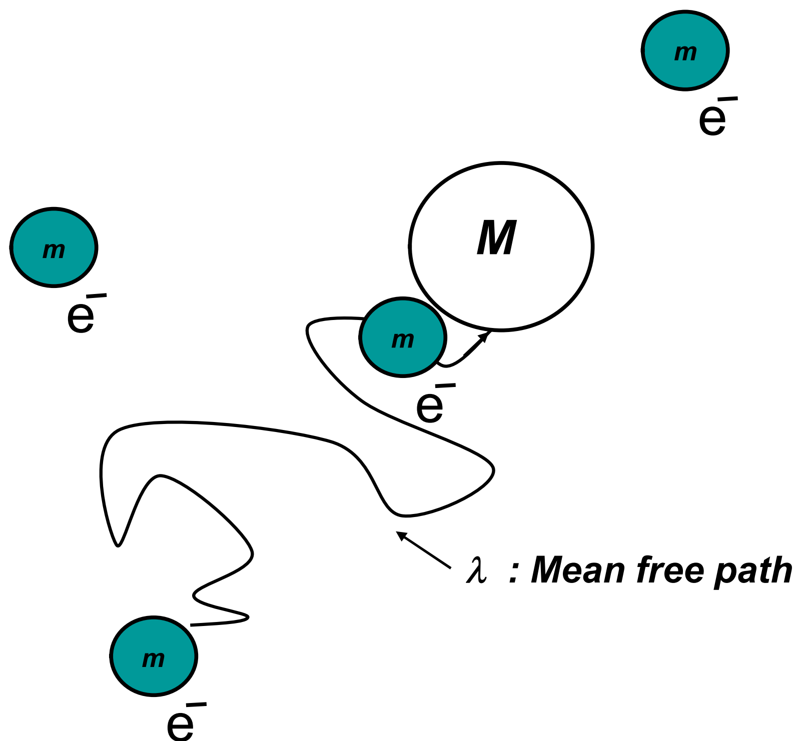
Plasma 原理介紹

氣體碰撞原理



$$E_e = \frac{1}{2} mv^2$$

$$E_{transfer} = \frac{4Mm}{(m+M)^2} E_e$$

$$\lambda = \frac{KT}{P\sigma}$$

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

K：波茲曼常數
σ：碰撞截面積
f ：碰撞頻率

什麼是 *plasma*？

- Contents
  - 帶電荷電子、離子、不帶電分子及原子團
- Character
  - Glow discharge
- Application
  - Dry Etching, Sputtering, PECVD, Implant (Ion Source)

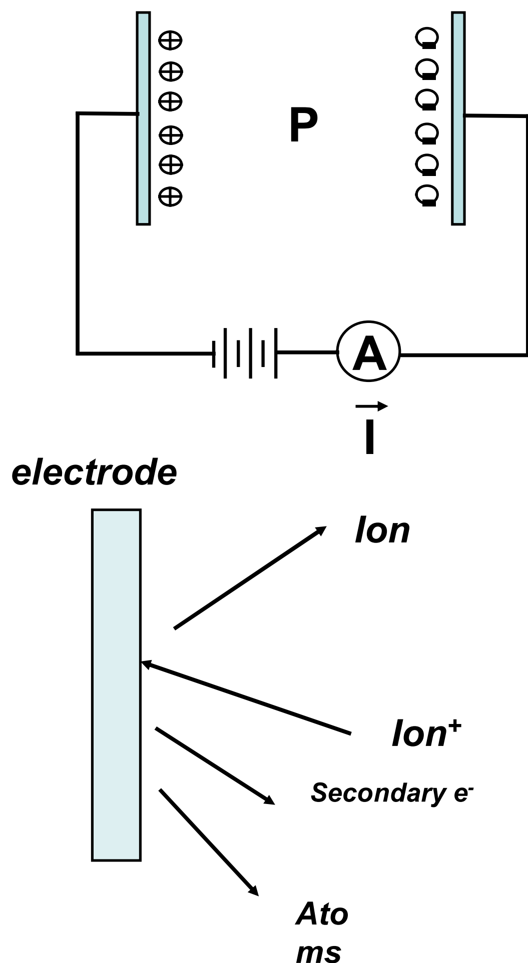
真空腔體內部電漿產生寫真

電漿的特性

- 產生穩定電漿的最低壓力範圍在35-50 mtorr
- 最佳工作範圍是在100 mtorr - 4 torr間
- 能產生的電漿密度為10^9 ion/cm^3之數量級
- 工作壓力過高→粒子間碰撞機率大

