

# 國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

微探針的分析、設計與製造

**Design and Fabrication of micro-probe**



研究生：蕭榜均

指導教授：陳宗麟 教授

中華民國九十六年十二月

# 微探針的分析、設計與製造

## Design and Fabrication of micro-probe

研究生：蕭榜均

Student : bang-jun Xiao

指導教授：陳宗麟 博士

Advisor: Dr. Tsung-Lin Chen

國立交通大學



A thesis

Submitted to Department of Mechanical Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Mechanical Engineering

December 2007

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年十二月

# 微探針的分析、設計與製造

學生：蕭榜均

指導教授：陳宗麟博士

國立交通大學 機械工程學系

## 摘要

IC 晶圓片在製造完成後，都會立即進行裸晶測試或預燒(Burn-in)的製程，以期將不良品(Bad die)在封裝前即予剔除，避免不良品的裸晶片進入封裝階段，造成不必要的成本增加，因此裸晶測試在半導體產業扮演著重要角色。

探針卡(probe card)的使用在 IC 測試過程中，是相當重要的工具，它是針測測試機與晶元(die)間相當重要的媒介工具，透過探針卡的探針與晶圓特定鐳墊(Pad)接觸，才能量得電路的特性，進而判斷出晶粒的好壞。然而，由於製作探針卡的過程需仰賴人工，又要求如此高的精準度，所以一個探針卡的製作成本高昂，因此如何提高探針卡的壽命，即減緩探針的損傷，將是降低 IC 測試成本的一大課題。

本篇研究主要目的分為兩部份，首先在於建立有限元素分析模型，進行針測過程的模擬，並且與實際情況相互比較，以驗證分析模型之正確性。而後利用此分析模型設計新型探針，改善舊型探針的缺點，並且利用微機電及積體電路製程技術製造出來。

# Design and Fabrication of micro-probe

Student: bang-jun Xiao

Advisor: Dr. Tsung-Lin Chen

*Department of Mechanical Engineering National Chiao-Tung University*

## Abstract

After the manufacture of IC chips, we will proceed Failure-inducing test and Burn-in. We anticipate to cull out bad die before package. To avoid the bad die get into package and cause increasing of cost. So the chip test play an important role of semiconductor industry.

Probe card is very important equipment in IC test. It connected the Prober and Tester to die. Through the probe we can measure the electrical properities and estimated the die is pass or fail. However, the process to fabricate probe card need artful, hence the cost of probe card is expensive. In consequence how to increase the use life of probe card that is decrease damages of probes will the import purpose to abate the cost .

The research has two parts. First we build finite element model and modeling the process of chip testing. Then compare with true situation to verify accuracy of the finite element model. Next we use this finite element model to design new probe. The new probe can improve old probe defect. Then use the semiconductor manufacturing technology fabrication.

## 誌 謝

本論文得以順利完成，首先要感謝我的指導教授 陳宗麟較受給予我學習及研究上的許多督促與指導。在與老師互動中，老師不但解答我的困惑並且適時地提供研究方向。除了指導論文外，老師亦時常提供他就學與研究的經驗與我們分享，也讓獲益良多。在此獻上誠摯的謝意。

此外，感謝實驗室的博班學長紀建宇、蔡俊胤、許齡元學長，時常提供意見與建議給我，同學游仁值、黃少侃、張紹辰和實驗室的學弟們，大家一起在課業與研究上相扶持相砥礪，感謝他們於這兩年間的給予我有著很好的回憶。

最後要感謝父親、母親、姊姊、弟弟所給予的支持使我能專心於課業及研究，並且也感謝在大學社團所結交的一群好朋友，在大家的互相鼓勵與幫助之下終能將論文順利完成。



## 目錄

摘要.....	ii
Abstract.....	iii
誌謝.....	iv
目錄.....	v
圖目錄.....	viii
表目錄.....	xi
第一章.....	1
緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究方法與流程.....	2
第二章.....	4
微探針的分析.....	4
2.1 有限元素法.....	4
2.2 ANSYS 軟體簡介.....	5
2.3 有限元素模型建立.....	6
2.3-1 探針的外型.....	7

2.3-2 探針組成成分與材料參數設定.....	7
2.3-3 針測過程中週遭的受力情形.....	9
2.4 塑膠柱的功能.....	12
2.5 探針和兩根塑膠柱力的分析.....	16
2.5-1 探針和一根塑膠柱的情況.....	17
2.5-2 考慮探針和兩根塑膠柱的情況.....	19
2.5-3 探針滑動的情況.....	22
2.6 探針的電阻值分析.....	23
第三章.....	28
新型探針設計.....	28
3.1 新型探針的設計方法.....	28
3.1-1 彈簧設計理論.....	28
3.1-2 破壞準則.....	30
3.2 設計新型探針.....	31
3.3 新型探針有限元素模擬分析.....	33
3.3-1 新型探針的變形量.....	34
3.3-2 新型探針的應力分佈.....	36



3.3-3 新型探針的電阻值.....	37
第四章.....	40
製作新型探針.....	40
4.1 主要製程技術簡介.....	40
4.1-1 微影技術.....	40
4.1-2 濕式蝕刻製程.....	41
4.2 製程流程.....	42
4.2-1 黃光微影製程.....	42
4.2-2 濕式蝕刻.....	44
4.2-3 蝕刻結果.....	45
第五章.....	50
結論與未來展望.....	50
5.1 結論.....	50
5.2 未來計畫.....	50
參考文獻.....	53



## 圖目錄

圖 1.1	IC 製程流程圖.....	1
圖 1.2	研究方法流程圖.....	3
圖 2.1	圖 2.1 ANSYS 分析處理作業流圖.....	6
圖 2.2	ROL200 在顯微鏡下外型.....	7
圖 2.3	2mm 在顯微鏡下外型.....	7
圖 2.4	ROL200 模擬圖.....	7
圖 2.5	2 mm 模擬圖.....	7
圖 2.6	探針邊界條件.....	10
圖 2.7	探針上視圖.....	10
圖 2.8	探針有限元素模型.....	11
圖 2.9	探針模型網格圖.....	12
圖 2.10	探針最大變形量，兩根塑膠柱材料參數錯誤.....	14
圖 2.11	探針最大變形量，兩根塑膠材料參數較圖 2.9 小.....	14
圖 2.12	探針的受力情況.....	16

圖 2.13	探針跟一根塑膠柱邊界條件.....	17
圖 2.14	探針和一根塑膠柱受力變形圖.....	18
圖 2.15	探針和兩根塑膠柱受力變形圖.....	21
圖 2.16	探針 x 方向移動.....	22
圖 2.17	有限元素模型加入電壓差的邊界條件.....	23
圖 2.18	探針的電流密度分佈圖.....	24
圖 2.19	探針下壓位移與電阻值之關係.....	25
圖 3.1	四種微彈簧設計.....	28
圖 3.2	彎曲彈簧圖形.....	29
圖 3.3	新型探針外型.....	32
圖 3.4	新型探針邊界條件.....	33
圖 3.5	新型探針變形.....	34
圖 3.6	新型探針 x 方向位移.....	35
圖 3.7	新型探針應力分佈圖.....	36
圖 3.8	新型探針電阻值與下壓位移之關係.....	38



圖 3.9	新舊型探針電阻值比較.....	39
圖 4.1	微影製成流程圖.....	41
圖 4.2	濕式蝕刻輪廓.....	42
圖 4.3	光罩.....	43
圖 4.4	光罩對準曝光機(擷自本校奈米中心網頁).....	44
圖 4.5	側蝕.....	46
圖 4.6	未蝕刻前探針外型.....	48
圖 4.7	試片 1 蝕刻結果.....	48
圖 4.8	試片 2 蝕刻結果.....	48
圖 4.9	試片 3 蝕刻結果.....	49
圖 4.10	試片 4 蝕刻結果.....	49
圖 4.11	試片 5 蝕刻結果.....	49



## 表目錄

表 2.1	探針組成成分表.....	8
表 2.2	金的材料性質.....	8
表 2.3	有限元素模型各部位的材料性質表.....	8
表 2.4	有限元素模型各部位摩擦係數.....	11
表 2.5	探針施力與形變條件.....	12
表 2.6	兩根塑膠柱的材料性質.....	13
表 2.7	探針在各種情況下的最大形變量.....	15
表 2.8	探針系統各部位反作用力大小.....	19
表 2.9	兩根塑膠柱正確的材料參數.....	19
表 2.10	探針系統各部位反作用力情況.....	21
表 2.11	探針電阻值與探針下壓位移.....	25
表 3.1	塑膠柱受力與變形量.....	31
表 3.2	新型探針電阻值與下壓位移值.....	38
表 4.1	銅片蝕刻比較表.....	46

# 第一章

## 緒論

### 1.1 研究動機

近年來由於半導體產業蓬勃發展，積體電路(Integrated Circuit IC)廣泛應用在我們的日常生活中，像是國防工業、航太工業、民生消費電子．．．等等領域，並且隨著 IC 的體積微小化及功能複雜化、高腳化及高頻化，因此如何確保產品量產時的可靠度就成了重要課題。IC 晶圓在製作完成之後，都會立即進行裸晶測試，以期將不良品(Bad die)在封裝前即予剔除，避免不必要的成本浪費。從 IC 製程的流程圖，如圖 1.1，可看出 IC 測試在整個半導體製程中所占的重要性。



在 IC 測試過程中，探針卡(Probe Card)是相當重要的媒介工具，它連接針測試機(Prober and Tester)與晶圓(die)，透過探針卡上的探針與晶圓特定鉚墊(Pad)接觸，才能量得晶粒電路的各種特性，進而判斷出晶粒的好壞。但是，由於製作探針卡的過程需要仰賴人工，又要求高精準度，因此一個探針卡的製作成本往往相當高昂，所以如何提高探針卡的使用壽命，就是減緩探針的受損更換，將是降低 IC 測試成本的重大考量。

## 1.2 研究目的

本研究目的是針對 Johnstech 公司所設計的探針 ROL200 建立有限元素模型，並使用此有限元素模型進行針測過程的模擬，藉此了解探針在針測過程中各部位受力的狀況，並且由此有限元素模型模擬過程中得到一些未知的材料資訊。此外將針對探針存在的缺點分析，期望可以設計新型探針，改善這些缺點。賴於微機電及積體電路製程技術快速發展，晶圓級針測卡之探針製作也應用到此相關技術，期望所設計的新型探針也可以藉用此技術而實際製作出來。

## 1.3 研究方法與流程

本研究可分為三大階段：



- 1、首先利用有限元素軟體 ANSYS 建構探針的有限元素模型，並且針對探針針測過程進行有限元素模型模擬，同時也與實際的針測過程做對照，一方面驗證模型的準確性，一方面從模擬中尋找出一些未知的材料性質，最後將得到探針完整的各部位分析情況。
- 2、利用第一階段所得到的資料進行設計新型探針，新型探針設計出來之後，再由第一階段建立的有限元素模型模擬方法，重新建立新型探針的有限元素模型並模擬分析，若是有限元素模型模擬分析出來的結果合理，就可以接著進行第三階段，若是有限元素模型模擬的結果有問題，則回頭重新設計探針，再進行有限元素模擬。
- 3、利用微機電製程技術實際製作。

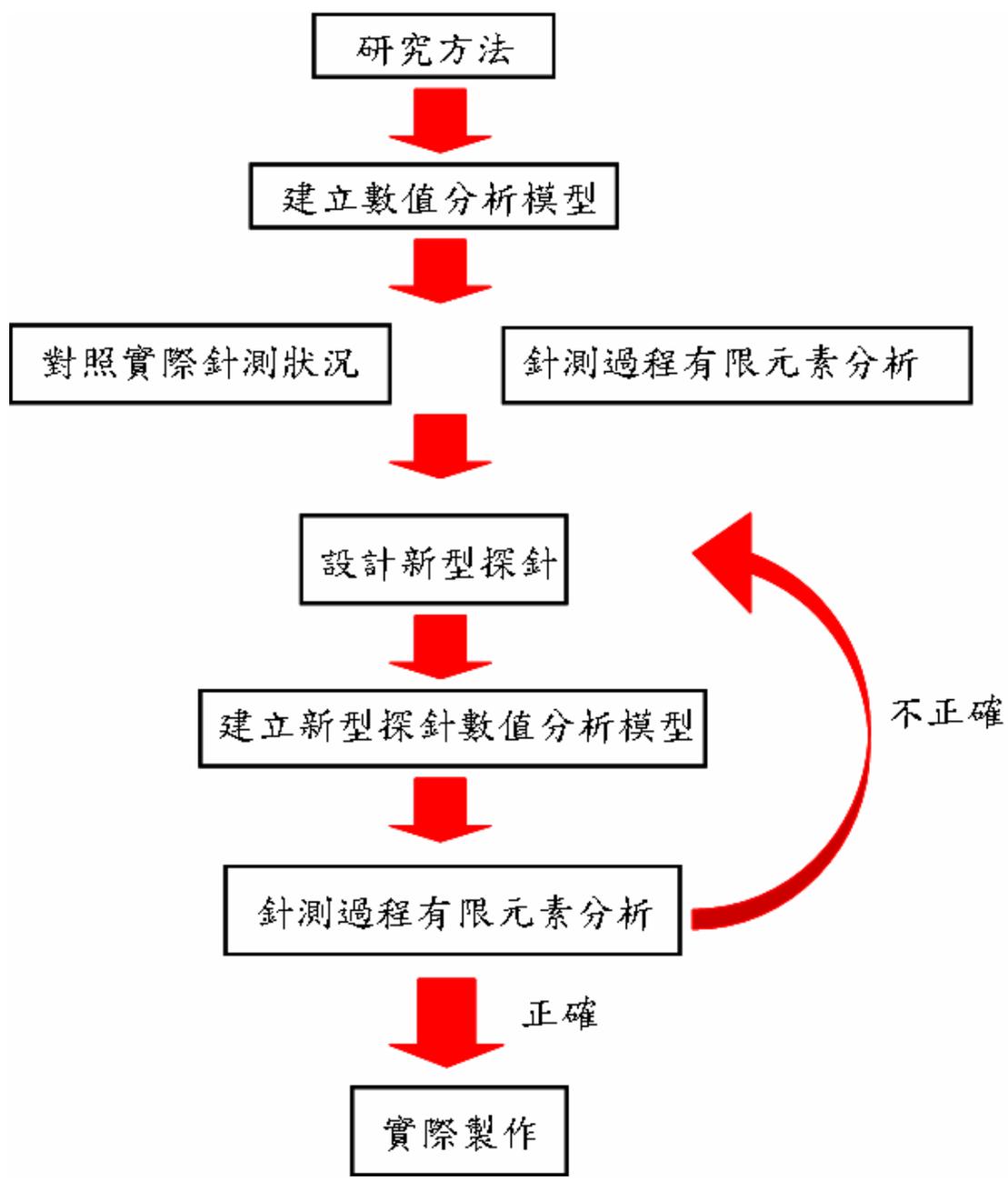


圖 1.2 研究方法流程圖

## 第二章

### 微探針的分析

本章節將利用有限元素軟體 ANSYS 對 Johnstech 公司所設計的探針 ROL200 建立有限元素模型，並使用此有限元素模型進行針測過程的模擬分析，分析過程以探針受力至探針產生最大變形量與相對位移為一個循環，並且由模擬的結果來探討探針在受力時，探針下壓位移與探針週遭支撐膠柱變形量的相對關係，藉此推導出此塑膠柱的一些材料係數，接著進行電性的模擬，求出探針在針測過程中電阻值的變化關係。

#### 2.1 有限元素法



[3]有限元素法(Finite Element Method)是把一個複雜的幾何形狀切割成一些形狀較小且形狀比較簡單的區域，每個區域稱為一個元素(Element)，元素與元素間是經由節點(nodes)來連結的。在有限元素法中，通常取節點上的變位量作為未知量，未知量又稱自由度(degrees of freedom)，因為元素是簡單的幾何形狀，只有結點上可能有外力作用，所以可以把簡單的結構實體的方程式寫出並用自由度來表示，而這些方程式就稱為元素方程式(element equations)。每一個元素都有一組元素方程式，接著把所有的元素方程式聯立起來，變成一組聯立方程式系統，稱為整體結構方程式(structural global equations)。解出這組聯立方程式就可以得知每個節點上的變位量。有了節點變位量後，可以計算整個元素上的變位場。變位場與節點變位的關係通常是透過合理的假設，這是有限元法重點之一，也是有限元素法誤差的主要來源之一。有了變位場後可以利用公式計算應變場，再利用應變場求得應力場。

## 2.2 ANSYS 軟體簡介[1]

ANSYS 是目前在工業上常使用的電腦輔助分析套裝軟體，它能同時分析結構物受到靜力、動力、熱傳及流力等多重物理現象影響時的變化。因此常被使用在電子封裝、危機電、汽車、航太及醫學工程等多種產業領域。其運算所根據的原理，乃是根據有限元素法而來的。因此當結構物的模型在軟體中被建立好並被網格化後，只要附加適當的條件，就可以直接利用有限元素法來計算，進而瞭解到所建立的模型或是產品的特性。

ANSYS 軟體架構含有前處理器、分析器及後處理器等三個基本的模組，此外還包含最佳化設計等特色的模組。

(一) 前處理器：前處理器在軟體中的腳色有多種。可以簡述如下：

1. 選用是當的元素，定義元素特性及材料性質。
2. 建立被分析結構物的實體模型。
3. 產生有限元素模型。



(二) 分析器：在前處理器所產生的有限元素模型，將在此模組中設定邊界條件並進行分析。可以簡述如下：

1. 確定分析方式及其解法選項。
2. 設定拘束邊界條件。
3. 設定外力或能量元的邊界條件。
4. 設定輸出入控制與求解。

(三) 後處理器：將分析的結果以圖形或文字的形式表現出來，以作為判斷分析之用。在文字方面輸出的資訊包含有節點與元素的變形量、應力及應變等資訊。在圖形資訊輸出的方式利用顏色深淺變化的方式，也利用等高線圖。

