



逢甲大學學生報告 ePaper

以 Excel 數據驗證田口方法改善封裝

製程切割品質研究

Excel-Based Verification of Taguchi Method for
Improving Die Saw Quality in Assembly Process

作者：曾邦誠、許嘉祐、郭恩豪、沈士庭、蘇宥誠、梁智博

系級：工業四甲

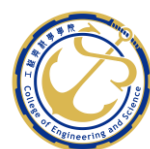
學號：D1148899、D1148710、D1148767、D1149134、D1149091、
D1123703

開課老師：王姿惠 老師

課程名稱：品質與可靠度工程

開課系所：工業工程與系統管理學系

開課學年：一一三學年度 第二學期



中文摘要

本研究旨在驗證既有文獻中以田口方法改善晶圓切割崩裂的數據，探討其最佳化參數是否確實能提升製程能力。由於晶圓切割過程中的正面與背面崩裂會直接影響產品良率，因此如何降低崩裂一直是製程改善的重要課題。

在研究過程與方法上，本研究並未重新設計實驗，而是以 Excel 將文獻中提供的數據進行再分析與驗證，所引用之數據來自國立雲林科技大學工業工程組碩士論文—高志銘(2015)所撰寫的《以田口方法改善封裝製程切割品質之研究》。藉由建立運算模型，模擬田口方法所提出的最佳參數組合，以確認其改善效果是否具有再現性。

驗證結果顯示，正面崩裂的 Cpk 值由 1.43 提升至 1.97，背面崩裂的 Cpk 值由 1.49 提升至 1.87，分別提升約 38 % 與 25 %，同時平均崩裂值也顯著下降。此結果證實，田口方法確實能有效改善製程品質，而本研究所採用之 Excel 再驗證模式，亦提供一種快速且低成本的分析手法，不僅能重現文獻中的改善趨勢，也可應用於其他製程數據之可靠性驗證，對提升製造效率與品質控管具有實務應用價值。



關鍵字：晶圓切割、崩裂缺陷、Excel 驗證、田口方法、Cpk、品質改善

Abstract

The present study aims to verify the data reported in existing literature on improving wafer dicing cracks using the Taguchi method, and to examine whether the proposed optimized parameters can indeed enhance process capability. Since both front-side and back-side chipping during the wafer dicing process directly affect product yield, reducing chipping has always been a critical issue in process improvement.

In terms of research process and methodology, this study did not redesign new experiments. Instead, Excel was employed to re-analyze and validate the data provided in the literature. The referenced data were drawn from the master's thesis by Chih-Ming Kao (2015), *A Study on Improving the Dicing Quality of Packaging Process by Taguchi Method*, Department of Industrial Engineering, National Yunlin University of Science and Technology. By establishing a computational model, this research simulated the optimal parameter combinations proposed in the thesis to confirm whether the improvement effects are reproducible.

The verification results show that the Cpk value for front-side chipping improved from 1.43 to 1.97, while that for back-side chipping increased from 1.49 to 1.87, representing improvements of approximately 38% and 25%, respectively. At the same time, the average chipping value was significantly reduced. These results confirm that the Taguchi method can effectively improve process quality. Moreover, the Excel-based revalidation model adopted in this study provides a fast and low-cost analytical approach. It not only reproduces the improvement trends reported in Kao (2015), but can also be applied to the reliability verification of other process data, offering practical value for enhancing manufacturing efficiency and quality control.

Keyword : Wafer sawing, Chipping defects, Excel verification, Taguchi method, Cpk, Process capability, Quality improvement

目 次

中文摘要.....	1
Abstract.....	2
目次.....	3
第一章 緒論.....	4
1.1 研究背景與動機.....	4
1.2 研究目的與範疇.....	4
1.3 研究範圍與限制.....	4
第二章 文獻探討.....	5
2.1 FBGA 封裝製程.....	5
2.2 正面崩裂與背面崩裂.....	5
2.3 田口品質工程.....	6
2.3.1 兩階段最佳化程序.....	6
2.3.2 直交表.....	7
2.3.3 訊號雜音比 S/N 比 (Signal to Noise Ratio)	8
第三章 研究方法.....	10
3.1 實驗測量方法.....	10
3.2 切割品質改善流程.....	12
3.3 田口實驗設計.....	13
3.3.1 決定品質特性.....	14
3.3.2 實驗配置.....	14
3.3.3 直交表選擇.....	15
第四章 實驗結果與驗證.....	17
4.1 實驗步驟.....	17
4.2 SN 比/平均值/變異數分析	17
4.3 ANOVA 分析	22
4.3.1 ANOVA 中各項統計量計算方式.....	22
4.4 預測 S/N 比信賴區間	23
4.5 最佳化參數驗證.....	25
4.6 結果驗證.....	26
第五章 結論與未來研究方向.....	28
5.1 結論.....	28
5.2 未來研究方向.....	28
參考文獻.....	29

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

田口方法 (Taguchi Method) 是一種常用於品質工程與可靠度分析的實驗設計方法，主要透過直交表 (Orthogonal Array) 安排實驗，藉由控制因子與水準的組合，找出能降低變異並提升製程能力的最佳化條件。在「品質與可靠度分析」課程中，我們學習了田口方法的理論與應用，並以晶圓切割製程為案例，探討其在降低正、背面崩裂 (Chipping) 上的成效。

為了驗證文獻中所提出的最佳化切割參數是否能確實改善製程品質，本研究以 Excel 工具進行數據模擬與計算，檢視田口方法在該製程應用上的可靠性。所引用之文獻為國立雲林科技大學工業工程與管理研究所碩士論文—高志銘 (2015) 所撰寫的《以田口方法改善封裝製程切割品質之研究》，該研究提出最佳化切割參數並顯示其對降低崩裂具有顯著改善效果，因此本研究將其數據作為再驗證的依據。

1.2 研究目的與範疇

本研究主要目的如下：

- 透過 Excel 驗證文獻中以田口方法得到的最佳化切割參數組合。
- 分析參數對正、背面崩裂的影響，確認其改善製程品質的效果。
- 評估田口方法在晶圓切割製程中的再現性與統計可靠性。

研究範疇聚焦於晶圓切割製程的品質特性 (正面與背面崩裂)，以現有文獻數據為基礎進行驗證，不涉及重新進行實體實驗。

1.3 研究範圍與限制

本研究以 Excel 工具進行資料驗證，並未進行實際製程操作，因此僅能反映文獻數據的再現性，無法涵蓋不同設備、環境或材料條件下的變異。同時，研究的因子設定受限於文獻所提供的參數，未能探討更多可能影響崩裂的因素。

第二章 文獻探討

2.1 FBGA 封裝製程

在高腳數、高密度的先進 IC 封裝需求下，FBGA (Fine-pitch Ball Grid Array) 已成為常見的封裝方式。其製程包含晶圓檢測、切割、黏晶、鍵合與封裝成型等多道高精密步驟。其中，晶片切割 (Die Saw) 是承先啟後的重要環節。晶圓經前段製程完成後，需藉由晶圓切割 (Die Saw) 高精度切割成單顆裸晶 (Die)，以利後續封裝。這一步驟不僅關係到切割良率與尺寸精度，也深刻影響晶粒邊緣品質、裂片率與最終封裝可靠度。

晶片切割 (Die Saw) 的切割品質仰賴多項技術參數，包括刀片材質、進給速度、冷卻水流控制與切割路徑規劃等，稍有不慎便可能導致嚴重瑕疵，影響成品品質。

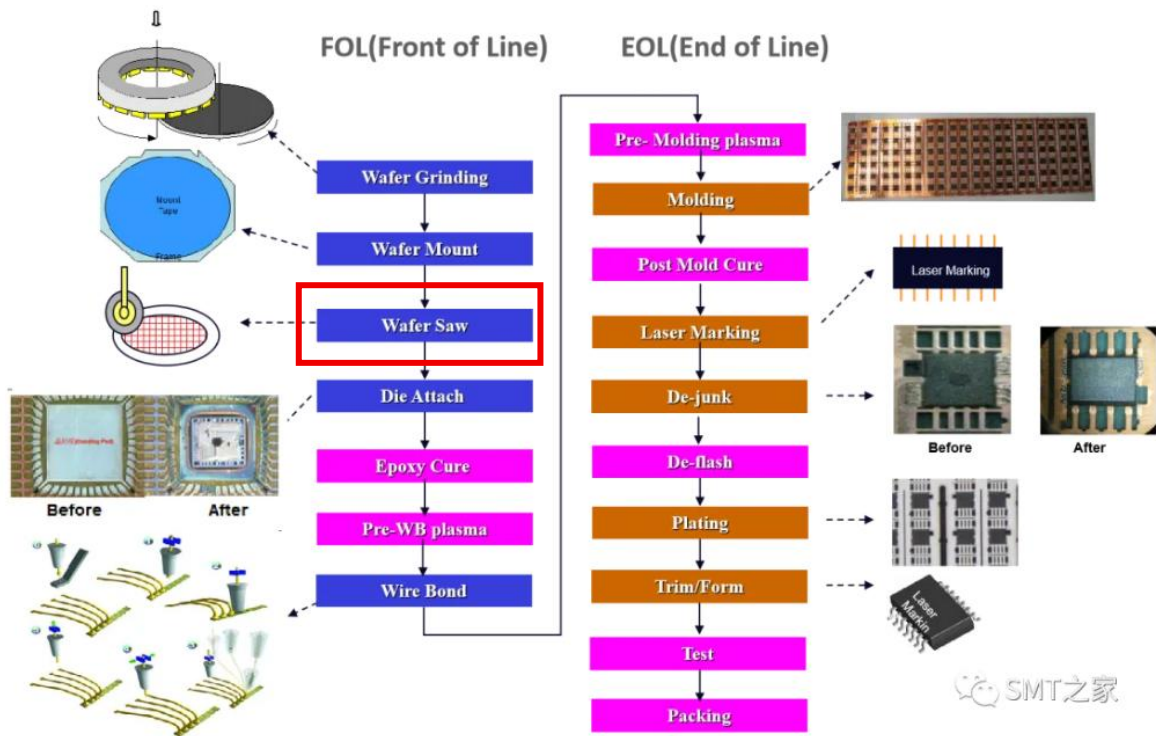


圖 2-1 FBGA 封裝流程圖(資料來源：鉅亨網站)

