

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

集束型半導體製程設備模擬器之軟體設計製作

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-AT-7-009-002-

執行期間：91年10月01日至92年12月31日

執行單位：國立交通大學機械工程學系

計畫主持人：李安謙

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 2 月 3 日

集束型半導體製程設備模擬器之軟體設計製作

Hardware-in-the-loop-based verification of controller software for cluster tool in semiconductor manufacture

計畫編號：NSC 91-AT-7-009-002

執行期限：91年10月 - 92年12月

主持人：李安謙 E-mail: aclee@cc.nctu.edu.tw

執行單位：交通大學機械系

一、中文摘要(關鍵詞：集束型半導體製程設備、模擬器、MATLAB)

本年度計畫以實體迴路之方法建構一個傳輸模組及快速熱處理系統模擬器來驗證傳輸模組控制器，以及快速熱處理設備控制器。文中探討模擬器的設計與實做之議題，使得模擬器擁有擴充性，及模組化之架構。

在本研究中，著眼於 MATLAB® 對於模型建構以及即時模擬提供了完善的工具，故本計畫以 MATLAB® 來作為模擬器之開發工具。模擬器中關於快速熱處理系統之晶圓升溫模型則以類神經網路方法來建立，並將該模型整合至模擬器中來驗證實驗室所建構中的快速熱處理系統控制器。

英文摘要 (Keyword: cluster tool in semiconductor manufacture, simulator, MATLAB)

The main objectives of this year we will develop transfer module (TM) and rapid thermal processing (RTP) simulators in order to verify the performance of transfer module controller (TMC) and RTP controller by using the concept of Hardware-in-the-loop (HIL). The design and implementation issues will be discussed to make the simulator more extendable and modularized.

MATLAB®, which has powerful tool boxes for real-time simulation and model construction, is adopted as a developing tool for the simulator. In addition, neural network approach is used to model the wafer heating processing. Then it is integrated into the simulator to verify the RTP controller. The

testing procedures as well as testing results are presented in the thesis.

二、計劃緣由與目的

根據美國半導體製造協會 (SEmiconductor MAnufacturing TECHnology, SEMATECH) 的研究顯示，利用半導體設備模擬器驗證控制軟體的方法可以使半導體製造廠中因為控制軟體失誤所造成的損失減少約百分之三十[1]。而 2002 年國際半導體科技發展藍圖

(International Technology Roadmap for Semiconductor, ITRS) 中的預測，在 2003 年，系統建模與模擬的技術預計將可以使半導體業的科技發展減少約百分之三十五的損失[2]，故為了降低因系統設備控制器的不完備而導致的損失，針對系統設備控制器進行驗證是非常重要的。

然而傳統的控制器的驗證必須與實際硬體設備結合，不僅成本高且勢必增加驗證時的不便性與危險性，因此為了能夠反映出硬體設備的異常動作，以及當控制器發生非預期反應時能夠避免硬體或人員的損傷，使用模擬器來驗證控制器是最適當的方法。以模擬器取代實際設備的控制軟體驗證方法，即屬於實體迴路(Hardware in the loop, HIL)模擬，現今已被廣泛運用到各種複雜系統的控制軟體驗證上。

本計畫歸納出模擬器設計的法則、分析模擬器設計的考量因素、找尋模擬器設計方法流程，並以集束型製程設備 (Cluster Tool) 為對象建構其模擬器，其中配合實驗室之設備，包括有傳輸模組(Transfer Module, TM)及製程模組(Process Module, PM) - 快速熱處理 (Rapid Thermal

Processing, RTP) 製程設備, 主要的目的為建構一個模組化、具擴充性的模擬器並且能夠有效的驗證集束型製程設備控制器, 傳輸模組控制器, 以及製程模組控制器, 使得控制器在驗證調校後連接上系統硬體運作時, 能夠避免控制器失誤所造成的損失。

三、文獻回顧

在文獻中, 有關於集束型製程設備模擬器的設計[3]主要所模擬的是傳輸模組控制器及製程模組控制器, 目的為驗證集束型製程設備控制器(Cluster Tool Module Controller, CTC)與傳輸模組控制器(Transfer Module Controller, TMC)、製程模組控制器(Process Module Controller, PMC)之間的訊息傳輸是否正確, 對於TMC、PMC的例外處理能力並未加以驗證。

有關於 RTP 之控制大都侷限在探討溫度控制的效能[4, 5, 6], 但是一個好的 RTP 控制器, 除了要在溫度控制上有良好的表現之外, 對於系統元件失效也必須要有能力能夠做即時的處理, 避免造成系統的損毀或人員的損傷。所以說建構一個集束型製程設備模擬器來驗證 RTP 控制器(PMC)以及傳輸模組控制器是否有良好的控制能力是相當重要的。

