

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

Experimental Characterization of a Helium-based Planar Gas

Discharge Jet

以氦氣為主的平板型常壓電漿束特性之實驗研究

研究生：沈柏村

指導教授：吳宗信 博士

西元二零一一年七月

平板型電極以氦氣為主的常壓電漿束電性與光學特性之研究

Electrical and Optical Characterization of a Helium-based
Planar Gas Discharge

研究生：沈柏村

Student : Po-Tsun Shen

指導教授：吳宗信博士

Advisor : Dr. Jong-Shinn Wu



July 2011

Hsinchu, Taiwan

西元二零一一年七月

以氦氣為主的平板型常壓電漿束特性之實驗研究

學生：沈柏村

指導教授：吳宗信 博士

國立交通大學機械工程學系

摘要

本研究設計一個新的 Power 與 Ground 電極為上下形式的平板型電極設備，操作於常壓的介電質電漿源(DBD)。此電漿源以脈衝式交流電源驅動，操作頻率介於 20-60 kHz，以氦氣為主要電漿氣體。實驗不同參數包括：介電質材料、介電質材料距離、流量、頻率、功率與兩電極間距離。實驗結果發現，使用石英、兩平行板介電質距離 0.5 mm、流量 30 slm、頻率 60 kHz 與兩電極距離 10 mm 時可以產生一均勻的氦氣電漿束。當在放電區間中增加一浮動電極時，電漿放電電流從 40 mA 增加至 120 mA，此電極組合即可以成功使氦氣放電，形成一穩定電漿源。在不添加氧氣的純氦氣(99.99%)放電情形下，經由 OES 量測光譜發現 N_2 second position (337.1nm) $N_2(C^3 \sum_u^+) \rightarrow N_2(B^3 \Pi_g) + h\nu(337.1nm)$ 、 $NO-\gamma(180-260 \text{ nm peak lines})$ 、 $NO(A^2 \Pi^+) \rightarrow NO + h\nu(180-260nm)$ 放光反應。另 O 原子以 777 nm 為主，在應用上相當有用處。也從加入不同氧氣的比例，發現於小比例 0.03-0.07% O_2 產生較大電漿電流與均勻的電漿，並經由 OES 的量測此時會增加電漿強度。本研究成功建立氦氣電漿於此電極設計，對各種參數影響的資料庫與了解氦氣與加氧的電漿反應機制。

Electrical and Optical Characterization of a Helium-based Planar Gas Discharge

Student : Po-Tsun Shen

Advisor : Dr. Jong-Shinn Wu

Department of Mechanical Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

In this thesis, a new planar atmospheric-pressure dielectric barrier discharge (DBD) with and without a floating electrode is developed and characterized experimentally. Helium is used as the major discharge gas and is driven by distorted sinusoidal voltages operating in the range of 20-60 kHz. Parametric studies without a floating electrode are conducted considering the variations of dielectric material, distance between dielectric materials, gas flow rate, distance of power and ground electrodes, frequency and power output of power source. A uniform gas discharge jet is obtained with the following operating conditions: quartz dielectric plates, dielectric gap distance of 0.5 mm, flow rate of 30 slm, frequency of 60 kHz and distance of power and ground electrode of 10 mm. By adding a floating electrode inside the discharge gap, discharge current increases dramatically from 40 mA to 120 mA. In this optimal condition a stable discharge jet is established using argon gas, which is otherwise

extinguished. By using OES measurements in the pure helium case (ca. 99.99%), we have found that abundant N_2 second position (337.1nm) $N_2(C^3\Sigma_u^+) \rightarrow N_2(B^3\Pi_g) + h\nu(337.1nm)$ and NO- γ (180-260 nm peak lines) $NO(A^2\Pi^+) \rightarrow NO + h\nu(180-260nm)$ exist in the post-discharge region. In addition, we have also found oxygen atom (777 nm), which is useful in applications. By adding a small quantity of oxygen (0.03%-0.07%) into the helium discharge, the optical emissions at all wavelengths enhance as compared to the pure helium case.



目 錄

| | |
|-----------------------------------------------------|------|
| 摘要 | II |
| Abstract..... | III |
| 目 錄 | V |
| 表目錄 | VII |
| 圖目錄 | VIII |
| 符號說明 | XIII |
| 第一章 緒論 | 1 |
| 1.1 研究動機與目的 | 1 |
| 1.2 前言 | 2 |
| 1.2.1 常壓電漿的優點 | 2 |
| 1.2.2 常壓電漿的特性與分類 | 2 |
| 1.2.2.1 電漿火炬(Plasma torch)..... | 3 |
| 1.2.2.2 暈光放電(Corona discharge) | 4 |
| 1.2.2.3 介電質屏蔽放電 (Dielectric barrier discharge)..... | 4 |
| 1.2.2.4 常壓電漿束(Atmospheric pressure plasma jet)..... | 4 |
| 1.3 文獻回顧 | 5 |
| 1.3.1 常壓 DBD 的種類與其應用 | 5 |
| 1.3.2 特殊電極設計常壓電漿種類與其應用 | 6 |
| 1.3.3 研究目標 | 7 |
| 第二章 實驗方法 | 8 |
| 2.1 常壓平板型介電質屏蔽電漿束(DBD - APPJ)設備 | 8 |
| 2.1.1 常壓電漿 DBD 電極系統 | 8 |
| 2.1.2 DC 電源供給系統 | 9 |
| 2.1.3 氣體供給系統 | 9 |
| 2.1.4 實驗腔體 | 9 |
| 2.2 實驗分析儀器 | 10 |
| 2.2.1 單眼相機 | 10 |
| 2.2.2 I-V 電性量測 | 10 |
| 2.2.3 水銀溫度計 | 10 |
| 2.2.4 光譜儀(OES) | 11 |
| 第三章 結果與討論 | 12 |
| 3.1 電漿形式與 I-V 特性 | 12 |
| 3.1.1 Self-organized pattern discharge | 12 |
| 3.1.2 不同介電質材料的影響 | 13 |
| 3.1.3 Dielectric distance 與氣體流量的影響 | 14 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 3.1.4 頻率與功率的影響 | 15 |
| 3.1.5 Power 電極與 Ground 電極距離的影響 | 16 |
| 3.1.6 加氧氣的影響 | 17 |
| 3.1.7 電漿吸收電源之效率比較..... | 17 |
| 3.1.8 Floating 電極的影響 | 18 |
| 3.2 電漿後放電區(post-discharge)之溫度量測 | 18 |
| 3.3 光譜分析..... | 19 |
| 3.3.1 氮氣電漿之分析 | 19 |
| 3.3.2 氮加氧電漿之分析 | 21 |
| 第四章 結論與建議 | 22 |
| 4.1 結論..... | 22 |
| 4.2 建議..... | 24 |
| 參考文獻 | 25 |



表目錄

| | |
|-------------------------------------|----|
| 表格 3.1 電漿測試條件 | 28 |
| 表格 3.2 Post-discharge 電漿測試條件..... | 28 |
| 表格 3.3 Post-discharge 電漿溫度測試條件..... | 29 |
| 表格 3.4 OES 電漿測試條件..... | 29 |



圖目錄

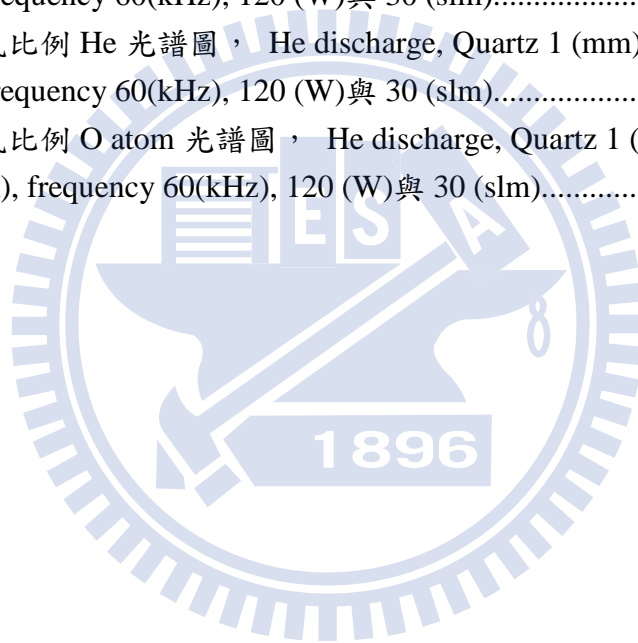
| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 圖 1.1 各種氣體的 Paschen Curves ($V_{\text{breakdown voltage}}$ VS pd)..... | 29 |
| 圖 1.2 各種常壓電漿電極設計形式. (a) 電漿火炬(Plasma torch); (b) 暈光放電(Corona discharge); (c) 介電質屏蔽放電(DBD); (d) 常壓電漿束(APPJ)..... | 30 |
| 圖 1.3 介電質屏蔽放電 (DBD)與電極各種設計..... | 30 |
| 圖 1.4 介電質屏蔽常壓電漿(DBD)系統..... | 30 |
| 圖 1.5 不同氧氣比例之接觸角比較圖..... | 31 |
| 圖 1.6 常壓電漿束(APPJ)鍍膜系統..... | 31 |
| 圖 1.7 常壓電漿束(APPJ-DBD)鍍膜系統..... | 31 |
| 圖 1.8 常壓電漿束(APPJ)鍍膜系統..... | 32 |
| 圖 1.9 牙齒經過電漿美白的比較圖..... | 32 |
| 圖 1.10 Power 與 ground 電極成上下形式的常壓電漿系統..... | 33 |
| 圖 1.11 流道寬度不同的電漿比較圖..... | 33 |
| 圖 1.12 平板型無介電質材料的 RF 電極設計圖..... | 34 |
| 圖 1.13 不同氧氣比例比較 O 777 比較圖..... | 34 |
| 圖 2.1 DC pulse -常壓平板型介電質屏蔽電漿束 (DBD - APPJ)系統..... | 35 |
| 圖 2.2 常壓電漿 DBD 電極設計圖..... | 35 |
| 圖 2.3 常壓電漿 DBD 電極設計組裝圖..... | 36 |
| 圖 2.4 常壓電漿 floating 電極設計圖..... | 36 |
| 圖 2.5 脈衝電源供應器前視圖..... | 36 |
| 圖 2.6 脈衝電源供應器後視圖..... | 37 |
| 圖 2.7 電漿密度模式定義..... | 37 |
| 圖 2.8 氣體供給系統-調壓閥..... | 38 |
| 圖 2.9 氣體供給系統-浮子流量計與 MFC..... | 38 |
| 圖 2.10 實驗腔體..... | 39 |
| 圖 2.11 單眼相機..... | 39 |
| 圖 2.12 高壓探棒、電流感測器與耐高壓電容..... | 39 |
| 圖 2.13 示波器值顯示之圖(Lissajous figure) [Behnke J.F. et al. 2003]..... | 40 |
| 圖 2.14 水銀溫度計..... | 40 |
| 圖 2.15 光譜儀..... | 40 |
| 圖 3.1 Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm), 20 (kHz), 50 (slm) and 60 (W). | 41 |
| 圖 3.2 Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm), 60 (kHz), 50 (slm) and 120 (W). | 41 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 圖 3.3 不同流量 Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm), 20 (kHz) and 60 (W). | 42 |
| 圖 3.4 不同功率 Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm), 20 (kHz) and 60 (W). | 42 |
| 圖 3.5 不同流量, 固定 20 (kHz) Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm). | 43 |
| 圖 3.6 不同流量, 固定 40 (kHz) Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm). | 43 |
| 圖 3.7 不同流量, 固定 60 (kHz) Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm). | 44 |
| 圖 3.8 不同頻率 Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm), 30 (slm) and 60 (W). | 44 |
| 圖 3.9 固定流量 20 (slm) Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm). | 45 |
| 圖 3.10 固定流量 30 (slm) Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm). | 45 |
| 圖 3.11 固定流量 50 (slm) Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm). | 46 |
| 圖 3.12 比較不同介電質材料 60–120 W 電漿比較圖, 30 slm Pure He discharge. | 46 |
| 圖 3.13 不同介電質材料 150–180 W 電漿比較圖, 30 slm Pure He discharge. | 47 |
| 圖 3.14 比較不同介電質材料 I-V 電性圖, 30 slm Pure He discharge, Dielectric distance 0.8 mm. | 47 |
| 圖 3.15 不同功率, 固定 Dielectric distance 0.3 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 60 (kHz). | 48 |
| 圖 3.16 不同功率, 固定 Dielectric distance 0.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 60 (kHz). | 48 |
| 圖 3.17 不同功率, 固定 Dielectric distance 0.8 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 60 (kHz). | 49 |
| 圖 3.18 不同功率, 固定 Dielectric distance 1.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 60 (kHz). | 49 |
| 圖 3.19 不同 Dielectric distance 的電壓比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 30 (slm). | 50 |
| 圖 3.20 不同 Dielectric distance 的電流比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 30 (slm). | 50 |
| 圖 3.21 不同 flow rate, 固 Dielectric distance 0.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 20 (kHz), 100 (W). | 51 |
| 圖 3.22 不同 flow rate, 固定 Dielectric distance 0.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 30 (kHz), 300 (W). | 51 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 圖 3. 23 不同 flow rate, 固定 Dielectric distance 0.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 40 (kHz), 60 (W)..... | 52 |
| 圖 3. 24 不同 flow rate, 固定 Dielectric distance 0.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 50 (kHz), 150 (W)..... | 52 |
| 圖 3. 25 不同 flow rate, 固定 Dielectric distance 0.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 60 (kHz), 120 (W)..... | 53 |
| 圖 3. 26 不同 flow rate 的電壓與電流比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), Frequency 20 (kHz). | 53 |
| 圖 3. 27 不同 flow rate 的電壓與電流比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), Frequency 30 (kHz). | 54 |
| 圖 3. 28 不同 flow rate 的電壓與電流比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), Frequency 40 (kHz). | 54 |
| 圖 3. 29 不同 flow rate 的電壓與電流比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), Frequency 50 (kHz). | 55 |
| 圖 3. 30 不同 flow rate 的電壓與電流比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), Frequency 60 (kHz). | 55 |
| 圖 3. 31 不同 Frequency, 固定 Dielectric distance 0.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 30 (slm), 100 (W)..... | 56 |
| 圖 3. 32 不同 Frequency, 固定 Dielectric distance 0.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 15 (slm), 60 (W)..... | 56 |
| 圖 3. 33 20 kHz 氦氣電漿 I-V 電性圖 | 57 |
| 圖 3. 34 30 kHz 氦氣電漿 I-V 電性圖 | 57 |
| 圖 3. 35 40 kHz 氦氣電漿 I-V 電性圖 | 58 |
| 圖 3. 36 50 kHz 氦氣電漿 I-V 電性圖 | 58 |
| 圖 3. 37 60 kHz 氦氣電漿 I-V 電性圖 | 59 |
| 圖 3. 38 不同頻率與功率的電壓比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm)與 15 (slm). | 59 |
| 圖 3. 39 不同頻率與功率的電流比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm)與 15 (slm). | 60 |
| 圖 3. 40 不同頻率與功率的電壓比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm)與 20 (slm). | 60 |
| 圖 3. 41 不同頻率與功率的電流比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm)與 20 (slm). | 61 |
| 圖 3. 42 不同頻率與功率的電壓比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm)與 30 (slm). | 61 |
| 圖 3. 43 不同頻率與功率的電流比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm)與 30 (slm). | 62 |
| 圖 3. 44 不同 Power 電極與 Ground 電極距離的比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), | |

| | | |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| | Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz)與 30 (slm). | 62 |
| 圖 3. 45 | 不同氧氣比例比較圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm). | 63 |
| 圖 3. 46 | 不同氧氣比例比較圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm). | 63 |
| 圖 3. 47 | 不同氧氣比例電性圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm). | 64 |
| 圖 3. 48 | Lissajous Figure， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 60 (W)與 30 (slm). | 64 |
| 圖 3. 49 | 不同功率電漿吸收效率比較圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 60 (W)與 30 (slm)..... | 65 |
| 圖 3. 50 | 比較有 Floating 電極 60–120 W 電漿比較圖, 30 slm Pure He discharge. | 65 |
| 圖 3. 51 | 比較 Floating 電極 150–180 W 電漿比較圖, 30 slm Pure He discharge. | 66 |
| 圖 3. 52 | 比較 Floating 電極 150–180 W 電漿比較圖, 30 slm Pure He discharge. | 66 |
| 圖 3. 53 | Floating 電極 60 W 電漿圖, 30 slm Pure Ar discharge 與 60 kHz. | 67 |
| 圖 3. 54 | 量測 OES, NO - γ 計算其 Rotational Temperature 為 340 K(67°C), $\Delta\lambda=0.005$ nm, Integration time = 200 nm..... | 67 |
| 圖 3. 55 | 不同位置電漿溫度分布圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm)..... | 68 |
| 圖 3. 56 | Post – discharge 180-280 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm). | 68 |
| 圖 3. 57 | Discharge 180-280 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm)..... | 69 |
| 圖 3. 58 | Post - discharge 280-400 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm). | 69 |
| 圖 3. 59 | Discharge 280-400 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm)..... | 70 |
| 圖 3. 60 | Discharge OH 309 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm)..... | 70 |
| 圖 3. 61 | Post - discharge 400-650 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm). | 71 |
| 圖 3. 62 | Discharge 400-650 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm)..... | 71 |
| 圖 3. 63 | Post - Discharge 650-900 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm). | 72 |
| 圖 3. 64 | Discharge 650-900 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm)..... | 72 |
| 圖 3. 65 | N2 於電漿中受到電子的撞擊，產生激發態與放光反應能階表. | 73 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 圖 3. 66 NO 於電漿中受到 N2 激發態的撞擊，產生激發態與放光反應能階表..... | 73 |
| 圖 3. 67 不同 Z 軸距離 Post - Discharge 180 - 280 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm)..... | 74 |
| 圖 3. 68 不同 Z 軸距離 Post - Discharge 280 - 400 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm)..... | 74 |
| 圖 3. 69 不同 Z 軸距離 Post - Discharge 400 - 650 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm)..... | 75 |
| 圖 3. 70 不同 Z 軸距離 Post - Discharge 650 - 900 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm)..... | 75 |
| 圖 3. 71 不同氧氣比例 NO 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm)..... | 76 |
| 圖 3. 72 不同氧氣比例 N2 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm)..... | 76 |
| 圖 3. 73 不同氧氣比例 He 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm)..... | 77 |
| 圖 3. 74 不同氧氣比例 O atom 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm)..... | 77 |



符號說明

P *AC-pulsed input power*

V *Measuring voltage*

I *Measuring current*

f *Frequency of AC-pulsed*

Z *Vertical direction*



第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

電漿技術用於傳統工業與半導體產業的應用是非常普及，如用於照明設備、材料的表面改質、鍍膜、蝕刻、廢棄物的處理與殺菌.....等。電漿應用最早發展於真空環境下的低壓電漿，也是目前半導體產業用最多的設備之一，但由於真空設備需要昂貴的費用，導致高成本、低產率與無法生產大尺寸的產品，而隨著常壓電漿技術的發展將改善一些產業的發展，朝向高效率、低成本與環保的產業生態演進。常壓電漿最早於1988年，美國環保署(U.S.EPA) 開始以非熱電漿(Non-Thermal Plasmas, NTPs)方式去除氣態毒性物質及揮發性物質的研究，近十幾年更是蓬勃發展有更多的工業設備與民生應用朝常壓電漿技術改革。

大氣電漿研究與應用，於近一兩年朝向醫療設備發展，傷口的消毒與殺菌、電漿輔助傷口癒合與血液的凝固、牙齒美白和癌症治療的研究[Lee H.W. *et al.* 2010]，發展用於人體的電漿需要有高度的安全性，故有研究者開發新型的電極設備，並進行其基礎的研究，以提供醫療方面的電漿電極設備[Kong M.G. *et al.* 2007]，本研究室有自行開發電漿的程式碼，可以於快速的電腦計算模擬電漿電子、離子、激發態粒子與溫度等各種電漿物理現象，可以提供各種電漿應用設計的一個參考，以加速產品的開發速度。故本研究要開發一新型的平板電極設備，並產生穩定、安全的電漿，並進行其基本的電性和電漿的各種特性量測，以提供後續醫療應用的電漿種類與條件的選擇，也將提供電漿模擬的

團隊實驗數據加以驗證各種複雜的電漿，裡面實際所發生物理與化學反應機制，使其對我們的應用有更深入的理解。

1.2 前言

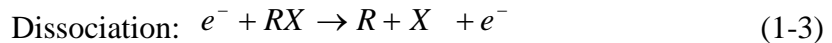
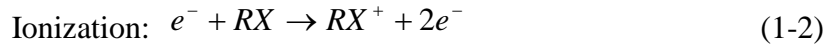
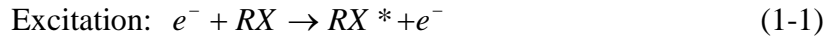
1.2.1 常壓電漿的優點

常壓電漿與低壓電漿最大的差別[Schutze *et al.* 1998]: (1)常壓電漿不需要低壓電漿的抽真空設備，節省成本與抽真空的時間，(2)低壓電漿需要抽真空所以電漿處理的面積較小，常壓電漿可以設計出大面積的電漿源處理大面積產品，(3)常壓電漿電漿可以設計於一條連續的產線。常壓電漿有以上的優點，所以許多研究單位與工業界都朝常壓電漿基礎研究與應用研究發展。

1.2.2 常壓電漿的特性與分類

電漿是一種狀態，不是生活中的三態(固態、液態與氣態)，而是所謂的第四態，電漿產生是氣態分子或原子受到外加電場的影響，其中的電子不再受到原子核的束縛而被加速，撞擊到其他氣體的原子或分子，使其離子化(Ionization) (1-2)，被游離出的電子再受到電場加速撞擊其他的氣體原子或分子，電漿裡的反應還有激發與再回復反應(Excitation-Relaxation)也就是當高能的電子經過長時間的碰撞最後與氣體原子結合行程激發態(Excited state) (1-1)，而再回復反應(Relaxation)的過程即激發態原子回到較低能量的穩定狀態時會放出光，分解反應(Dissociation) (1-3)，當被加速電子破壞分子間之原子鍵結時就會產生不成對電子之高反應能自由基(Free radical)，其中電子也有可能與離子

作結合(recombination)，當離子化速率與結合速率相當時，電漿中電子密度與離子密度會達到穩定狀態，即形成電中性(Quasi-neutral)。



電漿也會受其壓力的影響，當電漿於較低壓的環境形成時，氣體分子的密度較小，當電子被電場加速時，可以有較長的加速距離，即平均自由路徑(mean free path)較長，而不與其他粒子發生碰撞導致能量衰減，使產生有效的能量解離氣體分子。當於常壓的情況下，氣體分子密度大所以無法形成足夠的能量來解離氣體分子。施加外部電場的兩電極間的距離也是影響電漿行程的主要變因，如同電阻般，距離小電阻較小就容易使電漿產生，而Paschen Curves的曲線(圖 1-1)可以提供不同氣體當壓力與兩電極距離確定時，需要的電壓值(Breakdown Voltage)可以產生電漿。

常壓電漿大致可分為四種放電形式(圖 1-2)，分別為電漿火炬(Plasma torch)、暈光放電(corona discharge)、介電質屏蔽放電(dielectric barrier discharge)和常壓電漿束(atmospheric pressure plasma jet)[[Schutze et al. 1998](#)]。

1.2.2.1 電漿火炬(Plasma torch)

電漿火炬(Plasma torch)(圖 1-2 (a))屬於熱平衡電漿，電漿中的電子、離子與中性分子其溫度於10000~20000度左右，而其它三種電漿皆屬於非熱電漿(non-thermal plasma)，電子溫度約10000~100000度左右，遠大於離子與中性分子的溫度約300度左

右，此種高溫電漿應用於金屬加工、熔接與廢棄物處理等技術。

1.2.2.2 暈光放電(Corona discharge)

暈光放電(Corona discharge) (圖 1-2 (b))為一種尖端放電形式，其需要較高的電壓使尖端處之電荷集中形成電場而產生氣體崩潰的效應。在高電壓與高電場的操作下放電較不穩定，甚至會形成電弧(Arc)，所以常設計成不對稱形式的電極使其產生穩定的電漿，此方面的電漿多應用於產生臭氧與汙水清理……等應用。

1.2.2.3 介電質屏蔽放電 (Dielectric barrier discharge)

介電質屏蔽放電 (Dielectric barrier discharge)(圖 1-2 (c))又稱為無聲放電(Silent discharge)即是指其兩電極之間距離放入一個或兩個介電質材料(圖 1-3)，介電質材料通常為玻璃、石英與陶瓷，當施予高電壓時電漿即會產生於電極與介電質材料或兩個介電質材料之間的縫隙。此種電漿應用於表面改質、清潔與殺菌……等。

1.2.2.4 常壓電漿束(Atmospheric pressure plasma jet)

常壓電漿束(Atmospheric pressure plasma jet)(圖 1-2 (d))為介電質屏蔽放電(Dielectric barrier discharge)的其中一種，構造為兩個同軸電極，放入介電質材料以防止電弧產生(Arc)，並且使用惰性的氦氣(He)與氬氣(Ar)氣體與氧氣(O₂)混合。使用13.56MHz的RF (Radio Frequency) Power連接中間的電極，操作電壓在1000(V)以下，當電漿從外電極噴嘴往外噴出時，此處的溫度約在150°C左右，所以此種電漿可以應用於一些塑膠材料，如鍍氧化矽(SiO_x)保護薄膜。

1.3 文獻回顧

1.3.1 常壓 DBD 的種類與其應用

日本學者於 2007 年使用脈衝式 DC 電源供應器，並自行設計介電質屏蔽電漿 (DBD)，其電極尺寸為 32mm × 80mm 的兩平板電極，介電質材料為陶瓷 1 mm。使用 40 slm N₂ 加入小於 0.2% 的氧氣，條件控制於 40 kHz 與 300 W 產生的電漿，可以清除 ITO 薄膜上的有機污染物，其主要的機制乃是因為 UV 光將碳鍵打斷，並於其後由 O(³P) 和臭氧產生氧化作用，並且發現於氧的比例介於 0.2% 時有最小的接觸角(25°)[Masahiro. I. et al, 2007]。

有德國的學者使用 RF 13.56 (MHz) 電源設備於常壓電漿束 (APPJ)(圖 1-7) 下產生電漿，其介電質材料是使用陶瓷(ceramic)、以 HMDSO 為前驅物(precursor)，研究發現氬氣(Argon)電子密度(electron densities)為 $8 \times 10^{20} \text{m}^{-3}$ 高於氦氣(Helium)的 $7 \times 10^{20} \text{m}^{-3}$ ，所以使用氬氣(Argon)加氧氣(Oxygen)產生電漿，並進行流場分析發現產生電漿的氬氣流量為 3 (slm)，當運載前驅物(precursor)的氬氣流量為 25 (sccm) 會形成渦流(Vortex)造成膜鍍於內電極上，最佳值為 160 (sccm)，也進行電性、FTIR 等分析討論[Benedilt J. et al, 2007]。

本實驗室也於 2008 年開始發展平板型介電質屏蔽常壓電漿 (DBD) 系統，使用脈衝式 DC 電源供應器，並於 2010 年陸續發表成果，第一種應用氬氣加少量的氧氣電漿，處理 PP film，其水滴接觸角可以從 103° 降至 30°，而隨者 24 小時的時間接觸角還能維持於 40° 親水效果[Chiang M.H. et al, 2010]，第二種利用氬氣、壓縮空氣與氧氣電漿進行殺孢子

與細菌的研究，研究發現壓縮空氣電漿的處理很少的次數即可將E. coli and B. subtilis 清除，其最大的優點是低成本的壓縮空氣[Chiang M.H. et al, 2010]，也進行一些電漿基本的電性與電漿光譜的量測.....等研究。

1.3.2 特殊電極設計常壓電漿種類與其應用

2010 年韓國的團隊設計常壓電漿，使用正弦波的(20kHz)電源供應器，電源電極與接地電極為上下型式的設計，並且中間加入鑽有孔洞的 Floating 電極(Inner electrode)的設計(圖 1-8)，加入具有 Floating 電極可以降低 Breakdown Voltage 與增強電流值，並且可以降低氣體的流量，以降低成本。該研究以 He(氦氣)電漿與 H₂O₂(雙氧水)處理受到咖啡與紅酒汙染的牙齒，經過電漿處理牙齒上沉澱的色素有明顯的變白效果(圖 1-7) [Lee H.W. et al. 2010]。

2010 年英國與中國的學者設計常壓電漿，使用 AC(10-60kHz)電源供應器，並以氬氣為電漿氣體，使用石英方管於外面套上電源電極，而接地電極於底端一樣使用石英片當介電質材料防止短路，這種新式的電極設計，進行基本特性研究，發現其為 Self-Organized Pattern 電漿形式。而電漿形式是產生一條一條 channel 的電漿束，並調控各種參數發現頻率上升時 channel 數會上升，電壓上升時 channel 數亦會上升，石英方管大小與氣體流量下降時 channel 數會下降的結果[Feng. Y. et al, 2010]。

