

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

雙極式靜電吸盤測試環境及吸附力之探討

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2622-E-002-012-CC3

執行期間：91 年 06 月 01 日至 92 年 05 月 31 日

執行單位：國立臺灣大學應用力學研究所

計畫主持人：楊照彥

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫為提升產業技術及人才培育研究計畫，不提供公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 22 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

「雙極式靜電吸盤測試環境及吸附力之探討」

計畫編號：NSC 91-2622-E-002-012-CC3

執行期限：91 年 6 月 1 日至 92 年 5 月 31 日

主持人：楊照彥 台灣大學應用力學研究所

一、中文摘要

本計畫建立一雙極靜電晶片吸盤和其相關特性之測試實驗系統並應用泛用型計算軟體 STAR-CD 模擬其中詳細熱傳問題。

關鍵詞：靜電吸盤、熱傳、雙極式靜電晶片吸盤

Abstract:

This report describes the main objectives accomplished in this project, we purpose to build and assembly a test enviroment for the study of bipolar electrostatic chucks. The numerical tool STAR-CD code was used to simulate the complete details of the heat transfer problem.

Keywords: electrostatic chuck、heat transfer、Bipolar ESC

二、緣由與目的

製程設備是半導體製品品質與良率最主要的關鍵，若製程設備未被認證前，半導體商決不敢貿然採用，相對來說，如能在生產製造設備及零組件前先提供一套有效設計且客觀的模擬情形，不但有助於元件設備生產時的考量更有助於避免其金錢上與時間上的浪費。力學式晶圓座（Mechanical Clamp）在單一晶圓的製程中乃為最簡易也最常用的晶圓固定箝制方式，但當晶圓尺寸增大時，則衍生而來需面臨許多問題，包含其可能造成的：晶圓拱起，製程上所造成的微粒污染，保養不易，邊緣使用性差減少生產量等缺點，遂逐漸被靜電式晶圓座所取代。本文以靜電式晶圓座為主軸探討其表面設計散熱效果及其晶圓表面溫度分布

之關係以及其吸附效應。

三、靜電吸盤吸附力探討

靜電吸盤 ESC 吸附晶片原理是靠其加在下電極的直流電壓，使得在其上的介電層 (dielectric layer) 產生靜電力而吸附晶片，而電壓持續作用的結果，使得下電極的電荷會通過介電層而聚集在介電層的表面，聚集和極化的速度和此覆蓋層上的電阻有關，一般而言，介電層愈厚，對於晶片的吸附力會較小，且熱移除的效率也會較差，靜電吸盤依其電極形狀構造可分為平行板電容，積體型電極，共平面電極三種形式，其吸附壓力值為：

$$P = \frac{1}{2} \kappa \epsilon \left(\frac{V}{t} \right)^2 \quad (1)$$

加於靜電吸盤上的介電層可分為絕緣體材料 (insulator material)，半導體材料 (semiconductor material)，半導體材料其產生的靜電吸附壓力效應，稱為 Johnson Rahbek effect，其吸附力為：

$$F = \frac{1}{2} \sum A_e \left(\frac{V}{g} \right)^2 + \frac{1}{2} \epsilon (A - A_e - A_c) \left(\frac{V}{g} \right)^2 \quad (2)$$

四、靜電吸盤熱傳分析與模擬法

本文數值計算流場的統御方程式是利用有限體積法將微分方程離散。而在利用有限體積法或其他數值方法求解 Navier-Stokes 方程式時，壓力梯度項離散後，因壓力位於間隔

格點，在數值疊代過程中可能造成壓力振盪 (checkerboard pressure)，即使此壓力場及速度場皆能滿足離散後的動量及連續方程式，但並不符合物理意義，為避免此種不合理狀況發生，所以大都使用交錯性格點

(staggered grid) 系統，即將壓力、密度、溫度等純量變數都儲存於主格點上，而將速度向量分別儲存於垂直之控制體積的界面上，此種格點排列方式雖然解決了不合理的之數值現象，卻也增加了電腦記憶體所儲存的空間，非交錯性網格是將所有變數都儲存於主格點上，因此可避免交錯性格點之缺點，同時選用適當的壓力差分方法，如此可避免因壓力項振盪所造成的不合理現象。

在 ESC 與晶圓熱傳遞的數值模擬中，流體質量與動量守恆主要考慮連續方程式與動量方程式，流體與固體部分熱傳主要考慮能量方程式，各方程式分續如下：

連續方程式 (continuity equation)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (3)$$