本計畫採行 HIL 的概念來實作模擬器, 實體迴路模擬器已被廣泛運用到各種複雜系統的控制軟體驗證上[7, 8, 9, 10], 例如汽車電控系統[11]、交通號誌系統[12]、飛行模擬系統等, 但是模擬器快速熱處理系統上的應用只侷限在溫度的模擬上, 對於控制器能否處理硬體失效的驗證沒有進一步的探討。

控制器軟體驗證方法是將控制器與模擬器相互連結, 使模擬器的模擬動作代替系統設備的動作, 如此一來軟體模擬器取代硬體設備的實體迴路模擬方法便可進行控制器軟體的驗證。[13]

現今在發展控制器以及模擬器時常使用 MATLAB[®] 作為其開發工具[14,15], 因為 MATLAB[®] 除了提供了方便的圖形化介面加速了控制器以及模擬器模型的設計與開發外, 並賦予模擬器即時模擬之功能, 以及減少因為人為撰寫程式所造成的程式錯誤, 所以本計畫採用 MATLAB[®] 來作為發展模擬器之工具。

四、研究方法

本計畫將使用 MATLAB[®] 設計集束型製程設備模擬器系統, 包括有 RTP 設備系統、傳輸腔體機械手臂系統、傳輸腔體晶圓承載系統, 並使用本模擬器系統來驗證集束型製程設備控制器軟體。本計畫的研究方法分列如下:

1. 瞭解模擬器設計的概念、特色, 設計的方法、注意事項以及如何利用模擬器做控制軟體驗證。
2. 瞭解模擬器所要模擬的對象—集束型製程設備。瞭解各個設備元件之間的互鎖機制, 並瞭解在何種情形之下會對硬體或人員造成損害。
3. 瞭解模擬器所要驗證的對象—集束型製程設備控制器。瞭解控制器所能控制的硬體元件項目及其控制特性。
4. 完成模擬器設計, 模擬器中定義有設備元件之失效模式以及相關警報, 使模擬器能夠模擬元件失效的狀況, 並於發生危險狀況時發布警報告知。
5. 將模擬器與控制器連接, 以驗證 RTP 控制器以及 TMC。

關於模擬晶圓溫升曲線的部分則採用類神經網路方法建構出其數學模型。

五、系統架構

本計畫所建構之模擬器設備共包含了兩台主控端電腦, 兩台模擬器執行電腦, National Instruments – PCI-MIO-16E-4 介面卡 (A/D) 一張, 研華 – PCL-727 (DIO, D/A) 介面卡一張, National Instruments –

PCI-DIO-96 介面卡 (DIO) 一張。第一台模擬器模擬的包括有晶圓輸入/輸出端 VCE 系統，晶圓輸入/輸出端晶圓承載室閘門，晶圓輸入/輸出端 VCE 的壓力狀態；第二台模擬器用來模擬 RTP 系統以及傳輸模組機械手臂系統，及主腔體壓力狀態。兩台模擬之間以 DIO 訊號來溝通機械手臂的動作狀態。圖 1 為全系統的連線示意圖，前端模組控制器 (FEMC) 與『模擬器 1』連接著 DIO 訊號線路，代表著前端模組機械手臂的控制訊號；傳輸模組控制器 (TMC) 與『模擬器 1、2』都連接著 DIO 訊號線路以及 RS232 傳輸線路，其中與第一台模擬器的連線訊號內容主要為 VCE 與晶圓承載室閘門與 VCE 內部壓力的控制，與第二台模擬器的連線訊號內容主要為機械手臂的控制；製程模組控制器 (PMC) 與模擬器 2 連接著 A/D、D/A、DIO、RS232 訊號線路，連線訊號內容主要為 RTP 系統控制用訊號。

為了進一步地驗證控制器，就傳輸模組而言，因為傳輸模組設備中主腔體與晶圓承載室之間並沒有加裝閘門來避免晶圓的污染，所以加裝了閘門模擬控制訊號及感測訊號來模擬晶圓承載室閘門系統使得整個模擬設備更為符合實際的情形。而且實驗室的設備中並沒有購置抽真空的設備元件所以在主腔體模擬加入了真空狀態感測器，並且晶圓承載室的模擬也加入了壓力狀態的控制與感測。

為了使得模擬器能夠正常的運作，控制器與模擬器之間常需要一些除了實際連線外的額外連線。各個控制器在開機之後，當其初始狀態設定完成時，需要送一個訊號告知模擬器已經完成初始的設定，並開始模擬器與控制器之時間計數，使得雙方的時間能夠同步，並代表正式進入模擬程序。關於控制器透過 RS232 的控制訊息傳遞，於訊息傳遞完畢後需要傳第一個致能訊息來告知模擬器，一個新的訊息已傳遞到達了模擬器端。此外，就製程模組而言，其必須在製程開始前傳遞製程配方作為控制器效能驗證之用，此外於製程開始時也必須要有一個致能訊號告知模擬器，