  →電漿密度不夠高

  → 縱向蝕刻之速率及深度與橫向之比率相當低



When P = ATM

$Q = Q^{+} + Q^{-}$

$I = 0$ *Amp.*

When 10mT < P < 100T

$I \neq 0$

I – V Curve

P = 1Torr (Ne)

V

V_B

湯森放電區

非正常放電區

正常放電區

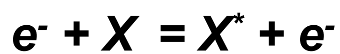
弧光區

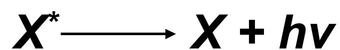
V (VOLT)

1000
800
600
400
200

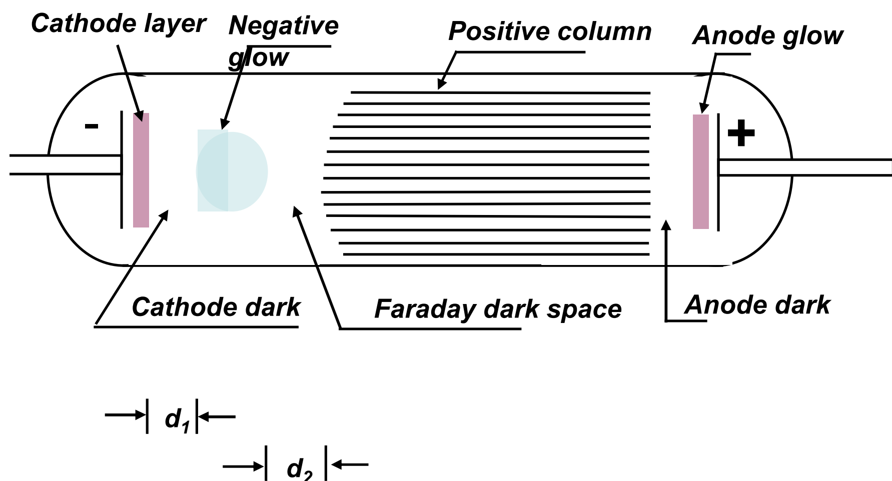
10^{-22} 10^{-20} 10^{-18} 10^{-16} 10^{-14} 10^{-12} 10^{-10} 10^{-8} 10^{-6} 10^{-4} 10^{-2} 1

電流密度 (A/cm^2)





正常放電區



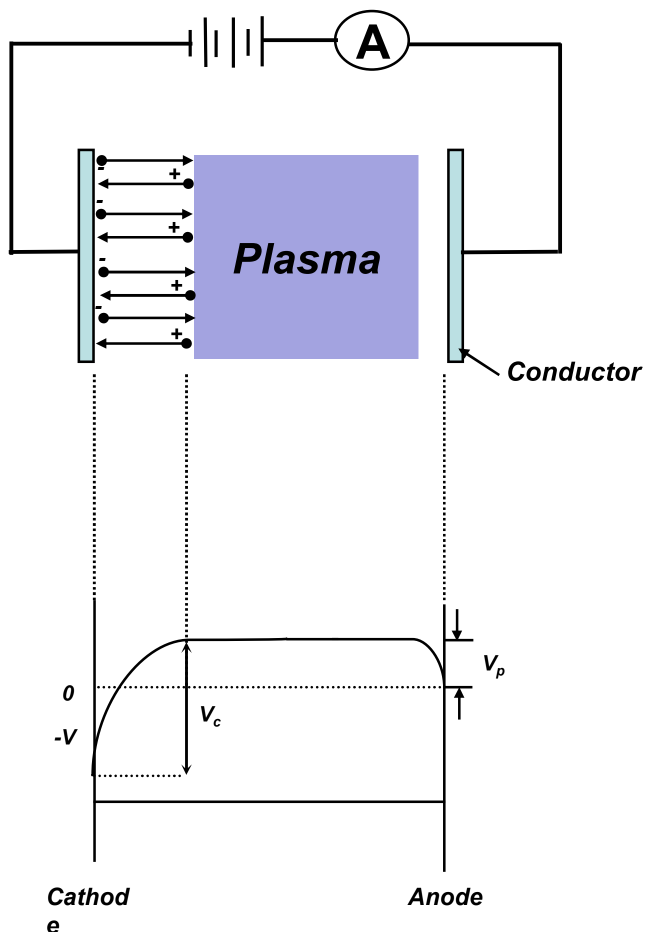
- $\lambda_e > d_1$
- $\lambda_x > d_2$
- $\Delta V_{Positive\ column} = 0$