2010年韓國學者設計常壓電漿，使用RF13.56 MHz電源供應器，並以氬氣為電漿氣體，其為平板式電極，其主要的特色是裸露的電極，而於中間有dielectric strip，主要功能產生較強的電場並且是微量的氧氣與氬氣均勻的混合。本研究成功的產生均勻的氬

氣電漿，並且經由OES的量測發現氧氣濃度為0.3%時有最大的比值O atom (777.2 nm)/Ar atom (750 nm) [Li. S.Z. et al, 2011]。

1.3.3 研究目標

經由過去發表於國際的期刊回顧，充分了解常壓介電質屏蔽電漿(DBD)的設備種類、電極設計、所使用的電漿氣體、各種參數的影響特性。至於應用放面朝向醫療設備發展，傷口的消毒與殺菌、電漿輔助傷口癒合與血液的凝固、牙齒美白和癌症治療為目標設計新型電極並量測其光學特性：

- (a) 設計新型 Power 電極與 Ground 電極為上下形式的平板式電極頭：
 - 1. 均勻大面積且穩定的電漿
 - 2. 安全可用於人體的電漿
- (b) 量測電漿的電性與光學特性：
 - 1. 氦氣、氬氣、氦氣加氧氣(不同氧比例、不同流量大小)。
 - 2. 控制不同尺寸 (Power與Ground的距離、介電質材料的距離等)。
 - 3. 比較有Floating 電極與沒有Floating 電極。
 - 4. 電漿溫度、Power的效率。
 - 5. 光譜儀量測電漿的光譜(氦氣、氦氣加氧氣)。

第二章 實驗方法

本研究所使用的 DC pulse - 常壓平板型介電質屏蔽電漿束(DBD - APPJ)系統 (圖 2.1)，主要由兩大部分組成，第一部份設備包含：DC pulse 電源供應器、平板型介電質電極及氣體管路系統。第二部份量測儀器包含：示波器量測電漿 I-V 特性、水銀溫度計量測溫度與光譜儀(OES)量測電漿放光反應。

2.1 常壓平板型介電質屏蔽電漿束(DBD - APPJ)設備

常壓平板型介電質屏蔽電漿束(DBD - APPJ)所產生的電漿束，屬於 Townsend discharge 中的不正常放電區(abnormal discharge)。電漿會產生於兩介電質材料之間，常使用的介電質材料有 Ceramic (99.5% Al_2O_3)、Quartz (99.995% SiO_2).....等，其目的是為了避免兩電極直接放電，本研究則設計平板型 DBD 電極連接電源系統與供氣系統並順利產生電漿，其詳細設備皆於下詳述之：

2.1.1 常壓電漿 DBD 電極系統

常壓電漿 DBD 電極設計(如圖 2.2 與 2.3) 所示，本研究設計的 Power 電極與 Ground 電極為上下的形式並且左右對稱，Power 電極式可上下移動以改變與 Ground 電極的距離，Power 電極使用紅銅其尺寸為(50 mm × 8 mm × 15 mm)，Ground 電極也是使用紅銅其尺寸為(50 mm × 8 mm × 10 mm)，兩電極間本身就有設計鐵氟龍包覆以防止兩電極直接 Arc 與防止人為觸碰之危險，接著於中間放入 Quartz (99.995% SiO_2)或 Ceramic(99.5%

Al₂O₃)的介電質材料一是防止電極直接 Arc 用，並另用鐵弗龍墊片改變氣體的流道的尺寸(0.2、0.3、0.5、0.8 與 1.5 mm)。另外設計 Floating 電極(圖 2.4)使用鋁塊(1 mm×50 mm×15 mm)並鑽 50 個孔洞($\phi=0.5$ mm)放置於流道中，一端與 Power 電極有重疊關係，另一端與 Ground 電極距離 2 mm 的設計。

2.1.2 DC 電源供給系統

所使用的 DC quasi pulsed 電源供應器是由 EN Technologies Inc.(Model Genius 2, 如圖 2.5、2.6)，操作頻率為 20 kHz 到 60 kHz，最大輸出電壓為 15 kV (peak to peak)，最大輸出功率為 2 kW，電源密度分成大、中與小三種模式可供調變(如圖 2.7)，本實驗選擇電漿密度大的設定。

2.1.3 氣體供給系統

氣體供給系統由氦氣(Helium)、氬氣(Argon)與氧氣(Oxygen)鋼瓶經由調壓閥(如圖 2.7)控制出口壓力為 5 kg 在經由浮子流量計與(MFC)控制流量(如圖 2.9)，並將大量的氦氣(Helium)、氬氣(Argon)氣體混合小流量氧氣(Oxygen)，並由管子連接到兩介電質平行板之間流道，施加高電壓於兩電極即可於兩介電質平行板之間產生電漿。

2.1.4 實驗腔體

本實驗為常壓電漿，所使用的腔體不在於抽真空 (如圖 2.10，其大致上有兩個目的：第一腔體完全接地所以可以保護內部的電極所連接的高電壓多一層保護，第二是將內部產生電漿的氣體經由抽風機抽至室外，以保持實驗室內部空氣的流暢。

2.2 實驗分析儀器

DC pulse 電源連接上述之設備系統於一大氣壓下產生電漿，使用單眼相機拍攝電漿的形式，示波器連接高壓探棒量測電壓與電流互感器量測電流以了解電漿的特性，並使用水銀溫度計量測電漿溫度，也利用光譜儀(OES)量測電漿所放出的光的波長 (180-900 nm)與電漿的 Rotation Temperature 其詳細的說明如下。

2.2.1 單眼相機

使用 Nikon 單眼相機(如圖 2.11, D7000)拍攝 post-discharge 的電漿形式，測試不同的實驗參數經由拍攝或錄影電漿的形式，以了解電漿的變化。

2.2.2 I-V 電性量測

常壓電漿，所要量測的是兩電極中間產生電漿時期電壓與電流當作指標性電性參數，所使用的高電壓探棒(Tektronix P6015A)(如圖 2.12 量測使用為 Rogowski coil(IPC CM-100-MG, Ion Physical Corporation Inc.)(如圖 2.12 其訊號傳至示波器(如圖 2.12) Power 的效率會使用另一種方法量測，與線路上串聯一個耐高壓的電容($C_m=6.8$ nF) (如圖 2.12)並量測其電壓值，並將其與前面量測的電壓值作為 Lissajous Figure(如圖 2.13) [Wagner H.E. *et al.* 2003]，計算其面積即可推算電漿實際吸收的效率。

2.2.3 水銀溫度計

使用水銀溫度計(如圖 2.14)量測電漿出口處，不同位置其氣體溫度(T_g)的量測，其

可以量測的溫度範圍介於 0°C 至 400°C。

2.2.4 光譜儀(OES)

本實驗用來量測常壓電漿光譜訊號設備(如圖 2.15)，採用單光儀(PI Acton SP 2500)內含光電倍增管(Hamamatsu R928)，藉由光纖連結一個光源偵測頭，將量測到的光譜訊號傳回 OES 並送至軟體記錄分析。

電漿的產生主要是由受電場加速之電子，經過粒子間一連串的碰撞才會形成，依照碰撞能量強弱，可能將粒子改變成以下之狀態：從低能階軌域至高能階軌域之激發(excitation)、游離(ionization)、甚至是斷鍵解離(dissociation)，其中處在激發態之粒子並不穩定，所以會經由 de-excitation 或 relaxation 的方式返回較穩定的低能階軌域，並伴隨著發出特定波段的光來釋放能量。由於每一種粒子的能階組成各異，放射出的特性光譜也不相同，利用此一特性，我們可以藉由量測光譜訊號和強度來判斷電漿中可能含有哪些活性粒子。

第三章 結果與討論

3.1 電漿形式與 I-V 特性

3.1.1 Self-organized pattern discharge

本研究所設計的電極形式為 Power 電極與 Ground 電極為上下關係且左右對稱的平板電極(如圖 2.2)與 2007 英國與中國學者所設計的電極，類似為上下的形式，但其 Ground 電極設計於最底下，主要研究 Power 電極與 Ground 電極產生電漿的形式(如圖 1.10) [Feng. Y. et al, 2010]，而本研究則是設計將電漿產生於 Ground 電極的後段(如圖 2.2、3.1)，此種設計電漿不會對試片或人體放電造成危險，目的希望將來此種設計可以朝應用端發展。

實驗測試的條件(如表 3.1)，實驗發現電漿形式呈現一束一束的形式(如圖 3.1、3.2)，此種電漿形式歸類為 Self-organized pattern discharge，造成電漿一束一束的原因，是因為勞倫茲力(Lorentz force)平衡電漿束間的電流與拋物線的位能分佈，可以限制住電漿束與平衡庫倫排斥力(Coulomb repulsive force)[Niu. Q.Y. et al, 2007]。

實驗不同流速與功率，比較條件於 20、30 與 50 slm，60、90、120、150、180 與 200 W，可以發現流量增加時，電漿的 Channel 數會上升(於電漿正下方拍攝電漿束的情形)(如圖 3.3)，亦可以發現功率增加時，電漿的 Channel 數會上升(如圖 3.4)，將其完整的數據整理可以發現測試的條件皆符合上述之結論(如圖 3.6)，只有 20 kHz 與 60 kHz 於 50 slm

時 channel 數較 30 slm 小的例外情形(如圖 3.5 與 3.7)。

實驗不同的頻率，比較 20、40 與 60 kHz，隨著頻率的上升其電漿的 Channel 數會上升(如圖 3.8)，將其完整的數據整理可以發現測試的條件皆符合上述之結論(如圖 3.9、3.10 與 3.11)，以上結果也與文獻回顧的實驗結果有相同之趨勢[Feng.Y. et al, 2010]。

經由以上實驗測試，了解此電極設計電漿分佈的情況，所以接下來了解改變各種條件(如表 3.2)，希望產生一均勻的電漿束，並對電漿的形式與 I-V 電性進行分析。

3.1.2 不同介電質材料的影響

經由實驗發現改變不同的介電質材料會影響電漿的形式與電性，實驗條件固定為 30 slm 氬氣(99.99%)、頻率 60 kHz，比較兩種介電質材料 Quartz (99.995% SiO₂)與 Ceramic(99.5% Al₂O₃)，然後控制不同的功率。由電漿形式(如圖 3.12 與 3.13)的角度觀察低功率 60-120 W 時，以陶瓷為介電質材料所產生的電漿呈現一束一束，而以石英為介電質材料所產生的電漿其呈現較均勻的電漿，其最重要的原因是陶瓷的介電質常數($\epsilon=10$)大於石英介電質常數($\epsilon=3.75$)，介電質常數越高，代表於同一電壓下，極化之能力越佳，形成較強之電場，即可儲存更多之電能，所以陶瓷的電漿會成一束一束的，增加至 150 與 180 W 時就呈現差不多的現象。從 I-V 電性圖(如圖 3.14)，我們可以發現於功率 60-120 W 時 Quartz (99.995% SiO₂)與 Ceramic(99.5% Al₂O₃)的電流與電壓值都差不多，當功率增加至 150 與 180 W 時，電壓值於誤差值內，而陶瓷(Ceramic)產生的電漿電流有大於石英(Quartz)的趨勢。由以上分析結果，石英所產生得電漿均勻性較高，所以接下來的實驗皆採用石英為介電質材料。

3.1.3 Dielectric distance 與氣體流量的影響

經由實驗發現改變不同的 Dielectric distance 會影響電漿的形式與電性，實驗條件固定為氬氣(99.99%)、Quartz 1 mm、頻率 60 kHz，然後控制不同的 Dielectric distance 0.2、0.5、0.8 與 1.5 mm，也調整不同的功率 60、100、120、150 與 180 W，實驗發現 Dielectric distance 0.2 mm 無法產生電漿束，0.3、0.5 與 0.8 mm 皆可以產生 uniform 的電漿(如圖 3.15、3.16 與 3.17)而且隨者功率增加時可以發現其電漿長度與均勻性也都增強，是因為功率增加電場增強的緣故，當 Dielectric distance 1.5 mm(如圖 3.18)時可以發現其電漿不
均勻且功率增強電漿變的更不均勻。由電性的角度觀察其實驗結果發現當 Dielectric distance 改變時其電漿電壓變化不大(如圖 3.19)，而電漿電流則在 0.5 mm 時有一最大值(如圖 3.20)，電漿於較強的狀態，所以接下來的實驗皆使用 Dielectric distance 0.5 mm 進行分析研究。

實驗發現改變不同的 flow rate 會影響電漿的形式與電性，實驗條件固定為氬氣(99.99%)、Quartz 1 mm、Dielectric distance 0.5 mm，然後控制不同的頻率 20、30、40、50 與 60 kHz，並調整不同的 flow rate 10、15、20 與 30 slm，推算其流速分別為 6.668、10.002、13.336 與 20.004 (m/s)，由電漿形式可以發現隨著流量的增加其電漿會變的比較長，但是 flow rate 10 (m/s)無法產生穩定的電漿束，會受到兩旁的電場的影響而將電漿往 Ground 電極跑(如圖 3.21、3.22、3.23、3.24 與 3.25)，其原因可能因為電極設計的形式(如圖 2.2)，因此有兩個電場去影響電漿，當流速不夠快時受到兩邊的電場影響，產生不穩定。而 20、50 與 60 kHz 型態較相似為一片均勻的電漿束(如圖 3.21、3.24 與 3.25)，

30 與 40 kHz 則為較短且不均勻的電漿束(如圖 3.22 與 3.23)。由電性的角度觀察，可以發現當流速增加時其電漿電壓並不會有很大的改變，而電漿電流分為兩種情況：第一種情況為 20、50 與 60 kHz 型態較相似為一片均勻的電漿束(如圖 3.21、3.24 與 3.25)，當 flow rate 下降時電漿電流會上升(如圖 3.26、3.29 與 3.30)，乃是因為氣體於低流速 (10 slm) 時電漿溫度上升，導致氬氣的 n (number density) 會下降，而使 E/n (Reduced electric field) 上升，也就是指單位氬氣粒子所受到的電場上升，所以電場上升，電漿電流也相對上升，而第二種情況為 30 與 40 kHz 則為較短且不均勻的電漿束(如圖 3.22 與 3.23)，並沒有這個趨勢(如圖 3.25 與 3.26)，其可能受到其電漿形式的與頻率有一定的影響，頻率影響於下一章節會詳述之。

3.1.4 頻率與功率的影響

實驗調整頻率將分為電漿形式與 I-V 電性探討，控制條件為頻率 20、30、40、50 與 60 (kHz)，由電漿形式可以發現並沒有一個明顯趨勢(如圖 3.31 與 3.32)，而由 I-V 隨時間變化的曲線分析大致可以分為兩種情況:第一種情況為頻率 20、40、50 與 60 kHz (如圖 3.33、3.35、3.36 與 3.37)，30 slm 的氬氣與功率 60 W 的情況，脈衝的寬度皆約為 $3 \pm 0.3 \mu\text{s}$ ，其結果當電壓與電流會急速的上升至一個最大值，當電流從最大值急速下降，乃是因為此時在對介電質材料充電的效應，電流下降一小段時，電壓也到達最大值，，接著電壓與電流皆往下降，而且電流從正值往負值下降(有一個瞬間往下的 peak，相當特別，希望將來可以經由模擬以了解其物理現象)，經過脈衝突波後，電流呈現上下震盪於正負值變化的現象，此時電壓處於低電位的情況，主要是因為 displacement

current(其電壓值產生很大的變化)。第二種情況為頻率 30 kHz (如圖 3.34)，30 slm 的氬氣與功率 60 W 的情況，其電壓的波形非常類似正弦波，電壓的波形也呈正弦波，波形中有小突波產生，其現象與電漿形式比照其它電漿特別的弱，實際情況需要模擬才能了解 30 kHz 為何會有如此特別的 I-V 電性圖。

改變頻率對電漿 I-V 電性的影響，改變不同的頻率 20、30、40、50 與 60 kHz，30 slm 的氬氣電漿(如圖 3.38、3.39、3.40、3.41、3.42 與 3.43)，可以發現電壓與電流值於 20 kHz 皆有最大值，30 kHz 時皆為最小值，增加為 40 kHz 時電壓與電流有上升的情況，接下來調為 50 與 60 kHz 其電壓與電流值皆有上升的情況，而本時研究選擇 60 kHz，是因為有不錯的電漿電流並且電漿的形式較均勻(如圖 3.31)。

功率對電漿的影響也分成電漿形式與 I-V 電性討論，條件控制 60 W(breakdown Voltage)、100 W、120 W、150 W 與 180 W 的 30 slm 氬氣電漿，由電漿形式可以發現隨著功率的上升其電漿的長度會增長(如圖 3.16)，由電性圖可以發現(如圖 3.38、3.39、3.40、3.41、3.42 與 3.43)，隨著功率的上升其電壓與電流值皆呈上升的趨勢。

3.1.5 Power 電極與 Ground 電極距離的影響

改變 Power 電極與 Ground 電極距離對電漿所造成的影響，控制條件為 Power 電極與 Ground 電極距離 10、15、20 與 25 mm，實驗結果發現距離為 25 mm 時即無法產生電漿，圖 3.44 三種距離皆為 60 W 產生電漿，於任何功率下，其 Breakdown 電壓隨著距離增加而增加，其是因為當距離增加阻值增加相對較難產生電漿，而電漿電流隨著距離的增加而下降。

3.1.6 加氧氣的影響

改變不同氧氣比例加入氬氣電漿中對電漿的影響，控制條件為氧氣比例 0、0.01、0.03、0.05、0.07、0.09、0.1、0.2、0.3、0.5、0.7、0.9 與 1.0 % O₂，並固定 30 slm 氬氣、Dielectric distance 0.5 mm、Quartz 1 mm、頻率 60 kHz 與 120 W。其實驗結果由電漿形式可以發現(如圖 3.45 與 3.46)，當氧氣比例加 0.03-0.07 % (9-21 sccm)O₂，時電漿電漿變的更加均勻，而當氧氣比例增加至 0.09 % (27 sccm)O₂ 電漿開始出現一束一束而且不均勻的電漿分佈，持續增加至 0.3、0.5、0.7、0.9 與 1.0 % O₂ 電漿變的更明顯一束束的分得很清楚的電漿分佈，持續增加氧氣接著電漿即會消失，其電漿變成一束束是因為氧氣屬於負電型電漿會吸引電子吸附於氧原子表面。由 I-V 電性圖(如圖 3.47)，X 軸是不同氧氣比例，右邊 Y 軸是電漿電流值，左邊 Y 軸是電漿電壓值，由圖可以發現當加入少量比例的氧氣(< 0.09 % O₂)時期電流值會上升至一個最大值，持續加入氧氣，電流值反而會開始呈下降的趨勢，電壓則完全相反，當加入少量比例的氧氣(< 0.09 % O₂)時電壓會下降，持續加入氧氣比例，電壓值呈上升的趨勢。

3.1.7 電漿吸收電源之效率比較

電漿吸收電源之效率圖，條件控制不同的功率 60、100、120、150、180 與 200 W，並固定 30 slm 氬氣、Dielectric distance 0.5 mm、Quartz 1 mm 與頻率 60 kHz，並將畫至為 Lissajous figure (如圖 3.48)，並計算其面積換算為效率圖 (如圖 3.49) [Mahoney J. *et al.* 2010]，我們可以發現功率 60 W 時效率有 51 %，但隨著功率的增加效率會隨之遞減至

28 %，代表並沒有所有的功率都為電漿吸收，有些會經由熱的方式消耗掉。

3.1.8 Floating 電極的影響

比較有 Floating 電極對電漿所造成的影響，固定條件 Dielectric distance 1.0 mm、Quartz 頻率 60 kHz 與 30 slm 氬氣電漿，Floating 電極為一鋁塊(1 mm × 15 mm × 50 mm)，並於鋁塊上鑽 50 個 $\Phi=0.5$ mm 的洞，將此 Floating 電極放置流道中與 Ground 電極距離 2 mm 的位置(如圖 2.4)，由電漿形式(如圖 3.50 與 3.51)可以發現右邊有 Floating 電極的氬氣電漿變的非常的不均勻。由 I-V 電性(圖 3.52)可以發現有 Floating 電極的電壓值變化不大，而電漿電流皆變大，乃是因為有 Floating 電極如同降低 Power 電極與 Ground 電極的距離與前面討論之現象一樣會提升電漿電流，由 2010 年韓國研究團隊發現有 Floating 電極的設計會於 Floating 電極下游空間產生較大的電場，因此會提升電漿電流效應[[Lee. W.L. et al, 2010](#)]。一樣比較有 Floating 電極於氬氣，實驗發現沒有 Floating 電極無法產生電漿(電壓 5.6 kV，電流 40 mA – displacement current)，但使用 Floating 電極後即可產生氬氣電漿(電壓 5.6 kV，電流 120 mA)(圖 3.53)。

3.2 電漿後放電區(post-discharge)之溫度量測

量測電漿溫度的分布情況，電漿條件 (如表 3.3) 30 slm 氬氣、Quartz 1 mm、Dielectric distance 0.5 mm、60 kHz 與 120 W，使用兩種方式量測，第一種光譜儀量測 $Z=5$ mm，NO - γ 的 Rotational Temperature 此值約為電漿溫度[[Bibinov N.K. et al. 2001](#)]，由 Lifbase 免費軟體模擬 Rotational Temperature 等於 340 K (67°C)(如圖 3.54)，第二種方式使用水

銀溫度計直接量測不同 X 軸與 Z 軸的溫度(如圖 3.55)，控制條件 Z=5、10 與 15 mm，X=0、10、20、30、40 與 50 mm，量測結果 Z=5 mm 時溫度約在 65°C 左右與 NO - γ 的 Rotational Temperature 的 67°C 差不多，也證明水銀溫度計量測溫度有其準確性，Z=10 mm 時溫度約在 42°C 左右，Z=15 mm 時溫度約在 36°C 左右，本研究之電漿皆在 70°C 以下，即代表本電漿可以應用處理的材料可以廣泛至非常多的不耐高溫的材料表面。

3.3 光譜分析

光譜儀的量測 Post - discharge 的光譜反應情形，對將來應用有非常大的參考價值，所以大致分為 Post - discharge 不同 Z 軸的位置光譜反應的分析與加入不同比例的氧氣進行分析(如表 3.4):

3.3.1 氦氣電漿之分析

量測氦氣電漿光譜，為了將來可以朝應用端發展，所以量測電漿出口處 (Post-discharge) 的光譜特性(如圖 3.56、3.58、3.61 與 3.63)，電漿條件為 30 slm 純氦氣、Dielectric distance 0.5 mm、Quartz 1 mm、頻率 60 kHz、功率 120 W 與固定 Z = 2.5 mm，量測結果，主要有 He Group (501、587、668 與 706 nm)、N₂ Group(315.9、337.3、357.6、380.5 與 391.44 nm)、NO- γ Group(191.42、198.54、215.49、226.3、236.6、247.3、258.7、267.22 與 271.32 nm)、O Group(406.05、427.56、434.2、777 與 844 nm)與 N III(420 nm)，其會有 N₂ Group、NO- γ Group 與 O Group 是因為氦氣(99.99%)鋼瓶中的不純物(空氣與水氣)，原因是經由量測 Discharge 的光譜(如圖 3.57、3.59、3.62 與 3.64)，於 Post - discharge

的光譜只有多了 NO(191.42 與 198.54 nm)、OII 434.2 nm、OH 309 nm 變得非常的小(如圖 3.60)[Akamatsu.H., *et al.* 2011]與 N₂ (357.6、380.5 nm)強度略為上升其它光譜訊號接下降非常多，所以 N₂ Group、NO-γ Group 與 O Group 並不是受到環境的空氣影響才有的，而是鋼瓶內不純物所影響造成的。

Post – discharge 的光譜中有 He Group、N₂ Group、NO-γ Group、O Group 與 N III，有以上放光現象，因為電漿中包含了很複雜的電漿化學反應，He Group 又以 668 nm 與 706 nm 為主要訊號，來至於本身的氣體原子，N₂ Group 以 337.3 nm 與 391.44 為主，N₂ 於電漿中受到電子的撞擊產生更高能階的激發態 $N_2(A^3\Sigma_u^+)$ 與 $N_2(C^3\Sigma_u^+)$ (如圖 3.58)，而 $N_2(C^3\Sigma_u^+)$ 掉至 $N_2(B^3\Sigma_g^-)$ 較低的能階並放出光 N₂ second positive (337.1 nm) (如圖 3.65)， $N_2^+(391.44\text{ nm})$ ($N_2(B^3\Sigma_u^+) \rightarrow X_2(A^3\Sigma_g^+)$) 則是由 Penning ionization ($He^* + N_2 \rightarrow He + N_2^+ + e^-$) 與 charge transfer ($He^+ + N_2 \rightarrow He + N_2^+$) 反應產生的，此兩種反應亦會產生 He 原子，NO-γ Group 則是由 $N_2(A^3\Sigma_u^+)$ 與 NO 反應而產生 $NO(A^2\Sigma^+)$ ， $NO(A^2\Sigma^+)$ 掉回 NO 並放出光(180 - 260 nm)(如圖 3.66)。O Group 以 777 nm 與 844 nm 為主，其是因為電漿中的電子碰撞與 Penning ionization($N_2^* + O_2 \rightarrow N_2 + O + O$)而產生 O 原子[Park H.S. *et al.* 2010] [Hsu Y.W. *et al.* 2010]。

量測不同距離之 Post – Discharge 改變不同的距離 Z = 2.5、7.5、12.5 與 17.5 mm，電漿條件為 30 slm 純氦氣、Dielectric distance 0.5 mm、Quartz 1 mm、頻率 60 kHz 與功率 120 W(如圖 3.67、3.68、3.69 與 3.70)，量測結果主要有 He Group (501、587、668 與

706 nm)、N₂ Group (315.9、337.3、357.6、380.5 與 391.44 nm)、NO- γ Group (191.42、198.54、215.49、226.3、236.6、247.3、258.7、267.22 與 271.32 nm)、O Group (406.05、427.56、434.2、777 與 844 nm)與 N III (420 nm)，其皆隨著距離的變大其電漿波長強度隨之減弱。

3.3.2 氦加氧電漿之分析

量測不同氧氣比例之 Post - Discharge ($Z = 2.5$ mm)的影響，改變不同的氧氣比例 pure He、0.03 %、0.07 %、0.1 %、0.3 %、0.7 %與 1.0 %，固定條件為 30 slm 純氦氣、Dielectric distance 0.5 mm、Quartz 1 mm、頻率 60 kHz 與功率 120 W，圖 3.71、3.72、3.73 與 3.74，為 NO- γ 、N₂ Group、He Group 與 O atom 隨氧氣比例的強度變化圖，可以發現加入微量的氧氣(0.03%)，會發現的全部的波長都為上升的趨勢，是因為當加入微量的氧氣會產生 penning effect 的效應，使其電漿內碰撞游離的機會增加，而氧原子的增加對將來醫療應用有極大的功能，觀察前面的章節當氧氣增加一點點時電漿的形式變得更均勻(如圖 3.45 與 3.46)，I-V 電性圖(如圖 3.47)也可以發現加入一點點氧氣時，電流產生上升的趨勢。而隨著氧氣的比例持續增加時所有的波長皆往下掉，是因為氧氣為負電型電漿會吸附電子，也因此電漿變弱，由圖 3.45、3.46 與 3.47 可以清楚看到電漿的形式變的一條一條細細的電漿束與 I-V 電性圖的電流值下降的趨勢[Yang S. *et al.* 2004] [Leveille V. *et al.* 2010]。

第四章 結論與建議

4.1 結論

本研究設計成功設計出 Power 電極與 Ground 電極為上下形式的 DBD 平板行電極頭，並成功產生氬氣電漿束，經由不同條件的測試，使用 Quartz 當作介電質材料，產生較均勻之電漿，陶瓷介電質常數($\epsilon=10$)大時，於同一電壓下，極化之能力越佳，形成較強之電場，而造成電漿束變成一支支分離的現象，而 Dielectric distance 為 0.5 mm 時，由 I-V 電性圖發現有最大之電流值，代表電漿有較高的電流密度。

調整比較不同頻率發現 60 kHz 時電漿有不錯的電流表現並可以產生較均勻的電漿(如圖 3.31)，而流量則是發現 30 slm He 於 60-180 W 不會受到電場的增加而產生不穩定的電漿。比較不同的 Power 與 Ground 的距離發現調近為 10 mm 時可以降低崩潰電壓值並增強電漿電流，此情況下的電漿功率的效率高達 52% (如圖 3.49)，也量測到隨著功率的上升其電漿的電壓與電流值呈上升趨勢。使用 Floating 電極，如同將 Power 與 Ground 電極的距離拉近，降低了兩電位的距離，降低了阻值，而產生較高的電漿電流(40 mA \rightarrow 120 mA)，因此而成功產生大面積的 Ar 電漿束。

