

低壓電漿顯影的流場可視化技術

Flow-Field Visualization Technology for Low Pressure Plasma Discharge

陳冠州^{1*}、黃智勇²、林士欽³、謝明翰⁴、劉耀先⁴

¹ 工研院機械所 先進機械技術組 固態光源機械技術部 資深工程師

² 工研院機械所 先進機械技術組 固態光源機械技術部 工程師

³ 工研院機械所 先進機械技術組 固態光源機械技術部 研究員

⁴ 國立交通大學 機械工程學系暨研究所

摘要：在各磊晶製程中，流場均勻性是決定薄膜品質良好與否的重要影響因子。本研究之反應氣體（氬氣）及載流氣體（空氣）在預混系統中先行預混，再透過進氣口，輸入至低壓腔體中，並配合平行放置於真空腔體中雙電極，透過電引入接通外部高壓電源，使反應氣體解離，於腔體內生成週期性疏密電漿，並透過高速攝影機拍攝，量測位於腔體內的二維流場及速度場。本研究腔體抽氣及進氣後的壓力維持在 10^{-1} (torr) 至 10^{-2} (torr) 區間的低壓狀態，而關於電漿生成裝置中主要操作參數為：交流高壓電源供給電壓 200 V 至 4000 V、反應氣體進氣流量 10~50 sccm、改變進氣流量與腔體壓力等操作參數，觀察其流場的變化。

Abstract : The flow uniformity is an important factor for obtaining high quality materials in various epitaxial process. In this study, the flow distribution in a low pressure chamber was visualized using the plasma glow discharge. Reaction gas (argon) and carrying gas (air) were supplied from premixed system and transported into the chamber through a inlet port. However, plasma was generated via argon reaction with two parallel electrodes. Two dimensional flow and velocity fields were measured in a cross-sectional plane for the center of the chamber. In this study, the pumping pressure was maintained at 10^{-1} to 10^{-2} torr, and the inlet flow rates ranged from 10 to 50 sccm. The effect of varying inlet flow rates and chamber pressure were studied.

關鍵詞：化學氣相沉積、粒子影像測速儀、流場可視化

Keywords : Chemical vapor deposition, Particle image velocimetry, Flow visualization

前言

電漿輔助氣相沉積 PECVD (Plasma-enhanced chemical vapor deposition) 為半導體元件產生性質優良與純度高之薄膜重要技術，其系統大致包括氣體混合與發生反應的反應腔體 (Reacting Chamber)、氣體控制與混合系統 (Gas handling & mixing system)、反應源 (Precursor) 以及廢氣處理系統 (Scrubber) 等。主要是藉助微波或射頻等技術，將反應氣體由氣體控制與混合系統導入反應腔體中與載流氣體混合，使含有薄膜組成原子的

反應氣體，經由交流高電壓電源供應器，將局部反應氣體解離形成等離子體（電漿）；因等離子化學活性極強，易與置於基底上多種前驅物發生化學反應，最終於基板上生成薄膜。

根據相關文獻指出欲在常壓的狀態下產生大面積且均勻的輝光放電（也稱為電漿），操作參數中電極結構、高壓電源供給電壓、反應氣體種類等都是影響的關鍵因素；氣體密度在常壓狀態下較真空 (< 0.1 torr) 高出 10000 倍，因此平均自由路徑距離會較常壓狀態短，因此在極短的時間內

由於二次發射電子 (Secondary Emission Electrons) 產生鏈鎖反應，生成大量的電子團，導通電極而產生電弧放電。但電弧生成對電漿均勻性是不佳的現象，可以透過在電極間放置介電材料，使二次發射放電的電子團於正電極上累積且均勻分布，並與負電極上所聚集的離子團反應，生成空間電荷電場，其與外加電場的方向相反，進而可以與外加電場互相抵銷，降低短時間大量生成的電子數目，即可防止電弧放電的產生，以維持生成電漿均勻性

本技術研究真空腔體中放置平行雙鋸齒狀電極，透過外接交流高壓電源供應器供給電壓，導通平行放置電極而生成大面積且均勻的電漿，藉以進行稀薄氣體流場與電漿顯影可視化技術開發。根據相關專利資料得知，鋸齒狀電極相較於非鋸齒狀電極有較低的崩潰電壓，生成的電漿為週期性疏密電漿，較一般電極生成的電漿分布更為均勻，有助於電漿顯影可視化技術開發。

