

石墨烯合成反應之聚焦式微波電漿技術概論

Focalized Microwave Plasma Reactor for Graphene Synthesis

張志振

工研院機械所 先進機械技術組 石墨烯專案小組 工程師

摘要：本文所述者為一種聚焦式微波電漿反應器，乃利用圓柱形準 TM_{011} 模態微波共振腔之聚集微波電場之效果，據此激發聚焦式微波電漿，從而進行各種電漿輔助化學氣相沉積反應程序，如石墨烯合成反應。

Abstract： This article aims to present a focused microwave plasma reactor. This reactor is equipped with cylindrical microwave resonant cavity of quasi- TM_{011} mode, in which the focalization of electric field further stimulates focused microwave plasma. Such plasma enhances various plasma-assisted chemical vapor deposition reactions, such as the synthesis reaction of graphene.

關鍵詞：電漿、微波、共振腔

Keywords： Plasma, Microwave, Resonant cavity

前言

一般而言，微波電漿輔助化學氣相沉積製程，其製程壓力約為百分之一大氣壓至一大氣壓。相較於蝕刻或光阻灰化者，前者高出二至四個數量級，而壓力越高，電漿擴散行為越發式微，因而凝聚成團，並隨機黏附於製程腔室之內緣。若黏附於製程基板上緣，則成為典型之聚焦式微波電漿，稱之為穩定聚焦狀態，適合各種微波電漿輔助化學氣相沉積製程；但若黏附於介電罩下緣，則稱之為不穩定失焦狀態，此狀態將嚴重影響製程，甚而燒毀介電罩。為達到電漿的穩定，既有技術往往以圓柱 TM_{01n} 模態微波共振腔，建構一種聚焦式微波電漿反應器，藉由該共振腔固有之駐波特性，其腔內存在若干個電場峰值，第一峰值恰好形成於基板上緣，並於此處激發電漿，第二峰值則形成於介電罩頂端附近。當電漿被激發後，藉由若干調整機構（如基板深度，基板高度與圓柱形共振腔長度），使第二峰值遠離介電罩頂端，乃不至於使介電罩下緣凝聚電漿而失焦，藉此使電漿處於穩定聚焦狀態 [1]。

創新技術

本文所述乃利用圓柱形準 TM_{011} 模態微波共振腔建構而成之聚焦式微波電漿反應裝置，如圖 1 所示。藉由共振腔之駐波特性，共振腔內僅存在一個電場峰值，並且所述電場峰值形成於基板上緣，藉以激發電漿。由於介電罩上緣並不存在電場峰值，導致電漿不穩定而失焦之因素並不存在，故此聚焦式微波電漿反應裝置可恆常使電漿處於穩定聚焦狀態。再者，本案無需任何調整機構，

