

## 결합 모드 방법에 의한 표면 탄성파 공진자 필터 제작

### The Fabrication of a SAW Resonator Filter Using the Coupling-of-mode Method

유 일 현\*, 권 회 두\*\*  
(Ilhyun You\*, Heedoo Kwon\*\*)

#### 요 약

본 논문은 높은 전기 역학적 결합 계수를 갖고 있는  $64^\circ$  LiNbO<sub>3</sub> 기판에 leaky 표면 탄성파를 이용하여 종 결합 형태의 대역이 넓고, 손실이 적은 필터의 제작을 위한 연구이다. 이 기판 위에 1차 모드와 2차 모드를 이용하고 입력 IDT와 출력 IDT 사이의 거리, 그리고 전극의 두께 및 전극 갯수를 적절하게 조절함으로써 통과 대역 폭이 15MHz 이상, 삽입 손실 1.28dB 및 저지대역 50dB인 특성을 얻을 수 있었다. 아울러, 전극의 두께는 파장과의 비를 고려해 2500Å으로 할 때 최적의 결과를 얻을 수 있었으며, IDT와 IDT 사이의 거리는 0.25λ, IDT와 반사기 사이의 거리는 0.46λ로 할 때 가장 이상적인 결과를 얻을 수 있었다.

제작한 필터는 329.3MHz의 중심 주파수를 갖고 있는 소자로서 소형이고 낮은 삽입 손실을 갖고 있으며, 무선 호출기에 사용 가능하다.

#### ABSTRACT

We have studied a method for achieving wideband and low loss longitudinally-coupled SAW filter using a leaky SAW on a  $64^\circ$  LiNbO<sub>3</sub> substrate with a high electromechanical coupling coefficient. With the use of first mode and second mode resonance on a  $64^\circ$  LiNbO<sub>3</sub> substrate and the selection of the optimum values for the distance between input and output IDT, the electrode film thickness and the input/output IDT pairs and it was possible to achieve favorable characteristics with the bandwidth of 15MHz, an insertion loss of 1.28dB, and an attenuation in the stop band of 50dB. In addition, we could obtain good results when thickness of the electrode film to be 2500Å as compared with the wavelength of surface acoustic wave. And, most effective value was also obtained in terms of distances, it was 0.25λ from input side IDT to output side IDT and was 0.46λ from IDTs to reflector.

The fabricated device is, a small-size and a low insertion loss filter with center frequency of 329.3MHz, suitable for use in pager.

#### I. 서 론

최근 이동통신용 시스템의 개발에 대한 연구는 경량화 및 고주파를 지향하는 방향으로 활발히 진행되고 있고, 그 수요 또한 날로 증가 하는 추세에 있으며 높은 부가가치를 갖는 특징이 있다. 이에 높은 주파수를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 고성능과 저가격의 특징을 갖고 있는 표면 탄성파(Surface Acoustic Wave: SAW) 필터 소자에 대한 개발 필요성은 그 어느 때보다 필요하다. 표면 탄성파 필터는 그 동작 형태에 크게 공진자(resonator)형과 횡(transversal)형으로 나뉜다.

공진자 형은 압전 기판상에 형성된 빗살 무늬 모양의 진동자(Interdigital Transducer: IDT)와 배지에 따른 횡

결합 공진자 형과 종 결합 공진자형으로 구분되며, 공진자 구조는 흡수체 없이 반사기(reflector)라 부르는 격자(grooved grating) 형태를 하고있는 반사기에 끼워진 모양의 IDT가 배치되어 있다. 이러한 공진자 구조를 갖는 필터는 IDT에서부터 여기된 표면 탄성파를 반사기 사이에서 다중 반사시켜 주파수를 다르게 하는 복수 공진 모드를 이용하는 필터의 특성을 형성하고 있다. 횡형은 압전 기판 상에 2개의 IDT를 입력 및 출력 전극으로서 각각 설계하여 그 양단에 단면 반사 방지용의 흡수체를 이용한 구조를 갖고 있다.

따라서 입력 IDT에 전기 신호를 가해 주면 입력 IDT에 의해 여기되는 표면 탄성파는 기판 표면에 주기적인 비틀림 신호를 전달하게 되고, 이 비틀림 신호는 출력 IDT에 도달한 후 전기 신호로 변환된다. 이 일련의 과정이 일반적인 표면 탄성파 필터의 특성을 형성하고 있으며, 이 때 산출된 특성은 광대역(wide band)이면서 지연

\* Department of Physics, Semyung University.

\*\* 동양 화학 중앙 연구소 전자 재료 연구실

접수일자: 1997년 8월 20일

시간 편차가 극히 작은 것이 특징이다.

