

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

以氬氣做為微電阻鐸的遮護氣體之研究

Study of Micro Resistive Welding with Argon



研究生：張耕碩

指導老師：徐文祥 教授

中華民國九十六年七月

以氬氣做為微電阻鐸的遮護氣體之研究

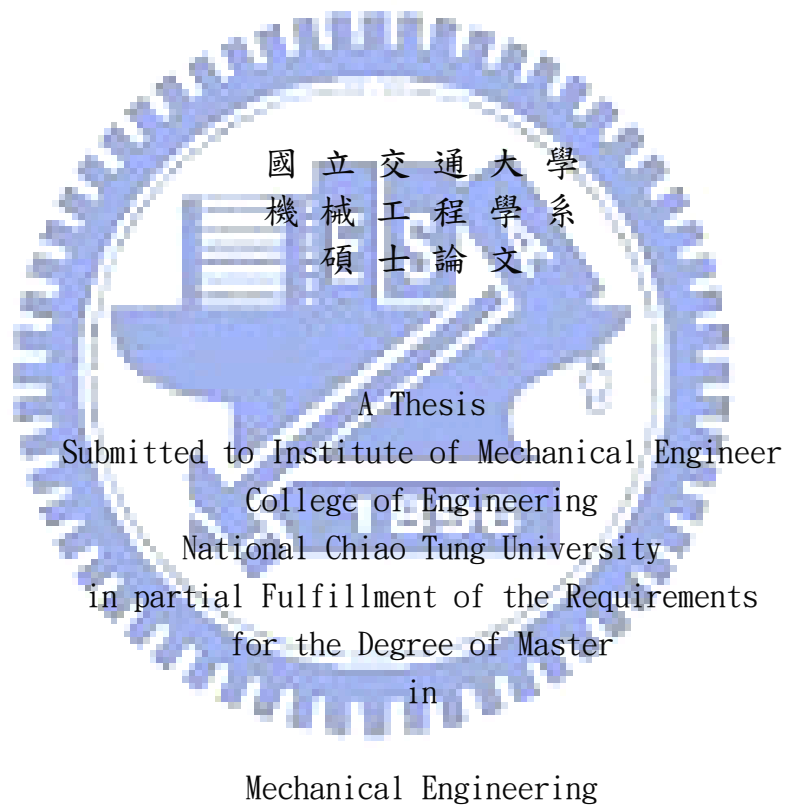
Study of Micro Resistive Welding with Argon

研 究 生：張耕碩

Student : Keng-Shou Chang

指 導 老 師：徐文祥 教授

Advisor : Wensyang Hsu



June 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年六月

以氫氣做為微電阻鐳的遮護氣體之研究

研究生：張耕碩

指導教授：徐文祥

國立交通大學機械工程學系 碩士班

摘 要

在本論文中提出以氫氣做為微電阻鐳組裝微結構之遮護氣體的研究，結構以黃光微影、濺鍍與電鍍等表面金屬微加工技術製成，設計上利用 V 型樑電熱式致動器輸出鐳接所需要的壓力，藉由結構在接觸面上會產生接觸電阻，在氫氣的環境下通入電流時候會因此產生局部高溫，使得材料鎳融熔進而產生接合，再利用探針拉扯測量其鐳接強度，鐳接點尺寸為 $6\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$ 。

在量測結果方面，可以得知在我們所設計的幾何尺寸下，在氫氣環境下與在空氣環境下鐳接相比較其鐳接後接觸電阻平均可下降達 23%，且鐳接後接觸電阻範圍較為穩定；使用氫氣時可減少初始接觸電阻對鐳接後強度的影響且鐳接強度較為穩定，範圍控制縮小 66%；鐳接能量與鐳接強度呈較明顯正相關，可控制鐳接能量改變鐳接強度；但也發現使用氫氣做為微鐳接遮護氣體時為電阻鐳相較於在空氣環境下需要至少多餘 2.6 焦耳的能量才能成功鐳接。

在微機電的領域中，前人發表欲使用微電阻鐳使用在三維立體微致動器與微感測器組裝與電流導通，但仍有鐳接點氧化現象。本論文的結果證明使用氫氣做為微電阻鐳之遮護氣體是有效改善鐳接製程與品質的，在未來有很大的機會實現利用微電阻鐳的原理來三維立體元件的組裝。

Study of Micro Resistive Welding with Argon

Student : Keng-Shou Chang

Advisor : Dr. Wensyang Hsu

Study of Micro Resistive Welding with Argon

National Chiao Tung University

Abstract

In this thesis, we propose to use micro resistive welding with argon to assemble micro-structure. On structure design, we use bent-beam electro-thermal actuators to export the welding pressure. When we input the current, contact resistance will cause some high temperature in local and make the material melt on the contact surface to result in joint. The welding size is $6\mu m \times 8\mu m$.

Final we use a probe to pull the structure and measure the welding strength. From the measure result, we can find that the average value of the post contact resistance in argon is decreasing 23% than in air, and the range is more steady. Micro resistive welding with argon can decrease the influence that the initial contact resistance affects the welding strength, and the range is decrease to 33%. And the more welding energy can make the welding structure stronger, then we can control the welding structure. But it is need more energy to success weld in argon than in air.

In MEMS field, although few researches have been done that use micro resistive welding to assembly method and transmission of the signal, but it still has the oxidize problem. The result in this thesis proves micro resistive welding with argon can better the process and the result. In the future, it may have a well chance to apply to realize assembly three-dimensional component by micro resistance welding.

誌謝

在交通大學光復與博愛校區裡，度過了我兩年充實且快樂的研究所生涯，並且順利完成了這篇論文，首先，我要最感謝的是 徐文祥教授，帶領了我進入了微機電的領域，並且在研究期間，提供了許多重要的建議與方向，並且給予了實驗室充分的資源，讓我們可以專心於研究。

也很感謝微機電實驗室裡的鍾君煒、楊涵評、張駿偉、黃家聖、李毅家、黃元德、葉昌旗學長們，在實驗與經驗的傳承與指導，讓我獲益良多，也感謝魏仁宏、張家維同學，葉昶志、邵啓煥、李岳剛學弟的陪伴和幫忙，跟我一起度過這兩年的時光。

最後，我要感謝我的家人，這在段日子裡，給予我精神與生活上的支持與幫忙。由於大家的鼓勵，讓我順利的完成我的論文，謝謝大家。

目 錄

中文提要	i
英文提要	ii
誌謝	iii
目 錄	iv
表目錄	vii
圖表目錄	viii
第1章 緒論	1
1.1 前言與動機	1
1.2 相關文獻	2
1.1.1 組裝 (Assembly)	2
1.1.2 電熱式致動器 (Electro-Thermal Actuator)	4
1.3 研究內容	5
第2章 原理與設計	12
2.1 電阻銲原理	12
2.2 微銲接結構與設計	13
2.2.1 V型樑電熱式致動器	14
2.2.2 微銲接結構設計	16

2.3	銲接遮護氣體	17
2.4	微銲接未來應用在三維立體結構組裝	17
第3章	微結構製程	23
3.1	鎳電鍍流程	23
3.1.1	黏著層與種子層的選擇	23
3.1.2	黃光製程	24
3.1.3	電鍍製程	25
3.2	製作流程	25
3.3	製程結果	26
第4章	實驗量測與討論	29
4.1	量測設置	29
4.2	實驗量測過程	29
4.3	量測結果	30
4.3.1	初始接觸電阻和銲接後接觸電阻	30
4.3.2	初始接觸電阻與銲接強度的關係	32
4.3.3	銲接能量與銲接強度關係	33
4.3.4	銲接後接觸電阻和銲接強度關係	33
4.3.5	初始銲接電阻和銲接能量關係	34
4.3.6	不同結構尺寸和銲接後接觸電阻關係	34

第5章 結論	40
5.1 總結	40
5.2 未來工作	41
參考資料:	42



表目錄

表 2-1 原理與設計中所使用到的材料參數.....	19
表 3-1 黃光參數表.....	27
表 3-2 電鍍參數表.....	27



圖表目錄

圖表 1-1 微鉸鏈版狀結構在釋放後的等角視圖[1]	6
圖表 1-2 彈性鉸鏈的側視圖[2]	7
圖表 1-3 無鉸鏈結構利用表面張力立起[3]	7
圖表 1-4 微鉸鏈利用鉚錫與支架形成自我組裝[8]	8
圖表 1-5 三維立體結構利用鉚接機構進行組裝[9]	8
圖表 1-6 電阻鉚的 SEM 照片 (a)全結構圖 (b)接點近視圖[13]	9
圖表 1-7 微鉚接接點 SEM 照片 (a)鉚接前 (b)鉚接後[14]	9
圖表 1-8 微鏡面角度固定之接合 [15]	10
圖表 1-9 以熱致動器達成平面微結構鉚接[19]	10
圖表 1-10 微鉸鏈利用磁力舉起結構解融化鉚錫進行組裝[20]	10
圖表 1-11 應用雙金屬效應作為驅動方式的微電熱式致動器[10]	11
圖表 1-12 冷熱臂式微熱致動器[11]	11
圖表 1-13 單一 V 型樑微熱致動器結構示意圖[12]	11
圖表 2-1 V 型樑電熱式致動器 (a) 結構參數示意圖 (b) 致動示意圖	20
圖表 2-2 微鉚接結構	20
圖表 2-3 (a)未結合前的電流示意圖 (b)致動方向與接點位置示意圖	21
圖表 2-4 進行鉚接階段電流與施予壓力示意圖	21

圖表 2-5 (a) 三維立體結構銲接結構圖 (b) 板狀結構銲接點示意圖.....	22
圖表 2-6 單一 V 型樑電熱式致動器.....	22
圖表 3-1 製程流程圖.....	28
圖表 3-2 微結構製程結果.....	28
圖表 4-1 量測設備設置圖.....	36
圖表 4-2 初始接觸電阻和銲接後接觸電阻關係圖.....	36
圖表 4-3 初始接觸電阻與銲接強度關係圖.....	37
圖表 4-4 銲接能量與強度關係圖.....	37
圖表 4-5 銲接後接觸電阻和銲接強度關係圖.....	38
圖表 4-6 初始接觸電阻與銲接能量關係圖.....	38
圖表 4-7 不同結構尺寸和銲接後接觸電阻關係圖.....	39
圖表 4-8 微銲接流程.....	39
圖表 4-9 強度測試流程.....	39



第1章 緒論

1.1 前言與動機

微機電系統(Micro-Electro-Mechanical System, 簡稱MEMS)技術是一種包含機械、電子、材料、控制、物理、化學與生醫等, 各種技術領域的微型化及系統整合技術。微機電系統起源1960年代之積體電路之材料和製程之研究, 應用了薄膜沉積、黃光微影、蝕刻等半導體製程技術的方法, 再加上MEMS特有的體型微加工製造技術(bulk micromachining)及面型微機械加工製造技術(surface micromachining), 可於矽晶片上製造出微米(micron)尺寸的微小可動機械元件。MEMS具有可將機械結構與電子電路整合, 可批量製造而達到將低成本與均一品質, 尺寸縮小也可縮短反應時間, 降低損耗的能量, 又可增加量測與致動的精確性; 綜合以上優點, 也使與MEMS相關的研究與應用在近十年來受到相當的重視。

在MEMS元件中, 由於受限於製程的方式, 所以在早期主要都是屬於平面式二維的感測與致動, 雖然平面微結構的製程與使用較為容易, 但是也因為受限其只有二維的自由度, 所以在應用上也較為狹隘。

在平面時, 微結構的定位與訊號的輸入輸出不會是太大的問題, 但是若將平面結構進一步設計成三維立體結構時, 元件的組裝、致動能量與訊號的輸入輸出就會產生許多的問題, 所以要如何去完成立體微結構元件組裝且電流訊號能輸入輸出, 仍是一重要的研究課題。

同時達成完成立體微結構元件組裝且電流訊號能輸入輸出目前以微電阻鍍和磁感應鍍最接近目標，本實驗室已經成功使用微電阻鍍進行微結構的組裝與電路的導通，但是仍有嚴重的氧化問題。

1.2 相關文獻

如果想要達成三維立體的微致動器與測器，主要著重於結構的設置與定位，現有的研究當中，有許多關於微結構的組裝方式，但是在三維立體的微致動器與感測器，並沒有適當的裝配方式，可以同時達到組裝與訊號與能量的傳遞。在以下將會進行前人關於各種組裝(assembly)方式與幾種電熱式致動器 (Electro-Thermal Actuator)等相關論文研究。

1.1.1 組裝 (Assembly)

在此處我們所要了解的組裝(assembly)包含了兩個部分，第一是要先能將的懸浮結構舉起的機制，第二是要將舉起的結構固定的機制。在過去已經有許多應用鉸鏈或是其他組裝的方式與施力方式被提出來，在1995年Syms, R. R. A. 提出使用鍍錫(solder) [1] 與在1997年Ebefors等人提出使用聚亞醞胺(polyimide) [5]等方式，利用液體表面張力來整合兩部分的結構；在2002年Iwase等人提出使用磁力的方式[2]，在2001年Kaa jakari 與Lal提出使用超音波震動的方式[3]，在2002年Lai等人提出了使用向心力的方式等 [4]。此外，還有利用一些外部的機構設計來增加結構定位的準確度，在1999年，Kevin

等人使用了鉛錫融化的液體表面張力當作將結構舉起的力量[5]，在額外增加自我鎖定機構來增加板狀結構舉起後的角度精度，如圖 1-4；在2001年Edward等人，提出了微鉚接(microrivets)的方式[6]，如圖 1-5，在完成微鉚鏈製作後，利用探針將板狀結構挑起，經由適當的定位後，再利用鉚釘結構將其鉚接固定。