ρ 為氣體密度， u_i 為速度

動量方程式 (momentum equation)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (4)$$

$+\rho g_i$

能量方程式 (energy equation)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i}[u_i(\rho E + p)] = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum_j h_j J_j + u_j \tau_{ij} \right] \quad (5)$$

在固體區域的能量方程式為：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_i}(u_i \rho h) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) \quad (6)$$

其中 T 、 ρ 、 k 為固體溫度、密度、熱傳導率，

$$h = \int_{T_{ref}}^T C_p dT \quad (7)$$

STAR-CD 使用控制體積的基本技巧將統御方程式離散轉化成代數方程式並化成一通式，然後再分離求解 (segregated solver)，

在分離求解中，非線性的統御方程式都要線性化，以形成微小體積中獨立變數的方程式系統，而在每一個微小控制體積中所使用的有限體積法都得遵守守恆定律

(conservation principle)，其中物理量將伴隨不同的係數而使方程式左右兩邊達成平衡，為編寫程序方便，可將以上每一個控制體積的統御方程式都寫成以下的通用形式：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \phi) + \nabla \cdot (\rho \vec{u} \phi) = \nabla \cdot (\Gamma_\phi \nabla \phi) + s_\phi \quad (9)$$

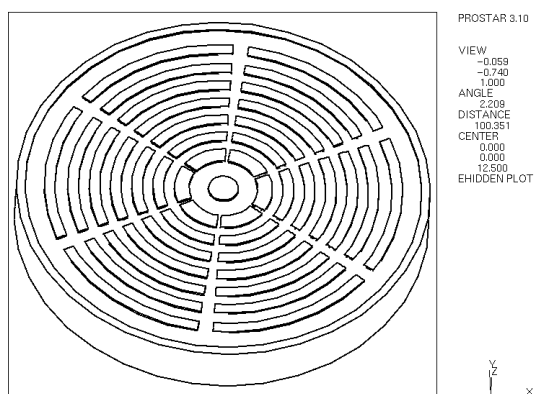
其中左邊第二項為對流項，右邊第一項為擴散項。當 $\phi = u$ 時， $s_\phi = p_x$ 即為動量方程式

五、計畫成果

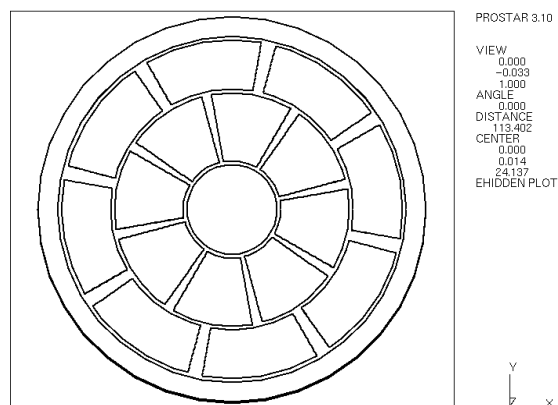
本文，對於雙極式靜電吸盤之吸附特性及原理做一系列探討，並建構出晶圓與靜電式晶圓座挾持系統之熱傳模式，探討晶圓溫度的均勻性。利用其中一些重要參數的變換，包含所施予的熱通量、晶圓座的表面紋路設計、晶圓與晶圓座的超出面積比。並應用泛用型計算軟體 STAR-CD 模擬其中詳細熱傳問題，且其計算結果與所獲得之數據相符 (見圖 1 至圖 10)。在設計靜電式吸盤的前提下，能提供一有效方式與數據，減少時間與金錢上的花費。

