

虛擬之自動化半導體廠-子計劃三

供晶元交期預測之虛擬半導體廠排程及派班(3/3)

執行期限:89年8月1日至90年7月31日

計畫編號: NSC 89-2218-E-002-057

計畫主持人: 傅立成教授

E-mail: lichen@csie.ntu.edu.tw

執行單位: 台灣大學資訊工程學系暨研究所

一、中文摘要

本子計劃階段的目標在於：第一、變動不確定狀態下的交期預測的理論改良及所謂的排隊-斐氏網路模型的建造和分析工具的開發。第二、排程及派班的工具與MES資料庫的整合。以第一個目標而言，在此我們針對前一階段提出的一個可以在變動環境下針對每個晶圓單元的交期預測引擎，做出方法的改善，並提供更有效率排序排程工具。而在第二個目標上，我們結合各子計畫，連結了MES資料庫，以虛擬半導體廠內的現場資料提供一個快速的排程及派班策略。

二、緣由與目的

半導體廠是一個複雜的製造系統，同時處理的晶元製程種類繁多，而每一製程均要經過數百道製程步驟才能完成。面對如此複雜的生產流程，若想要得到一較佳生產管理方法，相當的困難。又加上半導體廠內的不確定因素，像是機台故障之類的因素，使排程工作變成相當複雜，也使廠商難以提供客戶精確的交期預測。廠商本身也難以根據現有資源的利用情形來評估可能訂單的執行及交貨情形。

「虛擬之半導體廠」可將晶元的生產虛擬建構於電腦中，本計畫利用電腦大量且快速的計算能力和精確的計算結果，開發一交期預測引擎，在客戶下單時或廠商進行實際生產之前，可預先協助廠商本身作出最有效之決策並且可以配合在排隊-斐氏網路模型上，利用電腦做基因演算法的排程方法搜尋，以提供廠商較佳的

排程法則；對於客戶來說，也可以明瞭自己所下的訂單何時可以完成。

三、研究方法

交期預測引擎的理論開發中，我們焦點放在求出每個晶圓單元(Lot)在每個時間上的交期預測並且決定出所謂的排序排程(Permutation Schedule)。在其中對每一個晶圓處理步驟我們安排工作(job)到機台上執行，我們的目標在於使每晶圓單元的完工時間的總和為最小並且能符合先前所承諾某些晶圓單元的完工時間。在這前提下我們將利用排隊網路取代我們前一年所開發一般化不確定斐式網路模型結合排隊網路的方法，主要是在傳統CTPN(彩色時序斐氏圖)中，引入一個新的態變(Transition)，稱之為排隊式態變(Queueing transition)，在這種態變上面可以內嵌一個優先權排隊模型(priority queueing model)，而這種排隊模型就是所謂排隊網路的部分。這種工具我們稱它為排隊式彩色時序斐氏圖(Queueing colored timed Petri-nets)。

在排程方面，我們使用遺傳基因演算法為基礎，來尋找各種排程法則的最佳組合方式。這個方法可以視為利用各種不同的排程法則所產生的批貨在各個機台的執行順序，在這些順序的組合中來做搜尋。這種方法的好處是可以減少解集的大小，更容易找到較佳的解，另外，結合上面所述QCPN模型，可以大幅縮短所需的計算時間，如此這個遺傳基因演算法就可以適用於半導體生產中迅速變動的環境。

在本計畫的研究中，我們讓我們的

Queueing Colored timed Petri-nets (QCPN) 計算模型可以支援所提出的搜尋演算法；換句話說，就是在我們的QCPN模型上，排程法的搜尋可以同時沿著生產資源以及時間區段兩個方向作改變。在這裡，我們改善上一階段所提出之方法用來加快解決晶圓廠中的生產製造排程問題並提供更有效率之派班法則。如同前一階段所使用的方法(在QCPN模型之之上的GA搜尋法共同作用)，我們在Model上加入一Update Subnet，利用一Subnet計算每一特定的時間間隔內Token來的數量，用以計算機台中批貨的Arrival Rate，讓機台之Arrival Rate更逼近真實情況，進而使的模擬時Queueing Transition所計算的Waiting time更加準確，在GA方面，我們提供了兩個方法(Mixed rule及Cutoff Method)，對於Mixed Rule，我們將之前所用之Rule單位化，利用遺傳演算法找出各個Rule的加權值，利用此加權值及Rule計算出每個Lot在機台的優先順序，Mixed Rule不同於之前的方法（對每一機台採單一Rule），Mixed Rule提供較大的解集合空間，使得找出的解更有效；對於另一種方法Cutoff Method，由於在半導體生產中，瓶頸機台影響了整個批貨的等待時間及生產週期，所以在遺傳演算法時只針對機台使用率較高之機台做遺傳演化，這種方法可以大量減少遺傳演算法所需的計算時間，但對於問題的解並沒有太大的影響。所以我們配合建構在QCPN模型之之上的GA搜尋法及各種的改善方法共同作用，以產生出一套排程搜尋器。

