

第四章 研究個案彙總

第一節 1998 TCS on Windows NT

一、專案背景

1994 年 T 公司開始建立第一座 8 吋晶圓廠—晶圓三廠，考慮到 8 吋晶圓廠比 6 吋廠的半導體製造自動化程度有更高的要求，T 公司管理階層決定從 IBM 公司導入全新的 MES 系統—POSEIDON。POSEIDON 在當時是非常先進的 IT 系統，它很大程度發揮分散式的架構的優勢，它的核心模組與使用者介面程式均以 OS/2 作業系統與 PC 伺服器等級的電腦為平台，相對於以昂貴笨重的集中式 UNIX 系統為平台的其他 MES 解決方案，POSEIDON 有高可使用性（High Availability）與高可延展性（High Scalability）。

OS/2 是當時 IBM 公司的桌上型電腦作業系統的創新產品，具有穩定與支援多工作業的特性。可惜 OS/2 在與微軟的 Windows NT 作業系統主流地位的激烈競爭中失利，IBM 也於 1998 年前後宣佈放棄以 OS/2 角逐桌上型電腦作業系統的計劃。因為 T 公司對於 MES 系統有非常大的客製化要求，而且不只 MES 系統，T 公司也必須引入或創造其他的軟體系統以強化競爭力。所以，對於已使用非常多的 OS/2 電腦的 T 公司晶圓三廠而言，得深入考慮與主流 IT 技術接軌的問題。最後，T 公司晶圓三廠、T 公司 IT 部門、與 IBM 公司達成了共識：MES 核心系統繼續留在 OS/2 平台，而所有的使用者介面程式得轉移到 Windows NT 平台。

TCS (Tool Control System, 機台控制系統) 也被選為 1998 年 Windows NT 作業系統轉換系統範圍之內。TCS 是提供工廠機台自動化的 POSEIDON 子系統，為 8 吋晶圓廠自動化特色的最重要系統。半導體工業在 8 吋晶圓廠時代，定義了非常多的工業標準於機台自動化 (TCS) 的領域，使 8 吋晶圓廠自動化的程

度遠高於 6 吋晶圓廠。

二、技術知識特質

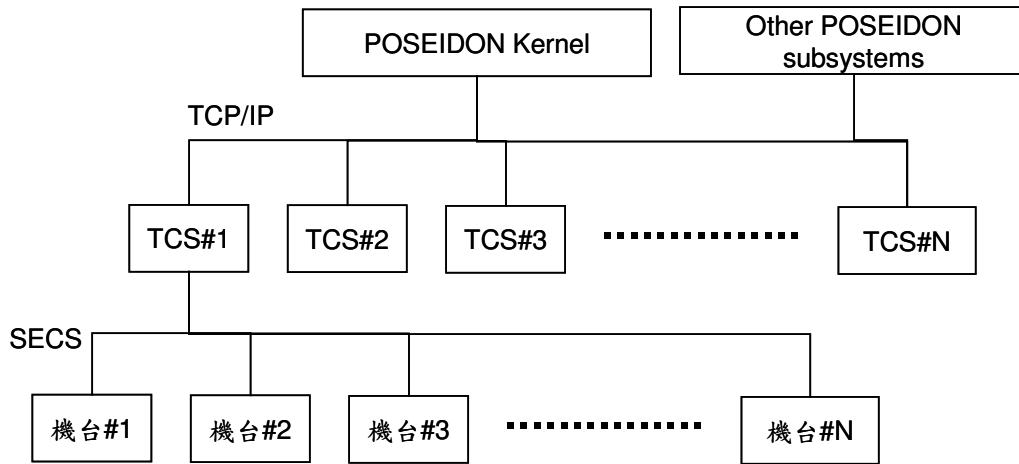
因為半導體製程的複雜與精密，人員的操作很難避免失誤。同時，產品的成本與價值很高，一旦損失就非常巨大。一批次 (Lot) 有 25 片晶圓，其價值常常動輒數百萬新台幣。有了 TCS 的控制，生產線的作業員就不必也不可直接操作生產機台，諸如檢查批貨身分、給定 Run 貨 Recipe、紀錄出站與入站的動作、自動生產與量測資料收集等等，都由 TCS 系統代勞。因此，TCS 大大地提昇工廠自動化的程度，TCS 的最大的利益來自於大幅度減少作業員的失誤，使得生產量率大幅提高。半導體製造廠自 8 吋廠後，將 TCS 系統列為必備的 MES 系統模組之一。

下圖 4-1-1 是一個簡化的 POSEDION 系統架構圖，以幫助理解 TCS 系統的功能與技術知識特質的討論。TCS 為 MES 中控制生產機台的功能，基本上，每一個重要的生產機台都有對應的 TCS 系統加以控制。一個 TCS 電腦，可以控制數個生產機台，而一個工廠裡可以有數百部 TCS 電腦同時運作。生產機台與 TCS 軟體間的通訊控制，透過半導體工業標準協定溝通。另一方面，TCS 取代作業員的動作，向 POSEDION 的核心程式取得與回報生產資訊。

各種生產機台有不同的製程功能，例如有黃光微影機台、擴散爐管機台、蝕刻機台等等，不同製程功能的機台有不同的控制與操作的方法。機台的製造商很多，有各種不同的專精技術領域，對於工業標準的實作程度也不一致，機台本身軟體的升級也會影響 TCS 的系統軟體整合，而且機台自動化功能與晶圓廠的生產管理息息相關，所以 TCS 得針對不同的機台開發控制程式，也使得 TCS 程式的開發有極高的客製化特色。



圖 4-1-1：POSEIDON TCS 系統架構簡圖



資料來源：本研究整理

這個專案的目的在於轉移 TCS 原先的程式，從原先的 OS/2 到 Windows NT 作業系統。由於許多的軟體與硬體都是 OS/2 專屬的，要轉移到 Windows NT 作業系統得重新尋找替代方案或者是重新改寫程式。於是，T 公司 IT 部門引進原廠 IBM 的技術支援進行軟體的轉移，由 IBM 提供技術支援與軟體原型，T 公司 IT 資深工程師再依據本身累積的工作經驗來強化這個原型。這個程式原型比原先 OS/2 的 TCS 程式架構相比，有相當大的進步。但是，採用它卻要付出不小的資源與風險代價，因為得完全重寫原先 T 公司 TCS 的控制邏輯。這個投資最後證明是值得的，因為舊系統中那些難以除掉的臭蟲已不復見，而且系統的效能大幅提高。終端使用者花在等待系統回應的時間縮短了，等於間接提昇了工廠的生產力。

IT 部門自行進行硬體的評估與採用，主要針對是 TCS 電腦來尋找低價個人電腦來取代原先價格昂貴的工業級電腦，以及尋找本地廠商的標準串列式元件來取代原先價格昂貴的專屬串列式元件。

TCS on Windows NT 專案的困難度，在於如何在不影響晶圓三廠的任何生產，將新 TCS 軟硬體解決方案，以逐步的方式上線。在長達六個月的時間，新舊 TCS 得共存於生產線服務，不能有互相干擾的情形出現。

(一) 技術知識之內隱程度

雖然開發 TCS 系統需要了解各種機台的控制特性，但是這些知識可以透過文件化的方式達成傳播。一般而言，機台廠商提供機台的通訊介規格書，這些規格書大部分都是遵從 SEMI 的相關標準而寫的，一個有兩年相關工作經驗的工程師可以了解其內容並運用在程式設計上。原先 OS/2 版 TCS 的程式，也可視為一種文件，記載 TCS 的控制邏輯與資料結構。IBM 的技術轉移小組，主要也是以文件輔以技術課程來轉移相關的軟體技術與經驗。

對於硬體的評估與採買，廠商也會提供產品的相關功能規格。T 公司 IT 最重要的挑戰在於設計出一個接近於生產環境的軟硬體測試環境，使這些軟硬體元件，不論是新的個人電腦與標準串列式元件，能夠完善的工作。

(二) 技術知識之系統複雜度

相對於需要與使用者共同開發的跨領域 IT 系統而言，TCS on Windows NT 專案所需要的知識主要侷限在 IT 的專業技術知識。由於專案的前提是盡量減少對使用者的影響，使用者的參與是被避免的，當然也就沒有跨領域的知識整合的需要。

以精細度而言，新舊系統的服務對象相同，所以沒有特別的精細度指標。

如果以開發所需耗費的人年數來估計，共需要 6.0 人年。

表 4-1-1：1998 TCS on Windows NT 開發所需耗費的人年數

類別	人年數
資訊工程師	5.5
IBM	0.5
總計	6.0

資料來源：本研究整理

(三) 技術知識之標準化程度

半導體生產機台間的通訊介面是 SECS (SEMI Equipment Communications Standard)，見圖 4-1-1。SECS 由 SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International) 所定義，標準本身又再分成 SECS-I (E4) 與 SECS-II (E5 SEMI Equipment Communications Standard 2 Message Content) 兩個部分—SECS-I 定義了一個架在普通串列通訊協定 (RS-232) 上，專屬半導體機台通訊使用的通訊協定，SECS-II 則再 SECS-I 之上再定義一個專屬半導體機台通訊使用的訊息格式。半導體 8 吋廠自動化程度提高之後，工程資料量與即時性控制的需求超過了 SECS-I 的限制。因此，依賴 TCP/IP 網路技術的進步而有了 HSMS (E37 High-Speed SECS Message Services)，見圖 4-1-2。

圖 4-1-2：半導體生產機台間的通訊介面

GEM (E30)	Others
SECS-II (E5)	
HSMS (E37)	SECS-I (E4)
TCP/IP	RS-2332

資料來源：本研究整理

E4 與 E5 只是定義訊息的格式，對於半導體機台控制的基本模型則有 E30 (Generic Model for Communications and Control of SEMI Equipment)。E30 更進一步定義了資料收集的訊息格式，TCS 如何下達 Run 貨的指令與參數、定義事件 (Event)、定義事件回報的內容 (Event Report)、警報 (Alarm Report) 等等。特殊的功能則另外還有其他的標準，例如 E42 (Recipe Management) 等。SEMI 的這些標準由於高科技製造產業性質的類似，也被延伸使用在面板製造業與半導體產業鏈下游的半導體封裝產業、測試產業等等。

TCS 與 POSEIDON 核心的溝通則以 TCP/IP 網路為主。為了減少共用功能的重複開發與增加程式開發的生產力，POSEIDON 還有自己內部的網路中介軟體 (Middleware)。由於涉入的技術細節太多，本文予以忽略。

綜合以上的描述，本研究認為技術知識之標準化程度是「標準跨越產業間」。

(四) 技術知識之路徑相依程度

如前所述，雖然 TCS 是完全重新創造的軟體，但是它的成功奠基於舊 TCS 開發者與 IBM 技術團隊的知識經驗。新的 TCS 主要的貢獻是融合了新些知識與

資訊科技的元素，因此技術知識之路徑相依程度是很高的。

三、組織結構特質

(一) 組織構型

T 公司為一個規模宏大的企業，並且是單一事業，專門做晶圓代工製造。如同大部分的製造業一樣，為追求高效率與低成本，採用科層機械化的組織。

(二) 正式化程度

以資訊功能組織為例，1998 年時 T 公司的所有資訊功能組織只有一個處級單位，其下再分為北廠自動化部、南廠自動化部，電腦與通訊部等等。公司內部的使用者如果需要資訊相關的支援，需以紙張形式的「自動化需求單」申請。資訊單位的課級主管評估需求的重要程度與緊急程度，來分配資源服務使用者。基本上，部經理擁有很高的自主權。

四、系統整合軟體的創新平台

(一) 創新活動與知識創造過程

這個專案是 1998 年整個 NT Migration 專案的一個子計劃。T 公司 IT 部門主要有三個重要工程師扮演關鍵性的角色。

1. 葉資深工程師—原先 TCS 系統開發的負責人，也是帶領 TCS on

Windows NT 的領導人。當時在 TCS 系統開發的領域中有三年的經驗。

2. 盧資深工程師—剛進入 T 公司，之前在其他公司有兩年的 TCS 經驗，熟悉各種相關的 IT 工具，對於 TCS 的開發深具熱誠，為主要的 TCS on Windows NT 系統的軟體開發與硬體測試的人員。
3. 龍資深工程師—三年的 TCS 經驗，主要負責部分 TCS 程式的修改與系統上線的執行。他有效的帶領上線工作小組，在很短的時間內完成各個機台程式的轉移與硬體的佈建。

盧資深工程師在本專案中，主要承接葉資深工程師在 TCS 上的經驗，並且整合 IBM 原廠工程師的技術轉移，來開發新的 TCS 系統。三個人都在同一部門同一個辦公室，彼此意見的交流是非常的有效率，甚至不需要正式定期的會議就可以運行這個專案。

雖然主要技術轉移自 IBM 工程師，但是 T 公司葉資深工程師與盧資深工程師，對於無論是程式架構原型與細節的技術都能夠快速掌握，並且能主動要求 IBM 技術中心給予更多的幫助，以完成最終的任務。譬如，當時在實驗室進行串列式元件壓力測試（Stress Tests）時發現幾個異常中斷的問題，在一步一步要求串列式元件的廠商修改 firmware 與 IBM 修改底層網路中介軟體（Middelware）的元件後才排除這些問題。這些試驗對於系統上線的穩定度是非常重要的，此類問題在生產線上是非常難以除錯的。另一個例子是 TCS 開發工具的選用；原廠的程式原型使用 IBM ViusalAge C++，但是 ViusalAge C++ 是一個很少工程師會使用的工具，當時主流的開發工具是 Microsoft Visual C++，因此 T 公司 TCS 開發小組決定以 Visual C++ 為主要的開發工具。ViusalAge C++ 與 Visual C++ 雖然同樣須稱對 ANSI C 標準的支持，但是非 ANSI C 標準的部分，尤其是 GUI（Graphic User Interface）的開發方式則是彼此完全不相容，這個部分超出了 IBM 的技術轉移範圍，所以由盧資深工程師與相關的工程師獨立進行。

（二）團隊組合

很明顯的，這是一個同質型很高的團隊組合。基本上，專案的本質是解決 IT 的技術問題，因此只需要 IT 的技術人員即可。雖然這些 IT 技術工程師可再細分為 TCS 專案經理、TCS 軟體開發工程師、以及 TCS 機台連線與維護工程師等，但是相對於本文的其他個案，專案的組成只有 IT 工程師，所以異質性是不高的。同時，專案經理的角色雖然存在，但功能並不明顯。

專案的願景則由 IT 的資訊技術處林處長指導。

（三）使用者參與程度

使用者的參與方式為「交付模式或是隔牆交易」。使用者不具備 TCS 系統開發的相關知識，而且改造後的系統被要求必須對使用者功能沒有任何不良影響。如果以技術轉移的角度來看，T 公司技術人員可視為技術的使用者，而 IBM 技術團隊則變成了技術的提供者，二者之間應為「諮詢模式」。

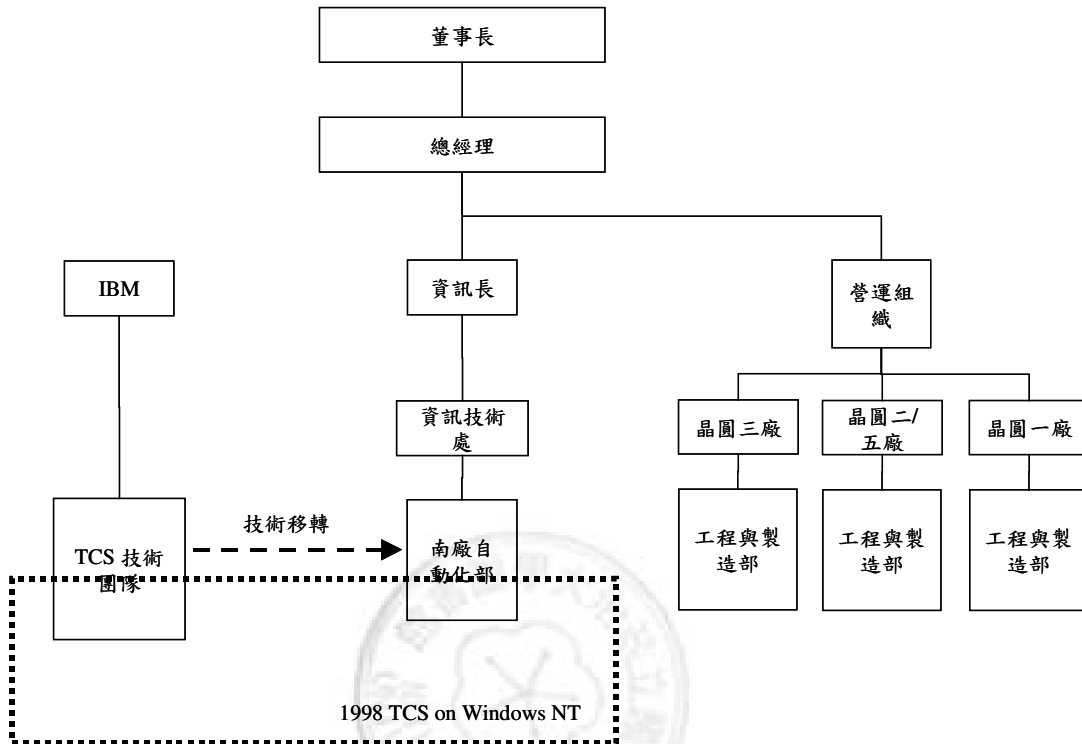
（四）專案組織結構

專案組織結構比較接近「功能型團隊」的特色。葉資深工程師與盧資深工程師隸屬於「系統開發課」，而龍資深工程師則屬於「機台自動化課」。

如同前述，IBM 的開發團隊與 T 公司開發團隊是一種較鬆散的合作，只要是透過專職接觸窗口（Contact Window）來互相溝通。專案開發的責任主要只有 T 公司 IT 部門，IBM 公司只是轉移與傳授 TCS on Windows NT 的開發技術與經驗，並無負擔最後成敗之責。

由於單一專業與單一組織的運作，TCS 專案運作的非常有效率。

圖 4-1-3：TCS on Windiws NT 開發專案結構



資料來源：本研究整理（粗虛線表示專案的範圍）

（五）知識分享機制

該專案內部的知識分享機制為非正式的會議與共用文件。專案成員的辦公與生活的空間相同，組織間的界線很淡，因此非正式的交流常常非常的有效率。雖然正式的會議有其存在，但僅止於紀錄共識而已。

至於全公司的知識分享機制則為生產會議與 Workshop。T 公司各個工廠每天早上八點半到九點半，都會由廠長召開生產會議，討論工廠昨天一天發生的事情。開會討論的結果，都會列入紀錄，再分門別類列入各自相關檔案，讓後人也可參閱資料，不要再發生同樣的錯誤。T 公司有個 Document Center（檔案中

心)，專門列管相關資料。

IT 開始試辦「MITD Workshop」(製造資訊技術處研討會)，歡迎 IT 或是使用者的個人與團隊，將成果與經驗發表於此。這個研討會由 IT 處長舉辦，頒發數個獎項以鼓勵創新、設計、推廣等等。

五、小結

OS/2 是當時 IBM 公司的桌上型電腦作業系統的創新產品，具有穩定與支援多作業的特性。可惜 OS/2 在與微軟的 Windows NT 作業系統主流地位的激烈爭中失利，使得已使用非常多的 OS/2 電腦的 T 公司晶圓三廠而言，考慮與主流 IT 技術接軌。TCS 也被選為 1998 年 Windows NT 作業系統轉換系統範圍之內。歸納起來，TCS on Windows NT 專案以解決 IT 技術問題為主要目標。



第二節 2001 Photo CD Run-to-Run Control System

一、專案背景

2000 年，T 公司在陸續併購另外二家同業後，在產能與技術上逐漸與其他競爭廠商拉大距離。當時，T 公司在台灣擁有五座先進的 8 吋廠，在美西擁有一座先進的 8 吋廠，並且更是世界 12 吋廠建造的領導廠商之一。不過，正如其他的企業併購案相同，T 公司此時也面對如何有效整合原先不同公司人事、文化、與制度的問題，以及解決之間的衝突。同時，半導體代工製程量產技術也正由 0.25 微米往 0.18 微米快速交替。其中黃光微影製程區的工程師們壓力尤重，因為製程線寬縮小的技術突破，無一例外，均從黃光微影製程區開始。而過去依賴工程師的個人經驗與辛苦工作的模式，實在無法有效的與有系統的同步增加各廠的生產力。因此，各廠區黃光微影工程部對於 Photo CD Run-to-Run Control System（黃光微影線寬批次控制系統）的發展投注了很大的期待。IT 製造資訊技術處陳處長更將此成立策略級專案，優先支援 IT 人力與資源，包涵指派季副理於專案經理，與具有資深黃光工程背景的張主任工程師，是專案成功之一大要素。

