

國立交通大學
工業工程與管理學系

碩士論文

具外包特性之代工廠的預約產能定價

Pricing Capacity-Booking Fees for Semiconductor Fabs
with Outsourcing Alternative



研究生：蔡正航

指導教授：巫木誠 博士

中華民國九十四年六月

具外包特性之代工廠的預約產能定價

Pricing Capacity-Booking Fees for Semiconductor Fabs
with Outsourcing Alternative

研究生：蔡正航

Student： Cheng-Hung Tsai

指導教授：巫木誠 博士

Advisor： Dr. Muh-Cherng Wu

國立交通大學

工業工程與管理學系

碩士論文



Submitted to Department of Industrial Engineering and Management

College of Management

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Science

In

Industrial Engineering

June 2005

Hsin-Chu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年六月

具外包特性之代工廠的預約產能定價

研究生：蔡正航

指導教授：巫木誠 博士

國立交通大學工業工程與管理研究所

中文摘要

在半導體供應鏈中，積體電路(integrated circuits)經由 IC 設計公司設計後，必須交由晶圓代工廠製造所設計的產品，故代工廠產能的分配是一重要議題。而產能分配又受市場需求的影響，IC 設計公司為了避免缺貨，往往將真實需求扭曲。為了解決這樣的問題，本研究提出 IC 設計公司必須先支付預約金才得以預約產能的概念，並藉由數學模型，描述代工廠透過自製產能，以及再向產能外包公司預約產能的機制，來準備 IC 設計公司所需求的產能。藉此模型求解代工廠預約產能計價問題，並決定適當的預約外包產能數量，以達到本身的期望利潤最大化。

關鍵字：半導體供應鏈、預約產能、預約產能計價

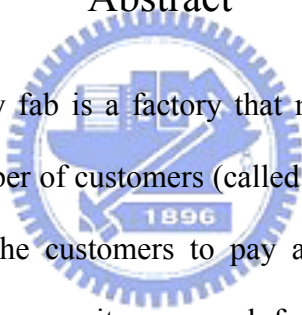
Pricing Capacity-Booking Fees for Semiconductor Fabs with Outsourcing Alternative

Student : Cheng-Hung Tsai

Advisor : Dr. Muh-Cherng Wu

Department of Industrial Engineering and Management
National Chiao Tung University

Abstract

The logo of National Chiao Tung University is a circular emblem with a gear-like border. Inside the circle, there is a stylized building and the year '1896' at the bottom.

A semiconductor foundry fab is a factory that manufactures integrated circuits (IC), designed by a large number of customers (called IC design houses). We consider a foundry fab that requires the customers to pay a booking fee for reserving an amount of capacity. And the capacity reserved for the customers can be either provided by the fab itself or by outsourcing capacity from other fabs. The outsourcing activity is implemented by subsequently paying booking fees to the capacity-providers. This paper develops a method to determine the optimum booking price for the foundry fab in order to maximize its profit. The proposed capacity-booking paradigm and solution method help resolving the information distortion problem in demand forecasting.

Keywords: pricing, Semiconductor manufacturing, capacity booking, demand forecast, information distortion

誌謝

終於，論文完成了。在這兵荒馬亂的一年裡，多虧有指導教授巫木誠博士，一路陪著我突破重重的難關，讓學生明白做學問的態度，以及待人處事的原則，給學生留下不可磨滅的印象。在這邊要再次感謝巫木誠教授的悉心指導，讓學生更有信心面對未來的挑戰。另外，對於口試委員許錫美教授、彭德保教授，以及陳文智教授，學生亦不會忘記您們給的寶貴意見，無論對於論文本身，以及求學的態度，都使學生獲益良多。

此外，也感謝早一步畢業的優秀同學謝岳霖，為本論文建立相當的基礎。同時，要感謝博士班蘇泰盛學長、施昌甫學長，同門洪挺耀、陳尚宏、王君豪、林雅娟與林聲宇，以及吳宜穆、廖建閔、蘇瑋婷、蔡宜娟、何旭正、蕭宇翔與江啟暹對本論文各方面的協助，從同儕間，我亦獲得了許多人生寶貴且獨一無二的美好回憶。

最後，當然要特別感謝在背後默默支持著我的家人，在我寂寞無助的時候，永遠信任我，給我鼓勵與繼續前進的動力。最後，僅將本篇論文，獻給無可替代的家人，謝謝你們。

正航 于風城交大
中華民國九十四年六月

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	v
圖目錄.....	vi
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 論文章節安排.....	3
第二章 文獻回顧.....	4
第三章 研究問題假設.....	6
第四章 研究模型與方法.....	8
4.1 符號定義.....	9
4.2 模式一：客戶決策模式.....	10
4.3 模式二：代工廠決策模式.....	13
第五章 實例驗證.....	15
5.1 數值案例參數設定.....	15
5.2 修正常態分配下的案例.....	15
5.3 驗證分析.....	19
第六章 結論與未來研究.....	22
6.1 結論.....	22
6.2 後續研究.....	22
參考文獻.....	23

表目錄

表 5.1	μ 改變下相關決策值數據.....	19
表 5.2	σ 改變下相關決策值數據.....	20
表 5.3	獲利情境設定.....	21
表 5.4	獲利情境決策.....	21



圖目錄

圖 4.1	互動決策示意圖.....	8
圖 5.1	Q 與 B 關係圖(1).....	16
圖 5.2	修正常態分配下 π_M 與 B 之間的關係(1).....	17
圖 5.3	Q 與 B 關係圖(2).....	18
圖 5.4	修正常態分配下 π_M 與 B 之間的關係(2).....	18



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

在積體電路(IC, integrated circuits)產業供應鏈中，產品本身需經過設計、製造、封裝、測試等四個階段，其中晶圓製造所需投資的金額尤其龐大，以一個八吋晶圓製造廠為例，就必須投入至少十億美元的資金。由於投資金額很高，規模小的 IC 設計公司通常無法單獨設廠，晶圓代工公司 (IC foundry)便因應成立。晶圓代工公司並不自行設計積體電路，只負責代工製造客戶設計的 IC，因此通常客戶很多。由於代工廠的產能是由眾多客戶所共享，因此晶圓代工公司經常面臨如何有效分配產能給眾多客戶的決策。

在淡季時，晶圓代工廠分配產能通常沒太大問題，因為供過於求，客戶可以隨時下單。但是在旺季時，產能通常不足，所以晶圓代工廠通常要求客戶做需求預測，以作為產能分配的參考。因為晶圓生產週期時間很長約需 30-50 天，所以晶圓廠通常要求客戶在正式下訂單的前 3-6 個月提供其需求預測。然後根據此需求預測，按比例分配產能給客戶。

然而，按客戶的需求預測等比例來分配產能，會產生「資訊扭曲」的問題。因為在旺季時，產能是供不應求，IC 設計公司為了確保供給無虞，通常會刻意誇大本身的需求預測，因此報給晶圓代工廠的需求資訊是被刻意扭曲。此種「誇大需求」的現象，會讓晶圓代工廠高估市場的需求，甚而誤導其擴充產能。等到產能擴充完成之後，反而造成供過於求，造成產能閒置。因此如何解決「誇大需求預測」的問題，實在非常重要。

