

# 常壓電漿系統於快速質譜分析術之應用

## Atmospheric Pressure Plasma for Rapid Mass Spectrometry Detection

江政鴻、陳俊邑、林哲信

Cheng-Horn Chiang, Chun-Yi Chen, Che-Hsin Lin

近年來質譜分析的發展十分迅速，其快速半定量檢測的特性，對於瞭解樣本中特殊化學成分具有優勢。然質譜分析法需使用一游離源使樣品游離後帶電，此一過程往往需要複雜的樣本前處理的程序。因此傳統質譜分析法在面對需要大量及快速偵測的應用時，就會遇到瓶頸。而常壓電漿質譜游離法可以直接在常壓中進行樣本游離，且過程完全不需要抽真空或是進行隔離，所以可以快速且連續地分析樣本，而且可不需進行複雜的樣本前處理程序，因此大幅提升了質譜量測的效能。然而，常壓電漿質譜法因電漿僅對於小分子量之弱極性物質具有較好的游離效果，對於水溶性的大分子極性物質感度較差。因此，本文提出一種創新之同軸雙游離源系統，其整合了電漿產生器以及電噴灑游離裝置，可使兩種具有電位之離子源可以穩定共存，並同時對極性以及非極性物質進行質譜偵測。

Mass spectrometry is a rapid growth technique for semi-quantification detection of various molecules without using the delicate sample preparation processes. In general, it is essential to charge the sample molecules prior to mass analyzing with the mass spectrometer. Therefore, the atmospheric pressure plasma source is an ideal ion source to charge the sample molecules for mass spectrometry detection since no vacuum chamber is required to produce the charged ions. However, this method is usually good for detecting the molecules with low-polarity or non-polarity. The detection performance for analyzing polar molecules which dissolved in the liquid samples is limited. This research develops an innovative co-axial ion source composed of dual ion sources including an atmospheric pressure plasma and an electrospray ion sources for rapid MS detection of pesticides. With this approach, polar and non-polar molecules can be simultaneously detected with the mass spectrometer.

### 一、現代質譜分析法簡介

質譜檢測技術是目前化學分析領域中最為精確地的分析技術之一，質譜系統的最大優勢是能夠快速地檢測，尤其在微量物質定性定量分析上，更具有高解析度及高靈敏度的特

性，並得以確認待測之未知物分子量。目前現代質譜分析技術已被應用於不同領域之檢測，例如國土安全方面的炸藥分析、環境監控應用的汙染監測、化學合成物的分子鑑定及國人關注的食藥品安全檢測。特別以最貼近國人日常生活的食品安全問題來說，許多食品供應商為了使食品外觀完整、延長保存期限或是使食品口感更佳，會加入過量的食品添加劑以增進消費者購買意願。此外，人們每天都需要攝取的蔬菜水果，在摘種期間會施給農作物藥劑以防止蟲害以及延長保存時間，這些化學合成劑進入人體後不易被體內消化分解，甚至有可能殘留體內造成毒性，其對人體健康更是一大負擔，故相關檢測相當重要。

早在 1897 年，英國物理學家 J.J. Thomson 利用陰極射線管與帶有狹縫的金屬圓柱，驗證帶電粒子會受電場影響而偏轉的特性。實驗中觀察到射線確實因電場而偏折，發現此現象後，他將氬離子引入通道，觀察到有不同軌跡之拋物線，證實物質有不同質量組成，成功地利用電子受磁力與庫倫力影響而偏轉，將產生之偏折角度由向心力公式推導出質荷比 (mass to charge ratio,  $m/z$ )，造成當時科學界的轟動，也使他在 1906 年獲得諾貝爾物理獎。也因而啟發了相關帶電粒子的研究，並於 1943 年催生了由 Consolidated Engineering Corporation 稱產出第一台商用之質譜儀。圖 1 所示為標準之質譜分析系統架構，該圖以電噴灑游離源作為離子源為例。液態溶液本質上會於樣本中解離成帶正電與負電的離子，當於其後端施加一正高電壓時，液體中帶正電的離子受到電場排斥於前端形成一泰勒錐 (Taylor cone)，當前端的正離子持續受到電場排斥時，其將突破液體表面張力的限制，形成電噴灑狀態，連續的液體樣本轉換為許多帶正電的微液滴噴灑出，此為電噴灑效應。在液滴飛行過程中液體逐漸蒸發減小尺寸，液滴中帶正電的離子因體積縮小，造成庫倫斥力不斷增大，最後將因庫倫斥力產生液滴爆裂，經過數次液滴爆裂後最終形成單一離子的狀態。之後由質譜儀的管口 (nozzle) 吸取進入真空狀態的離子，經漏斗狀溢流口 (skimmer)，進入兩聚焦鏡頭 (lenses) 與八極柱 (octopole) 聚焦裝置，排除不帶電的分子並使離子聚焦於質量分析器中，在此質量分析器以離子阱 (Ion trap) 為例，其利用三維的電場將離子限制住，再改變電場以區分不同質荷比的離子並從離子阱中射出，最後由訊號偵測 (mass detector) 計數並轉換為質譜圖。

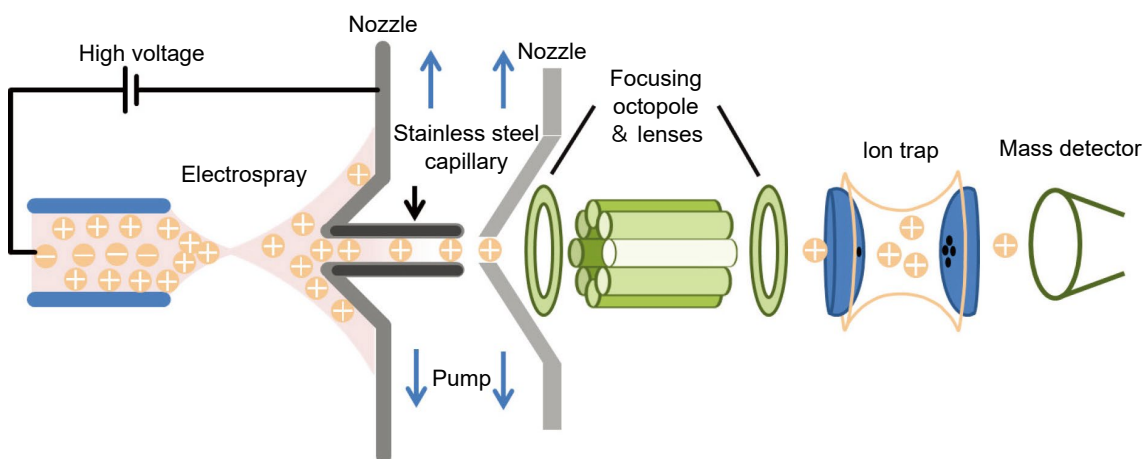


圖 1. 標準電噴灑游離質譜法之設備架構與偵測過程示意圖。由左至右為透過高電壓產生電噴灑游離後，分子進入質譜儀經過質量分析器解析分子之荷質比後，最終由離子檢出器計算數量。