이중(double) 모드에 대한 분석을 통하여 등가 회로망에 의한 방법과 단일위상 일방향 진동자(SPUT:Single Phase Unidirectional Transducer)설계에 주로 응용되는 COM(Coupling-of-Mode)방정식을 적용하여 표면 탄성파 필터를 설계하였다.<sup>11,12</sup> 그리고 다중 모드를 이용한 표면 탄성파 필터의 설계는 주로 협대역(Narrow band) 필터에 적용 하였으나<sup>13</sup>, 전기 역학적 결합 계수가 큰 64° LiNbO<sub>3</sub>와 36° LiTaO<sub>3</sub>를 이용하면, 광대역 통과 필터도 제작할 수 있다.<sup>15,16</sup>

그러나 다중 모드를 이용한 광대역 표면 탄성파 필터 설계를 위해서는 각 모드의 파가 정상파(standing wave)를 형성하여야 한다. 이러한 정상파를 형성시키기 위해서는 IDT와 IDT사이의 간격, IDT와 반사기 사이의 간격 등이 주요 변수로 작용한다. 이들 변수의 최적 조건을 구하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있으며, 특히, T. Uno<sup>17</sup>는 반사기 전극의 넓이와 간격 그리고 IDT와 반사기 사이의 간격을 계산하는 실험식을 제시하였으나, 이는 전기 역학적 결합 계수가 큰 64° LiNbO<sub>3</sub>와 36° YX-LiTaO<sub>3</sub> 기판의 경우에 적용할 수 없다고 보고되었다.

본 연구에서는, 우선 전기 역학적 결합 계수가 큰 물질을 이용하여 광대역 필터를 제작함에 있어 반사기의 파장과 IDT 파장 그리고 반사기와 IDT 간의 거리 및 전극 두께의 최적화에 노력하였다. 즉, 입력과 출력 IDT 사이의 간격 그리고 IDT와 반사기 사이의 간격 및 전극의 두께 등을 변화 시키면서 필터의 주파수 특성을 COM 방정식으로 계산하였고, 계산된 실험 값을 이용하여 소자를 제작하면서 주파수 특성을 분석하였다. 그 결과 소자에 대한 주파수의 응답 특성에 대해서 IDT 파장과 반사기의 파장 사이의 변화에 큰 차이가 관찰 되었다. 이 주파수의 응답 차이를 이용하여 각각의 간격을 조절할 수 있으며, 실험에 근거를 둔 식을 제시하였다. 이는 Quartz 기판 위에 공진자를 설계하기 위한 기존의 실험식을 수정한 것이며, 높은 전기 역학적 결합 계수를 갖고 있는 64° LiNbO<sub>3</sub> (64° rotated lithium niobate) 기판에 종 결합 공진자 형 필터를 설계할 때 적절한 반사기와 IDT의 주기비를 구할 수 있었다.

그리고, 64° LiNbO<sub>3</sub>에 대하여 COM방정식을 이용하여 압전 기판의 표면으로부터 가장 가까운 깊이를 진행하는 표면 탄성파(leaky SAW)를 분석하고 주파수 특성을 계산하였으며, 그 특성을 결합 모드 방정식을 이용하여 분석하였다. 이로써 329.3MHz의 중심 주파수를 갖는 무선 호출기용 표면 탄성파 공진자 필터를 설계 및 제작하였다.

## II. 이론적 고찰

### 1. 종 결합 공진 모드

그림 1은 저 손실 공진기 필터의 개략적인 전극 배열과

이중 모드의 변위를 보이고 있다.

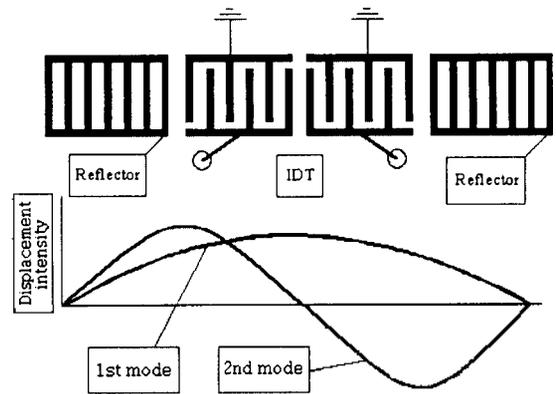


Fig. 1 Electrode configuration of resonator filter and displacement intensity distribution of double mode.

본 연구에서 제작한 필터는 입력 단의 IDT와 출력 단의 IDT로 구성 되어 있으며, 양 끝에는 반사기를 설치하여 방향성 손실을 최소화 하였다. 이러한 구조의 필터는 반사기 뿐만 아니라 IDT자체도 반사기 역할을 하게 되므로 1차 모드와 2차 모드가 여기 된다. 이때 1차 모드는 위상이 같지만, 2차 모드는 입력 단과 출력 단의 위상이 반대이며, 각 모드의 중심 주파수 또한 다르다. 이러한 특성을 갖고 있는 각 모드의 주파수를 결합시키면 광 대역의 필터를 제작할 수 있게 된다.

### 2. 결합 모드 (Couple-of-Mode)방정식

결합 모드 방정식은 주로 공진기(resonator)와 일 방향 IDT(Uni-directional interdigital transducer)설계 및 분석을 위하여 사용되어 왔다. 그러나 본 연구에서는 결합 모드 방정식을 표면 탄성파 필터의 제작 및 그 특성을 분석하고, 응용하기 위하여 3-port IDT로서 모델링하여 유도하였다. 그림 2에 3-port IDT를 도시하였다. IDT 입력단에 전압 V를 인가하면, IDT에서부터 발생되어 ±x 방향으로 전파하는 표면 탄성파는 인가 전압과 결합하게 된다.