控制器已開始製程工作。就前端模組而言，本計畫雖然不包括模擬前端模組設備，但是前端模組與傳輸模組之間的晶圓輸送動作仍然採用簡單的 DIO 訊號方式模擬。詳細的連線訊號種類以及說明會於接下來各小節當中做一介紹。

此外本計畫所建構的兩個模擬器之間有訊息的傳遞，當兩個模擬器正在工作時，要避免因為系統設計不良所導致的資訊遺失，且設計時要能夠保證資訊在預期的時間內被對方所接收。本計畫採用 DIO 來作為訊息溝通的媒介，並且訊息的溝通不會因為些微的時間誤差而導致系統模擬有錯誤的情形產生。

5-1. VCE系統架構分析與設計

在本階層中要瞭解所要 VCE 系統與 TMC 以及 FEMC 的資訊傳遞管道，包括有哪些資訊會進出 VCE 系統，以及其傳輸介面為何。本系統主要模擬的對象為 VCE 設備，並包含晶圓承載室閘門，以及前端模組機械手臂之狀態。本階層之示意圖如圖 2 所示。

在本階層中接收了來自控制器的各式訊號，並傳送模擬結果給控制器與外部模擬系統。於本階層中實做輸入/輸出之資訊轉譯，將原本來自於控制器的各種訊號轉譯成模擬器系統內部可以判別的控制輸入，並使得真正輸入模擬器系統所處理的訊號與外界訊號有所區隔，一旦輸入/輸出訊號意義有所更動，只需要更換本階層之輸入/輸出介面資訊轉譯模組即可。

在集束型設備中通常有兩個晶圓承載裝置，實驗設備則以兩組 VCE 設備來代表，故本模擬器實做了兩組相同的 VCE 系統，圖 3 為其中一組 VCE 系統，因為系統是相同的，所以本文在此僅說明其中一組系統的設計。

5-2. RTP系統架構分析與設計

在本階層中要瞭解所要 RTP 設備與 RTP 控制器的溝通管道，包括有哪些資訊會進出 RTP 設備，以及其傳輸介面為何。本階層之示意圖，如圖 4 所示。

本階層的右方包含模擬器系統的控制元件方塊，可以方便模擬器操作員進行系統的操作，如圖5所示。

5-3. 傳輸模組 - 機械手臂系統架構分析與設計

在本階層中要瞭解所要機械手臂系統與 TMC 以及各腔體間的溝通管道，包括有哪些資訊會進出機械手臂系統，以及其傳輸介面為何。

機械手臂系統傳向TMC 端之資料如下表所示，其中包含一個配合模擬器實做而加入的額外訊號。本階層之示意圖如圖6所示。

本系統與RTP系統是建構在同一個模型圖中，如圖7所示。

六、類神經網路系統鑑別

由關於RTP控制系統文獻上的資料所顯示，RTP系統的建模不外乎兩種方式，第一種是考慮系統的熱傳導，熱對流，熱輻射，以物理的觀點來建立模型，所建立的模型是以非線性的微分方程式所表示。另一種方式則是採用黑箱模型（black box）的系統鑑別，在不同的溫度區間上求取局部溫度區間的線性近似模型。因為RTP系統屬於高度非線性系統，故本文則採用類神經網路（Artificail Neural Network）的架構，以類神經網路架構出一個非線性的動態系統模型，來應用於RTP系統的模擬器上。本文採用三層式單輸入多輸出 NNARX 類神經網路，如圖 8 所示。

其中 n_a ：最大輸出訊號的延遲

n_b ：最大輸入訊號的偏移延遲

n_k ：輸入訊號的基準延遲

i ：隱藏層的神經元數

就一個NNARX模型來說，可以決定的參數包括有， n_a 、 n_b 、 n_k 、 i 以及激發函數中的參數 a 。其中 n_a 、 n_b 及 i 藉由適當的調整利用最少的神經元數目來使得系統輸出盡量接近於用來驗證模型的資料， n_k 則可以藉由分析輸入輸出訊號的時間延遲來決定，激

發函數中的參數 a ，藉由適當的調整使得網路輸出值不至於造成飽和，且盡量接近於用來驗證模型的資料。

本計畫的目的是建構一個合適的 RTP 系統晶圓升溫模型來讓模擬器能夠進行模擬晶圓製程，並且能夠假設系統元件失效來檢測控制器的反應，所以本計畫提出了兩種方式來建構 RTP 系統晶圓升溫模型。

系統模型形式一：（製程配方作為輸入）

針對模擬之需要，可以建立包含 RTP 控制器以及 RTP 設備之系統模型，如圖 9 之斜線範圍，此模型採用製程配方作為輸入訊號，晶圓表面溫度作為輸出訊號。當模型得到後，一旦給定了製程配方，藉由 RTP 系統模擬器的即時模擬，便可以得到相對應於該控制器的晶圓表面溫度控制器結果，達到模擬的目的。但是這種模擬方式其實對於真正的控制器輸入，並不是直接的做反應，所以說還有需要修正的地方。

