

이중 모드 결합에 의한 이동 통신 기기용 SAW 필터

正會員 鄭 榮 地* 正會員 陳 翼 洙* 正會員 黃 金 燦*

Double-Mode SAW Filter for Mobile
Communication SystemYoung Jee Chung*, Ik Soo Jin*, Keum Chan Whang* *Regular Members*

要 約

본 논문에서는 2개의 동일한 1-Port 형 공진기를 병렬로 근접배치시킨 이중모드 SAW 공진기의 설계를 위하여, 우선, 결합 모드이론에 의한 1-Port 형 공진기의 특성을 기초로하여, 도파로 모델을 적용한 이중모드 SAW 공진기의 특성을 분석하였으며, 이를 이용해서 중심 주파수가 150.15MHz이고 대역폭이 80KHz인 2-Pole 및 4-Pole 협대역 필터를 설계·제작 하였다. 이중모드 SAW 필터를 설계변수를 달리하여 여러번 제작·실험하여 실험치와 이론치를 비교함으로써, 제품 설계에 사용가능한 실험적 설계 특성을 얻었으며, 이동통신기기에서 사용될 수 있는 협대역 통과 필터를 구현하였다.

DMS 공진기를 구성한 압전 기관으로는 높은 주파수에서도 온도변화에 의한 주파수 이동 및 물성의 변화가 적은 ST-cut quartz(수정)를 선택하였으며, 필터의 제작은 정확한 전극구조를 얻기 위하여 고해상도 사진 식각법과 전극의 수직식각특성이 우수한 이온반응 식각법(Reactive Ion Etching)을 적용하였다.

ABSTRACT

In this paper, at first, the characteristics of double mode SAW (DMS) resonator are analysed by applying the waveguide model and coupled mode theory to 1-port resonator. The DMS resonators (2-pole), which are arranged in a close, parallel configuration of two identical 1-port resonators on a single plate, and 4-pole DMS filters are designed and fabricated at the center frequency of 150.15 MHz with 3-dB bandwidth of 80 KHz.

The empirical design characteristics are obtained from the comparison of experimental and theoretical values resulted from several fabrications, and the narrow bandpass filters are implemented on the basis of the above empirical results, which can be used to mobile communication systems. A ST-cut quartz substrate is selected for the stable temperature-frequency characteristics, and high resolution photolithography is applied to the fabrication of filter to get the fine electrode patterns.

*延世大學校 電氣工學科
Dept. of Electrical Engineering, Yonsei Univ.
論文番號 : 93-48

I. 서 론

탄성표면파(Surface Acoustic Wave : SAW) 필터는 소형화, 경량화에 유리하고, 제작이 간편하며, 삽입손실이 작고, 주파수 선택도가 높다는 등 그 고유의 장점으로인해 VHF / UHF 대역에서 각종 무선 통신 기기에 널리 이용되기 시작하고 있다.

탄성표면파 공진기는 Paging 시스템, 무선 전화기, 카폰등의 협대역 통과필터와 협대역 제거 필터, 주파수가 안정된 발진기등으로 이용가능하며, 그 종류에는 1-Port 형, 2-Port 형 및 2개의 동일한 SAW 공진기를 병렬로 근접 배치시켜, 공진기사이의 탄성 결합(Acoustic Coupling)을 이용한 이중모드(Double-Mode) 결합형 등이 있다.

탄성표면파 공진기에서는 IDT와 반사기 내부의 전극 부분과 자유표면파의 임피던스차이에의해 탄성표면파의 주기적인 반사 현상 및 전극의 질량부하효과(Mass loading effect)에 의한 섭동(Perturbation) 현상이 일어나게 되며, 이러한 현상은 공진주파수 이동과 위상 천이에 관계되므로 정확한 공진기의 해석과 설계를 위해서 결합모드 이론(Coupling Mode Theory)에 의해 반드시 고려되어야 한다.^{[1][2]} 또한 탄성표면파 전파속도는 IDT의 양끝단에 비해 속도가 작게 되고, 이로인한 경계조건에 의하여 SAW 도파로를 형성하게 되며, 탄성표면파의 전파방향에 대하여 종방향과 횡방향에는 다수의 공진 모드가 여기된다. 이러한 공진 모드를 기본 모드에서부터 N차 모드까지 이용하면 단일체 크리스탈 필터(Monolithic Crystal Filter : MCF)와 같은 원리로 대역통과 필터를 구현할 수 있다.^[3]

본 논문에서는 2개의 동일한 1-Port 형 공진기를 병렬로 근접배치시킨 이중모드 SAW 공진기의 설계를 위하여, 압전 기관으로 온도변화에 의한 주파수 이동 및 물성의 변화가 적은 ST-cut quartz(수정)를 선택하였으며 우선, 결합모드이론에 의한 1-Port 형 공진기의 특성을 기초로하여, 도파로 모델을 적용한 이중모드 SAW 공진기의 특성을 분석하였고, 이를 이용해서 이동무선 통신기기에서 사용가능한, 중심 주파수가 150.15MHz이고 대역폭이 80KHz인 2-Pole 및 4-Pole 협대역 필터를 설계·제작 하였다. 필터의 제작은 정확한 전극구조를 얻기 위하여 고해상도(0.1 μm) 사진 식각법과 전극의 수직식각특성이 우수한 이온반응 식각법(Reactive Ion Etching)을 적용하였다.

또한, 이중모드 SAW 필터의 설계변수를 달리하여 여러번 제작·실험하여 실험치와 이론치를 비교함으로써, 등가회로 모델을 이용한 Computer Simulation에 의하여 원하는 사용의 DMS 협대역 필터를 설계·제작하는 방안을 제시하였으며, 그 정확성을 실험적으로 증명하였다.

