

運用品質管制圖在半導體機台資料校正與分析

Using Control Chart for Semiconductor Machine Data Regulating and Analysis

陳榮靜*

朝陽科技大學資訊管理系

*crching@cyut.edu.tw

張蓓琪

朝陽科技大學資訊管理系

029496e@gmail.com

羅育文

朝陽科技大學資訊管理系

s10214605@cyut.edu.tw

摘要

在 IC 晶圓半導體製造過程中，品質的改善與提升機台的良率已成為半導體工廠獲利的重要指標。技術的進步固然重要，而其中掃描式電子顯微鏡工作站(SEM)又為主要晶圓檢測站點的重要關卡，確保其產品之良率維持在應有之水準是重要議題，晶圓製造之步驟通常都超過百道，而每一道製作過程都需要仔細監控，可能因其中某一道程序出了偏差而浪費昂貴的原料，例如球面像差校正不準確會導致機台良率不正確，而這將直接影響良率品質。一年之中的校正資料約 2500 筆數值，在現今製程越做越小的情況來看，良率相當的重要。一片 GOOD WAFER 良率直接影響生產線作業。但現有階段是以人工進行手寫 2500 筆數據資料校正工作，但長時間的檢測，會增加檢測人員的誤判，一旦造成誤判，良率不正確讓損失提高，增加製造成本。為了確保球面像差校正準確及資料數據精準，進而晶圓製造過程減少損失，穩定良率，我們利用 2013 年、2014 年、2015 年資料約 7500 筆來做分析，用標準差公式算出校正值，並利用品質管制七大手法的管制圖帶入常態分配圖，減少誤差，正確判斷，來辯別電子束產生之二

次電子的球面像差是否有機台異常之現象(SPC+-)，有效減少人工方式做紀錄的誤判，清楚知道校正 SPC 安全範圍(+/-)是否有超出異常，實驗證明我們的方法有效改善失控機台校正，增加機台良率品質。

關鍵詞：球面像差、誤差百分比、標準差、信賴區間、管制圖

1. 前言

品質的改善與機台良率的提升已成為半導體工廠獲利的主要指標[1]，而掃描式電子顯微鏡工作站(SEM)為主要晶圓檢測站點之重要關卡[2]，IC 設計公司將設計好的電路線路圖交給 IC 廠或代工廠之後，IC 廠依圖製作光罩(Photomasks)，將晶圓經由光罩做氧化(Oxidation)、蝕刻(Etch)與植入(Implant)，進一步測試之後，將晶圓再切割成一顆顆的小晶圓(chip)，而這些小晶圓再經由焊線(wire)、包裝(package)、封裝(seal)與測試(testing)等過程即可量產成為 IC 了[3]。圖 1 為晶元製造流程圖，測試為量產前最後一個步驟和最後一道關卡，而測試晶圓的機台良率是不可忽視的，球面像差[4]校正是相當重要的，每一筆數值資料的建立，對機台校正良率缺一不可，在 SU 機型一年之中機台每星期校正一次，資料又

有分不同電子束(15KV、5KV、2KV、1KV)，如果計算錯誤，會直接影響良率品質，一但造成誤判，良率不正確讓損失提高，增加製造成本。

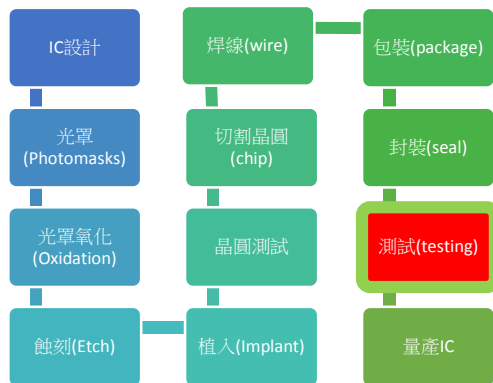


圖 1 晶元製造流程圖

品質是管理者和每位員工該關注的事[5]，當員工想解決品質問題，可選用其中適當工具，包括品質管制工具-品管七大手法(QC seven tools) [6]，品質管制工具程序可分為：(1)蒐集(2)整理(3)歸納分析(4)判斷決策[7]，品管七大手法介紹分為：特性要因分析圖、查檢表、柏拉圖、直方圖、層別法、散佈法、管制圖，而管制圖以樣本平均值為中心，上下各三個標準差為控制上下限，管制圖中包含中心線 (center line, CL)、管制上限 (upper control limit, UCL)、管制下限 (lower control limit, LCL) [8]，須七個點落在平均值上方或下方就已失控，如果是七點以內就需監控，圖 2 管制圖範例。

