

# 電子舌技術發展簡介

## Introduction of the Developing Technology of Electronic Tongue

吳仁彰

Ren-Jang Wu

電子舌主要應用於液體分析，辨識原理為模仿生物體味覺系統之圖譜辨識。近十年來電子舌技術在國外迅速的發展，國內也具有相關基礎研究的基礎。本文就電子舌原理、技術發展情況及未來發展趨勢作一介紹，以期對電子舌技術有興趣者有所助益。

The main application of electronic tongue is analysis for liquid sample, and the principle of electronic tongue is recognition of the signal pattern by the way of mimic human taste system. In recent decent the technology of electronic tongue is developed very fast in the world, also the basic study of the technology was established in Taiwan. This paper described the topic of electronic tongue, including introduction, principle, the condition of the under developing and future technology. Wish this work might be helpful for some researchers and interests.

### 一、電子舌的介紹

中國的三字經中有「酸苦甘，及辛鹹，此五味，口所含」，中國人將味覺分成酸、苦、甜、辣、鹹，與現代科學對味道的分類酸、苦、甜、鹹、鮮很類似。隨著量測儀器的進步，電子舌 (electronic tongue) 產品在近年來在許多領域有成為取代傳統品嚐師的舌頭及其他分析儀器的趨勢。

電子舌 (electronic tongue) 又名人工舌 (artificial tongue)，是一種可以在短時間內分辨和定量溶液中不同味覺 (taste) 或化學成分之儀器<sup>(1)</sup>。圖 1 是以電子舌中之味覺感測儀器為例，比較人體味覺功能之示意圖。電子舌的構造是許多化學感測器

(chemical sensor) 組成的陣列 (array) 接觸獲取 (acquisition) 樣品 (sample) 後產生感測信號 (sensing response)，後接資料處理 (data treatment) 系統及味覺比較 (taste comparison) 系統。

電子舌具有分析快速、多用途及可以定性及定量溶液中化學成份的功能。其應用的領域很廣泛，可在食品、工業、環境監測等，未來可望應用於醫療檢測、居家健檢等。

### 二、味覺原理

人體味覺感應是靠舌頭 (tongue)，舌頭構造如圖 2 所示。圖 2(a) 顯示舌頭的表面有舌葉 (foliate)、

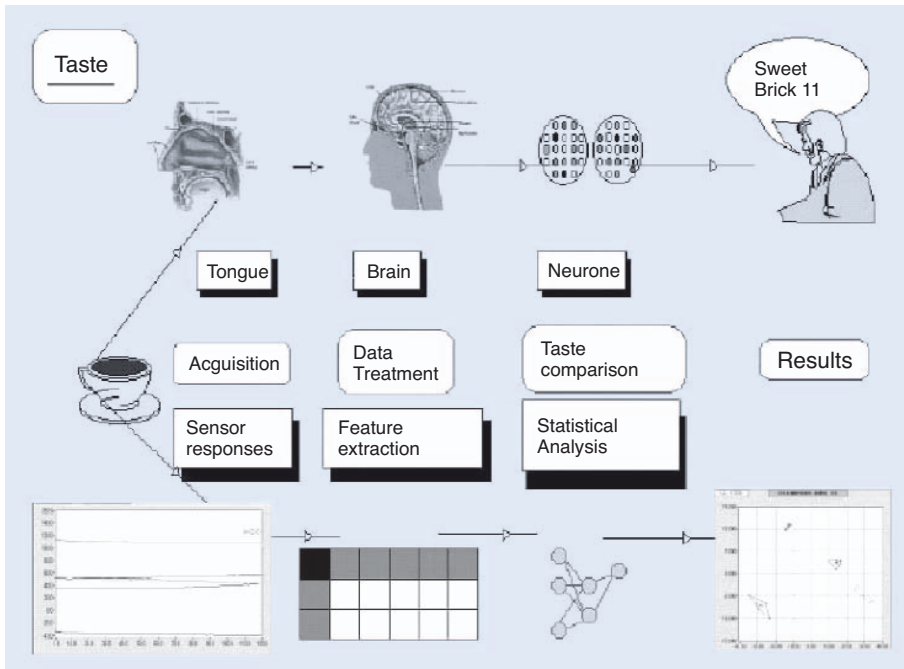


圖 1. 電子舌系統示意圖。<sup>(2)</sup>

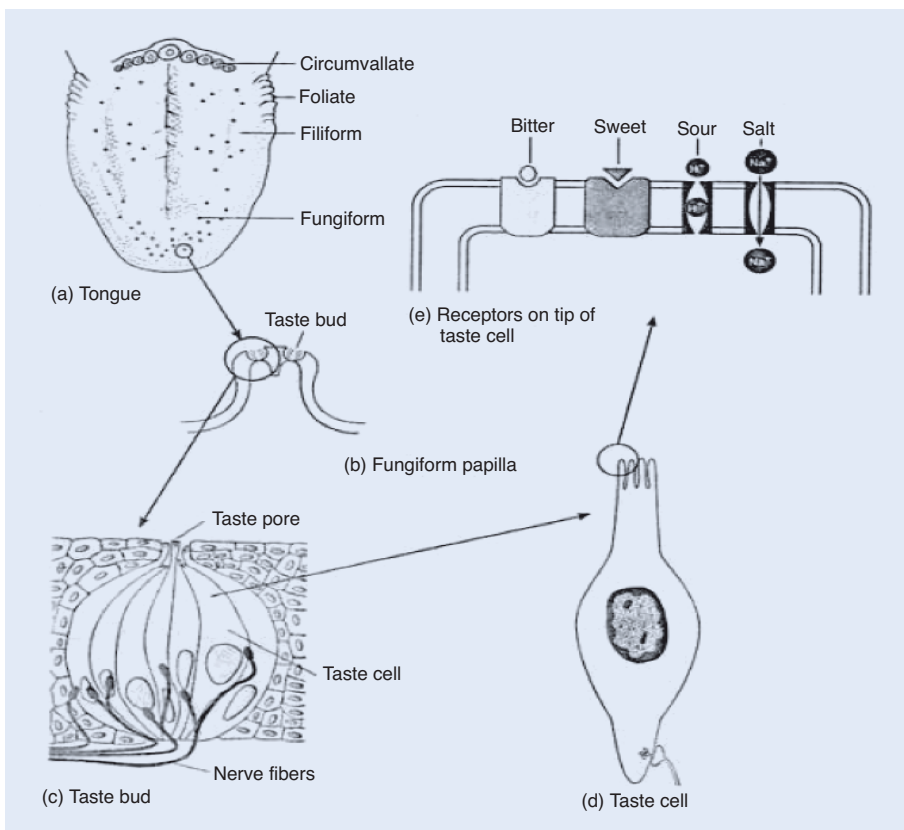


圖 2. 人體味覺系統圖。<sup>(3)</sup>

舌線 (filiform) 及舌菌 (fungiform)；圖 2(b) 顯示舌菌的表面有突起物稱為舌乳 (fungiform papilla)，舌乳上端是味蕾 (taste bud)；圖 2(c) 為味蕾的構造，