為了克服需求預測扭曲的問題，Hsu and Wang (2000)建議採用「主動調整」(active adjusting)的方式，亦即根據客戶過去預測的準確度來調整客戶的預測值。然而，由代工廠「主動調整」客戶所呈報的需求預測，是以客戶過去的預測績效

為調整基準，未必能適切反應其未來的需求。

Cachon and Lariviere (1999)提出採用「紅利機制」以誘使客戶「說實話」，以避免扭曲需求預測。Mallik and Harker (2004)進而利用賽局理論，提出如何正確計算紅利的方法。這些研究假設需求預測是一隨機變數，紅利機制是鼓勵客戶據實告知其預測的平均值；亦即，若未來的實際需求與告知的平均值相近，則給予紅利。此種機制可能產生「誠實不獎勵，不誠實卻受獎」的缺失。由於未來需求具有隨機性，顧客即使說實話，也無法確保其預測值與未來需求相符；反之，不說實話的客戶也可能機率的原因意外取得紅利。因此，紅利機未必能全然鼓勵客戶說實話。

Cvsa and Gilbert (2002)則建議以價格折扣(price discount)的方式，鼓勵客戶做出「提前訂購」的承諾(early purchase commitment)。此種方法，客戶需付出很高的代價（約 90%正常價格）來確保產能。如果客戶按其需求預測來提前訂購，萬一客戶需求預測有誤，其損失將會非常龐大，所以客戶提前訂購的決策會傾向保守。因此，「價格折扣」的機制亦無法有效鼓勵客戶在需求預測上「說實話」。

謝岳霖(2005)建議晶圓廠要求客戶「繳納訂金」來預約產能。亦即，晶圓代工廠事先訂定一預約價格(booking price)，若客戶要預約未來產能，則需按其預約數量繳預約金。此研究假設買賣雙方共同面臨一個「已知但是不確定」的需求預測情境，且彼此都會做出「最大化本身利益」的決策，據此建立決策模型，來計算最適的預約價格。與前述「折扣法」相比，「預約法」的優點有二。第一，客戶確保產能的代價較低，所以比較願意按需求預測來預約產能。第二，在整體產能不足的時候，晶圓廠可用彈性調整預約價格的方式來分配產能；反之，「折扣法」則缺乏此調整的彈性。

謝岳霖(2005)假設客戶預約的產能是由晶圓代工廠自行提供。然而，在真實世界中，晶圓代工廠可藉由外包適度擴充其產能。因為半導體產業具有群聚效應

(cluster effect)，在同一地域通常會有許多座晶圓廠；這些晶圓廠有的是以代工為主，有的是以製造自有產品為主，各廠產能的需求水準未必會一致。有時某些廠產能會過剩，某些廠產能會不足，因此會以外包的方式來支援彼此產能的需求。

本研究假設晶圓代工廠可適度以「外包」方式擴充產能，據此發展一決策方法來決定產能的「預約價格」、「外包數量」，使晶圓代工廠的利潤最大化。此決策方法是由兩個決策模型所構成，第一個模型是用來描述 IC 設計公司的決策行為，第二個模型則用來描述晶圓代工廠的決策行為。此兩個決策行為會互相影響，亦即代工廠的決策會影響客戶的決策，反之亦然。

1.2 論文章節安排

本論文其他章節安排如下：第二章回顧「預約產能」的相關文獻。第三章詳述此研究問題的情境與相關假設。第四章介紹此方法的兩決策模型和求解方法。第五章為實例驗證。第六章為結論與建議。



第二章 文獻回顧

產能預約的決策問題，過去的文獻很少針對製造業討論，也鮮少討論預約計價的問題。而在服務業，尤其是航空業和旅館業中，預約產能(機位及房間)是很常見的現象。以下分別探討此兩產業的產能預約相關文獻。

現今研究航空業與旅館業對於機位與房間分配，主要考慮顧客可能的行為，例如取消預約、預約而沒有出現，以及現場訂購等等，並據此訂定各項條件來區分顧客以讓產能配置最佳，並獲取最大利益。

在這些研究當中，Gallego and Ryzin (1994)、Relihan (1989)以及 Li (2001)研究價格對於顧客需求行為的影響，據此對產能進行最佳配置。Brumelle and McGill (1993)、Robinson (1995)、Botimer and Belobaba (1999)、You (2001)、Bitran (1996)、Richard (1992)、Bechmann (1958)研究，根據顧客行為及艙位與客房的種類，來求解不同的預約產能界限(booking-limit)，使得產能配置最佳，最大化公司的收益。Ringbom and Shy (2001)、Coughlan (1999)、Toh and DeKay (2002)討論超訂(overbooking)情境下的產能分配決策

前述文章多數是討論航空業與旅館業的產能預約問題，並且以收益管理(revenue management)的觀點，對於不同的顧客需求進行不同的計價，期望使收益最大化。但是，這些研究鮮少討論「產能預約」計價問題，主要的原因是在服務產業中的產能預約通常不收取訂金，因此常以超訂(overbooking)的方式作產能的分配，針對不同的需求設定出不同的商品定價，使得產能可以儘可能填滿。

在半導體業中，研究大多並無討論產能預訂定價，由於產業特性，IC 設計公司向晶圓代工廠預訂產能以確保產品得以生產，但是由於半導體業的產品生產週期冗長、生產道次複雜，以及準備設備的前置時間過長，因此對晶圓代工廠而言，不能讓客戶像航空業或旅館業一樣，任意增加或取消預訂的產能，以免造成晶圓代工廠本身成本的增加及損失。

謝氏(2005)提出適合半導體業的產能預訂價格模式，克服了服務業產能預約不適用於半導體業的瓶頸。以晶圓代工廠的角度，謀求利潤的最大化。但是此研究對於半導體製造業常見的產能外包現象，並無著墨。

本研究對半導體業的預約產能行為提出合理的計價模式，晶圓代工廠決定產能預訂的價格，而 IC 設計公司在預約產能計價的情況下，決策最適的產能預訂數量。晶圓代工廠藉由自製與外包產能，來準備 IC 設計公司所預約的產能。



第三章 研究問題假設

考慮半導體代工公司對客戶預約產能的計價模式，本研究情境的相關假設共有六個，茲分別說明如下。雖然本研究是以晶圓代工廠為例來說明，但是任何產能預約的定價問題，只要符合下列假設，皆可用本研究所發展的方法來求解。

假設 1：預約交易的合約。客戶向代工廠預約產能須事先繳交保證金。保證金的收費是以每單位產能計價。若客戶履行預約的承諾，則可拿回保證金；反之，客戶的保證金將被沒收。而代工廠向外包公司預約產能，亦使用上述的預約機制。若代工廠履行預約的承諾，則可拿回保證金；反之，代工廠的保證金將被外包公司沒收。