六、參考文獻

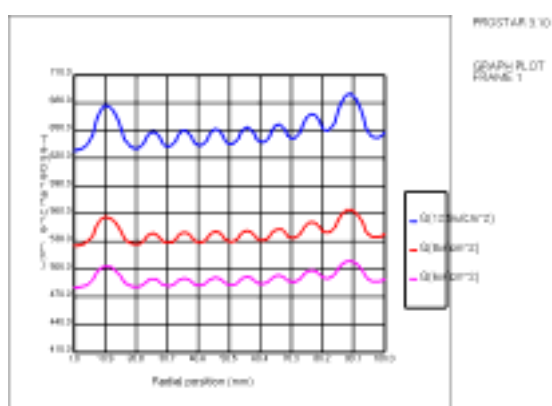
- [1] D. R. Wright, D. C. Hartman, and U. C. Sridharan, J. Vac. Sci. Technol. A, vol. 10, no. 4, pp. 1065-1070, Jul/Aug 1992
- [2] D. R. Wright, L. Chen, and K. Forbes, "Manufacturing issues of electrostatic chucks," J. Vac. Sci. Technol. B, vol. 13, no. 4, pp. 1910-1916, Jul/Aug 1995
- [3] George A. Wardly, "Electrostatic wafer chuck for electron beam micro fabrication," Rev. Sci. Instrum., vol. 44, no. 10, pp. 1506-1509, October 1973
- [4] G. E. Jellison, Jr. and F. A. Modine, "Optical absorption of silicon between 1.6 and 7.6 eV at elevated temperatures," Appl. Phys. Lett., vol. 41, no. 2, pp. 180-182, July 1982
- [5] Gottlied S. Oehrlein, "Reactive ion etching," Physics Today, pp. 26-33, October 1996
- [6] Hongching Shan et al, Michael Welch, and Chandra Deshpandey, J. Vac. Sci. Technol. B, vol. 14, no. 1, pp. 521-526, Jan/Feb 1996
- [7] J. -F. Daviet and L. Peccoud F. Mondon, "Heat transfer in a microelectronics plasma reactor," J. Appl. Phys., vol. 73, no. 3, pp. 1471-1479, February 1993