여기서 x축의 오른쪽으로 전파하는 파를 a(x), 왼쪽으로 전파하는 파를 b(x)라 가정하면,

$$a(x) = A(x)e^{-\frac{ik}{2}x} \tag{1}$$

$$b(x) = B(x)e^{\frac{ik}{2}x} \tag{2}$$

가 된다. 여기서 A(x)와 B(x)는 각 방향의 표면을 따라 진행하는 표면 탄성파의 진폭을 나타내고, k는  $k = 2\pi/p$ 로 표현되는 반사기의 파수(wave number)이며, p는 IDT 또는 반사기 전극의 반복되는 주기(period)를 나타낸다. 결합

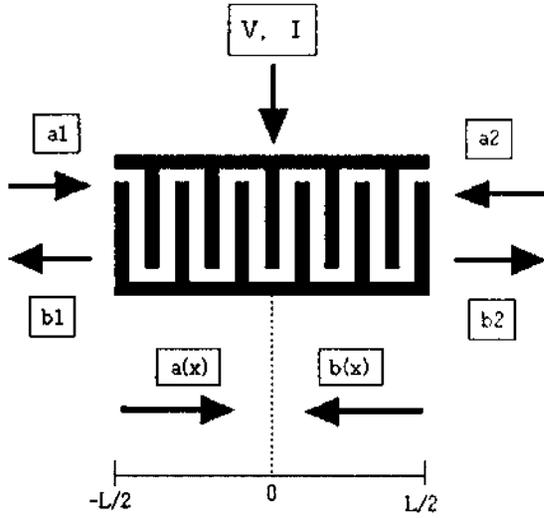


Fig. 2 Three-port IDT representation.

모드 방정식의 기본식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.<sup>(6)</sup>

$$\frac{d}{dx} \begin{bmatrix} A \\ B \\ I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -i\delta & i\alpha\epsilon & i\zeta \\ -i\alpha\epsilon^* & i\delta & -i\zeta^* \\ -2i\zeta^* & 2i\zeta & i\omega c_0/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ V \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서  $\delta = \frac{k^2 - k_0^2}{2k_0}$  로 표현되는 비조율성 매개 변수 (detuning parameter)이고,  $\alpha$ 는 전파 손실을 나타내고 있으며,  $\zeta$ ,  $\alpha\epsilon$  및  $c_0$ 는 각각 여기 함수, 결합 모드 변수 및 정전 용량(static capacitance)을 나타낸다. 식(3)에서 \*는 공액 복소수이다.

1) 반사기

그림 1에서 보는 바와 같이 반사기에는 전압이 인가되지 않으므로  $V=0$ 이니, 식(1)에서부터

$$\frac{dA}{dx} = -i\delta A + i\alpha\epsilon B \quad (4)$$

$$\frac{dB}{dx} = -i\alpha\epsilon^* A + i\delta B \quad (5)$$

가 된다.

그리고 반사기에서의 산란은 산란 행렬(scattering matrix) S로써 다음식과 같이 나타낸다.

$$S = \begin{bmatrix} R & T \\ T & R \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 R은 반사 계수이고 T는 변환 계수이며, 각각 다음과 같이 표현된다.

$$R = P \frac{1 - e^{-2i\gamma N_s}}{1 - p^2 e^{-2i\gamma N_s}} \quad (7)$$

$$T = e^{-i\gamma N_s} \frac{1 - p^2}{1 - p^2 e^{-2i\gamma N_s}} \quad (8)$$

여기서 P는

$$p = [\beta_m - (\delta + \kappa_{11})] / \kappa_{12} \phi = \beta_m N_p L / 2 \quad (9)$$

이고,  $\delta$ 와  $\beta_m$ 은 각각

$$\delta = k_f - 2\pi/L \quad (10)$$

$$\beta_m = \sqrt{(\delta + \kappa_{11})^2 - \kappa_{11}^2} = k_f = \sqrt{(\delta/k_f + \kappa_{11})^2 - \kappa_{12}^2} \quad (11)$$

이다. 여기서  $k_f$ 는 임의 주파수에 대한 파수,  $\kappa_{11}$ 와  $\kappa_{12}$ 는  $\kappa_{11} = k_f \kappa_{11}$ ,  $\kappa_{12} = \kappa_{12}$ 이며,  $\kappa_{11}$ ,  $\kappa_{12}$  각각의 실험값은

$$\kappa_{11} = 0.0076 - 0.0011(H/\lambda) + 3.6(H/\lambda)^2 \quad (12)$$

$$\kappa_{12} = 0.069 + 0.12(H/\lambda) + 2.8(H/\lambda)^2 \quad (13)$$

이 된다<sup>(7)</sup>. 여기서 H,  $\lambda$ 는 전극의 두께와 파장을 나타낸다.