II. 1-Port 형 공진기

그림 1과 같은 구조를 갖고 있는 공진기를 1-Port 형 공진기라 한다. 압전기판 표면에 위치한 IDT에 탄성표면파(Surface Acoustic Wave : SAW)를 여기시키면, SAW는 양쪽으로 전달되며, 양쪽에 위치한 격자형 반사기에서 반사되어 정재파를 형성하게 되고, 그 에너지는 양쪽에 있는 반사기 사이에 갇히게 된다. 이때 그림 1에 나타나 있는 것처럼 1차, 2차, 3차 및 그림 1에는 나타나 있지 않지만, 고차의 변위 분포를 갖는 공진모드가 생기게 된다.^[3]

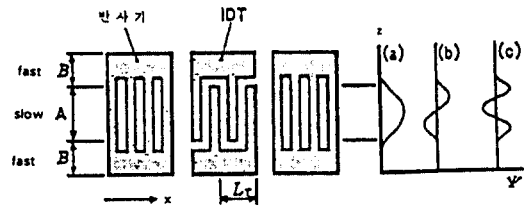


그림 1. 1-Port 형 SAW 공진기의 전극구성 및 변위분포
Fig 1. Electrode configuration and displacement distributions of 1-Port SAW resonator

한편, IDT의 전극교차폭부분(A 부분)에서는, 전극에 의한 주기적인 파동의 반사와 변위의 섭동현상으로부터인해 탄성표면파의 전파속도가 전극의 양끝부분에 비하여 느리게 된다. 즉, 전극교차부(Slow Region)와 전극교차가 없는 전극 양단(Fast Region)에서의 탄성 표면파의 전파속도 차이에 의하여 도파로(Waveguide)가 형성한 것으로 볼 수 있으며, 이를 도파로에 의하여 해석하면 공진기의 전극표차폭 부분의 부분인 A의 길이에 따라서 공진점이 변하게 된다.

Slow Region 과 Fast Region에서의 속도를 각각 V_s , V_f 라 하고, 자유표면의 속도를 V_0 라 할때, ST-cut Quartz 기판위에 Al 전극을 입혔을 경우, 결합모드 이론으로 해석하면 다음과 같이 주어진다.^[4]

$$V_s/V_0=1-K_1-K_2-K_2/(0.7q^2+0.56q+0.43) \quad (1)$$

$$V_f/V_0=1-k^2/2 \quad (2)$$

여기서

$$q = \pi K_2 N$$

$$K_1 = 4.33 \times 10^{-4} + 4.23 \times 10^{-2} (H/L_T) + 7.9 (H/L_T)^2$$

$$K_2 = 6.25 \times 10^{-4} + 0.121 (H/L_T)$$

H : 전극두께

L_T : IDT 전극주기

N : IDT 쌍수

k^2 : 전기 기계 결합상수 (ST-cut quartz 경우 0.0017)

결합모드 이론에 의하여 얻어진 공진 특성은 공진기의 전극교차폭 부분의 길이(A)가 무한장으로 가정하고 분석한 것으로, 유한장의 전극교차폭 길이에 따른 공진 주파수의 변이는 스칼라 포텐셜 이론(Scalar Potential Theory)을 SAW 도파로 모델에 적용하면 얻을 수 있다.^[5]

그림 2는 IDT 쌍수 N 을 136, 정규화한 전극두께 H/L_T 을 0.0264 로 했을때, 150.055MHz 공진기에서 전극교차폭 길이에 따라 횡방향(SAW 전파방향과 수직인 방향)의 모드별로 변이되는 공진 주파수의 Dispersion 특성을 나타낸 것이다. f_n 은 각 공진모드의 공진 주파수이고, f_0 는 무한장의 전극교차폭을 갖는 공진기의 공진주파수이다.

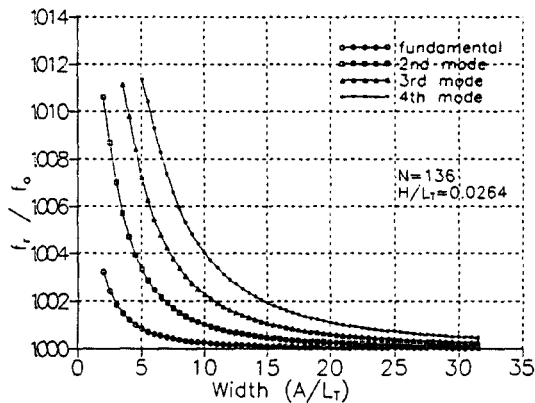


그림 2. 탄성 표면파 공진기의 이론적 Dispersion 특성
Fig 2. Theoretical dispersion curves of SAW resonators

Ⅲ. 이중 모드 공진기

Ⅲ-1 이중모드 공진기의 이론 및 해석

1-port 형 공진기 2개를 그림 3과 같이 단일 기관위에 병렬로 근접시켜 배치하게 되면, 공진기의 간격(G)이 충분히 작을경우 각 공진기에서의 횡방향의 모드간에 탄성결합(Acoustic Coupling)이 생기게 되어, 중앙의 대칭면을 중심으로 2 개의 공진모드(대칭모드와 반대칭 모드)가 여기된다.^{[3][5]}

그림 3 에서 전극교차폭을 W, 두 공진기 사이의 간격을 G(Coupling Gap), 전극교차가 없는 전극 양단 폭을 B 라하면, 전체를 [I]~[V] 의 5개 영역으로 나눌 수 있다. 단자 T_1-T_1' 과 단자 T_2-T_2' 을 동위상(in phase)으로 구동시키면, [II] 영역과 [IV] 영역에서의 변위 방향이 반대 방향이되어 반대칭 모드(Antisymmetric Mode)가 여기되고, 역위상(in reverse phase)으로 구동시키면, [II] 영역과 [IV] 영역에서의 변위 방향이 같은 방향이되어 대칭 모드(Symmetric Mode)가 여기된다.