2.2 正面崩裂與背面崩裂

切割過程分為兩階段：裂解 (cracking) 與移除 (removing)。首先，割刀在裂解階段造成晶圓表面結構破裂，接著進入移除階段，將破裂物質移除，以完成單顆晶粒的分離。此機械式高精度切削技術對控制切割線寬、邊緣完整度與晶粒尺寸穩定性至關重要。

然而，切割不良會直接影響成品可靠度與產線良率。圖 2-2 顯示兩種常見的失效類型：正面崩裂 (chipping on top side) 與背面崩裂 (chipping on back side)。正面崩裂通常因應力集中導致表面脆裂，可能損害線路；背面崩裂則影

響晶粒機械強度，降低可靠性。為避免上述問題，切割過程中必須使用純水冷卻並進行即時檢測與品質控管。每一項微小瑕疵都須嚴加控管，否則將對後段封裝與測試造成不良影響，進而損害整體產能與成品質量。

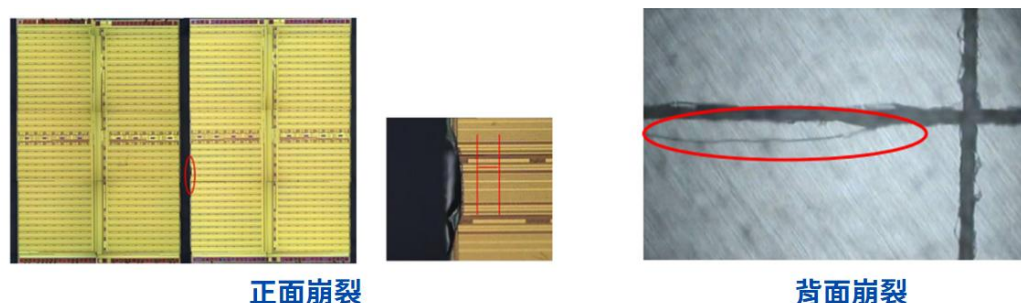


圖 2-2 正面崩裂/背面崩裂

2.3 田口品質工程

田口玄一博士所提出的品質工程 (Taguchi Methods)，源自於 1920 年代由 R.A. Fisher 創立的實驗設計法 (Design of Experiments, DOE)。傳統 DOE 透過多因子組合與變異數分析 (ANOVA) 來評估影響，但隨著因子與水準增加，實驗組合快速膨脹，導致成本與時間大幅提升。為解決此問題，田口於 1950 年代將實驗設計導入工業品質管理，發展出以直交表 (Orthogonal Array) 進行實驗，能有效減少實驗次數，節省資源並提升效率。

田口方法的心理念強調透過設計來抵抗變異，而非單純降低變異，並提出以信號雜音比 (Signal-to-Noise Ratio, S/N Ratio) 評估系統穩健性，引入雜音因子以模擬外在干擾，藉此找出能在不同條件下仍保持穩定的最佳參數組合。此外，在研發階段即可利用測試件或模擬進行機能設計，避免大量試製與壽命試驗，提升開發效率。

2.3.1 兩階段最佳化程序

在田口品質工程中，產品與製程開發可分為三個階段：系統設計 (System Design)、參數設計 (Parameter Design)、允差設計 (Tolerance Design)。其中，參數設計扮演關鍵角色，目標是透過實驗規劃找出最佳的控制因子組合，使產品或製程在外界環境影響下仍能保持最高穩定性、最小變異與最小損失 (成本)。實務上，為了使品質特性的平均值接近目標值，必須先降低變異；當影響變異的最佳控制因子確立後，再進一步調整平均值至目標值，以滿足顧客需求。這種「先降低變異，再調整平均值」的策略，即為兩階段最佳化過程 (Two-Stage Optimization Process)，也是田口方法的核心精神。

圖 2-3 顯示了參數設計的流程圖，包含從系統目標界定、控制因子與水準的選定、直交表配置與實驗數據收集，到針對不同品質特性 (望目或望小/望大特性) 進行 S/N 比計算與效應圖繪製，再透過二階段最佳化程序決定最佳因子組合，最後執行確認實驗並驗證設計的穩健性。此流程清楚展現了參數設計的系統化步驟

與實務應用價值。

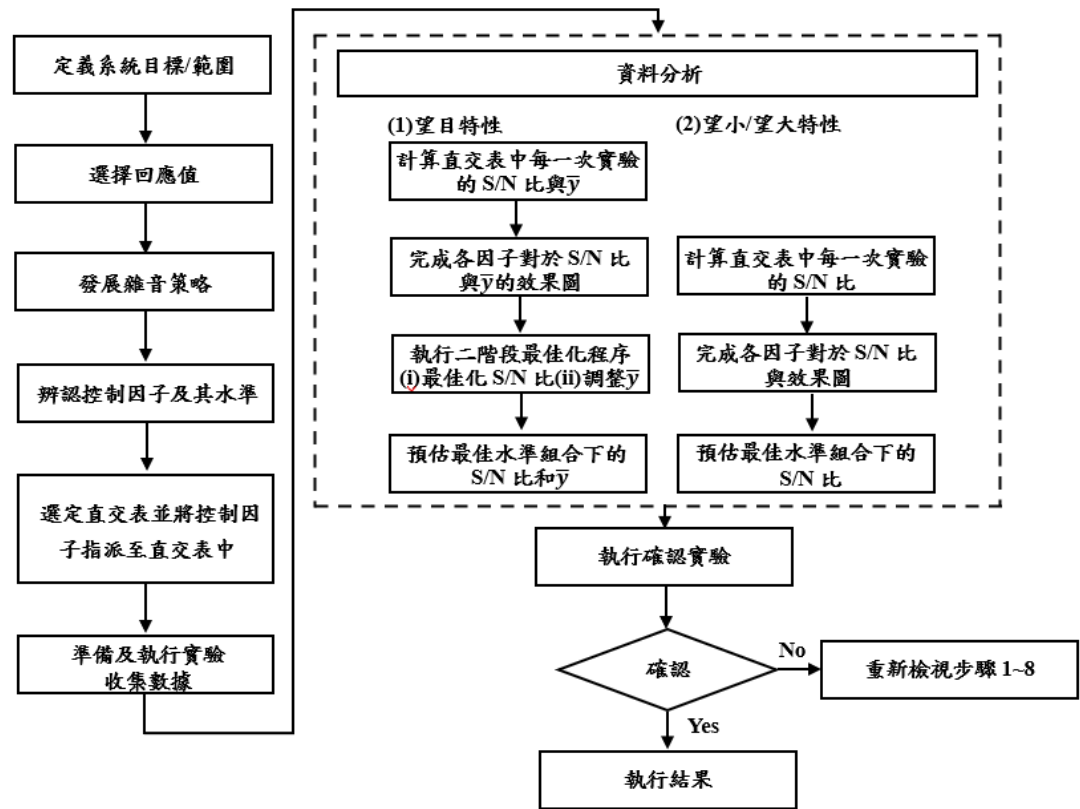


圖 2-3 參數設計分析流程圖(資料來源：李輝煌，2011)

2.3.2 直交表

田口玄一博士提出直交表(Orthogonal Array, OA)的目的在於降低實驗次數，以有效獲得所需結果。其核心概念是建立在加法性模型(Additive Model)上，強調能夠簡化實驗設計，而非直接解決品質問題本身。直交表的優點在於能獨立且均衡地估算控制因子的主效應(Main Effect)，可視為全因子實驗中的部分因子設計，大幅減少實驗成本與時間。

直交表的基本表示方式為 $L_a(b^c)$ 如圖 2-4 所示，其中 a 代表實驗次數， c 代表因子數，每個因子有 b 個水準。例如表 2-1 的 $L_8(2^7)$ 表示共有 8 組實驗，可配置 7 個二水準因子(A~G)。在表中，行代表因子或交互作用的配置位置，數字則對應因子的不同水準(如 1、2)。為避免系統性誤差，實驗順序通常建議以隨機化方式執行。

此外，部分直交表可同時容納不同水準的因子，表示為 $L_a(b^c \times d^e)$ ，即代表共有 a 次實驗，可同時安排 c 個 b 水準因子與 e 個 d 水準因子。此設計在參數實驗中尤其重要，因為完整的規劃除控制因子配置外，還需搭配雜音因子安排、原始數據收集，並透過信號雜音比(S/N Ratio)與感度分析進行轉換，以找出穩健且最佳的參數組合。