반사기에 의한 전체 반사 계수 |R|은

$$|R| \approx \tanh N |r| \quad (14)$$

이다. 여기서 각 전극의 반사 계수 |r|을 구하기 위한 결합 모드 방정식을 이용한 식은

$$r = j \left[ R_k \left( \frac{K^2}{2} \right) + R_m \left( \frac{H_m}{\lambda} \right) \sin(\pi\eta) \right] \quad (15)$$

이고 전기 결합항  $R_k$ 와 역학적 에너지 결합항  $R_m$ 은 각각

$$R_k = -\frac{\pi}{2} \left[ \cos(\pi\eta) + \frac{P_s(-\cos(\pi\eta))}{P_{s-1}(-\cos(\pi\eta))} \right] \quad (16)$$

$$R_m = \frac{\pi K^2}{C_s} \left[ \left( \frac{U_1}{\varphi} \right)^2 (\alpha_1 - \rho' v_j^2) + \left( \frac{U_2}{\varphi} \right)^2 (\alpha_1 - \rho' v_j^2) - \left( \frac{U_3}{\varphi} \right)^2 \rho' v_j^2 \right] \quad (17)$$

이다<sup>(5)</sup>. 식(15)에서  $H_m$ 은 전극의 두께이며,  $\eta$ 는 전극 넓이와 전극 열 주기와의 비,  $s$ 는 전극의 넓이의  $1/\lambda$ 이며,  $\rho_s(x)$ 는  $x$ 에 관한  $s$ 차 Legendre 함수를 나타낸다. 그리고  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ 은 각 방향에 따른 압전 기판 표면의 변위,  $\varphi$ 는 기판 표면의 전위,  $C_s$ 는 전극의 정전 용량,  $K^2$ 은 전기 역학적 결합 계수,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ 은 전극 각 방향에 따른 탄성율,  $\rho'$ 은 전극의 밀도를 각각 나타낸다.

아울러 공진기 필터에서 중요한 관심 사항으로써 반사기의 통과 대역(passband)은

$$\frac{B}{f_0} = \frac{2|r|}{\pi} \sqrt{1 + \left(\frac{\pi}{N|r|}\right)^2} \quad (18)$$

와 같이 된다<sup>(15)</sup>. 여기서  $B$ 는 중심 주파수 특성 파형의 양쪽에 인접해 있는 null frequency(중심 주파수에 영향을 주지 않는 주파수 특성)이고,  $f_0$ 는 통과 대역 내 중심 주파수이며, 식(18)에서 반사기의 전극 수  $N$ 가 많으면 통과 대역은 좁아짐을 알 수 있다. 이는 전기적 임펄스 방식(impulse modeling)에서 전기적 임펄스의 지속 폭이 길어지면 통과 대역이 좁아지는 것과 같은 현상이다. 이러한 결과는 전기 역학적 결합 계수가 작은 물질을 사용하여 전극 갯수가 많은 반사기를 사용하게 되면, 대역이 매우 좁은 필터를 만들 수 있다.

## 2) IDT

입력 IDT에 전압이 인가되면  $V \neq 0$ 로써, 식(3)을 기본 식으로 한다. IDT에서는 반사파가 없는 split(IDT finger 간격이 탄성과 파장의  $1/8\lambda$ 되는) 전극과는 달리 전극 반사에 의한 음향학적 어드미턴스(admittance)가 변화한다.

따라서 음향 어드미턴스  $Y_a$ 는

$$Y_a = G_a + i(B_a + \omega C_a) \quad (19)$$

로 표현되어지고, 컨덕턴스( $G_a$ )와 서셉턴스( $B_a$ )는

$$G_a = G_0 N^2 \left| \frac{1+P}{e^{i\phi} + P e^{-i\phi}} \right|^2 \frac{\sin^2 \phi}{\phi^2} \quad (20)$$

$$B_a = G_0 N^2 \left| \frac{1+P}{1-P} \right| \frac{1}{\phi} \left\{ \left| \frac{1+P}{e^{i\phi} + P e^{-i\phi}} \right|^2 \frac{\sin 2\phi}{2\phi^2} - 1 \right\} \quad (21)$$

이다. 여기서  $G_0$ 와  $\xi$ 는 각각

$$G_0 = 2(\xi N_p)^2, \quad \xi = \frac{\sqrt{\pi f W \Gamma}}{P} P \quad (22)$$

이고,  $P$ 와  $\phi$ 는 각각

$$P = 2\epsilon \frac{\sin \pi v}{P_{-}(\cos \Delta)} P_{+}(\cos \Delta) \quad (23)$$

$$\phi = \frac{N\pi}{2} \frac{f-f_c}{f_c} \quad (24)$$

이다. 여기서  $N$ 은 전극(fingers of IDT)의 갯수(pairs),  $W$ 는 IDT의 구경(beam aperture)이며,  $\Gamma = K^2/2\epsilon$ 로 표현되는 물질의 상수이고,  $K^2$ ,  $\epsilon$ 는 각각 물질의 전기 역학적 결합 계수와 유전율을 나타낸다. 그리고  $v$ ,  $P_{+}(\cos \Delta)$  및  $\Delta$ 의 각 값은 정규화 주파수(normalized frequency), Legendre function 및 전극 분포의 비를 나타낸다.

