

# ZnO:Mg/LiNbO<sub>3</sub>拉福波元件之研究

朱聖緣<sup>1,\*</sup>、張仁銓<sup>1</sup>、葉博文<sup>1</sup>、洪群雄<sup>1,2</sup>、黃馨萱<sup>1</sup>

<sup>1</sup>國立成功大學電機工程學系

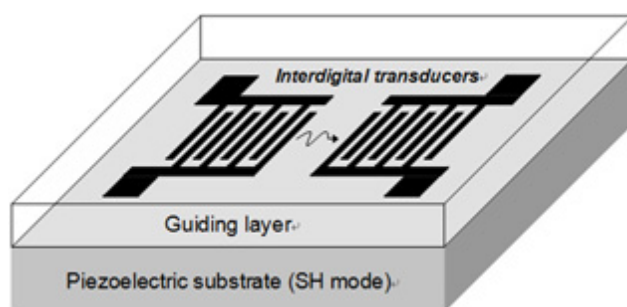
<sup>2</sup>國立高雄師範大學電子工程學系

chusy@mail.ncku.edu.tw

Sensors and Actuators B: Chemical

Volume 132, Issue 1, 28 May 2008, Pages 312-318

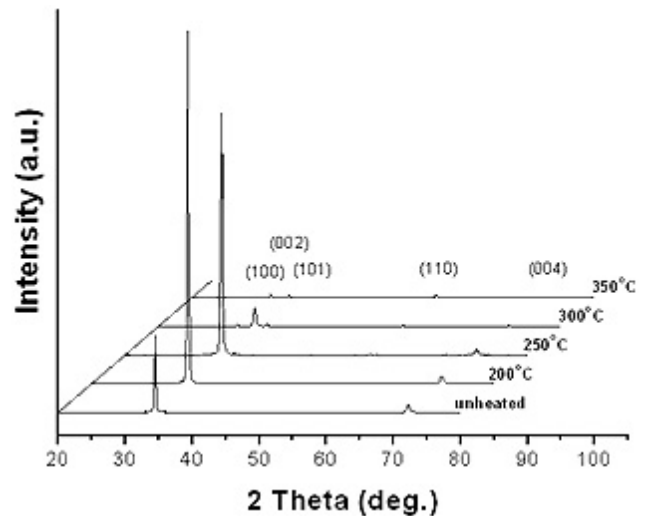
**表**面聲波(surface acoustic wave, SAW)元件廣泛地應用於偵測氣體與液體的感測器上<sup>[1,2]</sup>。在液體環境中，由於表面雷利(Rayleigh)波具有與基板垂直方向之位移組成，所以容易受到壓縮而導致大量的能量損失<sup>[3]</sup>。因此，水平剪力(shear horizontal, SH)波則較適合用於液體感測，因為它並不會與理想液體產生彈性耦合，不會造成傳輸能量損失<sup>[3-5]</sup>。水平剪力模式則可藉由增加一層引導層轉變成拉福波(Love wave)模式；拉福波元件的基本結構如圖一所示。因為導波效應，拉福波對於表面擾動非常地靈敏，達到對表面負載有更高的靈敏度。形成拉福波模式的條件必須存在於當覆蓋材料的剪力波速度遠小於基板的剪力波速度<sup>[3]</sup>。鉬酸鋰(64° YX-LiNbO<sub>3</sub>)之表面洩漏(Leaky)波具有高機電耦合係數(electromechanical coupling coefficient,  $k^2 = 11.3\%$ )、高剪力波速(4478 m/s)和負頻率溫度係數(temperature coefficient of frequency, TCF)，常被用於當作基板<sup>[6,7]</sup>。氧化鋅(ZnO)擁有低聲波吸收、低損失和高化學、機械及熱穩定性質；除此之外，其剪力波速2747 m/s<sup>[8]</sup>較二氧化矽(SiO<sub>2</sub>)之2850 m/s<sup>[3]</sup>來的慢，使得成為引導層選項之一。



圖一、拉福波元件的基本結構

近來，一些團隊曾使用氧化鋅作為拉福波元件之引導層<sup>[5,8]</sup>；以鈣(Ca)和鋇(Sr)攙雜於氧化鋅薄膜沉積於ST切面石英(ST-cut quartz)，對拉福波元件特性的影響亦由Water<sup>[9,10]</sup>等人進一步研究。相當多的研究報告指出氧化鎂鋅(Mg doped ZnO, MZO)在新穎光電和奈米電子元件的應用潛力上，擁有吸引人的特性<sup>[11]</sup>。不過，以氧化鎂鋅薄膜製作成拉福波模式之元件，於液體和氣體之感測應用則尚未看到；因此，在此研究中，我們將探討以射頻磁控濺鍍法成長氧化鎂鋅薄膜於鉬酸鋰基板，於不同的基板溫度下之影響，並一併呈現以氧化鋅/鉬酸鋰為結構的拉福波元件之特性。