此外，還有使用材料熔接方式來組裝結構的設計，在1991年Fedder與Howe提出了以電阻鉚(resistive welding)的方式將多晶矽的結構進行接合[7]，如圖 1-6。該鉚接的方式是用探針施以鉚接所需要的壓力，再通以適當的電流使結構接面處產生高溫與多晶矽結構的熔融，因此微鉚接結構的設計需要在機構的接點處產生最高溫，以避免其他部位的高溫現象造成結構的破壞。在1992年，Fedder等人對其之前的設計進行了改良，提出了利用第二種材料—鋁，來形成鉚接時所需要的熔融介質[8]，如圖 1-7，此法主要是避免電流通過結構中融化的部位，同時融化的鋁的表面張力也可提供接合時的拉力，雖然使用了第二種材料，但微鉚接的結果也是相當強壯，而適當的電路設計可避免結構破壞的產生。；在2006年Cheng Chi Yeh[9]使用微電阻鉚的方式進行自動化的微結構的組裝，使用V型樑熱致動器最做為電阻鉚所必須的擠壓裝置，而不用像前人文獻使用探針做為擠壓裝置，如圖 1-9。在2003年，Zhang與Lee利用了熱熔接的技術來固定微鏡面(micromirror)的角度[10]，如圖 1-8，利用MUMPs製程產生的兩層多晶矽結構，在利用靜電力調整好鏡面角度並施予接合壓力後，將設計成固定用的橋狀結構處通以電壓，使橋狀結構產生熔融而達到接合的目的，此法可以得到相當準確的結構組裝精確度。在2006年時Hsueh-An Yang 等人利用磁力舉起金屬鎳結構並且同時利用磁力融化接點上的

銲錫同時進行組裝[11]，如圖 1-10。

1.1.2 電熱式致動器 (Electro-Thermal Actuator)

當進行微鉸鏈(micro hinge)的製作時，如何將其舉起與定位安裝，對於最後元件的完成是相當重要的環節，在這些微米(micro)尺度的元件中，若要做到精確的組裝，可以利用與其一樣具有微米精度的致動器，而電熱式致動器具有輸出力量大、反應速度慢與局部高溫等特性，這些對於微銲接的應用將會有良好的幫助。以下將介紹在微機電常用的一些微電熱致動器。在1988年，W. Riethmuller與W. Benecke提出應用雙金屬效應(bi-metal effect)做為驅動方式的微致動器[13]，如圖 1-11，雙金屬效應是利用不同材料間的熱膨脹係數的差異，當熱致動器溫度上升時，因為不同的形變量而使致動器產生平面致動，此熱致動器的設計只要能夠有適當的製程與材料搭配，在驅動上將會有很好的穩定性。而在1992年，Guckel等人提出了以鎳為材料的「U型電熱式致動器」[14]，如圖 1-12，應用結構寬度上的差異，使結構依電阻特性而產生局部高溫，其中寬度相異的懸臂因截面積不同，當電流通過的時候會有不同的電流密度，因焦耳效應導致結構上產生溫度的變化，當結構上的溫度不一致時就會產生不一樣的形變量，而使結構產生平面的位移。在1999年，Que等人提出了V型樑電熱式致動器[15]，如圖 1-13，該致動器是一對稱的V型懸樑結構，當通入電流時，V型樑因獲得焦耳熱而受熱膨脹產生形變，造成致動器會往V型尖端的方向產生位移，而V型電熱式致動器的變形量主要受到V型樑的接合角度、尺寸與輸入電流有關。

1.3 研究內容

由前人的文獻，我們可以知道有許多不同的組裝方式，可以幫助我們去建立三維立體微結構，但是除了建立三微立體為結構之外我們同時還希望能夠達成電路連結的部分，想要達成電路連接，在連接處就必須導通且擁有低電阻，這些在過去大部分的組裝方法是較為無法克服的部分，其中比較符合的只有在2006年Cheng Chi Yeh[9]使用微電阻銲的方式進行自動化的微結構的組裝，使用V型樑熱致動器最做為電阻銲所必須的擠壓裝置，如圖 1-9，和在2006年時Hsueh-An Yang 等人利用磁力舉起金屬鎳結構並且同時利用磁力熔化接點上的銲錫同時進行組裝[11]，如圖 1-10，這兩種方式較符合我們的需求，除了可以完成組裝定位外，也能夠完成電路的導通。在考量使用微電阻銲方式可使用普通鉸鏈再用重力即可舉起熱核我們所需的角再進行銲接固定，也就是舉起結構和進行組裝是獨立的兩件事，對於設計有更大的空間和更小的限制，所以我們選取微電阻銲做為我的研究的重點。而因為電路的導通是個重要的關鍵，前人文獻中微電阻銲進行時容易發生氧化現象，造成銲接品質的不穩定，所以本研究希望探討在使用氬氣做為銲接時遮護氣體對於微電阻銲製程與品質是否有影響甚或是明顯的改善。

在本研究中，將會利用金屬面型微加工的方式，利用兩層電鍍鎳來形成微鉸鏈(micro hinge)的結構，板狀結構的部分將會被立起，並與微鉸鏈的鈎環(staple)部分形成組裝；我們希望的組裝方式，是利用微銲接(micro welding)的方法，在鈎環上的設計加入電熱式致動器，來施予結構組裝時所需要的壓力，同時通入惰性氣體氬氣做為

銲接時的遮護氣體，再利用適當的電路設計，使我們希望接合處因接觸電阻產生局部高溫，發生材料熔融的現象，進而與我們的微結構完成組裝與電路連結的機制。最後我們可以透過能量輸入的平板(pad)，讓銲接點成為電流輸入微結構的電路導通的一部份，因此組裝與電路連結的問題都能夠得到適當的解決的方式。

在本論文的第二章，將會對於微銲接的結構設計原理和氬氣進行說明；第三章的部分，將會詳細的說明元件製造流程與參數，並進行微銲接製程測試，紀錄與討論實驗結果；第四章的部分，則會介紹我們所需設備，還有元件的電路測試與組裝好的致動器測試；最後在第五章，將會對本論文的研究進行討論與總結，以及未來可沿續發展的研究方向。

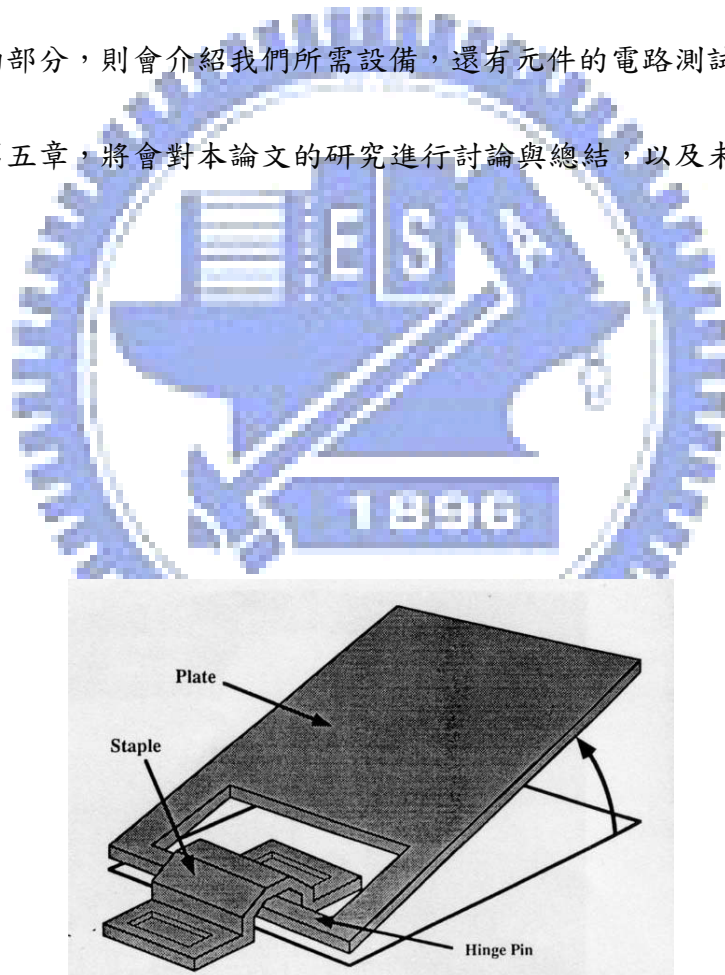


圖 1-1 微鉸鏈版狀結構在釋放後的等角視圖[1]

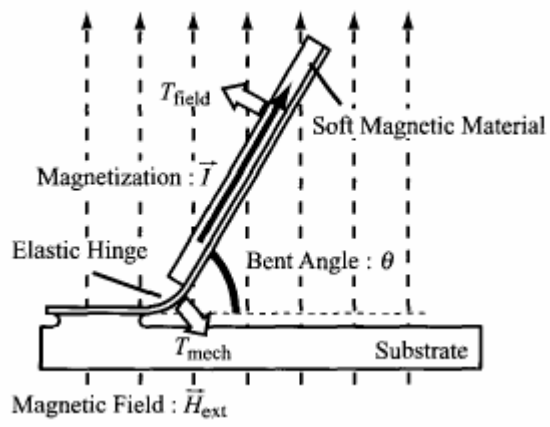


圖 1-2 彈性鉸鏈的側視圖[2]

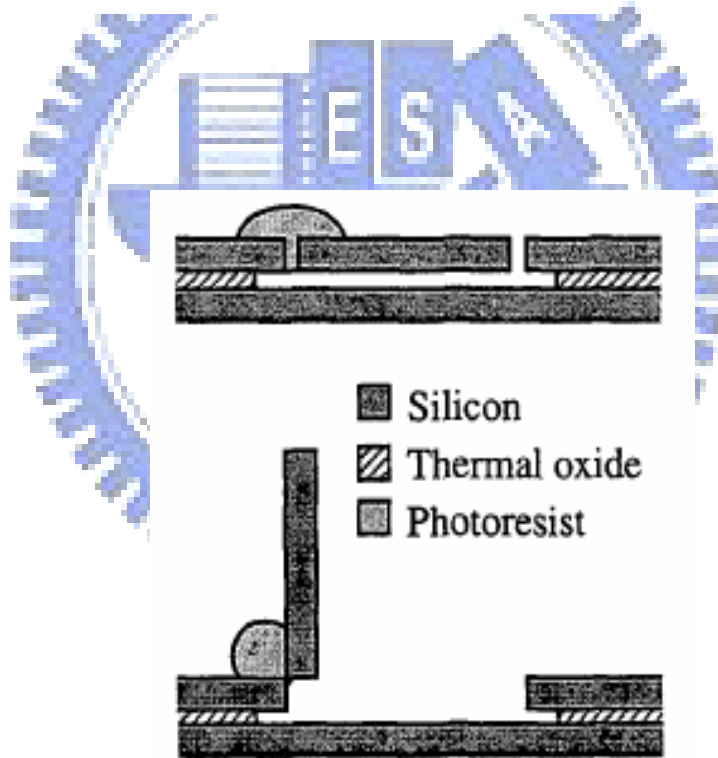


圖 1-3 無鉸鏈結構利用表面張力立起[3]

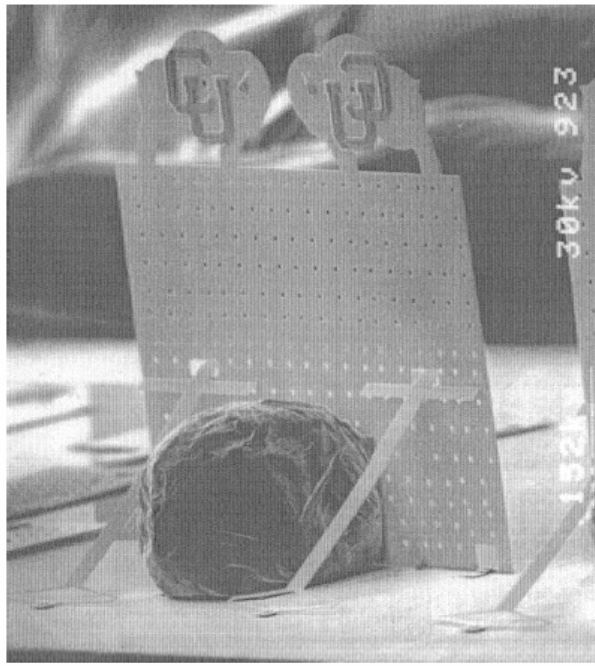


圖 1-4 微鉸鏈利用鐸錫與支架形成自我組裝[8]

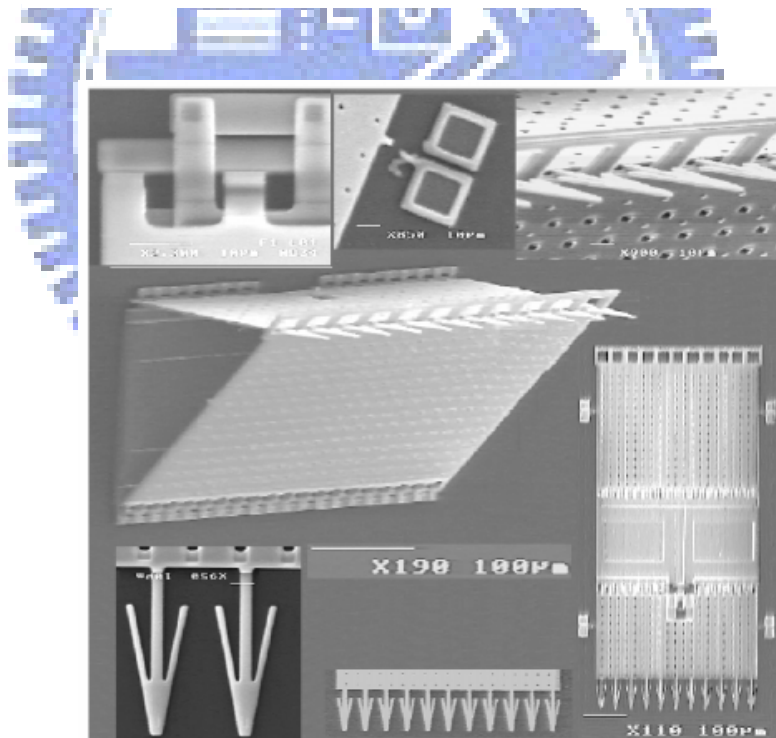


圖 1-5 三維立體結構利用鉚接機構進行組裝[9]

