

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

IC 製造業前置時間管理之研究 (II)

The Study of Lead Time Management for IC Industry

計畫編號：NSC88-2213-E009-023

執行期間：87 年 08 月 01 日至 88 年 7 月 31 日

主持人：鍾淑馨 國立交通大學工業工程與管理學系教授

一、中文摘要

測試廠以滿足交期為主要的目標。其排程的特性有：測試批量動態到達、允許緊急批量插單、順序相依的設置時間、工單產品群組、工單產品別相關之處理時間、產能限制等等。由於測試機的價格昂貴，減少設置次數以增加產能利用率是重要的績效指標。所以本研究定義針測廠排程問題為具順序相依設置時間特性之非相關的平行機台排程問題，並構建此問題的整數規劃模式。

對於如何減少設置次數但又能滿足前置時間的要求，本研究將測試廠的排程問題轉換為具時窗限制的車輛路線規劃問題，並發展測試廠的生產規劃與排程模式，其中包含粗略產能規劃模組、排程規劃模組、緊急訂單插單模組等三個模組。粗略產能規劃採用雙指標演算法評估是否應增加各產品族之備用機台。排程規劃根據車輛遞送問題中的節約演算法與插入演算法，發展九種演算法，並以四組問題測試演算法的績效。緊急訂單插單模組則發展對既有排程衝擊最小的緊急訂單插單處理方法。

經驗證，本研究之三個模組有優異的整合效果。粗略產能規劃之雙指標演算法可有效利用既有機台產能，並事前發現備用機台不足的問題而提前因應。排程規劃所發展的九種排程演算法可快速求得可行解，並從中挑選績效較好的解。緊急訂單插單方法所得到的插單位置會產生較低的

插入成本並減少對既有排程的交期延誤。所以，此三模組可因應晶圓針測的環境特性並提昇產能利用率與交期績效。

關鍵詞：晶圓針測、交期績效、順序相依設置時間、排程

Abstract

On time delivery is the major objective of wafer probing factories. The characteristics of wafer probing scheduling problem (WPSP) include dynamic arrival of testing lots, the allowance of the inserting rush orders in current dispatching list, the sequence-dependent setup time, job cluster, product type-dependent processing time, and capacity constraints, etc. Because the testers are expensive, the reduction of setup times to increase capacity utilization rate is an important performance index. We define the wafer probing scheduling problem as the unrelated parallel-machine problem with sequence dependent setup time. We also provide the integer programming model for the WPSP.

To meet both requirements of pre-determined length of lead time and of reducing setup times, this research regards the scheduling problem as vehicle routing problem with time window constraint (VRPTW) to develop the production planning and scheduling model. The production planning and scheduling model consists of the following three modules, the rough-cut capacity planning module, the scheduling module, and the rush order insertion

module. In the rough-cut capacity planning module, we design a bi-criteria algorithm to evaluate the necessity of increasing the number of backup machines. In the scheduling module, we propose nine algorithms to solve the WPSP approximately, which based on the savings and insertion vehicle delivery algorithms. The performances of the algorithms are also evaluated with four testing problems. In the rush order insertion module, we propose an algorithm to insert the rush order with least additional cost and reduce the impacts on the schedules.

The experimental testing shows that the three modules are well-integrated. In the first module, the bi-criteria algorithm is designed to utilize the machine capacity efficiently and evaluate the necessity of increasing the number of backup machines. In the second module, each one of the nine algorithms can solve the WPSP quickly and approximately. According to the computational results, we can choose the algorithm with better scheduling performances. In the third module, the rush order insertion method is developed to find the insertion position which cause least additional cost and reduce the total tardiness of the orders on the schedule after the insertion of rush order. Therefore, the three modules can help us to efficiently improve the capacity utilization and the on time delivery performances.

Keywords: Wafer probing, delivery performance, sequence-dependent setup time, scheduling.

二、緣由與目的

在競爭激烈的產業環境中，良好的交期績效是必需的要件。針測廠的製程接續在晶圓製造之後，其前置時間受晶圓廠將 IC 送達針測廠的到達時間 (arrival time) 的影響。在代工的產業環境下，不同緊急程度的訂單插入對其它訂單的生產排程勢必有所影響。所以在進行針測廠的產能規

劃/機台群組設定與生產排程規劃時必須考慮緊急訂單的處理。亦即必須有系統化之產能規劃與排程方法，才能避免緊急訂單對系統的干擾與衝擊。

因針測廠的主要製程機台(測試機)價格昂貴，其產能利用率的高低是重要的績效指標。一部測試機可測多種產品或進行不同功能的測試作業，但進行不同的產品測試或功能測試，可能需要進行相關軟硬體的設置作業。所以必須妥善規劃測試批的順序以減少設置次數，才能提高機台利用率。

