: 訂定相同類型機台 Loadlock 之維修保養頻率.

KLA map/ SEM map/TEM map: 如圖 2-13 所示

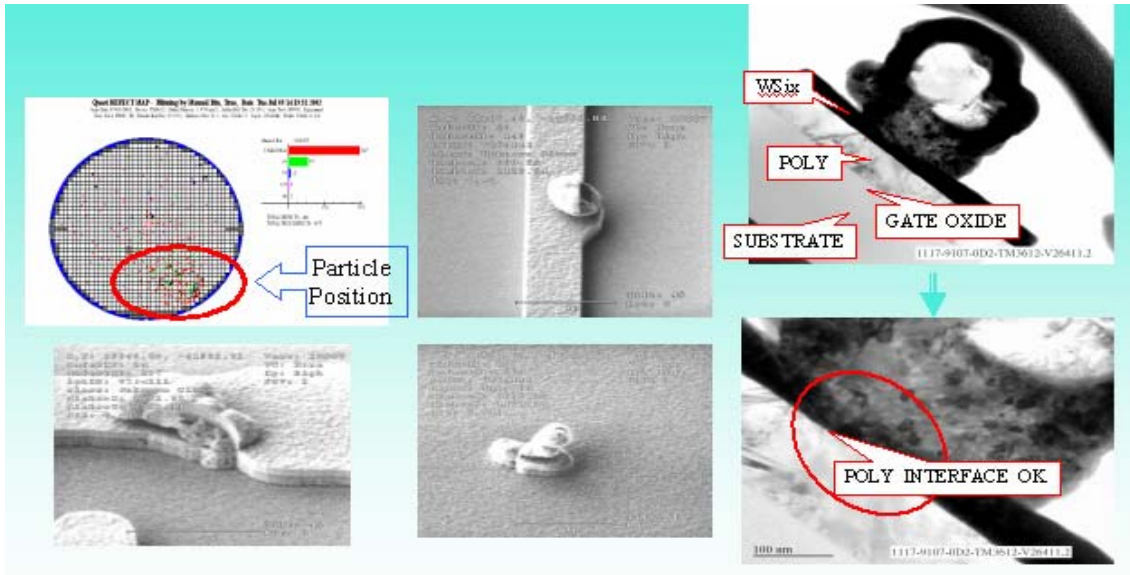


圖 2-13 矽化鎢異物之 SEM/TEM/KLA map

整個 Wsix 機台結構/問題點之示意圖, 如圖 2-14 所示。

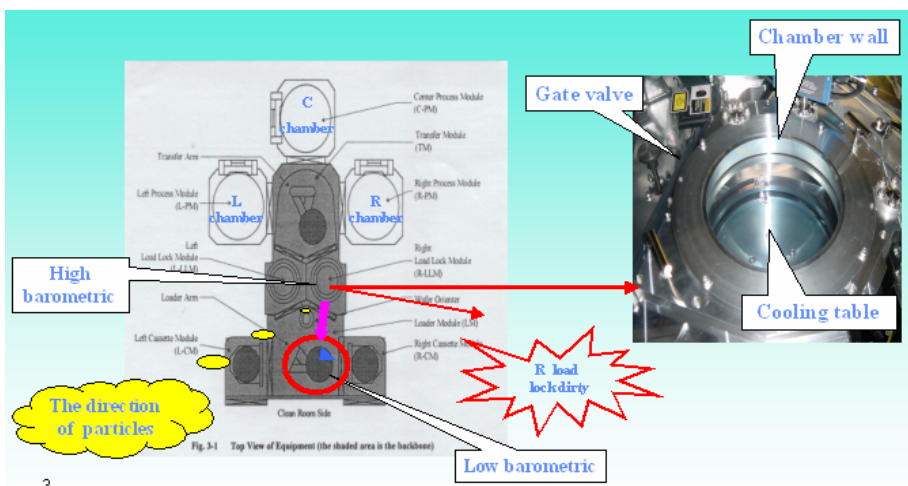


圖 2-14 MB2 機台台結構/問題點

(2)有機物

個案一：

事件：顯影殘留物(DEV. Residue)

問題描述:此種類型為半導體廠在黃光區最容易發現到的缺陷問題.

主要原因：在黃光區曝光後之後顯影步驟所產生的殘留問題,主要原因為整個顯影管路不潔所導致問題,如 E2 噴嘴 / 過濾器 / 管路 等.

解決方法： 1.訂定顯影機構維修保養標準作業流程.

2.訂定顯影機構維修保養之頻率.

KLA map/ SEM map: 如圖 2-15 所示

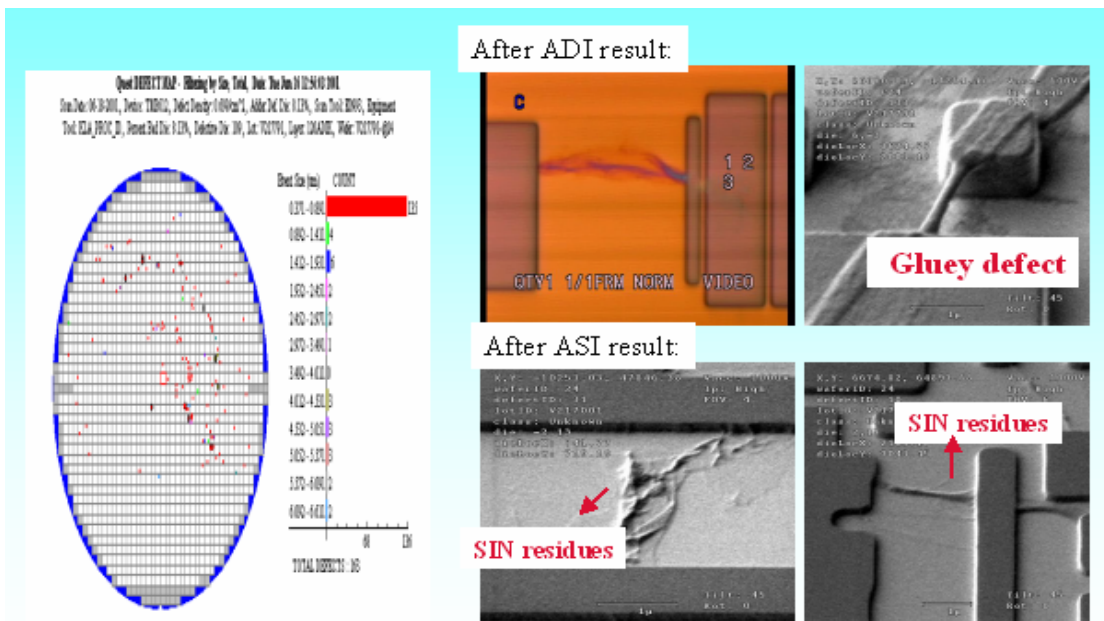


圖 2-15 顯影殘留物之 OM/SEM/KLA map

整個黃光顯影機構示意圖，如圖 2-16 所示。

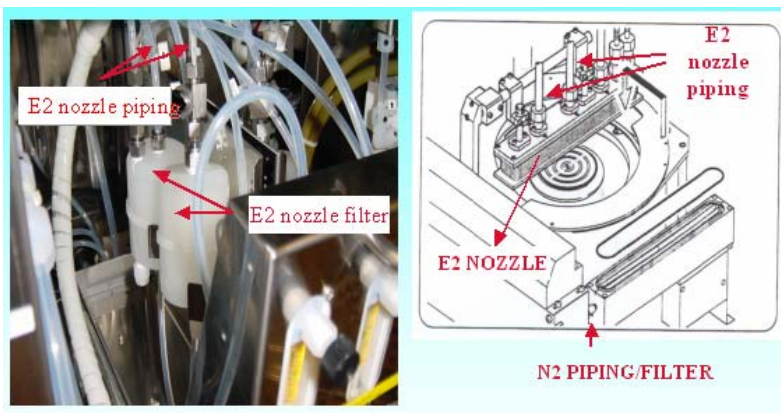


圖 2-16 黃光顯影機構示意圖

個案二:

事件: 側邊光阻聚合物(polymer)殘留

問題描述:此種類型為半導體廠在蝕刻區光阻去除後所產生側邊光阻聚合物殘留問題.

