

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

生產變異與週期時間減廢

Production Variability and Cycle Time Reduction

計畫編號：NSC 87-2212-E-002-026

執行期限：86 年 8 月 1 日至 87 年 7 月 31 日

主持人：周雍強 國立台灣大學工業工程所

一、中文摘要

晶圓廠內由產品、製程、機台及運作方法不斷更新所帶來的多樣性往往導致生產上的變異性，增加了生產運作的複雜度，也造成生產問題分析及改善的困難。晶圓廠最重要的生產指標是設備使用率與生產週期時間，而生產變異性對這兩個指標都有很顯著、直接的影響。本計畫的目標是生產變異性分析及生產週期時間減廢。本計畫的成果包含生產變異的要素及特質、生產變異對生產週期時間的影響、以及生產週期時間減廢的原理。

關鍵詞：生產變異性、週期時間減廢

Abstract

Continuing upgrades of products, processes, machines and operation methods in wafer fabricators bring about production variability, which complicates production operations, problem diagnosis and improvement efforts. Equipment utilization and production cycle time, two of the most important measures of production performance, are directly affected by production variation. The objectives of this project are to (1) analyze the nature and causes of production variability, and (2) analyze the effect of production variation on production cycle time. This project has achieved the following results: factors of production variation and principles of cycle time reduction.

Keywords: production variability, cycle time

reduction

二、緣由與目的

晶圓廠是不斷進化的複雜系統。由產品、製程、機台、及運作方法不斷更新所帶來的多樣性(diversity)往往導致生產上的變異性(variability)，造成許多生產效率及製造管理的問題。生產變異性的範疇很廣，凡製程步驟時間、設備狀態、批量分割與合流、製程穩定性、設備維修、在製品水準及分佈、在製品到達機台的時序、及產品組合等等都有不同的變異性。這些變異性不僅直接對機台使用、生產週期時間、良率、生產成本等生產效率有負面的影響，更重要的是，這些變異的存在增加了生產運作的複雜度，造成生產問題分析及改善的困難。因此，對各種變異性的分析、縮減及控制是提昇競爭力的重要途徑。

晶圓製造的步驟繁多，並且晶圓廠大致採用製程別的設施佈置，因此一個批量的晶圓從投片到加工完畢的生產週期時間(production cycle time)甚長(約在一至二個月)，並且週期時間的變異極大。縮短及控制生產週期時間會帶給企業許多效益或能力：

- 提高新產品的成功率、增加市場占有率(縮短產品開發的時程)
- 促進良率的提昇(feedback loop 短)
- 因應短交期的訂貨
- 因應訂單的臨時變動
- 降低成本(在製品、存貨週轉率等)

這些效益中最重要的啟示是：生產週期

時間是企業生產體質與競爭力的綜合指標。因此，國內外晶圓廠莫不將縮短並控制生產週期時間作為一項重要的生產改善工作 [1, 4, 5, 10, 16]。週期時間受到包含生產變異性在內的許多複雜因素所影響，週期時間減廢(cycle time reduction)的策略也很多，但是各種策略的效果並不一致，乃是隨工廠之狀況而定。要達成縮減並控制生產週期時間的目的，對週期時間過長的起因、各種減廢方法的效果、及實行策略的規劃必須要有系統化的方法及分析用的工具 [1, 2]。

本計畫有兩個相關的研究目標：(1)生產變異性分析、及(2)生產週期時間減廢。本計畫首先對各種生產變異性作基本的探討，以作為生產設計與製造管理改善的基礎。其次，週期時間減廢的策略也很多，本計畫探討生產週期時間的動因，並發展週期時間減廢與控制的方法及策略。

三、研究方法

等候理論被很廣泛地用來分析生產瓶頸的所在、等候時間、產出率、及在製品水準 [14]。圖(一)中的三個特性曲線圖說明了佇列網路(queueing network)之內，生產週期時間、在製品數量、產出率、產能、及機台使用率相互間的關係 [17]。值得注意的是：圖中的因素與效果之間的關係均為非線性曲線，並且相互間有更深一層複雜的因果關係。