系統之分析流程如圖 2.1 所示。

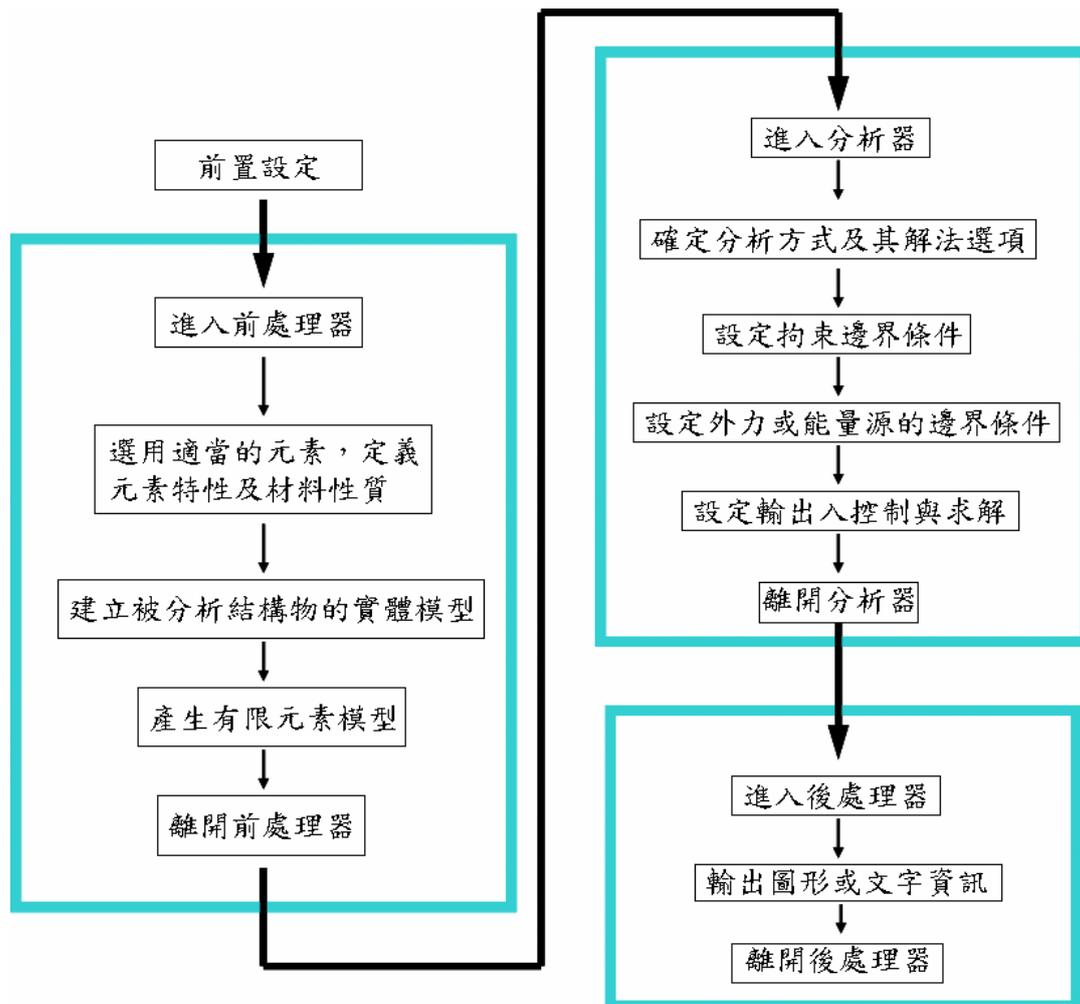


圖 2.1 ANSYS 分析處理作業流程圖

## 2.3 有限元素模型建立

有限元素模型模擬分析的過程是以探針受力到產生相對位移與變形的情况為一個完整分析，首先根據探針的實際尺寸建模，接著再進行探針受力產生形變、位移與電阻值變化的模擬。

### 2.3-1 探針的外型：

首先建立探針外型的有限元素模型，接著進行之後的模擬分析，所以先在顯微鏡下量出探針放大後的尺寸，再縮小成實際尺寸建模在有限元素軟體中，圖 2.2 與圖 2.3 分別為探針 ROL200 與探針 2mm 在顯微鏡下的放大外型。因此建立了兩種探針的有限元素外型，分別為圖 2.4 與圖 2.5，不過接下來的各種模擬分析，皆以 ROL200 為主。

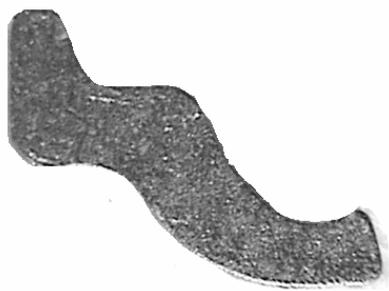


圖 2.2 ROL200 在顯微鏡下外型



圖 2.3 2mm 在顯微鏡下外型

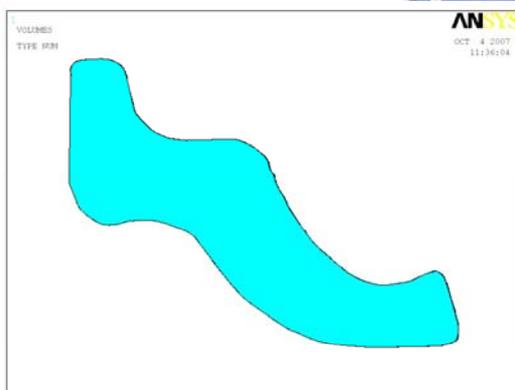


圖 2.4 ROL200 模擬圖

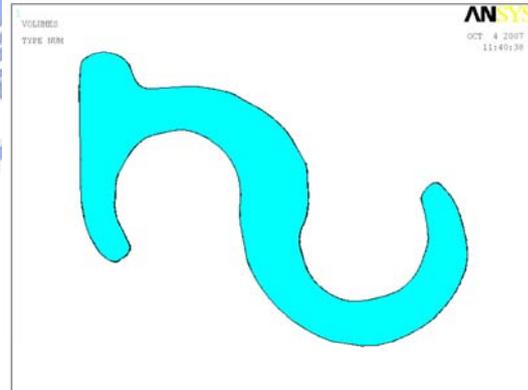


圖 2.5 2 mm 模擬圖

### 2.3-2 探針組成成分與材料參數設定

使用有限元素模型模擬時必須應用探針的材料性質，因此必須了解探針的組成成分，從探針材料分析資料知道探針 ROL200 為多元合金，其中主要的組成成分如表 2.1，而金占 73% 為大多數，為了簡化有限元素模型模擬的複雜度，因此

有限元素模型探針材料部分就以金為主，金的一些材料參數如表 2.2 所示。

另外在有限元素模型中也佔很重要地位的塑膠柱 1 與塑膠柱 2 因為不知道其組成成分為何，因此先自行猜測，最後由有限元素模型的針測過程模擬求出。表 2.3 是有限元素模型中各部位所使用到的材料參數，其中塑膠柱 1 和塑膠柱 2 是列出由有限元素模型模擬所找出的正確參數。

Unit : weight %

Spectrum	Cu	Zn	Ag	Pt	Au	C	Total
Spectrum 1	13.58	1.06	3.95	8.34	73.08	0	100.00

表 2.1 探針組成成分表

物質	Young ' s modulus (GPa)	Poisson ' s ratio	Electrical resistivity( $\Omega - m$ )
金	78	0.44	$2.2 * 10^{-8}$

表 2.2 金的材料性質

部位	Young ' s modulus (MPa)	Poisson ' s ratio	Electrical resistivity ( $\Omega - m$ )
Probe	78000	0.44	$2.2 * 10^{-8}$
塑膠柱 1	12	0.4	無
塑膠柱 2	32	0.35	無
底板	9500	0.44	無

表 2.3 有限元素模型各部位的材料性質表

### 2.3-3 針測過程中週遭的受力情形：

探針外型的有限元素模型建構完畢後，我們必須進一步將探針在針測過程中週遭的受力狀況一併考慮，期望所使用的有限元素模型模擬可以更接近真實的針測過程，因此必須將探針在針測過程中所受到的各種限制條件，對應至有限元素模型的邊界條件上。圖 2.6 為探針在針測過程中的各種限制條件，其中晶圓位於探針上方，探針被兩根塑膠柱卡在探針卡中，先暫時稱塑膠柱 1 和塑膠柱 2，探針的下方則是連接針測測試機，針測過程時是由上方的晶圓受力向下接觸探針，因此在有限元素模型中，亦添加兩根塑膠柱在探針週遭，並將探針上方晶圓受力向下壓處視為施力處。

另外在探針下方與針測機接觸處取一小塊面積將其 y-軸向、z-軸向固定不動，x-軸向可自由滑動，此乃因為探針在針測過程中探針會滑動但不會晃動跟上下震動之緣故。塑膠柱 1 在其下方令三個軸向固定不動，右端只固定 x-軸向不動、y-軸向可自由移動，塑膠柱 2 則是在其上方固定三個軸向，其左端固定 x-軸向不動、y-軸向可自由移動，這些限制條件是因為探針被兩根塑膠柱卡在探針卡中，塑膠柱被探針卡限制的邊界條件。

此外探針厚度經過測量為 0.262mm，塑膠柱的厚度則是取兩根探針之間距離的一半乘 2 加上探針的厚度，所以塑膠柱厚度為 0.48mm，如圖 2.7 所示，圖 2.7 是探針的上視圖。塑膠柱兩端圓形面在針測過程受力，可以視為相等，因為針測過程中，塑膠柱是受到兩根探針下壓施力而產生變形，又因為是兩根探針都會使塑膠柱原形面拉扯，因此可視為左右對稱的關係，所以也可以假設成塑膠柱的兩個圓形面的 z-軸方向不會移動，因此將這些邊界條件帶入所建立的有限元素模型中，如圖 2.8。

此外針測過程中所產生摩擦力的部份，也一併列入考慮，主要發生摩擦部分有四處，第一處為晶圓與探針摩擦，因為此部分以施力處取代，因此不需考慮摩

擦係數，第二處為探針與塑膠柱 1 產生相對運動時的摩擦，參考金屬與塑膠的摩擦係數之後，假定一個可能的係數為 0.4，第三處是探針與塑膠柱 2 產生相對運動處，一樣設定摩擦係數為 0.4，第四處則是探針與針測機接觸處，此處是金屬與金屬像摩擦，所以摩擦係數設定為 0.3。

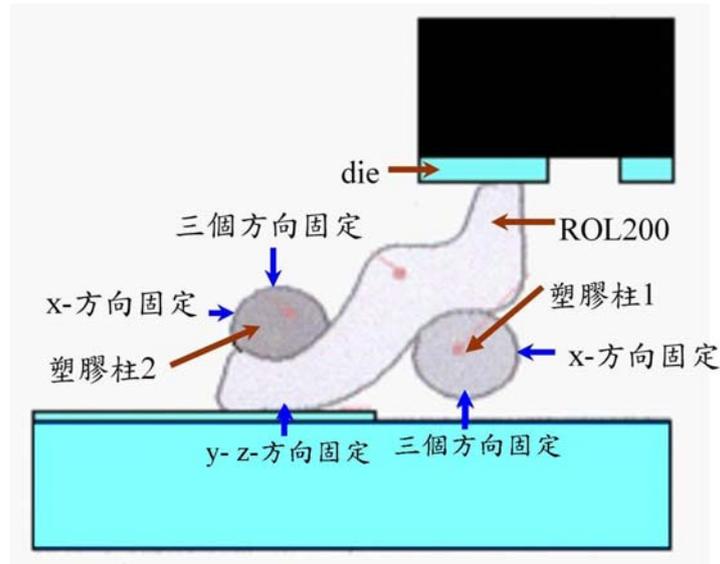


圖 2.6 探針邊界條件

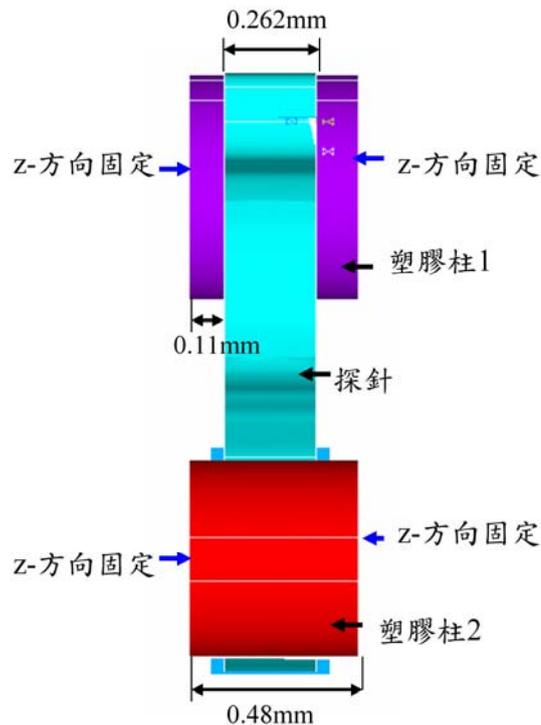


圖 2.7 探針上視圖

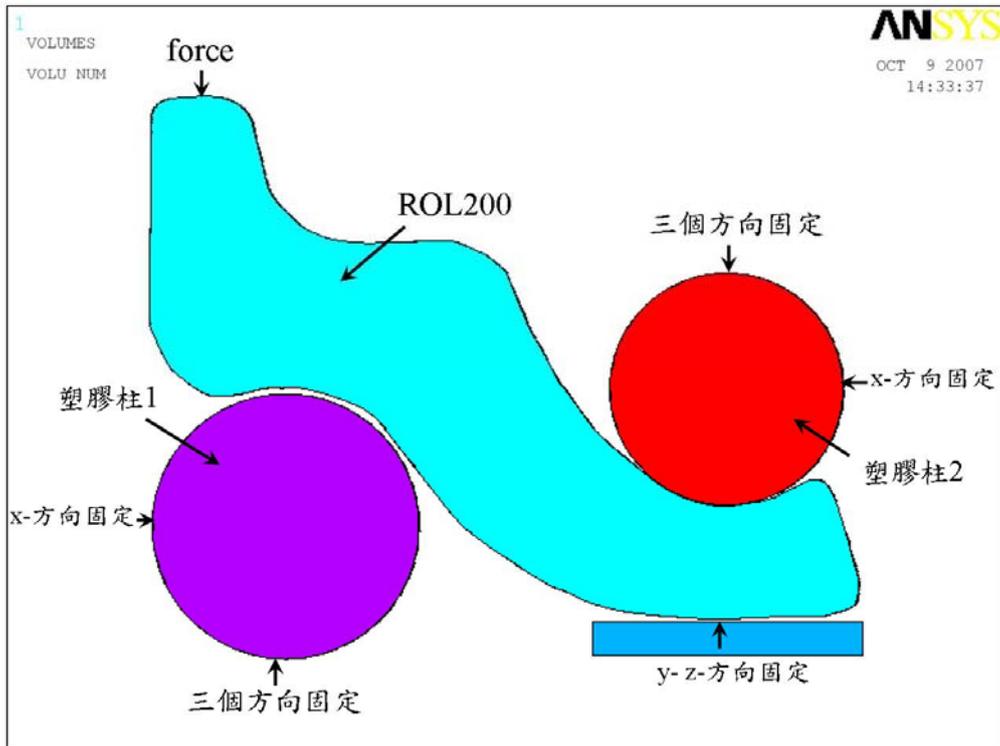


圖 2.8 探針有限元素模型

摩擦處	摩擦係數
探針與塑膠柱 1 接觸處	0.4
探針與塑膠柱 2 接觸處	0.4
探針與針測機接觸處	0.3

表 2.4 有限元素模型各部位摩擦係數

使用有限元素模型模擬針測過程必須對照真實的針測狀況，其中施力大小範圍在真實的針測過程是 60-70 克重的例，因此在模擬時採用 65 克重的力，另外是模擬結束用來驗證的探針最大變形量，也列在表 2.5 中。

項目	實際狀況	有限元素模型狀況
探針最大形變量	0.2mm	所求
施力	60-70grams	65grams

表 2.5 探針施力與形變條件

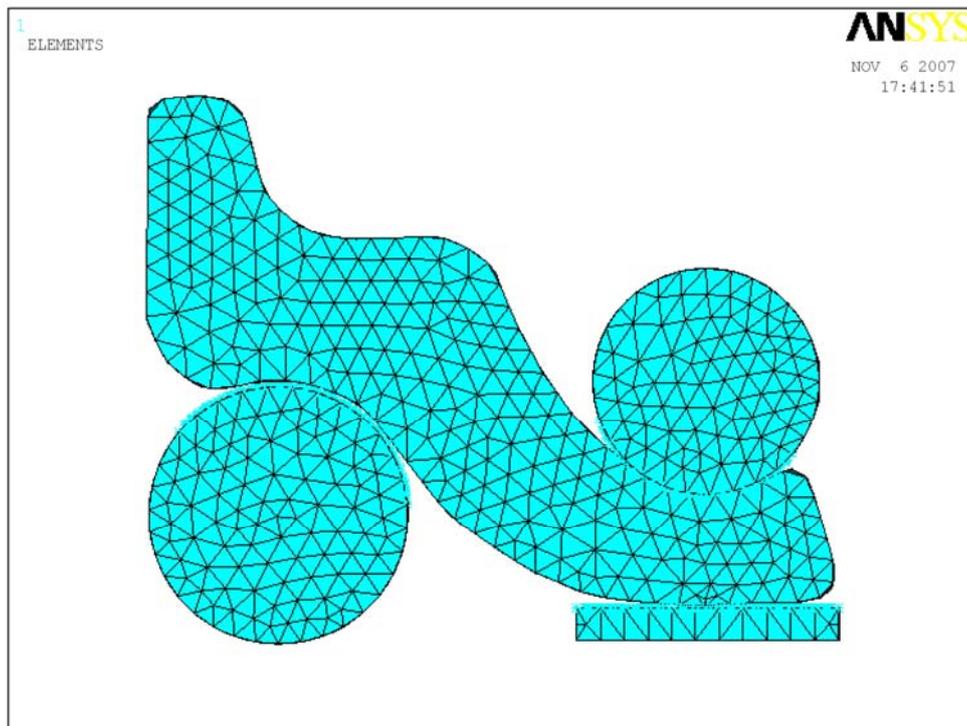


圖 2.9 探針模型網格圖

## 2.4 塑膠柱的功能

建構完有限元素模型後，就開始著手進行分析，其中最想知道位於探針上下方兩根塑膠柱最主要的功能為何？此部份比較麻煩點，因為一開始並不知道這兩

根塑膠的材料，所以也不知道材料參數，因此先從網路上找一些塑膠的材料參數先用，看看會發生怎樣的情況，再根據所得到的模擬結果和真實的針測過程做比較，最後再修正有限元素模型裡面的塑膠柱 1 和塑膠柱 2 的材料參數，最後將會得到塑膠柱 1 和塑膠柱 2 真正的材料參數。