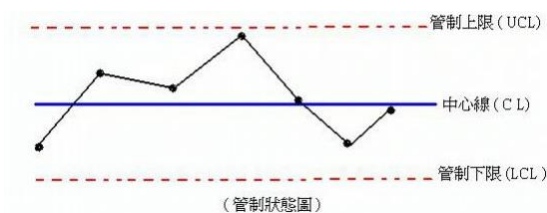


圖 2 管制圖範例

本論文研究如何改善掃描式電子顯微鏡機台 SX 機型校正量測分析資料準確性，不同電子束(15KV、5KV、2KV、1KV)每一種電子束要必須量測 3 次 Pitch，會有 3 次數值，而一年之中有 53 週別資料量約 2500 筆。用 2013 年、2014 年、2015 年資料約 7500 筆下去做分析與比對校正資料平均值，用誤差百分比公式與標準差公式算出校正平均值，自動化帶出參數平均值並利用品質管制七大手法中管制圖帶入常態分配圖，減少誤差，讓錯誤平均值能易於發現，並立即修正，降低成本損失。透過自動化帶出參數平均值，用誤差百分比公式算出校正平均值與標準差公式。結合管制圖，精確分析數據將 SX 校正資料有效整合並進行監控與分析判斷機台準確性，讓資料與圖曲線一目了然，提升半導體製程良率與減少誤判機率。

2. 量測機台背景說明

SEM[9]主要構造構造為上方電子槍產生電子束，經過電磁透鏡組使電子束聚焦成一微小的電子束照射至試片。掃描線圈用來偏折電子束，而在試片上做二度空間的掃描。電子束與試片作用後，激發出二次電子與反射電子，經由偵測器偵測後，經過訊號處理放大後送至 CRT，CRT 上的亮度與對比則反應出試片表面的形貌、特徵等[10]。

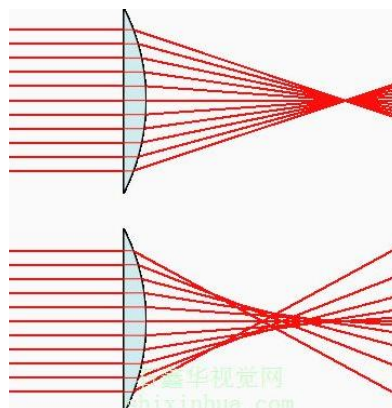
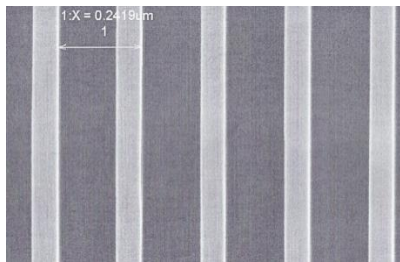
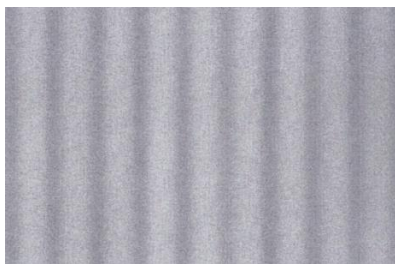


圖 3 球面像差聚焦與非聚焦圖

球面像差(Spherical aberration), 表示一個理想的鏡面(頂端)能經所有入射的光線匯聚在光軸上的一個點,但一個真實的鏡面(底端)會有球面像差:靠近光軸的光線會比離光軸較遠的光線較為緊密的匯聚在一個點上,因此光線不能匯聚在一個理想的焦點上,圖 3 球面像差聚焦與非聚焦圖。在光學中,球面像差是發生在經過透鏡折射或面鏡反射的光線,接近中心與靠近邊緣的光線不能將影像聚集在一個點上的現象,這在望遠鏡和其他的光學儀器上都是一個缺點,這是因為透鏡和面鏡必須滿足所需的形狀,否則不能聚焦在一個點上造成,圖 4 為球面像差良好與無法聚焦,因此無法量測。



