



# 大氣電漿之模擬技術

Plasma Simulation Technique and Its Application

## 楊國輝

工研院機械所  
先進製造核心技術組  
光電設備技術部

## 謝志璋

工研院機械所  
先進製造核心技術組  
光電設備技術部  
經理

## 吳宗信

國立交通大學  
機械工程系  
教授

## 邱垂青

國立交通大學  
機械工程系  
博士生

## 關鍵詞(Keywords)

- 介電質放電 Dielectric Barrier Discharge
- 電漿流體模擬 Plasma Fluid Model
- 熱流場分析 Thermal-Fluid Field
- 大氣壓電漿 Atmospheric Pressure Plasma

## 摘要(Abstract)

電漿系統使用廣泛，且大量的被使用於半導體產業中，受到產業升級的影響，高效能之電漿系統所耗費的資本支出龐大，使得設備攤提時間過長，提高企業之營運壓力；近年來，模擬分析技術隨著電腦效能的提高與理論基礎逐漸完備的情況下，可透過模擬分析直接預測系統之工作能

力，有效降低設備研發成本，同時提供設計者設計方向；電漿模擬分析技術為了降低計算時間，除了提高計算系統之效能外，另一方面則是透過簡化的方式將電漿系統由三維降至二維，並將系統區分為電漿產生區、整流區與再結合區，分別計算以降低計算複雜度；以氦氣為主要氣體，摻雜氧氣、氮氣與水氣為例，透過時間多重尺度演算數值方法，由計算結果與傳統電漿流體數值方法進行比較，電漿物種濃度分佈誤差小於 4%，計算速度提升至 25 倍以上。

Plasma techniques are wildly used in semiconductor industry. As the chip size becomes larger, the high performance plasma system and its cost increases dramatically. Higher capital expenditure affect the profit of the company. Nowadays, simulation technique is a useful tool for



predicting the behavior of the species directly, which provide the design rule for the designer as well as lowering the cost of research and design. In this study, the 3D model simplified into 2D simulation model, is divided into three sections: (1) plasma generation zone, (2) flow integrated zone, and (3) recombination zone. By using a higher performance computer, computational time can be dramatically reduced. The results show that the runtime using the TMA can be dramatically reduced to 4 % (25 times faster) with a relative difference of spatially averaged number densities generally less than 1 % for all species between the TMA and the benchmark cases.

---

## 1. 前言

---

電漿為物質的第四態，與氣體一樣是一個由許多粒子所組成的統計熱力學系統；電漿與氣體最大的不同就是它是由帶電粒子所組成的，這些帶電粒子的運動，會受到電場與磁場的影響，相對的，帶電粒子在空間中的分布以及移動，也同時會產生新的電場與磁場。一般而言，電漿內含有帶正電的離子以及帶負電的電子，由於離子的質量遠大於電子的質量，導致有不同的物理尺度存在於電漿系統中，舉例來說，當時間尺度細分至小於電漿中之本徵時間尺度 (intrinsic time scales) 時，其將使得電漿難以達到熱平衡的狀態，因此，電漿模擬中帶電物種或是活性物種的動態影響 (kinetic effect) 與時間尺度的選擇具有相當大

的依存關係。

研究電漿內活性或是非活性物種行為的方法，大致可概分為：理論、實驗、觀測、與數值模擬。模擬分析的優點是可以提供電漿系統設計者設計方向，深入了解系統內無法被觀測到的部份，相較於實驗驗證，實驗通常需要較高的研究經費，在有限的經費限制下，資料的數量無法有效提升，以致於常常出現瞎子摸象的情況。理論研究所需經費最低，但是分析預測多重物理耦合系統或是高度非線性以及時間相依的動態物理過程，也往往超出目前理論所能預測的範圍與研究者的能力，以致於多數的分析過程中，會過度簡化問題，使得真實的物理現象無法完整呈現。但好的理論研究，不只可以協助設計者解釋觀測到的結果，也可以協助實驗團隊擬定下一個實驗目標與驗證方式。實際上，實驗與數值模擬是可以相輔相成的，數值結果一方面可以大幅彌補觀測上的不足，另一方面實驗也可以用來驗證理論模式中各種假設的可行性與正確性，並提供設計者建構與修正電漿系統的方向；事實上，建立一個電漿實驗室所需的經費，與用電腦做模擬實驗所需的經費相比，前者是昂貴多了。

---

## 2. 電漿原理與分析技術

---

於地球表面上，其表面化學反應大都處於較低溫與約一大氣壓的密集狀態來進行，因此在熱能狀態較低的密集粒子中，物質狀態相對安定，離子、電子或形物種如自由基 (radical) 等不安定之粒子透過中和與化學鍵結等機制構成原子或分

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】387期・104年6月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：[www.automan.tw](http://www.automan.tw)