

第一章 緒論

近年來，隨著半導體科技的進步，將一般機電系統微縮以利於攜帶及使用已蔚為趨勢，也因為越來越多樣與先進的半導體製程，便可以實現各種微小機電系統中(MEMS ,micro electro mechanical system)[1,2,3]，感測元所需之不同感測器結構，舉凡熱輻射感測器、氣體感測器、壓力感測器、化學感測器、磁能感測器、聲波感測器、電能感測器等，皆是微型感測器的應用範圍[4]。在眾多微型感測器中，本文將針對微型熱輻射感測器之懸浮結構做深入的探討與研究，因為在去年春、夏兩季，嚴重急性呼吸道症候群(SARS)肆虐全球，除了造成可怕的人員傷亡外，那段期間內，各種有關溫度量測相關的儀器皆被搶購一空、供不應求。也就是在這樣的衝擊下，讓本文對微型熱輻射感測器有了研究的動機。

一般自然界物體，只要溫度高於絕對零度，理論上均會發出電磁輻射，且大都集中於紅外線波段，所以，熱輻射感測器通常也被稱為紅外線感測器。紅外線感測器不用和待測物直接接觸即可量測，屬於非接觸型感測器，量測相當方便且快速；在應用方面，紅外線感測器是夜視鏡、保全系統、製程監控、火災偵測、輻射溫度計及紅外線光譜儀[5]等內部重要元件。因此，不管在學術或商業、

甚至國防上均有其研究價值。

對於紅外線感測器，可以分成光子型感測器(photon detector)以及熱型感測器(thermal detector) [6,7]兩類。光子型感測器是利用感測材料吸收光子後，經由光電轉換激發傳導電子，引起電性上的改變，進而產生電訊號，由於光電轉換效率是由材料能隙決定，所以其響應對入射波長有選擇性，而且為了抑制感測材料的熱雜訊(thermal noise)，系統需外加冷卻裝置；而熱型感測器則是藉由吸收熱輻射使元件升溫，引發感測材料物性上之改變，並經轉換電路得到電訊號 [8,9]。因此，熱型感測器的響應速率和靈敏度皆較光子型感測器為低，但是熱型感測器可量測的電磁波頻譜非常地平坦、寬廣(適當的吸收體從 γ 射線到微波皆有效)，且無需低溫冷卻、製作與維護容易、價格便宜，所以，若非應用於高靈敏度之軍事要求，一般皆使用熱型紅外線感測器。

熱型感測器(thermal detector)依感測原理還可再細分為熱敏阻型(bolometer)、熱電堆(thermopile)、以及焦電元(pyroelectric detector)三種[10]，其中，熱敏阻型感測器的製作較焦電元容易，靈敏度則比熱電堆強，而且上述三種熱型感測器中，若欲製作成焦面陣列結構(focal plane array, FPA)，以熱敏阻型最具低成本優勢，因為它可以相容於目前晶圓代工廠的 CMOS 標準製程；而焦電元是使用非標準材

料，可能會造成標準製程上的污染；熱電堆則較難布局成面陣列幾何結構，只能做低解析度或線型陣列，以致響應度較低[11]。因此，本文所設計與製作的懸浮結構(或稱為懸浮薄板)，最主要將應用於熱敏阻型紅外線感測器(microbolometer, 以下簡稱為紅外線感測器)，但是，若非特殊感測需求，此懸浮結構仍然可以使用於其他不同類型的熱性感測器。

現今，對於紅外線感測器的結構與製程探討，在國內外已研究多年，各國也都投入大量的資金和人力從事研發，以下是從 2003 年回溯至 1996 年，較具代表性的相關文獻：