(b)球面像差聚焦佳



(a)球面像差無法聚焦

圖 4 球面聚焦佳與無法聚焦

3. 研究方法

本論文採用半導體做機台[11]校正資料,應用統計學標準差結合管制線的概

念來自動偵測與分析,檢測出異常的資料,來供品管人員減少異常發生的機率,避免品質失控。

3.1SX 機台校正資料數值運用

SX 機台校正資料與照片,利用誤差百分比公式運算,一種倍率照片拍 3 次,再加總在一起平均除 3,是 3 根 Pitch 平均值再除以 3 則是 1 根 Pitch 數值。

誤差百分比公式:

$$\frac{(\text{量測值}-\text{標準值})}{\text{標準值}}*100\%=\text{誤差值}\pm 3。$$

SPEC:0.2399um \pm 3%(0.23~0.25)

例如:

$$\frac{(0.7183-0.72)/0.72*100\%}{3}=\frac{0.002(0.7183+0.7183+0.7183)}{3/3}=0.239$$

標準值為 0.2399um, SPEC:0.2399, 3 根 Pitch 加總除 3,是 3 根 Pitch 平均值,由於每根 Pitch 量 3 次,除以 3 則是 1 根 Pitch 數值。

而 0.239 有涵蓋在 0.2399 \pm 3%之內,而資料統計是統計與儲存全部資料的中心,利用公式化算法代出平均值數值,在計算錯誤,會直接影響良率品質,一但造成誤判,良率不正確讓損失提高,增加製造成本。以拍攝倍率 100 倍,單位換算: um X 1000 = nm,螢幕下方的比例尺為 500 nm(10⁻⁹ 次方),量測值為 0.5000 um(10⁻⁶ 次方),0.5000 um X1000 = 500 nm。

3.2 SX 機台校正資料錯誤分析

SX 機台用 2013 年與 2014 年度錯誤校正數據資料由掃瞄式電子顯微鏡校正

資料所構成，沒有資料數據統計和管制圖顯示，完全手寫容易抄錯，照片校正數值是否正確，操作機台人員球面像差誤判，導致良率有誤差值，增加製造成本。因量測校正不準確，而導致螢幕下方的比例尺良率發生問題，在校正過程中，因完全手寫容易抄錯，照片校正數值不正確，量測 Pitch 算錯支數，操作機台人員球面像差誤判，導致良率有誤差值，增加製造成本，毫無效率，圖 5 為 50 倍率比例尺量測值錯誤。

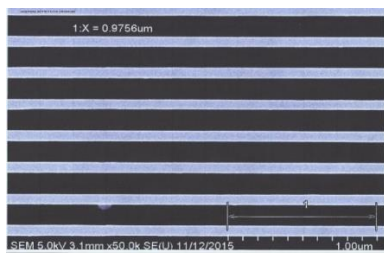


圖 5 50 倍率比例尺量測值錯誤

3. 3SX 資料研究校正錯誤方法

SX 機台用 2013 年與 2014 年度校正資料由掃瞄式電子顯微鏡校正資料統計所構成，新增資料數據統計和管制圖顯示，與比例尺量測值線，讓人員清楚知道錯誤數值，並馬上修正 CHECK 阻止品質失控發生，管制圖中包含中心線 (center line, CL) 為 0.24um、管制上限 (upper control limit, UCL) 為 0.25um、管

制下限為 0.23um (lower control limit, LCL)。以資料數據統計和品質管制七大手法的管制圖替代人工手寫，平均值如有異常檔案會馬上出現紅色字提醒，而圖表部分也有劃安全範圍線作為警示，一但超出警示線，操作人員一目了然，絕不會看錯數值的可能，以 2014 年 W401~W453, 100 倍 X 軸，三次量測值 100X-ave 平均值，來監控是否有超出或低於標準範圍，用資料數據統計和管制圖，圖 5 為 2014 年 100K X 管制圖。Shewhart 管制圖，其主要模型為：