二、技術知識特質

黃光微影製程的原理是與照相機照相的原理相同；將光罩上電路圖案，成相並且保留在晶圓上。而後續的製程，則可根據這些圖案做進一步的製程作業。因為精密度的要求很高，使得生產機台與生產機台之間的些許差異，生產機台本身隨時間發生的老化帶來的差異，產品本身的不同，光罩的些許差異等等，都變成影響製程結果的重要變數。一般半導體業者以微調主機台對每批產品的曝光能量，來補償前述的差異對產品品質的影響。

Photo CD Run-to-Run Control System (黃光微影線寬批次控制系統) 的技術困難並不是在資訊技術的挑戰，而是在建立曝光能量與各種差異（前述的機台、光罩、與產品差異）對微影線寬影響的數學模型。各種差異可視為給定的變量，而曝光能量是一個可以控制的自變數，微影線寬則是應變數。也就是說，製程工程師希望透過微調每一批次的曝光能量，將微影線寬準確地控制在目標值上。這個數學模型愈能精確地描述，微影線寬的控制精確度就會愈增加。如果這個數學模型沒有某種程度的精確度，回饋控制的演算結果就會不正確。為了成功建立這個數學模型，專案團隊做了非常多的實驗取得大量數據，以統計的方法分析歸納出諸自變數數與應變數之間的線性係數。此數學模型本身正代表了製程機制的新知識，因為它具體數量化了影響微影線寬的影響因子。

（一）技術知識之內隱程度

以往是由製程工程師定期依經驗或是統計法則推測、觀查出這些差異，再依此作成作業指令，要求製造部線上作業員依照作業指令採作。稍為進步的廠區，則有一些簡單的軟體系統，將上述近乎人工作業的方式加以自動化。在不斷追求高良率、低製造成本、與快速的交貨週期的條件下，這樣的製程控制方式，不僅缺乏效率，也沒有統一的結構性的推測差異的作法，更不能期待經驗知識能夠完全的傳承與擴散。也就是說，廠與廠之間的作法不同，甚至不同的資深製程工程師之間也有不同的理解與作法。因此，製程控制制知識的傳遞在之前主要是透過師徒相傳，以及互相觀摩學習，實際上線直接獲得經驗，並沒有正式的文件可供使用。

在此，黃光微影製程控制知識可歸納為「內隱型的知識」。

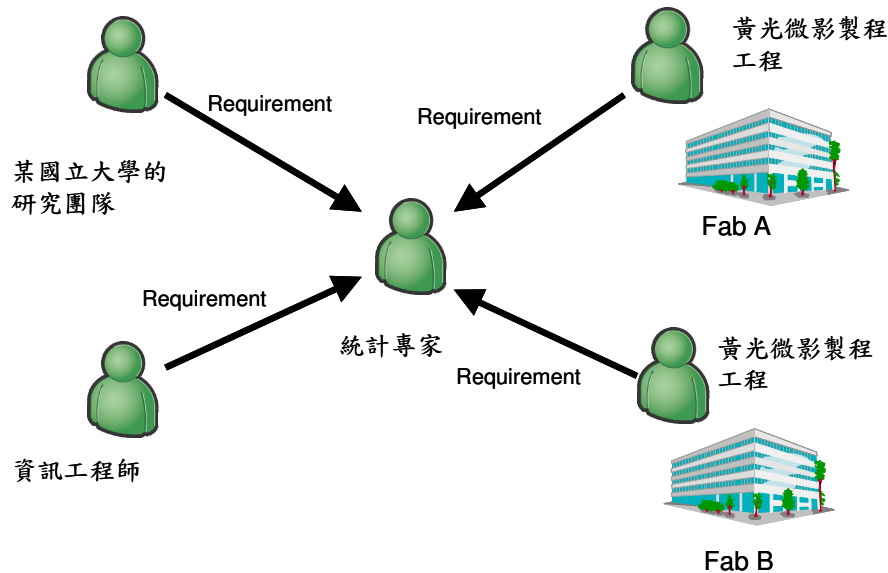
但是這種知識內隱的屬性，卻造成使用者需求定義時的重大挑戰。軟體系統開發需要「符碼化」黃光微影製程控制知識成為明確的使用者需求定義。如果連

製程工程師之間都難以用文件表達此種知識，一般 IT 系統分析師當然難以有效的推展工作。表面上，IT 系統分析師看到的是各廠區的製程工程師代表們，在使用者需求定義會議上遲遲無法達成共識，對於最佳方案(BKM-Best Known Method)的做法爭執不下，但實際上是製程工程師對於黃光微影製程特性的理解程度深淺不一。當時 T 公司剛剛成立橫跨各廠區的工程技術平台—黃光微影技術委員會，正好成為解決這個問題的最佳平台。

(二) 技術知識之系統複雜度

在 IT 單位的建議下，專案團隊力邀公司品質管制單位（品質系統發展部）的一位統計專家孫主任工程師進入團隊。製程工程代表們希望透過該專家在統計數學上的專業，將定性的需求描述進而轉成定量及公式化的使用者需求定義。並且希望該控制邏輯在數學上是正確並且穩定的。但孫主任工程師旋即發現此任務的困難度，遠超出了當初的預估。在經過專案決策層的許可之下，進一步引進了某國立大學的研究團隊，由孫主任工程師擔任技術的窗口，再加上張主任工程師從旁協助內部使用者溝通。在這樣的合作模式下，孫主任工程師成功地整合黃光微影製程工程的知識、數學統計的知識、與 IT 的知識，給出使用者需求定義書。如此經過專案團隊數月的努力，才獲得黃光微影技術委員會的共識。孫主任工程師在此專案中，實扮演非常關鍵的角色。

圖 4-2-1：2001 Photo CD R2R Control System 開發知識整合結構



資料來源：本研究整理

如前所述，以此專案所需整合的技術知識領域包含三大領域—黃光微影製程工程、數學統計、與資訊科技。其中黃光微影製程工程又包含光學工程、化學工程、與機械工程。因此以技術知識領域數而言，可說相當多與複雜，但是又缺一不可。

以半導體製程精細度而言，Photo CD Run-to-Run Control System 對於 T 公司當時提昇 0.2 微米製程良率與降低成本，有重大貢獻。在系統開發之初，黃光工程部要求系統需要在平均每隔 30 批次至 60 批次，或者是在每次交接班之時重新對差異補償做計算。這些設定必須是可根據產品型號、機台、與光罩組合來調整。

如果以開發所需耗費的人年數來估計，共需要 11.2 人年。

表 4-2-1：2001 Photo CD R2R Control System 開發所需耗費的人年數

類別	人年數
黃光微影製程工程	3.0
統計專家	1.2
資訊工程師	5.5
某國立大學的研究團隊	1.5
總計	11.2

資料來源：本研究整理

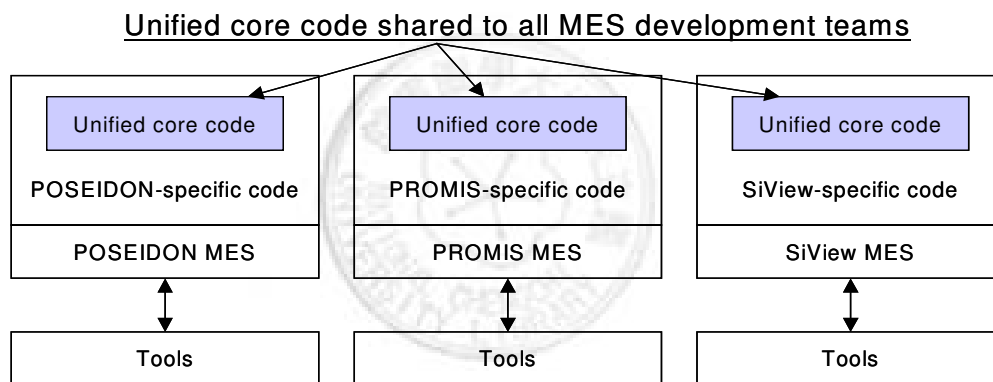
(三) 技術知識之標準化程度

T 公司擁有三套不同的 MES 系統(製造執行系統)—PROMIS, POSEIDON, 與 SiView。雖然國際半導體標準組織 SEMI 在當時已公佈 APC 的架構暫行標準 E93 (Provisional Specification for CIM Framework Advanced Process Control Component)，但是沒有被產業普遍採用。T 公司內八吋廠使用的 MES 均還是舊的架構，彼此並不相容。由於該軟體系統必須滿足 T 公司所有廠區的使用者，系統被要求必須與三種 MES 互相整合。IT 發現系統整合的困難度很大，同時精通三個 MES 系統開發的人才更是缺乏。在有效降低軟體開發成本與加速軟體系統上線速度的考量下，專案決策層決定不採用產業標準 E93，而採用自行定義的作法化，就是「統一核心程式碼」。「統一核心程式碼」的做法，就是將製程控制程式成為一個公司內標準的軟體模組，使這個標準的軟體模組可被分享於各個 MES 的開發小組。首先，專案團隊會先定義「統一核心程式碼」的功能與介面，由其中一個 MES 的開發小組負責開發，再將之予以其他各個 MES 的開發小組

負責整合入 MES 攸關的部分程式，成為各個完整的系統。

以上的描述，可視為從「產生組件的產業標準」退守到「公司內部標準」，不過後來實際系統上線後發現這個「統一核心程式碼」難以維持，所以標準化程度是一直退到「公司內部產品組件亦無法混用」的等級。主要原因為各個來自不同 MES 的開發小組，對於使用者需求定義的理解不同，以及對所謂「統一核心程式碼」的適用度也不盡相同，在開發小組擁有高度原始碼自主權之下，「統一核心程式碼」的約束力很快的消失，各個開發小組基本上僅能維持相同的一份使用者需求定義書而已。

圖 4-2-2：「統一核心程式碼」與系統架構



資料來源：本研究整理

(四) 技術知識之路徑相依程度

本系統之開發成功，可視為 T 公司獨創技術之發展。雖然從 IT 的技術來看，主要受限在各個 MES 的技術領域，與原 MES 技術的相依程度頗高。但若從知識整合的角度來看，專案團隊有效的整合統計數學知識領域、黃光微影製程知識領域、與資訊科技知識領域，成功創造適用於晶圓代工生產環境的 Photo CD Run-to-Run Control System 卻是一項突破性的技術成就。該系統的突出表現，

獲得該公司之 2004 年度最高榮譽「創新獎」。

三、組織結構特質

(一) 組織構型

除了傳統企業組織的生產、行銷、人力資源、研究發展、財務會計基本功能組織之外，增加了高科技產業的特色，例如法務、資訊、品質可靠、風險管理、與內部稽核等等功能組織。這些屬於支援型的功能組織人數均不多，但提升到功能組織級，正代表了 T 公司對它們的重視。如果以人數比例與所支配的公司資源來看，營運組織（各晶圓廠區）是最大的功能組織，也是公司營運的核心，如下圖 4-2-3。



部則為集中其他各部門的系統開發課而成為一個專職系統開發的部門。相對的，其他各自動化部的角色就更專職於機台自動化與作業支援。

T公司的內部的使用者如果需要資訊相關的支援，則進步到使用線上「自動化需求單」來申請。資訊單位的課級主管評估需求的重要程度與緊急程度，來分配資源服務使用者。由於所有的需求都有系統幫忙追蹤，過去發生的單據遺失與異常工作積壓情形，獲得了不少改善。

為強化執行效率與促進各部門協同合作，製造資訊技術處成立專案管理會議（PMO-Project Management Office）。專案管理會議由處長主持每週舉行一次，各部門經理為當然成員，其目的為檢討各個資訊專案的開發與推廣。由於製造資訊技術處之下的部門眾多，為求資源的規模經濟利益也成立集中的專門功能課，例如，資料庫管理課等等。

四、系統整合軟體的創新平台

（一）創新活動與知識創造過程

季副理任命於製造資訊技術處陳處長為此專案的專案經理，他主持一週兩次的使用者需求定義會議，並有效的跟催進度與跟長官溝通。季副理曾任職於T公司製造部，當時為IT單位副理，因此它可算是A型管理人才。各廠區代表負責提供專業意見與廠區內部溝通，他們多是主任工程師以上的職級。由於大家的專業領域大不相同，溝通常出現誤會或者是難以理解的情形。幸而IT的張主任工程師在團隊中擔任溝通者的角色，由於他本是黃光微影的主任工程師，具有八年的黃光製程工作經驗，對於統計數學也能理解，因此算的上是難得的T型人。張主任工程師使知識理解與吸收的速度加快，孫主任工程師才能整合這些不

同專業的知識在一起，定義出 Photo CD Run-to-Run Control System 的系統需求。

如前所述，孫主任工程師負責引進國立大學研究團隊的研究成果，在他的協助下，系統核心邏輯的原型實驗在該國立大學研究室中進行成功。IT 工程師隨後依此開發所謂「統一核心程式碼」，進行 IT 系統開發、測試、與上線。由於這個系統的上線對生產影響很大，工程部是一個一個產品型號推上線驗證。其中歷經除錯與溝通修正至系統穩定，也花費數月時光之久。當中的困難，仍然還是在知識的吸收與擴散。因為真正使用系統的是各廠區的黃光工程師，維護與開發系統的是各廠區的 IT 工程師，他們對這套系統內部運作邏輯的理解並不完整，因此反應問題與判斷問題就變成非常困難。

第一個上線的 MES 版本成功後，IT 又忙著將經驗與程式碼複製到其他兩個正上線的 MES 版本。因為各廠區出現的問題並不完全相同，再加上有三套不同的團隊開發的程式碼，IT 內部知識擴散的工作也是非常辛苦。

本研究發現，最瞭解這個系統的是孫主任工程師，因為它是知識的整合者，也是國立大學研究團隊最後成果的接受者。T 公司最佳策略為以孫主任工程師為種子，繼續相同的模式累積製程控制的知識，並快速培養相同的人才。由於某國立大學研究團隊已累積了部分知識與技術，T 公司就依此成功經驗開啟了長期的合作關係。不過，此時 T 公司還沒有一個專職的單位固定累積這些知識，或者管理外部技術知識來源，仍然以專案方式進行。

（二）團隊組合

很明顯的，這是一個異質型的團隊組合。有 A 型專案管理的人才（IT 的季副理）、IT 的技術人才、製程工程技術人才、及統計數理人才（孫主任工程師）。

團隊中有兩個 T 型人才，一是 IT 的張主任工程師，另一個則是品質系統發展部孫主任工程師。他們都能用多種語言跟團隊成員溝通。專案的願景則由 IT 的製造資訊技術處陳處長指導。

（三）使用者參與程度

觀察 Photo CD Run-to-Run System 的開發歷程，本研究認為使用者，也就是黃光微影工程師的參與方式為「共同開發」。因為本研究觀察到這個系統的知識超越所有原先參予專案的人所擁有的知識，開發者與使用者不確定其系統會和軟體系統產生何種互動，成果究竟如何。使用者一開始不確定如何重新設計工作，才能完全發揮新科技系統的潛力。T 公司要感謝這一群黃光微影工程師，他們願意敞開心胸接受新科技，而不是把已經快過時的程序自動化。

黃光微影技術委員會的成立，為使用者需求定義標準化提供了最佳的平台。黃光微影技術委員會採取的是共識決議，各廠區的地位完全平等。但是，其決議的結論，尤其是 BKM，對各廠區具有強制執行力。Photo CD Run-to-Run System 的使用者需求定義與系統上線，獲得黃光微影技術委員會的 BKM，這是專案成功的一大要素。

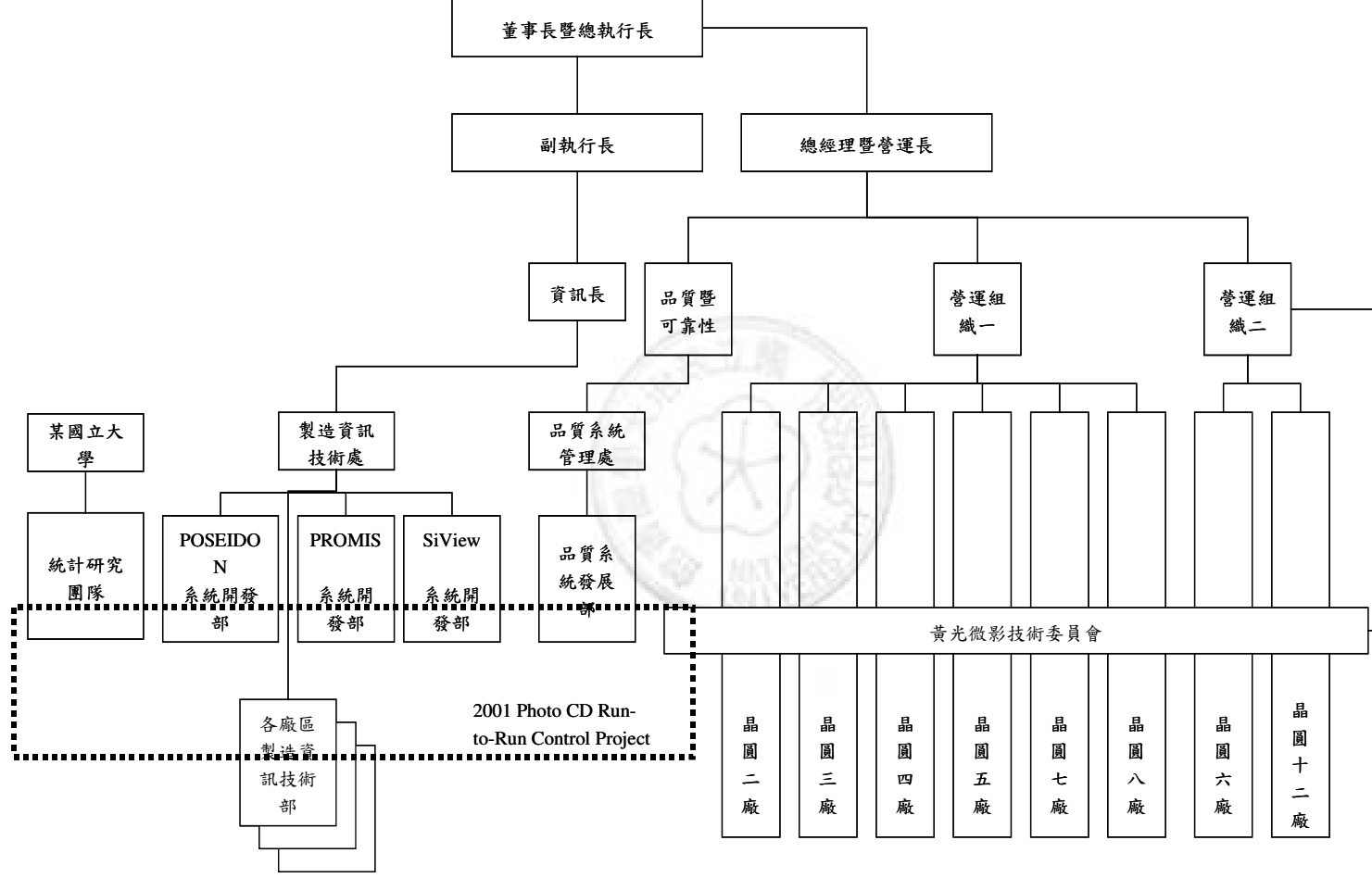
（四）專案組織結構

值得一提的是 IT 功能組織下，新成立一個「策略專案規劃課」，約有六個人到七個人的規模。這個課的成員主要來自於使用者單位（包涵工程部與製造部）的資深人員（主任工程師或技術副理），以及具有特殊數理背景的專才。張主任工程師即是該課其中一員。「策略專案規劃課」的目的為以使用者的角度，尋找出具有長期潛力的 IT 應用領域，使 IT 的系統開發更能符合 T 公司的策略需要。

在審視專案組織結構時看到一個現象：這個專案借重了黃光微影技術委員會，邀請到各個廠區的代表來參與專案團隊。這些黃光微影技術委員會代表們基本上各廠區代表負責提供專業意見，與廠區內部溝通。因此，他們可以被視為各廠區的協調者（liaison person），與專案經理一起工作。他們之中，輪流擔任執行秘書的角色，負責協調出議題共識。這是輕型團隊團隊的特色。

但反觀 IT 與品質系統發展部的部分，則其專案組織特色介於輕型團隊團隊與重型團隊之間。IT 專案經理不僅被賦予很大的權限，專案執行期間更投入超過 50% 的時間。專案經理對於 IT 成員的專案的速度、品質與效率有非常高的權限，可以直接指揮所有參與此專案的人員。這個權限來自於 IT 陳處長的全力支持，IT 專案經理得非常小心的行使這個權力。雖然專案經理負責專案的直接責任，但資源由各個 IT 部門經理承諾，而且各個 IT 部門經理仍然還有連帶責任。專案經理在 IT 組織中的位階在部門經理之下，他直接對其中一個部門經理負責，而這個部門經理，直接對處長負責。專案經理對於成員的績效考核有影響力，但團隊成員長期的升遷發展仍取決於原部門經理的考核。

