

吳昱賢(Y.H, Wu), 陳相宏(H.H, Chen), 張敬萱(C.H, Chang), 余大昌(T.C, Yu), 林芳新(F.H, Lin)\*

工業技術研究院量測技術發展中心 奈米與半導體產業計量研究室  
E-mail: [RyanYHWu@itri.org.tw](mailto:RyanYHWu@itri.org.tw) [itriA40317@itri.org.tw](mailto:itriA40317@itri.org.tw)\*

### 摘要

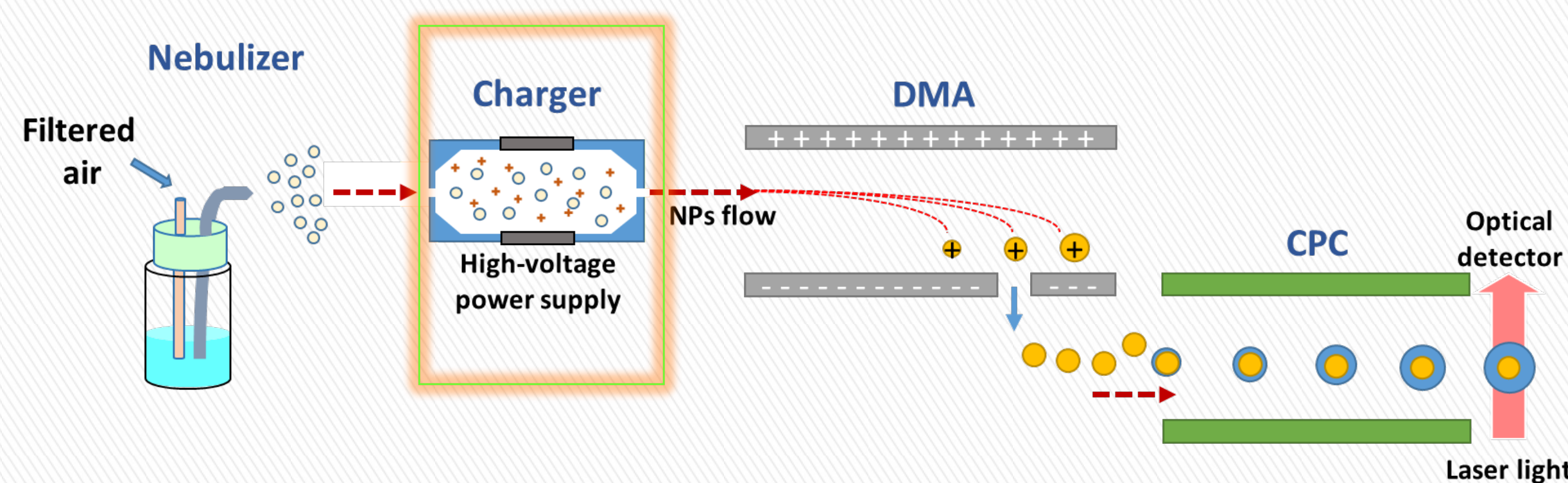
空氣中存在許多懸浮微粒，如PM2.5、PM1.0等，當這些微粒粒徑越小或數量越多時，就越容易進入人體，造成肺組織病變、發炎反應或免疫系統受損，甚至導致癌症的發生，因此，粒子粒徑與濃度是環境汙染一項重要的指標。

微分電移動度分析儀-凝結粒子計數器(Differential Mobility Analyzer - Condensation Particle Counter, DMA-CPC)目前被廣泛應用在奈米粒子粒徑篩分與濃度的量測，DMA的原理是利用不同尺寸的帶電粒子於電場下電移動速度的差異來進行顆粒的篩分，篩分後特定尺寸的粒子進入CPC進行計數；然而在進行小粒徑(100 nm以下)量測時，由於微粒的充電效率下降，使得DMA能夠篩分的帶電粒子變少，導致在小尺寸的粒子量測結果不佳，為了提升DMA-CPC在小尺寸粒子量測的性能，本研究開發了自製的微粒充電器，並使用不同粒徑標準品(10 nm 及20 nm金奈米粒子)來評估自製微粒充電器之效能，並與傳統軟X光充電器進行比較。