假設 2：產能準備與接受預約政策。本研究假設工廠採取自行生產與外包產能支援兩種方式，來準備客戶預約的產能，而且信守對客戶履約的承諾。亦即，在此決策的時距(time horizon)內，工廠根據各項成本資訊以及需求預測，決定自行生產以及外包的產能。代工廠據此準備自行生產所需的產能，並向外包公司預約產能，此兩產能的總和恰好等於客戶的預約產能數量。若屆時客戶產生的實際需求數量，介於原先預約量以及代工廠自有製產能之間，則代工廠以原價自行提供此額外的產能需求。

假設 3：外包行為的假設。代工廠在接獲客戶預約後，會衡量本身的產能狀況，來決策外包產能數量。當客戶預約超過代工廠能負荷的產能時，代工廠選擇將超過負荷的產能外包。因此，代工廠在履行承諾的條件下，不必承擔擴充產能的風險，利用外包的方式轉嫁風險。

假設 4：外包公司的產能價格及預約金。代工廠向外包公司購買產能的價格，以及預約外包產能的預約價格，視為已知資訊；亦即，在本研究不是決策變數。

假設 5：總體需求預測。本研究假設整個市場的產能總體需求具有不確定性，可以一隨機變數來表達；經由充分的溝通，工廠與客戶對於此總體需求的預測可達成共識。由於此需求預測是對整個市場的需求做預測，而非針對個別客戶做預測，因此避免了與客戶的利益直接衝突，所以比較容易讓客戶「說實話」。此總體需求預測的過程是彙總所有客戶對整個市場的意見，然後根據此預測乘以代工廠的市場佔有率，就可得到代工廠和其客戶對需求預測的共識。因為此等預測是針對整體客戶，因此本研究將所有客戶當成一個客戶來看，稱此客戶為「總客戶」(aggregate customer)或簡稱「客戶」。

假設 6：理性決策。代工廠及客戶雙方都是理性決策者，工廠在訂定預約價格或客戶在做預約量的決策時，皆以追求各自利潤最大化為目標。



第四章 研究模型與方法

本研究的預約產能定價是一個「互動性決策」問題。亦即，客戶的決策受到代工廠決策的影響，反之亦然。如圖 4.1 所示，當代工廠給定一預約價格後，在合理追求最大化利潤的目標下，客戶據此價格決策其最適的產能預約數量；而代工廠根據訂定的預約價格以及客戶決定的預約量，可估算出本身的利潤。若代工廠調整預約價格，客戶的預約數量也會隨之改變，而代工廠利潤的估算也會有所不同。本研究的目的是希望找出代工廠利潤最大化下，預約價格的訂定以及外包數量的決策。

此「互動性決策」可以兩個數學模型描述。第一個模型用來描述客戶的決策行為，此模型會發展出一預約量與預約價格的函數關係。第二個模型則用來描述工廠的決策行為，其基本構想是利用第一個模型所求得的函數關係，來算出工廠最佳的產能預約價格，以及所需外包的數量。

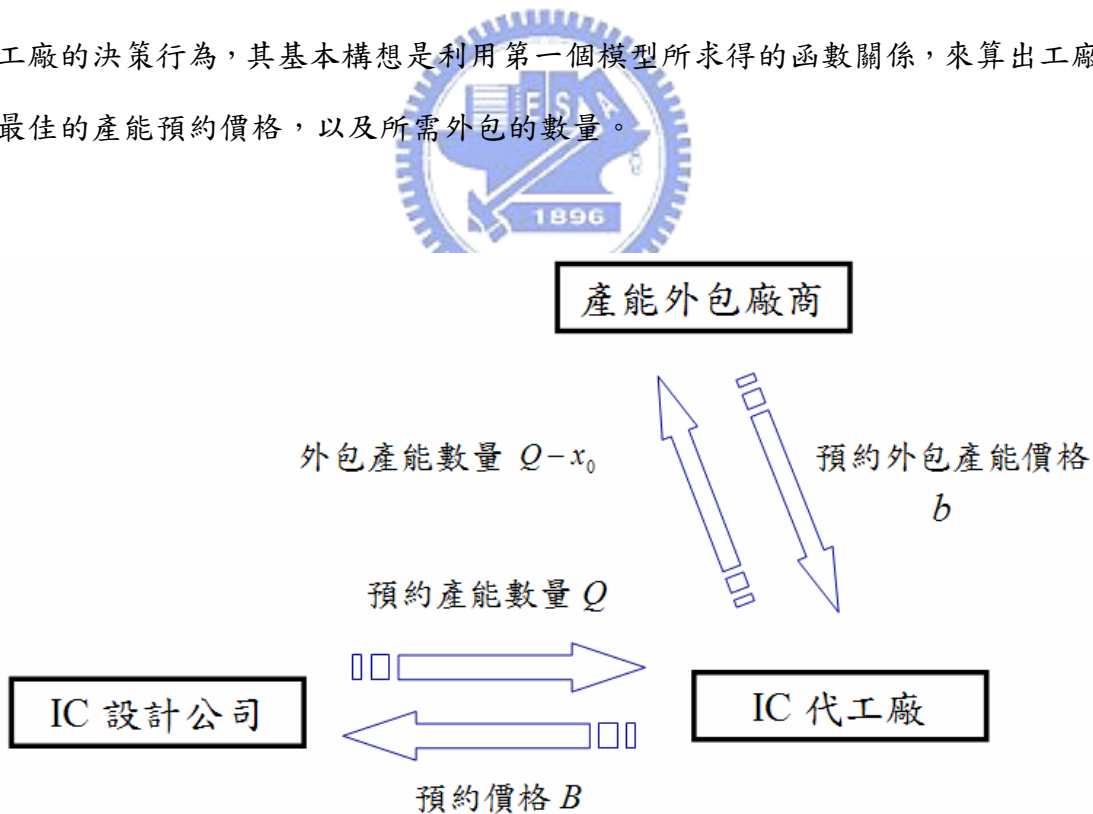


圖 4.1 互動決策示意圖

4.1 符號定義

本研究利用下列的符號建立模型的數學模式，說明如下：

隨機變數與參數：

b ：產能外包廠商對代工廠收取的每片預約保證金(\$/wafer)

p_M ：代工廠每單位售價(\$/wafer)

v_M ：代工廠每單位變動生產成本(\$/wafer)

C_M ：代工廠固定生產成本(\$)

p_B ：客戶每單位產品售價(\$/wafer)

s_B ：客戶每單位產品缺貨成本(\$/wafer)

v_o ：代工廠外包產能的每單位購買成本(\$/wafer)

Y ：客戶的需求預測數量，為一符合某機率模型的隨機變數

$f(y)$ ：客戶實際需求數量的機率密度函數 (probability density function, PDF)

$F(y) = \int_{-\infty}^y f(t)dt$ ：當 Y 是一個連續的隨機變數時，實際需求數量的累積機率密度函數(cumulative density function, CDF)

x_0 ：代工廠自備產能的上限(wafers)