  $Flux_{Ion} = Flux_e$

絕緣陶瓷部品

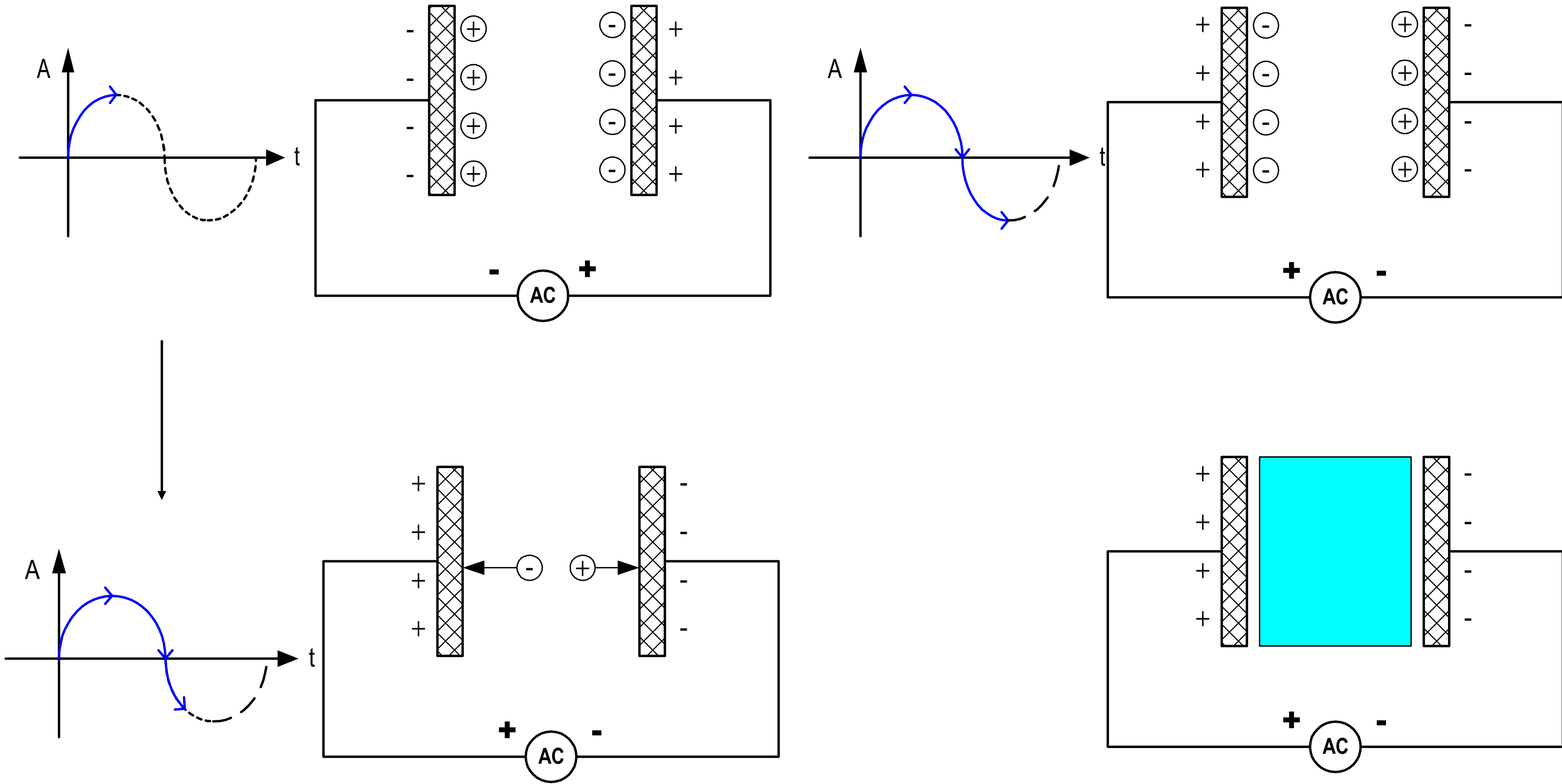
真空腔體放電產生器

電漿電位與異常放電



- $m_I \cong 1000\ m_e \Rightarrow v_e >> v_I$
- Within plasma
  - $D_{ion} > D_e \Rightarrow V_{plasma} > V_{Anode}$
  - $\Delta E = 0$
- Concern
  - Electrode materials should be conductor due to electron saturation issue.
- Application
