

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

子計畫二：精確微型諧振陀螺儀之驅動及讀出 IC 之設計 CMOS Control and Readout Integrated Circuit Design for Precision Micro-Electromechanic Gyroscope System

計畫編號：NSC 87-2218-E-002-020

執行期限：86 年 7 月 1 日至 87 年 6 月 30 日

主持人：賴飛熊教授 國立台灣大學電機工程學系

一、中文摘要

『精確微型諧振陀螺儀之驅動及讀出 IC 之設計』是配合主計畫所開發之新型的球對稱結構之微型陀螺儀，以設計出符合規格之驅動偵測及補償電路。微型諧振陀螺儀之驅動原理與所提出電路架構將在文中說明。

關鍵詞：微型諧振陀螺儀、驅動及讀出電路。

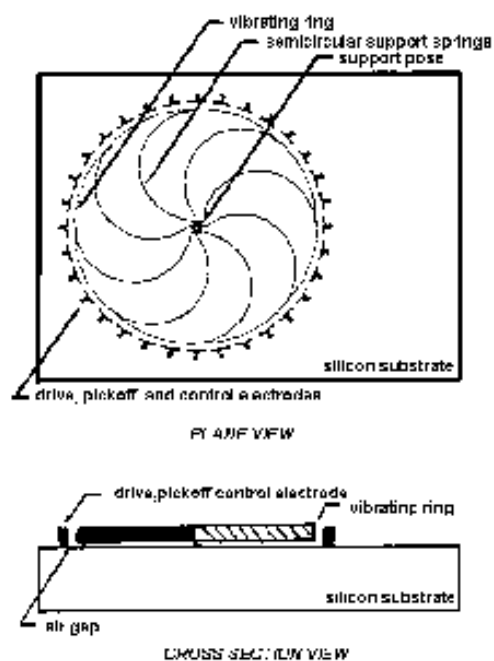
Abstract

『CMOS Control and Readout Integrated Circuit Design for Precision Micro-Electromechanic Gyroscope System』 is intended to cope with the new spherical vibratory micro-gyroscope, and design a formula control and compensate circuit. The driving principal and proposed circuit will be discussed.

Keywords: Micro-Electromechanic Gyroscope, Control and Readout Integrated Circuit.

二、緣由與目的

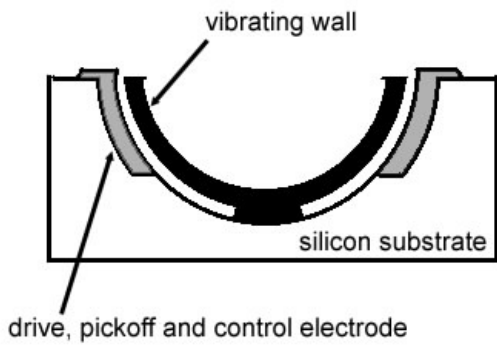
Gyroscope 元件用來測量角旋轉或旋轉速率在過去幾十年已有相當深入之研究與發展。隨著低價微小矽微機電加速儀之發展成功及擴散，現在工業界的注意力轉移到低價位機電陀螺儀之設計。Micro-



圖一

gyroscope 之應用範圍在快速的增加，如汽車中牽引力及穩定之系統，電視攝影機之穩定系統，及模型飛機之穩定系統。而若能進一步與微型加速度計整合成慣性參考系統，將可供虛擬實境(Virtual-Reality)的應用，若再進一步配合 GPS 全球衛星定位接收器則可供汽車船舶之導航用途，這些應用均可獲致巨大的經濟利益。

目前的矽加工微型陀螺儀結構如圖一所示，此種微型陀螺儀可以偵測沿著軸方向上的轉角與轉速，但是若沿著軸方向上有加速度運動，則會因為此結構的剛性不足而產生形變。



CROSS SECTION VIEW

圖二

而本計畫中之球對稱結構矽加工微型陀螺儀則可克服這個問題。如圖二所示，利用碗狀的剛性結構可以提高沿著軸方向的剛性，而碗狀的邊緣則提高了可感測與驅動電極的面積，因而能夠提高效率。驅動以及感測的方法則不需大幅調整。

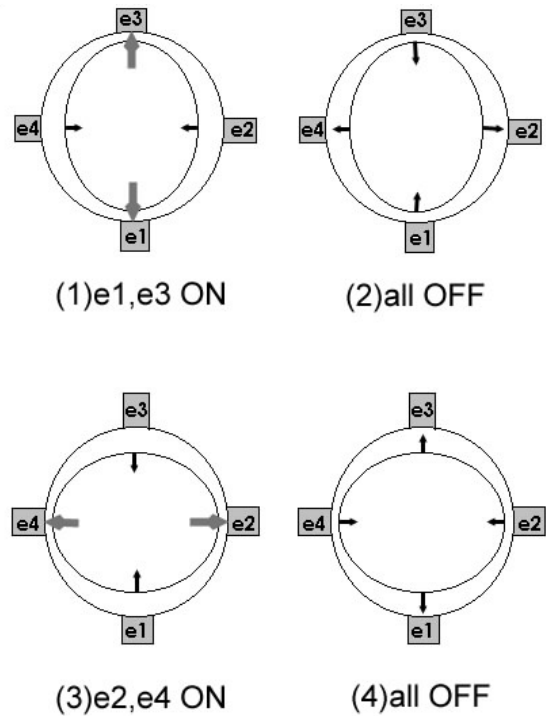
三、結果與討論

微型陀螺儀是利用半球殼的諧振振形偏移角度來計算轉速及轉角，為了維持振形，需視目前諧振強度持續輸入驅動訊號，此部份可利用鎖相迴路電路完成。當振形偏移時，利用半球殼與電極間電容的變化可以推算出振形偏移量，而求得轉速與轉角。