依照圖 1 所示之儀器內部檢測構造，質譜法分析步驟可分成五大部份：

1. 樣本進樣系統 (sample inlet)：待測樣本經由層析分離、萃取、純化等等之前處理步驟，再進入游離源部分進行游離。
2. 離子化 (ionization)：待測分析物在真空中或常壓環境中，利用各種不同游離方式使其帶電荷，形成分析物離子。
3. 質量分析 (mass analyzer)：帶有電荷的分析物離子因有不同質荷比，利用電場或磁場的作用，使離子篩選或分離出來。
4. 偵測器 (detector)：感應離子之電流訊號，轉換至資料處理系統，電子倍增管和法拉第杯皆為較常見的離子偵測器。
5. 資料處理系統 (data system)：由偵測器所獲得之結果，經軟體處理運算並轉換為質譜圖。

因此，帶測樣本於進入質譜儀之前，必須要形成帶電之單分子以便在質譜儀內部分析，利用電磁透鏡及質量分析器進行樣本之荷質比偵測 ( $m/z$  ratio)，以獲得樣本之分子量及帶電量。傳統要將分析物引進質譜游離源，必須要在高真空系統下進行。在真空下操作的游離源有電子游離 (electron ionization, EI)、化學游離 (chemical ionization, CI)、快速原子轟擊 (fast atom bombardment, FAB) 以及場脫附/游離 (field desorption / field ionization, FD/FI)。這些技術在近年當中已成功地被使用，但是在真空下的游離過程有一些限制，在偵測氣體或液體分析物的時候，必需先通過氣相層析儀 (GC) 或注入樣品系統經過特別的設計。固體分析物要導入真空下中的游離源，則必須使用直插式探針 (direct insertion probe)，此探針在使用上有些缺點，其易造成真空外洩或過量分析物的引入，可能造成質譜儀的污染。此外，此類游離方式多適用於先將待測樣品變成氣體分子，並進入真空系統中進行游離，其操作之複雜度與限制較一般常壓環境之操作高上許多。

## 二、常壓電漿質譜游離系統

常壓電漿的發展最早是應用於材料的沉積上，如氧化物等介電層薄膜沉積，以及用於對材料表面進行改質或蝕刻製程，其利用電漿中富含的離子和自由基的特性，對基材表面進行離子轟擊或進行表面原子間的化學反應，以進行蝕刻或改變其材料表面能<sup>(1)</sup>。由於電漿是等離子氣體團，帶電氣體離子可以藉由碰撞將電荷轉移給待測樣本，使待測樣本帶電游離。因此其很適合運用於質譜分析的游離源應用，除引起質譜分析界高度關注外，並開發成各種新式質譜游離源。在常壓下操作有一些優點是在真空中進行游離所沒有的，包括可以直接對固體、液體或氣體樣品分析，樣品分析時間短，更換樣品快速容易，以及不需或只需極簡單的樣品前處理就能直接以質譜儀分析。基於以上優點，常壓游離源不僅帶來更快速的分析，也進一步縮小儀器體積，甚至可適用於攜帶型的質譜儀，故常壓游離源成為近年來質譜發展的趨勢。

常壓壓力電漿質譜游離源的發展，最早始於 2005 年美國檢測儀器設備大廠 JOEL 的兩位工程師 Laramée 與 Cody，其發展出直接即時質譜分析法 DART (direct analysis in real time) 質譜游離源系統<sup>(2)</sup>，如圖 2 所示。該設備原理是運用高壓直流電進行尖端放電以產生氮氣電漿，在不需前處理的情形下可對固體、液體、氣體待測物進行游離，主要應用於化學試劑的監測及有毒化學物質的感測應用。此法成功的分析了上百種化學藥劑，目前也已經成功的商品化。而接下來又有多種不同之常壓電漿系統之質譜游離源被開發出來，其包含有電漿

輔助脫附／游離法 (plasma-assisted desorption/ionization, PADI)、介電質放電游離法 (dielectric barrier discharge ionization, DBDI)<sup>(3)</sup>、低溫電漿游離法 (low temperature plasma ionization, LTPI)<sup>(4)</sup>、等不同形式的常壓電漿游離源。這一類的常壓電漿作為游離源在化學分析上，被歸類為常壓化學游離法 (atmospheric pressure chemical ionization, APCI)<sup>(5)</sup>。以下便對各種不同常壓電漿質譜游離裝置進行介紹：

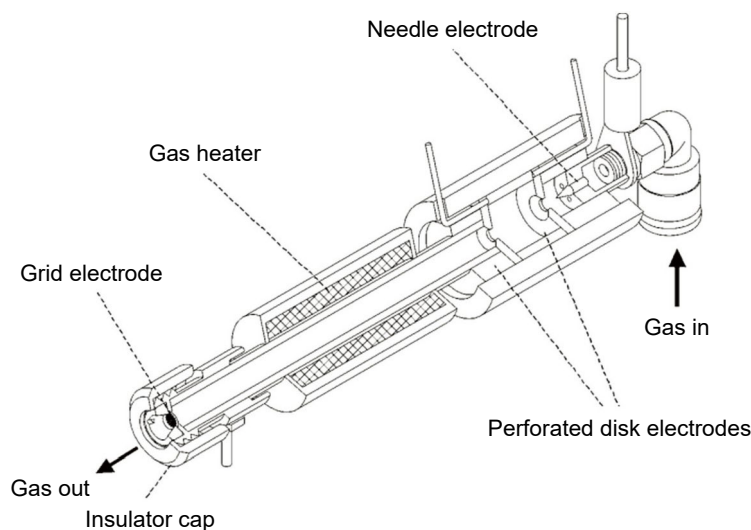


圖 2. JOEL 專利所提出之 DART 常壓電漿質譜游離源，其主要利用施加於 needle electrode 高電壓，進行高壓放電以產生帶電氣體分子，利用該電漿中之氣體分子電荷轉移進行樣本游離<sup>(2)</sup>。

## 1. 電漿輔助脫附／游離法

2007 年 McCoustra 等人開發出電漿輔助脫附／游離法 (plasma-assisted desorption/ionization, PADI)<sup>(6, 7)</sup>，其架構如圖 3 所示。此技術不同於 DART<sup>(8)</sup> 是使用高電壓於針尖上產生電暈來產生離子，而是由高頻的射頻 13.56 MHz 電磁波震盪以游離氣體分子，其放電電壓約為 300 V，功率僅約為 5 W。具有高頻且低電壓的放電特性，其可以產生高濃度、低溫的電漿。此外，使用 PADI 進行質譜分析時，待測樣本分子可以直接與電漿接觸，亦避免了高電壓對空氣放電所產生的臭氧、NO<sub>x</sub> 等氣體分子的干擾，使得質譜圖的背景更為乾淨，特徵訊號更易觀察與分析。