圖 4-2-4：2001 Photo CD R2R Control System 開發專案結構



資料來源：本研究整理（虛線表示專案的串連）

(五) 知識分享機制

Photo CD Run-to-Run Control System 的開發團隊主要是透過定期專案會議，來分享問題與知識，其中使用者需求定義書是最重要的載具。T 公司的使用者需求定義書通常已載有相當程度的 IT 系統分析結果，以及 IT 系統設計在內，IT 工程師可依此實作系統。往後其他的 Run-to-Run 系統開發專案團隊，也常常參考這份文件的內容，以承襲其知識與經驗。

T 公司最典型的一套知識管理代表作是在 2000 年，由當時的蔡營運副總經理雷厲風行的技術委員會。他成立幾個以晶圓製造流程為分類的委員會，譬如廠務、黃光微影區、爐管區等八個技術委員會。T 公司每個工廠的相關人員都加入相關委員會先做資訊交流及溝通。大家共同討論出哪種機台最好用，日後擴建新廠就採用大家共認最好的機台。每個工廠都有一個技術整合的人，會把最好的技術與知識拿出去分享給技術委員會的成員。在人事考核項目中，能不能將自己的工作經驗記錄、編碼、儲存，並與人分享經驗，是重要項目之一。

每個月 T 公司營運的最高主管會定期與四個技術委員會溫習舊知與新學。所以一個委員會每兩個月會與最高營運主管會面。會中，最高主管會評估，最近兩個月工廠有何重大事情發生？如何避免再度發生？標準化作業進行狀況？有那些事情當天會議就要決議？其他副總經理也都會列席。

另外還有完善的知識管理系統 (e-KM)，幫助員工以更有效率的方式蒐尋資料庫文件。同時，「數位圖書館」與清大、交大圖書館相通，讓員工在尋求專業書籍、資料時，更得心應手。

五、小結

Photo CD Run-to-Run Control System 在 T 公司面臨 0.25 微米以下製程量產的壓力與各廠區營運標準化的背景下誕生，在 IT 與廠區高度重視與努力下得到了出色的成果。不僅是要克服各廠區作業上的不同，IT 內部也面臨不同系統開發上的困難，其中涉入的人員與單位也是非常複雜。

歸納起來，妥善利用跨廠區技術委員會，兩個 T 型人才—張主任工程師與孫主任工程師—在整合跨領域知識的努力，IT 處長的全力支持與 A 型管理人季副理稱職專案經理表現都是系統成功的關鍵因素。而 IT 系統架構的標準化、與如何累積與開發 R2R 的知識，則為日後管理工作者留下了努力的空間。同時期的其他 T 公司跨領域專案開發階具有相類似的特色。



第三節 2002 FDC (Fault Detection & Classification)

一、專案背景

從第二章的半導體製造介紹中得知，先進半導體製程動輒有幾百道製程步驟，均是由非常精密複雜的機台所生產。製程精密度的要求使得這些生產機台的控制參數也是動輒成百成千，只要其中有些關鍵偏差，就有可能造成製程偏離 (Excursion)，使得辛苦生產的晶圓良率降低，甚至是報廢。尤其嚴重者，這類的工程失誤不比作業員失誤只是少數晶圓片報廢，而是成百、成千、或是上萬的晶圓片報廢，使當月整個工廠生產的努力全部付諸東流。

所以，半導體生產廠商很早就注意到監控機台異常的重要，只是重要程度隨著製造製程的精密度提高而愈來愈高，而同時監控機台的精細程度要求也愈來愈高——從每一批次檢查一次參數、到每一片次、甚至到 12 吋廠時要求到每一秒或每 0.1 秒。這種檢查機制必須依靠資訊系統才能做到，半導體產業給這類軟體系統一個通用的名字，稱為 FDC (錯誤偵測與分類) — Fault Detection and Classification。

T 公司於 8 吋廠時代，就已經自行開發自己的 FDC 系統，發揮了很大的效益，系統在工廠上線後，大宗報廢的案子都明顯的減少。只是系統的架構與功能無法滿足於 12 吋廠更為嚴峻的要求。T 公司資訊管理階層有鑒於開發成本與時效限制，與其自行大幅改造系統或是從頭開發系統，不如直接引進業界成熟的系統產品，把有限的人力投入在 T 公司專屬的客製化的功能上，更能發揮投資效益。

T 公司於 2002 年年初，開始發送 RFP (Request For Proposal) 給全世界有興趣的廠商，邀請他們進行廠商產品的評估。在進行兩回合嚴謹的功能比較與議價程序後，決定由法國的一家剛起步卻非常有技術潛力的公司合作。於 2002 年五月，在公司內部成立 FDC 專案，執行長達三年的 FDC 系統規劃、共同開發、

與建置。

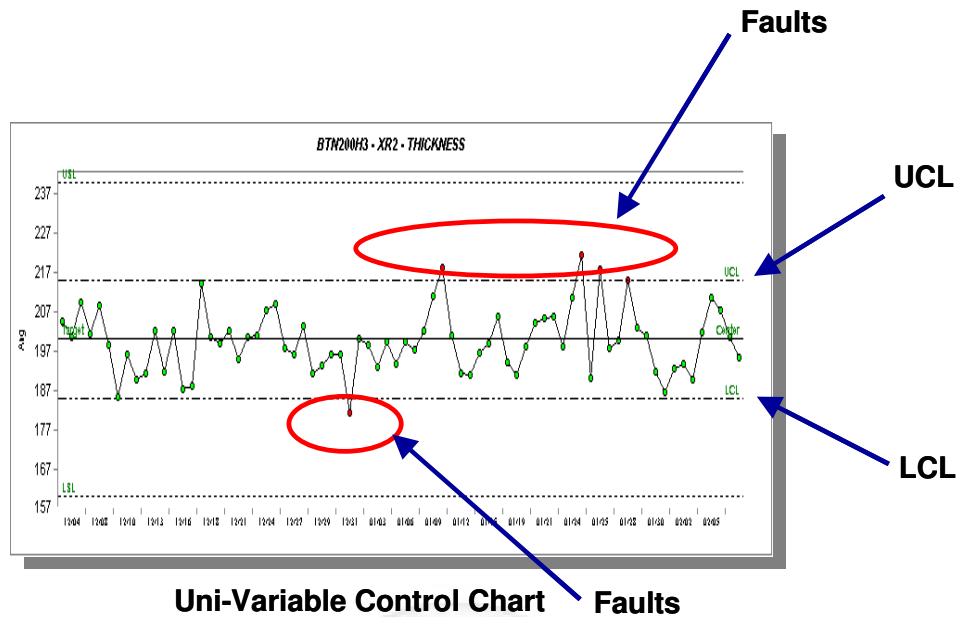
二、技術知識特質

一般所謂機台錯誤 (Fault)，是指機台的異常導致生產製程的錯誤，良率降低與報廢。但是值得注意的是，並不是所有的機台異常都是錯誤。有許多方法可以讓工程師判定異常狀況，但絕大部分工程師認為的異常，卻並不會導致最後的錯誤。工程師如何有效的找出有意義的異常，是 FDC 發揮效益的關鍵。

FDC 是 Fault Detection and Classification 的簡稱，它包含兩個功能，一是 FD 錯誤偵測，另一個則是 FC 錯誤分類。工程師利用 FD 的功能使系統自動偵測錯誤的發生，以採取一些必要更正的動作。不同的 Fault 需要不同的更正的動作，而 FC 功能則是自動根據 Fault 的統計特徵值來歸類錯誤形式 (Anomaly Type)，使得工程師可以很快的引用正確的更正的動作，以最短的時間恢復機台正常。

生產機台的控制參數異常，主要是來自於機台本身的異常(包涵老化、故障、其它外在原因影響)與工程師失誤(包涵製程工程師設定程式參數錯誤、設備工程師於設備保養後未調整好機台等等)。這些異常會反映在機台跑貨期間，某些機台參數偏離正常值。最簡單的 FD 做法，就是建立類似 SPC (統計製程管制) 的單變量管制圖表 (Uni-variable Control Chart) 來自動監測。如同下圖 4-3-1：

圖 4-3-1：FDC 的單變量控制圖



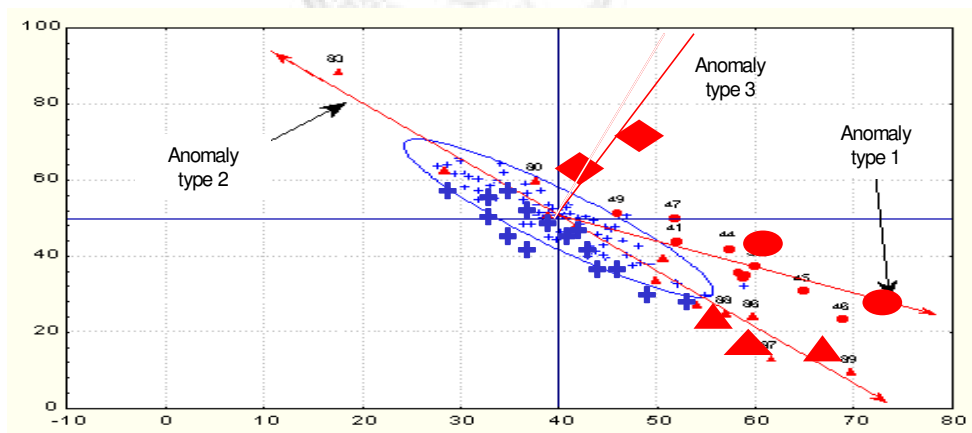
資料來源：本研究整理

為了要比對出異常，首先工程師必須決定什麼是正常。一般的做法為先在機台正常生產時期，收集該參數值資料一段時間，取其平均值與標準差。設其平均值為中間目標值，以及取其數倍標準差值為上控制界限（UCL）與下控制界限（LCL），然後以此值區間來判斷正常與異常狀況。如果在區間範圍內（ $UCL \leq X \leq LCL$ ），判定為正常；若在區間之外，則為異常。以上的判定方法假設資料點的分佈為統計學上的常態分配，是最簡單的方法。而類似簡單到複雜的方法有很多，但幾乎都不難由系統提供自動計算功能。但是，以這個簡單區間方法而言，要工程師決定正確上下控制界限的值，反而是一個非常困難的決定—設定的區間太小，假警報跑不完，久了就成了「放羊的小孩」，再也沒人會注意；設定的區間太大，錯誤出現了，系統沒有反應，等於沒有 FDC 系統。一個參數的上下控制界限已如此令工程師煩惱，要對付成百成千的參數，以及成百成千的機台，就

成了一大挑戰。

為了解決這個問題，一些不同的做法正在研究。工程部想辦法根據累積的實務經驗來選擇所謂關鍵參數 (Key Node Parameter) 與上下控制界限，成為 FDC 應用的 BKM (Best Known Method)。這些 BKM，可以說來自於 T 公司無數工程師所累積起來的製程知識。另一方面，IT 與「統計應用部」的專家們則研究利用多變量統計，使系統自動來決定關鍵參數 (Key Node Parameter) 與上下控制界限。多變量統計的基本精神為找出變量 (參數值) 之間的正常連動關係，使偏離正常連動關係的情況被偵測出來，從而判斷為異常。如下圖 4-3-2，X 參數值與 Y 參數值形成一個在二維座標平面上的點，橢圓圓圈內是正常的值分布，所有超出範圍的點皆為異常。多變量統計還有一個好處，由於偏離的點可以歸納為幾個固定方向上，不同的方向正好代表不同的錯誤分類，自然的帶來 FC 的功能。所以多變量統計應用，一直是 FDC 研究的焦點。

圖 4-3-2：FDC 的多變量管制示意圖

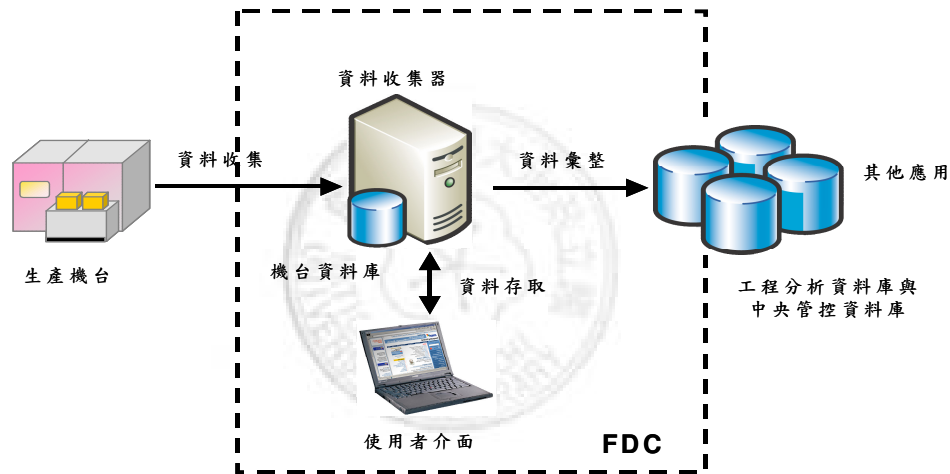


資料來源：本研究整理（離開橢圓圓圈的點均是異常錯誤）

由於 FDC 收集了大量的機台訊息，透過這些資訊，可以提供很多不同的應用。第一個是提供了一個以量化的方式，比較同一時間不同機台彼此差異的基

礎，以及比較同一機台在不同時間差異的基礎。這對於增進工程部機台管理的品質，帶來很大的潛在利益。第二個，如果結合外部感知器（External Sensor），工程師可以得到更多機台內部的情況，做更精確的錯誤偵測。第三個則稱為虛擬量測技術（Virtual Metrology），它是利用收集到的即時資訊，以數學方法推測出製程的結果，以減少量測機台的使用與縮短生產時間。以上只是列舉三個重要應用，相信未來還會有更多的應用出現。下圖為 FDC 系統的基本架構：

圖 4-3-3：FDC 的 IT 系統基本架構（虛線框為 FDC 系統）



資料來源：本研究整理

（一）技術知識之內隱程度

FDC 系統可分為 FD 錯誤偵測與 FC 錯誤分類。

FD 錯誤偵測的首要功能即為機台資料收集，雖然機台資料收集有其 IT 設計上的挑戰，但是基本上使用者與 IT 工程師可以容易的透過使用者需求定義書來理解，所以這個部分的內隱程度是很低的。但是如前文所言，要系統準確的判斷是否為錯誤（Fault），那就需要製程工程師或是設備工程師將經驗輸入在系統

裡。T 公司晶圓十二廠的「工程系統課」負責督促各個工程部門，依照工程師的累積的實務經驗，定義出關鍵參數 (Key Node Parameter) 與其上下控制界限，成為 FDC 應用的 BKM (Best Known Method)。雖然爾後總有修修改改，但是這是使用者依據生產線的狀況來作修正，算得上是成文化的知識屬性。(專案的第一階段)

對於 FC 錯誤分類而言，在還沒有 FDC 的時代，使用者沒有這些資訊可供參考。有 FDC 後，使用者突然有豐富的資料參考，而且系統可提供許多統計工具，但要能妥善利用，卻需要與使用者開發一些方法 (Methodology)。由於未知的知識很多，技術知識之內隱程度可視為很高的。(專案的第二階段)

(二) 技術知識之系統複雜度

此專案所需整合的技術知識領域包含兩大領域—製程與設備工程、統計技術、與資訊科技。以精細度而言，本系統服務的對象為 T 公司當時最先進的 0.13 微米製程產品。有鑒於 12 吋晶圓廠的精密度要求很高，此專案在建廠時期與以專案經費，優先予以資源支持。

這個專案自 2002 年延伸至 2005 年歷時三年，可分為兩個相連的階段，專案階段介紹見於後文。如果以開發所需耗費的人年數來估計，共需要 26.0 人年。

表 4-3-1：2002 FDC System 開發所需耗費的人年數

類別	第一階段人年數	第二階段人年數
製程整合工程部	5.0	5.0
資訊工程部	6.0	6.0
外部顧問	2.0	2.0

總計	13.0	13.0
----	------	------

資料來源：本研究整理

(三) 技術知識之標準化程度

半導體工業界於 2000 年以前，對於 FDC 系統的資料收集介面是 SECS (SEMI Equipment Communications Standard)，見圖 4-3-3。SECS 由 SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International) 所定義。SECS 標準並不是只是為了 FDC 而開發的，當初它的主要目的是為了半導體工廠自動化，FDC 資料收集是它的其中一個運用。半導體 8 吋廠自動化程度提高之後，工程資料量與即時性控制的需求超過了 SECS-I 的限制。因此，架在 TCP/IP 網路技術的進步之上而有了 HSMS (E37 High-Speed SECS Message Services)。HSMS 與 SECS-I 幾乎相容，但是 HSMS 的速度為 10,000Kbps 比 SECS-I 的 20Kbps 快非常多。2000 年以後，機台工程系統應用 (APC 等) 愈來愈重要，各大半導體製造廠希望機台供應商能提供更滿足需要的功能，SEMI 針對工程資料的收集則完全重新定義以 XML/Web Services 技術為主的所謂 EDA (Engineering Data Acquisition) 標準。

對於 FDC 系統的其他部分，包涵系統架構與各部分元件，SEMI 也有定義所謂的「APC Framework」標準—E93 (Provisional Specification for CIM Framework Advanced Process Control Component) 與 PCS (Process Control System) 標準。只是 2000 年後陸續發布的標準，遵循 E93 標準而開發軟體產品的系統廠商還不多。(專案第一階段)

純粹從 IT 系統的標準化程度來看，它是屬於「產生組件的產業標準」。但是 FDC 專案的成功大部分是如何將工程師的經驗，有效的轉化在系統的 FD 設定

上，以及找出有的 FC 的應用方法 (Methodology)，才是差異化的所在。這個部分的標準化程度是非常低的。(專案第二階段)

(四) 技術知識之路徑相依程度

T 公司在 8 吋廠時代，就自行開發出類似的系統，只是這個系統只具備簡單的單變量錯誤偵測的功能，資料收集功能的精細度也不高。雖然如此，T 公司廠長們非常重視這個系統的使用，透過這個系統的推廣，各廠工程部也累積了不少經驗，這些經驗的成為 12 吋廠在推廣與開發 FDC 系統的寶貴經驗。對於 12 吋廠的使用者與 IT 工程師而言，12 吋 FDC 系統畢竟在使用上與功能上與自家開發的簡單版本系統有很大的不同，許多改進功能與應用還是領先許多。

FDC 系統在 T 公司晶圓 12 廠的開發推廣成功，使 T 公司成為領先世界完成 12 吋工廠 FDC 推廣的公司，再加上自家開發的 8 吋系統成效卓著，該專案也獲得 2004 年公司最高榮譽「創新與客戶服務獎」。

三、組織結構特質

(一) 組織構型

基本上，公司的組織結構與 2001 年相比並無很大的變化。

(二) 正式化程度

製造資訊技術處對於專案管理定義定義了清楚的流程，包括專案初始 (PI-Project Initialization)、使用者需求定義 (User Requirement Definition)、系統

分析與設計、系統程式撰寫、系統測試、系統上線與推廣、以及專案結束 (Project Closing) 等等。專案初始時，需以具體預期效益與使用者管理高層的支持為基礎，專案經理必須向處長主持的專案管理會議報告後，才能正式進行專案。同樣地，專案結束時，專案經理需以具體效益與推廣使用程度向專案管理會議報告後，才能正式結束專案。使用者需求定義 (User Requirement Definition) 與系統分析設計的階段，則必須以書面與會議的審查，才能進行到下一個專案流程。審查會議由系統開發部負責主持，各部門派相關資深工程師為審查員。

四、系統整合軟體的創新平台

(一) 創新活動與知識創造過程

這個專案自 2002 年延伸至 2005 年歷時三年，可分為兩個相連的階段。第一個階段從 2002 年六月開始至 2003 年十二月，稱為「共同開發計劃」(JDP—Joint Development Program)，主要的目的為提供 T 公司的使用者需求給原 FDC 產品公司，協助進行教育訓練，建立最佳使用典範，其任務在於使 FDC 系統在 T 公司晶圓十二廠獲得成功的推廣。第二階段從 2004 年接著開始，並於 2005 年 4 月結束整個專案，它的主要任務在於 T 公司 IT 資訊技術工程處開發客製化的功能，同時協助晶圓十四廠複製晶圓十二廠的成功經驗。

這個專案的特色在於 T 公司在晶圓十二廠的組織中正式成立了「工程系統課」。該課的任務是統一協調該廠內各工程部 IT 系統的推廣、使用者需求定義、編列 IT 系統的預算、與共同完成工程相關系統的專案。晶圓十二廠工程系統課的領導人是王副理，他具有超過十年的半導體晶圓廠的工程經驗，對於 IT 系統的推廣與應用擁有極高的興趣。IT 方面則由陳處長成立策略專案，專案經理為周副理，周副理也有超過十年以上的 IT 系統開發經驗。

在第一階段的時候，FDC 原廠派駐一個數人的專案計劃組，負責立即的技術支援與溝通的角色。王副理、周副理、原廠專案經理與所有專案成員，與法國原廠 R&D 人員至少每週一次定期專案會議，討論專案執行過程中出現的技術問題與檢討進度。由於剛導入的 FDC 系統不十分成熟穩定，專案初期有非常多的技術問題與溝通問題，引發了專案延誤的危機。