味蕾包括味覺小孔 (taste pore)、味覺細胞 (taste cell) 及神經纖維 (nerve fibers)；圖 2(d) 為味覺細胞；圖 2(e) 為味覺細胞尖端的接收器 (receptor)，

接收器上有不同種類的構造，以針對酸 (sour)、甜 (sweet)、鹹 (salt) 及苦 (bitter) 等味覺分子做感應。

味覺原理主要有區域與味覺的理論 (theory of different taste area of tongue)、鎖鑰理論 (theory of lock and key) 及味覺間彼此作用理論 (theory of binary taste-taste interaction)，以下簡述之。

### 1. 區域與味覺的理論

人類的味覺主要是由舌頭感知的。舌面上長有許多的突起物，稱之為舌乳 (papilla)。舌的不同位置對味覺敏感度不同。一般說來舌尖對甜味最為敏感，舌根對苦味最敏感，舌周圍邊沿對鹹味最敏感，舌的兩側中部則對酸最敏感，當然這不是絕對的。舌面上約有五十萬個香蕉形味覺細胞，每 40—60 個味覺細胞組成一個味蕾，味覺細胞頂端有微絨毛，味覺受器 (receptor) 即位於舌表面味蕾尖端的小孔道內，由手指形的微絨毛 ( $0.2 \mu\text{m} \times 2.0 \mu\text{m}$ ) 組成。味覺細胞的其餘表面全部由扁平而不與外界互通的溝狀細胞包裹，故受體的微絨毛只有經由味蕾尖端的小孔道才能與口中唾液接觸。味道刺激分子必須具有一定的水溶性，才能隨唾液流入味蕾小孔中，吸附於味覺受器上而產生味覺。

### 2. 鎖鑰理論

「味覺」的原理早在一八九四年德國科學研究者費雪 (E. Fischer, 1902 年諾貝爾獎得主) 便提出過鎖鑰理論，認為分子和生物細胞之間存在著鑰匙

(key) 和鎖頭 (lock) 之間的關係，亦即某些特定的分子會讓某些細胞出現特定的反應。以味覺來說，不同大小的分子進入味覺細胞，不同的碰觸方式便會產生不同的神經刺激電信號反應，所謂的「酸甜苦辣鹹」各種滋味便由此而生。例如：當化學物質接觸到味覺細胞上的味覺受器或受體即產生味覺，如圖 2(e)，苦和甜的物質與受器接合後，使受器釋出一些其他物質至細胞中；而酸的物質所帶的氫離子會堵住膜上的通道 (channel)；鹹味的物質造成鈉離子通過膜通道進入細胞內。上述的方法均藉著影響離子進入細胞的流動來造成細胞開始傳送訊息。味細胞膜的主要成分是脂質 (lipid)、蛋白質 (protein)、無機鹽 (inorganic salt) 和少量的核酸 (nucleic acid)，在味細胞膜表面不同的磷脂區上各有不同的「味覺」感應，但人們對其瞭解程度尚有限。甜受體的物質成分是蛋白質，苦受體可能與蛋白質也有關聯。味覺實驗證明，味覺從刺激味受體開始感覺到味道，僅需 1.5—4.0 ms，較視覺 13—45 ms 快一個數量級，接近於直接由神經傳導。其中鹹味的感覺最快，苦味的感覺最慢，甜味的感覺居中。舌對四種原味感覺的最低濃度 (即呈味閾值) 也不同。

### 3. 味覺間彼此作用理論

各種味覺同時存在時，彼此間會相互影響，近年來有許多的學者研究，兩種味覺分子同時存在時，彼此間的關係如圖 3<sup>(4)</sup>。美國費城 Monell 化學感測中心的學者 Keast 及 Breslin 認為<sup>(4)</sup>，兩種味覺

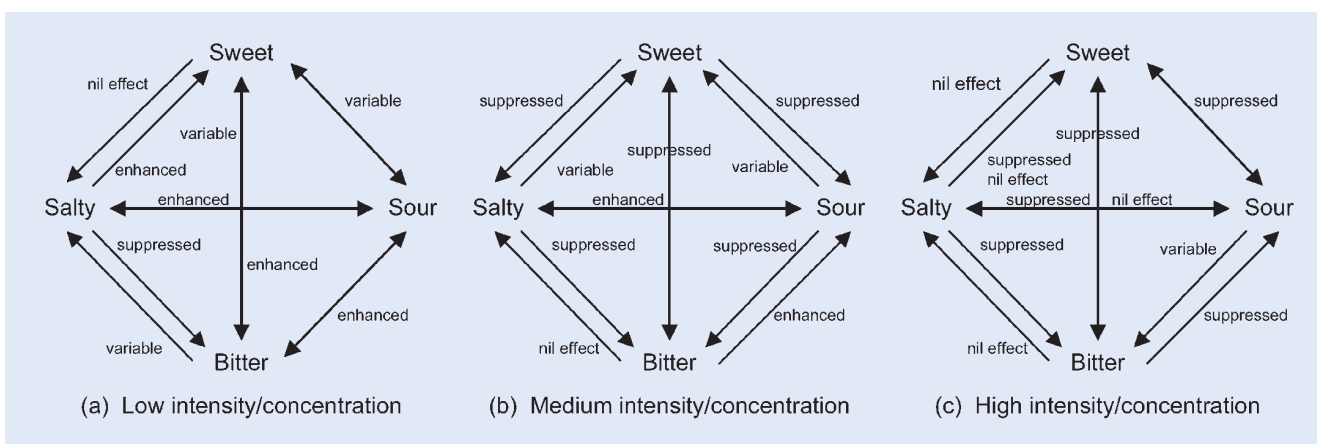


圖 3. 味覺間彼此作用關係。<sup>(4)</sup>

分子彼此之間的作用力有三種，即化學作用力 (chemical interactions)、口腔生理作用力 (oral physiological interactions) 及認知作用力 (cognitive interaction)。由於此三種作用力的影響使得味覺分子彼此之間會隨著味覺分子濃度的變化，低強度／濃度 (low intensity/concentration)、中強度／濃度 (medium intensity/concentration)、高強度／濃度 (high intensity/concentration)，有著加成 (enhanced)、抑制 (suppressed) 或輕微／無影響 (nil effect) 的關係，如圖 3(a)、(b) 及 (c)。