系統模型形式二：（燈管功率控制作為輸入）

以此方式所建立之系統模型為 RTP 設備本身，如圖 10 之斜線範圍，這一種方式是屬於閉迴路的系統鑑別，方法是取得燈管功率控制訊號作為輸入訊號，晶圓表面溫度作為輸出訊號。當模型得到後，藉由 RTP 系統模擬器的即時模擬，晶圓表面溫度的訊號將隨著燈管功率控制訊號做改變。

七、計畫成果與模擬器系統認證

依據 SEMI 標準書[16]E32 - 晶圓傳輸管理標準，E40 - 製程管理標準中規範了集束型製程設備控制器的晶圓傳輸以及晶圓製程處理程序，在發送交握訊息之前，雙方控制器必須確認相關的系統狀態符合安全的狀況，然後再發送交握訊息給對方。所以本計畫之主要目的之一就是要驗證控制器是否有符合標準書中的規範，也就是應該要確認相關的系統狀態符合安全的狀況，然後再發送交握訊息給對方。

一般而言，如果要確認所有設備控制器都能夠相互配合、正常運作之前，必須要先對於單一個設備控制器進行驗證。本計畫所要驗證的控制器包括了 TMC 以及 RTP 控制器，其中 RTP 控制器可以單機操作，故可以採用單機驗證模式，而 TMC 控制器因為沒有單機模式，所以說 TMC 的單機驗證工作將可以在未來進行。最後，再連結全系統的控制器與本計畫所建構之模擬器進行驗證。

關於晶圓傳輸管理標準中兩個不同模組之間的晶圓傳輸所應該要執行的訊息交握，與製程管理標準中製程模組執行製程所需要與 CTC 執行的訊息交握內容在本計畫中並沒有詳加敘述。但是訊息的交握與所要執行的相關系統檢查會在之後的分析中提到，所以還是可以瞭解到交握訊息與系統狀態檢查之間的關係。

本計畫所採用之控制器驗證的方式有兩種：

1. 單機驗證模式：

實驗室現有的控制器系統都是針對自動化製程而設計的，執行晶圓製程與傳輸所需要的訊息交握的傳遞速度是相當快速的，而要達到驗證控制器的目的，必須要在訊息交握之間設定好系統失效模式，才能夠完整地驗證控制器。利用現有的全系統控制架構及模擬器架構無法在必要時機即時的設定失效模式，以驗證單一設備控制器。

其中 RTP 控制器可以單機操作，故可以採用單機驗證模式來驗證 RTP 控制器。在執行單機驗證時，雖然 RTP 控制器並未與 TMC 以及 CTC 連線執行訊息交握，但是可以藉由控制器操作員執行單步的動作確認來替代來自於 TMC 或 CTC 的交握訊息，所以依然可以驗證控制器的控制邏輯以及效能。模擬器操作員可以在晶圓處理程序的狀態檢查點，藉由設定事先所規劃的失效測試及測試通過條件來檢測控制器是否有達到預期的要求。

而 TMC 因為目前無法採用單機驗證，所以先就失效模式進行分析，並且利用假設來自 TMC 的訊號方式來檢視模擬器

對於控制器系統驗證的概況。

如圖 11 所示 RTP 控制器單機系統的驗證所連及的硬體電腦設備包括了 RTP 控制器，RTP 模擬器，以及 RTP 模擬器之發展電腦。RTP 控制器與模擬器之間的連線包括了 DIO 訊號傳輸，類比電壓訊號傳輸，以及 RS232 訊號傳輸。

其中的 RTP 控制器是預計要控制自購之 RTP 設備的控制器，目前在設備建構完成之前，先行以本計畫中所開發的模擬器來驗證系統失效時控制器是否能夠做出正確的反應。而關於晶圓升溫曲線模型的建立方面，則是採用了一組該廠商先前所開發之設備的實驗數據來建立晶圓升溫模型。在本計畫中該模型只是用來作為控制器在元件失效時的控制驗證。

RTP 模擬器發展電腦具有一個使用者介面，模擬器操作員可以透過使用者介面及時地監看模擬系統的狀態，並且能夠透過該介面設定元件失效，以驗證控制器。圖 12 即為 RTP 模擬器使用者介面。

第一區：最上面的區域是顯示系統時間並且與控制器同步

第二區『Module Status』：顯示 RTP 系統的各個元件狀態。對於可以設定失效模式的系統元件的狀態顯示方塊旁都會有一個額外的小方塊，用來表示目前是否屬於設定失效的狀態，若是屬於失效模式設定中時，該方塊會由白色轉變為紅色。

