

Application of Four Terminal Method in PCB E-Test

四線式測試在PCB電測中的應用



ABSTRACT

Four Terminal Method is the micro resistance E-test technique. We can accurately get the minute change of PCB continuity resistance which is made by hole void, hole plating thickness thinner and line nick. In order to fulfill the higher requirements of electronics product in PCB conductive reliability, many companies are popularizing the micro resistance E-Test.

This paper mainly introduces the principle of Four Terminal Method and application in PCB E-test.

摘要

四線式微電阻測試法採用加流測壓的技術，可以精確量測線路板孔破、孔內銅薄以及線路缺口導致的微小阻值變化。為了滿足電子產品對於線路板導通可靠性的更高要求，目前業界正在推廣此種微電阻測試。本文主要介紹四線式測試的工作原理及其在線路板測試中的應用方法和實例。

關鍵字：四線式測試

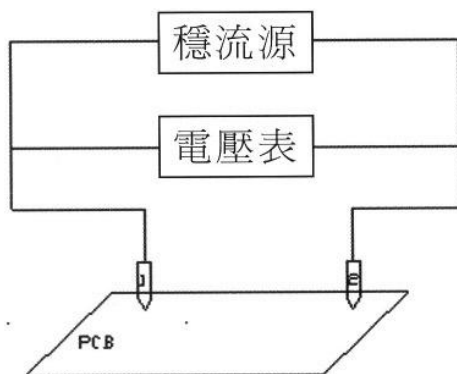
一、前言

對於手機、筆記本電腦、PAD、掌上型GPS、DVD等3C電子產品的PCB以及安全性能要求高的汽車用PCB、醫療設備用PCB，越來越多的客戶要求進行低電阻高絕緣的電子測試。這是因為在這類PCB中，部分PCB線路不單是導線，同時還是信號線，線路的阻值變化會造成信號的延滯和衰減，引發功能性問題。同時PCB如存在孔破、孔內銅薄、線路缺口等缺陷會影響產品使用中的安全性。所謂的低電阻測試是指在PCB電測中開路電阻設定到1歐姆甚至更低。傳統的電測方法已經無法適應如此微小的阻值測試的要求，故目前PCB電測業界正在推廣四線式測試法應用於PCB開路測試中。

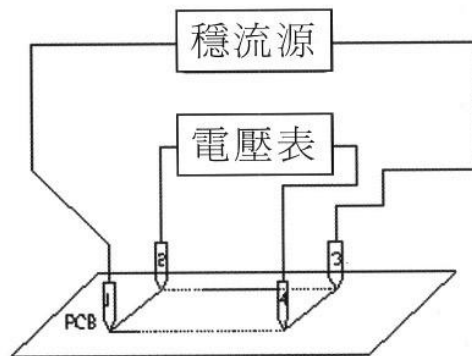
二、四線式測試原理

四線式測試其實在微電阻測試領域應用非常廣泛。其基本原理就是兩條線用直流恒流供電，另兩條線用來取電壓，由於電流電壓分開，所以用來走電流的導線上的電阻不會影響最終所取的電壓，進而減小對測試結果的影響。從下圖1中可以對比四線式測試與兩線式測試的差異。

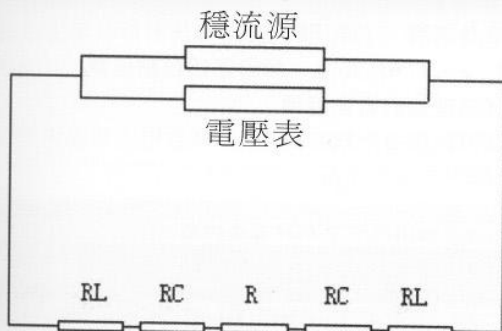
兩線式測試中1、2號探針與穩流源和電壓表相聯（圖1a），在測量PCB板電阻 R 時，兩導線本身的線阻 RL 和兩探針與測試點的接觸電阻 RC 都會產生壓降，實際測出的電阻 $R'=R+2RL+2RC$ ，其等效電路圖見（圖2a）。四線式測試中1、3號探針只與穩流源相聯，2、4號探針與電壓表相聯。穩流電路中的導線電阻



