

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫二：半導體製造之協同式規劃與排程的促成技術研究

(2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2213-E-002-042-

執行期間：93年08月01日至94年10月31日

執行單位：國立臺灣大學工業工程學研究所

計畫主持人：周雍強

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 12 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

半導體製造之協同式規劃與排程的促成技術研究 (2/3)

計畫編號： 93-2213-E-002-042

執行期限： 93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

主持人： 周雍強 ychou@ntu.edu.tw

國立台灣大學工業工程所

一、中英文摘要

半導體的供應鏈系統極複雜，供需 (demand-supply) 的節點關係可見於工廠之間、製程 (manufacturing processes) 之間、以及業務流程 (business processes) 之間。由於供應鏈流程的運作權責基本上是分散式的，供應鏈系統運作的新挑戰便在於如何整合分佈於各節點的生產規劃與排程。本計畫之目的是研究發展協同式規劃與排程的促成方法。協同運作有兩個重要的研究議題：個別節點的生產行為、跨節點的行為整合。本計畫第二年研究工作主要在於探討節點的生產行為模式，成果有二項：(1) 探討生產節點之產能與效率特性，並建立其生產行為模式、(2) 建置供應鏈排程的對照功能軟體模組。下年 (第三年) 將發展控制方法。

關鍵詞： 供應鏈管理、供應鏈控制、在製品流動行為模式

Abstract

The semiconductor supply chains are long in geographical distance, segmented in ownership, varied in business objectives, and demanding in collaboration. The challenges of supply chains lie in effective collaboration between engineering and manufacturing, service monitoring and control, and achieving reliable delivery performance. The new paradigm of manufacturing services requires new methods of operation control. This project proposes to develop enabling methodologies for collaborative planning and scheduling in semiconductor supply chains. In the second year, our progress includes a study of system dynamics of production operation, and an analysis of the behavior of material flow in the chains. Our study plan for the next (3rd) year is

to develop control methods and to use scheduling tools to evaluate the performance of the control methods.

Keywords: supply chain management, supply chain control, behavior model of material flow

二、計畫緣由與目的

半導體製造程序可分為晶圓製造、晶圓針測、晶粒封裝及成品測試等四個階段，每個階段有一個或多個工廠，各工廠有其生產規劃與排程的功能與程序 (如圖 1)，在其之上的供應鏈生產控制功能，由於橫跨多個企業，至今還沒有很理想的管理方法與系統。

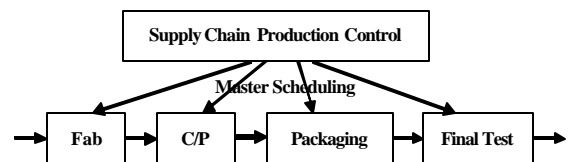


圖 1：半導體供應鏈範疇

半導體供應鏈是一個變異很高的生產系統，產品設計進度、製程良率、機台當機、產品需求與訂單變動等都是影響生產作業的不確定因素，而由於半導體製造管理原本就相當複雜，這些動態事件又經常發生，因此供應鏈生產績效的可預測性 (predictability) 相當不理想。就產業結構來說，半導體供應鏈對其客戶，即微晶片 (microchips) 公司，提供「製造服務」，這些客戶對工廠內部的製造效率並沒有直接的興趣，客戶注重的是整體供應鏈「製造服務 (manufacturing services)」的品質、可控制性及可預測性。

提升製造服務的品質與可靠性可以從生產系統的不確定因素著手，例如：改善製程

與機台可以提升穩定度，但是半導體產業的設備與製程不斷逼近物理極限，新世代設備與製程的穩定性問題一直伴隨著供應鏈系統，動態是為常態，因此半導體供應鏈的動態行為是一個重要的研究主題。另外，供應鏈的顧客相當重視交貨履行與產能供應的風險控管。當供應鏈中發生突發事件如製程良率、機台當機等，導致工單無法在交期內完成，則顧客所要求的是工單的延遲時間、以及延遲後的確切交期等進階資訊。就長期而言，供應(supply)的可控制性及可預測性也是微晶片公司採納製造服務的評量因素。