設 w 是測量品質值的統計量， μ_w 為 w 的平均數， σ_w 為 w 的標準差，則

$$\begin{aligned} UCL &= \mu_w + k\sigma_w \\ CL &= \mu_w \\ LCL &= \mu_w - k\sigma_w \end{aligned}$$

其中 k 為管制界限和中心線的距離，稱為管制界限係數 (coefficient)，一般設定為 3 或 3.09。根據品質特徵值的屬性不同，Shewhart 管制圖也稱為計量值管制圖 (variable control chart)[13]。

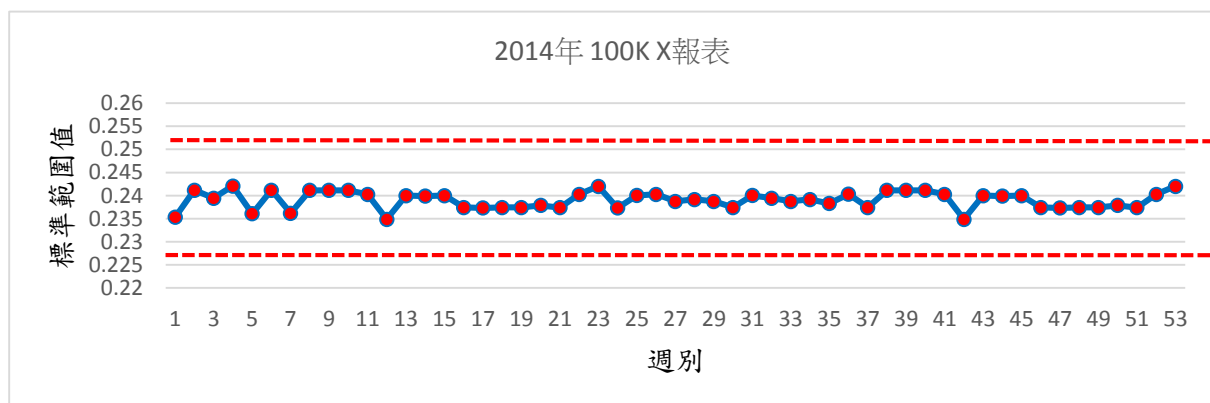


圖 6 2014 年 100K X 管制圖

而 2013 年 W401~W453，100 倍分別有 X 軸，三 管制圖中包含中心線 (center line, CL) 為次量測值 100X-ave 平均值，來監控是否有超出 0.24um、管制上限(upper control limit, UCL) 或低於標準範圍，結果有發現數值異常呈現失 為 0.25um、管制下限為 0.23um (lower control limit, LCL) 已超出安全範圍，超出 7 個點是出現紅色字提醒需立即改善，圖表也會超出警 失控狀態，需馬上進行修正改善。示線提醒，表 1 為資料數據統計。圖 7 為 100KX

表 1 資料數據統計表

CD measruement								
	2013 年	1/1~12/31						
WEEK	5KV							
	100X	100X	50X	100X-ave.	100Y	100Y	100Y	100Y-ave.
W301	0.7085	0.7046	0.7046	0.2353	0.712	0.6	0.7199	0.225767
W305	0.7082	0.7082	0.7082	0.236067	0.7238	0.716	0.716	0.239533
W306	0.7222	0.7222	0.6	0.227156	0.7222	0.7183	0.7222	0.2403
W307	0.7085	0.7085	0.7085	0.236167	0.7199	0.7238	0.9	0.260411

