

高準確度電性量測解決方案

便捷 精確 快速

- 充電電池自發性循環
- 電晶體 I-V 特性分析
- 使用大電流進行低電阻量測
- 太陽能電池和太陽能面板 I-V 特性分析

在對主動式或被動式裝置進行特性分析時，使用合適的工具能讓測試變得更準確、便捷。例如：電阻測試、電晶體的 I-V 特性測試、電池等儲能設備的充放電測試等等。這些測試需要為待測裝置提供激勵訊號，並同時進行準確的電壓或電流的量測。有些測試需要多台設備同時運作以進行對多引腳裝置的 I-V 特性分析。在更特殊的測試中，需要設備能作為負載，同時也要能對外部傳導進來的能量予以吸收。



充電電池自發性循環

為什麼要測試充電電池？

充電電池或二次電池是筆記型電腦、視訊遊戲控制器、行動電話、數位相機和程式控制設備等電子設備中常見的裝置，用來取代一次電池。為了改進或取代現有電池技術，研究人員正在研究延長充電電池壽命以及降低充電電池成本的方法。



充電電池類型有哪些？

充電電池常見類型包括鋰離子 (Li-ion)、鎳氫 (Ni-MH) 和鎳鎘 (NiCd) 電池。

如何對充電電池進行特性分析？

通常使用放電和充電 (Galvanic) 循環對充電電池進行特性分析。循環測試提供有關電池內部化學、容量、可用週期數和壽命等資訊。在生產測試中，經常進行放電 / 充電週期測試，以驗證電池規格，確保其沒有缺陷。

充電電池主要標準

- 恆定電流充電和放電
 - √ 用電池容量來定義
 - √ 容量是電池可以儲存電荷的數量。
- 電池儲存容量
 - √ 以毫安培 - 小時 (mAh) 來衡量
 - √ 通常用放電或負載電流來表示
- 放電速率
 - √ 在 1 小時內從整個電池釋放的電流稱為充電率 (C-rate)
 - √ 範例：
 - ▶ 如果以 1C 放電，則額定值為 1000mAh 的電池 1 小時輸出 1000mA。
 - ▶ 如果 500mAh 電池放電電流是 50mA，則其放電率為 0.1C，在 10 小時可以輸出 50mA。

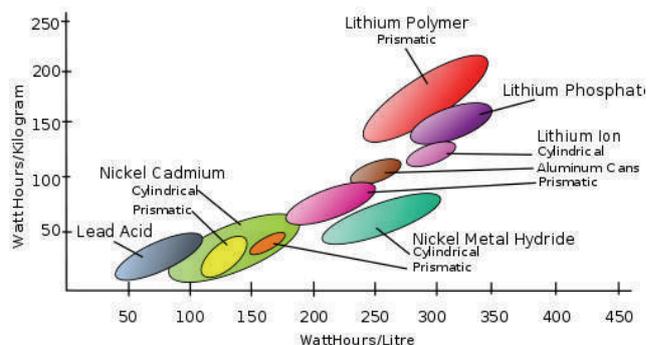


圖 1. 二次電池能量密度 (來源：Wikimedia Commons)



充電電池自發性循環

如何測試充電電池？

● 充電循環

電池通常使用恆定電流進行充電。這可以利用電源量測設備(SMU)作為電壓來源來完成，將其設定為電池電壓額定值，利用期望的充電電流作為電流限幅。開始測試時，電池電壓低於電源量測設備(SMU)的電壓輸出。因此，這個電壓差驅動電流立刻達到使用者定義的電流限幅。此時，電源量測設備(SMU)作為恆定電流源，直到達到設定的電壓位準。隨著電池完全充電，電流將下降，直到電流達到零或接近零。

▶ 測試標準 (請參見圖 2)