就供應鏈整體而言，其節點的經營權責大致是分散的，而非一統於單一個企業的，這點與工廠內的管理思維截然不同，各企業的目標也不全然一致，因此，供應鏈提供製造服務的根本挑戰在於如何促成節點間(inter-node)的有效協同合作、有效監控，以達成可靠的產能供應與交貨績效。

研究目的

半導體供應鏈的可控制性(controllability)與績效的可預測性(predictability)是供應鏈管理的主要挑戰，本計畫的目的乃是研究發展供應鏈的協同式生產排程以及控制方法，以提高供應鏈系統的可控制性以及可預測性。

三、研究方法

供應鏈的生產規劃與控制可區分為供應鏈與生產單元(production units)兩個階層。處於上層的生產管制功能必須內建下層各單元工廠的產能與效率模式，這些內建的模式往往不同於生產單元本身所用的模式，而有較為粗糙的模式細度。本計畫本年有兩個工作項目：(1) 探討節點的產能與效率模式 與(2) 建置供應鏈排程的軟體模組，本計畫工作項目及其關連性，如圖 2 所示，分述如下。

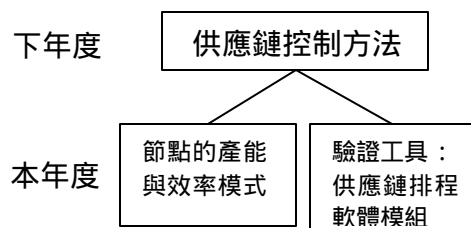


圖 2：研究工作項目與其關連性

晶圓廠具有 job shop 生產系統的特徵，有顯著的 queueing network 等候現象，因此可用等候線理論分析在製品數量、等候時間、投料速率、產出率之間的關係，這方面的研究工作在文獻中極多。半導體製造的後段工廠有許多的平行機台(parallel machines, PM)系統，而前段工廠內各製程也有相當多的平行機台。文獻中平行機台的研究工作大多是排程理論與演算法，處理節點內的生產排程問題。相對而言，供應鏈控制所需要的資訊是節點在不同狀況的績效表現，本計畫稱之為生產績效模式。

本年第一個工作項目研究平行機台的生產績效模式，預期下年度將擴充範圍到等候網路型生產系統。平行機台是量產常見的生產系統，在許多高科技產業，由於製程及設備的進步快速，工廠經常添購新的機台，以致於有新舊世代機台在廠內並存的現象。新舊機台在製程能力、加工速度及設定上有差異，但是相互之間存在某種程度的替換性，因此衍生出「平行機台」的生產系統。同一類型的機台通稱為一個機群(machine group, MG)，每個機群可包含一個或以上的機台。在製品由前站製程或工廠到達後，形成佇列(queues)。在製品以流量強度(flow intensity I ，即每單位時間內到達工場的產品數量)或批量表示。

平行機台的生產效率受到產品種類與組合的影響，產品種類與組合如果不理想，會造成顯著的機台設定轉換的效率損失。本項工作探討產品多樣性對平行機台系統效率的影響，建立兩者之間的定量關係，作為整合上下兩層供應鏈管制功能之用。

第二個工作項目是建置供應鏈排程的軟體模組，其目的是作為驗證供應鏈控制方法的工具。研究複雜生產系統必須先建構生產系統的模式(model)，以表達次系統間互相影響與互動的關係。供應鏈是由異質的節點構成，變異源很多，動態程度高，加上協同排程所關注的是個別工單的動態，而非系統的穩態績效或是平均工單的暫態績效，本計畫採用排程模組當作生產系統分析工具。