此次的模擬採用 PES 與 PEI 兩種塑膠材料取代兩根塑膠柱，此兩種塑膠材料的材料參數已經列在表 2.6，接下來就是有限元素模型模擬得到的結果，就如圖 2.10 所示，其中 PES 是取代塑膠柱 1、PEI 則是取代塑膠柱 2，探針的最大變形量為 0.31366mm，即圖 2.10 黑色圈中，遠遠小於真實探針應該有的變形量，因此推估是所選擇的塑膠材料太硬的關係，因此將塑膠柱的材料變軟，即將塑膠柱的楊氏係數變小，這次將塑膠柱 1 的楊氏係數假設成 200GPa、塑膠柱 2 假設成 100GPa，再來看看有限元素模型模擬的結果會怎樣，模擬圖形如圖 2.11 所示，探針的最大變形量變成 0.63644mm，比之前模擬結果大，但是還不到真實的變形量 0.2mm。



材 料	young's modulus (MPa)	poisson ratio	塑膠柱圓面半徑 (mm)
PEI (polyetherimide)	2900	0.44	0.35
PES (polyethersulphone)	2500	0.4	0.4

表 2.6 兩根塑膠柱的材料性質

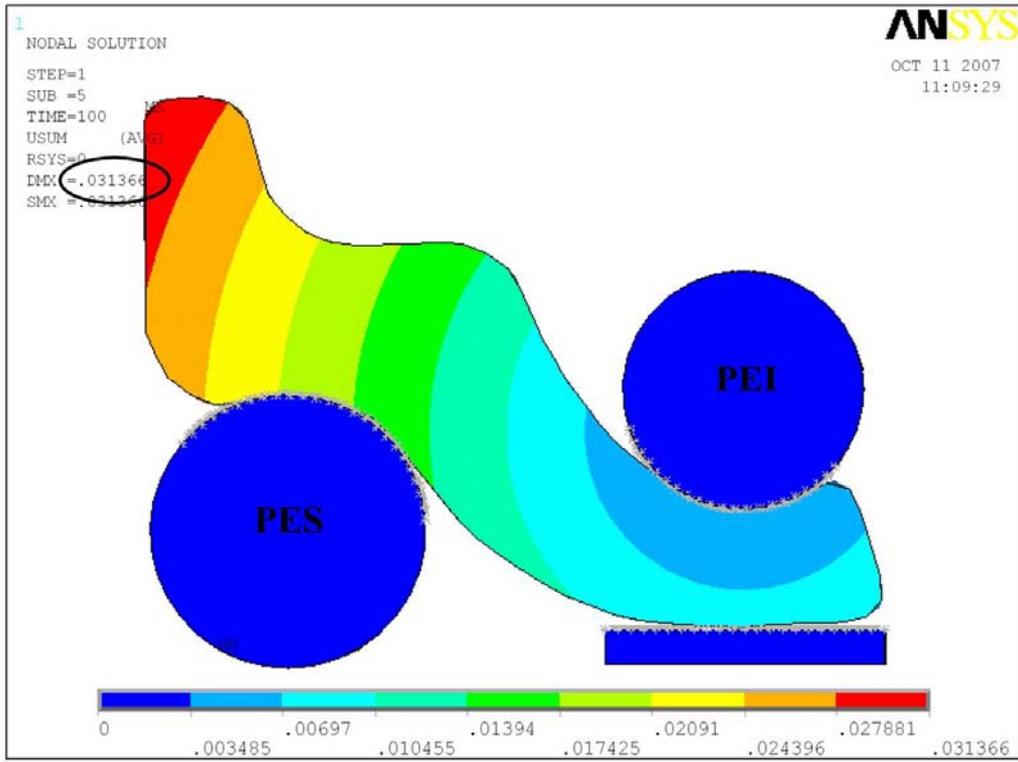


圖 2.10 探針有兩根塑膠柱下的最大變形量(材料性質不是正確的)

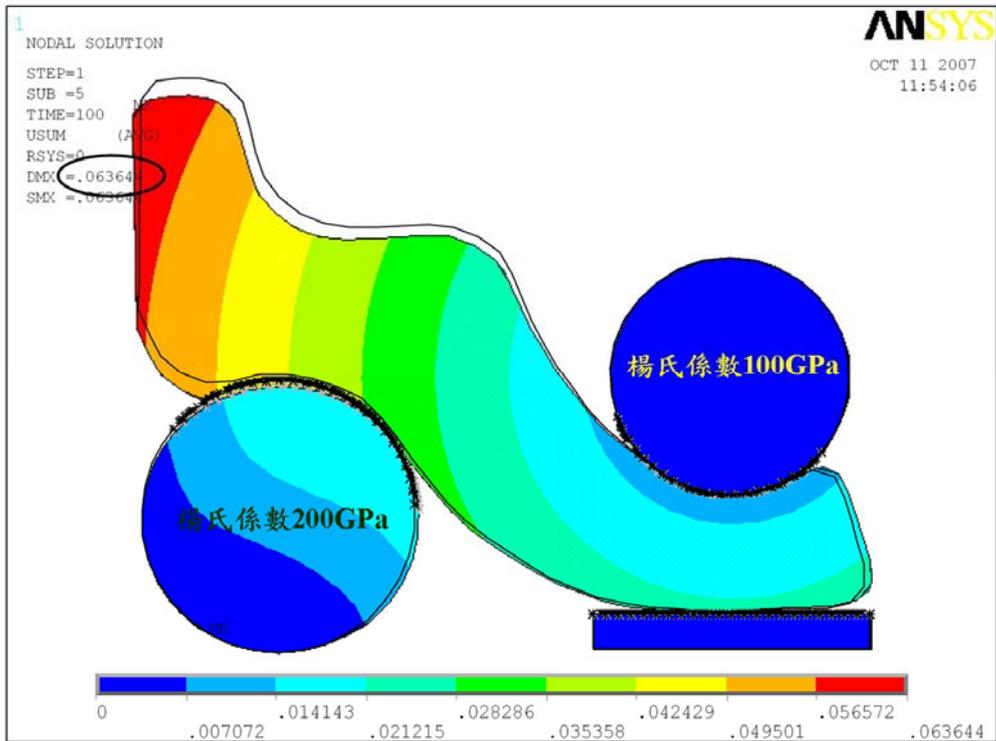


圖 2.11 探針有兩根塑膠柱下的最大變形量，young's modulus 較圖 2.9 小

情 況	Displacement(mm)
標準	0.2
有塑膠柱(楊氏係數 2900 2500)	0.031366
有塑膠柱(楊氏係數 100 200)	0.063644

表 2.7 探針在各種情況下的最大形變量

將之前的模擬結果整理成表 2.7 可以知道，兩根塑膠柱最主要的功能在於減緩探針受力時的變形，若完全沒有塑膠柱緩衝時，探針的變形量會過大，可能造成探針的材料承受不住而斷了，因此加入了兩根塑膠柱緩衝探針受到向下壓的力，但如果這兩根塑膠柱的材質太硬，將會造成下壓位移不夠，這可能會使晶圓在量測時接觸不到探針，所以控制探針變形量大小為兩根塑膠柱的重要功能之一，此外當針測過程結束時，探針需要回覆到原來的位置，此時外力去除，兩根塑膠柱就會開始回復原狀，同時將探針帶回針測過程一開始的位置，因此將探針回覆至原始位置亦是兩根塑膠柱的重要功能，另外一個功能就是固定探針在探針卡中的功能。

不過由於並不清楚兩根塑膠柱的材料性質，因此將重複剛剛的有限元素模型模擬，藉由更改塑膠柱 1 和塑膠柱 2 的材料參數，直到得到探針變形量和真實針測過程的變形量相吻合，此時得到的材料參數就是兩根塑膠柱的材料參數，也是想獲得的重要資料，並且利用這些資料加上塑膠柱的形變量來設計微彈簧，用來取代兩根塑膠柱，最後將新型探針設計出來，其優點是可以一體成形，並且不會有遇熱軟化的現象。

## 2.5 探針和兩根塑膠柱力的分析

此節將找出塑膠柱 1 和塑膠柱 2 的材料參數，並且仔細分析探針和兩根塑膠柱受力後的變形量以及各部位作用力的狀態，期望將探針保持在最大變形量時，可以求出兩根塑膠柱和探針的作用力大小，藉此了解塑膠柱的變形量與各部位力的關係，這樣有利於之後新型探針的設計，圖 2.12 表示探針系統各部位受力的狀況， $F$  為晶圓受力下壓施力  $0.637\text{N}$ 、 $F_{1x}$  與  $F_{1y}$  分別是塑膠柱 1 受到探針下壓之後  $x$  方向和  $y$  方向的反作用力， $F_{2x}$  與  $F_{2y}$  則是塑膠柱 2 受到探針下壓之後  $x$  方向和  $y$  方向的反作用力， $F_3$  是探針下方只針測機接觸處固定小面積的  $y$  方向反作用力， $F_4$  則是探針  $x$  方向的摩擦力。

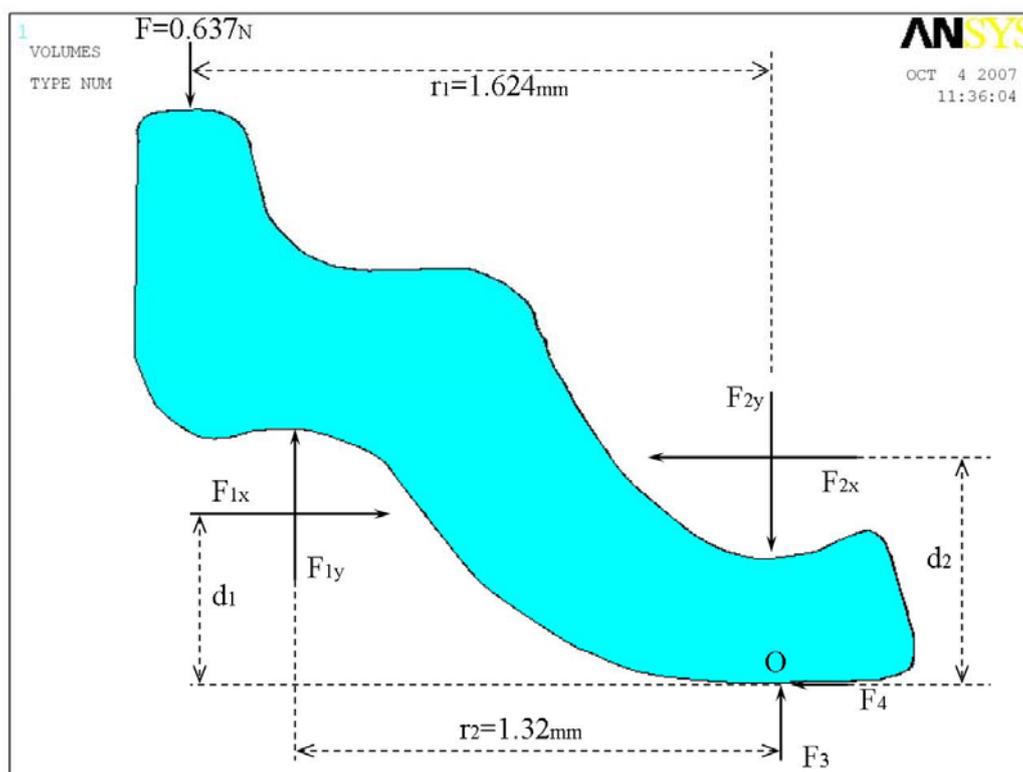


圖 2.12 探針的受力情況

### 2.5-1 探針和一根塑膠柱的情況：

首先使用有限元素模型模擬只有探針和塑膠柱 1 的情況，期望先找出塑膠柱 1 的材料參數，之後再把塑膠柱 2 一併考慮近來，藉由此種方法得到塑膠柱 1 和塑膠柱 2 的正確材料參數，並且分析探針各部位力的分佈狀況。圖 2.13 表示探針和一根塑膠柱的邊界條件，其中施力(force)是 0.637 牛頓(N)，塑膠柱 1 的楊氏係數(young's modulus)為 17MPa、浦松比(poisson ratio)為 0.4，探針的材料性質如前面所述。

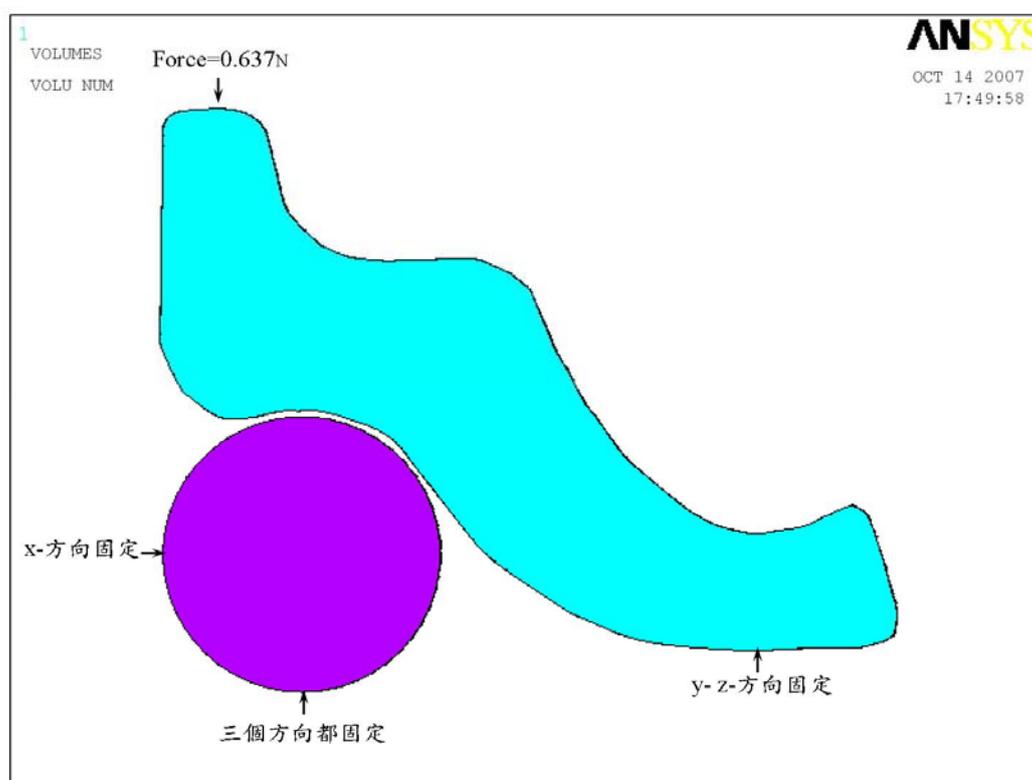


圖 2.13 探針跟一根塑膠柱邊界條件

圖 2.14 是有限元素模型所模擬的結果，由圖中可以看見探針的變形量為 0.1937mm(黑色圈處)和實際針測過程中探針的變形量 0.2mm 差不了多少，因此可以確定塑膠柱 1 的楊氏係數應該就在 17MPa 附近。由於有限元素模型的模擬圖對於不同的變形量會以不同的顏色區塊表示，所以也可以從圖形中得到探針系統各部份的變形量數值，亦可以從此處觀察探針系統的模擬結果是否有異

常的現象產生。

接下來就是要討論探針系統各部位的受力情況，因為目前只有和探針和塑膠柱 1，所以探針系統各部位有存在的力剩下塑膠柱 1 的反作用力  $F_{1x}$  與  $F_{1y}$  和探針下方與針測機接觸處的  $F_3$  與摩擦力  $F_4$ ，這些力可以從有限元素模型模擬中得到，已經整理列在表 2.8，由表 2.8 中可以知道探針系統各部位的總反作用力大小，其中探針系統在 x 方向和 z 方向的反作用總和趨近 0，y 方向的反作用力總和則是 0.63657 牛頓，和模擬時的總施力 0.637 牛頓差不多，所以總施力等於總反作用力，因此從這可以驗證這部份的有限元素模型模擬分析為正確的。

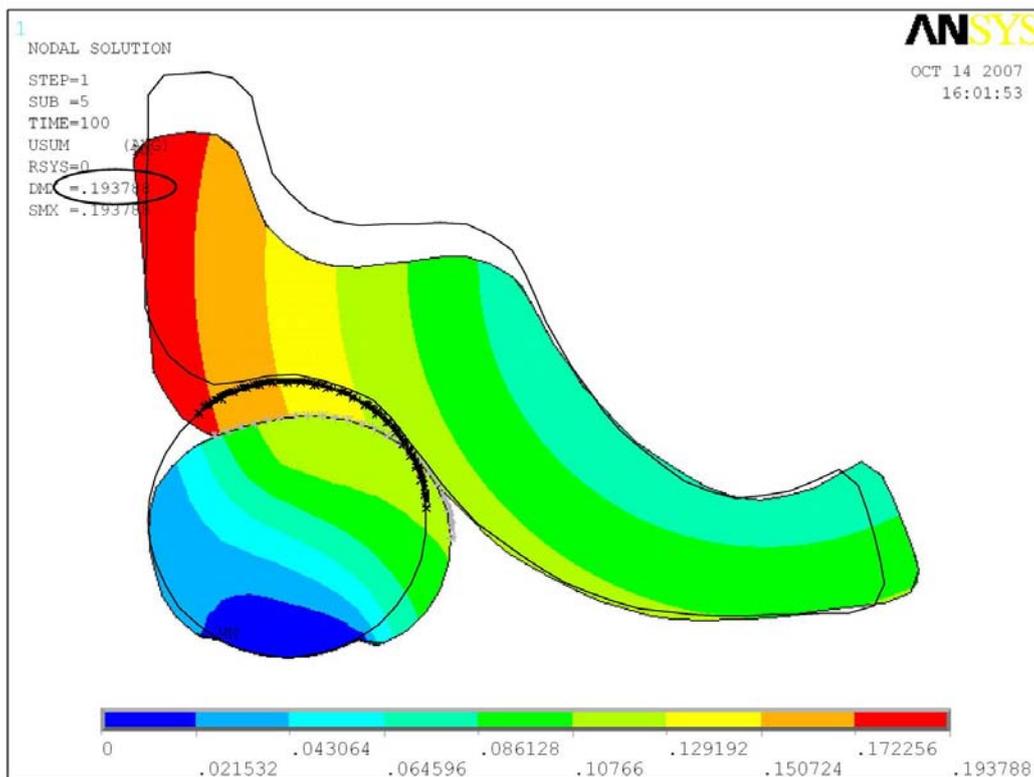


圖 2.14 探針和一根塑膠柱受力變形圖

Unit : N(牛頓)

部位	x-方向反作用力	y-方向反作用力	z-方向反作用力
Probe 下方	-0.25606( $F_4$ )	-0.1137( $F_3$ )	$6.5811 \times 10^{-4}$
塑膠柱 1 下方	$-1.2607 \times 10^{-3}$	0.75027( $F_{1y}$ )	0.017721
塑膠柱左方	0.25761( $F_{1x}$ )	無	$-2.314 \times 10^{-3}$
total	0.010283	0.63657	$1.11621 \times 10^{-4}$