- √ 在輸出模式下運作的電源量測設備 (SMU)
- √ $V_S > V_B$
- √ 電源量測設備 (SMU) 作為電源
- √ 充電電流 (I) 為正

● 放電循環

當電池放電時，電源量測設備(SMU)作為陷阱或電流負載，因為它消耗功率而不是為其提供電源。電源量測設備(SMU)的電壓源設定為低於電池電壓。電流限幅設定放電速率。當輸出啟用後，電池電流流入電源量測設備(SMU)的HI端。因此，電流讀數為負值。放電電流應當保持恆定，直到電池電壓下降至電源量測設備(SMU)電壓源設定值。

▶ 測試標準 (請參見圖 2)

- √ 在輸入模式下運作的電源量測設備 (SMU)
- √ $V_S < V_B$
- √ 電源量測設備 (SMU) 作為電子負載
- √ 放電電流 (I) 為負

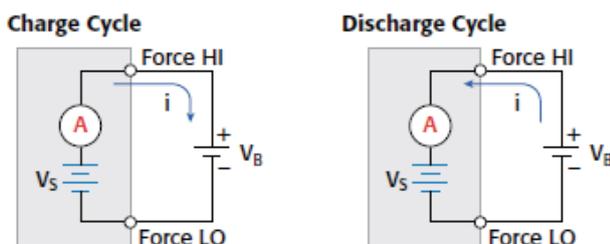


圖 2. 充電和放電電路圖

可繪圖的電源量測設備 (SMU) 顯示測試資料

可繪圖的電源量測設備(SMU)可以顯示前面板結果(圖 3)，也可以顯示輸出至 Excel 用於繪圖的資料(圖 4)。



圖 3. 可繪圖電源量測設備 (SMU) 可以顯示負載電流、電池電壓以及充電或放電經過的時間

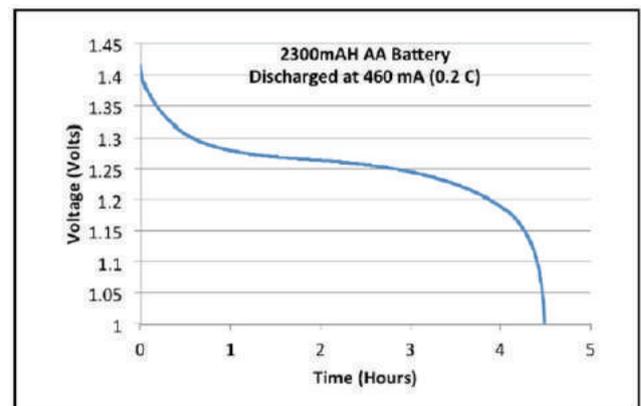


圖 4. 2500mAh D 充電電池放電特性

使用大電流進行低電阻量測

為什麼要量測低電阻？

量測低電阻有助於識別可能隨時間變化的電阻要素，以及它們是否增加超過接收的電阻值。通常，開始時在量測低電阻，然後稍後再量測電阻，以確定環境、熱量、疲勞、腐蝕、振動或可能發生的其他條件變化是否影響裝置或材料降級是否影響。對於大功率電阻器、斷路器、開關、母線、電纜和連接器，通常使用大電流量測低電阻。對於超導等材料，也使用低電阻量測。



如何進行低電阻量測？

利用大電流量測低電阻(<100W)時，首先施加電流 (I)，然後量測作為結果的電壓 (VM) (圖 1)。電源量測設備 (SMU) 等儀器能夠自動計算電阻。測得的未知電阻之間的電壓取決於供應的電流量和電阻值。

