

# 텔레비전 중간주파 표면음파 필터 (TV IF SAW Filters)

劉 尚 大\*, 權 寧 世\*\*

(Sang Dae Yu and Young Se Kwon)

### 要 約

텔레비전 중간주파 표면음파 필터를 윈도우잉(windowing)방법을 사용하여 설계하였으며, 그 제작과정을 기술하였다.

YZ LiNbO<sub>3</sub> 웨이퍼를 사용해서 필터를 제작하여 주파수 특성을 조사한 결과 통과 대역에 리플(ripple)이 있었고, 스탑밴드(stopband)의 감쇄가 적었다.

본 실험으로 미루어, 개선하여 대량생산할 수 있는 가능성이 높다 하겠다.

### Abstract

The TV IF SAW filter is designed using the windowing method. The procedure for fabricating SAW filters is described. The filter is fabricated on the Y-cut, Z-propagation LiNbO<sub>3</sub> wafer.

The passband ripple and the smaller upper sidelobe attenuation are observed.

Further improvements and the mass production can be expected.

### I. 序 論

1885년 Rayleigh 경이 두 매질의 경계면으로 표면음파(SAW : surface acoustic wave)가 전파할 수 있음을 보인 후 많은 연구가 되어져 왔으며, 특히 지난 10년동안 그 응용분야가 상당히 넓어 졌다.

일반적으로 표면음파라함은 두 매질의 경계면에 존재하여 전파하는 파로서, 그 진폭이 경계면에 수직인 방향으로 지수적으로 감소하여 에너지의 대부분이 경계면에서 한 파장내에 모여 있는 파를 말한다.

표면(한 매질이 공기일 경우)에 많은 에너지가 있

으므로 표면상태를 변화시킴으로서 쉽게 표면음파를 조절할 수 있으며, 또한 같은 주파수의 전파에 비해서 속도가 십만배 가량 느린 1~10km/sec 정도인데 그 사용 주파수가 보통 수 MHz에서 수 GHz에 이른다. 이러한 주파수에서 표면음파의 파장이 수 μm에서 수백 μm인데 이것은 집적회로(IC) 기술로 쉽게 얻을 수 있는 길이이다. 사용할 수 있는 상한 주파수는 집적회로 기술에 의해 제한된다.

1967년 표면음파를 쉽게 발생시키고 검출할 수 있는 인터디지트 변환기(IDT: interdigit transducer)의 발명으로 대역통과 필터(bandpass filter) 뿐만 아니라 지연선(delay line), 공진기(resonator), 발진기(oscillator), 펄스 압축기(pulse compressor), 콘볼버(convolver), 푸리에 변환소자(fourier transformer) 등의 신호처리 소자의 제작이 용이하게 되었다. 본 논문에서는 NTSC TV IF 필터를 설계, 제작하여 실험하였다.

SAW 필터는 CCD 필터, 디지털 필터등과 더불어

\*非會員, 慶北大學校 工科學科 電子工學科  
(Dept. of Electronics Eng., Kyung Pook National Univ.)

\*\*正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., KAIST)

接受日字: 1983年 6月 21日

1040년 Kallman 이 제안한 트랜스버설 필터(transversal filter)의 일종이며, 이러한 SAW 필터와 소자들을 만들기 위해서는 압전 웨이퍼를 필요로 하는데 그러한 물질로는 LiNbO<sub>3</sub>, LiTaO<sub>3</sub>, ZnO, GaAs, Quartz 등이 있다.

