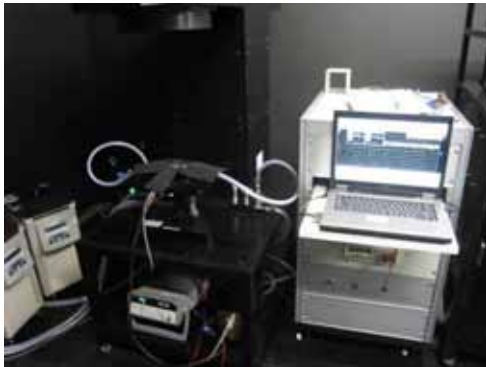




# 檢驗技術簡訊 35

## INSPECTION TECHNIQUE

檢驗技術簡訊 第35期 2011年4月出刊 每季出刊1期



太陽光模擬器法測試配置



Agilent E4991A RF Impedance/Material Analyzer

### ◆ 專題報導

基準太陽電池校正技術探討

電氣科 朱育民

### ◆ 儀器介紹

元素分析儀

化學科 葉志河

射頻阻抗分析儀簡介

電磁相容科 林明山

### 出版資料

出版單位 經濟部標準檢驗局第六組

聯絡地址 台北市中正區濟南路1段4號

聯絡電話 02-23431833

傳 真 02-23921441

電子郵件 irene.lai@bsmi.gov.tw

網頁位置 <http://www.bsmi.gov.tw/>

發行人 謝翰璋

### 工作小組

主 持 人 陳光華

召 集 人 韋士勤

總 編 輯 賴澄如

編 輯 陳世昌 (化工領域)

謝佩君 (生化領域)

謝文馨 (化學領域)

黃宗銘 (高分子領域)

呂彥賓 (材料領域)

汪漢定 (機械領域)

陳秀綿 (電氣領域)

簡勝隆 (電磁相容領域)

顏士雄 (行政資訊)

總 校 訂 賴澄如

網頁管理 王金標 吳文正

印 製 賴澄如

# 基準太陽電池校正技術探討

電氣科 朱育民

### 壹、前言

太陽光電模組檢測認證和產製的成品檢查過程，為正確掌握檢測時模組所受到照射強度的條件，以測得其利用照射之太陽光所轉換成電的性能和效率，基準太陽電池(Reference Solar Cell)常被用來作為監控的重要基準指標，因此基準太陽電池校正的準確性，便成為一項重要的關鍵因素，本文將針對一級基準太陽電池之校正技術進行探討。

### 貳、基準太陽電池校正技術介紹

進行太陽光電產品包括太陽電池和太陽光電模組性能(最大輸出功率和光電轉換效率)檢測時，為了規範相同的測試條件，因此在相關測試標準皆規定統一的標準測試條件(STC)，內容主要包括照射的太陽光譜為 AM1.5G、照射強度為  $1000\text{W}/\text{m}^2$ 、電池的溫度為  $25^\circ\text{C}$ ，其中 AM1.5G 的太陽光譜主要是參考晴空無雲時在大氣層所通過的距離為其直射通過時 1.5 倍路徑的太陽光線，亦即大約與地面夾角為  $42^\circ$  且在特定天候下之太陽光作為基準的太陽光譜，其在各波長之分光照射度可參考 IEC 60904-3[1]標準如圖 1 所示。