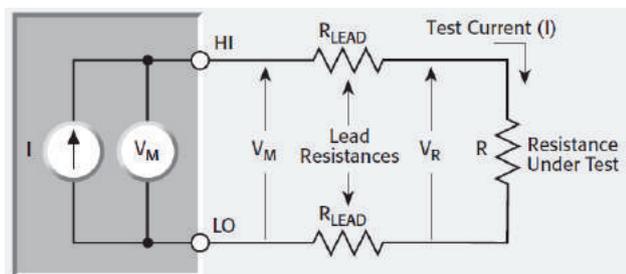


圖 1. 使用電源量測設備 (SMU) 進行兩線電阻量測

可能出現哪些量測問題？

低電阻量測容易受到引入誤差源，包括引線電阻、熱電壓和裝置自熱。

- **引線電阻**：如圖 1 所示，各種測試引線都具有一定的電阻，大約是 100 毫安培。如果引線足夠長，這可能導致不準確的量測。
- **熱電壓**：當電路的不同部分處於不同溫度以及當不同材料導體組合在一起時，會產生熱電動勢或熱電壓。實驗室中的溫度波動或者敏感電路附近的氣流可能導致測試電路中的溫度梯度，進而可能產生幾毫伏的熱電壓。
- **裝置自熱**：低電阻量測使用的測試電流往往比高電阻量測所用電流大很多，因此，如果裝置中的功率消耗足夠高，就應該考慮，因為這可能引起裝置阻值的變化。電阻器功耗計算公式是 $P = I^2 R$ 。當電流增倍時，裝置中功耗將增加 4 倍。

如何進行成功的低電阻、高電流量測？

使用 4 線方法

圖 2 指示 4 線 (開爾文) 連接方法是低電阻量測的首選方法，可消除引線電阻。

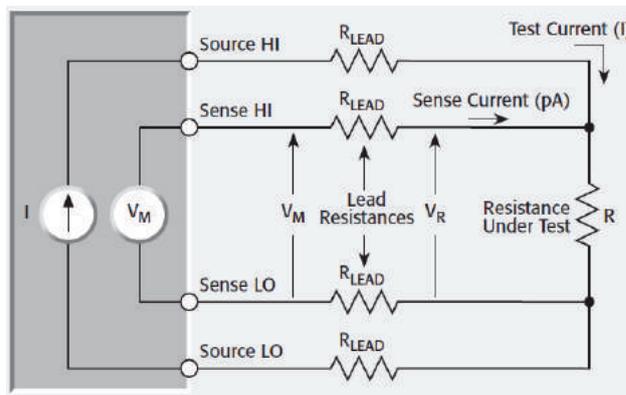


圖 2. 4 線開爾文連接方法

使用大電流進行低電阻量測

使用 4 線方法時，會透過與測試電阻 (R) 相連的測試引線施加測試電流 (I)，並透過第二組引線 (稱為偵測引線) 量測待測裝置電壓 (VM)，該電壓通常微不足道，實際上一般都會忽略。偵測引線之間的電壓非常微小，因此儀錶 (VM) 量測的電壓與電阻 (R) 電壓 (VR) 基本相同。利用 4 線方法所測得的電阻值要比二線方法更加準確。



圖 3. 繪圖電源量測設備 (SMU) 可以顯示源電流和 4 線電阻量測，具有高準確度

使用偏移補償電阻方法

為了將熱電動勢降為最低，一般使用偏移補償電阻方法。如圖 4a 所示，在量測週期的前半部分，向待測電阻施加源電流。當輸出電流導通後，儀錶測得的整個電壓 (圖 4b) 包括電阻電壓降一級熱電動勢。在量測週期的第二部分，輸出電流設定為零安培，儀錶測得的電壓 (圖 4c) 是電路中的電動勢。由於在量測週期的後半部分 VEMF 是精確量測，可以從前半部分的電壓量測中減去 VEMF，因此偏移補償電壓量測成爲：

$$V_M = V_{M1} - V_{M2}$$

$$V_M = (V_{EMF} + IR) - V_{EMF}$$

$$V_M = IR$$

$$\text{以及 } R = V_M / I$$

此外，注意量測過程抵消熱電動勢 (VEMF)

