

精準揪出製程缺陷

奈米電性量測明察秋毫

邱顯益/林萱

各國大廠近年致力挑戰3奈米、2奈米微縮角力戰，製程技術是一場永無止境的競爭。當研發遇上瓶頸時，無論是IC設計、晶圓製造、測試、封裝等，都需要故障分析輔助來釐清問題所在。

而先進製程中的故障分析，對於研發與產能來說更是至關重大，但元件尺寸越做越小，如何在僅有數奈米的微小尺度下，進行電晶體的特性量測以及缺陷處定位則成為了一大難題。

而奈米探針電性量測(Nano-Probing)對上述問題有極大幫助，奈米探針系統是由奈米探針與掃描式電子顯微鏡(SEM)兩者結合而生的工具。

SEM的奈米級高解析度搭配尺寸極小的奈米探針，使製程中數奈米等級的電晶體特性量測，或是精確定位出一個電晶體，甚至是一個接觸點(Contact)的定位分析，都能夠被實現。本文將探討如何利用奈米探針系統，定位缺陷位置的應用方式。

奈米探針系統是透過SEM顯微鏡的極小曲率半徑探針，搭接IC內部線路或接觸層(Contact Layer)，使其外接電性量

測設備，藉此輸入訊號並量測電特性曲線。另外，亦可利用SEM電子束特性，進行相關應用分析，包括電子束感應電流(Electron Beam Induced Current, EBIC)、電子束吸收電流(Electron Beam Absorbed Current, EBAC)、電子束感應阻抗偵測(Electron Beam Induced Resistance Change, EBIRCH)。

電子束吸收電流

圖1為電子束吸收電流的示意圖，當SEM中的電子束(E-beam)照射在樣品上掃描至某定點時，若此處為金屬導線且有導通，則電子會被元件中的金屬導線吸收，再經由奈米探針(Nano-Probe)導出至放大器(Amp)，進而得到該位置的吸收電流，經由訊號處理可以形成電流影像，並將其稱為EBAC影像。

而前述提到有電流導出的位置，在電流影像上會形成亮區。反之，若此處「不為金屬導線」或是發生「開路(Open)」的異常現象，造成探針無法獲得電流，則在電流影像成像上為暗區。通常亮暗區交接處即為導線發生開路的位置。

SEM中的二次電子影像(Secondary Electron, SE)，可以反映元件的表面形貌(Topography)，將EBAC影像與二次電子影像兩者搭配疊圖後，可以得到元件表面的電流走向分布。

這樣的量測方式可以偵測出整個導線的走向分布，若導線中有開路，可以經由好、壞品比對或是與走線布局(Layout)對照，即可定位出發生異常的精確位置。

圖2是實際案例，圖2(左)為電路布局圖，圖2(右)為EBAC影像重疊於SEM二次電子影像上所做出的疊圖，亮起來的區域表示吸收到電子束中的電子，經由奈米探針導出至參數分析儀的電流。對照圖2(左)，可以明確地看出導線走向分布，廠商如宜特故障分析實驗室就是藉著這樣的方式，來判斷導線有無故障、開路等等異常。

這個案例是導線末端有開路，而EBAC影像亮暗交界處即為開路發生位置。EBAC除了常用於金屬導線的量測與狀況判斷之外，亦可以用來判斷閘極氧化層(Gate Oxide)的異常漏電偵測。

電子束誘發電流

EBIC是由電子束誘發而導致的電流，特別指正負接面(P-N Junction)的量測(圖3)。因為在P-N Junction中間會形成「空乏區(Depletion Region)」(圖3中間的灰色區域)，空乏區內會形成「內建電場(Build-in Electric Field)」。

當電子束照射在P-N Junction樣品表面時，會激發出電子電洞對(Electron-Hole Pair)，以材料常見的矽(Si)舉例，激發一對電子電洞對所需的能量為