第三區『TM ROBOT』：顯示機械手臂系統之狀態。

第四區『RTP Test』：此區塊包含了七種 RTP 失效模式的組態設定，模擬器操作員可以透過本區之設定模組來設定如的七大類型失效模式。

第五區『System Command』：此區域屬於主要的系統操作介面區，包括有系統啟動，停止等控制按鈕。

第六區『Set Module Status』：透過下拉式選單可以設定系統中個別元件之失效模式，並包含一個還原初始設定之按鍵。

第七區『TM Vacuum』：顯示傳輸模組的真空狀態。

第八區『System Status』：在此區顯示控制

器是否有誤動作，而違反了系統的互鎖機制，若發生錯誤，則會顯示錯誤發生時間，以及錯誤之原因。

第九區『Recipe』：用於顯示製程配方。

第十區『Wafer Processing Status』：顯示晶圓製程的狀態，在製程中若晶圓表面溫度不均，或是偏離製程配方過多則會發出警示訊息。

第十一區（右下方方塊）：晶圓升溫曲線的顯示。

單機測試的第二個部分是測試傳輸模組控制器，VCE 及晶圓承載室閘門之使用者介面約略可以分為對稱的兩個部分，如圖 13 所示。

第一區：位於左上角有一個時間顯示方塊，其時間計數與傳輸模組是同步的

第二區『Control』：此區域屬於主要的系統操作介面區，包括有系統啟動，停止等控制按鈕。

第三區『INPUT GATEVALVE & ROBOT』：此區包含了晶圓承載室閘門以及壓縮空氣供給狀態的失效模式設定。並且顯示出機械手臂與晶圓承載室閘門等設備的狀態，並且在控制器有誤動作，違反了系統的互鎖機制時，會顯示出錯誤發生之原因。

第四區『INPUT VCE』：此區域主要顯示輸入端 VCE 之狀態，並且可以設定系統元件失效模式，以及互鎖機制狀態檢測之訊息顯示。

2. 全系統驗證模式：

本模式主要是在全系統連線操作的情形之下（如圖1）來驗證TMC以及RTP控制器，模擬器操作員可以於全系統動作中的任意時間改變模擬系統的狀態參數，並檢測控制器的反應是否有達到預期的要求。

全系統測試模式的測試所指的是整合集束型設備控制器（CTC），傳輸模組控制器（TMC），以及製程模組控制器（即為 RTP 控制器）。全系統測試模式檢測與單機模式檢測的不同點在於，原先控制器操作員所有的操作動作將由設備控制器之間的訊息交握取代，所有交握的訊息內容

都符合 SECSII 的規範，訊息交握的流程也都必須符合 SEMI Standard 中的傳輸管理服務，以及製程管理服務。

要注意到此模式的測試，並不是每個失效模式都可以選擇的，因為控制器是在訊息交握之前檢查相關的系統狀態是否正確，若是控制器於檢驗系統狀態完畢後，也就是發送交握訊息之後，在動作之間才設定相關失效模式設定是沒有意義的，所以在此模式的測試通常都是採用系統元件暫停來檢測控制器的反應，例如，機械手臂動作暫停與 VCE 系統動作暫停，閘門暫停（透過壓縮空氣無法正常供給），等失效模式設定。

八、結論與討論

本計畫實作了傳輸模組模擬器，以及製程模組模擬器 - RTP 系統，來驗證製程腔體控制器，以及傳輸腔體控制器。本模擬器具有下列特點：

1. 本模擬器利用實體迴路模擬之方法來建構一個線上型模擬器，能夠以即時方式進行系統的模擬，並且能夠線上更改系統參數的功能，並檢測系統的反應是否正確，藉此來達到控制器驗證的功能。
2. 本模擬器的設計原則是採用階層化、模組化的設計，文中提供了一個有系統的模擬器建構方式，並且使得模擬器能夠易於維護。並且對於每一個系統元件設計採行模組化設計之概念，可以增加系統元件方塊的再利用性。
3. 著眼於 MATLAB[®] 擁有強大的數學計算能力，以及對於模型建構以及即時模擬提供了完善工具，故本計畫以 MATLAB[®] 為工具來實做模擬器。
4. 本計畫以類神經網路來建立 RTP 系統之晶圓升溫模型，經由實機測試之後，雖然發現以類神經網路方式所建構之模型有些誤差產生，未來可以研究更完善的系統模型建構的方式，來使得模擬器更加符合實際的系統。不過本計畫所提出之 RTP 系統之晶圓升溫模型，依然

可以應用在實機的 RTP 控制器單機驗證上，並且藉由本計畫所提供之模擬器，找出了一個 RTP 控制器（本實驗室建構中之 RTP 控制器）所需要修改的地方。

對於將來的改善工作而言，本模擬器系統需要再加入前端模組模擬器，如此及能完成集束型半導體製成設備之整體驗證。對於單一模組控制器的驗證而言，要是該模組沒有單機模式，例如 TMC 系統要採行單機測試，則必須要實做一個模擬 PMC，模擬 FEMC，以及模擬 CTC，整合 TMC 模擬器來進行單一模組控制器之驗證。另外本模擬器的使用者介面是文字模式顯示，未來可以考慮增加立體的圖形動畫，來讓使用者更能夠透過模擬器瞭解實機運作之情形。