II. SAW 필터의 구조

SAW 필터는 SAW를 발생하는 입력 IDT와 검출하는 출력 IDT로 구성된다. 그림 1은 일반적인 SAW 필터의 구조이며 한쪽 IDT는 전극들이 균일하게 겹쳐져 있고 다른 쪽은 그러하지 않다. 이러한 구조를 갖는 필터의 주파수 응답은 다음과 같다.<sup>[1][2]</sup>

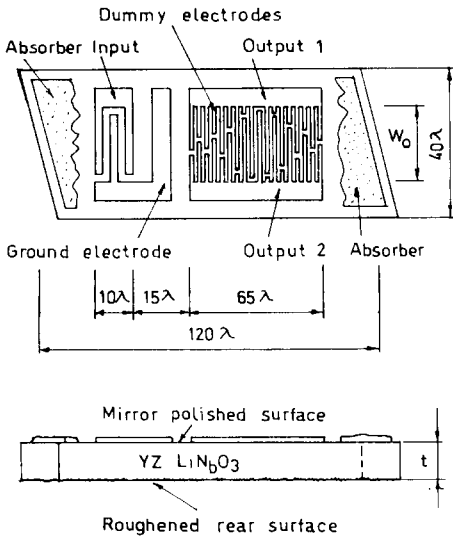


그림 1. SAW 필터의 구조  
Fig. 1. SAW filter chip configuration.

$$H(f) = H_i(f) H_o^*(f) \exp(-j2\pi f \tau) \quad (1)$$

여기서 \*는 공액 복소수 부호며, τ는 두 IDT 간의 시간지연을 나타내고 H<sub>i</sub>(f)와 H<sub>o</sub>(f)는 각각 입력과 출력 IDT의 주파수 응답으로서 IDT가 SAW의 발생과 검출에 이상적으로 작용한다면 다음과 같이 주어진다.

$$H_i(f) = \sum_{m=0}^{M-1} h_i(m) \exp(-j2\pi f x_m / v)$$

$$H_o(f) = \sum_{n=0}^{N-1} h_o(n) \exp(-j2\pi f x_n / v) \quad (2)$$

여기서 h<sub>i</sub>(k), h<sub>o</sub>(k)는 각각 입력과 출력 IDT의 k와 k+1번째 전극사이에서 겹쳐진 길이를 나타내며, x<sub>k</sub>는

기준점에 대한 k번째 전극위치이고, v는 SAW의 속도이다.

$$x_k = k\lambda f_o / f_s = kv / f_s \quad (3)$$

위 식에서 λ는 필터의 중심 주파수 f<sub>o</sub>에서 SAW의 파장이다.

식(1)에서 두 IDT 간의 시간지연 τ는 선형위상 응답을 주므로 군지연(group delay)에는 상수항으로 기여하게 되며, 필터의 군지연 규격이 45.75MHz에 대해 상대적으로 주어짐으로 설계시에는 고려하지 않아도 된다.

입력 IDT는 전극들이 균일하게 겹치는 형태로 선정하였고, 샘플링(sampling) 주파수는 2f<sub>o</sub>로 하였다. 입력 IDT의 전극수를 23개로 선정하면 39.75MHz와 47.25MHz 근처에 트랩(trap)을 형성하는데(2f<sub>o</sub> 샘플링 경우), 이보다 적게 하여야 넓은 대역폭을 가지게 된다. 그 수가 너무 적으면 삽입 손실이 커지므로 NTSC IF 필터의 경우 10~23개가 적당하다. 본 연구에서는 17개로 하였다(M=17).

$$h_i(m) = (-1)^m, m=0, 1, 2, \dots, M-1$$

출력 IDT의 응답은 식(1)의 전체 응답에서 입력 IDT 응답으로 나누어서 얻는데, NTSC IF 필터의 경우 비대칭 진폭, 비대칭 위상 특성을 가지므로 그 임펄스 응답(impulse response)이 다음과 같이 주어진다.<sup>[3]</sup>

$$h(t) = 2h_p(t) \cos(2\pi f_o t) + 2h_q(t) \sin(2\pi f_o t) \quad (4)$$

또는

$$h(t) = 2 |h_p^2(t) + h_q^2(t)| \cos[2\pi f_o t - \tan^{-1} |h_q(t) / h_p(t)|] \quad (5)$$

여기서 f<sub>o</sub>는 필터의 중심 주파수이다.