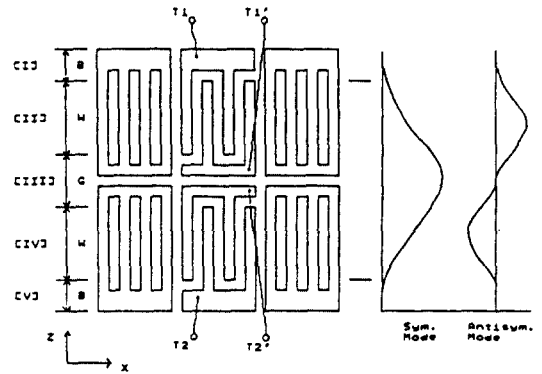


그림 3. 이중 모드 공진기의 전극 구성 및 변위분포
Fig 3. Electrode configuration and displacement distributions of double mode SAW resonator

그림 3의 DMS 공진기는 그림 4와 같은 도파로 모델로 생각할 수 있으며, 도파로의 해석에는 스칼라 포텐셜(Scalar Potential)이 매우 유용하다.^{[3][4][5]}

그러면 Slow Region 과 Fast Region 의 스칼라 포텐셜 ψ_s, ψ_f 는 각각 다음의 파동 방정식을 만족해야 한다.

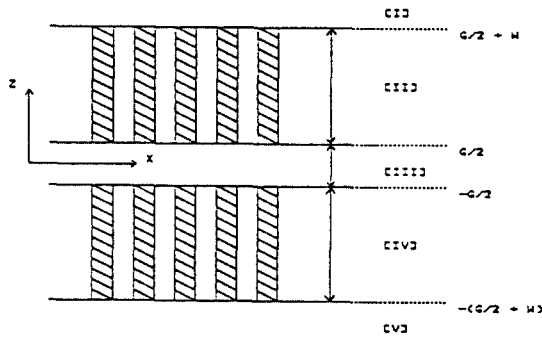


그림 4. DMS 공진기의 도파로 모델
Fig 4. Waveguide model of DMS resonator

$$\frac{\partial^2 \psi_s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi_s}{\partial z^2} + \frac{\omega^2 \psi_s}{V_s^2} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 \psi_f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi_f}{\partial z^2} + \frac{\omega^2 \psi_f}{V_f^2} = 0 \quad (4)$$

상기 파동방정식으로 부터 두 공진 모드의 해를 구하기 위하여 특성해를 가정하면 다음과 같다.

$$\psi_I = D_1 \sinh(k_f' z) + D_2 \cosh(k_f' z) \quad (5)$$

$$\psi_{II} = D_3 \sin(k_s' z) + D_4 \cos(k_s' z) \quad (6)$$

$$\psi_{III} = D_5 \sinh(k_f' z) + D_6 \cosh(k_f' z) \quad (7)$$

$$\psi_{IV} = D_7 \sin(k_s' z) + D_8 \cos(k_s' z) \quad (8)$$

$$\psi_V = D_9 \sinh(k_f' z) + D_{10} \cosh(k_f' z) \quad (9)$$

여기서

$$k_f'^2 = \beta^2 - k_f^2, \quad k_s'^2 = k_s^2 - \beta^2$$

$$k_s = \frac{\omega}{V_s}, \quad k_f = \frac{\omega}{V_f}, \quad \beta = \frac{\omega}{V}$$

그림 4에서 z 방향으로 볼때, 각 경계면에서 변위가 연속이어야하므로, 다음과 같은 경계조건을 세울 수 있다.

$$\psi_I = \psi_{II}, \quad \frac{\partial \psi_I}{\partial z} = \frac{\partial \psi_{II}}{\partial z} : z = \frac{G}{2} + W \quad (10)$$

$$\psi_{II} = \psi_{III}, \quad \frac{\partial \psi_{II}}{\partial z} = \frac{\partial \psi_{III}}{\partial z} : z = \frac{G}{2} \quad (11)$$

식(10)과 식(11)을 이용하여 식(5)~식(9)를 풀면, 다음과 같은 특성 방정식을 얻을 수 있다.

$$2\pi p B_s \frac{W}{L_T} = \tan^{-1} \left[\frac{B_f}{B_s} \right] + \tan^{-1} \left\{ \left[\frac{B_f}{B_s} \right] \tanh \left[\pi p B_f \frac{G}{L_T} \right] \right\} \quad (12)$$

$$2\pi p B_s \frac{W}{L_T} = \tan^{-1} \left[\frac{B_f}{B_s} \right] + \tan^{-1} \left\{ \left[\frac{B_f}{B_s} \right] \coth \left[\pi p B_f \frac{G}{L_T} \right] \right\} \quad (13)$$

$$\frac{\Delta f}{f_a} = \frac{f_a - f_s}{f_a} = \frac{D_a - D_s}{D_a} \quad (14)$$

여기서,

$$B_s = \left[\frac{1}{b_s^2} - \frac{1}{p^2} \right]^{1/2}, \quad B_f = \left[\frac{1}{p^2} - \frac{1}{b_s^2} \right]^{1/2} \quad (15)$$

$$p = \frac{V}{V_0}, \quad b_s = \frac{V_s}{V_0}, \quad b_f = \frac{V_f}{V_0} \quad (16)$$

$$f_s = \frac{V_0 D_s}{L_T}, \quad f_a = \frac{V_0 D_a}{L_T} \quad (17)$$

ψ_f, ψ_s : Fast Region 과 Slow Region에서의 스칼라 포텐셜

V : 도파로에서의 탄성표면파 속도

V_0 : 자유표면에서의 탄성표면파 속도

V_f, V_s : Fast Region 과 Slow Region에서의 탄성표면파 속도

f_s, f_a : 대칭모드와 반대칭모드의 공진 주파수

G : 두 공진기 사이의 간격,

L_T : IDT 전극 주기

ω : 공진 각주파수

$D_1 \sim D_{10}$: 상수

식(12)~식(14)에서 알 수 있듯이, 반대칭 모드의 공진 주파수는 대칭 모드의 공진 주파수보다 크며, 주파수 특성은 두 모드의 합으로 나타나므로, 탄성결합이 이루어진 이중모드는 일정한 대역폭을 갖는 필터의 특성을 가지고 있다. 이러한 2개의 공진 주파수를 이용하여 각 공진점을 대역폭으로 하는 협대역 필터를 구현할 수 있으며, DMS 필터는, 대칭 모드와 반대칭 모드의 공진주파수 차이가 대략적인 통과대역이 된다. 2개 공진모드의 주파수차 Δf 는 주로 전극교차폭 W 와 결합 간격 G와 밀접한 관계를 가지고 있다.