表 2.8 探針系統各部位反作用力大小

### 2.5-2 考慮探針和兩根塑膠柱的情況：

接下來在此節將討論探針和兩根塑膠柱的情況，一樣使用有限元素模型模擬外部施力  $F=0.637\text{N}$ ，保持探針系統的最大形變量  $0.2\text{mm}$  的條件下，開始改變塑膠柱 1 和塑膠柱 2 的材料參數來達到此要求，由於上一節已經知道塑膠柱 1 的材料參數大約在  $17\text{MPa}$  附近，因此這次就先將此材料參數帶入並且模擬，接著進行參數的微調，最後順利將塑膠柱 1 和塑膠柱 2 的材料參數找出，其材料參數列在表 2.9。

	young's modulus(MPa)	poisson ratio
塑膠柱 1	12	0.4
塑膠柱 2	32	0.35

表 2.9 兩根塑膠柱正確的材料參數

從有限元素模型的模擬圖形中，探針的最大變形量為 0.197324mm 和真實針測過程中探針最大變形量 0.2mm 比較起來是差不多的，所以在此刻兩根塑膠柱的材料參數就是最接近正確的材料參數。因此之後的有限元素模型的分析與討論皆以此兩根塑膠柱的材料參數為主。塑膠柱 1 的材料參數比方才討論只有一根塑膠柱的材料參數還要小一點，推測應該是受到塑膠柱 2 的變形施力影響。而這次有限元素模型模擬的邊界條件如之前圖 2.8 所示。

圖 2.15 則是探針與兩根塑膠柱受力之後變形的情況，其中黑色實線是探針未受力向下壓時的原始位置，有顏色的實體是探針受力變形的情況，最大變形量 0.197324mm 出現在探針的左上端如黑色圈表示，塑膠柱 1 受力變形的情況比塑膠柱 2 還明顯，此外在圖中還可以看出探針有 x 方向滑動的現象，此部分將會在下節說明。

接下來一樣要討論探針系統各部位作用力大小，此時圖 2.11 探針系統的所有作用力都存在，一樣從有限元素模型模擬中獲得並整理列在表 2.10 中，表 2.10 詳細列出探針與兩根塑膠柱受力時所產生的反作用力，並且對應到圖 2.10 中各部位作用力的大小。而且從探針系統的總反作用力來看，最後整個系統只存在與一開始輸入 y 方向的施力 0.637 牛頓對抗的反作用力 -0.63777 牛頓，其餘 x 方向與 z 方向探針系統的反作用力都趨近 0，因此驗證這部份的有限元素模型模擬分析為正確的。

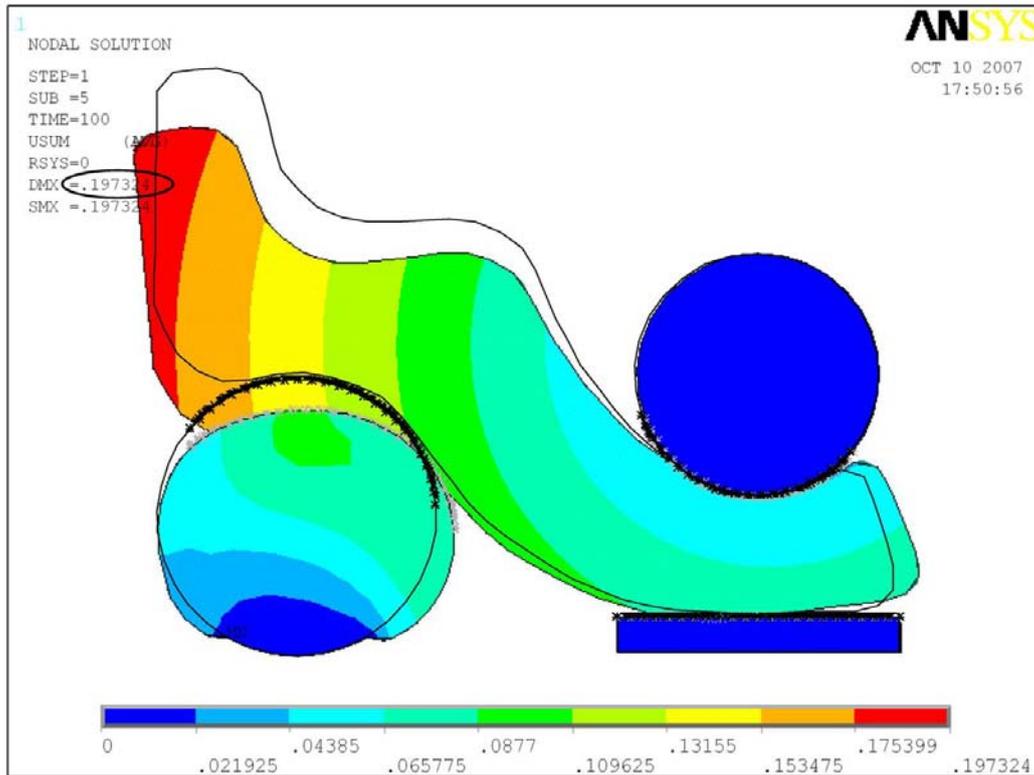


圖 2.15 探針和兩根塑膠柱受力變形圖

Unit : N(牛頓)

部 位	x 方向反作用力	y 方向反作用力	z 方向反作用力
Probe 下方	-0.35009( $F_4$ )	-0.59834( $F_3$ )	$9.1892 \times 10^{-6}$
塑膠柱 1 下方	-0.078816	0.63616( $F_{1y}$ )	$2.9862 \times 10^{-3}$
塑膠柱 1 左方	0.3478( $F_{1x}$ )	無	$2.0728 \times 10^{-4}$
塑膠柱 2 上方	0.018405	0.025386( $F_{2y}$ )	$-2.3543 \times 10^{-5}$
塑膠柱 2 右方	0.099733( $F_{2x}$ )	無	$-5.49 \times 10^{-5}$
總反作用力	$2.1738 \times 10^{-4}$	0.63777 N	$-2.6432 \times 10^{-4}$

表 2.10 探針系統各部位反作用力情況

### 2.5-3 探針滑動的情況：

探針在針測過程中會在晶圓表面留下一道刮痕，從有限元素模型的模擬圖 2.16 中可以明顯看出，圖中各種顏色區塊表示探針在針測過程中所產生 x 方向的位移量，黑線則是探針未受力時的原始位置，實體部份則是針測過程中產生變形的情况，探針在晶圓表面留下刮痕大小則是圈起來的地方，探針在 x 方向產生 0.074799mm 至 0.057572mm 大小的位移，這就是刮痕的大小，而實際針測過程所容許的刮痕大小 0.13mm，因此關於刮痕部份的模擬與實際針測過程比較是符合的，所以也再次驗證有限元素模型的正確性。

到目前為止已經由有限元素模型模擬出探針系統各部位變形量與力大小的關係，接下來則要進行探針電阻值的模擬。

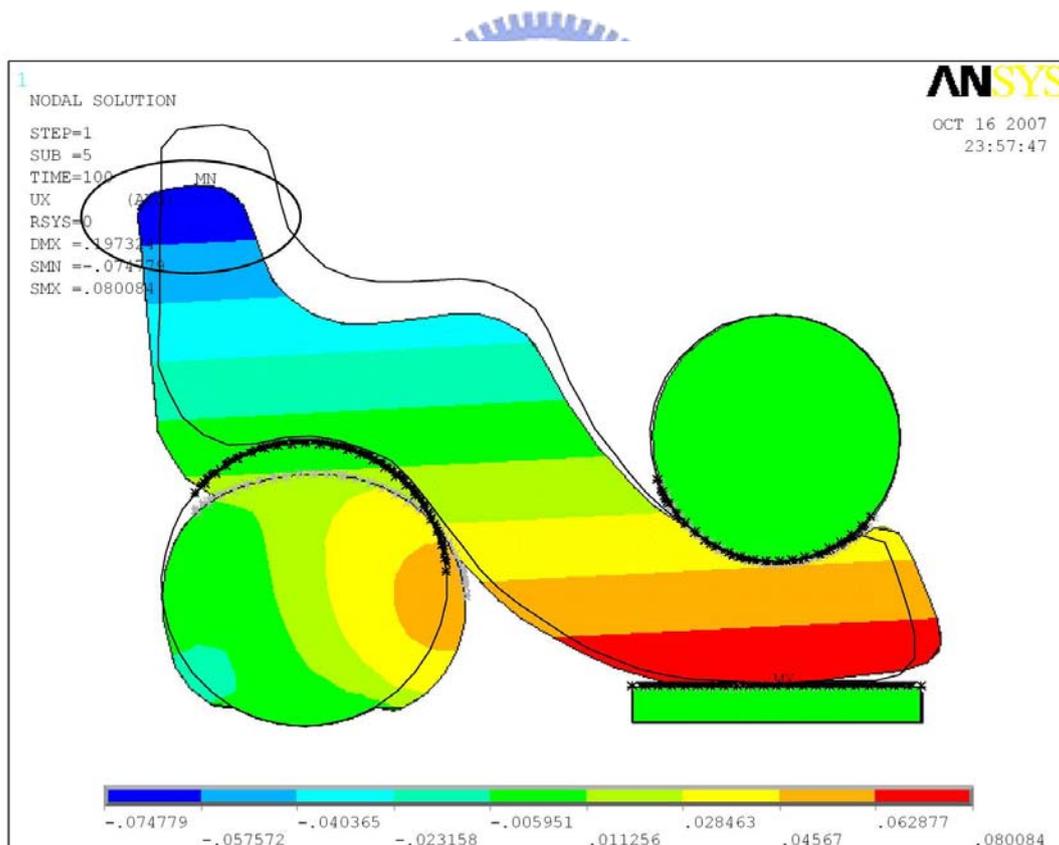


圖 2.16 探針 x 方向移動

## 2.6 探針的電阻值分析

分析完探針系統各部位形變與力的關係後，接下來就要討論探針本身電阻值的影響，因為在晶圓的測試過程中，探針電阻值大小的影響也相當重要，因此接下來的這節，將利用有限元素模型模擬探針電阻值與針測過程探針下壓位移的關係。首先重新定義有限元素模型的邊界條件，多加入電壓這個邊界條件，在探針與晶圓接觸處和探針與針測機接觸處多加入電壓差 100 伏特，此電壓差可以任意設定，將不影響探針得到的電阻值，其他的邊界條件就跟之前設定的一樣，有限元素模型模擬的邊界條件標示在圖 2.17。

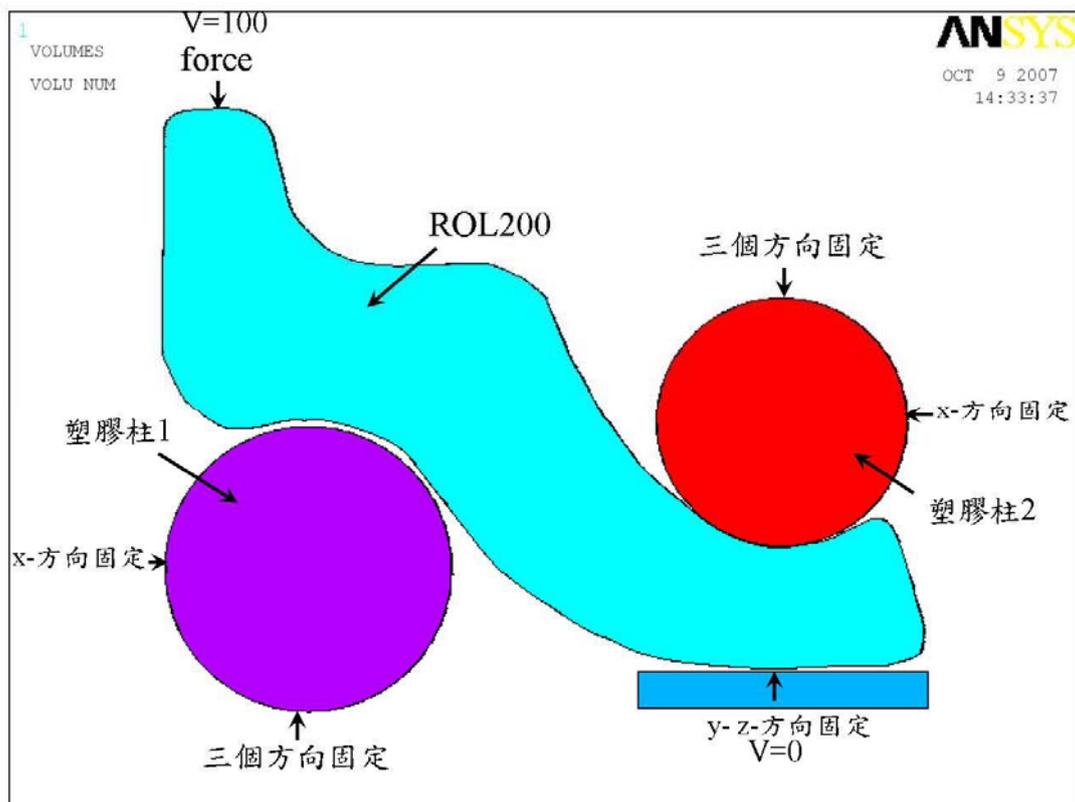


圖 2.17 有限元素模型加入電壓差的邊界條件

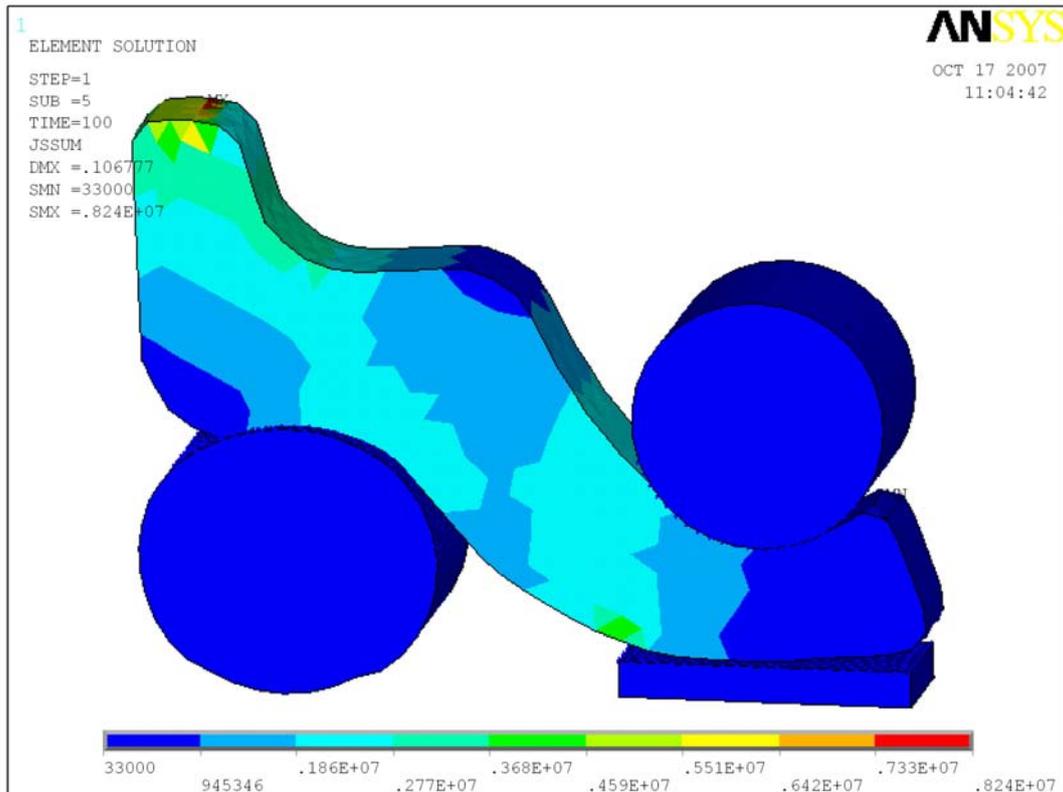


圖 2.18 探針的電流密度分佈圖

圖 2.18 是有限元素模型所模擬出來的電流密度分佈圖，因為電流密度跟電流有關係，從公式來看： $J = I / A$ ，其中  $J$  表示電流密度、 $I$  表示電流、 $A$  表示截面積，因此只要得到電流密度再乘截面積大小就可以得到電流，得到電流後加上已經知道的電壓差，根據歐姆定律  $R = V / I$ ，其中  $R$  表示探針的電阻值、 $V$  為施加的電壓差、 $I$  是剛剛利用電流密度算出的電流，如此一來就可以求得探針本身的電阻值。

使用有限元素模型模擬探針電阻值的過程中，要知道針測過程探針下壓位移與探針電阻值變化的關係，首先將探針下壓位移分成五階段，第一階段是量測探針未產生變形時的電阻值，第二階段是量測將探針下壓至 0.05mm 時的電阻值，接著第三階段是量測將探針繼續下壓到 0.1mm 的電阻值，第四階段則是量測探針下壓到 0.15mm 的電阻值，最終第五階段是量測將探針下壓到產生最大變形量 0.2mm 的電阻值，在此將有限元素模型模擬所得到五個階段的各種數值列

成表 2.11，並且製作探針下壓位移與探針電阻值大小關係的折線圖，如圖 2.19 所示，並討論其中的關係。

探針下壓位移(mm)	電壓(伏特 V)	電流(安培 A)	電阻值(歐姆 $\Omega$ )
0	100	12902.93	$7.75 \times 10^{-3}$
0.050128	100	35657.42	$2.8 \times 10^{-3}$
0.107062	100	72036.84	$1.3882 \times 10^{-3}$
0.149033	100	87066.6	$1.14855 \times 10^{-3}$
0.198264	100	111131.5	$8.99835 \times 10^{-4}$