圖 3 也顯示了兩極化的趨勢，即味覺分子在低強度／濃度時，多半呈現加成作用，而味覺分子在高強度／濃度時，則多半呈現抑制作用。例如水溶液在有氯化鈉 (NaCl) 的存在下，可以抑制苦味。中高濃度的糖也可以抑制苦味。

### 三、電子舌的感測原理

在人類的味覺系統中，物質產生味道的原因是由於物質接觸到了舌面上味蕾中味覺細胞內的接收器，物質與接收器上的生物膜 (biological membrane) 作用產生信號，信號再由神經纖維 (nerve fiber) 傳回腦部，由腦部來產生味道的知覺。因此許多研究者在製作電極之感測材料層時，都以仿生材料脂質／高分子膜 (lipid/polymer membrane) 為主。而在感測系統的信號處理方式，與分析化學傳統念不同，並非以高選擇性來選定某

一化學物質，若是按如此原理設計，則某一類食物中的化學物質常超過 1000 種，這樣的感測系統設計將會十分複雜。電子舌的感測系統設計主要為圖譜辨識，即同類味覺的物質具有相類似的圖譜。

根據文獻上來看，電子舌儀器的信號感測原理可以分成電化學式及光學式。

#### 1. 電化學式<sup>(5)</sup>

電化學式又可以分成電壓式、阻抗式及電容式量測原理，其原理為電極之感測材料層與物質產生生化反應產生電信號，此信號可以為電壓、阻抗或電容。電壓信號的計量可以使用電表量測，阻抗及電容信號的計量則可以使用電感電容阻抗電表 (LCZ meter) 量測。電化學式原理的電極感測膜材料一般多使用脂質／高分子膜，商用產品也是如此。但是有一些研究者也嘗試使用貴重金屬電極來作脈衝電壓式的量測 (pulsed voltammetry)。

巴西的研究者 Mattoso<sup>(5)</sup> 嘗試使用六個不同導電性高分子為電子舌之感測電極，材料層為聚吡咯 (polypyrrole) 及聚苯胺 (polyaniline) 等類的材料，以 LCZ 電表量測，結果如圖 4。

#### 2. 光學式<sup>(6)</sup>

利用光學原理來分析溶液中混合物質而製成電子舌儀器，是近幾年發展的新技術，其主要原理是製作對光敏感性化合物的感測材料層，當樣品溶液通過此材料層，就會有光波長或頻率的變化。例如

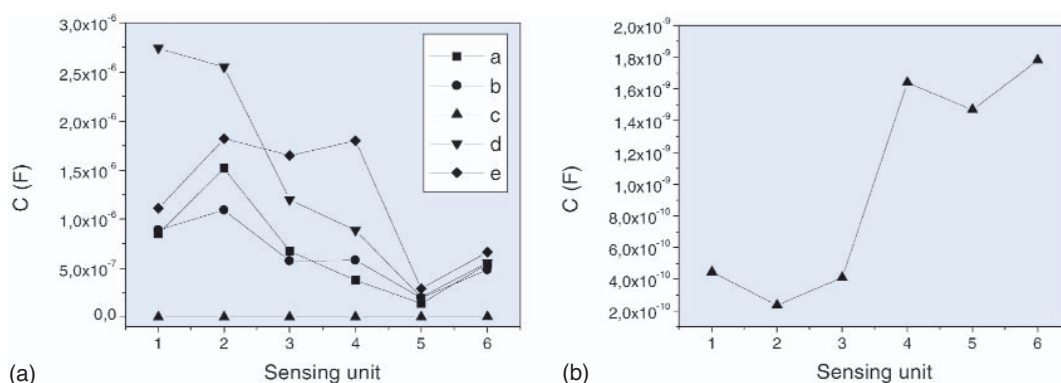


圖 4. 室溫下不同味道樣品之電容 (capacitance, 振盪頻率  $f = 400$  Hz) 量測圖。(a) a: 5 mM NaCl ; b: 5 mM KCl ; c: 5 mM 蔗糖 (sucrose) ; d: 5 mM HCl ; e: home roasted Brazilian coffee ; (b) 5 mM sucrose 更小之電容範圍。<sup>(5)</sup>

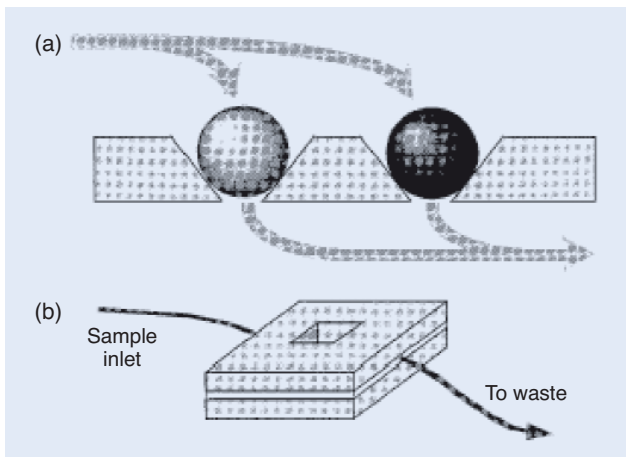


圖 5. 感測器陣列樣品分析系統。(a) 樣品液流入及流出孔穴之小圓珠示意；(b) 樣品液流入及流出孔穴示意。

美國德州 Austin 大學 J. T. McDevitt 教授<sup>(6)</sup> 利用微機電技術的輔助，在  $5 \times 5 \text{ mm}$  大小的矽晶片 (silicon wafer) 上開出許多孔穴，約 100 個，孔穴中填有以聚苯乙烯-聚乙二醇 (polystyrene-poly ethylene glycol), PE-PEG) 為主的材料，約  $100-200 \mu\text{m}$  直徑大小的小圓珠，圓珠內有螢光指示物質 (圖 5)。信號量測方面是以 CCD 偵測器來偵測螢光的變化 (圖 6)。此系統可以測量和分析含有各種生物和非生物化學成分的溶液，包括毒素、藥品、代謝物、細菌和血液樣品等。