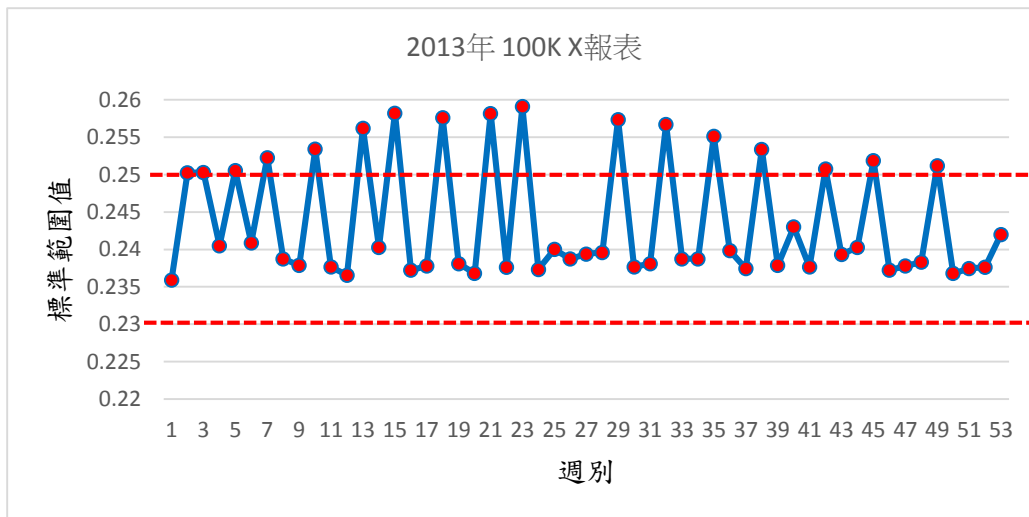


圖 7 2013 年 100K X 管制圖

4. 校正資料研究方法結果

4.1 正確校正量測值

套用 2015 年最新校正數據統計，100 倍量測結果與圖譜顯示，球面像差調精準，量測精準

量 3 支 pitch，在拍攝與量測過程中有誤量或校 W433 資料來確認圖 8 為 2015 年 100K X 管制正片有問題或機台異常等等，都可以由數據與圖。其中有 6 點在管制中心線下方，若再增加管制圖顯示異常來提醒操作人員，以任抽一筆一點，將有七點在管制線一側，也會啟動偵測。

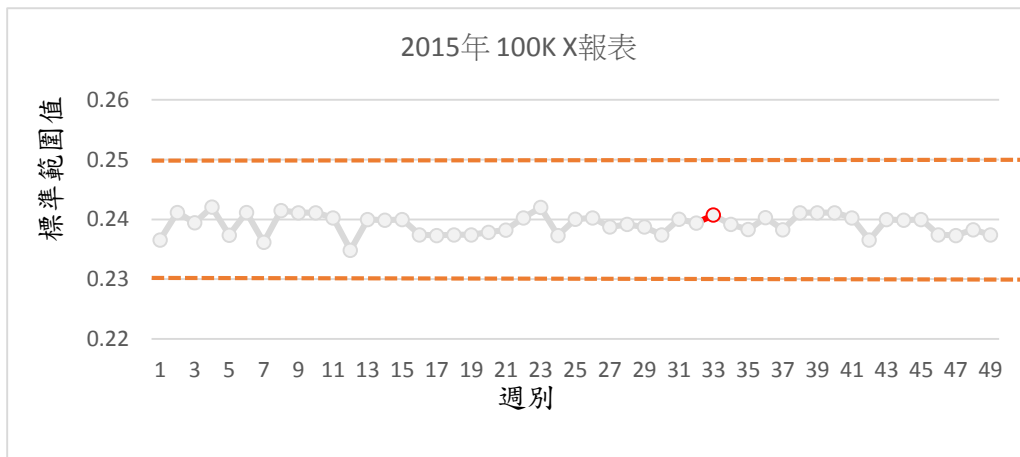


圖 8 2015 年 100K X 管制圖

4.2 2014 年標準差分析結果

運用 2014 年資料建模，套用公式利用信賴區間，常態分配圖表示在常態分配當中各範圍內佔的比例，68% 信賴區間落在平均數距離一個標準差範圍內，95% 信賴區間落在平均數距離兩個標準差範圍內，99.7% 信賴區間落在平均數距離三個標準差範圍內，樣本中線是對稱的鐘型，公式：

在任何常態曲線都可以完全代入平均數與標準差[14]。圖 9 為 2014 年標準差圖，用 2014 年信賴區間的常態分配圖，0.24 平均數，0.25~0.23 為 68% 信賴區間落在平均數距離一個標準差範圍內，0.26~0.22 為 95% 信賴區間落在平均數距離兩個標準差範圍內，0.27~0.21 為 99.7% 信賴區間落在平均數距離三個標準差範圍內。

