

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫名稱：

多腔式半導體製程設備之物件導向即時模擬控制系統

計畫編號：NSC 89-2212-E-009-046-

執行期限：88 年 8 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

主持人：陳傑 交通大學機械系 助理教授

一、中文摘要

目前國內半導體新廠投資已朝向 12 吋晶圓的發展。此種對大面積基材（12 吋晶圓及 LCD 液晶面板）處理的需求，傳統的人工搬送方式已無法滿足，近年來國內外各個半導體設備製造大廠均朝向將數個有相關性，但不相同的製程機台聚集一起成為一個生產設備，這種將數種製程機台集中在一起的半導體製程設備被稱之為多腔式製程設備（Cluster Tool）[1]。

從自動控制的角度來看，一個多腔式的半導體製程設備包含了下列的控制系統：1.程序控制 2.晶元排序控制 3.動作控制。設計的困難在於描述系統功能和系統動態的需求，以及對於這種經由電腦控制的複雜系統之持續發展。

軟體設計部分我們採用物件導向[2][3]的方式、並以 PC-Based 為環境、用設計即時控制軟體的方式來針對多腔式半導體製程設備，設計一個分散式、階層性的模型架構以及設計一個能夠協調製程程序控制上所有需求、排序及動作控制的監管控制器。設計及規劃方式包括 1.系統需求的收集 2.系統需求的分析 3.軟體的設計 4.軟體程式碼的撰寫 5.軟體程式碼的測試，我們使用統一化模式語言[5][6]（Unified Modeling Language，簡稱 UML）來做為需求分析及設計程式的工具。

關於本計畫設計所實現之半導體設備的實體平台，我們藉由多腔式半導體設備控制器的規劃以及傳輸模組控制器的設計，將多腔式半導體設備中不同廠商提供之硬體元件作有效的整合。一方面減少半導體設備製造商之間溝通的問題，一方面增加了系統的可擴充性，解決了經由電腦控制的複雜系統持續發展的困難，也增加多腔式半導體設備與設備之間的相容性。

關鍵詞：

多腔式半導體製程設備；即時控制軟體；物件導向；統一化模式語言

ABSTRACT

Research and development activities in the area of advanced semiconductor manufacturing equipment have increased rapidly in the past few years and have attracted more and more attention among local industries as well as research institutes. Among various kinds of semiconductor manufacturing equipment, cluster-tool type semiconductor manufacturing equipment has accounted for a significant percentage of equipment installation bases and market shares since its first debut in the late 1980's. One of the major advantages for a cluster tool compared with a stand-alone system is that cluster tools have the capability of performing several different processing steps to a wafer in the same vacuum environment. In recent years, there has been an upsurge in the use of cluster tools. Some of the important factors that have motivated this trend are increased economic

concerns on yield and throughput, reduced contamination during wafer processing, better clean room floor space utilization, and less human intervention.

From a control perspective, a cluster-tool type semiconductor manufacturing equipment includes the following control subsystems: 1. Process Control. 2. Wafer Sequencing. 3. Motion Control.

In the project, we have designed an object model, which describes the control system hierarchy for a cluster-tool type semiconductor manufacturing equipment. Also, a supervisory controller is designed to coordinate all the required process control, sequencing, and motion control actions for a cluster-tool type semiconductor manufacturing equipment. Furthermore, real-time control software is implemented based on the designed object model of control systems for cluster tools.