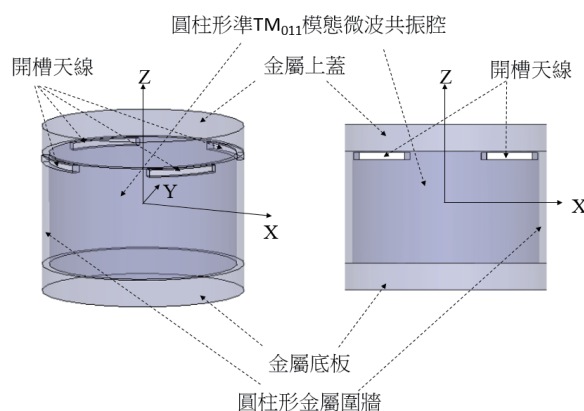


圖 1 圓柱形準 TM_{011} 模態共振腔結構圖

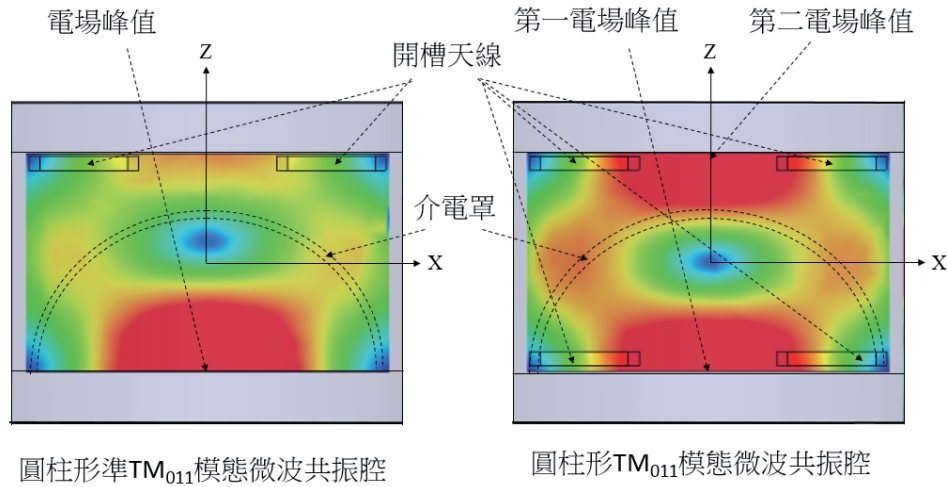


圖 2 圓柱形準 TM_{011} 及 TM_{011} 模態共振腔內部電場分布圖

即，電漿製程基板與共振腔底板為同一物件且共一平面，故基板面積不受限縮，進而獲得更大電漿製程面積。圖 2 之左圖乃是根據本案圓柱形準 TM_{011} 模態微波共振腔的縱截面電場強度分布模擬結果。圖 2 之右圖乃是根據本案圓柱形 TM_{011} 模態微波共振腔的縱截面電場強度分布模擬結果。

其中微波經由該四個開槽天線，以等相位方式向共振腔內部輻射，從而形成圓柱形準 TM_{011} 微波模態。其側面透視圖中的縱截面電場強度分布之模擬結果亦如圖 2 之左圖所示，其中電場強度正比於明亮度。明顯可見：存在唯一一個電場峰值於金屬基板上緣，他處則不存在電場峰值。其中半圓形虛線代表介電罩之縱截面位置，可見其上下緣附近電場強度較弱，甚而為零，藉此保有電漿的穩定聚焦狀態，排除失焦之可能。另一方面，為與圓柱形 TM_{011} 模態微波共振腔比較，顯

示兩者之差異性，茲於於圓形金屬底板與圓柱形金屬圍牆之接合處附近，另行建構四個開槽天線。

參照圖 2 之右圖，經由該四個開槽天線與前述四個開槽天線，微波以等相位方式向共振腔內部進行輻射，從而形成近似典型之 TM_{011} 模態。其側面透視圖中的縱截面電場強度分布模擬結果亦如圖 2 之右圖所示。明顯可見存在兩個電場峰值，第一峰值存在於金屬基板上緣，第二峰值則存在於金屬上蓋下緣，而後者使介電罩上下緣附近之電場增強，乃成為介電罩下緣附近產生並凝聚電漿之肇因，電漿因而失焦。

測試結果

使用圓柱形準 TM_{011} 模態微波共振腔之聚焦式微波電漿反應器之試驗結構如圖 3 所示。其中

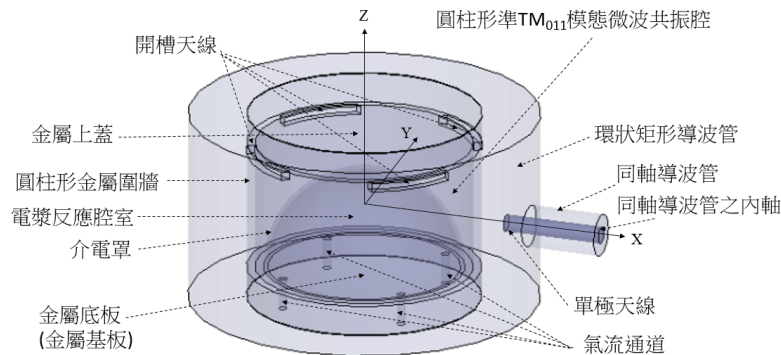


圖 3 聚焦式微波電漿反應器之試驗結構

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