## 2. 介電質放電游離法

介電質放電電漿游離法 (dielectric barrier discharge ionization, DBDI) 技術於 2007 年由 Na 等人<sup>(9)</sup> 首次發表，其利用介電質間隔放電所產生的離子作為常壓壓力游離源，其架構如圖 4 所示，以長度 20 mm 中空內徑 0.2 mm 的不銹鋼針頭作為放電電極，以 12–48 m/s 流速通入氬氣或其他惰性氣體，另由尺寸 25 mm × 75 mm 銅片作為接地電極，兩電極間放置一尺寸為 25.4 mm × 76.2 mm × 1.2 mm 玻璃片伸入兩電極間，固定在接地銅片上。此玻璃層作為介電質材質與分析物基板，針尖與玻璃基板距離為 5–10 mm，架構固定在三向移動臺，可由樣本位置移動，當施加 20.3 kHz，3500–4500 V 的交流電壓時，穩定的介電質放電電漿將於兩電極間生成，並且被用來脫附及游離玻璃平板上的分析物。

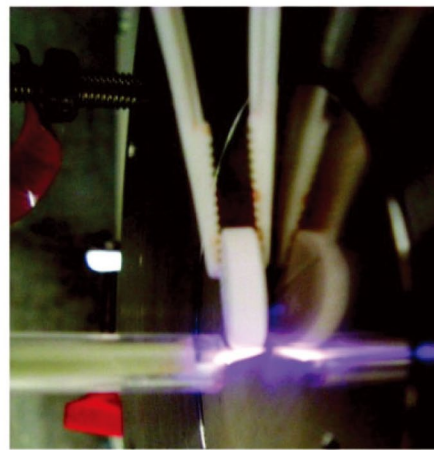
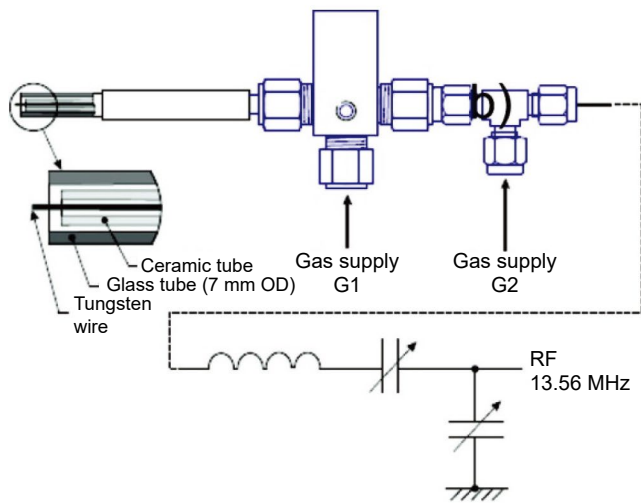
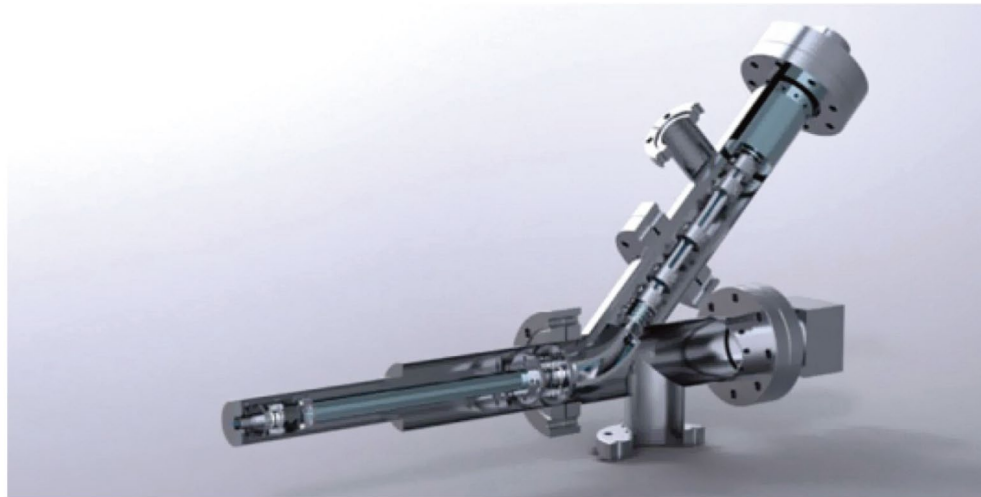


圖 3. 電漿輔助脫附／游離法 PADI 質譜游離源設計之實體圖、電路架構與該裝置之放電狀態<sup>(6,7)</sup>。

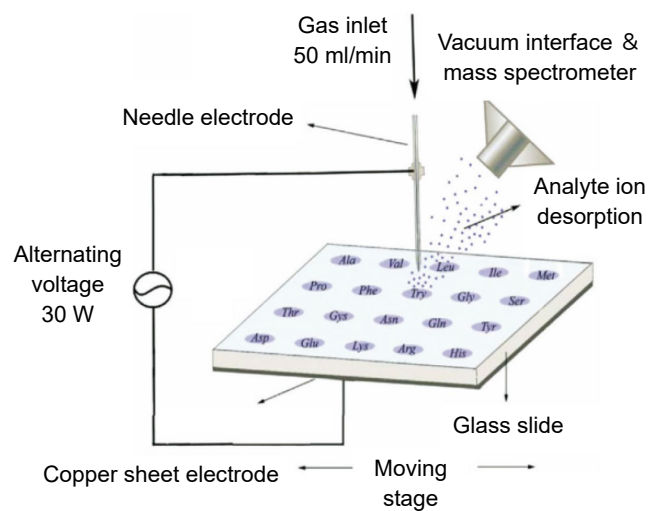


圖 4. 介電質放電電漿游離法 DBDI 架構示意圖，直接透過中空針尖導入器體進行介電質放電，下方則為有放置待測樣本之導電基板，所產生之電漿氣流直接將基板上之待測物進行脫附與游離後進入質譜儀<sup>(9)</sup>。

此外，學者 Hayen 等人<sup>(10)</sup> 改良了 Na 利用針頭供器放電的架構，直接將電漿產生裝置做成一筆型裝置，如圖 5 所示。其電漿噴焰可有效延伸至噴頭外 (圖 5(a))，有效接觸樣本以提高游離效能。圖 5(b) 所示為該電漿產生裝置裡的電極結構，內部有一長度為 3 cm 的玻璃毛細管與內徑為 500  $\mu\text{m}$  外徑為 1.2 mm 的電極環，兩電極環間距為 12 mm，距毛細管底端為 2 mm，管內通入氮氣 150 mL/min，並施加 5 kV，35 kHz 週期性正向高壓脈衝於鐵氟龍管內，鐵氟龍管可防止電極與毛細管間直接放電，並利用 O 型環固定。此法可用於分析胺基酸，20 種胺基酸中，除了精氨酸 (arginine) 以外皆可測出，質譜圖的離子碎片也較少。此類介電質放電電漿系統因電漿產生裝置結構簡單，因此廣泛被質譜分析研究人員所使用。