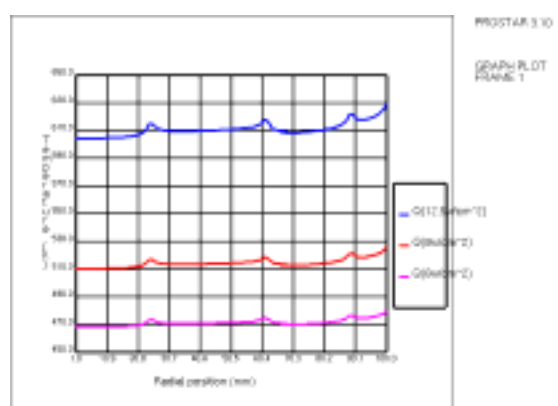
圖(1) 由STAR-CD建構之ESC 1幾何外型



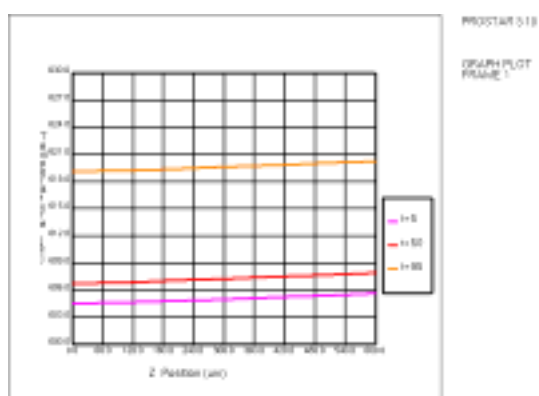
圖(2) 由STAR-CD建構之ESC 2幾何外型



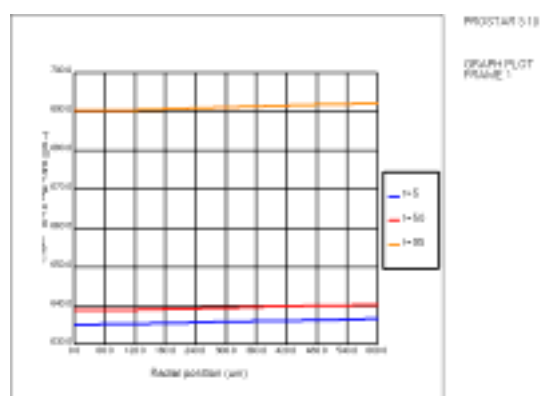
圖(3) ESC 1=99mm, 不同熱通量下晶圓r方向溫度分佈



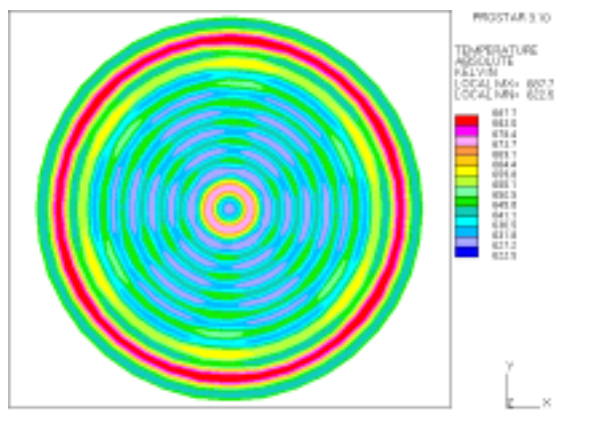
圖(4) ESC 2=99mm, 不同熱通量下晶圓r方向溫度分佈



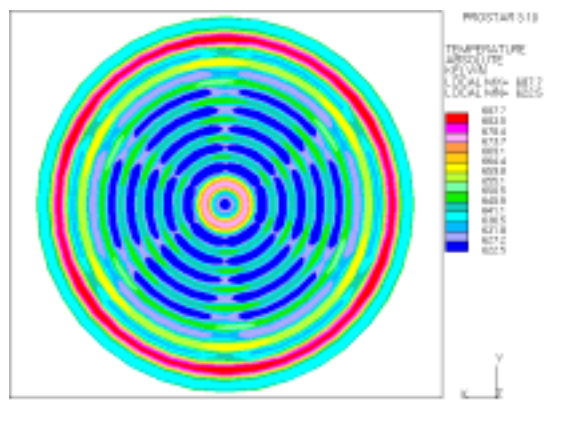
圖(5) ESC 1=99mm, 不同熱通量下晶圓z方向溫度分佈



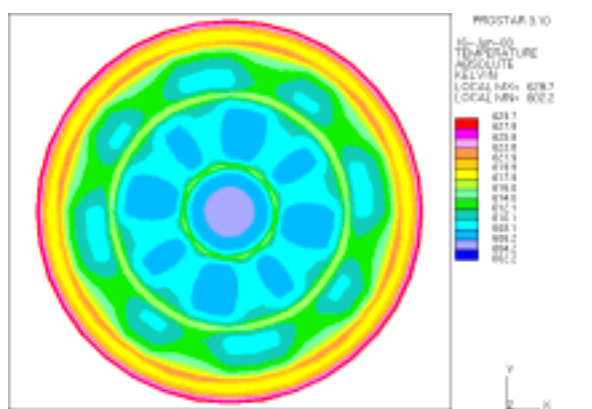
圖(6) ESC 2=99mm, 不同熱通量下晶圓z方向溫度分佈



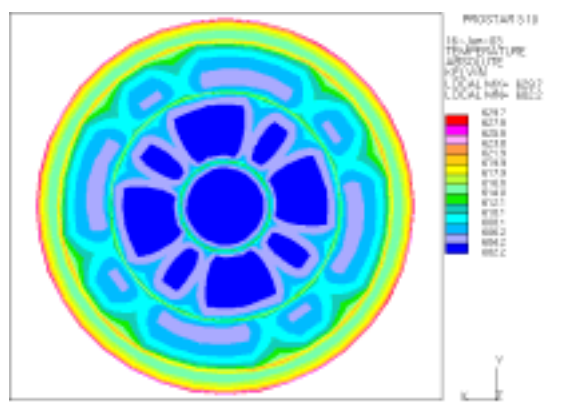
圖(7) $Q_{in}=12.5w/cm^2$, ESC 1=99mm晶圓正面溫度分佈



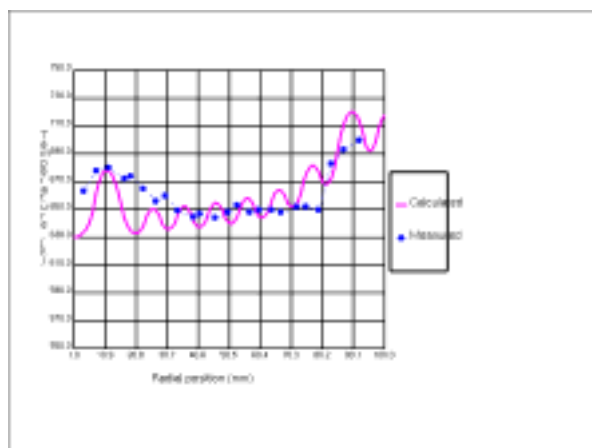
圖(8) $Q_{in}=12.5w/cm^2$, ESC 1=99mm晶圓正面溫度分佈



圖(9) $Q_{in}=12.5w/cm^2$, ESC 2=99mm晶圓正面溫度分佈



圖(10) $Q_{in}=12.5w/cm^2$, ESC 2=99mm晶圓正面溫度分佈



圖(7) 晶圓溫度隨r方向變化情形
實驗數據與數值結果相較