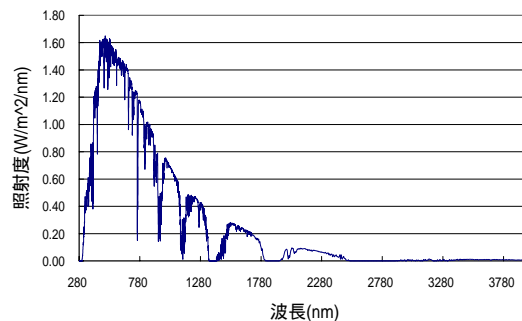
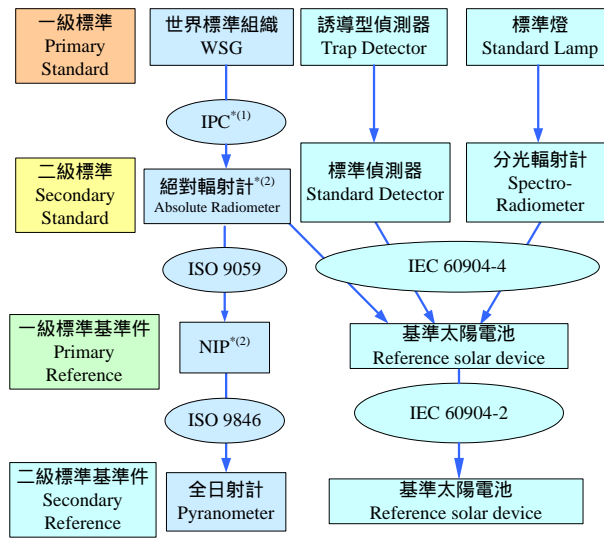


圖 1 AM1.5G 基準太陽光譜

全日射計和基準太陽電池校正追溯體系之建立可參考 IEC 60904-4[2]，其校正機制和追溯鏈如圖 2，該標準中利用不同的校正追溯元件，提供了三種追溯至國際一級標準(Primary Standard)的路徑，其中利用基準太陽電池如圖 3 進行光強度追溯之傳遞具有高穩定性和重現性，因此是目前業界主要的使用方法。

基準太陽電池的校正類別依照向上溯源之不同可區分為一級基準太陽電池校正和二級基準太陽電池校正，二級基準太陽電池的校正即直接追溯至一級基準太陽電池，相關校正之規範可參考 IEC 60904-2[3]標準，一級基準太陽電池的校正則是直接追溯至二級標準，依照 IEC 60904-4[2]標準的相關規定再溯源至一級國際標準單位(SI)，目前國際上一級基準太陽電池主要的校正方法如下：



註：\*(1) IPC：國際直接日射計比對 (International Pyrheliometer Comparison)。  
 \*(2) 絕對輻射計也可提供直接追溯至國際標準單位(SI)輻射計量。  
 \*(3) NIP：法線入射直接日射計 (Normal Incident Pyrheliometer)。

圖 2 基準太陽電池校正追溯體系



圖 3 基準太陽電池

### 一、直接日照法(Direct Sunlight Method)

此方法中基準太陽電池的校正是利用與基準絕對輻射計(Reference Absolute Radiometer)在直接太陽光下照射得到的結果來進行，其校正的追溯基礎是建立在使用直接日射計(Pyrheliometer)來量測直射太陽光的照度，其結果可追溯至世界輻射計基準(WRR)的國際標準機構，在此條件下量測受校正太陽電池之短路電流，並依據 IEC 60891[4]進行照射度和溫度的補償調整，將數值修正至標準測試條件的照射度(1000W/m<sup>2</sup>)和溫度條件(25°C)，此外校正時太陽光譜的條件與基準太陽光譜可能不盡相同，因此得利用分光輻射計(Spectral Radiometer)進行太陽光譜的量測，再依據 IEC60904-7[5]規定進行光譜不匹配修正因子(MM, Mismatch Factor)的計算後進行修正，整個校正原理如圖 4 所示，校正方法所使用之儀器包括如下：

- (一)校正時之設置平台：確保校正基準太陽電池的平面法線與校正時之太陽光入射直線在±0.5°內。
- (二)穴型輻射計(Cavity Radiometer)：量測結果須可追溯至 WRR 國際標準機構。
- (三)準直套筒(Collimator Tube)：可套用在基準太陽電池，具有與穴型輻射計相同