晶圓廠的機台總數約有二、三百，一種產品的製程步驟在三、四百以上，生產運作的複雜度造成生產變異問題分析及改善的困難。本計畫採用的研究方法是先針對生產變異作定性的要素分析。其次，晶圓廠的機台編組可以視為佇列網路，個別的基本變異經由網路關係互相影響。本計畫採用佇列理論(queueing theory)，發展變異的定量分析方法。

生產週期時間的研究方法分為理論架構、實例分析兩部份。佇列理論是作為分析生產瓶頸、等候時間、產出率、及在製品水準相互關係的學理解說基礎。文獻上的實例則作為策略制定與執行步驟的分析對象。

四、結論與成果（計畫結果自評）

本計畫成果主要有：(1)分析了生產變異的要素及特性、生產變異對生產週期時間的影響，(2)完成了一套分析及控制週期時間與生產變異性的理論架構，(3)歸納了施行策略。這些成果與預期大致相符，可作為生產設計與製造管理改善的基礎。本節摘要說明變異的基本原因、局部變異的漣波效應、及生產週期的分析與控制策略。

生產變異的主要根源大致可分為六類：製程時間、設備使用、批量變化、機台設定變換、製程控制、及在製品水準與分佈，每一類變異又是由許多因素造成(見圖二)。晶圓廠的製程與設備都不穩定，造成機台可用時間及產能的變異。非等效並聯機台的編組方式造成製程時間與產能的變異 [18]。晶圓批量投片下線後會因研發批量的切入、交貨期改變、停機、batch processing 等的考慮而有批量分割、或合流的現象，造成佇列網路中在製品流動的變異。另外，設定轉換、生產派工、設備調配、在製品水準等生產決策的變遷對設備的利用與產出也造成變異。

一個機台或工作站的變異可分為天然（包括因人員、機台、物料所引起的工時差異）、當機、設定轉換、重工(rework)等四類 [6]。由這些變異元素可計算出 service time 的 coefficient of variation (CV)。對一個機台而言，其變異可用下列佇列長度的公式表達：

$$N = r + \frac{(c_a^2 + c_e^2)}{2} \frac{r^2}{(1-r)}$$

其中，N 是佇列的內在製品數量， ρ 是機台使用率， c_a 與 c_e 則分別是 inter-arrival time and service time 的 CV [6]。當變異(c_a 與 c_e)愈大，則佇列愈長，週期時間也愈長，換言之，整體效率也愈低。當機台編組成佇列網路，一個機台產出會成為其他機台的輸入。其 inter-departure time CV (c_d)會經由以下的公式影響相關連的機台：

$$c_d^2 = r^2 c_e^2 + (1-r^2) c_a^2$$

生產變異性所引起的最顯著影響莫過於

生產瓶頸。生產瓶頸通常不停駐在某個區域或機台，而是受到製程、機台穩定性或生產決策的影響而有移動的特性。瓶頸可因工作負荷或由批量流動、維修、良率、製程等變異性所引發。

生產週期時間的分析有兩個要點。首先，由 the Little's Law 可知生產週期時間與在製品水準有幾乎是正比的關係，因此由分析在製品的水準亦可洞察週期時間上的問題。其次，單純的統計法所計算得到的週期時間資料的應用效益不高，因此必須把週期時間與在製品水準以 Pareto 分析法劃分為設備、製程步驟、區域、全廠、及研發批量等項目 [7, 8, 13]。

任何改變生產週期時間的行動必然影響到產出率、使用率等其他重要的生產效率指標，因而造成一個複雜的 tradeoffs 問題。而且，一個週期時間減廢行動之效果的大小，並非一致，而是由生產系統所處在圖（二）曲線上的位置而定。換句話說，縮短與控制週期時間的任務不能以一個局部的工作視之，而是必須有整體的規劃、方法、與策略才能有效果。