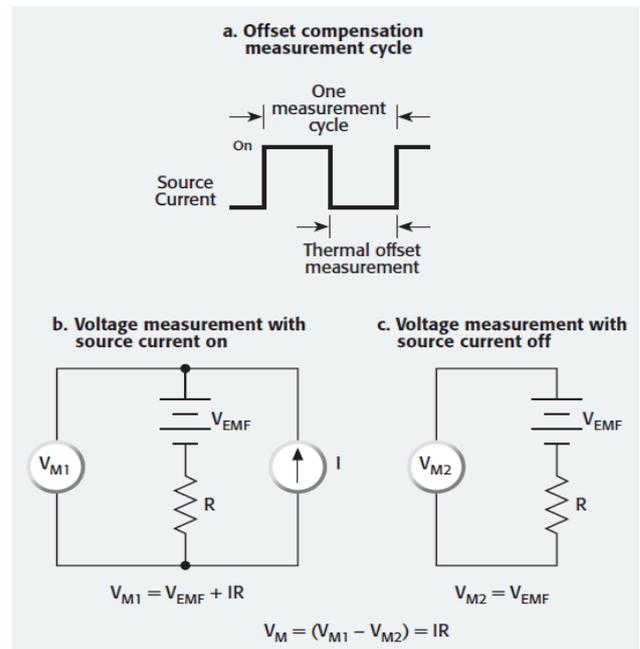


圖 4. 偏移補償電阻方法

電晶體 I-V 特性分析

功率電晶體與射頻電晶體

電晶體直流特性分析

半導體裝置(如電晶體)是電子產品的基礎。在各種研發背景中的大多數裝置需要進行電氣特性分析，如研究實驗室、晶圓廠、大學、裝置製造商等。分立電晶體用於功率管理、電壓調節、開關和電信(射頻)功率放大器等諸多應用。

近年來通訊業成長迅速，對更寬頻寬和更大移動性的需求是通訊業創新的主要動力。通訊整合電路是持續創新的關鍵。對於旨在傳輸和接收資料的無線網路而言，在高頻段放大訊號的能力至關重要。這個任務通常是利用射頻功率放大器和低雜訊放大器實現的。



電晶體的類型有哪些？

在通訊應用中，大多數功率放大器在高頻操作。這個極高頻範圍意味著從經濟角度看，傳統互補金屬氧化物半導體(CMOS)製程並不適合製作放大器。因此，通常使用與之不同的高遷移率半導體材料，如 GaAs、SiGe 或其他 III-V 族半導體材料。這類非放大器最常用的構建模組不是 CMOS 電晶體，而是金屬半導體場效應電晶體(MESFET)、異質結雙極電晶體(HBT)、贗配高電子遷移率電晶體(PHEMT) 以及橫向擴散金屬氧化物半導體電晶體(LDMOS)。

電晶體測試

對同類電晶體或射頻電晶體進行電氣特性分析有幾種方法。雖然可以綜合運用不同電壓 / 電流來源和電流 / 電壓儀錶組合進行量測，最近的儀器進展使得簡化了這個方法。利用電源量測設備(SMU)，不僅使量測設定更加靈活，而且對量測結果更具信心。包括兩個埠以上的測試裝置通常需要一個以上的電源量測設備(SMU)。圖 1 指示設定實例。

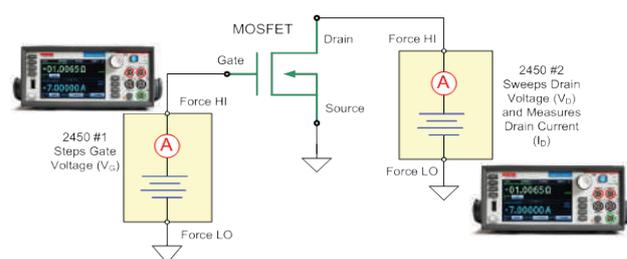


圖 1. 使用兩個電源量測設備 (SMU) 測試 MOSFET 裝置的設定實例

對電晶體進行 IV 特性分析時常見的量測

- 漏電壓 (V_D) - 在場效應電晶體漏極端子處的電壓稱為漏電壓。
- 漏電流 (I_D) - 在電壓源作用下通過漏極端子的電流稱為漏電流。透過漏電流可以洞察裝置工作和效率。
- 其他常見量測包括：
 - ▶ 柵極電壓 (V_G) • 柵極電流 (I_G) • 閾值電壓 (V_{TH})
 - ▶ 擊穿電壓 (V_B)
 - ▶ 結漏電流 (I_{CEO})
 - ▶ 直流電流增益 (β)

