

# 25. 微機電陣列式晶圓探針卡

鄒慶福 副教授、賴騰憲 博士生  
逢甲大學 自動控制工程學系  
電機與通訊工程博士學位學程

## 摘要

探針卡的發展長久以來與積體電路的發展有著密不可分的關係，探針的設計會因不同的IC世代發展出不同的規格，以符合IC電性量測上的需求。目前IC晶片的發展趨勢持續朝向微小、快速與多功能的異質性整合，其內部的電晶體數量也依據摩爾定律不斷的倍增，同時晶片面積也要求愈做愈小，因此IC的輸出/輸入腳位將具有小間距與多腳數的特性，然而如此高密度輸出訊號接腳之電性量測也將成為探針卡設計的一大挑戰。目前現有的探針卡，主要是透過人工組裝的方式，將探針排列成所需要的偵測位置，但是隨著晶片尺寸的縮小與封裝技術的演進，電極間距離會愈來愈小，且探針的排列方式也由周圍式改變為陣列式，因此人工組裝的探針卡也將隨著間距縮小而遇到瓶頸。有鑑於此，利用微機電技術製作的探針結構，可輕易製作出小間距與任意幾何形狀排列的陣列式探針，因此能省去傳統探針卡人工組裝所產生的問題，此外以微機電技術製作的探針結構是採用微製程配合微電鑄的方式進行製作，因此具有批量製造與低成本的優點，極有可能成為未來製作探針卡的趨勢。以下本文將提出三種不同型式之微機電式探針卡，並對探針之元件特性與製作方式進行簡單的介紹。

## 一、前言

在整個半導體產業中屬後段製程的晶圓針測(Probe test)常為大家所忽略，但其重要性卻是不可或缺的，至今沒有任何一間公司可省略測試這一個步驟，因為此過程將攸關公司的出貨品質與信譽。針測的動作一般會於晶圓切割製程前進行，其目的主要是利用電性量測的方式，檢驗製作完成的整片晶圓良率，有故障的晶粒於切割後將不在進行後續的封裝製程，主要考量在於封裝的成本在整體IC生產上約佔50%以上，因此若能於封裝前確實執行此品管動作，便可有效降低企業的生產製造成本。

根據不同產品的I/O port數量之差異，目前發展出的探針卡主要可分為周圍排列(Peripheral)與陣列排列(Array)兩種形式，如圖1所示[1]，其中邊緣排列式的探針卡適用於架構較為簡單且輸出/輸入接腳較少的IC元件，如DRAM與SRAM；而架構較為複雜且輸出/輸入接腳較多的電路元件，如ASIC與數位邏輯元件等則使用陣列排列方式的探針卡進行電性量測[2]。由於目前IC均朝向系統化的概念發展，因此I/O Port的數量也將以倍數成長，預估至2010年，單一IC的I/O Port將高達10000隻接腳 [3]，所以高密度陣列排列探針卡的發展比起周圍排列式探針卡將遭遇到更大瓶頸，尤其探針的間距大幅縮小時，所衍生出許多製作上的問題，再且由於SIP(System in Package)技術逐漸受到重視，覆晶封裝(Flip Chip)也將漸漸成為未來的封裝趨勢，其中所謂的覆

晶封裝即為在IC的I/O Port植入錫鉛材料的凸塊或錫球作為與外部的電性連接接點，再將IC導至與基板相對應之電極連結，便完成了覆晶封裝製程，有別於傳統打線方式，可有效減小IC的封裝體積。而覆晶封裝的接腳排列皆為陣列排列之形式，因此更加提高了陣列式探針卡的重要性。

探針除了有排列方式的差異外，根據其待測點的不同也會影響探針設計的考量。待測點主要可分為平坦式電極(Pad)與金屬凸塊(Bump)兩種型式，平坦電極的即為半導體製程完成後所裸露之電極，由於後段製程所使用的金屬材料多為鋁(Al)或銅(Cu)，此兩種金屬於一般環境下皆會產生氧化層，因此在設計探針的機械特性時需特別注意是否有足夠承受刺穿氧化層的力量，若無法刺穿氧化層，將無法有效讀取到電性訊號。而凸塊待測點則多為封裝前所製作的電性連接點，使用材料多為錫(Sn)、鉛(Pb)所組成，由於此類材料較不易與空氣反應，因此並無前述之氧化問題，然而每個待測點之間有較大的高低誤差量，因此設計考量上則需特別注意到探針之順應性(Compliant)與所能承受之最大位移量，若探針的位移量不足，則會導致部份接點無法接觸到探針的情形，相同也會造成部分電極擷取不到訊號。根據前述的探針排列方式與待測點的不同，因此發展出各種不同形式之探針卡，接著將對現有探針卡以及本實驗室開發之微機電(Micro-electro-mechanical system, MEMS)式探針卡進行介紹，藉此了解並比較兩者間的特性與未來之發展性。