本計畫並未對於所設計之模擬器加以進一步的檢驗與驗證，也就是本計畫並未保證該模擬器能夠檢測出控制器的所有失效狀況。未來可以進一步地加上失效樹（Fault Tree）分析及事件樹分析（Event Tree），藉由分析的結果來說明模擬器所能夠檢測出的控制器失效狀況，如此才能夠使模擬器的設計更加的完整。

關於有文獻提到實體迴路模擬器與控制器的系統程式計算的同步問題，該問題出現原因是以一個數位系統（模擬器）去模擬一個連續系統（真實的物理系統），但若是硬體系統只有邏輯的判斷，那就只要加快模擬器的運作時步，使模擬器的運作時步快於控制器，就能夠避免掉因為延遲反應而造成的模擬上的錯誤（通常是資訊遺漏接收）。但是在對於動態物理系統的模擬方面，就要考慮到同步的問題，例如本計畫中所探討的晶圓表面升溫的計算就要考慮到模擬器系統程式計算與控制器程式計算的同步問題，但是本計畫利用 NNARX 類神經網路方法來建構晶圓升溫模型，若要完成如提到的系統程式計算同步的機制勢必要再進一步的討論。但本年度之計畫成果將有助於下年度之計畫進行。

九、參考文獻

- 1 <http://www.semtech.org/public/docubase/abstracts/3237atr.htm>
- 2 <http://public.itrs.net/Files/2002Update/2002Update.pdf>
- 3 紀森炫，”集束型半導體製成設備模擬器之分析與物件導向設計”，*國立交通大學機械工程學系*，碩士論文，2002
- 4 Charles D. Schaper, Thomas Kailath, Young Jin Lee, “Decentralized Control of Wafer Temperature for Multizone Rapid thermal Processing System”, *IEEE Transaction on Semiconductor manufacturing*, Vol. 12, No. 2, May 1999
- 5 Jin Young Choi, Hyun Min Do, “A Learning Approach of Wafer Temperature Control in a Rapid Thermal Processing System”, *IEEE Transaction on Semiconductor manufacturing*, Vol. 14, No. 1, February 2001
- 6 詹玉麒，”快速熱處理之即時模擬器與控制系統”，*國立交通大學電機與控制工程學系*，碩士論文，2000
- 7 David Maclay, “Simulation gets into the loop”, *IEE Review*, Vol. 43, Issue 3, May 1997.
- 8 S. Raman, N. Sivashankar, W. Milam, “Design and Implementation of Powertrain Control System Software Development”, *IEEE Control Conference*, June 1999.
- 9 Harald Schludermann, “Soft-Commissioning: Hardware-in-the-loop- based verification of controller software”, *IEEE Simulation Conference*, November 2000.
- 10 R. Boot, J. Richert, H. Schutte, A. Rukgauer, “Automated Test of ECUs in a Hardware-in-the-loop Simulation Environment”, *Computer Aided Control System Design*, 1999. John R. Wagner, “Failure Mode Testing Tool Set for Automotive Electronic Controllers”, *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol. 43, No. 1, February 1994

- 11 R. Boot, J. Richert, H. Schutte, A. Rukgauer, “Automated Test of ECUs in a Hardware-in-the-loop Simulation Environment”, *Computer Aided Control System Design*, 1999. John R. Wagner, “Failure Mode Testing Tool Set for Automotive Electronic Controllers”, *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol. 43, No. 1, February 1994
- 12 Richard B. Wells, John Fisher, “Hardware and Software Considerations for Implementing Hardware-in-the-loop Traffic Simulation”, *IEEE Simulation Conference*, November 2001.
- 13 Wojciech Grega, “Hardware-in-the-loop simulation and its application in control education”, *IEEE Frontiers in Education Conference*, November 1999.
- 14 P. Baracos, G. Murere, C. A. Rabbath, W. Jin, “Enabling PC-based HIL simulation for automotive applications”, *Electric Machines and Drives Conference*, 2000. IEMDC 2001. IEEE International, 2001
- 15 P. S. Shiakolas, D. Piyabongkarn, “Development of a real-time digital control system with a hardware-in-the-loop magnetic levitation device for reinforcement of controls education”, *IEEE Transactions on Education*, Vol. 46, Issue 1, February 2003
- 16 “SEMI International Standards”, Semiconductor Equipment and Materials International, 2001