電晶體 I-V 特性分析

功率電晶體與射頻電晶體

異質結雙極電晶體 (HBT) 的典型量測設定

異質結雙極電晶體 (HBT) 是雙極結電晶體 (BJT) 的一種，在發射區和基區使用不同的半導體材料，如此，發射結就形成了一個異質結。異質結雙極電晶體 (HBT) 改進了雙極結電晶體 (BJT)，因為這可處理電信產業中常見、高達數百吉赫的極高頻訊號。在需要高功率效率的應用中也常會使用，如手機中的射頻功率放大器。

圖 2 指示兩部電源量測設備 (SMU) 儀器與裝置的连接。第一台電源量測設備 (SMU) 儀器連接異質結雙極電晶體 (HBT) 的基極和發射極，第二台電源量測設備 (SMU) 儀器連接其集電極和發射極。

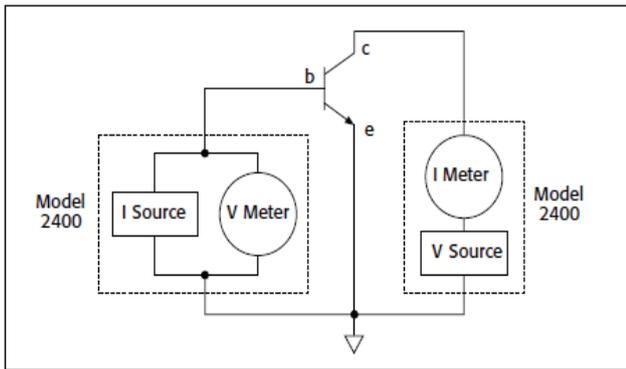


圖 2. 量測異質結雙極電晶體 (HBT) 集電極 I-V 曲線的儀器設定

為了得到 HBT 異質結雙極電晶體 (HBT) 集電極曲線，基極電源量測設備 (SMU) 儀器會設定為輸出電流並量測電壓。集電極電源量測設備 (SMU) 儀器設定為掃描電壓並量測電流。在第一個基極電流設定後，對集電極電壓進行掃描，同時量測集電極電流。然後，對基極電流進行階躍，再次對集電極電壓進行掃描，同時量測集電極電流。重複這個過程，直到得到不同基極電流位準時的集電極 I-V 曲線。

電晶體系列曲線

典型異質結雙極電晶體 (HBT) 集電極曲線如圖 3 所示。

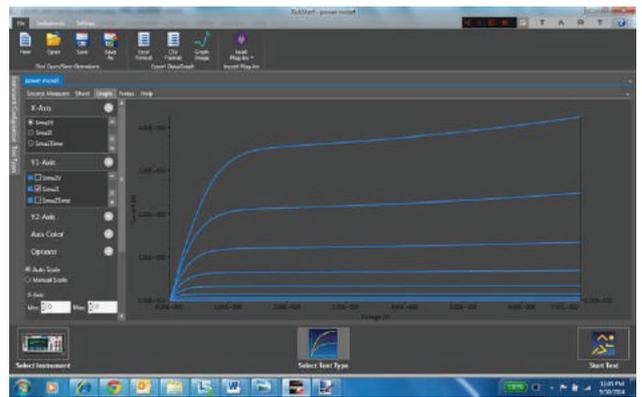


圖 3b. 利用吉時利 KickStart 軟體控制兩部 2450 型互動式電源量測設備 (SMU) 得到的電晶體集電極曲線

太陽能電池和太陽能面板 I-V 特性分析

太陽能電池 I-V 特性分析

太陽能或光伏 (PV) 電池是從光源中吸收光子然後釋放電子的裝置，當電池與負載相連時促使電流流動。光伏電池研究人員和製造商致力於以最低的成本實現最高的效率。因此，對光伏電池和光伏材料進行電氣特性分析是研究、開發和製造過程的組成部分。對太陽能電池進行電流 - 電壓特性分析可以獲得有關電池效能的重要參數，包括最大電流 (I_{max}) 和最大電壓 (V_{max})、開路電壓 (V_{oc})、短路電流 (I_{sc}) 及效率 (η)。