主要原因: 酸槽(光阻去除之用) 側邊光阻聚合物去除能力不足所導致,一般都發生在 Poly 或金屬蝕刻.

解決方法: 1.修改製程,使其下兩次酸槽.

2.更換新的酸槽的酸液如使用 EKC 酸液.

KLA map/ SEM map: 如圖 2-17 所示

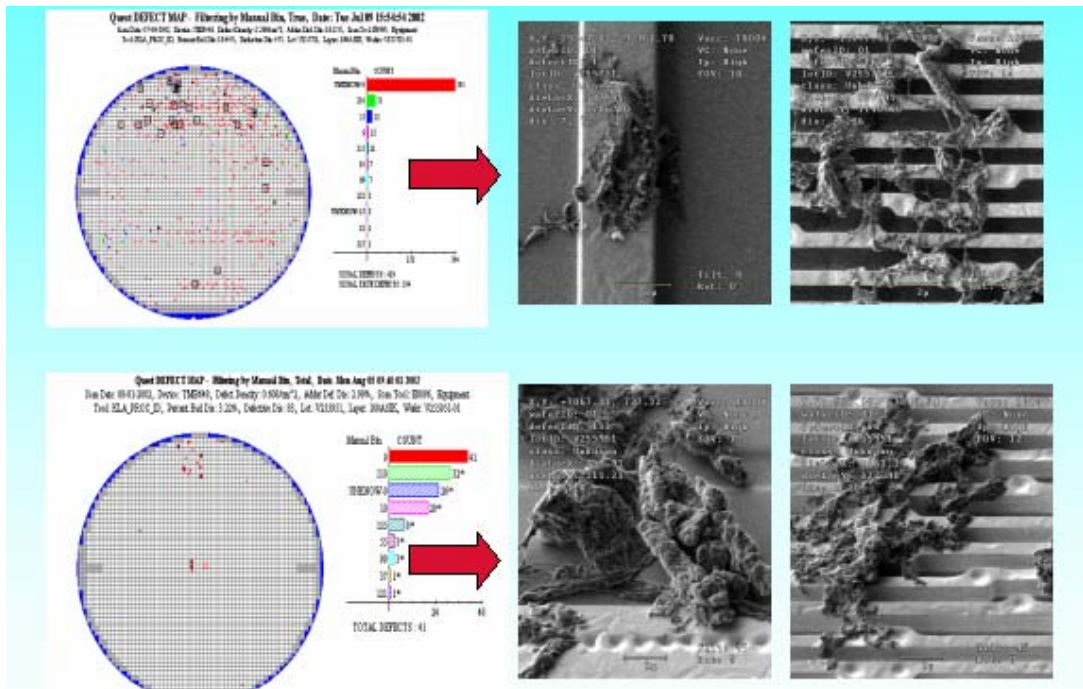


圖 2-17 側邊光阻聚合物之 SEM/KLA map

第三章 解決閘極缺陷之實驗設計

3.1 問題敘述

本研究之實驗設計是以生產記憶體及晶圓代工為主的園區某半導體公司為對象,該公司的良率改善部門發現其DRAM產品於閘極線路製作過程中,矽化鎢(Wsix)沉積完之後,利用KLA Tencor (晶圓偵測掃描器)掃描後發現晶圓表面有閘極缺陷的問題,此閘極缺陷會導致線路上有嚴重橋接現象,以致在經過後段測試後會產生嚴重的良率損失,而最嚴重時晶圓良率可能會下降至3%左右。由於這個問題對整體良率之影響相當大,因此本研究希望利用實驗設計方法將影響良率之主要因子找出,讓此閘極缺陷問題可以儘速獲得解決,以提昇該公司晶圓的整體良率。

圖 3-1為KLA Tencor 機台所檢測到的晶片圖(wafer map);而圖3-2為這些閘極缺陷之SEM 的照片。

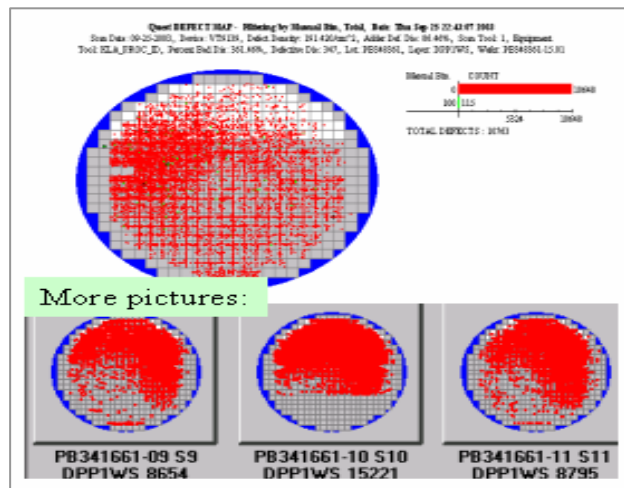


圖 3-1 閘極缺陷之晶片圖

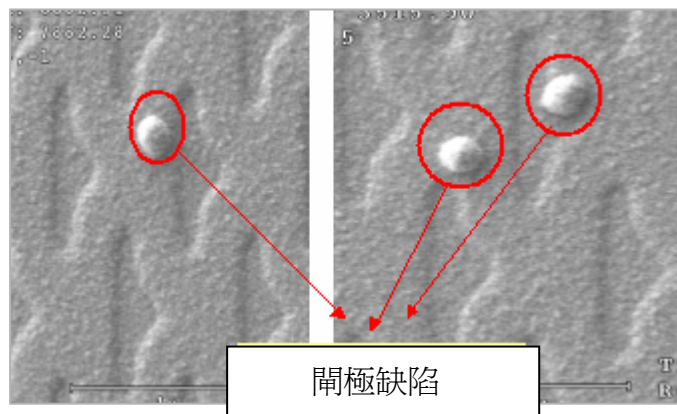


圖 3-2 閘極缺陷之 SEM 照片

這些閘極缺陷對後段晶圓良率影響相當大,由該公司所提供之Dram良率趨勢圖(如圖3-3所示)可以發現閘極缺陷是主要的良率殺手,也就是說只要能改善閘極缺陷的問題,就可以解決目前的Dram產品所遭遇的良率問題,此舉也可以讓共用相同製程之產品可以間接受益。

圖 3-3 為該公司某一週之某一個產品的 Dram 良率關係圖,圖中★ 處表示在良率部分遭到閘極缺陷影響以致產品良率不佳。從 Dram 良率關係圖可以得知此閘極缺陷是間斷發生而非連續產生。只要有發生閘極缺陷之生產批,其影響就是整批 25 片晶圓全部遭受到閘極缺陷的問題。