表 2.11 探針電阻值與探針下壓位移

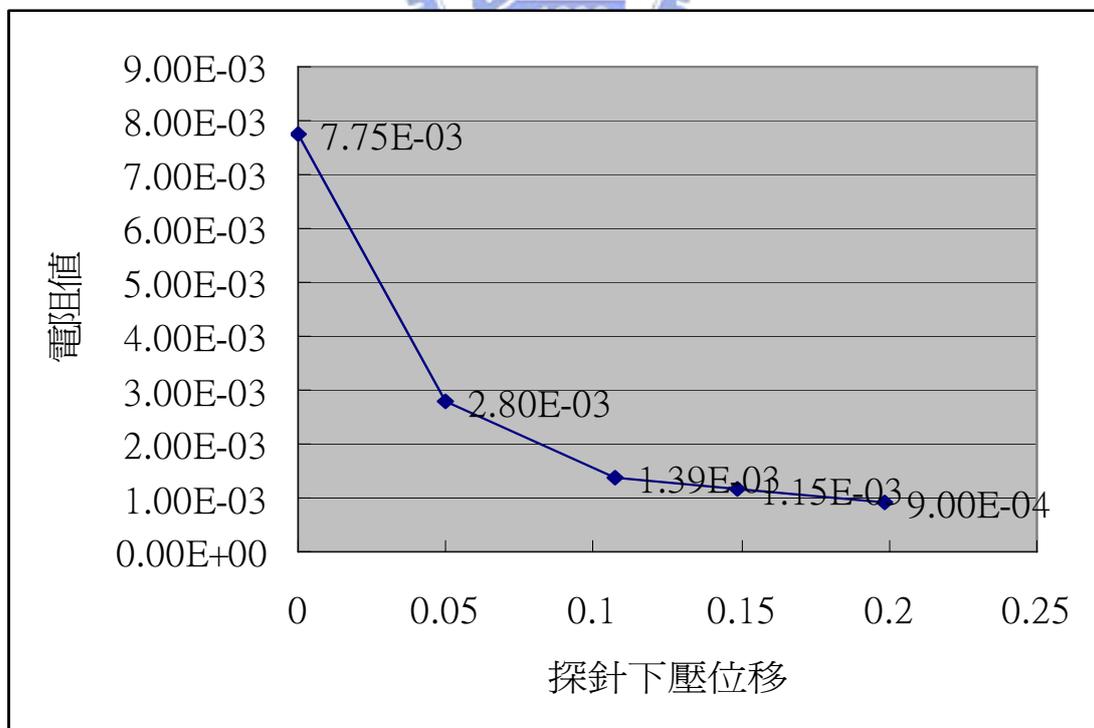


圖 2.19 探針下壓位移與電阻值之關係

由圖 2.19 可以知道，一開始探針還未受力下壓時，探針本身電阻值最大，隨著探針的下壓位移越來越大時，探針的電阻值跟著變小，直到探針產生最大的變形量，也就是探針下壓至 0.2mm 的變形量，這時候探針的電阻值最小，推測是因為探針一開始跟底板的接觸面積比較小，當探針下壓位移為 0.2mm，接觸面積變大所導致的。

根據電阻定律：

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

其中 R：電阻值、 $\rho$  電阻係數、L 導線長度、A 截面積

由電阻定律可以知道電阻與截面積成反比，所以當截面積越大時電阻值越小，因此推測此有限元素模型模擬結果為合理的。

從此次的模擬結果還可以提供設計新型探針的另一種思維，就是探針需不需要一定要下壓到 0.2mm，由圖 2.19 中可以發現，當探針下壓位移從未變形到產生變形量 0.1mm，此刻探針的電阻值的變化是很大的，由  $7.75 \times 10^{-3}$  歐姆下降到  $1.3882 \times 10^{-3}$  歐姆，但是接下來當探針變形量由 0.1mm 繼續下壓到 0.2mm 時，電阻值從  $1.3882 \times 10^{-3}$  歐姆降至  $8.99835 \times 10^{-4}$  歐姆，此時探針的電阻值變化就比較小，因此可以推測當探針下壓位移再繼續下壓下去，探針的電阻值變化也不會改變多少了，所以設計新型探針時，若是探針本身電阻值可以在探針下壓位移到 0.15mm 時就達到要求的大小，那麼是不是就可以不需要將探針下壓到產生變形量 0.2mm，因為再下壓下去探針的電阻值變化也不大。

使用有限元素模型模擬分析至此，有限元素模型已經將所需要得到的兩根塑膠柱的材料參數、兩根塑膠柱形變量大小、探針電阻值、探針電阻值與探針受力後下壓位移的關係、探針系統各部位力的分析都模擬出來，接下來將要利用這些

關係與模擬出來的數據進行新型探針設計，並在設計完成後再重建有限元素模型，並且利用此模擬方式模擬，以驗證新型探針是否可行，若有限元素模型模擬結果可行，將直接進行實作，若有限元素模型模擬結果不可行，將重新設計新型探針或是對新型探針作設計上的修改，再帶入有限元素模型模擬，直到有限元素模型模擬結果可行後再進入實作的階段。



## 第三章

### 新型探針設計

上一章有限元素模型模擬分析資料經過整理後，接著將根據這些資料，使用這本書 Simulation of Microelectromechanical System[2]的內的分法來設計彈簧取代兩根塑膠柱，此本書是由 Gary Keith Fedder 所著作的。

#### 3.1 新型探針的設計方法

##### 3.1-1 彈簧設計理論：

從 Simulation of Microelectromechanical System 文中提供四種彎曲彈簧的設計，如圖 3.1 (a) clamped-clamped flexure (b) crab-leg flexure (c) folded flexure (d) serpentine flexure 在經過多次的嘗試與計算後，最後決定採用(d)這個樣式的彈簧設計，來取代兩根塑膠柱。

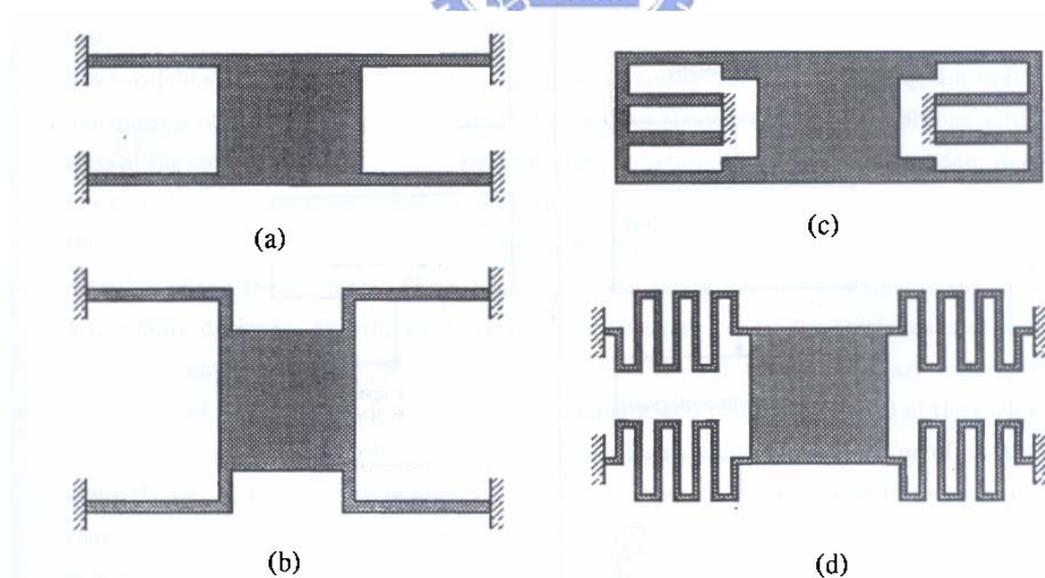


圖 3.1 四種微彈簧設計

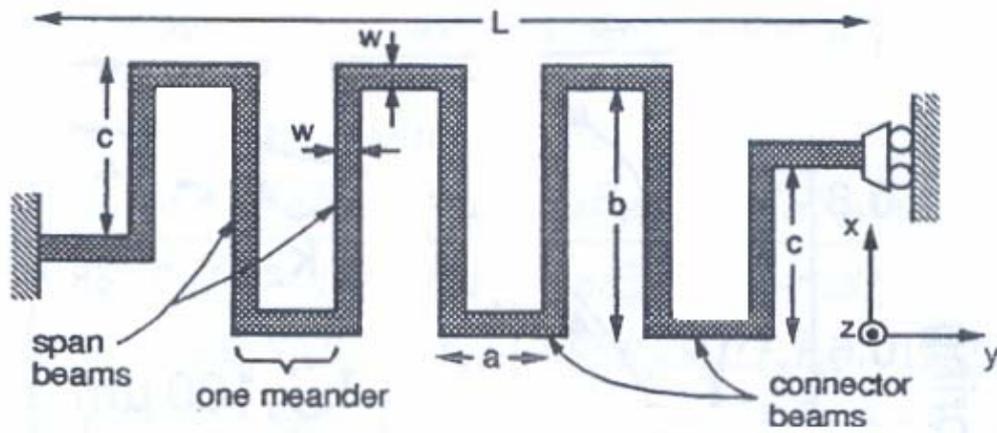


圖 3.2 彎曲彈簧圖形

圖 3.2 是這次所採用的微彈簧，彈簧全長是  $L$ ，每段彎曲段長度是  $a$ ，稱作 connector beams 或是 connectors，而跨越兩段 connector beams 的部分稱作 span beams 或是 spans，它的長度是  $b$  除了第一段跟最後一段長度是  $c$ ，不過在之後的討論都假設  $b=c$ ，彈簧的寬度是  $w$ ， $E$  是彈簧的楊氏係數， $n$  是整個彈簧有幾段 connector beams，而彈簧的左端是全固定不動，右端  $x$  方向可以滑動。接著作者導出彈簧的彈性係數與彈簧材料跟彈簧尺寸的關係式，其關係式如下：

當  $n$  為偶數：

$$k_x = \frac{48EI_{z,b}[(3\tilde{a} + b)n - b]}{a^2n[(3\tilde{a}^2 + 4\tilde{a}b + b^2)n^3 - 2b(5\tilde{a} + 2b)n^2 + (5b^2 + 6\tilde{a}b - 9\tilde{a}^2)n - 2b^2]}$$

$$k_y = \frac{48EI_{z,b}[(\tilde{a} + b)n^2 - 3bn + 2b]}{b^2[(3\tilde{a}^2 + 4\tilde{a}b + b^2)n^3 - 2b(5\tilde{a} + 2b)n^2 + (5b^2 + 6\tilde{a}b - 9\tilde{a}^2)n - 2b^2]}$$

其中  $\tilde{a} \equiv \frac{I_{z,b}a}{I_{z,a}}$

當  $n$  為奇數：

$$k_x = \frac{48EI_{z,b}}{a^2n[(\tilde{a} + b)n^2 - 3bn + 2b]}$$

$$k_y = \frac{48EI_{z,b}[(\tilde{a} + b)n - b]}{b^2(n-1)[(3\tilde{a}^2 + 4\tilde{a}b + b^2)n + 3\tilde{a}^2 - b^2]}$$

### 3.1-2 破壞準則 [3] :

一個延展性材料的破壞通常是剪力破壞。從拉伸試驗中，可以看到材料的破壞面常是與受力方向成 45 度角而滑開，此現象可以驗證延展性材料常是剪力破壞。既然是剪力破壞，就可以檢視某一點的剪應力是不是大於材料本身的抗檢強度。ANSYS 中使用兩種破壞準則：

一個叫做 Tresca 破壞準則，只要  $\sigma_1 - \sigma_3 > \sigma_y$  則可以認定此點已破壞，其中  $\sigma_1$  為最大主應力(maximum principal stress)， $\sigma_3$  是最小主應力(minimum principal stress)， $\sigma_y$  是單軸拉伸試驗中的降服應力(yield stress)，在 ANSYS 中  $\sigma_1 - \sigma_3$  稱為應力強度(stress intensity)。

另一個則稱為 von Mises 破壞準則(最大形變能密度準則)，它比 Tresca 破壞準則較不容易了解。但是卻比較實用，也就是比較接近實際情況，尤其是金屬材料。von Mises 準則也是考慮剪力的破壞，描述如下：對於延展性材料而言，若

$$\sqrt{\frac{1}{8}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} > \frac{\sigma_y}{2}$$

或

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} > \sigma_y$$

其中

$\sigma_e$  : 等效 von Mises stress

$\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$  : 三個方向的主應力值

則認定此點已經降服。

### 3.2 設計新型探針

此節將利用前述的設計方法設計新型探針，首先將之前有限元素模型模擬出來的材料參數與探針系統各部位受力與變形量關係整理成表 3.1，接著利用這些資料配合上述的彈簧設計關係式子，計算出微彈簧的尺寸。

部位	受力(牛頓 N)	變形量(mm)	欲設計彈簧之彈性係數(N/m)
塑膠柱 1	$F_x = F_{1x} = 0.3478$	$x = 0.05$	6956
	$F_y = F_{1y} = 0.63616$	$y = 0.095$	6696.42
塑膠柱 2	$F_x = F_{2x} = 0.099733$	$x = 0.00353$	28252.97
	$F_y = F_{2y} = 0.025386$	$y = 0.002$	12693

表 3.1 塑膠柱受力與變形量

從表 3.1 中欲設計彈簧的彈性係數，加上已經知道的材料參數，再搭配一些因為設計空間大小關係而限制住大小的尺寸，然後將這些已知帶入計算公式中求出欲設計彈簧的尺寸大小，經過多次反覆的計算與帶入有限元素模型中進行模擬修改。新型探針的設計必需達到三個要求：第一是滿足探針受力下壓後的變形量。第二，當探針滿足變形量後，分布在探針上的應力要小於降服應力。第三，探針本身的電阻值必須跟原本的電阻值情況差不多或是更好。此三部份分別將在下節仔細討論。最後終於將兩根彈簧尺寸確定並將新型探針設計出來，新型探針

外型如圖 3.3 表示。

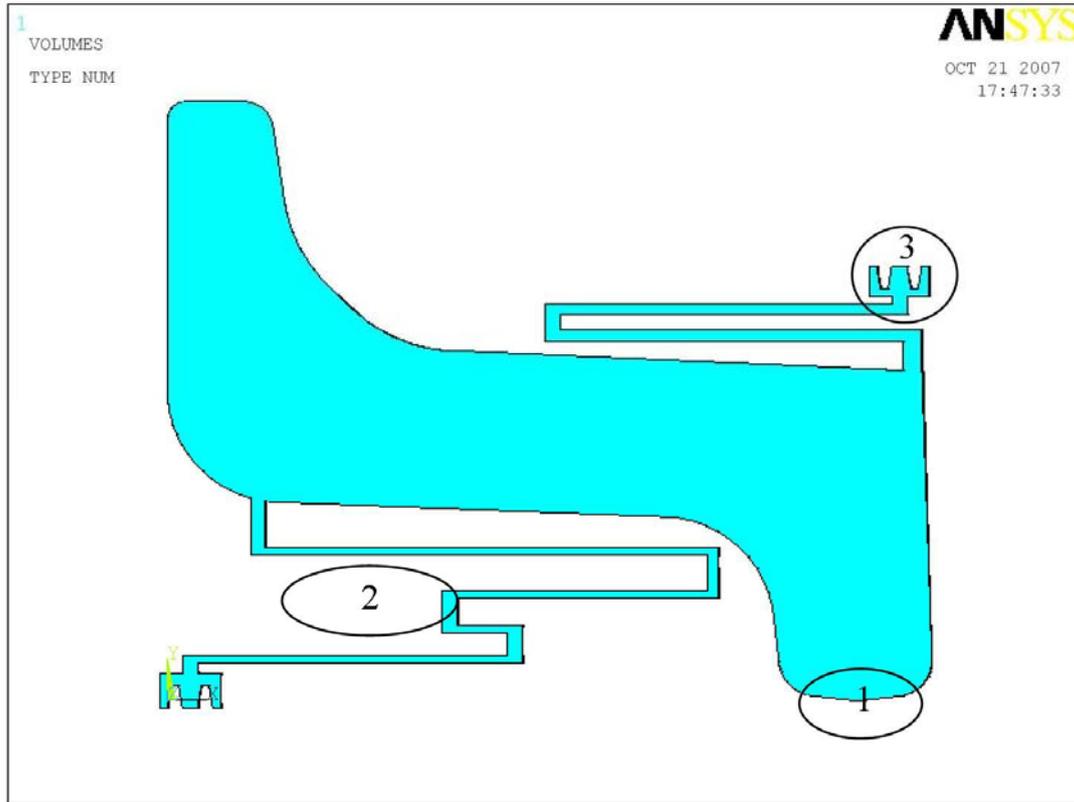


圖 3.3 新型探針外型

新型的探針就如圖 3.3 一樣，其中在探針主體部分盡量的讓它大，這是因為探針主體越大時，探針本身電阻值會越小，因此在可利用的空間中，盡量使探針本體大些。圖中圈 1 的部份是因為探針在變形時，並不是完全讓變型量產生在探針本體上，而是探針本身的變形再加上一點旋轉的效果，這樣一來探針整體的位移量就會比較大，也比較符合探針在下壓位移的需求，並且會使探針有 x 方向的滑動。圈 2 的地方是因為在設計彈簧時，開始跟圖 3.2 設計的彈簧一樣，彈簧在 span beams 的部分長度是相同的，不過在帶入有限元素模型模擬時，發生彈簧在產生變形的過程會卡在一起，因此後來才將 span beams 的長短改成現在的樣子。圈 3 的部份，是考慮如何將探針固定在探針卡所做的設計，兩根彈簧的設計在這部份是一樣的，分別固定在探針卡的上方與下方。

### 3.3 新型探針有限元素模擬分析

在此節將對新型探針建立有限元素模型並且進行模擬分析，首先考慮新探針的邊界條件，一樣的在探針的左上端是晶圓向下壓的施力  $F$ ，施力的大小一樣設定為 65 克(0.637N)，取代塑膠柱 1 的微彈簧它的下端是三個方向固定住，無法做任何運動，取代塑膠柱 2 的微彈簧則是上端是三個方向固定住，而探針與針測機接觸處一樣是固定  $y$ - $z$  兩個方向，讓探針可以有  $x$ -方向的滑動，因此此處將存在摩擦力，其摩擦係數一樣假設為 0.3，這是有限元素模型模擬針測過程力的分析，如果要模擬探針電阻值，則在晶圓施力處加電壓 100 伏特，在探針與針測機接觸處加電壓 0 伏特。這些條件就是新型探針的有限元素模型的邊界條件，之後將討論探針的變形量、應力值、電阻值。

