

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

限制驅導排程方法在晶圓廠黃光區之應用

An Application of TOC for Photolithography Area in Wafer Fabrication Factory

計畫編號：NSC 90-2218-E-009-020

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：李榮貴 國立交通大學工業工程與管理學系

共同主持人：張盛鴻 明新科技大學工業工程與管理系

計畫參與人員：劉筱君、簡白香 國立交通大學

一、中文摘要

IC 晶圓製造係於晶圓上重覆構建數層電路，每一層電路在完成光罩圖形製版步驟後，不同加工步驟的晶圓將被送至不同區域作進一步的加工，所以黃光區可視為一晶圓配送中心，由於黃光對準機台(Stepper)價格昂貴，故常是半導體製造廠的瓶頸機台，如何充份利用瓶頸機台以發揮最大產能，並降低在製品存量及增加產出，使系統績效達到最高，乃為生產管制的重要目標。然而在現實環境中，為了維持資源最大產出量及達成準時交貨目的下，管理者卻落入強調機台優先順序與不強調機台優先順序之間的衝突。

本論文將擬以限制驅導式排程方法及管理技術為基礎，透過瓶頸機台的 WIP 管理，排出系統的最佳限制驅導節奏，來引發投料計畫，以保護機台與充份利用瓶頸機台，追求晶圓廠的最大產出。另一方面，針對生產管理的衝突問題，瓶頸的績效評估強調在整體資源績效的有效利用，非瓶頸績效評估則強調在“訂單績效”。亦即以限制驅導式投料節奏搭配正確績效管理，取得準時交貨和最大產出間的最佳平衡。

本研究之驗證工作將於 M 公司作進行，主要進行投料、派工方法的實務運作。在驗證前使用實際資料計算出瓶頸 Stepper 機台合理負荷權重及負荷警戒值，以建立投料的考慮參數。並用 M 公司實際的 WIP、機台產能及產品流程等基本資，以

Workstream、SQL、Delphi 軟體來控制投料、派工方法的實際執行。

關鍵詞：晶圓製造，限制驅導式，TOC

Abstract

In manufacturing line of IC, the structures of device to be made on wafer through repeat processes. All of wafers should be defined patterns at photo process and then delivered to next operational step for processing based on process flow. From manufacturing point of view, photo area would be assigned as a controlling center among wafer processes inside fab. But photo area is always become a bottleneck of manufacturing line because stepper with the highest equipment cost. By the way, fab operation is always suffers from mutual impact between priority of fabrication equipment in order to meet both the maximum throughput and on time delivery simultaneously. So, how to elevate the throughput of steppers and reduce WIP at bottleneck are the key tasks of fab operation. In other words, it's a key topic to get the top performance of bottleneck or steppers in order to gain the maximum throughput of fab.

This study plan to develop a optimal system to do both the proper wafer input and the best drum of WIP at the bottleneck in order to get the maximum output of wafer fab

based on drum-buffer-rope production management technology. By the way, this study also try to reduce the mutual impact of production management and target to get balance between on time delivery and the maximum output through both the optimal rope and performance management. In other words, the full utilization of bottleneck and the order performance of non-bottleneck would be emphasized.

The confirmation of the optimal system of this study will be done in M-company for wafer input and dispatching operation inside fab. Before confirming, the parameter of wafer input is established through calculation of bottleneck's loading such as stepper's reasonable weight and warning level based on the distribution of processing wafer in manufacturing line. During the operational confirmation, M-company's WIP, capacity of equipment and process flow of running products are used for both wafer input and dispatching operation through some running systems or software like workstream, SQL and Delphi. The concept of TOC aggregated time buffer was developed by A. Y. Goldratt in project management. This concept uses the aggregated time buffer to protect the whole project's due date instead of that only considers individual tasks. Therefore, this study aims to develop a new shop flow scheduling method base on the TOC concept. This method is expected to reduce the mean tardiness and tardiness jobs. A simulation model with real world data is also established to examining the performance of the proposed method.

Keywords : wafer fabrication, production activity control, TOC

二、緣由與目的

晶圓製造廠由於產品製程複雜，且晶圓製造的製程具有再迴流的特性(擴散 黃光 蝕刻 薄膜四區循環)造成不同加工步驟會使用到相同的加工機台。再加上晶圓製造廠具有高度的不確定性，如機台故障及產品製程穩定性要求，使得在能修復的

