

非破壞性檢測新助手 - 掃瞄式聲波顯微鏡

New Helper of Nondestructive Measurement—Scanning Acoustic Microscope

洪瑞華、黃少華

Ray-Hua Horng, Shao-Hua Huang

本文介紹掃描式聲波顯微鏡之基本工作原理、系統組裝與實際應用之例子，特別針對半導體成品檢測之應用進行詳細介紹。

This paper introduces the basic principal, system and applications of scanning acoustic microscope. Especially, the inspection of semiconductor applications will be described in detail.

一、簡介

在早期非破壞性檢測技術上，以 X 光透視和低頻超音波影像最為普遍，可以得到低解析度的影像；然隨著科技的進步，元件製程的微小化已是目前的趨勢，因此，目前對於高解析度空間立體影像檢測技術，特別是非破壞性的檢測技術需求極為迫切。目前此方面的檢測技術，以共焦顯微鏡和高頻聲波顯微鏡最受重視，本文將針對掃描式聲波顯微鏡 (scanning acoustic microscope, SAM) 進行介紹。

一般而言，聲波與物體接觸產生的反應，與光線、電子束及 X 射線與物體接觸產生的反應不同，利用聲波能夠透過介質的傳播，再經過平台掃描的方式將試片影像清楚的表現出來，並且能夠得到物品內部空間的立體影像，這些所得到的意義異

於傳統光學所得到的影像。由於聲波顯微影像的對比機構是利用物體的聲阻抗特性不同而得到不同的對比影像，其中由各層反射波的強度，也可分別得到每一層的影像，而傳統光學顯微鏡僅能夠提供物體表面的幾何形狀和偏光特性，並不能夠對物體內部的影像加以分析。這些不同的物理現象決定了接收信號的大小，所以能夠產生對比不同的影像，因此我們能夠利用此掃描式聲波顯微鏡來檢測及顯示不透光物體之內部，這對於目前的元件檢測上來說應用很大。由於此檢測技術是非破壞性的檢測方式，並且能夠提供高解析度的檢測結果，在目前應用上的領域涉及生物醫學研究、半導體工業及材料科學研究等應用範圍。在生物醫學研究方面，聲學顯微鏡應用在風濕性關節炎、心臟手術癒合、血管直徑與管壁厚度、硬化瘤等接合的質變和彈性係數

研究；而在半導體工業上，聲波顯微鏡可以用來檢測半導體成品製程中表面下的貼合情形，本篇文章將針對半導體成品檢測之應用進行詳細介紹。圖 1 為一典型之商用 SAM 機台，此機台能夠提供非破壞性的檢測且能夠提供快速的掃描影像，此機台最大的掃描範圍能夠達到 300 mm × 300 mm，其解析度能夠達到 0.5 μm。

二、工作原理

掃描式聲波顯微鏡主要的工作原理如圖 2 所示，其主要是由一個高頻的壓電轉換器 (piezoelectric transducer) 傳送高頻的聲波，並將試片放置於水中，由於空氣並不是一個傳輸聲波良好的介質，可能會導致訊號的接收不完全，而將試片置於水中能使得轉換器 (transducer) 接收較完整且穩定的聲波訊號，最後再傳輸至接收器，經過解碼後輸出至電腦而顯現出影像，圖 2(a) 與 (b) 分別為將高頻聲波經過介質傳送到試片以及聲波從試片反彈後傳送至接收器的工作示意圖。當一電壓脈衝加至壓電轉換器時，於試片某一位置產生相對應之超