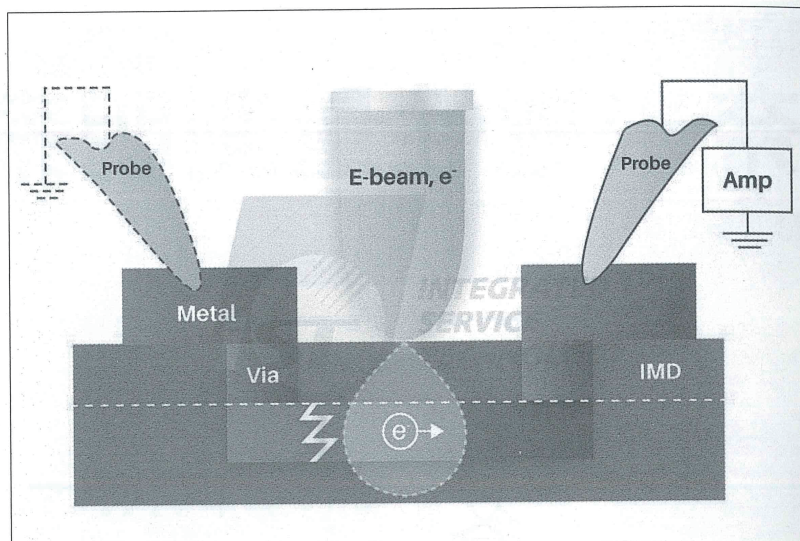


圖1 EBAC示意圖

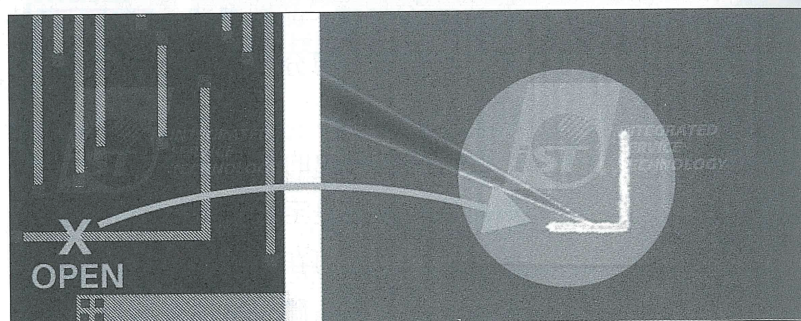


圖2 (左)為電路布局圖(Layout)；(右)為EBAC影像重疊SEM二次電子影像

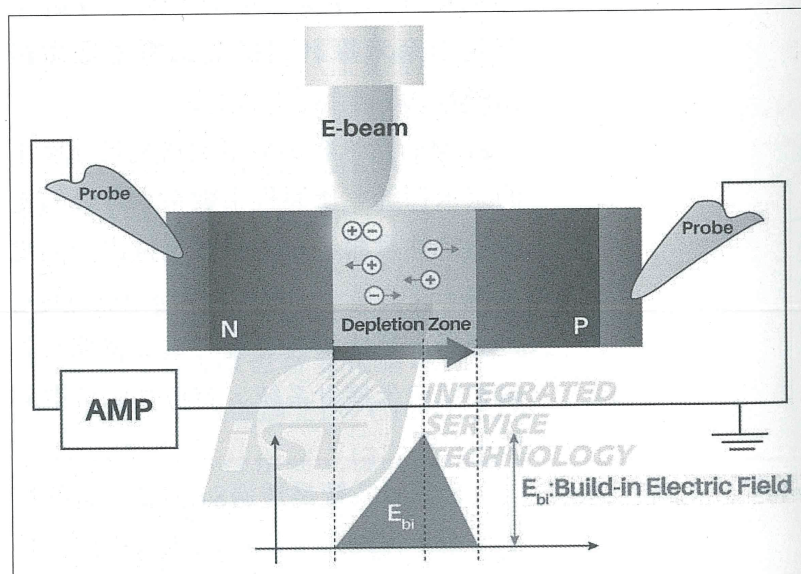


圖3 EBIC示意圖

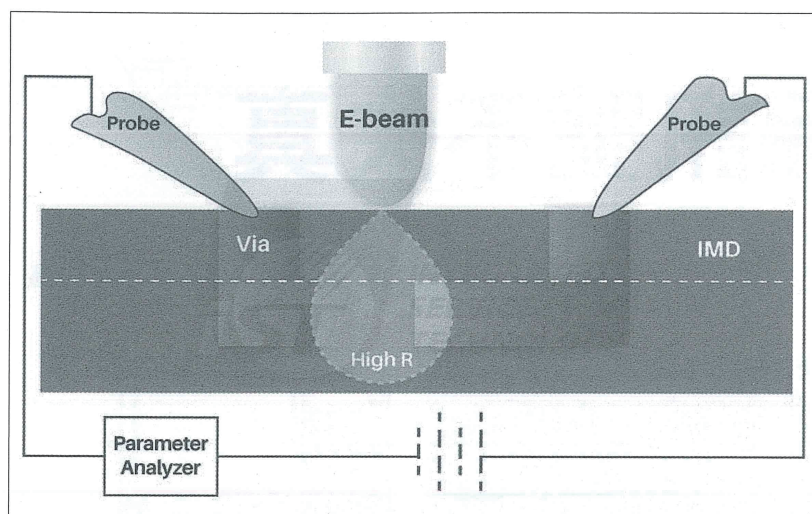


圖4 EBIRCH示意圖

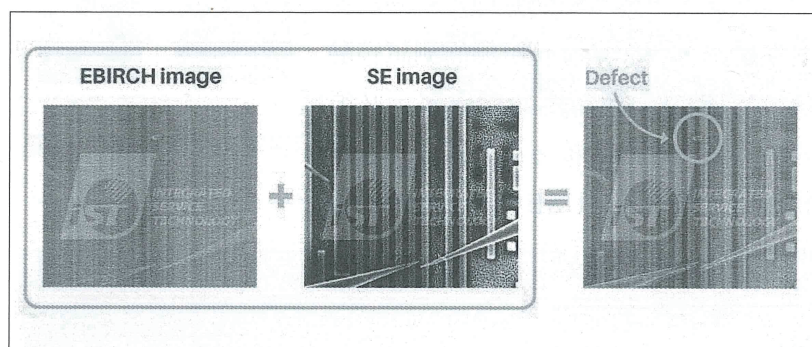


圖5 EBIRCH與二次電子影像疊加後準確找出故障接觸點

3.6eV，再由空乏區內的內建電場將被激發的電子電洞對分開，形成電流後經由奈米探針導出至放大器(Amp)，最後形成電流影像。

EBIC可以分析P-N Junction中的特性，像是內建電場強度分布影像，或是更進階的藉由強度分布去推算載子的擴散長度(Diffusion Length)，這些資訊對於材料特性的分析相當有幫助。

電子束誘發阻抗變化

EBIRCH的原理與「雷射光束電阻異常偵測(OBIRCH)」相同，差異只是在OBIRCH所用的激發源為「雷射」，受