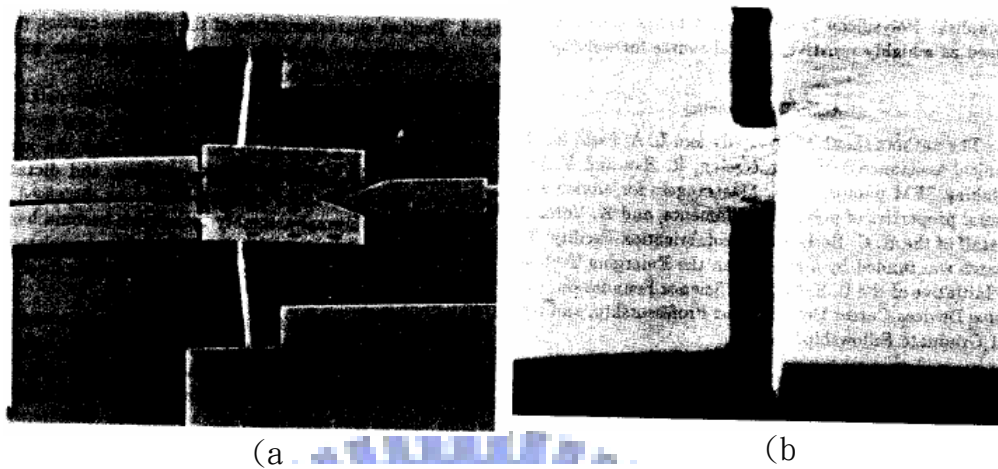


圖 1-6 電阻鐳的SEM照片 (a)全結構圖 (b)接點近視圖[13]

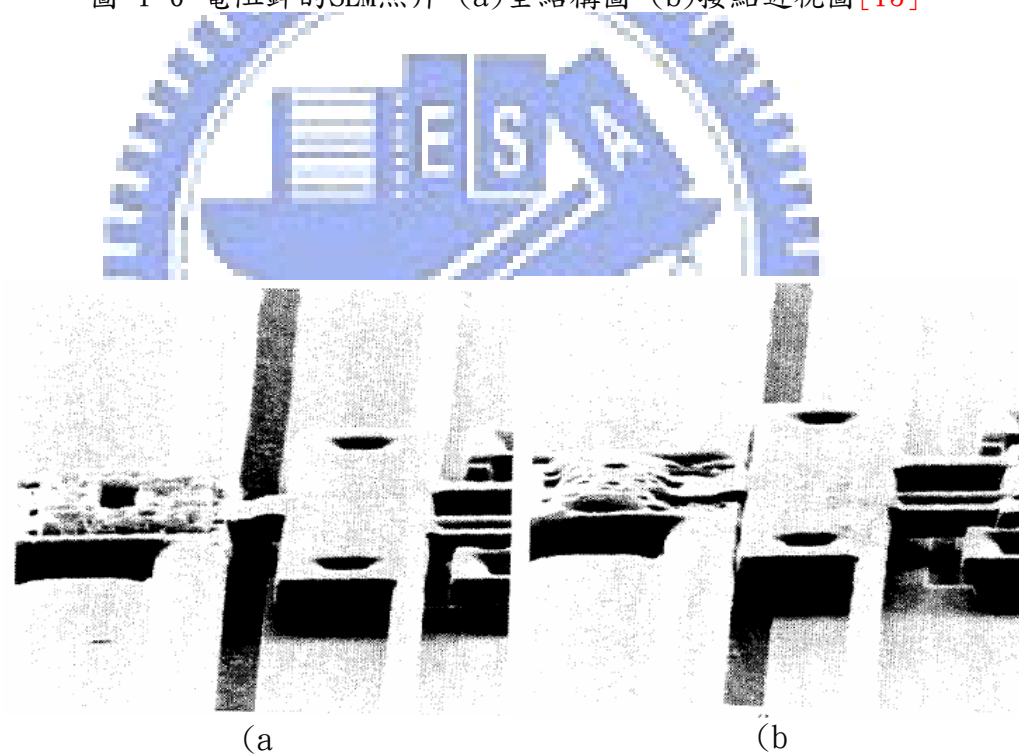


圖 1-7 微鐳接接點SEM照片 (a)鐳接前 (b)鐳接後[14]

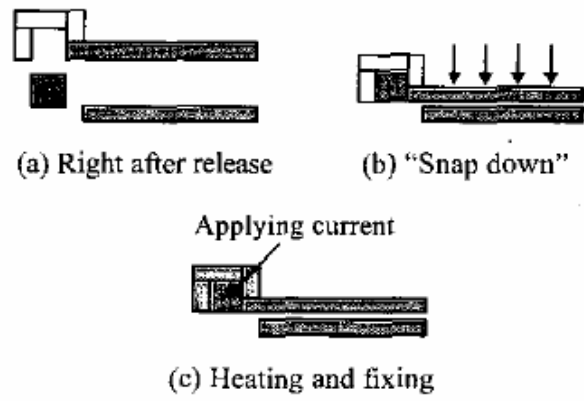


圖 1-8 微鏡面角度固定之接合 [15]

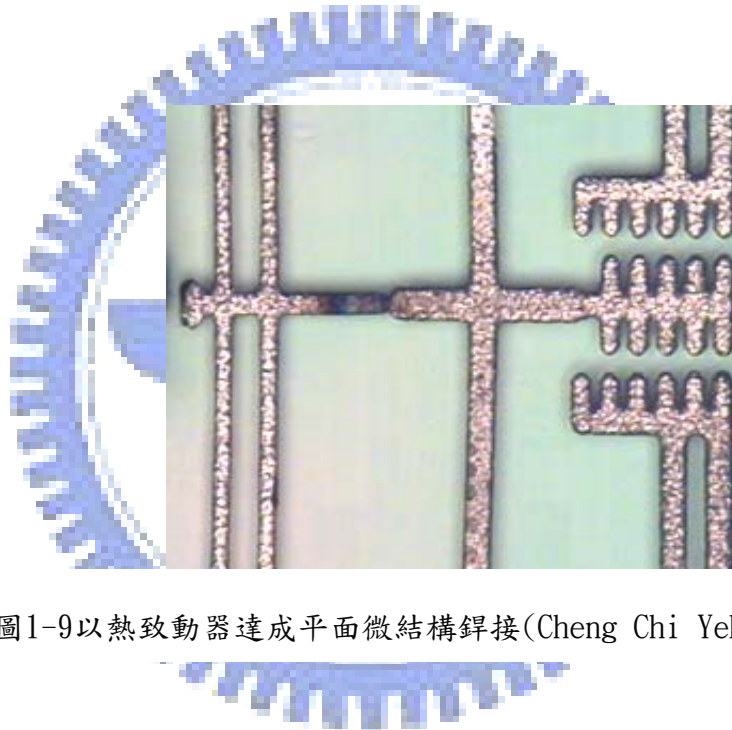


圖1-9以熱致動器達成平面微結構銲接(Cheng Chi Yeh., 2006)[]

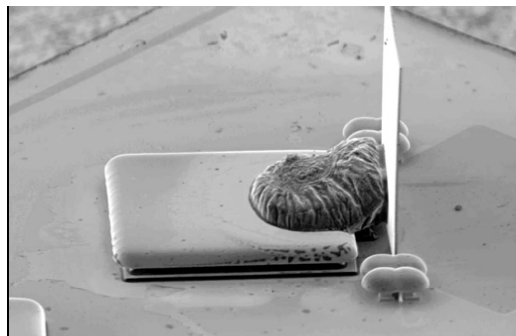


圖1-10 微鉸鏈利用磁力舉起結構解熔化銲錫進行組裝[20]

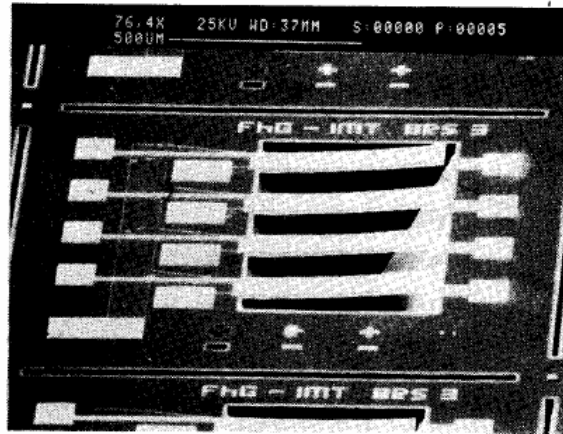


圖 1-11 應用雙金屬效應作為驅動方式的微電熱式致動器[10]

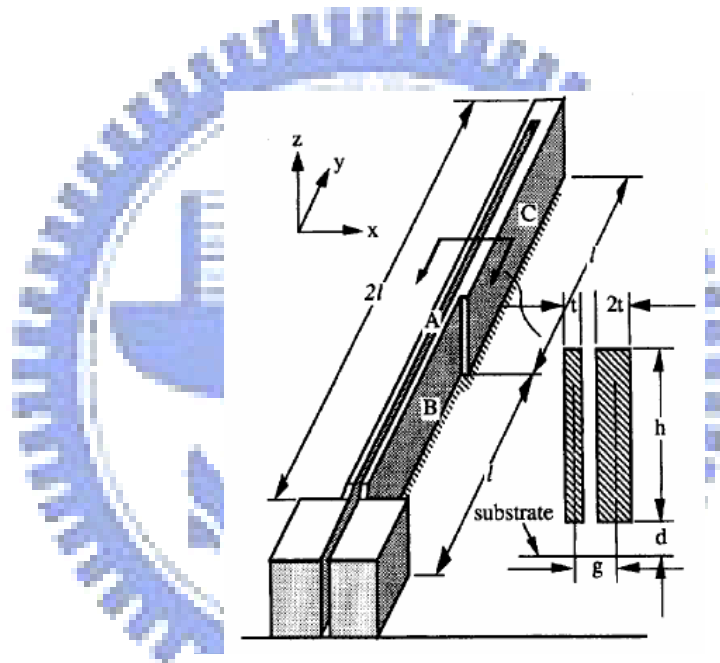


圖 1-12 冷熱臂式微熱致動器[11]

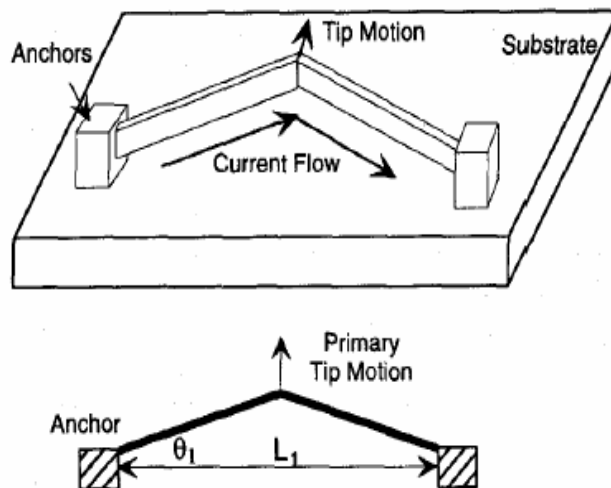


圖 1-13 單一V型樑微熱致動器結構示意圖[12]

第2章 原理與設計

2.1 電阻銲原理

電阻銲一般是使工件處在一定電極壓力作用下並利用電流通過工件時所產生的電阻熱將兩工件之間的接觸表面熔化而實現連接的銲接方法。電阻銲具有生產效率高、低成本、節省材料、易於自動化等特點。

電阻銲時產生的熱量由下式決定：

$$Q=I^2Rt \quad (2-1)$$

式中Q：產生的熱量(J)、I：銲接電流(A)、R：銲接電阻(Ω)、t：銲接時間(sec)

當銲接的裝置與結構都已經固定，則銲接工件的電阻取決於該材料的電阻率；因此電阻路是被銲材料的重要性質，電阻率高的金屬導電性差，而電阻率低的電阻其導電性佳，這些性質都將會影響到銲接的方式與條件。電阻率不僅取決於金屬種類，還與該結構的製程方式、熱處理狀態、加工方式與溫度相關。

除了結構電阻率外，另一個與電阻較為相關的參數是接觸電阻。接觸電阻存在於銲接中的時間是暫時的，一般會出現在銲接初期，形成原因可能為工件與施加的電極表面有高電阻係數的氧化物或污染物質層，使電流通過受到較大的阻礙，過厚的氧化物與污染物質層甚至有可能使電流無法通過。若銲接表面十分潔淨的情況下，也有可能是表面

的微觀不平整，使工件只能在粗糙的表面形成小面積的接觸點，在電流通過時，接觸點處將會形成電流線的收攏，因此是因為電流通路的縮小而增加了接觸處的電阻。

從公式(1)中可見，另一個重要參數是銲接電流，因為電流對產熱的影響是呈平方關係，比電阻與時間都大，因此在銲接過程中，這是需要嚴格控制的參數，而輸入電流的種類也應需求不同而異，使用交流電可以通過調幅使電流緩升、緩降，以達到預熱與緩冷的目的；使用直流電的話，則大部分用於需要大電流的場合。至於銲接時間部分，為了保證熔核尺寸與銲點強度，銲接時間與銲接電流在一定的範圍內可以有互補的效果，為了獲得一定強度的銲點，可採用大電流與短時間，或是採用小電流與長時間。