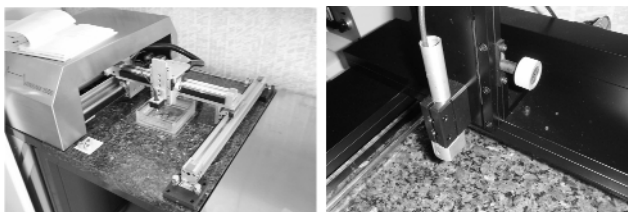


圖 1. 商用 SAM 機台。

聲波 (ultrasound waves)，當此超聲波傳遞至試片內部時，若遇試片內部之缺陷或不同介面時，部份之超聲波將被反射回轉換器，再度被轉換回電訊號，此一反射之訊號將包含介面特性或試片內部之材料缺陷。公式 (1) 為反射 (R) 與穿透 (T) 之訊號與材料聲阻抗 (Z) 之關係，此時入射波與試片表面垂直。公式 (2) 為聲波顯微鏡之解析度 (w)，其與顯微鏡之鏡頭數值光圈 (numerical aperture; NA) 及聲波之波長 (λ) 相關，若鏡頭品質夠好，則其解析度能低於一波長，此外，波長又與聲波之頻率成反比。表 1 為聲波顯微鏡之頻率與穿透深度 (penetrate depth)、橫向解析度 (lateral resolution)、聚焦長度 (focal length) 之關係。

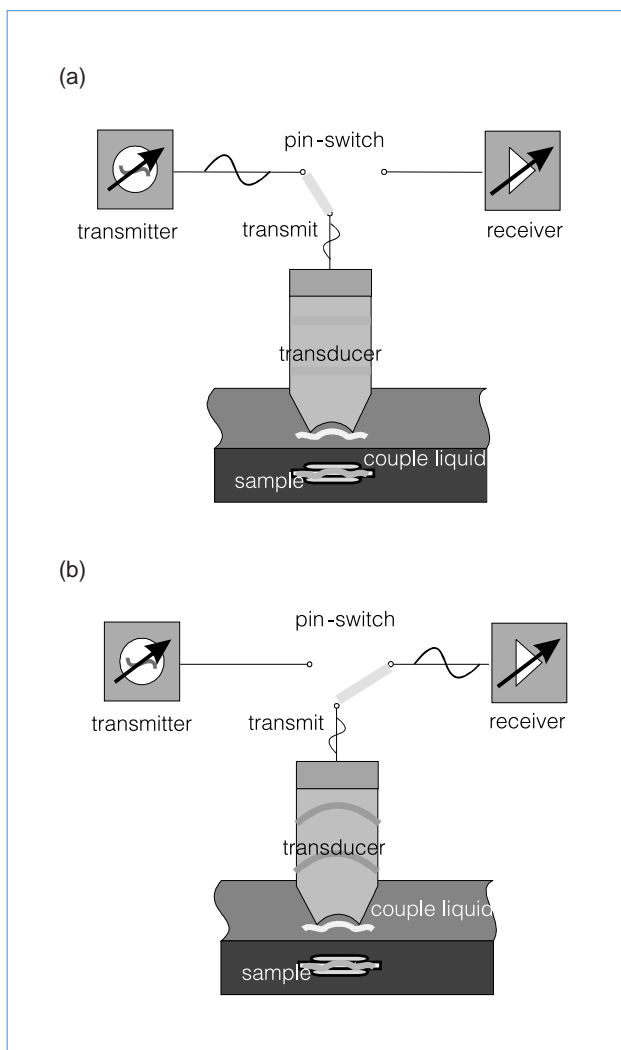


圖 2. 掃描式聲波顯微鏡工作示意圖。

頻率	穿透深度	橫向解析度	聚焦長度
2000 MHz	3 μm	0.6 μm	46 μm
1000 MHz	15 μm	1.1 μm	46 μm
400 MHz/60	100 μm	3.0 μm	230 μm
400 MHz/120	80 μm	2.5 μm	230 μm
200 MHz/60	500 μm	7.5 μm	575 μm
200 MHz/120	400 μm	5.0 μm	575 μm
100 MHz	1000 μm	15.0 μm	2300 μm
80 MHz		18.0 μm	6 - 9 mm
50 MHz		30.0 μm	8 - 13 mm
25 MHz		60.0 μm	15 mm
20 MHz		75.0 μm	15 mm
10 MHz		150.0 μm	15 mm

表 1.