원하는 주파수 특성을 SAW 필터로 실현하기 위해서는 전극의 겹쳐지는 길이와 그 간격이 필요한데 이것들은 임펄스 응답 h(t)의 극대 극소점을 샘플링함으로써 얻을 수 있다.

식(4)를 사용할 경우 cos(2πf<sub>o</sub>t)와 sin(2πf<sub>o</sub>t)가 각각 ±1일때 샘플링하게 되는데 이는 샘플링 주파수 f<sub>s</sub>가 4f<sub>o</sub>에 해당되고 샘플링 간격 즉, 전극 간격은 균일하게 된다. 식(5)를 사용하면 cos[2πf<sub>o</sub>t - tan<sup>-1</sup>|h<sub>q</sub>(t)/h<sub>p</sub>(t)|] = ±1일때 샘플링해야 하는데 이는 샘플링 주파수가 2f<sub>o</sub>에 해당하는 반면 전극 간격이 균일하지 않게 되어 정밀한 포토리소그래피(photolithography) 기술을 요하게 된다.

본 실험에서는 마스크(mask) 제작시 오차를 줄일

수 있도록 전극간격이 균일한 경우 즉, 샘플링 주파수를  $4f_0$ 로 선정하였다.

### III. SAW 필터의 설계

설계방법은 크게 나누어 윈도우잉(windowing) 방법, 주파수 샘플링 방법, 빌딩 블록(building block) 방법, 최적화 방법 등이 있으며 여기서는 원리상으로 단순한 윈도우잉 방법을 사용하였다.

샘플링 이론에 따르면 설계하고자 하는 주파수 응답  $H_d(f)$ 가 그 임펄스 응답을 샘플링함으로써 샘플링 주파수  $f_s$ 의 정수배마다 주기적으로 반복됨으로 이를 Fourier 급수로 전개할 수 있다.<sup>14)</sup>

$$H_d(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_d(n) \exp(-j2\pi fn/f_s) \quad (6)$$

$$h_d(n) = \int_{-\pi}^{\pi} H_d(f) \exp(j2\pi fn/f_s) df \quad (7)$$

$h_d(n)$ 은 설계하고자 하는 필터의 무한임펄스 응답(IR: infinite-duration impulse response)이 되는데 실제 웨이퍼(wafer) 위에 실현하려면 웨이퍼의 크기가 무한히 커야함으로 불가능하다.

따라서 임펄스 응답의 길이가 유한하도록  $h_d(n)$ 의 크기가 매우 적은 부분을 버리고 남은 부분은 적절한 계수를 곱하여 유한 임펄스 응답(FIR: finite-duration impulse response)  $h(n)$ 을 얻게 된다. 이렇게 함으로써 실제 주파수 응답  $H(f)$ 은  $H_d(f)$ 와 다소 차이를 가져 오며 이것을 최소로 하기 위해 반복 계산을 통해  $h(n)$ 을 재조정하게 된다.

$$h(n) = \begin{cases} h_d(n) \cdot w(n), & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & \text{그외} \end{cases}$$

여기서  $w(n)$ 은 윈도우 함수(window function)라 하며 다음과 같은 것이 있다.

- i) 직각 윈도우  $W_R=1.0$
- ii) Hamming 윈도우  $W_H=0.54+0.46 \cos(2\pi n / N-1)$  (9)

이외에도 Blackman, Kaiser, Dolph-Chebyshev 윈도우 함수가 있으며 본 연구에서는 Hamming 윈도우를 사용하였다.

필터의 길이  $N$ 이 적으면 웨이퍼를 적게 필요로 하여 경제적이거나 스탑밴드(stopband) 감쇄가 낮아지는데 보통 150~250 ( $f_s=4f_0$ 일 경우)로 선정한다. 여기서는  $N=200$ 으로 하였다.