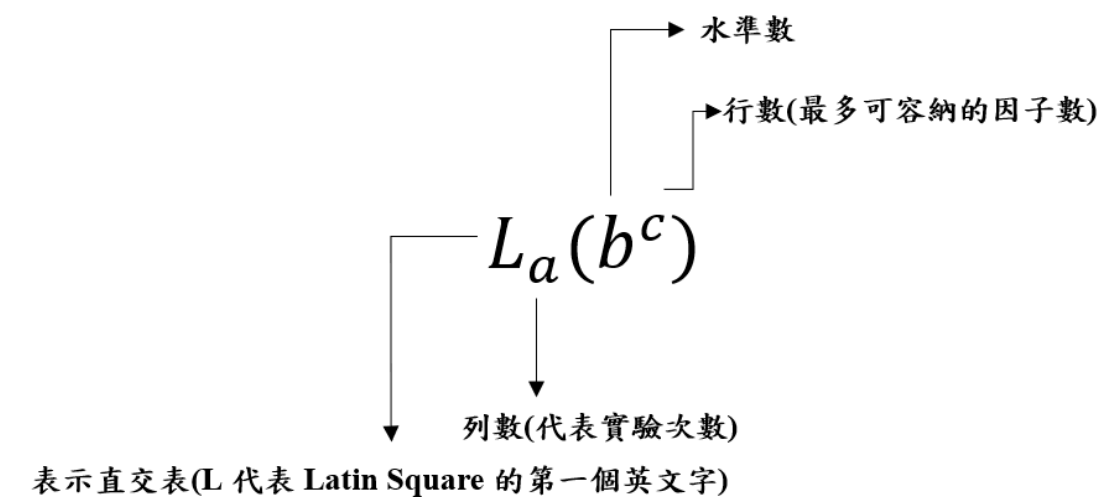


圖 2-4 直交表符號表示方式 (資料來源：蘇朝敦 2005)

表 2-1 $L_8(2^7)$ 直交表

實驗編號	行						
	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

(資料來源：蘇朝敦 2005)

2.3.3 訊號雜音比 S/N 比 (Signal to Noise Ratio)

在通訊領域，訊號雜音比 (Signal-to-Noise Ratio, S/N) 定義為有效訊號與背景雜訊的比值：

$$\eta = \log\left(\frac{\text{有用強度}}{\text{有害強度}}\right)db$$

田口博士將此概念引入品質工程，發展出應用於參數設計的 S/N 比。其品質哲學認為，良好品質須同時具備兩項特徵：一是變異越小越好，二是品質特性的平均值接近目標值。在此脈絡下，平均值被視為「有用的信號」，變異則視為「有害的雜訊」。因此，當 S/N 比值愈大，表示品質愈佳且穩定，期望損失也越低；反之，若 S/N 比值愈小，則意味著品質不穩定，損失風險隨之增加。

S/N 訊號雜音筆又分為以下三種：

1. 望目特性 (Nominal-The-Best)

當品質特性 y 有明確的目標值時，則屬於「目標值最好型（望目）特性」。在田口方法中，可透過極大化 S/N 比來找出能降低變異的因子（此時不考慮平均值），並搭配平均值調整（透過調整因子使平均值更接近目標值，而不影響變異）。當 y 越接近設定的目標值 m ，表示產品品質越穩定且優良，其 S/N 比公式如下：

$$SN_{NTB} = -10 \cdot \log_{10} \frac{S^2}{\bar{y}}$$

$$\text{其中 } \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}$$

2. 望小特性 (Smaller-The-Better)

此類品質特性的理想值為 0，適用於「缺陷數量、誤差值、污染量」等愈小愈佳的品質特性。此類情況代表產品或製程希望「盡可能降低」該品質特性，且同時控制變異以減少損失。此時 S/N 比的公式為：

$$SN_{STB} = -10 \cdot \log \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n}$$

3. 望大特性 (Larger-The-Better)

適用於品質特性值愈大愈佳的情境，例如強度、效率、產能、壽命、可靠度等指標。在田口方法中，這類特性代表產品或製程的性能需「盡可能提升」，同時希望其變異越小越好。此時 S/N 比的公式為：

$$SN_{LTB} = -10 \cdot \log \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}}{n}$$

第三章 研究方法

此篇論文旨在探討如何調整製程參數設計，以降低晶圓於封裝切割階段所產生的崩裂問題，進而提升切割製程的品質。研究對象為兩家 IC 測試公司，所採用的切割技術為 Step Cut 雙刀切割模式，也就是透過分階段的切割方式完成晶圓分割。具體而言，首先利用 Z1 切割刀將晶圓切割至特定深度，接著以 Z2 切割刀將晶圓完全分離為顆粒狀晶粒，相關示意如圖 3-1 所示。

在影響製程品質的各项因素中，Z1 刀具造成的正面崩裂以及 Z2 刀具導致的背面崩裂為主要問題來源。特別是在晶粒尺寸較小或接觸密度較高時，崩裂現象會進一步影響內部結構與功能表現。因此，本研究後續將應用田口實驗設計法，針對切割參數進行最佳化，並以實驗方式驗證不同條件下對崩裂現象的影響，以尋求滿足客戶品質要求的製程參數組合，並區分正面崩裂與背面崩裂兩類問題進行深入探討。

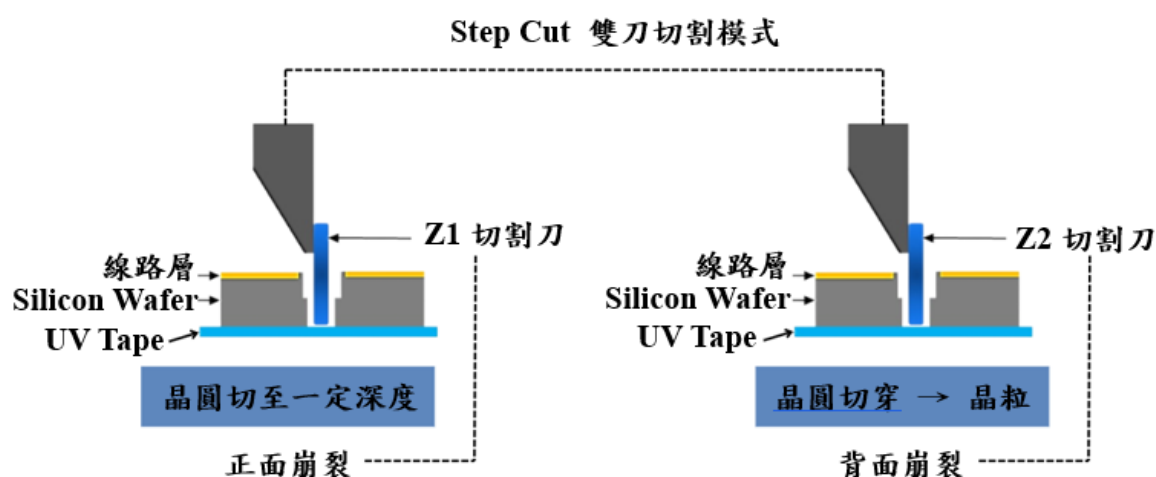


圖 3-1 雙刀切割模式（資料來源：高志銘 2015）

3.1 實驗測量方法

該研究針對晶圓正面崩裂與背面崩裂兩項關鍵品質特性進行探討。樣本抽取方式為自晶圓的五個區域擷取，包括上方、下方、左側、右側與中央位置（如圖 3-2 所示），每個區域選取一顆晶粒作為評估對象。在量測方法上，研究將每顆晶粒的最大崩裂深度（Max Chipping）作為評估依據。具體作法為自晶粒邊緣開始測量，記錄崩裂最深點與晶粒邊界的距離，以該數值作為該區域的崩裂指標，如圖 3-3 所示。其中，正面崩裂依其發生位置與嚴重程度進行排序，崩裂程度由高至低依序為 $A > B > C > D$ 。