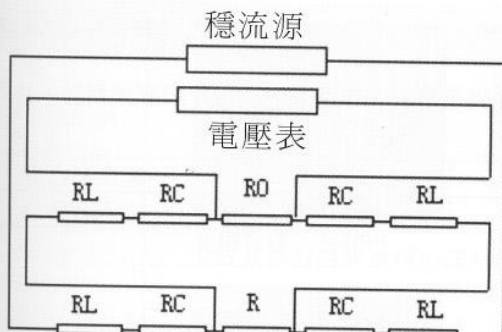
圖(1a): 兩線式測試原理圖



圖(1b): 四線式測試原理圖



圖(2a): 兩線式測試等效電路圖
R 為被測電阻 RL 為導線電阻
RC 為接觸電阻



圖(2b): 四線式測試等效電路圖
R 為被測電阻 RL 為導線電阻
RC 為接觸電阻 RO 為電壓表內阻

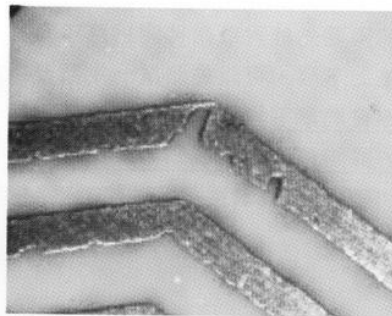
RL和探針與測試點的接觸電阻RC與被測PCB電阻串聯在穩流電路中，電壓表直接測量PCB兩端電阻，不會影響到測量結果。而在電壓表的回路中，導線電阻RL和探針與測試點的接觸電阻RC與被測PCB電阻並聯，其總電阻為： $R' = R(2RL + 2RC + RO) / R + 2RL + 2RC + RO$ 。當被測電阻很小（例如小於1歐姆），而電壓表內阻RO很大時（一般內阻大於10M歐姆）， $2RL$ 、 $2RC$ 、 RO 對測量的結果的影響在有效數字以外，測量結果足夠精確。其等效電路圖見（圖2b）。

三、四線式測試的優點

現有通斷測試的原理和特點決定了它不可能檢測一些潛在的缺點，如：

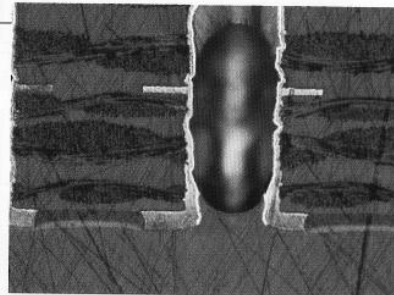
- 1、線路微開路，線寬正常而銅厚不足的線路，線路帶有缺口或凹陷；
 - 2、PTH孔壁污垢、氣泡殘留導致電鍍銅薄產生的導通不良；
 - 3、銀漿與破漿灌孔不佳產生的導通不良；
- 這些潛在的缺陷在測試的時候可能滿足設定的參數要求，但經過環境的改變（如高溫、高壓、高濕環境、長時間），這些潛在的缺陷可能爆發，成為真

正的致命缺陷。一般是在PCB組裝之後才會發現。所以通斷測試合格的板件並不意味著100%的滿足客戶要求，生產制程必須嚴格控制好每一個環節。為適應低電阻高絕緣測試的發展趨勢，現在各線路板電子測試設備廠商都在致力於四線式測試設備的開發。四線式低電阻測試可以解決一般AOI或者E-T測試機無法解決的死角。



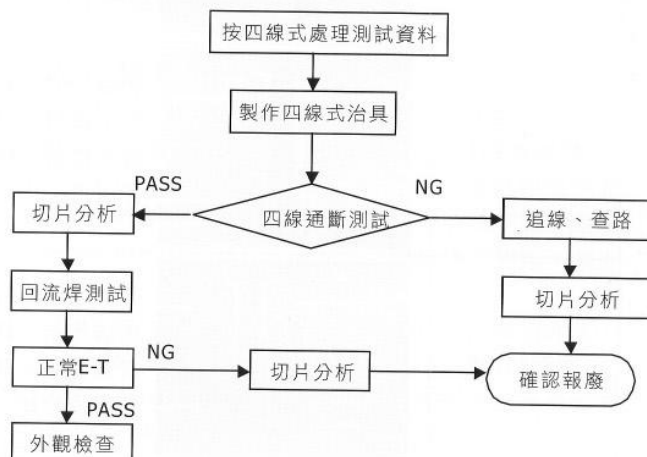
潛在缺陷：線路缺口

潛在缺陷：孔內銅薄



四、應用實例

微孔OPEN是非常嚴重的功能性問題，幾塊板的異常往往導致客戶批量全部退貨的結果。而如果没有有可信賴有效的選別方法，整批板將面臨報廢的風險。以下為採用四線式低電阻測試機挽救微孔OPEN的退貨板的實例，通過測試微孔的阻值變化確認微孔的導通可靠性。流程如下圖所示：



