

質子交換鋯酸鋰表面聲波濾波器之研製

洪榮昌* 鄭建銓**

壹、前言
貳、實驗方法
參、結果與討論
肆、結論
伍、致謝
陸、參考文獻

摘要

本研究利用焦磷酸質子交換法，成功的在鋯酸鋰基板上研製表面聲波濾波器，並利用掃描式電子顯微鏡，X光繞射儀與二次離子質譜儀等分析儀器，觀察質子交換後平面波導深度與特性改變的情形；然後利用光雕像術與舉離法，在波導表面上蒸鍍指叉狀電極，再利用網路分析儀分析質子交換前後表面聲波元件的頻率響應，實驗的結果顯示其波速有隨 kd 的增加而遞減的趨勢。

關鍵詞：質子交換，鋯酸鋰，表面聲波，指叉狀電極

*洪榮昌：電子工程科助教兼行政助理

**鄭建銓：電子工程科副教授兼科主任

壹、前言

自從 1885 年 Lord Rayleigh 首先提出表面聲波(SAW)的理論預測之後[1]，直到 1965 年 R. M. White and F. W. Voltmer 發現利用指叉狀電極 (IDTs) 可產生 SAW [2]，才使得這個領域的研究活絡起來。目前，在 SAW 的研究上大致可分為兩大類：一類是研究在壓電基板(如 LiNbO_3 , LiTaO_3 , Quartz)上蒸鍍電極以產生 SAW [3-4]；另一類則從事在非壓電基板(如 Si, GaAs, InP)上先長一層壓電薄膜(如 ZnO, AlN)，然後再蒸鍍電極以產生 SAW [5-7]。由於鋯酸鋰本身擁有優良的電光效應、高優質係數的聲光效應、高機電耦合係數、高頻寬與低損失等優點，所以本研究選擇鋯酸鋰作為元件的基材；同時利用質子交換法[8-9]，將鋯酸鋰基板浸泡在焦磷酸溶液內，以便在基板表面形成平面波導，然後再利用光雕像術與舉離法，在波導的表面蒸鍍指叉狀電極，並藉由網路分析儀分析 SAW 元件的頻率響應，以探討波導深度對 SAW 特性的影響。希望能發展出更具商業化與競爭力的 SAW 元件，將來能結合光方面的研究，作為未來應用於聲光元件與光積體電路研製的基礎。

貳、實驗方法

2-1、電極與光罩的製作：

本研究設計使用雙叉指(Double finger)換能器以消除指叉間反射的效應(Finger reflection effect)，波長(λ)的設計為 $46\mu\text{m}$ ，輸入與輸出電極之間的中心距離為 110 倍的波長($5060\mu\text{m}$)，而指叉間的重疊寬度為 70 倍的波長($3280\mu\text{m}$)。

2-2、基板清洗與波導製作：

晶片表面的乾淨與否，會嚴重地影響到元件特性。本研究清洗鋯酸鋰晶片的步驟為以三氯乙烯(TCE)、丙酮(ACE)、甲醇(Methyl alcohol)、與去離子水(DI water)反覆清洗晶片，直至表面潔淨，再以氮氣槍吹乾。將清洗好的鋯酸鋰晶片浸入酸液中，並置入恆溫恆溼爐中加熱，適當的控制交換溫度及交換時間，以便獲得最佳的波導形成條件。

2-3、元件的製作：

利用光雕像術與舉離法，在波導表面上製作 IDTs 電極；由於 SAW 元件單一圖案面積較大，又指線條密布，因此所要求的製程設備，需具有大面積製作與高精密度等特性。

2-4、材料與元件分析：

由 SEM 觀察波導的表面結構及平滑程度，如果表面不平將影響光波的行進及電極的蒸鍍，進而影響元件的成功率。由 SIMS 分析質子交換鈮酸鋰表面元素成份之縱深分佈，並且藉此決定波導的深度(d)。由 XRD 觀察質子交換前後，鈮酸鋰晶格變化的情形，藉以探討元件特性變化的物理成因。最後使用 HP 8702 網路分析儀測量 SAW 元件的頻率響應，以決定元件的重要參數。