法國的原廠技術人員對於 IT 的技術有非常高的專業自信，再加上是新創公司，偏好選擇「開放原始碼」(Open Source) 之類的軟體套件為工具。其 FDC 軟體產品的架構設計，非常精巧複雜。但是相對的，T 公司的 IT 部門總是偏好架構簡潔易於維護的系統，對「開放原始碼」的品質與法律問題戒慎恐懼，更擔心受制於廠商，要求保有客製化的彈性，這就產生許多有趣的爭執，尤其是對於客製化的彈性。FDC 原廠 R&D 團隊總是不能理解 T 公司 IT 團隊的開放部分系統介面與部分原始碼的要求，每每要求 T 公司使用者說明清楚，才願意同意共同開發或者開放。但是，T 公司使用者又不想說清楚，因為那些需求被歸類於 T 公司專屬的知識。因此，難免發生一些誤會，也考驗王副理、周副理、原廠專案經理的默契與溝通能力。

不僅公司的背景與立場不同曾使得溝通發生困難，不同公司的文化也發生間接的影響。FDC 法國原廠注重 R&D 創新，做事強調按部就班，條理分明，但是 T 公司卻是節奏快速、講究速度，先求有再求好的工作風格。T 公司使用者系統需求內容與優先順序的變化與 Fab 的工程問題連動密切，常常快過系統開發的速度，讓 FDC 法國原廠 R&D 團隊大傷腦筋。所幸在多方充分溝通，與管理高層每季一次的面對面會議之下，慢慢地使整個專案團隊克服種種包括文化的問題，獲得成功的推廣。

在實驗與創新方面，周副理舉了一個例子。T 公司 IT 專案團隊發現原來 FDC 的「資料收集器」，見圖 4-3-3，是一部個人電腦（或特殊工業電腦）對應一部生

產機台。先進 12 吋廠的生產機台數動輒上千，安置一千多部的電腦的基礎設施包括空間、電、與冷氣是一個大難題。所以，T 公司 IT 專案團隊提議將 FDC 系統「模組化」，使它可以共存於原先 IT 系統之中，不必另外需要安裝與購買電腦。這對於 T 公司而言是順理成章的提議，但對法國原廠而言卻是一個瘋狂的主意。由於有其他 FDC 廠商聲稱可提供這種類似功能，無論雙方如何透過溝通想嘗試說服對方支持自己的論點都無法有共識，最後只有同意唯有實驗求證一途。所以法國原廠修改了一版實驗版，然後 T 公司整合到自己的程式之中，準備好測試環境以及雙方共同參與測試。結果發現，系統的維護是變簡單了。但是，整體機台自動化的效能變得極不穩定。原因是 FDC 模組的計算量受使用者設定方式的影響太大，反而衝擊到其他程式運作。這樣的實驗證明新架構無法保證整體系統的穩定性，原架構反而倒顯得單純與易於管理。最後，T 公司 IT 專案團隊轉而擁護原先的設計架構，積極的解決基礎設施採購問題。經此實驗之後，雙方都更尊重彼此的文化差異與專業意見。

王副理在這個階段，在廠區內部積極協調各個工程部的合作。由於晶圓十二廠仍處於快速擴張產能的時期，有王副理的優秀規劃與執行，FDC 推廣的工作才得以成功。另外，也使得 IT 專案團隊可以專注在 IT 技術與 IT 內部的溝通。王副理在此時的另一項成就為成功地協調各工程部定義出 FDC 應用的 BKM。這個標準化的動作，對工廠能有效發揮 FDC 功能，提昇 Fab 的生產良率有關鍵性的影響力。

雖然法國原廠的 FDC 系統早已有多變量統計與 FC 錯誤分類的功能，而且也辦了數場教育訓練，但是 T 公司當時卻沒有成功的應用例子，而且原廠 FDC 產品主要開發單機功能，對於全廠使用缺乏適用的管理功能。所以，在 T 公司的晶圓十二廠的推廣工作告一段落後，專案的重心方向轉為推動客製化功能的開發。專案的第一階段在此結束，第二階段緊接而上。

第二階段的主要課題即是有效地做到全廠 FDC 管理。這樣的需求與 T 公司工廠管理的方式息息相關，所以 T 公司認為這些功能的使用者定義書是公司的營業秘密，選擇自行開發。除此之外，為了發揮 FDC 多變量分析與錯誤分類的功能，專案團隊與某國立大學教授開始進行多變量分析應用的計劃。

在這個階段，晶圓十二廠有鑒於「工程系統課」的人力不足，又指派另一位林副理加入專案團隊。林副理由 T 公司 8 吋廠轉調晶圓十二廠，才剛剛結束另外一個工程系統成功推廣的專案。林副理首先觀察 FDC 系統的推廣過程，發現工程師對於生產機一台一台的設定 FDC 參數，是一個非常大的負擔，而且新製程的不斷推出，如此人工設定的方式實在難保不出人為疏失，因此提出了「Auto Deployment」的使用功能需求，希望以結構化與單一的 FDC 參數設定，來大大降低使用者的負擔，與增加 FDC 的錯誤偵測能力。而同時，王副理則以工廠管理階層的角度，提出 FDC 的各項 KPI，以及對應的 FDC 分析與統計報表相關功能需求，使每週的工程檢討會議有共同的管理平台。

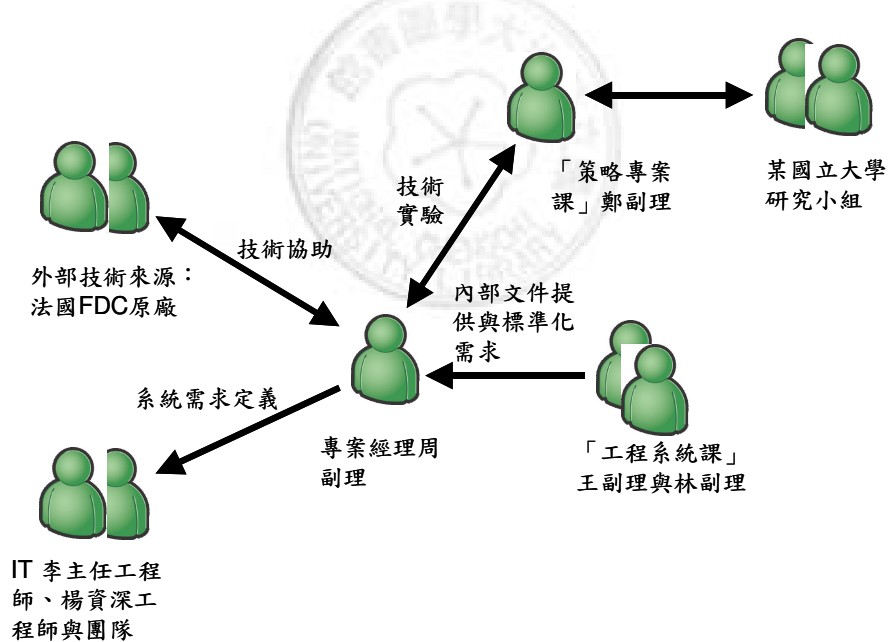
「Auto Deployment」是一個深具創意的嚐試，概念簡潔，參數架構理想，可惜後來的推廣並不如預期。有部分的原因是當時晶圓十二廠的工程師已投下大量的精力用人工方式建立 FDC 的參數，定義方式已不一致，難以納入標準的參數架構中。再者，這兩個功能未開放人工設定，使終端使用者難以放心，所以推廣進度緩慢。FDC 的報表推廣使用則相對成功，其部分報表已為晶圓十二廠的標準生產會議報表之一。這些報表包括每日、每週、每月的 FDC 參數異常統計、FDC 上線率統計、機台異常判斷等等。雖然「Auto Deployment」的功能在 2005 年專案結束時並不成功，但是這些大膽嘗試也激發出其他的創意。

使用者提出的需求都是為了解決眼前急切的問題，但是對於重要但不急的問題往往欠缺關心，或是心有餘而力不足。FDC 多變量統計的應用，半導體工業界已有成功個案被提出，只是離廣泛的推廣應用還有一段距離。所以，專案團隊

在 IT 陳處長的指導下，IT「策略專案課」的鄭副理與某國立大學教授展開合作計劃。主要研究題目為關鍵參數（Key Node Parameter）的自動判斷、多變量統計應用方法（Methodology）等等。雖然實驗的性質濃厚，但也 T 公司累積了一些寶貴經驗。

在這個時候，T 公司晶圓十四廠正在建立，在 IT 團隊的協助之下，以非常小的資源轉移所有晶圓十二廠的 FDC 參數設定，使 Fab 良率提昇速度空前快速。這等於是短時間之內繼承晶圓十二廠的經驗與智慧，等於是站在晶圓十二廠的肩膀上前進，成為一個 T 公司典型的「Smart Copy」的典範。

圖 4-3-4：2002 FDC System 的合作模式



資料來源：本研究整理

（二）團隊組合

很明顯的，FDC 專案團隊是一個異質型的團隊組合。專案經理周副理是一

個 T 型技巧管理人才，所以他能與專案內的所有成員溝通無礙。另外還有一位 IT 李主任工程師負責系統分析與設計，他的專長為資料分析與資料探勘技術 (Data Mining)，為一個 T 型人才，協助周副理的溝通工作。

「策略專案課」鄭副理、「工程系統課」王副理與林副理都有非常資深的半導體廠經驗與工程背景，而且對於 IT 技術的應用非常感興趣，並且都有成功負責 IT 推廣工作的經驗，所以他們都可視為 T 型人才。

法國 FDC 原廠技術團隊主要是提供 FDC 的 IT 技術，它的角色隨著時間逐漸淡化，反而是大學研究團隊在多變量統計技術的重要性隨時間而增加。

另一方面，系統概念其實並不算完整，FDC 系統的具體邊界並不明確。專案的願景則由 IT 的製造資訊技術處陳處長與十二廠林資深廠長共同指導。

(三) 使用者參與程度

由以上的個案描述中得知，使用者介入 FDC 專案開發的程度非常大。「工程系統課」王副理與林副理幾乎是完全投入專案開發，所以很明顯的，本研究判斷為「共同開發」。

(四) 專案組織結構

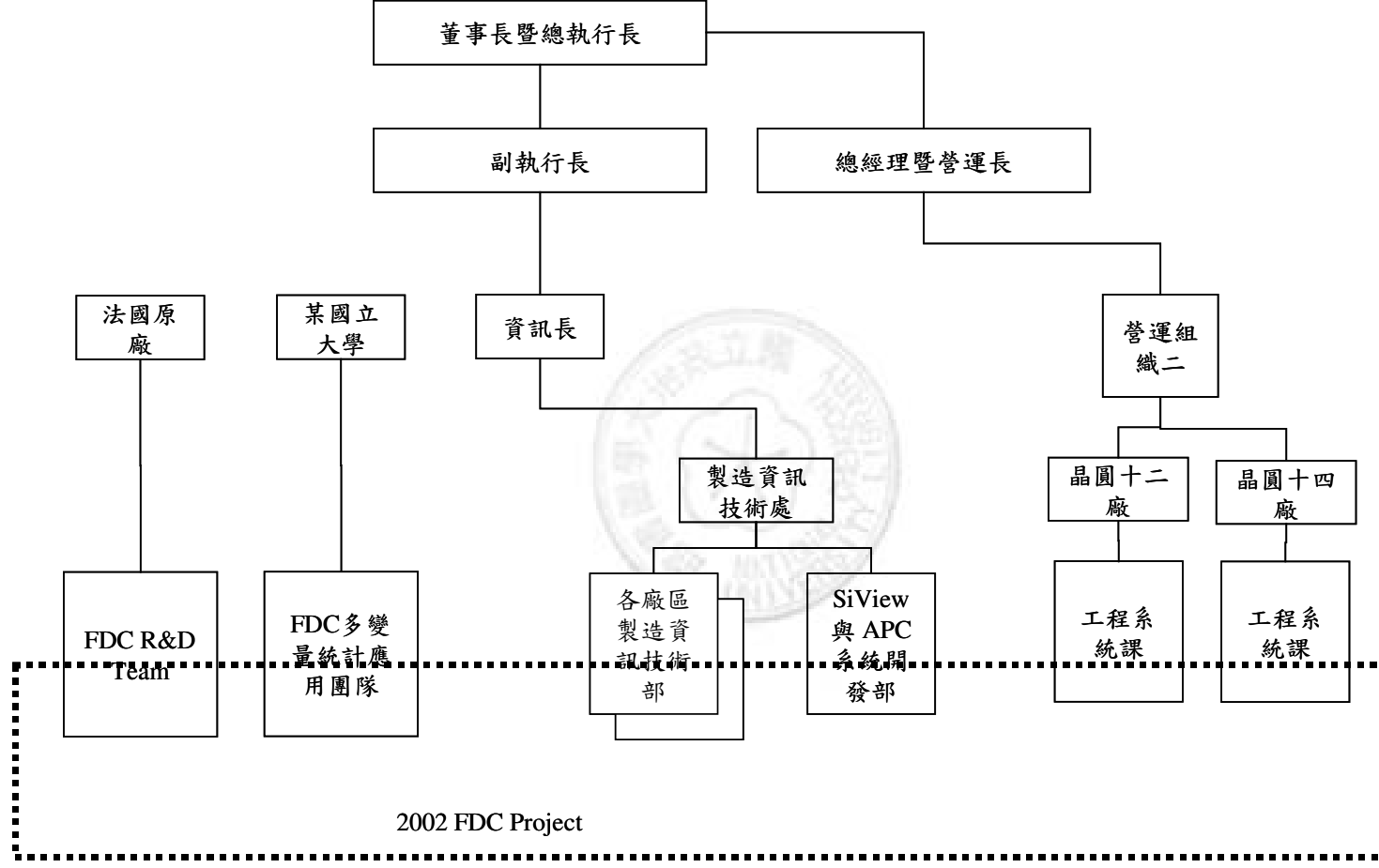
這個專案借重了「工程系統課」的組織力量，該課的任務是統一協調該廠內各工程部 IT 系統的推廣、使用者需求定義、編列 IT 系統的預算、與共同完成工程相關系統的專案。

在從前 8 吋廠的時代，在工廠製造部之下常設有「電腦整合製造課」，以協調 IT 來服務製造自動化的需要，其主要成員多為資訊科技背景。12 吋廠的正式

組織中，開始為工程部的 IT 需求而建立「工程系統課」，可被視為 IT 技術應用在半導體工業中的一個重要里程碑。在管理而言也有不凡的意義；無論是 IT 於內部成立「策略專案課」與 12 吋工廠內部成立「工程系統課」，這些組織都是介於終端使用者與純粹 IT 系統開發團隊之間，其目的在使功能組織之間的整合運作更有效率，並解決組織邊界的摩擦。這個管理意義可解釋為，隨著功能性組織的愈大，作業專業化程度愈大，功能性組織之間的邊界鴻溝愈寬，但是功能組之間的整合需求反而日趨重要，則這種介面組織就愈有需要存在。

專案組織特色屬於「輕型團隊」也有「重型團隊」。王副理為使用者方面的專案經理，由晶圓十二廠廠長任命，並對晶圓十二廠廠長負責 FDC 專案。而周副理為 IT 方面的專案經理，由製造資訊技術處陳處長任命，並對陳處長負責 FDC 專案。專案經理不僅被賦予很大的權限，專案執行期間更投入超過 50% 的時間。專案經理對於 IT 成員的專案的速度、品質與效率有非常高的權限，可以直接指揮所有參與此專案的人員。

圖 4-3-5：2002 FDC System 開發專案結構



資料來源：本研究整理（粗虛線表示專案的範圍）

(五) 知識分享機制

FDC 專案團隊之間的知識分享機制，主要是透過定期會議與線上文件的分享，所有的成員均可接觸這些文件，包括公司內跨組織的專案成員。但是，公司外的專案成員則有相當的限制，主要為透過專案經理來發送文件，或為專案經理授權某特定資料可由專案成員之間直接收送。

對於 T 公司全公司的知識分享機制，2002 年較重要的新創機制為技術委員會的研討會 (Technical Board Conference)、IT 的 e-Operation Symposium、以及技術委員會與 IT 合辦的各種專題研討會。雖然論文的格式較為鬆散，每年仍有數十篇到百來篇來自各廠區工程部、製造部、與 IT 部門的踴躍投稿。這些論文的投稿數量與得獎與否，與投稿人年終考績具有直接或是間接的影響。

五、小結

製程精密度的要求使得這些生產機台的控制參數也是動輒成百成千，只要其中有些關鍵偏差，就有可能造成製程偏離 (Excursion)，使得辛苦生產的晶圓良率降低，甚至是報廢。FDC (錯誤偵測與分類) 系統的開發，因應這樣的需求而出現。於 2002 年五月，在內部成立 FDC 專案，執行前後三年的 FDC 系統規劃、共同開發、與建置。

要系統準確的判斷是否為錯誤 (Fault)，那就需要製程工程師或是設備工程師將經驗輸入在系統裡。初時使用者採用人工方式設定個別生產機台的 FDC 參數，而後為求節省人力與管理效益，有一些大膽而有創意的試驗。在技術知識不足之處，積極的與學術資源作結合。

本研究觀察到這個專案的兩個前後階段有明顯不同的技術知識特質，因此本

研究在個案分析時應恰當考慮這個發現。

這個專案的特色在於 T 公司從晶圓十二廠的組織中，成立了正式「工程系統課」，該課的任務是統一協調該廠內各工程部 IT 系統的推廣、使用者需求定義、編列 IT 系統的預算、與共同完成工程相關系統的專案。



第四節 2002 WAT Expert System

一、專案背景

WAT 為 Wafer Acceptance Test 的簡稱，它的目的是在矽晶圓經過前段半導體製造程序之後，在進行後段晶粒的測試與封裝之前，所作的測試。WAT 針對所製造的晶片，其製造過程是否有缺陷，電性的流通上是否有問題，由製程整合工程師根據其經驗與電子學上知識做一全程的檢測；由某一電性量測值的變異判斷某一道相關製程是否發生任何異常。如果良率偏低或者甚至達到報廢的程度，製程整合工程師就必須即時找出原因出來，以利生產品質改善。但是，前段半導體製造的製程機台非常多、產品非常複雜，製程整合工程師要由最後的症狀來推敲出可能的問題製程機台，是非常困難的工作。製程整合工程師必須具備豐富的半導體製程的知識，參考過去問題解決經驗，找出可能的幾個原因，再與前製程站的製程工程師合作，逐步實驗驗證才能確認問題的根源。如果初步推敲的方向不對，不免就會耗費無謂的時間與資源。反之，若即時而正確的找到問題，對於良率的提昇速度以及公司競爭力，則有莫大的貢獻。有經驗的製程整合工程師比起資淺的工程師，解決問題的能力與對公司的價值有非常大的差別。

由於所有的生產資訊都存在 CIM 系統裡，所以製程整合工程師在解決問題時，都是依賴 IT 系統提供資料才能進行之後的資料分析，以形成專業上的判斷。為了便利製程整合工程師在資料彙整報告、繪圖表、簡單資料分析的工作，IT 工程師也協助開發一些軟體系統，提供這些工具。

IT 工程師透過這樣的經驗，了解到如果 IT 系統能夠提供製程整合工程師一些初步的問題判斷與建議，製程整合工程師的判斷品質就可以獲得提昇。這種資訊系統可以提供更高附加價值的知識應用，應用 IT 人工智慧技術而稱為「專家系統」。有鑒於專家系統的技術在過去數年的長足進步，製造資訊技術處陳處

長與製程整合技術委員會林處長，決定應用專家系統技術在 WAT 的工作上。於 2002 年，成立 WAT Expert Sytem 專案。

二、技術知識特質

參考圖 2-4-4，專家系統的邏輯主要兩個部分組合而成，一是「知識庫」，另一則為「推理器」（或稱「推理引擎」。「知識庫」以「特定格式」儲存來自專家的知識，如果真實世界的知識結構可由該「特定格式」完全表達的話，這個知識庫理論上即可轉移專家可以輸出的知識，尤其是經驗法則（Rules of Thumb）。而推理器則由 IT 同仁開發以運用知識庫裡的知識，經過解釋與推論之後，對於新輸入的問題提供判斷建議。一旦包涵推論器的 IT 系統上線後，專家系統的專業判斷能力由專家輸入在「知識庫」的知識量與品質所決定。IT 並不需要因此而改善系統，這是專家系統與一般 IT 系統的顯著差別。

對於 T 公司的 WAT Expert Sytem 而言，「知識庫」的知識主要為描述 WAT 量測出的異常參數與哪些站點異常的關聯性，以及異常參數與異常參數之間因果關係。「推論器」推論出來的結果，類似一個可能問題原因的列表，以可能性大小排列。如果使用的製程整合工程師同意系統的建議，就可依此來做進一步的確認活動。

（一）技術知識之內隱程度

由以上的說明得知，專家系統的結果好壞，在於系統上線後專家們（資深製程整合工程師）如何有效的維護「知識庫」裡的知識品質有絕對的關係，這個部分完全是製程整合工程師的專業知識，其他人都幫不上忙的部分。這是專家系統