  - Sputtering

AC Plasma 原理

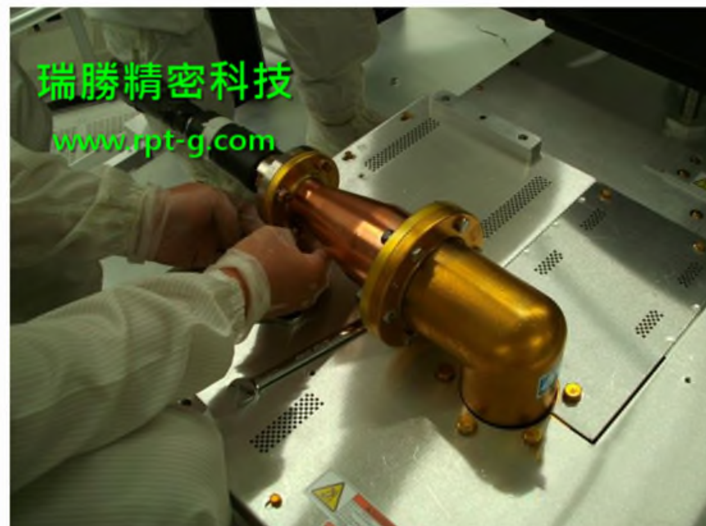


Plasma 如何產生

- Gas control system
- Power system
  - Source (frequency)
  - Matching network
- Pressure control system
  - Vacuum pump & sealed chamber
  - Valve
- Temperature control system
- Gap

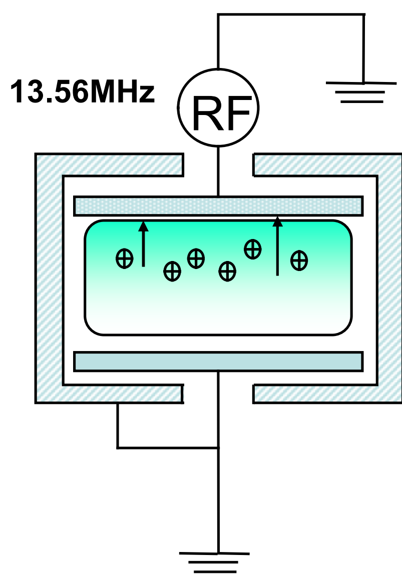
離子轟擊 (Ion Bombardment)