## 二、現有技術簡介

目前晶圓級的探針卡主要可分為三種形式，分別為環氧樹脂探針卡(Epoxy Ring Probe Card)、垂直式探針卡(Vertical Probe Card)與微機電式探針卡(MEMS Probe Card)，就目前而言，業界中現行的晶圓測試技術主要是透過環氧樹脂技術將探針直接連接至印刷電路板，製作方式是透過人工方式逐一組裝而成，如圖2所示為組裝完成之探針影像，其中每根探針皆為一懸臂樑結構，形狀幾何如圖3所示，此類型探針卡由於先天上需考慮到懸臂樑的空間配置，因此無法達成高密度陣列，雖然其間距(Pitch)可透過三維的排列方式達到更緊密的排列，然而此排列方式則會延伸出受力不均的問題，導致對待測電極產生不同程度的破壞，另一方面，由於訊號傳遞路徑過長，所以也無法達到高頻電子元件( $\rightarrow 1$  GHz)的測試要求。目前業界針對陣列排列與高頻訊號的量測，大都使用垂直式探針卡作為解決方案，如圖4為垂直式探針卡之影像圖，由圖中可清楚的了解到其高密度排列的特性，然而此類型的探針卡同樣也是需透過人工組裝的方式完成，因此當未來電極間距要求低於 $100 \mu\text{m}$ 後加上數量倍增的輸出腳位，製作上將逐漸的遭遇到瓶頸，其製作時間、良率、精確度皆會不符合成本效益。有鑑

於此，利用微機電技術製作高效能的探針卡變成為目前最有效的方法之一。

一般利用微機電技術製作的微探針，大都以半導體製程配合為電鑄的方式進行微機械結構與連接導線的製作，透過光罩的設計可輕易製作出小間距與任意幾何形狀排列的陣列式探針，因此能省去傳統探針卡人工組裝所產生的問題，且本身具有輕、薄、短、小、便宜且可批量製造的優點，將可提供並滿足未來高積極度、高密度、高腳數、高頻寬以及系統晶片化(System on Chip)的測試需求，因此微機電式探針卡也漸漸成為發展主流。

### 三、微機電式探針卡

#### 3.1 設計概念

目前以微機電技術所製作出的結構，由於受限於製程技術的限制，大多是平面式的幾何結構，因此降低其操作功能與應用。尤其目前探針卡在實際操作上須有大位移的出平面位移與足夠的應力強度配合，因此平面式的微探針結構無法滿足晶片測試上的需求。有鑑於此，本實驗室利用微機電技術，透過薄膜製程、電鑄製程製造具有出平面、高強度及大形變位移的立體微結構探針陣列，其結構示意圖如圖5所示。本結構目的在於改進一般微探針的缺點，包括提高探針的剛性與形變並增加微結構的可靠度，以符合目前探針之高測試次數(high touchdown)、極細間距(ultra fine pitch)以及低成本製造的趨勢。此外，以微機電技術製作微探針可以直接將訊號作測試與輸出，亦可結合CMOS技術將訊號處理電路與微結構整合於同一塊系統晶片上達成晶片系統化(chip on system)的目的。

在元件製造方面，本文所提出的結構整合薄膜製程與電鑄技術製作微探針陣列的優點，在於直接利用薄膜製程產生的殘留應力，製造出平面(out-of-plane)的微機械結構，配合電鑄製程技術作出高剛性及大形變位移的微探針陣列。其重要性除了可提高微探針的測試性能外，透過微機械結構的機械特性與分析模擬，可以將該微探針應用在具有高密度電極板陣列的LCD驅動晶片以及各類IC。目前在國內外有許多團隊皆有對於出平面翹曲結構進行研究，其製作的主要方式是利用不同應力的雙層薄膜使結構產生翹曲[6-8]，由於此翹曲結構是用雙層薄膜組合而成，因此在受力的同時有可能產生結構脫層的情形，此外在結構製作的材料的選擇上也較侷限，所以在應用層面的範圍相對縮小許多。而本實驗室所提出的製程方式，可使探針具有出平面形變的翹曲結構，並藉由沈積不同應力大小的金屬薄膜，製作出不同翹曲高度的結構，以滿足未來實際應用上的需求，再以電鑄製程提高結構的可靠度及其使用壽命。透過此製程製作之探針結構，除了可輕易調整探針的機械特性外，材料選擇上也較為靈活，如銅、鎳與其它合金等，且出平面位移量具有良好的均勻性。另一方面，上述概念之探針卡可在相同製程下，經由光罩佈局做出不同排列形式與不同電極應用之探針卡，再此分別提出周圍式與陣列式排列方式之探針卡於平坦電極之應用與爪狀探針結構於凸塊電極之應用。