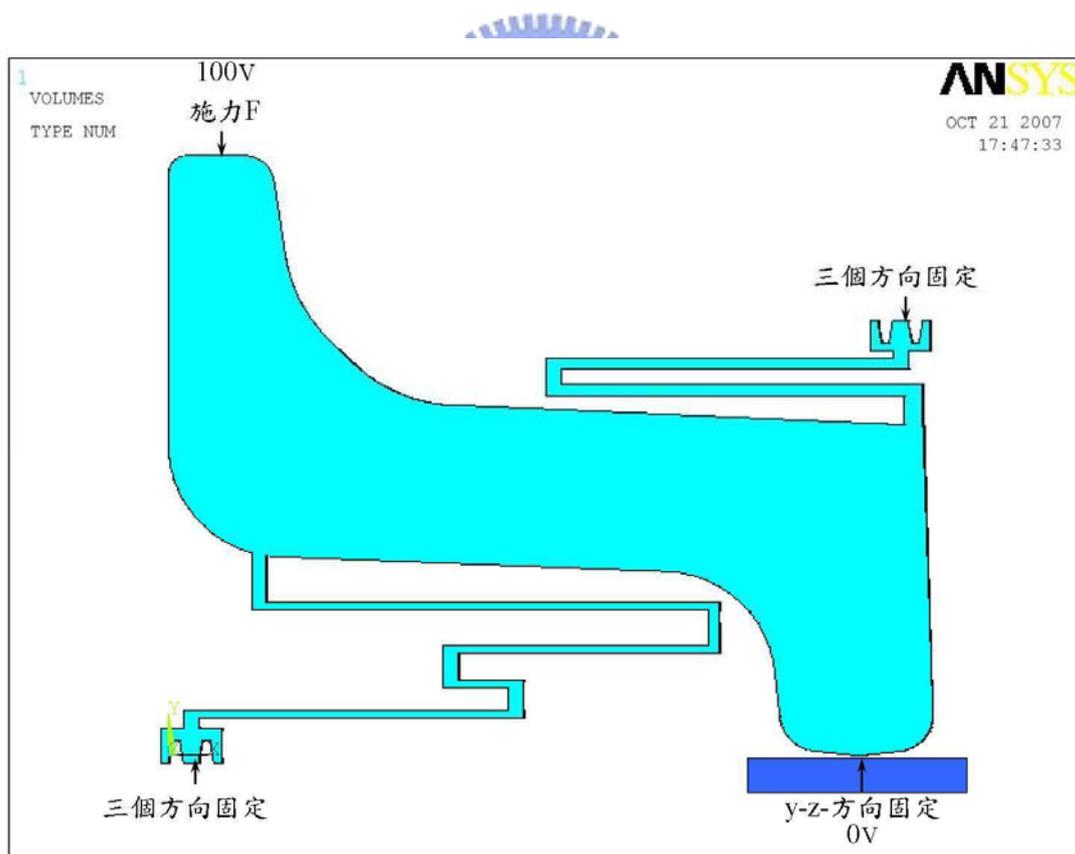


圖 3.4 新型探針邊界條件

### 3.3-1 新型探針的變形量：

設計新型探針時，有兩個變化量必須要滿足，第一個是探針在針測過程中下壓的位移量，可細分成 x 方向的滑動位移量與 y 方向的下壓位移量，另一個則是整隻探針在受力形變時所產生的應力值，以下是討論新型探針受力下壓的變形量，就如圖 3.5，黑色實線是新型探針未受晶圓下壓施力的原始位置，實體部份則是針測過程中最大的變形量，新型探針的最大位移發生探針的最左端與取代塑膠柱 1 的微彈簧上。

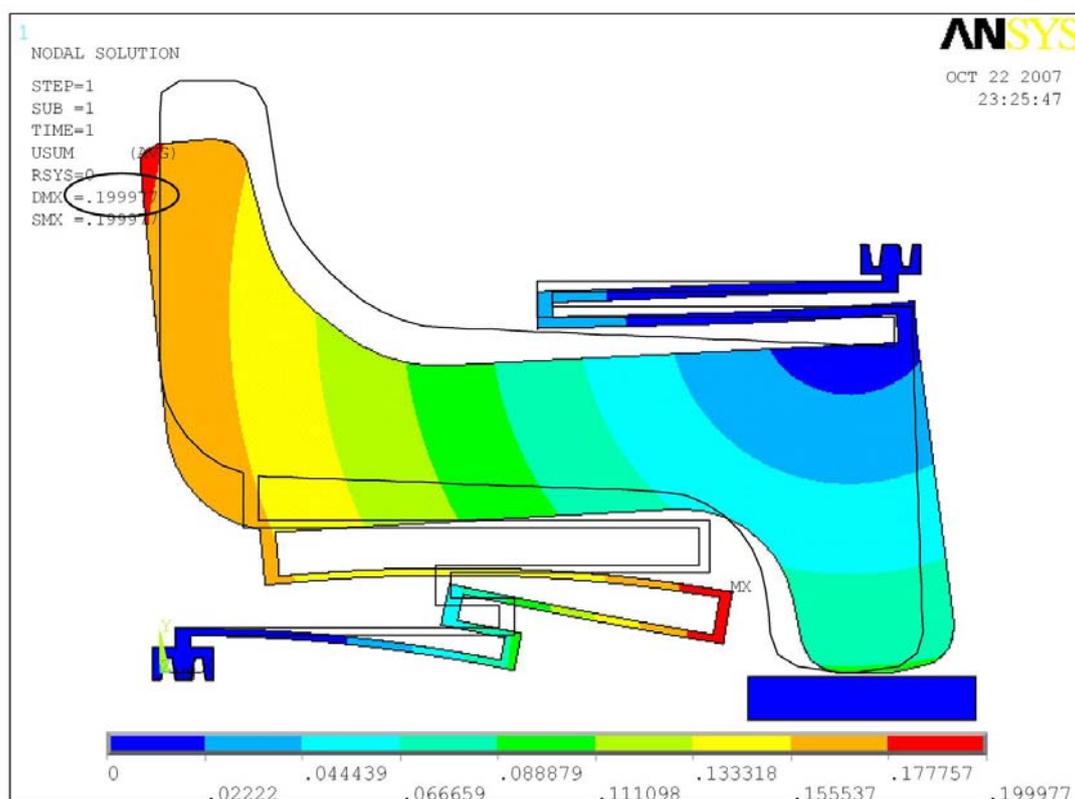


圖 3.5 新型探針變形量

整體來說新型探針的最大位移量似乎沒有舊型探針來的大，不過仔細查看新型探針在針測過程中的 x 方向與 y 方向位移量，與舊型探針比較會發現到，新型的探針在 y 方向的下壓位移量並沒有改變多少，改變比較多的是 x 方向位移量，其位移變化量表示在圖 3.6。由圖 3.6 可以發現探針左上端接觸晶圓處的 x 方向

位移量介於0.06mm~0.043mm 之間，比舊型探針的 x 方向位移0.074mm~0.057mm 還要小，這樣一來新型探針在晶圓上所造成的刮痕也會比較小，而刮痕越小也越不會傷害到晶圓片，因此在這部份的設計新型探針比舊型探針還要好。

至於探針 y 方向的下壓位移，最主要的功能有兩個，第一個功能是讓探針卡上所有的探針可以共面，以確保在針測過程中，所有探針都可以接觸到晶圓表面，第二個功能則是進行刮除氧化物的功能，讓探針可以順利量得晶圓片的電性特性，因此探針在針測過程中 y 方向位移量需要特別注意，新型探針是介於0.19mm~0.15mm 之間，與舊型探針 0.185mm~0.16mm 差不多，所以新型探針在於此部份的設計也是可行。

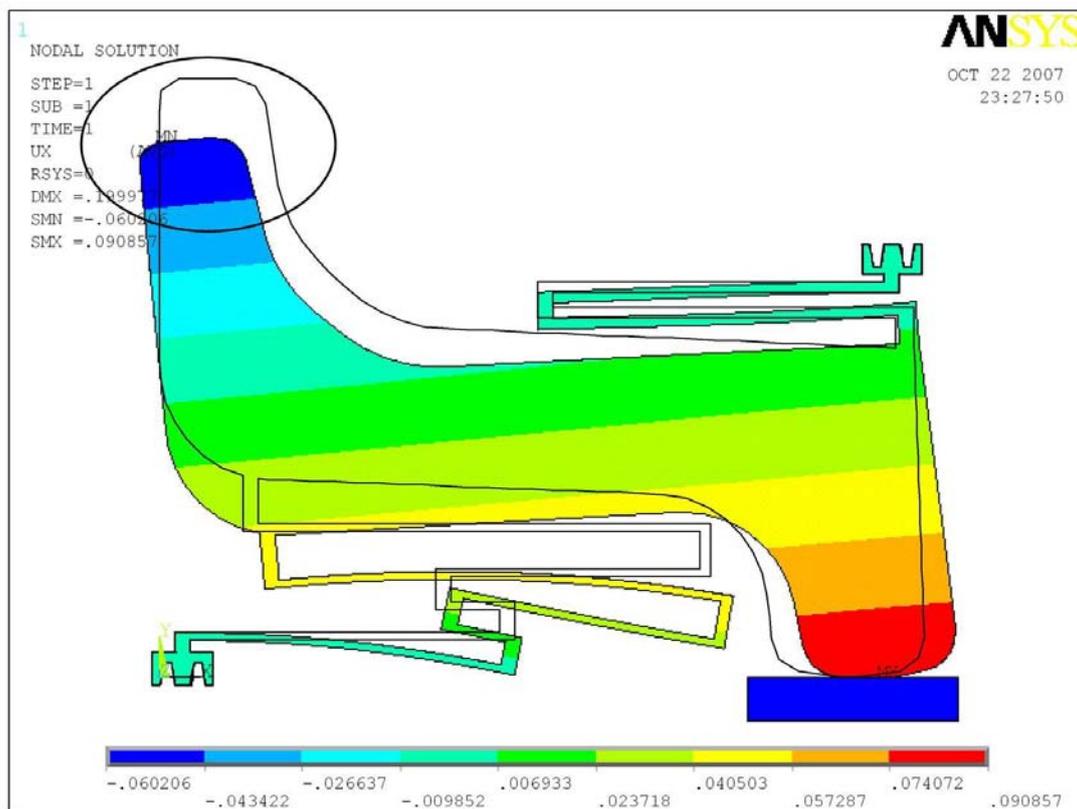


圖 3.6 新型探針 x 方向位移

### 3.3-2 新型探針的應力分佈

由前述的討論得知新型探針在針測過程中變形量已經沒有問題了，接下來將利用有限元素模型模擬新型探針應力的分佈，以確保新型探針在針測過程中不會產生應力過於集中的現象，造成探針容易毀損。

這次有限元素模型模擬所採用的材料是金，因此在應力分佈上面的模擬就採用 von Mises 破壞準則，金的降服應力是 207MPa，所以設計的新型探針在受力後各部位產生的 von Mises stress 必須小於降服應力，這樣材料才不會因為應力過大而被破壞。按照這個想法，將先前在 3.2 節中所計算出來的探針尺寸帶入模擬，並根據有限元素模型模擬 von Mises stress 的結果再對尺寸做細微的修改，以符合材料降伏應力的要求。圖 3.7 是這次新型探針有限元素模型的模擬圖，其中黑色實線表示新型探針位受力的原始位置，實體部分表示新型探針在針測過程中變形量最大的時刻。

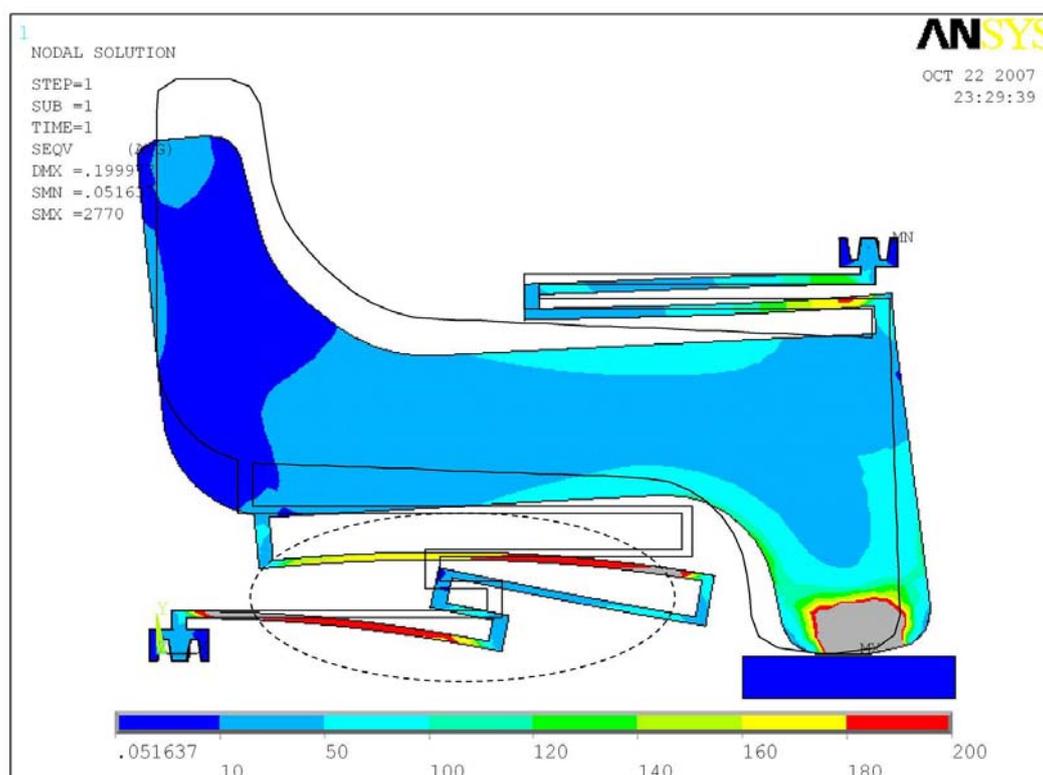


圖 3.7 新型探針應力分佈圖

從圖 3.7 中可以清楚看出新型探針有限元素模型模擬的 von Mises stress 分佈皆小於 200MPa，都已經小於材料的降服應力，因此新型探針在材料方面的設計也符合要求。更進一步來討論新型探針的設計，從有限元素模型模擬圖中可以發現，新型探針主體部分 von Mises stress 值都在 100MPa 以內，其中 von Mises stress 最大處在圖中使用黑色虛線標示出來，這是之前塑膠柱 1 的位置，推測是因為探針主要的變形量與變形後的回復都是靠兩根微彈簧，所以造成此處應力集中，因此推斷此部分可能是新型探針日後最容易發生毀損的部位。

### 3.3-3 新型探針的電阻值

確定新型探針在針測過程中的下壓變形量與材料的降服應力皆可行後，接著開始討論新型探針的電阻值部份，跟上一章模擬方法一樣，先從有限元素模型模擬求出新型探針的電流密度，接著乘截面積就可以求出電流，再加上施加的電壓就可以求出新型探針本身的電阻值，此方法上一章有詳細描述。

一樣的，這次也利用有限元素模型模擬新型探針電阻值與探針受晶圓下壓力所產生下壓位移的關係，一方面計算新型探針電阻值的大小，另一方面用來比較新型探針與舊型探針在針測過程中電阻值變化的關係，表 3.2 是這次新型探針與新型探針受力下壓位移的關係表，並劃成關係圖 3.8，其中邊界條件的施加如圖 3.4，從圖中與表格可以清楚知道新型探針電阻值之變化，新型探針的下壓位移越大時，探針電阻值越小，根據電阻定律得知這是現象是正確的。當新型探針的下壓位移到達 0.1mm 時之後，探針電阻值的變化就越來越小，直至產生 0.2mm 的變形時，新型探針最小的電阻值為  $7.7988 \times 10^{-4}$  歐姆，與舊型探針  $8.99835 \times 10^{-4}$  歐姆比較起來有小一點，但是差距也不大。

探針下壓位移(mm)	電壓(伏特 V)	電流(安培 A)	電阻值(歐姆 $\Omega$ )
0	100	10856.03	$9.21 \times 10^{-3}$
0.049	100	41276.19	$2.4227 \times 10^{-3}$
0.104	100	75956.25	$1.316 \times 10^{-3}$
0.151	100	99301.24	$1.007 \times 10^{-3}$
0.199	100	128224.1	$7.7988 \times 10^{-4}$

表 3.2 新型探針電阻值與下壓位移值

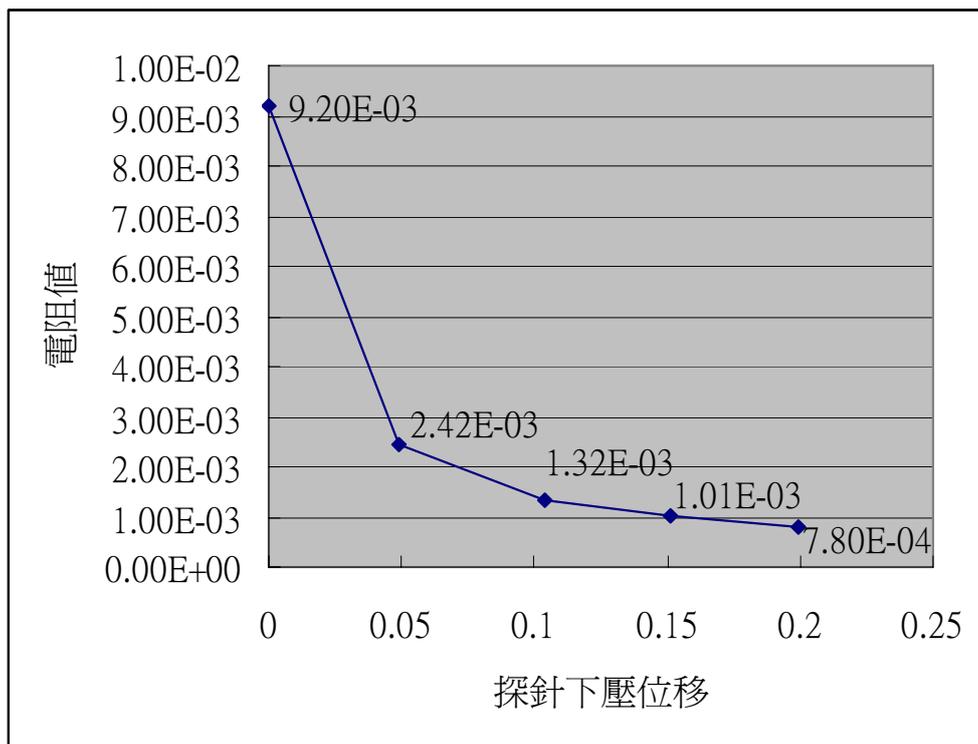


圖 3.8 新型探針電阻值與下壓位移之關係

圖 3.9 是新型探針與舊型探針的電阻值和探針下壓位移關係的比較，從圖中可以看到新型探針與舊型探針的電阻值變化曲線趨勢是差不多的，都是在探針尚未產生變形時最大，探針變形位移到達 0.1mm，這段時間探針電阻值越來越小而且變化比較大，之後探針下壓位移到 0.1mm~0.2mm 時電阻值還是越來越小，但是電阻值的變化已經不會那麼大。進一步來看，剛開始探針尚未產生變形時，新型探針的電阻值比舊型探針的電阻值大，約大 1.46mohm，之後探針下壓至 0.1mm 時，探針的電阻值已經差不多一樣大，最後當探針下壓到 0.2mm 時，新型探針的電阻值反而比舊型探針小，小約 0.119mohm，其實差距也不大，由以上討論得知新型探針在電阻值方面的設計也符合設計的需求。