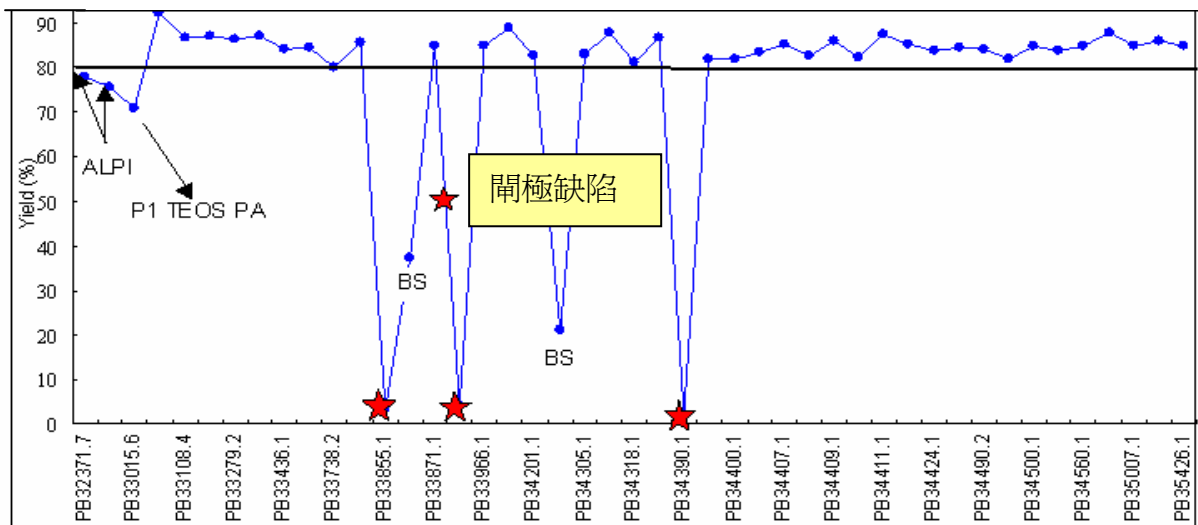


圖 3-3 閘極缺陷與 Dram 良率之關係圖

3.2 定義品質特性

本實驗設計之反應變數是以晶圓在 KLA Tencor 掃描完後所得之晶圓表面的缺點數總量;故本次實驗是屬望小特性,也就是希望缺點數越小越好。

3.3 選擇因子、水準及實驗設計

為了找出影響晶圓表面缺陷點數總量的因子,本實驗特別針對閘極缺陷進行穿透式電子顯微鏡(TEM; Transmission Electron Microscopy)分析以找出閘極缺陷到底發生在哪個製程層別(Layer)及到底是什麼成份,以便能快速找出關鍵性的因子來進行後續實驗。其穿透式電子顯微鏡分析及成份分析分別如圖 3-4 及圖 3-5 所示。

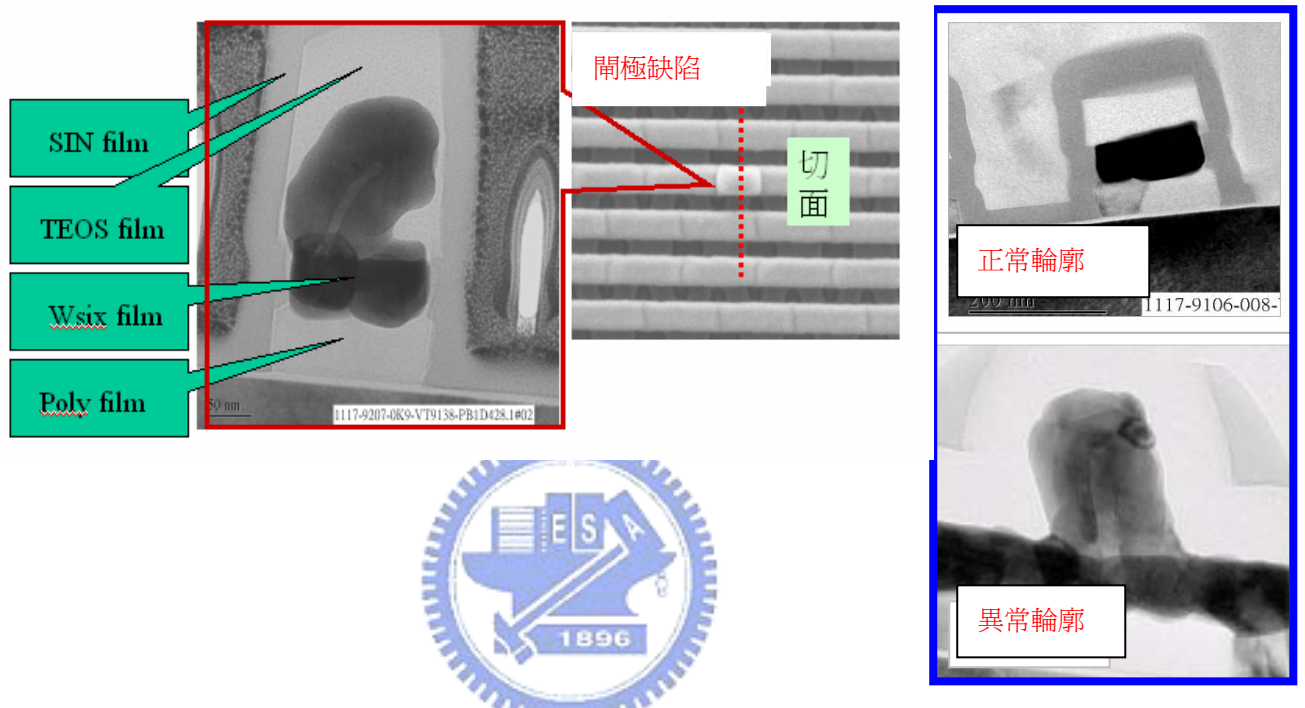


圖 3-4 閘極缺陷之穿透式電子顯微鏡分析

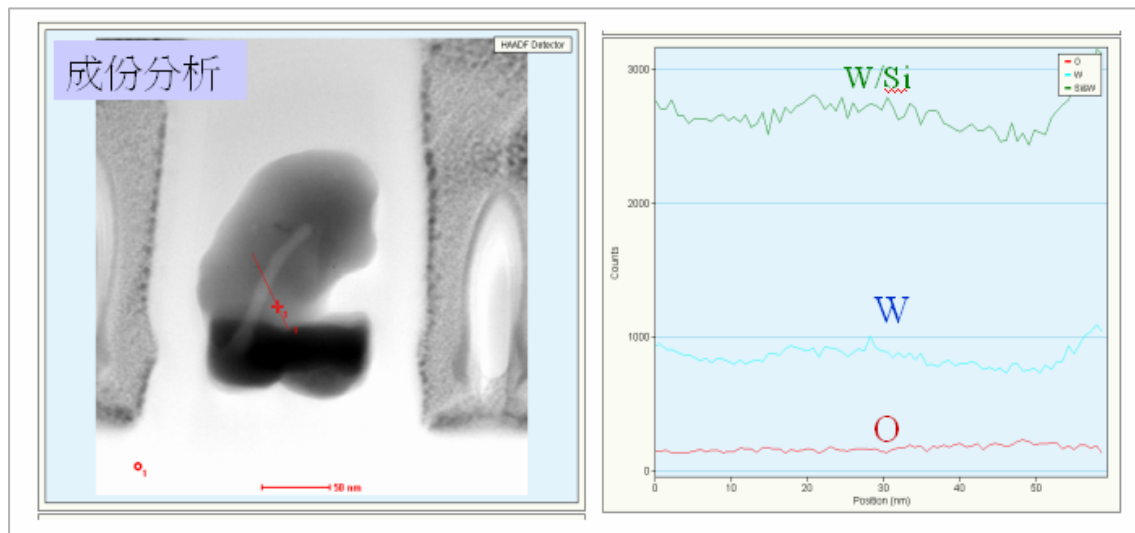


圖 3-5 閘極缺陷之成份分析

由上面閘極缺陷之穿透式電子顯微鏡分析及成份分析再搭配部分閘極製造流程,可判斷出影響晶圓閘極缺陷總數的可能關鍵影響因子;從圖 3-6 之部分閘極製造流程與閘極缺陷之剖視圖資料,可以得知問題點是發生在『臨場(Insitu)非晶矽沉積~矽化鎢(WSix)沉積』之區間。

Process flow:		
OXGT	125.000 ECLUT9.01	晶片清洗,(WA,SPM+APM)
OXGT	126.000 ECLCE4.01	晶片清洗,(Gate Oxide前)
OXGT	127.000 EOXGT1.01	閘層氧化,72A,750C
DPTG	130.000 EDPIP2.02	Insitu非晶矽沉積,800A(含ASM)
DPTG	134.000 ECLSRB.01	Scrubber清洗,(HDP沉積後)
DPTGWS	137.000 ECLCE1.02	晶片清洗及氧化層蝕刻,(WJ,45")
DPTGWS	139.000 EDPWS2.01	WSix沉積,800A(DCS)
DPTGWS	142.000 ECLSR2.01	Scrubber清洗,(WSix沉積後)
DPTGTS	144.000 ECLRE9.01	晶片清洗,(APM,WM)
DPTGTS	145.000 EDPTS3.01	TEOS沉積,800A
DPTGSN	149.000 EDPSN2.02	氮化矽沉積,700A,750C

} 問題區域

圖 3-6 部分閘極製造流程

審視上述所懷疑的區間與成份分析資料後,利用特性要因圖(魚骨圖)作進一步之分析,以找出關鍵的影響因子來進行後續實驗,由圖 3-7 可得。

a. 在非晶矽沉積方面;

第一個懷疑點可能是多晶矽(poly) 爐管掉落大量異物問題.

