

半導體關鍵設備研發(II)

The Development of the IC Key Equipment

計畫編號：NSC 87-2218-E-002-002

執行期間：86/08/01 - 87/07/31

主持人：范光照 台灣大學 機械工程學研究所

共同主持人：胡振國 台灣大學 電機系工程學研究所

一、中文摘要

本計劃為國科會整合型研究計畫「半導體關鍵設備研發」總計畫的第二年度成果報告，本年度之報告結合各子計畫之研究成果。目前已順利完成第二年度的預期進度，研究成果包括：(1)快速熱處理機台自動化研究，(2) 0.35 μ m或更高技術之單晶圓化學氣相沉積反應器，(3)半導體電漿製程之模擬與研製，(4)半導體製程反應器之模擬與研製。在充分的團隊合作下將順利進展第三年度進度。

關鍵詞：半導體設備、快速熱處理機台、熱處理製程、CVD反應器、電漿製程。

The Development of the IC Key Equipment (II)

Abstract

In this report we present the progress of the joint research project entitled "The Development of the IC Key Equipment". Moreover, we report the second-year research results of the sub-projects, including the automation of Rapid Thermal Process (RTP), the analysis and simulation of RTP, the analysis and design of plasma process, and the analysis of the process in a CVD reactor.

Keywords: IC equipment, rapid thermal process, plasma process, CVD reactor.

二、計畫緣起與目的

我國近年來IC產業蓬勃發展，一年

來共有九座IC FAB(8"以上)投資宣告，總值約1兆6000億台幣，其中60% 70%是設備費，如步進機、蝕刻機、離子值佈機、PECVD等。而我國精密工業界卻僅能望梅止渴，無法分享此一大市場。為了提升我國半導體工業在世界上的競爭力，必須具備自我研發的能力。有鑑於此，台灣大學成立半導體設備發展研究群，計劃以發展應用技術為主，研究基本科技為輔的方式，協助我國半導體產業培植永續之競爭力。

為因應我國現有半導體製程設備之使用效率、實驗室級製程設備及半導體設備之消耗性元件等特殊需求，台大半導體設備發展研究群針對下列各項關鍵設備進行研究與開發。

1. 快速熱處理機台自動化研究：

超大型積體電路製程中快速熱處理技術(RTP)，在受熱下晶片存在有溫度不均勻的問題。研究中利用倒置扁平圓錐型矽承接台來改善上述之問題，此方法對於現有之快速熱處理系統，不需改變其系統即可達到改善其溫度均勻度之功效。

在既有的 RTP 壓力控制系統中，在反應室較高壓力下無法保持製程所要求的壓力。目前，為了能在製程中保持一定的壓力，以手動閥操作以達製程壓力要求。且應用第一年所發展的監測系統，分析並且改進現有壓力控制系統。

為確實瞭解快速熱處理爐中晶圓的製品厚度，以決定製程控制時序，因而使用數值方法計算晶圓的暫態加熱過程，依據現有機台(垂直式)與新型機台

(水平式)的幾何型狀與操作狀態，預測晶圓的升溫歷程、溫度分佈與製品成長厚度，並嘗試改變可控制的操作參數，以改善晶圓溫度的均勻性。再由溫度場可計算出熱應力變化，以瞭解晶圓是否產生差排或破壞。

2. 0.35 μm 或更高技術之單晶圓化學氣相沉積反應器：

在晶圓尺寸大幅增加，傳統的製程因建廠成本太高，與其它單一晶圓的製程不相容，因此利用 Rapid thermal process (RTP) 作為其加熱模組，並形成集結式。RTP可降低 thermal budget，提高元件效能，增強製程控制，快速的產品製程，和降低建廠成本。

3. 半導體電漿製程之模擬與研製：

主要目標是建立電漿反應器內電漿流場分析的能力，對電漿特性的瞭解有所助益，對均勻性良率的改善有所提升。另一方面希望研發一實驗室研究型電感耦合電漿蝕刻機，以便從事電漿量測，提供實驗和電腦模擬的相互驗證和改善。

4. 半導體製程反應器之模擬與研製：

在製造上具有重要位的化學蒸鍍反應 (Chemical Vapor Deposition) 方面技術成熟與否將直接應影響進入次微米層次之能力。傳統之 CVD 反應器已無法滿足下一代的產品需求，能獲得優良鍍層品質的單晶片反應器已成未來的主流。