量測上述測試的氬氣電漿束的溫度分佈，使用 OES 量測 Z=5 mm 之 NO - γ 的 Rotational Temperature = 67 °C 與水銀溫度計量到溫度於 60-70 °C 相符合，代表水銀溫度計量測準確性相當高，量測不同 Z 軸(10 與 15 mm)的溫度接近 40°C 左右，更代表此電漿束可以應用於溶點較低的塑膠材料。

電漿中包含了很複雜的電漿化學反應，He Group 又以 668 nm 與 706 nm 為主要訊號，來至於本身的氣體原子，N₂ Group 以 337.3 nm 與 391.44 nm 為主，N₂ 於電漿中受到電子的撞擊產生更高能階的激發態 $N_2(A^3\Sigma_u^+)$ 與 $N_2(C^3\Sigma_u^+)$ (如圖 3.64)，而 $N_2(C^3\Sigma_u^+)$ 掉至 $N_2(B^3\Sigma_g^-)$ 較低的能階並放出光 N₂ second position (337.1 nm) (如圖 3.64)， N_2^+ (391.44 nm) ($N_2(B^3\Sigma_u^+) \rightarrow X_2(A^3\Sigma_g^+)$) 則是由 Penning ionization ($He^* + N_2 \rightarrow He + N_2^+ + e^-$) 與 charge transfer ($He^+ + N_2 \rightarrow He + N_2^+$) 反應產生的，此兩種亦會反應產生 N_2^+ (391.44 nm)，NO- γ Group 則是由 $N_2(A^3\Sigma_u^+)$ 與 NO 反應而產生 $NO(A^2\Sigma^+)$ ， $NO(A^2\Sigma^+)$ 掉回 NO 並放出光(180 - 260 nm)(如圖 3.65)。O Group 以 777 nm 為主，其是因為電漿中的電子碰撞與 Penning ionization ($N_2^* + O_2 \rightarrow N_2 + O + O$) 而反應產生 O 原子。使用上述測試的氮氣電漿束加入不同比例的氧氣，可以發現加入 0.03-0.07 % 左右的氧氣可以產生較均勻的電漿與較高的電流值，並經由 OES 量測也可以發現 NO- γ 、N₂ Group、He Group 與 O atom，於比例 0.03-0.07 % 的氧氣可以得到較大的強度現象會發現的全部的波長都為上升的趨勢，是因為當加入微量的氧氣會產生 penning effect 的效應，使其電漿內碰撞游離的機會增加，而氧原子的增加對將來醫療應用有極大的功能。

經由本研究的參數分析，了解各個參數對電漿的電漿形式與 I-V 參數影響，也經由溫度的與 OES 的量測分析，產生出最佳的電漿參數，也將提供實驗室模擬團隊進行電漿模擬系統的參考資料庫。

4.2 建議

- (a) 分析完整 OES 機制(Ex : Ozone、NO₂.....etc)，並朝醫療應用研究。
- (b) 以氫氣電漿為主，分析不同參數(介電質材料、頻率、氧氣比例.....)。
- (c) Floating 電極的改進，朝發展 Air 電極頭設計。



參考文獻

- [1] Akamatsu H., and Ichikawa K., “Characteristics of atmospheric pressure plasma jet generated by compact and inexpensive high voltage modulator”, *Surface & Coatings Technology*, (2011).
- [2] Bibinov N.K., Fateev A.A., and Wiesemann K., “On the influence of metastable reactions on rotational temperatures in dielectric barrier discharge in He-N₂ mixtures”, *J.Phys.D: Appl. Phys.*34 1819-1826, (2001).
- [3] Benedikt J., Raballand V., Gyl A.Y., Focke K. and Keudell A.V., “Thin film deposition by means of atmospheric pressure microplasma jet ”, *Plasma Phys. Control. Fusion* 49 B419–B42, (2007).
- [4] Chiang M.H., Liao K.C., Lin I.M., Lu C.C., Huang H.Y., Kuo C.L., and Wu J.S., “Modification of Hydrophilic Property of Polypropylene Films by a Parallel-Plate Nitrogen-Based Dielectric Barrier Discharge Jet”, *IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE*, VOL. 38, NO. 6 , (2010).
- [5] Chiang M.H., Wub J.Y., Li Y.H., Wu J.S., Chen S.H., and Chang C.L., “Inactivation of *E. coli* and *B. subtilis* by a parallel-plate dielectric barrier discharge jet ”, *Surface & Coatings Technology*, (2010).
- [6] Feng Y., Ren C.S., Nie Q.Y., and Wang D.Z., “Study on the Self-organized pattern in an

- Atmospheric Pressure Dielectric Barrier Discharge Plasma Jet”, IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE, VOL. 38, NO. 5 , (2010)
- [7] Hus Y.W., Yang Y.J., Wu A.Y., and Hsu C.C., “Downstream Characterization of an Atmospheric Pressure Pulsed Arc Jet”, Plasma Chem Plasma Process, (2010)
- [8] Hus Y.W., Yang Y.J., Wu A.Y., and Hsu C.C., “Surface modification of polyethyleneterephthalate by an atmospheric-pressure plasma source”, Surface & Coating Technology, 187, 172-176, (2004)
- [9] IWASAKI , TAKEDA K., ITO M., YARA T., UEHARA T. and HOR M., “Effect of Low Level O₂ Addition to N₂ on Surface Cleaning by Nonequilibrium Atmospheric-Pressure Pulsed Remote Plasma”, Japanese Journal of Applied Physics Vol. 46, No. 23, 2007, pp. L540–L542, (2007).
- [10] Kong M.G., Nie Q.Y., Ren C.S., Wang D.Z., Li S.Z. and Zhang J.L., “Self-organized pattern formation of an atmospheric pressure plasma jet in a dielectric barrier discharge configuration”, Appl. Phys. Letters 90 221504, (2007).
- [11] Lee H.W., Nam S.H., H A.A., Mohamed H., Kim C.C. and Lee J.K., “Atmospheric Pressure Plasma Jet Composed of Three Electrodes: Application to Tooth Bleaching”, Plasma Processes and Polymers, Vol.7, 274-280, (2010).
- [12] Li S.Z., Wu Q., Zhang J., Wang D., and Uhm H.S., “Development of an atmospheric pressure homogeneous and cold Ar/O₂ plasma source operating in glow discharge”,

PHYSICS OF PLASMAS 17, 063506, (2010).

- [13] Leveille V., and Coulombe S., “Atomic Oxygen Production and Exploration of Reaction Mechanisms in a He-O₂ Atmospheric Pressure Glow Discharge Torch”, Plasma Processes and Polymers, (2006)
- [14] Mahoney J., Zhu W., Johnson V.S., Becker K.H., and Lopez J.L., “Electrical and optical emission measurements of a capillary dielectric barrier discharge”, The EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL D, (2010)
- [15] Park H.S., Kim S.J., Joh H.M., Chung T.H., Bae S.H., and Leem S.H., “Optical and electrical characterization of an atmospheric pressure microplasma jet with a capillary electrode”, PHYSICS OF PLASMA 17, 033502, (2010)
- [16] Schutze A., Jeong J.Y., Babayan S.E., Park J., Selwyn G.S. and Hicks R.F., “The Atmospheric-Pressure Plasma Jet: A Review and Comparison to Other Plasma Sources”, IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE, VOL. 26, NO. 6, (1998).
- [17] Wagner H.E., Brandenburg K., Kozlov K.V., Sonnenfeld A., Michel P., and Brhnke J.F., “The barrier discharge : basic properties and applications to surface treatment”, Vacuum 71 417-436, (2003).

| | |
|---------------------|-----------------|
| Plasma Gas | He |
| Power supply | DC quasi pulsed |
| Dielectric material | Ceramic 1(mm) |
| Dielectric distance | 0.8 (mm) |
| Flow rate | 20、30、50 (slm) |
| Frequency | 20、40、60 (kHz) |
| Power | 60 - 200 (W) |

表格 3.1 電漿測試條件

| Parameters | Varying operation conditions | Fixed operating conditions |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Dielectric material | Ceramic 1 mm & Quartz 1 mm(60 - 180 W) | 1. 30 slm He 2. Dielectric distance : 0.8 mm 3. Frequency : 60 kHz |
| 2. Dielectric distance | 0.2, 0.3, 0.5, 0.8 and 1.5 mm (60 - 180 W) | 1. 30 slm He 2. Dielectric material : Quartz 1mm 3. Frequency :60 kHz |
| 3. Flow rate, Frequency and Power | Flow rate :10, 15, 20 and 30 slm Frequency : 20, 30, 40, 50 and 60 kHz Power : 60 -180 W | 1. Dielectric material : Quartz 1 mm 2. Dielectric distance : 0.5 mm |
| 4. Distance of power and ground | 10, 15, 20 and 25 mm (60 - 180 W) | 1. 30 slm He 2. Dielectric material : Quartz 1mm 3. Frequency :60 kHz 4. Dielectric distance : 0.5 mm |
| 5. Add Oxygen | Oxygen : 0, 0.03, 0.05, 0.07, 0.09, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7 and 1.0 % | 1. 30 slm He 2. Dielectric material : Quartz 1mm 3. Frequency :60 kHz 4. Dielectric distance : 0.5 mm 5.Distance of power and ground : 10 mm 6.Power : 120 W |
| 6. Power efficiency | 60 - 180 W | 1. 30 slm He 2. Dielectric material : Quartz 1mm 3. Frequency :60 kHz 4. Dielectric distance : 0.5 mm 5.Distance of power and ground : 10 mm |
| 7. Floating electrode (A) | without floating & with floating (60 - 180 W) | 1. 30 slm He and Ar 2. Dielectric material : Quartz 1mm 3. Frequency :60 kHz 4. Dielectric distance : 1.0 mm 5.Distance of power and ground : 10 mm & 2 mm |

表格 3.2 Post-discharge 電漿測試條件.

| Parameters | Varying operation conditions | Fixed operating conditions |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Temperature | X axis : 0, 10, 20, 30, 40 and 50 mm Z axis : 5 (Trot), 10 and 15 mm | 1. 30 slm He 2. Dielectric material : Quartz 1mm 3. Frequency :60 kHz 4. Delectric distance : 0.5 mm 5. Distance of power and ground : 10 mm 6. Power : 120 W |

表格 3.3 Post-discharge 電漿溫度測試條件.

| Parameters | Varying operation conditions | Fixed operating conditions |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OES | Post-discharge & discharge | 1. 30 slm He 2. Dielectric material : Quartz 1mm 3. Frequency :60 kHz 4. Delectric distance : 0.5 mm 5. Distance of power and ground : 10 mm 6. Power : 120 W |
| OES (Post - discharge) | Z axis : 2.5 (T_{rot}), 7.5, 12.5 and 17.5 mm | 1. 30 slm He 2. Dielectric material : Quartz 1mm 3. Frequency :60 kHz 4. Delectric distance : 0.5 mm 5. Distance of power and ground : 10 mm 6. Power : 120 W |
| OES (Post - discharge adding Oxygen) | Oxygen : 0, 0.03, 0.05, 0.07, 0.09, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7 and 1.0 % | 1. 30 slm He 2. Dielectric material : Quartz 1mm 3. Frequency :60 kHz 4. Delectric distance : 0.5 mm 5. Distance of power and ground : 10 mm 6. Power : 120 W 7. Z=2.5 mm |

表格 3.4 OES 電漿測試條件.

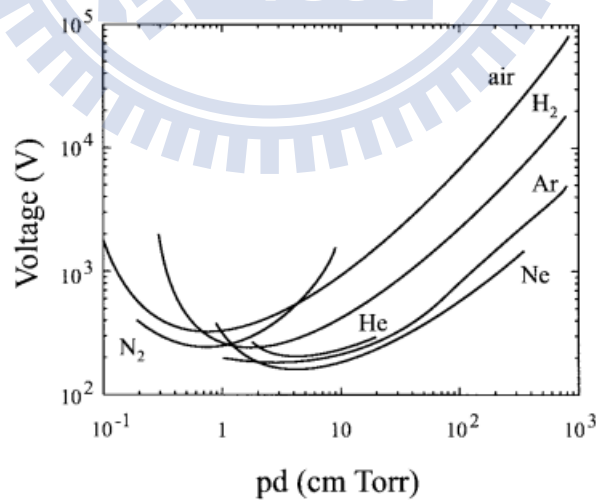


圖 1.1 各種氣體的 Paschen Curves ($V_{\text{breakdown voltage}}$ VS pd) [Schutze *et al.* 1998].

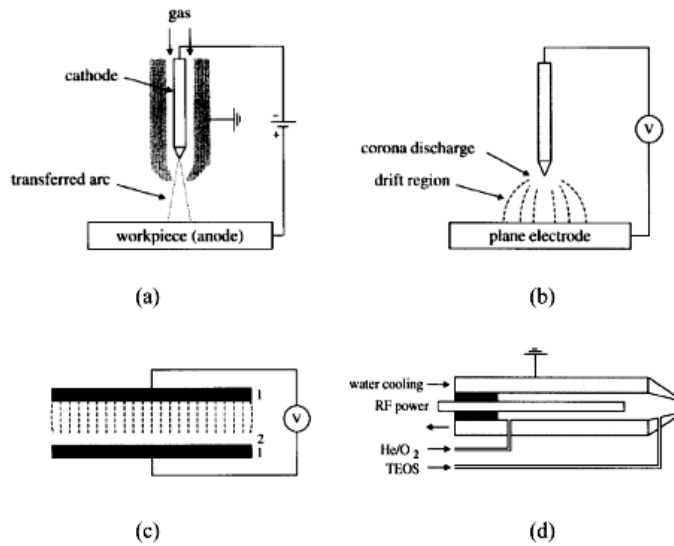


圖 1.2 各種常壓電漿電極設計形式. (a) 電漿火炬(Plasma torch); (b) 暈光放電(Corona discharge); (c) 介電質屏蔽放電(DBD); (d) 常壓電漿束(APPJ) [Schutze *et al.* 1998].

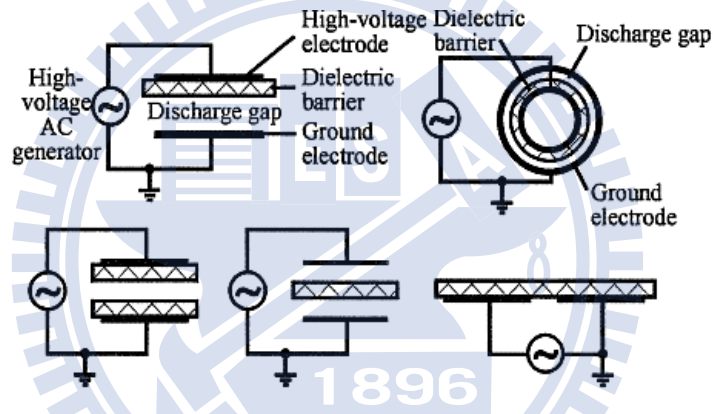


圖 1.3 介電質屏蔽放電 (DBD)與電極各種設計[Schutze *et al.* 1998].

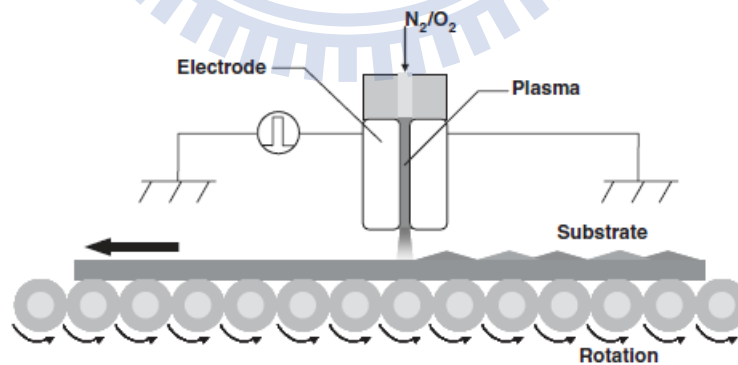


圖 1.4 介電質屏蔽常壓電漿(DBD)系統[Masahiro. I. *et al.* 2007].

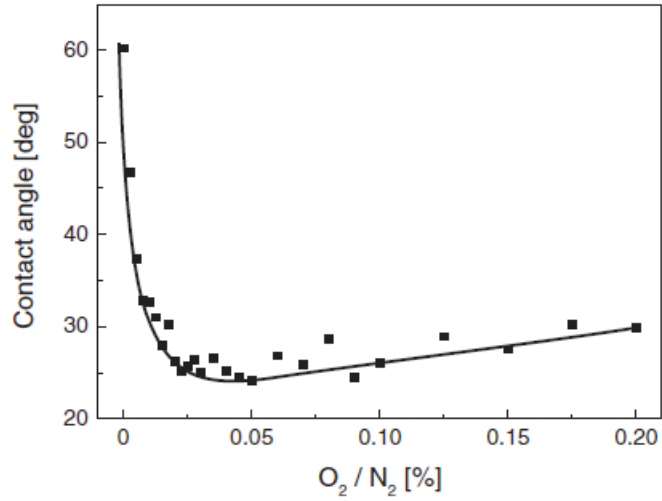


圖1.5 不同氧氣比例之接觸角比較圖[Masahiro. I.et al, 2007].

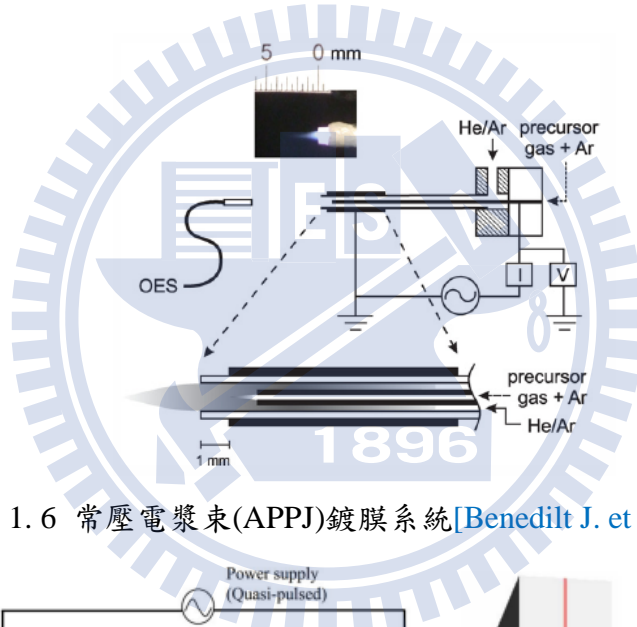


圖 1.6 常壓電漿束(APPJ)鍍膜系統[Benedilt J. et al, 2007].

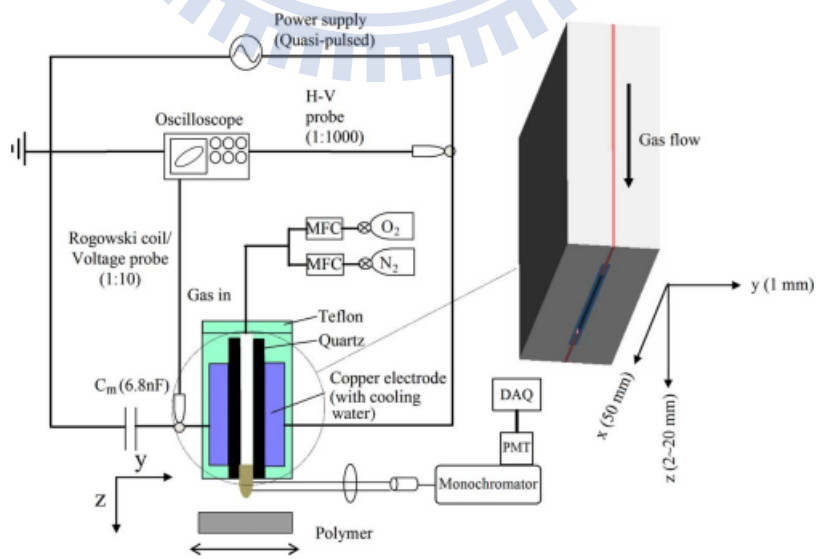


圖1.7 常壓電漿束(APPJ-DBD)鍍膜系統[Chiang M.H. et al, 2010].

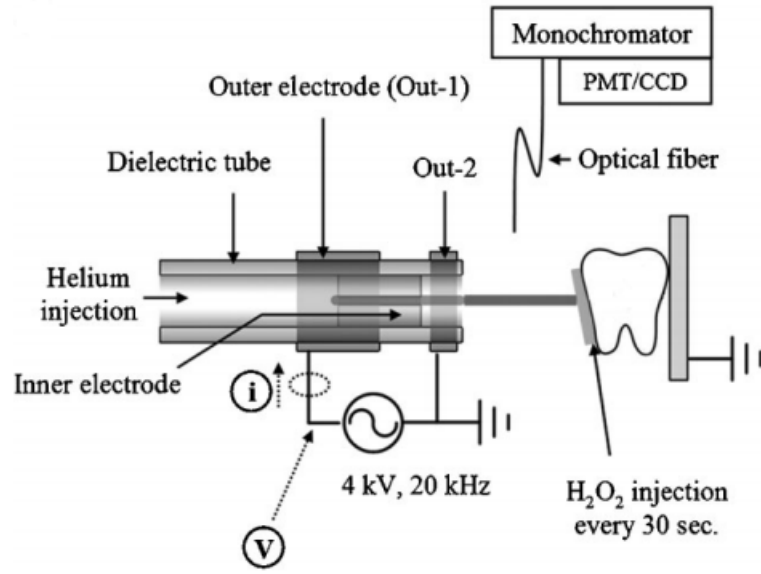


圖1.8 常壓電漿束(APPJ)鍍膜系統 [Lee H.W. et al. 2010].

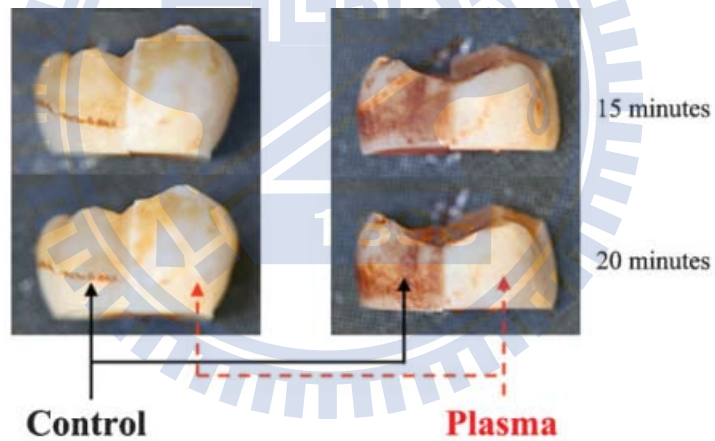


圖1.9 牙齒經過電漿美白的比較圖 [Lee H.W. et al. 2010].

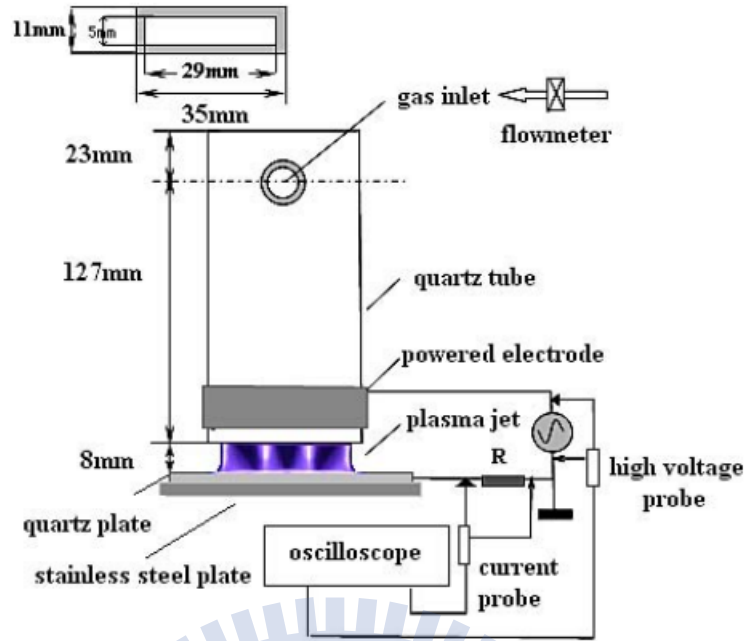


圖1. 10 Power與ground電極成上下形式的常壓電漿系統[Feng. Y. et al, 2010].

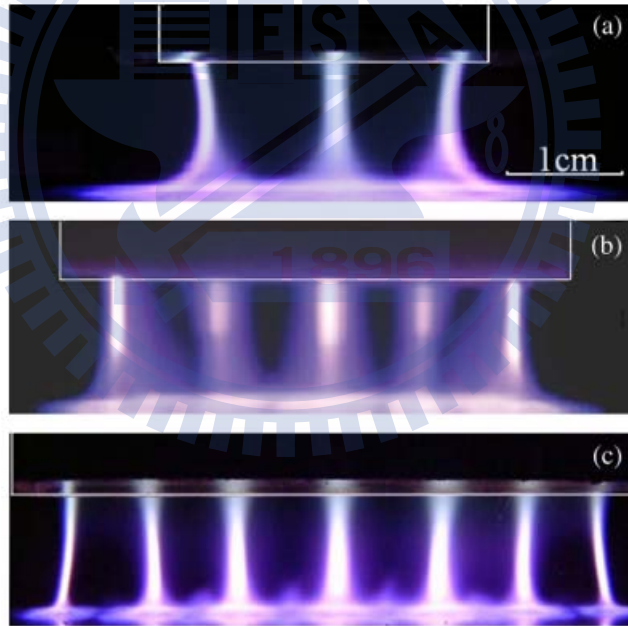


圖1. 11 流道寬度不同的電漿比較圖[Feng. Y. et al, 2010].

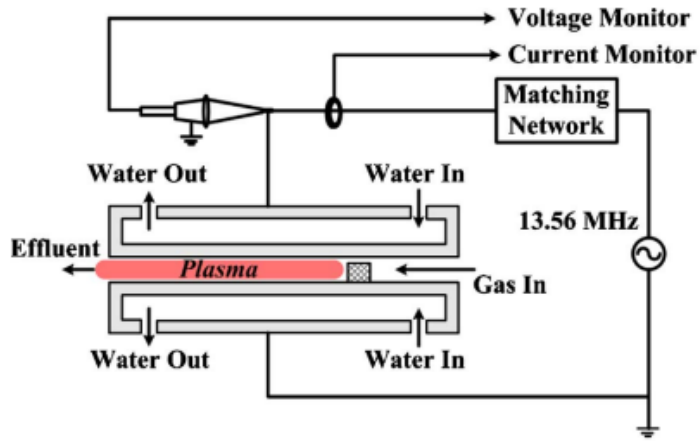


圖1.12 平板型無介電質材料的RF電極設計圖[Li. S.Z. et al, 2011].

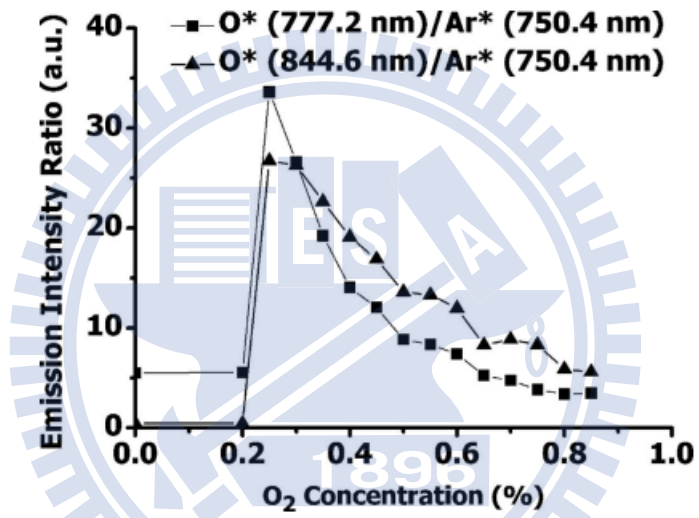


圖1.13 不同氧氣比例比較O 777比較圖[Li. S.Z. et al, 2011].

