依缺陷類型選擇分析設備

掌握電性異常判讀關鍵

劉佳琪

當IC出現電性異常時，工程師需要盡快定位故障點(Hot Spot)。然而，故障定位設備種類繁多，如何依據樣品的電性特徵選擇合適的分析工具，是故障分析過程中的重要課題。

本文將介紹如何運用銦鎵砷(Indium Gallium Arsenide, InGaAs)、光束誘發電阻變化(Optical Beam Induced Resistance Change, OBIRCH)、熱輻射偵測設備(Thermal Emission Microscopy, EMMI)等設備，針對四種常見的電性異常進行分析，協助工程師選擇合適的定位方法。

IV曲線判讀四大電性異常

當IC的電性表現不符合預期時，可先使用參數分析儀(IV-Curve)量測異常腳位的電流-電壓(I-V)特性曲線，取得電流與電壓關係圖(圖1)，再依據曲線特徵，將電性異常現象初步歸納為四種類型：

漏電Leakage

在正常工作電壓下，電流若異常偏高，可能表示元件內部存在非預期的漏電路徑，例如閘極氧化層擊穿(Gate Oxide Breakdown)或PN接面漏電(Junction Leakage)等。此類異常未必會形成完全短路，但可能導致功耗增加或局部溫升。

高阻抗High Resistance

導通電流低於正常值，且I-V特性曲線可能向右偏移，代表線路阻抗增加，在相同電流下需要更高的電壓才能驅動。常見原因包括通孔(Via)或接點(Contact)接觸不良、金屬線路微裂(Microcrack)、空洞(Void)或冷焊。

短路Short

兩端點(如VDD與GND)間的阻抗異常降低趨近於零，代表可能形成非預期的導電路徑，原本該有的開關與閘極控制完全失效，使電流在施加電壓後異常增加。常見原因包括金屬橋接

(Metal Bridge)、靜電放電(Electrostatic Discharge, ESD)造成的損傷，以及介電層出現針孔(Pinhole)。

開路(Open)

線路因斷裂或連接失效而無法正常導通，呈現極高阻抗。常見原因包括凸塊(Bump)接合失效、打線(Bonding Wire)斷裂，以及金屬線路斷裂或燒毀。

四大電性異常對應分析工具

完成I-V特性曲線判讀後，應依據電性異常類型與樣品特性，選擇合適的故障定位工具。不同分析設備各有適用條件，以下整理四種常見電性異常的設備選用方式。

漏電異常優先採用InGaAs

當IC出現漏電異常時，可優先使用銦鎵砷(InGaAs)微光分析設備進行定位。

為什麼優先採用InGaAs？

部分漏電缺陷會伴隨微弱的光子發射，InGaAs偵測器可用於偵測近紅外波段的微弱光訊號。由於晶片正面的金屬布線可能遮蔽部分發光訊號，若樣品



圖1　IC電性異常的I-V特性曲線判讀示意圖(藍線：好品G；紅線：壞品F)，可藉此判斷IC電性異常的類

結構允許，可將晶片背面研磨至適當厚度，再從背面進行觀測，以提高對內部缺陷的定位能力(圖2)。

何時改用其他設備？

若樣品不適合開蓋(Decap)、漏電造成的熱效應較明顯，或缺陷位於多層堆疊晶片結構中，可依樣品特性與異常訊號，改用Thermal EMMI(InSb)或雷射光束電阻異常偵測(OBIRCH)進行分析。

宜特建議

若樣品允許進行背面研磨，且適合以微光訊號定位，建議優先採用背面InGaAs分析；若需保留完整封裝，則可先以Thermal EMMI定位熱點，再搭配X-ray檢查內部結構，協助判斷異常位置。

案例示範

施加偏壓後，晶片呈現漏電異常。將晶片背面研磨至適當厚度後，以InGaAs進行分析，可觀察到數個異常發光點(Hotspots)(圖3)，作為後續聚焦離子束(FIB)切片與穿透式電子顯微鏡(TEM)分析的定位依據。