的重要優點，使得專家系統的設計不須涉入太多使用者的內隱技術知識。但是要決定「知識庫」的「特定格式」與「推理器」的功能設計，就與資深製程整合工程師的知識結構，與他們想要解決的問題有密切的關聯。所以，WAT Expert System 的系統的開發首要重點，就在於研究出製程整合工程師處理 WAT 問題的知識與推理邏輯的構造。

製程整合工程師已有一份內部標準的指導文件，在技術委員會成員各個廠區之間分享。這份文件提供了「知識庫」的「特定格式」的基礎，而且提供了基本的「知識庫」內容。雖然資深的製程整合工程師自己還有各自獨到的經驗還沒有文件化，但是這些未文件化的經驗法則，可於專家系統上線後，透過系統的使用者介面累積入至專家系統的「知識庫」，無妨於 WAT 專家系統的開發。

但是就「推理器」的設計而言，需要模擬出資深製程整合工程師推理的過程，是需要有跨領域的人才才能妥善的溝通 IT 工程師與製程整合工程師的需求，因為這個部分比較沒有可供參考的文件。（專案的第一階段）

先進製程的進步速度很快，出現的 WAT 問題不盡相同，使用者開始感興趣於，對於如何藉由系統自動化的資料分析，來主動提示製程整合工程師來發現新的知識。在專案的早期階段，專案開發的重點在於如何蓄積已有知識在系統之中，但在專案的後期，使用者已不能滿足於這個功能，希望專案團隊開發可以幫助製程整合工程師創造新的知識。這是非常有挑戰性的需求，技術知識的內隱程度非常高。（專案的第二階段）

（二）技術知識之系統複雜度

此專案所需整合的技術知識領域包含三大領域—製程整合工程、專家系統技術、與資訊科技。專家系統技術雖為資訊技術中「人工智慧」的一種，但是畢竟

不是普通 IT 工程師所熟悉的領域，可視為獨立的技术領域。

以精細度而言，本系統服務的對象為 T 公司當時最先進的 0.13 微米製程產品。當時 T 公司 0.13 微米製程良率提昇面臨很大的挑戰，製程整合技術委員會遂將此案視為提昇競爭力的潛力技術，優先予以資源支持。但是，當時 0.13 微米製程的產品並不多，所以系統驗證的工作就以 0.18 微米製程為主。

這個專案自 2002 年延伸至 2005 年歷時三年，分為第一階段與第二階段，專案階段介紹見於後文。如果以開發所需耗費的人年數來估計，共需要 20.0 人年。

表 4-4-1：2002 WAT Expert System 開發所需耗費的人年數

類別	第一階段人年數	第二階段人年數
製程整合工程部	2.0	2.0
資訊工程部	8.0	6.0
外部顧問	2.0	0.0
總計	12.0	8.0

資料來源：本研究整理

(三) 技術知識之標準化程度

專家系統的開發對於半導體製造業還是一個很新的應用，在之前 T 公司並沒有相關的經驗，業界也沒有如對 APC 系統架構一樣制定相關的標準。T 公司於 2002 年曾同時在不同的工程領域與製造領域，進行數個專家系統的實驗，但多數實驗因為使用者應用領域的知識結構與初始「知識庫」未能達成某種成熟度，

而告暫停。在當時，T 公司引進一家本土新創公司的專家系統軟體，希望作為所有公司內專家系統的發展平台，但是後來發現該軟體架構不能完全符合 T 公司的要求而作罷。因此，T 公司也暫時無法自行定義公司內的標準，本研究判斷為其技術知識之標準化程度為「公司內部產品組件亦無法混用」。

不過 WAT Expert System 本身倒是單一系統程式碼，由獨立的 IT 系統開發課負責開發維護。

（四）技術知識之路徑相依程度

本系統之開發成功，可視為 T 公司獨創技術之發展。之前 T 公司沒有這個技術，產業也很少有可供參考的例子。若從知識整合的角度來看，專案團隊有效的整合人工智慧專家系統知識領域、製程整合知識領域、與資訊科技知識領域，成功創造適用於晶圓代工生產環境的 WAT Expert System，這是一項突破性的技術成就，該專案也獲得 2004 年公司最高榮譽「創新與客戶服務獎」。

三、組織結構特質

同前節，本研究在此不贅述。

四、系統整合軟體的創新平台

（一）創新活動與知識創造過程

WAT Expert System 的專案進行可分為兩個階段，第一階段（2002 年五月

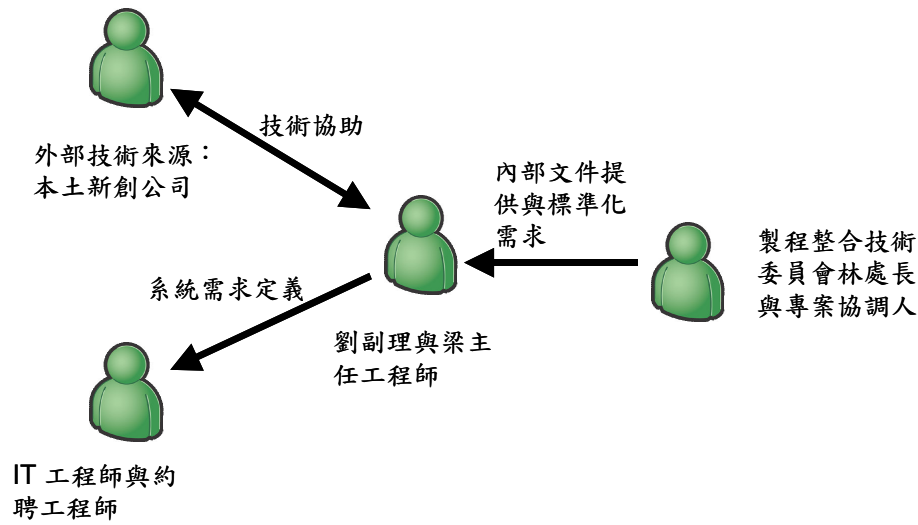
至 2003 年六月)：

第一階段的主要成就為證明 WAT 專家系統的可行性，以及以實際案例證明系統的優秀功能。當時 T 公司與一家本土新創公司合作，引進該公司的專家系統技術以及專家系統軟體系統，希望能加速 T 公司在專家系統應用領域的進步。基本上，這家本土新創公司為 T 公司當時專家系統發展的主要技術來源。該公司有一位專家系統的博士級資深研究員，長期駐留 T 公司專案辦公室，以協助輸出技術和開發系統。

IT 指派一位主任工程師擔任專案經理，負責協調與溝通。另外，在系統技術開發上則有劉副理與梁主任工程師，他們均有與製程整合工程師一起開發系統的多年經驗。這些過去的系統開發經驗，包涵許多為製程整合工程師量身打造的工程資料收集功能、報表功能、與輔助決策功能。因此，他們能夠深入了解製程整合工程師的需求，激發出開發專家系統的濃厚興趣。為了更進一步了解使用者的需求，他們花費時間主持使用者需求定義會議、利用公司 e-Learning 的課程、與透過主動閱讀書籍，自行吸收關於製程整合工程的相關知識。由於系統設計的工作繁重，所以 IT 的程式開發工作延請了兩位的約聘工程師協助，以分攤工作量。

在當時，製程整合技術委員會的林處長對這專案的推展非常支持，指派專人參與專案團隊。所以專案團隊首先就是收集現存的 WAT 內部標準的指導文件。這份文件提供了「知識庫」的「特定格式」的基礎，而且提供了基本的「知識庫」內容。

圖 4-4-1：2002 WAT Expert System 第一階段 的合作模式



資料來源：本研究整理

由於 WAT 工作的特性使然，資深製程整合工程部非常重視過去案件經驗的保存與分享，並且由此形成一些標準化的工作指導原則，以協助工程師順利的進行工作。這些基礎形成 WAT 專家系統的發展的有利條件，所以 WAT Expert System 的第一階段即證明專家系統技術在 WAT 的應用潛力。隨著使用者人數的增加，第一階段系統也遇到一些瓶頸，所以有第二階段的專案。

第二階段（2003 年七月至 2005 年六月）：

專案團隊在第一階段系統上線後發現，原來所採用那家新創公司的專家系統軟體，應付工廠線上 24 小時的運作以及客製化的彈性上有許多的限制，所以在第二階段的專案中，將所有的功能重新實作在 T 公司自己 iEDA 的系統架構上。由於 iEDA 本來就是提供製程整合工程師的其他工程分析的功能，把 WAT Expert System 的功能整合在其上，對於使用者而言會更為方便。於 IT 工程師而言，也會減少工作量並增加生產力。

在專家系統發展的技術上，專案團隊發現有必要修改再增加 WAT Expert System「知識庫」的結構，使得該知識庫能反映異常參數之間的先後因果關係，使「推理器」更能堆論出製程異常的根本原因列表。

同時，專案團隊也了解到第一階段的系統專注於外顯化 WAT 製程整合的知識架構，使工程師已擁有的經驗能夠累積到系統中，專家系統模擬資深的工程師探究製程問題的邏輯過程。但是先進製程的進步速度很快，出現的 WAT 問題不盡相同，使用者開始感興趣於，對於如何藉由系統自動化的資料分析，來主動提示製程整合工程師來發現新的知識。所以技術發展的重點，不僅有傳統專家系統的技術領域，又加上統計資料分析的技術。此時專案團隊尋求的技術來源，與第二階段又有所不同，他們找到了新竹區的某國立大學教授合作，嚐試以多變量分析（Multivariate Analysis）的統計技術來發展。

專案團隊的構成也有所變化，專案經理由林主任工程師擔任。林主任工程師具有多年 EDA 的經驗，她本身又是統計學科的背景，其 A 型管理人才特色，是這個專案經理的不二人選。而劉副理與梁主任工程師還是在這個專案團隊裡，繼續在 WAT Expert System 的開發中扮演主要技術整合的角色。

多變量分析（Multivariate Analysis）是一門複雜而深入的知識，T 公司希望利用它能找出影響 WAT 量測異常與前面無數製程站點之間的顯著性。應用在 WAT 的資料分析的方法（Methodology）可能有許多，專案團隊希望由學校研究團隊負責研究這些方法，再由劉副理與梁主任工程師協助應用在 T 公司的環境中，並求得驗證，並整理歸納吸收入組織中。學校的研究團隊對於多變量分析技術本身的發展比較感興趣，而且研究時間又比較長。相對的，T 公司的專案團隊對能不能即時解決 WAT 的問題比較關心，對多變量分析技術本身的關心程度相對較低。由於多變量分析的嚐試帶有相當的前瞻性，劉副理與梁主任工程師的工作中，很多部分是屬於支援實驗與原型試製與經驗檢討的工作。

（二）團隊組合

很明顯的，這也是一個異質型的團隊組合。剛開始在第一階段的時候，專案經理是一個 I 型技巧管理人才，但是在第二階段時，由林主任工程師擔任，她是一個 A 型技巧管理人才，所以它能與專案內的所有成員溝通無礙。

劉副理與梁主任工程師均具備豐富的經驗，並且有心在技術領域深入了解，都是屬於 T 型技巧者。對應到不同專案階段技術開發的重點，T 公司很彈性的結合外部的資源：第一階段的技術發展在專家系統的基礎，所以與本土新創的公司合作，而第二階段的技術開發重點是多變量分析技術，專案團隊轉而與大學研究團隊合作。

專案的願景則由 IT 的製造資訊技術處陳處長與 T 公司製程整合技術委員會林處長共同指導。WAT 專家系統的系統概念其實隨著時間逐漸成熟，剛開始的時候，T 公司無論 IT 與使用者頗經歷一段相當的摸索。

（三）使用者參與程度

為了確認「知識庫」與「推理器」的設計結果能夠模擬資深製程整合工程師的判斷，資深製程整合工程的代表也必須深入了解系統設計的邏輯。如果用「諮詢模式」的話，無法保證專家系統的有效開發。使用者代表在處長級的支持下，不僅在系統開發階段投入資源引導方向，在系統上線後的使用推廣也不遺餘力。

如本節前段的說明，專家系統的判斷能力由專家輸入在「知識庫」的知識量與品質所決定。系統的成功推廣使用，是專家系統成功的關鍵之一。資深製程整合技術委員會每隔一到兩週會開一次會議檢討各廠區的重大製程案件，WAT Expert System 的結果就會被拿出來參照。如果系統推論的結果不佳，技術委員

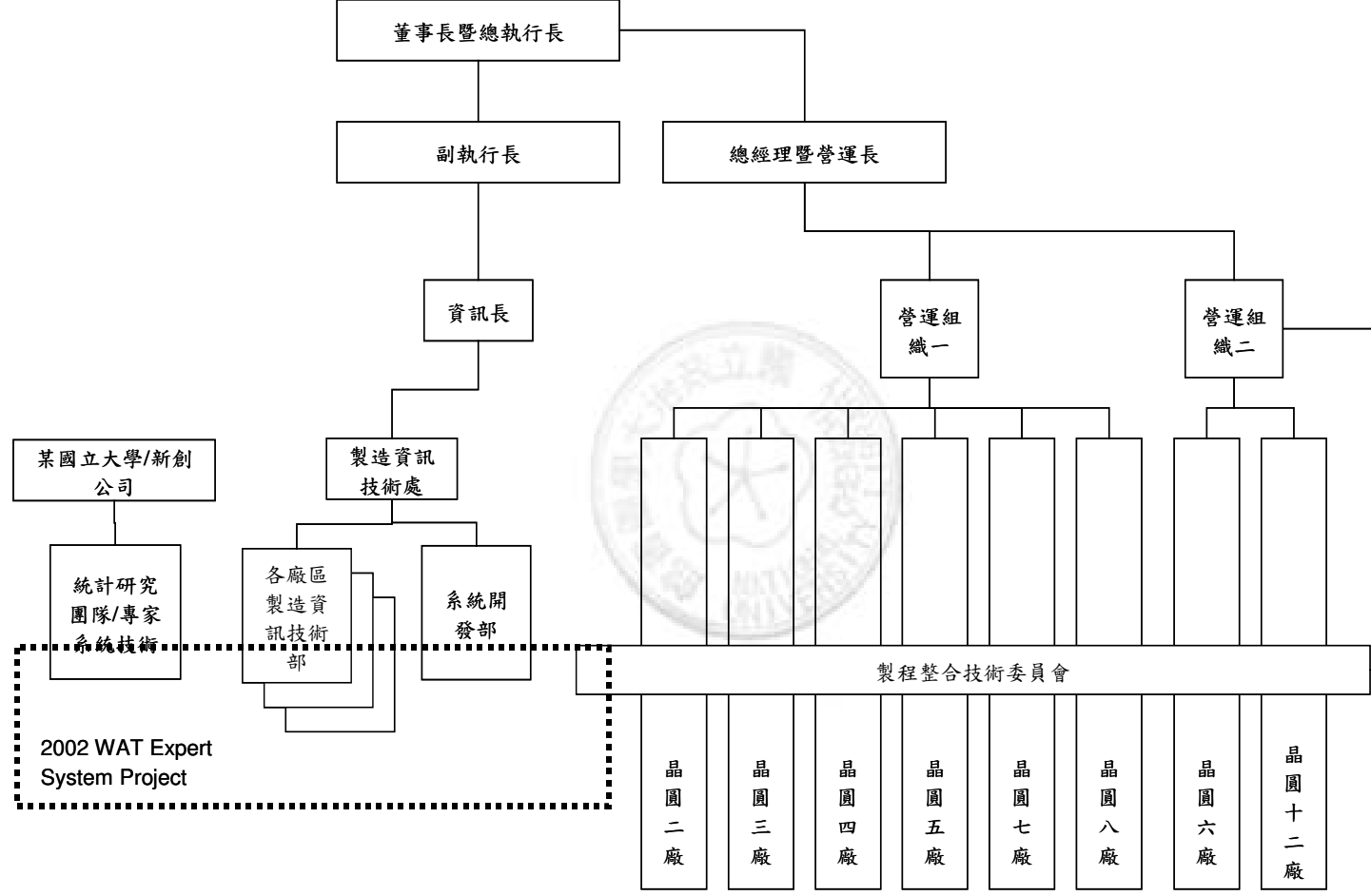
會的代表就會要求將這些經驗輸入在系統中，是得這些經驗能夠使爾後的 WAT 工作更為順利。

(四) 專案組織結構

這個專案借重了製程整合技術委員會，邀請到各個廠區的代表來參與專案團隊。這些製程整合技術委員會代表們基本上各廠區代表負責提供專業意見，與廠區內部溝通。因此，他們可以被視為各廠區的協調者 (liaison person)，與專案經理一起工作。

專案組織特色屬於輕型團隊團隊。IT 專案經理不僅被賦予很大的權限，專案執行期間更投入超過 50% 的時間。專案經理對於 IT 成員的專案的速度、品質與效率有非常高的權限，可以直接指揮所有參與此專案的人員。這個權限來自於 IT 陳處長的全力支援。

圖 4-4-2：2002 WAT Expert System 開發專案結構



資料來源：本研究整理（粗虛線表示專案的範圍）

（五）知識分享機制

WAT Expert System 的內部分享機制，主要為一週一次的固定專案會議。各個專家系統開發專案之間，也有不定期的訓練與分享課程。訓練課程主要為專家系統技術的導入所設計。各個專家系統開發專案之間的合作，由於僅僅只有公用相同的專家系統技術來源，互相之間的分享程度是比較小的，但是專案內的知識分享比較頻繁。

本專案整體時程與第三節 FDC 個案幾乎相同，其專案團隊外的知識分享機制相同，因此不再贅述。

五、小結

前段半導體製造的製程機台非常多、產品非常複雜，製程整合工程師要由最後的症狀來推敲出可能的問題製程機台，是非常困難的工作。製程整合工程師必須具備豐富的半導體製程的知識，參考過去問題解決經驗，找出可能的幾個原因，再與當站的製程工程師合作，逐步實驗驗證才能確認問題的根源。如果初步推敲的方向不對，不免就會耗費無謂的時間與資源。WAT Expert System 的發展正逢其時，而透過外部技術來源，與關鍵技術整合者劉副理與梁主任工程師的努力，專家系統才在 T 公司的生產環境下發揮效益，並且取得後續發展的基礎。

本專案歷經兩個階段，因應所需的技術領域需求不同，而彈性地引入不同的外部技術資源，但都於相同的一組關鍵技術整合者承接，以形成 T 公司自己的獨特技術，是一項特色。本研究觀察到這個專案的兩個前後階段有明顯不同的技術知識特質，因此本研究在個案分析時應恰當考慮這個發現。

第五節 2003 SiView HAS

一、專案背景

2000 年 T 公司與台灣的競爭同業爭相在 12 吋晶圓廠的建置上，邁出了大步。12 吋晶圓廠在製程精密度、生產機台的成本、與大尺寸晶圓的兩倍重量下，對於工廠自動化程度的要求，超出 8 吋晶圓廠自動化甚多。12 吋晶圓廠的問世，同時也帶動幾乎所有半導體製造的上下游廠商，推出 12 吋製造相關的革命性產品，連 MES 系統市場也不例外。

T 公司雖然擁有大批高素質的 IT 人才，但卻不選擇自行開發 MES 系統。主要的評估考量為經濟學上的比較利益—將 T 公司的 IT 資源投在客製化市場上的最佳產品以適合 T 公司的核心能力，會更能發揮效益。再加上當時的種種條件因素，T 公司最後決定了 IBM 公司的 SiView 系統作為 12 吋晶圓廠的 MES 解決方案。

SiView 系統的確是一個先進的資訊系統，擁有許多先進資訊系統的特色。例如，階層式客製化能力；使一般的客製化要求與核心機制的客製化要求，有非常大的授權差別，使得客製化的彈性與安全同時增加。T 公司的 SiView 系統開發課妥善地利用這個機制，增加了許多 T 公司專屬的程式邏輯，以配合 T 公司獨特的製造能力。但隨著 T 公司晶圓十二廠的產能不斷擴大，從原先規劃的 50K 片月產能拉高到 80K 片月產能，某些 SiView 系統設計上的弱點也就被發現與檢討。其中最感困擾的是系統常因一個軟體上的小瑕疵而停止服務，使得生產線停擺，造成重大損失。另外則是電腦硬體的容量需求大大超過於原先的估計，使得 T 公司就算是有錢，也買不到適合容量的電腦。這是一個嚴重的問題，T 公司 IT 必須即時解決。IT 經過了審慎的討論，發現改進 SiView 的系統架構，是唯一可長可久之道。但是 SiView 架構的改進牽扯甚多的原始碼，技術的複雜度很高，