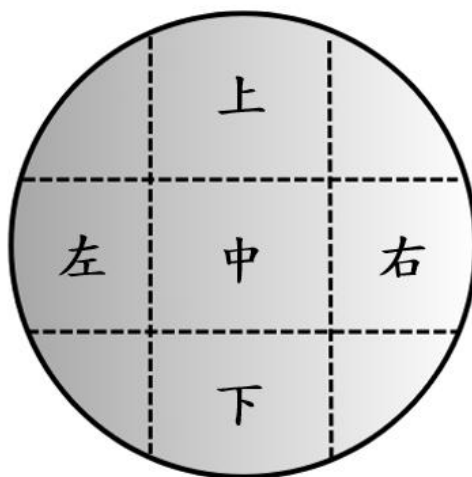
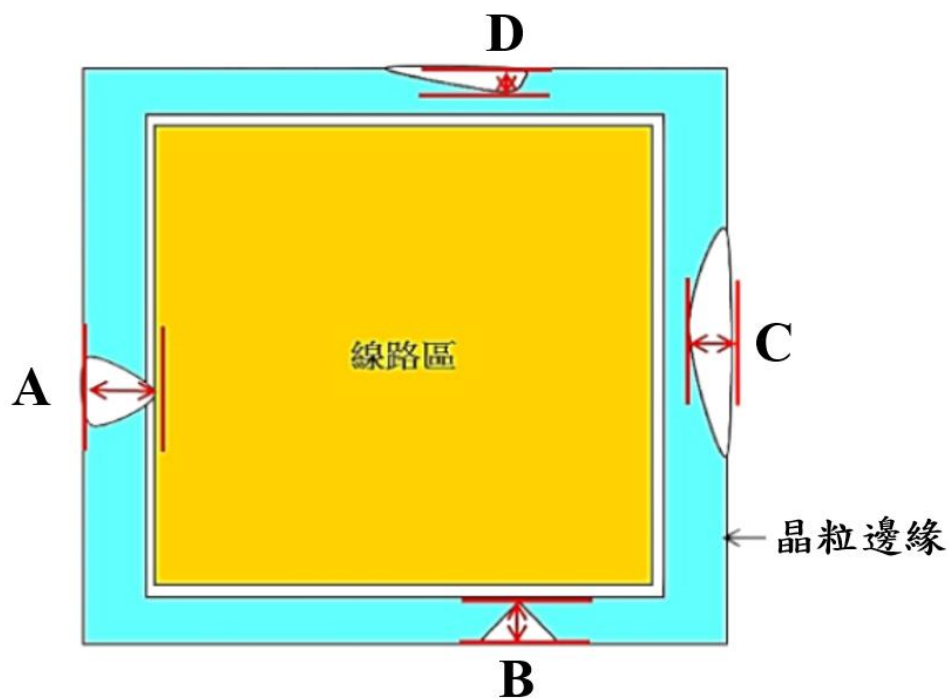
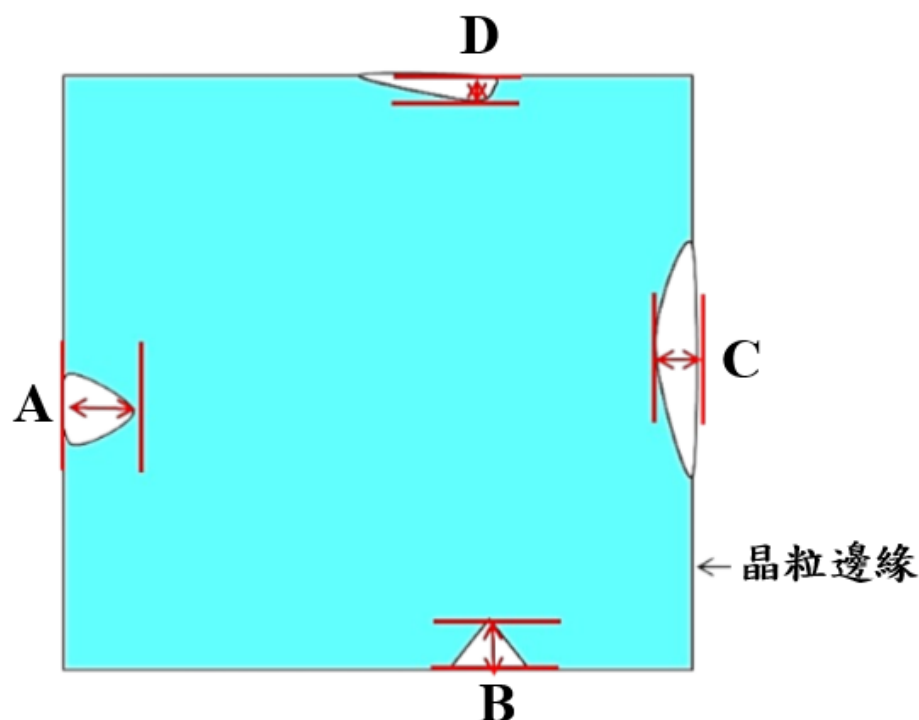


圖 3-2 樣本取樣示意圖（資料來源：高志銘 2015）



正崩水準： $A > B > C > D$

(a) 正崩量測示意圖



背崩水準： $A > B > C > D$

(b) 背崩量測示意圖

圖 3-3 樣本量測示意圖（資料來源：高志銘 2015）

3.2 切割品質改善流程

完整的品質改善程序如圖 3-4 所示，其目的在於有效提升製程能力、降低崩裂率。詳細說明如下：首先透過製程能力指標 C_{pk} 的分析，確認現行製程的穩定性與水準。結果顯示，正面與背面崩裂數據皆落在管制界限內，表示目前切割狀態穩定；改善前正面崩裂的 C_{pk} 為 1.43，背面崩裂的 C_{pk} 為 1.49。

接著，研究採用要因分析法，由專業人士與現場人員討論，辨識影響關鍵品質特性（如崩裂深度）的主要因素。在確認影響因子後，進一步導入田口實驗設計方法，設定合適的實驗參數與條件，並依據結果分析各因子對品質變異的影響程度，以找出最佳參數組合。

實驗完成後，將最佳化參數應用於實際製程中，並觀察其對 C_{pk} 指標的改善情況。若製程能力提升至 $C_{pk} \geq 1.67$ ，代表品質改善達標，便可進入製程管控；若未達標，則需更換切割刀具，並重新展開參數優化流程。

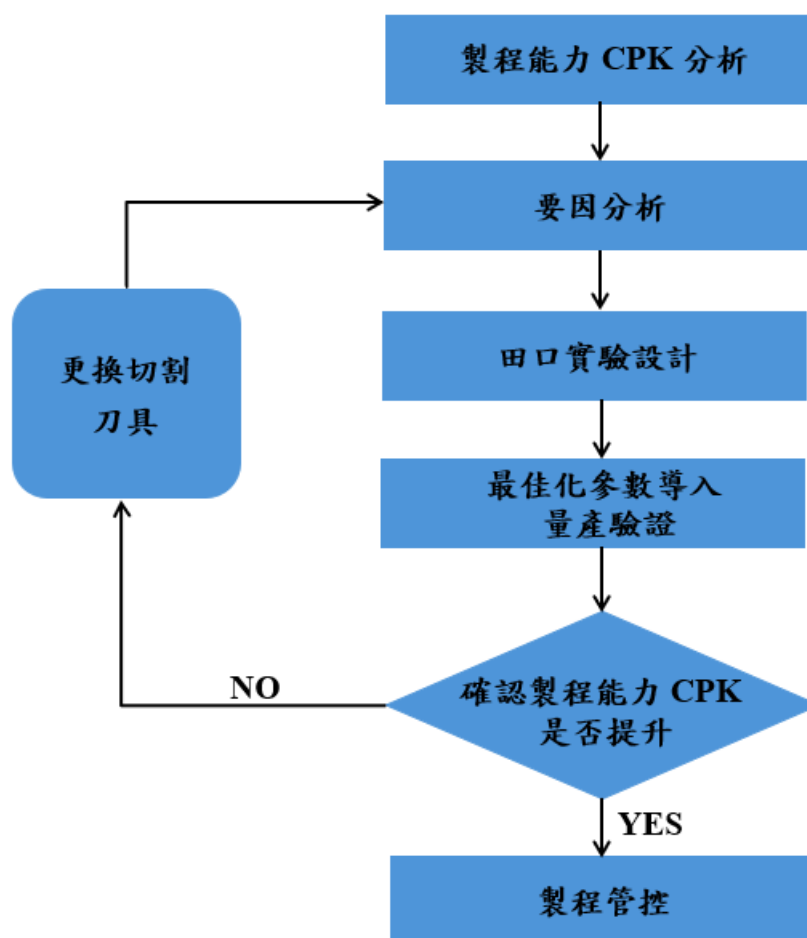


圖 3-4 品質改善流程圖（資料來源：高志銘 2015）

3.3 田口實驗設計

該實驗採用田口方法進行參數設計，其執行步驟如下：首先，釐清與製程品質最相關的關鍵品質特性（Critical Quality Characteristic），以確定實驗的改善目標。接著，針對影響切割品質的主要因子，設定不同的因子水準，並依此配置切割實驗參數。在實驗設計上，採用 L9 直交表，以兼顧實驗效率與結果的可靠性，將多因子多水準的組合安排於有限次數的實驗中執行。隨後，對所得實驗數據進行 SN 比（Signal-to-Noise Ratio）、平均值以及變異數分析，以判斷各因子對品質變異的影響程度，並據此篩選出最佳化的參數組合。最後，該研究再以驗證實驗的方式，比較改善前後的 SN 比，確認最佳參數組合對降低崩裂變異與提升製程能力的有效性。此一完整的實驗流程如圖 3-5 所示，能有效確保田口方法在切割製程改善上的可行性與再現性。