由於針測廠的排程問題特性與測試機台之等效平行排列特性，與具時窗限制的車輛路線規劃問題(vehicle routing problem with time window constraint; VRPTW)有許多的類同性，本計畫嘗試將針測廠的排程問題轉成 VRPTW 之網路問題，並以啟發式演算法求出測試機台之測試批的測試順序。

測試機台的排程問題若以派工法則定出的順序求解，則排程績效並不理想，但以線性規劃等數學模式求解，則往往不能滿足實際問題的需求。在網路問題中許多 NP-hard 問題是以啟發式(heuristics)演算法求解，而且許多問題已有效果不錯的近似解。這些啟發式演算法的解題速度可滿足實務的需求，而且所求得的结果也接近最佳解。

所以，本研究以構建針測廠之生產規劃與排程模式為目的，在符合針測廠的產品與製程特性之前提下，期控制每一測試批的測試前置時間在目標值內，且提高機台利用率。完成之工作項目有：

(1) 針測廠排程問題的定義與網路轉換方法之發展。進行之工作為：定義針測廠排程問題為何種平行機台排程問題、將該問題以整數規劃之數學模式表達、將針測廠排程問題轉換為 VRPTW 的網路轉換步驟及證明這兩種問題是相等的。

(2) 粗略產能需求規劃模組：評估機台

配置是否得當。進行之工作為：各機台群組產能需求規畫、正常批量與緊急批量之產能分配比例規劃、調整測試批量的備用機台等。

(3) 排程規劃模組：決定正常批量在測試機台的排序。進行之工作為：發展近似解演算法以決定正常批量在測試機台的處理順序。

(4) 緊急訂單插單模組：處理緊急批量到達現場時之插單問題。進行之工作為：插單規劃、插單法則、派工表重新調整等。

三、結論

晶圓針測排程問題的特性有：測試批量動態到達、允許緊急批量插單、順序相依的設置時間、工單產品群組、工單產品別相關之處理時間、產能限制等等。針對這些特性，本研究發展針測廠的生產規劃與排程模式，其中包含粗略產能規劃模組、排程規劃模組、緊急訂單插單模組等三個模組。

經驗證，三個模組有優異的整合效果，可因應晶圓針測的環境特性並提昇產能利用率與交期績效。粗略產能規劃之雙指標演算法可有效利用既有機台產能，並事前發現備用機台不足的問題而提前因應。排程規劃所發展的九種排程演算法可快速求得可行解，並從中挑選績效較好的解。緊急訂單插單方法所得到的插單位置會產生較低的插入成本並減少對既有排程的交期延誤。

本研究的研究成果與結論分述於下：

(1) 定義針測廠排程問題為具順序相依設置時間特性之非相關的平行機台排程問題 (**unrelated parallel-machine problem**)，並構建此問題的整數規劃模式。其次，提出網路轉換演算法，將針測廠排程問題轉換為具時窗限制的車輛路線規劃問題，並證明這兩種問題是相等的。

(2) 粗略產能需求規劃以雙指標演算

法將各產品族的訂單分派到各機台群組。此雙指標演算法是盡量增加產能節約值 (**saving index**) 但又不致造成某些產品族的訂單無法分派到機台上 (**urgency index**)。當某些產品族最後仍無法分派到機台上時即代表須增加這些產品族的備用機台。

(3) 在排程演算法的設計方面，本研究根據文獻中有關具時窗限制之車輛路線規劃問題的兩類近似解演算法：節約 (**savings**) 演算法與插入 (**insertion**) 演算法，分別設計九種演算法。並且以四組問題測試演算法績效，這些問題組所包含的工作數從 50 個到 120 個不等，各有以下不同的特性：交期鬆緊程度不同、產品群組、接近針測廠實際製程資料等。績效分析則考慮電腦運算時間、總機台排程數目、所有機台排程總負荷等三準則。

經過績效的分析發現：問題組的交期鬆緊度、工作的群聚性 (產品群組)、產生初始排程的方法等，會影響排程演算法求解的績效。所以，一個演算會要有良好的績效表現，必須妥善考慮這三種因素。配對之合併節約演算法就是在原有的配對節約演算法中額外考慮時窗的影響，所以其在具有較緊的交期問題組中的績效表現並未惡化。

(4) 在緊急訂單插單模組的績效方面，經實例驗證，緊急批量比例的規劃使排程上各個工作的預計完工時間與交期之間有大小不定的寬裕度，如此可降低緊急訂單插入後對其他訂單的交期延誤。部分訂單有較大的交期延誤是因緊急批量的到達具隨機性且不同的排程方法會產生不同的排程彈性，所以某些緊急訂單的插入會造成部分訂單較大的交期延誤。