Keyword : Cluster tools, real-time software, object-orient, Unified Modeling Language (UML)

二、緣由與目的

目前國內半導體新廠投資已朝向 12 吋晶圓的發展。對大面積基材 (12 吋晶圓及 LCD 液晶面板) 處理的需求, 傳統的人工搬送方式已無法滿足, 為了減少人工操作以提高潔淨度、降低生產時間、提高生產量及降低擁有成本的考慮下, 近年來國內外各個半導體設備製造大廠均朝向將數個有相關性, 但不相同的製程機台聚集一起成為一個生產設備, 這種將數種製程機台集中在一起的半導體製成設備被稱之為多腔式製成設備 (Cluster Tool) [1]。

從自動控制的角度來看, 一個多腔式的半導體製程設備包含了下列的控制系統: 1. 程序控制 2. 晶元排序控制 3. 動作控制。設計這樣一種複雜控制系統的困難在於描述系統功能和系統動態的需求, 以及對於這種經由電腦控制的複雜系統之持續

發展, 例如在及時控制軟體上要增加或是改變他們已經存在的功能。根據美國半導體製造協會 (SEMATECH) 的研究顯示, 典型的半導體製造廠中, 控制系統的軟體失誤大約佔了整個設備失效率的百分之四十。

本計畫之目的在對於多腔式半導體製程設備, 設計一個系統階層性的模型架構以及設計一個能夠協調製程程序控制上所有需求、排序及動作控制的監管控制器, 控制軟體的設計部分, 我們將採用下列設計觀念:

一、物件導向[2][3]:

物件導向的程式設計具有以下優點: 第一為物件的模型可對應到真實世界的實際物體, 利於溝通瞭解; 第二為物件具有封裝性, 當程式異動時, 物件介面維持不變, 只對內部做更動即可, 使程式擴展容易; 第三為物件具有可重用性, 功能類似的物件其程式碼可再利用, 以減少程式撰寫時間與測試時間, 容易維護並提高可靠性。

二、分散式:

分散式的系統主要是由多個處理器所組成, 各個處理器各司所職, 各個處理器並不共用記憶體, 每個處理器間靠高速的控制網路溝通, 以達成高工作效率的目的。此種分散式控制的好處是模組化的設計理念與分工清楚。

三、PC-Based:

近年來由於個人電腦的普及化, 因此可以運用個人電腦強大的計算能力以及資料儲存能力, 來完成工作, 其好處是可儲存大量資料於硬碟, 並完成複雜計算, 以及提供方便及美觀的使用者介面。

四、即時控制:

所謂即時性的控制就是按照工作優先順序在指定的時間內, 完成系統所要求的動作或反應, 並不致於造成系統之傷害。

三、研究方法

這節將描述多腔式半導體製程設備的物件導向

軟體設計及規劃方式。它們包括

1. 系統需求的收集：
2. 系統需求的分析：
3. 軟體的設計：

3.1 系統需求的收集：

首先將系統要完成的工作目標列出。本計畫所設計之多腔式半導體製程設備，依據 SEMI 標準書[1]，將半導體製程設備分成三個模組，依序為傳輸模組 (transfer module)、卡夾模組 (cassette module) 及製程模組 (processing module)，多腔式半導體製程控制器 (cluster tool controller) 簡稱 CTC，負責此三個工作模組之間之協調；然而，每個工作模組皆有控制器負責管理，例如傳輸模組控制器 (transfer module controller) 簡稱 TMC 負責晶圓 (wafer) 的排程，而每個模組亦有相關之次系統，輔助控制器完成所需工作，例如傳輸模組分成機械臂系統、真空系統以及卡夾承載室負責協助完成晶圓傳輸的工作。

本計畫設計之半導體設備的實體平台(如圖 1)，傳輸模組中，使用 MECS 公司生產之 UTV-2500H 機械臂、倍強公司的真空抽氣系統設備[4,5]、Brook 公司的 VCE4 Vacuum Cassette Elevator，藉由傳輸模組控制器軟體設計，將這些設備作有效的整合。

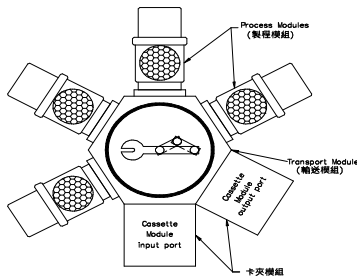


圖 1

3.2 系統需求的分析：

此階段將系統要完成工作目標的方法做分析。系統需求的分析，可以說是整個軟體發展程序中最重要程序；Rosch[6]宣稱在需求分析的程序時，有 65% 的錯誤會顯現出來，而在瀑布模型中，在每一階段的