快速熱處理程序 RTP (Rapid Thermal Processes) 為新一代操作式的主流。它利用輻射原理將晶片在數十秒中加熱至高溫，故溫度的控制是為最重要的地方。

三、研究方法與研究結果

各子計劃第二年度之研究方法與成果詳見各研究報告，主要研究方法與成果概述如下：

1. 快速熱處理機台自動化研究：

我們使用重量百分比 25% 之 KOH 溶

液來蝕刻矽晶片形成矽圓環，蝕刻時以 1 μm 厚之氧化層做為遮罩。我們製作如圖一內插圖所示在平面矽承接台之背面製作特殊圖案做溫度補償，我們可稱此承接台為「倒置扁平圓錐型矽承接台」。圖一為矽晶片(a)正面及(b)背面之溫度曲線隨時間變化較佳之模擬結果。可知使用「倒置扁平圓錐型矽承接台」做溫度補償，不只晶片正面之溫度分佈得以改善，晶片背面之溫度分佈亦不會有大溫度梯度之現象發生，如此可以大幅降低晶片因熱應力而產生晶片變形或造成晶格錯位的問題。

我們亦提出一個新的壓力控制系統架構，圖二所示利用二只電磁閥，設計電磁閥之間的緩衝空間(buffer space)，配合二只電磁閥動作時間及順序以達到所需的壓力。經由實驗結果，我們發現當第一個電磁閥開啟 50ms 且 buffer space 約為 192 cm^3 ，在反應室壓力為 500 torr 時能將其壓力變動範圍限制在 6 torr (1.2%) 以內。使用相同的架構，於反應室壓力為 200 torr 時，能將其壓力變動範圍限制在 2 torr (1%) 以內。

快速熱處理爐內的熱流場變化是以數值方法計算熱流統御方程式，流場以 UNIC 套裝軟體計算，輻射熱流以 GRASP 計算，晶圓內的熱傳則以有限差分法計算之。這些計算均含暫態變化項，因此可以摹擬爐內與晶圓的暫態升溫歷程。在水平式機台的值計算結果顯示高溫輻射與對流熱傳所引起的晶圓邊緣能量損失，是造成晶圓表面溫度分佈不均勻的主因，這些溫度的不均勻可加長燈管熱源，再提高反應爐內冷卻壁面的反射率，則不僅增加溫度的均勻性，如圖三所示，亦減輕了晶圓邊緣能量損失的效應。

暫態應力與位移的分析採用 ANSYS 套裝軟體作為運算工具，以熱流計算所獲得的暫態溫度場為輸入值。由於暫態溫度場的圖形相當接近，所以應力

場也相似，圖四顯示加熱 1 秒後的總位移與熱應力的分析結果。由於軸對稱的關係，圖四(a)顯示總位移呈環狀向外遞增，最大位移出現在矽晶圓外環，其值為 $0.27 \times 10^{-3} \text{ m}$ ，中心位置設為無位移。分析應力破壞時，需考慮畸變能之等效應力 (σ_{eqv})，圖四(b)顯示最大值發生在矽晶圓的外環上，最小值則出現在內部。

2. 0.35 μm 或更高技術之單晶圓化學氣相沉積反應器：

A. 燈管照射強度分佈

模擬燈管照射強度 profile，晶圓到燈管的距離 h ，其間隔 ΔS ，其強度分佈與其比率有關，比率愈小，照射愈不均勻，在 $h/\Delta S < 1$ ，便會有 1% 的 ripple，推算下大約會有 3°C 的溫差，但若增加 h 則會造成總照射強度減少，勢必要增加能源的消耗，在 $h \approx \Delta S$ 時有其最佳化。

B. 晶圓溫度在暫態與穩態之分析

但由於燈管只照射晶圓的一面，而側面則只是靠內壁的反射，模擬晶圓在不同的等效邊緣吸收率的穩態溫度分佈情況，發現當側面的吸收率為正面的一半會有最均勻的情況發生，而其邊緣不均勻的區域大約有 1、2cm，其結果可知晶圓的尺寸越大可用的區域也就越大，厚度越薄則溫度分布較均勻。在暫態的分析方面，於晶緣一開始加熱時，在邊緣會有正面與側面兩個方向的熱源，因此在加熱初期溫度會略高於中央，而到了高溫時熱幅射變成了最主要，因此溫度又低於中央。此外我們發展了一套小訊號模型可將熱傳方程式線性化，而且還可預測暫態生命期。