技術演進

2002 年 Cheng 等人 [1] 以煙線法作為流場可視化實驗，實驗結果得到當流量提高時，腔體內側的渦流將會變大，擠壓外側渦流變小。當腔體內部壓力提高時，雷諾數提高，此時內側渦流將變小，而外側渦流增大。2007 年 Mitrovic 等人 [2] 以 CFD 軟體數值分析 CVD 流場，提出透過找尋最佳的載氣流率是優化最大磊晶成長速率及均勻性的方法，並提出當進氣流量上升時，可使用較高的腔體壓力，而若進氣入口處的速率低於臨界雷諾數，沉積均勻性將會急遽降低。

在二十世紀初期有許多關於電漿放電技術的發展，其應用在電漿氣相化學相關製程技術方面，Fridman 等人 [3] 提到電漿生成 4 大元素為電場、供給電壓、反應氣體及輻射效應等，並且提出這 4 個元素對電漿生成彼此之間都是獨立影響的。Elenbaas [4] 提到電漿依據反應氣體溫度及電子溫度隨壓力變化，區分為非平衡態電漿以及平衡態電漿，非平衡態電漿放電現象較常侷限在低壓狀

態 ($< 1\text{ torr}$)，而平衡態電漿放電現象則較常發生在高壓狀態。

輝光放電技術的操作原理是利用真空幫浦持續抽氣，使腔體維持在低壓的狀態下，並透過外加電源供給電壓導通平行電極，使腔體中生成大面積且均勻的電漿，而腔體中除了電極附近區域外，皆為均勻的輝光放電，因此非常適合應用於電漿氣相化學方面的相關研究 [5-7]，在過去 50 年間，輝光放電配合可視化的技術發展，在低密度氣體超音速風洞震波可視化實驗中，被廣泛的採用 [8-10]。近年來關於電漿顯影技術工程上的應用也相當廣泛，Shao 以及 Wang [11] 透過針狀配合平行電極放電的方式，實現在三維超音速風洞中觀察震波的變化，並透過相關數值模擬的方式，應證其結果的正確性，實驗結果也顯示電極放電配合可視化的方式，可應用在觀測超音速風洞流道中，不同平面上的震波的變化。

關於平行電極的放電現象，2005 年 Louste 等人 [12] 開發一種新的放電系統，又稱為滑動放電 (Sliding discharge)，指出其可以得到更穩定的放電現象；滑移放電的放電現象是由三電極系統所組成的，兩個平行的電極 (又稱上電極) 安裝在絕緣表面上，第三電極放置在絕緣表面下側 (又稱下電極)，並透過直流電源供應器施加負電壓到兩個上電極之一和下電極，而另一個上電極則用交流電源供應器連接；但指出這種放電現象的電子特性及空氣動力學表現仍然是未知的。因此 Sosa 等人 [13] 對因滑動放電及 AC/DC 電漿片放電現象引起的流動，進行流體力學及電動力學的相關研究。

理論基礎

本研究之實驗操作參數有：腔體壓力、進氣流量、供給電壓等；相關的無因次參數有：雷諾數及帕森曲線

1. 雷諾數

隨著不同進氣流率的調整，腔體內反應氣體的流速也會產生差異，因此我們使用雷諾數 (Reynolds number) 來描述腔體中流場型態，其物

更完整的內容

詳見 | 機械工業雜誌 | · 435 期 · 108 年 6 月號

機械工業雜誌·每期 **220** 元·一年 12 期 **2200** 元

線上訂購網址：<https://www.automan.tw/magazine/orderMag.aspx>

付款方式

1. 郵局劃撥—戶名：財團法人工業技術研究院機械所 帳號：07188562
請於劃撥單的通訊欄寫明：購買期數、金額等
2. 匯款資料—兆豐國際商業銀行新竹分行(代號 017)
帳號：203-07-02288-0 戶名：財團法人工業技術研究院
3. 信用卡—請填寫信用卡 [訂購單](#)

麻煩您將 繳款收執 或 信用卡刷卡單 傳真至 (03)582-2011，我們會盡快處理您的訂單並開通權限，再次感謝您的支持與愛護。

訂書專線：03-591-9339 傳 真：03-582-2011

機械工業雜誌·官方網站：www.automan.tw 機械工業雜誌·信箱：jmi@itri.org.tw

機械工業雜誌 優惠訂購單

訂閱一年 **12** 期

\$ 2200 / 續訂戶 \$ 2000

好禮二選一

- A** 史欽泰墨寶帆布袋
- B** 工研院機械所無人車USB (8G)

訂閱紙本+電子雜誌

\$ 3000 原價 \$ 4400

一年12期

- 贈送
- A** 史欽泰墨寶帆布袋

訂閱二年 **24** 期

\$ 4000 / 續訂戶 \$ 3600

好禮四選二

- A** 史欽泰墨寶帆布袋
- B** 工研院機械所無人車USB (8G)
- C** 工具機叢書任一本
- D** 智慧機械人叢書任一本

限量專屬精品送給您



A



B



C



D