高阻抗異常優先採用OBIRCH

若IC呈現高阻抗異常，例如接點或通孔阻抗偏高、金屬線路微裂等，可優先採用OBIRCH技術進行定位。

為什麼優先採用OBIRCH？

高阻抗缺陷通常不會產生可供InGaAs偵測的明顯發光訊號。OBIRCH利用1,300 nm雷射照射局部區域，藉由溫升引發電阻與電流變化，可協助定位高阻

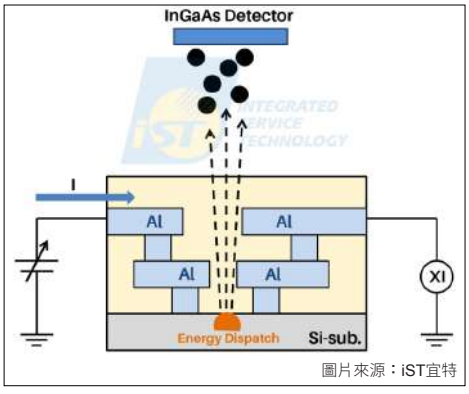


圖2　InGaAs微光偵測示意圖

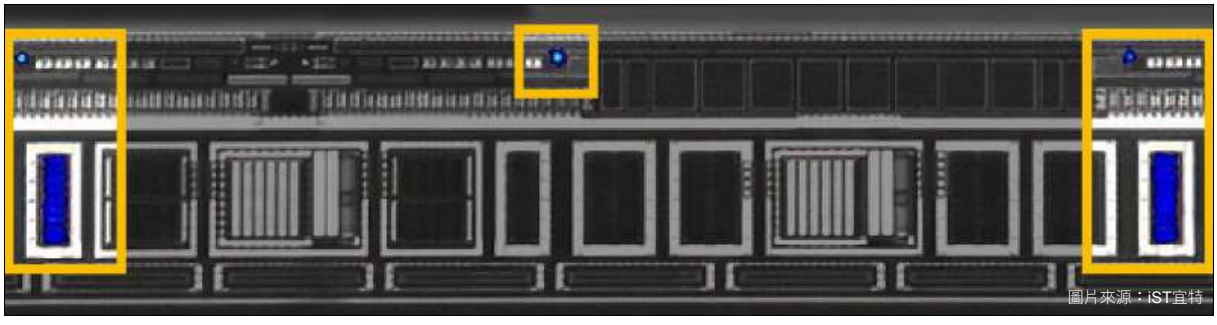


圖3　透過InGaAs定位漏電異常位置

抗缺陷，例如空洞、冷焊及薄金屬線路等，是分析通孔、接點高阻抗與金屬線路微裂的常用工具。

OBIRCH可依樣品結構採用正面或背面(Frontside / Backside)掃描。若正面金屬布線密集、影響缺陷定位，可視樣品條件將矽基板研磨至適當厚度，再從背面進行分析。1,300 nm雷射可穿透一定厚度的矽基板，藉由局部加熱所引發的電阻變化，協助定位內部金屬線路缺陷(圖4)。

何時改用其他設備？

若高阻抗缺陷已接近開路狀態，導致電流變化(ΔI)極小，或缺陷位於光學訊號難以有效取得的先進封裝結構中，OBIRCH可能難以提供足夠的定位訊號。此時若提高偏壓，可能造成局部缺陷進一步劣化，甚至導致線路熔斷。