C. 溫度測量

用 pyrometry 作溫測，必須要能準確的模擬晶圓的發射率，但由於它是個相當複雜的函數，而 prometry 也只能用於高溫測量 ($>400^\circ\text{C}$)，因此也有用光柵來作溫測的技術，其基本溫測原理為利用光柵的熱膨脹來測量晶圓溫，我

們用雷射消融的技術在矽晶圓的表面上製作光柵，由此來作溫測，為了增加靈敏度，必須使用到大的繞射角，圖五為其結果，可以發現理論值跟實驗值相當一致。

最後，比較了各家製程設備廠商的規格，和根據前面的討論，設計一快熱製程的機台，見圖六，pyrometry 波長用 $8\mu\text{m}$ ，不只可以避免燈管干擾，還可使晶圓更光滑，我們還設計了 loadlock 來保持主鍋爐的真空度與潔淨度，希望能發展成為下一世代 IC 產業的製程技術，以降低建廠成本和產品的製程週期。

3. 半導體電漿製程之模擬與設計

一般而言，一個好的電漿製程模擬工具含括下列六個模組：

- ┆ 網格產生器模組。
- ┆ 中性重粒子傳輸模組。
- ┆ 電子和離子傳輸和波亦松方程模組。
- ┆ 電子能量分佈模組。
- ┆ 電磁場分析模組。
- ┆ 電漿資料庫。

本子計畫的目標是朝上述六大模組功能去建立一完善的“電漿製程設備模擬軟體”。

本年度在子計畫三中完成了 (1) 電漿模式及其電腦模擬方法的建立，其中包含了 (2) Fokker-Planck 方程式的解法和 (3) 電感耦合電漿反應器內的電漿流場分析；另外也完成了 (4) 基於 GEC 參考腔體之尺寸放大的電感耦合電漿源蝕刻機之設計。

4. 半導體製程反應器之模擬與研製

利用有限元素法空間離散及修正前項尤拉法時間積分，本研究將根據第一年所建立的數學模式將 RTP 中的輸送現象加以深入研究，並將化學反應及熱擴散對質量輸送的影響 (Sorret Effect)

同時考慮，以期和另一子計畫的實驗結果做整體性的比較與探討並提出未來反應器設計與改良的準則。

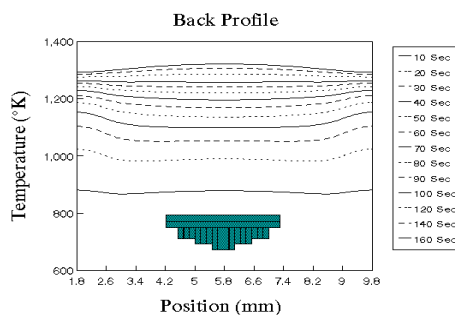
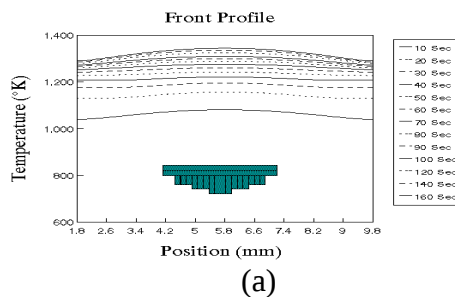
研究的重點在於模型的建立，在一個 RTP 反應器中最重要的是溫度的分佈均勻，故求解溫度場變成了本研究中初期的重點，一般而言在一個不考慮做任何的補償的情形下，晶片上的溫度會因流體的流動而造成晶片邊緣的溫度下降，如此一來可能造成晶片上各處的反應不均，進而使得鍍層的厚度不均勻。

圖七即是根據以上所建立之模式對於一未做補償之晶片的 RTP 反應器所做的溫度分佈，由圖可以看出晶片在邊緣的溫度有下降的情形產生，與文獻上的結果相符。

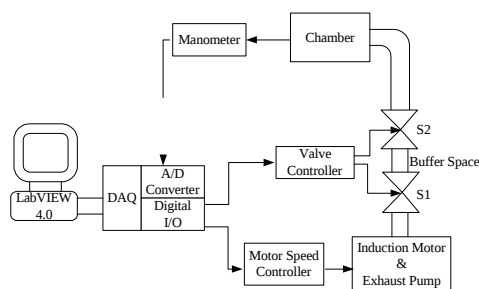
接下來的研究即是為了改善此一缺點，改變不同的條件及情況，以求可以改善溫度分佈的均勻性。最後再和另一子計畫的實驗量測結果做比較，以期建之可信可靠之電腦分析工具。