#### 四、電子舌的技術發展

電子舌 (electronic tongue) 是近 20 年來快速發展的技術，其觀念最早發展於 1909 年左右，是以發展 pH 玻璃電極為主，1970 年代以後才有以離子選擇電極為主的技術被發展出來。1985 年後，由於類神經網路技術的發達，又由於民生、工業及臨床醫學的需要，因此發展檢測溶液中的味覺：酸、鹹、苦、甜等及離子的感測器就應運而生了。1990 年之後人工類神經網路及電腦速度快速的進展，資料處理與圖譜辨識技術的提升，加上多變數迴歸技術、因子分析技術的進步，促使配搭多通道感測技術新型的人工舌雛型出現。

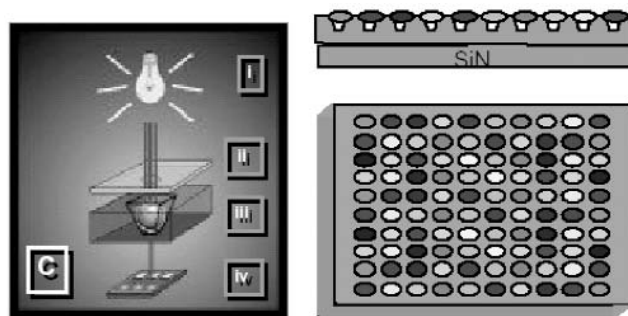


圖 6. 感測器陣列樣品螢光原理之分析系統。

上述技術發展，較有突破性的研究是在 1990 年之後，1990 至 2000 年間日本九州 Kyushu 大學 Toko 教授的研究群發表了一系列味覺感測技術的文章<sup>(7-10)</sup>。一般說來，味覺共分類成五大項，分別是酸 (sour)、甜 (sweet)、苦 (bitter)、鹹 (salt) 及鮮味 (umami)。Toko 利用電位量測的原理，材料方面選擇了 8 種電極，電極感測材料是由不同的脂質 (lipid) 材料混合高分子膜層 (lipid/polymer membrane) 組成，脂質材料分別為油酸 (oleic acid,  $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ , OA)、油氨 (oleyl amine,  $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{CNH}_2$ ,  $\text{OA}_m$ )、癸醇 (decyl alcohol,  $\text{C}_{10}\text{H}_{21}\text{OH}$ , DA)、二辛基磷酸 (dioctyl phosphate,  $(\text{C}_8\text{H}_{17})_2\text{HPO}_4$ , DOP)、三辛基甲銨 (trioctyl methyl ammonium chloride,  $(\text{C}_8\text{H}_{17})_3\text{CNH}_3\text{Cl}$ , TOMA) 及三種不同比例的 DOP : TOMA (9:1, 5:5, 3:7) 脂質材料，參考電極為銀/氯化銀 (Ag/AgCl) 電極，其

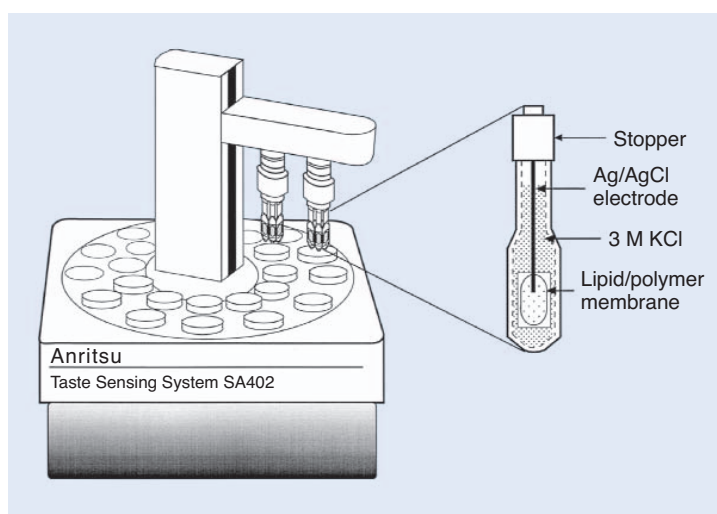


圖 7. 味覺偵測系統 (SA402, Anritsu)。<sup>(7)</sup>

味覺測試系統如圖 7。Toko 設計之味覺感測系統是以圖譜辨識方式 (pattern recognition)，而非單一選擇感測某化學物質的方法，摘要其結果之一如圖 8。圖 8 中之 a、b、c 是帶苦味，圖譜顯示類似的特徵，d、e 及 f 分別代表甜味、酸味和鮮味。

電極偵測氨基酸 (amino acid) 樣品的電壓信號再經過主成分分析法 (the principle component analysis, PCA)，可將數據轉換成圖 9。圖 9 顯示不同味覺的區域圖，圖 9 中 PC1 (mV) 軸代表甜味及苦味程度，而 PC2 (mV) 軸則代表酸味及鮮味程度。