NTSC TV IF 필터의 진폭과 위상 규격(그림 2 (a))으로 부터 통과 대역 주파수를 여러개의 구간으로 나눈다. 이때 각 구간의 진폭은 직선으로 모델링(mode-

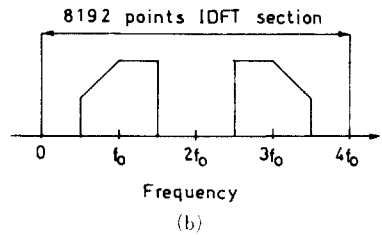
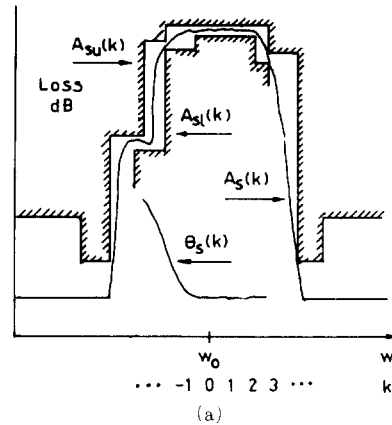


그림 2. (a) TV IF 필터 규격  
(b) 헤르미션 대칭성

Fig. 2. (a) TV IF specification.  
(b) Hermitian symmetry.

ling)한다. 이러한 주파수 축상의 각 점들을 모델 주파수라 하고 그에 해당하는 진폭, 위상을 각각 모델 진폭, 위상이라 한다.

$h_d(n)$ 을 얻기 위해 식(7)을 적분하는데 어려움이 있으므로, IDFT(inverse discrete Fourier transform)를 사용하여 구했으며, 엘리어싱(aliasing)의 방지를 위해 샘플링점을 충분히 많이 하였다(8192 points fast Fourier transform algorithm 사용) 이때 IDFT 구간은 그림 2 (b)와 같은데, 이와 같은 형태는  $h_d(n)$ 이 실수가 되도록 음의 주파수 축상에 있는 통과 대역을 IDFT 구간의 중심에 대해 헤르미션(Hermitian)이 되게 위치시켜야 하기 때문이다.<sup>15,16)</sup> 이는 필터가 비선형 위상, 비대칭 진폭특성을 갖기 때문에 일어나는 사실이다. 위와 같이 해서 얻은  $h_d(n)$ 을 윈도우 함수를 곱하여 FIR  $h_0(n)$ 을 얻었다.

식(2)와 (3)으로 부터 출력IDT의 주파수 응답은 다음과 같다.

$$H_0(f) = \sum_{n=0}^{N-1} h_0(n) \exp(-j2\pi fn/f_s) \quad (10)$$

이 식을 사용하여 각 규격 주파수에서 진폭을 구하

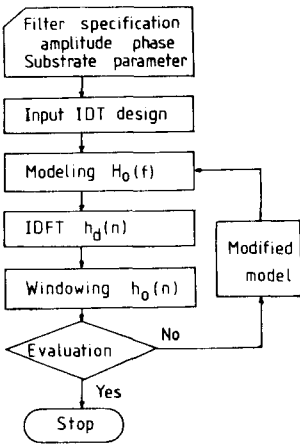


그림 3. CAD 흐름도  
Fig. 3. CAD flow chart.

고 이것을 규격치와 비교하여 그 차이에 따라 모델 주파수와 모델 진폭을 변경하고 위의 과정을 반복한다. 이때 모델 위상은 변경없이 그대로 사용하였다.

그림 3은 CAD 흐름도(flow chart)이며 10회 이내에 수렴하였다.

IV. 2차 효과 고려<sup>17)</sup>

IDT 전극사이에서 SAW의 발생과 검출이 이상적이 아님으로서 또 SAW가 전파할 때 생기는 파의 여러가지 현상으로 인해 생기는 몇가지 부수적인 효과가 있다.