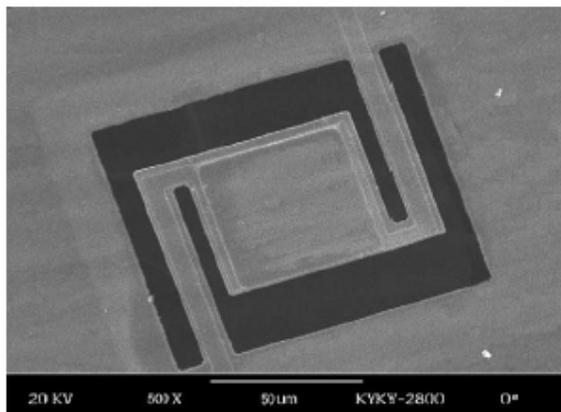
2003 年，Liang Dong 等人[12]利用 bulk micromachining 配合 poly-SiG 當熱輻射感測層，以及由 SiO_2/Si_3N_4 組成的複合材質當懸浮薄板來製作一高偵測度的 uncooled microbolometer(maximum detectivity 為 $8.3 \times 10^8 \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$)，其幾何形狀如圖(1.1)所示。同年間，Deniz Sabuncuoglu Tezcan 等人[13]也利用 bulk micromachining 在 0.8 μm CMOS 標準製程上，以矽基板直接當作支撐結構的懸浮薄板，而被摻雜之 n-well 則為熱輻射感測層，製作出偵測度為 $2.6 \times 10^8 \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$ 的 uncooled microbolometer 陣列，且單一像素(pixel)為 $74\mu\text{m} \times 74\mu\text{m}$ ，其幾何形狀如圖(1.2)所示。1997 年，Tsutomu

Ichihara 等人[14]利用 bulk micromachining 配合 $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ 當熱輻射感測層，以及由 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ 所組成的複合材質當懸浮薄板，製作出一不需真空封裝且偵測度佳的 microbolometer(maximum detectivity 為 $8*10^8\text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$)，其尺寸大小是 500 μm ，而幾何形狀如圖(1.3)所示。最後，在 1996 年，R. Barth 等人[15]利用 bulk micromachining 配合超導薄膜 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO) 當熱輻射感測層，以及 YSZ(yttria-stabilized zirconia)當懸浮薄板來製作一高訊號雜訊比 (S/N ratio)的低溫(77 度 K) microbolometer($\text{NEP}=1.1*10^{-11}\text{W}/\text{Hz}^{1/2}$)，其幾何形狀如圖(1.4)所示。

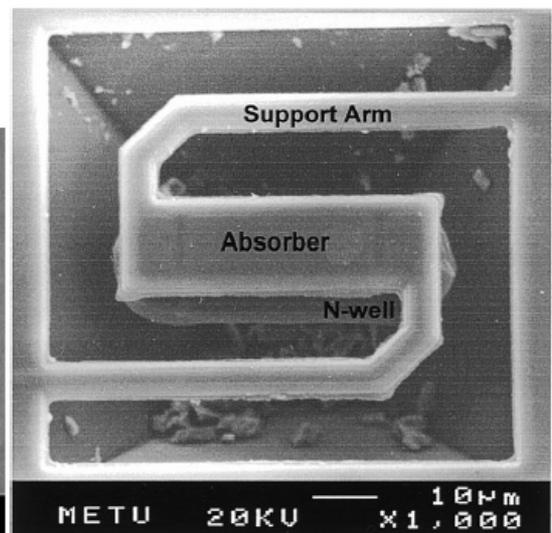


另外，在 2002 年的時候，E. MOTTIN 等人[16]利用 surface micromachining 以 polyimide 當犧牲層，配合非晶矽(amorphous silicon)當懸浮結構以及熱輻射感測層，製作出單一像素(pixel)為 $50\mu\text{m}*50\mu\text{m}$ ，吸收頻段在 $4\sim 15\mu\text{m}$ 的 uncooled microbolometer 陣列，其幾何形狀如圖(1.5)所示。2001 年，Mahmoud Almasri 等人[17]利用 surface micromachining 以 polyimide 當犧牲層，配合鈇鋇銅氧 (Y-Ba-Cu-O)當懸浮結構(self-supporting)以及熱輻射感測層，製作出單一像素(pixel)為 $40\mu\text{m}*40\mu\text{m}$ ，吸收頻段在 $2.5\sim 13.5\mu\text{m}$ 的 uncooled microbolometer 陣列，且其偵測度約為 $1.19*10^8\text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$ ，元件幾何形狀如圖(1.6)所示。1999 年，Hyung-Kew Lee 等人[9]利用 surface