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

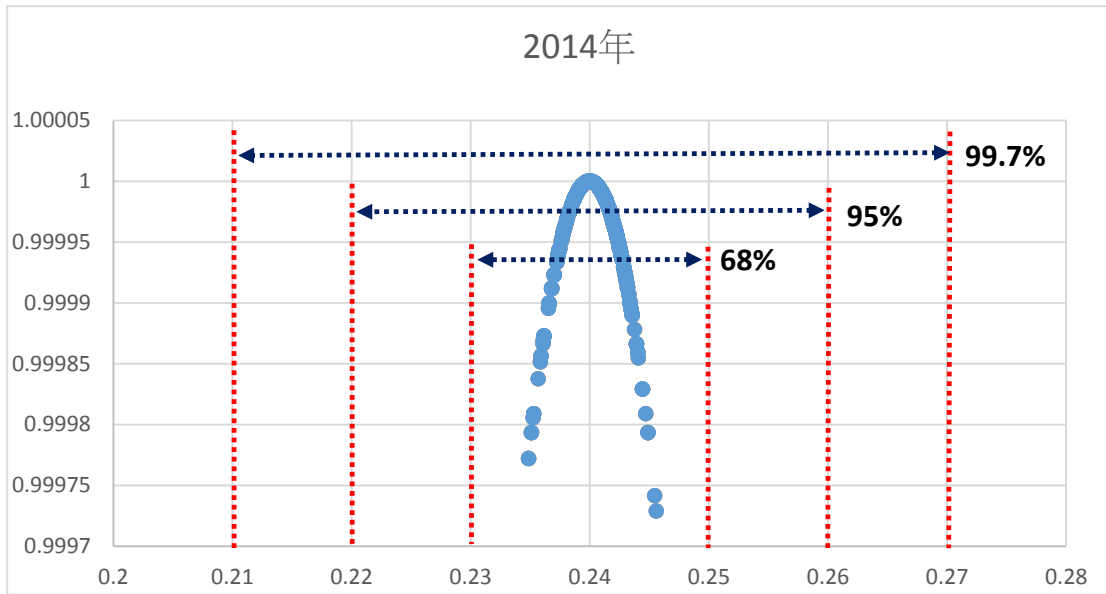


圖 9 2014 年標準差圖

4.3 2015 年標準差分析結果

運用 2015 年標準差公式分析結果，把所有倍率平均值用公式套入，顯示在 SPC 範圍之內，以 2014 年建模 2015 年作為測試標準差結果顯示，2014 年與 2015 年常態

分配圖表做比較，相較有數據統計與常態分配表更能顯示，減少量測誤差的重要性，數據與常態分配表運用標準差公式算出每個平均值的標準差[15]圖 10 為 2015 年標準差圖。