그림 5는 식(1), 식(2), 및 식(14)를 이용해서 얻은 그림으로 W, G와 2개 공진모드의 주파수차 Δf 의 상관 관계를 보여주고 있다. 그림 5에서 중심 주파수는

$f_0 = 150.055\text{MHz}$ 로 하고 IDT 주기 $L_T = 20.78(\mu\text{m})$, IDT 쌍수 $N = 136$, 반사기 전극 수(한쪽) $M = 300$, 그리고 정규화된 전극두께 $H/L_T = 0.0264$ 로 설계 하였을 경우의 이론적인 대역폭 비 $\Delta f/f_a$ 이다. 기판 으로는 ST-cut quartz 기판에 Al 을 입혀 제작하였 을 경우로 가정했다. 그림에 의하면, 정규화된 전극 교차폭 W/L_T 과 정규화된 결합 간격 G/L_T 이 감소 함에 따라 결합은 점점 강해지고 대역폭은 점점 늘어 남을 알 수 있다.

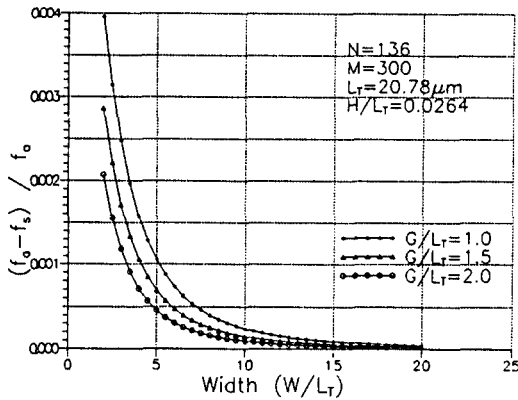


그림 5. 이중모드 공진기의 이론적인 대역폭비 Dispersion 특성

Fig 5. Theoretical bandwidth ratio dispersion curves of DMS resonators

DMS 필터는 MCF(Monolithic Crystal Filter)의 구조나 압전 세라믹의 두께진동 모드에 의한 필터 구조와 유사하다. 그러나 탄성 표면과 공진기에 의한 필터는 탄성표면파의 공진특성을 이용하므로, 압전 체의 구조적 두께에 의한 두께진동 모드를 이용한 MCF나 압전체 필터에 비하여 고주파수 대역 (~1GHz)에서의 활용이 가능하다.^[3]

III-2 이중모드 공진기의 등가회로

이중모드 공진기형 필터에서 두 공진모드가 공진 점과 대역폭은 앞서 계산된 Dispersion 특성에 의하여 알 수 있지만, 대역통과 필터의 전체적인 주파수 특성은 얻을 수 없다. 그러나 대역통과 필터의 경우 저지대역의 감쇄특성이나 통과대역의 침예도와 같은 주파수 특성을 이중모드 공진기형 필터를 등가회로

로 표현하고, 이 등가회로의 주파수 특성을 분석함으로써 얻을 수 있다. 이중 모드 공진기형 필터의 등가 회로 필터의 등가회로 모델은 그림 6과 같이 동작원 리가 유사한 MCF(Monolithic Crystal Filter)의 등 가회로 모델과 같지만, 등가회로의 각 소자값을 결정 하는 방법이 다르다.

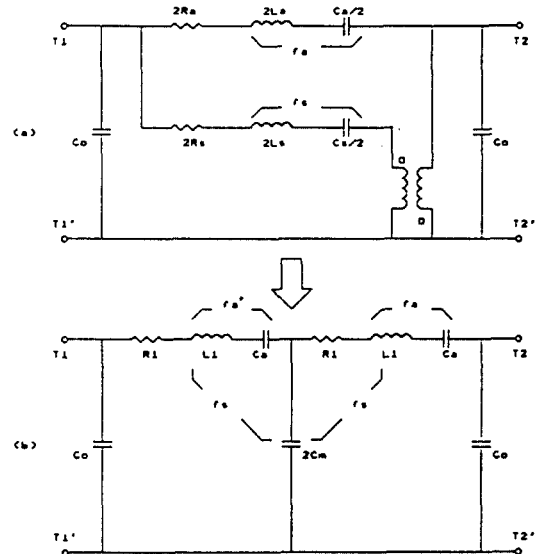


그림 6. (a)이중 모드 공진기의 동상 전극 등가회로 (b)(a)의 회로를 등가적으로 변환한 Ladder 회로

Fig 6. (a)Equivalent circuit of DMS resonator (b)Ladder circuit transformed equivalently from (a)

그림 6의 DMS 공진기 등가회로(a), (b)는 모두 공진점 부근에서 등가회로로, 1-Port형 공진기의 등 가회로 2 개와 두 공진기의 결합을 등가적으로 나타 내는 결합회로 부분으로 구성되어 있음을 알 수 있 다. f_s , R_s , L_s , C_s/f_a , R_a , L_a , C_a 는 각각 대칭/반대칭 모드에서, 공진 주파수, 등가 저항, 등가 인덕턴스, 등가 커패시턴스이며, C_0 는 각 공진기의 병렬 커패 시턴스이다. 그림 6(b)의 랜덤 회로에서,

$$L_1 = L_s \approx L_a \quad (18)$$

$$R_1 = R_s \approx R_a \quad (19)$$

$$1/C_m = 1/C_s - 1/C_a \quad (20)$$

이다. C_m 은 결합에 의해 발생하는 등가 정전 용량으 로 결합 커패시턴스(coupling capacitance) 라고 한 다.