十、圖表

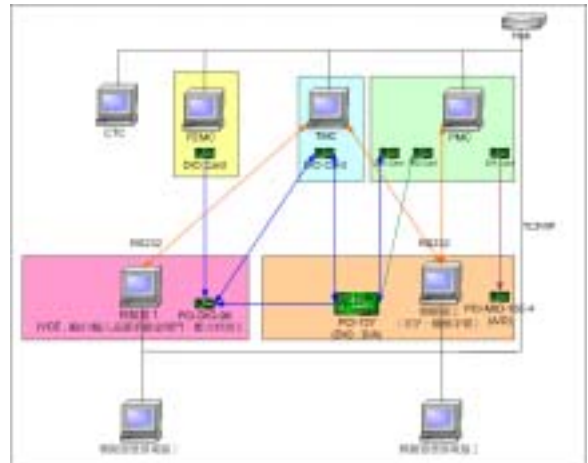


圖1 全系統連線示意圖

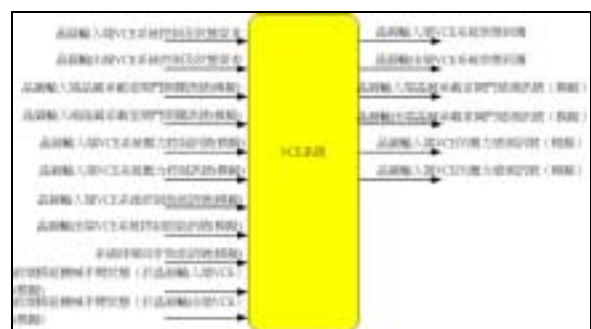


圖2 VCE系統架構檢視層

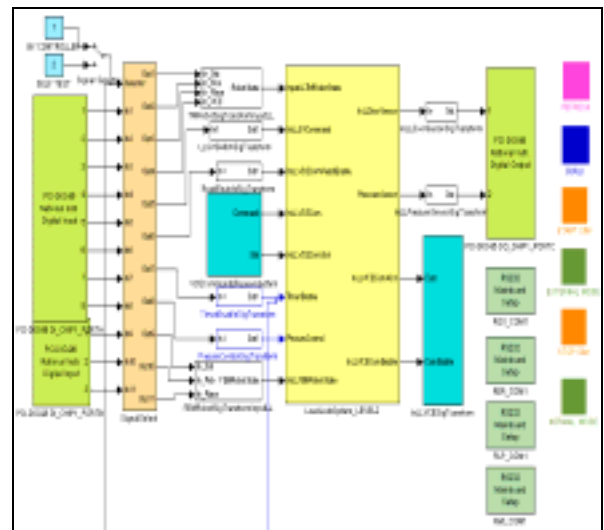


圖3 VCE系統輸入/輸出介面層

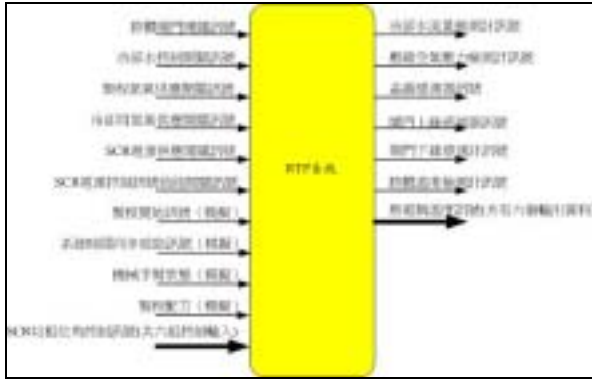


圖4 RTP系統架構檢視層

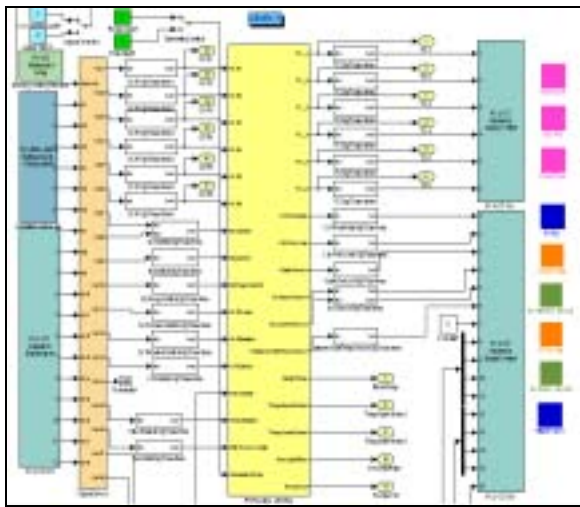


圖5 RTP系統輸入/輸出介面層



圖6 機械手臂系統架構檢視層

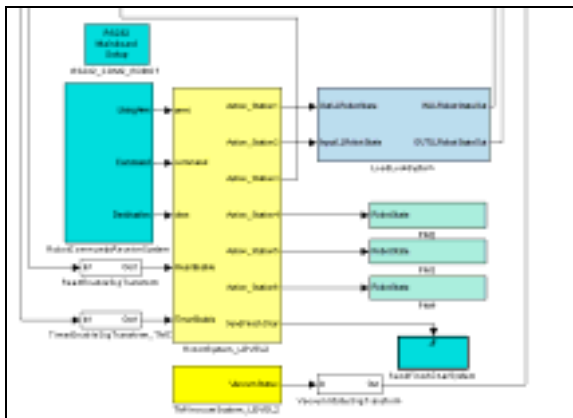