首先將GERBER檔讀入到專門開發的測試治具軟體中，按四線式原則分針選點。由於成品退貨板的微孔上多數是蓋油孔，一般需要選擇同一網路中相鄰的開窗PAD上種兩支探針。四線式治具與普通複合式治具製作方法一樣，並且採用複合式探針，治具製作成本不高。

在做四線式測試前需要先針對每個待測網路設定標準阻值和允許偏差上下限。可以先測試一定數量的板，然後讓測試機自動取平均值作為初步的標準阻值，再根據板件的實際情況，對個別有疑問的網路採用安捷倫四線式微電阻測試儀實測後調整。

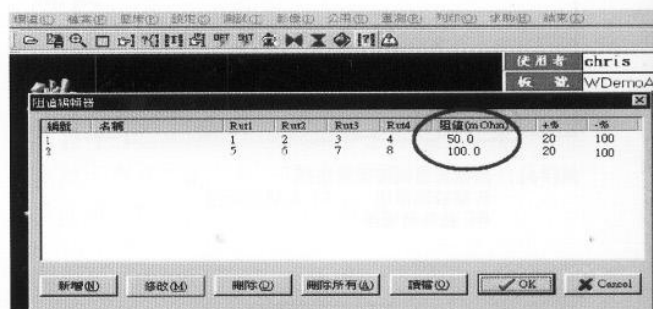
舉例說明：（見下圖）

1、2、3、4為其中一個網路四個點座標

50為理論的微歐姆值

20%為設定上限

100%為設定下限

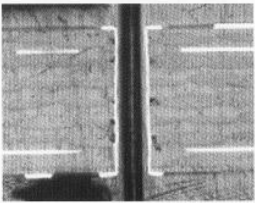
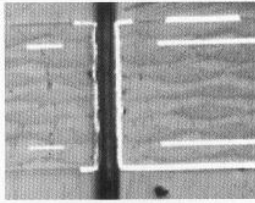
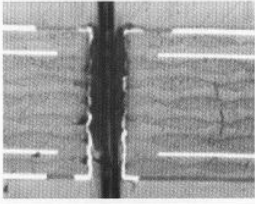
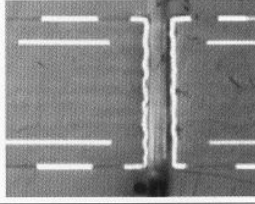
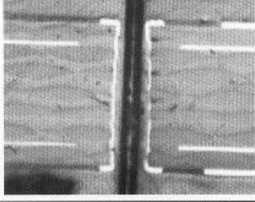
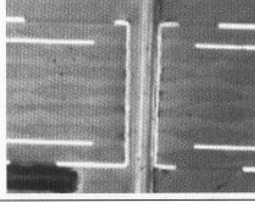
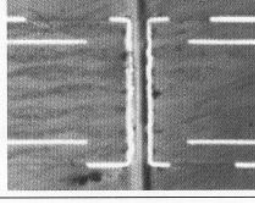


以下為一款微孔銅厚偏薄導致回流焊後微孔OPEN的問題板，在阻值偏差上限20%下的微歐姆測試測試，結果如下：

阻值偏差上限	測試數量	PASS品	不良品	總測試良率
+20%	500PCS	376PCS	124PCS	75.2%

在測試不良品中選取多次出現Fail的網路進行追線，然後與測試PASS板對應網路打切片對比

微孔孔銅厚度，結果如下：

追線網路	NG板孔銅厚度		PASS板孔銅厚度	
問題網路1		孔銅厚度：0.6mil 理論電阻：68 mΩ 實際電阻：94 mΩ 差值百分比：38.2%		孔銅厚度：1.0mil
問題網路2		孔銅厚度：0.2mil 理論電阻：200 mΩ 實際電阻：281 mΩ 差值百分比：40.5%		孔銅厚度：1.2mil
問題網路3		孔銅厚度：0.4mil 理論電阻：116 mΩ 實際電阻：168 mΩ 差值百分比：44.8%		孔銅厚度：1.0mil
問題網路4		孔銅厚度：0.8mil 理論電阻：15 mΩ 實際電阻：20 mΩ 差值百分比：33%		孔銅厚度：1.4mil