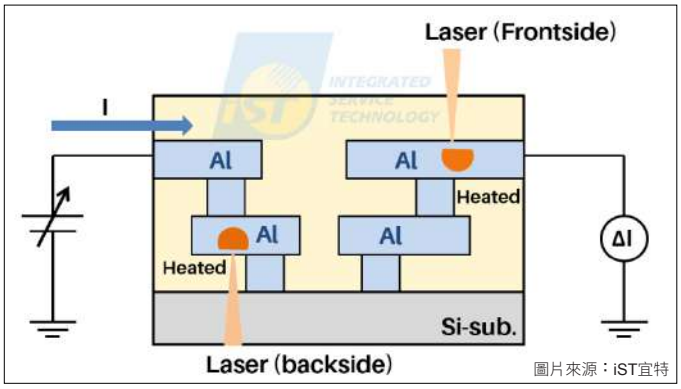


圖4　OBIRCH異常定位示意圖

宜特建議：QDM

分析高阻抗缺陷時，關鍵在於如何控制偏壓與量測電流，以免造成二次損傷。可先依樣品特性，以OBIRCH進行低功率雷射掃描；若缺陷位於先進封裝或多層內部布線中，也可考慮使用量子鑽石顯微鏡(Quantum Diamond Microscope, QDM)，藉由磁場量測重建電流分布，補足傳統光學遮蔽或熱訊號定位方法的限制。

高阻抗案例示範

在相同偏壓下，好品晶片(圖5左)可觀察到正常的熱誘發訊號；壞品晶片(圖5右)的異常電流較小，顯示該區域可能存在高阻抗缺陷。經背面OBIRCH分析後，壞品在圖5黃框區域內，未呈現與好品相同的熱誘發訊號，可進一步針對