DMS 공진기 등가회로의 각 소자값은 전극의 단위 정전용량, 1-Port형 SAW 공진기의 입력 어드미턴스, 1-Port형 SAW 공진기의 공진·반공진 관계, 식(17), 및 식(20)을 이용하면 구할 수 있다.

결합 모드이론에 의한 1-Port형 공진기의 입력 어드미턴스 Y의 유도과정은 참고문헌^[1]에 상세히 나와 있으며, 다시 쓰면 식(21)과 같다.

$$Y = G_a + j(\omega NC_s + B_a) \quad (21)$$

여기서,

$$G_a = G_n \left| \frac{(1+P)(1-\gamma')}{e_o + Pe_o^{-1} - \gamma'(e_o^{-1} + Pe_o)} \right|^2 \frac{1+\gamma'}{1-\gamma'} \frac{\sin^2 \phi}{\phi^2} \quad (22)$$

$$B_a = \frac{G_n}{\phi} \frac{1+P}{1-P} \left\{ \left| \frac{(1+P)(1-\gamma')}{e_o + Pe_o^{-1} - \gamma'(e_o^{-1} + Pe_o)} \right|^2 \frac{\sin 2\phi}{2\phi} - 1 \right\} \quad (23)$$

식(21)~식(23)에서 설명하지 않은 기호의 의미는 지면관계상 참고문헌^[1]으로 대체한다. 따라서, 그림 6(b)의 래어회로에서 등가저항 R₁ 값은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$R_1 = \frac{\text{Re}(Y)}{|Y|^2} \quad (24)$$

1-Port형 SAW 공진기에서, 양쪽에 있는 반사기 사이의 캐비티(Cavity)내에서 일어나는 공진 주파수

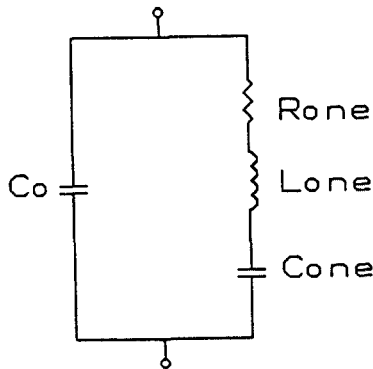


그림 7. 1-Port 형 SAW 공진기의 등가회로

Fig 7. Equivalent circuit of 1-port SAW resonator

와 반사기에서 최대로 반사를 시키는 주파수가 같다고 가정하면, 1-Port형 공진기의 등가회로는 그림 7과 같이 구성된다.^[5]

그림 7의 1-Port형 공진기의 등가회로에서, 직렬 공진 주파수(series resonant frequency) f_{series}와 병렬 공진 주파수(parallel resonant frequency) f_{parallel}은 다음 식으로 주어진다.

$$f_{\text{series}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{\text{one}}C_{\text{one}}}} \quad (25)$$

$$f_{\text{parallel}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{\text{one}} \frac{C_o C_{\text{one}}}{C_o + C_{\text{one}}}}} \quad (26)$$

식(21)로 부터, 임피던스가 최소(|Z|_{min})가 되는 주파수 f_{min}과 임피던스가 최대(|Z|_{max})가 되는 주파수 f_{max}를 구할 수가 있으며, 선택도 Q가 클 경우에는 다음의 근사화가 가능하다.

$$f_{\text{series}} \approx f_{\text{min}} \quad (27)$$

$$f_{\text{parallel}} \approx f_{\text{max}} \quad (28)$$

식(26)에서 병렬 커패시턴스 C_o는, IDT 쌍수 N과 공진기의 전극교차폭 W, 그리고 기판의 유전 상수(Dielectric Constant)등에 의해서 결정되며, C_s를 m 당 정전 용량이라 하면, 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_o = NC_s W \quad (29)$$

여기서, C_s = 48 × 10⁻¹² (F/m)

따라서, 식(25)와 식(26)을 연립으로 풀면 그림 6(b)의 래더 회로에서 등가 리액턴스 L₁(=L_{one}) 값을 구할 수 있게 된다. 그리고, 등가 커패시턴스 C_s, C_a 및 C_m은 식(17)로부터 대칭 모드의 공진 주파수 f_s와 반대칭 모드의 공진 주파수 f_a를 알고 있으므로, 다음 식에서 구할 수 있다.

$$C_s = \frac{1}{(2\pi f_s)^2 L_1} \quad (30)$$

$$C_a = \frac{1}{(2\pi f_a)^2 L_1} \quad (31)$$

따라서, 결합 커패시턴스 C_m은 식(20)으로부터

연을 수 있게된다. 이로써, 그림 6(b)의 래더회로에서 각 소자의 등가 임피던스는 모두 결정할 수 있으며, 2-pole 대역 통과 필터를 구성할 수 있게 된다. 보다 우수한 감쇄특성을 얻기 위해서는 이중 모드 공진기형 필터를 여러개 결합하여 필터의 대역특성을 첨예하게 하고 저지대역의 감쇄특성을 크게 할 수 있는데, 만일 m 개의 DMS 공진기를 전기적으로 종속연결하면, 2m-pole의 대역 통과 필터를 구성할 수 있다. 다수의 이중 모드 필터가 전기적으로 결합된 협대역 필터의 주파수 특성은 단일 이중 모드 필터의 등가회로 모델을 직렬 연결하여 그 주파수 특성을 해석하여야 한다.