四、結論與討論

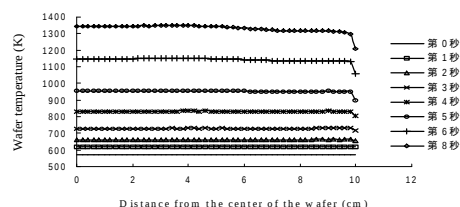
本計畫執行二年來，各子計畫在研究設計上累積不同的技術經驗與實驗結果，並互相討論與技術支援，產生合作研發上的綜效，且於執行期間彼此支援與合作，因而研究人員間形成默契，互相瞭解彼此間的關連性，遇到跨技術領域的難題可快速有效地予與解決，如此團隊合作研究下，促使二年內順利完成製程反應器雛形機的設計與研製。預期本研究結果將可協助改善我國半導體業之體質，不僅可避免因依賴進口而須承擔美日等國壟斷先進製程設備之威脅，亦可將發展過程中所累積的技術與經驗，提供工業界對於半導體關鍵設備技術之諮詢。



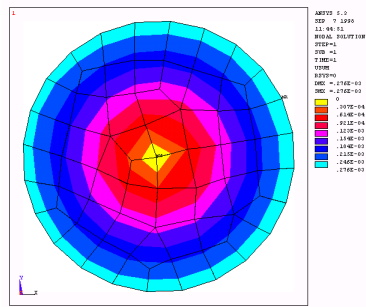
圖一：使用「倒置扁平圓錐型矽承接台」之晶片(a)正面及(b)背面溫度曲線隨時間變化較佳之模擬結果



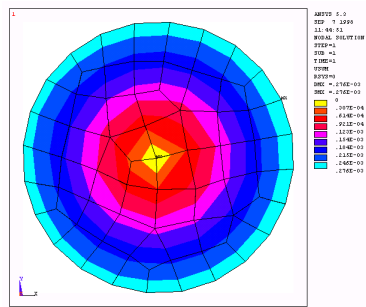
圖二：壓力控制系統架構圖



圖三：壁反射率改變後之晶圓表面溫度分佈

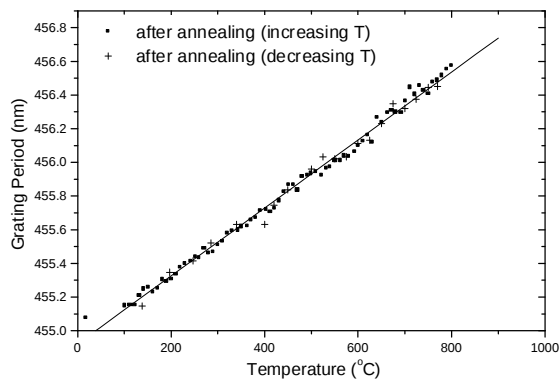


(a)

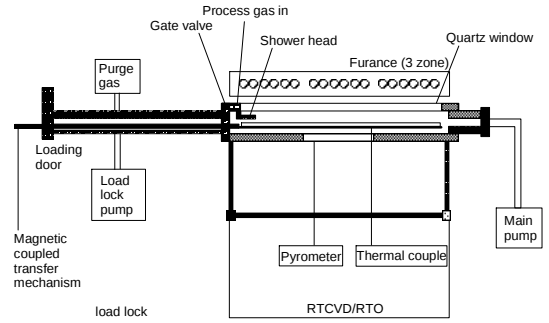


(b)

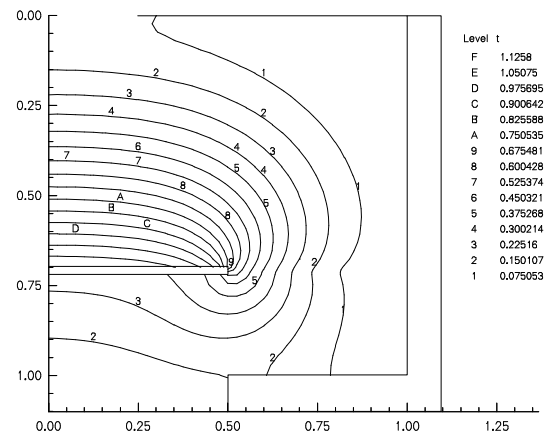
圖四：晶圓上(a)總位移及(b)等效應力分佈圖



圖五：晶圓溫度在暫態與穩態之分析結果



圖六：RTP機台示意圖



圖七：RTP反應器所做的溫度分佈