圖 5. 筆形介電質放電氮氣電漿游離源 (a) 筆型電漿以氮氣放電之影像 (b) 整體筆型電漿實體影像 (c) 筆型電漿放置於質樸儀入口之架設圖<sup>(10)</sup>。

### 3. 低溫電漿游離法

低溫電漿游離法 (low temperature plasma ionization, LTPI) 於 2008 年，由 Cooks 團隊所發表<sup>(11-14)</sup>，其架構組成如圖 6(a) 所示，介電阻擋層材料為外徑 6.35 mm、內徑 3.75 mm 之玻璃管，通入流量為 0.4 SLM 之氮氣、氬氣、氦氣或空氣等氣體，外部纏繞銅箔膠帶作為電極，內部同軸中心接地電極為直徑 1.57 mm 之不銹鋼，在外部電極與接地電極之間供給電壓 2.5–5 kV 與 2–5 kHz 頻率，產生介電質放電，放電功率小於 3 W。電漿火焰溫度約 30 °C，故取名為低溫電漿探針。此高壓電極與直接放電區隔離，故可避免樣本受到電擊，電漿炬延伸的長度，可藉調整中心電極位置，減少外部電極重疊，以致中心管軸的電場增加。電漿低溫的特性亦可降低表面加熱會造成樣本損害的可能性，如圖 6(b) 所示，直接用於皮膚表面檢測。除了可以用於氣體的分析<sup>(15)</sup>，也能對於固態及液態的樣品進行脫附游離。此法雖名為低溫電漿探針，但在面對較難脫附氣化之樣本時，仍需要另外對樣本加熱。

### 4. 脫附電暈束游離法

2010 年 Wang 等人提出脫附電暈束游離法 (desorption corona beam ionization, DCBI)<sup>(16)</sup>，此種常壓電漿游離系統類似直接即時質譜分析法 DART 架構，是於兩金屬電極間產生放電，但不同的地方是，DART 先以高壓直流放電產生氮氣亞穩態分子，之後再使其接觸樣本；而 DCBI 則直接使樣本位於兩電極間之放電區內，此放電間距約為一公分。透過使用此空心針頭/環電極結構，可以大幅促進樣本分析效能。如圖 7 所示，加熱器位於空心針頭之前，可由室溫一直加熱氮氣至 450 °C，進行漸進式溫度掃描。本法可分析許多分子量小於

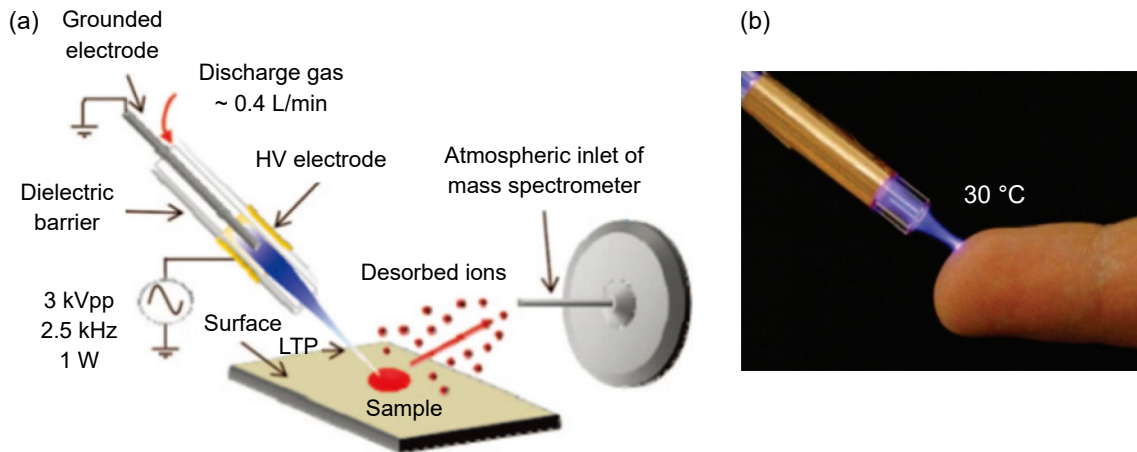


圖 6. LTPI 低溫電漿常壓游離法 (a) 系統操作示意架構 (b) 低溫電漿產生器。此類 LTPI 之電漿架構類似前述之筆型電漿，此用氦氣作為放電氣體，其高電壓施加於中心電極上，外部環形電極則為接地<sup>(11)</sup>。

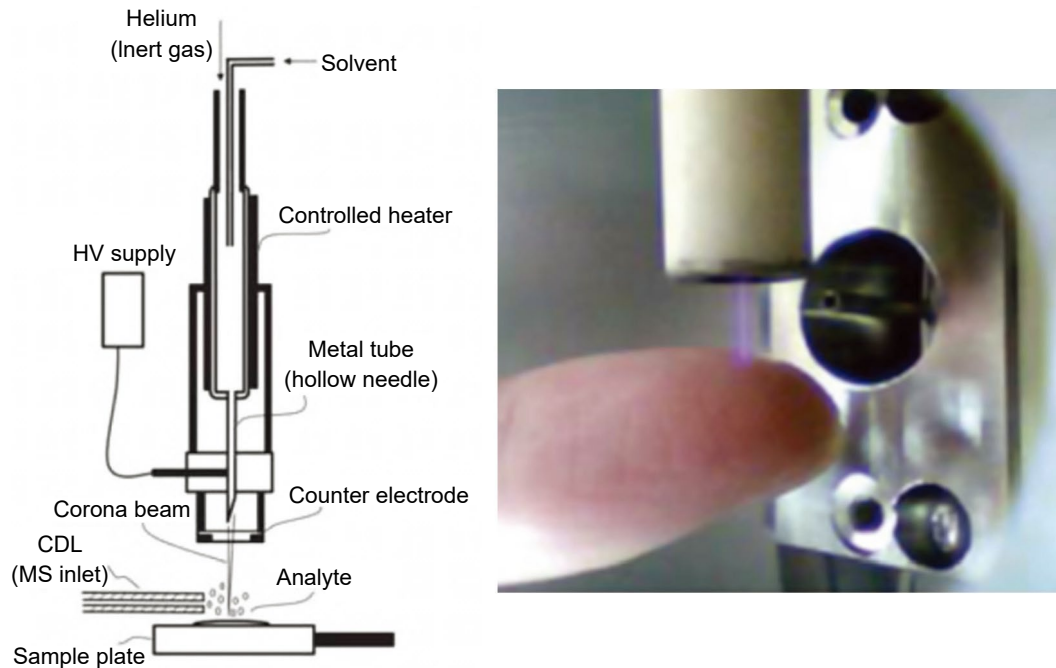


圖 7. 脫附電暈束游離法 DCBI 游離源，此類電漿游離源類似圖四之介電質放電電漿架構，其優勢為除了氦氣放電外，其亦可以通入有機氣體 solvent 同步游離，所產生之電漿亦屬於對生物分子影響較少的低溫電漿<sup>(16)</sup>。