決策變數

B ：代工廠對客戶收取的每片預約保證金(\$/wafer)

Q ：客戶對代工廠預定的產能數量(wafer)

導出函數

π_M ：代工廠總利潤(\$)

π_B ：客戶總利潤(\$)

$(x)^+ = \max(0, x)$

4.2 模式一：客戶決策模式

本節描述客戶 (IC 設計公司) 向代工廠預約產能的決策模型。根據代工廠給定的預約產能價格 B ，客戶據此求解「產能預約量 Q 」，來達到自身的期望利潤最大化。客戶的總利潤如下所示：

$$\pi_B = (p_B - p_M) \cdot \text{Min}(\text{Max}(x_0, Q), y) - B \cdot (Q - y)^+ - s_B \cdot (y - \text{Min}(\text{Max}(x_0, Q), y)) \quad (1)$$

上式中等號右邊第一項表示客戶銷售產生的總利潤；第二項代表客戶被沒收的預約金額。第三項代表客戶的缺貨損失。

在此模型中，代工廠的預約金額 B 對客戶而言，是一個已知的參數。客戶藉由決策「預約量 Q 」來達到期望利潤的最大化。由於客戶需求的 Y 為隨機變數，客戶決策的目標是最大化期望利潤，期望目標函數可表示如下：

$$E[\pi_B] = \int_0^{\infty} \pi_B f(y) dy \quad (2)$$

本研究將情境分為(1) $Q > x_0$ ，亦即，客戶需求處於旺季；(2) $Q \leq x_0$ ，客戶需求相對處於淡季時，予以討論。

(1) $Q > x_0$

$E[\pi_B]$ 可展開如下：

$$= (p_B - p_M) \cdot \left(\int_0^Q y \cdot f(y) dy + \int_Q^{\infty} Q \cdot f(y) dy \right) - B \cdot \int_0^Q (Q - y) \cdot f(y) dy - s_B \cdot \int_Q^{\infty} (y - Q) \cdot f(y) dy$$

將上式取一階導數並令其為零，如下所示：

$$\frac{dE[\pi_B]}{dQ} = \frac{d}{dQ} \int_0^{\infty} \pi_B(Q) f(y) dy = 0$$

亦即

$$\frac{d}{dQ} \left\{ (p_B - p_M) \cdot \left(\int_0^Q yf(y)dy + \int_Q^\infty Qf(y)dy \right) - B \cdot \int_0^Q (Q-y)f(y)dy - s_B \cdot \int_Q^\infty (y-Q)f(y)dy \right\} = 0$$

經由計算整理後可獲得

$$(p_B - p_M) \cdot [1 - F(Q)] - B \cdot F(Q) + s_B \cdot [1 - F(Q)] = 0$$

再行整理，最後得到如下的 Q 與 B 的關係式：

$$F(Q) = \frac{p_B - p_M + s_B}{B + p_B - p_M + s_B} \quad (3)$$

由(3)，只要知道機率累積密度函數和單位利潤以及缺貨成本，便可據此求解出預約量 Q ，也描述了 Q 與 B 的相互關係。當 $B=0$ 時，可得到 $F(Q)=1$ ，亦即，若預約不必先行繳預約金，客戶將決策無上限的預約產能；反之，當 $B=\infty$ ，可得到 $F(Q)=0$ ，亦即，若預約金非常高時，客戶的預約行為將非常保守，甚至會做出不預約任何產能的決策。

式(3)亦可以下式表示：

$$Q = F^{-1} \left(\frac{p_B - p_M + s_B}{B + p_B - p_M + s_B} \right) = g(B) \quad (4)$$

為了確保 $E[\pi_B]$ 有極大值，也就是客戶的最大利潤存在，必須使 $E[\pi_B]$ 對預約量 Q 的二階導數小於等於零。表示如下：

$$\begin{aligned} \frac{d^2 E[\pi_B]}{dQ^2} &= \frac{d}{dQ} \left\{ (p_B - p_M) \cdot [1 - F(Q)] - B \cdot F(Q) + s_B \cdot [1 - F(Q)] \right\} \\ &= -(p_B - p_M) f(Q) - B f(Q) - s_B f(Q) \\ &= (p_M - s_B - p_B - B) \cdot f(Q) \end{aligned}$$

由於 p_M (客戶向代工廠購買產能的單位成本) 必小於 p_B (客戶將單位產能售出的價格)，且 B (單位產能預約金) 與 s_B (單位缺貨成本) 都是正值，又機率分配值 $f(Q)$ 恆大於零，故可知 $\frac{d^2 E[\pi_B]}{dQ^2} < 0$ ，亦即，客戶最佳預約量 Q 是存在的。

由上述推導，在 $Q > x_0$ 之下，當客戶在需求分配函數 $f(y)$ 、預約價格 B 、相關成本參數已知情況下，客戶可藉由(4)得到一個使期望利潤最大的產能預約量 Q 。

(2) $Q \leq x_0$

$E[\pi_B]$ 可展開如下：

$$= (p_B - p_M) \cdot \left(\int_0^{x_0} y \cdot f(y) dy + \int_{x_0}^{\infty} x_0 \cdot f(y) dy \right) - B \cdot \int_0^Q (Q - y) \cdot f(y) dy - s_B \cdot \int_{x_0}^{\infty} (y - x_0) \cdot f(y) dy$$

將上式取一階導數並令其為零，如下所示：

$$\frac{dE[\pi_B]}{dQ} = \frac{d}{dQ} \int_0^{\infty} \pi_B f(y) dy = 0$$

$$\frac{d}{dQ} \left\{ (p_B - p_M) \cdot \left(\int_0^{x_0} y \cdot f(y) dy + \int_{x_0}^{\infty} x_0 \cdot f(y) dy \right) - B \cdot \int_0^Q (Q - y) \cdot f(y) dy - s_B \cdot \int_{x_0}^{\infty} (y - x_0) \cdot f(y) dy \right\} = 0$$

經由計算整理後可獲得

$$-B \cdot F(Q) = 0$$



(5)

在 $Q \leq x_0$ 之下，由式(5)可以作以下的分析：

當 $B \neq 0$ 時，則 $F(Q) = \int_0^Q f(y) \cdot dy = 0$ 。亦即， Q 介於以下的範圍內：
 $0 \leq Q \leq y_{\min}$ ，其中 y_{\min} 代表市場需求分配的下界。由此可知，當 $B \neq 0$ 時，客戶預約數量的範圍為 $0 \leq Q \leq y_{\min}$ 。而實務上，預約金不等於零，客戶預約的數量政策傾向不預約，即 $Q = 0$ 。故當 $B \neq 0$ 時， $Q = 0$ 。