另外在式(1)中未列出的是銲接壓力的影響，壓力對於銲接總電阻(R)其實有很明顯的影響，隨著銲接點壓力的增大，電阻R將會減小，而銲接電流增大的幅度是不會有太大的增幅，並不能彌補因R減小而引起的產熱減少；因此銲接強度會隨著銲接壓力增大而減小，解決的方法是在增大銲接壓力的同時，增加銲接電流。

進行電阻銲時主要過程可分為三個階段：首先是預壓階段，要確保工件銲接面有壓緊，使接面間有適當的壓力；接下來是銲接階段，使銲接電流通過工件與銲接面，產生焦耳熱形成熔核；最後是維持時間，切斷銲接電流，但繼續保持壓力到熔核凝固到足夠的強度為止。

2.2 微銲接結構與設計

在上一節我們知道進行銲接時，有幾個重要參數需要知道：工作溫度、工作壓力與

接觸電阻大小。當將尺寸縮小到微米等級時，這些條件依然不變，只是供應這些條件的方式因尺寸縮小而有所不同。以下將會對我們使用的致動器與微銲接過程進行說明。

2.2.1 V型樑電熱式致動器

由於在微小尺寸下不易使用人工或器具供給精確的力量與位移，因此這裡我們選擇使用V型樑電熱式致動器來施加壓力在銲接點上，如圖 2-1(a)，在鉤環的設計上，我們將懸空的部份設計成數個V型樑串聯的組合，在中間利用軛的設計將其連起；由電路組成來看，串聯的V型樑會形成並聯的電路，但若是由致動方向來看，V型樑會因受熱後往相同的方向致動，如圖 2-1(b)；當我們在致動器兩端施加電壓後，在上一小節中提到的因焦耳熱形成的溫度分布產生，結構產生熱膨脹效應使得串聯的V型樑致動器產生位移與致動效果，產生的位移量與輸出力量，將會是串聯的V型樑基礎單位的總和，這樣的好處是能夠在很節省的空間內，產生我們進行微銲接所需要的壓力輸出，在精度上也能有良好的控制。

當V型樑電熱式致動器在小彎曲角度($\theta < 10^\circ$)下，可視為直臂線型結構，可使用

1996年Lin與Chiao發表線型微結構在穩態下(steady state)的溫度分布解[16]，如下式：

$$T(x) = T_r - (T_r - T_\infty) \frac{\cosh[\sqrt{\varepsilon} \times (x - \frac{L}{2})]}{\cosh(\sqrt{\varepsilon} \times \frac{L}{2})} \quad (2-2)$$

$$T_r = T_\infty + \frac{J^2 \rho_0}{k \varepsilon} \quad (2-2a)$$

$$\varepsilon = \frac{k_{sus} F_{s,sus}}{k h g} - \frac{J^2 \rho_0 \xi}{k} \quad (2-2b)$$

這裡 k_{sus} 為元件的熱傳合成項， $F_{s, sus}$ 是熱傳導形狀參數，其他的參數 L 、 J 、 ρ_0 、 k 、 h 、 g 與 ξ 分別代表V型臂長度、電流密度、材料在室溫下電阻率、熱傳導係數、結構厚度、結構與基底間的空氣間隙寬度與電阻率的溫度係數。

因此若要計算V型樑平均升高的溫度 ΔT_{avg} 可將其表示為下式：

$$\Delta T = \int_0^L T(x)dx - T_\infty \quad (2-3)$$

在V型樑中央頂點的位移量可由樑的尺寸與彎曲角度可由下式表示[17]：

$$d = 2 \frac{\tan \theta}{k} \tan \frac{kL}{4} - \frac{L}{2} \tan \theta \quad (2-4)$$

$$k = \sqrt{\frac{P}{EI}} \quad (2-4a)$$

$$\Delta T_{avg} = \frac{1}{\alpha \times L} \left(L + \frac{PL}{EA} \right) \quad (2-4b)$$

$$L' = \frac{\tan^2 \theta}{4k} [2G + kL + kLG^2 + \sin kL - 2G \cos kL - G^2 \sin kL] \quad (2-4c)$$

$$G = \tan\left(\frac{kL}{4}\right) \quad (2-4d)$$

這裡 θ 、 α 、 P 、 EI 與 EA 分別代表彎曲角度、熱膨脹係數、樑在X軸向的反應力、彎折剛性與軸向剛性。這裡我們可以利用式(2-3)、(2-4b)與(2-4c)解出 P 值應用在(2-4a)，並帶回式(2-4)來求得位移量的大小。

至於最大的V型樑力量輸出 f_{max} 定義為可將頂點形變推回原零點位置，力量輸出可表示為下式[17]：

$$f_{max} = K \times d \quad (2-5)$$

$$K = \frac{4 \sin^2(\theta_1) AE}{L} \quad (2-5a)$$

這裡 θ_1 為取決於V型樑電熱式致動器初始的彎曲角度的有效彎曲角度。

若要增加力量輸出可利用串聯來達到增加力量輸出的效果，可由下式表示：

$$f_{total} = N \times f_{max} \quad (2-6)$$

這裡 N 代表串聯的數量。

2.2.2 微銲接結構設計

在這裡我們設計微銲接結構，如圖 2-2，分為V型樑電熱式致動器與銲接電路結構，當我們在固定板1施加電流輸入時，電流便可透過V型樑的致動器經過固定板2輸出，而V型樑電熱式致動器將會因為電阻熱產生昇溫現象，伴隨著熱膨脹現象後，致動器將會往中央產生推力，如圖 2-1，在適當的昇溫下提供足夠的位移量與施力，可將銲接電路結構往內推移，並挾持住銲接結構部份形成銲接點；如圖 2-3(a)，在銲接點完成接觸的條件後，我們便可以在固定板a輸入電流，固定板b輸出電流，如此當電流通過中央銲接點，將會因為接觸電阻與橫截面較小電流密度提高，又處於電路的中央，因此會形成局部的高溫；此時兩端的V型樑仍然是有受溫度上升的影響，而能持續的給中央銲接處產生需要的壓力，如圖 2-3(b)，在經過適當的升高電流後，銲接電路結構軛的部分與銲接結構便可造成材料熔接效果，這裡便是達成我們整個設計最重要的部份；在微銲接現象發生後，最後將電流略為降下但不關閉，維持溫度一小段時間讓熔核強化後才關閉電流。

2.3 銲接遮護氣體

遮護氣體(Shielding gases)在銲接高溫狀況下隔離空氣中有害銲縫品質之元素，所以滿足此項條件下之氣體只有惰性氣體，所謂惰性氣體乃指在任何溫度情況下，皆不和金屬起化學作用的氣體，包括氦氣氬氣，然因銲接成本之關係，一般接以氬氣及氦氣來作為遮護氣體，此乃因此兩者在大氣存量較多之故，且氬氣與氦氣之價格相差約六倍。

氬氣有以下幾項特點：(1)氬氣分子量為39.44，空氣比重為28.16，氬氣比空氣重，適合平銲之銲接遮護用。(2)價格便宜，且價格為氦氣1/6。(3)獲得容易，氬氣為大氣中含量最高的惰性氣體。

因為上述幾個原因，因此本次實驗選擇使用氬氣作為微電阻銲的遮護氣體。

2.4 微銲接未來應用在三維立體結構組裝

在確定微銲接的機制後，在未來我們可將其應用在立體微結構的組裝上，如圖2-5(a)，因微鉸鏈的鉤環部分設計成具有電熱式致動器的結構，也是提供銲接點的部分；為了讓板狀結構在被舉起後，能夠被銲接固定，因此在微鉸鏈的栓(pin)的結構處便需要做些結構設計；如圖2-5 (b)，在栓對應於銲接點處，我們多長出了一個凸點，這個凸點便是我們要將栓與鉤環銲接起來的銲接結構，銲接的方式則是可利用重力或是

探針將立體結構挑起後，依上述微銲接過程來進行組裝的步驟。這樣的一組熱致動器與一個凸點的對應，可視為一個銲接單元，可以隨著需要銲接的結構大小來進行串聯，以達成大範圍或大尺寸的結構微銲接；銲接成功後，也代表電路連結的完成，若微銲鏈的板狀結構處以微致動器或微感測器替換，在搭配以適當的電路關係，則可達到立體微結構能量與訊號的輸入與輸出了。



表格 2-1 原理與設計中所使用到的材料參數

	Nickel	SC-Silicon	Oxide	Dry-Air
E (GPa) Modulus of Elasticity	207	162	57	*
D (Kg/m ³) Density	8880	2420	2660	TD : 1.293-0.456 (273K-773K)
CTE (10 ⁻⁶ /K) Coefficient of Thermal Expansion	TD : 12.7-16.8 (300K-800K)	TD : 2.56-4.10 (300K-800K)	0.4	*
ν Poisson Ratio	0.31	0.28	0.245	*
κ (W/mK) Thermal Conductivity	90.5	TD : 146.4-41.8 (300K-800K)	1.1	TD : 0.024-0.056 (273K-773K)
C (J/Kg-K) Specific Heat	443	706.4	176	TD : 1006-1093 (273K-773K)
ρ (10 ⁻⁸ Ω -m) Resistivity	TD : 13.5-18.4 (273K-873K)	*	*	*