的可視角範圍。

- (四)控溫之安裝平台：維持基準電池校正時溫度在 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的溫控裝置，及相關量測基準太陽電池溫度的設備。
- (五)量測基準太陽電池短路電流的設備：其精度須至少為 $\pm 0.1\%$ 或更佳。
- (六)分光輻射計：用來量測直接太陽光之光譜照射度，其須具有穴型輻射計的可視角度。
- (七)光譜響應計：用來量測基準太陽電池的光譜響應。

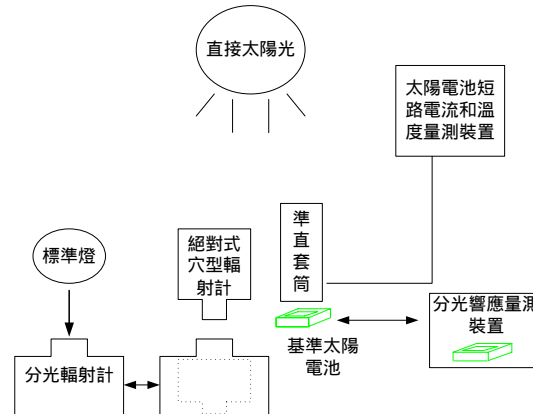


圖 4 直接日照法校正原理

## 二、絕對光譜響應校正法(Absolute spectral response calibration method)

此方法又稱為差分光譜響應校正法(Differential Spectral Response Calibration Method, DSR Calibration Method)校正原理係直接利用基準太陽電池在短路時之光譜響應，應用量測所使用之標準偵測器(Standard Detector)直接追溯至一級標準單位(SI)，應用測得的絕對光譜響應和基準太陽光譜計算得出基準太陽電池之校正值。由於光譜響應的校正係由標準偵測器之照射度經由數十倍的大小轉換至太陽照射度的等級，因此無基準電池線性度和光譜匹配之應用限制，整體上具有較高的性能。整個校正原理如圖 6 所示，校正方法所使用之儀器包括如下：

- (一)單色分光儀：在基準太陽電池的光譜響應波段內，發出之單色光束在截光後其照度至少為 $1\text{mW}/\text{m}^2/\text{nm}$ ，且波長校正須可追溯國際單位。
- (二)具有透鏡或入射光學鏡面的光源：一般採用石英鹵素燈來涵蓋波長 $400\text{nm}$ 以上範圍，並利用氬弧燈來涵蓋波長 $400\text{nm}$ 以下範圍。
- (三)白色偏光用的光源：須符合 IEC 60904-9[6]規定之光譜匹配度、不均勻度、時間穩定度等條件之 CBA 等級以上光源。
- (四)截光後之單色光束：波長校正須可追溯至國際單位，涵蓋至少 1 點或更多離散點之絕對波長校正，不均勻度在校正之光照區域內應小於 $\pm 3\%$ 。
- (五)監控制度偵測器(Monitor Irradiance Detector)：較常使用的裝置為光二極體(Photodiode)，用來監測校正中單色光束發光功率之性能。
- (六)標準照度偵測器(Standard Irradiance Detector)：具溫控裝置可追溯至標準單位 SI，該偵測器為光二極體須具有良好之線性度、均勻度和時間穩定度。

- (七)可調整之光圈裝置：光圈範圍須可涵蓋至基準電池之光照大小。
- (八)維持基準太陽電池溫度在 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 之裝置。
- (九)量測基準太陽電池短路電流、標準偵測器、監控偵測器等元件之輸出交流成分裝置如鎖相放大器。其精度應為 0.1%或更佳，使用在基準電池和標準偵測器的量測裝置應為同一組設備。
- (十)量測基準太陽電池輸出直流成分  $I_b$  之裝置。