四、研究成果

研究理論及成果報告可以分成以下二大部份：

(一)交期預測引擎改良與MES資料庫之連接

在這個部分，若我們要提供更多的訊息給客戶，而幫助他們做適當的下單選

擇，我們必須快速且精確的估計一些效能測量值。這也對管理者管理產品的進程有很大的幫助。我們利用QCPN生產模型來預測訂單的交期。

交期預測所需從MES資料庫輸入的參數

我們可以把QCPN想成一個簡化的模擬系統，既然這仍然是一個模擬系統，我們就可以模擬它並得到相對應的答案。在此，我們需要連線MES資料庫，從MES中讀取一些輸入參數來模擬這個系統

目前系統的狀況：目前所有批貨的生產狀況和機台的目前資訊，我們可以從製造執行系統(MES)中擷取這些資訊。

未來可能會有的訂單：這些是潛在的訂單，將會在未來加入生產的行列，這些訂單同時也會影響交期預測的準度。

使用的排程法則：這些是現在或未來可能被採用的排程法則，包括投單法則，機台選擇法則和分派(dispatch)法則。

其他的參數：包括像是機台故障的機率，重做的機率和生產良率的值，這些也會影響交期預測的結果。

優先權指派法則

在半導體生產中，管理者通常會選用一些排程或指派法則去控制批貨生產的情況，許多常用的法則是以優先權為基礎的法則，當有很多批貨同時在佇列中等待的時候，我們必須要選出哪一個批貨是在下一步會被選中作為下一次機台服務的對象。以優先權為基礎的法則會給每個批貨一個數值，而數值最大的批貨將會被選擇出來。

實驗結果

在我們的實驗中，有43個機台群組477個機台及兩個生產流程，我們利用QCPN搭配Update subnet的機制，分別對四種不同的優先權指派法則，可得到90%

~98%不等的準確度，對Mean cycle time而言，如圖一，藍色為Prediction的結果，紅色為Simulation的結果，針對四種不同的Rule，Prediction之結果與Simulation相進由此可之預測結果的準確性，而對於在QCPN有無Update Subnet機制我們也做了比較，比較結果如圖二所示，綠色點串起來的線表示未加Update Subnet機制的預測系統，而紅色串起來的線表示加了Update Subnet機制，藍色串起來的線表示實際的模擬結果，有圖可見有加入Update Subnet機制的預測系統更能準確的預測出產品的完工時間，可見當加入Update Subnet之後，增加了預測的準確度。

(二)排程及派班的理論改善

一般來說，晶圓製造廠中的生產環境通常太過於複雜以致於無法訂出一個「最好的」派單法則。因此，在本計畫的研究中，我們選定了幾項法則作為變數，利用基因演算法（GA）依據當時廠中的狀況，找出相對上較好的派單控制。並且我們改善上一階段所提出之方法用來加快解決晶圓廠中的生產製造排程問題並提供更有效率的派班法則。如同前一階段所使用的方法(在QCPN模型的之上的GA搜尋法共同作用)，我們提供了兩個方法：

混合的排程法則

我們試著混合一些排程法則，然後用基因演算法對每個機台群組去搜尋適合的混合模式。這個方法，首先將以優先權為基礎的排程法則的值正規化，使優先權值能夠分佈在同樣的範圍。接著使用不同組合方式將這些法則混合去產生新的批貨執行順序。在我們的研究中，我們採用了五種不同的法則，每個法則皆可有一個由0~3的權重，我們把轉換之後的優先權值和權重相乘，然後在將這些值加總除以權重的總和。

依據機台利用率的剪斷法則

因為在半導體廠中，瓶頸機台常常左右一個廠的效能表現，而瓶頸機台通常是由機台利用率來決定，在此我們可以大膽的推測，我們可能只需要將機台使用率較高的機台群組抽離出來做排程，其他的機台群組則使用同一個機台群組基因來表示。經過剪斷之後的染色體變得較短，所以我們也可以較容易的找到較佳的排程法則。

實驗結果

在排程的實驗裡，我們比較GA使用Mix rule 與單一rule的方法，分別對Mean cycle time、Throughput、及Penalty進行比較，比較結果如圖三所示，雖然在產出率方面，Mixed Rule 與 Single Rule的產出率相差不遠，但在Mean cycle time及Penalty有顯著的下降，也就是說使用Mixed Rule的方法可使減少產品的製造時間，也可以使廠商因延遲交貨所導致賠償的機率降低。我們也針對QCPN搭配GA加剪斷法則與之前CTPN進行速度上的比較，結果如圖四，利用GA在QCPN架構下跑一個子代的時間比在CTPN架構下跑一個子代所花的時間平均快了7到9倍，由於GA需要利用衍生許多代來找出Optimal Solution，所以由此實驗可知，QCPN改善了CTPN在計算上所須之時間。