註：TD = Temperature Dependent

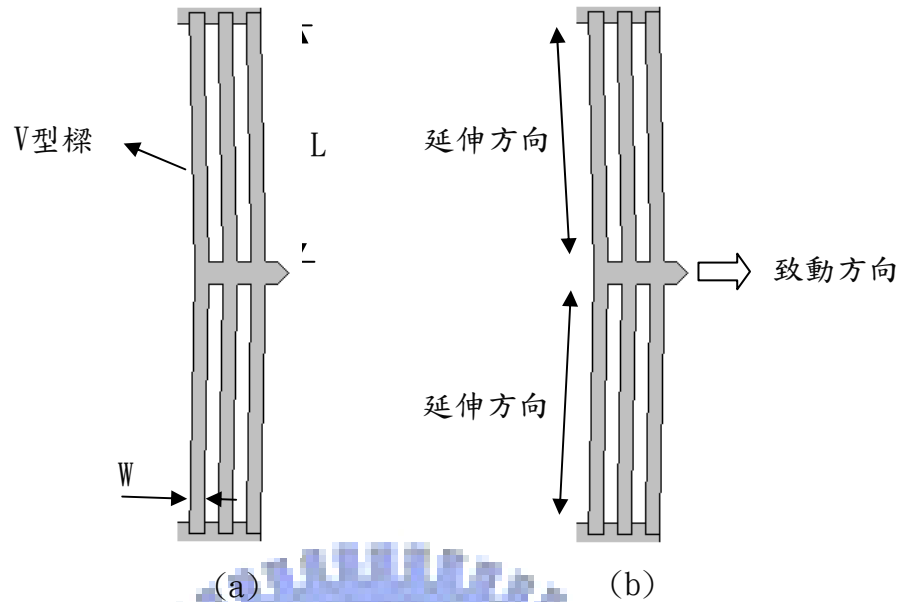


圖 2-1 V型樑電熱式致動器 (a) 結構參數示意圖 (b) 致動示意圖

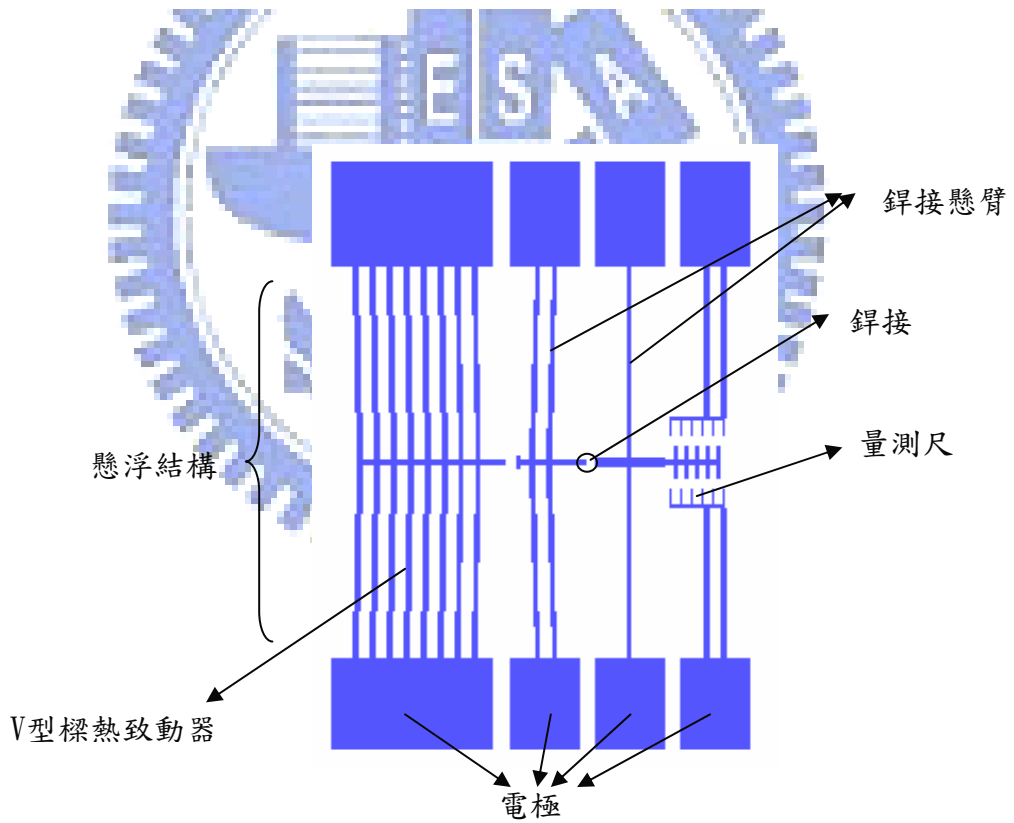


圖 2-2 微銲接結構

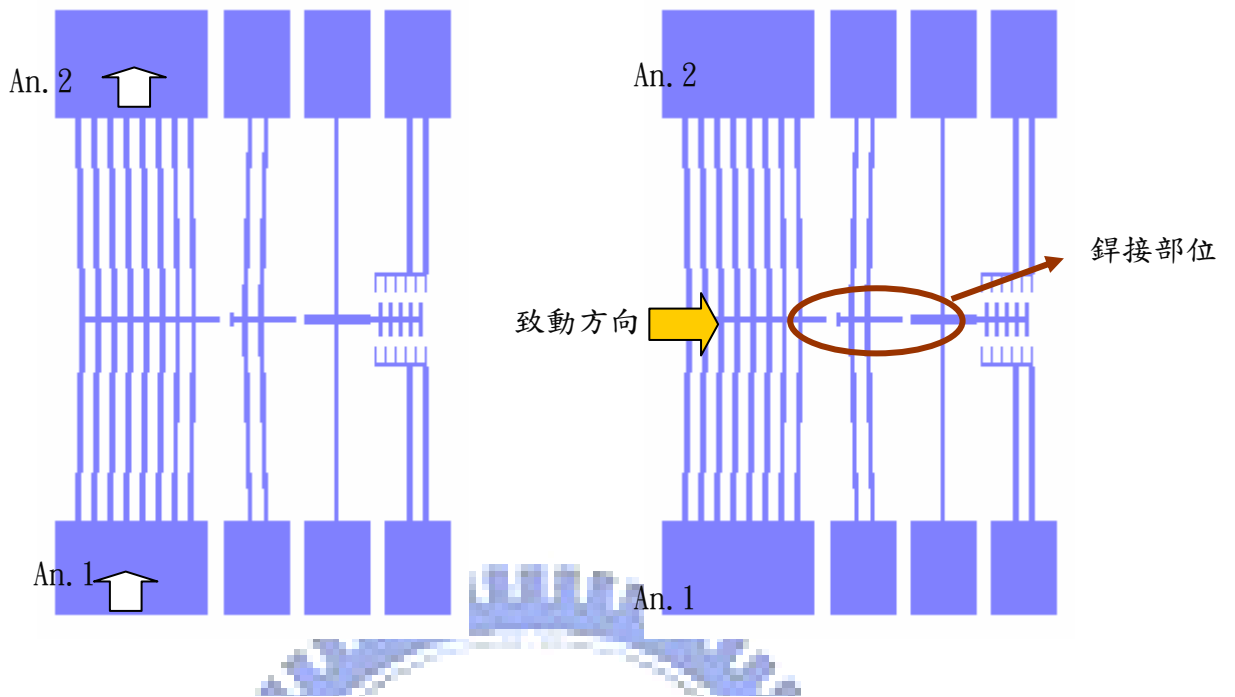


圖 2-3(a)未結合前的電流示意圖 (b)致動方向與接點位置示意圖

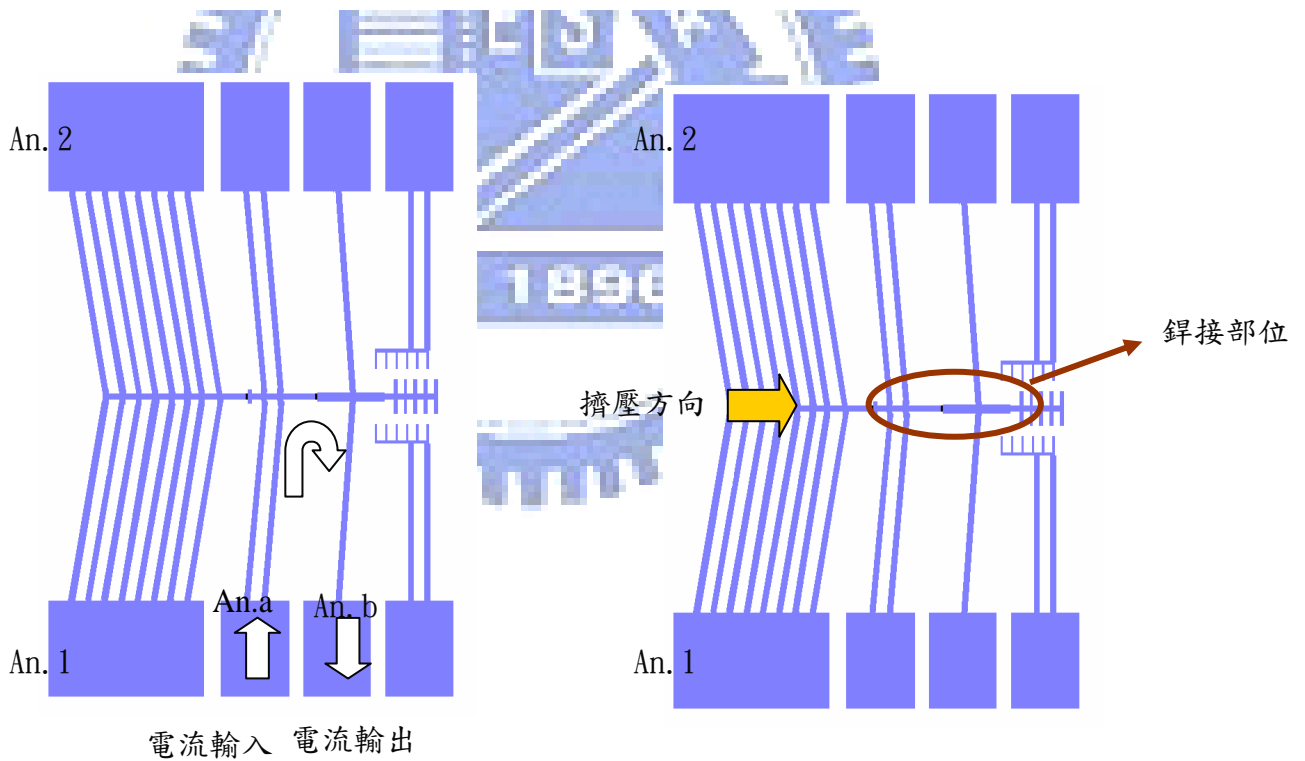


圖 2-4進行銲接階段電流與施予壓力示意圖

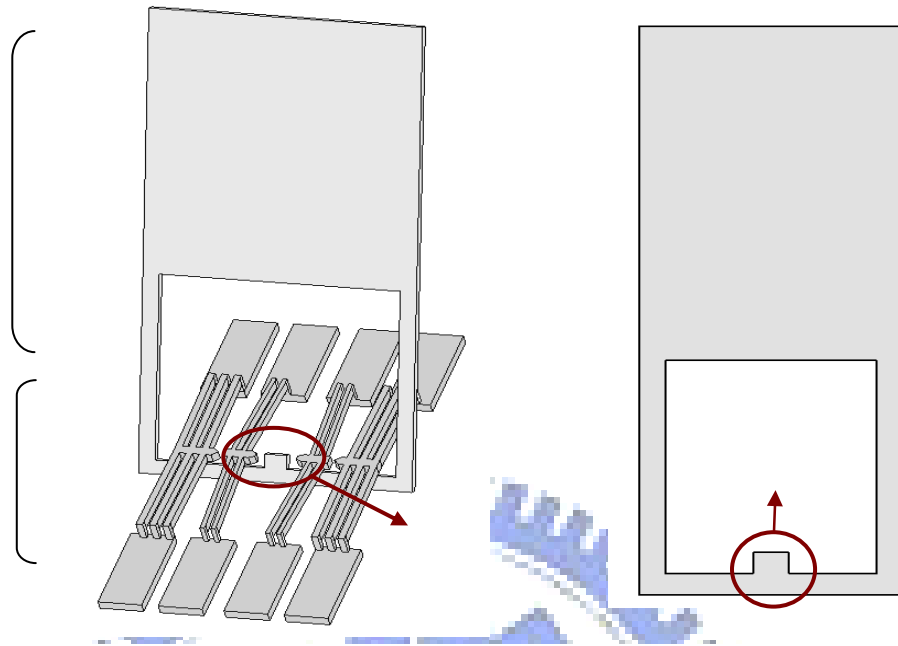


圖 2-5 (a) 三維立體結構銲接結構圖 (b) 板狀結構銲接點示意圖

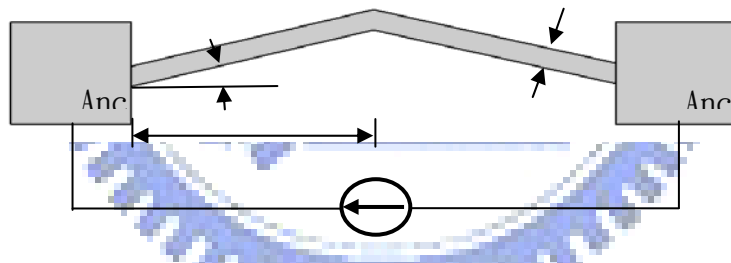


圖 2-6 單一V型樑電熱式致動器

第3章 微結構製程

在本章中將會描述在微銲接元件製造過程，我們所使用到的包含黃光微影 (lithography)、濺鍍(sputtering)與電鍍(electroplating)等表面金屬微加工技術，在這我們將會對電鍍流程進行較詳細敘述，並且介紹我們的製程流程，在最後則會對元件製作結果進行討論。

3.1 鎳電鍍流程

在本論文中，我們使用了鎳金屬的電鍍作為主要的元件製作製程，而要整個製程中，電鍍仍然需要其他製程的搭配，如電鍍前需要黏著層(adhesion layer)與種子層(seed layer)的濺鍍，產生電鍍元件的模(mold)的黃光製程，完成了這些後才能真正開始進行電鍍。所以在這裡我們將會依序介紹這些製程，最後再介紹我們電鍍會使用到的機台與對電鍍品質會產生影響的相關參數。

3.1.1 黏著層與種子層的選擇

在開始電鍍之前，我們需要在單晶矽基底上先設置一層金屬能夠在電鍍浴時，將電流由陰極板傳遞到電鍍的位置處，我們稱之為種子層，為了不影響後面的製程平整性，

所以種子層盡量要薄但是不能夠具有太大的電阻，太大的電阻會造成之後電鍍薄膜厚度差異大。但是並不是每種金屬與單晶矽基底都能夠有很好的黏著性，因此我們需要在種子層與單晶矽基底間建立促進兩者接合的黏著層。在這裡我們選用的種子層是銅(Cu)，這是由於銅金屬的電阻率很小，且也因為銅與我們結構層所使用的鎳，在選用適當的溶液時，可以有相當良好的蝕刻選擇比，因此也可拿來當作犧牲層。選用了銅當作我們的種子層後，發現銅與單晶矽基底的黏著並不是很好，根據實驗室學長的經驗，我們也為之選擇了鈦(Ti)金屬當黏著層，選擇鈦的原因首先當然是因為它對銅或者是單晶矽基底的黏著性都相當好，不會在釋放結構時產生剝離，而黏著層在製程結束後也是需要移除的，而鈦與我們的結構鎳也有很適當的溶液可以產生很好的蝕刻選擇比。

3.1.2 黃光製程

在進行電鍍製程前，最重要的就是我們需要建構出電鍍結構的模(mold)，電鍍製程在面型微加工中是具有產生厚膜結構的能力，這時候黃光製程便顯現出他的重要性了，由於我們電鍍模必須要比電鍍結構的高度還高，這時候就需要慎選光阻種類，以減少誤差的產生，這裡我們所選用的是正光阻AZ9260，AZ9260的特性是適合製作較厚的光阻層，特別是使用在電鍍上的模，而且其光阻邊壁的準直性佳，不容易造成線寬的損失；由於在本研究中主要為完成二維平面銲接結構的組裝與測試，所以在犧牲層的選擇上就以較容易處理的FH6400光阻來使用。表格 3-1列出了我們所使用的黃光參數。

3.1.3 電鍍製程

電鍍是一電化學反應，電鍍所獲電鍍層的析鍍量由法拉第定律所規範：電化學反應產物的量正比於所施加的總庫侖數，在定電量下，電化學反應產物的量正比於產物的當量數。在本實驗中我們有使用到鎳的電鍍，鎳電鍍是最常使用的是瓦特浴(Watt bath)，主要是因為有很高的鍍率與良好的品質，因此我們想要達成厚膜的鎳金屬電鍍瓦特浴的方式是最適合的。

在電鍍過程中最重要的參數是電流密度，因為電流密度將會決定結構的完整性、表面平滑度、結構應力與膜厚平均等，太低的電流密度容易造成雜質或是氣泡停留在電鍍面上，造成結構不完整，但是高低的電流密度會因晶粒粗大而使電鍍表面粗糙，因此取用可使結構完整的最小電流將是我們所希望的，如表格 3-2列出了我們所使用的參數。

3.2 製作流程

在圖 3-1中，我們可以看到利用金屬面型微加工進行以鉸鏈機構製作三維立體微結構的過程，以下將進行較詳細的敘述。

在步驟(a)中，我們在經過RCA清潔後的單晶矽晶片，利用爐管長出5000Å的濕氧作為電性絕緣層；在步驟(b)進行第一道光罩的黃光製程，塗佈上2.3μm的FH6400光阻進行曝光顯影，這道黃光的功能是將光阻用來作鉤環結構的犧牲層，為了能夠進行接下來的製程，所以在這依步驟需要將光阻在顯定影之後進行90°C，15分鐘的硬烤；在步驟(c)因為光阻並不導電，因此需要利用濺鍍機，在整個晶片上先鍍上200Å的鈦作為黏著層，