- Ion Density
  - 離子在電漿中密度
  - Power frequency
- Ion Energy
  - 電漿中離子能量
  - λ

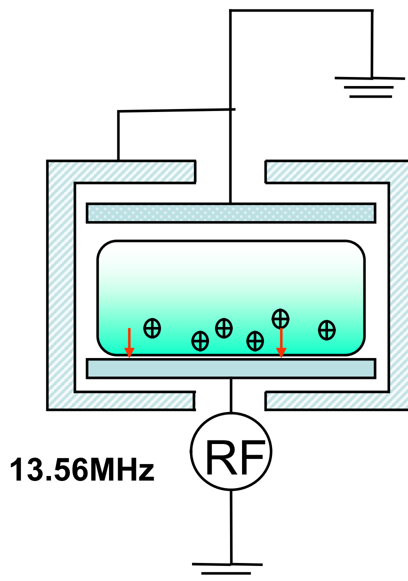


可產生離子轟擊的發射器

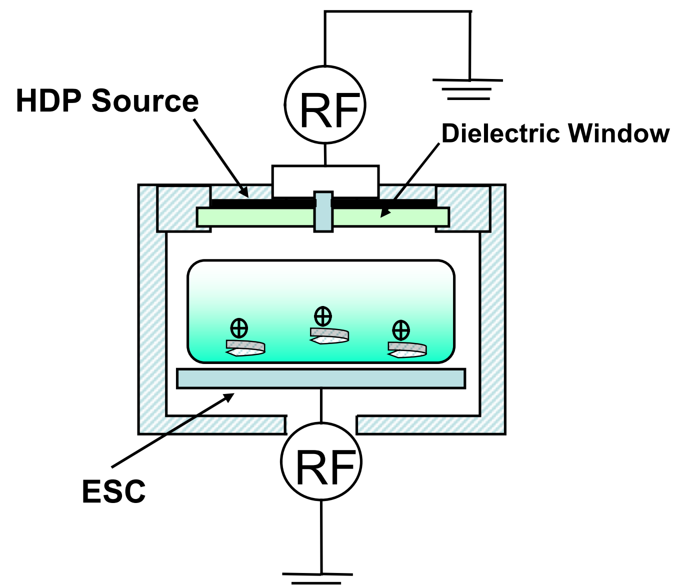
Plasma Source for LCD Etcher



PE



RIE

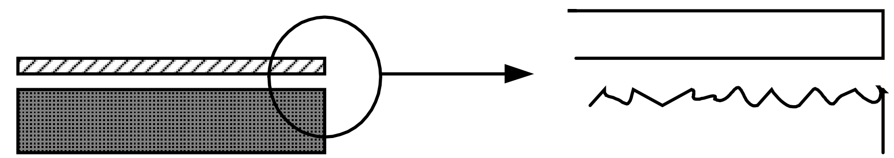


HDP

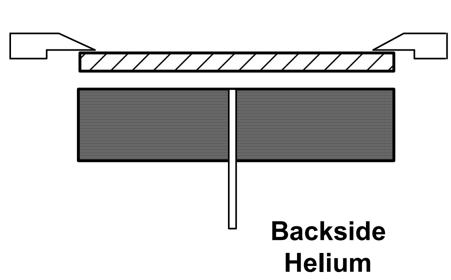
Comparison of Piasma Source

Plasma source	RF Power	Ion Enrage	Etch Mode	Taper Control	Plasma Damage
Plasma	Top	Small	Isotropic	Difficult	Small
RIE	Bottom	Large	anisotropic	Possible	Large
HDP	Top Bottom	Large	anisotropic	Possible	Small