參、結果與討論

經 XRD 分析顯示，以繞射峰(0012)峰值而言，焦磷酸質子交換前後，其 C 軸晶格常數會產生變化，在本實驗範圍內，其最大變化量($\Delta C/C$)約為+0.43%，此意味著在 C 軸方向可能產生一個垂直於基板表面之正應變存在，這可能是造成材料本身特性如壓電係數、彈性係數、密度、彈光係數與光折射率等改變的主要因素之一，同時這也影響 SAW 特性。再由 SEM 觀察顯示，經過質子交換後，基板的表面並沒有明顯被侵蝕的現象，所以可直接利用質子交換後之鈮酸鋰晶片，作為研製 SAW 元件的基板使用。

經 SIMS 分析發現，氫離子濃度的變化呈步階分佈(Step-like profile)，利用此一系列資料分析可求得焦磷酸質子交換鈮酸鋰之波導深度與質子交換參數之間關係為：

$$d = 1.8974 \times 10^4 \times \sqrt{t} \times \exp(-4944.645/T) (\mu m)。$$

圖 1 所示純 Z 軸切面鈮酸鋰之 SAW 頻率響應圖，由圖中可得其波速(V_p)與插入損失(IL)約為 3900m/sec 與 -18.6dB。圖 2 所示為在不同 kd 值下，焦磷酸質子交換鈮酸鋰之 SAW 頻率響應圖，其中 $k=2\pi/\lambda$ 。由圖中可明顯的發現，經過焦磷酸質子交換後， V_p 有隨 kd 的增加而遞減之趨勢，這主要原因可能是因為質子交換後，在交換層內有應力的產生，並造成彈性係數的降低所影響。另外，由圖 2(d)中亦可觀察到三倍頻諧波的產生，此乃因本實驗所使用的電極結構為雙叉指換能器。另一方面，經

過焦磷酸質子交換後，IL 有明顯隨 kd 的增加而增加的趨勢，此可能與機電耦合係數(K^2) 和傳輸損失有密切的關係。

肆、結論

本研究成功的利用焦磷酸質子交換法，在鈮酸鋰基板上研製 SAW 元件，並使用 XRD、SEM、SIMS 分析鈮酸鋰波導的特性，再使用網路分析儀分析 SAW 在質子交換鈮酸鋰波導上傳遞的情形與特性變化的關係。實驗的結果顯示，經焦磷酸質子交換後，其 C 軸晶格常數會產生變化，在本實驗範圍內，其最大變化量($\Delta C/C$)約為+0.43%；同時經焦磷酸質子交換後，其 V_p 有隨 kd 的增加而遞減之趨勢，而 IL 則有明顯隨 kd 的增加而增加的趨勢。

整體而言，本研究提供一個簡便的平面波導製作技術，即質子交換法，並提供有關於 SAW 在 Z 軸切面鈮酸鋰波導上傳播的特性資料，作為結合光波導的研究，以實現利用表面聲波作光調變器與光偏轉器等之應用。相信本研究所研製的元件，對未來商業化具有很重要的意義，尤其在提升國內 SAW 元件方面的研究將有相當的貢獻。

伍、致謝

本研究感謝國科會在經費上之協助(NSC 88-2216-E-237-001)

陸、參考文獻

1. Lord Rayleigh: Proc. London Math. Soc. 7 (1885) 4.
2. R. H. White and F. W. Voltmer: Appl. Phys. Lett. 17 (1965) 314.
3. T. E. Parker and H. Whichansky: 1975 Proc. IEEE Ultrason. Symp. p.503.
4. S. Kakio, J. Matsuoka and Y. Nakahawa: Jpn. J. Appl. Phys. 32 (1993) 2359.
5. F. S. Hickernell: J. Appl. Phys. 44 (1973) 1061.

6. Y. Abdelrazek and C. S. Tsai: *Optoelectron.* 4 (1989) 33.
7. C. C. Cheng, Y. C. Chen, H. J. Wang and W. R. Chen: *J. Vac. Sci. Technol. A* 14 (1996) 2238.
8. J. L. Jackel, C. E. Rice and J. J. Veselka: *Appl. Phys. Lett.* 41 (1982) 607.
9. C. C. Cheng, Y. C. Chen, S. T. Wang and B. W. Tsai: *Jpn. J. appl. Phys.* 34 (1995) 1627.