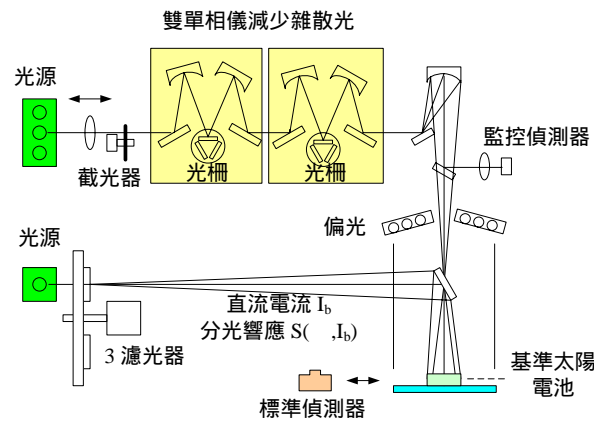


圖 6 絕對光譜響應法校正原理

### 三、太陽光模擬法(Solar simulator method)

本校正方法主要採用太陽光模擬器的絕對光譜分佈和基準電池的相對光譜響應來進行校正之追溯。絕對光譜分佈係由分光輻射計所量測，其追溯即利用分光輻射計校正所使用之標準燈，透過標準燈之校正追溯至標準單位(SI)。透過追溯至 WRR 之穴型輻射計進行太陽光模擬器絕對照度之量測，藉以建立追溯源至 WRR。最後，利用測得之基準電池光譜響應、太陽光模擬器之光譜分佈、AM1.5G 之基準太陽光譜分佈(參考 IEC 60904-3[1])計算得出校正，校正原理如圖 7 所示，使用之儀器包括如下：

- (一)符合 IEC 60904-9[6] 規定 AAA 等級之太陽光模擬器。
- (二)符合 CIE 53:1982[7]規定之分光輻射計。
- (三)符合 IEC 60904-8[8]規定之基準太陽電池光譜響應量測裝置。
- (四)標準燈：可直接由一級標準燈泡校正，並由相互認可或 CCPR/CIE 授權。
- (五)穴型輻射計(Cavity radiometer)：量測結果可追溯至 WRR 國際標準機構，其觀察視角(FOV, field of view)應比太陽光模擬器的發光角域還寬。
- (六)量測基準太陽電池短路電流的設備：其精度須至少為 $\pm 0.1\%$ 或更佳，應符合 IEC 60904-1[9]之相關規定。
- (七)具有維持基準電池校正時的溫度在 $(25\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的溫控裝置，校正之實際配置如圖 8。



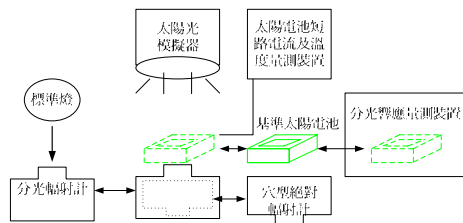


圖 7 太陽光模擬器校正原理

利用太陽光模擬器進行校正方法之量測步驟如下：

- (一) 依照 IEC 60904-8[8]規定在白色偏光照射強度為  $1000\text{W}/\text{m}^2$ 、溫度為  $(25\pm 2)^\circ\text{C}$  條件下進行基準太陽電池之相對光譜響應測試，量測得到之光譜響應為  $S(\lambda)$ 。
- (二) 太陽光模擬器發光在校正平台上之照射度應約為  $1000\text{W}/\text{m}^2$ ，可使用熱光偵測器進行量測如熱電堆(Thermopile)或使用追溯至 WRR 之穴型輻射計進行測試，量測得到照射度為  $G_T$ 。
- (三) 使用分光輻射計進行太陽光模擬器照射在校正平台上之光譜分佈測試，量測得到之光譜分佈為  $E_m(\lambda)$  如圖 9。
- (四) 將受校正之基準太陽電池置放在校正平台上，並將溫度應控制維持在  $(25\pm 2)^\circ\text{C}$ ，量測得到之溫度為  $T_j$ ，並量測得到短路電流為  $I_{sc}$ 。
- (五) 計算太陽光模擬器光譜不匹配之修正係數：

$$MMF = \frac{\int_{300\text{nm}}^{4000\text{nm}} S(\lambda) E_s(\lambda) d\lambda}{\int_{300\text{nm}}^{4000\text{nm}} S(\lambda) E_m(\lambda) d\lambda}$$