第二個懷疑點可能是多晶矽爐管溫度異常造成多晶矽 grain 異常成長.

b. 在刷洗(Scrubber)方面;

由於刷洗主要去除晶片表面的異物問題,故絕對不會造成晶片表面的污染,因此完全排除此因子的可能性.

c. 在晶片清洗/氧化層蝕刻方面:

唯一的懷疑點是酸槽存有金屬不純物的污染物.

d. 在矽化鎢(WSix)沉積方面:

唯一的懷疑點是矽化鎢(WSix)異常氧化所造成,其形成原因是與矽化鎢在沉積過程中,發生氧(O₂)洩漏問題,導致矽化鎢薄膜會產生局部隆起現象,此種矽化鎢異常氧化在成份分析上會有氧的訊號。從圖 3-5 可知,閘極缺陷在成份分析上並無氧的訊號,所以也完全排除矽化鎢因子的可能性。

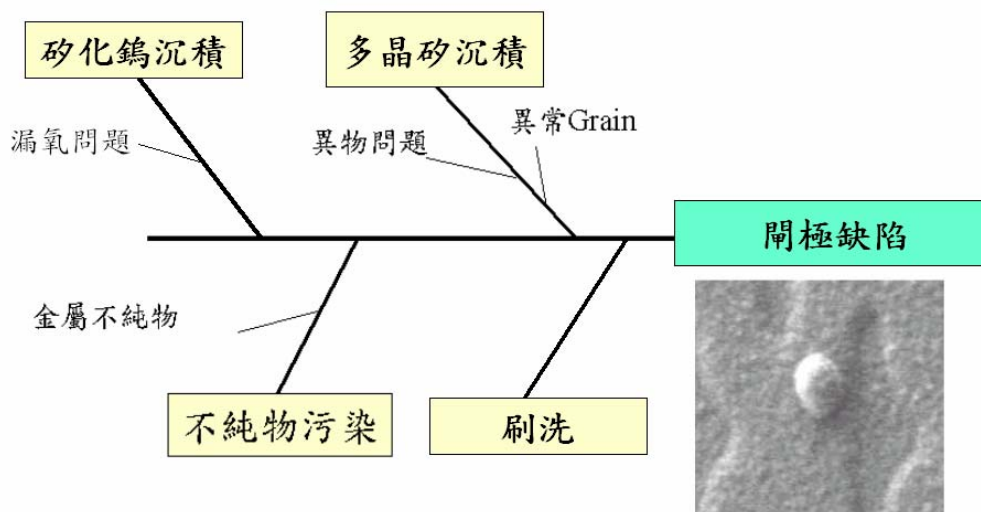


圖 3-7 開極缺陷之特性要因圖

綜合以上分析,本研究採取三因子且每因子兩水準的隨機集區法來設計實驗,三因子分別為(1)HPM 混酸,將製程參數設定為使用 HPM 及不使用 HPM 兩個水準.(2)氧化層蝕刻,將製程參數設定為 HF vapor (100% HF)、Dilute HF(H₂O₂: HF = 200:1)兩水準.(3)多晶矽沉積,將製程參數設定為高溫、低溫兩個水準,集區變數則為廠區,亦有兩個水準(A 廠區及 B 廠區);每一個因子水準組合重覆四次,共進行 64 次實驗。此 2³RCBD 實驗規劃如表 3-1 所示。首先以隨機方式決定哪一個廠區先進行實驗,數字即表實驗順序。然後以隨機的方式決定 64 次實驗的次序,如表 3-1 中之第四及第五欄所示。

表 3-1 2³之 RCBD 設計.

因子			集區	
HPM 混酸	氧化層蝕刻	多晶矽沉積	A 廠區	B 廠區
使用 HPM	HF vapor	高溫	1,3,12,13	40,46,47,58
		低溫	8,17,29,32	36,43,45,48
	Dilute HF	高溫	11,19,20,25	38,44,50,59
		低溫	2,6,21,27	41,51,52,64
不使用 HPM	HF vapor	高溫	4,9,10,26	37,39,54,55
		低溫	5,14,24,30	42,53,56,57
	Dilute HF	高溫	16,23,28,31	33,49,60,62
		低溫	7,15,18,22	34,35,61,63

註:數字表實驗順序

3.4 實驗儀器

本實驗需使用之儀器及軟體如下:

- a. KLA Tencor 系列之缺陷檢測量測機台:針對晶圓表面進行掃描分析,以檢測出晶圓發生異常點的位置。
- b. Quest軟體:將KLA Tencor系列機台在掃描晶圓後,所得之相關的缺陷座標點與晶片圖資訊儲存起來,以作為後續工程分析之用。
- c. SEM-Vision機台:此機台主要功能是利用高能量的電子束來偵測晶片表面非常小的圖像,當電子束碰撞到物質時,它會激發出二次電子,藉著接收二次電子所發出的電子訊號來偵測所要的圖像。
- d. TEM 分析機台:此機台主要功能是可以針對晶片缺陷位置進行剖面分析及成份分析,是一個相當重要的分析儀器。
- e. MINTAB 統計軟體:利用此軟體分析實驗數據。



3.5 執行設計與資料蒐集

利用表 3-1 三因子兩水準的隨機集區設計來進行實驗設計,並依照隨機順序來蒐集實驗數據,所蒐集到之缺點數如表 3-2 所示。相關的缺點圖(defect map)如圖 3-8 所示。

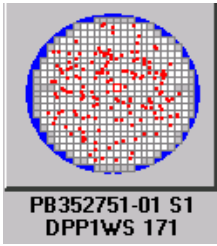
表 3-2 實驗數值資料

實驗順序	集區	HPM 混酸	氧化層蝕刻	Poly 沉積.	缺點數
1	A 廠區	使用 HPM	HF vapor	高溫	171
2	A 廠區	使用 HPM	Dilute HF	低溫	3103
3	A 廠區	使用 HPM	HF vapor	高溫	69
4	A 廠區	不使用 HPM	HF vapor	高溫	134
5	A 廠區	不使用 HPM	HF vapor	低溫	93
6	A 廠區	使用 HPM	Dilute HF	低溫	11424
7	A 廠區	不使用 HPM	Dilute HF	低溫	8760
8	A 廠區	使用 HPM	HF vapor	低溫	99
9	A 廠區	不使用 HPM	HF vapor	高溫	88
10	A 廠區	不使用 HPM	HF vapor	高溫	116
11	A 廠區	使用 HPM	Dilute HF	高溫	8795
12	A 廠區	使用 HPM	HF vapor	高溫	105
13	A 廠區	使用 HPM	HF vapor	高溫	217
14	A 廠區	不使用 HPM	HF vapor	低溫	66
15	A 廠區	不使用 HPM	Dilute HF	低溫	8403
16	A 廠區	不使用 HPM	Dilute HF	高溫	633
17	A 廠區	使用 HPM	HF vapor	低溫	73
18	A 廠區	不使用 HPM	Dilute HF	低溫	9434
19	A 廠區	使用 HPM	Dilute HF	高溫	6144
20	A 廠區	使用 HPM	Dilute HF	高溫	7911
21	A 廠區	使用 HPM	Dilute HF	低溫	5522
22	A 廠區	不使用 HPM	Dilute HF	低溫	1609
23	A 廠區	不使用 HPM	Dilute HF	高溫	5142
24	A 廠區	不使用 HPM	HF vapor	低溫	66
25	A 廠區	使用 HPM	Dilute HF	高溫	3452
26	A 廠區	不使用 HPM	HF vapor	高溫	109
27	A 廠區	使用 HPM	Dilute HF	低溫	8074
28	A 廠區	不使用 HPM	Dilute HF	高溫	5023
29	A 廠區	使用 HPM	HF vapor	低溫	57
30	A 廠區	不使用 HPM	HF vapor	低溫	105
31	A 廠區	不使用 HPM	Dilute HF	高溫	6960