IV. 협대역 필터의 설계 및 제작

IV-1 1-Port형 공진기의 설계 및 제작

이중 모드 필터는 2개의 동일한 1-Port형 공진기를 이용하므로, 이중 모드 필터를 설계하기 위해서는 먼저 원하는 주파수에서 공진특성을 갖는 1-Port형 공진기를 설계하여야 한다. 1-Port 공진기의 설계변수에 의해 DMS 공진기의 가로축의 설계변수들, 즉, IDT의 주기(L_T), IDT의 쌍수(N), 반사기의 주기(L_R), 반사기 전극의 갯수(M), 및 IDT와 반사기사이의 거리(l_n)등이 결정되기 때문이다.

표 1. 1-Port 형 공진기의 설계 제원

Table 1. Design parameters of 1-Port resonator

설 계 변 수	설 계 변 수 값
중심 주파수(f_0)	150.055 (MHz)
IDT의 주기(L_T)	20.78 (μm)
IDT의 쌍수(N)	136 쌍
Reflector의 주기(L_R)	20.88 (μm)
Reflector의 수(M)	300 개
공진기의 전극폭(W/L_T)	9.0
IDT-Reflector 거리 (l_n)	11.50 (μm)
전극의 두께 (H/L_T)	0.0264 (5500 Å)
기판 재질	ST-cut Quartz

본 논문에서는 중심 주파수가 150.15MHz이고 공진점에 의한 대역폭이 80KHz인 협대역 필터를 설계하기 위하여, 먼저, 결합 모드이론에 의한 무한장 잔극에서의 공진 주파수를 150.055MHz가 되도록 1-Port 공

진기를 설계하였으며 그 설계제원은 표 1과 같다.

그림 8은 표 1의 제원으로 제작된 Photo Mask의 도면이며, 그림 9에 삽입손실(Insertion Loss) 과 위상특성에 대해 Simulation 및 측정된 결과를 나타냈다.

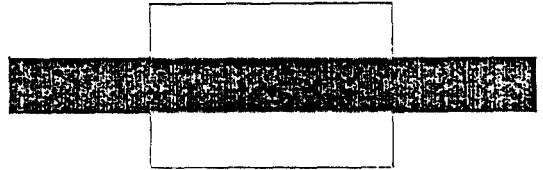
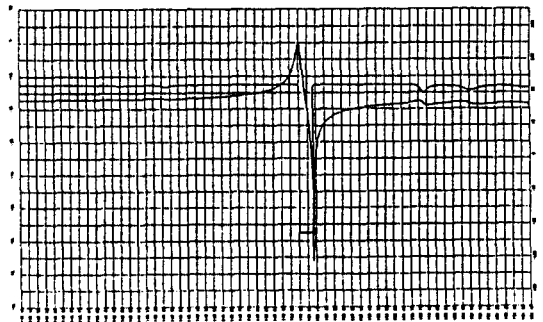
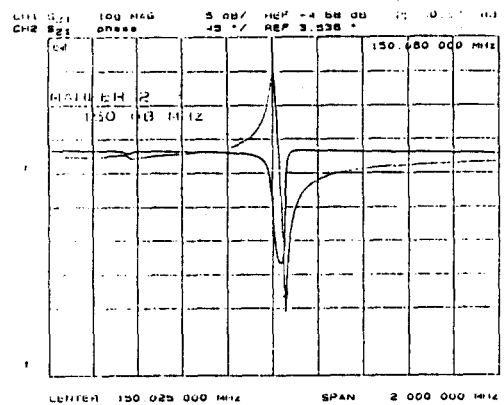


그림 8. 1-Port 형 공진기의 Photo Mask
Fig 8. Photo Mask of 1-Port resonator



(a)이론값



(b)측정값

그림 9. 1-Port 공진기의 삽입손실과 위상특성
Fig 9. Insertion loss and phase of 1-Port resonator

IV-2 이중 모드 공진기형 필터의 설계 및 제작

설계 목표로 주어진 중심주파수 150.15MHz, 통과대역의 대역폭이 80KHz인 협대역 필터를 설계하기 위해서는 앞 절에서 설계한 1-Port형 공진기를 탄성결합이 생기도록 병렬로 근접배치하여야 하는데, 대역폭에 영향을 미치는 공진기의 결합간격(G)와 전극폭(W)는 그림 5로부터 얻을 수 있다.

그러나 앞서 계산된 공진기의 공진점에 대한 Dispersion 특성과 이중모드 공진기의 대역폭에 대한 Dispersion 특성은 이론적으로 계산된 것이므로 실험적인 것과는 다소 차이가 있다. 그 이유는, 실험공정성의 오차도 기인하겠지만, 더 큰 이유는 이론적인 Dispersion 특성의 계산은 압전체가 이상적인 압전 결합 특성을 갖는 것으로 가정하였고, 도파로 모델에 의한 해석시 Fast Region과 Slow Region을 수치적으로 구분함에 따라 Scalar Potential의 여진특성을 무시하였으며, 각 영역내에서 전파속도를 근사화 했기 때문이다.