圖7 機械手臂系統輸入/輸出介面層

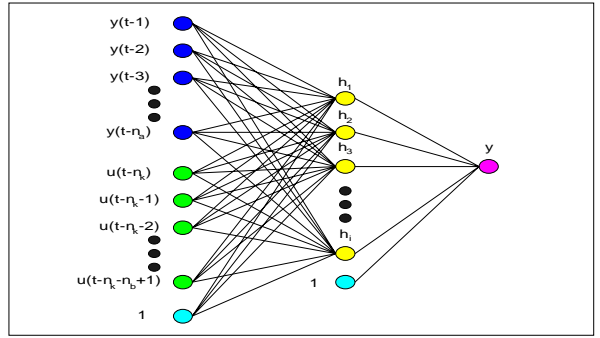


圖8 三層式單輸入多輸出NNARX類神經網路

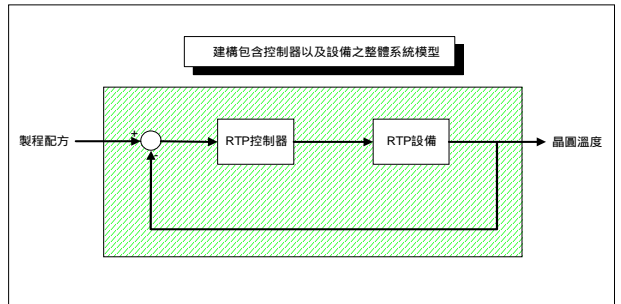


圖9 系統模型形式一

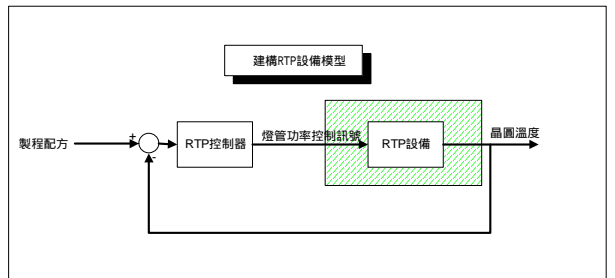


圖10 系統模型形式二

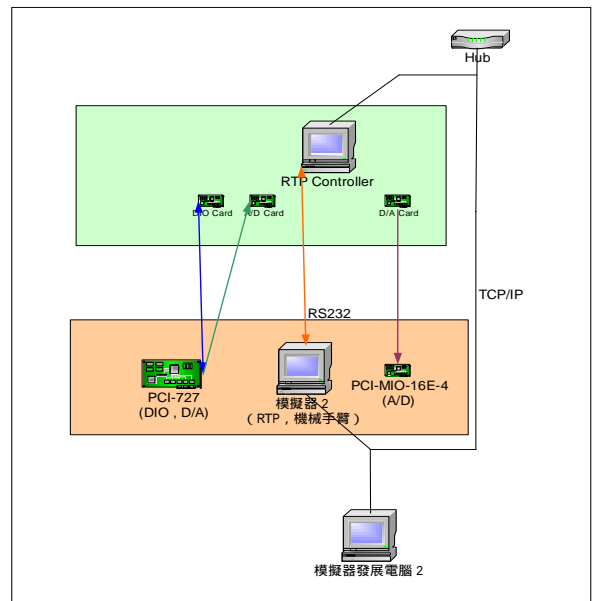


圖11 RTP控制器單機系統驗證連結圖

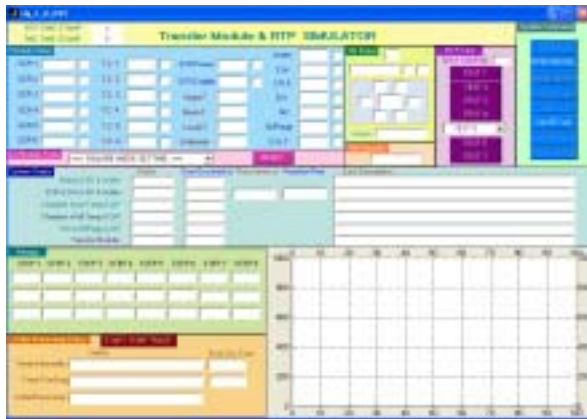


圖12 模擬器使用者介面(RTP)



圖13 模擬器使用者介面
(VCE 及晶圓承載室開門)