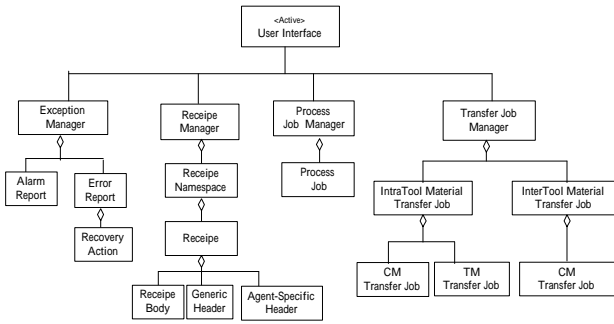
程序中沒有被修正的錯誤，若延續到下一個階段的程序才修正，其修正的代價會變成原來的十倍。由此可見系統需求的收集與分析程序的重要。故我們非常專注於系統需求分析的正確上。

本計畫中，TMC 負責處理來自 CTC 之命令，並協調、監督各次系統執行命令；每個子系統將各個相關功能的元件整合，以提供一完整的功能，如真空系統整合了真空閥門 (Vacuum Valve)、真空計 (Vacuum Gauge)，以及真空幫浦 (Vacuum Pump)，提供真空控制的功能；每個元件皆對應於一實體元件，軟體與實體之間接有一通訊介面溝通，例如機械臂系統透過 RS232 與機械臂實體溝通。

3.3 軟體的設計：

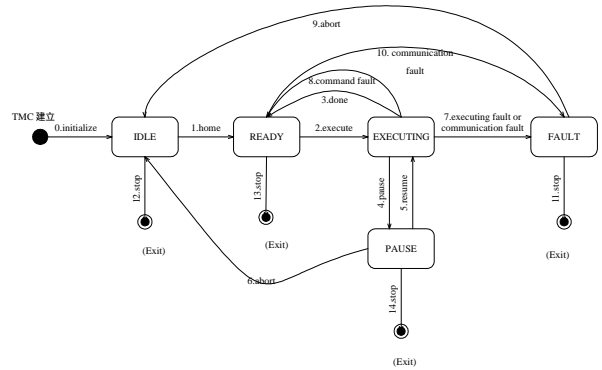
軟體設計的規格應由系統需求的分析程序轉換而來。系統分析程序的一般均以文字表示，在轉換成軟體設計時則須要把系統需求的分析做歸納重組，決定負責的物件及物件間的界面，並用模型來表達心中的構思，用以記錄並表達給他人知道。所以設計時使用的工具，應使用共通的模型語言。在此計畫中我們使用統一化模式語言 [7][8] (Unified Modeling Language, 簡稱 UML) 來做為需求分析及設計程式的工具。

多腔式半導體製程設備控制器 (CTC)，我們乃依據 SEMI 標準書[1]做整體規劃 (如圖 2)，經過使用案例圖 (圖 3) 作系統分析後，我們採用階層式架構，將整個系統分為五層 (參閱圖 4)，分別為系統層 (System Layer)、子系統層 (Sub System Layer)、元件層 (Device Layer)、TMC 驅動介面層 (TMC Driver Interface Layer)，以及驅動層 (Driver Layer)。其中的 TMC 驅動介面層則將與各元件溝通的通訊協定介面化，而驅動層則是將通訊協定類別化。在設計過程中，我們以使用案例圖作系統分析，系統的靜態以類別圖表示，而系統動態結構則以狀態圖、活動圖或循序圖表示。TMC 狀態圖及活動圖 (圖 5、圖 6、圖 7)