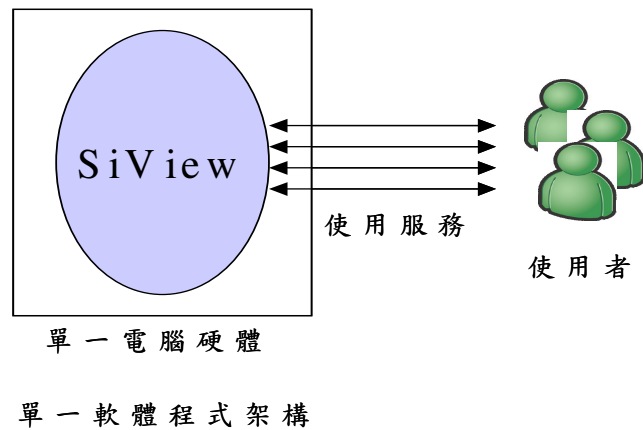
風險性也很高，而且關鍵技術多半掌握在原廠商 IBM 的手中。在 IT 陳處長的全力支持下，IT 於 2003 年成立了策略專案 HAS (High-Availability System)，由 SiView 系統開發部的李部經理與系統開發課詹副理直接負責。

二、技術知識特質

HAS (High-Availability System) 名字中的 High-Availability 是高可用性的意思，也就是指資訊系統可以長時間不間斷服務使用者。HAS 的做法可以有很多種不同的資訊技術實作方式，但本文後則專指 SiView 的 HAS 架構。

原先的系統架構為單一軟體程式架構，與單一的電腦硬體。這個「單一軟體程式架構」(多執行緒)又只能在一個單一電腦硬體上運行，如圖 4-3-1。這個單一軟體程式是 SiView 的核心程式，一旦任何錯誤發生，整個 SiView 就會停頓，所有的使用者皆無法使用 SiView。這就是為什麼系統常會因一個軟體上的小瑕疵而全面停頓。而另外一方面，IBM 的原廠技術團隊又認為 T 公司加入太多客製化的程式碼，使得系統資源的耗用量大增，而別的 SiView 客戶並沒有相類似的問題。電腦硬體的容量需求大大超過於原先的估計，縱有幾億元的預算，也買不到如此大運算量的電腦。

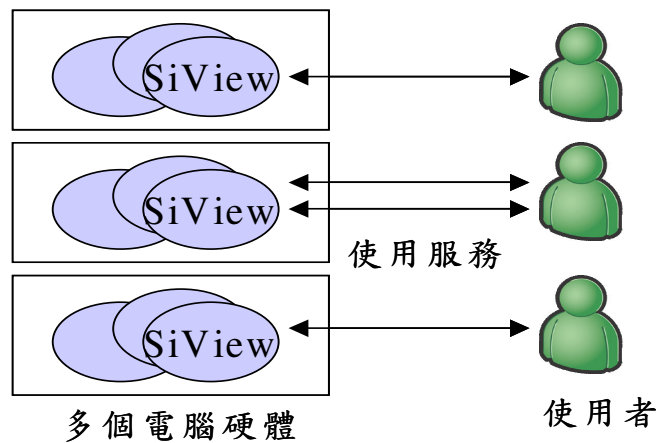
圖 4-5-1：SiView 原先的系統架構簡圖



資料來源：本研究整理

T 公司的 SiView 系統開發課認為客製化的程式碼的程式碼可以做最佳化的努力，求得部分的改善。但是客製化程式碼不可能減少，將來只會愈來愈多。之所以要費自己的功夫去做客製化，而不直接要求 IBM 代為開發，就是因為它攸關 T 公司專屬的知識與獨特的競爭力。因此，綜合 IT 內部的意見後，T 公司 SiView 系統開發課認為新的 HAS 系統架構應為「多重軟體程式架構」，如下圖：

圖 4-5-2：SiView HAS 的系統架構簡圖



多重軟體程式架構

資料來源：本研究整理

HAS 的關鍵在於修改「單一軟體程式架構」(多執行緒) 成為「多重軟體程式架構」(單執行緒)；不再只依靠單一程式運作來提供服務，它們是許多但完全相同的程式同時運作，它們可以在不同的電腦上回應使用者的服務要求。由於程式架構由多執行緒改成單執行緒，不僅每個程式耗用的電腦硬體資源較少，而且一個程式中斷，其他的程式可以照常工作服務使用者，並不會導致全面的服務中斷；Availability (系統可用性) 就會大大提昇。不僅是程式錯誤意外發生的衝擊可以降到最低，一般系統升級的動作也可以在使用者感受不到中斷的情形下，再背後一個一個程式替換掉。

由於每個程式耗用的電腦硬體資源較少，IT 可以準備很多小型電腦來取代單一的一部大型電腦。HAS 架構的優勢就在就算將來產能需求持續增加，IT 也只要繼續採購多一些小型電腦就可滿足，再也不用去煩惱大型電腦了。Scalability (系統延展性) 也就大大提昇。預防電腦硬體故障的備援電腦也可以是一台小型

電腦，長期的 IT 成本也就跟著下降。

(一) 技術知識之內隱程度

由以上的簡單介紹中不難看出，SiView HAS 專案的技術問題純粹是資訊科技技術的問題。SiView HAS 的發展，其主軸就是圍繞在使 IBM 公司的 SiView 原廠開發團隊了解 T 公司的需求，協助改造原來的系統架構。由於 SiView 的複雜度，使得這樣的系統架構改變雖然淺顯易懂，當中卻涉入非常多的資訊技術細節。資訊技術細節很多，但 HAS 的需求仍然可以精確的文件化。

(二) 技術知識之系統複雜度

如前所述，以此專案所需整合的技術知識領域只有資訊科技，相對而言算是單純。SiView 完全以先進物件導向的程式方法與工具設計。如果以系統複雜度來看，SiView 架構修改牽扯到的功能眾多，程式碼更是數以百萬行計。這修改與驗證所需的技術人力，就遠遠超過其他 IT 專案。以開發所需耗費的人年數來估計，共需要 24.0 人年。雖然比起其他的專案而言，HAS 的開發人年數很多，但是 HAS 有很大程度是將原程式碼做重寫與測試的工作，因此「技術知識之系統複雜度」其實並不如人年數成等比例的。

表 4-5-1：2003 SiView HAS 開發所需耗費的人年數

類別	人年數
IBM 資訊工程師	12.0
T 公司資訊工程師	12.0

總計	24.0
----	------

資料來源：本研究整理

（三）技術知識之標準化程度

當初 SiView 的產品架構設計，完全依照當時最先進的半導體工業標準「CIM Framework」—E81（Provisional Specification for CIM Framework Domain Architecture），E96（Guide for CIM Framework Technical Architecture），與 E97（CIM Framework Global Declarations and Abstract Interfaces）。IBM 公司當時也是在 SEMI 組織內積極催生這個標準的會員公司。

談到 SiView HAS 的技術標準化，可由兩個方面來分析——一是 T 公司的 12 吋廠決定採用單一 CIM 系統，也就是 SiView，這是「公司內部標準」；二是 SiView HAS 的技術開發主要由 IBM 公司投入，而 IBM 視其為 SiView 產品功能的附加選項，會隨著該產品的售出而存在其他的客戶。只要該客戶採用 SiView，就有這個功能，所以可視為一種「產生組件的產業標準」。

（四）技術知識之路徑相依程度

雖然本系統之開發成功，大部分的技術細節均由 IBM SiView 開發團隊解決，但是 HAS 系統架構的發想與提議卻來自 T 公司的 SiView 系統開發課，其領導人詹副理就是主要的靈魂人物。詹副理在 T 公司 MES 系統開發與管理領域有接近十年的資深經驗，對於 MES 架構與功能有精闢的見解與眼光。詹副理檢視了國內外重要的 MES 系統架構，再加上自己對 T 公司內三套系統的經驗，尤其是 IBM 在 T 公司晶圓三廠的 POSEIDON 系統，歸納出 HAS 的建議。因此，

本研究認為「技術知識之路徑相依程度」是比較高的。

三、組織結構特質

(一) 組織構型

基本上，公司的組織結構與 2001 年相比並無很大的變化。

(二) 正式化程度

除了專案之外，T 公司的內部的使用者如果需要資訊相關的支援，得透過線上「自動化需求單」來申請。但之前，此類的需求由資訊單位的課級主管，以重要程度與緊急程度評估而分配資源。但是，2003 年之後，終端使用者需求必須由技術委員會的代表先行審查其必要性與一致性，以避免與技術委員會的最佳方案(BKM-Best Known Method)的做法相衝突。

四、系統整合軟體的創新平台

(一) 創新活動與知識創造過程

經由訪談的結果得知 SiView HAS 專案有三個階段。首先，第一階段開始時 T 公司陳處長領導 IT 團隊與 IBM 公司展開一連串的高層對高層的溝通，徹底讓 IBM 了解 T 公司的需求與決心，說服 IBM 提高這個專案的優先順序，使得 T 公司的 SiView 系統發展課能獲得 IBM SiView 原廠技術團隊充分技術奧援。IBM 公司同意並贊同技術需求之後，IBM 技術團隊開始在日本進行系統開發與原型測

試。在原型測試成功後，IBM 將 SiView 的標準功能原始碼轉換到這個新的架構，並進行功能測試成功。

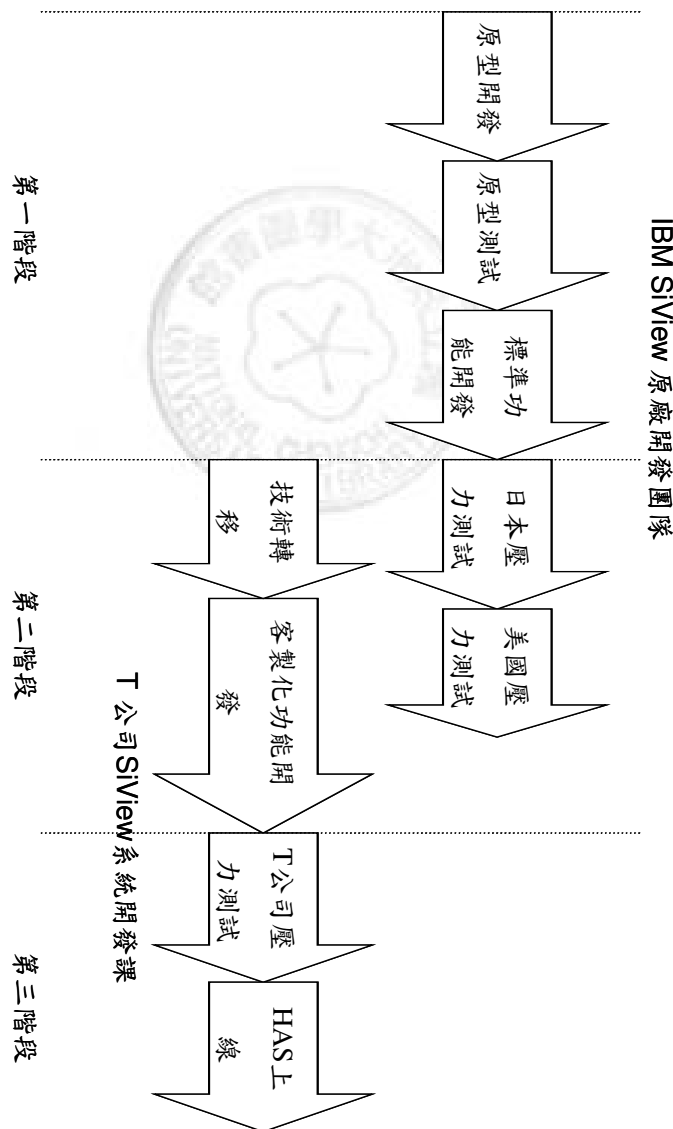
第二階段開始，IBM 公司已累積了許多的經驗，也開發出 HAS 程式開發手冊等等文件，與 T 公司的 IT 團隊進行技術轉移的動作。轉移的方式，主要為技術課程方式進行。IBM 的原廠工程師到台灣，進行為期一到二週的課程教學。以後若需要就技術問題討論，則以電話會議的方式進行。而 T 公司的工程師在上過課後，即可自行將自己的客製化原始碼逐漸的轉換到 HAS 的架構上。

而同時，IBM 開始進行嚴謹地壓力測試 (Stress Tests)，以測試系統的容量極限。壓力測試的目的，在於證明系統具有符合預期的效能，能即時服務大量的生產需求。以 SiView 來說，T 公司給的條件即為：在與 T 公司生產環境相同條件之下，系統必須能夠撐起月產能 80K 片晶圓製造工廠的即時運轉。由於壓力測試必須盡力的模擬生產條件，包括使用者的行為，與電腦硬體設備。IBM 開發團隊為求慎重，除了在日本研發中心測試之外，還特地飛到美國工廠借大型電腦設備做壓力測試。這些測試，都有非常完整的測試報告以取信於 T 公司系統發展課的技術人員。因為此後 T 公司會加入自己的客製化原始碼，如果沒有嚴謹信人的品質證明，雙方非常難以釐清彼此的責任範圍。這對 SiView HAS 專案而言，是極為重要的里程碑—也就是說，在此之前是 IBM 的責任，在此之後為 T 公司的責任。

由於這樣的兩個嚴謹的壓力測試，前後耗費了半年的時間。晶圓十二廠的產能在當時還在不斷的創新高，T 公司系統發展課不僅需要加速客製化程式的進度，同時也得進行一些戰術性的 SiView 系統改良，以盡可能的加大原來系統架構的容量。T 公司稱這些動作為「瘦身計劃」與「強身計劃」，這些動作非常有效的達到當時的目標，更重要的是為 HAS 的開發爭取到不少寶貴的時間，使得 HAS 的開發建築在非常堅實的基礎上。

第三階段，在確認 IBM 的測試結果符合期待後，T 公司系統發展課將 T 公司這些專屬功能加到 HAS 化的 SiView 中，成為一個新的程式。IBM 的壓力測試縱然嚴謹，那只能證明 HAS 的架構正確，IBM 的原始碼品質穩定。但是，加上 T 公司自己的原始碼後，T 公司還得再次進行功能測試與壓力測試。在以上的測試成功之後，才有系統上線的動作。最後，SiView HAS 被證明是空前的成功。這三個階段，本研究報告以圖 4-5-3 示之：

圖 4-5-3：2003 SiView HAS 專案開發的三個階段



資料來源：本研究整理

雖然 T 公司與 IBM 共同開發這個專案，但這兩個團隊並沒有工作在一起，也沒有共同的專案辦公室，甚至沒有共同 Team Up，互動比想像中的疏遠。一方面是拜現代電信與網路科技之賜，另一方面是真的不需要非常頻繁的互動。由於不論 IBM SiView 開發團隊或是 T 公司系統開發課，都擁有非常類似的技術背景，並且沒有其他技術領域的涉入，彼此間也沒有太多「創造性摩擦」的機會。

詹副理說了個小故事，可以很生動的展示 T 公司與 IBM 技術團隊之間互動的情形。T 公司某日突然發現一個客製化程式 Bug，是之前從來沒有出現過。剛開始時，T 公司的工程師透過 e-mail 向 IBM 在日本研發中心的技術窗口反應問題，但是無法得到滿意的答案。同樣的，日本研發中心的工程師也不能理解問題究竟是出在哪裡。在台灣 IBM 新竹辦公室的協助下，T 公司將出問題的程式帶到 IBM 新竹辦公室的網路環境，這個網路環境可以通到 IBM 在日本研發中心。在日本研發中心的工程師，透過網路及時監測程式異常行為與除錯後，終於發現了根本問題之所在，依此發現共同解決這個程式 Bug。在這個小故事中觀察到，雖然 IBM 的責任並不及於 T 公司客製化原始碼，IBM 的工程師仍然設法協助解決問題，這是專案成功的要件之一。如果技術的輸出者，對技術的輸入者的幫助太限於責任界線的話，將有礙技術知識的轉移與創新。

（二）團隊組合

這是一個純粹的資訊系統改造專案，不需要異質型的團隊組合。詹副理與專案經理是程主任工程師都擁有近十年的 CIM 工作經驗，兩者具為典型的 T 型專案管理的人才。他們的意見反應了 T 公司的製造需求，所以也並不須要使用者的

參與。

專案的願景則由 IT 的製造資訊技術處陳處長指導，陳處長在本案中深入介入與廠商的商業談判與技術轉移，是本案能成功的關鍵人物。專案經理是程主任工程師，主要是對 IBM 技術團隊的窗口與追蹤協調內部工程師的工作。專案團隊很自然的組織在科層式的 IT 組織中，專案的靈魂人物為陳處長，李部經理、與詹副理。

（三）使用者參與程度

使用者的參與方式為「交付模式或是隔牆交易」。使用者不具備 SiView HAS 系統開發的相關知識，而且改造後的系統被要求必須對使用者功能沒有任何不良影響。如果以技術轉移的角度來看，T 公司技術人員可視為技術的使用者，而 IBM 技術團隊則變成了技術的提供者。T 公司技術人員與 IBM 技術團隊是開發小組的一員，他們全程參與，來協助知識的開發，對新工具的設計影響頗深。因此，二者之間則近似為「共同開發」。

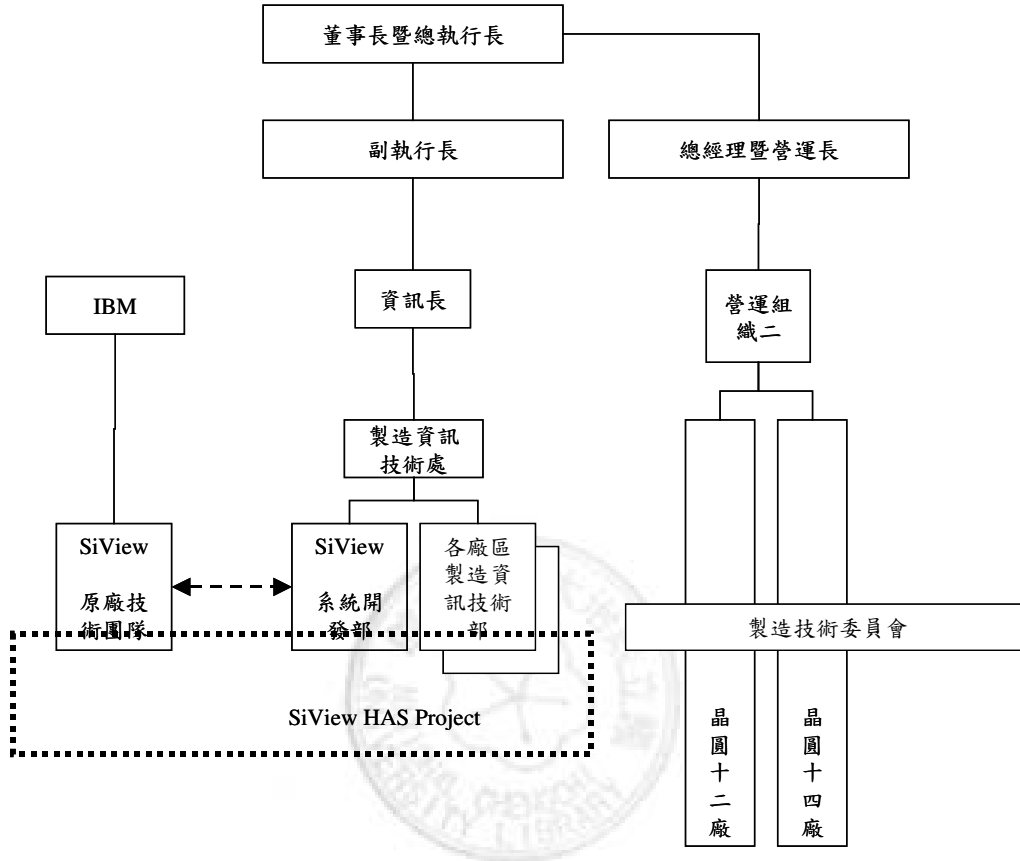
（四）專案組織結構

本研究審視專案組織結構時，其結構比較接近「功能型團隊」的特色。

如同前述，IBM 的開發團隊與 T 公司開發團隊是一種較鬆散的合作，只要是透過專職接觸窗口（Contact Window）來互相溝通。雖然，這兩個團隊是屬不同的公司，以功能區分彼此的專案開發的責任；HAS 專案的特色是專案可以加以切割，IBM 負責 SiView HAS 的架構與標準功能驗證，而 T 公司則負責專屬功能的開發與測試。專案開發的責任隨時間經過從 IBM 移轉到 T 公司—第一階段與第二階段責任在 IBM，第三階段責任在 T 公司。

由於單一專業與單一組織的運作，HAS 專案運作的非常有效率。

圖 4-5-4：T 公司 SiView HAS 開發專案結構



資料來源：本研究整理（粗虛線表示專案的範圍）

（五）知識分享機制

專案團隊內的知識分享機制主要為定期技術課程與會議。由於大部分的技術不需要與其他單位整合，HAS 相關的技術分享幾乎可由該系統開發課內的活動自然支持，譬如說是課會。與 IBM 轉移的方式，主要為技術課程方式進行。IBM 的原廠工程師到台灣，進行為期一到二週的課程教學。以後若需要就技術問題討論，則以電話會議的方式進行。