600 之小分子化合物，如農藥、動物用藥、非處方成藥以及爆炸性物質…等，相關所開發之裝置目前也已經成功商業化。

總結而言，標準之常壓電漿游離質譜系統之架構一般如圖 8 所示，其產生氣體放電的機制無論採用 DC、AC、脈衝或是 RF 的電源，其均是使其體分子游離電子而帶有電荷，因此其離子帶電量僅為單一電荷。透過離子與待測樣本碰撞造成電荷移轉的常壓電漿游離法，其

待測樣本帶電的價數亦多僅為單一電荷，相較於傳統電噴灑游離質譜技術，不僅能量測具有極性的樣本且可測得帶多價電荷之蛋白質分子。常壓電漿游離法適用於分子量較小的分子偵測，但其特性是無論極性或非極性樣本皆可適用。尤其是對於電噴灑游離無法偵測之非極性小分子偵測，只要將樣本置於游離源與質譜入口之間即可於數秒鐘以內獲得質譜分析訊號。例如，2011 年臺灣所發生的著名食品安全事件，當時於飲料中加入起雲劑以增加飲料之品相，但所添加之起雲劑含有塑化劑鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯 (Di (2-ethylhexyl) phthalate, DEHP)，若以常壓電漿游離源進行偵測，即可在數秒內測出樣本是否含有 DEHP 成分，其檢測之結果如圖 9 所示。

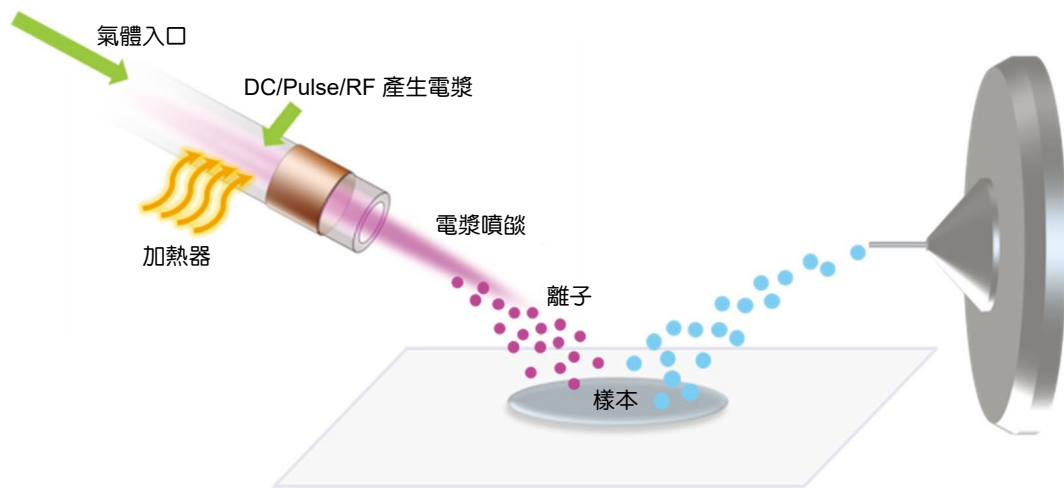


圖 8. 傳統常壓電漿游離質譜系統架構，傳統方式均使用線型的電漿產生器，其具有結構簡單的優點。但因為電漿本身導電，因此線型電漿產生裝置所產生之電漿噴炬中，其帶有放電所施加的高電壓。

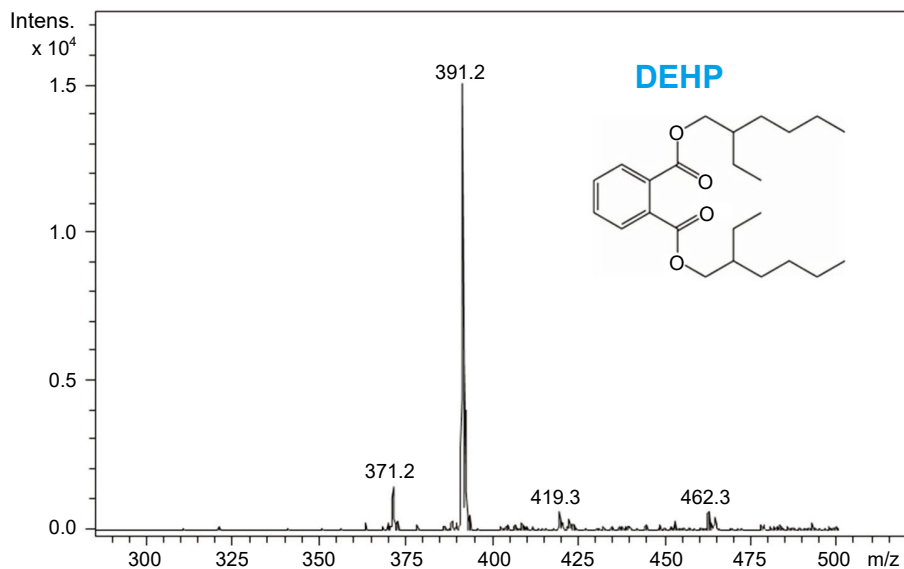


圖 9. 添加 10 ppm DEHP 之運動飲料以常壓電漿游離源直接游離分析之質譜圖。



此外，因電噴灑游離與常壓電漿游離形成分析物離子的機制不同，更有許多研究提出將兩者的游離性能進行系統化比較<sup>(17-19)</sup>。學者 Albert 等人<sup>(20)</sup> 比較 LTPI 與 ESI 以及 APCI 的相對游離效率 (relative ionization efficiencies, RIE)，結果顯示 LTPI 在游離較低極性的化合物上，例如多環芳香烴 (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)、聚酰亞胺 (polyimide, PI)，相較於 APCI 與 ESI 有顯著的優勢，雖然 LTPI 受限於小分子量，但能夠游離更多非極性化合物，其游離範圍如圖 10 所示。