#### 3.2 平面式電極

圖5、圖6分別為周圍式與陣列式排列方式之微機電探針卡，透過於矽基板上預先製作完成之貫穿孔電極作為每根探針與外界電性連結的管道，而個別探針的電性絕緣則是利用雷射切割製程完成，此外只需藉由光罩的佈局，即可輕易的將周圍排列之探針卡轉變為高密度排列之探針陣列，且可輕易的改變排列的間距大小，製作而成的探針本身也具有良好的水平性，因此於使用上相對可降低探針位移量與承受力的要求。此出平面結構除了可作為探針卡使用外，也可做為覆晶封裝的高密度接腳，如圖7於不同應用之示意圖，以解決未來IC之高密度I/O Port基板與錫球間熱應力問題。

#### 3.3 凸塊式電極

針對凸塊式電極應用，本實驗室亦提出了爪狀式探針結構，其結構示意圖如圖8所示，有別於傳統利用針尖刺入金屬的方式進行量測。由於傳統刺入方式當量測完成時，於錫球表面會產生一凹痕，其示意圖如圖9所示，在後續進行的熱回熔(reflow)製程，有可能會在電極凹陷處產生一小空腔(void)並導致電性不良與缺陷，而本文所提出之結構由於是利用具彈性的爪狀結構與待測電極進行接觸，因此可解決上述的缺陷問題，其量測示意圖如圖10所示，此外也可容許較大的待測物與探針間的偏移誤差量，此外也與上述的出平面結構使用相同之製程即可完成元件製作，因此相同樣具有製成簡單、低成本的特色，且透過此種量測方式將可省去熱回熔之製程步驟，因此與傳統量測流程相比之下，可更加大幅降低成本。

#### 3.4 製程與實驗結果

在探針的製程規劃上，上述三種形式之探針頭皆使用相同的製作流程，因此在此僅針對單根之出平面結構進行說明。目前開發的製程中只需使用到一道光罩，首先利用微影與蝕刻製程在二氧化矽薄膜上製作懸浮的微懸臂樑結構，再透過薄膜殘餘應力的效應，沉積具有張應力之鈦金屬薄膜，使該結構產生出平面形變，做為探針結構的基本雛型，最後使用電鑄製程實現微探針結構。相關的製造流程如圖11所示並描述如下：

- 首先在P型(100)單晶矽晶片上以熱成長方式成長 $1\mu\text{m}$ 之二氧化矽。
- 利用微影製程定義探針及其連接之電極板的平面形狀，再利用BOE對二氧化矽進行蝕刻。
- 以二氧化矽薄膜為阻擋層，利用KOH進行矽基材之非等向性蝕刻，製作出懸浮薄膜微懸臂結構。
- 透過蒸鍍的方式沉積 $4000\text{\AA}$ 鈦金屬，利用鈦金屬作為電鑄之種子層並使微機械結構受殘餘張應力的影響產生出平面形變。
- 電鑄鎳金屬以增強探針剛性。
- 最後利用蝕刻的方式去除部份金屬層及二氧化矽，以得到單層之鎳金屬微探針結構。

於製作流程中可利用控制鈦金屬的厚度，有效的調變所設計的探針翹曲量，此外翹曲量也與探針之長度有相對的關係，如圖12所示，由結果也可發現其探針陣列的具有良好的翹曲均勻性，最大之翹曲誤差量僅 $\pm 2\mu\text{m}$ ，製作完成之邊緣排列、陣列式排列之出平面結構與爪狀探針結構，其SEM圖分別顯示於圖13、圖14與圖15所示。上述製作完成之探針陣列可利用雷射切割的方式進行個別電極單元的分割，並可透過晶片貫穿孔金屬連接導線的製作方式，完成整個探針卡的製作。