전극 가장자리에서 SAW의 반사는 그림 4에서와 같이 IDT를 한파장에 4개의 전극이 들어 가는 구조(4f<sub>0</sub> 샘플링)로 하면 반사된 SAW ①과 ①', ②와 ②'는 그 위상차가 각각 180°(경로차 λ/2)이므로 서로 상쇄된다. 이것이 4f<sub>0</sub>로 샘플링한 또 하나의 장점이다.

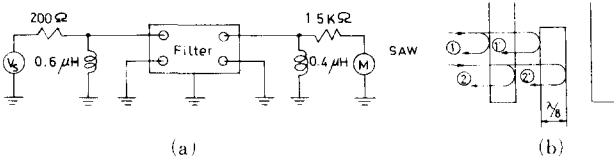


그림 4. 이중 전극의 반사파 상쇄  
Fig. 4. Reflection cancellation of double electrode structure.

전극이 있는 부분과 없는 부분의 속도차이 때문에 SAW가 전파하는 선통로에 전극의 수를 같도록 해야만 SAW가 평면파로 전파하게 되는데 이를 위해 그

림 1에서와 같이 모형전극(dummy electrode)을 사용하였다.

벌크(bulk)파의 영향을 설계에서 고려하기 어려우나 SAW용 웨이퍼이면 뒷면이 거칠게 연마되어 있어 그 반사를 막을 수 있다.

웨이퍼의 양쪽 모서리에서 SAW의 반사를 방지하기 위해 왁스(wax)를 칠하여 흡수하도록 하였다.

SAW의 회절현상은 세법 큰 효과를 가져오나 설계에서는 고려하지 않고 전극 겹침의 최대 길이를 5mm로 하여 그 현상이 적어지도록 하였다.

V. 제작 과정

1. 웨이퍼 선정<sup>18)</sup>

YZ LiNbO<sub>3</sub>가 큰 결합계수를 가지고 있으나 벌크(bulk)파의 영향이 큰 반면, X-112°Y LiTaO<sub>3</sub>는 온도 계수와 벌크파 영향이 적어 SAW 필터 제작에는 아주 적합하나 가격이 비싸다.

그외도 많은 종류의 웨이퍼가 있으나 본 실험에서는 YZ LiNbO<sub>3</sub>를 사용하였다.

2. 마스크(mask) 제작

SAW IF 필터의 실제 크기가 보통 폭 2~3mm, 길이 7~8mm인데 반해 전극의 폭은 10μm 정도(4f<sub>0</sub> 샘플링)의 크기이다.

이러한 크기를 84배로 확대하여 루비리스(rubylith)를 절단하였다. 이것을 시중에서 6배로 축소하고 다시 축소 카메라로 14배정도 축소하여 2.5×2.5in<sup>2</sup>의 에멀전 마스크를 만들었는데, 배율에는 오차가 있을 것이다.

3. 세척 과정

YZ LiNbO<sub>3</sub> 웨이퍼는 다음 순서에 따라 세척한다.

- 1) 75℃ 트리클로르 에틸렌(trichlor ethylene) 속에서 10분
- 2) 75℃ 아세톤에서 10분
- 3) 증류수(deionized water)로 씻는다.
- 4) H<sub>2</sub>O : NH<sub>4</sub>OH : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 비율이 3 : 1 : 1로 한 75℃ 용액에서 10분
- 5) 초음파 세척기에 1% 세척제를 넣고 그 속에서 10분
- 6) 증류수로 충분히 씻는다.
- 7) 압축공기로 말린다.

세척을 제대로 하지 않으면 전극(AI 박막)의 접착이 불량해지고, 불순물들이 SAW의 전파를 방해하게 되어 필터의 특성이 변하게 된다.

4. 전극의 진공증착

세척된 웨이퍼를 증착기에 넣고 1,000~2,000Å 정도의 두께로 알루미늄을 입힌다.