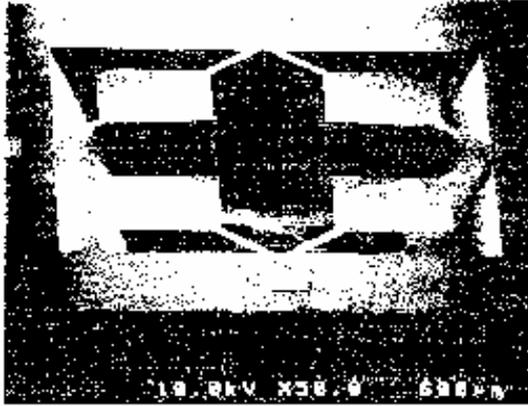
micromachining 以非晶矽(amorphous silicon)當犧牲層，氮氧化矽(oxinitride)當懸浮結構層(membrane)，而熱輻射感測層為鈦金屬(Titanium)薄膜，製作出單一像素(pixel)為 50um*50um 的高填充率 uncooled microbolometer 陣列(填充率 92%)，且其偵測度為 $5 \cdot 10^8 \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$ ，元件幾何形狀如圖(1.7)所示。最後，在 1999 年同年期間，John E. Gray 等人[18]利用 surface micromachining 以氧化鎂(MgO)當犧牲層，氮化矽(Si_3N_4)當懸浮結構層(membrane)，而熱輻射感測層為鈮鉕銅氧(Y-Ba-Cu-O)，製作出單一像素(pixel)為 40um*40um 的 uncooled microbolometer 陣列，且其偵測度高於 $10^8 \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$ ，元件幾何形狀如圖(1.8)所示。



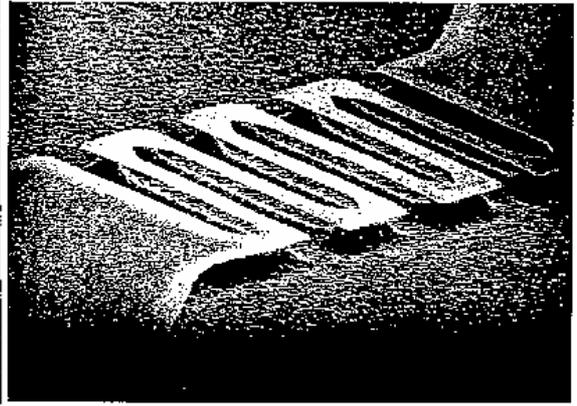
圖(1.1)



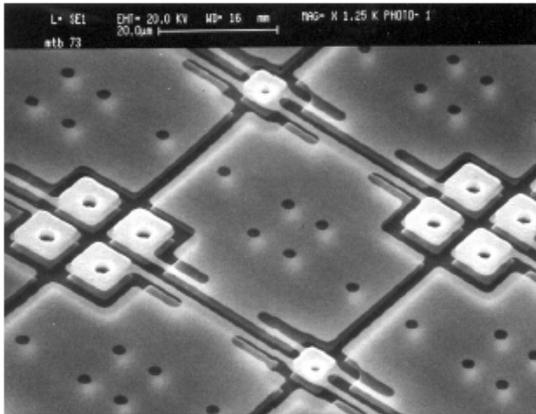
圖(1.2)



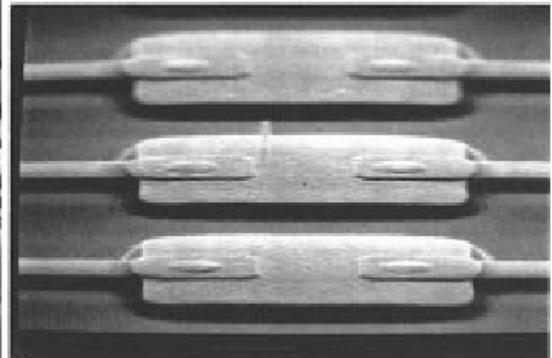
圖(1.3)



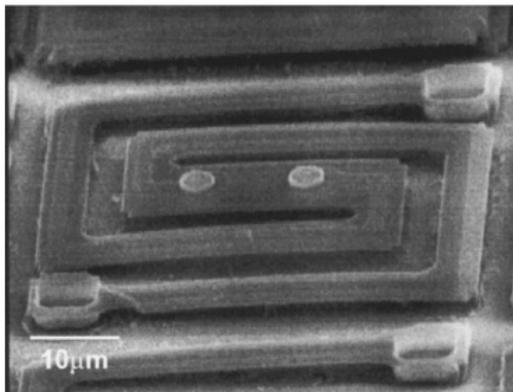
圖(1.4)