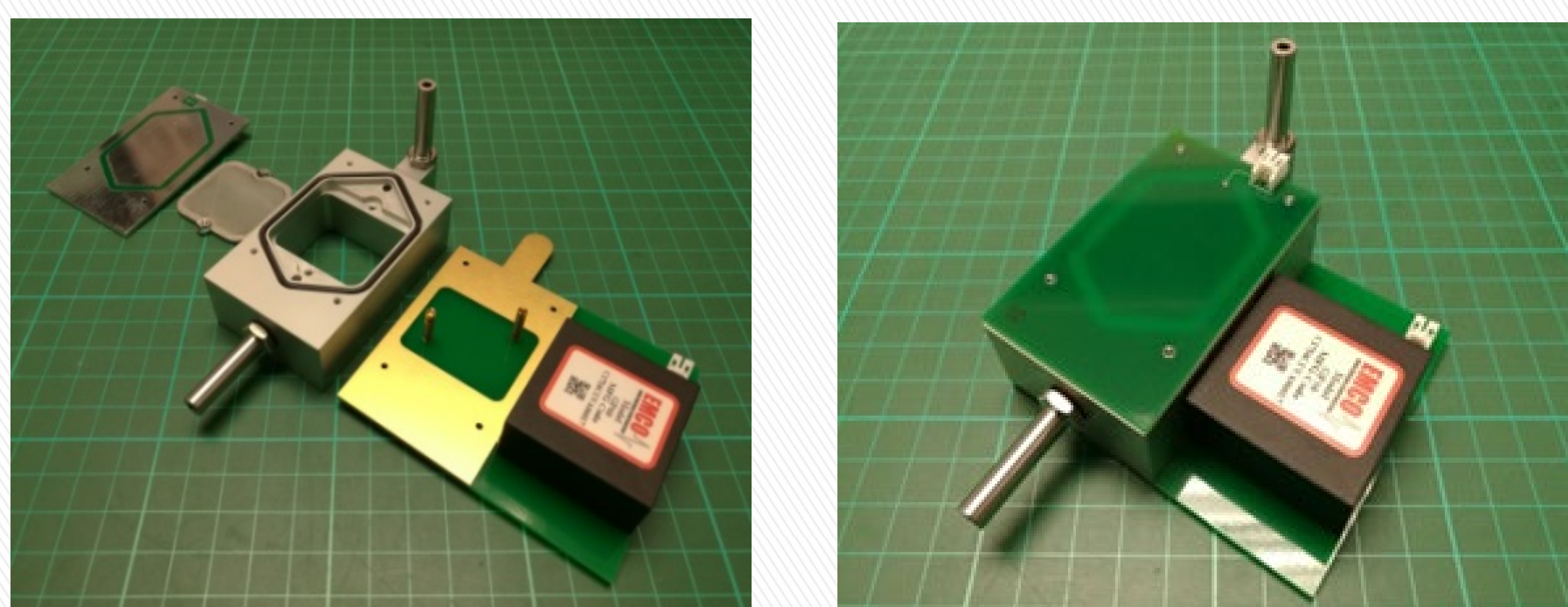
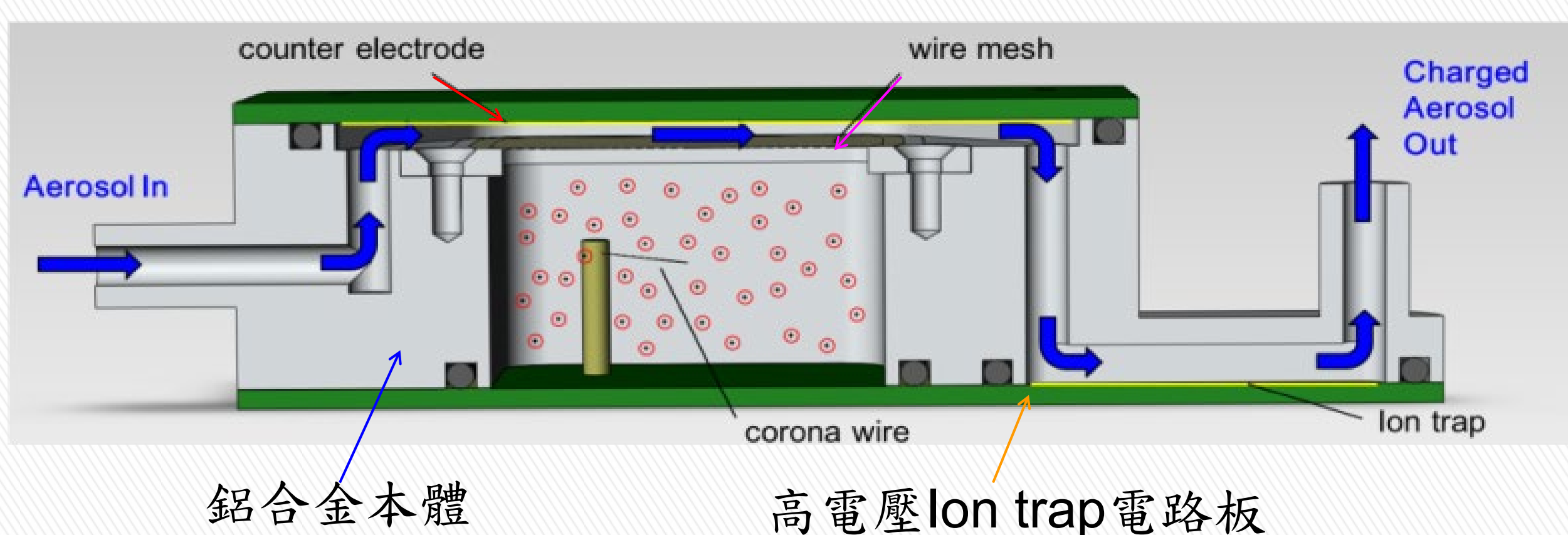
### 實驗與結果