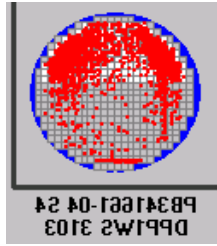
- 接續下頁 -

32	A廠區	使用HPM	HF vapor	低溫	88
33	B廠區	不使用 HPM	Dilute HF	高溫	11851
34	B廠區	不使用 HPM	Dilute HF	低溫	8654
35	B廠區	不使用 HPM	Dilute HF	低溫	7772
36	B廠區	使用HPM	HF vapor	低溫	142
37	B廠區	不使用HPM	HF vapor	高溫	98
38	B廠區	使用HPM	Dilute HF	高溫	3039
39	B廠區	不使用HPM	HF vapor	高溫	85
40	B廠區	使用 HPM	HF vapor	高溫	153
41	B廠區	使用 HPM	Dilute HF	低溫	1075
42	B廠區	不使用HPM	HF vapor	低溫	78
43	B廠區	使用 HPM	HF vapor	低溫	196
44	B廠區	使用 HPM	Dilute HF	高溫	10062
45	B廠區	使用 HPM	HF vapor	低溫	106
46	B廠區	使用 HPM	HF vapor	高溫	121
47	B廠區	使用 HPM	HF vapor	高溫	96
48	B廠區	使用 HPM	HF vapor	低溫	102
49	B廠區	不使用HPM	Dilute HF	高溫	3783
50	B廠區	使用 HPM	Dilute HF	高溫	5902
51	B廠區	使用 HPM	Dilute HF	低溫	5174
52	B廠區	使用 HPM	Dilute HF	低溫	6306
53	B廠區	不使用 HPM	HF vapor	低溫	62
54	B廠區	不使用 HPM	HF vapor	高溫	120
55	B廠區	不使用 HPM	HF vapor	高溫	77
56	B廠區	不使用 HPM	HF vapor	低溫	63
57	B廠區	不使用 HPM	HF vapor	低溫	55
58	B廠區	使用 HPM	HF vapor	高溫	81
59	B廠區	使用 HPM	Dilute HF	高溫	6859
60	B廠區	不使用 HPM	Dilute HF	高溫	8807
61	B廠區	不使用 HPM	Dilute HF	低溫	4906
62	B廠區	不使用 HPM	Dilute HF	高溫	7595
63	B廠區	不使用HPM	Dilute HF	低溫	8236
64	B廠區	使用HPM	Dilute HF	低溫	429

