



# 高密度電漿源的模擬 與量測分析

Experimental and Numerical Investigations  
of a Hollow Cathode Discharge Reactor  
for Microcrystalline Silicon Deposition

董福慶 吳佩珊 陳家銘

工研院機械所 新興能源技術組 太陽能光電設備技術部

林重勳

中原大學  
機械工程研究所系  
博士生

魏大欽

中原大學  
化學工程學系  
副教授

趙修武

台灣科技大學  
機械工程系  
副教授

吳慶輝

工研院機械所  
新興能源技術組  
副組長

## 關鍵詞

- |              |                          |
|--------------|--------------------------|
| · 微晶矽        | Microcrystalline Silicon |
| · 矽薄膜生長      | Thin Film Deposition     |
| · 電漿輔助化學氣相沈積 | PECVD                    |
| · 數值模擬       | Numerical Simulation     |

## 摘要

隨著太陽能光電產業的蓬勃發展，電漿輔助化學氣相沉積技術也被廣泛應用，如在微晶矽薄膜沉積生長的太陽能電池相關產業上。本文基於計算流體力學方法搭配電漿模型，進行薄膜生長數值計算研究，探討 Ar 電漿與  $\text{SiH}_4$ 、 $\text{H}_2$  工作氣體對於製程腔體內部流場及微晶矽薄膜沉積特性的影響。模擬部分包括基板表面矽薄膜生長機制之數學模型建立，與具反應機制的二維電漿流場之數值模擬，藉由電

漿模型計算即可模擬製程區內，各氣態物種濃度變化與玻璃基板上固態薄膜生長的變化情形。在實驗量測部份，本文則利用靜電探針對使用中陰極生成之 Ar 電漿進行電漿診斷，過程中改變 Ar 電漿功率及製程壓力，探討其對電子密度及電子溫度之影響。

## 前言

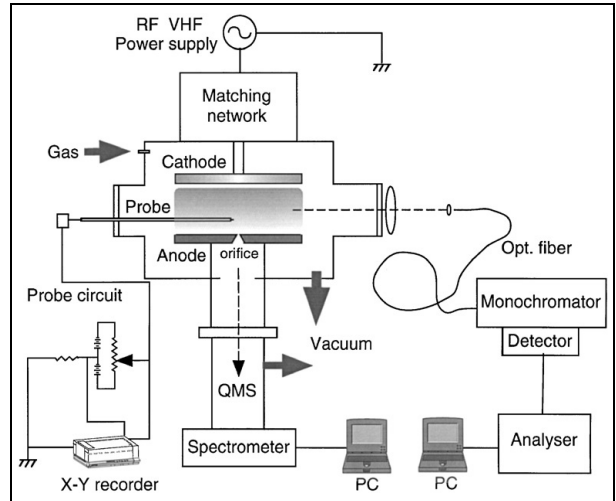
目前在光電半導體產業中電漿反應器主要應用於鍍膜與蝕刻的製程，電漿反應器在電場中通入氬氣激發產生電漿後，再行通入反應氣體，藉由被加速的電子撞擊中性物種而產生自由基及離子，當自由基擴散至基材表面進行化學的反應，以達到薄膜沉積或蝕刻製程的要求，此即為電漿輔助化學氣相沉積法(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition, PECVD)在電漿反應器腔體內進行薄膜沉積(Thin-Film Deposition)的主要機制。電漿成膜PECVD



技術能在玻璃基材上生成微晶矽[1-3]，可同時達到薄膜沉積厚度在幾微米之間，製程溫度小於600°C，為滿足結構強度以及電子性能特性要求的一種先進製程方法。在目前薄膜太陽電池市場中，主要以矽薄膜太陽電池為大宗，矽薄膜太陽電池在初期之單一p-i-n接合介面，多以非晶矽(a-Si)薄膜為製造結構，其band gap能隙為1.8eV，吸收光譜在500nm左右。而現今為提高太陽電池效率，以提高吸收光譜為手段，採用串列式(Tandem)雙接面結構，除原有a-Si之p-i-n接面外，再增加一微晶矽( $\mu$ -Si) p-i-n的接面，其能隙約在1.4eV左右，增加吸收700nm左右的光譜，得以提升光電轉換效率，因此目前市場皆以提升量產規格至光電轉換效率12%為研發的目標。

關於矽晶鍍膜沉積的特性研究，電漿源之真空反應器的性能設計優劣，對於薄膜沉積品質有極大的影響，文獻[4-7]中利用電漿模型模擬電漿源真空反應器內各物種空間濃度的變化，其研究中並使用電漿診斷系統，來確認模擬結果之準確性，而其所建立的二維電漿模型，亦可探討反應器設計對徑向濃度分佈之影響。一般 PECVD 電漿反應與診斷量測系統架設如圖一所示。

於 PECVD 製程相關文獻中，大都研究基材上生成的矽晶薄膜，探討鍍膜氣體和基材之間的變化，僅少數研究是利用數值模擬方式，討論不同製程參數對於反應器性能的影響。但建立數值模擬技術有助於反應器設計的工作，並可用來了解製程腔體內部之電漿流場分佈，以及進行矽晶薄膜沉積特性的提升與改善，因為製程溫度、壓力、功率以及設備幾何結構等掌握，往往是電漿源真空反應器性能優劣的關鍵所在。因此本文利用計算流體力學數值分析技術搭配電漿模型，模擬計算製程區內各電漿物種特性及基板上薄膜生長等特性，並且與實驗量測結果進行比較與驗證，以剖析整個鍍膜過程，進而了解製程腔體內部整體化學反應引起的氣流變化。



圖一 電漿輔助化學氣相沉積(PECVD)系統與電漿診斷量測示意圖 [8]

## 電漿鍍膜製程原理

電漿中其組成主要包含正負離子、電子、電中性粒子和處於激發態的粒子等，一般氣體變成電漿的關鍵在於是否能使氣體離子化(ionization)。電漿技術即為氣體獲得能量後產生離子化的一種技術，目前較常用的技術為以外加電場的方式達到傳遞能量的功效，藉由電場加速電子使其撞擊氣體分子或腔體壁面，以產生更多的自由電子及正離子。在連鎖撞擊反應下，大量電子與離子化氣體不斷地產生，而中性氣體物種亦逐漸受到帶電粒子之運動所支配。粒子在碰撞過程中，其行為包括彈性碰撞(elastic collision)與非彈性碰撞(inelastic collision)等兩種方式。彈性碰撞為粒子在碰撞前後總能量保持不變；另一非彈性碰撞為粒子在碰撞後，產生能量移轉，其原子結構產生變化，如發生離子化、激發、復合(recombination)及解離(dissociation)等反應。

本文中探討矽薄膜沉積生長機制，主要製程氣體為  $\text{SiH}_4$  與  $\text{H}_2$ 。製程氣體在腔體內部電場作用下，與電子發生非彈性碰撞，產生激發、解離、分解反



更完整的內容

請參考紙本【機械工業雜誌】326期・99年5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