當 $B = 0$ 時，則 $F(Q) \neq 0$ ，或 $F(Q) = 0$ 。亦即， Q 介於以下的範圍內：
 $0 \leq Q \leq \text{Min}(x_0, y_{\max})$ ，其中 y_{\max} 代表市場需求分配的上界。由此可知，當 $B = 0$ 時，客戶預約數量的範圍為 $0 \leq Q \leq \text{Min}(x_0, y_{\max})$ 。而實務上，預約產能不用預約金，客戶預約的數量政策傾向盡量預約，即 Q 取 $\text{Min}(x_0, y_{\max})$ 。故當 $B = 0$ 時， $Q = \text{Min}(x_0, y_{\max})$ 。

4.3 模式二：代工廠決策模式

客戶決定預約量 Q 後，本研究假設代工廠即預備產能 Q ，此產能是採部分自行生產部分外包。代工廠的利潤可表達如下：

$$\begin{aligned} \pi_M = & p_M \cdot \text{Min}(\text{Max}(x_0, Q), y) - C_M - v_M \cdot \text{Min}(x_0, y) \\ & - v_O \cdot \text{Min}((y - x_0)^+, (Q - x_0)^+) + B \cdot (Q - y)^+ - b \cdot ((Q - x_0)^+ - (y - x_0)^+)^+ \end{aligned} \quad (6)$$

上式中等號右邊第一項代表代工廠的銷貨收入；第二項代表代工廠自行生產的產能固定成本；第三項為代工廠自行生產的變動成本；第四項為外包產能的購買成本，其中 $\text{Min}((y - x_0)^+, (Q - x_0)^+)$ 代表實際取得的外包產能；第五項為代工廠沒收客戶的預約保證金；第六項則為代工廠被外包產能公司沒收的預約保證金， $((Q - x_0)^+ - (y - x_0)^+)^+$ 代表代工廠跟外包公司「預約但未履約」的產能。

上式中主要有兩個變數，分別是客戶預約量 Q ，以及代工廠的預約金 B 。由客戶決策模式中可得知 Q 與 B 存在函數關係 $Q = g(B)$ 。因此，代工廠期望利潤函數如下分段推導所示。

一般實務上，預約單位產能的價格不會超過單位產能的賣價，所以本研究的預約價格是在 $0 \leq B \leq p_M$ 的情境下討論。

代工廠的期望目標函數可分別表達如下：(1) $Q > x_0$ ，代表代工廠即將產生外包產能行為的決策；(2) $Q \leq x_0$ ，代表代工廠僅以自製產能滿足需求的決策。

(1) $Q > x_0$ ：

$$E[\pi_M] =$$

$$\begin{aligned} & p_M \cdot \left(\int_0^Q y \cdot f(y) dy + \int_Q^\infty Q \cdot f(y) dy \right) - C_M - v_M \cdot \left(\int_0^{x_0} y \cdot f(y) dy + \int_{x_0}^\infty x_0 \cdot f(y) dy \right) \\ & - v_O \cdot \left(\int_{x_0}^Q (y - x_0) \cdot f(y) dy + \int_Q^\infty (Q - x_0) \cdot f(y) dy \right) + B \cdot \int_0^Q (Q - y) \cdot f(y) dy \\ & - b \cdot \left(\int_{x_0}^Q (Q - x_0) \cdot f(y) dy + \int_{x_0}^Q (Q - y) \cdot f(y) dy \right) \end{aligned}$$

由客戶利潤模式求解可知， Q 、 B 間存在一函數關係，即 $Q = g(B)$ ，再將 Q 代換成 $g(B)$ 並整理後，上式可表示如下：

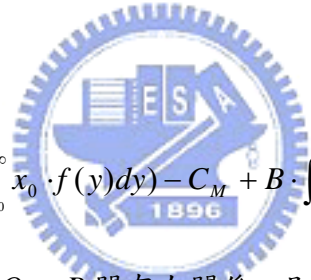
$$\begin{aligned}
 E[\pi_M(B)] &= p_M \cdot \left(\int_0^{g(B)} y \cdot f(y) dy + \int_{g(B)}^{\infty} g(B) \cdot f(y) dy \right) - C_M \\
 &- v_M \cdot \left(\int_0^{x_0} y \cdot f(y) dy + \int_{x_0}^{\infty} x_0 \cdot f(y) dy \right) \\
 &- v_O \cdot \left(\int_{x_0}^{g(B)} (y - x_0) \cdot f(y) dy + \int_{g(B)}^{\infty} (g(B) - x_0) \cdot f(y) dy \right) + B \cdot \int_0^{g(B)} (g(B) - y) \cdot f(y) dy \\
 &- b \cdot \left(\int_0^{x_0} (g(B) - x_0) \cdot f(y) dy + \int_{x_0}^{g(B)} (g(B) - y) \cdot f(y) dy \right).
 \end{aligned}$$

利用此函數，利用 Mathematica 軟體可求解出代工廠的最適預約金，進而推算客戶與代工廠的期望利潤。

(2) $Q \leq x_0$:

$$E[\pi_M] =$$

$$(p_M - v_M) \cdot \left(\int_0^{x_0} y \cdot f(y) dy + \int_{x_0}^{\infty} x_0 \cdot f(y) dy \right) - C_M + B \cdot \int_0^Q (Q - y) \cdot f(y) dy.$$



由客戶利潤模式求解可知， Q 、 B 間存在關係，即

$$\begin{cases} \text{if } B = 0, \text{ then } Q = \text{Min}(x_0, y_{\max}) \\ \text{if } B \neq 0, \text{ then } Q = 0 \end{cases}$$

利用此關係，在此可求解出代工廠的期望利潤。

第五章 實例驗證

5.1 數值案例參數設定

以下就一個數值範例，利用參數設定，來描述本研究代工廠、客戶以及產能外包廠商之間，對於「預訂產能數量」、「預訂價格」以及「外包產能數量」決策的現象。

考慮單期訂購模式，在此半導體供應鏈中存在三個成員：代工廠、客戶，以及產能外包公司，相關情境如本研究第四章所示。成員間相關成本資訊如下： $v_o = 500$ ， $b = 500$ ， $p_M = 900$ ， $v_M = 280$ ， $C_M = 3.36 * 10^7$ ， $s_B = 300$ ，及 $p_B = 1,100$ 。因應不同需求機率分配，將影響到供應鏈成員所做出的決策，以下就市場上 IC 設計廠商需求分配為常態時，作範例的求解與描述。



5.2 修正常態分配下的案例

假設客戶需求服從下列常態分配，且產能單位為千片晶圓(k-wafers)。在考慮需求並非從負無限大到無限大，所以必須將此常態分配作修正，使得其界限落在可討論的實際範圍內，修正如下所示：

$$f(y) = \frac{1}{1-\alpha} \cdot \frac{1}{10\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y-100}{10} \right)^2}, \quad y_{\min} < y < y_{\max}$$