本專案整體時程與第三節 FDC 個案大致相同，其專案團隊外的知識分享機

制沒有顯著的改變，因此不再贅述。

五、小結

在這個專案，本研究看到 T 公司 SiView 系統開發課努力的突破資訊科技的極限，所做出的努力，並且極為成功。詹副理領導的系統開發課，雖然 T 公司沒有（也不需要）掌握 HAS 技術細節，但是他提出了大膽而突破的技術建議，可以說是深具遠見。而 T 公司資深資訊管理經理人對詹副理的支持，並且親身參與廠商的談判折衝，使 T 公司技術團隊無後顧之憂，是最大成功的基石之一。當然，這中間還有無數工程師日以繼夜的血汗，才能使系統的上線獲得成功。

雖然 IBM 的開發團隊與 T 公司開發團隊是一種較鬆散的合作關係，但是也觀察到共同解決問題時的密切合作，不以責任區域而畫地自限。T 公司 SiView HAS 專案的成功，也是 IBM 公司的成功。不只是公司的營運獲得保障，所有參與得成員都獲得了表揚與升遷的機會，工程師的成就感也獲得滿足。

第六節 2004 CMP Wafer-to-Wafer Control System

一、專案背景

2004年T公司晶圓十二廠與晶圓十四廠進入0.13微米的量產難關，在良率已獲得客戶肯定之後，開始進一步追求現有生產成本與交貨週期的最小化。平坦化技術在0.25微米製程技術的要求之下，原先的塗覆式平坦化技術無法滿足，必須採用化學機械研磨技術（Chemical Mechanical Polishing, CMP）。化學機械研磨在0.13微米以下的半導體製程技術中，成為關鍵的製程。化學機械研磨兼有研磨性物質的機械式研磨，與酸鹼溶液的化學式研磨兩種作用，可以使晶圓表面達到全面性的平坦化，以利後續薄膜沈積之進行。鑒於CMP機台的製程性能不易掌握，製程工程師們開始時以兩階段式—先粗磨，再細磨—的方式作業。但是，這等於是使CMP區的生產力打了對折。廠區對CMP區生產力提昇的要求隨客戶的投片量大增而壓力日益增加，於是CMP的製程工程師開始與IT工程師嘗試引入R2R技術來克服問題。由於這個CMP Run-to-Run Control System的專案要求的是Wafer級的精細度，而且不同於黃光微影製程有重做（Rework）的機會；如果磨過了頭，產品就有報廢的危險。

不僅半導體製造廠了解R2R技術具有解決這個問題的潛力，CMP機台廠商也注意到了這個機會。CMP的製程技術創新主要來自機台廠商，整個CMP機台市場只有少數的廠商存在。由於彼此的技术差距擴大，到了0.13微米時，先進機台市場幾乎由單一廠商所壟斷。這個廠商又陸續併購其他相關的量測機台廠商，使該廠商幾乎掌握了全世界最頂尖的CMP技術與創新。於2004年同時，該機台廠商開始跟T公司合作進行自己CMP Run-to-Run Control System的測試與導入。

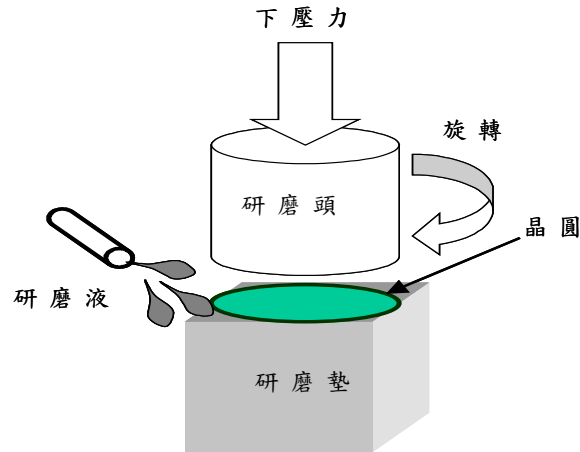
由於策略上的考量，公司管理層決定掌握自主CMP Run-to-Run Control 技

術的開發。以當時的 IT APC 團隊與系統的技術水準，這個專案的技術挑戰，對製程工程師與 IT APC 團隊來說，是非常大的技術挑戰。由於在製造資訊技術處陳處長的支持下，IT 成立了專責的單位負責相關 APC 系統的開發，也就順理成章由該單位的李部經理與 APC 系統開發課盧副理直接負責。

二、技術知識特質

化學機械研磨兼有研磨性物質的機械式研磨，與酸鹼溶液的化學式研磨兩種作用，可以使晶圓表面達到全面性的平坦化，其基本結構如下圖 4-6-1。矽晶圓片置於研磨墊上固定，研磨頭在下壓力作用之下，一邊旋轉一邊往下壓在矽晶圓片上，產生機械研磨作用。同時，研磨液噴灑在研磨的介面空間上，沖走研磨碎片，同時與矽晶圓上的物質產生化學反應，使機械研磨的作用均昀。很明顯的，CMP 技術本身融合了機械工程與化學工程的知識，是半導體製造技術的不連續創新。

圖 4-6-1：CMP 技術簡圖



資料來源：本研究整理

透過圖 4-6-1 可以了解到，為何 CMP 機台的製程特性較難以為 CMP 製程工程師所掌握。晶圓的研磨厚度被兩個主要變數所決定，分別是研磨率與研磨時間，也就是：晶圓的研磨厚度＝研磨率×研磨時間。而研磨率又被下壓力、研磨液、晶圓表面凹凹凸凸的圖案、與研磨頭的累積使用次數等等所決定。也就是：

研磨率＝研磨率（下壓力，研磨液，晶圓表面凹凹凸凸的圖案，研磨頭的累積使用次數）

其中研磨液的選用是非常慎重地，不會任意改變。研磨頭的下壓力是可以固定的。晶圓表面凹凹凸凸的圖案，與產品的電路設計相關。由於研磨頭本身即屬於耗材，隨著累積使用次數的增加自然產生老化的現象。研磨頭的累積使用次數是一個重要的影響參數，對於研磨率有顯著的影響，其影響顯著到上一片晶圓研磨過的量測結果都必須即時回饋到 R2R，重新更正對研磨率的預測值。CMP Run-to-Run Control System 的特色是 Wafer-to-Wafer 的即時回饋控制，也因

此，該系統又稱為 CMP Wafer-to-Wafer Control System。實務上，如果製程工程師選擇以控制研磨時間作為單一製程控制參數的話，研磨率的變數則簡化為：

$$\text{研磨率} = \text{研磨率} (\text{產品}, \text{研磨頭的累積使用次數})$$

如果是整合原件製造廠（單一產品的半導體製造公司），以上的關係是就進一步簡化成：研磨率 = 研磨率（研磨頭的累積使用次數）。但是對於像 T 公司的晶圓代工製造業者而言，生產線的產品生產量既大量又非常多樣，上述關係式也就無法簡化；晶圓代工製造業在製程控制上將遭遇比整合原件製造廠更大的挑戰。這也是 T 公司管理層將 APC（包括 R2R 與 FDC）的技術是為策略技術的原因之一。

不論是晶圓代工製造業者或是整合原件製造廠，如何有效的推測出研磨頭的累積使用次數對研磨率的關係式，將是 CMP Wafer-to-Wafer Control System 開發的關鍵。研磨率關係式並不容易探求。再加上如果預測不準的話而磨的過度，晶圓會有報廢的風險。這些因素都造成 CMP 製程控制複雜而難以控制。

（一）技術知識之內隱程度

由以上的簡單介紹中不難看出，CMP 製程控制的知識有其結構性，但其程度還未能具體到表達成系統開發的需求定義。T 公司在當時的 12 吋晶圓廠只有兩座，兩廠的 CMP 製程控制方式也有所差異，CMP 製程工程師的觀察理解也不盡相同。這些知識不僅對 IT 工程師，甚至對一般的 CMP 製程工程師，都屬於「內隱型的知識」。CMP Wafer-to-Wafer Control System 的發展，其主軸就是圍繞在使這些「內隱型的知識」外顯化，例如推測出研磨率與研磨頭的累積使用次數的複雜關係。（專案第三階段）

反觀專案的初期，專案目標為提供自動化功能，其技術知識的內隱性是較低

的。(專案第一、二階段)

(二) 技術知識之系統複雜度

如前所述，以此專案所需整合的技術知識領域包含三大領域—CMP 製程工程、數學控制、與資訊科技。其中 CMP 製程工程又包含化學工程與機械工程。因此以技術知識領域數而言，可說多與深入。

以精細度而言，本系統服務的對象為 T 公司當時最先進的 0.13 微米製程產品。為克服 CMP 機台研磨率飄移的不穩定性，製程控制的精確度必須達到 Wafer-to-Wafer 的即時回饋控制。這對 IT 系統的設計，是非常大的挑戰。系統被要求得在非常短的時間內，回應大量資料計算的需求。為此，IT 工程師花費非常多的努力校調系統的架構與性能。

如果以開發所需耗費的人年數來估計，共需要 14.5 人年，共分為三個階段，其專案階段介紹見於後文。

表 4-6-1：2004 CMP W2W Control System 開發所需耗費的人年數

類別	第一、二階段 人年數	第三階段人年 數
CMP 製程工程	2.0	1.0
控制工程師 (IT 鐘主任工程師 與 R2R Core Team)	0.0	1.0
資訊工程師	5.0	5.5
總計	7.0	7.5

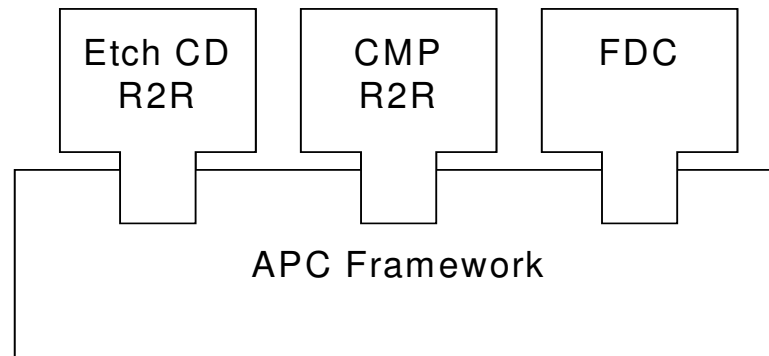
資料來源：本研究整理

（三）技術知識之標準化程度

2004 年，原先被國際半導體標準組織 SEMI 於 1998 年公佈的 APC 架構暫行標準（Provisional Standard）已證明失敗，以回收收場。這等於承認 APC 的軟體架構設計難以標準化，商用 APC 市場的成長也十分緩慢，各大半導體製造公司仍然多以策略性的角度選擇部分或是全部自行發展。但是，商用 APC 的市場空間仍然存在，部分 APC 廠商仍然努力使自己的產品成為標準的一部分。

以 T 公司而言，產業標準沒有成立的情形下，為求系統開發與整合資源的最優化，只好選擇自行建立自己的標準。2001 年 Photo CD R2R 系統開發所採用的「統一核心程式碼」已證明有許多改進空間。在這個基石之上，T 公司 IT 嘗試檢討業界知名軟體廠商的解決方案，來找出適用於 T 公司的最佳工程整合軟體架構，其範圍不只含括 APC 系統，也包括所有現存或是即將出現的工程應用系統。經過了嚴格的比較評選，發現當時所有的解決方案都無法在成本效益上符合 T 公司所需。IT APC 系統開發課決定先專以 APC 為目標，以現有 T 公司的現用的軟體通訊架構為底，定義自己的標準並且完成實作—「Inhouse APC Framework」。IT APC 系統開發課希望透過這個內部標準，使得將來的 APC 系統（含 R2R 與 FDC）開發與維護能夠更有效率。如圖 4-6-2：

圖 4-6-2：「Inhouse APC Framework」概念圖



資料來源：本研究整理

由於 T 公司的 12 吋廠決定採用單一 CIM 系統，也就是 SiView，所以如果另以 IT 系統整合的角度來看，這個系統只需要與 SiView 整合。雖然「Inhouse APC Framework」被設計成可以標準介面整合 T 公司內不同的 MES，但整合測試的複雜度還是降低不少。SiView 的選用，也可視為一種標準。

歸納以上的描述，本研究視 CMP Wafer-to-Wafer Control System 具有「公司內部標準」。

（四）技術知識之路徑相依程度

本系統之開發成功，可視為 T 公司獨創技術之發展。若從知識整合的角度來看，專案團隊有效的整合控制工程知識領域、CMP 製程知識領域、與資訊科技知識領域，成功創造適用於晶圓代工生產環境的 Wafer-to-Wafer Control System，這是一項突破性的技術成就。以 IT 系統架構而言，「Inhouse APC Framework」沿襲自前一個 R2R 專案，資訊技術在此的突破性反而較少。主要的技術突破，在於開發出 CMP 製程控制的核心控制邏輯程式。

三、組織結構特質

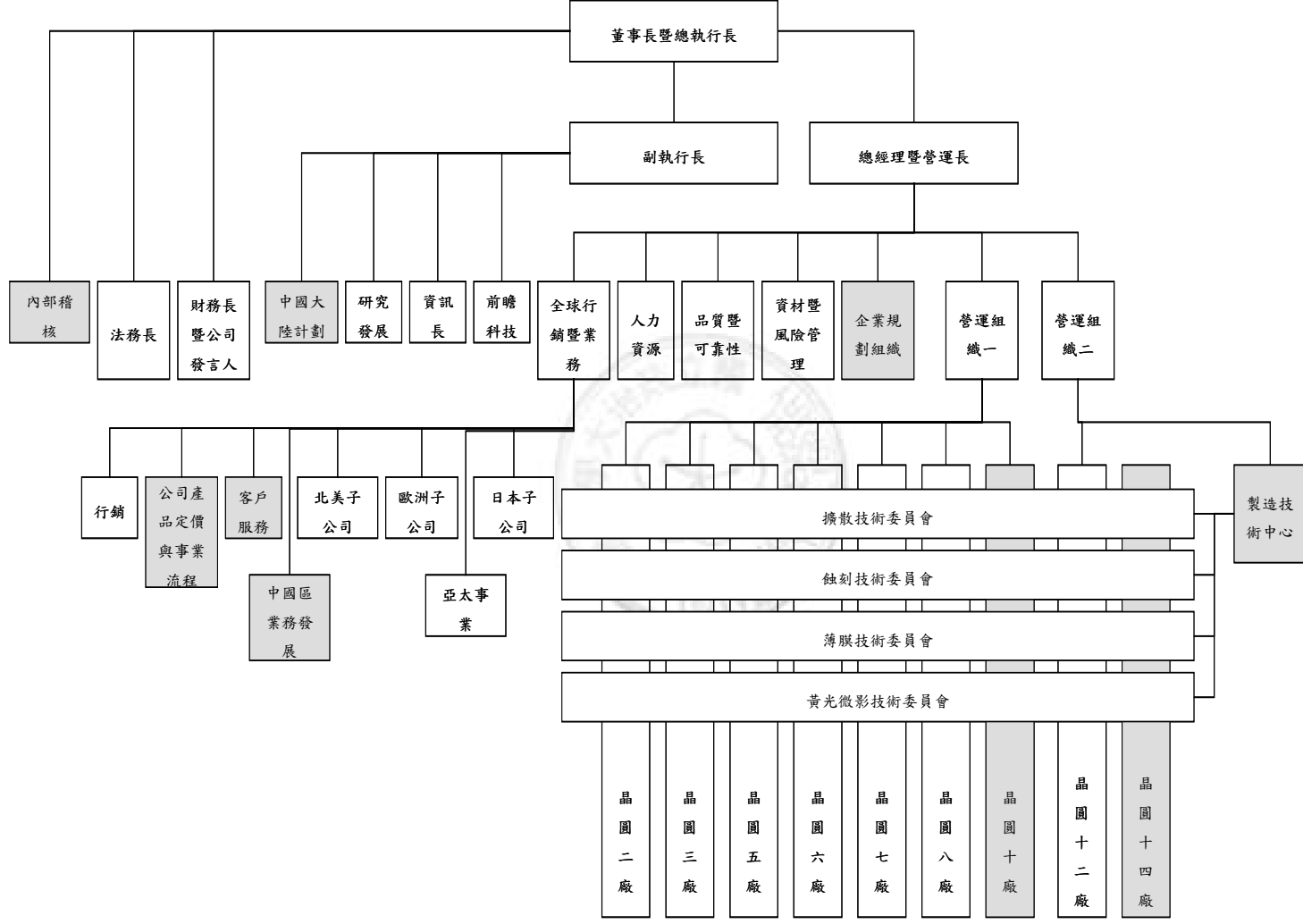
(一) 組織構型

企業組織只有微幅的修改，仍然是科層式機械式組織。主要的增改為成立「中國大陸計劃」，增加對於中國大陸區的投資（晶圓十廠）以及業務。在行銷業務方面，為對抗 ASP（平均銷售單價）的下滑以其強化客戶服務活動，而分別成立「公司產品定價與事業流程」與「客戶服務」。在先進製程產能增加方面，則增加台南的晶圓十四廠。為改善企業內部流程效率，與流程改造，則增設「企業規劃組織」。「內部稽核」則改由董事長暨總執行長直接負責。公司組織如下圖

4-6-3：



圖 4-6-3：T 公司 2004 組織結構



資料來源：修改自 T 公司 2004 年報（灰底框為新增改的組織）

(二) 正式化程度

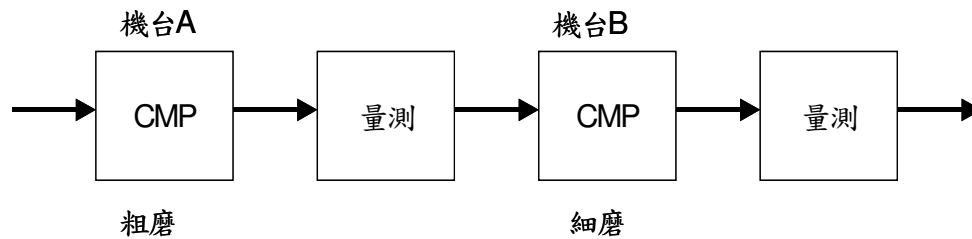
製造資訊技術處對於專案管理的流程定義，除了前節所述的專案初始 (PI-Project Initialization)、使用者需求定義 (User Requirement Definition)、系統分析設計、以及專案結束 (Project Closing) 活動之外，對於系統測試、系統上線與推廣等活動也定義了管制措施。系統測試的臭蟲數目被量化統計，成為專案開發品質的度量指標。製造資訊技術處更成立了一個「專案品質課」，該課不歸屬於任何部門，直接向處長報告，使得其品質稽查結果在組織設計上是超然公正的。

四、系統整合軟體的創新平台

(一) 創新活動與知識創造過程

T 公司的 CMP 製程控制系統技術的發展，歷經了三個階段，逐步累積經驗知識而成熟。在第一階段 (2002 年)，也是最早時期，T 公司製程工程師做過多次實驗與努力之後，設計出一個低風險兩階段式的 CMP 研磨作業—先粗磨，再細磨—的方式作業，如圖 4-6-4。這樣的作業方式等於是使 CMP 區的生產力打了對折，而且生產線的作業也變的複雜。因為在這個時期，產品生產量並不多，並且產品良率並不穩定。此時追求的是如何使每一批貨都有令人滿意的品質，生產力不是最高的考量。

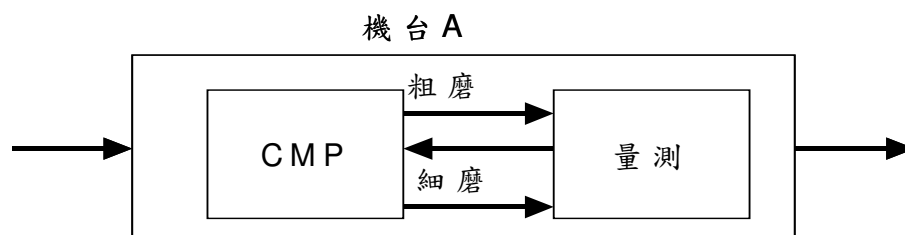
圖 4-6-4：低風險兩階段式的 CMP 研磨作業—先粗磨再細磨



資料來源：本研究整理（箭頭表示貨流）

在第二階段（2003年），在晶圓十二廠的量率獲得客戶的肯定後，隨之而來的是大量生產的壓力。不僅廠區對 CMP 區生產力提昇的要求壓力日增，製造部作業人員與 CMP 工程部的工程師也對如此複雜的作業不堪負荷。於是，他們求助於 IT 單位的協助，使繁複的作業自動化，以省卻人力的耗費與避免失誤。當時，機台廠商有鑒於 CMP 量測技術是關鍵的技術，已內建量測模組於 CMP 機台，IT 工程師與 CMP 製程工程師於是決定妥善運用這個內建量測模組，使粗磨與細磨的作業在一個機台內完成，以及讓重做（Rework）作業自動化。製造部作業人員與 CMP 製程工程師得免於複雜的手動作業，同時提昇了部分 CMP 區的生產力。CMP 區的生產力在此時還無法大力提昇，原因是晶圓仍然在機台內往返進行先粗磨再細磨的動作。在 IT 同仁與製程工程師的努力下，第二階段的 CMP 作業模式變更為如圖 4-6-5 所示：