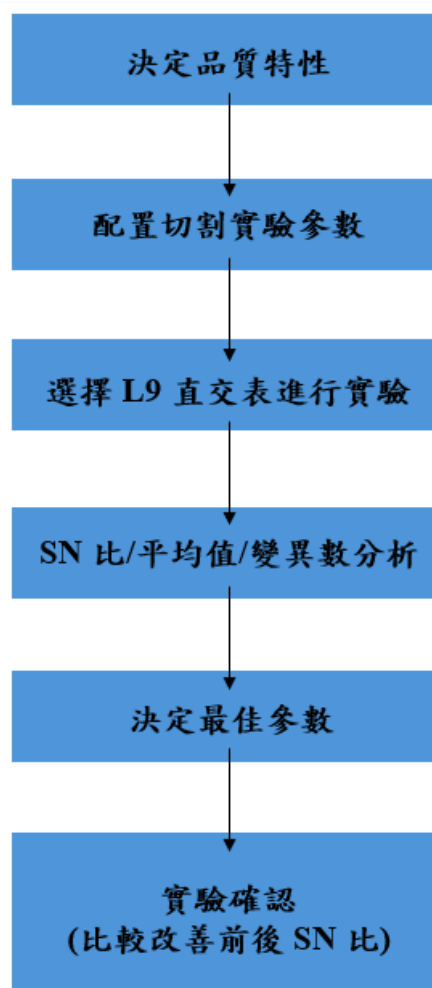


圖 3-5 田口實驗設計流程圖 (資料來源：高志銘 2015)

3.3.1 決定品質特性

該實驗關注影響晶片切割品質的關鍵品質特性，包括正面崩裂與背面崩裂，皆以微米 (μm) 為量測單位。正面崩裂需低於 $20\mu\text{m}$ ，數值越小表示品質越佳，因此屬於望小的品質特性，背面崩裂需低於 $50\mu\text{m}$ ，其數值也是越小品質越佳，因此也屬於望小的品質特性類型。

3.3.2 實驗配置

該實驗中作業員 P1 與作業員 P2 被視為干擾因子，根據表 3-1 可知在眾多切割參數中，切割刀轉速、切割速度、切割水流量以及 UV Tape 黏性被選為主要控制因子，品質特性 Y 包含正面崩裂與背面崩裂，所有控制因子皆為三個不同的水

準進行實驗設計，正面崩裂原始參數水準為「A1B2C2D2」，背面崩裂原始參數水準為「A1B2C2D2」。

表 3-1 切割參數實驗配置表

Z1切割	水準一	水準二	水準三
割刀轉速(rpm)	40000	45000	50000
切割速度(mm/sec)	20	30	40
切割水流量(l/min)	1	1.5	2
TAPE黏著力(g/inch)	2880	2940	3130

Z2切割	水準一	水準二	水準三
割刀轉速(rpm)	35000	38000	40000
切割速度(mm/sec)	20	30	40
切割水流量(l/min)	1	1.5	2
TAPE黏著力(g/inch)	2880	2940	3130

(資料來源：高志銘 2015)

3.3.3 直交表選擇

該實驗設計為 4 個控制因子，每個因子有 3 個水準的組合。若採用全面實驗設計 (Full Factorial Design)，則需進行 $3^4=81$ 組實驗，試驗次數龐大，成本與時間皆不具可行性。為了兼顧效率與實驗代表性，本研究採用田口方法所提供之直交表。如表 3-2 所示，各種直交表 (L_4 、 L_8 、 L_9 ...) 能容納的因子數與水準不同。

- L_4 ：最多僅能容納 3 個 2 水準因子，不適合。
- L_8 ：可容納 7 個 2 水準因子，不適合。
- L_9 ：可容納 4 個 3 水準因子，正好符合研究需求。

L_9 直交表具備 9 列 (實驗次數)，最多可容納 4 個 3 水準因子。 L_9 直交表能在僅 9 組實驗的情況下，涵蓋 3 水準 4 因子的參數組合，有效分析主要因子的影響。

因此，該研究選擇 L_9 直交表作為實驗設計架構，藉此大幅降低實驗次數 (由 81 組減至 9 組)，同時保有良好的實驗代表性與統計分析效果。最後，透過 Minitab 統計軟體選取 L_9 直交表，並計算各因子配置下的信噪比 (S/N Ratio) 與平均值，以進行參數效應分析。

表 3-2 田口直交表查表

直交表	列數 (實驗次數)	最多容納 因子個數	在這些水準的行數最大值			
			2	3	4	5
L ₄	4	3	3	-	-	-
L ₈	8	7	7	-	-	-
L ₉	9	4	-	4	-	-
L ₁₂	12	11	11	-	-	-
L ₁₆	16	15	15	-	-	-
L' ₁₆	16	5	-	-	5	-
L ₁₈	18	8	1	7	-	-
L ₂₅	25	6	-	-	-	6
L ₂₇	27	13	-	13	-	-
L ₃₂	32	31	31	-	-	-
L' ₃₂	32	10	1	-	9	-
L ₃₆	36	23	11	12	-	-
L' ₃₆	36	16	3	13	-	-
L ₅₀	50	12	1	-	-	11
L ₅₄	54	26	1	25	-	-
L ₆₄	64	63	63	-	-	-
L' ₆₄	64	21	-	-	21	-
L ₈₁	81	40	-	40	-	-

(資料來源：蘇朝敦 2013)

表 3-3 L₉直交表

L ₉ 直交表控制因子				
實驗編號	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

第四章 實驗結果與驗證

4.1 實驗步驟

根據圖 4-1，步驟一是針對實驗樣本進行檢驗，以確認品質狀況，確保後續分析的準確性，步驟二是針對實驗所得的數據進行分析，並分別評估晶圓的兩項品質特性：正面崩裂（Front Side Chipping）與背面崩裂（Back Side Chipping），步驟三是利用 S/N 比進行統計分析，以判定最佳的製程參數組合，最後，依據所得最佳參數進行驗證實驗，以確認其對品質改善的效果。

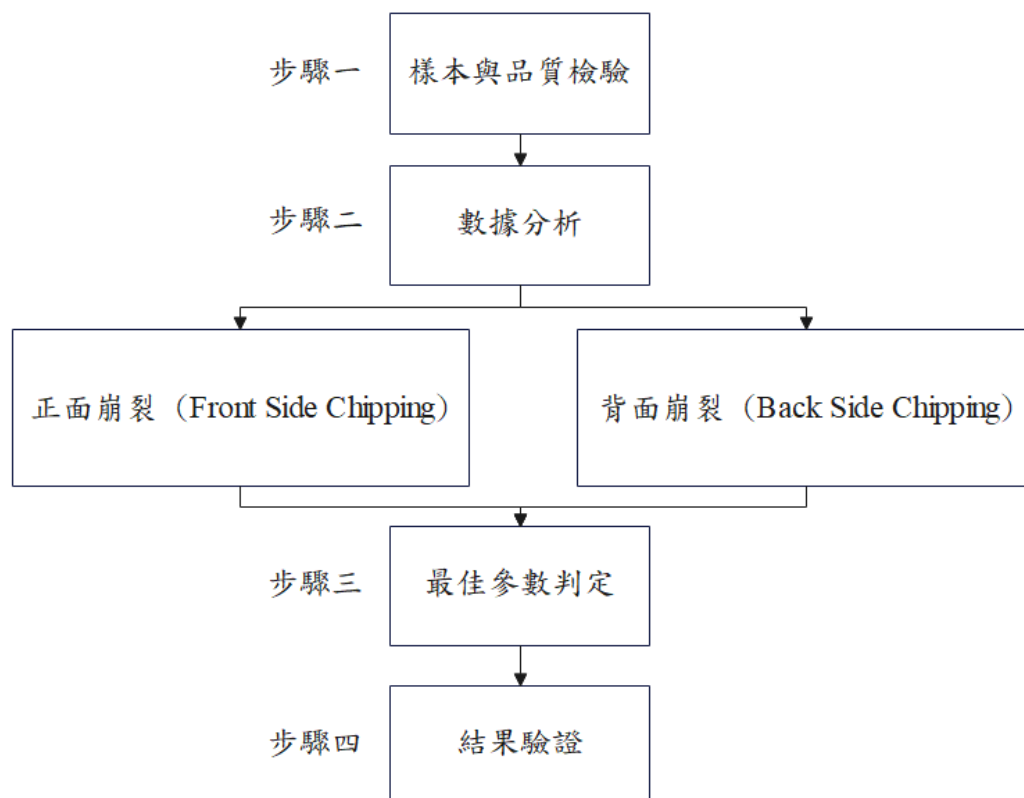


圖 4-1 實驗步驟流程圖

4.2 SN 比/平均值/變異數分析

正崩實驗數據

將作業人員 P1 (y1-y2) 和作業人員 P2 (y5-y10) 視為干擾因子，每位進行 5 組實驗，而 A 是割刀轉速；B 是切割速度；C 是切割水流量；D 是 TAPE 黏著力，表 5 為各組實驗結果、S/N 比和平均值。

正崩是屬於望小特性，望小的 S/N 比公式如下所示：

$$S/N_{SB} = -10 \times \log_{10} \left[\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} \right] \quad (1.1)$$