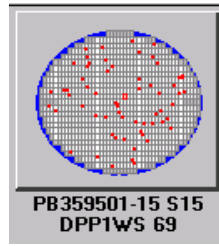
實驗順序 1



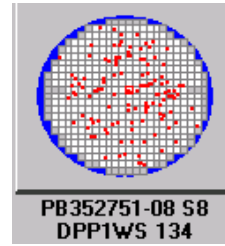
實驗順序 2



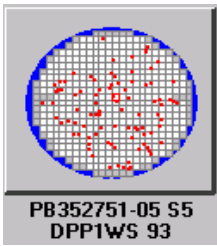
實驗順序 3



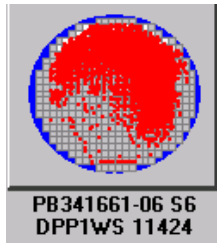
實驗順序 4



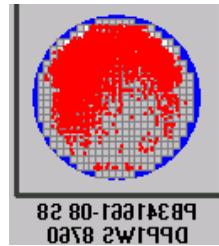
實驗順序 5



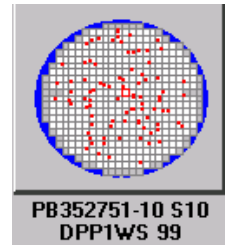
實驗順序 6



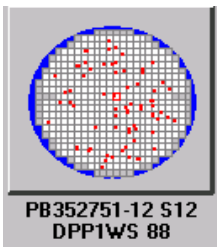
實驗順序 7



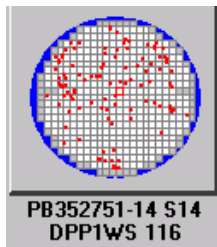
實驗順序 8



實驗順序 9



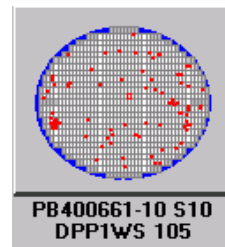
實驗順序 10



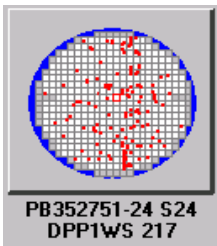
實驗順序 11



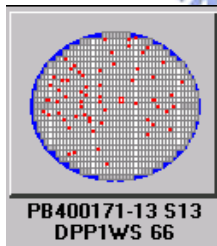
實驗順序 12



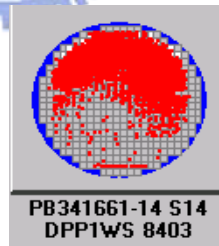
實驗順序 13



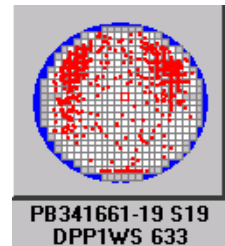
實驗順序 14



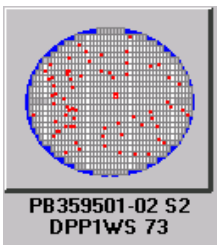
實驗順序 15



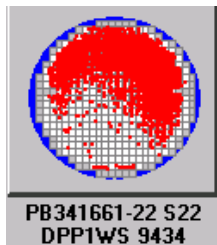
實驗順序 16



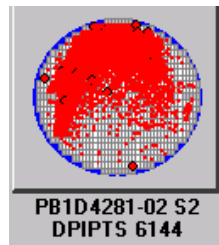
實驗順序 17



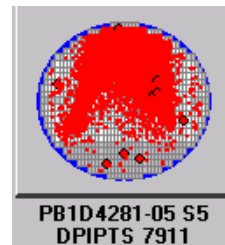
實驗順序 18



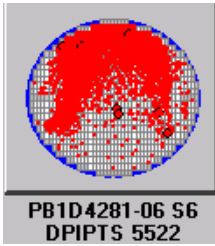
實驗順序 19



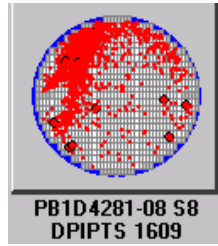
實驗順序 20



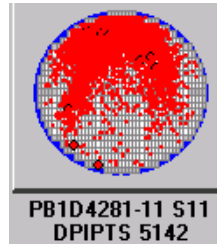
實驗順序 21



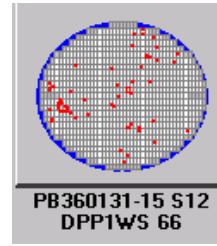
實驗順序 22



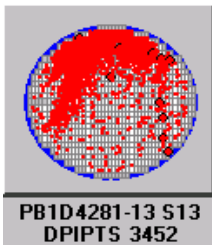
實驗順序 23



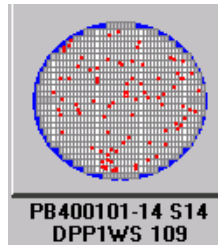
實驗順序 24



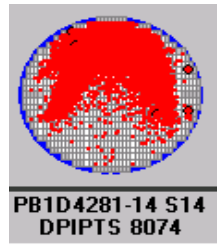
實驗順序 25



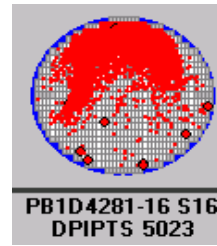
實驗順序 26



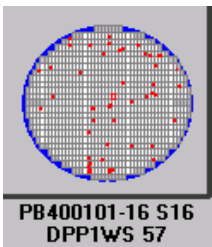
實驗順序 27



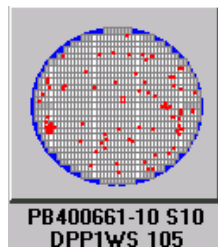
實驗順序 28



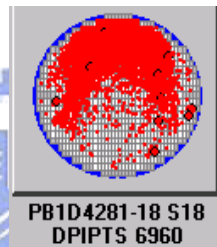
實驗順序 29



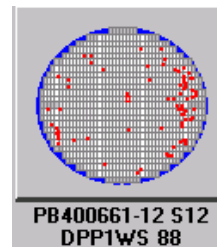
實驗順序 30



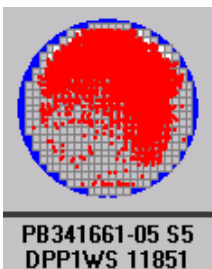
實驗順序 31



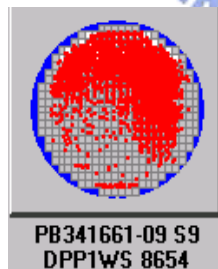
實驗順序 32



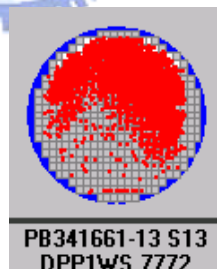
實驗順序 33



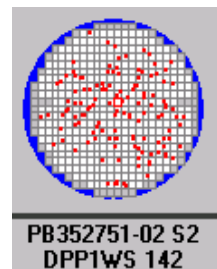
實驗順序 34



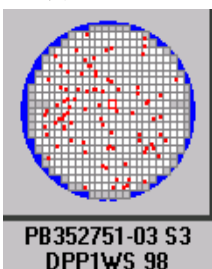
實驗順序 35



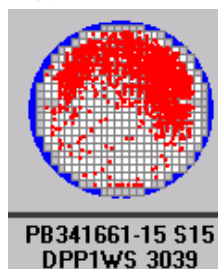
實驗順序 36



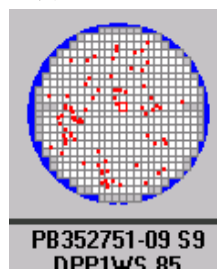
實驗順序 37



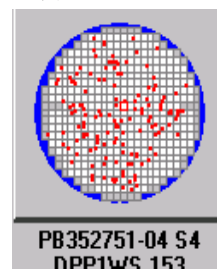
實驗順序 38



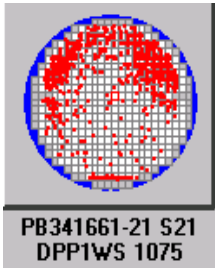
實驗順序 39



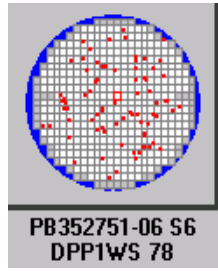
實驗順序 40



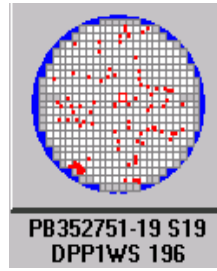
實驗順序 41



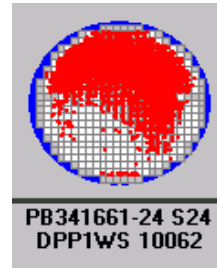
實驗順序 42



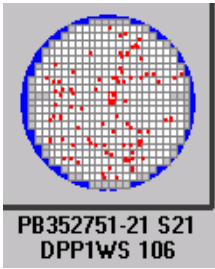
實驗順序 43



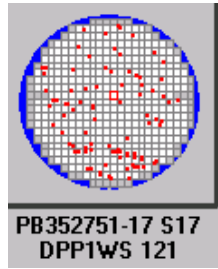
實驗順序 44



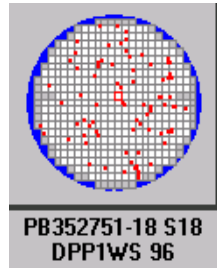
實驗順序 45



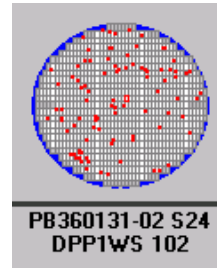
實驗順序 46



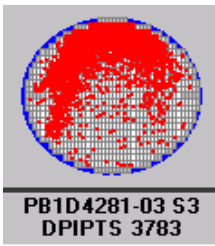
實驗順序 47