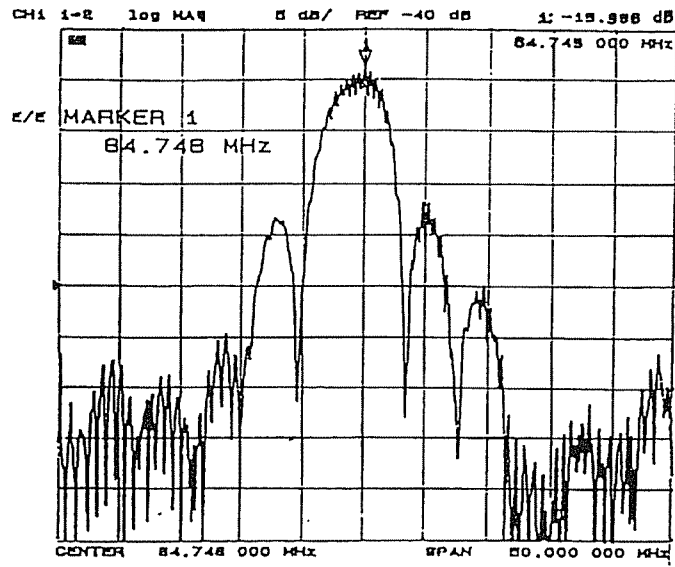
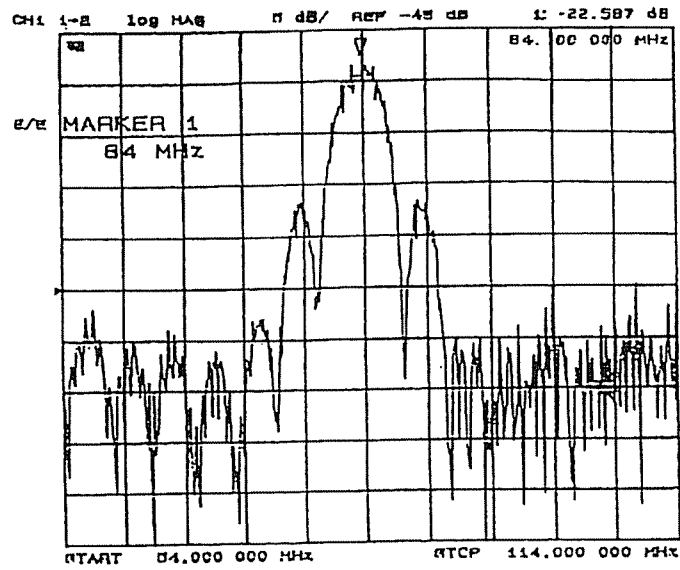
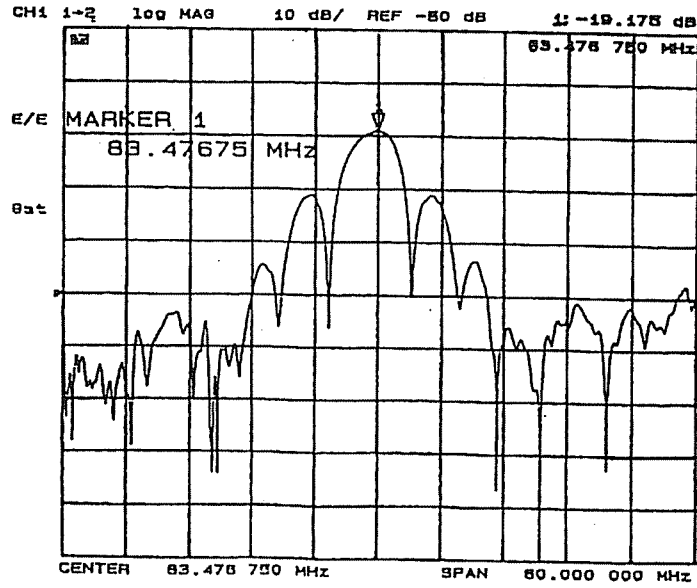