將第一排 y1 到 y10 的數值代入 (1.1) 公式，就可以得到 S/N 比是 -23.40。

表 4-1 正崩實驗數據

A	B	C	D	y1	y2	y3	y4
1	1	1	1	15.5	13.1	15.1	15.5
1	2	2	2	15.2	14.2	13.4	14.1
1	3	3	3	14.1	12.1	12.3	13.8
2	1	2	3	13.3	12.4	14.1	11.2
2	2	3	1	12.3	13.1	12.3	10.2
2	3	1	2	9.1	9.4	9.3	8.1
3	1	3	2	9.1	8.4	9.5	8.3
3	2	1	3	9.1	8.2	5.7	10.1
3	3	2	1	8.5	6.6	9.1	6.2

y5	y6	y7	y8	y9	y10	S/N	AVG
13.3	15.1	15.1	15.2	15.4	14.3	-23.4	14.76
13.1	14.2	12.1	12.3	13.5	13.1	-22.64	13.52
11.5	12.2	12.1	11.1	12.2	14.5	-21.96	12.48
11.5	14.6	13.1	10.1	11.2	11.2	-21.89	12.36
12.3	11.3	11.1	11.1	10.2	11.1	-21.45	11.77
9.2	10.1	8.2	9.2	10	9.1	-19.29	9.2
8.5	9.1	8.3	9.1	7.2	8.1	-18.67	8.56
8.4	7.5	9.2	8.3	8.5	6.7	-18.34	8.17
8.4	7.2	6.3	7.1	7.1	6.2	-17.31	7.27

S/N 比的數值是越大，代表系統受干擾程度越低，品質表現越佳，根據圖 4-2 紅色圈起來的地方是 S/N 比最大的地方，因此最佳參數為「A3B3C1D2」，A3 是割刀轉速：50000 rpm、B3 是切割速度：40 mm/sec、C1 是切割水流量：11/min、D2 是 TAPE 黏性：2940 mN/25mm。

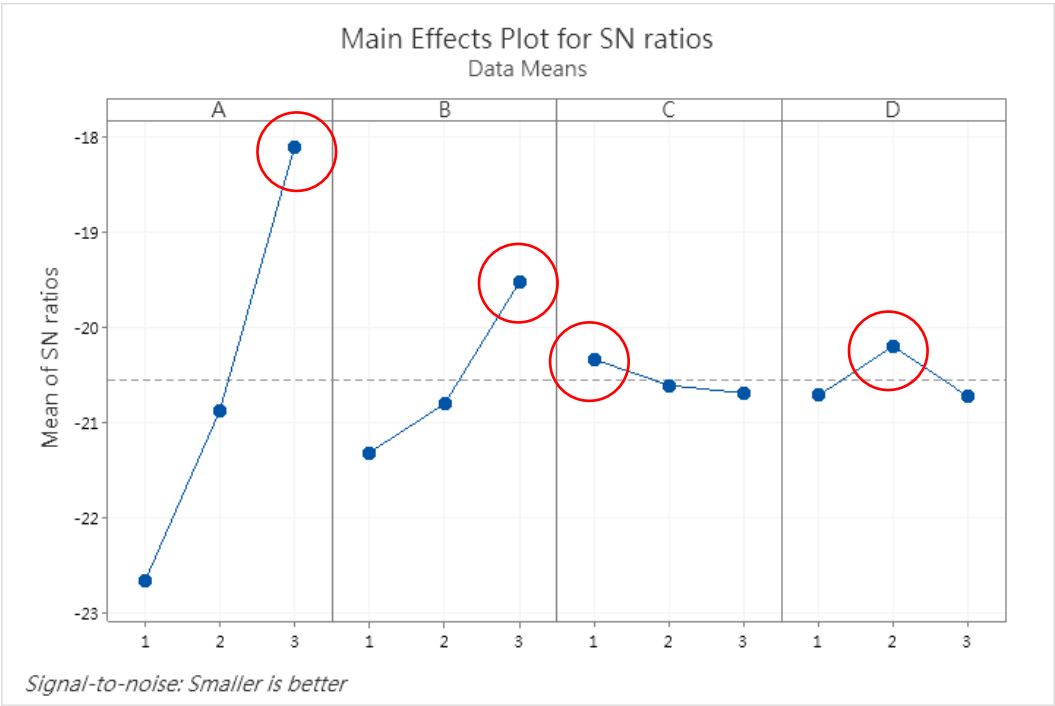


圖 4-2 正面崩裂 S/N 比反應圖

Delta 的公式如下所示：

$$X_{i(max)} - X_{i(min)} \tag{2.1}$$

根據表（4-2）將 A 因子中最大水準-18.11 和最小水準-22.67 相減，就可以得到 4.56，判斷 Delta 的大小並進行排序，得到 A：1、B：2、C：4、D：3 的排序，根據一半法則，僅需選取前半數具顯著影響之因子進行後續確認實驗，可知 A 和 B 因子為顯著因子，因此選取 A 和 B 因子進行確認實驗。

表 4-2 正面崩裂 S/N 比反應表

Response Table for Signal to Noise Ratios

Smaller is better

Level	A	B	C	D
1	-22.67	-21.32	-20.34	-20.72
2	-20.88	-20.81	-20.61	-20.20
3	-18.11	-19.52	-20.69	-20.73
Delta	4.56	1.80	0.35	0.53
Rank	1	2	4	3

背崩實驗數據

將作業人員 P1 (y1-y2) 和作業人員 P2 (y5-y10) 視為干擾因子，每位進行 5 組實驗，而 A 是割刀轉速；B 是切割速度；C 是切割水流量；D 是 TAPE 黏著力，表 5 為各組實驗結果、S/N 比和平均值。

背崩是屬於望小特性，望小的 S/N 比公式如 (1.1)，將第一排 y1 到 y10 的數值代入(1.1)公式，就可以得到 S/N 比是-31.13。

表 4-3 背崩實驗數據

A	B	C	D	y1	y2	y3	y4
1	1	1	1	40.1	26.2	37.1	28.1
1	2	2	2	33.3	38.2	33.5	32
1	3	3	3	32.1	31.1	25.3	28.4
2	1	2	3	29.1	33	30.7	35.1
2	2	3	1	34.1	38.1	33.6	36.1
2	3	1	2	23.2	27.1	23.3	20.5
3	1	3	2	21.4	25.2	17.5	28
3	2	1	3	15.1	19	20.1	18.2
3	3	2	1	18	16.2	20.1	14.3

y5	y6	y7	y8	y9	y10	S/N	AVG
40.1	38.2	40.1	34.6	35.3	37.5	-31.13	35.73
33.2	33.2	34.4	36.1	31.1	36.1	-30.67	34.11
28.3	36.4	31.1	29.1	33.2	30.1	-29.73	30.51
35.2	40.1	31.6	31.2	37.1	30.1	-30.65	33.92
31.2	39.1	41	38.2	39.1	31.1	-31.31	36.62
23.1	27	25.5	28.4	23.4	25.5	-27.91	24.76
25.1	26.1	22.3	18.8	21.2	26.1	-27.38	23.17
25.5	25	22.7	24.1	19.8	17.5	-26.43	20.7
18.1	22.2	15.3	19.1	19.3	21.1	-25.36	18.37

S/N 比的數值是越大，代表系統受干擾程度越低，品質表現越佳，根據圖 4-3 紅色圈起來的地方是 S/N 比最大的地方，因此最佳參數為「A3B3C1D2」，A3 是割刀轉速：40000 rpm、B3 是切割速度：40 mm/sec、C1 是切割水流量：11/min、D2 是 TAPE 黏性：2940 mN/25m。

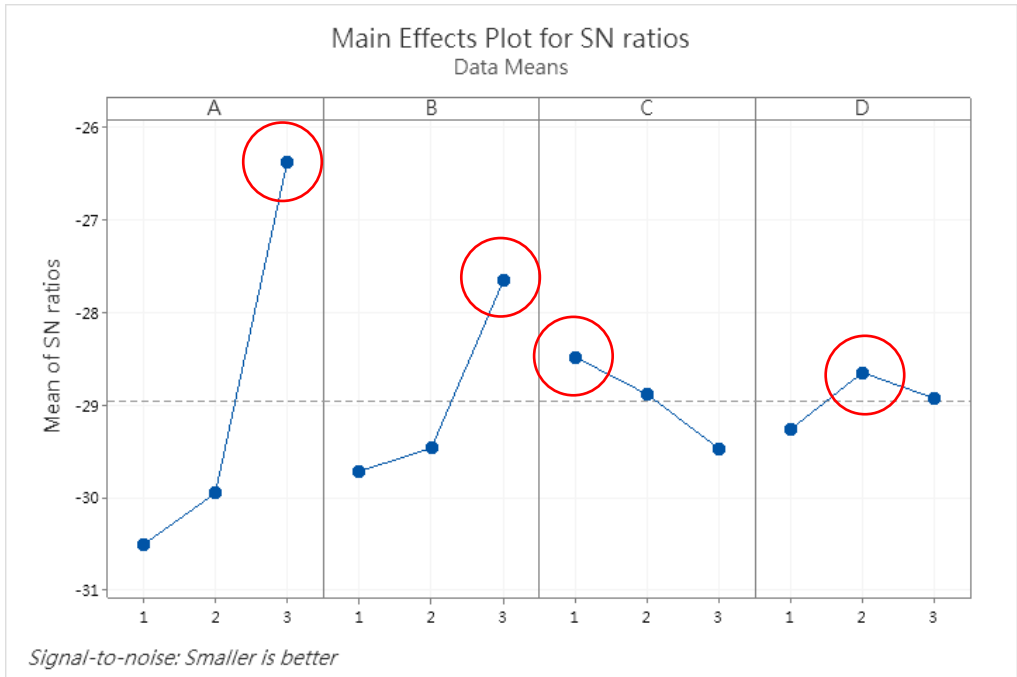


圖 4-3 背面崩裂 S/N 比反應圖

根據表 (4-4) 將 A 因子中最大水準-26.39 和最小水準-30.51 相減，就可以得到 4.12，判斷 Delta 的大小並進行排序，得到 A：1、B：2、C：3、D：4 的排序，根據一半法則，僅需選取前半數具顯著影響之因子進行後續確認實驗，可知 A 和 B 因子為顯著因子，因此選取 A 和 B 因子進行確認實驗。