脈衝聲波訊號在 -6 dB 的振幅下其聲波頻率與穿透深度、解析度和聚焦長度之對應表。

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad T = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad (1)$$

$$w = \frac{\lambda}{2NA} \quad (2)$$

機台之設計可分為硬體與軟體兩大部分，其中硬體的組成如圖 3 所示。圖中分別將各個硬體的工作流程以線條的方式表現出來，最主要的硬體設備有，將聲波轉換成電訊號的轉換器、產生高頻訊號的 rf-unit 以及產生觸發訊號的 trigger box、能夠控制機器進行掃描動作的 XY motor controller 和連結各個硬體的工作站，最後是一些螢幕、印表機等週邊的輸出設備。圖 4 為主要硬體設備之照片示意圖，圖中分別顯示了 rf-unit、AD converter、trigger box、XY motor controller、掃描系統 (scanner system) 以及轉換器等硬體的實體照片，而這些硬體也是掃描聲學顯微鏡的核心硬體設備。

在軟體方面，利用軟體控制掃描聲波顯微鏡的掃描方式，其掃描的方式有如圖 5。圖中分別表示出所控制的主要五種掃描方式應用，此五種分別為 C-scan (單一橫截面)、X-scan (多重橫截面)、D-scan (斜截面)、B-scan (橫縱交錯截面) 以及 G-scan (多重開門橫截面)，我們能夠利用不同的掃描方式來處理不同的需求。其中 X-scan 與 G-scan 兩者間最大的差別在於 G-scan 能夠提供較立體的多層橫截面掃描，而 X-scan 能夠將不同層的平面缺陷表示出來，如圖 6 所示。除了此五種掃描方式，另外