#### 實驗

##### 1. 超微細氣膠粒子量測系統架構圖



##### 2. 自製微粒充電器模組與實體圖



##### 3. 實驗參數

| 參數                 | 數值          |
|--------------------|-------------|
| Nebulizer gas flow | 0.9 L/min   |
| DMA sheath flow    | 15 L/min    |
| CPC gas flow       | 1.5 L/min   |
| Charger voltage    | 3000-3500 V |

#### 結果與討論

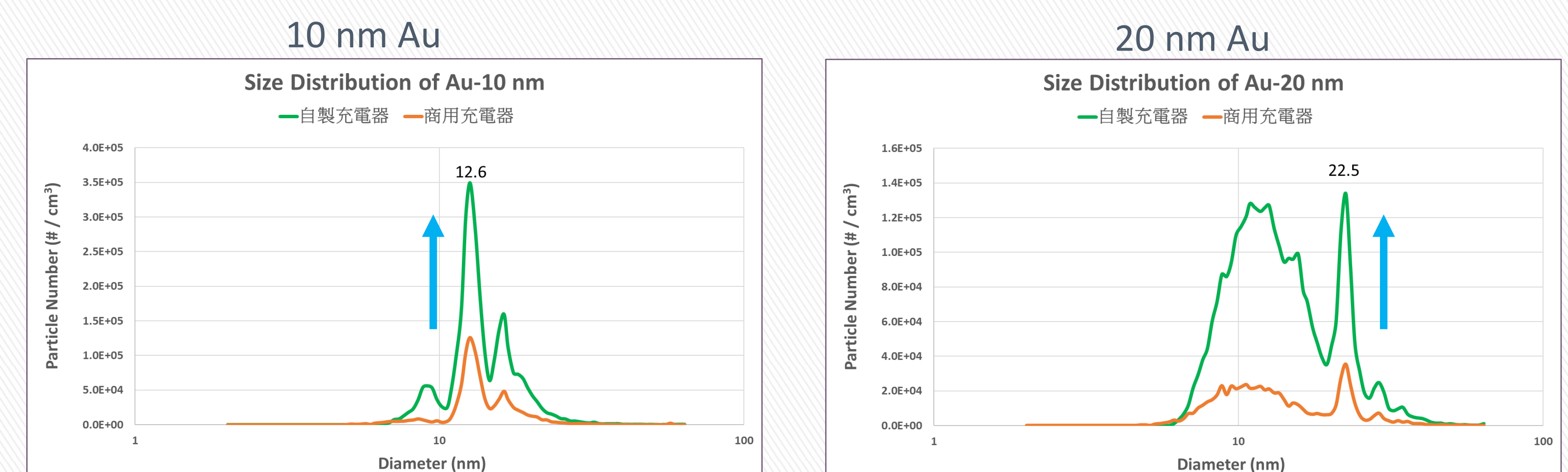
##### 1. 以ICP-MS定量10 nm與20 nm金粒子溶液濃度之擴充不確定度分析表