表 4-4 正面崩裂 S/N 比反應表

Response Table for Signal to Noise Ratios

Smaller is better

Level	A	B	C	D
1	-30.51	-29.72	-28.49	-29.27
2	-29.96	-29.47	-28.89	-28.66
3	-26.39	-27.66	-29.48	-28.93
Delta	4.12	2.06	0.98	0.61
Rank	1	2	3	4

4.3 ANOVA 分析

根據正崩（表 4-5）與背崩（表 4-6）的 ANOVA 分析表可知，本次研究針對兩項關鍵因子進行實驗設計，分別為割刀轉速(Factor A)與切割速度(Factor B)，目的在探討其對切割品質的影響程度。在正面崩裂（表 4-5）部分，F 值分別為 84.0727 (A) 與 13.6800 (B)，其對應之 P 值分別為 0.001 與 0.016，皆低於顯著水準 $\alpha = 0.05$ ，表示兩者皆為顯著因子。其中，割刀轉速對變異的貢獻度高達 84.28%，為最主要的影響來源。一般而言，F 值越大表示該因子效果越顯著；而 P 值若小於 0.05，則代表該因子在統計上具有顯著性，因此值得列為重點控制對象。貢獻度則能幫助我們理解該因子對總變異的解釋力。割刀轉速在正崩實驗中的貢獻度高達 84.28%，表示若要改善品質，優先調整割刀轉速會比改變其他因子更有效率。在背面崩裂（表 4-6）部分，F 值分別為 29.4892 (A) 與 7.4310 (B)，其 P 值分別為 0.004 與 0.045，同樣小於 0.05，顯示兩因子皆顯著，而割刀轉速的貢獻度亦為主因，佔比 75.77%，因此可確定，割刀轉速對崩裂品質的影響力最大。

綜合來看，貢獻度分析告訴我們，割刀轉速是主導崩裂品質的關鍵因子，遠高於其他參數。因此在實務操作上，工程師若要降低晶圓切割崩裂，應先調整割刀轉速，再透過細部優化切割速度來進一步提升品質。

4.3.1 ANOVA 中各項統計量計算方式

1. 平方和 (SS)：使用公式 $SS = \text{VARP}() \times n$
2. 自由度 (DOF)：依因子水準數-1 計算
3. 均方 (MS)： $MS = SS / DOF$
4. F 值： $F = MS(\text{因子}) / MS(\text{誤差})$
5. P 值： $P = F.DIST.RT(F \text{ 值}, DOF \text{ 因子}, DOF \text{ 誤差})$
6. 貢獻度 (Cont.)： $Cont = SS(\text{因子}) / SS(\text{總和})$

表 4-5 正面崩裂 S/N 比 ANOVA 分析表

Factor	SS	DO F	MS	F	重要性	P	Cont
切割轉速(A)	31.6489	2	15.8244	84.0727	重要因子	0.001	84.28%
切割速度(B)	5.1498	2	2.5749	13.6800	重要因子	0.016	13.71%
Error	0.7529	4	0.1882				
Total	37.5516	8					

表 4-6 背面崩裂 S/N 比 ANOVA 分析表

Factor	SS	DOF	MS	F	重要性	P	Cont
切割轉速(A)	30.0296	2	15.0148	29.4892	重要因子	0.004	75.77%
切割速度(B)	7.5671	2	3.7836	7.4310	重要因子	0.045	19.09%
Error	2.0367	4	0.5092				
Total	39.6334	8					

4.4 預測 S/N 比信賴區間

根據田口方法的實驗設計，選擇最佳的參數組合（A3B3），對正崩與背崩（圖 4-4）進行品質預測。由預測結果可知：

正面崩裂之預測 S/N 比為-17.079；背面崩裂之預測 S/N 比為-25.101。

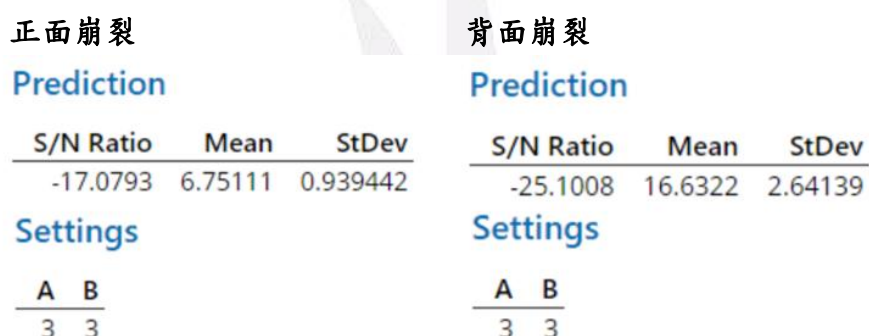


圖 4-4 正崩與背崩的最佳參數組合

由 S/N 比信賴區間計算結果（表 4-7）得到：

信賴區間範圍分別為±0.8978（正崩）與±1.4769（背崩），為進一步驗證實驗結果的穩定性與可信度，本研究根據田口方法進行 S/N 比之信賴區間（Confidence Interval, CI）計算，由 ANOVA 分析得到的誤差變異數 V_e 、有效自由度 n_{eff} 、與重複次數 r 代入信賴區間之公式。

信賴區間依以下公式進行計算：

$$CI = \sqrt{F_{\alpha;1,V_2} \times V_e \times \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)}$$

分別求得正面崩裂與背面崩裂之預測 S/N 比的信賴區間範圍：

正面崩裂之預測 S/N 比為 -17.079，95%信賴區間為 [-17.977, -16.181]

背面崩裂之預測 S/N 比為 -25.101，95%信賴區間為 [-26.578, -23.624]

進行信賴區間計算的目的，是要驗證最佳化參數組合的結果是否具有統計上的穩定性與再現性。如果實驗結果落在預測的信賴區間內，就能確認此最佳化參數並非偶然，而是可被信賴的改善依據。

由上述結果可觀察到，雖兩者的預測 S/N 比均為負值（代表「望小特性」下的品質損失愈小愈好），但背面崩裂的信賴區間範圍相較更寬，表示其變異程度較大，穩定性稍差，這也意味著在實際生產中需要更嚴格地控制參數，或額外搭配補償措施，才能維持穩定；反之，正面崩裂的 CI 範圍較窄，代表實驗控制效果較佳，製程重現性較高。這裡 S/N 比呈現負值，並不代表品質變差，而是因為『望小特性』的計算公式會使數值落在負區間，數值愈大（接近 0）代表損失愈小、品質愈佳。

本次分析透過 S/N 比信賴區間計算，有效佐證實驗設計與參數設定之合理性，亦可作為未來製程品質管控的參考依據。對工程師而言，這樣的 CI 分析不僅能驗證結果，更能提前指出需要加強監控的品質特性，以提升整體強化製程穩定性與可靠度。

表 4-7 S/N 比信賴區間計算

正面崩裂	背面崩裂
預測 S/N 比的信賴區間	
$CI = \sqrt{F_{\alpha;1,V_2} \times V_e \times \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)}$ $= 0.8978db$	$CI = \sqrt{F_{\alpha;1,V_2} \times V_e \times \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)}$ $= 1.4769db$
95%信賴區間	
→ -17.079 ± 0.8978	→ -25.101 ± 1.4769

4.5 最佳化參數驗證

透過實驗比較原始參數與最佳參數組合，可進一步檢驗所得到的 S/N 比是否落在預測值的信賴區間內，目的在於檢驗最佳化設計是否能在實務中重現。這個

步驟非常關鍵，因為若最佳參數僅在理論上成立而無法被驗證，則後續應用將缺乏可信度。由表(4-8)可知，正崩實驗的確認值為-16.387，落於預測區間[-17.977, -16.181]之內；同樣地，由表(4-9)可知，背崩實驗的確認值為-24.362，亦落於預測區間[-26.578, -23.624]之內，確認值落在預測的 95% 信賴區間內，就表示模型推估與實際表現一致，參數設定具有統計上的可信度，若確認值落在區間外，則可能代表模型不足或實驗中有未控制的變異。最終整合結果如表(4-10)所示，兩項確認實驗值皆位於預測值的 95%信賴區間中。綜合以上結果可知，本研究之實驗驗證具備統計上的可靠性與再現性，亦顯示所提出的參數優化方案在實務應用上具有參考價值。

表 4-8 品質特性一原始參數及最佳參數實驗結果比較表

	A	B	C	D	y1	y2	y3	y4
原始參數	1	2	2	2	15.2	14.2	13.4	14.1
最佳參數	3	3	1	2	5.9	6.7	6.4	6.6

y5	y6	y7	y8	y9	y10	AVG	S/N
13.1	14.2	12.1	12.3	13.5	13.1	13.52	-22.638
6.2	6.7	6.8	6.8	6.9	6.9	6.59	-16.387