接著鍍上1500Å的銅作為電鍍種子層；在步驟(d)中，開始我們的第二道光罩，首先塗佈上10 μ m的光阻，進行曝光與顯影後便可完成電鍍所需要的模，接下來以電流密度20mA/cm²進行22分鐘的鎳金屬電鍍，這一道電鍍製程是為了產生約8 μ m厚度微鉸鍊的鉤環結構層；在步驟(e)中，我們要釋放懸浮的結構處，首先將試片泡在丙酮(ACE)裡，除去電鍍用的光阻膜，再以CR-7T浸泡30秒除去電鍍種子層，接著使用BOE溶液浸泡20秒，除去電鍍黏著層，最後再將試片泡入ACE中，用超音波震盪器震盪2分鐘，去除掉用來當做犧牲層的光阻。

3.3 製程結果

在經過上述製程之後，我們可以得到製程結果如

圖 3-2，可以順利電鍍表面尚平整且完整的結構。V型樑熱致動器在光罩設計尺寸寬度為3 μ m，預計為5-6 μ m，經過量測，實際尺寸為6 μ m尺寸大小符合設計要求，犧牲層、種子層與黏著層能夠蝕刻乾淨，達成有效的懸浮。

。

表格 3-1 黃光參數表

光阻種類	FH6400	AZ9260
光阻厚度	2.3 μm	10 μm
旋佈	1000 rpm (35 sec)	500 rpm (15 sec)
		1000 rpm (35 sec)
靜置	1 min	10min
軟烤	90 sec	15 min
水合	1 min	> 30 min
曝光	1.8 sec ($46\text{mW}/\text{cm}^2$)	10 sec (+20%) ($46\text{mW}/\text{cm}^2$)
顯影	1 min 30 sec (AZ-400k)	3 min 30 sec (AZ-400k)
定影	1 min (DI Water)	1 min (DI Water)

表格 3-2 電鍍參數表

光罩	Mask #2
電鍍金屬	Ni
電鍍面積	8.21 cm^2
電流密度	20 mA/cm^2
電鍍速率	0.38 $\mu\text{m}/\text{min}$

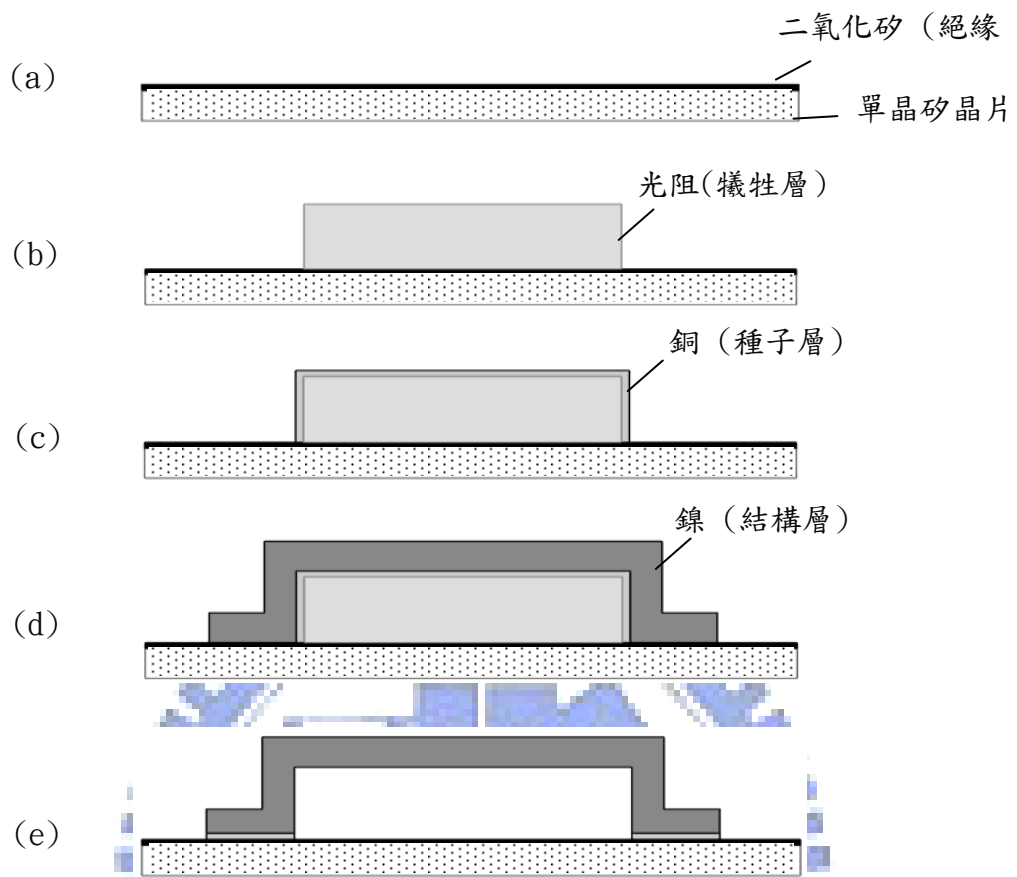


圖 3-1 製程流程圖

1896

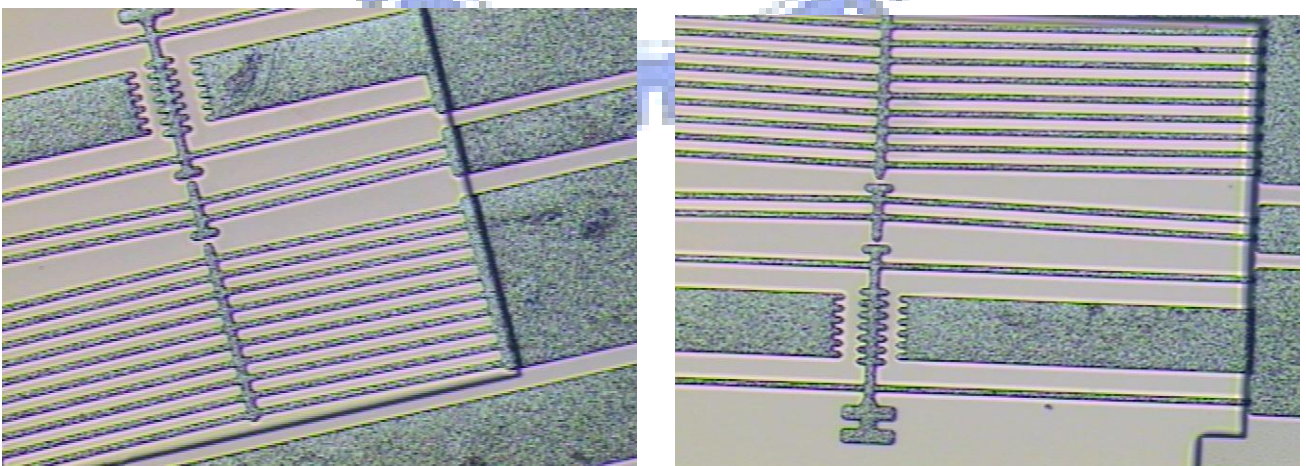


圖 3-2 微結構製程結果

第4章 實驗量測與討論

4.1 量測設置

量測裝置設置如圖4-1，其中包含了兩台電源供應器、探針平台、氬氣裝置、三用電表、CCD與電腦，銲接時為求能夠精確的控制能量的輸入，我們在電腦上使用軟體Labview 7.1來控制能量輸入，在軟體中設置電壓控制器，電壓細調每刻度0.05V，這樣的調整量在元件上的作用約為數個毫安培到數十個毫安培，而輸出電壓與同步量測電流值，同時在螢幕上紀錄且觀察CCD傳回的影像，讓量測工作能夠精確且有效率。再以探針拉扯銲接結構同時拍攝紀錄結構與尺規的距離以利後續銲接強度計算。

4.2 實驗量測過程

在完成結構的製作後，接下來就進行銲接與強度測試。

在圖 4-8中，我們可以看到進行微電阻銲的過程，基本上可以區分為幾個步驟，第一階段為致動過程，也就是圖 4-8(a)先施加電壓在V型樑熱致動器上，第二階段則進行對銲接點的施壓，如圖 4-8(b)，第三階段進行銲接，也就是通電流流過銲接點進行電阻銲，如圖 4-8(c)，最後則把V型樑熱致動器釋放，如圖 4-8(d)。

而在強度測試的部分如圖 4-9，在(a)銲接完成後，先利用探針進行對準我們欲拉扯中間突出拉環，如圖4-9(b)，接下來向後拉扯，如圖4-9(c)，直至銲接點分離，圖

4-9(d)。

4.3 量測結果

在這一部份，由於我們的目標是為探討以氫氣做為鎳結構微電阻鍍之遮護氣體相較於在大氣環境下鎳結構微電阻鍍製程與品質的改善，所以我們使用鍍接測試結構來量測對於我們進行微鍍接會有影響的一些參數例如鍍接前接觸電阻、鍍接電壓、電流、能量以及鍍接後的量測數據，例如鍍接後接觸電阻、鍍接強度等量測結果，其實驗量測將會和在大氣環境下的量測結果做比較與討論。

4.3.1 初始接觸電阻和鍍接後接觸電阻

在電阻鍍的時候，產生的熱量由下式決定：

$$Q=I^2Rt \quad (2-1)$$

式中Q：產生的熱量(J)、I：鍍接電流(A)、R：鍍接電阻(Ω)、t：鍍接時間(sec)

當鍍接的裝置與結構都已經固定，則鍍接工件的電阻取決於該材料的電阻率；因此電阻路是被鍍材料的重要性質，電阻率高的金屬導電性差，而電阻率低的電阻其導電性佳，這些性質都將會影響到鍍接的方式與條件。電阻率不僅取決於金屬種類，還與該結構的製程方式、熱處理狀態、加工方式與溫度相關。

除了結構電阻率外，另一個與電阻較為相關的參數是接觸電阻。接觸電阻存在於鍍接中的時間是暫時的，一般會出現在鍍接初期，形成原因可能為工件與施加的電極表面

有高電阻係數的氧化物或污染物質層，使電流通過受到較大的阻礙，過厚的氧化物與污染物質層甚至有可能使電流無法通過。若銲接表面十分潔淨的情況下，也有可能是表面的微觀不平整，使工件只能在粗糙的表面形成小面積的接觸點，在電流通過時，接觸點處將會形成電流線的收攏，因此是因為電流通路的縮小而增加了接觸處的電阻。

而銲接後接觸電阻則是可以判斷銲接後電流是否可以導通的重要依據，如圖4-2，我們可以看到初始接觸電阻和銲接後接觸電阻似乎並無太大關聯，但是很明顯的，使用氬氣做為電阻銲遮護氣體的數據相較於在大氣環境下電阻銲的數據在銲接後電阻有明顯的下降，且分佈範圍較為密集，在經過計算之後，我們可以得知在大氣環境下電阻銲接後平均電阻為0.213歐姆，在氬氣環境下電阻銲接後平均電阻為0.165歐姆，下降達23%的比率。

若再以標準差來比較其分散程度，標準差在概率統計中最常使用做為統計分佈程度（statistical dispersion）上的測量。標準差定義為方差的平方根，反映離散程度。考慮一組數據具有近似於常態分佈的機率分佈。若其假設正確，則約 68% 數值分佈在距離平均值有 1 個標準差之內的範圍，約 95% 數值分佈在距離平均值有 2 個標準差之內的範圍，以及約 99.7% 數值分佈在距離平均值有 3 個標準差之內的範圍。經過計算在大氣環境下的標準差為0.117歐姆，在氬氣環境下的標準差為0.085歐姆，我們可以看出在氬氣下電阻銲接後接觸電阻分布較為密集。

4.3.2 初始接觸電阻與銲接強度的關係

圖4-2我們可以看到初始接觸電阻與銲接強度的關係圖。關於銲接強度我們可以利用拉扯銲接樑至其銲接點分離瞬間的位移距離計算，應用公式如下：

$$F = NK_0x \quad (4-2)$$

$$K_0 = \frac{Ea^3b}{L^3} \quad (4-3)$$

式中F為拉扯力大小、K為彈簧常數、E為材料楊氏係數、a為樑高、b為樑的厚度、L為樑的長度。

因為在電阻銲中，銲接前接觸電阻使很重要的因素之一，因此我們想了解是否銲接前接觸電阻與銲接後的強度有相關性，在圖4-2中我們可以看出在大氣環境下的微電阻銲在較高銲接前接觸電阻的情況下進行銲接，銲接強度都落在0.03mN的強度之下，但是隨著銲接前接觸電阻的下降，有機會出現較大的銲接強度至0.075mN，不過仍然有0.03mN左右的銲接強度出現，這種在相同初始接觸電阻條件下卻出現分布範圍極大的銲接強度，對於我們想要控制銲接品質是一個很大的問題，而在使用了氫氣做為遮護氣體後，銲接強度對於銲接初始電阻相關性減小了，且在大氣環境下電阻銲的強度分布和在氫氣環境電阻銲強度分布比較上，在大氣環境下的分布相對較廣，經過數據的整理後，我們可以發現在空氣環境下強度平均為0.029mN，而在氫氣環境下平均強度為0.023mN，推測可能因為使用氫氣環境下，我們必需不斷的灌入氫氣，以保持充滿氫氣的狀態，產生了氣流，帶走了一些能量，所以實際用在銲接上的能量較在大氣環境下的少，所以平均強度較低。