圖5　OBIRCH高阻抗異常定位案例

圖片來源：iST宜特

該區域進行逐層移除(Delayer)分析，以確認異常位置。

短路異常依條件選擇定位工具

如果發現IC呈現短路異常，通常會優先採用OBIRCH或Thermal EMMI(InSb)設備進行分析。

為什麼首選OBIRCH或Thermal EMMI(InSb)？

・金屬層短路

若短路缺陷位於晶片內部金屬層，例如金屬橋接或介電層針孔所造成的異常導通，可考慮採用OBIRCH，藉由局部加熱引起的電阻與電流變化，協助定位

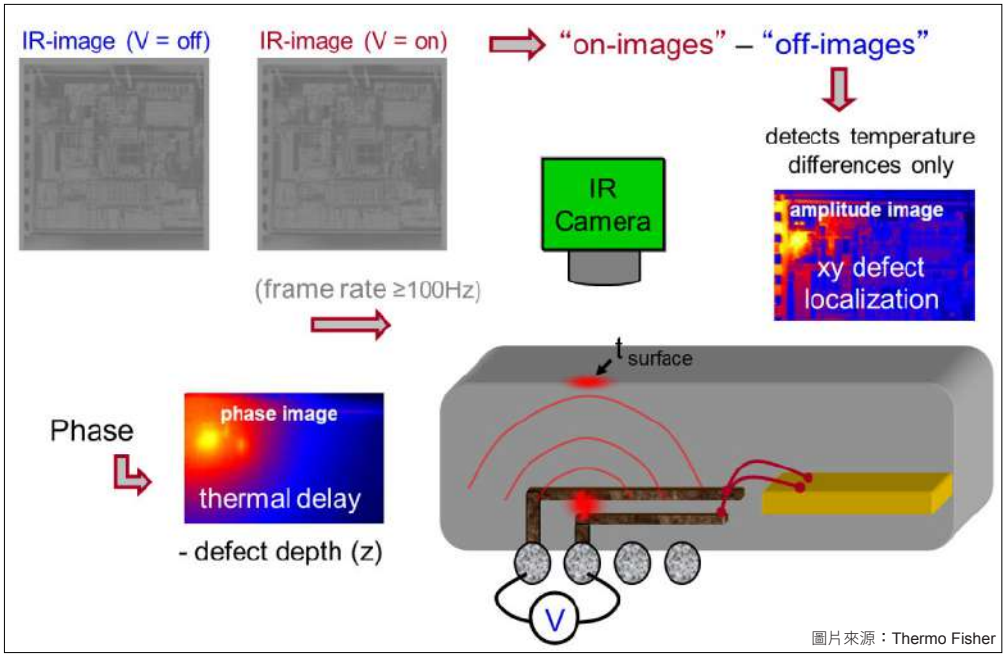


圖6　Thermal EMMI(InSb)熱點偵測示意圖

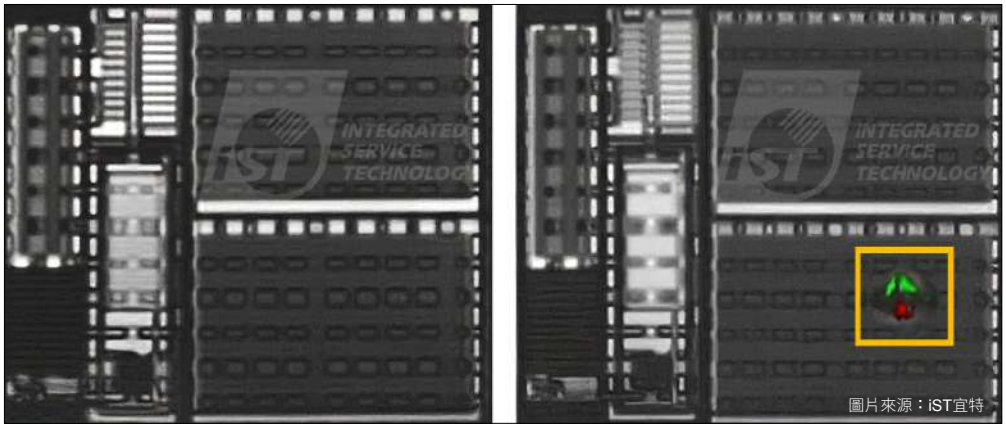


圖7　透過OBIRCH定位短路異常位置(左：好品；右：壞品)

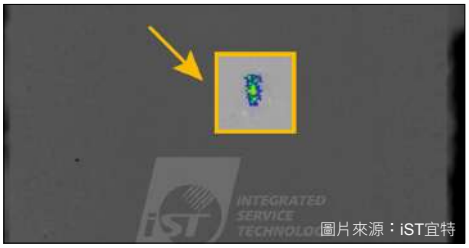


圖8　透過Thermal EMMI(InSb)定位短路異常

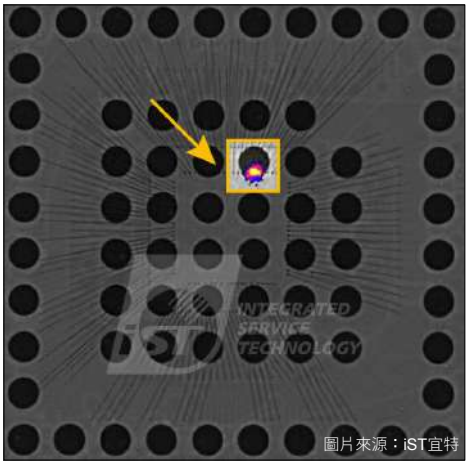


圖9　透過Thermal EMMI 定位BGA封裝晶片的短路位置

短路位置(圖6)。

・大電流/大面積短路

若短路造成的局部功耗較高，元件通電後可能產生明顯的局部溫升。Thermal EMMI(InSb)可偵測約3至5μm波段的熱輻射訊號，並可在不開蓋的情況下進行熱點定位(圖6)。

先進封裝短路：何時改用QDM？

若短路缺陷位於先進封裝的深層結構中，光學訊號可能受到多層布線或堆疊結構限制，而熱擴散也可能降低熱點影像的空間解析度，使缺陷深度較難判定。此時可考慮使用QDM，透過磁場量測重建電流分布，協助定位深層缺陷。

宜特建議

若短路缺陷位於裸晶(die)表面或可由光學方式取得訊號的區域，可考慮採用OBIRCH；若封裝內部的短路造成明顯熱點，則可先使用Thermal EMMI(InSb)進行定位。至於先進封裝或多層布線中的深層缺陷，可視情況採用QDM，藉由重建電流分布，輔助後續失效分析。

短路案例示範

在相同偏壓條件下，壞品晶片(圖7右)呈現短路異常。經背面OBIRCH分析後，可在黃框區域觀察到異常訊號，並發現疑似金屬熔融或熔斷的現象。

不開蓋狀況下，對壞品施加電壓，並以Thermal EMMI(InSb)偵測黃框區域的異常熱點，再搭配X-ray影像比對，協助判斷異常位置位於封裝體或晶粒上(圖8)，以確認後續使用的失效分析方法。