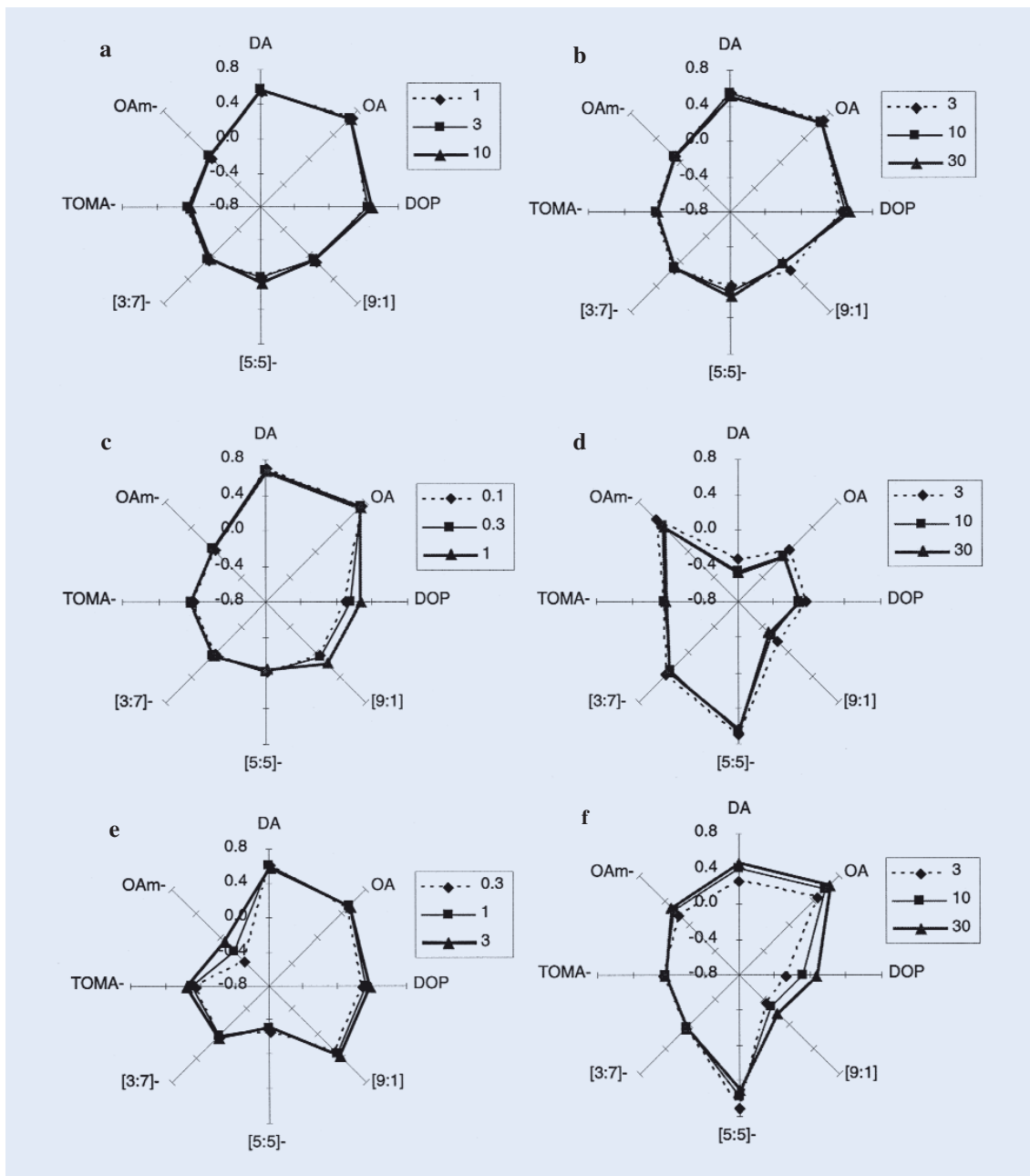


圖 8. 均一化的樣品圖譜 (normalized patterns)。(a) L-白氨酸 (L-tryptophan,  $C_{11}H_{12}O_2N_2$ )；(b) L-苯丙氨酸 (L-phenylalanine,  $C_9H_{11}O_2N$ )；(c) 奎林啞 (quinine,  $C_{20}H_{24}N_2O_2$ )；(d) L-丙氨酸 (L-alanine,  $C_3H_7NO_2$ )；(e) 鹽酸 (HCl)；(f) 穀氨酸 (monosodium glutamate, MSG)。每小圖旁方框內的三個數字代表樣品濃度，單位為 mM。<sup>(7)</sup>

1995 年之後分子辨識材料的快速發展，量測生化分子及複雜溶液中成分的可行性大大提高許多，將其發展歷史簡單整理成表 1。1999 至 2002 年俄國聖彼得堡 (St. Petersburg) 大學化學系 A. Legin 教授的研究群<sup>(11-15)</sup> 針對複雜溶液，例如飲水、飲料、環境廢水、臨床檢體分析，都做了一番研究。文獻結果顯示針對 Cd 及 Pb 等重金屬離子的檢測，電子舌的結果較離子選擇電極 (ion selective electrode, ISE) 的方法好 3 至 5 倍<sup>(11)</sup>。A. Legin 教授使用 12 個對陽離子敏感的離子載體 (ionophore) 與聚氯乙烯 (PVC) 以適當比例混合來當做電極材料<sup>(12)</sup>，以網版印刷碳糊電極 (screen printed carbon paste electrode, SCPEs) 技術，將 12 個感測材料製作在 20 × 33 mm 之基板上。針對一些飲料做分析，圖 10 顯示以 PCA 分析法分析各廠牌啤酒之結果。