CTC架構圖

圖 2 CTC 整體架構



TMC狀態圖

圖5. TMC 狀態圖

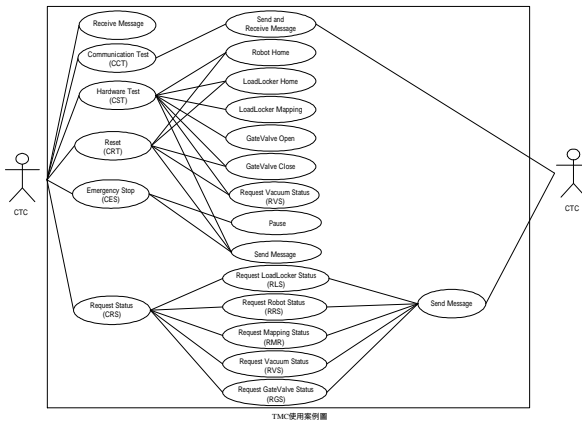
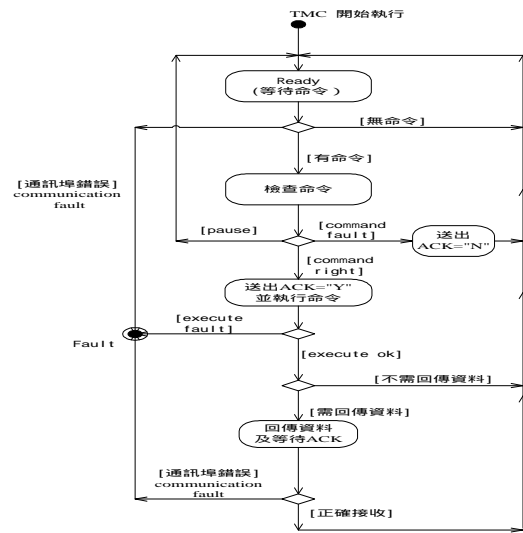
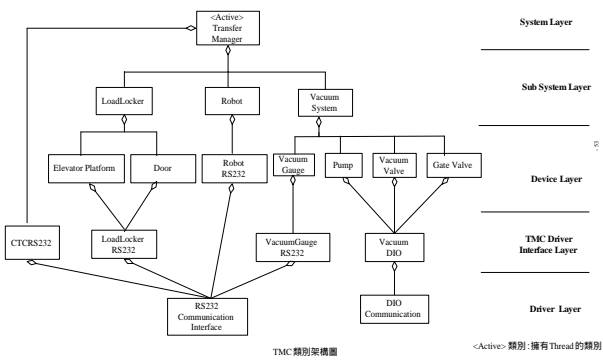


圖 3 TMC 使用案例圖



TMC執行狀態活動圖

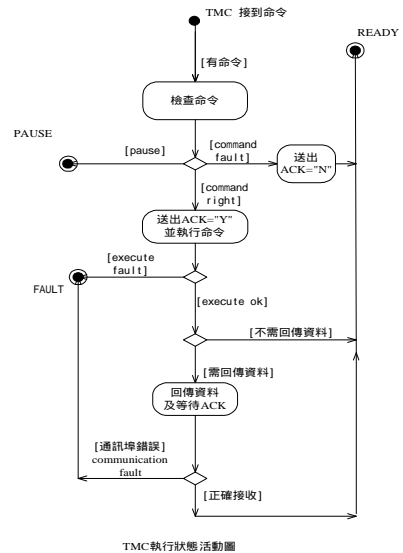
圖6. TMC 活動圖 1



TMC類別架構圖

<Active> 類別: 擁有 Thread 的類別

圖4. TMC 類別架構



TMC執行狀態活動圖

圖7. TMC 活動圖 2

四、結果與討論

本計畫採用的多腔式半導體製程設備是由不同廠商的硬體元件集合而成，我們透過軟體的設計將這些硬體元件做有效率的整合，多腔式半導體製程設備控制器(CTC)乃根據 SEMI 標準書，並以物件導向的方式規畫了整個軟體的架構，除了有物件導向本身的好處之外，對於不同廠商的半導體製程設備之間增加了相容性。