표 2. 이중모드 공진기의 설계 제원

Table 2 Design parameters of DMS resonator

설 계 변 수	설 계 I	설 계 II
공진기의 중심 주파수(f_0)	149.841 (MHz)	150.055 (MHz)
공진기의 전극폭(W/L_T)	5, 9, 13 (3종류)	9.0
공진기간 탄성 결합 간격(G/L_T)	1.5, 2.0 (2종류)	1.5
대칭 모드 공진 주파수(f_s)	149.975 (MHz)	150.185 (MHz)
반대칭 모드 공진 주파수(f_a)	150.037 (MHz)	150.250 (MHz)
두 공진 모드의 주파수차(Δf)	62 (KHz)	65 (KHz)
전극의 두께(H/L_T)	0.0264 (5500 Å)	0.0264 (5500 Å)
기판재질	ST-cut Quartz	ST-cut Quartz

따라서 이중모드 공진기형 필터의 대역폭에 대한 이론적 계산값과 실험값의 차이를 분석하고 이를 실험적으로 보정하기 위한 설계 데이터를 얻기위하여, 표 2의 설계 I 과 같이, 전극교차폭(W)과 결합 간격(G)을 변화시킨 6 종류의 DMS 필터를 제작하여 실험적인 Dispersion 을 얻었으며, 이를 3장에서 계산된 이론적인 Dispersion 특성과 비교하였다. 그림 10은 그 결과이다. 그림 10을 보면 이론적으로 계산된 Dispersion 특성과 실험적으로 얻어진 Dispersion 특성간에 다소 차이가 있으나 전체적인 변화의 경향이 일치함을 알 수 있다.

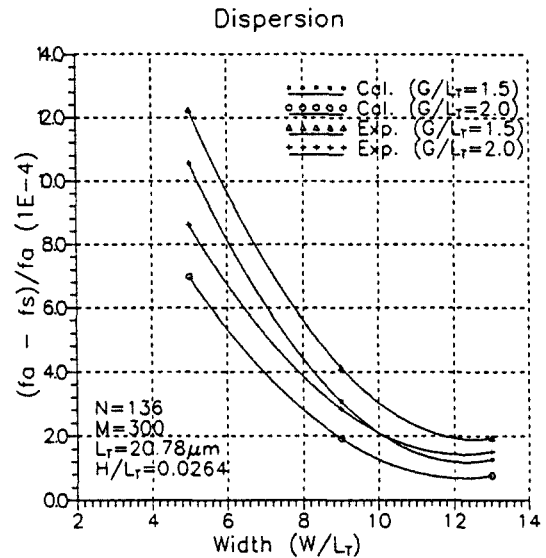


그림 10. 이중모드 공진기의 이론적, 실험적인 대역폭비 Dispersion 특성

Fig 10. Theoretical & experimental bandwidth ratio dispersion curves of DMS resonators

표 2에서 설계 II는 설계 목표로 주어진 중심주파수 150.15MHz, 통과대역의 대역폭이 80KHz인 협대역 필터를 설계하기 위해서, 그림 10과 같이 수정된 Dispersion 특성을 기준으로 하여 설정된 설계변수들이 다.

그림 11은 설계 II의 제원으로 제작된 2-Pole DMS 필터의 Photo Mask 의 도면이다. 그림 12는 Simulation 한 2-Pole DMS 공진기의 대칭모드와 반대칭모드의 공진특성으로, 좌측 Peak 가 대칭모드, 우측 Peak 가 반대칭 모드이다. 그림 13은 Simulation 및 측정된 2-Pole DMS 필터의 주파수 특성이 다.

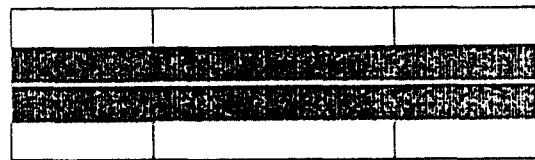


그림 11. 2-Pole DMS 필터의 Photo Mask

Fig 11. Photo Mask of 2-Pole DMS filter

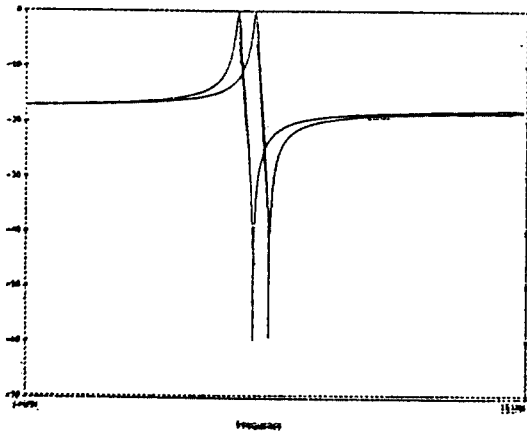


그림 12. 2-Pole DMS 공진기의 대칭모드와 반대칭모드의 공진특성

Fig 12. Resonances of symmetric mode & antisymmetric mode of 2-Pole DMS resonator

그리고, 저지대역의 감쇄도와 통과대역의 침예도가 우수한 대역통과 특성을 얻기 위해서 DMS 필터 2개를 전기적으로 2단 연결한 4-Pole의 DMS 대역통과 필터를 구성하였다. 그림 14는 제작한 4-Pole DMS 필터의 Photo Mask 이며, 그림 15에 Simulation 및 측정된 4-Pole DMS 필터의 주파수 특성을 나타냈다.

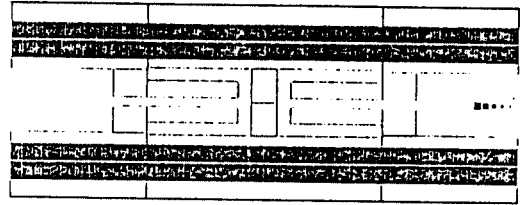
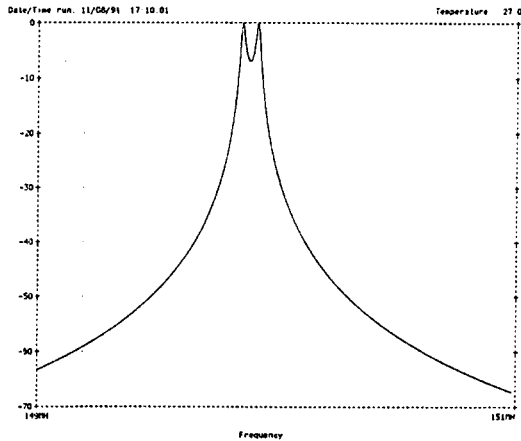
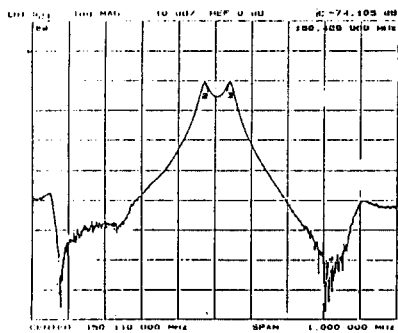