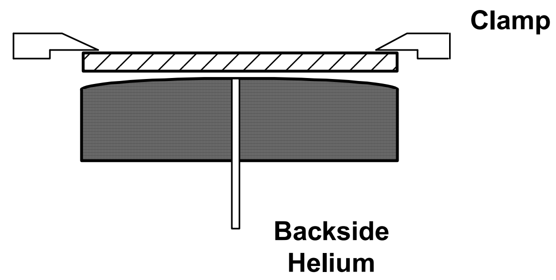
Helium Cooling

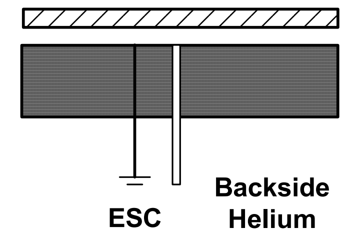


Clamp



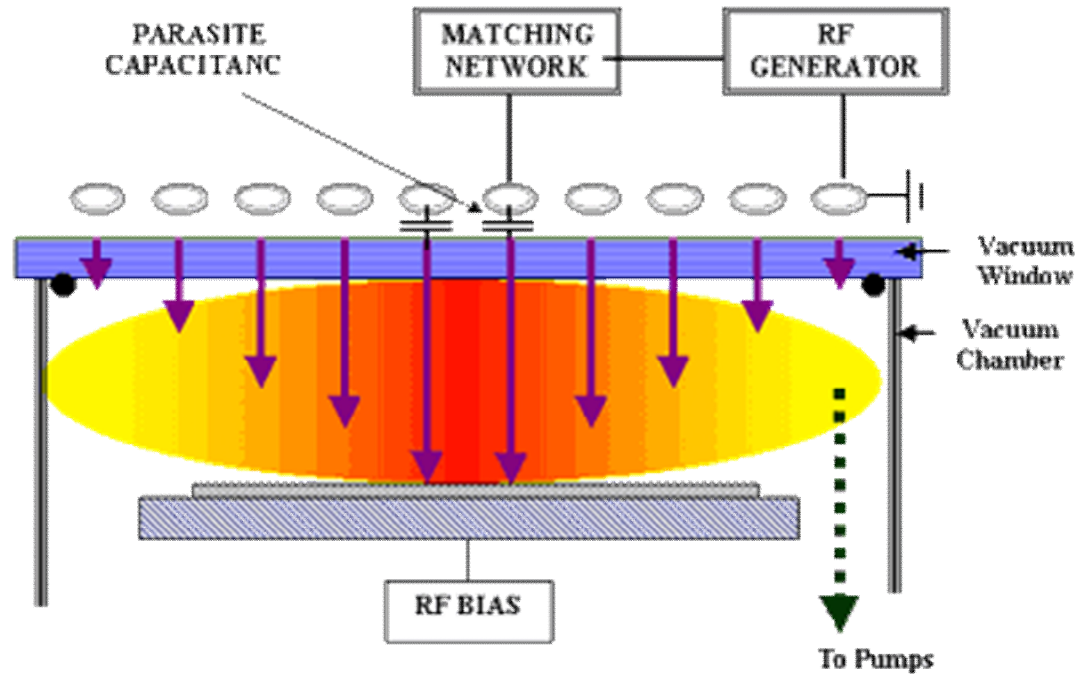
Clamp





電感偶合式電漿(ICP)之原理

- 電流流過線圈→ 線圈產生電感（Inductance） →感應出磁場→ 磁場透過介質（空氣，真空或鐵磁心）產生次極（secondary）感應電流→ 以電漿型式釋放出能量



ICP之特性

- 產生穩定電漿的壓力範圍在1 mtorr
- 能產生的電漿密度為10^{11} ion/cm^3之數量級

ICP 真空腔體圖

ICP之優點

輸入供率可達相當高的範圍

- ICP 以磁場產生偶合，由電磁理論知其電場(離子加速方向)是以環繞此一磁場且平行於晶片表面之切線方向。
- 輸入之功率（RF 頻率）↑ →磁場&電場↑ →電漿內之離子加速方向（∥晶片表面切線方向）因比較不易對晶片產生傷害
  → ICP 的輸入功率可以達到相當高的範圍。

可產生高密度電漿

- ICP 電漿密度可達 10^{11} ion/cm^3 數量級以上
- 離子加速路徑環繞著磁力線而行
  →離子循電場方向加速而撞擊反應器之內壁或晶片表面而造成的能量損失的機率非常低
  →離子可週而復始在 chamber 內進行向心加速作用而增加碰撞的機率
  →粒子之間碰撞機率↑，產生離子的效率↑