還具有 3D 的立體空間掃描，能夠顯示出立體空間內的缺陷區域，圖 7 為利用 3D 的掃描方式所顯現出的結果。

三、半導體成品檢測之應用

在應用方面，掃描式聲波顯微鏡的應用範圍很廣，在生醫、半導體以及材料的檢測上都有其應用的領域，而我們此次僅就半導體的檢測方面進行介

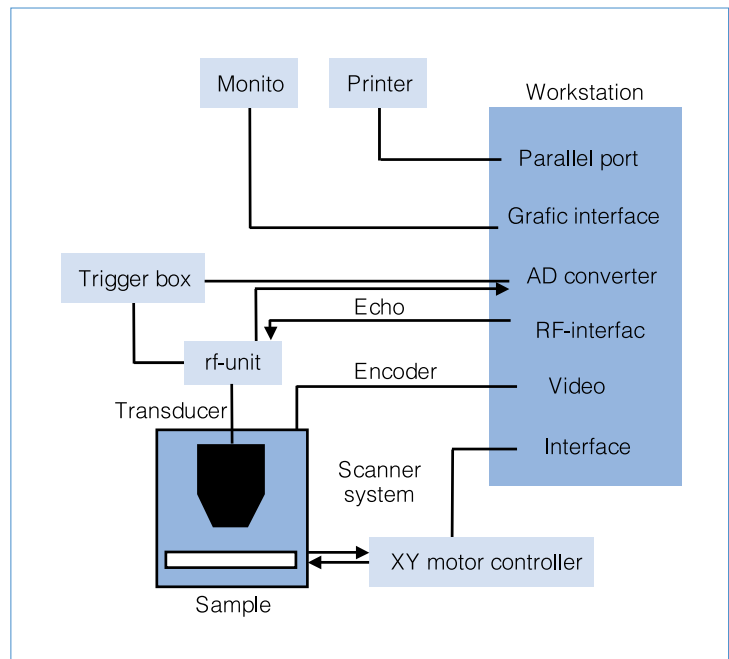


圖 3. 硬體設備工作流程圖。

圖 4.
主要硬體設備示意圖。

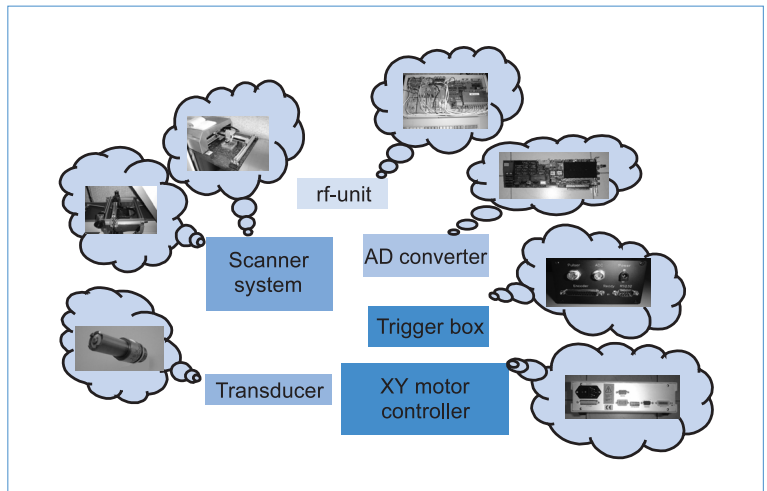
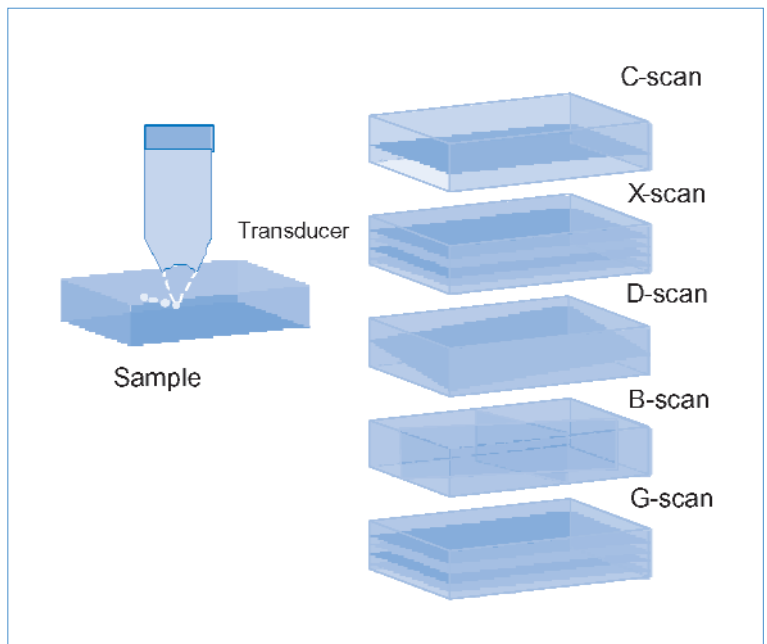


圖 5.
掃描式聲波顯微鏡掃描方式示意圖。



紹。在半導體製程中，掃描式聲波顯微鏡主要的應用範圍有積體電路 (IC) 的封裝檢測以及晶片黏貼後的黏貼良率檢測等。在 IC 封裝的檢測方面，由於科技的進步與節約能源的意識逐漸受重視，使得 IC 內部的線路製程微小化已是目前的趨勢，而在 IC 封裝上覆晶 (flip chip) 的封裝技術已然成為主流的封裝技術，由於利用覆晶封裝能夠取代傳統的打線所造成對元件的影響，進而提升元件的工作效率，但是相對來說利用覆晶的封裝也衍生了許多的問題，而最主要的問題就是在於元件的檢測方面，