| 10 nm Au     |      |                   |                      |                      |  |  | 20 nm Au       |              |      |                   |                      |                      |  |  |                |
|--------------|------|-------------------|----------------------|----------------------|--|--|----------------|--------------|------|-------------------|----------------------|----------------------|--|--|----------------|
| 不確定度源 $i$    | TYPE | 單位                | 估計值 $x_i$            | 標準不確定度 $u(x_i)$      | 靈敏係數 $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ | 不確定度分量 $\left  \frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right $ | 自由度 $\nu(x_i)$ | 不確定度源 $i$    | TYPE | 單位                | 估計值 $x_i$            | 標準不確定度 $u(x_i)$      | 靈敏係數 $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ | 不確定度分量 $\left  \frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right $ | 自由度 $\nu(x_i)$ |
| $m$ (金離子濃度)  |      | g/ml              | $9.5 \times 10^{-4}$ | $7.8 \times 10^{-6}$ | $5.1 \times 10^{16}$                   | $3.9 \times 10^{11}$   | 8              | $m$ (金離子濃度)  |      | g/ml              | $9.8 \times 10^{-4}$ | $9.8 \times 10^{-6}$ | $1.3 \times 10^{16}$                   | $1.3 \times 10^{11}$   | 8              |
| 待測物之量測重複性    | A    | -                 | $6.6 \times 10^3$    | $3.7 \times 10^3$    | $1.4 \times 10^{-7}$                   | $5.3 \times 10^{-6}$   | 4              | 待測物之量測重複性    | A    | -                 | $7.3 \times 10^3$    | $4.8 \times 10^3$    | $1.3 \times 10^{-7}$                   | $6.4 \times 10^{-6}$   | 4              |
| 標準品之量測重複性    | A    | -                 | $6.2 \times 10^3$    | $3.5 \times 10^3$    | $-1.5 \times 10^{-7}$                  | $-5.5 \times 10^{-6}$  | 4              | 標準品之量測重複性    | A    | -                 | $7.1 \times 10^3$    | $5.2 \times 10^3$    | $-1.4 \times 10^{-7}$                  | $-7.2 \times 10^{-6}$  | 4              |
| 待測物之釋因子      | B    | -                 | $2.4 \times 10^7$    | $3.8 \times 10^7$    | $4.0 \times 10^{-11}$                  | $1.5 \times 10^{-7}$   | 60             | 待測物之釋因子      | B    | -                 | $2.3 \times 10^7$    | $3.6 \times 10^7$    | $4.2 \times 10^{-11}$                  | $1.5 \times 10^{-7}$   | 60             |
| 標準品之釋因子      | B    | -                 | $2.7 \times 10^8$    | $3.9 \times 10^8$    | $-3.6 \times 10^{-12}$                 | $-1.4 \times 10^{-6}$  | 60             | 標準品之釋因子      | B    | -                 | $2.4 \times 10^8$    | $3.6 \times 10^8$    | $-4.0 \times 10^{-12}$                 | $-1.4 \times 10^{-6}$  | 60             |
| 標準品之離子濃度     | B    | g/ml              | $9.9 \times 10^{-3}$ | $1.0 \times 10^{-3}$ | $9.6 \times 10^3$                      | $9.6 \times 10^{-7}$   | 60             | 標準品之離子濃度     | B    | g/ml              | $9.9 \times 10^{-3}$ | $1.0 \times 10^{-3}$ | $9.9 \times 10^2$                      | $9.9 \times 10^{-7}$   | 60             |
| $d$ (金粒子粒徑)  |      | cm                | $1.2 \times 10^{-6}$ | $2.7 \times 10^{-9}$ | $-1.2 \times 10^{10}$                  | $-3.1 \times 10^{11}$  | 5              | $d$ (金粒子粒徑)  |      | cm                | $2.0 \times 10^{-6}$ | $1.4 \times 10^{-8}$ | $-1.9 \times 10^{10}$                  | $-2.7 \times 10^{11}$  | 4              |
| 待測物之量測重複性    | A    | -                 | $1.6 \times 10^4$    | $2.4 \times 10^4$    | $2.6 \times 10^{-11}$                  | $6.3 \times 10^{-10}$  | 4              | 待測物之量測重複性    | A    | -                 | $6.3 \times 10^4$    | $1.3 \times 10^5$    | $1.0 \times 10^{-11}$                  | $1.3 \times 10^{-8}$   | 4              |
| 標準品之量測重複性    | A    | -                 | $1.6 \times 10^5$    | $4.5 \times 10^5$    | $-2.6 \times 10^{-12}$                 | $-1.2 \times 10^{-9}$  | 4              | 標準品之量測重複性    | A    | -                 | $1.6 \times 10^5$    | $4.5 \times 10^5$    | $-4.2 \times 10^{-12}$                 | $-1.9 \times 10^{-9}$  | 4              |
| 標準品之離子濃度     | B    | cm                | $2.7 \times 10^{-6}$ | $5.0 \times 10^{-9}$ | $4.6 \times 10^4$                      | $2.3 \times 10^{-9}$   | 60             | 標準品之離子濃度     | B    | cm                | $2.7 \times 10^{-6}$ | $5.0 \times 10^{-9}$ | $7.4 \times 10^4$                      | $3.7 \times 10^{-9}$   | 60             |
| $\rho$ (金密度) | B    | g/cm <sup>3</sup> | $1.9 \times 10^3$    | $1 \times 10^{-2}$   | $-2.5 \times 10^{12}$                  | $-2.5 \times 10^{10}$  | 60             | $\rho$ (金密度) | B    | g/cm <sup>3</sup> | $1.9 \times 10^3$    | $1 \times 10^{-2}$   | $-6.5 \times 10^{11}$                  | $-6.5 \times 10^9$   | 60             |