高品質電漿蝕刻之基本要求

- 離子密度要夠高

  離子密度∝蝕刻反應的化學濃度

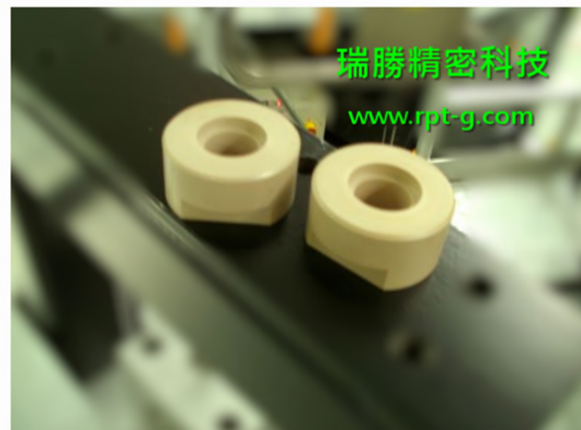
  →影響反應速率、蝕刻速率及產能

- 工作壓力要夠低

  系統壓力∝1/平均自由路徑

  →離子向晶片加速過程中碰撞機率較低

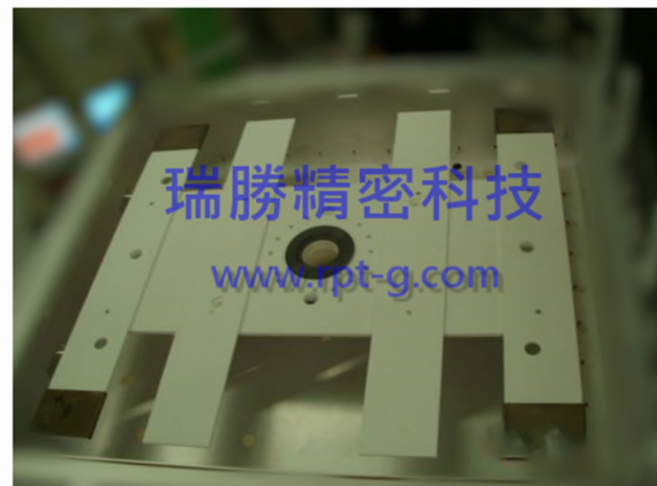
  → 蝕刻方向較垂直



耐高電壓之絕緣部品

IPC 系統的基本參數

- 所使用的頻率
- 線圈參數(形狀,長度)
- 耦合效率
- 磁力通量
- 磁場均勻性
- 操作頻率下之肌膚效應以及相關電阻值
- 電感電容阻抗以及震盪參數
- 寄生電容效應
- 匹配系統之動態調節範圍
- 性能指數 (Q-factor)
- 電漿之密度、均勻性及穩定性
- 變壓器參數
- 擴大尺寸之潛能
- RF 匹配系統對高頻、高壓、高電流之忍受力



絕緣陶瓷載台

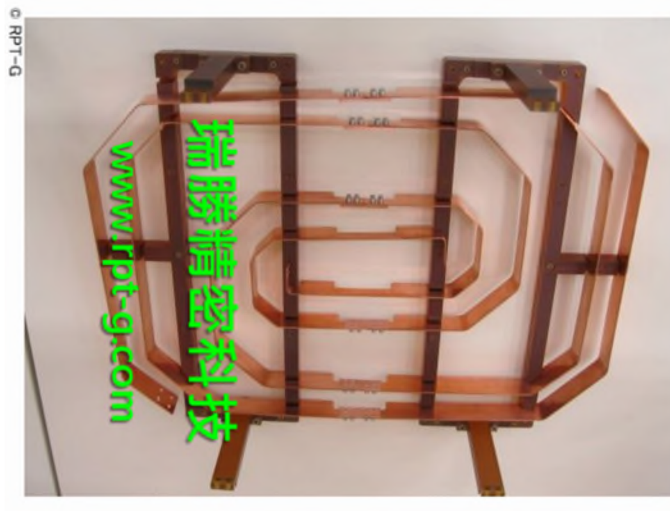
IPC 系統的線圈參數

- 線圈形狀

  影響產生之電感值在該頻率所造成的阻抗 (jωL)