圖 4-6-5：機台內自動化—先粗磨再細磨



資料來源：本研究整理（箭頭表示貨流）

雖然在此一階段，CMP 工程部還未要求 R2R 技術，但 IT 部門的 APC 系統開發課經過了謹慎的評估，認為為 CMP 先進製程控制需求開發 R2R 技術已勢不可免，需求出現只是時間早晚的問題。鑒於這個技術如前所述有其高挑戰性，必得早日投入研究，使之需求來臨時正可即時可用。所以，IT 工程師決定捨棄在第一階段開發的程式架構，改用全新開發的「Inhouse APC Framework」。

「Inhouse APC Framework」是 T 公司 APC 系統開發課所創造新一代的 APC 程式整合平台，包涵為 R2R 與 FDC 系統開發的標準程式架構與普遍功能支援。

「Inhouse APC Framework」為 APC 系統開發課之前一專案「Etch CD Run-to-Run Control System」團隊所開發並驗證成功，功能強大。並且同時，IT 鐘主任工程師投入 CMP Wafer-to-Wafer Control 技術核心的研究開發。鐘主任工程師曾在 T 公司製造部工作三年，又兼具 IT 職能，是不可多得的 A 型人才。

鐘主任工程師於此專案更努力跨入 R2R「控制技術」的知識領域，迎接 CMP R2R 的挑戰。不僅鐘主任工程師，專案經理陳主任工程師，「Inhouse APC Framework」沈資深工程師，與盧副理，均認為這個專案是高風險高報酬的事業。雖然 R2R 技術的開發有可能面臨失敗的風險，但是這樣的技術冒險被認為是一種「智慧型的冒險」。在 CMP R2R 原型試製之時，遭遇到一些技術瓶頸，本來想與某一國立大學的教授合作來加快技術突破，但是專案決策者以考量減少外部技術夥伴而作罷，幸而這些技術難關都在後來一一被克服。「這個專案難度很高，讓人有很多學習，更是所有製程工程師的夢想！」一位 CMP R2R 專案組織的成員，一語道出逐夢成功的心情。感謝有這樣的冒險行為，「控制工程師」的工作才有人搶得做。CMP 工程部陳副理認為，「自己的夢想一定要實現，因為這是很價值的東西。」是團隊最大的驅動力量。

第三階段（2004 年），開始於鐘主任工程師開始嘗試將 R2R 原型模擬的結

果與晶圓十二廠 CMP 陳副理報告。系統核心邏輯的原型實驗在「控制工程師」鐘主任工程師個人電腦模擬，以及在張資深製程工程師的協助下在 Fab 中進行。經過兩三次的反覆檢討後，陳副理展現了對 IT R2R 的濃厚興趣，同時廠區對 CMP 區生產力提昇的要求也出現空前壓力。廠長的關切使 CMP R2R 的需求浮現而且強勁，IT 鴨子滑水式 CMP R2R 技術研究至此告一段落，取而代之的是正式的專案團隊與資源，以及緊縮的專案時程。

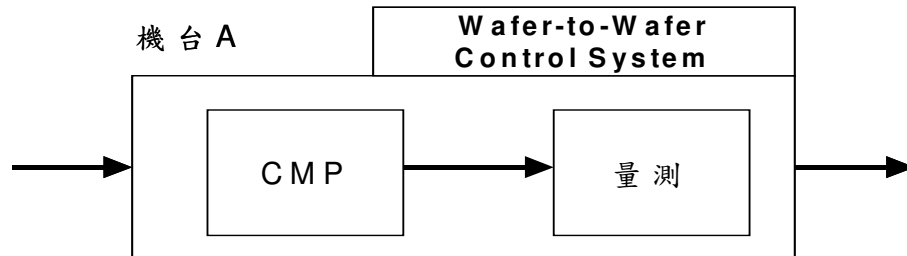
鐘主任工程師的 CMP R2R 技術研究發展獲得「R2R core team」的技術支援。「R2R Core Team」由副處長牟博士所領導的一個虛擬團隊，目的在於跨組織整合 T 公司內 R2R 開發的研發活動與人才培養。晶圓十二廠 CMP 陳副理也指定一位張資深製程工程師直接參與 CMP Wafer-to-Wafer Control System 的開發，貢獻製程知識，與即時支援所有線上測試。而工程系統平台發展部陳部經理也指派一位具 CMP 資深經驗的宋主任工程師，負責 T 公司 CMP 使用者的總協調工作，工作重點為統合晶圓十二廠與晶圓十四廠兩廠區的系統需求，以及以策略角度定位自我 CMP R2R 技術開發與機台廠商 CMP R2R 技術。

由於廠區對此一技術的需求殷切，鐘主任工程師，宋主任工程師，與張資深製程工程師幾乎是趕工不分假日，測試不分日夜。同樣的，IT 陳主任工程師領導的其他專案團隊成員均是如此賣力。這個專案的困難，除了難在技術創新的高難度外，也難在這是個橫跨三個部門的專案組織，必須在幾個月內讓系統上線，出貨成功，面臨溝通協調的挑戰非常大。副處長牟博士同時間領導三個 R2R 技術開發專案，「他們的成果最快出來，也對其他專案產生鼓舞作用。」最後，這個系統的成功是成就斐然。如果沒有這個系統，T 公司可能得多買一倍的機台，或者受制於機台廠商的壟斷。牟博士他觀察，這個團隊最特殊之處是大家都很清楚共同的目標，自發性很強，合作氣氛非常好，「每個人的專長加起來產生相乘的效果，看不到任何一個人對目標不清楚或不認同，這是非常難得的。」

CMP Wafer-to-Wafer Control System 上線後，CMP 區的作業方式如下圖

4-6-6：

圖 4-6-6：CMP Wafer-to-Wafer Control 作業模式



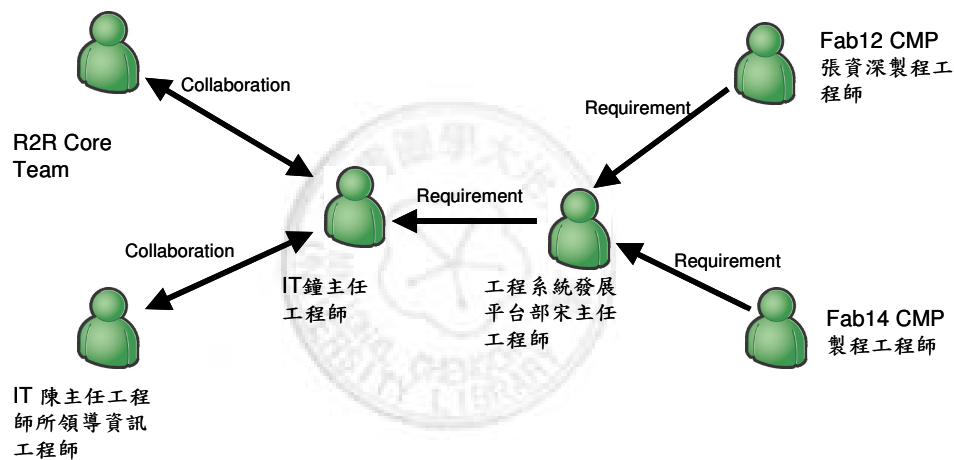
資料來源：本研究整理（箭頭表示貨流）

T 公司經驗了數個 R2R 專案的開發，逐漸認知到 R2R 跨領域知識整合的要求遠勝過一般的資訊系統開發。不僅參與的 IT 工程師必須對該製程工程領域必須有深入認識，製程工程師也必須具備 CIM 知識。鍾主任工程師說：「我的老闆虧我變成製程工程師，他（CMP 張資深工程師）的老闆虧他變自動系統工程師。」CMP 張資深工程師則強調「製程工程師一定要改造自己的想法，走出工廠！」他說，隨著製程的進步，人力一定不夠，唯一的辦法是敞開心胸引進先進的控制方法。為了這個專案，「我去找自動控制的書來唸，很受用，在和負責設計的夥伴溝通時，可以用他們的語言，提出我們的想法，軌道才接得起來。」鍾主任工程師對於跨出本位深有同感。「使用者要走出 FAB，我們則要走出電腦。」他特別去上了製程的課和唸電子學，實際去線上看如何 run，「這樣才能知道生產線上的需求，我們不應該只會寫程式，而是要建立 know-how 在裡面。」但這還不夠，他們還得具備控制工程與統計的相關知識，才能設計 R2R 系統。由於被要求的控制工程與統計科學知識頗為深入，難以要求成為一般的工程師技巧，因此實務上，企業必須定義特別的工作角色與組織，才能吸收、創造、積蓄、與擴散研發能量。盧副理稱這特別的工作角色為「控制工程師」，IT 鍾主任工程師即一

個控制工程師，而當時 T 公司所成立的特別工作組織即為由副處長牟博士所領導的一個虛擬團隊「R2R Core Team」。團隊成員的溝通很有效率，合作氣氛愉快，碰到問題常用三方通話或多方通話，以一個螢幕把問題解決掉，大家不必跑來跑去開會。T 公司非常鼓勵使用 Microsoft Windows 內建的 NetMeeting，作為克服物理位置的障礙。

最後 CMP R2R 知識由 IT 鐘主任工程師整合，IT 系統設計由陳主任工程師整合，其方式如下圖 4-6-7：

圖 4-6-7：2004 CMP W2W Control System 開發知識整合結構



資料來源：本研究整理

(二) 團隊組合

很明顯的，這也是一個異質型的團隊組合。有 T 型專案管理的人才（IT 的陳主任工程師）、IT 的技術人才、製程工程技術人才、及控制工程人才。團隊中有工程系統平台發展部宋主任工程師，IT 專案經理陳主任工程師，與 A 型的「控制工程師」鍾主任工程師都能用多種語言跟團隊成員溝通。專案的願景則由 IT 的製造資訊技術處陳處長與「製造技術中心」郭資深處長共同指導。

其中，IT 專案經理陳主任工程師有八年以上 R2R 相關系統開發經驗，以及嫻熟 IT 內部複雜的協調溝通，是領導專案成功的推手之一。「這對我們是很大的技術挑戰！」IT 盧副理指出，2004 年長達半年的時間，這個專案耗掉 APC 小組八〇%的資源，「但我們相信這個系統對於產能一定會有很大的貢獻，大家都拼了！」他指出，IT 是內部使用者的夥伴，雖然常常扮演救火隊的角色，但在這個案子上，IT 的角色很主動積極，每個階段都有精英全力投入。他認為能夠成功有兩個重要關鍵，其一是「這是策略專案，共識程度拉的夠高，得到廠、處長級的支持，取得足夠的支持與資源。」其二是，服膺目標導向，設定目標、認同目標後的執行力很強，為達成目標，每個人都會主動加強不足之處，不讓棒子在自己手上滑落。

（三）使用者參與程度

毫無疑問地，使用者 CMP 製程工程師的參與方式為「共同開發」。因為本研究觀察到這個系統的知識超越所有原先參予專案的人所擁有的知識，開發者與使用者不確定其系統會和軟體系統產生何種互動，成果究竟如何。使用者一開始不確定如何重新設計工作，才能完全發揮新科技系統的潛力。

在這個專案中，「製造技術中心」的「工程系統平台發展部」與「擴散技術委員會」發揮了整合各廠使用者需求的角色。在策略上，T 公司仍然在同步測試與導入某機台廠商的 CMP Wafer-to-Wafer Control 系統。透過他們的努力，跨廠區的使用者與 IT 不至於造成內部訊息的混亂。

（四）專案組織結構

與 2001 Photo CD R2R System 專案相較，其專案組織結構非常類似，同

樣是呈現出介於「輕型團隊」與「重型團隊」之間的特色。所不同者，主要是在「製造技術中心」與虛擬組織「R2R Core Team」的成立。

在組織上，對於這個個案影響最大的是「製造技術中心」的貢獻。「製造技術中心」基本上是将各個原先的技術委員會加以形式化，以固定組織加以運作。他的下屬單位除了各個原先的技術委員會對應的部門之外，尚包括新成立兩個與 IT 需求密切相關的部門—「工程系統平台發展部」與「製造系統平台發展部」。T 公司發現，為公司內的改善活動，使用者常會要求 IT 部門開發新的系統或是修改原先的系統。如果 IT 系統的改善無法符合公司的需要，不僅造成公司資源的大量浪費，嚴重者則戕害公司長期的競爭力。所以，工程系統平台發展部與製造系統平台發展部的主要功能為從使用者需求端來作最佳化。它們的主要活動為：

1. 規劃審查重點 IT 專案與分配資源
2. 整合各廠區的使用者需求與順序
3. 定期與 IT 決策層共同檢討重點專案的進度
4. 領導策略專案
5. 與 IT 共同研發相關的技術

這兩個部門的組成成員都主要來自於使用者部門，具有多年相關的經驗。他們跟使用者不會發生溝通不良的現象，再加上其主要職責即為系統開發，因此是使用者與 IT 部門間的溝通橋樑。

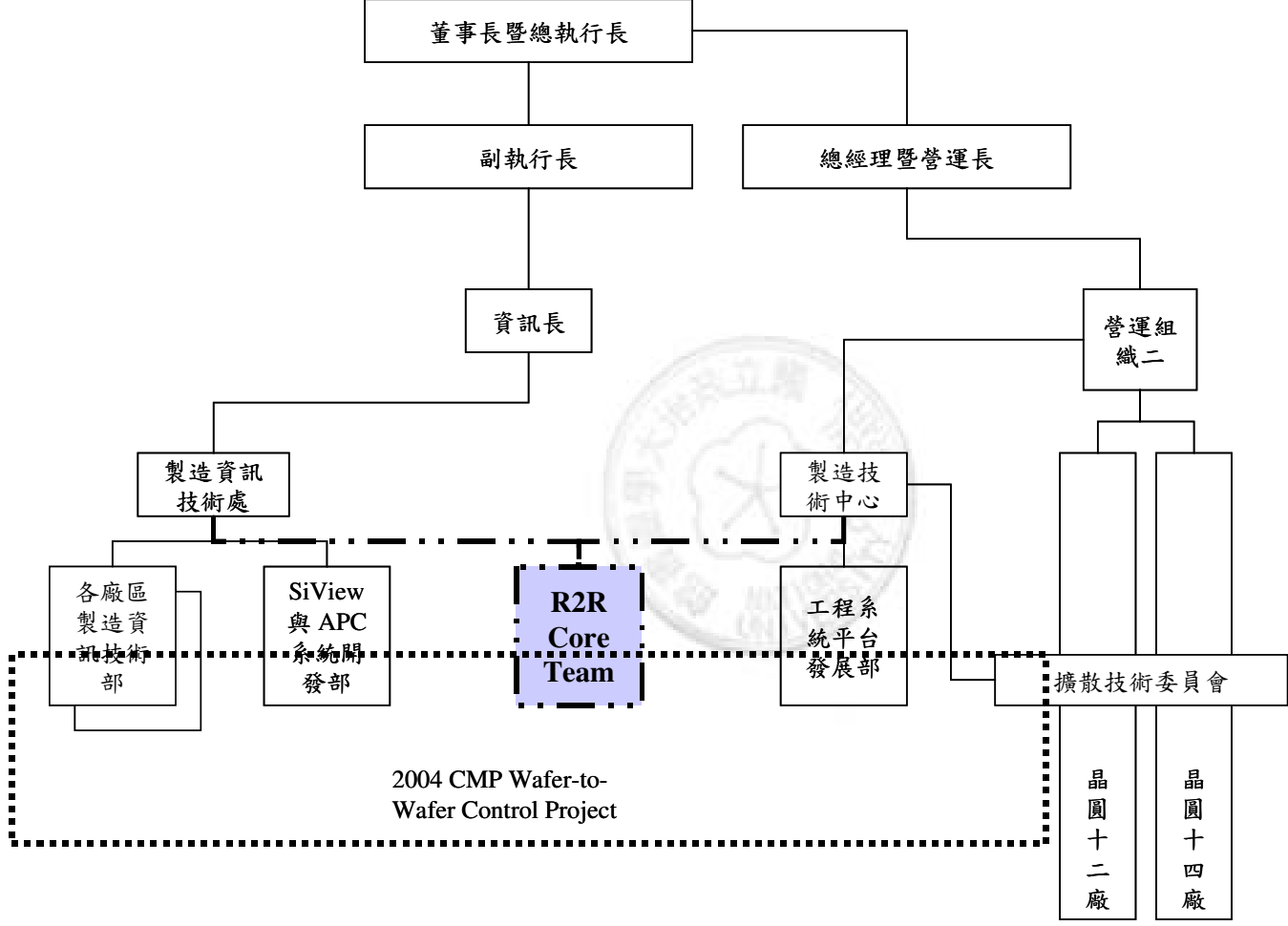
本研究對於這個虛擬組織「R2R Core Team」比較感到興趣，以下則是比較細部的討論。首先，它既然不是正式的組織結構，也不是歸屬於某一臨時性的專案組織。它的領導人是副處長級，可見公司管理階層對它的重視。它的成員有來自「製造技術中心」，也有來自 IT「製造資訊技術處」。牟副處長既對「製造

技術中心」的郭資深處長負責，也對「製造資訊技術處」陳處長負責。而其成員既對牟副處長負責，也對原本的長官負責。這樣子的結構，必須時時同步工作重點順序以避免資源衝突，並且兩個處的處長也必須彼此擁有絕佳的默契。這對「R2R Core Team」的領導者而言，不是輕鬆的工作。幸而牟副處長具有非常前的領導優勢，一來他在國外大學有非常資深的控制數學相關教學經驗，能在技術上領導眾人，二來他謙沖的個性與絕佳溝通本領，使得「R2R Core Team」的運作順利成功。

由於這樣的虛擬組織創立的目的為累積與培養 R2R 的控制人才，反而因為虛擬組織能發揮功能的條件很高，本研究認為虛擬組織不易長久的維持穩定性。因此，推測應是 T 公司管理階層在成立正式功能組織之前的過度組織形式。



圖 4-6-8：2004 CMP W2W Control System 開發專案結構



資料來源：本研究整理（粗虛線表示專案的範圍，間隔虛線為虛擬組織「R2R Core Team」）

(五) 知識分享機制

專案團隊內的知識分享機制主要為利用每週一次的 IT R2R 會議。這個會議由 APC 系統開發課的盧副理主持，陳主任工程師常任執行秘書，所有 R2R 專案的專案經理均參加會議。由於盧副理在 2002 年到 2005 年為 APC 整體專案的總專案經理與 IT 工程技術委員會的執行秘書，各 R2R 專案經理在策略上與技術標準上必須取得他的協調。同時，這個會議也是一個絕佳的知識分享平台，各個 R2R 專案的專案經理都會定期報告，其負責的 R2R 專案進度與技術進展。若有無法取得一致之處，也委由盧副理於每月的 APC 專案會議，向陳處長與各部經理報告。除此之外，所有的 APC 技術文件與專案進度文件，有一個共同的檔案伺服器儲存。當然這個檔案伺服器存取權限是受限制的。虛擬組織「R2R Core Team」也有固定的週會，專門討論與分享 R2R 核心技術的發展。

以全公司的知識分享機制而言，除了生產會議記錄、Document Center（檔案中心）、技術委員會、知識管理系統（e-KM）等等 2004 年已存在的知識分享機制之外，要特別一提的是 T 公司積極參與國際性的研討會。

在 T 公司的積極努力下，台灣半導體產業協會於 2003 年底在新竹成功主辦第一屆亞洲半導體先進製程暨設備控制 (APC) 研討會。這類的研討會基本上是典型的知識市集，它的經費來源主要來自於所有參加者的報名費以及贊助廠商。知識的分享者，可以獲得其他參加者的知識分享之外，還可透過面對面的交談，獲得其他更有價值的第一手資訊。

亞洲半導體先進製程暨設備控制 (APC) 研討會已成為國際間製程暨設備控制專家報告最新發展及經驗分享的重要會議之一，構成與北美區及歐洲區鼎足三立的狀態。

五、小結

CMP Wafer-to-Wafer Control System 在 T 公司面臨 0.13 微米以下製程量產的壓力的背景下誕生，在 IT 即時早先一步投資在 R2R 核心程式的開發之後，以及 IT 與廠區辛苦努力下得到了出色的成果。這個專案比起同期的其他專案出色，關鍵在於大家都很清楚早期紮實的 R2R 研發投入，共同的目標，自發性很強，合作氣氛非常好，「每個人的專長加起來產生相乘的效果，看不到任何一個人對目標不清楚或不認同，這是非常難得的。」副處長牟博士如此說。

IT R2R 系統架構走向了標準化，大幅的縮短開發的時間與精力，是 IT APC 系統開發課與其他 IT 部門開發課的另一成就。

本研究並且看到了「R2R Core Team」這個虛擬組織的出現，討論它的執行的困難與推測它未來應走向一般功能性的組織。同時期的其他 T 公司跨領域專案開發階具有相類似的特色。本研究觀察到這個專案的三個階段之間，第一、二專案階段與第三專案階段有明顯不同的技術知識特質，因此本研究在個案分析時應恰當考慮這個發現。