太陽能電池和太陽能面板 I-V 特性分析中常見的量測

- 開路電壓 (V_{OC}) - 開路電壓 V_{OC} ，是太陽能電池的可用最大電壓，這是電流為零時的電壓。在下面的 IV 曲線中指示開路電壓。
- 短路電流 (I_{SC}) - 短路電流是當太陽能電池電壓為零時通過它的電流，即太陽能電池短路時的電流。在下面的 I-V 曲線中指示短路電流。

其他常見量測包括：

- 分流電阻 (R_{SH})、轉換效率 (η)、最大功率輸出 (P_{max})、最大功率輸出點電壓 (V_{max})、電阻率、工作週期因數、串聯電阻 (R_S)

圖 1 指示用來對太陽能電池進行特性分析的三個參數：最大功率點 (P_{max})、短路電流 (I_{sc}) 及開路電壓 (V_{oc})，該圖指示照明太陽能電池的典型正向偏壓 I-V 曲線。最大功率點 (P_{max}) 是最大電流和最大電壓 (V_{max}) 的乘積，此時太陽能電池的輸出功率最大。這個點位於曲線的「彎曲處」。

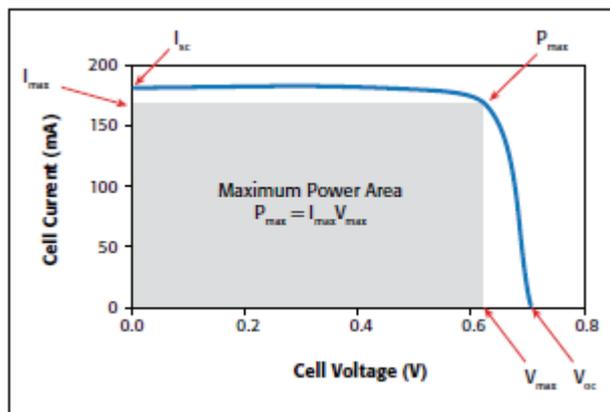


圖 1. 典型的太陽能電池正向偏壓 I-V 特性

太陽能電池和太陽能面板 I-V 特性分析

太陽能電池和面板測試

太陽能電池研究人員和使用者關注的重點是提高太陽能電池效率，實現能量提取的最大化。這需要 I-V 量測，以對太陽能電池效能進行特性分析。電源量測設備 (SMU) 是光伏 I-V 特性分析的業界標準，非常適合太陽能電池測試，因為這些設備能：

- 提供業界最寬的動態範圍，具有高電流和低電流能力
- 作為高準確度電子負載，具有加大電流能力
- 提供 20-100 W 的功率範圍
- 處理高負載阻抗，包括電容負載，如：太陽能電池

下方圖 2 指示在太陽能電池 I-V 特性分析中使用的電源量測設備 (SMU)。

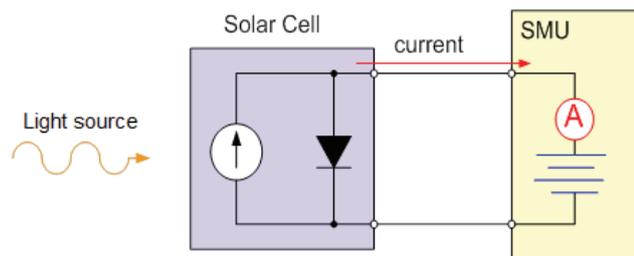


圖 2. 在太陽能電池 I/V 特性分析中使用的電源量測設備 (SMU)