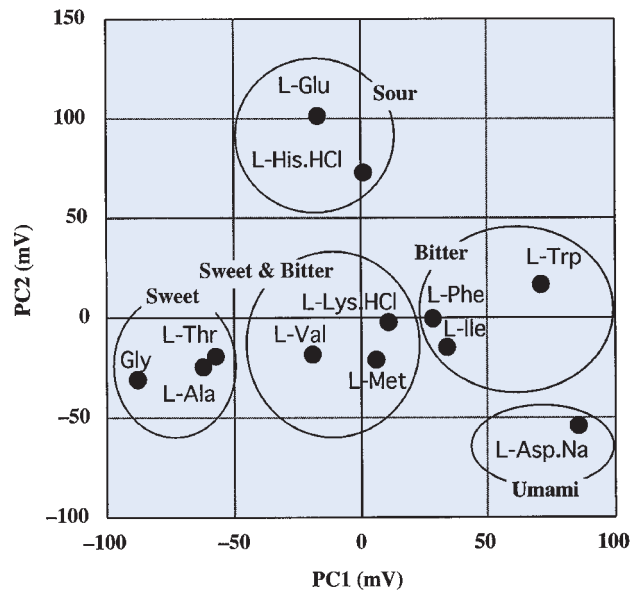


圖 9. 不同氨基酸的味覺區域圖。<sup>(5)</sup>

表 1. 人工舌技術的歷史整理。

年代	操作技術／原理	研究者	機構／國家	產品／應用領域
1909	離子選擇，電位量測	Habor and Klemensiewicz	德國	pH 玻璃電極
1970 後	離子選擇，電位量測	很多研究群	各國家各機構	ISE 離子選擇電極
1985	Artificial neural network (ANN) 資料處理與圖譜辨識系統	D. E. Rumelhart and J. L. McClelland	英國	人工類神經網路 (artificial neural network, ANN)
1990	圖譜辨識／電位量測	K. Toko 及 K. Hayashi 等人	Kyushu 大學／日本	味覺感測器 (taste sensor)，模仿人的味蕾，有 8 個高分子 (PVC, POCC...) sensor，首先多感測器 (multi-sensor) 在溶液中的量測
1985—1993	電位量測	M. Otto 及 K. Beebe 等人	日本	在複雜溶液中離子選擇技術／圖譜辨識法 Ex: $H^+$ , $Na^+$ , $K^+$ , $Ca^{+2}$ , $NO_3^-$ , $Cl^-$ ...
1995	Taste sensor，電位量測	Toko 等人	Kyushu 大學／日本	感度 (sensitivity) 照酸、鹹、苦、甜依序如下 HCl: 50—60 mV/pX NaCl: 50—60 mV/pX Quinine: 50 mV/pX Aspartame: 40 mV/mV
1998—2000	Taste sensor，電位量測	Toko 等人	Kyushu 大學／日本	高分子混合材料 (PVC, dihexadecyl phosphate) sensor, MOSFET 缺點：感測膜壽命較短
1996—2002	電位量測	A. Legin 及 A. Rudnitskaya	聖彼得堡大學／俄國	水質、食品、環境、臨床檢驗...分析
2002	光學式	D. Barrow	University of Cardiff／英國	量測河川水質
1999—2002	光學式	John T. McDevitt	University of Texas at Austin／美國	水質、毒物、生化、細菌、食品、環境、臨床檢驗、HPLC 偵測器...分析

資料來源：工研院經資中心 ITIS 計畫 (2002/12)，經作者整理更新。

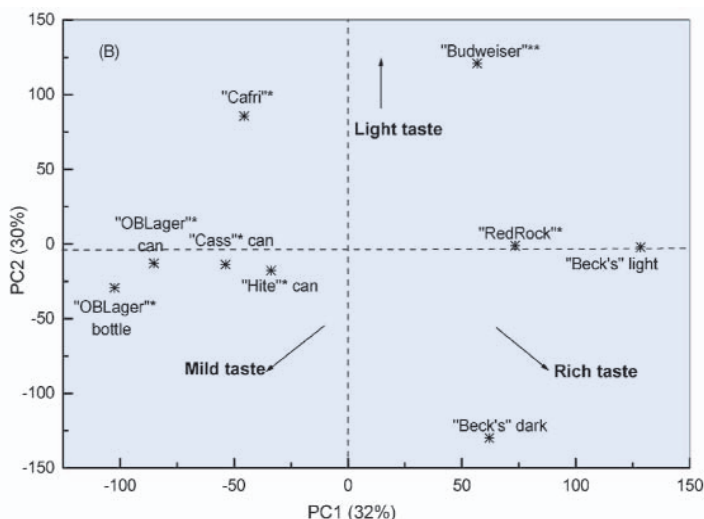


圖 10. 分析各廠牌之啤酒之結果。(12)

因著感測器元件有愈做愈小的趨勢，有研究者開始朝微小化的方向努力<sup>(8)</sup>，圖 11 顯示了場效電晶體 (field effect transistor, FET) 之感測膜部分，FET 的大小只有約  $1 \times 2$  mm，含有 8 個電極，但此種電極膜有信號較不穩定的缺點。針對細菌分析的研究上，瑞典 Linköping 大學的 C. Soderstrom 教授<sup>(16)</sup> 使用金 (Au)、銱 (Ir)、白金 (Pt) 及銻 (Rh) 當作感測電極，參考電極為銀/氯化銀 (Ag/AgCl) 電極，利用脈衝式電位計 (pulsed voltammetry) 技術來檢測一種酵母菌 (yeast)、兩種細菌 (bacteria) 及三種黴菌 (mold)。美國德州奧斯丁大學的 J. T. McDevitt 教授之研究群<sup>(17)</sup> 以矽晶片上附許多感光

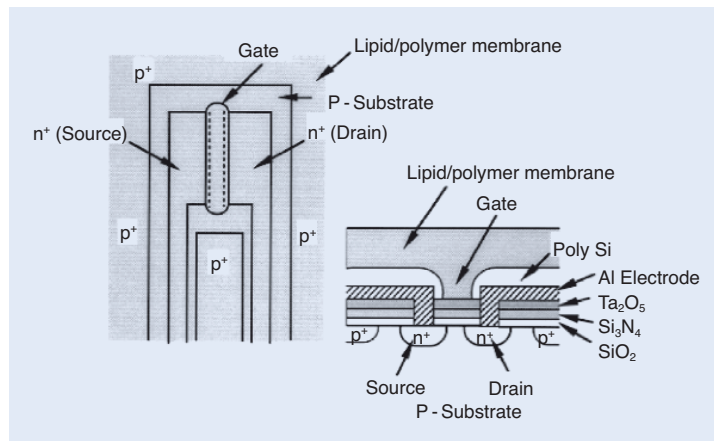


圖 11. 場效電晶體 (FET) 之感測膜部份圖。(8)

化學物質陣列，利用光學原理針對水質、毒物、生化、細菌、食品、環境、臨床檢驗。

縱觀以上技術，預測未來人工舌的技術的發展會朝微小化方向，即實驗室在晶片上 (lab on a chip)、新辨識材料及更多應用領域方面發展。

## 五、國外商品化情況

歐洲及美國在人工舌技術上居世界領先地位，如表 2，從產品的實用性與研發的深度廣度來看，都較其他國家先進。以商品化的角度來看，以法國的 Alpha M.O.S 公司首先推出人工舌的產品，而且技術面也較成熟，日本及韓國也有商品出現。主要應用領域為食品、製藥及飲料。以應用領域的程度

表 2. 成功商品化人工舌產品/技術比較表。

產品名 (型號)	製造公司	上市時間/地點	產品技術 (特點)	產品應用
$\alpha$ -ASTREE	法國 Alpha M.O.S	1999 年 法國	結合 sensor array 及自動取樣技術，可與 HPLC 結果比對，可建立檢量線於儀器內部，可於 3 分鐘內知道結果。可彌補人員感官味覺沒有標準的缺點。	食品，製藥，飲料，R&D 及工廠 QA/QC 之用，未來將開發臨床診斷血液分析
SA 402	Intelligent Sensor Technology, Inc.	2000 年 日本	為多通道味覺感測器，採電化學法，透過脂質混高分子膜，利用阻抗變化原理測知結果	啤酒，礦泉水，咖啡，日本清酒，醬油，醫藥品等
MC505S	McScience Inc.	2002 年 韓國	多陣列電化學感測器：pH 電極，離子選擇電極	醫學，環境，農業，食品，化學等產業，目前應用於酒類分析