其中  $E_s(\lambda)$  為 AM1.5G 之基準太陽光譜

- (六) 計算太陽光模擬器照射度之修正係數：

$$M_G = \frac{1000\text{W} \cdot \text{m}^{-2}}{G_T}$$

- (七) 計算溫度的修正係數：

$$M_T = \frac{1}{1 - T_{coef}(25 - T_j)}$$

其中  $T_{coef}$  為基準太陽電池的溫度係數

- (八) 最後得到基準太陽電池的校正電流值為：

$$CV = I_{sc} \cdot M_G \cdot M_T \cdot MMF$$

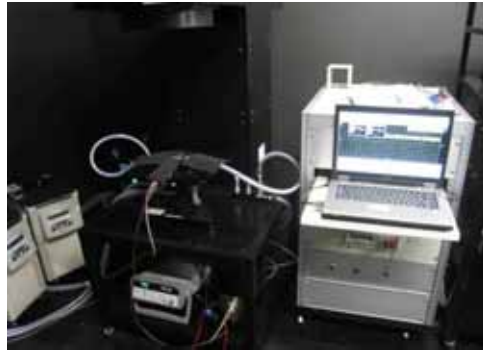


圖 8 太陽光模擬器法測試配置

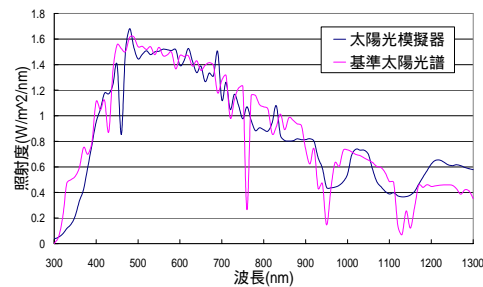


圖 9 利用分光輻射計量測之太陽光模擬器光譜圖

#### 參、校正技術探討

經由上一節的介紹，我們得知國際上目前常用之基準太陽電池校正方法，包括美國 NREL、德國 PTB 和日本 AIST 等著名機構使用之「戶外太陽光照射法」、「絕對光譜響應法」及「太陽光模擬器法」，各方法有其優缺點和適用特性，也具有一定的技術門檻，各國現行的主要校正技術雖有不同，但在實際應用時仍會交互應用來輔助驗證方法的可信度和降低不確定度。

在進行基準太陽電池之校正時，由理論之推導可得到短路電流公式如下：

$$I_{sc} = \int E_s(\lambda) S(\lambda) d\lambda$$

其中  $E_s(\lambda)$ 、 $S(\lambda)$  分別為基準太陽光譜和基準太陽電池的光譜響應，研析各種校正方法的原理和依據即在實現上述的各項參數，有些機構著重在基準太陽光譜的實現或透過量測後進行修正如美國 NREL 和日本 AIST，另外的方法則將重點放在光譜響應之量測，當基準太陽電池的光譜響應測得後可直接引用基準太陽光譜，代入公式後得到理想之短路電流校正值如德國 PTB。

美國 NREL 使用之「戶外直接日照法」，主要利用自然太陽光來進行校正，選擇適當的天候狀況將可得到相當接近 AM1.5G 的基準太陽光譜條件得到真實的  $E_s(\lambda)$ ，因此在此條件下無須量測光譜響應  $S(\lambda)$ ，即可得到標準條件的校正短路電流，但由於需要選擇良好的戶外環境受到天候的限制較多，且需搭配高精確度之絕對輻射計做為參考追溯依據，環境條件和高精度的設備皆不易取得，因此看似簡易的方法，在實現上也不容易。