由於覆晶封裝需要將元件倒過來黏貼，因此無法得知內部的元件黏貼的好壞。在覆晶封裝上常遇到問題如圖 8 示意圖所示，圖中顯示出覆晶封裝可能出現的缺陷。圖 8(a) 中顯示覆晶封裝內因空氣而產生氣泡與封裝時界面所產生的污染 (可能為氧化物)，這些缺陷將嚴重降低元件的工作效能；圖 8(b) 為封裝後，錫球中產生裂痕缺陷，這可能造成 IC 內部往後線路不通的可能性；圖 8(c) 為錫球與黏貼基座黏貼不完全所造成之缺陷，此缺陷將使得線路不導通，而使得 IC 元件無法工作。圖中這些

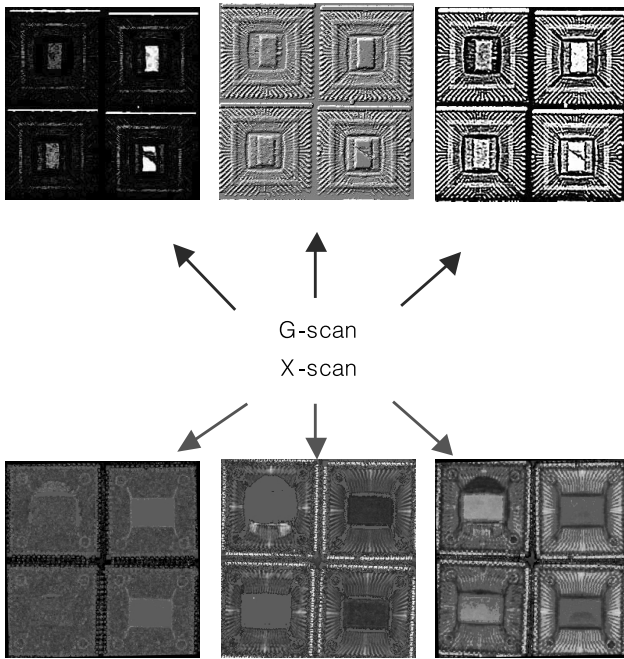


圖 6. G-scan 與 X-scan 結果比較圖。

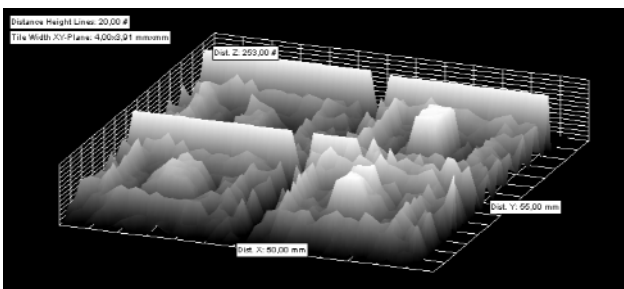


圖 7. 3D 立體空間掃描。

缺陷嚴重影響元件的特性，但是在檢測方面並不容易檢測出其缺陷的存在，因此利用聲波的檢測方式可達到非破壞性的檢測。

圖 9 為利用掃瞄式聲波顯微鏡來檢測覆晶封裝的工作示意圖，圖 9(a) 與(b) 分別表示正面與反面的掃瞄方式。圖 10 中顯示出利用聲波顯微鏡檢測出封裝後的缺陷。圖中分別顯示出經過覆晶封裝後其內部產生氣泡以及晶片產生碎裂之掃瞄聲波圖，利用軟體的分析能夠將缺陷以不同顏色的結果標示出來，圖 10(a) 中的藍色區域顯示出可能為氣泡所產生的缺陷；圖 10(b) 中因晶片產生碎裂，而造成整個封裝失敗，因此呈現出大部分藍色的區域