其中 $\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} f(y) = 1 - \alpha = 0.9973$ ，取 $y_{\max} = 130$ ， $y_{\min} = 70$ 。

v_o 、 b 、 p_M 、 v_M 、 C_M 、 s_B 與 p_B 皆視為已知參數。

利用上述的參數設定，且設定自行生產產能上限 $x_0 = 80$ 時，分別就 $Q > x_0$ 及 $Q \leq x_0$ 求解並整合，過程如下所示。首先利用模式一求得 Q 與 B 的相互關係：

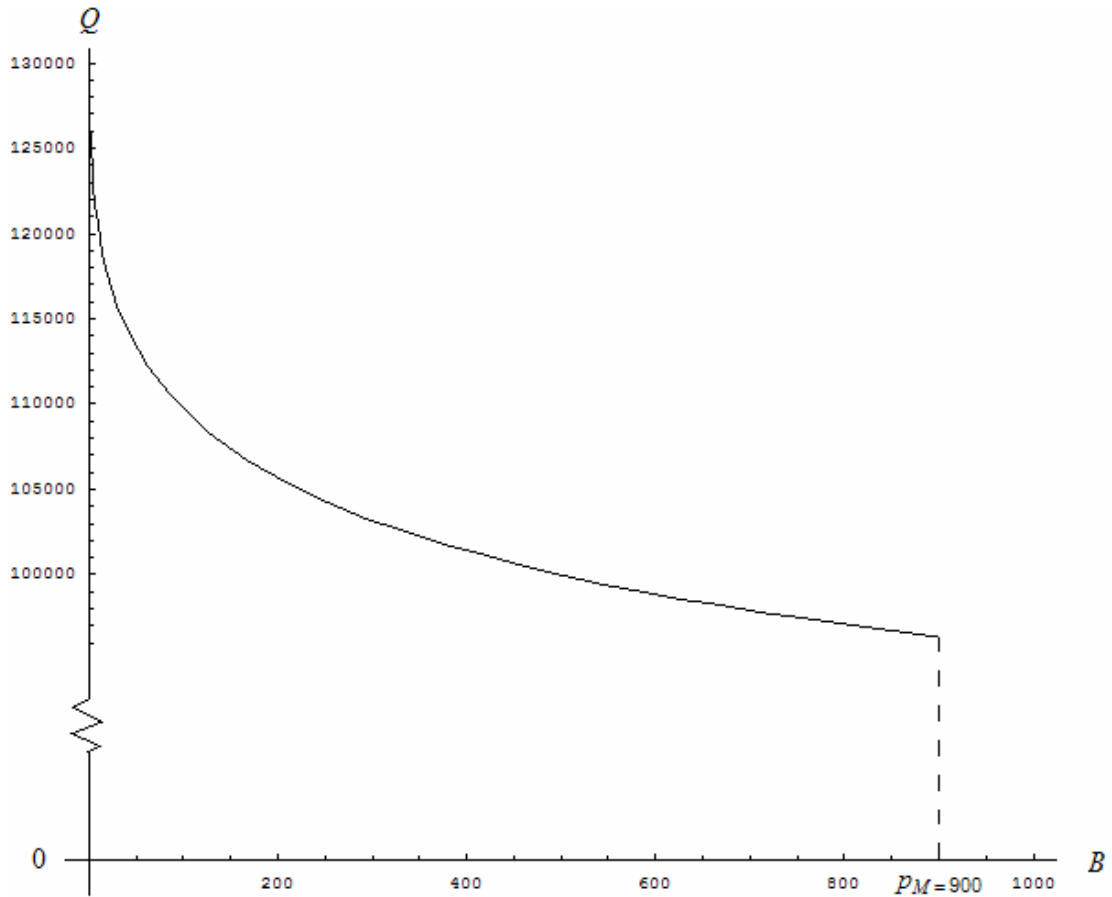


圖 5.1 Q 與 B 關係圖(1)

由圖 5.1， Q 與 B 則呈現出一函數關係，如式(3)的反比關係：當預約金額訂的越高，則客戶預約量會因此下降；預約金額訂的越低，則客戶預約量會因此增加。

在假設 $Q > x_0$ 情況下，利用上述 Q 與 B 函數關係，而代入代工廠利潤式之圖形如圖 5.2 所示，並解出相關的決策值。

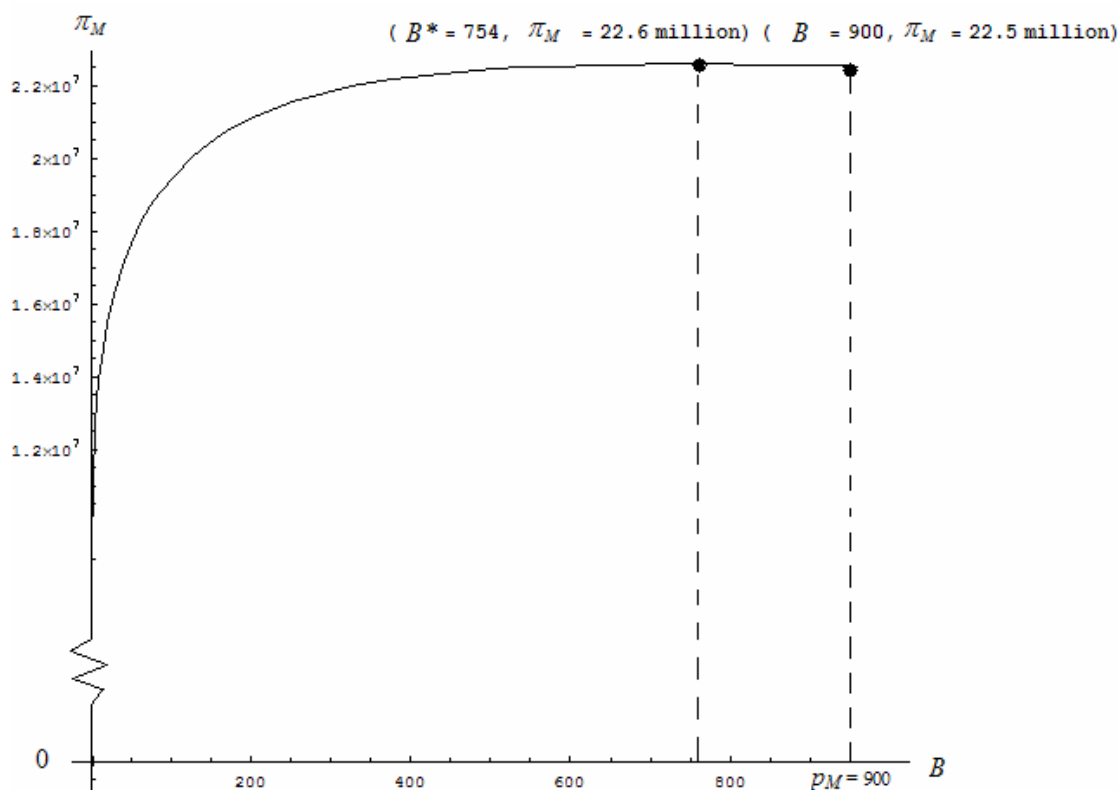


圖 5.2 修正常態分配下 π_M 與 B 之間的關係(1)