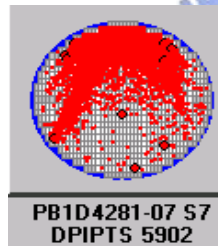
實驗順序 48



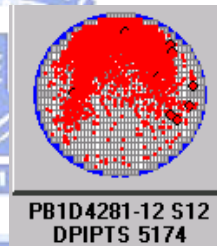
實驗順序 49



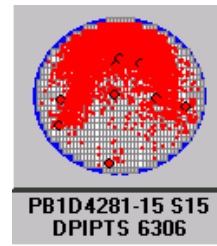
實驗順序 50



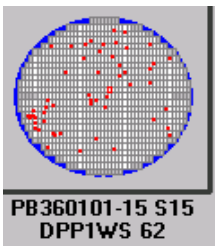
實驗順序 51



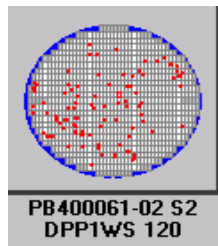
實驗順序 52



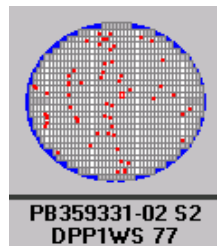
實驗順序 53



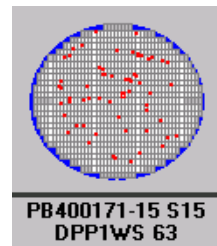
實驗順序 54



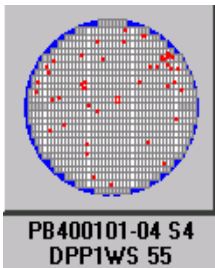
實驗順序 55



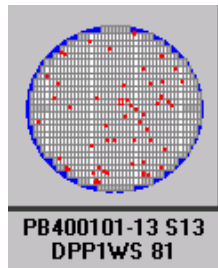
實驗順序 56



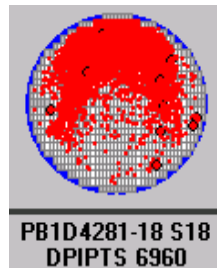
實驗順序 57



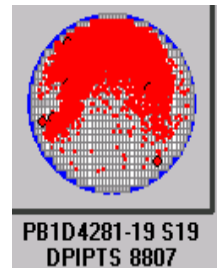
實驗順序 58

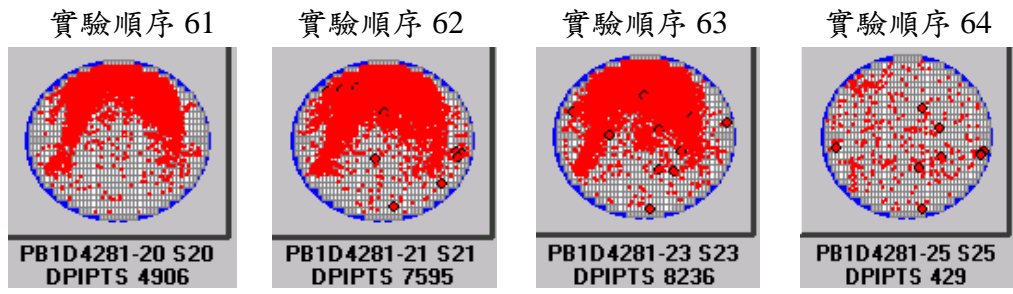


實驗順序 59



實驗順序 60





註:晶片圖下方最後一行左邊數字為晶片缺點數

圖 3-8 依實驗順序之缺陷點圖



3.6 資料分析

3.6.1 變異數分析

從表 3-3 之 Minitab 變異數分析表可以得知,所有交互作用項之 p-value 均大於 0.05,此表示所有因子間並無顯著交互作用。而在主效果效應(main effect) 方面,由於只有氧化層蝕刻之 p value 小於 0.05,其餘之 p value 皆大於 0.05,因此氧化層蝕刻是影響閘極缺陷的重要因素(在 $\alpha=5\%$ 之信賴水準)。而從圖 3-9 標準化效果常態機率圖中,可以得知只有氧化層蝕刻因子,在圖中並不是位於直線附近的點,它是影響閘極缺陷的重要因素,故結論與變異數分析的結果一致。

表 3-3 變異數分析表

Results for: MINITAB.MTW

Factorial Fit: C8 versus Block, HPM混酸, 氧化層蝕刻, 多晶矽沉積.

Estimated Effects and Coefficients for C8 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		3189.5	273.8	11.65	0.000
Block		-0.6	273.8	-0.00	0.998
HPM混酸	432.4	216.2	273.8	0.79	0.433
氧化層蝕刻	6173.4	3086.7	273.8	11.27	0.000
多晶矽沉積	108.3	54.2	273.8	0.20	0.844
HPM混酸*氧化層蝕刻	461.2	230.6	273.8	0.84	0.403
HPM混酸*多晶矽沉積	-592.1	-296.1	273.8	-1.08	0.284
氧化層蝕刻*多晶矽沉積	84.0	42.0	273.8	0.15	0.879
HPM混酸*氧化層蝕刻*多晶矽沉積	-597.7	-298.8	273.8	-1.09	0.280

S = 2190.15 R-Sq = 70.41% R-Sq(adj) = 66.11%

Analysis of Variance for C8 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	25	25	25	0.00	0.998
Main Effects	3	612947818	612947818	204315939	42.59	0.000
2-Way Interactions	3	9125791	9125791	3041930	0.63	0.596
3-Way Interactions	1	5715686	5715686	5715686	1.19	0.280
Residual Error	55	263822239	263822239	4796768		
Lack of Fit	7	54396686	54396686	7770955	1.78	0.113
Pure Error	48	209425553	209425553	4363032		
Total	63	891611558				

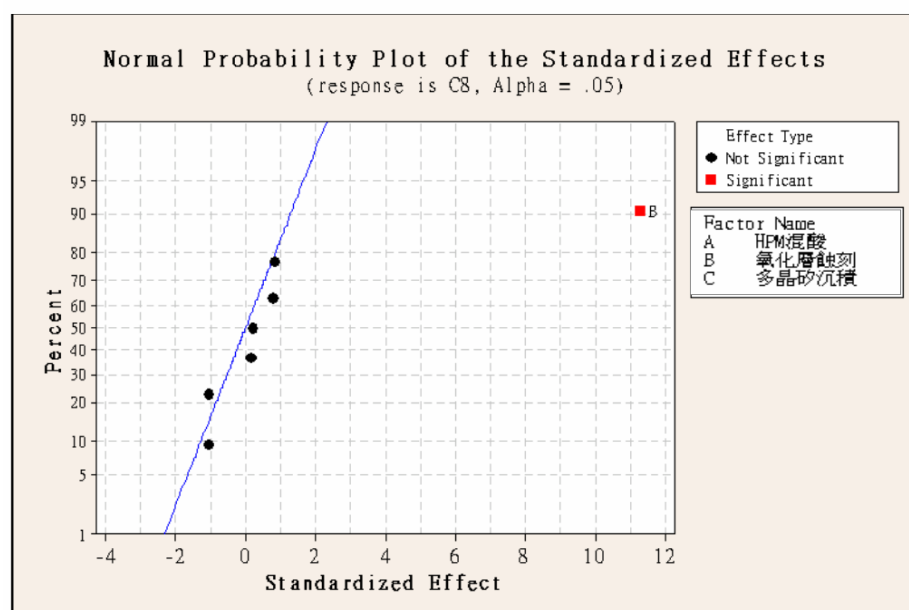


圖 3-9 標準化效果常態機率圖

3.6.2 模式適當性(Model Adequacy)分析

根據 3.6.1 節實驗資料進行模式適當性分析,結果如下:(1)檢視資料是否呈常態(Normality),從常態機率圖(Normal probability plot)可知,其曲線呈近似直線,故顯示資料符合常態,如圖 3-10 所示;(2)檢視資料是否呈獨立(Independence)及相同變異(Equal variance),從殘差分析中可以得知數值在 6250~5625 之間區間上下隨機震盪,故顯示資料符合獨立(Independence)與相同變異(Equal variance)條件,如圖 3-11 所示。綜上所述,模式適當性符合。

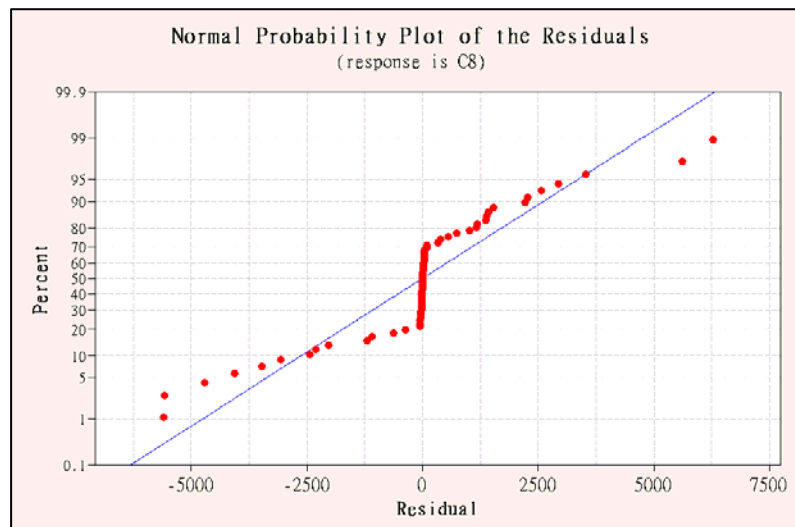


圖 3-10 常態機率圖(Normal probability plot)