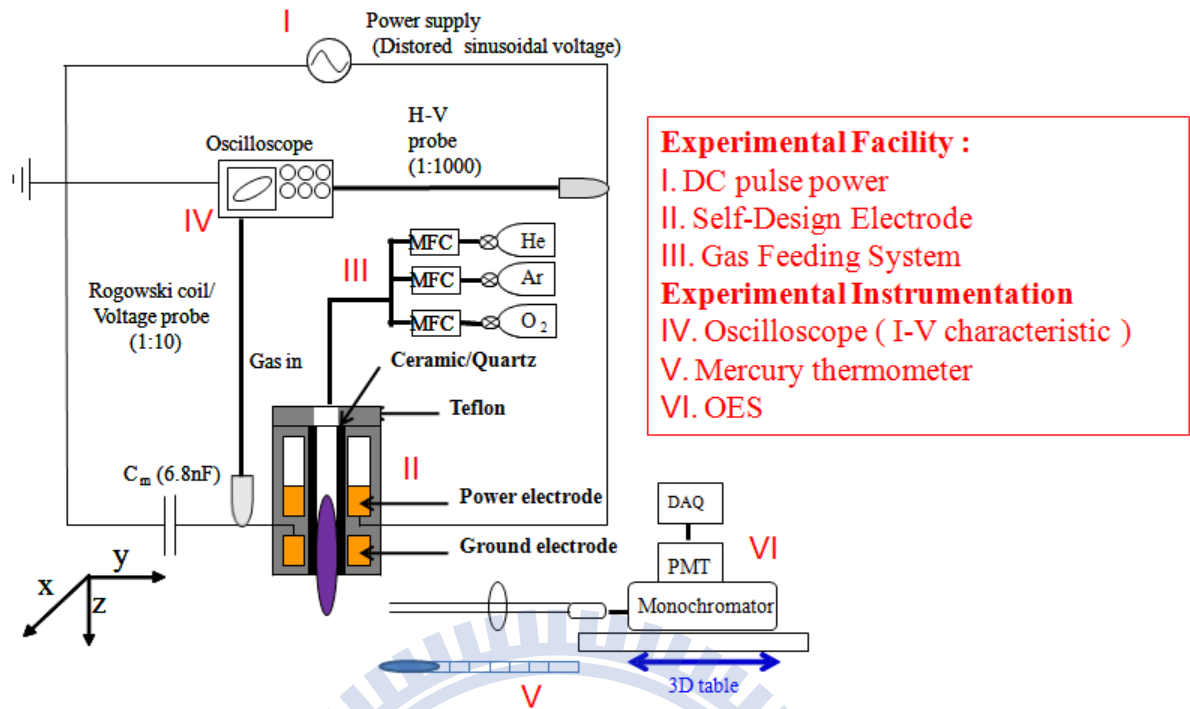


圖 2.1 DC pulse - 常壓平板型介電質屏蔽電漿束(DBD - APPJ)系統

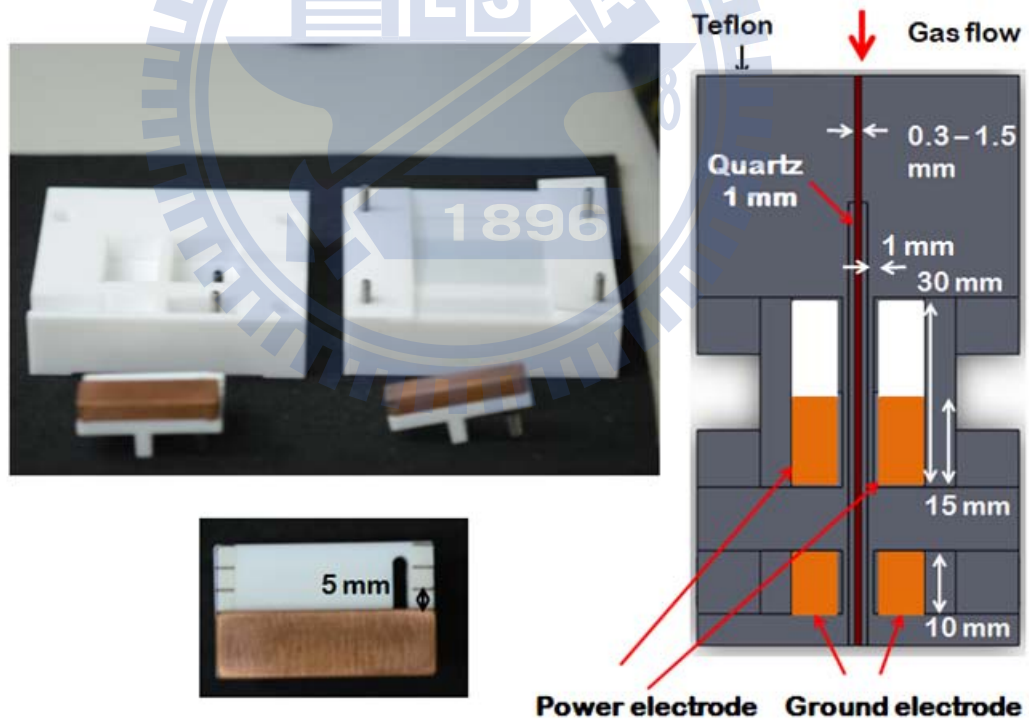


圖 2.2 常壓電漿 DBD 電極設計圖

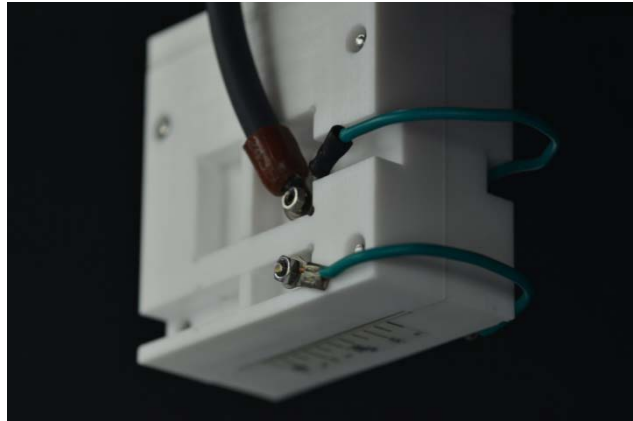


圖 2.3 常壓電漿 DBD 電極設計組裝圖

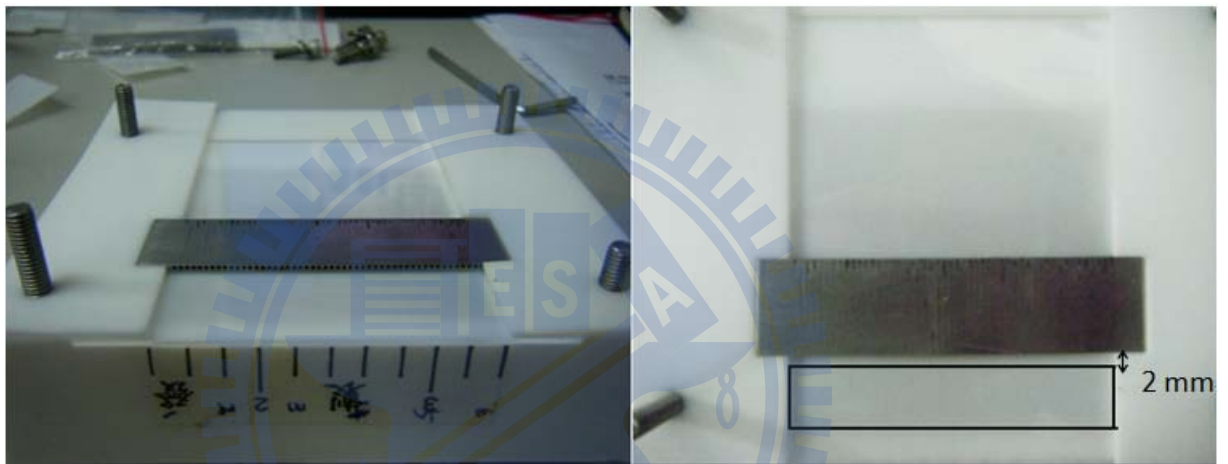


圖 2.4 常壓電漿 floating 電極設計圖

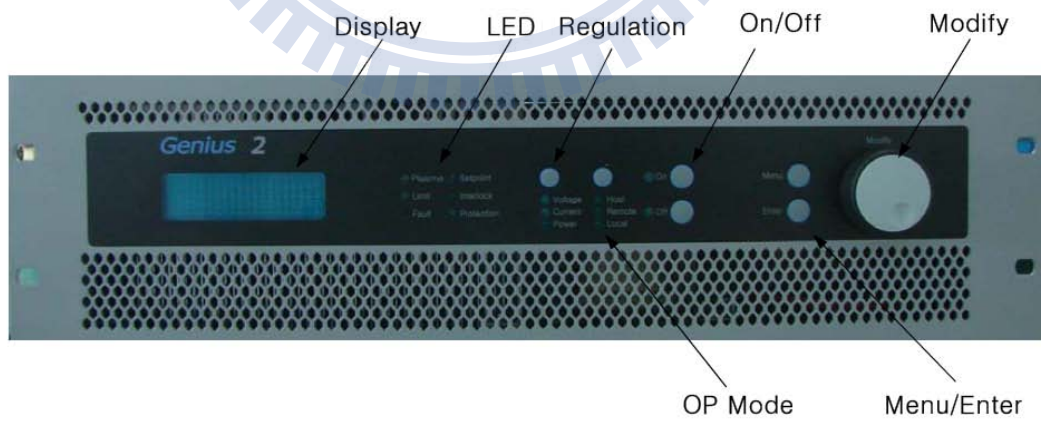


圖 2.5 脈衝電源供應器前視圖

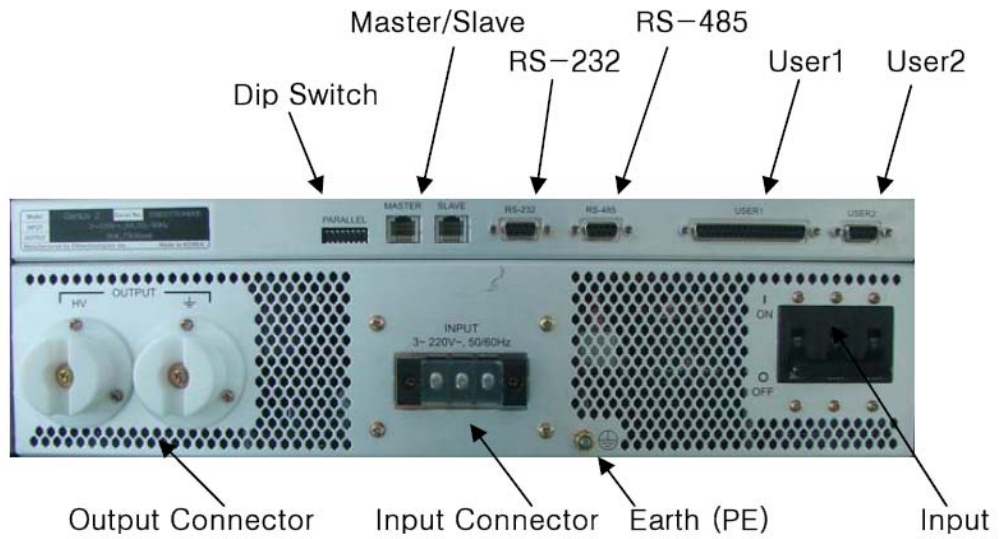


圖 2.6 脈衝電源供應器後視圖

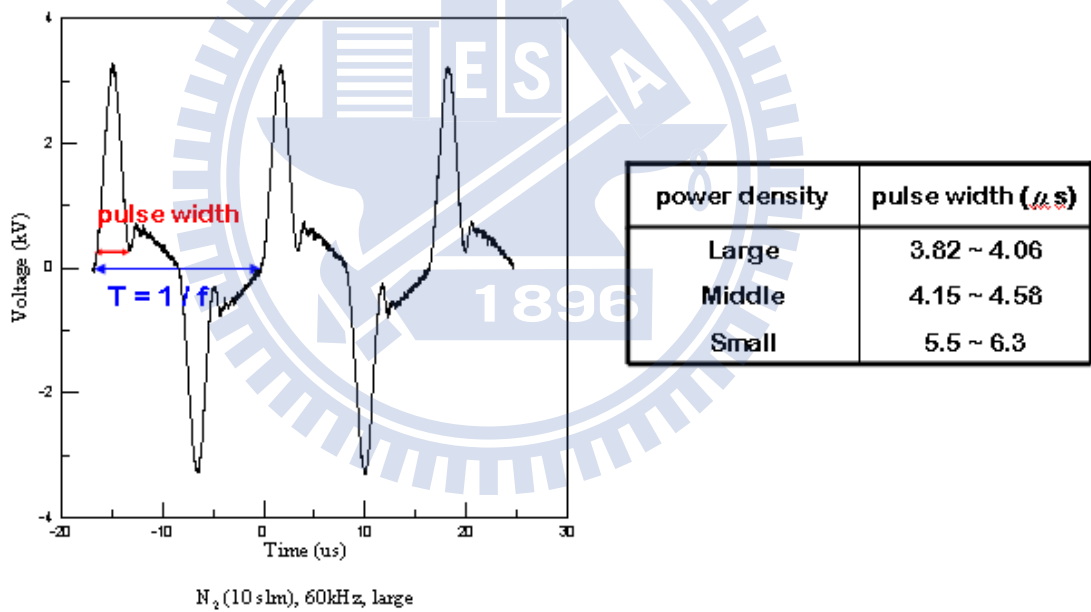


圖 2.7 電漿密度模式定義



圖 2.8 氣體供給系統-調壓閥

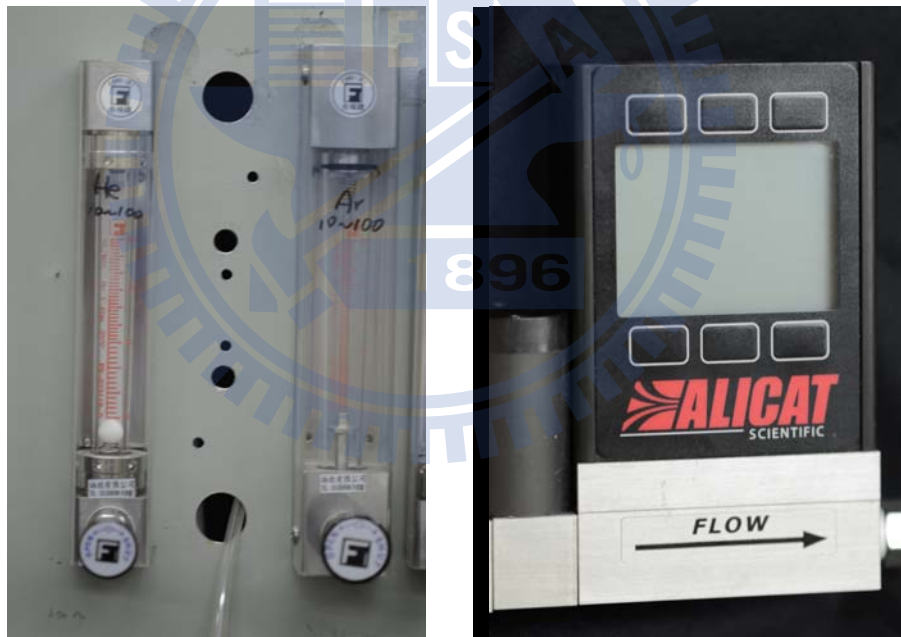


圖 2.9 氣體供給系統-浮子流量計與 MFC



圖 2.10 實驗腔體



圖 2.11 單眼相機



圖 2.12 高壓探棒、電流感測器與耐高壓電容

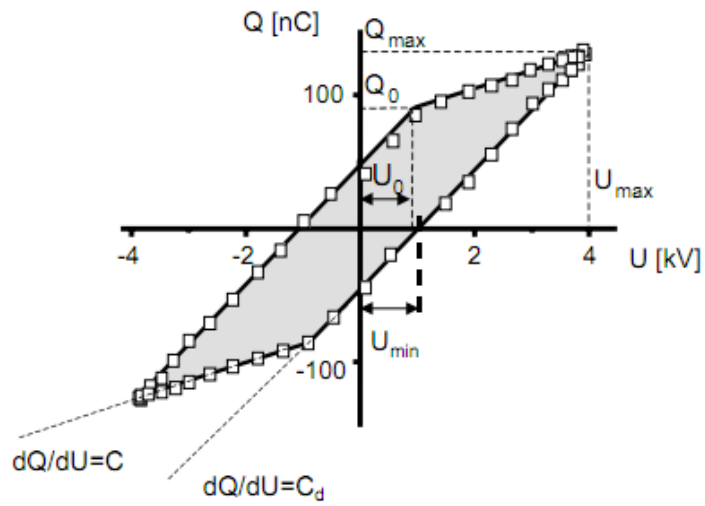


圖 2.13 示波器值顯示之圖(Lissajous figure) [Wagner H.E. *et al.* 2003].

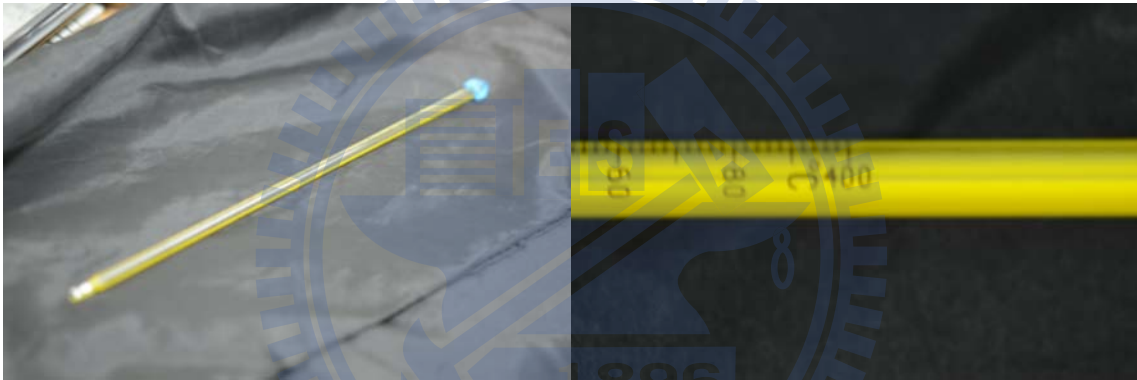


圖 2.14 水銀溫度計



圖 2.15 光譜儀

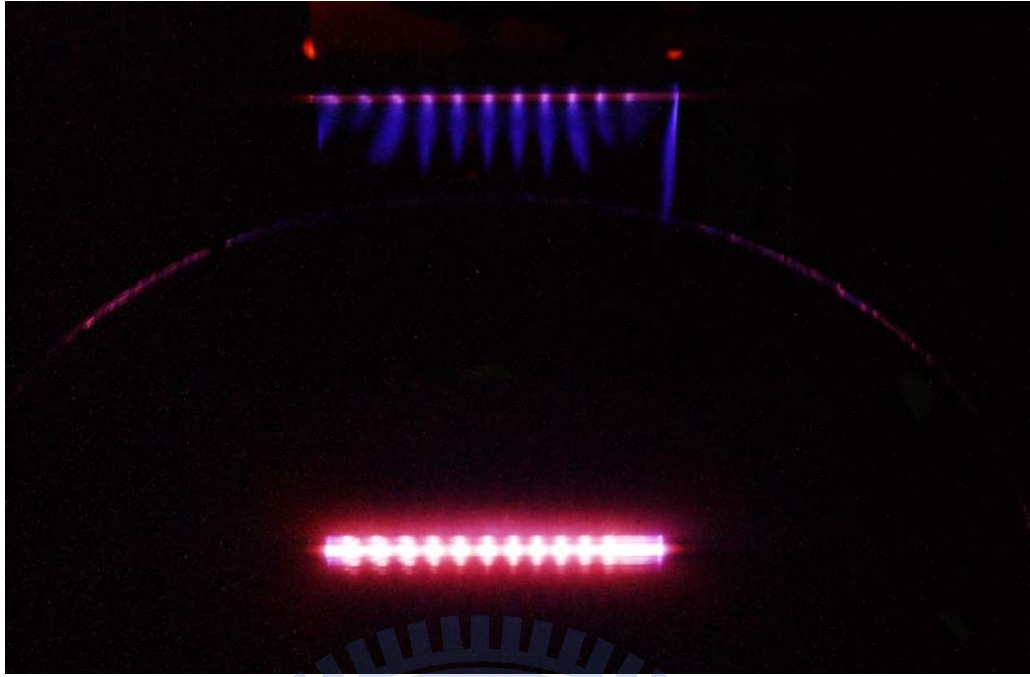


圖 3. 1 Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm), 20 (kHz), 50 (slm)
and 60 (W).

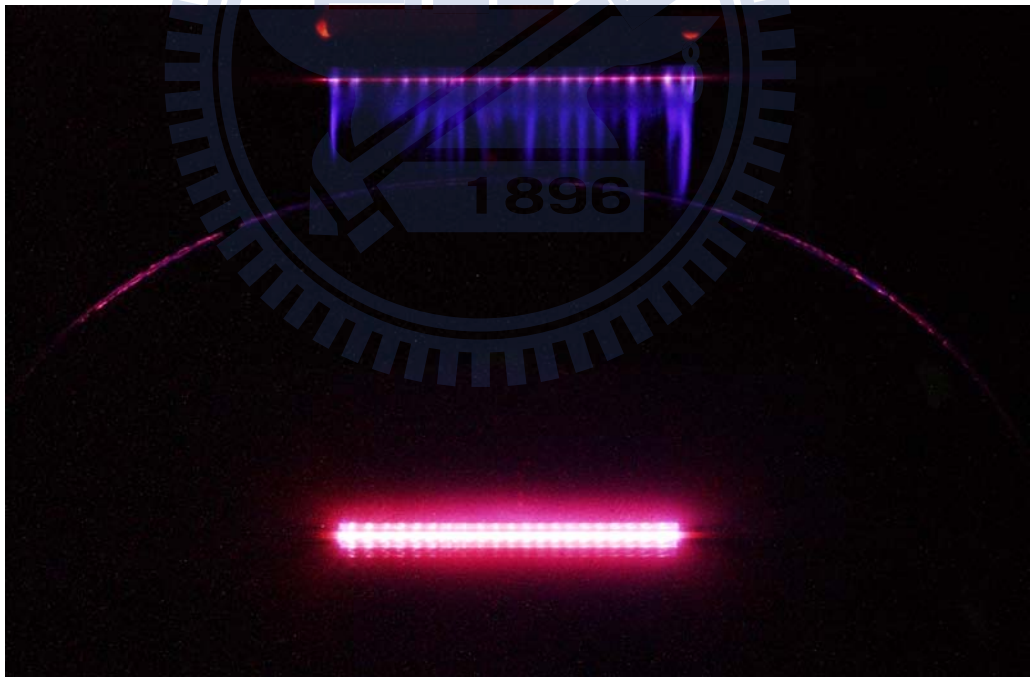


圖 3. 2 Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm), 60 (kHz), 50 (slm)
and 120 (W).

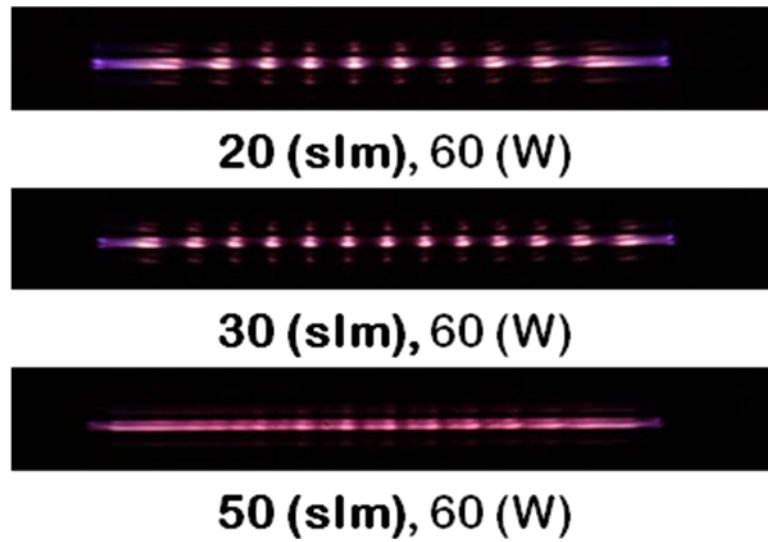


圖 3.3 不同流量 Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm), 20 (kHz)

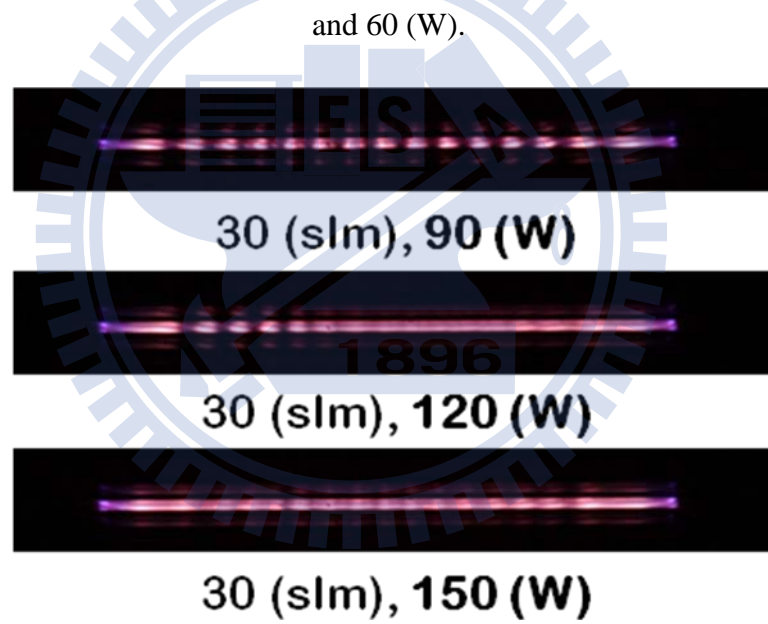


圖 3.4 不同功率 Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm), 20 (kHz)

and 60 (W).

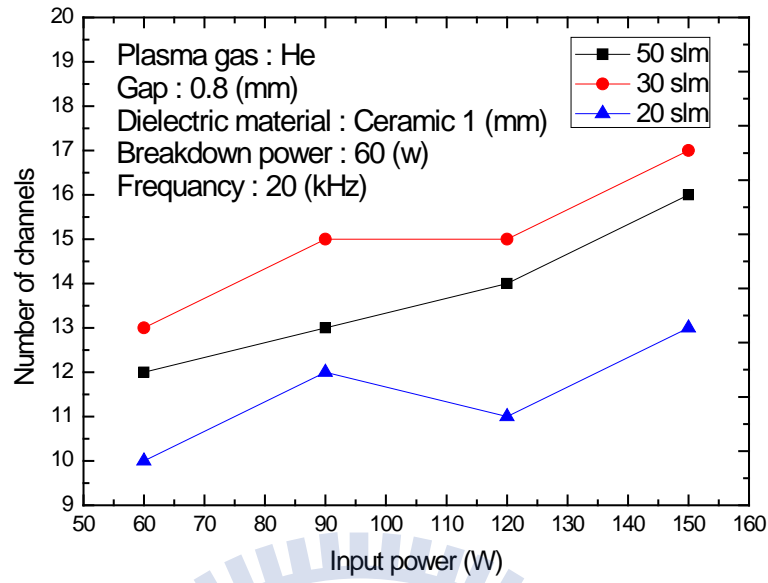


圖 3.5 不同流量，固定 20 (kHz) Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm).

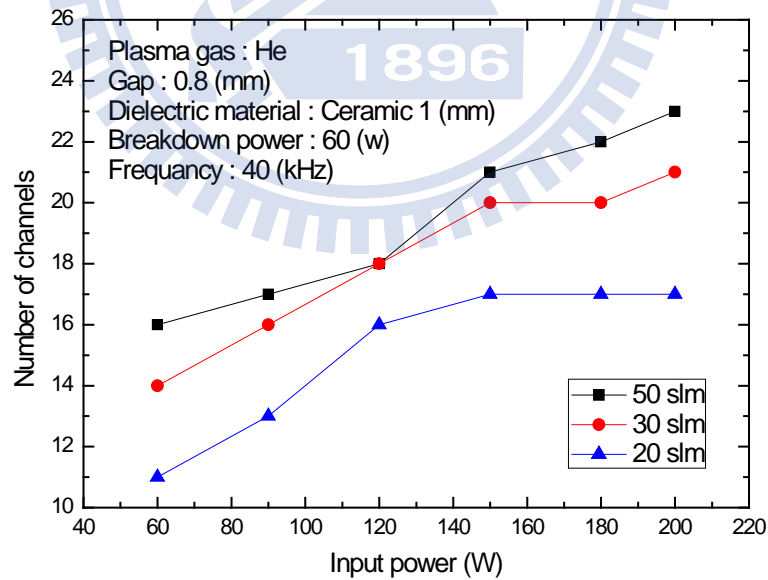


圖 3.6 不同流量，固定 40 (kHz) Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm).