若以標準差來探討在大氣環境與氬氣環境下的銲接強度分布狀況，其中在空氣環境下標準差達0.021mN，達到平均值的74%範圍，可見其分布範圍之大，而在氬氣環境下銲接強度的標準差達0.007mN，是只有在空氣下的1/3，也只是在氬氣下強度平均的31.5%，由此可看出使用氬氣做為微電阻銲遮護氣體後，可降低初始銲接電阻對銲接品質的影響及保有較穩定的銲接強度。

4.3.3 銲接能量與銲接強度關係

理論上銲接總能量越多的時候，在接觸面熔融的鎳金屬應該越多，所以銲接後強度應該也越強。銲接能量的計算，我們是使用軟體Labview 7.1來控制能量輸入，經由GPIB介面卡和數位電源供應器相連接。根據圖4-2，我們可以看的出來在大氣環境下微電阻銲並無此趨勢，而是呈現不規則的分布，推測其可能為銲接時的氧化現象造成的變因，在大氣環境下的微電阻銲氧化現象可說是非常不穩定且不能控制的因素之一，而在使用氬氣做為微電阻銲遮護氣體後，我們可以明顯看到銲接強度有著隨銲接能量上升的趨勢，有了這銲接能量與銲接強度關係後，我們可以藉由控制和諧能量來達到我們想要的銲接強度。

4.3.4 銲接後接觸電阻和銲接強度關係

在圖4-2我們可以觀察到銲接後接觸電阻和銲接強度的關係圖，理論上由於鎳及氧化鎳的材料強度不同、導電性不同，所以銲接後接觸電阻與銲接強度很可能有相關性，

在圖4-2我們看的出來，在氬氣下的微電阻鐸在少了氧化物的產生後，對於鐸接後接觸電阻與鐸接強度的關係顯得較為穩定單純，鐸接後接觸電阻和鐸接後接觸面積有關，而鐸接強度也與鐸接後接觸面積有關，且呈現鐸接後接觸電阻下降表示接觸面積上升，而鐸接強度也上升，此趨勢符合我們的預期，而在空氣環境下的微電阻鐸則可能因為鐸結構氧化的影響，造成鐸接後接觸電阻與鐸接強度的關係並無任何明顯趨勢。

4.3.5 初始鐸接電阻和鐸接能量關係

圖4-9為初始鐸接電阻和鐸接能量關係圖，由本圖我們可以發現，鐸接初始電阻的大小似乎和鐸接成功所需能量無明顯的關係，而在空氣環境下進行微電阻鐸超過9成成功都要在鐸接能量大於0.7焦耳的時候，而在氬氣環境下進行微電阻鐸超過鐸接成功所需能量幾乎都在3.3焦耳以上，推測有可能是因為使用氬氣環境下，我們必需不斷的灌入氬氣，以保持充滿氬氣的狀態，產生了氣流，帶走了一些能量，所以我們供給的能量必須提高才能鐸接成功，這推論與我們在圖4-2初始接觸電阻與鐸接強度圖所推論的結果相符合。

4.3.6 不同結構尺寸和鐸接後接觸電阻關係

圖4-9是在不同尺寸設計下進行微電阻鐸製程，在這裡熱致動器尺寸改變包含了V型樑致動器與鐸接樑的長度，其他樑厚、樑高、接觸面積等皆無改變，而這張圖上可以明顯看

到在不同的尺寸在氬氣環境下的微電阻鐸，其鐸接後的接觸電阻都是很穩定的，而在大氣環境下不同尺寸的微電阻鐸在熱致動器尺寸較小的時候明顯產生了鐸接後接觸電阻不穩的現象，推測其可能在熱致動器尺寸較小時會有推力不穩的情形發生，再推力不穩的時候，容易產生局部個高溫，並且在局部發生氧化現象，造成鐸接後接觸電阻的上升。在不同的鐸接結構尺寸下，使用氬氣做為遮護氣體的微鐸接結構可保有較穩定的鐸接後接觸電阻。