表 4-9 品質特性二原始參數及最佳參數實驗結果比較表

	A	B	C	D	y1	y2	y3	y4
原始參數	1	2	2	2	33.3	38.2	33.5	32
最佳參數	3	3	1	2	17	16.2	15.9	16.3

y5	y6	y7	y8	y9	y10	AVG	S/N
33.2	33.2	34.4	36.1	31.1	36.1	34.11	-30.6729
16.7	16.6	16.9	16.5	16.3	16.8	16.52	-24.3619

表 4-10 S/N 預測值與確認實驗值之信賴區間比較

品質特性	預測 S/N	95%信賴區間	確認實驗 S/N 值
正面崩裂	-17.079	(-17.977 ~ -16.181)	-16.387
背面崩裂	-25.101	(-26.578 ~ -23.624)	-24.362

4.6 結果驗證

由圖（5-1）和圖（5-2）可知，改善後的製程在正面崩裂及背面崩裂皆有顯著改善，在正面崩裂部分，平均值由 13.35 μm 降低至 6.43 μm ，表示改善措施能有效降低崩裂量，在背面崩裂部分，平均值由 34.93 μm 降低至 16.38 μm ，同樣呈現出明顯的改善效果。綜合結果顯示，新製程能有效降低崩裂值，證實改善方法具有明顯的成效。

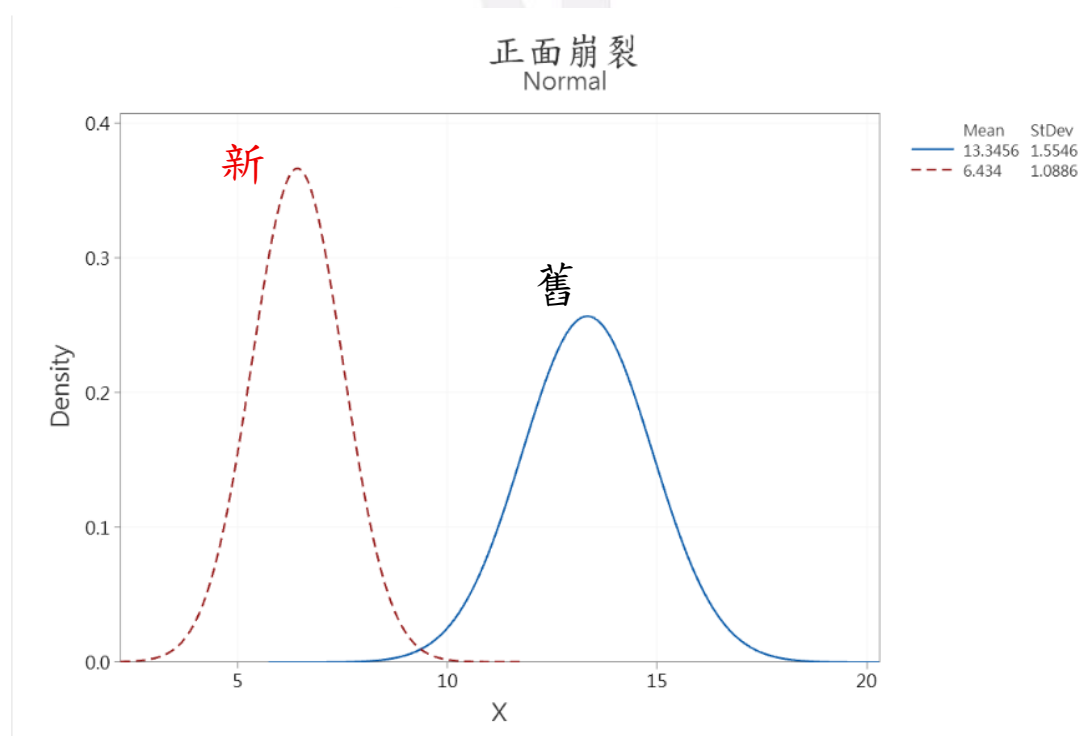


圖 5-1 改善後正面崩裂常態分配圖

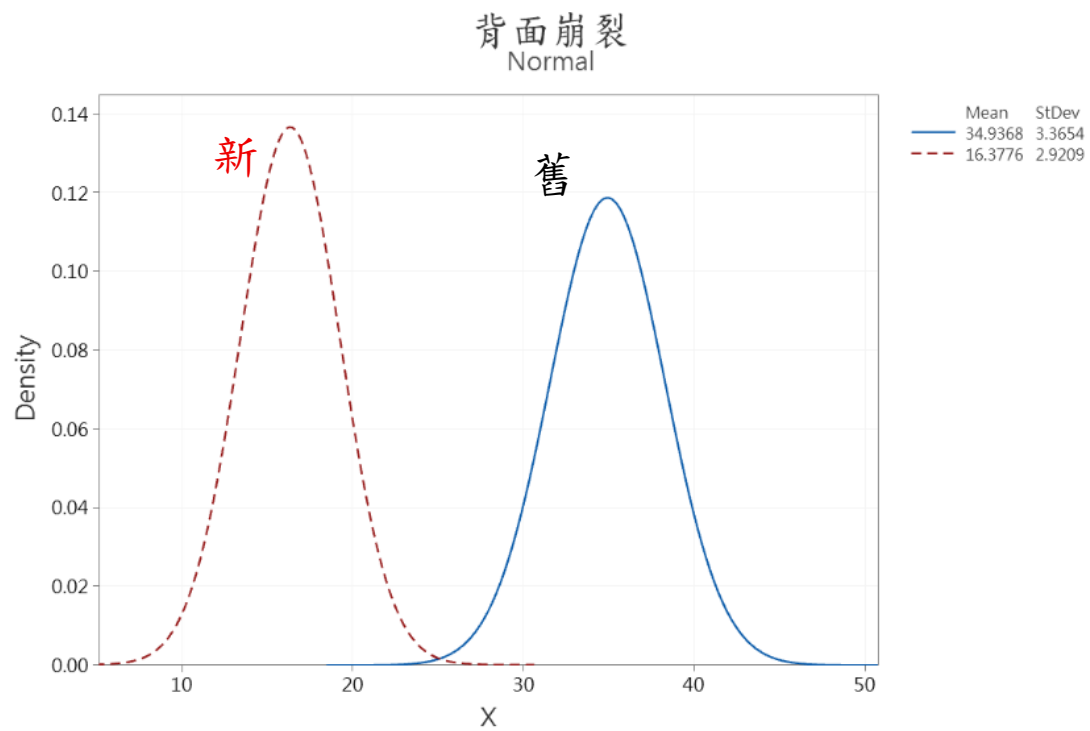


圖 5-2 改善後背面崩裂常態分配圖

第五章 結論與未來研究方向

5.1 結論

本研究主要以 Excel 工具對某晶圓封裝切割製程相關文獻的實驗數據進行驗證與分析。經由比對與模擬，確認該研究所提出的最佳化切割參數，確實能改善製程品質特性。實驗數據顯示，正面崩裂的製程水準由 1.43 提升至 1.97，平均值由 13.35 μm 降至 6.43 μm (圖 5-1)；背面崩裂的製程水準由 1.49 提升至 1.87，平均值由 34.93 μm 降至 16.38 μm (圖 5-2)。這些結果證實，品質程度從最一開始的 A 晉升成 A+，而切割參數對於降低崩裂程度與提升製程能力具有顯著效果。

透過 Excel 驗證後，我們也發現切割刀轉速是影響品質的重要因子，適當參數調整能有效提升良率並降低失敗成本。此驗證結果呼應論文中對於切割製程的改進建議，並提供後續製程參數優化與應用的依據。

整體而言，本研究透過 Excel 驗證，不僅重現了論文中的實驗趨勢，也顯示出利用田口方法進行參數測試具有可行性與再現性，能降低實驗開發成本與材料耗損，提升效率。

5.2 未來研究方向

雖然本研究已經證實田口方法能有效改善晶圓切割製程的品質，但仍有許多值得持續探索的方向。首先，此研究僅以文獻提供的資料進行 Excel 驗證，若未來能夠配合其他實際產線的數據或更多不同來源的資料，將能進一步確認方法的廣泛性與可靠性。

另一方面，隨著晶圓設計持續往更薄、更精細的方向發展，傳統的切割方式可能逐漸遇到瓶頸。因此，未來若能將田口方法應用在新的切割技術上，例如雷射切割或其他創新加工方式，將更有助於解決目前製程面臨的挑戰。而人工智慧與自動化檢測技術的進步，未來也可考慮將這些工具與田口方法結合，用來分析更多的參數與品質特徵。這不僅能提升驗證的效率，也能讓品質改善的過程更加精準。

最後，本研究所提出的 Excel 驗證方式提供了一個簡單且低成本的分析模型，未來若能持續延伸到不同技術與實務應用中，將有助於提升許多製程的穩定性與品質可靠度。

參考文獻

1. Admin, 晶圓刀片切割工藝詳解, 中國科學院半導體研究所, 2024。
2. RexAA, Wafer 晶圓半導體製程介紹, anue 鉅亨網站, 2024。
3. 張復萌, 田口方法的應用, 第二十四期, 國家教育研究院, 2011。
4. 高志銘, 以田口方法改善封裝製程切割品質之研究, 國立雲林科技大學碩士論文, 2015。
5. 李輝煌, 田口方法：品質設計的原理與實務, 第四版, 2011。
6. 蘇朝敦, 品質工程, 中華民國品質學會, 2005。