資料來源：工研院經資中心 ITIS 計畫 (2002/12)

來看，國外研究狀況以美國及俄國的技術較為廣泛，尤其有關臨床檢測方面，茲將其技術及應用領域整理如後。

英國開發的人工舌可以檢測河流或工業排放廢水中是否含有任何有害物質。這項工作是由戴維·巴洛教授領導的一個研究小組進行的。該系統是基於一種叫做色譜法的分析技術（一種分離混合物質的技術）。在測試時，讓含在液體中的化學試樣流過或通過一種具有較大表面積的、固體的載體表面，比如一種裝滿矽膠珠的玻璃容器。其原理為這些矽膠珠上會有許多不同種類的化學「鉤子」，因此當試樣通過這種矽膠珠柱體的時候，不同的化學成分就會被這種「鉤子」捕捉到不同的區域。這樣，混合的各種化學成分就能夠被分離開來進行分析。加爾帝夫大學的研究人員開發的這種系統的工作原理與此極為相似，但其尺寸卻要小得多。如果利用氫氟酸對一個矽片進行有控制的處理，可在上面刻蝕出上百萬個奈米級直徑的微型小孔及溝槽。巴洛教授說：如果在一平方毫米的矽片表面進行刻蝕，實際上可以得到幾平方米的內部表面積，它實際上就成了一個微小的高效色譜吸附萃取柱，可以將該系統放入到河流或工廠的生產流程線當中，利用它去監測混合的流體。

阿爾法—莫斯公司 (Alpha M.O.S) 是法國生產辨別氣味之儀器的專業公司，幾年前，他們研製成功電子鼻及電子舌的商品，填補了利用電子設備精確測量各種味道的空白。該公司表示，他們研製的電子舌能準確地分辨出酸、甜、苦、辣、鹹等各種味道，並可精確地測定其濃度。這種電子舌可以分析出果汁原料的成分，也可以分析污水成分以及工業廢料排放是否超標準等等。

美國方面以德州奧斯丁大學的 J. T. McDevitt 教授之研究群最為傑出，電子舌是由微加工工藝製成的網狀矽片組成，裡面還有一些小顆粒。與小顆粒相接觸的是化學感測器，它藉由改變顏色對刺激源產生回應。所以矽片被放在光源和成像感測器之間。第一台樣機是為了檢測酸性和黏度而設計的。由於每個感測器能回應不同的物質，從而產生獨特的紅、綠、藍色的組合。它能同時分析若干種化學成分。正是這種感測器的通用性使它適用於測量和

分析含有各種生物和非生物化學成分的溶液，包括毒素、藥品、代謝物、細菌和血液樣品等等。

俄羅斯國立聖彼得堡大學的科研人員開發出的可辨別食品成分及其含量的電子舌。俄專家研製出了多種舌頭 (tongue sensor array)，它們分別由 6 個、11 個或 22 個化學感測器 (chemical sensor) 組成。當把電子舌放入液態或經過碎解的固態食物中後，各個感測器將分別對食物的某一方面情況進行探測。敏感的感測器隨後將有價值的資訊匯總，傳給分析程式，將各種資訊與分析程式中存有的與食品質量、成分相關的各種標準進行一一對照，便可較準確地對食品進行辨別。此種電子舌能辨別啤酒、咖啡、果汁、礦泉水的優劣，找出冒牌貨；揭示食用油和果凍的原料；區分淡水魚和海水魚，鮮肉和冷凍肉；確定動物肝臟中是否有藥物沈積，沈積量有多少。

在韓國生產計量儀器的 McScience 公司，利用離子感測器的電子品味系統基礎技術研發生產的電子舌，能夠當場鑒別韓國國內流通行銷的二十種威士卡的成分真假，為體積只有約香煙盒大小的攜帶式電子舌。

巴西一公司研製出手提電子舌，能精確地測出飲料和食物的味道，取代品酒師和試味專家，且不會因疲倦而導致分辨能力下降。這種電子舌頭能測出酒、茶、咖啡、礦泉水以及其他食物和飲料的質量，原因在於此儀器具有四個化學感應器，其中包括沈積在金質電極上的超薄聚合物薄膜，其與電路相連，當電子舌接觸到待檢驗的溶液時，感應器上的薄膜便會吸收溶解在水中的物質，使電極的電容量改變，四個感應器不同的狀態組合，即代表各種味道，並且在標明甜酸苦等味道的圖譜上顯示出來。透過此精密測量儀器，電子舌在某些方面較人類品味專家更為優勝。例如蒸餾水和礦泉水的味道只有微弱差別，但其特徵在圖譜上卻有明顯差異，用戶因此能夠清楚分辨。