五、總結

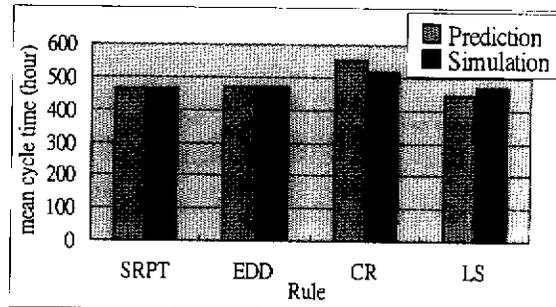
我們在這裡為我們研究的晶圓製造排程做個總結。在本計畫的研究中，我們利用Queueing colored timed Petri-nets為工具建構了晶圓製造廠的生產模型，並連線MES資料庫，抓取虛擬半導體廠的現場資料，在QCPN其上應用基因演算法配合Queueing Theory的數學分析來對虛擬半導體廠提供最佳排程的搜尋。由於染色體所

代表的其實是一連串排程法則的集合，可以說是一套排程策略，因此，我們需要建構一個排程產生器依據所選定的染色體，來產生一套生產排程。如此一來，我們便可以經由QCPN模型的運作，計算我們排程的效能。由於經由QCPN模型的模擬及MES資料庫的現場資料，我們可以追蹤記錄所有可能的系統運作，換句話說，我們可以將不同排程策略經由gene place的對應，產生出所有的系統生產流程；因此，我們便可以經由這樣而建構出我們的排程產生器提供半導體廠作業人員及管理階層一個很好的排程及派班工具。

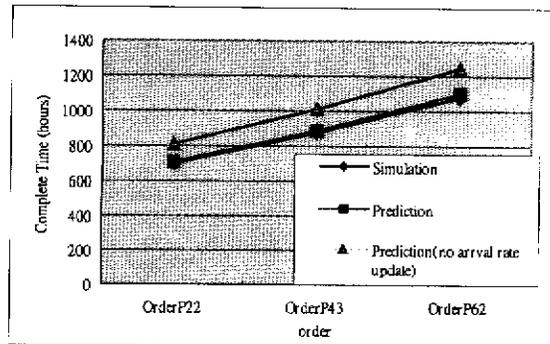
六、參考文獻

- [1] M. H. Lin and L. C. Fu, "Modeling, Analysis, Simulation, and Control of Semiconductor Manufacturing Systems: A Generalized Stochastic Colored-Timed Petri-Net Approach," IEEE International Conference on Systems Man, and Cybernetics, 1999.
- [2] A.C. Huang, "Queueing Colored Petri-Net and GA Based Approach to Modeling, Prediction, and Scheduling for Wafer Fabrication," Master Thesis, Department of Computer Science & Information Engineering, National Taiwan University, 2001.
- [3] J. H. Chen, "Petri Net and GA Based Approach to Modeling, Scheduling, and Performance Evaluation for Wafer Fabrication," Master Thesis, Department of Computer Science & Information Engineering, National Taiwan University, 1999.
- [4] S. Y. Lin and H. P. Huang, "Modeling and Emulation of a Furnace in IC Fab Based on Colored-Timed Petri Net," IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, vol. 11, no. 3, pp. 410-420, 1998.
- [5] M. C. Zhou and M. D. Jeng, "Modeling, Analysis, Simulation, Scheduling, and Control of Semiconductor Manufacturing Systems: A Petri Net Approach," IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, vol. 11, no. 3, pp. 333-357, 1998.
- [6] M. Allam and H. Alla, "Modeling and Simulation of an Electronic Component Manufacturing System Using Hybrid Petri Nets," IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, vol. 11, no. 3, pp. 374-383, 1998.
- [7] D. P. Connors, G. E. Feigin, and D. D. Yao, "A Queueing Network Model for Semiconductor Manufacturing," IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, vol. 9, no. 3, pp. 412-427, 1996.
- [8] J. Luthi and G. Haring, "Mean Value Analysis for Queueing Network models with intervals as input parameters", Performance Evaluation, Vol. 32, pp. 185-215, 1998

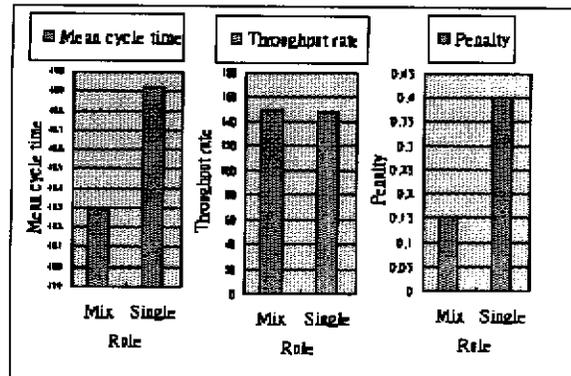
七、圖示



圖一



圖二



圖三

# of Run	CTPN based GA Scheduling (min)	QCPN based GA Scheduling (min)
01	20.23	2.90
02	19.28	2.77
03	20.43	2.91
04	18.89	2.69
05	22.64	3.22
06	20.38	2.94
07	21.86	3.22
08	21.54	3.08
09	22.18	3.17
10	20.12	2.87
Mean	20.75	2.98

圖四