본딩(bonding)할 때 지장이 없다면 될 수 있는한 얇게 입히는 것이 SAW를 방해하지 않아 좋으나 전극저항이 커지면 오히려 역효과를 가져 올 수 있다.

5. 포토리토그래피(photolithography)

알루미늄 박막이 입혀진 웨이퍼에 KPR(negative Kodak photoresistor)을 5000 rpm으로 25초간 스핀 코팅(spin coating)하였다. 두께는 대략 1~2μm이며 이것을 90℃에서 10분간 소프트 베이킹(soft baking)하여 어라이너(aligner)로 패턴(pattern)을 형성시켰다. 노출시간은 2~4초의 범위이다. 이때 웨이퍼의 Y방향과 SAW의 전파방향과 일치를 시켜야 하며 그렇지 않으면 빔 스티어링(beam steering)에 의해 필터의 특성이 변한다.

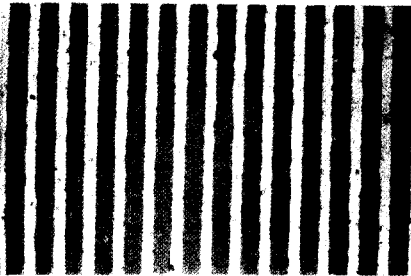
현상후 120℃에서 하드 베이킹(hard baking)을 30분간 하였는데, 이것을 충분히 하지 않으면 부식할 때 KPR과 Al 박막 사이로 부식액이 스며 들어 패턴이 제대로 형성되지 않는다.

6. 부식(Etching)

보통 IC 공정에 쓰이는 Al 부식용액을 사용하였다. 용액온도(20~50℃)와 부식시간(1~5분)을 잘 조정하여야 좋은 패턴을 얻을 수 있다.

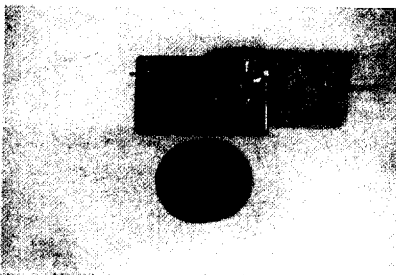
그러나 본 실험의 마스크가 양호하지 못하여 부식된 전극의 모서리가 불량하다(사진 1).

7. 패키징(Packaging)



사 진 1. 부식후의 전극

Photo 1. Electrodes after etching.



사 진 2. 패키징된 SAW 필터

Photo 2. A SAW filter after packaging.

보통 TO-8 케이스에 패키징하나 여기서는 2×3×0.3cm<sup>3</sup>의 철판상자에 왁스(wax)로써 접착시켰다.

본딩(bonding)은 실버 페이스트(silver paste), In, 본딩기(bonding machine)등을 사용할 수 있는데 여기서는 In으로 하였다.

사진 2는 패키징된 소자를 보여 준다.

VI. 측 정

입력과 출력 IDT의 용량을 측정하여 중심 주파수에서 공진하는 인덕터들을 병렬로 연결해서 정합회로를 구성하였다.

삽입손실을 주어 TTE(triple transit echo)를 줄이고자 직렬저항을 연결하여 그림 5와 같이 측정하였다.

그림 6은 제작된 필터의 진폭응답을 나타낸다. 통과대역에서 리플(ripple)이 2dB이며 스탑밴드(stop-band) 감쇄가 규격보다 10dB 정도 부족하였다.

통과대역 폭이 1MHz 정도 넓어 졌으며, 중심 주파수도 4MHz 정도 높았다. 이들은 모두가 마스크 만들 때 축소 배율의 오차에 기인한 것이라 할 수 있다.