圖9為一顆BGA封裝晶片，在不開蓋的情況下，對異常接腳(Pin)施加電壓後，Thermal EMMI(InSb)可偵測到晶片中央區域的熱點。

圖10為驅動IC與面板連接處的故障分析案例。當走線或接合處發生微裂或短路時，通電後可能產生局部溫升。可先以Thermal EMMI(InSb)定位熱點，再搭配X-ray檢查內部結構，以確認異常位置

並規劃後續失效分析。

開路異常需搭配多種方法

為什麼Open分析最為棘手？

開路故障可能使異常路徑中的電流大幅降低，導致傳統電性定位方法難以取得足夠的量測訊號。InGaAs需要有可偵測的發光訊號，而OBIRCH則需要在雷射照射下產生可量測的電阻或電流變化，因此實際定位能力會受到故障型態與量測條件限制。

如何解決Open問題？

若有條件，建議提供好品與壞品進行比對。先觀察好品在正常驅動條件下的元件訊號，再與壞品的量測結果比較，以找出可能的異常區域。

・方法一：施加高壓、高頻訊號+OBIRCH

在適當的交流偏壓條件下，斷路點兩端的寄生電容可能產生微弱的充放電電流，形成可供觀察的局部電性或熱效應訊號。若能取得OBIRCH量測訊號，可再與好品結果比對，以判斷異常位置。

・方法二：QDM磁場感測

對於2.5D／3D先進封裝中的開路故障，例如凸塊或打線斷裂，可考慮採用

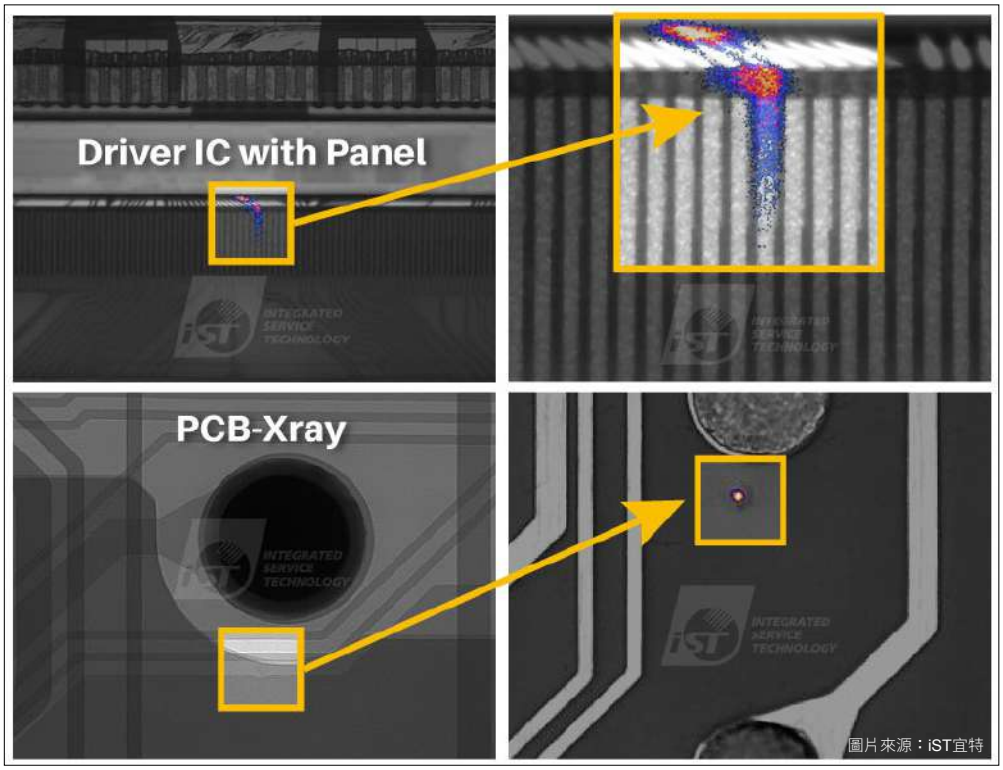


圖10　(左上、右上)鎖定驅動IC與面板連接處的低阻抗發熱點；再以X-ray(左下)觀察內部Via微裂及開路情形，並透過Thermal EMMI(右下)定位PCB走線的發熱點