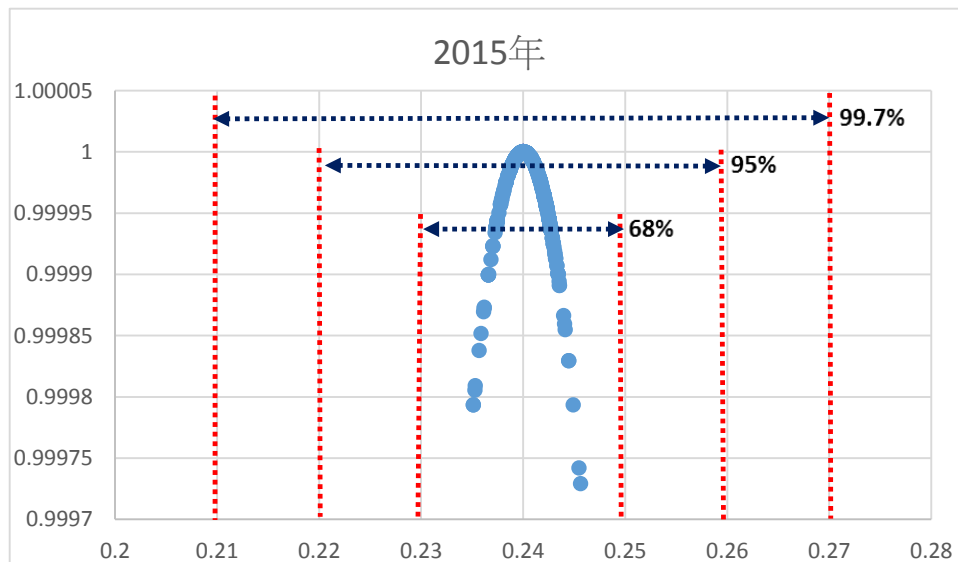


圖 10 2015 年標準差圖

5. 討論與結論

測試晶圓的機台良率是不可忽視的，本論文探討如何改善掃描式電子顯微鏡機台 SX 機

型校正量測分析資料準確性，用 2013 年、2014 年、2015 年資料做分析與比對校正資料平均值，用誤差百分比公式與標準差公式算出校正平均值，用品質管制七大手法的管制圖帶入常態分配圖，研究結果發現，確實有效改善錯誤率，減少誤差，降低成本損失，精確分析數據把 SX 校正資料 3 年資料有效整合並進行監控與分析判斷機台準確性，提升半導體製程良率，誤差百分比公式校正資料數值錯誤與正確分析，以利用管制圖帶入常態分配圖，減少資料校正誤差，避免產生失控情況，校正資料研究方法結果，正確校正量測值，利用標準差公式計算分析結果以常態分配圖表示，結論改善機台校正準確度與效能，未來希望可用在其他半導體機台校正數據的應用。

參考文獻

- [1] 許棟樑 教授，半導體廠設備績效指標整理與 Excel 評估系統應用碩士論文，90 年清華大學工業工程專題
- [2] 陳復生，半導體廠 SEM 作業員視覺疲勞之評估改善碩士論文，2005 年清華大學數位人因工程研究室
- [3] MoneyDJ 財經知識庫，半導體之材料，晶圓 2000/08/24 參考網
址：<http://www.moneydj.com/kmdj/report/reportviewer.aspx?a=5b405c00-795b-11d4-a1a3-00e018b00aed#ixzz3vzCTMREh>
- [4] 維基百科，自由的百科全書，球面像差參考網址：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%90%83%E9%9D%A2%E5%83%8F%E5%B7%AE>
- [5] 陳鴻基\李有仁，全面品質管於軟體開發之應用，資訊管理研究，第四卷，第一期，2002 年 1 月
- [6] 維基百科，品質七大手法，自由的百科全書，參考網
址：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%93%81%E7%AE%A1%E4%B8%83%E5%A4%A7%E6%89%8B%E6%B3%95>
- [7] 戴久永，全面品質管理，參考第 10 章 313 頁~354 頁，100 年 11 月，出版社：滄海書局
- [8] 蔡雨潔，統計品質管制的理論與方法，國立高雄大學統計學研究所，參考網
址：<http://www.stat.nuk.edu.tw/huangwj/course/97/m0974403.doc>
- [9] 汪建民，材料分析，中國材料科學學會，清華大學材料科學工程學系，2001 年
- [10] 清華大學博士羅聖全，研發奈米科技的基本工具之一 電子顯微鏡介紹 - SEM，材料世界網，小奈米大世界 參考網
址：<http://www.materialsnet.com.tw/AD/AD/Images/AAADDD/MCLM100/download/equipment/EM/FE-SEM/FE-SEM005.pdf>
- [11] SX 機台，2011 年 8 月，參考網
址：<http://hitachi-hta.com/sites/default/files/literature/SU8000FamilyBrochure.pdf>
- [12] 周昭宇\林裕章，統計品質管制，清華大學品質中心研究所，參考網
址：http://mx.nthu.edu.tw/~ctsu/QRC/studyQ/control_chart/
- [13] 洪錦魁，Excel2013 教學範本，第 8 章 8-5，出版社：上奇科技，104 年 3 月
- [14] 應立志，基礎統計學，參考第 7 章 7-2~7-13，出版社：普林斯頓，102 年 7 月
- [15] 林柏佐，信賴區間與信心水準的解讀，國立臺灣師範大學，2014 年 8 月，參考網
址：<http://web.cc.ntnu.edu.tw/~494402345/CI/CI.pdf>