四、結論與成果

本年之研究成果可分兩部份，分述如下：

(1) 平行機台系統之產能與效率模式

平行機台的派工效率會受到在製品到達的次序變異(variation of arrival sequence)、系統彈性以及工作指派(assignment)的時格(time bucket)因素的影響(圖3)。在製品的到達過程(arrival process)是外部因素,進一步而言,次序變異會受到產品種類與組合的影響。系統彈性意指平行機台吸納在製品變異,而能維持績效水準的一種能力。系統彈性的決定因素包含平行機台的數量、標準工時與設定轉換時間的相對值、機台的機能(functional capability)等因素。時格與批量、機台產能為相互有關。時格是派工決策的時間細緻度,時格愈大,每次派工所處理的在製品批量將愈大,設定再利用的機率愈高,基於設定轉換所損失的效率會愈小。

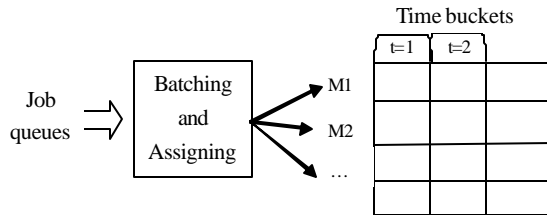


圖3：機台分派流程與效率的影響因子

本工作項目所定義 PM 系統的參數是產品種類(i)、各產品流量強度(I_i)、機群種類(k)、各機群機台數量(m_k)、及機台設定轉換時間(S_m)。本項目探討產品多樣性對產能與效率的影響,首先將多樣性分為產品種類與組合比例兩個因素,提出衡量的指標,然後以實驗設計方法建立產品組合與生產效率的迴歸關係。表1是因子之間的交互作用,其中 S/P 值是設定轉換時間與加工時間的比值,組合變異係以產品比例的變異係數衡量

表1：因子間交互作用關係

	時格	S/P 值	機台數	產品數	組合變異
時格	-	yes	yes	yes	no
S/P 值	-	-	yes	yes	no
機台數	-	-	-	yes	no
產品數	-	-	-	-	no
組合變異	-	-	-	-	-

令 B 為時格大小、S 為 S/P 比值、M 為機台數、I 為產品種類、C 為組合變異,效率損失

(capacity loss)之迴歸公式為：

$$0.09 - 0.0452B + 0.0436S - 0.0326M + 0.00268I - 0.016C + 0.00915B^2 - 0.001871S^2 + 0.0047M^2 + 0.000472I^2 + 0.0138C^2 - 0.00835BS + 0.00637BM - 0.00194BI - 0.0053SM + 0.0021SI - 0.0017MI$$

(2) 供應鏈排程的軟體模組

半導體供應鏈中經常發生的動態事件大致上有：製程良率、機台當機、需求及訂單變動等。製程與機台問題經常造成在製品批量流動停滯的現象(例如批量扣留),必須等到這些製程與機台問題得到解決,在製品批量才能放行。生產方面,急單、插單、產品試製工單、機台與製程測試等動態出現的工令都會影響在製品的正常流動,影響到達交的績效。在資料細緻度方面,工廠排程與供應鏈排程與控制是分屬兩個不同層次,如表2所示。

表2：工廠及供應鏈生產控制之資料細緻度

	Factory	Supply chain
Work order	Jobs, Lots	Orders
Resource	Machine	Shop
Time	Continuous time	Discrete time

本計畫已經實作圖(1)所示系統的排程模組,用以生成各節點的名目排程(nominal schedule)。供應鏈有 K 個製程階段(shop),規劃視野(planning horizon)為 T 期(週),輸入資料為 J 筆工單(lot) 這個排程模組是一個線性規劃模式,三類限制式為指派(assignment)限制 途程順序限制 產能限制:

$$(Model NS) \text{ Minimize } \sum_j \sum_t t \cdot X_{j,K,t}$$

Subject to:

$$\sum_t X_{j,k,t} + X_{j,k,(T+1)} = 1 \quad \forall j, k \quad \dots(1)$$

$$\sum_{t=1}^t X_{j,k,t} - \sum_{t=1}^{t+1} X_{j,k+1,t} \geq 0 \quad \forall j, k, t \quad \dots(2)$$

$$\sum_j W_{j,k} \cdot X_{j,k,t} \leq C_k - CL_{k,t} \quad \forall k, t \quad \dots(3)$$