## 四、結論

本研究利用微機電技術所開發之電鑄鎳微機械探針除了具有大的出平面預變形之外，並同時具有高剛性的特性。另一方面，透過參數的調配，可以滿足不同應用面的需求，結構不只可運用於本研究所提之微探針卡的製作，亦可做為內連線電極使用，且機械特性上具有良好的均勻性，可降低探針本身所需的承受力與位移量要求。透過微機電技術製作之探針卡，可以輕易解決目前傳統式探針卡所遭遇到的問題瓶頸，然而由於尺度上的差異，因此相對而言其結構的剛性與變形量皆會比現有的探針小了許多，然而可透過其高精密度特性降低對探針本身機械特性的需求，因此未來在量測技術上的開發，除了對探針頭部分的發展，也需搭配更靈敏度之機台，如此系統化的發展，才可確實突破現有的量測技術瓶頸。

## 參考文獻

- [1] [http://www.mjc.co.jp/eng/product/index3\\_4.html](http://www.mjc.co.jp/eng/product/index3_4.html)
- [2] K. J. Puttlitz, P. A. Totta, "Area array interconnection handbook", Springer; 1st edition, Sep. 2001.
- [3] T. Hantschel, L. Wong, C. L. Chua, D. K. Fork, "Fabrication of highly conductive stressed-metal springs and their use as sliding-contact interconnects", *Microelectronic Engineering*, Volumes 67-68, pp. 690-695, June 2003.
- [4] <http://www.accuprobe.com/Downloads/PT19%20Epoxy%20Ring%20Replacement.pdf>
- [5] <http://www.kns.com>
- [6] K. Kataoka, S. Kawamura, T. Itoh, T. Suga, K. Ishikawa and H. Honma, "Low contact-force and compliant MEMS probe card utilizing fritting contact", *Micro Electro Mechanical Systems*, The Fifteenth IEEE International Conference, pp.364 - 367, 2002.
- [7] K. Shingo, K. Kataoka, T. Itoh, and T. Suga, "Design and fabrication of an electrostatically actuated MEMS probe card", *TRANSDUCERS, Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems*, Vol. 2, pp.1522 - 1525, 2003.
- [8] Y. M. Kim, H. C. Yoon, and J. H. Lee, "Silicon micro-probe card using porous silicon micromachining technology", *Electronics and Telecommunications Research Institute*, Vol.27, No4, pp.433-438, 2005.

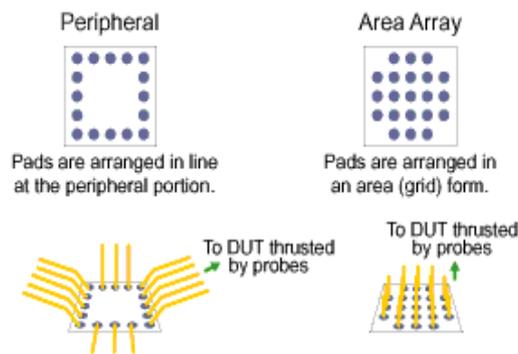


圖1：周圍式與陣列式之電極排列示意圖[1]

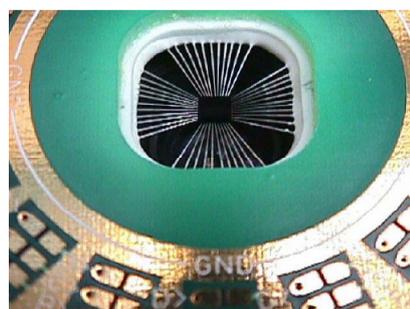


圖2：環氧樹脂探針卡影像[4]

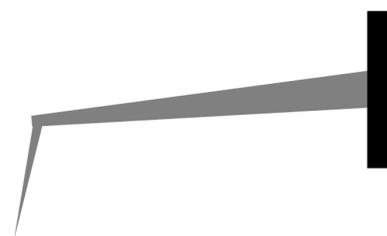


圖3：單根懸臂式探針示意圖

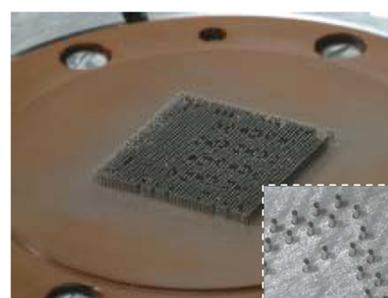


圖4：垂直式探針卡影像[5]