## 3) 반사기의 설계

최적의 한쪽 방향성 IDT를 설계하기 위해서는 반사기는

물론 반사기와 IDT와의 관계도 고려하여 적절하게 설계하여야 한다. 반사기에 의한 주파수 응답을  $f_R$ , IDT에 의한 주파수 응답을  $f_T$ 라하면,  $f_R$ ,  $f_T$  각각의 중심 주파수는

$$f_R = (1 - \kappa'_{11}) v_f / L_R \quad (25)$$

$$f_T = \{1 - \kappa'_{11} - \kappa'_{12} - \kappa'_{12}/(0.7q_T^2 + 0.56q_T + 0.43)\} v_f / L_T \quad (26)$$

이다. 여기서  $L_R$ 과  $L_T$ 는 반사기의 주기와 IDT의 주기이고, 여기서  $q_T$ 는

$$q_T = \pi \kappa'_{12} N \quad (27)$$

로 표현되어진다.<sup>(7)</sup> 그러나 본 연구에서는  $q_T = \pi \kappa'_{12}$ 로 수정하여 사용하였다. 그리고  $64^\circ \text{LiNbO}_3$ 인 경우 자체 결합 요인(self-coupling factor)  $\kappa'_{11}$ 와 모드 결합 요인(mode coupling factor)  $\kappa'_{12}$ 는 각각의 실험값은 식(12)와 식(13)에 나타내었다. 식(25)와 (26)에서  $f_T = f_R$  조건을 만족시키기 위한 최적화 비  $L_T/L_R$ 를 구하면

$$\frac{L_T}{L_R} = \frac{1 - \kappa'_{11} - \kappa'_{12} - \kappa'_{12}/(0.7q_T^2 + 0.56q_T + 0.43)}{1 - \kappa'_{11}} \quad (28)$$

이다. 그러나 식(28)을 정확히 만족시키기에는 공정상 어려움이 있지만, 반사기의 저지대역(stop band) 안에 IDT의 중심 주파수가 존재하게 되면 공명 조건을 만족하게 된다. 공명 조건을 구하기 위하여 식(20)으로부터  $\frac{G_a}{G_0 N^2}$ 를 구하면,

$$\frac{G_a}{G_0 N^2} = 1 / \left\{ \frac{1}{\tan^2 \phi} + \left( \frac{1-p}{1+p} \right)^2 \right\} \phi^2 \quad (29)$$

가 된다.

식(25)는  $G_a/G_0 N^2 \geq 1$ 이 되면 반사기에 의한 공명 조건을 만족하게 되므로 이를 만족하기 위한 식은

$$\begin{aligned} \frac{1 - \kappa'_{11} - \kappa'_{12} - \kappa'_{12}/(0.35q_T^2 + 0.3q_T + 0.2)}{1 - \kappa'_{11}} &\leq \frac{L_T}{L_R} \\ &\leq \frac{1 - \kappa'_{11} - \kappa'_{12} - \kappa'_{12}}{1 - \kappa'_{11}} \end{aligned} \quad (30)$$

과 같이 된다.<sup>(6,7)</sup>

## III. 실험 및 결과

본 연구에서는 이동통신용 329.3 MHz대역의 저 손실 표면 탄성과 공진기 필터를 설계 제작하였다. 기관은 온도 계수가 우수하고 속도가 빠른  $64^\circ \text{LiNbO}_3$ 를 사용하였으며 음파는 leaky SAW 형태이며 표면 탄성과 공진기 필터의 전극은 입력 및 출력 IDT와 반사기로 구성하였다.

1) 필터 제작

표면 탄성과 필터의 제작에 필요한 사진 식각(photolithography)용 포토 마스크는 반사기와 IDT 전극의 폭, 간격 및 구경 등을 CAD(Computer Added Design) 설계에 의하여 전자 주사선으로 제작하였으며, 포토 마스크 공정시 0.1  $\mu\text{m}$ 의 정밀도를 갖고 제작된다. 제작된 마스크를 사용하여 반도체 제조 공정인 사진 식각 방법에 의해 64° LiNbO<sub>3</sub> 위에 빗살 무늬 모양의 전극을 형성시켰다. 이와 같이 하여 제작된 표면 탄성과 필터의 입·출력 IDT의 양쪽에는 방향성 손실을 최소화 하기 위해 반사기가 위치하게 하였으며, 예리한 저지대역과 주파수 특성 파형에서 중심 주파수 양쪽에 위치하며 상대적으로 낮게 위치하는 파형(sidelobe)을 형성하기 위하여 전체적인 필터의 구조는 종 결합 형태의 이중 모드(double mode)와 이중 트랙을 이용하여 제작하였다. 그림 3은 제작한 필터의 개략적인 구조를 나타내고 있다.

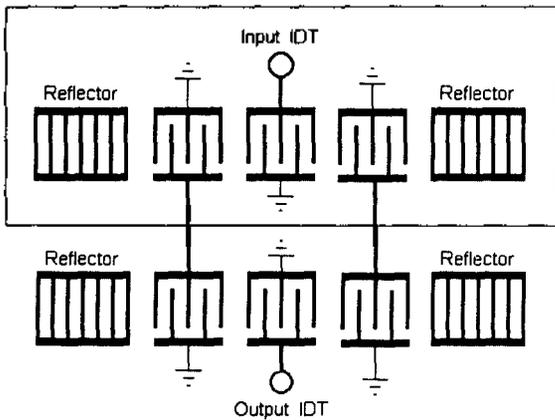


Fig. 3 SAW resonator structure on the 64° LiNbO<sub>3</sub>.