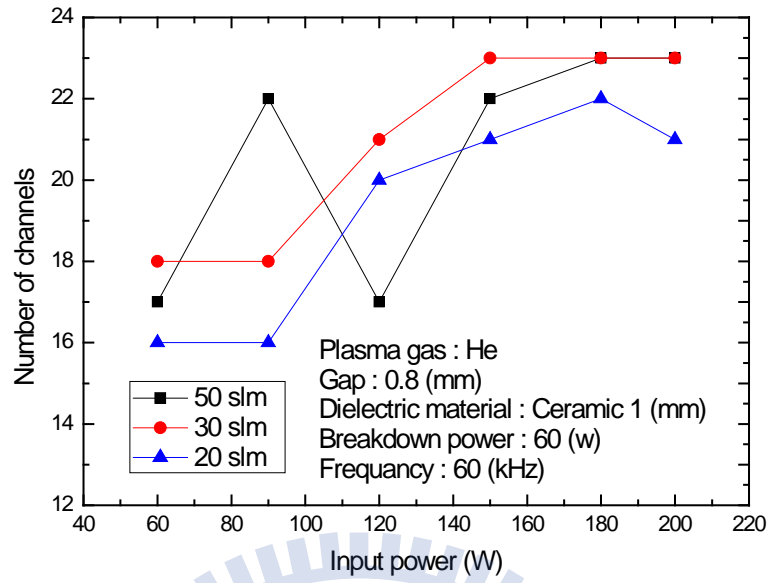


圖 3.7 不同流量，固定 60 (kHz) Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm).

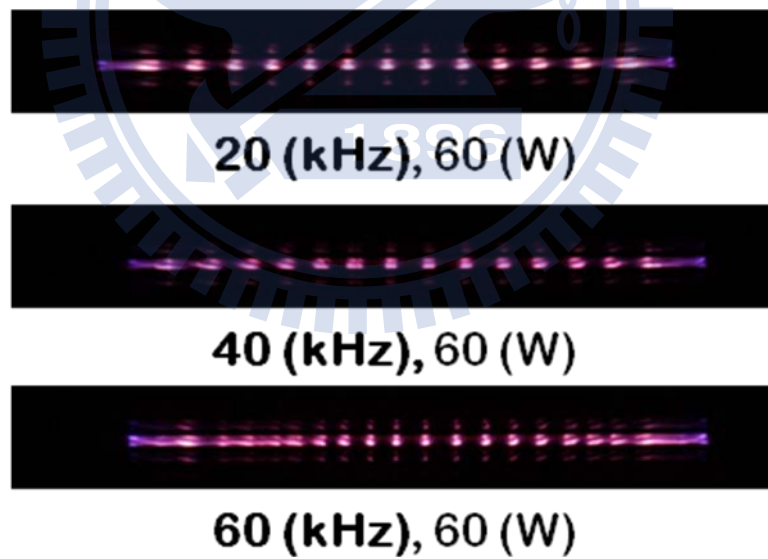


圖 3.8 不同頻率 Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm), 30 (slm) and 60 (W).

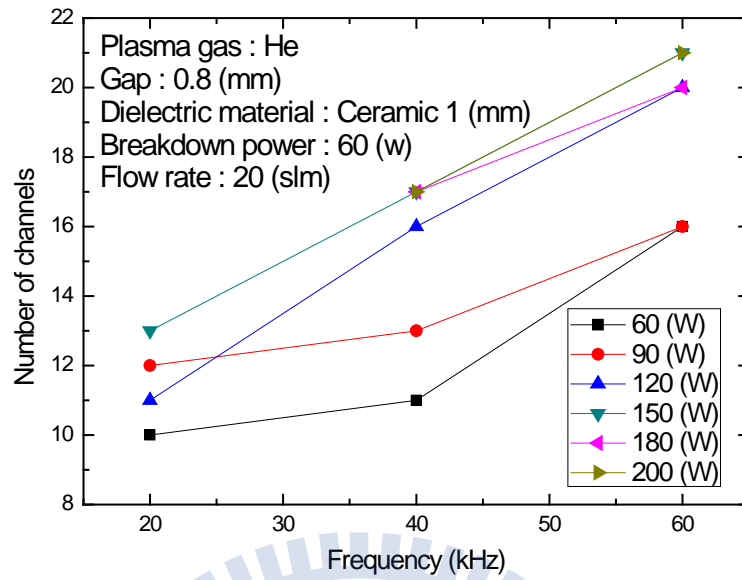


圖 3.9 固定流量 20 (slm) Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm).

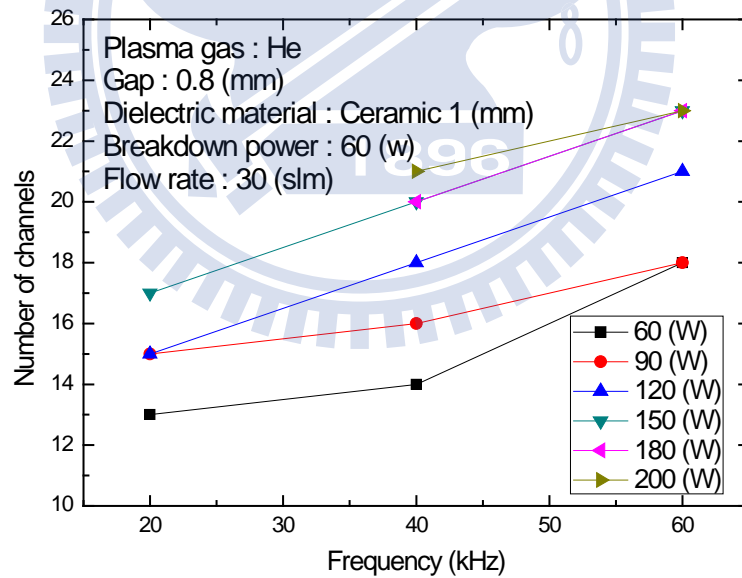


圖 3.10 固定流量 30 (slm) Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm).

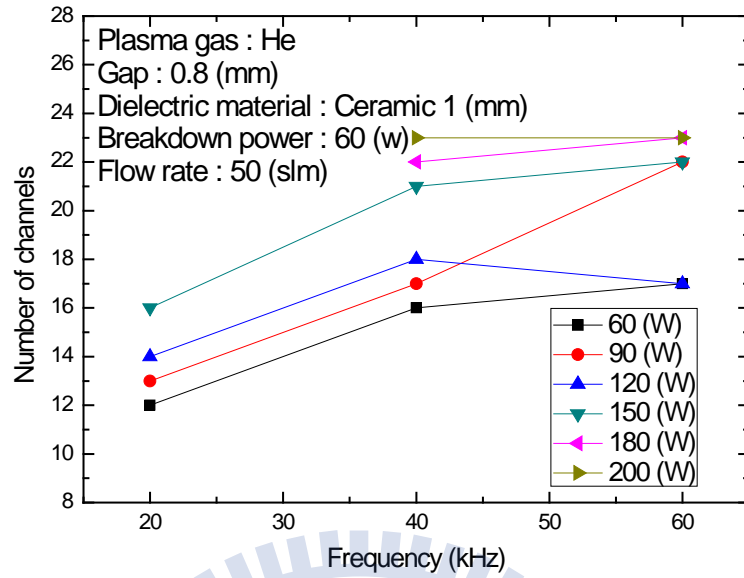


圖 3.11 固定流量 50 (slm) Pure He discharge, Ceramic 1 (mm), Dielectric distance 0.8 (mm).

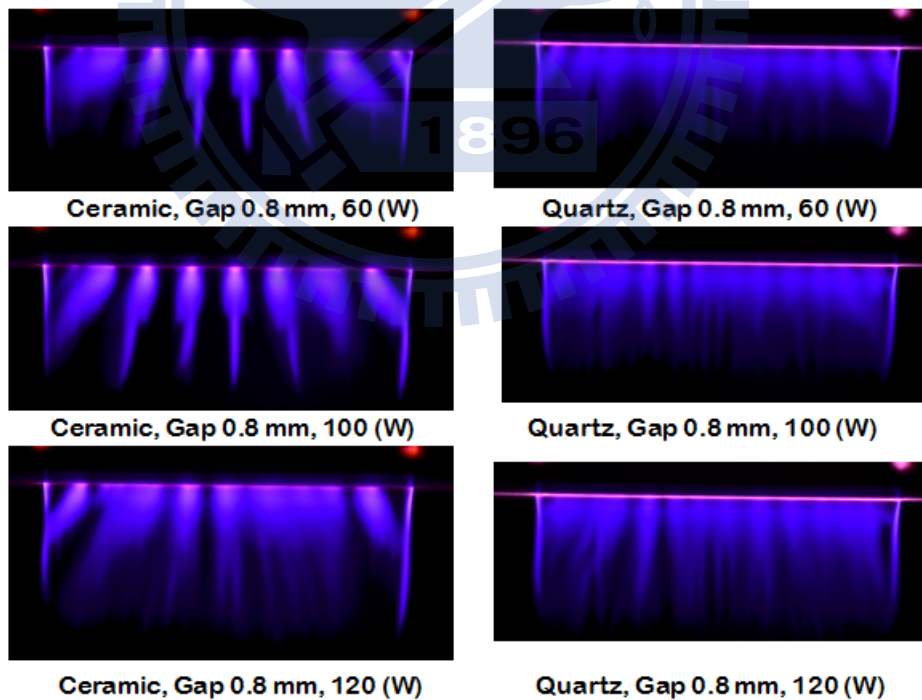


圖 3.12 比較不同介電質材料 60–120 W 電漿比較圖, 30 slm Pure He discharge.

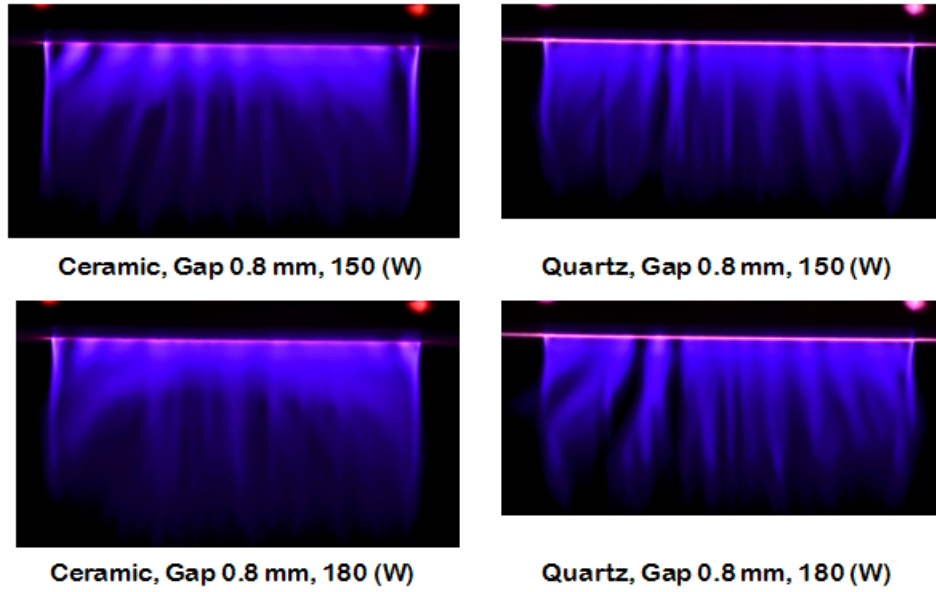


圖 3.13 不同介電質材料 150–180 W 電漿比較圖, 30 slm Pure He discharge.

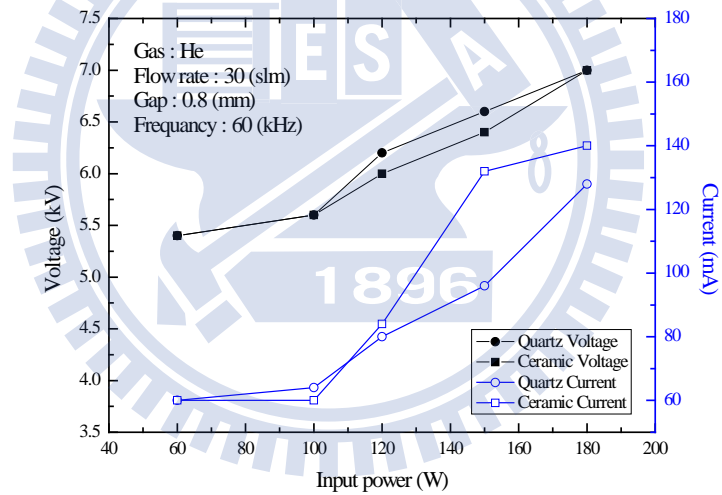


圖 3.14 比較不同介電質材料 I-V 電性圖, 30 slm Pure He discharge, Dielectric distance 0.8

mm.

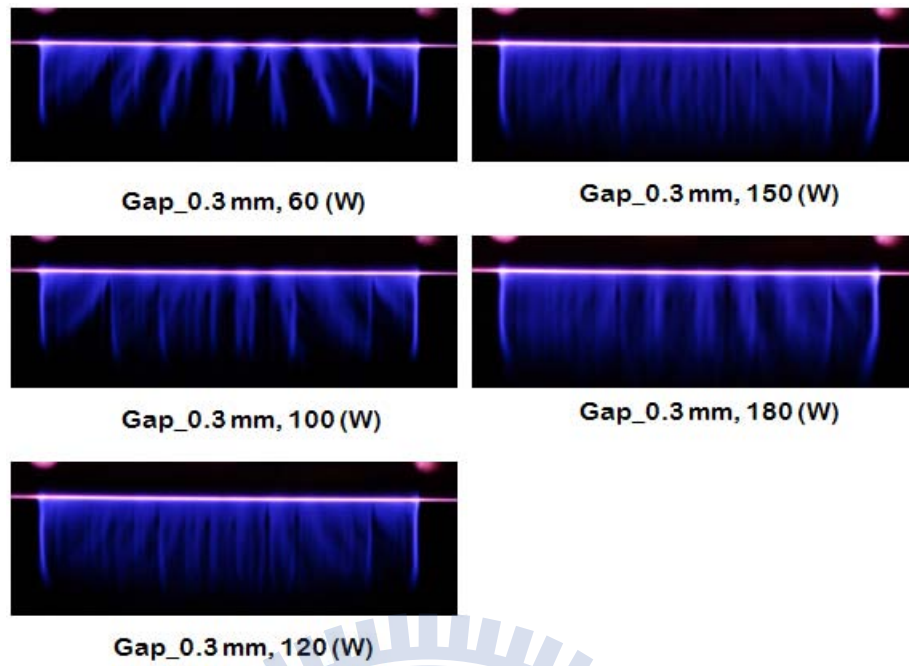


圖 3.15 不同功率，固定 Dielectric distance 0.3 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 60 (kHz).

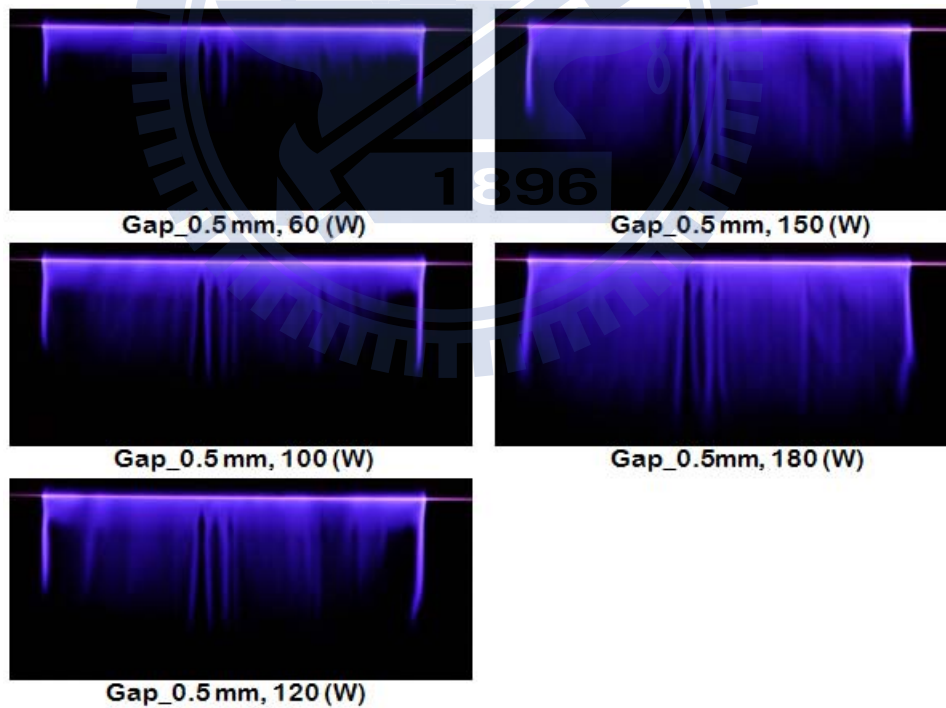


圖 3.16 不同功率，固定 Dielectric distance 0.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 60 (kHz).

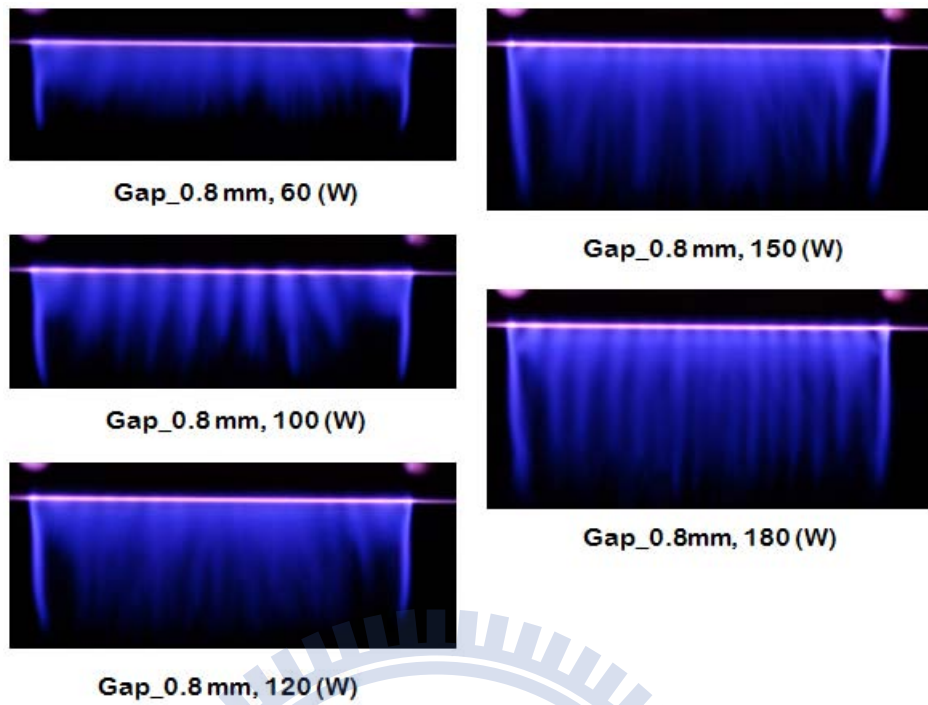


圖 3.17 不同功率，固定 Dielectric distance 0.8 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 60 (kHz).

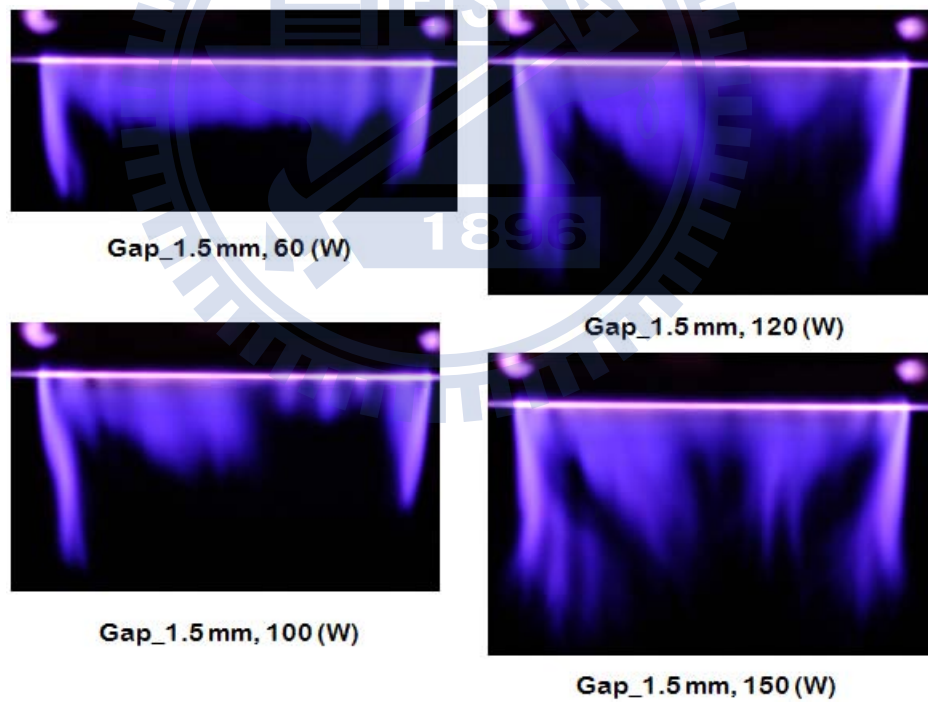


圖 3.18 不同功率，固定 Dielectric distance 1.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 60 (kHz).

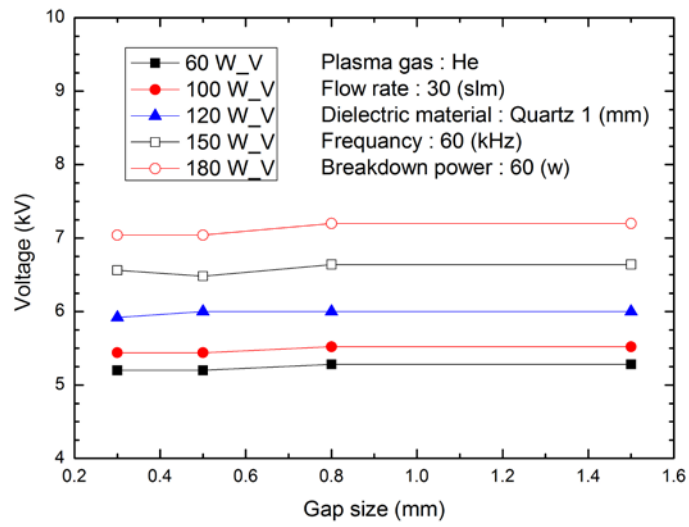


圖 3. 19 不同 Dielectric distance 的電壓比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 30 (slm).

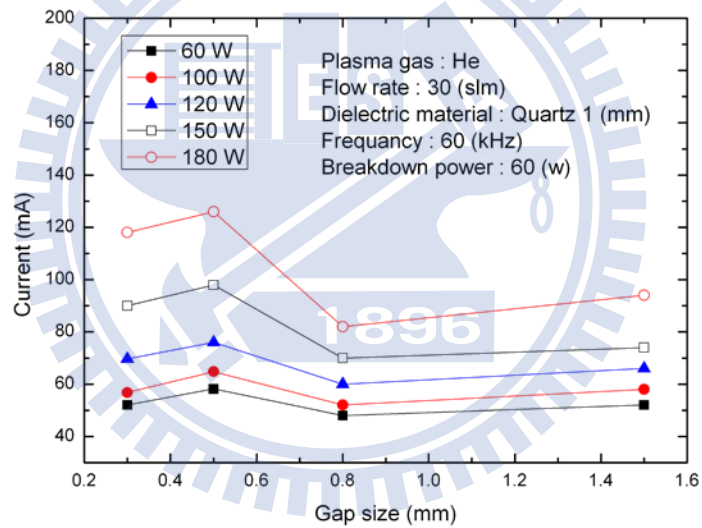


圖 3. 20 不同 Dielectric distance 的電流比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 30 (slm).

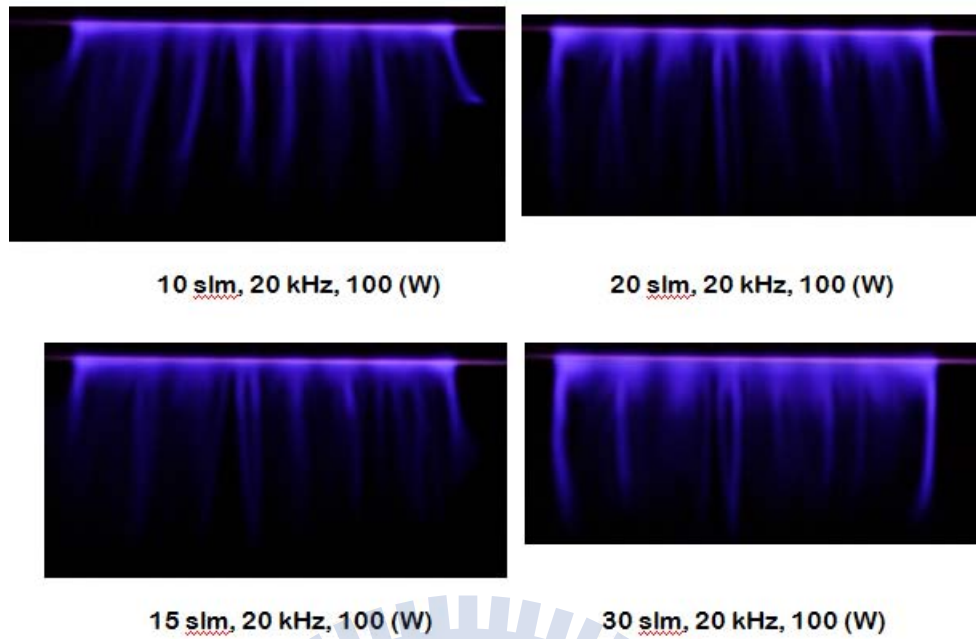


圖 3. 21 不同 flow rate, 固定 Dielectric distance 0.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm) , 20 (kHz), 100 (W).



圖 3. 22 不同 flow rate, 固定 Dielectric distance 0.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm) , 30 (kHz), 300 (W).

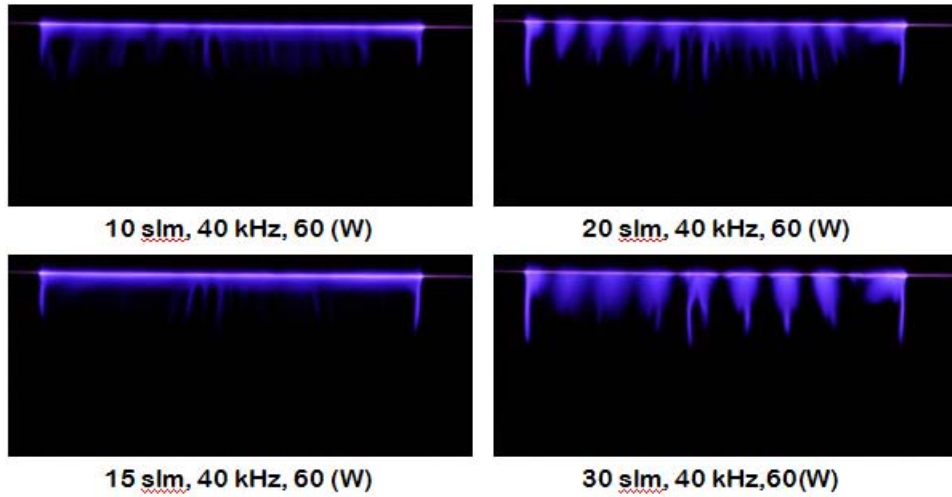


圖 3. 23 不同 flow rate, 固定 Dielectric distance 0.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm) , 40 (kHz), 60 (W).

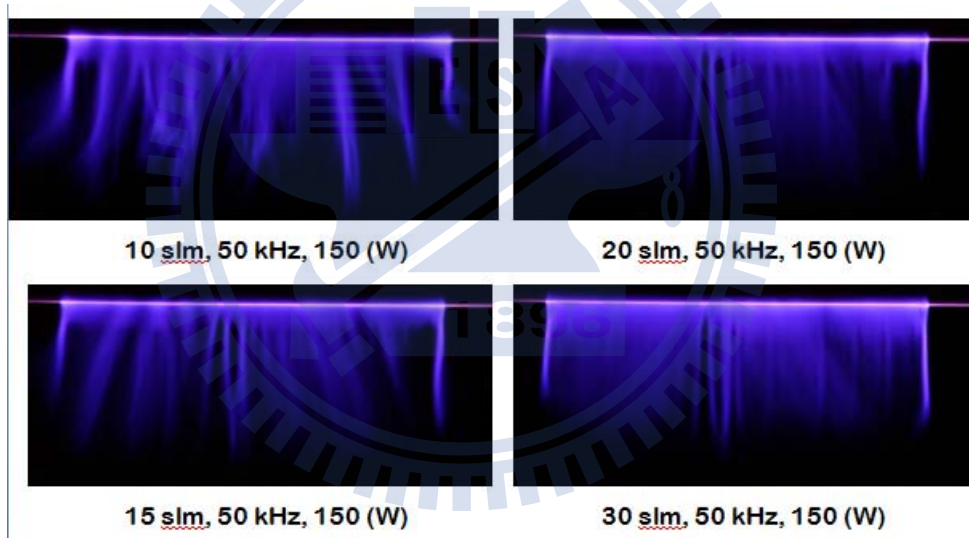


圖 3. 24 不同 flow rate, 固定 Dielectric distance 0.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm) , 50 (kHz), 150 (W).