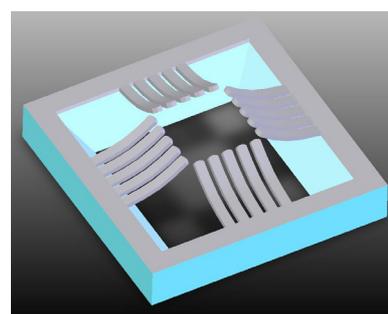


圖5：周圍排列式之探針示意圖

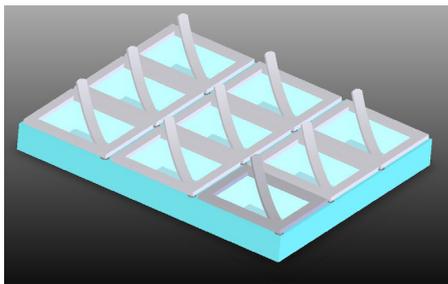


圖6：陣列排列式之探針示意圖

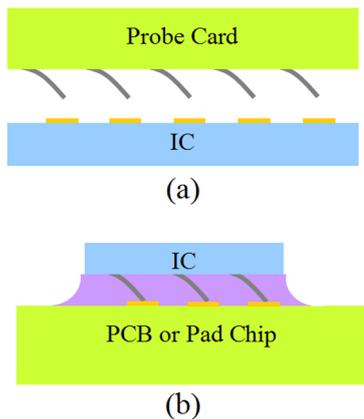


圖7：微出平面結構應用於(a)探針卡與(b)內連線之結構示意圖

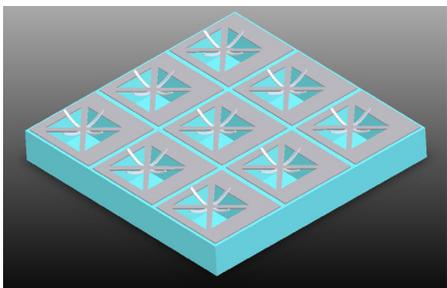


圖8：爪狀式探針結構示意圖

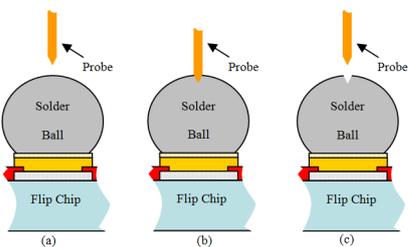


圖9：傳統探針於凸塊電極接觸方式

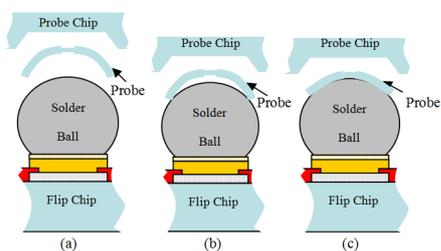


圖10：爪狀探針於凸塊電極接觸方式

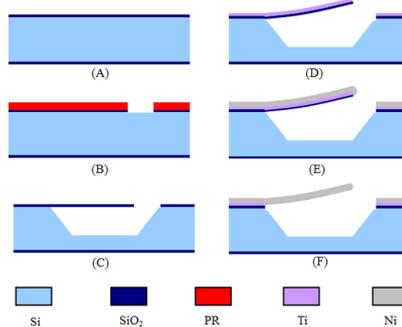


圖11：探針之製程流程圖

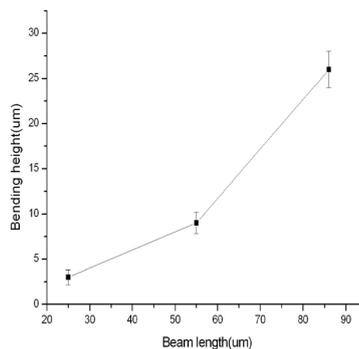


圖12：探針長度與翹曲高度之關係

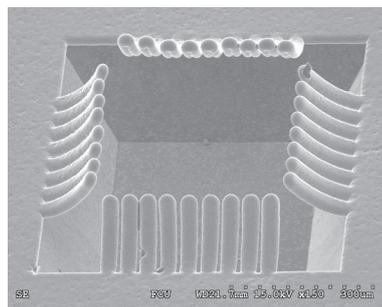


圖13：周圍排列之探針SEM圖

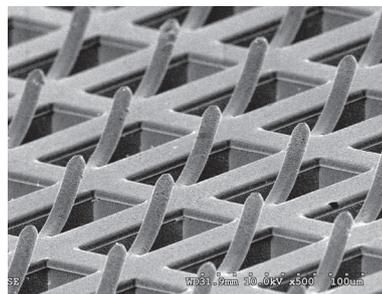


圖14：陣列排列之探針SEM圖

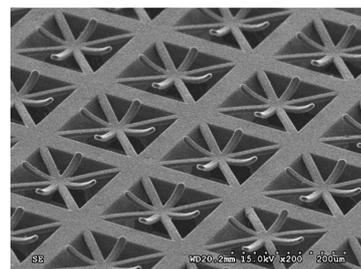


圖15：爪狀探針SEM圖