그림에서 전극 구경(beam aperture)은 20 $\lambda$ 로 고정하였으며, 이상적인 주파수 응답의 통과 대역을 얻기 위하여 IDT와 반사기의 파장을 여러 값으로 변화 시키면서 최적 조건을 구하였다. 그 결과 전극의 두께는 파장과의 비를 고려해 2500Å으로 할 때 최적의 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 IDT와 IDT 사이의 거리는 0.25 $\lambda$ , IDT와 반사기 사이의 거리는 0.46 $\lambda$ 로 할 때 가장 이상적인 결과를 얻을 수 있었다. 이때 사용된 기판에서의 표면 탄성과의 속도는 4742 m/sec이다.<sup>(9)</sup>

2) 이중모드 필터의 주파수 응답 특성

64° LiNbO<sub>3</sub>기판에서 음파의 한 형태인 leaky SAW는 상대적으로 큰 전기 역학적 결합 계수를 가지고 있는 기판에 대한 어드미턴스를 계산하여 전극의 갯수(pairs)와 IDT구경을 구하여 필터의 주파수 응답을 계산하였다. 계산된 주파수 응답의 특성을 그림 4(a), (b)에 나타내었다.

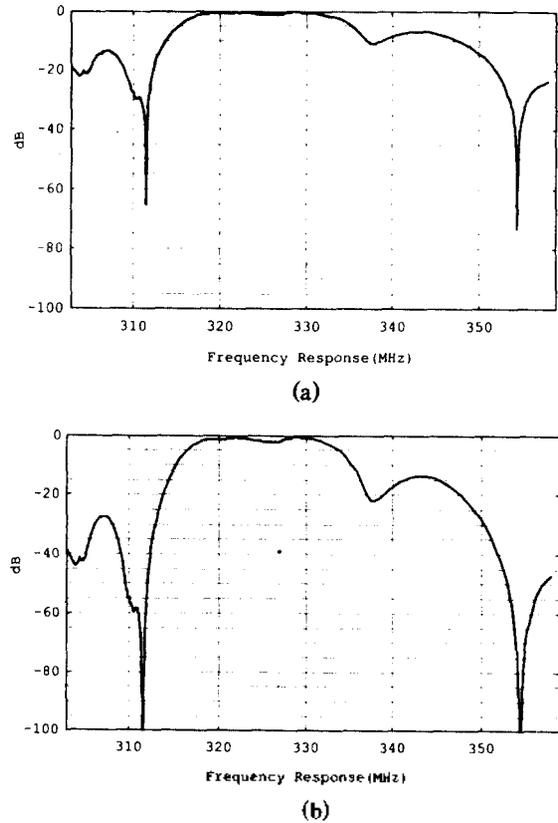


Fig. 4 (a) Computed frequency response of two pole resonator filter, (b) Computed frequency response of four pole resonator filter.

그림 4(a)에서 하나의 트랙(그림 3에서 사각형 부분 참조)을 사용하고 두개의 극(pole)을 사용한 경우에 대한 주파수 응답을 보인 것이고, 그림 4(b)는 두개의 트랙을 사용하고 4개의 극을 사용한 경우에 대한 주파수 응답을 나타냈다. 그림 4(a)의 경우는 10dB이상의 저지대역으로 높은 첨예도(shape factor)를 나타내고 있는 반면, 그림 4(b)는 (a)에 비해 상대적으로 낮은 저지대역의 특성을 갖는 주파수 응답을 나타내고 있으며 첨예도가 낮게 계산되었다. 따라서 제작한 필터는 두개의 트랙과 4개의 극을 갖는 구조로 제작하였다.

따라서 본 연구에서 설계하고자 하는 필터의 특성은 012, 015 pager가입자가 모두 이용할 수 있는 RF대역 통과 필터인 중심 주파수 325.65MHz, 통과 대역 폭 15MHz이상, 리플 2.0dB이하 및 삽입 손실 4.0dB이하인 표면 탄성과 필터를 설계하고자 하였다. 이와 같은 설계 목적에 비추어 볼 때 상기 그림에서 계산된 주파수 응답은 325MHz이었으며, 2.5dB에서의 통과 대역 폭은 15MHz이상으로 설계하고자 하는 요구 조건을 만족하게 된다.

3) 반사기의 반사 및 변환 계수

전술한 식(7)과 식(8)을 이용하여 반사기의 반사 계수

및 변환 계수는 그림 5와 같이 계산되었으며, 반사기의 전극 갯수는 50쌍으로 할 때 완전한 반사의 효과를 얻을 수 있었다.

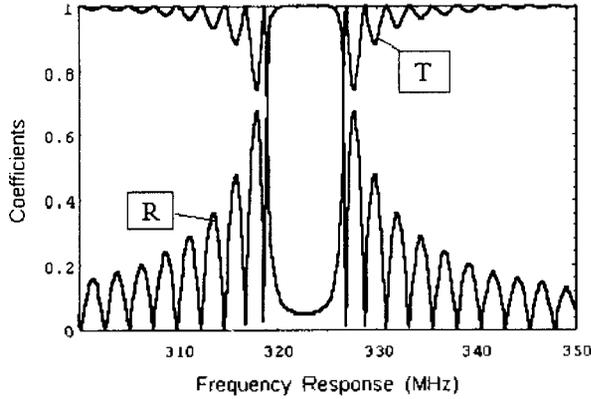


Fig. 5 Reflection and transduction coefficients of the 64° LiNbO<sub>3</sub>.