藉此，可求解出當代工廠預約價格 B 訂為 754 元時，客戶決策預約數量 Q 為 97.4，外包量為 17.4，代工廠最佳期望利潤為 22.6 百萬元。

由於圖 5.2 對於最佳化求解較不明確，故本研究利用另一組參數予以求解，以驗證較明顯的最佳性。在此設定 $v_o = 500$ ， $b = 500$ ， $p_M = 1500$ ， $v_M = 280$ ， $C_M = 3.36 \times 10^7$ ， $s_B = 300$ ，及 $p_B = 1,600$ 。結果如圖 5.3 與 5.4。分析結果與上一組參數求解結果類似，但是由圖 5.4 可明顯清楚得知藉由本模式，可求解出對代工廠最有利的預約產能定價決策。

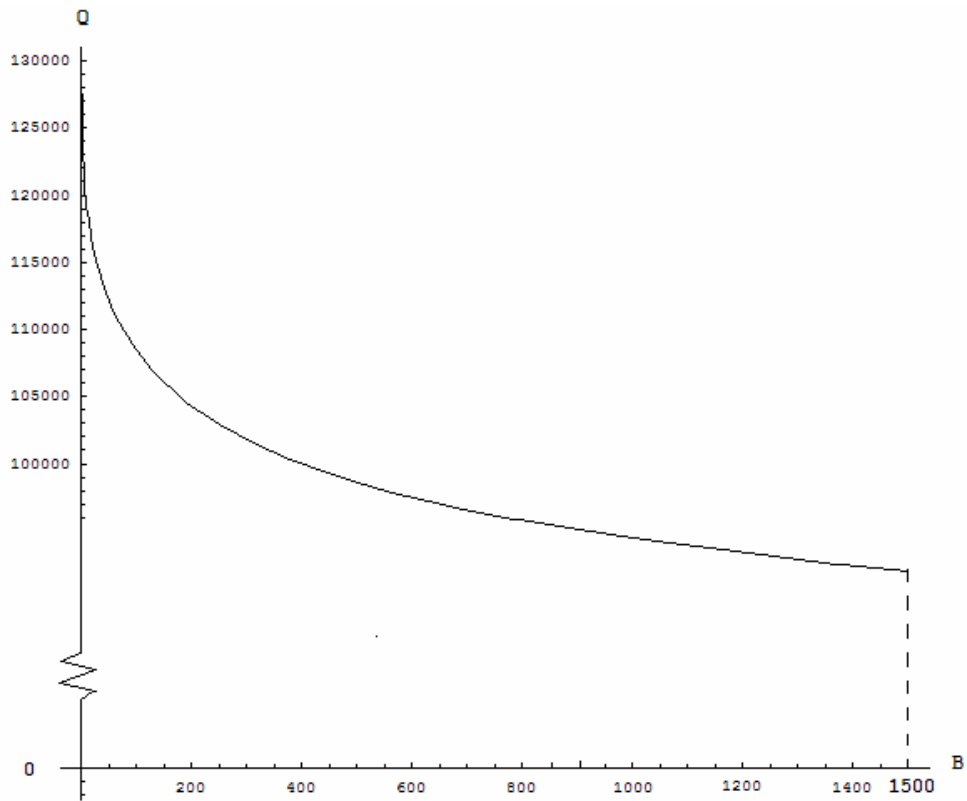


圖 5.3 Q 與 B 關係圖(2)

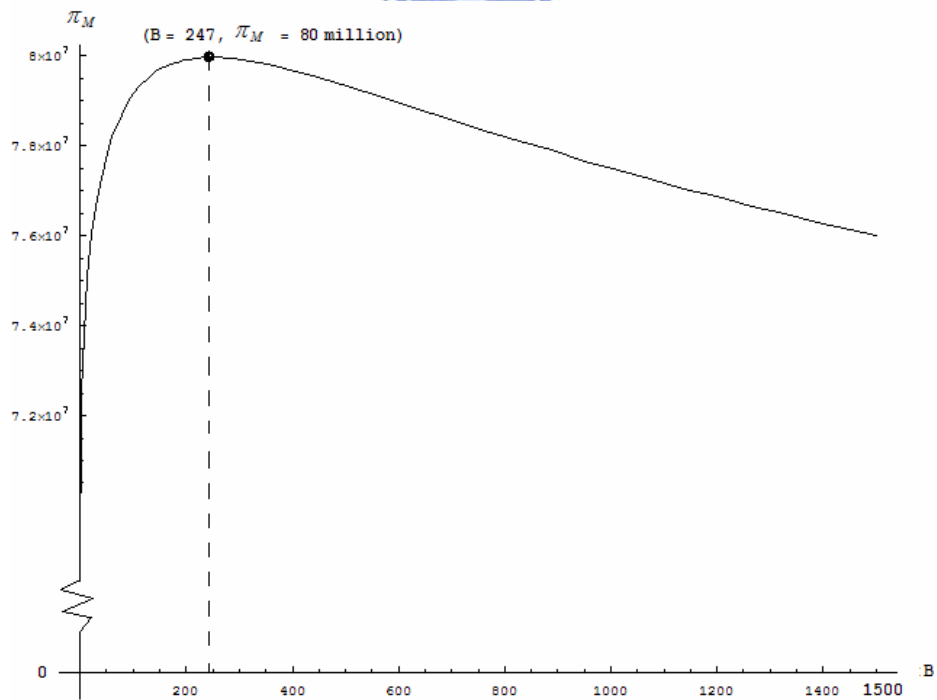


圖 5.4 修正常態分配下 π_M 與 B 之間的關係(2)

利用上述推導步驟，並設定 $0 \leq B \leq p_M$ 的條件下，本研究可求解代工廠考慮產能外包機制下，預約數量 Q 與預約價格 B 訂定的決策問題。

以下利用第一組提出的參數 ($v_o = 500$, $b = 500$, $p_M = 900$, $v_M = 280$, $C_M = 3.36 * 10^7$, $s_B = 300$, $p_B = 1,100$)，就不同的需求環境，以及邊際利潤參數設定作模式的驗證。除了相關的參數變化，其他未特別提及的參數皆保持不變，以上述既有參數設定進行求解。

5.3 驗證分析

在 $\sigma = 10$, $1 - \alpha = 0.9973$ 不變的情況下，不同 μ 值的需求分配求解結果：

表 5.1 μ 改變下相關決策值數據

μ (k-wafers)	B (dollars)	Q (k-wafers)	$E[\pi_M]$ (million)	$E[\pi_B]$ (million)	外包量 (k-wafers)
60	0	80.0	3.56	11.97	0
70	0	80.0	9.30	13.6	0
80	0	80.0	13.6	14.0	0
90	754	87.4	18.5	13.2	7.4
100	754	97.4	22.6	15.2	17.4
110	754	107.4	26.5	17.2	27.4