目標函數是求總流程時間的最小值。指派限制式容許工單不被指派,而保留到規劃視野之後($t=T+1$)。

表 3： 參數與變數符號

Type	Notation	Description
Subscript	j	Lots, $j \in J$
	k	Shops, $k \in K$
	t	Time (week), $t \in T$
	e	Dynamic events, $e \in E$
Parameters	C_k	Shop capacity
	$CL_{k,t}$	Capacity loss
	d_j	Due date
Auxiliary variables	$Z_{e,j,t}$	Binary variable for event e that affects lot j in time t . $Z_{e,j,t} \in \{0,1\}$
	$W_{j,k}$	Workload
Decision variables	$X_{j,k,t}$	Binary variable for assigning lot j to shop k in time t

動態事件對名目排程造成影響，亦是造成工單不確定流動的主因。本計畫實作的動態事件可歸納為下列四種：

- 扣批 (Holds)
- 解除扣批 (Hold-release)
- 插單 (Order insertion)
- 抽單 (Order cancellation)

動態事件造成決策變數 $X_{j,k,t}$ 的額外限制，因此，每類事件必須增加限制式：

$$\hat{X}_{j,k,\bar{t}} \leq Z_{e,j,\bar{t}} \quad \forall e, j \in G_j, \bar{t} \in \bar{T}_j \quad \dots(4)$$

G_j 是動態事件影響所及的工單的集合， \bar{T}_j 是動態事件的存續時間(duration)。

供應鏈控制的一個必要資訊是在製品通過供應鏈節點的流程時間，本項目分析等候線的停滯時間(queuing delay)的成因，可分為四點：

- (1) Queuing time due to competition for service (Queuing Competition)
- (2) Idleness due to temporary mismatch between work and capability (Mismatch Idleness)
- (3) Capacity loss due to variety (Variety Loss)
- (4) Capacity loss due to incapacitation events (Incapacitation Loss)

這些因素對流程時間的影響可以藉由 GI/G/m 的 queuing delay 公式得到佐證，佇

列等候時間 W_q 的影響因素包含輸入與服務的變異 (c_a, c_s) 以及 utilization r 。

$$W_q \approx \left(\frac{c_a^2 + c_s^2}{2} \right) \frac{r^{\sqrt{2(m+1)}-1}}{m \cdot (1-r)} \cdot t$$

Queuing competition、mismatch idleness 與 variety loss 分別以 QC、MI、VL 表示，表(4)歸納這些成因的相關性。產品愈多樣愈有可能造成產能流失，對同一機台資源的 competition 將降低，mismatch idleness 的機率也會降低。當佇列長度增加，同一佇列內工單之競爭性增加，但是其他機台佇列長度將減小，閒置可能性將增加。等候線之等候時間與佇列長度成正比，mismatch idleness 與產品組合變異有關，這兩個因素是由產品組合與組合變異決定。Variety loss 是屬於 non-preemptive 事件，incapacitation loss 是屬於 pre-emptive loss。

表 4：Queuing delay 成因之相關性

	MI	QC	VL
MI	-	Positive	Negative
QC		-	Negative

排程之 queuing delay 仿真

本項目所發展的排程模組將用來探討供應鏈在製品的流動現象。圖(4)是以排程模組為工具，模擬 Poisson preemptive 事件所得到的產能利用率與流程時間的關係曲線。

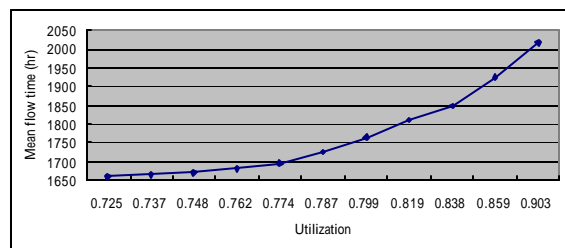


圖 4：產能利用率與平均流程時間關係

REFERENCES:

- [1] 葉家佑、張可興、周雍強，產品多樣性對平行機台工作分派效率之影響，台大工程學刊，2005, forthcoming.