4) IDT 음향 어드미턴스

식 (19)에 표시한 음향 어드미턴스는 본 연구에 사용된 파라메타를 이용하여 식(20)과 식(21)로 계산하여 그림 6에 나타냈다.

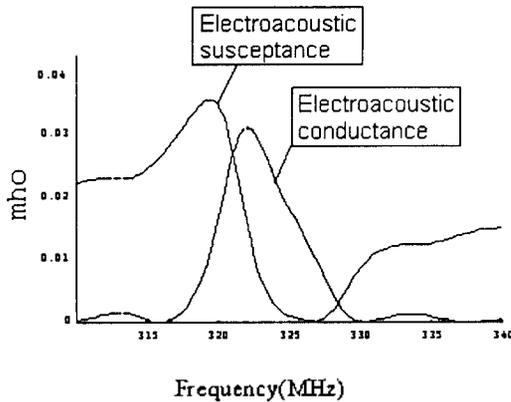


Fig. 6 Admittance characteristics for IDT.

그림 6에서 보는 바와 같이 전극의 갯수(pairs)  $N$ 이  $1.5/K^2$ 에 가까워 질수록 식(19)의 허수부( $B_a + \omega C_s$ )는 거의 0이 되어 두 그래프의 중앙 부분이 가까워지게 되므로, 이는 이론치와 일치하는 경향을 보인다. 이 때 통과 대역 내에서는 관심의 주파수는 거의 통과 되지만 다른 대역의 주파수는 저지되고, 통과 대역에서의 리플의 크기는 작게 나타나는 결과를 가져오게 된다. 여기서 실험에 사용한 기관의 전기 역학적 계수( $K^2$ )는 0.113(Crystal Technology Institute: 미국제품)인 것을 사용하였다.

그리고 식(30)을 이용한다면, 반사기에 대한 반사 계수의 저지대역과 IDT 음향학적 컨덕턴스의 중심이 일치하

여야 한다. 이를 만족하는 IDT의 음향학적 방사 컨덕턴스와 반사기의 반사 계수에 대한 주파수 특성을 그림 7에 나타내었다.

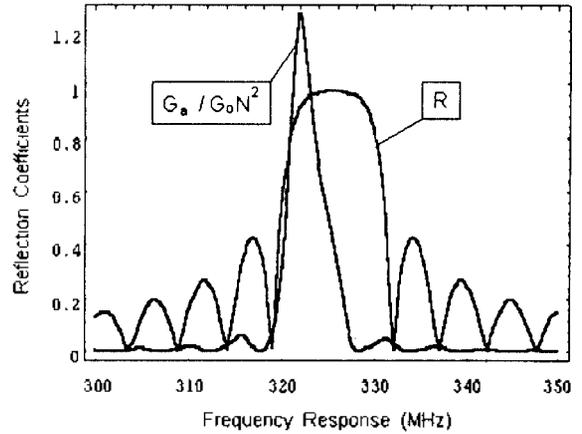


Fig. 7 Frequency characteristics for reflection coefficient and acoustic radiation conductance of IDT.

아울러 필터의 중심 주파수 및 손실 등에 대한 특성은 입력 측과 출력 측에 각각 150으로 임피던스 정합을 시킨 후 임피던스 분석기(Network analyzer: HP 8510C)로 측정하였다. 그 결과를 그림 8에 나타내었다.

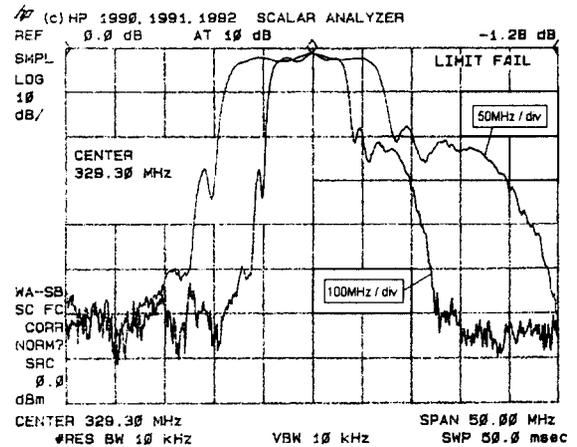


Fig. 8 Measured frequency characteristic of the series connected SAW resonator filter on a 64° LiNbO<sub>3</sub>.