限於雷射波長的關係，其空間解析度約為微米(μm)等級；而EBIRCH的激發源為「電子束」，其波長遠小於雷射，所以可以提升空間解析到奈米(nm)等級，進而精準的定位出缺陷位置，大幅增加後續進行物性故障分析(PFA)或在樣品故障處做「穿透式電子顯微鏡(TEM)分析」的成功率(圖4)。

當電子束照射在樣品上，因為不同物質的升溫係數不同與熱電效應(Seebeck Effect)的雙重影響，導致缺陷異常處的阻抗與正常處不同，經由好壞品的比對，可以定位出缺陷的異常位置。

EBIRCH分析時，可透過施加不同偏壓條件的往復選定，來進行更精準的異常位置定位。EBIRCH的用途廣泛，通常可以用來針對開路、短路(Short)、漏電(Leakage)、高阻抗(High Resistance)的異常進行偵測與定位。

圖5的實際案例是在IV量測發現有漏電，於是先在接觸層(Contact Layer)利用奈米探針系統對元件點針，得到EBIRCH影像(圖5(左))，之後再將EBIRCH與二次電子影像疊加後，可以準確找出故障的接觸點(圖5(右))，提供後續進行PFA或TEM分析的精確定位。

在半導體奈米級製程持續開發且不斷精進的路上，故障分析實驗是能夠根據客戶所需，善用奈米探針搭配SEM進行精準量測，無論是電晶體的特性量測或是故障分析，即使缺陷藏在未知的角落，都可以透過電特性檢測結合電子顯微鏡，協助客戶精準定位。

(本文作者邱顯益為宜特科技故障分析工程處課長；林萱為該單位資深工程師)