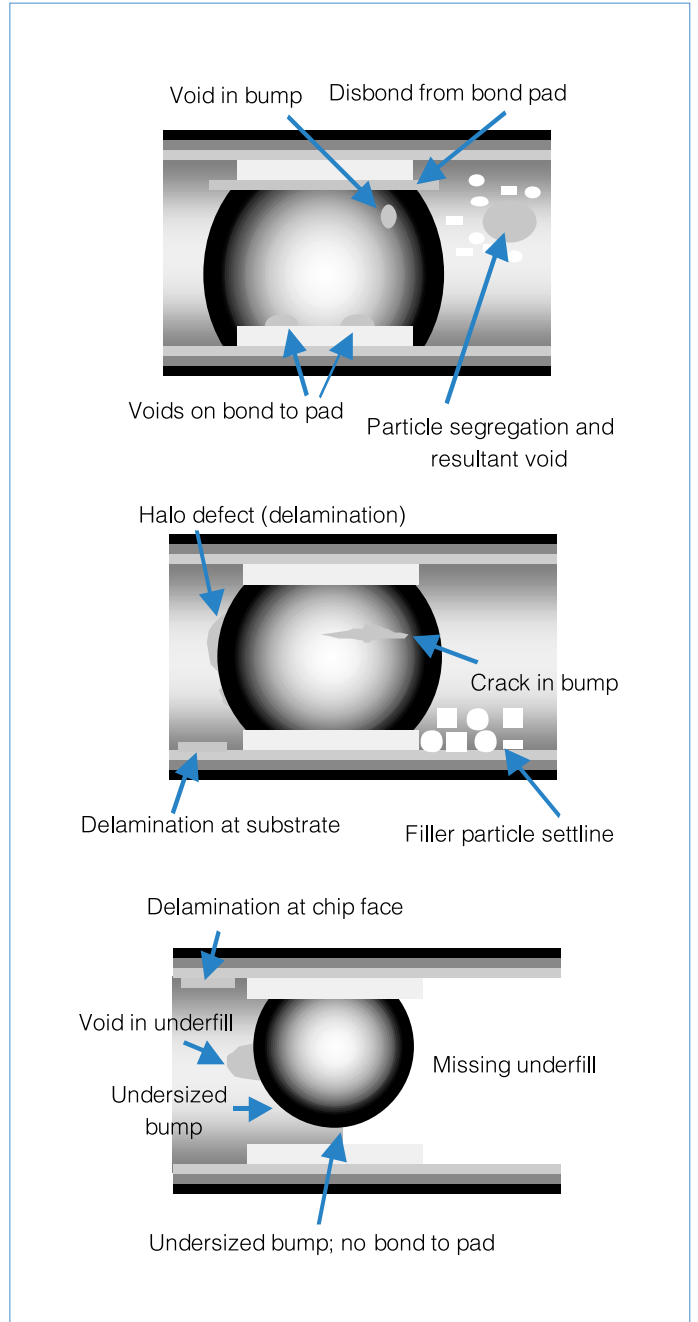


圖 8. 覆晶封裝中常見的缺陷示意圖。

結果。

掃瞄式聲波顯微鏡在 IC 上除了覆晶封裝的檢測應用外，也可以用於線路上的檢測。由於現今的 IC 線路設計越來越小，如要利用傳統的光學顯微鏡來檢測，必須要使用超高倍率的光學顯微鏡，而且檢測的流程過於麻煩，此時可利用掃瞄式聲波顯