그림 8에서 보여주듯이 측정된 주파수 응답은 중심 주파수( $f_0$ )가 329.3MHz, 삽입 손실은 1.28dB로서 매우 이상적인 특성을 얻을 수 있었으며, 2.5dB에서의 통과 대역은 15MHz이상이었다. 또한 그림 8은 저지대역을 자세히 도시하기 위해 X축 span폭을 (50.00MHz/구역)와 (100.00MHz/구역)로 하여 보인 것이며, Y축은 10dB/구역을 의

미한다. 그림에서 나타난 바와 같이 제작한 필터는 광대역 필터이고, 저지대역은 20dB이하로 측정되었으며, 저지역(-39MHz와 -100MHz)에서의 저지대역은 50dB이하로서 특성이 매우 우수하였다. 계산에 의한 주파수 응답은 측정된 주파수 응답에 비하여 좁은 통과 대역과 낮은 저지대역을 나타내었으며, 측정된 주파수 응답과 계산된 주파수 응답과의 차이는 전기 역학적 결합 계수가 큰 64° LiNbO<sub>3</sub>에서 발생하는 leaky SAW가 주파수에 따른 감쇠 상수 값을 정확히 분석하지 못하는 이유 때문으로 사료된다. 따라서 이와 같은 구조를 갖는 표면 탄성과 공진기 필터는 공정상의 문제점만 개선될 경우 통과 대역이 27MHz인 국내 cellular RF단 및 차후의 PCS에 이용할 수 있다.

연구 결과, 본 연구에서 제시한 식(30)에 적용시킨 결과 삽입 손실 및 통과 대역 등과 같은 특성이 제품 규격(spec)과 좋은 일치성을 보였다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 높은 전기 역학적 결합 계수를 갖고 있는 64° LiNbO<sub>3</sub>기판에 사진 식각 방법으로 빗살 무늬 모양의 선극을 형성시켰으며, 입·출력 IDT의 좌 우에는 방향성 손실을 최소화 하기 위해 반사기를 설치하였다. 예리한 저지대역과 낮은 측면파형(sidelobe)을 얻기 위하여 결합 모드 방법을 이용하였으며, 이중 트랙 구조이며 종결합 형태를 갖는 통과 대역이 넓고 삽입 손실(insertion loss)이 적은 표면 탄성과 공진기 필터를 제작하였다. 이때 기판을 진행하는 주된 음파의 형태는 leaky SAW이다. 제작된 필터는 중심 주파수가 329.3MHz이고, 삽입 손실은 1.28dB로서 특성이 매우 우수 하였다. 아울러 표면 탄성과 필터의 2.5dB에서의 통과 대역은 15MHz이상이고 통과 대역의 리플은 2.0dB이하이며, 중심 주파수와 통과 대역 폭의 비인 비대역은 2%정도로 측정되었다. 그리고 이중트랙을 이용하므로써  $f_0 - 39\text{MHz}$ 와  $f_0 - 100\text{MHz}$ 에서 50dB정도의 저지대역을 갖는 표면 탄성과 필터를 얻을 수 있었다고 생각된다.

따라서 결합 모드를 이용한 표면 탄성과 대역 통과 필터는 약간 큰 전기 역학적 결합 계수를 갖는 기판을 사용하면, pager 뿐만 아니라 GHz대역의 PCS 및 cellular의 대역 통과 필터에도 응용할 수 있다. 그리고 전기 역학적 계수가 큰 불질울 기판으로 하여 leaky SAW를 이용할 경우 광대역 표면 탄성과 공진자 필터의 제작 가능성을 보였다고 하겠다. 향후 미비점 등은 좀더 보완할 계획이다.

#### 참 고 문 헌

1. Y. Xu and P. M. Smith, "A COM Analysis of SAW Waveguide-Coupled Resonator Filters," IEEE Trans. Ultrasonics Symposium, pp. 31-34, 1993.

2. C. K. Campbell, "Longitudinal-Mode Leaky SAW Resonator Filters on 64° YX-Lithium Niobate," IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelec., Freq. Contr., vol. UFFC-42, pp. 883-888, 1995.

3. T. Thorvaldsson, B. P. Abbott, IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 43-47, 1990.

4. C. K. Campbell, P. M. Smith, P. J. Edmonson, "Aspects of Modeling the Frequency Response of a Two-Port Waveguide-Coupled SAW Resonator Filter," IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelec, Freq. Contr., vol. UFFC-39, pp. 768-773, 1992.

5. Y. Xu and P. M. Smith, "Modeling of Waveguide-Coupled SAW Resonators," IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelec., Freq. Contr., vol. UFFC-41, pp. 256-260, 1994.

6. T. Morita, Y. Watanabe, M. Tanaka and Y. Nakazawa, "Wideband Low Loss Double Mode SAW Filters," IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 95-104, 1992.

7. T. Uno and H. Jumonji, "Optimization of Quartz SAW Resonator Structure with Groove Gratings," IEEE Trans. On Sonics and Ultrasonics, vol. SU-30, pp. 299-310, 1982.

8. C. Campbell, Surface Acoustic Wave Device and Their Signal Processing Application, Academic Press, 1989.

9. T. Kogan, P. Romik, "SAW Bandpass Filters with Withdrawal Weighted Transducer," Ultrasonic Symposium, pp. 302-307, 1980.

#### ▲유 일 현(II Hyun You)

1979년 2월: 인하대학교 공과대학 응용물리학과(공학사)  
 1982년 8월: 인하대학교 대학원 응용물리학과(공학석사)  
 1991년 2월: 인하대학교 대학원 응용물리학과(공학박사)  
 1992년~현재: 새명대학교 물리학과 조교수

#### ▲권 회 두(Heedoo Kwon)

한국음향학회지 제14권 4호 참조