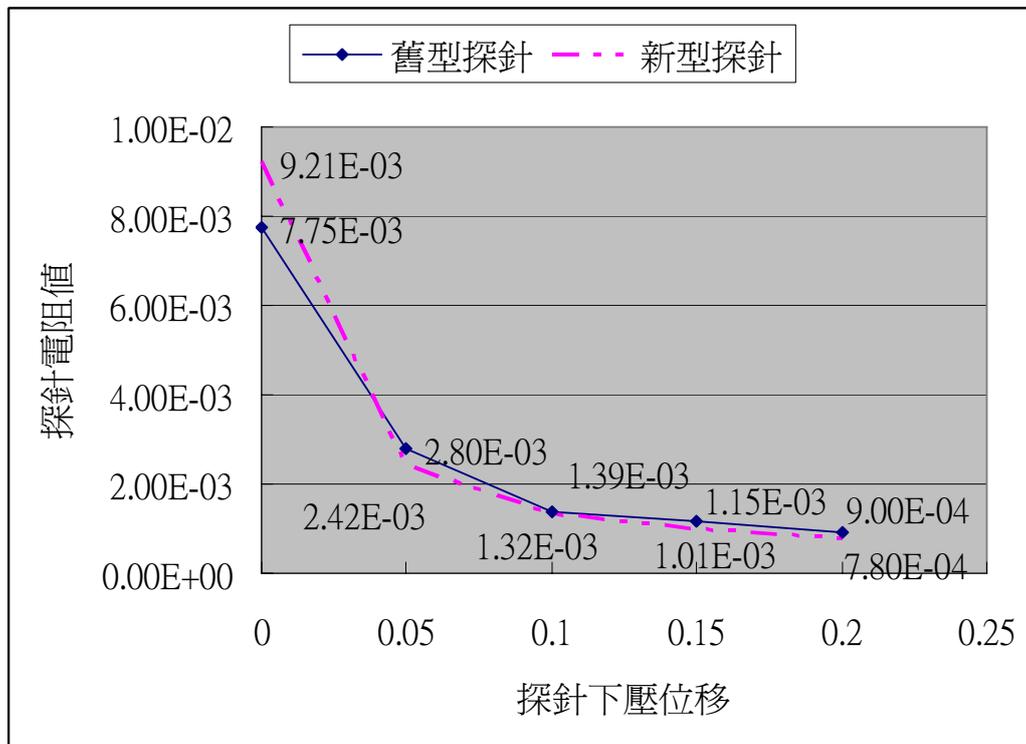


圖 3.9 新舊型探針電阻值比較

從以上的有限元素模型模擬針測過程的模擬結果與計算分析，得知所設計的新型探針在各方面性能都與舊型探針相差不多，因此接下來將不再改變新型探針的外型與尺寸大小，賴於微機電及積體電路製程技術快速發展，因此這次將採用微機電製程技術來實際製作新型探針。

## 第四章

### 製作新型探針

在本章中將上章所設計出的新型探針使用微機電製程技術實際製作，看是否可以製作出來，若是無製作則在製作過程中所遭遇到最大的困難處在哪，此次所使用新型探針的製程其實相當簡單，在材料方面由於金不易使用，因此先用銅片替代製作，以下就是新型探針製作的相關製程。

#### 4.1 主要製程技術簡介

##### 4.1-1 微影技術[4]

微影技術是圖案化製程中將設計好的圖案從光罩或被縮光罩上轉印到晶圓表面的光阻上時所使用的技術。由於元件和電路設計都是藉由蝕刻或離子佈值把定義在光阻上的圖案轉移到晶圓表面上，而在晶圓表面上的光阻圖案則是由微影技術所界定，因此微影技術可謂是 IC 生產中最重要的一道製程。微影技術的要項就是高解析度、高的感光度、精確的對準性以及低的缺陷密度。

微影製程包括三個主要的步驟：光阻塗佈、曝光和顯影。為了達到高解析度，微影技術中也會用到一些烘烤和冷卻步驟。以舊式的純手動製程技術來說，整個微影技術流程需要八到步驟：清洗晶圓、預烤、底漆層(Primer)和光阻的旋轉徒步、軟烘烤、對準和曝光、顯影、圖案檢視以及硬烘烤。如果圖案沒能通過檢視步驟，就必須先跳過硬烘烤步驟而把光阻剝除，再不斷低重複之前的流程直到通過檢查為止。微影製程的流程圖，如圖 4.1 所示。

有幾個因素會直接影響微影製程，如光阻的厚度、烘烤時間與溫度(軟烘烤及硬烘烤)、曝光時間與光源強度，顯影劑的溫度等。

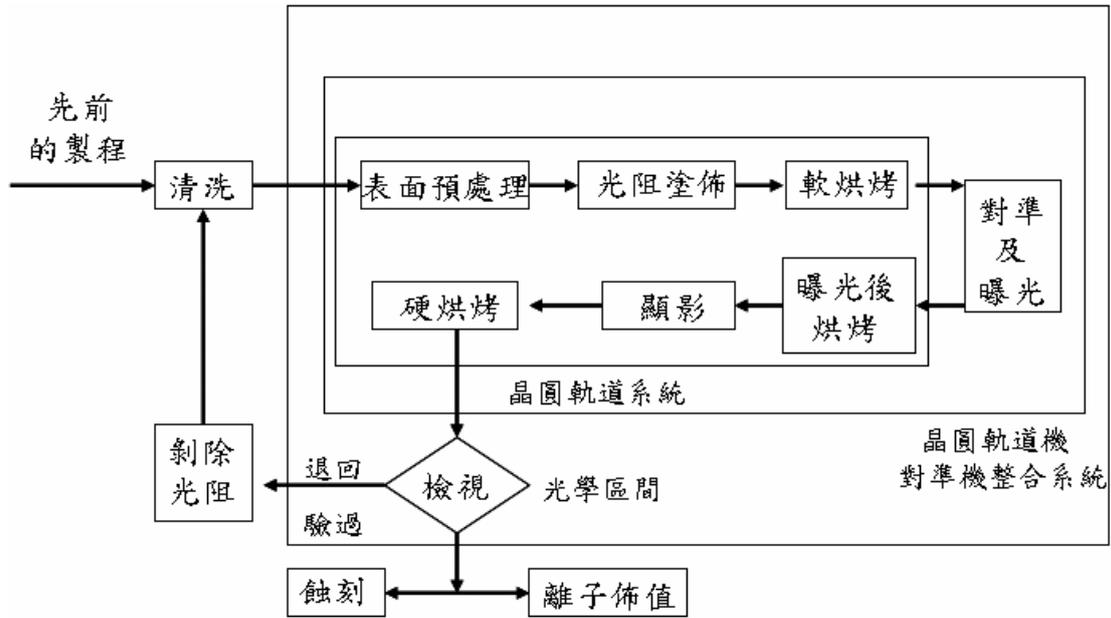


圖 4.1 微影製成流程圖



#### 4.1-2 濕式蝕刻製程[4]

濕式蝕刻(Wet Etch)製程是利用化學溶液來溶解晶圓表面的材料，藉此達到元件和電路的要求。濕式蝕刻化學反應的生成物是氣體、液體或是可溶解於蝕刻液的固體。它有三個基本步驟：蝕刻、沖洗和乾燥。

在 1980 年以前當圖形尺寸大於 3 微米時，濕式蝕刻被廣泛應用於半導體廠的圖案化製程中，濕式蝕刻一般具有非常好的選擇性與高蝕刻速率，端視蝕刻劑的溫度和濃度而定。相較於乾式蝕刻，濕式蝕刻的設備要便宜許多，因為它不需要真空、射頻和氣體輸送等系統。然而當圖形尺寸縮小到 3 微米以下之後，由於濕式蝕刻有等向性蝕刻輪廓的關係，如圖 4.2 所示。

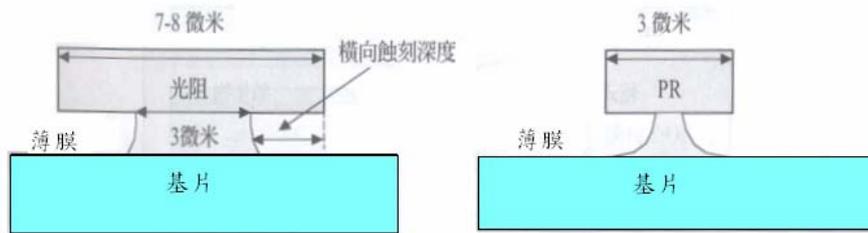


圖 4.2 濕式蝕刻輪廓

## 4.2 製程流程

新型探針的製程流程如下：

- 步驟 1. 清潔銅片表面，去除銅片表面的汙染物與氧化層。
- 步驟 2. 使用黃光微影製程，塗佈光阻(FH-6400) 厚  $1.41 \mu m$  後曝光顯影(Mask)。
- 步驟 3. 使用濕式蝕刻方法蝕刻銅。
- 步驟 4. 清除光阻，觀察蝕刻結果。

### 4.2-1 黃光微影製程

就黃光微影製程方面來說，因為製作新型探針只需要用到一道光罩，所以光照對準部分的技術影響不大，但是製作光罩時還是保留對準圖形，這次新型探針設計上最小的尺寸為  $20 \mu m$ ，但是探針的厚度卻是  $250 \mu m$ ，因為濕式蝕刻具有等向性蝕刻特性，因此在蝕刻的過程很有可能會將最小尺寸蝕刻掉，所以在光罩設計上製作測試圖形(Test Patterns)以便將來觀察蝕刻結果，測試圖案大小依序分別為  $600 \mu m$ 、 $200 \mu m$ 、 $100 \mu m$ 、 $50 \mu m$ 、 $40 \mu m$ 、 $30 \mu m$ 、 $20 \mu m$ ，光罩圖形如

圖 4.3。

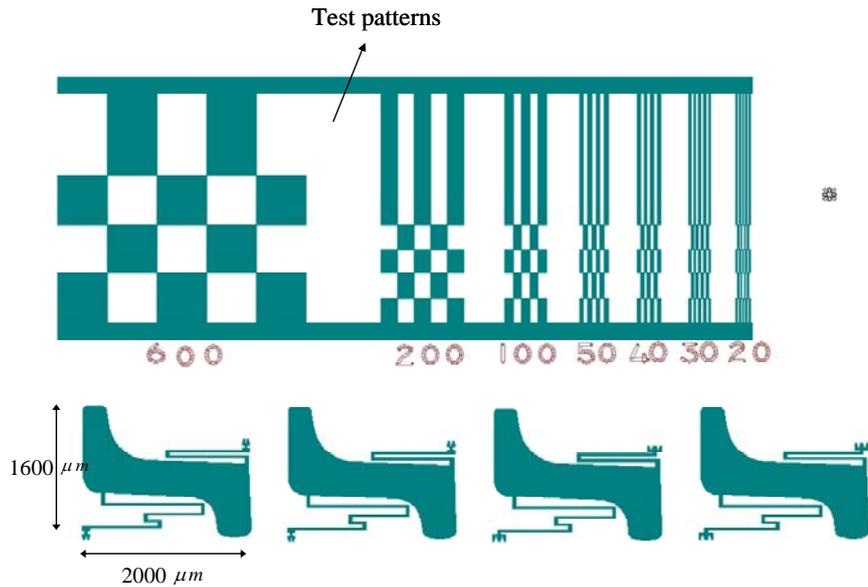


圖 4.3 光罩

這次選用的光阻是正光阻 FH-6400，正光阻的主要成分是酚醛(Novolac)樹脂，因此在曝光之前就已經是交連狀(Cross-linked)的聚合體(Polymer)，經過曝光步驟之後，曝光區域的交連狀聚合體會因為光溶解化作用(Photosolubilization)的光化學反應而斷裂且變成軟性化，然後在被顯影劑所溶解，而未曝光的部份則會保留在晶圓表面上。

從文獻[5]中得知，光阻厚度會影響蝕刻過程中側蝕的產生，光阻越薄，蝕刻過程的側蝕現象越小，光阻越厚，蝕刻過程側蝕現象越大。影響光阻厚薄的因素除了光阻本身的特性之外，還與光阻自旋塗佈機的轉速有關係，最後這次實作光阻厚度採用  $1.41 \mu m$ ，此外機台本身光源的解析度也會影響光阻的最小線寬，在機台方面將使用本校奈米中心之光罩對準曝光機，如圖 4.4

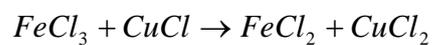
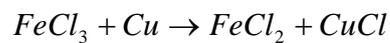


圖 4.4 光罩對準曝光機(擷自本校奈米中心網頁)

#### 4.2-2 濕式蝕刻

銅擁有的導電性和熱傳導性，也有很好的延展性與強度，高的抗腐蝕性與容易組裝，因此是工業上常使用的材料。銅的蝕刻[6]，最常使用的蝕刻劑是  $FeCl_3$  與  $CuCl_2$  這兩種溶液，其蝕刻的化學反應分別如下：

對  $FeCl_3$  來說



而  $CuCl_2$  就更簡單了



兩種蝕刻液最後都會產生  $CuCl$ 。從化學反應式來看  $FeCl_3$  蝕刻液會有較複雜

的化學反應，並產生較多的生成物如  $Fe^{2+}$ 、 $Cu^{2+}$  和  $Cu^+$ ，而  $CuCl_2$  蝕刻液的反應式簡單多了並且只產生  $Cu^+$ ，因此考量到生成物後續的處理，銅蝕刻似乎使用  $CuCl_2$  蝕刻液比較合適。另一方面從實驗中得知經過  $CuCl_2$  蝕刻液蝕刻的銅表面會比較平滑而  $FeCl_3$  蝕刻液的蝕刻表面則是比較粗糙。至於蝕刻速率方面，蝕刻液的濃度與蝕刻時的溫度也會影響蝕刻速率，一般來說蝕刻液的濃度越大蝕刻速率會越快，蝕刻溫度越高蝕刻速率有會越快，然而在相同條件之下  $FeCl_3$  溶液的蝕刻速率會比  $CuCl_2$  快。

雖然蝕刻速率越快越好，但是考慮探針表面的粗糙度必須越平滑越好，再加上濕式蝕刻後廢液的處理問題，最後決定使用  $CuCl_2$  來當這次的蝕刻液，至於蝕刻速率方面，可以在  $CuCl_2$  溶液裡加上  $KCl$  溶液，會提升蝕刻速率[7]。考慮濕式蝕刻是等向性，從文獻[7]得知加上  $HCl$  溶液可讓蝕刻趨向非等向性，因此這次濕式蝕刻的蝕刻液就是  $CuCl_2 + KCl + HCl$ 。



#### 4.2-3 蝕刻結果

這次的蝕刻實驗有兩個主要的目的：第一個是想測量銅的蝕刻速度，第二個則是想知道濕式蝕刻的等向性側蝕速率，第二個目的是最重要的，因為此次要製作的新型探針的最小線寬與新型探針的厚度比例懸殊達 2：25，因此在濕式蝕刻的過程中極有可能會將最小線寬側蝕掉，所以要將此部分詳細記錄下來。

實驗一開始先將 8 片經過黃光微影後的銅片依序編號，接著把銅片編號為 #1、#2 和 #3 浸入  $1.5M CuCl_2 + 0.5M HCl + 0.5M KCl$  的蝕刻液中，分別將 #1 蝕刻 1 小時、#2 蝕刻 2 小時、#3 蝕刻 3 小時，而銅片編號為 #4 和 #5 則是浸入  $3.5M CuCl_2 + 0.5M HCl + 0.5M KCl$  的蝕刻液中，#4 蝕刻 6 小時、#5 蝕刻 9 小時。

這兩個實驗主要想知道銅片在蝕刻時側邊蝕刻與深度蝕刻的關係，另一點則是蝕刻液分成兩種濃度是想知道蝕刻液濃度大小對於銅片側蝕影響程度如何？而蝕刻結果已經整理成表 4.1。蝕刻深度與側蝕寬度如圖 4.5 所示。

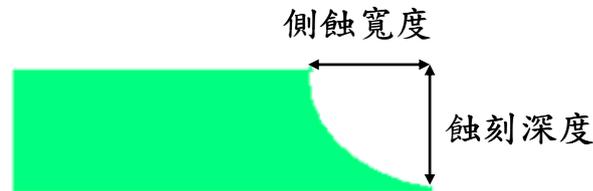


圖 4.5 側蝕

蝕刻液  $1.5M CuCl_2 + 0.5M HCl + 0.5M KCl$  #1 #2 #3

蝕刻液  $3.5M CuCl_2 + 0.5M HCl + 0.5M KCl$  #4 #5

	#1	#2	#3	#4*	#5
光阻厚 ( $\mu m$ )	1.38	1.4	1.4	1.41	1.42
蝕刻時間 (hour)	1	2	3	6	9
蝕刻深度 ( $\mu m$ )	10.8	21.1	30.4	114	133.2
蝕刻率 ( $\mu m/hr$ )	10.8	10.55	10.133	19	14.8
側蝕 ( $\mu m$ )	9.07	18.28	26.6	75.4	94.6

表 4.1 銅片蝕刻比較表

從表 4.1 可以發現測試銅片#1、#2 和#3 在  $1.5M CuCl_2 + 0.5M HCl + 0.5M KCl$  蝕刻液的蝕刻速率都差不多是  $10 \mu m/hr$ ，側邊蝕刻速率差不多是  $9 \mu m/hr$ ，所以蝕刻液在此濃度之下，側邊蝕刻與蝕刻深度的比例是 0.9，因此造成新型探針使用濕式蝕刻時，所設計的微彈簧部份，如圖 4.6 黑色圈與白色圈的位置，圖 4.6 是新型探針未使用濕式蝕刻前的形狀，在蝕刻 1 個小時過後，新型探針上面的微

彈簧還是存在，下面的微彈簧則是已經接近被蝕刻完的邊緣，如圖 4.7 所示，圖 4.7 左圖是 SEM 觀看側邊蝕刻，右圖則是新型探針在顯微鏡下觀測的外型。蝕刻 2 個小時後，新型探針的下面微彈簧已經被濕式蝕刻的側邊蝕刻效果蝕掉了，而上面的微彈簧也差不多了，如圖 4.8 所示，圖 4.8 左圖是 SEM 觀看側邊蝕刻，右圖則是新型探針在顯微鏡下觀測的外型。至於蝕刻到 3 個小時，新型探針所設計的微彈簧部分都會被蝕刻掉，不過在顯微鏡之下還是可以看到殘留部份，如圖 4.9 所示，圖 4.9 左圖是 SEM 觀看側邊蝕刻，右圖則是新型探針在顯微鏡下觀測的外型