實驗使用攙雜3%鎂的氧化鋅(純度99.9%)為靶材，以射頻磁控濺鍍法沉積氧化鎂鋅薄膜於拋光的鈦酸鋰基板上。通入氬氣(argon, Ar)與氧氣(oxygen, O<sub>2</sub>)，以射頻能量提供濺鍍。加熱基板達到所需要的沉積溫度；在我們實驗中，未加溫的基板之基板溫度在濺鍍過程完成時可達到穩定的150 °C。用長12 mm、寬13 mm、厚0.5 mm之鈦酸鋰基板製作拉福波元件。

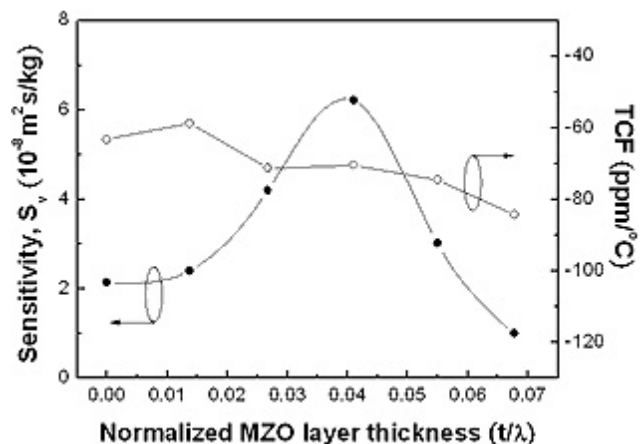


圖二、不同基板溫度下的氧化鎂鋅之XRD圖

圖二顯示不同基板溫度下的氧化鎂鋅之XRD圖；除了在350 °C之外，沉積的薄膜有著明顯相對應於氧化鋅之(002)平面之34.4 °，代表形成六方晶形(hexagonal)的纖鋅礦(wurtzite)結構。結果反應出較佳的晶格結構傾向形成於高的基板溫度<sup>[29]</sup>，因為其提供足夠的能量產生良好的C軸優選取向(c-axis orientation)。然而過度加熱基板，(002)軸向的強度下降，由於過多的能量導致其它任意軸向的成長與出現，比如說在300和350 °C形成可見的(100)、(101)。

在感測器的應用上，我們將1.5 μL的去離子水(DI water)滴在感測區域中。在任何的系統下之靈敏度(sensitivity,  $S_v$ )會有一個最適宜條件的厚度波長比

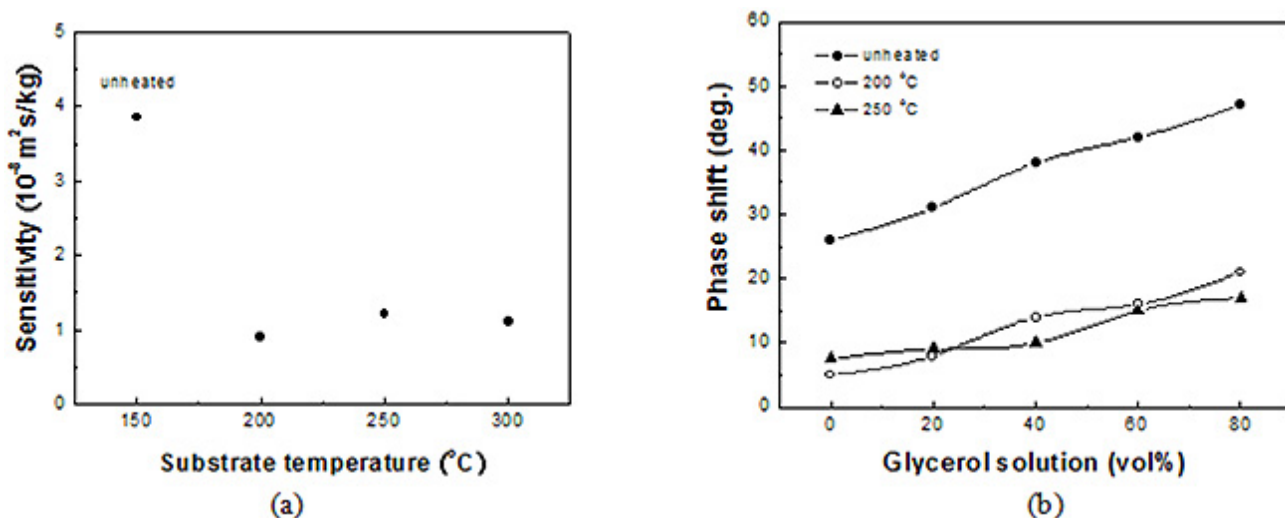
( $t/\lambda$ ； $t$ 為氧化鎂鋅厚度， $\lambda$ 為波長)。圖三顯示靈敏度與頻率溫度係數對標準化(normalized)氧化鎂鋅厚度之變化關係圖。當厚度波長比為0.04時，靈敏度達最高值；氧化鎂鋅/鈦酸鋰結構之靈敏度最大值為 $6.21 \times 10^{-8} \text{ m}^2\text{s/kg}$ ，高於文獻中所報導的二氧化矽/石英(SiO<sub>2</sub>/Quartz)靈敏度 $4.8 \times 10^{-8} \text{ m}^2\text{s/kg}$ 和二氧化矽/鈦酸鋰靈敏度 $1.8 \times 10^{-8} \text{ m}^2\text{s/kg}$ <sup>[4]</sup>。鈦酸鋰的頻率溫度係數大約在-81 °C/ppm<sup>[7]</sup>，氧化鋅則為負值<sup>[8]</sup>。實驗結果顯示，氧化鎂鋅/鈦酸鋰之頻率溫度係數隨著氧化鎂鋅厚度的增加漸漸地由將近-64 °C/ppm(厚度波長比=0)變大至-84 °C/ppm(厚度波長比=0.068)；並不能找到一個適當的氧化鎂鋅厚度，來獲得零頻率溫度係數之拉福波元件。