組合標準不確定度  $u_c = 5.04 \times 10^{11}$  /ml  
有效自由度  $\nu_{eff} = 22$   
涵蓋因子  $k = 2.07$   
擴充不確定度  $U = 1 \times 10^{12}$  (95% 信賴水準)  
粒子濃度量測值  $X_i = 4.84 \times 10^{13}$  /ml

組合標準不確定度  $u_c = 2.95 \times 10^{11}$  /ml  
有效自由度  $\nu_{eff} = 6$   
涵蓋因子  $k = 2.44$   
擴充不確定度  $U = 7.2 \times 10^{11}$  (95% 信賴水準)  
粒子濃度量測值  $X_i = 1.26 \times 10^{13}$  /ml

##### 2. 充電器應用於10 nm與20 nm金粒子溶液之粒徑-濃度分布圖



|          | 粒子濃度 (商用充電器)                       | 粒子濃度 (自製充電器)                       | 帶電效能提升倍率 |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|----------|
| 10 nm Au | $1.3 \times 10^5$ /cm <sup>3</sup> | $3.5 \times 10^5$ /cm <sup>3</sup> | 2.7倍     |
| 20 nm Au | $3.5 \times 10^4$ /cm <sup>3</sup> | $1.3 \times 10^5$ /cm <sup>3</sup> | 3.7倍     |

### 結論

本研究使用自製微粒充電器以提高微粒之帶電效率。充電器之設計原理概述如下:充電器中之電暈電極線(Corona Wire)維持於高電壓以產生足夠大之電場來加速自由離子，使其能量足以衝撞氣體分子使其離子化；藉由量測過剩之離子撞擊接地電極而產生之電流 $I_{ion}$ ，則可回授控制電暈電壓來保持充電器中離子濃度的恆定；當微粒與高濃度的單極離子碰撞後即可造成微粒帶電，而大部分沒附著於微粒上之離子則由離子捕集器(Ion Trap)加以去除。

研究結果顯示，以感應耦合電漿質譜儀進行定量之10 nm及20 nm金奈米粒子，所測得之標準品原液濃度分別為 $4.84 \times 10^{13} \pm 1.01 \times 10^{12}$  particle/cm<sup>3</sup>及 $1.26 \times 10^{13} \pm 7.2 \times 10^{11}$  particle/cm<sup>3</sup>，並稀釋配製成 $1 \times 10^{12}$  particle/ml以進行微粒充電器之性能評估。實驗結果顯示，自製之微粒充電器在特定濃度粒子標準品所測得之顆粒數為傳統軟X光充電器的3倍以上，顯示本研究所發展之微粒充電器可提升DMA-CPC於小尺寸粒子的量測。