圖（三）以魚骨圖列出週期時間減廢可以採用的各種策略 [15]。這些策略可歸納為限定在製品的水準、增加產能、批量管控、設備利用管理、及縮減變異等領域的範圍。以下列出各領域以及應用實例：

(1) 控制在製品的水準

- constant WIP
- 應用實例：[12]

(2) 增加產能

- 改進產能使用率
- 增添設備
- 消除冗餘作業 (non-value added operations)

(3) 批量管控

- 採用較小的移動批量(move batch)及 process batch
- lot splitting
- 應用實例：[11]

(4) 設備利用管理

- 分散設備當機時間
- 縮減設定時間
- 改進維修排程策略
- 將工作分解成數個小工作
- 設備專用指派
- 應用實例：[3]

(5) 變異縮減

- 排程
- 應用實例：[9]

五、參考文獻

- [1] Bobel, Friedrich, and Olivier Ruelle, "Cycle Time Reduction Program at ACL," IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop, 1996, pp. 165-168.
- [2] Bobel, Friedrich, "Quintuple Ramp Up Slope by Implementing Cross-Functional, Self-Directed Work Teams," IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop, 1996, pp. 436-441.
- [3] Fowler, John W., Steven Brown, Hermann Gold, and Alexander Schoemig, "Measurable Improvement in Cycle-Time-Constrained Capacity," IEEE International Conference on Semiconductor Manufacturing, pp. A21-A24, 1997.
- [4] Fronckowiak, David, Andreas Peikert, and Kazumi Nishinohara, "Using Discrete Event Simulation to Analyze the Impact of Job Priority on Cycle Time in Semiconductor Manufacturing," IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, 1996, pp. 151-155.
- [5] Janakiram, Mani, "Cycle Time Reduction at Motorola's ACT Fab," IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop, 1996, pp. 465-469.
- [6] Hopp, Wallace J., and Mark L. Spearman, *Factory Physics*, Irwin, 1996.
- [7] Konnopka, John, "Overall Equipment Effectiveness and Cost Measurement," IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium, 1996, pp. 137-140.
- [8] Konnopka, John, and Walt Trybula, "Utilizing Production Data to Increase Factory Capacity," IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium, 1995, pp. 292-294.
- [9] Lu, Steve C. H., Deepa Ramaswamy, and P. R. Kumar, "Efficient Scheduling Policies to Reduce Mean and Variance of Cycle-Time in Semiconductor Manufacturing Plants," IEEE Trans.

Semiconductor Manufacturing, Vol. 7, No. 3, August 1994, pp. 374-388.

- [10] Maiorana, Angelo, and Guglielmo Iuliano, "Improving Cycle Time Through Managing Variability in a DRAM Production Line," IEEE International Conference on Semiconductor Manufacturing, 1997, pp. A29-A32.
- [11] McGlynn, Paraic, and Mary O'Dea, "How to get Predictable Throughput Times in a Multiple Product Environment," IEEE International Conference on Semiconductor Manufacturing, pp. P27-P30, 1997.
- [12] Nishimura, Masahide, "Strategic Inventory Control for Stable Production," IEEE International Conference on Semiconductor Manufacturing, 1997, pp. A1-A4.
- [13] Pierce, Neal G., and Alan Yost, "Cycle Time Metrics for R&D Semiconductor Wafer Fabrication," IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, 1995, pp. 105-110.
- [14] Sattler, Linda, "Using Queueing Curve Approximations in a Fab to Determine Productivity Improvement," IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop, 1996, pp. 140-145.
- [15] Srivatsan, N., and Karl Kempf, "Effective Modeling of Factory Throughput Times," IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium, 1995, pp. 377-383.
- [16] Stanley, Timothy D., "Batchless Factory Concept for Very Short Cycle Time Semiconductor Manufacturing," Symposium of IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology, 1995, pp. 486-487.
- [17] 周雍強, 「半導體製造的生產週期改善原理」, 研討會講義, 新竹科學園區, 85 年 10 月。
- [18] 周雍強、陳春源, 「非等效並聯機台的工作分派」, 中國工業工程師年會, 87 年 12 月, 審查中。