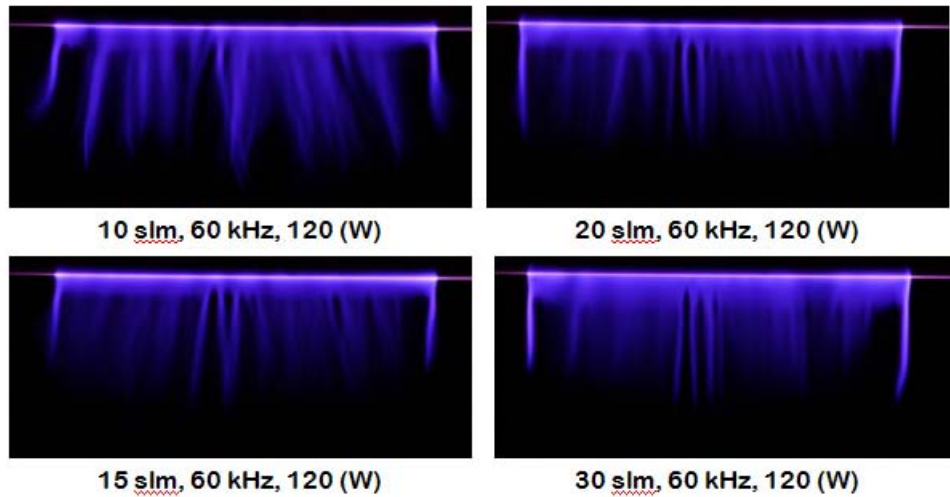


圖 3. 25 不同 flow rate, 固定 Dielectric distance 0.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm) , 60 (kHz), 120 (W).

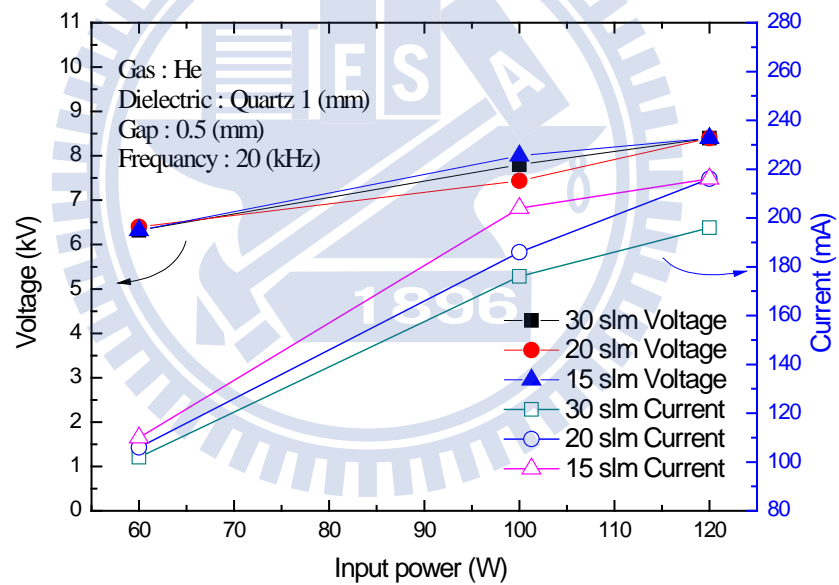


圖 3. 26 不同 flow rate 的電壓與電流比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), Frequency 20 (kHz).

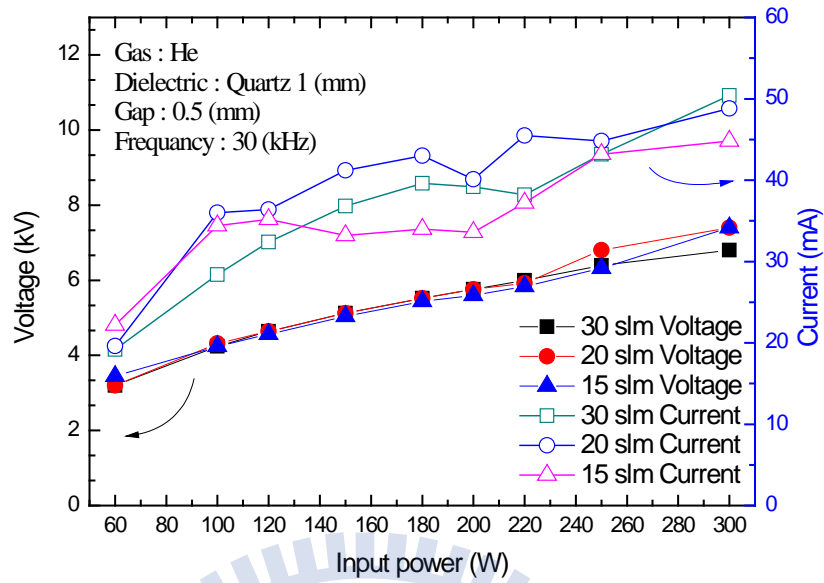


圖 3.27 不同 flow rate 的電壓與電流比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), Frequency 30 (kHz).

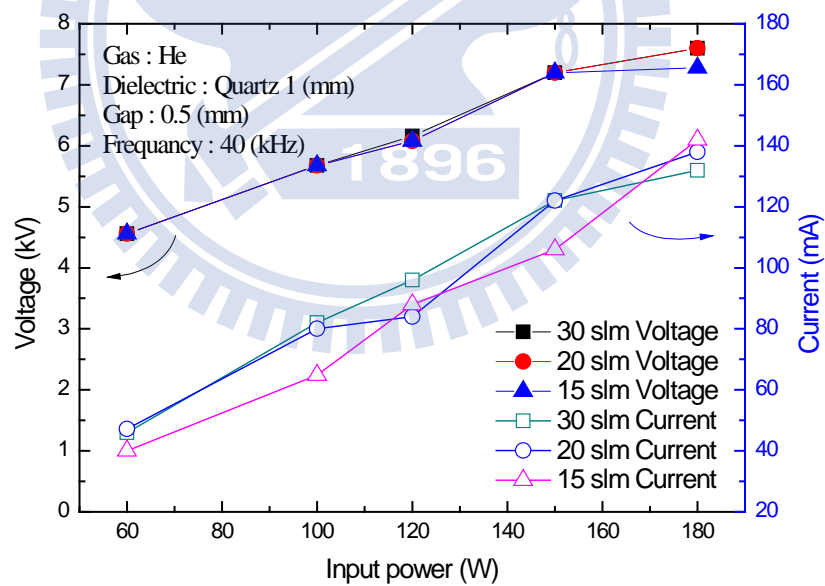


圖 3.28 不同 flow rate 的電壓與電流比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), Frequency 40 (kHz).

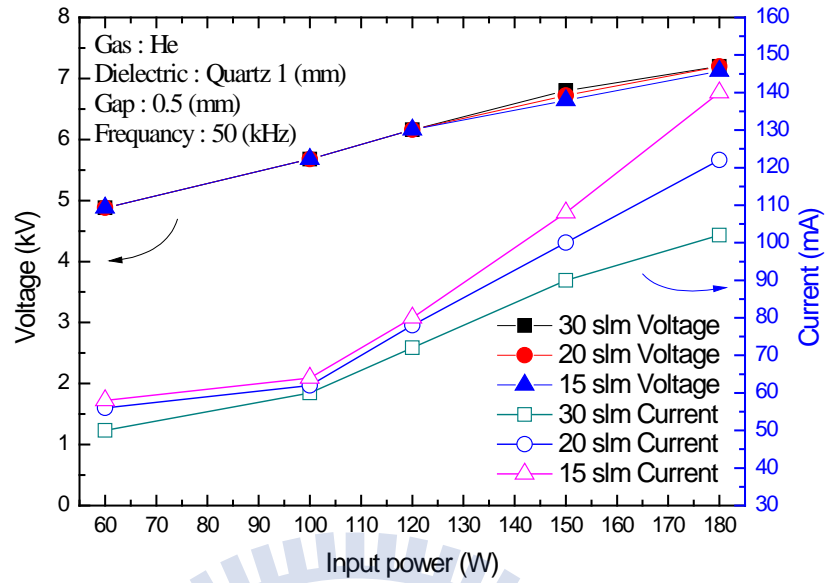


圖 3. 29 不同 flow rate 的電壓與電流比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), Frequency 50 (kHz).

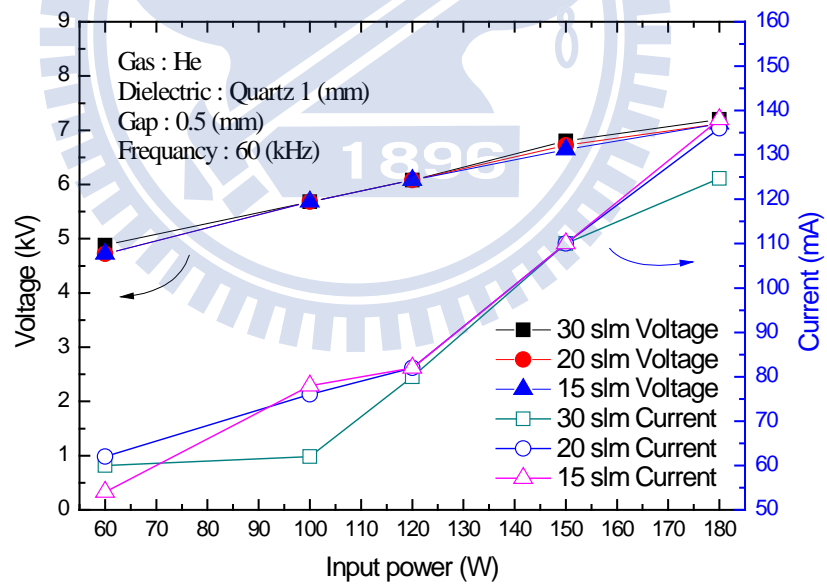


圖 3. 30 不同 flow rate 的電壓與電流比較圖, Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), Frequency 60 (kHz).

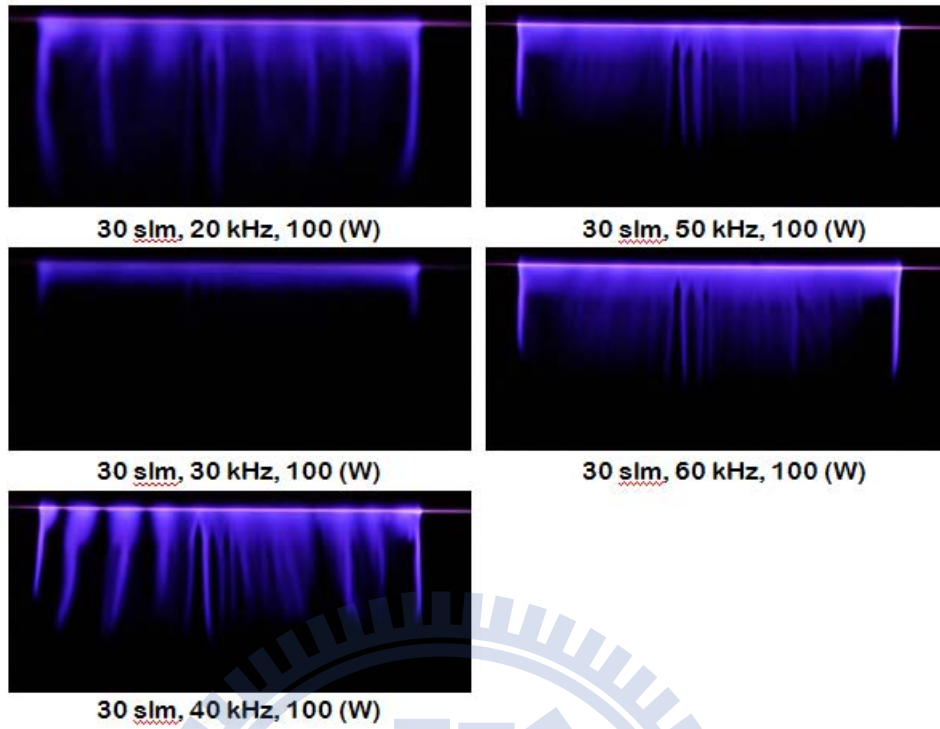


圖 3.31 不同 Frequency, 固定 Dielectric distance 0.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 30 (slm), 100 (W).

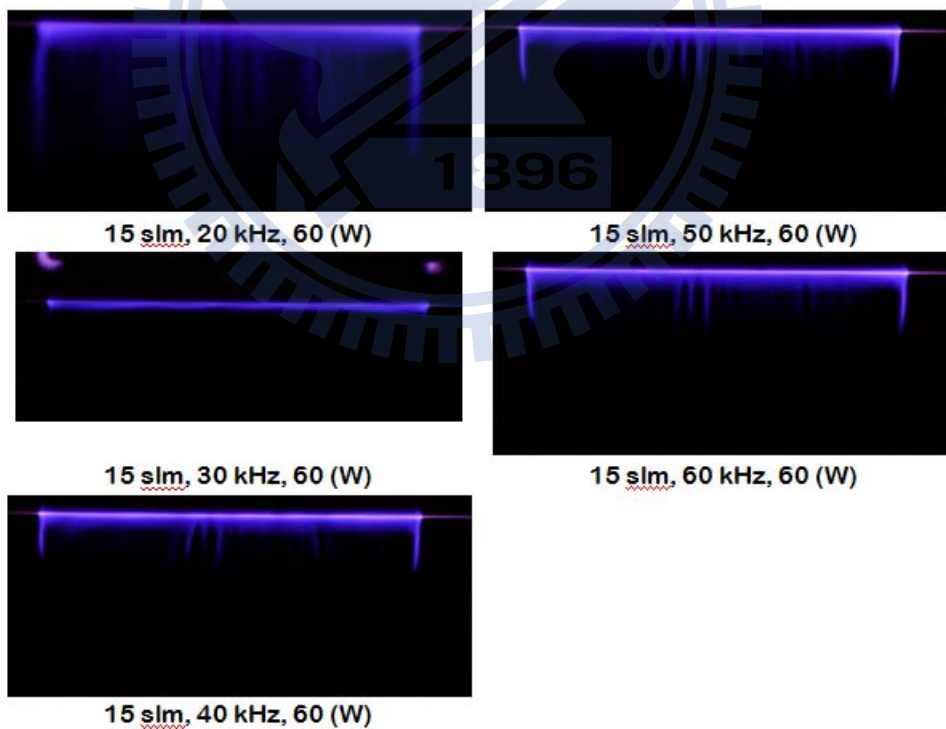


圖 3.32 不同 Frequency, 固定 Dielectric distance 0.5 (mm), Pure He discharge, Quartz 1 (mm), 15 (slm), 60 (W).

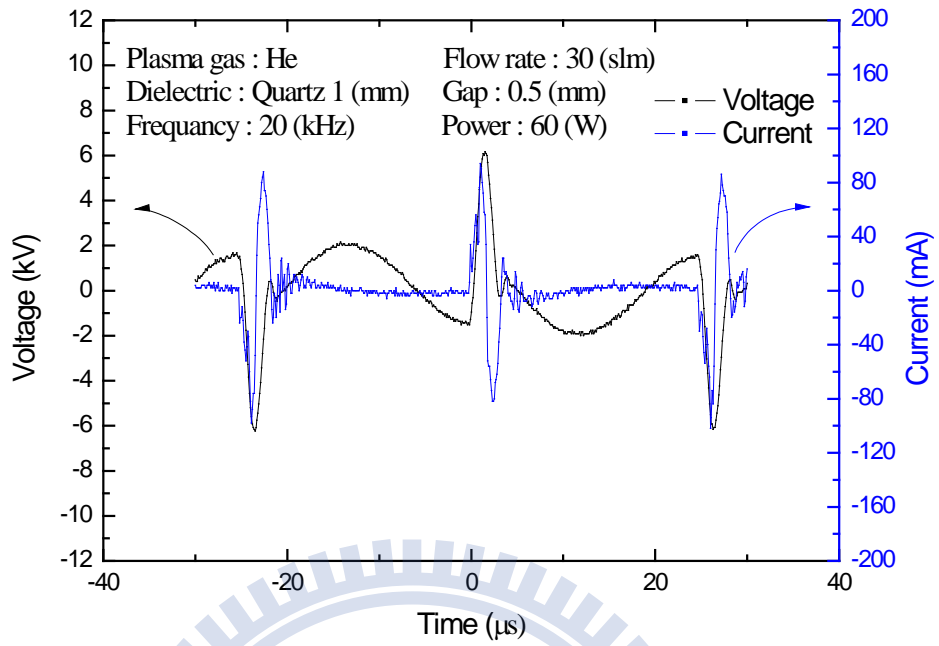


圖 3.33 20 kHz 氦氣電漿 I-V 電性圖

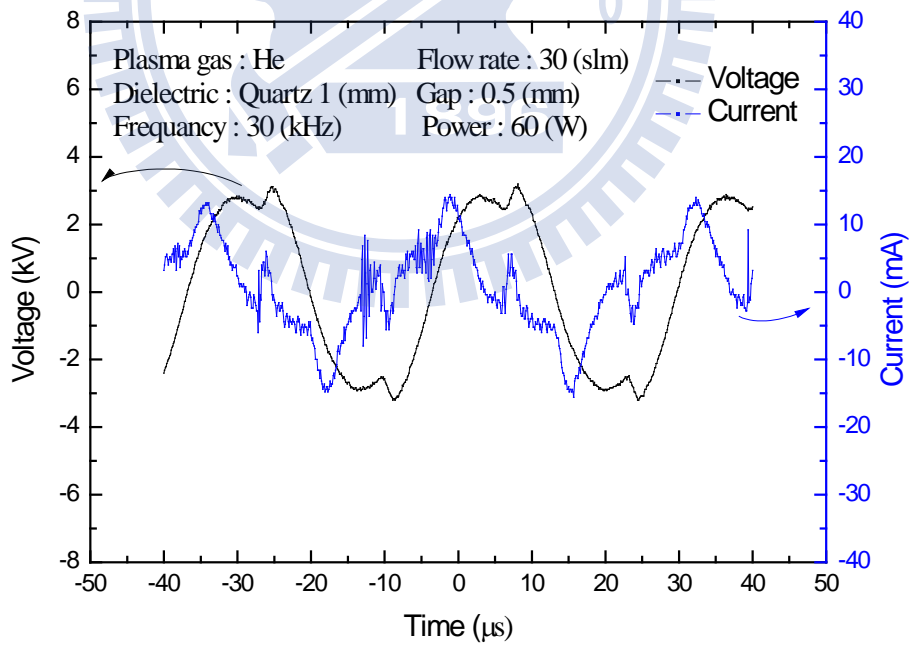


圖 3.34 30 kHz 氦氣電漿 I-V 電性圖

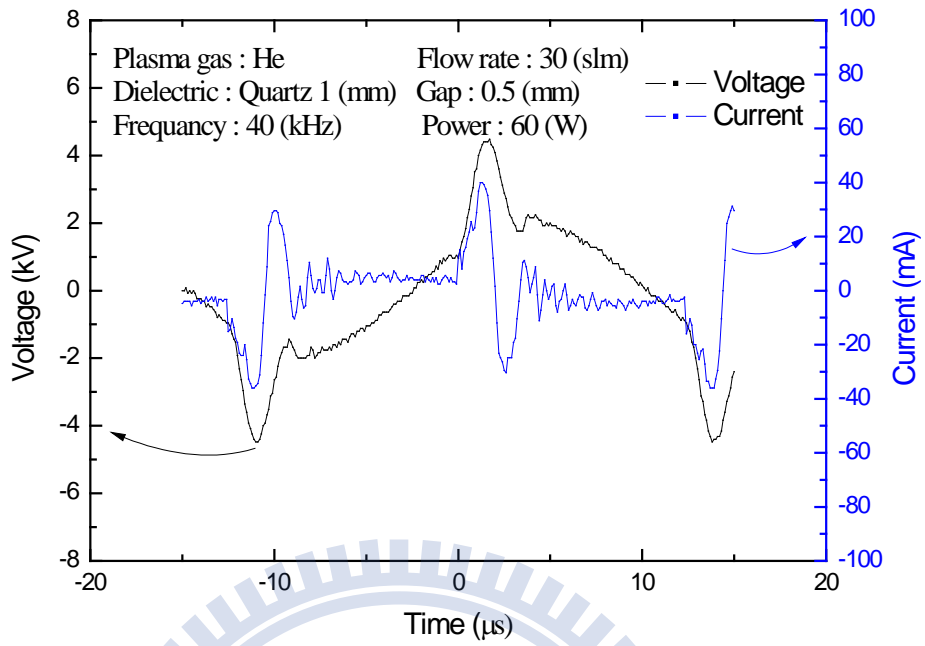


圖 3. 35 40 kHz 氦氣電漿 I-V 電性圖

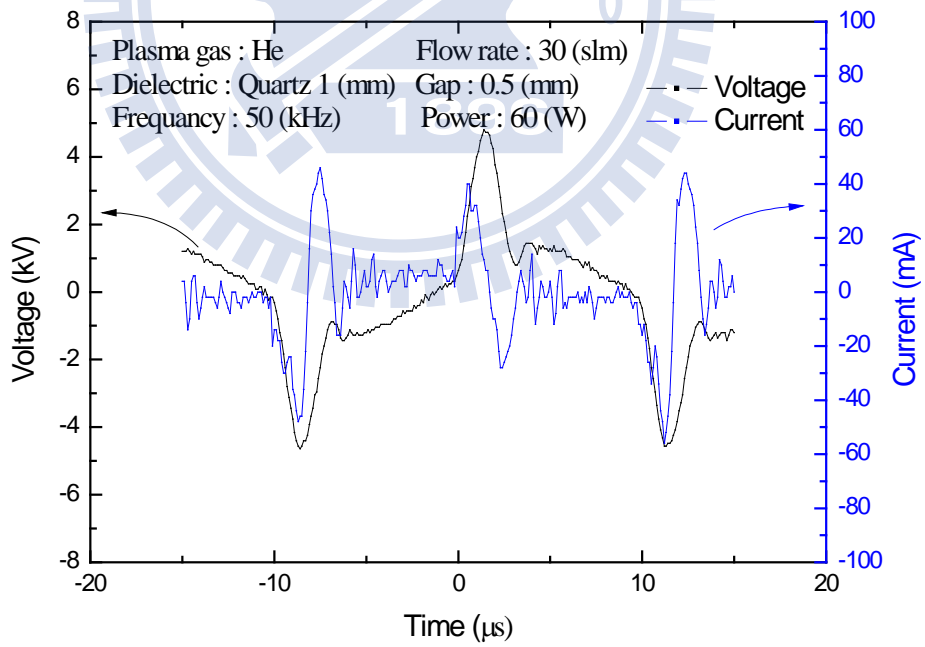


圖 3. 36 50 kHz 氦氣電漿 I-V 電性圖

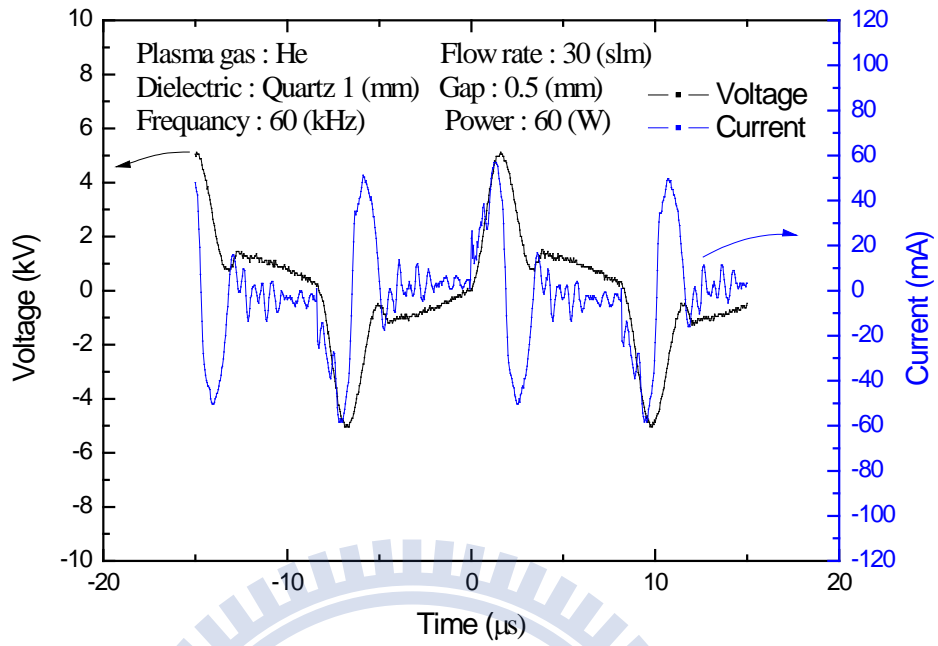


圖 3.37 60 kHz 氦氣電漿 I-V 電性圖

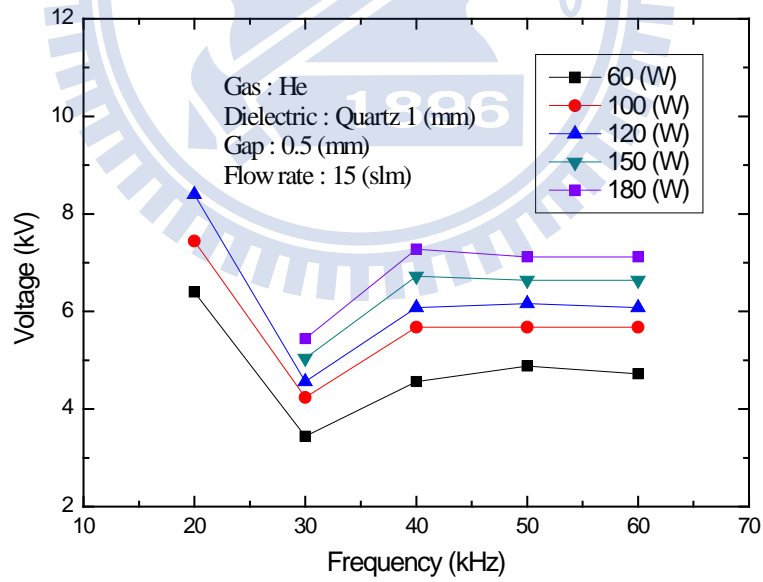


圖 3.38 不同頻率與功率的電壓比較圖，Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm)與 15 (slm).

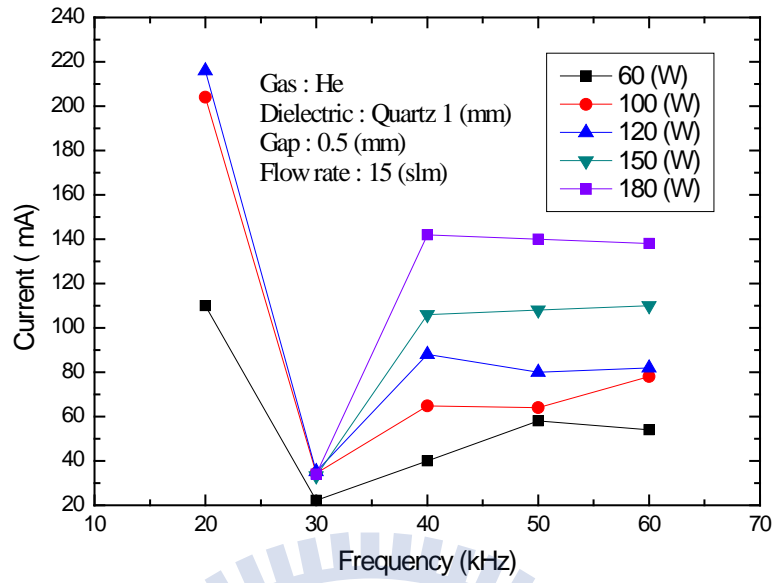


圖 3.39 不同頻率與功率的電流比較圖，Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm)與 15 (slm).

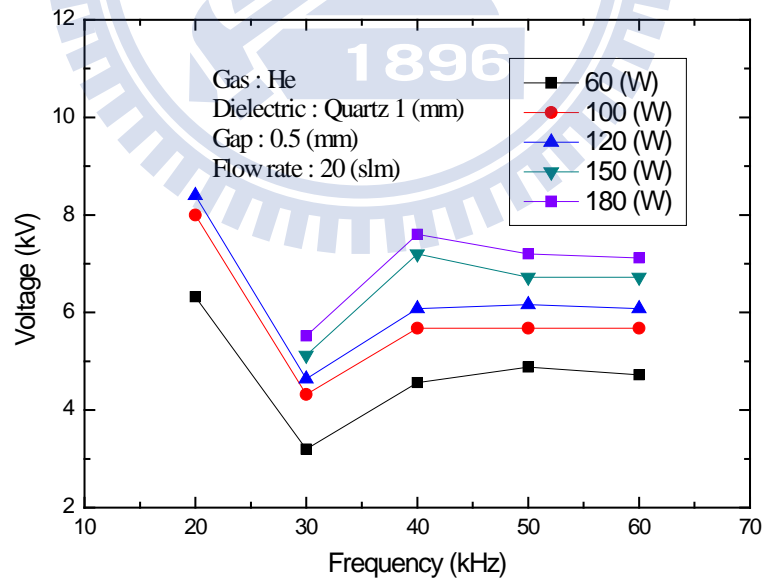


圖 3.40 不同頻率與功率的電壓比較圖，Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm)與 20 (slm).