德國 PTB 使用之「絕對光譜響應法」，首先利用光譜響應量測系統測得相對值，接著在三個以上的數據點上，設法量出其絕對的光譜響應，再利用統計數據的線性規劃法，計算得出基準太陽電池的絕對光譜響應  $S(\lambda)$ ，代入標準的太陽光譜後得出校正的短路電流值，此方法並不用量測校正時所使用之太陽光譜，因此可避免分光輻射計所造成之誤差，理論上可得到良好的量測精度，但就其方法相對的光譜響應量測並不困難，但要測得絕對光譜響應需要一些技術門檻，因此並不容易獲得，且針對不同的材料應用和量測都需要進行調整，因此實現的方法頗為繁瑣困難度也高。

日本 AIST 使用的方法為「太陽光模擬器法」，應用高精準度的分光輻射計測得太陽光模擬器的光譜  $E_m(\lambda)$ ，使用光譜響應量測系統測得基準太陽電池的相對光譜響應曲線  $S'(\lambda)$ ，利用相對光譜和測得的模擬光源光譜，將原本為相對的短路電流，修正至絕對的校正短路電流，其追溯源係使用分光輻射計為二級標準件，校正分光輻射計的標準燈為一級標準件，透過一級標準件參與國際比對建立校正追溯的連結。

#### 肆、結論

綜觀各國採用的方法，使用戶外直接法將受限於地區天候和太陽光譜適用的限制，絕對光譜響應法之絕對光譜響應量測實現並不易，因此總合而論使用太陽光模擬器的校正方法在設備建置上應較易實現，且具有較高之重現性，這也是本組所建置的「太陽光電二級基準件校正實驗室」所採用的試驗方法。

#### 伍、參考文獻

- [1] Photovoltaic devices- Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data, IEC 60904-3, Apr. 2008.
- [2] Photovoltaic devices- Part 4: Reference solar devices- Procedures for establishing calibration traceability, IEC 60904-4, Jun. 2009.
- [3] Photovoltaic devices- Part 2: Requirements for reference solar devices, IEC 60904-2, Mar. 2007.
- [4] Procedures for temperature and irradiance corrections to measure I-V characteristics, IEC 60891, Dec. 2009.
- [5] Photovoltaic devices - Part 7: Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices, IEC 60904-7, Nov. 2008.
- [6] Photovoltaic devices - Part 9: Solar simulator performance requirements, IEC 60904-9, Oct. 2007.
- [7] Method of characterizing the performance of radiometers and photometers, CIE 53, 1982.
- [8] Photovoltaic devices - Part 8: Measurement of spectral response of a photovoltaic (PV) device, IEC 60904-8, Feb. 1998.
- [9] Photovoltaic devices - Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics, IEC 60904-1, Sep. 2006.



## 儀器介紹

### 儀器介紹- 元素分析儀

化學科 葉志河

碳(C)，氫(H)，氮(N)，氧(O)和硫(S)是大部分化合物的主要基本元素，從經典有機化學和藥物分析應用，到工業產品、地質學、農業、環保生物、碳和礦物分析，利用其可燃性元素燃燒產生氧化性氣體之特性，可應用於純物質、混合物、固體、半固體及液體等不同特性之樣品，適用之範圍相當廣泛。目前環保署也指定元素分析儀(如圖一)為檢測廢棄物中相關元素之標準方法，內容詳見如 NIEA R409.21C「廢棄物中碳、氫、硫、氧、氮元素含量檢測方法—元素分析儀法」，顯示本儀器技術之發展成熟，已足以列入我國官方檢測之標準方法。

其分析原理係因樣品含有之 C、H、N、S 等元素在高溫(1150°C)純氧環境下燃燒後，會產生 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、NO<sub>x</sub> 及 SO<sub>x</sub> 等混合氣體，同時以氦氣做為載氣，再將燃燒後產生的混合氣體帶送經過填充銅之還原管，將 NO<sub>x</sub> 及 SO<sub>x</sub> 還原成 N<sub>2</sub> 及 SO<sub>2</sub>，樣品經燃燒還原之完整反應後，樣品中含有之 C、H、N、S 皆會變成 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、N<sub>2</sub> 及 SO<sub>2</sub> 等 4 種氣體，再利用不同分離方式分離這 4 種氣體並偵測這 4 種氣體之含量，即可回推求得相關元素之含量。