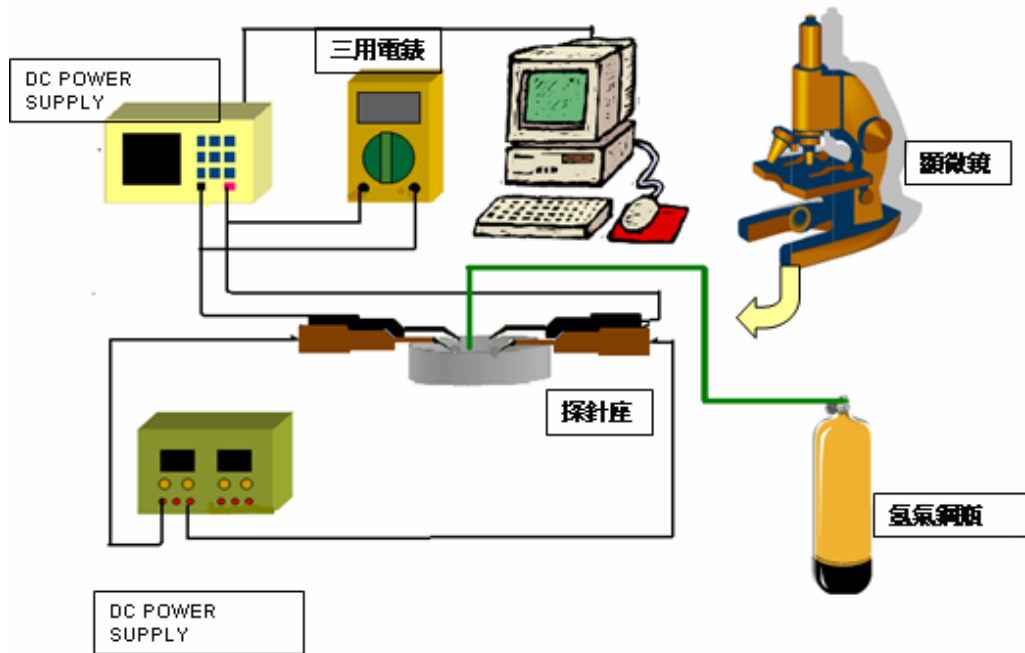


圖4-1 測設備設置圖

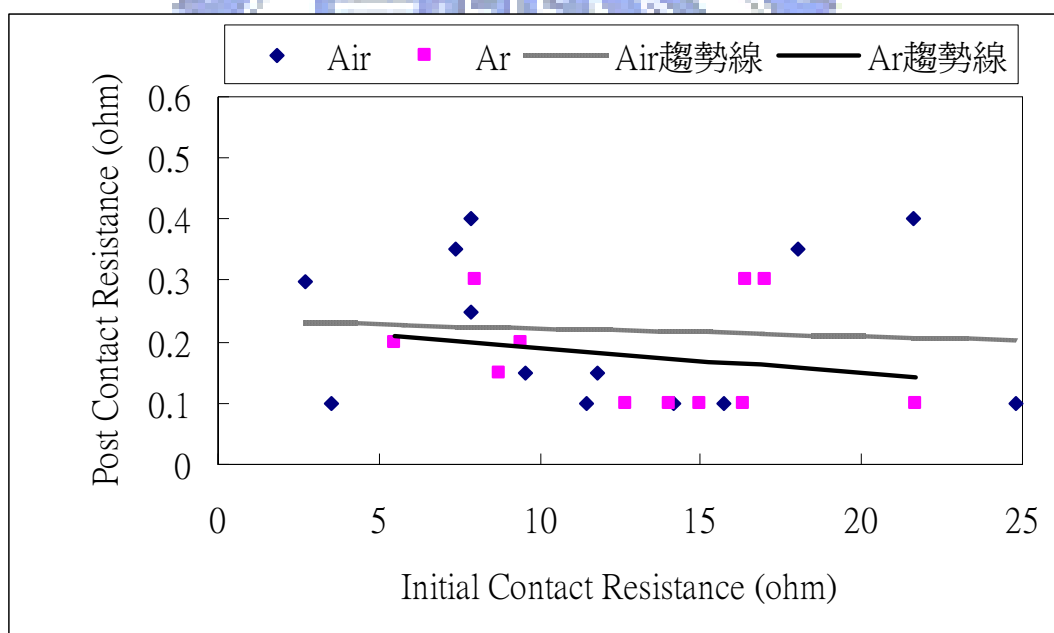


圖4-2 初始接觸電阻和銲接後接觸電阻關係圖

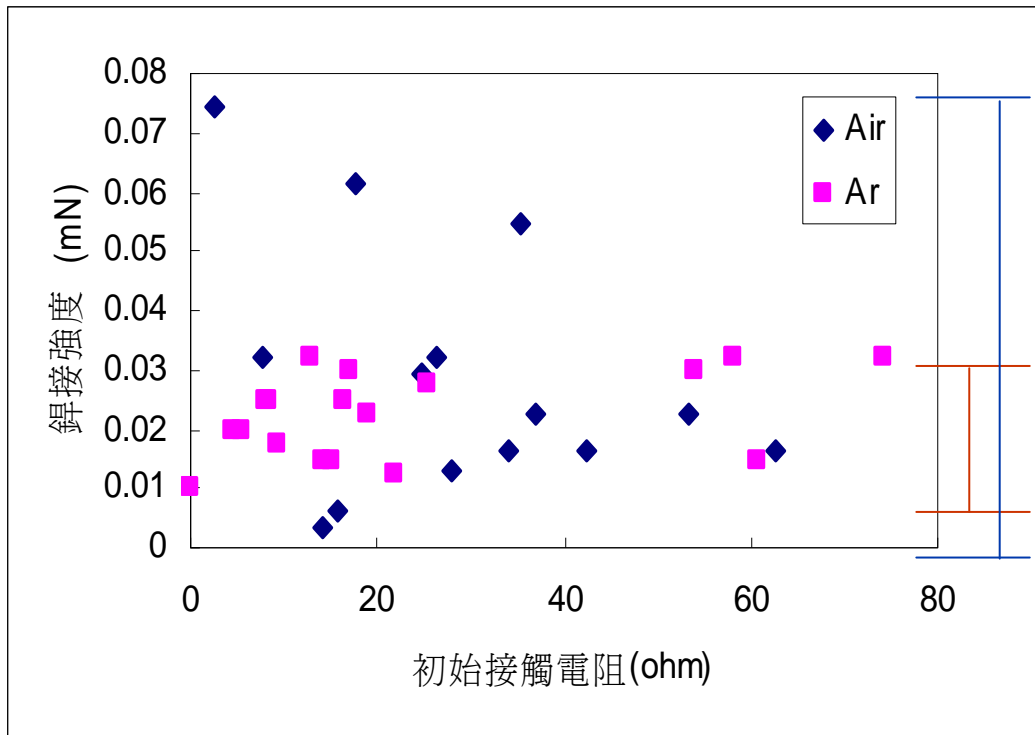


圖4-3 初始接觸電阻與銲接強度關係圖

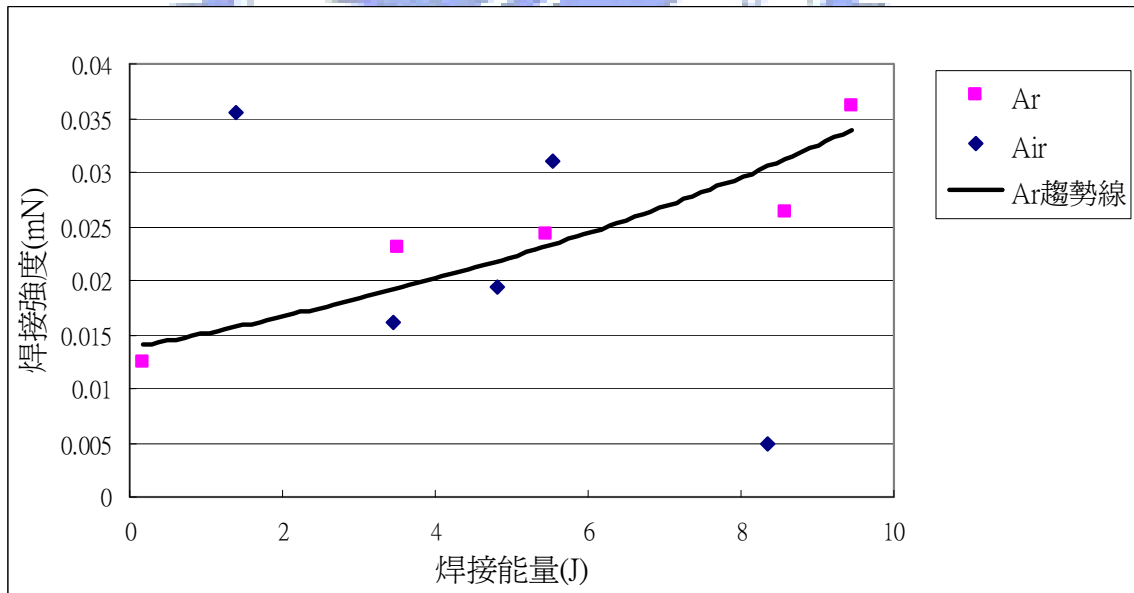


圖4-4 接能量與強度關係圖

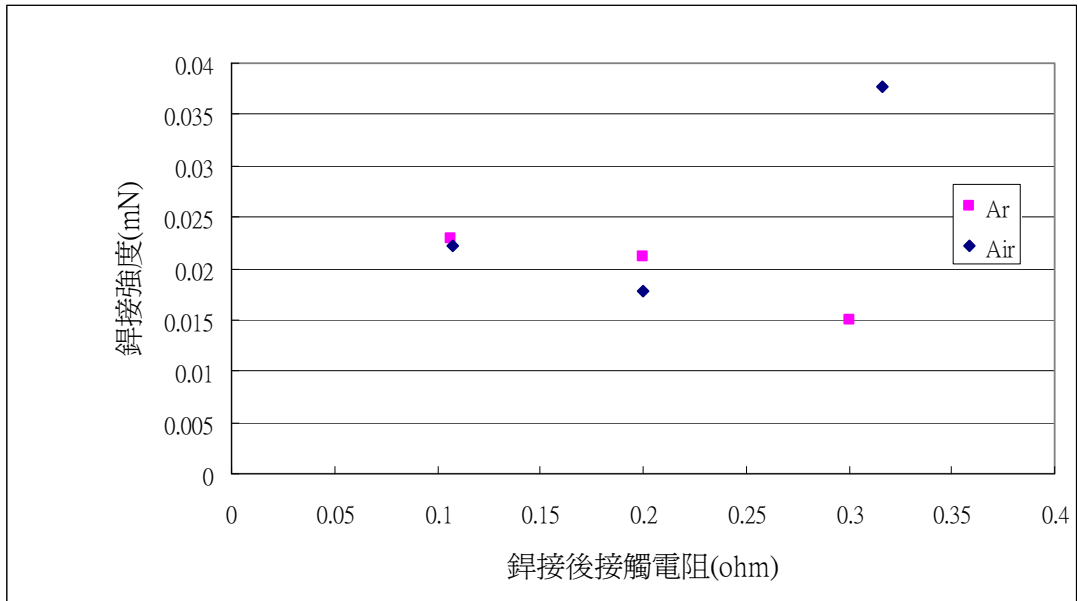


圖4-5 接後接觸電阻和銲接強度關係圖

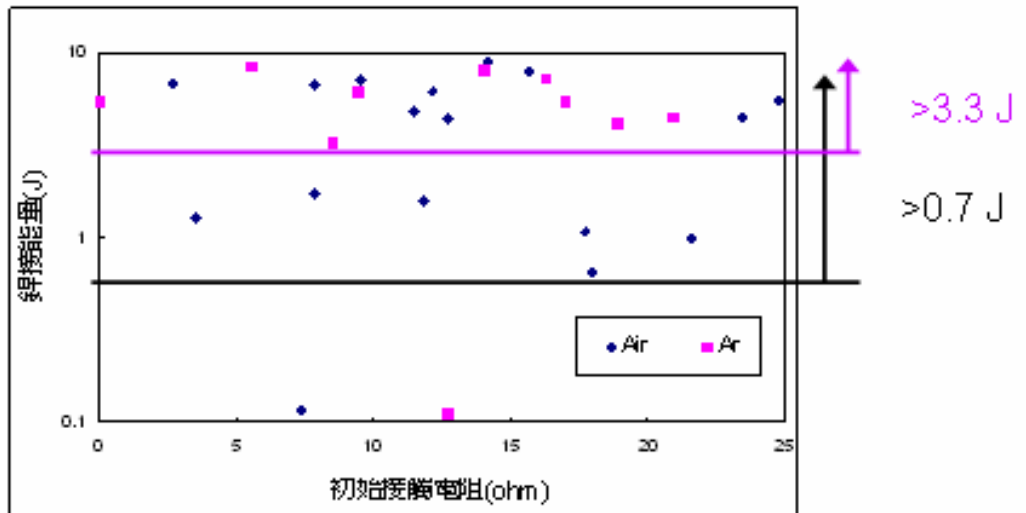


圖4-6 始接觸電阻與銲接能量關係圖

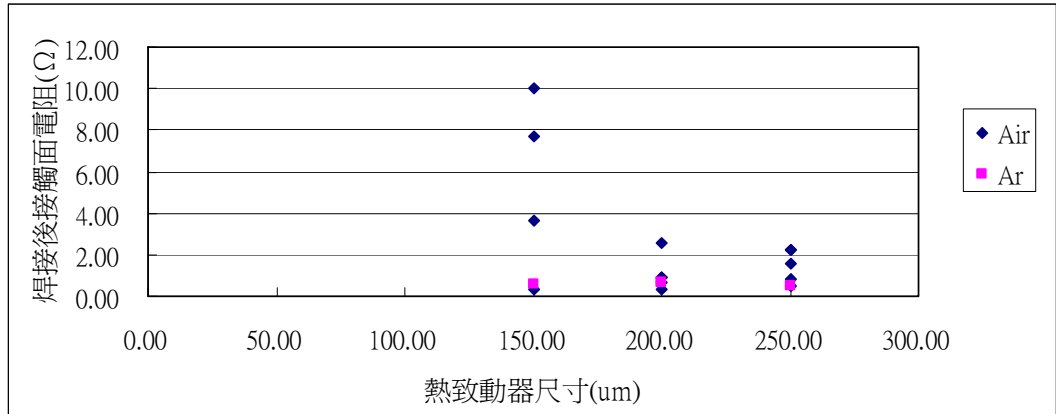


圖4-7 同結構尺寸和銲接後接觸電阻關係圖

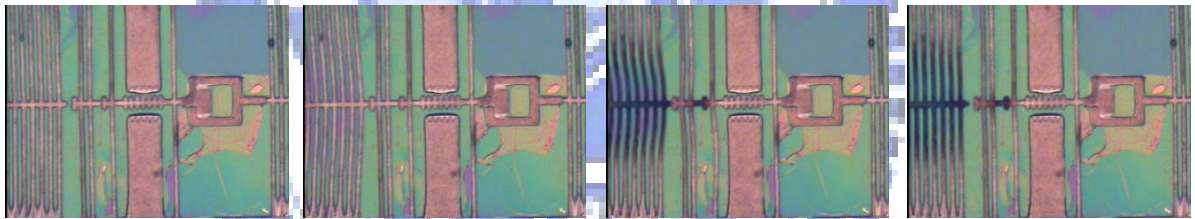


圖4-8 微銲接流程(a)制動(b)施壓(c)銲接(d)釋放

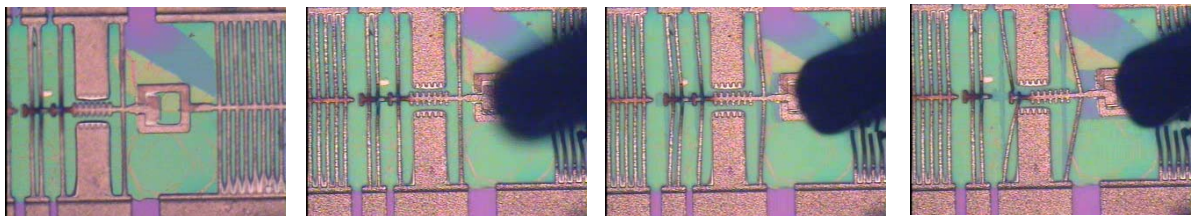


圖4-9 強度測試流程(a)銲接完成(b)對準(c)後拉(d)分離

第5章 結論

5.1 總結

在本論文中，已將二維微電阻鐳結構以氬氣做為其鐳接遮護氣體進行了製作與量測測試，並且將實驗結果與未使用氬氣而在大氣環境下的微電阻鐳進行了比較；結果中使用氬氣做為微鐳接遮護氣體在不同初始鐳接電阻下可有效降低鐳結構接觸電阻，

鐳接後接觸電阻平均下降達23%，且同時使鐳接後接觸電阻更為穩定；同時使用氬氣做為微鐳接遮護氣體可降低初始鐳接電阻對鐳接品質的影響及保有較穩定的鐳接強度，其強度分布範圍集中至在大氣環境下的1/3。而使用氬氣做為微鐳接遮護氣體可使在鐳接品質較為穩定且鐳接能量與鐳接強度呈較明顯正相關，我們可控制鐳接能量來達成我們所想要的鐳接強度。在不同的鐳接後接觸電阻下，使用氬氣做為遮護氣體的微鐳接結構可保有較穩定的鐳接強度，鐳接後接觸電阻與鐳接強度呈現反比關係。而在初始鐳接電阻和鐳接能量上我們發現，使用氬氣做為微鐳接遮護氣體在不同的初始鐳接電阻下，大都約需大於相同初始接觸電阻在大氣環境下所需能量2.6焦耳，才能順利鐳接成功，我們推測其可能因為在我們的氬氣設置上，必須不斷的通入氬氣，以保持充滿氬氣的狀態，造成了氣流帶走些許能量，所以我們需要提供更多的能量以進行鐳接。在不同的鐳接結構尺寸下，使用氬氣做為遮護氣體的微鐳接結構可保有較穩定的鐳接後接觸電阻。

5.2 未來工作

在微電阻鐳的使用上，現階段在惰性氣體中進行，已經達成在微電阻鐳銲接品質與製程穩定的進步，減少材料在高溫下氧化的問題。不過本實驗設置會造成額外的能量消耗，未來希望可以改善氬氣環境設置，降低額外能量消耗。此外，未來希望能夠以此為基礎，更進一步應用在立體元件的組裝上，藉由微電阻鐳的方式，做出以往少見的三維立體微致動器或微感測器元件。



參考資料：

- [1] Pister K. S. J., Judy M. W., Burgett S. R., Ffearing R. S., “Microfabricated hinges” , Sensor and actuators A, 66, pp. 292-298, 1998.
- [2] Iwase, E. ; Shimoyama, I. ; Takeuchi, S., “Sequential batch assembly of 3-D microstructures with elastic hinges by a magnetic field” , Micro Electro Mechanical System, 2002. The Fifteenth IEEE International Conference, Page(s):188-191, 2002.
- [3] Syms, R. R. A. ; Gormley, C. ; Blackstone, S., “Surface tension powered self-assembly of 3D MOEMS devices using DRIE of bonded silicon-on-insulator wafers” , Demonstrated Micromachining Technologies for Industry IEE Seminar, 29 March 2000.
- [4] Syms, R. R. A. , “Equilibrium of hinged and hingeless structures rotated using surface tension forces” , Microelectromechanical Systems, Journal, Volume:4 Issue:4, Page(s):177-184, Dec. 1995.
- [5] Ebefors, T. ; Kalvesten, E. ; Vieider, C. ; Stemme, G., “New robust small radius joints based on thermal shrinkage of polyimide in V-grooves” , Solid State Sensors and Actuators, 1997. TRANSDUCERS ' 97., Volume: 1, Page(s):675-678, 16-19 June 1997.
- [6] Kaajakari, V. ; Lal, A. , “Electrostatic batch assembly of surface MEMS using ultrasonic triboelectricity” , Micro Electro Mechanical Systems, 2001. MEMS 2001. The 14th IEEE International Conference, Page(s):10-13, 21-25 Jan 2001
- [7] Lai, K. W. C. ; Hui, A. P. ; Li, W. J. , “Non-contact batch micro-assembly by

centrifugal force” , Micro Electro Mechanical Systems, 2002. The Fifteenth IEEE International Conference, Page(s):184-187, 20-24 Jan. 2002.

- [8] Kevin F. Harsh, Victor M. Bright, Y.C. Lee, "Solder self-assembly for three-dimensional microelectromechanical systems", Sensors and Actuators, 77, Page(s): 237 - 244, 1999.
- [9] Edward S. Kolesar*, Matthew D. Ruff, William E. Odom, Jeffery T. Howard, Simon Y. Ko, Peter B. Allen, Josh M. Wilken, Richard J. Wilks, Jorge E. Bosch, Noah C. Boydston, "Three-dimensional structures assembled from polysilicon surface micromachined components containing continuous hinges and microrivets", Thin Solid Films, 398-399, Page(s): 566 - 571, 2001.
- [10] Fedder, G.K.; Howe, R.T., "Thermal assembly of polysilicon microstructures" , Micro Electro Mechanical Systems, 1991, MEMS ' 91, Proceedings. 'An Investigation of Micro Structures, Sensors, Actuators, Machines and Robots' . IEEE, Page(s):63-68, 30 Jan.-2Feb. 1991.
- [11] G..K. Fedder, J.C. Chang, and R.T. Howe, "Thermal assembly of polysilicon microactuators with narrow-gap electrostatic comb drive" , Solid-State Sensor and Actuator Workshop, 1992. 5th Technical Digest., IEEE 22-25 June 1992 Page(s):63 - 68
- [12] Jianglong Zhang, Y.C. Lee, "Thermal Based Angle Fixing For Micromirrors", The 12th international Conference on Solid State Sensors, Actuators and Microsystems, Boston, June 8-12. 2003.
- [13] W. Riethmuller, and W. Benecke, "Thermal Excited Silicon Microactuators" , IEEE Transactions on Electron Device, vol. 35, pp. 758-763, 1988.
- [14] H. Guckel, J. Klein, T. Christenson, K. Skrobis, M. Laudon, and E.G. Lovell, "Thermal-Magnetic Metal Flexure Actuators" , Proceedings of Solid-State

Sensor and Actuator Workshop, pp. 73-75, 1992.

- [15] L. Que, JS. Park, and Y.B. Gianchandani, "Bent-Beam Electro-Thermal Actuators for High Force Application" , IEEE conf. on Micro Mechanical Systems, Orlando, Jan. pp.31-36, 1999.
- [16] Liwei Lin and M. Chiao, "Electrothermal Responses of Lineshape Microstructures," *Sensors and Actuators*, Vol. A55, pp. 35-41, 1996.
- [17] Que, L., Park, J.-S., and Gianchandani, Y. B., "Bent-beam electrothermal actuators---part I: single beam and cascaded devices," *J. Microelectromechanical systems*, vol. 10, no. 2, pp.247-254, 2001.
- [18] Michael J. Sinclair, "A High Force Low Area MEMS Thermal Actuator" , Inter Society Conference on Thermal Phenomena, vol. 1, pp. 127-132, 2000.
- [19] Cheng Chi Yeh. "Study of Micro Welding for Assembly of the Three Dimensional Micro Structure" 國立交通大學機械碩士論文, 2006
- [20] H.A. Yang, C.W. Lin and W. Fang, J. "Wafer level self-assembly of microstructures using global magnetic lifting and localized induction welding" , *IMicromech. Microeng.*, 16, 27-32, 2006.