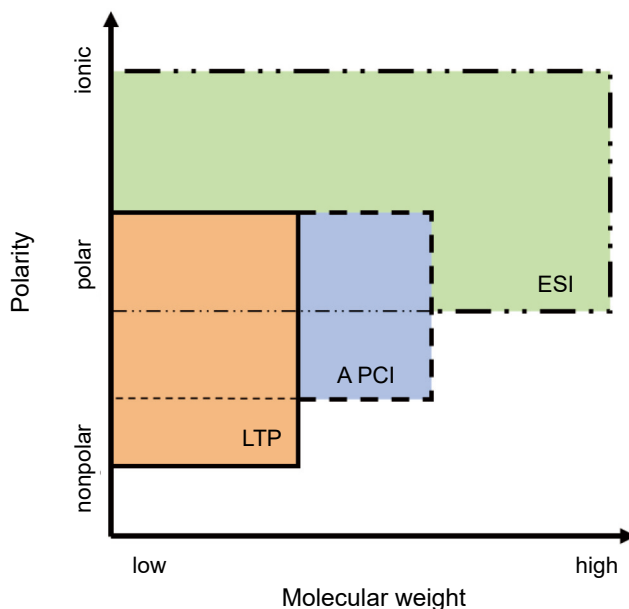


圖 10. 低溫電漿游離 LTPI、常壓化學游離 APCI 與電噴灑游離 ESI 檢測所適用之待測物分子量與極性比較。由圖中可以發現，ESI 適合帶極性且分子量較大的分子偵測，低溫常壓電漿則較適合分子量低且弱極性之分子偵測。

### 三、同軸雙游離源質譜法

若能同時整合電噴灑游離與常壓電漿游離於同一裝置上，便有機會對於大分子量與小分子量之極性與非極性物質進行質譜偵測，其偵測之應用可大幅增加。但由於電漿系統與電噴灑系統均會產生帶電粒子，且其操作之電壓明顯不同，因此若要將兩種游離源整合於同一裝置上，則必須要讓其中的常壓電漿產生器之電位為 0，且該電位不影響電噴灑游離的操作。為了達到此一目的，本研究室開發出創新的對稱 T 型介電質電漿產生裝置，結構如圖 11 所示。該 T 型結構利用兩組交流驅動器輪流驅動，因左右兩側之電極電壓互為交流反向，因此於該 T 型結構中央處之電壓均為 0，且左右電極間之電場梯度是一般單電極接地的 2 倍，藉此產生不帶有浮壓 (floating voltage) 之電漿產生裝置。圖 12 所示則為電漿產生器出口端 1 cm 處所量測到的浮壓，並於示波器記錄其波形。其中紅色點顯示傳統之 LTPI 電漿架構於噴頭出口所量測到之浮壓，其隨著輸入功率 (電壓) 之上升而上升，其最大值可達 700 V 以上，該電壓將使利用直流高電壓所驅動之電噴灑游離不穩定，而無法獲得良好之游離效果以及質譜分析結果。而 T 型平衡電極架構確實完全消除了出口放電的情況，最大值約僅 20 mV，除可順利產生穩定離子數量外，並因其電壓極低而不影響電噴灑游離。

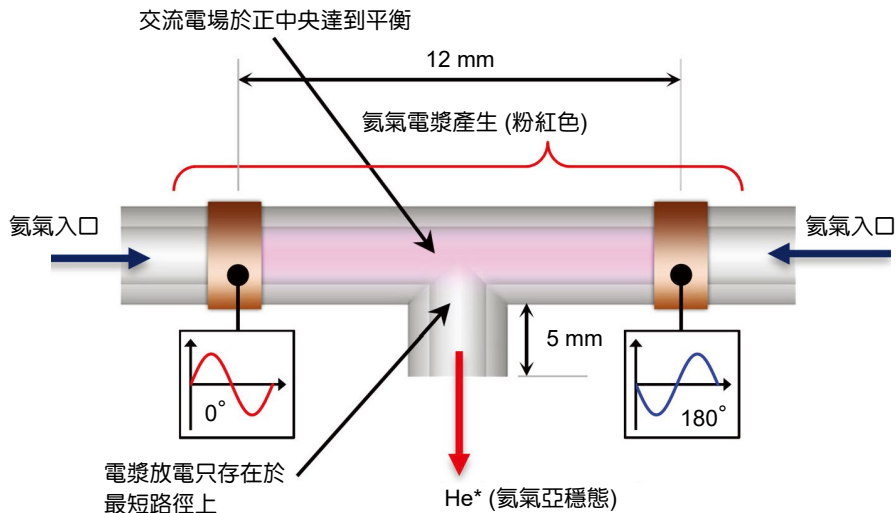


圖 11. 創新 T 型平衡電漿產生電極示意圖，透過 T 型管設計，並於兩端施加相位相反的高壓交流電，因此 T 型管中央之電位，可在不需要接地的狀況下維持為 0 電位。

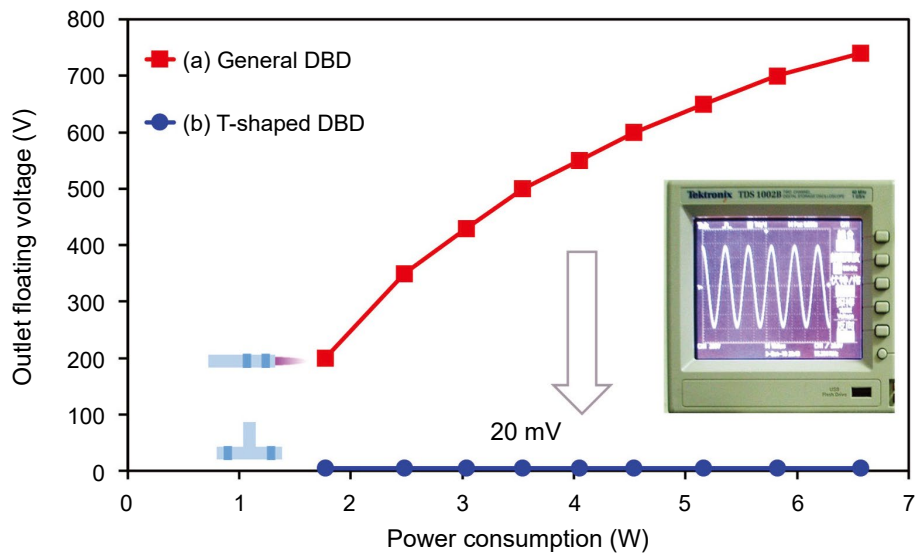


圖 12. 創新 T 型平衡電漿與直線形 LTPI 電漿產生器出口端所量測之浮壓，由量測結果可以發現，紅色線為傳統直線型電漿產生器之出口浮壓，其隨著施加之電位越高，則其出口浮壓越高。反之，藍色線則為對稱 T 型電漿產生器之浮壓量測結果，其不隨著施加電位增加而增加，且維持於接近 0 的電位。