## 六、國內技術發展情況

國內學術界方面，雖然沒有直接研究電子舌儀器的報導，但是近二十年來，許多大學都有許多離

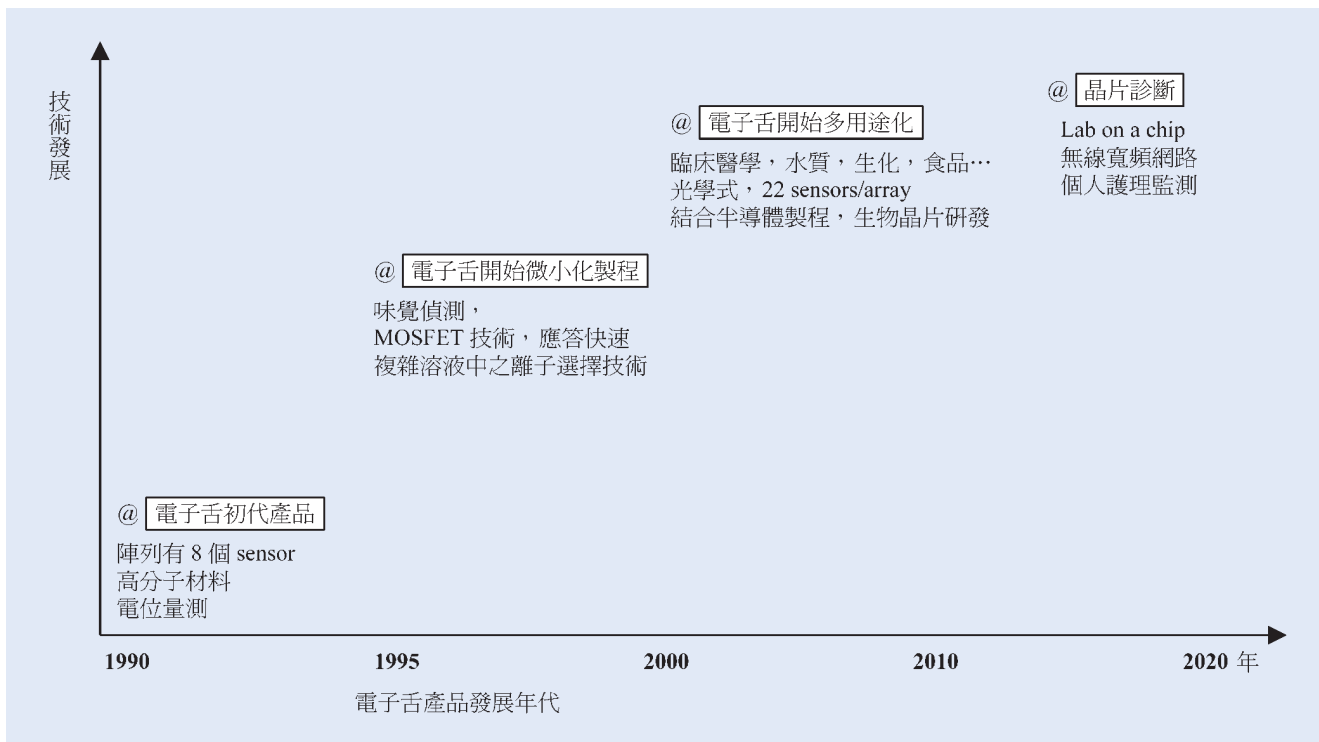


圖 12. 電子舌技術發展趨勢。

子選擇電極、生化感測器及味覺原理的研究。這些都是研究人工舌的基礎。國內研究單位，工研院雖然沒有直接人工舌的開發，但也有關於 pH 電極及離子選擇電極方面的研究。

整體來看，我國目前雖未有電子舌產品出現，但是在學界及業界都有此技術 (離子選擇電極及生化感測器) 的基礎，而且在電子舌的辨識材料技術上，與國外的技術水平相去不遠。國內在類神經網路方面的研究技術也與國外相去不遠，微機電 (MEMS) 技術更是台灣專精的技術，評估未來在電子舌產品開發上，前景仍是看好。

## 七、未來發展

未來電子舌產品預測會朝體積微小化趨勢進行，並結合奈米及仿生技術。感測材料方面，預期會有奈米及生醫材料的新開發、導電性高分子、奈米碳管、奈米線等。產品也會朝多技術功能的結合，如醫療及環境監測結合無線寬頻及網路。圖 12 簡要地顯示電子舌技術的發展趨勢。

## 八、結論

電子舌主要應用於簡單或複雜成分的液體分析，感測原理與傳統之單一性選擇電極不同，為模仿生物體味覺功能之圖譜辨識系統。本文對電子舌的原理、技術發展情況、商品化情況及未來發展趨勢作一介紹，以期對電子舌技術有興趣者有幫助。

## 參考文獻

1. Y. Vlasov, A. Legin, and A. Rudnitskaya, *Anal. Bioanal. Chem.*, **373**, 3, 136 (2002).
2. E. B. Goldstein, *Sensation and Perception*, 6th ed., Wadsworth Publishing (2001).
3. T. T. Tan *et al.*, *LabPlus international*, 16 (Sep. 2001).
4. R. S. J. Keast and P. A. S. Breslin, *Food Quality and Preference*, **14** (2), 111 (2003).
5. A. Riul Jr., A. M. G. Soto, S. V. Mello, S. Bone, D. M. Talor, and L. H. C. Mattoso, *Synth. Metals*, **132** (2), 109 (2003).
6. T. E. Curey, A. Goodey, A. Tsao, J. Lavigne, Y. Sohn, J. T. McDevitt, E. V. Ansyn, D. Neikirk, and J. B. Shear, *Anal. Biochem.*, **293** (2), 178 (2001).
7. K. Toko, *Sens. Actuators B*, **64** (1-3), 205 (2000).
8. K. Toko, *Meas. Sci. Technol.*, **9** (12), 1919 (1998).

9. K. Oohira and K. Toko, *Biophysical Chemistry*, **61** (1), 29 (1996).
  10. K. Toko, *Biosens. Bioelectron.*, **13** (16), 701 (1998).
  11. A. V. Legin, A. M. Rudnitskaya, Y. G. Vlasov, C. D. Natale, and A. D'Amico, *Sens. Actuators B*, **58** (1-3), 464 (1999).
  12. L. Lvova, S. S. Kim, A. Legin, Y. Vlasov, J. S. Yang, G. S. Cha, and H. Nam, *Anal. Chim. Acta*, **468** (2), 303 (2002).
  13. Y. Vlasov, A. Legin, and A. Rudnitskaya, *Sens. Actuators B*, **44** (1-3), 532 (1997).
  14. C. D. Natale, A. Macagnano, F. Davide, A. D'Amico, A. V. Legin, Y. G. Vlasov, A. Rudnitskaya, and B. Selezenev, *Sens. Actuators B*, **44** (1-3), 423 (1997).
  15. Y. G. Vlasov, A. V. Legin, A. M. Rudnitskaya, A. D'Amico, and C. D. Natale, *Sens. Actuators B*, **65** (1-3), 235 (2000).
  16. C. Soderstrom, F. Winquist, and C. Krantz-Rulcker, *Sens. Actuators B*, **89** (3), 248 (2003).
  17. A. Goodey, J. J. Lavigne, S. M. Savoy, M. D. Rodriguez, T. Curey, A. Tsao, G. Simmons, J. Wright, S. J. Yoo, Y. Sohn, E. V. Ansyn, J. B. Shear, D. P. Neikirk, and J. T. McDevitt, *J. Am. Chem. Soc.*, **123** (11), 2559 (2001).
- 
- 吳仁彰先生為國立清華大學化學博士，現任工業技術研究院量測技術發展中心研究員。
  - Ren-Jang Wu received his Ph.D. in chemistry from National Tsing Hua University. He is currently a researcher at the Center for Measurement Standards of Industrial Technology Research Institute.