圖 1 純 Z 軸切面 LiNbO_3 之 SAW 頻率響應圖

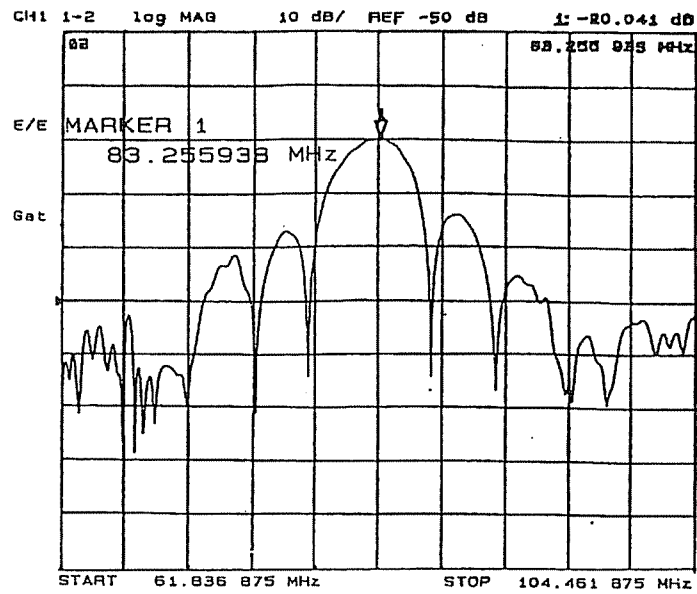


(a) $kd=0.046$

圖 2 焦磷酸質子交換 LiNbO_3 之 SAW 頻率響應圖(a) $kd = 0.046$ (b) $kd = 0.093$ (c) $kd = 0.103$ (d) 三倍頻的產生(與圖(c)的條件相同)

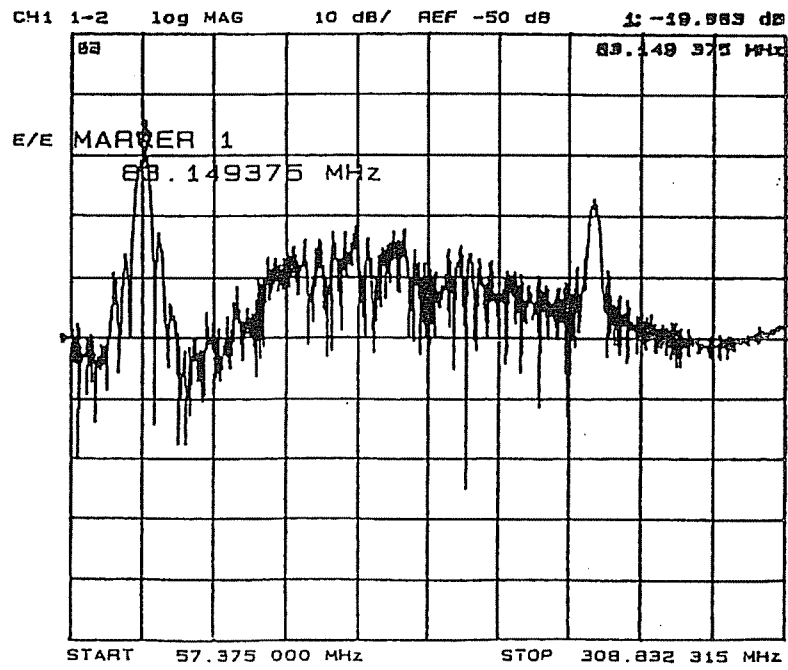


(b) $kd=0.093$



(c) $kd=0.103$

(續)



(d) 三倍頻的產生 (與圖 (c) 的條件相同)

(續)

Fabrication of Surface Acoustic Wave Filters on Proton-Exchanged LiNbO₃

Rong-Chang Horng Chien-Chuan Cheng

Abstract

The surface acoustic wave (SAW) filters on proton-exchanged (PE) LiNbO₃ substrates were fabricated in this study. The LiNbO₃ substrates were immersed in molten pure pyrophosphoric acid in order to form the planar waveguides. The properties of planar waveguides were measured by scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction (XRD) and secondary ion mass spectrometer (SIMS). The interdigital transducers (IDTs) were then evaporated on the planar waveguides to fabricate the surface acoustic wave (SAW) filters by photolithography and lift-off technique. The frequency responses of SAW were measured by network analyzer. The acoustic velocity (V_p) of SAW decreased with increased kd , where k was the wavenumber ($2\pi/\lambda$) and d was the waveguide depth.

Keywords: PE, LiNbO₃, SAW, IDTs