測試銅片#4 和#5 是使用  $3.5M CuCl_2 + 0.5M HCl + 0.5M KCl$  這種濃度比較濃的蝕刻液，從表 4.1 中可以發現到，當蝕刻時間越久時蝕刻的速率會隨著減慢，這是因為蝕刻液裡的生成物濃度越來越濃而導致時刻速率變慢。在蝕刻液濃度較高之下蝕刻的速率比較快，而造成的側邊蝕刻速率也會比較慢，其側邊蝕刻與蝕刻深度的比例為 0.66~0.71 左右，圖 4.10 是新型探針蝕刻 6 小時的情況，很明顯的新型探針所設計的微彈簧都已經被蝕刻掉了，如圖中黑色圈與白色圈，只剩下最大的主體部分，圖 4.10 左圖是 SEM 觀看側邊蝕刻，右圖則是新型探針在顯微鏡下觀測的外型。而圖 4.11 則是蝕刻達 9 個小時的樣子，和圖 4.10 類似，新型探針的微彈簧部分都一樣被蝕刻掉了，而且在主體部份也被側邊蝕刻的更多，所以看起來探針也變得比較小，圖 4.11 左圖是 SEM 觀看側邊蝕刻，右圖則是新型探針在顯微鏡下觀測的外型。

從這兩個實驗中可以知道，當蝕刻溶液的濃度越高，濕式蝕刻的側邊蝕刻與蝕刻深度比例會比較小，會造成比較非等向性的蝕刻效果，但是還是不夠完美，而缺點是因為蝕刻速率比較快會造成覆蓋的光阻容易浮起，因此新型探針使用傳統的濕式蝕刻是無法製作出來，必須另外想辦法解決。

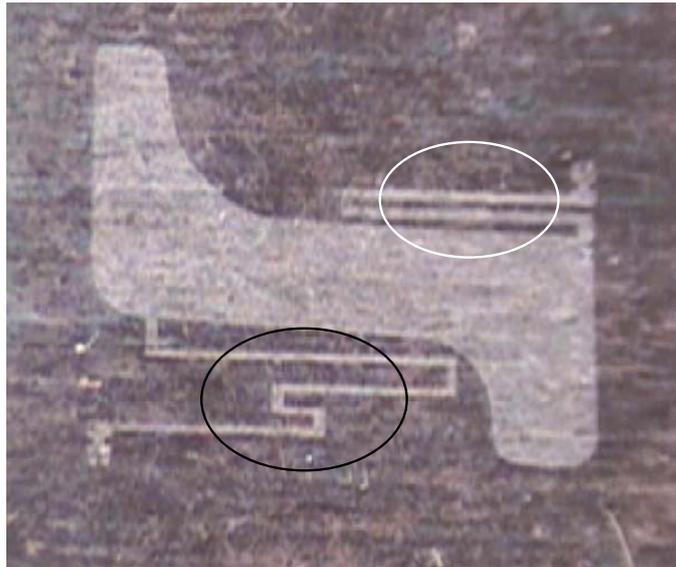


圖 4.6 未蝕刻前探針外型

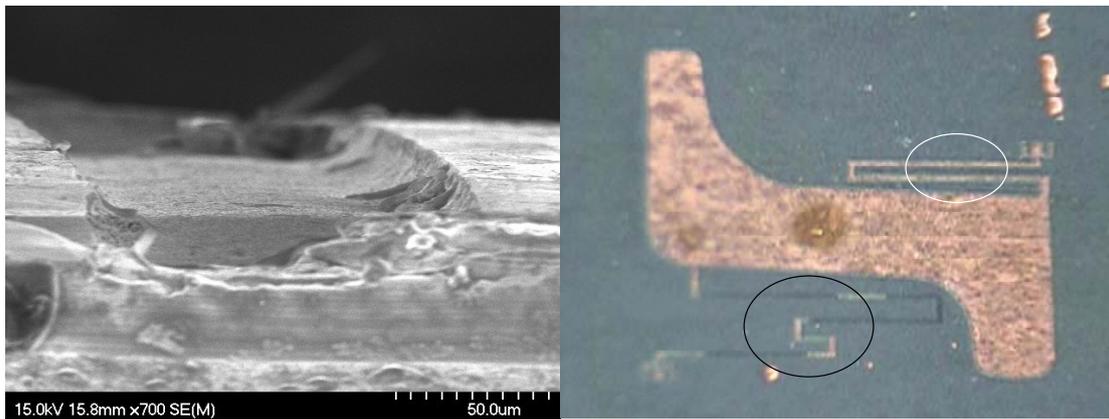


圖 4.7 試片 1 蝕刻結果

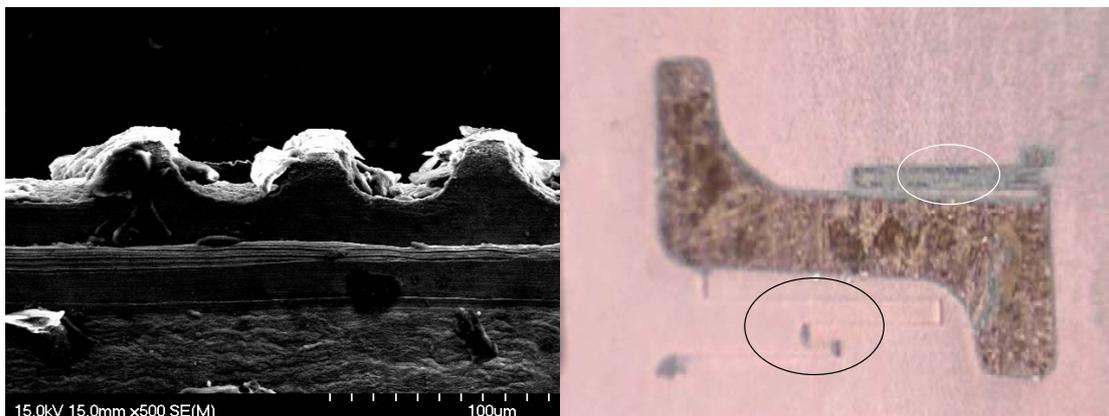


圖 4.8 試片 2 蝕刻結果

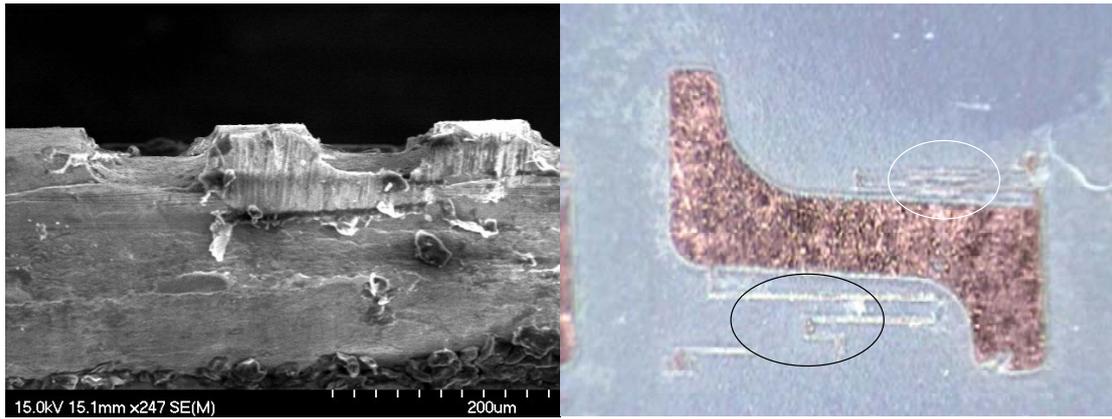


圖 4.9 試片 3 蝕刻結果

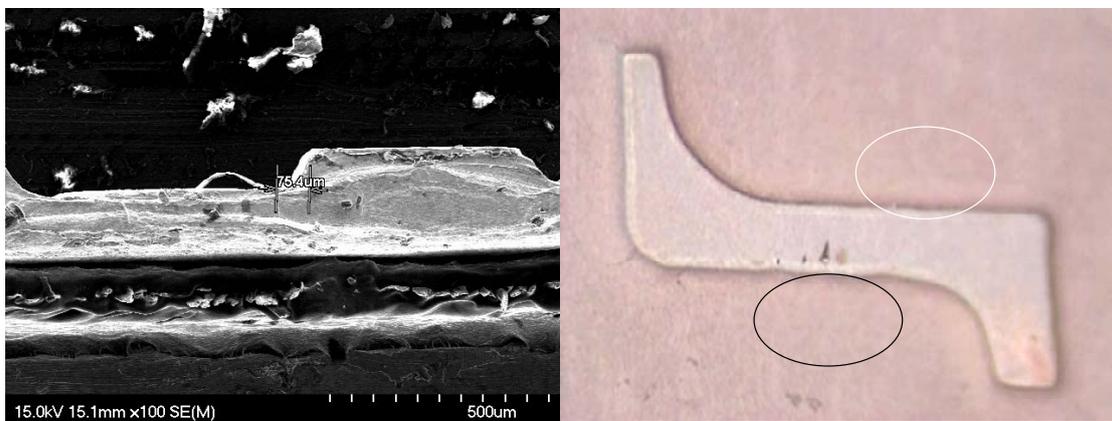


圖 4.10 試片 4 蝕刻結果

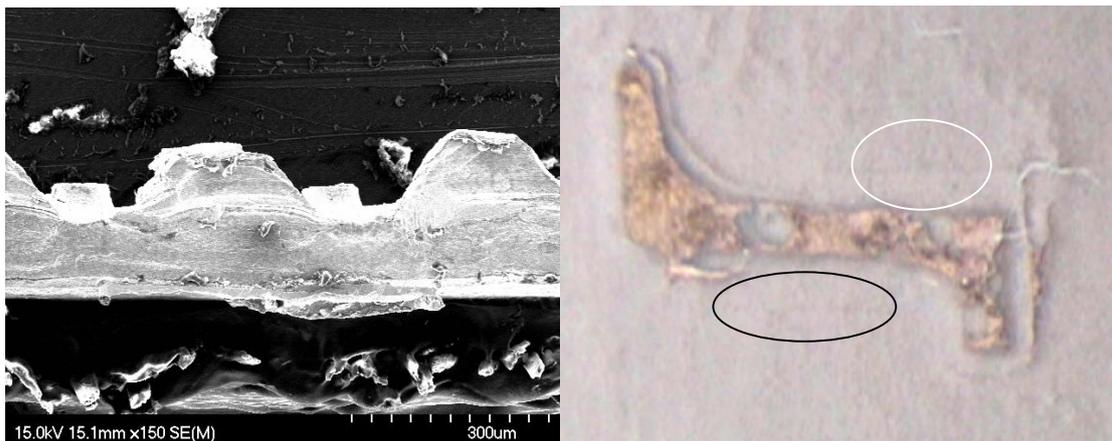


圖 4.11 試片 5 蝕刻結果

## 第五章

### 結論與未來計畫

#### 5.1 結論

此次研究主要分為三大部分：

第一部分是針對 Johnstech 公司所設計的探針 ROL200 建立有限元素分析模型，並且進行針測過程的模擬與分析，期望建立一套有系統的分析模型，方便之後使用這套分析模型來進行相關的探針分析，或是拿來驗證所設計探針的可行性與性能模擬。

第二部份則是設計新型探針使用微彈簧取代舊型探針的塑膠柱 1 與塑膠柱 2，期望在不影響探針原本的性能之下能夠使探針組裝至探針卡時比較簡單，製作時也能夠一體成型，並且大量製作，減少製作成本，而且微彈簧可以改善塑膠柱遇熱軟化的問題。

第三部份則是使用微機電製程技術實際製作所設計的新型探針，雖然此次的製程方式並不能實際將新型探針製作出來，但是從實驗中也得知在使用微機電製程技術所必須要注意的事項，期望在之後改成新的製程方法後可以將新型探針製作出來。

#### 5.2 未來計畫

嘗試使用新的製程方式來達到新型探針的製作，由之前的實驗得知在製作新型探針時所遭遇最大的困難處在於濕式蝕刻的等向性蝕刻，因此接下來將想辦法改善這個問題，其中從文獻[7][8][9][10]得知濕式蝕刻亦可經由溫度、壓力等方式將等向性蝕刻改善成非等向性蝕刻。

改良製程方法一：

文獻[7][8]提供一種有別於傳統濕式蝕刻的蝕刻方式，可以使用濕式蝕刻但是又不會有等向性蝕刻的困擾，因此可以使用此方法來製作新型探針，其裝置如圖 5.1 首先將黃光微影後的銅片放入一個製作好的小溝槽，接著將小溝槽放到一個大的儲存槽中，然後通入蝕刻液，令蝕刻液的流向是從左邊流向右邊，並且控制著蝕刻液的流量大小，藉由控制蝕刻液的流量來達到非等向性蝕刻的作法，而蝕刻溶液也是經過實驗後選用的，蝕刻溶液是  $CuCl_2 + HCl + KCl$  的混合溶液，也是上章蝕刻實驗所使用的蝕刻液，三種溶液的濃度搭配也在文獻中有詳細的介紹，最後文提中提到當蝕刻液為  $3.5M CuCl_2 + 0.5M HCl + 0.5M KCl$  時的非等向性蝕刻特性最為明顯，因此在之後的新型探針製作可以嘗試此種方式。

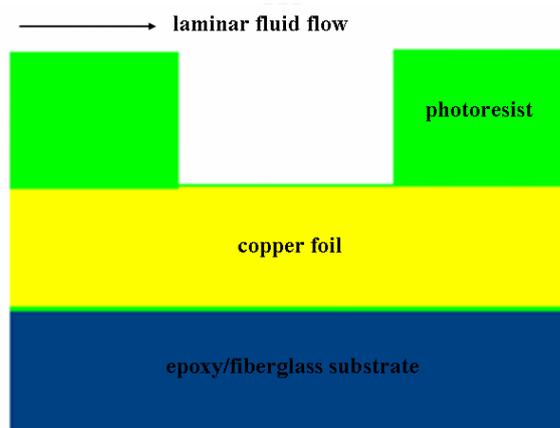


圖 5.1 文獻[7][8]裝置圖形

改良製程方法二：

文獻[10]提供了另外一種的濕式蝕刻方法，其裝置如圖 5.2，將經過黃光微影的銅片浸入經過稀釋過的蝕刻溶液中，此時的蝕刻溶液已經稀釋到銅片放入時無法自動產生化學反應，接著將銅片連接電壓源並把銅片當作是正極，然後在銅片右方 1mm 處放置一個負極，並且在左方設置一個參考電極，此時要蝕刻的表面必需朝向負極，這樣子就算是裝置完畢。接下來就是提供電壓激發經過稀釋後

的蝕刻溶液中的離子，使正離子由向負極，負離子由向正極，藉由經過激發的離子開始蝕刻銅片表面，跟著將電壓轉換使正極變成負極，負極變成正極，當店及轉變時，本來在各電極表面作用的蝕刻溶液離子將因為同性相斥彈開，當蝕刻溶液離子彈開後再一次將電極極性轉換，這樣彈離的蝕刻溶液離子將再次靠近原本的電極並開始蝕刻，就這樣一直反覆轉換電極極性直至蝕刻完成，這個作法的關鍵在於電極轉換極性的時間控制，要在蝕刻溶液離子未對銅片表面進行側向蝕刻前將它彈離。

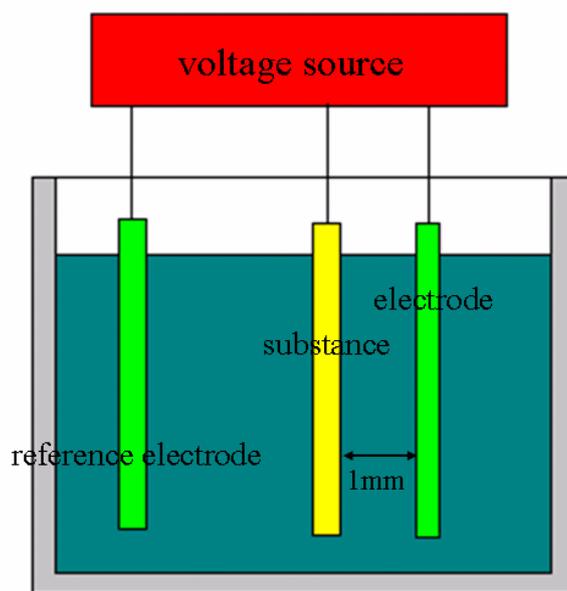


圖 5.2 文獻[10]裝置

若是此兩種製程方式可以成功將新型探針製作出來，將會使用新型探針的正確材料來進行實作，並且在成功之後做強度與電性測試，驗證是否與有限元素模型模擬吻合。

## 參考文獻

- [1] 康淵、陳信吉，”**ANSYS 入門**”，修訂二板，全華科技圖書股份有限公司，2005 年 2 月。
- [2] Gary Keith Fedder, “**Simulation of Microelectromechanical Systems,**” Doctor of Philosophy in Engineering-Electrical Engineering and Computer Sciences University of California at Berkeley,1994
- [3] 李輝煌，”**ANSYS 工程分析基礎與觀念**”，初版，高立圖書有限公司，中華民國 94 年 5 月 20 日
- [4] Hong Xiao 著·羅正忠、張鼎張譯，”**半導體製程技術導論**”，二板，學銘圖書有限公司·歐亞書局有限公司，民國 91 年。
- [5] Osamu Miura, Kunio Miyazaki, Akio Takahashi, Ryuji Watanabe, and Takao Miwa,” **Fabrication of Thin-Film Multilayer Substrate Using Copper Clad Polyimide Sheets,**” IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology,vol.16,no.8 December 1993
- [6] O.Cakır , H.Temel, M.Kiyak,” **Chemical etching of Cu-ETP copper,**” Journal of Materials Processing Technology 162–163 (2005) 275–279
- [7] Maria Georgiadou, Richard Alkire,” **Anisotropic Chemical Etching of Copper Foil I. Electrochemical Studies in Acidic CuCl<sub>2</sub> Solutions,**” The Electrochemical Society, Inc. J. Electrochem. Soc., Vol. 140, No. 5, May 1993
- [8] Maria Georgiadou ,Richard Alkire,” **Anisotropic Chemical Etching of Copper Foil II. Experimental Studies on Shape Evolution,**” The Electrochemical Society,

Inc. J. Electrochem. Soc., Vol. 140, No. 5, May 1993

[9] Tohru Hara, Takeshi Hirayama, Hirofumi Ando, and Masakazu Furukawa ,

**“Anisotropic Wet Etching of Aluminum Electrodes by an Evacuated Etching System,”** Journal of The Electrochemical Society , 1985

[10] Lennart Olsson, Malmo and Babak Heidari, Lund, **“Method For Anisotropic Etching Of Structure In Conducting Materials,”** United States Patent,US 6245213

B1, Jun 12 2001