可繪圖電源量測設備 (SMU) 顯示太陽能電池或太陽能面板資料

可繪圖的電源量測設備 (SMU) 可以顯示正向偏壓太陽能電池或太陽能面板的 I-V 曲線以及用於對太陽能電池或太陽能面板進行特性分析的 3 個參數，如圖 3 所示。



圖 3. 可繪圖的電源量測設備 (SMU) 可以顯示太陽能電池的 I-V 曲線，並顯示最大功率 (Pmax)、短路電流 (Isc) 和開路電壓 (Voc)。

什麼是 SourceMeter 電源量測設備？

SourceMeter 也稱為電源量測設備 (SMU)，是一種能夠對待測裝置 (DUT) 同時進行輸出和量測的測試設備。典型的電源量測設備 (SMU) 具有以下 5 種功能：輸出電壓、輸出電流、量測電流、量測電壓、量測電阻。這些儀器可以在寬電流和電壓範圍進行輸出和量測。在大多數情況下，這些功能是組合使用的：同時輸出電壓並量測電流，或者同時輸出電流並量測電壓。

欲瞭解更多資訊，請登入公司網站 (tw.tek.com)：

- 更詳細的 SMU SourceMeter 介紹
- 更多的 SMU SourceMeter 應用摘要

Tektronix 聯絡方式：

東南亞國協/大洋洲 (65) 6356 3900
奧地利* 00800 2255 4835
巴爾幹半島、以色列、南非及其他 ISE 國家 +41 52 675 3777
比利時* 00800 2255 4835
巴西 +55 (11) 3759 7627
加拿大 1 (800) 833 9200
中東歐、烏克蘭及波羅的海諸國 +41 52 675 3777
中歐與希臘 +41 52 675 3777
丹麥 +45 80 88 1401
芬蘭 +41 52 675 3777
法國* 00800 2255 4835
德國* 00800 2255 4835
香港 400 820 5835
印度 000 800 650 1835
義大利* 00800 2255 4835
日本 81 (3) 67143010
盧森堡 +41 52 675 3777
墨西哥、中/南美洲與加勒比海諸國 52 (55) 56 04 50 90
中東、亞洲及北非 +41 52 675 3777
荷蘭* 00800 2255 4835
挪威 800 16098
中國 400 820 5835
波蘭 +41 52 675 3777
葡萄牙 80 08 12370
南韓 001 800 8255 2835
俄羅斯及獨立國協 +7 (495) 7484900
南非 +27 11 206 8360
西班牙* 00800 2255 4835
瑞典* 00800 2255 4835
瑞士* 00800 2255 4835
台灣 886 (2) 2656-6688
英國與愛爾蘭*00800 2255 4835
美國 1 800 833 9200

* 歐洲免付費電話，若沒接通，請撥：+41 52 675 3777

最後更新日 2013 年 6 月

若需進一步資訊，Tektronix 維護完善的一套應用指南、技術簡介和其他資源，並不斷擴大，幫助工程師處理尖端技術。請造訪 www.tektronix.com.tw



Copyright © Tektronix, Inc. 版權所有。Tektronix 產品受到已經簽發及正在申請的美國和國外專利的保護。本文中的資訊代替以前出版的所有資料。技術規格和價格如有變更，恕不另行通知。TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc 的註冊商標。本文提到的所有其他商標均為各自公司的服務標誌、商標或註冊商標。

Tektronix 台灣分公司

太克科技股份有限公司

114 台北市內湖堤頂大道二段 89 號 3 樓

電話：(02) 2656-6688 傳真：(02) 2799-8558

太克網站：www.tektronix.com.tw

Tektronix[®]



敏盛企業有限公司
<http://www.mavin.com.tw>

免責聲明

資料僅供參考，若有與原廠不合之處，請以原廠規格為準，且不供任何證明文件之用

TEL:03-5970828 FAX:03-5972622 新竹湖口工業區工業四路3號2F