圖三、標準化(normalized)氧化鎂鋅厚度對靈敏度與頻率溫度係數之變化關係圖

靈敏度對基板溫度的變化顯示於圖四(a)；在厚度波長比為0.04時，氧化鎂鋅的厚度大約1.6 μm；較出色的靈敏度出現在氧化鎂鋅/鈦酸鋰未加溫時。由於當在相同液相介質中，靈敏度正比於相位移(phase shift,  $\Delta\phi$ )，因此在相位移的量測上，我們將1.5 μL的甘油水溶液(glycerol solution)滴在感測區域中。圖四(b)顯示在不同基板溫度下，相位移與甘油水溶液的係數；成長於鈦酸鋰基板之未加溫的氧化鎂鋅薄膜比其它薄

膜經加熱處理之結構具有較高的相位移。許多文獻指出，粗糙和多孔洞的表面能幫助表面波與液體或氣體介質之額外的耦合機制，像是非層流移動的產生、延表面的移動轉換成垂直於液體表面的移動、被凹洞和空孔抓住的液體<sup>[5,9,10]</sup>。然而，我們發現相位移並不是隨著表面粗糙度而增加；未加溫、200、250和350 °C之表面粗糙度(root-mean-square roughness, Rq)各為7.42, 19.72, 39.05 和 31.41 nm。可以推論說結晶品質過差的薄膜和過於粗糙的表面將抑制拉福波的傳輸，因而使得相位移減少，造成於液體介質中的表現成效衰退<sup>[10]</sup>。另一方面，也觀察到在相同基板溫度下，相位移隨著甘油濃度的提升而增加，主要歸因於波傳遞上黏度效應的關係<sup>[10]</sup>。



圖四、(a) 靈敏度對基板溫度的變化，(b) 不同基板溫度下，相位移與甘油水溶液的關係

總結來說，氧化鎂鋅沉積於鈮酸鋰基板上，較佳的晶格結構形成於200 °C之基板溫度；表面粗糙度隨著基板溫度上升而增加。我們成功地製作並且控制氧化鎂鋅/鈮酸鋰結構之拉福波元件。適當的氧化鎂鋅厚度可以使拉福波元件獲得最佳的靈敏度，而最高靈敏度亦產生於未加溫之基板溫度條件下。結晶品質過差的薄膜和過於粗糙的表面將會導致拉福波元件於液體介質中的表現成效衰退。

#### 參考文獻

1. W.P. Jakubik, M.W. Urbańczyk, S. Kochowski, J. Bodzenta, *Sens. Actuator B-Chem.* 82 (2002) 265.
2. A. Talbi, F. Sarry, M. Elhakiki, L. Le Brizoual, O. Elmazria, P. Nicolay, P. Alnot, *Sens. Actuator A-Phys.* 128 (2006) 78.
3. J. Du, G.L. Harding, J.A. Ogilvy, P.R. Dencher, M. Lake, *Sens. Actuator A-Phys.* 56 (1996) 211.
4. F. Herrmann, M. Weihnacht, S. Böttgenbach, *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control* 48 (2001) 268.
5. K. Kalantar-zadeh, A. Trinchì, W. Włodarski, A. Holland, *Sens. Actuator A-Phys.* 100 (2002) 135.
6. F.S. Hickernell, H.D. Knuth, R.C. Dablemont, T.S. Hickernell, *IEEE Ultrason. Symposium* (1995) 345.
7. C.K. Campbell, *Surface Acoustic Wave Devices for Mobile and Wireless Communications*, Academic Press, New York, 1998.
8. S.Y. Chu, W. Water, J.T. Liaw, *Ultrason.* 41 (2003) 133.
9. W. Water, Y.S. Yang, *Sens. Actuator A-Phys.* 127 (2006) 360.
10. W. Water, Y.S. Yang, *Integr. Ferroelectr.* 72 (2005) 13.
11. N.B. Chen, C.H. Sui, *Mater. Sci. Eng. B-Solid State Mater. Adv. Technol.* 126 (2006) 16.

12. D.K. Hwang, M.C. Jeong, J.M. Myoung, Appl. Surf. Sci. 225 (2004) 217.

*Copyright 2009 National Cheng Kung University*