圖 13(a) 所示為所提出之同軸式雙游離源裝置之設計配置圖，裝置是由多段玻璃管燒製接合而成，並將毛細管套進一小段玻璃管與游離源裝置之玻璃管緊密接合，以保持毛細管位於玻璃管正中央處，作為電噴灑端。輸入同軸式雙游離源裝置兩端電極之交流電互為反向，交流電場於電漿產生區之中央處達成平衡，電位為零。消除了傳統型電極在出口處所殘留之電壓，避免高壓直接對空氣和樣本放電，減少氮氧化物、水合離子和脆弱的樣品碎片離子產生。也使得於雙游離源模式時，不會因浮壓的電場干擾影響了電噴灑的穩定性，而可長時間

穩定地使電漿游離與電噴灑游離共存。圖 13(b) 則為實際上同時於質譜入口前進行電噴灑游離與電漿游離之影像，由相片中可以清楚看到，在 T 型管內具有一明顯之氮氣電漿放電的紫色輝光，而中央則設置有玻璃毛細管，並於毛細管前端有一明顯之電噴灑現象。

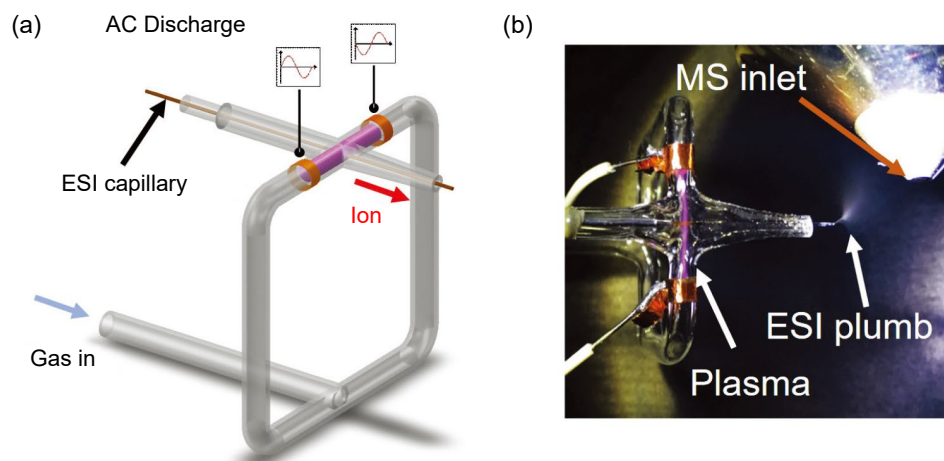


圖 13. (a) 同軸式雙游離源架構設計，其結構為對稱 T 型電漿產生器管中軸處，加入一毛細管裝置產生電噴灑游離 (b) 同時於質譜入口前產生電漿游離與電噴灑游離。

為驗證該同軸雙游離源之檢測效能，本研究使用三種維他命 B1、B2 與 D2 之混合物標準品，分別在電噴灑游離、電漿游離以及雙游離源模式下，分別對該樣品混合物進行偵測，以驗證開發之對稱型同軸式雙游離源系統是否具備同時偵測極性以及非極性化合物的功能。其中兩種維他命為水溶性分子，亦即為極性分子物質，其分別為 Vitamin B1 又稱硫胺 (Thiamine  $C_{12}H_{17}N_4OS^+$ ，分子量：265.35 Da) 和 Vitamin B2 又稱核黃素 (Riboflavin  $C_{17}H_{20}N_4O_6$ ，分子量：376.37 Da)。以及一種脂溶性維他命 D2 (Calciferol  $C_{28}H_{44}O$ ，分子量：396.66 Da)，其屬於低極性分子，分別取 1 mg 之樣品溶於 50% 之酒精水溶液中，稀釋至 1 ppm 後，以注射泵浦 (syringe pump) 推動進樣後進行游離分析，電噴灑電壓為 4.5 kV，溶液注射速率為  $0.25 \mu L/min$ ，氮氣流量為 0.15 SLM，質譜前端之參數：capillary temperature 為  $150^\circ C$ ，capillary voltage 為 66 V，tube lens offset 為 -21 V。其檢測結果如圖 14 所示。在單電噴灑模式下測得水溶性之 Vitamin B1 及 Vitamin B2 之  $[M+H]^+$  分子離子峰訊號，如圖 14(a) 所示，圖 14(b) 為單電漿模式下測得之結果，只有得到脂溶性之 Vitamin D2 之  $[M+H]^+$  分子離子峰訊號，最後圖 14(c) 為雙游離源操作模式下，三種維他命之  $[M+H]^+$  分子離子峰訊號均被測出。結果實驗證實，研究所開發之對稱型同軸式雙游離源系統，分別在三種不同模式下切換進行不同需求之游離，並可在雙游離源模式中同時偵測極性以及非極性之物質。

#### 四、結論

常壓電漿產生裝置可在一般環境下穩定產生游離氣體分子，本質上便是一個良好之質譜游離源。本文簡介了現代質譜分析技術於快速樣本檢測之應用，並敘述質譜儀操作原理與使待測樣本帶電之游離方式，以及介紹五種不同之常壓電漿系統應用於質譜分析上之特性。最後提出一創新之同軸式雙游離源系統，整合了平衡常壓電漿及電噴灑游離源。本系統同時具