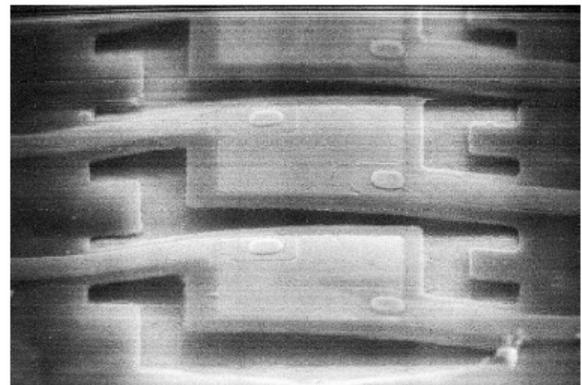
圖(1.5)



圖(1.6)



圖(1.7)



圖(1.8)

從上述文獻可以知道，我們若以矽微加工技術(silicon micromachining technology)[19]製作紅外線感測器的懸浮結構，可選

擇塊體微加工技術(bulk micromachining)或是表面微加工技術(surface micromachining)實現之。塊體微加工技術和表面微加工技術相同處為所使用的材料和製程都是從半導體製程技術轉移過來，即：薄膜沉積、微影和蝕刻等；但其差異在於塊體微加工技術是利用化學溶液對不同晶面蝕刻率的不同，以形成所需腔體(cavity)、懸浮薄板(membrane)或懸臂樑(cantilever)等結構，而表面微加工技術則靠蝕刻液對不同材料選擇性腐蝕比的不同，建立特殊結構，所以有形狀不嚴格受限，且可將感測器及驅動電路做上下堆疊、和積體電路的匹配性與有效面積填充值(fill factor)都相當高等優點。另外在元件工作溫度方面，可分為：77 度 K 的低溫超導製程與室溫下(300⁰K)無須冷卻之紅外線感測器(uncooled microbolometer)兩類，如果使用前者，不管懸浮薄板或熱輻射感測層皆需要使用超導材料，且必須操作在低於室溫的環境以減少雜訊；後者則可使用一般半導體製程材料，選擇性較大，因此無需冷卻之紅外線感測器在製作、量測及使用上均較低溫超導製程方便。

然而，由相關文獻看來，在製作紅外線感測元件時，其懸浮結構的材料有二氧化矽(SiO_2)、氮化矽(Si_3N_4 或 SiNx)、氮氧化矽(SiNxOy)、非晶矽(amorphous silicon)、複晶矽(polysilicon)等，不管是高溫製程或是低溫製程，重點均在於製作平整的懸浮結構，也就

是形成一低應力的懸浮薄板。高溫製程對於應力控制較容易，且成長出的薄膜有較好的電性與機械特性，化學蝕刻選擇比也有較佳的表現。而高溫製程在應力控制方面，一般的做法是將成長出的薄膜經由高溫爐管或是 RTA(Rapid Thermal Annealing)做退火的動作，如此可控制薄膜為張應力(tensile stress)或是壓應力(compressive stress)；對於低溫製程而言，所成長出的薄膜並非高純度，因此它的電性與機械特性變化往往較大，化學選擇蝕刻比也較差，所以在應力控制上會面臨比高溫製程更多的挑戰。正因為如此，現今較成熟的紅外線感測器製程技術，對於製作低應力懸浮薄板結構，大部分均採用高溫製程。



綜合以上各種不同技術之優勢，本文將採用表面微加工技術並以 CMOS 後段(post-process)相容標準製程，在全程溫度低於 400°C 以下，製作一低應力且平整的懸浮結構。不過，根據以往經驗，於低溫製程且藉由表面微加工技術製作懸浮薄板時，除了懸浮薄板殘餘應力(residual stress)不容易控制之外，還會面臨液體與懸浮薄板間黏滯效應(sticking effect)過大使浮板塌陷等問題。雖然目前已經有很多人提出各式各樣的方法來解決這個問題，如運用特殊製程-二氧化碳超臨界蒸乾(CO₂ supercritical drying)或將表面粗糙化(roughness the surface)可改善黏滯效應，但無法讓每種元件或製程都適用，因

此，本論文希望能盡量不使用特殊製程，而是先藉由電腦模擬，預測失敗可能造成之效應，再經由審慎地設計，進而在懸浮薄板製作過程中，同時修正製程參數，以達成低製作成本、高輸出良率的目標。

由於全部製程及所使用的材料與一般 CMOS 晶圓代工廠相容，不需特殊步驟、生產成本低，而且和感測積體電路整合性高，所以，本論文也極具商業價值。