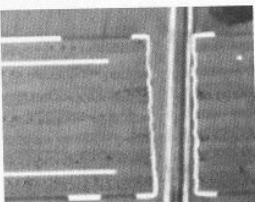
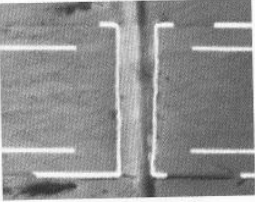
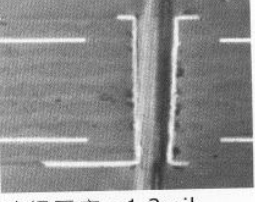
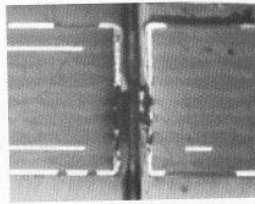
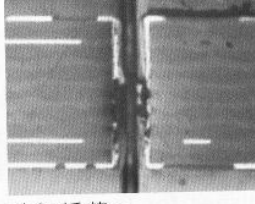
根據以上切片對比分析可知，阻值與孔銅基本成反比關係，差值百分比越小，孔銅越厚；差值百分比越大，孔銅越薄。

選取阻值偏差上限在20%時PASS板和NG板各50PCS分別做回流焊流程，然後再E-T測試，結果如下：

	測試數量	PASS品	孔無銅品	不良品率
PASS板	50PCS	50PCS	無	0
NG板	50PCS	39PCS	11PCS	22%

備註：回流焊條件：有鉛回流焊兩次，設定最高溫度270°C；

E-T測試條件：測試電壓：200V，導通電阻：20歐，絕緣電阻：20兆歐。

	孔銅厚度及圖片1	孔銅厚度及圖片2	孔銅厚度及圖片3
PASS板經過 回流焊流程	 孔銅厚度：1.2mil	 孔銅厚度：1.0mil	 孔銅厚度：1.2mil
NG板經過 回流焊流程	 孔銅偏薄， 過回流焊時拉斷	 孔銅偏薄， 過回流焊時拉斷	 孔銅偏薄， 過回流焊時拉斷

根據以上切片對比分析可知，NG板因部分網路中的微孔內孔銅偏薄，在過回流焊高溫時產生拉斷現象，存在嚴重孔OPEN隱患。

通過四線式微歐姆測試可以有效選別出不良板，測試NG板過回流焊證實存在孔無銅隱患。根據阻值偏差設定上限為20%時測試結果，退貨板中良品率達到75.25%。

五、飛針四線式測試

飛針的導通性測試原理與治具測試的原理相同，它通過兩面的移動探針分別測試每個網路的導通情況。所以在飛針機上也可以採用四線式低電阻測試，只需將普通的探針更換成特殊的四線式探針即可。比如現在的EMMA飛針機就配置有使用ケルビン探針的4線4端子測定法，把一根探針頭部進行超細微加工，通過分割定電流源的輸入輸出端子（Source or Force）和電壓計的輸入端子（Sense），達到四線式低電阻測試的功能。採用飛針低電阻測試有如

下特點與局限：

- (1) 不需製作測試治具，易於管理，成本低；
- (2) 測試靈活性高；
- (3) 診斷速度快；
- (4) 周轉快；
- (5) 測試速度慢。

六、結束語

推廣採用四線式測試的方法，對於線路板企業而言真正的意義在於：

- a) 可以降低不良出貨品的PPM，並通過阻值檢測報表再搭配切片及圖片協助找出PCB的問題點，及時發現流程異常，明確改善對策，減少廠內報廢；
- b) 對於退貨板提供有效、信賴度高的選別方法，降低退貨比例及賠款金額；
- c) 樹立企業專業品質管控與技術形象，提高企業品質信譽，爭取到更多的訂單。