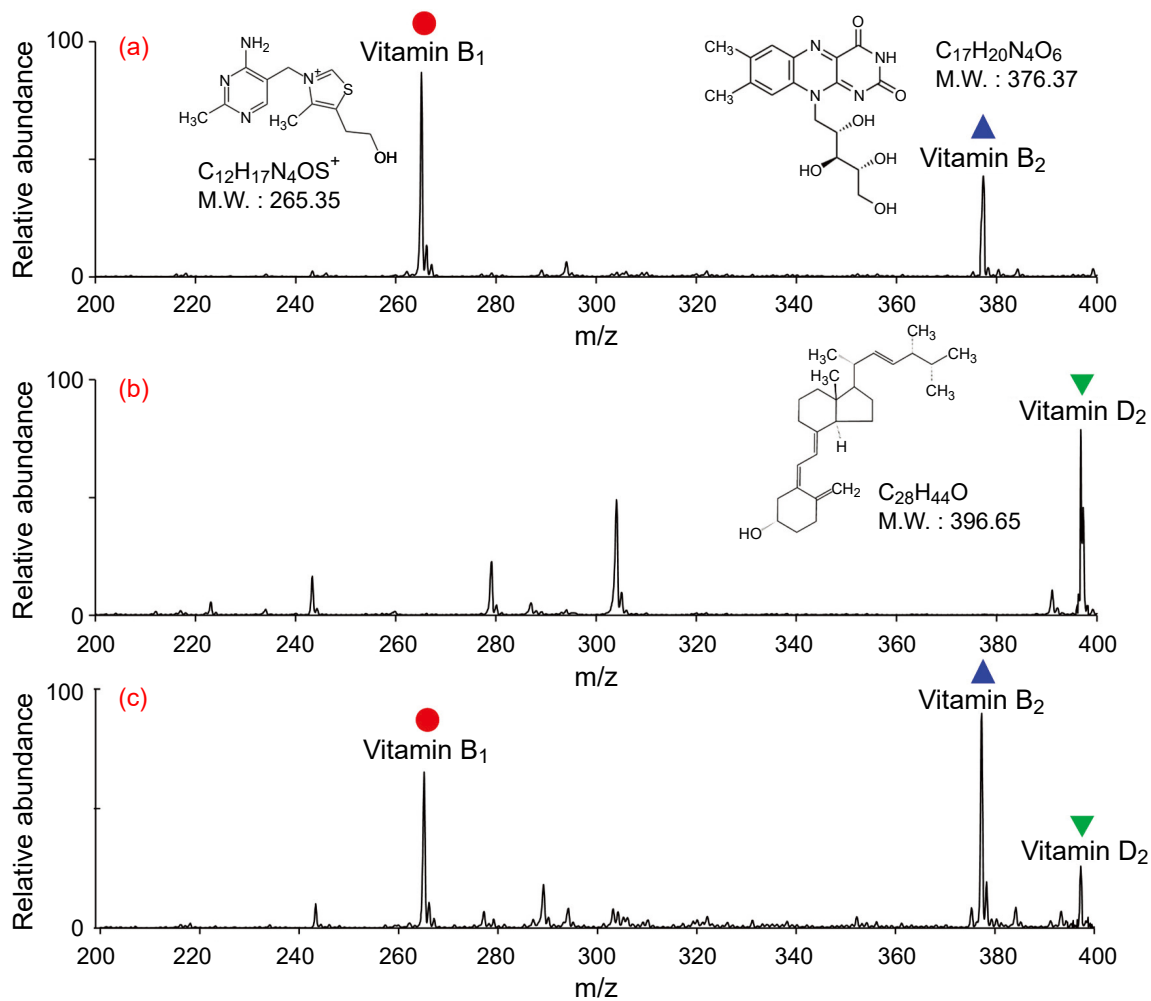


圖 14. 以三種不同模式對三種維他命混合物 (B1、B2 和 D2) 之量測結果圖。圖 (a) 為單電噴灑模式 (b) 為單電漿模式 (c) 為雙游離源模式。

備有常壓電漿游離源和電噴灑游離源之特性，可同時偵測低分子量及中高分子量，極性與非極性的分析物。且因系統中所使用的平衡電漿系統，其對稱的電極設計以及交流電相位反向的緣故，電漿出口具有零電位的特性，進而成功的克服了傳統直線型同軸式雙游離源在電漿與電噴灑共存時，殘留的出口浮壓影響到電噴灑前端之電場，使得電噴灑訊號不穩定的問題，使常壓電漿系統與電噴灑系統可以隨時切換使用，大幅增加電漿游離源之使用彈性。

## 參考文獻

1. Chang-heon Yi, Yong-hyuk Lee, Dong Woo Kim, Geun-young Yeom, *Surf Coat Tech*, **163**, 723 (2003).
2. Robert B Cody, James A Laramée, H Dupont Durst, *Anal Chem*, **77** (8), 2297 (2005).
3. Robert B. Cody, James A. Laramée, and H. Dupont Durst, *Anal Chem*, **81** (24), 10239 (2009).
4. Jason D Harper, et al., *Anal Chem*, **80** (23), 9097, (2008).
5. Andre Venter, Marcela Nefliu, and R. Graham Cooks, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, **27** (4), 284 (2008).
6. Lucy V Ratcliffe, et al., *Analytical chemistry*, **79** (16), 6094 (2007).
7. J. Alan Rees, David L. Seymour, Claire-Louise Greenwood, Yolanda Aranda Gonzalvo, David T. Lundie, *Plasma Process Polym*, **7** (2), 92 (2010).

8. Robert B. Cody, James A. Laramée, and H. Dupont Durst, *Anal Chem*, **77** (8), 2297 (2005).
9. NaNa, Mengxia Zhao, Sichun Zhang, Chengdui Yang, Xinrong Zhang, *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, **18** (10), 1859 (2007).
10. Heiko Hayen, Antje Michels, and Joachim Franzke, *Analytical Chemistry*, **81** (24), 10239 (2009).
11. Jason D. Harper, et al., *Anal Chem*, **80** (23), 9097 (2008).
12. Ayanna U. Jackson, et al., *Analyst*, **135** (5), 927 (2010).
13. Juan F Garcia-Reyes, *Rapid Commun Mass Sp*, **23** (19), 3057 (2009).
14. Juan F. Garcia-Reyes, *Analytical Chemistry*, **83** (3), 1084 (2010).
15. Asger W Nørgaard, Vivi Kofoed-Sørensen, Bo Svensmark, Peder Wolkoff, Per Axel Clausen, *Analytical Chemistry*, **85** (1), 28 (2012).
16. Hua Wang, et al., *Analyst*, **135** (4), 688 (2010).
17. Thierry Ghislain, Pierre Faure, Raymond Michels, *Journal of The American Society for Mass Spectrometry*, **23** (3), 530 (2012).
18. Markus Himmelsbach, Wolfgang Buchberger, Eva Reingruber, *Polymer Degradation and Stability*, **94** (8), 1213 (2009).
19. Omnia A Ismaiel I, Matthew S Halquist, Magda Y Elmamly, Abdalla Shalaby, H Thomas Karnes, *Journal of Chromatography B*, **875** (2), 333 (2008).
20. Anastasia Albert and Carsten Engelhard, *Analytical Chemistry*, **84** (24), 10657 (2012).

## 作者簡介

江政鴻為國立中山大學機械與機電工程研究所碩士班學生，現為台灣積體電路科技股份有限公司工程師。

Cheng-Horn Chiang received his M.S. from Department of Mechanical and Electromechanical Engineering of National Sun Yat-sen University. He is currently an engineer in TSMC of Taiwan.

陳俊邑為國立中山大學機械與機電工程研究所碩士班學生，現為台灣積體電路科技股份有限公司工程師。

Chun-Yi Chen received his M.S. from Department of Mechanical and Electromechanical Engineering of National Sun Yat-sen University. He is currently an engineer in TSMC of Taiwan.

林哲信先生為國立成功大學醫學工程研究所博士，現任國立中山大學機械與機電工程學系微奈米系統組特聘教授兼任產學長。

Che-Hsin Lin received his Ph.D. from Institute of Biomedical Engineering of National Cheng Kung University. He is currently a distinguished professor in Department of Mechanical and Electromechanical Engineering and the vice president of the Office Global Industry-Academe Collaboration and Advancement of NSYSU.