目前市售元素分析儀較常採用的分離方法有下列 2 種，第 1 種方法係依各氣體吸附之特性，分別由不同的吸附管內之填充物吸附特定氣體，再利用溫度程控各種氣體之脫附，燃燒還原產生之混合氣體中之 N<sub>2</sub> 直接由氦氣帶入熱傳導偵測器 (Thermal Conductivity Detector, TCD) 檢測其含量，其他氣體則先被吸附，吸附管依序以氣體不同脫附溫度加溫脫附 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O 及 SO<sub>2</sub>，各氣體分析圖譜會回至基線後才會自動進行下個元素之脫附，再分別依序導入 TCD 以檢測個別成分含量，信號經處理後進行定量運算，透過軟體即可自動分別計算氮、碳、氫、硫之重量百分比。第 2 種分離方法則是利用氣相層析法分離上述 4 種氣體，不同氣體在層析管柱的滯留時間皆不相同，不同氣體流出管柱之時間則會有先後順序，而且有很好的再現性，一般的出來的順序為 N<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O 及 SO<sub>2</sub>，再利用熱傳導偵測器檢測各氣體含量，間接可算出各元素之含量。

依據不同廠牌之元素分析儀設計，可一次進樣同時檢測 C、H、N、S 或 C、N、S 等之搭配組合，而 O 之分析原理較不同於其他 4 種元素，而且通常都是選配的配件，但可組合於元素分析儀的本體，可另外分析 O 的含量，其原理係將樣品跟碳黑(或石墨)混合，在高溫(約 1100°C)時產生裂解，產生不完全燃燒，完全轉換生成 CO，再利用非分散性紅外線光度計(ND-IR)測定 CO 之濃度，換算後以測量氧重量百分比；另外亦可採用吸脫附的原理，先吸附 CO 讓伴隨裂解產生之其他氣體，如 N<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 等先行排出，再將 CO 脫附下來以 TCD 測 O 含量。

因空氣中亦存在著不同含量之 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、N<sub>2</sub> 及 SO<sub>2</sub>，故系統操作過程中須避免空氣中相關氣體的干擾，使用高純度 99.995%之氦氣作為載氣及 99.995%之氧氣助燃，以降低不同氣體對樣品分析的正干擾，另外更進一步於氣體流動路徑中加入氣體純化管，其中填充磷酐(Silica pent)及 NaOH 來純化氦氣，另外還有乾燥管，填充磷酐來乾燥氦氣、氧氣及分析氣體。熱傳導係數(Thermal Conductivity)之定義為在單位溫差下，單位時間通過單位面積單位距離的熱量，稱為該物質之熱傳導係數，若以厚度 L 之物質測量，則量測值要乘以 L，所得之值是為熱傳導係數，通常記成 k。氣體具有熱傳導作用，不同的氣體有不同的熱傳導係數，TCD 是根據不同氣體的熱傳導係數而

設計，藉此分析 N<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、SO<sub>2</sub> 或 CO 的含量。



圖一、本局 100 年新購之元素分析儀

## 射頻阻抗分析儀

電磁相容科 林明山

為執行本組科學專案計畫「車用 SoC-EMC 檢測標準及驗證能量建立」，對晶片封裝內焊接金線及引腳取得射頻電路模型，而採購射頻阻抗分析儀。一般儀器對阻抗的量測方法，有自動平衡電橋法(Auto-Balancing Bridge)、射頻電流電壓法(RF I-V)、網路分析儀反射係數法(Reflection Coefficient)，自動平衡電橋法量測頻率為 200MHz 以下，但是可量測阻抗範圍較大(約 10mΩ~100MΩ)，而 RF I-V 法量測頻率為 1MHz~3GHz，但可量測阻抗範圍則較小(約 100mΩ~10KΩ)，至於網儀反射係數法可量測頻寬最大，一般 100KHz 以上均可量測，可是量測阻抗範圍為用於量測之傳輸線特徵阻抗附近，較為準確。