- 線圈長度

  影響 ICP 系統中之共振頻率



ICP 線圈

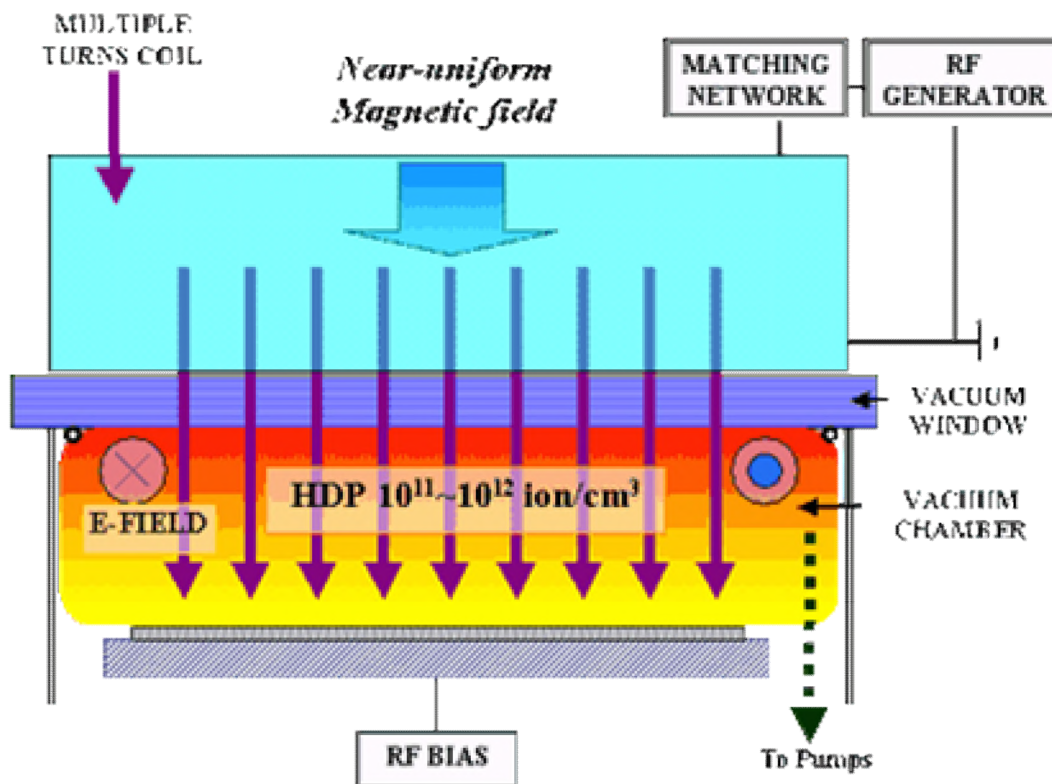
RF 匹配系統對高頻、高壓、高電流之能力

- 電感線圈的作用→系統內自然產生高電壓，電壓值可高達一萬五仟伏以上
- 電磁能量的轉換→產生共振作用，系統內高頻電流可高達 50 安培 以上
- 使用真空電容於 RF 匹配系統中方能忍受此高頻、高壓、高電流

電極接續傳導片

IPC 系統的寄生電容效應

- 產生電場→導致的離子加速→侵蝕石英壁而造成污染或傷害晶片表面



參考資料

1. M. A. Lieberman and A. J. Lichtenberg, Principles of Plasma Discharges and Materials Processing, John Wiley & Sons, (1994)
2. K.C. Leou, S. C. Tsai, C.H. Chang, W. Y. Chiang, T. L. Lin and C. H. Tsai, Jpn. J. Appl. Phys., 38(1999) p p. 4268.
3. H. W. Wei, K. C. Leou, M. T. Wei, Y. Y. Lin, and C. H. Tsai, J. Appl. Phys. 98, 044313 (2005).
4. Y.Y. Lin, H.W. Wei, K.C. Leou, C. H. Tong, M.T. Wei, C. Lin and C. H. Tsai, J. Vac. Sci. Techno. B, 24, 97-103 (2006)
5. C. H. Weng, K. C. Leou, H. W. Wei, Z. Y. Juang, M. T. Wei, C. H. Tung, and C. H. Tsai, Appl. Phys. Lett. 8 5, 4732 (2004)
6. C. H. Weng, W. Y. Lee, Z. Y. Juang, K. C. Leou, and C. H. Tsai, Nanotechnology 17, 1 (2006).
7. T. J. Wu and C. S. Kou, "A Large-Area Plasma Source Excited by a Tunable Surface Wave Cavity", Rev. Sci. Instrum. 70, 2331 (1999).
8. C. S. Kou, and T. J. Wu, “A Large Area Microwave Plasmas Apparatus”, No.110719, R. O. C. C. S. Kou, a nd T. J. Wu, “Large Area Microwave Plasmas Generator”, No.6246175, USA
9. T. J. Wu , W. J. Guan, C. M. Tsai, W. Y. Yeh, and C. S. Kou “ Experimental Study of the Plasma Resonan ce in a Planar Surface Wave Plasma”, Phys. Plasmas, 8,3195, 2001

報告結束

Thank you