製程中，不良晶圓則儘可能考慮再加工(Rework)以維持穩定的製成品來保持良率。而 IC 晶圓製造係於晶圓上重覆構建數層電路，每一層電路之製作需經過一光罩製版步驟，在完成光罩圖形製版步驟後，不同加工步驟的晶圓將被送至不同區域作進一步的加工，所以黃光區可視為一晶圓配送中心，其機台派工對於協調其它區域與平衡工作負荷及產品交期，有著極重大影響，但由於黃光光罩製版的對準機台(Stepper)價格昂貴，且由於製成品質需求上的要求而再加工(Rework)，故黃光區域的對準機台(Stepper)機台常是半導體製造廠的瓶頸機台。因此如何充份利用瓶頸機台以發揮最大產能，來平衡系統工作負荷，並降低在製品存量及增加產出，使系統績效達到最高，乃為半導體製造生產管制的重
要目標。

過去雖然有相關文獻如：Leachman[1]利用線性規劃的方法、規劃各週期預計下線批量數，配合均勻投片法來規劃出細部排程。Lozinski and Glessey[2]則提出避免饑餓法(Starvation Avoid)，認為投料時機應視瓶頸資源加工的在製品數量的多寡而定。當瓶頸有缺料危機時，飢餓派工法則用加重的權重來減少瓶頸機台閉置時間。其目的在保持瓶頸機台高使用率下，來維持較低的製品量。Spearman[3]發展的固定在製品量法(Constant Work in Process)以固定在製品量的系統中，只有當工作通過整條生產線之後，才能允許另一個工作進行生產。此控制法在生產流動時間表現優異，在維持系統穩定性。Wein[4]提出工作負荷調節法(Work Load Regulating)是以瓶頸資源工作站的總工作負荷，作為投料的依據。此法在平均等候時間及生產週期時間皆可獲得有效的管理。雙界法(Two Boundary)是以兩工作站間的實際在製品量和計劃再製品量，實際累積生產量和計劃累積生產量的差距來作為投料與否之依據。相同觀念亦用於派工此法對在製品量和生產週期時間也有不錯的效果。

在另一方面的動態派工法則研究中 Chang 等[5]在"考慮晶圓廠整體績效之組合

式及時派工法則”中以 CR(Critical ratio)法則作為派工之依據。亦考慮瓶頸機台的在製品水準，使其達到整的最大產出，也能滿足交期之需求。徐[6]的「晶圓廠黃光區派工法則之探討」考慮黃光機台特性及製程特性下，採用權重與門檻值的觀念將各影響因子在派工法則中作一整體的考量來指定加工排序。此法則在系統產出、平均生產週期等績效皆有不錯的提昇表現。

在上述文獻所制定的投料及派工法則，皆探討如何充份利用瓶頸機台來發揮最大產能，降低在製品庫存量及增加產出，使系統的績效達到最高。研究皆相當顯著，然而卻無法在實務上被廣泛執行，此乃因忽視在現實環境中作業績效的衝突。在晶圓製造廠中，產出量、交期達成率、在製品水準、生產週期時間、瓶頸機台使用率等，都是生產管理人員所關心的，而這些指標間，又有著相互消長的利害關係。例如：因追求資源最大產出，瓶頸機台的產出就變的非常重要，管理者為避免瓶頸 Stepper 機台的閉置及缺料，而有提早投料或投入較高的在製品情形。然而此行為卻增大再製品與生產週期。另一方面為了作好管理，我們必須降低在製品，為了降低在製品，管理者必須不能提早投料。提早投料與不能提早投料造成管理者的衝突。現實環境的管理者明知瓶頸決定產出，即使投料也無法增大產出，然而為了追求作業績效，管理者還是提早投料。另外因瓶頸 Stepper 產出最小及再迴流特性，瓶頸 Stepper 機台常有較高的再製品等待加工。為了維持瓶頸機台產出量，生產線會以相同光罩別的加工產品來作為優先選擇，以降低更換光罩頻率及試作的整備時間，而使加工的批量變大造成生產週期變長，產品無法準時交貨。在另一方面，管理者為了有效管理，制定各機台使用率及每天 Move 量(晶片作業數量)目標，以確保生產作業的有效執行。此時，生產線各課為達成良好的內部績效，非瓶頸機台的 Move 量將被要求外，生產線在作每日產能分配的機台數量安排時，也會以滿足內部績效為主要考量。

綜合以上現象，可以發現為了作好管理，維持晶圓廠的最大產出，管理者落入許多衝突，如，管理者可容許有較高的再製品量及較大批量的生產，而造成生產週期變長無法準時交貨。各課/部門為了達到內部績效目標，非瓶頸機台沒有配合瓶頸機台之需要而派貨，而導致瓶頸機台缺料。在生產線上，也總是發生為了維持最大產出績效與達成準時交貨之要求二者之間的衝突。本研究之目的就是要解決半導體生產管理之核心衝突。

基於上述可知，為了維持資源最大產出量及達成準時交貨目的下，而導致強調機台排序與不強調機台排序之間的核心衝突，由於二者無法同時兼顧而產生如再製品偏高、較高的生產週期等不良效應。所以，本研究認為要解決生產規劃問題及改變績效指標應以限制理論(Theory of Constraints)來發展投料及派工法則。