此次本組所採購之阻抗分析儀是 E4991A(圖 1)，其量測原理是射頻電流電壓法，可量測頻率為 1MHz~3GHz，解析度可達 1mHz，阻抗量測範圍為 0.2Ω~3KΩ，至少可量測  $|Z|$ (阻抗值大小)， $\theta_z$ (阻抗值相角)， $|Y|$ (導納值大小)， $\theta_y$ (導納值相角)，R(電阻)，X(電抗)，G(電導)，B(電納)，Cs(電路模型串聯電容)，Cp(電路模型並聯電容)，Ls(電路模型串聯電感)，Lp(電路模型並聯電感)，Rp(電路模型並聯電阻)，Rs(電路模型串聯電阻)，D(耗損因子)，Q(品質因子)， $|\Gamma|$ (反射係數大小)， $\theta_\Gamma$ (反射係數相角)， $\Gamma_x$ (反射係數實部)， $\Gamma_y$ (反射係數虛部)等參數，基本準確度為±0.8%，測試端口為 7mm N 接頭，可支援頻率及信號位準掃描，具備開路、短路、50Ω 負載及低損耗電容校正功能，治具補償功能，提供電容、電感、電阻、振盪器等等效電

路模型，16 組分段掃描，8.4 吋彩色 TFT LCD 螢幕，可顯示 3 條實數掃描曲線及 2 條複數掃描曲線，9 個 marker，800 掃描點，具備圖形化顯示方式，可用滑鼠操作及放大縮小，具備 GPIB 及 LAN 等介面，可遠端操控，提供 7mm 到 3.5mm 接頭轉接器，可提供 3 組 S 參數模型，並將 S 參數計算結果以 CITI 檔案格式輸出。另外加裝 16453A/454A 治具可用於量測介電係數(permittivity)及導磁係數(permeability)，量測頻率可達 1GHz，因為量測材料基本電磁參數非本次採購之目的，故未採購相關治具套件。

阻抗分析儀實際量測操作時，須先將量測校正面由儀器的 7mm 接頭端口，透過量測開路、短路、50Ω 負載等校正件，移到連接測試件的接頭端口，若測試件為高 Q 元件，即低損耗高儲能元件，則必須再加上量測低耗損電容校正件，如此校正後量測出來的阻抗數據會比較正確。整體而言，此儀器操作介面簡易近人，相關功能也容易尋找，是相當便利順手的好工具。

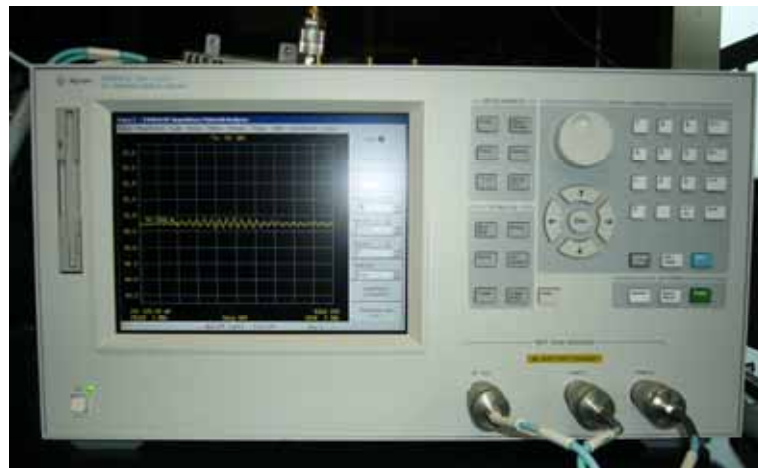


圖 1 射頻阻抗分析儀