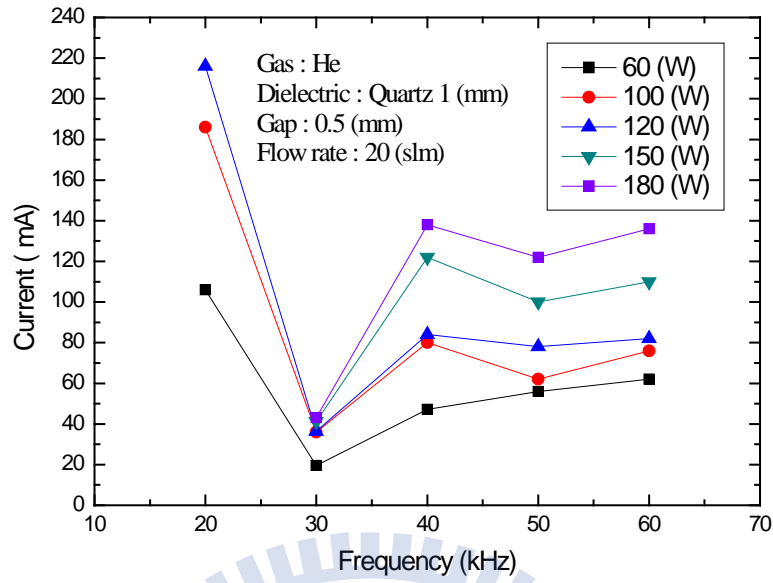


圖 3.41 不同頻率與功率的電流比較圖，Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm)與 20 (slm).

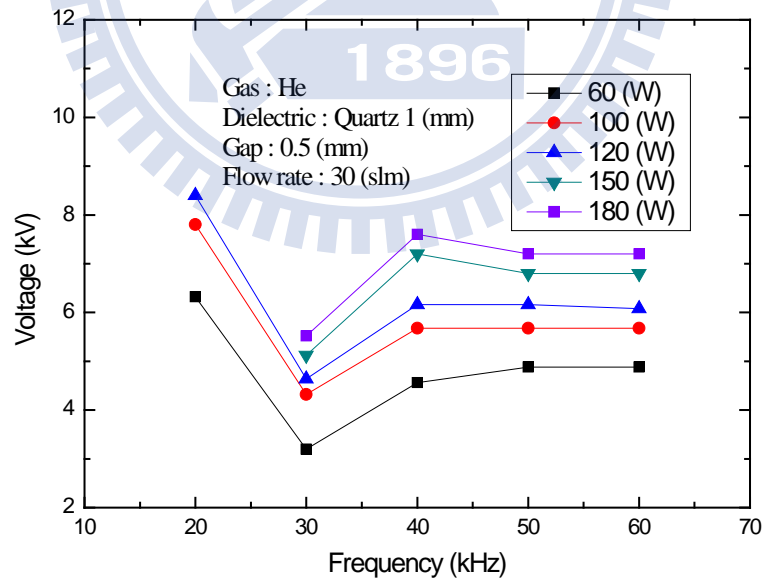


圖 3.42 不同頻率與功率的電壓比較圖，Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm)與 30 (slm).

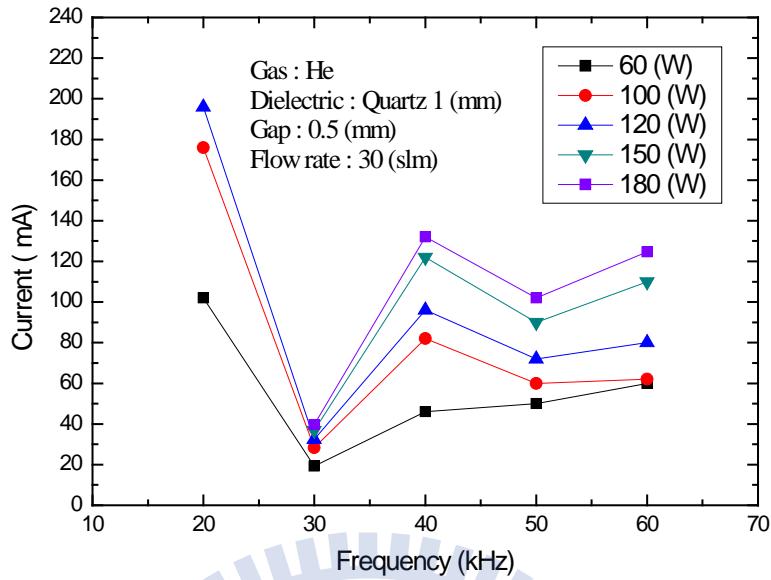


圖 3.43 不同頻率與功率的電流比較圖，Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm)與 30 (slm).

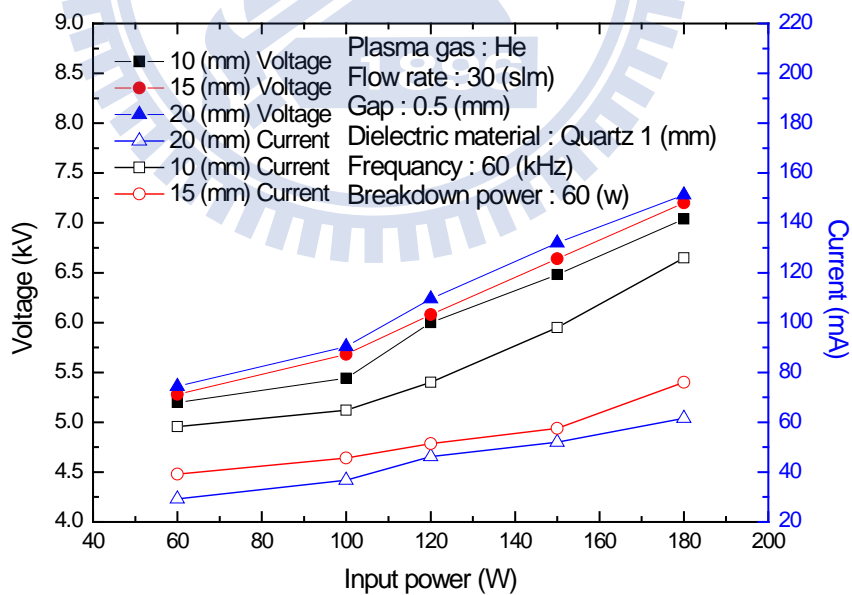


圖 3.44 不同 Power 電極與 Ground 電極距離的比較圖，Pure He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz)與 30 (slm).

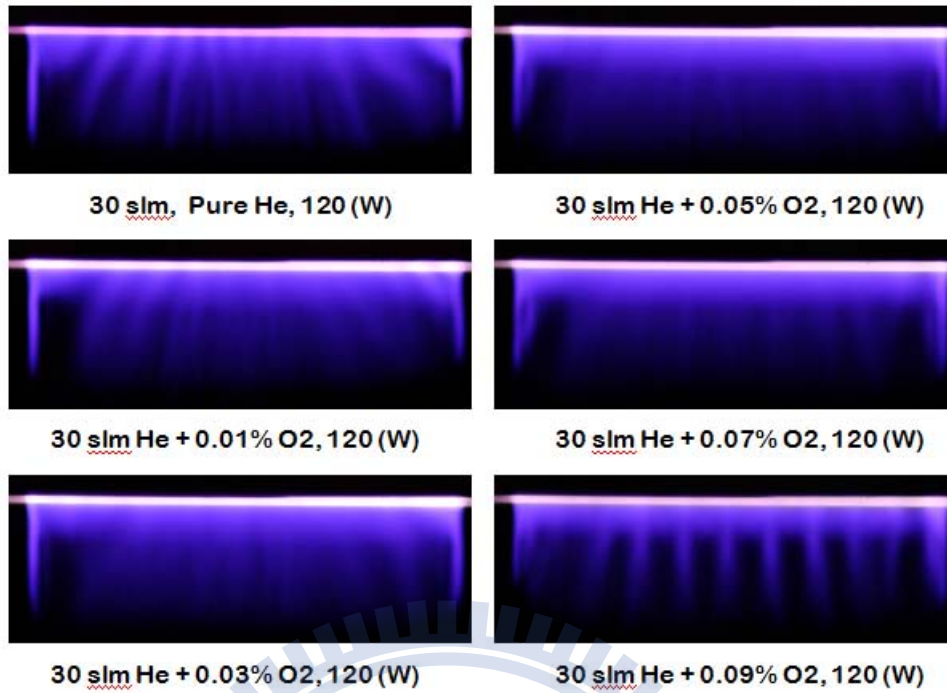


圖 3.45 不同氧氣比例比較圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

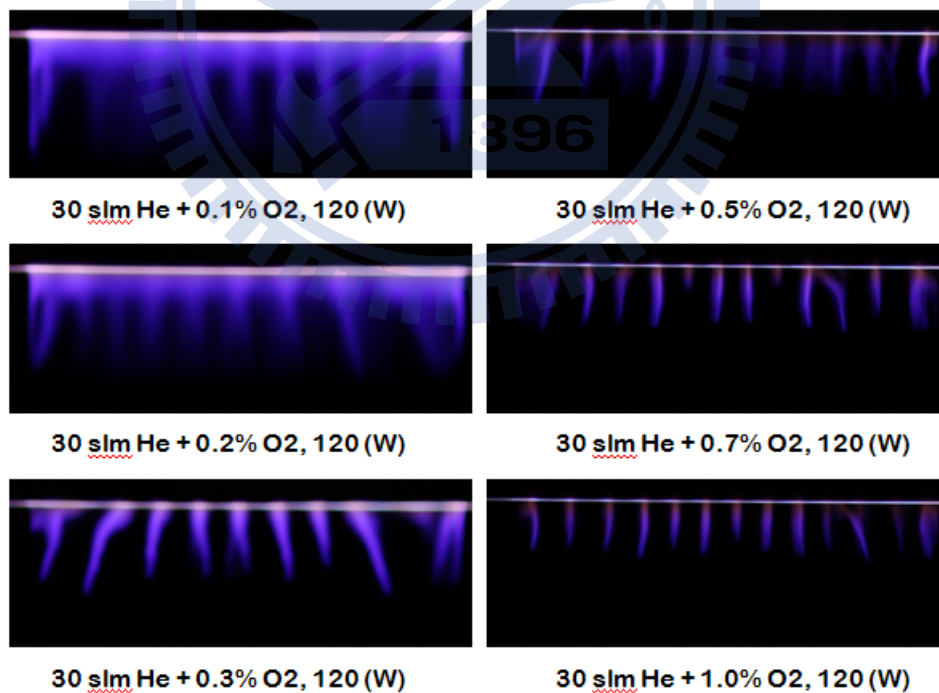


圖 3.46 不同氧氣比例比較圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

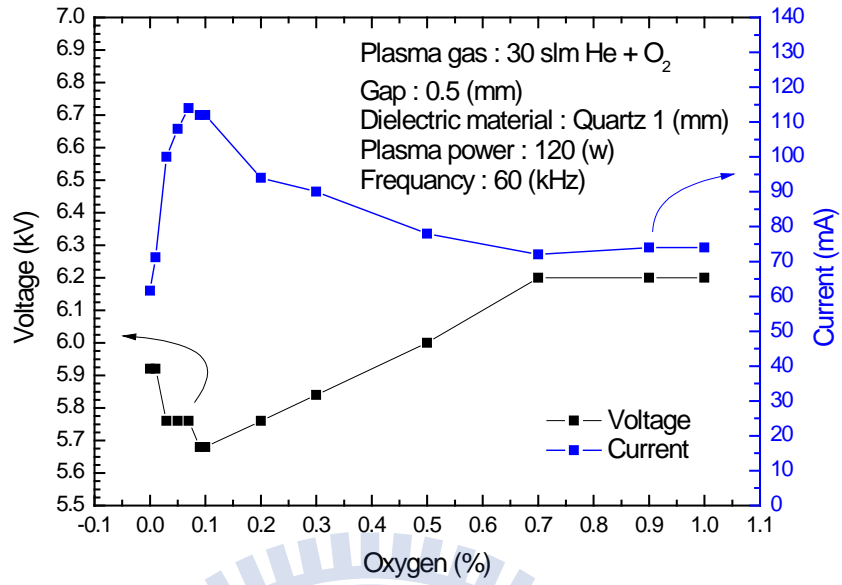


圖 3.47 不同氧氣比例電性圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

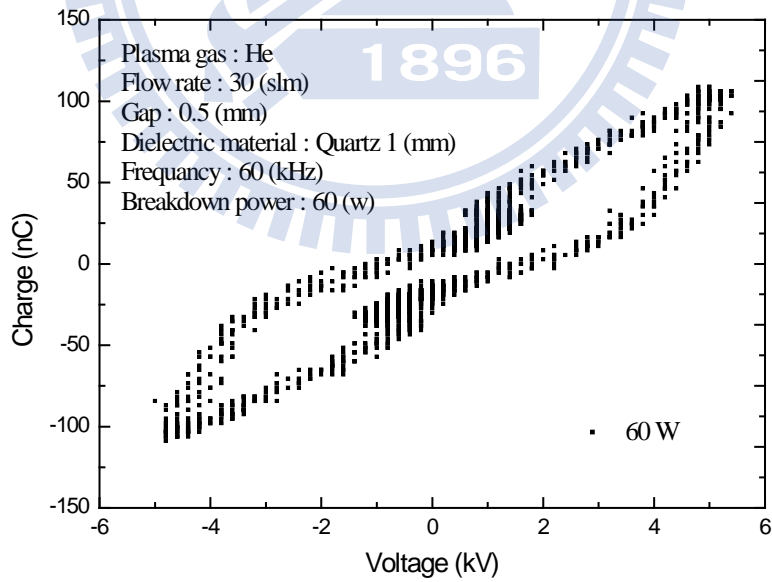


圖 3.48 Lissajous Figure， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 60 (W)與 30 (slm).

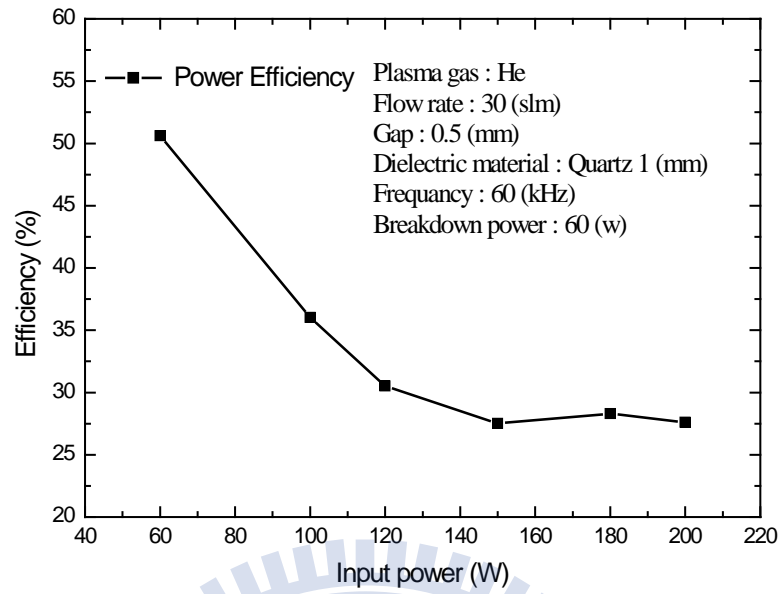


圖 3.49 不同功率電漿吸收效率比較圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 60 (W)與 30 (slm).

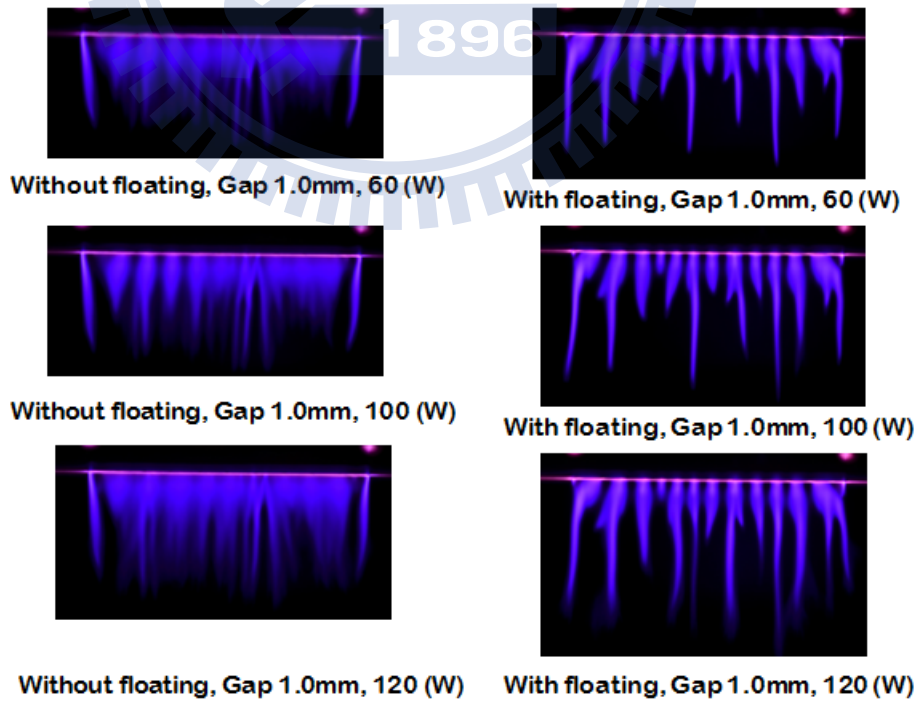


圖 3.50 比較有 Floating 電極 60–120 W 電漿比較圖, 30 slm Pure He discharge.

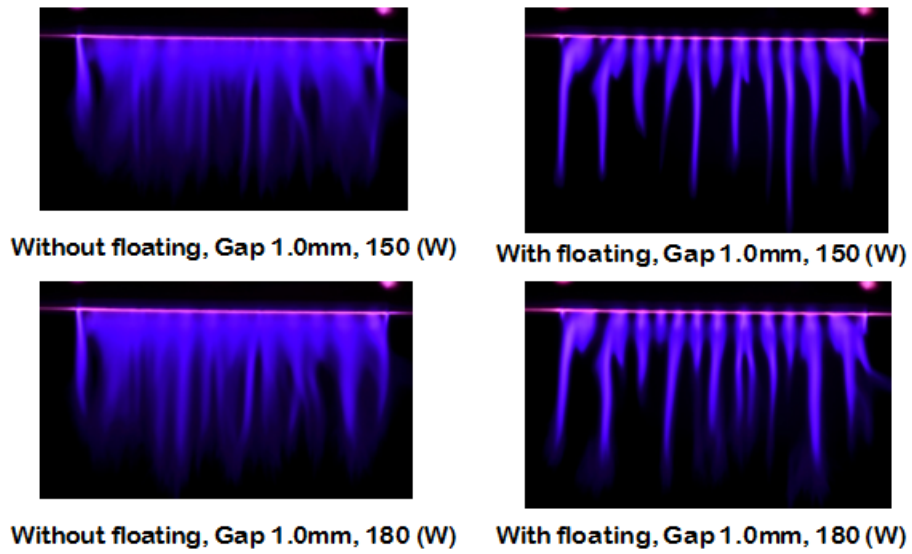


圖 3. 51 比較 Floating 電極 150–180 W 電漿比較圖, 30 slm Pure He discharge.

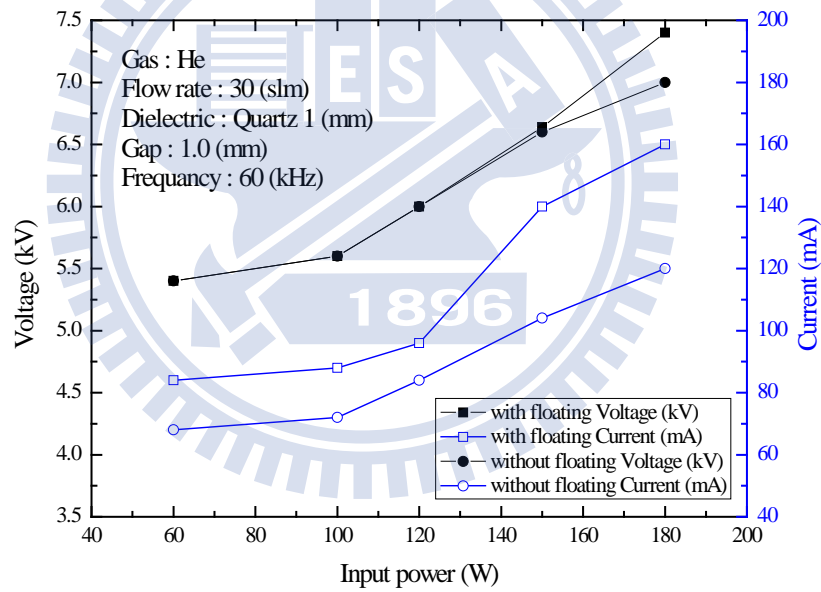


圖 3. 52 比較 Floating 電極 150–180 W 電漿比較圖, 30 slm Pure He discharge.

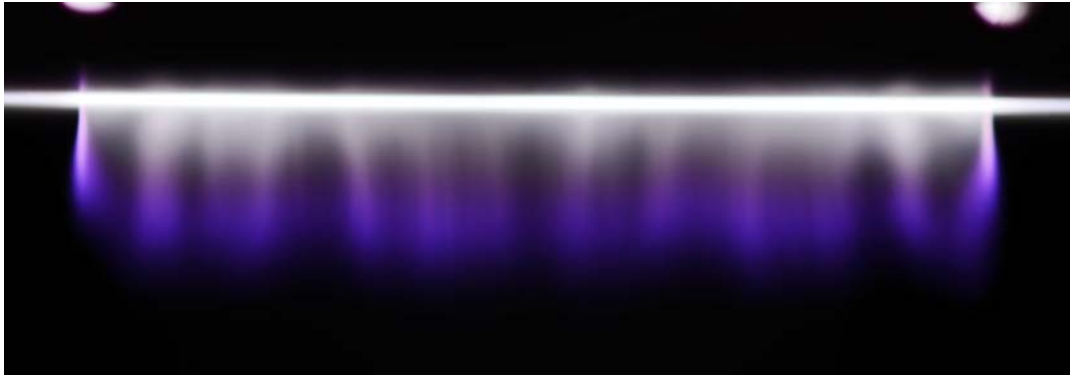


圖 3. 53 Floating 電極 60 W 電漿圖, 30 slm Pure Ar discharge 與 60 kHz.

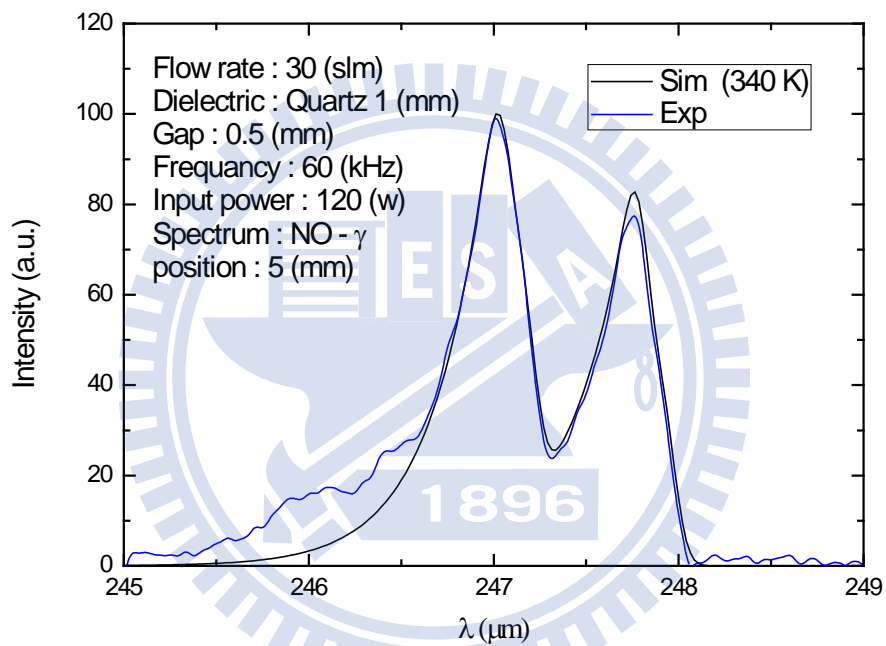


圖 3. 54 量測 OES, NO - γ 計算其 Rotational Temperature 為 340 K(67°C), $\Delta\lambda=0.005$ nm, Integration time = 200 nm.

