



## 常壓電漿束於矽蝕刻之應用

### Silicon Wafer Etching Technology by Atmospheric-Pressure Plasma

<sup>1</sup> 劉志宏 / <sup>2</sup> 黃駿 / <sup>3</sup> 劉威霆

<sup>1</sup> 工研院機械所 先進製造技術組 電漿系統技術部 經理

<sup>2</sup> 元智大學 化學工程與材料科學系 教授

<sup>3</sup> 元智大學 化學工程與材料科學系 研究生

**摘要：**常壓電漿技術已廣泛使用於材料表面改質之相關應用產業，其技術包括鍍膜、蝕刻、表面粗化及活化，以賦與材料表面具有功能性(如親/疏水特性或具生物相容性等)，而增加材料之附加價值。本文欲介紹工研院機械所開發之氟碳常壓電漿束，內容包括其加工技術特色、應用及與矽晶圓表面間之作用機制；此外，亦探討其電漿束於矽材蝕刻之應用可行性。

**Abstract :** Atmospheric-pressure (AP) plasma technologies such as thin film deposition, etching, and activation have already been widely used across many industries. In this paper, the fluorocarbon AP plasma for silicon wafer etching application including its processing technique features, and working mechanism is introduced. In addition, the atmospheric-pressure plasma technology that developed by MMSL/ITRI to fabricate silicon wafer etching technique is also discussed.

**關鍵詞：**常壓電漿、電漿蝕刻、無光罩製程

**Keywords :** Atmospheric-Pressure Plasma, Plasma Etching, Maskless Processing

### 前言

電漿技術之應用已相當廣泛於產業界，包括光電及半導體產業運用電漿蝕刻及鍍膜技術製作精密元件及加工積體電路之晶片；又如運用電漿改質技術於紡織業與各類民生用品等，其技術使材料本體特性不被改變，僅改變其表面特性使之具有功能性(如親/疏水特性、抗菌性或生物相容性等)而達到各應用之需求。多數電漿於真空條件下進行激發，其優點為較具製程品質或製程上之需求(如顯著之離子轟擊效應)；然而，真空環境需搭配真空幫浦、

壓力計與腔體等組件，在系統維護與設備建置相當昂貴，工件或物件處理亦受限制因此國內外之研究機構及相關應用產業相繼開發出可於大氣壓(或稱常壓)下激發電漿。

矽晶圓(silicon wafer)具有良好之半導體特性，亦已廣泛運用微機電製程製作微奈米結構而應用於各領域。其中，電漿蝕刻(plasma etching)即為製作微結構之關鍵製程；電漿蝕刻機制與一般傳統濕式化學蝕刻製程有所不同，它具有高能量之離子(ions)及具有反應性之自由基(free radicals)，在它與



矽材表面接觸時，離子的撞擊與反應自由基的作用，將與矽材形成揮發物而帶離矽材料表面而達到蝕刻目的，常見的電漿蝕刻矽晶圓製程乃通入含氟(fluorine)氣體，例如  $\text{SF}_6$ 、 $\text{CF}_4$ 、 $\text{CHF}_3$ [1]等。2011年 Chen 等人[2]針對矽晶圓蝕刻，研究群使用感應式耦合電漿蝕刻系統，實驗中通入  $\text{SF}_6$ 、 $\text{C}_4\text{F}_8$  及氬氣(Ar)等混合氣體，並觀察蝕刻輪廓與蝕刻速率(etching rate)；研究結果發現，碳源氣體的添加可助於獲得具垂直性之蝕刻輪廓，而 Ar 氣體的添加，推測離子轟擊效應的提升，增加其蝕刻速率。另 Eichertopf 研究團隊[3-4]則使用大氣壓電漿束，以通入氦氣(He)與  $\text{CF}_4$  主要氣體，並添加不同比例之氧氣( $\text{O}_2$ )與氮氣( $\text{N}_2$ )，針對碳化矽(SiC)材料之蝕刻速率進行探討；研究發現通入  $\text{O}_2$  將抑制 Si 與 C 之移除速率，推測此蝕刻製程中，氧原子與矽形成氧化矽( $\text{SiO}_x$ )而改變材料表面特性而抑制蝕刻速率。

工研院機械所已投入相關之研發能量以建構常壓電漿系統，及開發鍍膜、蝕刻及材料表面改質相關產業之關鍵製程技術，故本文將討論所開發之低溫常壓電漿束，其主要氣體為氬氣(Ar)，並通入氟碳氣體之四氟甲烷( $\text{CF}_4$ )與八氟環丁烷( $\text{C}_4\text{F}_8$ )，探討於不同電漿參數下對矽晶圓蝕刻之可行性，並觀察其表面蝕刻輪廓與蝕刻速率，期以提供矽材微結構製作之非黃光微影製程，即無光罩(maskless)之蝕刻製程；此外，實驗中亦搭配不銹鋼之遮罩(metal mask)，以定義矽晶圓表面蝕刻輪廓，期以運用於微機電製程中。

## 電漿技術

電漿(plasma)[5-8]為部份離子化之氣體，其生成主要靠由電漿內部物種的碰撞反應，即靠著電子在電場中加速獲得極高動能，而當它碰撞到氣體物種時乃進行能量傳遞效應進而達到離子化(electron-impact ionization)。電子動能與電場間可由電場對電子作功之累積表示，即電子動能相當於電場作用力與距離之乘積，亦即電子所獲得的能量相當於粒子

帶電量、電場大小及其粒子平均自由路徑之相乘積。故在電子帶電量固定下，欲提升電子動能則需由增加電場，或提升平均自由路徑，也就是降低碰撞頻率等技術上著手，這也就是一般電漿製程多半以高電壓，以及低壓環境下操作之主因。然而，低壓製程因真空零組件及高設備維修成本，且其真空腔體限制產品推動連續製程應用而無法有效降低製作成本；故電漿製程若能於大氣壓條件下進行，這對於產品成本無非是絕對優勢，而常壓下電子與其它中性物種碰撞頻率極高，電子在未獲得足夠能量進行離子化前便把累積能量釋出，故要於大氣環境下產生電漿，其方法有二：提供大量電流來加熱氣體分子或提供高壓電場，使電子在有限的距離累積足夠能量來進行離子化碰撞；然而，對於製程應用而言，一大氣壓且低溫之電漿製程為業界所樂見的。以下將進一步對電漿物種及其與材料表面間作用機制做概要性介紹。

電漿內部包括帶電荷之電子、離子及不帶電之中性物種與自由基，當中之反應涵蓋物理現象及化學反應，除上述 electron-impact ionization 反應外，亦有其它反應於同時間進行，以下即簡述氣相之基本反應：

- (1) 離子化(ionization)：電子撞擊中性物種而產生“離子-電子”對。
- (2) 激發(excitation)：中性物種吸收能量，能階由基本態上升至激發態，而激發現象依照能階差由低至高有轉動(rotational)、振動(vibrational)及電子(electronic)激發等三種。
- (3) 結合反應(recombination)：正電荷與負電荷中和並釋放能量。
- (4) 解離(dissociation)：具能量之電子將分子間鍵結打斷而形成自由基。
- (5) 其它重要反應(other reactions)：如降激態(relaxation or de-excitation；中性物種由激發態降至另一較穩定之能階，其能量乃以光的形式釋放)、電荷轉移(charge transfer；粒子間電荷互換)

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】414期・106年9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)

機械工業雜誌信箱：[jmi@itri.org.tw](mailto:jmi@itri.org.tw)