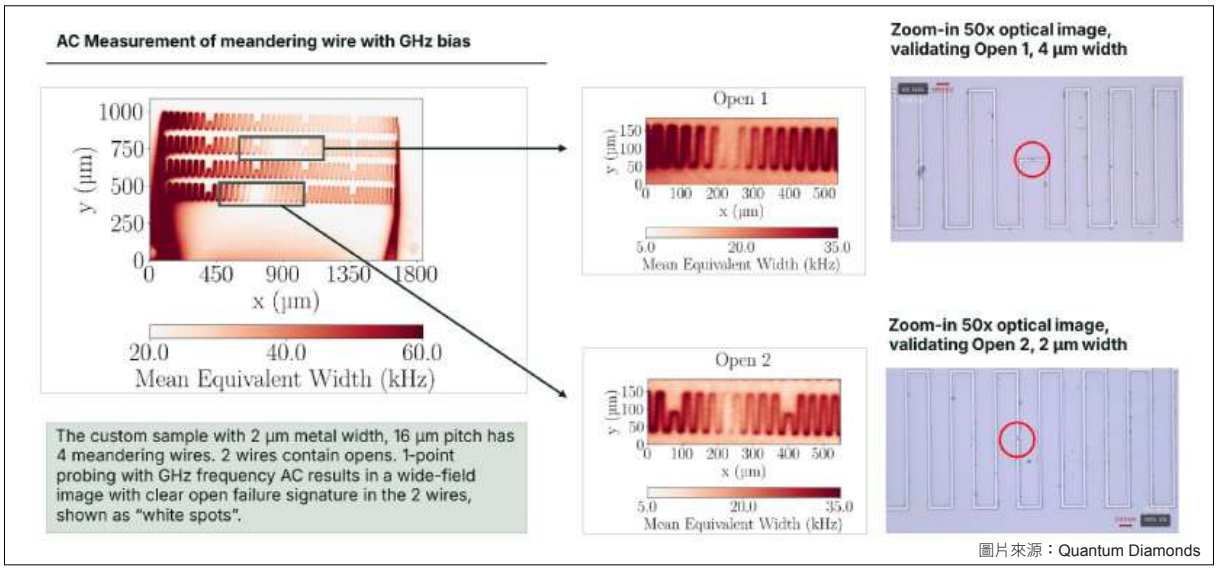


圖11　透過QDM施加高頻交流訊號，偵測磁場與電流變化，並經軟體處理呈現疑似開路位置

QDM量測電流所產生的磁場分布，並依據重建的電流路徑與異常區域，協助定位可能的斷路位置。

何時改用PFA？

若樣品無法建立有效的電性量測條件，導致電性故障定位方法難以取得可用訊號，可考慮改採物理失效分析(Physical Failure Analysis, PFA)相關技術。X-ray或3D X-ray電腦斷層掃描(Computed Tomography, CT)可用於檢查封裝內部結構，協助辨識打線、凸塊或通孔等部位的結構異常。

宜特建議

面對開路故障，不宜在未確認樣品耐受條件前任意提高直流偏壓。可先評估是否能透過適當的交流訊號取得可用的量測結果，並視樣品結構考慮採用QDM進行磁場量測。若電性定位仍無法取得有效訊號，則可搭配3D X-ray檢查內部結構(圖11)，以規劃後續分析流程。

案例示範

針對異常接腳施加適當的交流偏壓(AC Bias)，觀察斷路點(Open Spot)附近的電性訊號與磁場分布變化，藉此定位可能的異常位置。

面對日益複雜的IC與先進封裝結構，故障分析需綜合考量樣品的電性特徵、缺陷位置與結構條件，依序進行電性判讀、異常定位及物理失效分析。選擇合適的工具與量測條件，才能降低樣品二次損傷的風險，同時提升故障定位效率，進一步確認失效的原因。END

(本文作者任職於iST宜特科技)