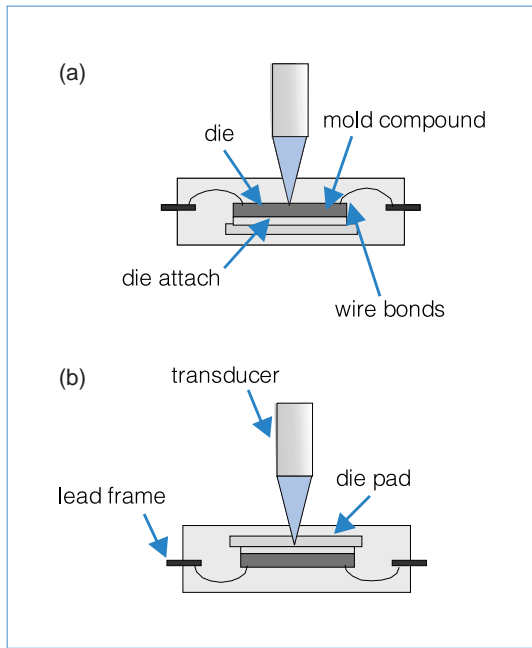


圖 9. 覆晶檢測工作示意圖。

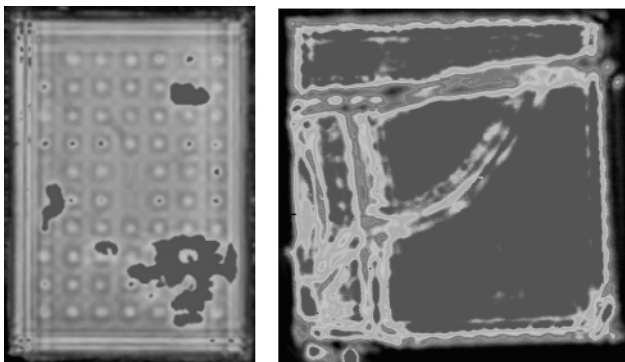


圖 10. Flip chip 缺陷掃描圖。

微鏡檢測 IC 內部的線路是否完整，此外利用掃描式聲波顯微鏡其可提供最高解析度能夠達 0.4 - 0.5 μm 的微小線寬之優點，因此在線路檢測的應用上也是其主要的應用範圍之一。如圖 11 所示，利用掃描式聲波顯微鏡將 IC 內部的線路顯現成影像，圖 11(a) 中標示區域顯示出其線路上的缺陷，而此缺陷會造成整個 IC 元件無法正常工作；圖 11(b) 顯示出正常的 IC 線路圖。

在晶片黏貼良率的檢測方面，由於晶片黏貼技術不管在微機電製程領域或是光電領域範圍皆有廣

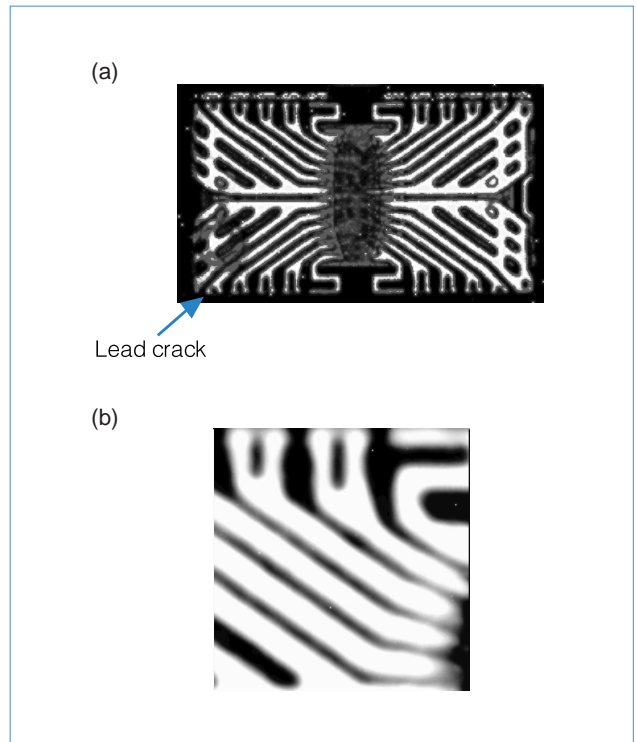
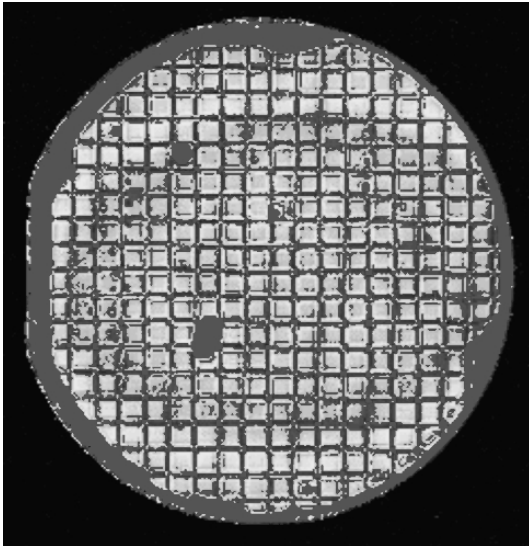