(一) 驅動電路

如圖三所示，電極的訊號由鎖相迴路提供，而振形的位置則需要利用 0° 與 45° 兩組感測電極的訊號決定。

提供至驅動電極的訊號是四分之一週期的方波，但是因為方波是由振形在平衡點時開始提供，此時氣隙較大，因此作用力較小，而當形變達到最大時，驅動電極所提供的作用力也達到最大，足以提供良好的驅動效果。



圖三

(二) 感測電路

由於目前技術的限制，碗形振動半球殼的半徑為 500μm，氣隙間距為 2μm，電極數目為驅動電極、感測電極各八個、補償電極十六個，電極深度 35μm，扣除遮蔽電極與電極間隙後，每個電極寬度為 9μm，因此感測電極的電容值約為 9.46E-15F (Farad)，而變化量在 0.1fF 左右。

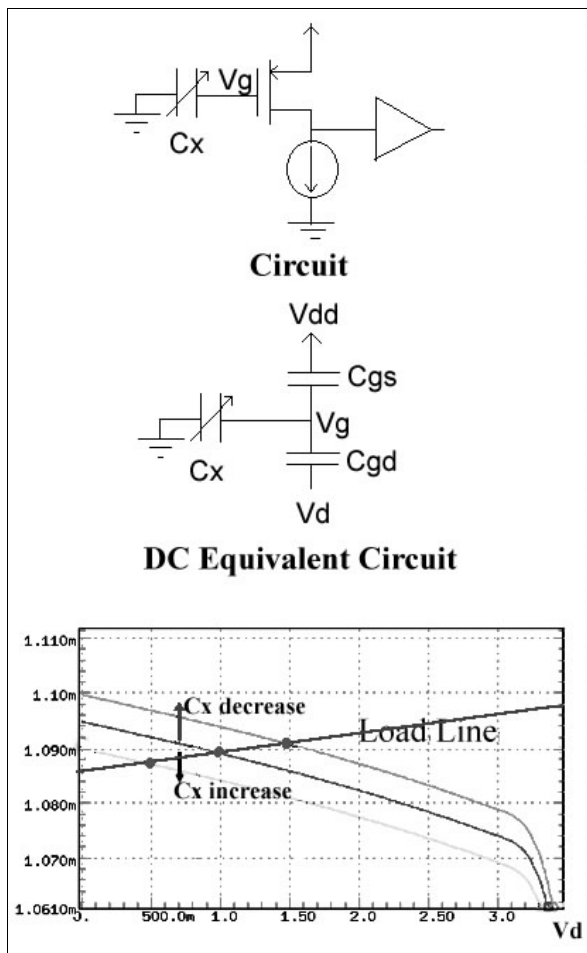
因此電路的設計如圖四所示，PMOS 閘極的電壓為：

$$V_g = \frac{V_d * C_{gd} + V_{dd} * C_{gs}}{C_x + C_{gs} + C_{gd}}$$

$$\cong \frac{V_d * C_{gd} + V_{dd} * C_{gs}}{C_{gs} + C_{gd}} * \left(1 - \frac{C_x}{C_{gs} + C_{gd}}\right)$$

當 pick-off 電極電容值改變時，PMOS 閘極的電壓便發生變化，由於下方的電流源限制，PMOS 汲極電壓也會產生變化，因而偵測出陀螺儀振形的進動。

此電路的解析度受限於感測電極與 PMOS 電晶體電容的比值，約在 1E-4 左右，因此今後仍須從陀螺儀的結構改良與電路上著手，另外目前所設計出之諧振陀螺儀之共振頻率為 22.72Mhz，因此感測電路至少須要工作在 22.72Mhz*8=181.76Mhz。



圖四

模擬結果顯示，若感測電容 C_x 變化量為 0.1fF 時， V_d 電壓變化可達 5mV ，但是後級訊號處理則需要使用速度約 200MHz 的類此-數位轉換器 (ADC)，因而將使得電路的成本增加，而降低此微型陀螺儀的整體經濟效益。

四、計畫成果自評

此計畫培養了數位博士班與碩士班學生瞭解微機電系統及支援電路的特性，擴展了電路設計的應用領域。支援電路方面則完成了電路系統的設計與模擬。

系統效能上目前尚未達成原先設計的目標，因此仍然須要與總計畫繼續配合，調整設計，才能達到預期的效能，然而透過不同領域的各子計畫間整合的工作，已經逐漸充實了我國微機電系統科技的基礎結構。

五、參考文獻

- [1] Y. Lu and A. Nathan, "Thin Film Magnetostrictive Sensor With On-Chip Readout and attoFarad Capacitance Resolution," IEEE IEDM p.777, 1996
- [2] Phillip E. Allen and Douglas R. Holberg, "CMOS Analog Circuit Design," ISBN 0-19-510720-9
- [3] Jan Soderkvist, "Micromachined gyroscopes," Sensors and Actuators A, 43, p.65, 1994
- [4] S.R. fisher, "Hemispherical resonator Gyro - A New Precise Rotational Sensor," Advances in Astronautical Sciences, V.52, p.208, 1995
- [5] E.J. Loper, D.D. Lynch, and K.M. Stevenson, "Projected Performance of Smaller Hemispherical Resonator Gyros," Position, Location and Navigation Symposium Planes 86, p.61, Nov 1986
- [6] E.J.Loper, D.D. Lynch, "Projected System Performance Based on Recent HRG Test Results," Proceeding IEEE/AIAA 5th Digital Avionics Systems conference, Oct. 1983
- [7] UK Patent Application GB 2 021 266 A
- [8] UK Patent Application GB 2 061 502 A 方。