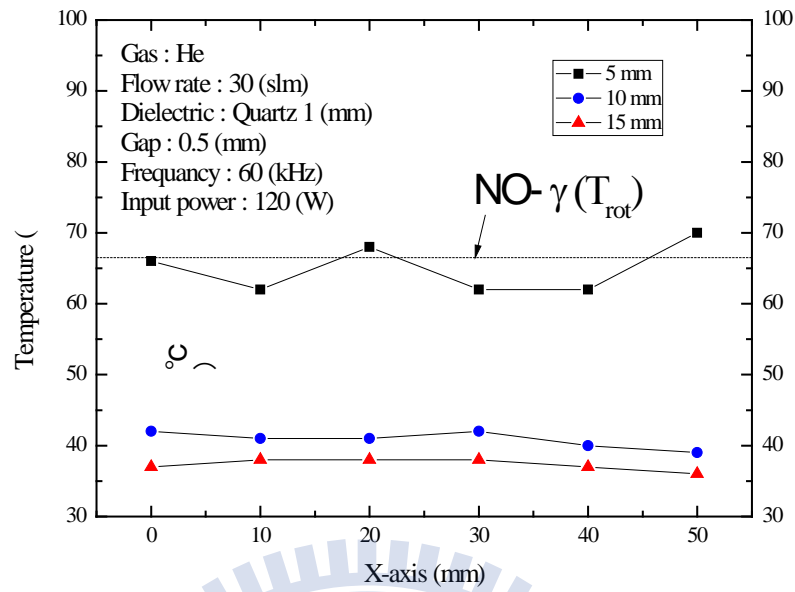


圖 3.55 不同位置電漿溫度分布圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

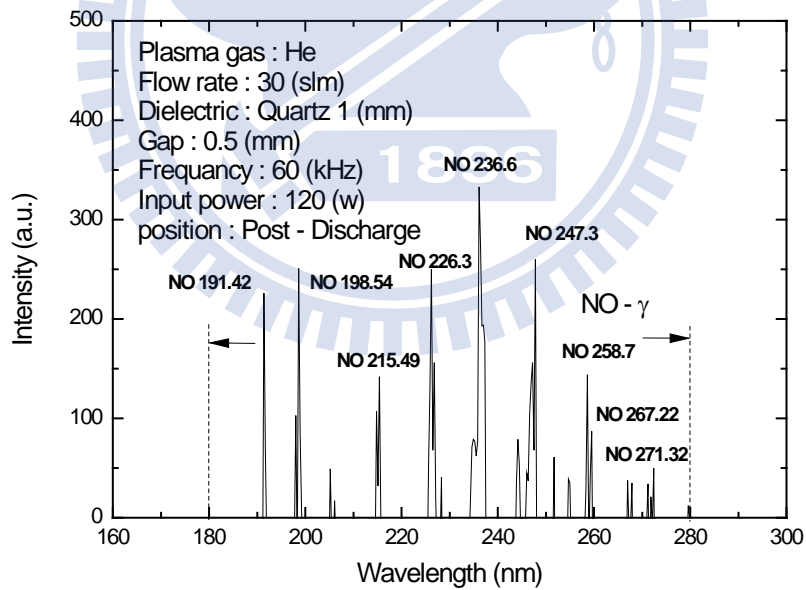


圖 3.56 Post – discharge 180-280 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

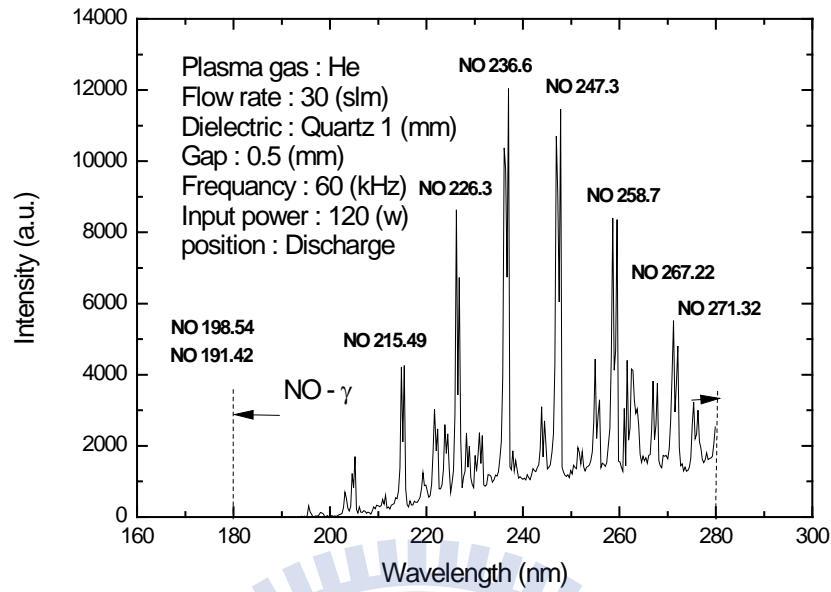


圖 3. 57 Discharge 180-280 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

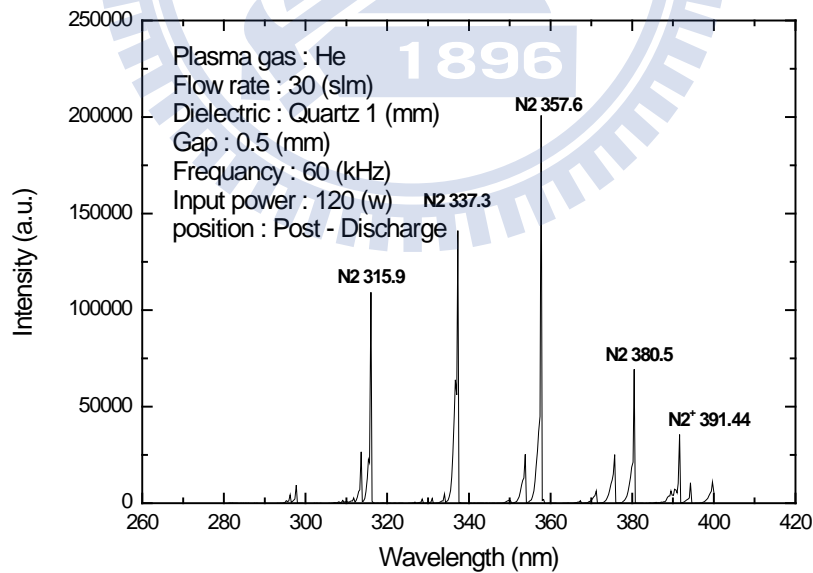


圖 3. 58 Post - discharge 280-400 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

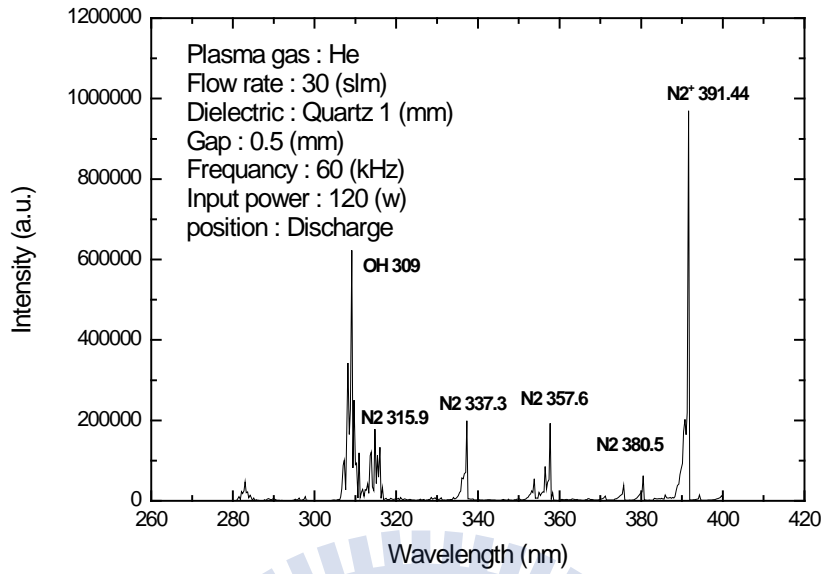


圖 3. 59 Discharge 280-400 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

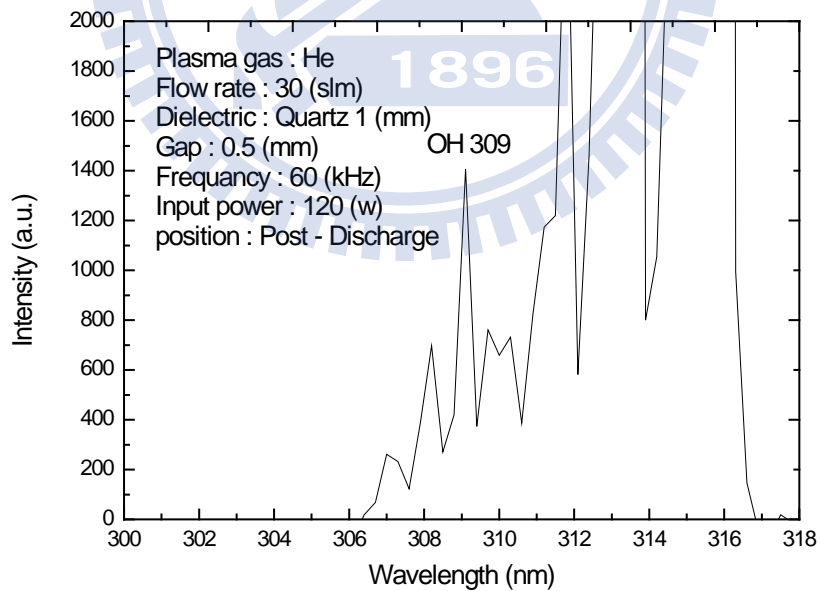


圖 3. 60 Discharge OH 309 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

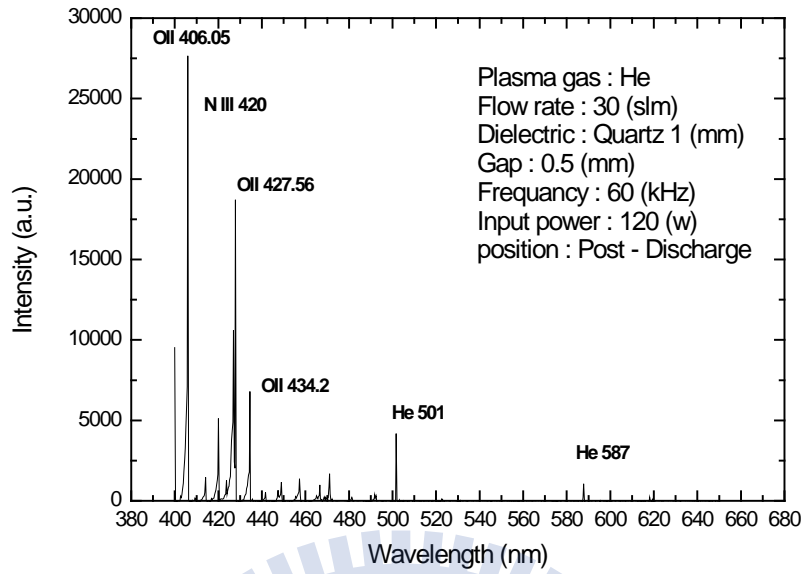


圖 3. 61 Post - discharge 400-650 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

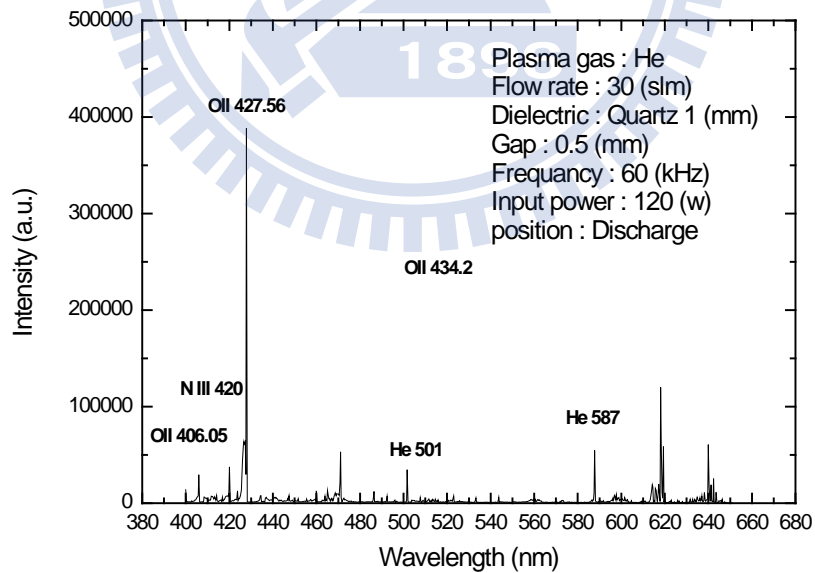


圖 3. 62 Discharge 400-650 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

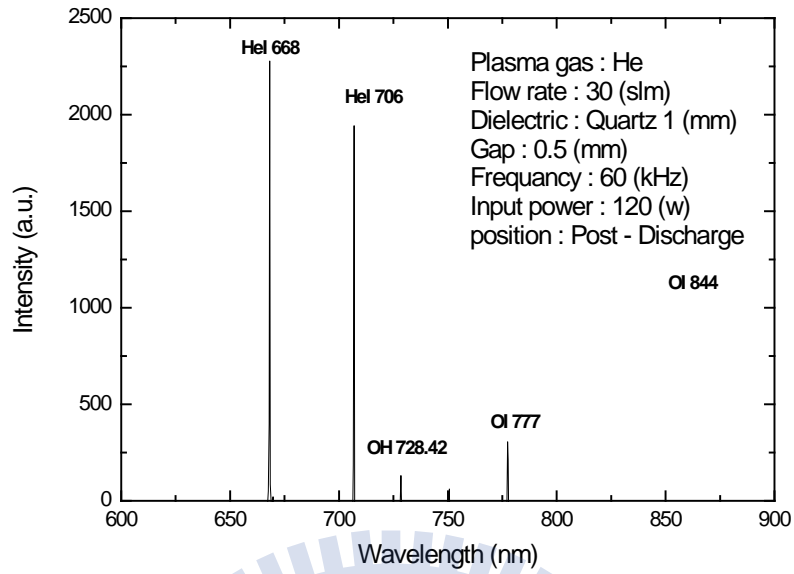


圖 3. 63 Post - Discharge 650-900 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

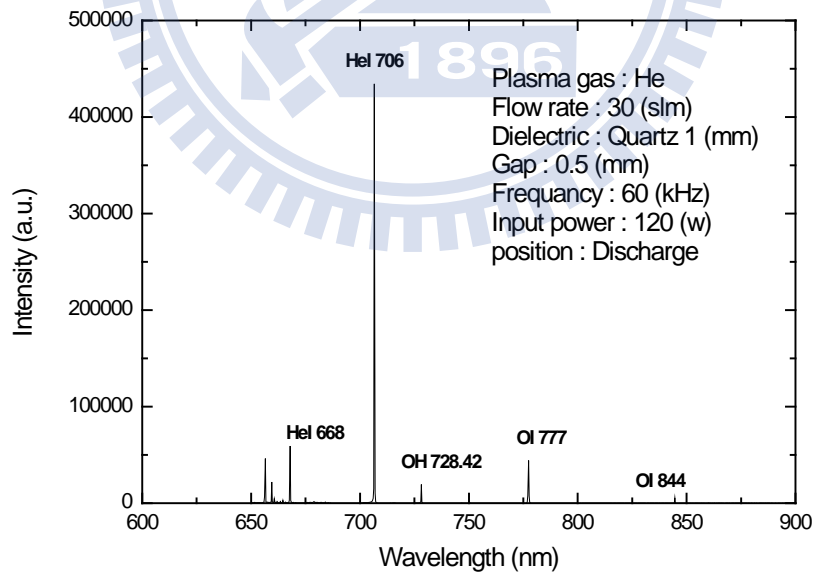


圖 3. 64 Discharge 650-900 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

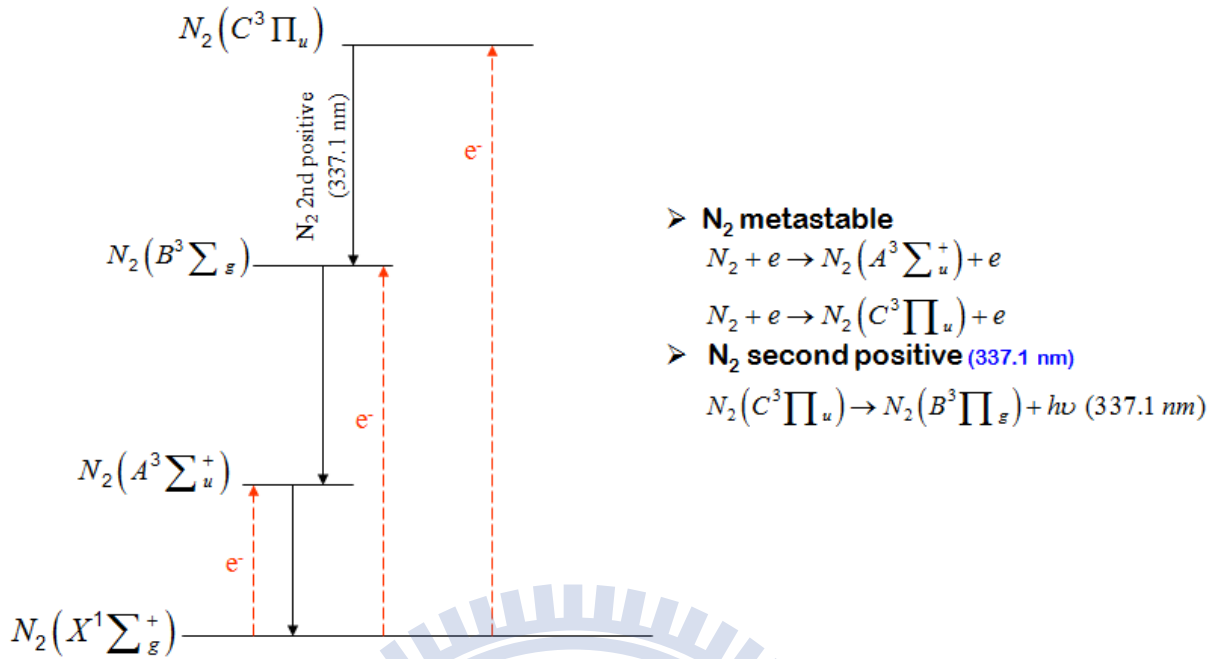


圖 3.65 N₂ 於電漿中受到電子的撞擊，產生激發態與放光反應能階表。

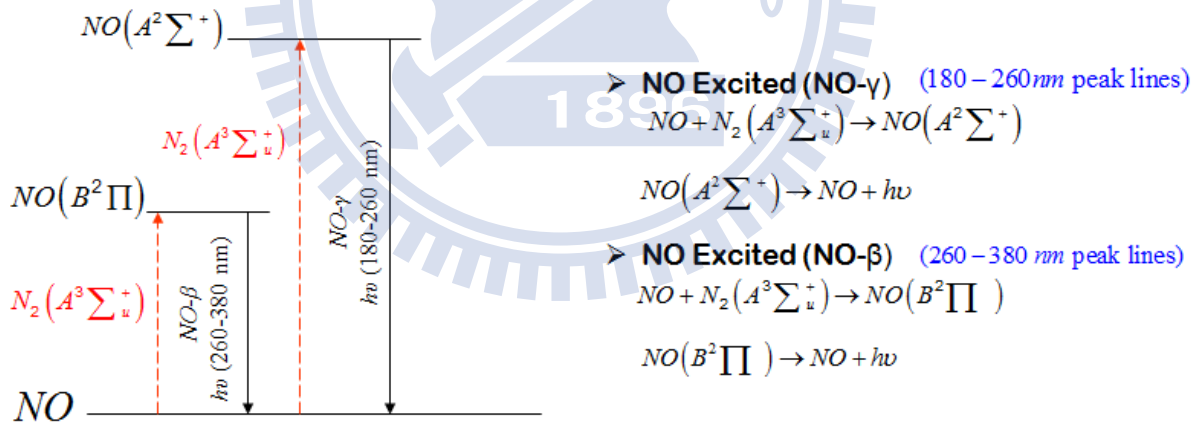


圖 3.66 NO 於電漿中受到 N₂ 激發態的撞擊，產生激發態與放光反應能階表。

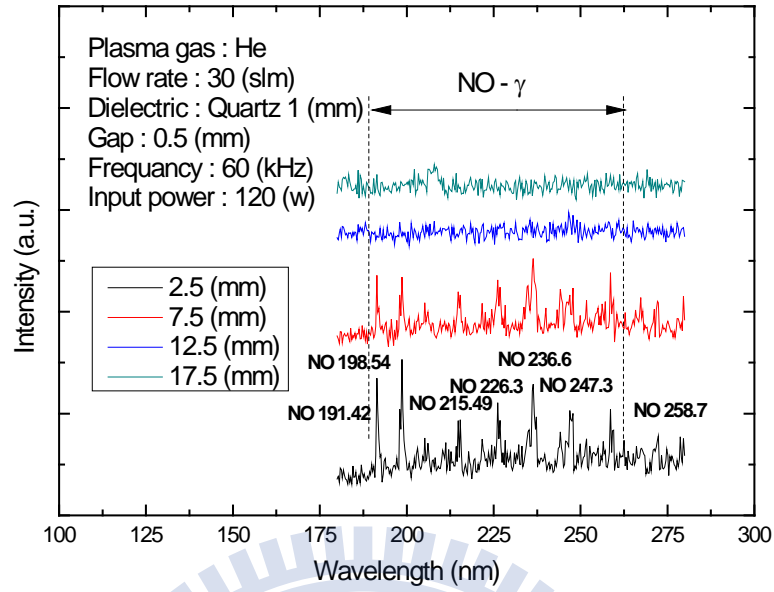


圖 3.67 不同 Z 軸距離 Post - Discharge 180 - 280 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

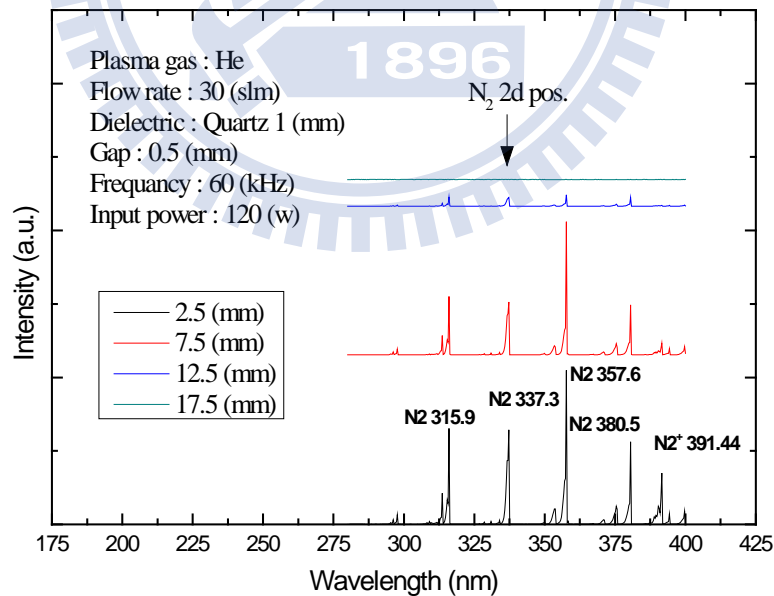


圖 3.68 不同 Z 軸距離 Post - Discharge 280 - 400 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

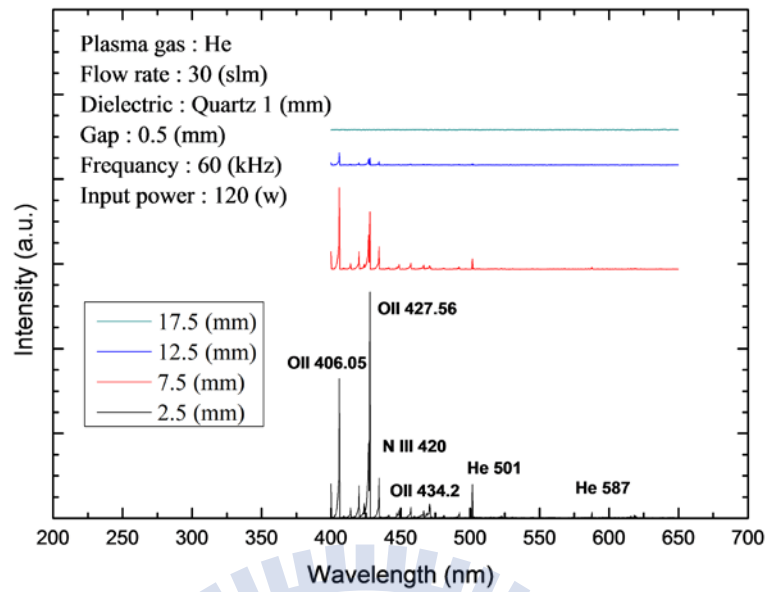


圖 3.69 不同 Z 軸距離 Post - Discharge 400 - 650 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

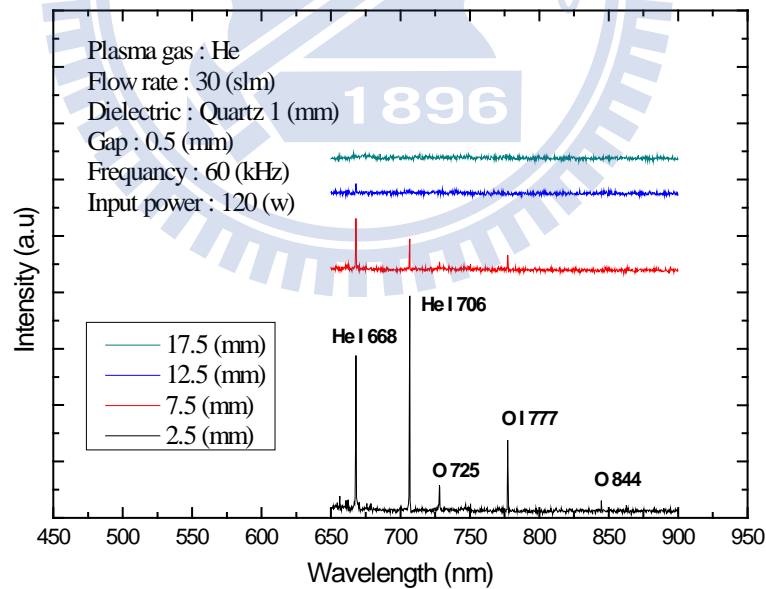


圖 3.70 不同 Z 軸距離 Post - Discharge 650 - 900 nm 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

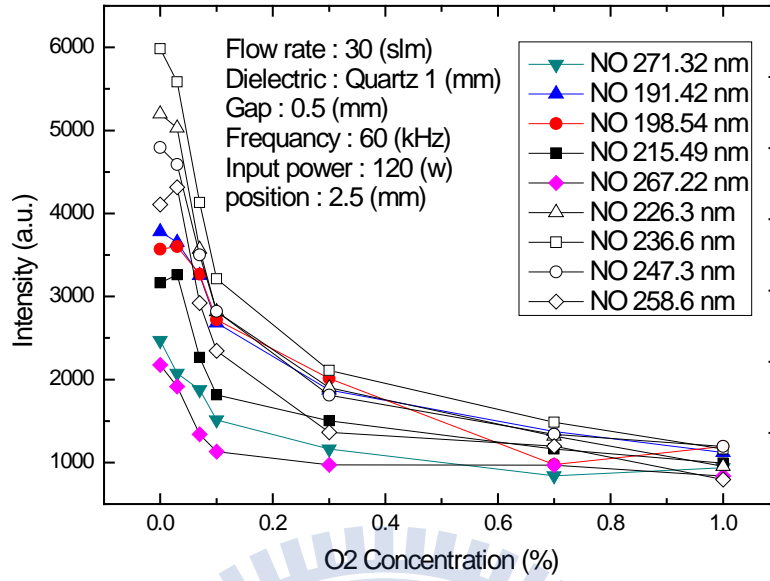


圖 3.71 不同氧氣比例 NO 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

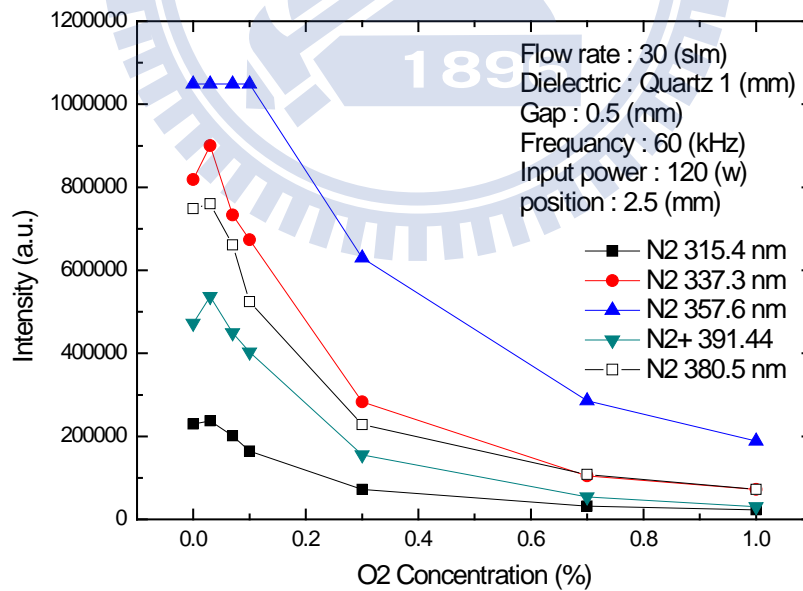


圖 3.72 不同氧氣比例 N2 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

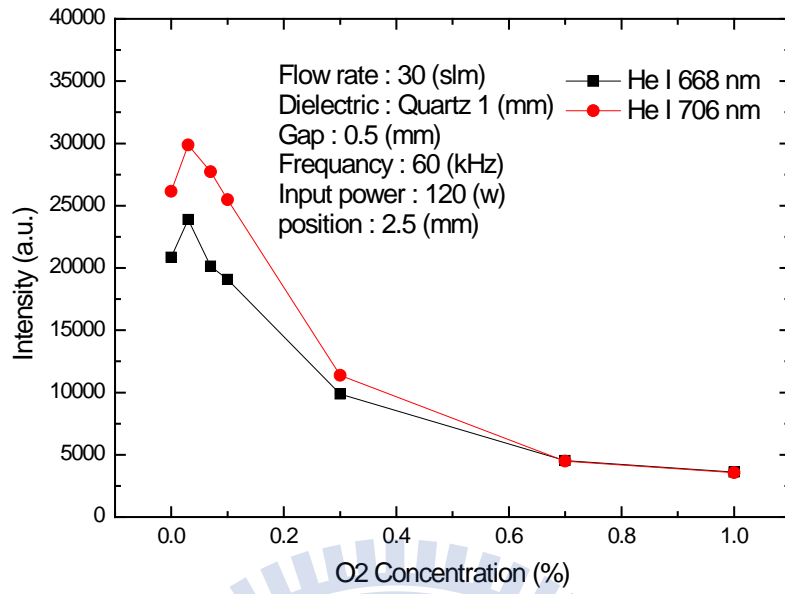


圖 3.73 不同氧氣比例 He 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).

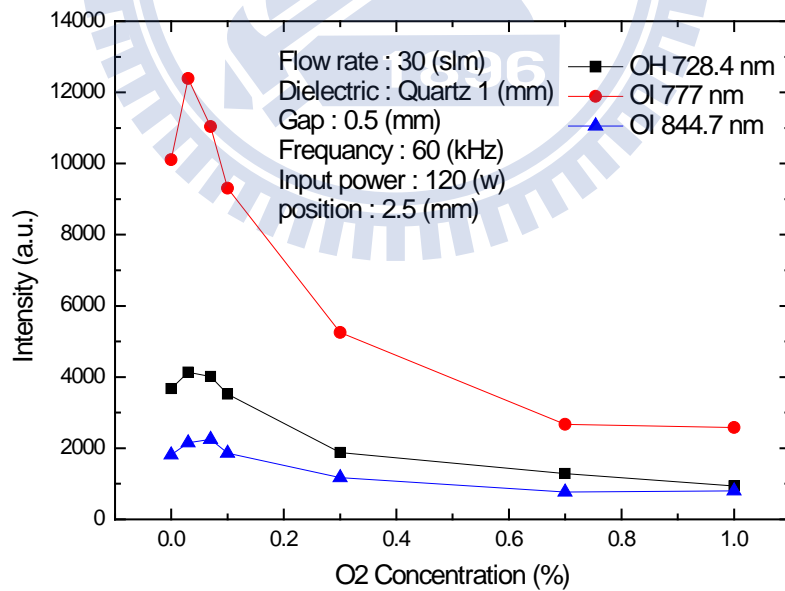


圖 3.74 不同氧氣比例 O atom 光譜圖， He discharge, Quartz 1 (mm), Dielectric distance 0.5 (mm), frequency 60(kHz), 120 (W)與 30 (slm).