圖 11. IC 線路掃描檢視圖。

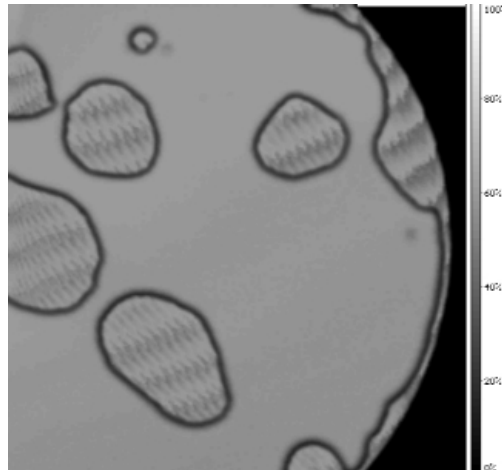
泛應用，然而其黏貼時因不同的黏貼條件可能會造成黏貼界面產生氣泡使得黏貼良率降低，或因黏貼時的黏貼壓力過大而造成晶片的碎裂，也有可能因黏貼的材料彼此的熱膨脹係數差異太大，而造成兩者間因加熱產生的膨脹速度不同而使得晶片碎裂。這些黏貼後的缺陷，可能因黏貼材料為非透明而無法檢視，因此利用掃描式聲波顯微鏡能夠輕易的檢測出黏貼界面的黏貼情形。圖 12 為晶片黏貼後利用聲波顯微鏡掃描後的圖形，圖 12(a) 中標示出的藍色區域為黏貼不完全區域，可能為黏貼時無法將空氣趕出黏貼界面而產生的缺陷；圖 12(b) 為經掃描後，掃描出黏貼界面有氣泡的缺陷圖，而這些缺陷都會影響到後續元件的製程，以及元件的特性結果。

四、結論

利用掃描式聲波顯微鏡能夠提供便利的檢測方式，並且提供快速且正確的檢測結果，此結果能夠



(b)



(a)

圖 12.
晶片黏貼檢測圖。

針對無法檢測的死角，提供 2D 的平面圖甚至 3D 的立體空間顯示圖，目前利用掃描式聲波顯微鏡來研究材料內部的缺陷與分析缺陷的組成成分的研究論文很多，由此可知利用聲波的應用不單只是侷限在封裝的檢測上面，而其應用的範圍之廣還有待大家一起努力研究。

參考文獻

1. R. A. Lang and C. F. Quate, *Appl. Phys. Lett.*, **24**, 163 (1974).
2. C. S. Tsai, S. K. Wang, and C. C. Lee, *Appl. Phys. Lett.*, **31**, 317 (1977).
3. V. Jipson and C. F. Quate, *Appl. Phys. Lett.*, **32**, 789 (1978).
4. Z. X. Xiao, G. Y. Wu, G. B. Zhang, Z. H. Li, Y. L. Hao, W. R. Chen, and Y. Y. Wang, *J. Electrochem. Soc.*, **145**, 1360 (1998).
5. H. Yamaguchi, S. Fujino, T. Hattori, and Y. Hamakawa, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **34**, L199 (1995).

洪瑞華女士為國立中山大學電機所博士，現任國立中興大學精密工程研究所教授。
黃少華先生為國立中興大學材料工程研究所博士班研究生。

Ray-Hua Horng received her Ph.D. in electrical engineering from Sun Yat-Sen University. She is currently a professor in the institute of precision engineering at National Chung-Hsing University.

Huang Shao-Hua is a Ph.D candidate in the institute of material engineering at National Chung-Hsing University.