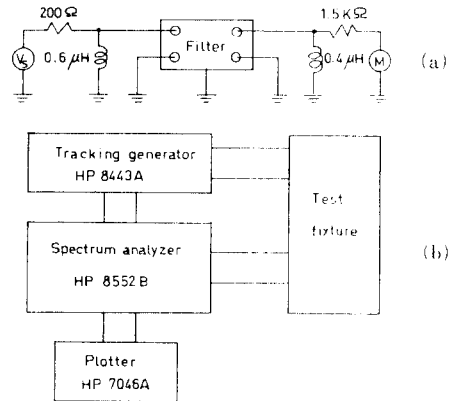


그림 5. (a) 정합회로 (b) 측정회로

Fig. 5. (a) Matching network (b) Test circuit.

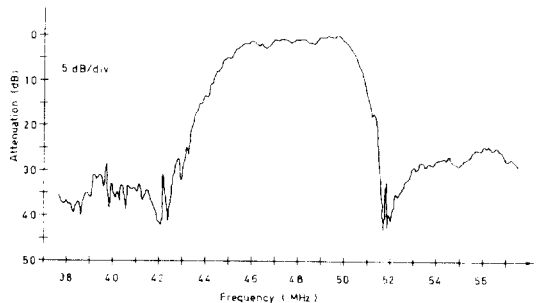


그림 6. 제작된 SAW 필터의 진폭특성(삽입손실=21dB)  
Fig. 6. Amplitude response of a fabricated SAW filter.  
(Insertion loss=21dB)

## VII. 結 論

NTSC 칼라 텔레비전 중간주파 표면음파 필터를 설계, 제작하였으며 그 결과 통과대역에 리플이 관측되었는데, 이는 전극 모서리가 불균일하게 부식되어 SAW의 반사를 완전히 상쇄시키지 못함으로써 일어나는 결과라 할 수 있다.

또한 측대역의 감쇄가 양호하지 못한 것은 회절현상, 벌크파(bulk wave), 패턴 형성시 오차 등의 영향이 크다 하겠다.

중심 주파수와 대역폭의 오차는 마스크 제작시 배율의 부정확으로 인한 것이며, 이는 패턴 제너레이터(pattern generator)를 사용할시 문제가 없을 것이다.

본 실험으로 미루어 볼때, 생산용 시설을 사용한다면 SAW 부품을 국산화하여 대량생산 할 수 있는 가능성이 높다 하겠으며, SAW 부품의 광범위한 응용으로 볼때 압전 웨이퍼의 개발이 시급하다 하겠다.

## 參 考 文 獻

- [1] R.H. Tancrell and M.G. Holland, "Acoustic surface wave filters," *Proc. IEEE*, vol. 59, no. 3, pp. 393-409, Mar. 1971.
- [2] H. Matthews, ed., *Surface Wave Filters*. John Wiley & Sons, N.Y., 1977.
- [3] B.J. Hunsinger and R.J. Kansy, "SAW filter sampling techniques," *IEEE Trans. Sonics Ultrason.*, vol. SU-22, no. 4, pp. 270-273, July 1975.
- [4] A.V. Oppenheim and R.W. Schaffer, *Digital Signal Processing*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., pp. 239-251, 1975.
- [5] T.J. Boege, G. Chao, and W.S. Drummond, "Design of arbitrary phase and amplitude characteristics in SAW filters," *Proc. 1976 Ultrasonics Symposium., Annapolis, IEEE Publication 76 CHO 807-8 SU*, pp. 313-316, Sep. 1976.
- [6] Kim Jin Ha, "Color TV PCB automatic testing and alignment - Design and testing of SAW filters," *Thesis of Master, KAIST*, 1980.
- [7] W.S. Jones, C.H. Hartmann, and T.S. Sturdevant, "Second-order effects in surface wave devices," *IEEE Trans. Sonics Ultrason.*, vol. SU-19, no.3, pp. 368-377, July 1972.
- [8] S. Takahashi, et. al., "SAW IF filter on LiTaO<sub>3</sub> for color TV receivers," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. CF-24, no.3, pp. 337-347, Aug. 1978.