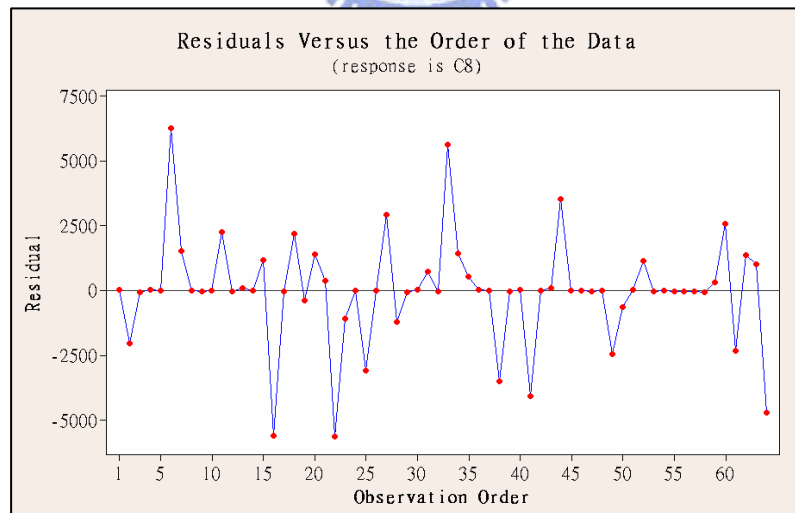


圖 3-11 殘差分析

3.7 實驗分析結果

從變異數分析所得知在主效果效應有顯著相關的氧化層蝕刻劃成主效果圖 (data means) 的線性關係如圖 3-12 所示,且由於本實驗我們所期望之目標特性為望小特性(單位:缺點數),故應該選擇 HF vapor (100% HF) 為最佳配方來進行氧化層蝕刻製程以徹底解決製程上所遇到的開極缺陷的問題。

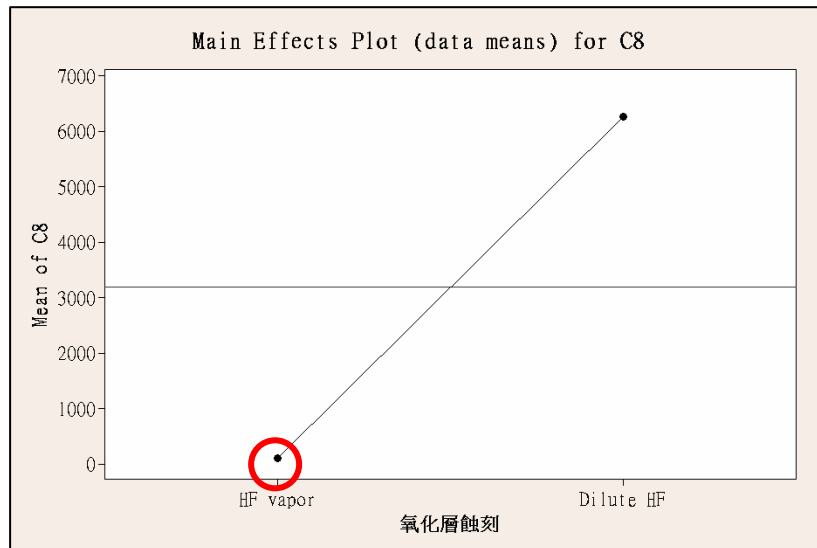


圖 3-12 主效果圖

從上面分析中可以得知,本研究所選擇最佳配方為 HF vapor(100% HF), 將實驗所得最佳配方進行產品驗證,全線 release 新配方到 Dram 產品線上,追蹤改善後之良率結果,如圖 3-13 所示,此圖為某週改善後 Dram 良率趨勢圖,由圖中可以得知運用最佳配方,可讓 Dram 產品線在良率方面穩定在 82-84%之高良率水準,改善效果相當顯著。

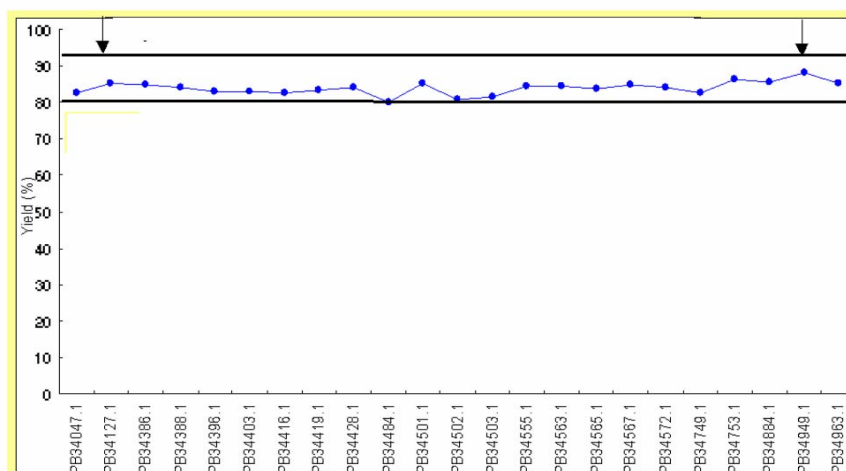


圖 3-13 改善後 Dram 良率趨勢圖

第四章 結論

實驗設計與產品良率間有著密不可分的關係,對製程良率改善人員而言,實驗設計可以讓工程師在規劃實驗時所花費之人力和時間成本最小,且能夠精確的找出解決製程問題的最佳配方,讓產品良率能夠快速提升。本研究以新竹科學園區某家半導體廠所產生之閘極缺陷為研究個案,利用三因子兩水準之完全隨機集區實驗設計來規劃整個實驗,最後找出閘極製程之氧化層蝕刻是影響閘極缺陷的重要因素,並選擇 HF vapor (100% HF)做為該製程的最佳配方,且順利解決了該公司所遭遇的閘極缺陷的問題,使該公司產品在市場上更具競爭的優勢。

本研究之成果可彙整如下:

- (1) 本研究利用實驗設計找出解決閘極缺陷的最佳配方,讓公司解決晶圓製程所存在的閘極缺陷問題,也讓公司每個月減少損失一千五百多萬的晶圓報廢問題,並使得進晶圓良率穩定在 82%~84% 高良率水準。
- (2) 建立實驗設計在晶圓廠之缺陷改善分析模式。
- (3) 讓業界更加重視實驗設計的方法。

參考文獻

- [1] 沈來明編著,試驗設計學,九州圖書,pp.1-3,1999.
- [2] Douglas C.Montgomery,"Design and analysis of experiments",pp.131,2001.
- [3] 沈文章、段定夫、馮明憲,積體電路製程及設備技術手冊-半導體製程材料及化學品,pp.87,1997.
- [4] 林義凱、劉美娟,半導體科技,No.37,pp.68,2003.
- [5] 陳宏銘,溼式化學清洗技術與設備研究動向,電子月刊,第五卷,第四期,pp.84-87,1999.
- [6] 林義凱、劉美娟,半導體科技,No.37,pp.69-71,2003.
- [7] 陳宏銘,溼式化學清洗技術與設備研究動向,電子月刊,第五卷,第四期,pp.90-91,1999.
- [8] 陳宏銘,溼式化學清洗技術與設備研究動向,電子月刊,第五卷,第四期,pp.90-91,1999.
- [9] 陳宏銘,溼式化學清洗技術與設備研究動向,電子月刊,第五卷,第四期,pp.91-92,1999.
- [10] 洪啟智、游文乾,積體電路製程及設備技術手冊-氧化製程與設備,pp.193-197,1997.
- [11] 洪啟智、張士昌,積體電路製程及設備技術手冊-複晶矽、矽氧化物及矽氮化物沈積製程與設備,pp.203,1997.
- [12] 施敏編著,半導體元件物理與製作技術,交大出版社,pp.583-585,2002.
- [13] 蕭宏編著,半導體製程技術導論,台灣培生教育出版,pp.430-431,2002.
- [14] 廖明吉,晶圓微污染防治,電子資訊,Vol.2,No.4,pp.19-24,1996.

- [15] Miyata T., "The SS Series-A Scrubber for Double-Sided Cleaning", *TEL NEWS/SPE*, Vol.2,9,1996.
- [16] Ingrid Peterson, Breaux Louis, Andrew Cross, and Mike von den Hoff, "Yield Management solutions", Vol.5, pp.39-40, 2003.
- [17] Ingrid B. Peterson, "Yield Management solutions", Vol.1, pp.39-40, 1998.