三、派工與投料模式之構建

黃光區域派工法則之構建：針對黃光區應考慮的因素，如重加工(Rework)、機台群組別，試作批(Test Run)、換光罩(Reticle)、等因素下，建構黃光區細部排程，以提供黃光區現場活動控制的管理機制，並以此細部排程為基礎作塗步機(Coater)、對準機台(Stepper)等機台排程管理。

投料模式的構建：以限制理論的限制驅導式理念發展投料模式，達成產出量最大，並減少再製品量及降低生產週期時間，同時避免因產品組合改變，在均勻投片法中所產生的暫時瓶頸現象。建構程序為：1.在產品組合下，計算 Stepper 各機台關鍵層的合理負荷值。2.計算機台在製品中，尚未加工的各關鍵層對機台的負荷權重。3.計算機台在製品中，前段關鍵層的負荷權重。4.當機台的負荷值小於警戒值時，則投片在此機台。

M 公司晶圓廠主生產排程之構建：針對 M 公司晶圓廠訂單式與計劃性二者並存生產型態，以限制驅導式排程所建構的主生產排程為基準，提供投料，派工的控制

機制。

四、模擬實驗

本研究採用 M 公司半導體廠實際生產作業情況來做為本研究投料、派工方法的驗證。在分析、評估其結果的部份採用”Work-Stream”、Delphi 及 SQL 等軟體為主要的控制/驗證工具。實驗分二階段進行：第一段是在驗證前使用 M 公司歷史資料計算出瓶頸 Stepper 機台合理負荷權重及第一個關鍵層的負荷警戒值，以建立投料的考慮參數。第二階段為實例驗證部份，用 Work-Stream 的基本資料以 SQL、Delphi 軟體來控制投料、派工方法的進行。

為瞭解使用本研究的方法後對整體績效的影響，在實例驗證中將執行本法後的結果與以前的均勻投片法及依據交期緊迫值(CR)的派工法作比較分析。結果如下：

1. 採用本法後顯示，瓶頸機台的平均產出由原 117K moves 增加至 121K moves，而標準差由原 4232 moves 降至 4018。平均產與標準差出皆優於驗證執行前。
2. 在生產週期的驗證比較上，由於本法除採用 CR 法外，為了避免因產品組合改變，在均勻投片法中所產生的暫時瓶頸現象，在投片時也考慮 Stepper 各機台關鍵層的合理負荷值，當作投片的參考。故實際驗證結果顯示，採用本法後，產品的平均生產週期績效表現皆優於驗證執行前。
3. 經由驗證的結果顯示，在整體在製品的表現上實施本法後的在製品平均數量及標準差皆比驗證執行前表現的好。因為本法是依據瓶頸機台的再製品數量及生產狀況來投片，故有較少的全廠在製品數量。

五、結論

本文以限制驅導式排程方法及管理技術為基礎，以保護瓶頸與充份利用瓶頸機台，來追求晶圓廠的最大產出，透過瓶頸機台的在製品管理，以緩衝管理作為瓶頸

機台的生產控制機制，然後再據以排出系統的最佳限制驅導節奏，來引發投料計畫。在另一方面，瓶頸的績效評估強調在整體資源績效的有效利用，非瓶頸績效評估則強調在”訂單績效”和全力配合瓶頸 Stepper 的管理。

根據實例驗證，本研究達成下列目標：

1. 規劃限制驅導式節奏及投料節奏，可以達到各產品在生產線上平順的流動。
2. 改善目前派工方法及瓶頸機台再製品管理，非瓶頸機台全力配合瓶頸 Stepper 機台，以期瓶頸/系統產出最大。
3. 修正績效指標，瓶頸機台強調在”資源績效”，非瓶頸強調在”訂單”績效，以化解最大產出量和短生產週期時間此二者之衝突。

參考文獻

1. Leachman, R.C., ” Modeling Techniques for Automated Production Planning in the Semiconductor Industry,” *ORC report*, Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1993.
2. Lozinski, C. & Glassey, C. R., ”Bottleneck starvation for shop floor control,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 1, (4), 147-153, 1988.
3. Spearman, M. L., and Woodruff, D. L., Hopp, W.J., ”CONWIP: a Pull Alternative to Kanban,” *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 5, 879-894, 1989.
4. Wein, L.M., ”Scheduling semiconductor wafer fabrication,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 1, No.3, 115-130, 1988.
5. Chang, S.-H., Feng, Y. -M., Huang, C.-L., Tu, Y.-M. & Li, R.-K., ”A TOC-based dispatching rule for semiconductor wafer fabrication,” *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineering*, 16(2), 209-220, 1999.
6. 徐光宏，「晶圓廠黃光區派工法則之探討」，國立交通大學碩士論文，1996。