當需求少，亦即，市場需求處於淡季的情況下，代工廠傾向不收預約金，促使客戶多預約產能；反之，當市場需求處於旺季的情況下，為了有效控制客戶預約量以及可能發生的外包成本，代工廠傾向訂定一個合適的預約價格，以作最佳

的產能分配。

在 $\mu=100$ ，需求上下界不變的情況下，不同 σ 值的需求分配求解結果：

表 5.2 σ 改變下相關決策值數據

σ (k-wafers)	B (dollars)	Q (k-wafers)	$E[\pi_M]$ (million)	$E[\pi_B]$ (million)	Outsourcing capacity (k-wafers)
15	703	96.9	22.0	15.2	16.9
20	657	97.0	21.8	12.9	17.0
25	630	97.2	21.6	12.5	17.2
30	614	97.3	21.5	12.3	17.3
40	598	97.5	21.4	12.2	17.5
45	594	97.6	21.3	12.1	17.6

求解的數據顯示，當需求越不確定，客戶產生越高的預約量，又由 Q 、 B 的關係式，可推論當預約量越高，則代工廠的預約產能定價越低，而代工廠需要外包的數量也因此增加，如表所示。

當成本參數改變時，客戶的邊際利潤與代工廠的邊際利潤也會隨之改變。以下就不同的獲利情境作相關的模式驗證。在此代工廠每單位自製產能的成本為 700。

如表 5.3 所示， S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 、 S_5 、 S_6 、 S_7 分別代表代工廠的單位邊際利潤漸低，而客戶單位邊際利潤漸高的情境。而表 5.4 則顯示如此情境設定下的求解決策值。

表 5.3 獲利情境設定

	$p_M - 700$	$p_B - p_M$	p_B	p_M
S_1	900	300	1,900	1,600
S_2	850	350	1,900	1,550
S_3	800	400	1,900	1,500
S_4	750	450	1,900	1,450
S_5	700	500	1,900	1,400
S_6	650	550	1,900	1,350
S_7	600	600	1,900	1,300

表 5.4 獲利情境決策

	B (dollars)	Q (k-wafers)	$E[\pi_M]$ (million)	$E[\pi_B]$ (million)	Outsourcing capacity (k-wafers)
S_1	369	103.0	90.4	26.3	23.0
S_2	427	102.6	85.7	30.9	22.6
S_3	492	102.1	81.0	35.4	22.1
S_4	565	101.7	76.3	39.9	21.7
S_5	646	101.3	71.7	44.3	21.3
S_6	736	100.8	67.1	48.7	20.8
S_7	839	100.4	62.4	53.2	20.4

由表 5.4，當代工廠單位邊際利潤相對提高時，模式求解結果顯示代工廠會降低預約價格，使得客戶預訂更多的產能，以創造代工廠本身更高的利潤。

第六章 結論與未來研究

6.1 結論

在半導體供應鏈中，客戶為了確保產能供應充足，往往扭曲了對實際產能需求的預測。謝氏(2005)提出產能取得需透過預約的概念，並藉此發展一套預約產能的計價模式，以解決產能需求被扭曲的問題。據此，本研究將情境擴充至代工廠藉由自行製造以及產能外包，來預備客戶預約的產能，並發展一套模式，求解適當的預約價格，以達成代工廠的期望利潤最大化。

本研究考慮「代工廠」、「客戶」以及「外包廠商」間互動關係，用兩個數學模型來描述預訂以及計價的現象。第一個模型主要描述客戶預約行為，並藉此得到一個預約量與預約價格的函數關係 $Q = g(B)$ 。藉此函數關係，第二個模型描述代工廠的產能準備行為，在考慮產能可以外包的情境下，訂定最大利潤下的預約價格。



6.2 未來研究

本研究假設代工廠單位產能售價是固定的，實際上售價會受到供需情況的影響，在此情境下，售價可能不是固定的；同理，外包產能的售價以及預約價格，亦可能因為供給與需求而變動。未來可將此兩項假設予以修改，求解相關的預約計價決策。

參考文獻

- [1] Bechmann, M.J., 1958. Decision and Team Problem in Airline Reservations, *Econometrica* 26 (1) 134-145.
- [2] Bitran, Gilbert, S.M., 1996. Managing hotel reservations with uncertain arrivals, *Operations Research* 44 (1) 35-49.
- [3] Botimer, T.C., Belobaba, P.P., 1999. Airline pricing and fare product differentiation: A new theoretical framework, *Journal of the Operational Research Society*, 50 1085-1097.
- [4] Brumelle, S.L., McGill, J.I., 1993. Airline seat allocation with multiple nested fare classes, *Operations Research* 41 (1) 127-137.
- [5] Cachon, G.P., Lariviere, M.A., 1999. Capacity choice and allocation: Strategic behavior and supply chain performance, *Management Science* 45 (8) 1091–1108.
- [6] Coughlan, J., 1999. Airline overbooking in the multi-class case, *Journal of the Operational Research Society* 50 1098-1103.
- [7] Cvsa, V., Gilbert, S.M., 2002. Strategic commitment versus postponement in a two-tiers supply chain. *European Journal of Operational Research* 526–543.
- [8] Gallego, G., Ryzin, G., 1994. Optimal dynamic pricing of inventories with stochastic demand over finite horizon, *Management Science* 40 (8) 999-1021.
- [9] Hsu, H.M., Wang, W.P., 2000. Modeling demand Driven with Forecasting Regulation Safety Stock Setting and Capacity Analysis, *International Journal of Industrial Engineering-Theory, Applications, and Practice* 7 (3) 195-201.
- [10] Li, M.Z.F., 2001. Pricing non-storable perishable goods by using a purchase restriction with an application to airline fare pricing, *European Journal of Operational Research* 134 631-647.
- [11] Mallik, S., Harker, P.T., 2004. Coordinating supply chains with competition: Capacity allocation in semiconductor manufacturing, *European Journal of*

Operational Research 330–347.

- [12] Relihan, W.J. III, 1998. The Yield-Management Approach To Hotel-Room Pricing, *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly* 30(1) 40-46.
- [13] Richard, D.W., 1992. An airline seat management model for a single leg route when lower fare classes book first, *Operations Research* 40 (1) 26-38.
- [14] Ringbom, S., Shy, O., 2002. The “Adjustable-curtain” Strategy: Overbooking of Multiclass Service, *Journal of Economics* 77 (1) 73-90.
- [15] Robinson, L.W., 1995. Optimal and approximate control policies for airline booking with sequential nonmonotonic fare classes, *Operations Research* 43 (2) 252-264.
- [16] Toh, R.S., DeKay, F., 2002. Hotel room-inventory management: An overbooking model, *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly* 43 (4) 79-91.
- [17] You, P.S., 2001. Airline seat management with rejection-for-possible-upgrade decision, *Transportation Research Part B* 35 507-524.
- [18] 謝岳霖，「預約產能定價之研究」，國立交通大學工業工程與管理所碩士論文，2005年3月。
- [19] MathematicaTM, mathematical software. Available: <http://www.wolfram.com/>