四、計畫成果自評

1. 研究內容與原計畫相符程度說明

95

2. 本研究達成預期目標概要

實驗原型或系統之建立、理論的推導或
模式建立、人才培育、技術之新應用

3. 本研究成果之學術參考價值

極高

4. 本研究成果之應用推薦價值

極高

5. 本研究成果可申請專利項目之說明

本研究的成果非工程技術的研究，其成
果不適宜申請專利

6. 本研究成果發表之建議：

本研究之成果可發表於國內外之期刊

7. 綜評

本研究成功的將晶圓針測排程問題轉換
為網路問題，定義何為晶圓針測排程問
題及其整數規劃模式，並將車輛遞送問
題演算法應用於求解晶圓針測排程問
題。所發展的生產規劃與排程模式，可
因應晶圓針測的環境特性，提昇測試機
台產能利用率與訂單交期績效。

※對本研究成果報告自評等第：極佳

五、參考文獻

[1] BARNES, J. W., and BRENNAN, J. W., 1977, An improved algorithm for scheduling jobs on identical machines. *IIE Transaction*, 9, 25-31.

[2] CENTENO, G., and ARMACOSTI, R. L., 1997, Parallel machine scheduling with release time and machine eligibility restrictions. *Computers and Industrial Engineering*, 33(1-2), 273-276.

[3] CHENG, T. C. E., and SIN, C. C. S., 1990, A state-of-the-art review of parallel-machine scheduling research. *European Journal of Operational Research*, 47, 271-292.

[4] ELMAGRABY, S. E., and PARK, S., 1974, Scheduling Jobs on A Number of Identical Machines. *IIE Transactions*, 6, 1-13.

[5] LEE, C. Y., UZSOY, R., and MARTIN-VEGA, L. A., 1992, Efficient algorithms for scheduling semiconductor burn-in operations. *Operations Research*, 40(4), 764-775.

[6] LEE, Y. H., and PINEDO, M., 1997, Scheduling jobs on parallel machines with sequence-dependent setup times. *European Journal of Operational Research*, 100,

464-474.

[7] OVACIK, I. M., and UZSOY, R., 1992, A shifting bottleneck algorithm for scheduling semiconductor testing operations. *Journal of Electronics Manufacturing*, 2, 119-134.

[8] OVACIK, I. M., and UZSOY, R., 1994, Rolling horizon algorithms for a single-machine dynamic scheduling problem with sequence-dependent setup time. *International Journal of Production Research*, 32(6), 1243-1263.

[9] OVACIK, I. M., and UZSOY, R., 1995, Rolling horizon procedures for dynamic parallel machine scheduling with sequence-dependent setup time. *International Journal of Production Research*, 33(11), 3173-3192.

[10] OVACIK, I. M., and UZSOY, R., 1996, Decomposition methods for scheduling semiconductor testing facilities. *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 8, 357-388.

[11] PARKER, R. G., DEANE, R. H., and HOLMES, R. A., 1977, On the use of a vehicle routing algorithm for the parallel processor problem with sequence dependent changeover costs. *AIIE Transactions*, 9(2), 155-160.

[12] POTVIN, J. Y., and ROUSSEAU, J. M., 1993, A Parallel route building algorithm for the vehicle routing and scheduling problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, 66, 19-26.

[13] RANDHAWA, S. U., and KUO, C.-H., 1997, Evaluating scheduling heuristics for non-identical parallel processors. *International Journal of Production Research*, 35(4), 969-981.

[14] SOLOMON, M. M., 1987, Algorithms for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints. *Operations Research*, 35(2), 254-265.

[15] UZSOY, R., CHURCH, L., OVACIK, I., and HINCHMAN, J., 1993, Performance evaluation of dispatching rules for semiconductor testing operations. *Journal of Electronics Manufacturing*, 3, 95-105.

[16] UZSOY, R., LEE, C. Y., and MARTIN-VEGA, L., 1992, Scheduling semiconductor test operations: minimizing maximum lateness and number of tardy jobs on a single machine. *Naval Research Logistics*, 39, 369-388.

[17] UZSOY, R., MARTIN-VEGA, L. A., LEE, C. Y., and LEONARD, P. A., 1991, Production scheduling algorithms for a semiconductor test facility. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 4, 271-280.

[18] VASILESCU, E. N., and AMAR, A. D., 1983, An empirical evaluation of the entrapment procedure for scheduling jobs on identical machines. *IIE transaction*, 15, 261-263.