傳輸模組控制器的部分，已建立了 UML 的模型，除了經由知道 TMC 的行為模式，並且藉由系統層、子系統層、元件層、TMC 驅動介面層的設計，將整個半導體製程設備階層化，使系統分工變的較有效率，子系統都有一個相對應的硬體設備，子系統的工作乃是不斷的等待與執行 TMC 所下達的命令，真空機械臂、卡匣承載室與真空系統的真空計在子系統與設備實體之間是透過 RS232 通訊介面溝通，真空系統的抽真空與排氣流程是透過 DIO 控制。

驅動層將驅動程式類別化(圖 8、圖 9)，可以簡化驅動程式，並具有良好的在使用性，不會因驅動裝置廠商的不同，而需將驅動程式作大幅度的修改，因此，一方面減少半導體設備製造商之間溝通的問題，一方面增加了系統的可擴充性，解決了經由電腦控制的複雜系統持續發展的困難。

RS232
<pre> -Baud : short -Port : short -Mode : short -MaxBuffer : unsigned -TerminatorCode : char +RecieveBufferPointer[MaxBuffer] : char +RS232(Port : short, Baud : short, mode : short, terminator_code : char, max_output : short) +-RS232() +PutDataToOutputBuffer(StringCode : String) : int WINAPI +ReadInputBufferData() : int WINAPI +GetOutputBufferDataLength() : long WINAPI +GetInputBufferDataLength() : long WINAPI +FlushInputBuffer() : int WINAPI +FlushOutputBuffer() : int WINAPI +FlushInputAndOutputBuffer() : int WINAPI </pre>

圖8.RS232 類別圖

DIO
<pre> -CardNumber : 0/1 -BaseIOAddress : short -PacerRateDividerConstantC1 : unsigned -PacerRateDividerConstantC2 : unsigned -OffsetAddressForDIDataBufferA : unsigned -SegmentAddressForDIDataBufferA : unsigned -OffsetAddressForDIDataBufferB : unsigned -SegmentAddressForDIDataBufferB : unsigned -NumberOfDigitalInputs : unsigned -OffsetAddressForDODDataBufferA : unsigned -SegmentAddressForDODDataBufferA : unsigned -OffsetAddressForDODDataBufferB : unsigned -SegmentAddressForDODDataBufferB : unsigned -DOPortSelection : 0/1 -DIPortSelection : 0/1 -ErrorCode : short -MaxBuffer : unsigned -DODDataBuffer[MaxBuffer] : unsigned -DIDataBuffer[MaxBuffer] : unsigned -Param[60] : unsigned -Param1[60] : unsigned +DIO() +~DIO() +DigitalInput() : unsigned +DigitalOutput(Data : unsigned) -CheckErrorCode() : short </pre>

圖9. DIO 類別圖

伍、參考文獻

- [1] John L Mauer, Roland E A Schelasin, Peter J Miller, " Analysis of Cluster Tool Performance In Semiconductor Manufacturing", *IEEE/CHMT Int'l Electronics Manufacturing Technology Symposium*, 1992, p129-134.
- [2] J. Rumbaugh et al., *Object-Oriented Modeling and Design*, 1991, Prentice-Hall.
- [3] Grady Booch, James Rumbaugh, Ivar Jacobson, "The Unified Modeling Language User Guide", ADDISON-WESLEY, 1999.
- [4] Vacuum measurement and control unit manual(倍強真空科技股份有限公司真空計手冊)
- [5] 倍強真空科技股份有限公司, "抽氣箱使用操作說明".
- [6] C. M. Davidson and J. M. Whinne, "Engineering the Control Software Development Process", *5th International Conference on FACTORY 2000*, 2-4 April, 1997.
- [7] H. Eriksson and M. Penker, *UML Toolkit*, John Wiley & Son, Inc., U.S., 1998.
- [8] P. Muller, *Instant UML*, Wrox Press, Canada, 1997.