그림 14. 4-Pole DMS 필터의 Photo Mask
Fig 14. Photo Mask of 4-Pole DMS filter



(a) 이론값



(b) 측정값

그림 13. 2-Pole DMS 필터의 주파수특성
Fig 13. Frequency response of 2-Pole DMS resonator

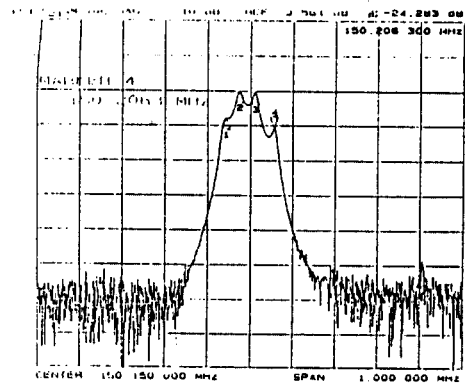
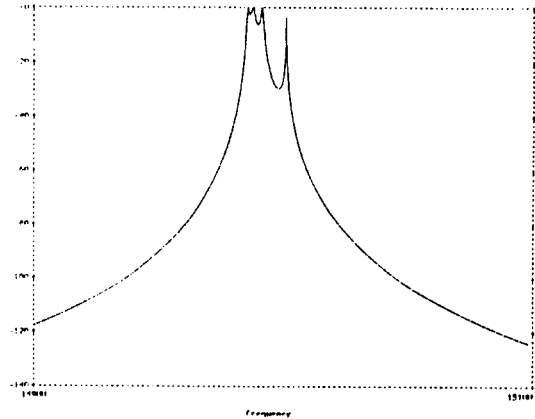


그림 15. 4-Pole DMS 필터의 주파수특성
Fig 15. Frequency response of 4-pole DMS resonator

IV-3. 이중 모드 공진기형 필터의 매칭(Matching)

전절에서 Simulation 및 측정된 DMS 필터는 모두 입출력단의 종단 임피던스를 50 Ω 으로 하였으며, 통과대역이 형성되어 있으나 Peak 가 나타남을 볼 수 있다. 이것을 필터로 사용하기 위해서는 통과대역의 특성이 평활화도록 입출력단을 매칭(Matching)하여야 한다.

매칭회로는 최대 전력전달(Maximum Power Transfer) 정리를 적용하면 구성할 수 있으며, 그림 16과 같이 L-C 공진회로로 구성된다.

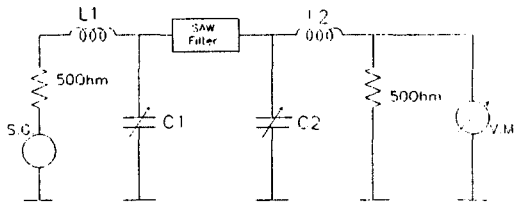


그림 16. DMS 필터의 통과대역 평활회로
Fig 16. Matching circuit of DMS filter

그림 6의 매칭 회로를 이용하여 4-Pole DMS 필터의 통과대역을 평활화한 결과가 그림 17에 나타나 있다. 그림에서 알 수 있듯이 DMS 필터의 주파수 특성은 매칭에 의해 통과 대역의 특성이 개선되며 삽입손실도 작아지는 것을 알 수 있다.

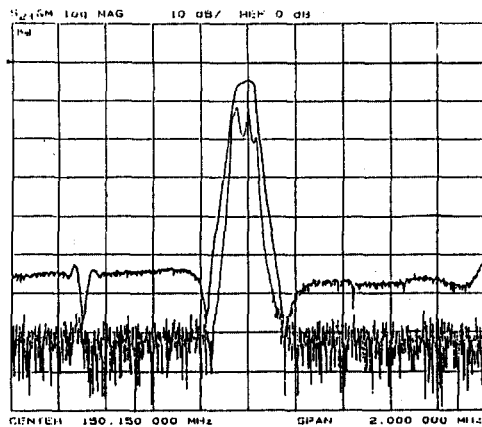


그림 17. 매칭을 했을 때 4-Pole DMS 필터의 주파수 특성
Fig 17. Frequency response of Matched 4-pole DMS resonator

또한 제작된 4-Pole DMS 필터의 중심 주파수가 150.15MHz, 3-dB 대역폭이 79.964KHz, 선택도 Q 값이 1877.7로, 설계목표와 일치함을 알 수 있다.

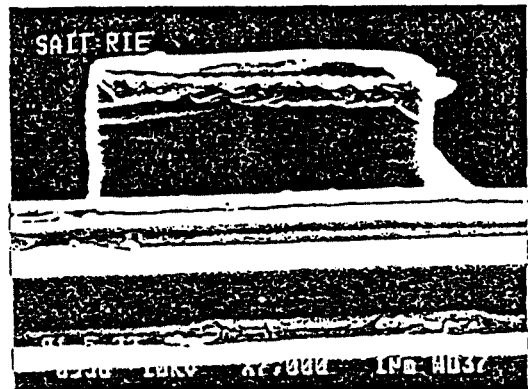
IV-4 전극 제작

전극제작을 위해서는 정밀도가 높은 Photo Mask 를 제작하여야 하며, 이는 반도체 제작에 사용되는 것과 동일한 Mask로 E /Beam Lithography에 의해 정밀도 0.1μm로 제작하여 사용 하였다.

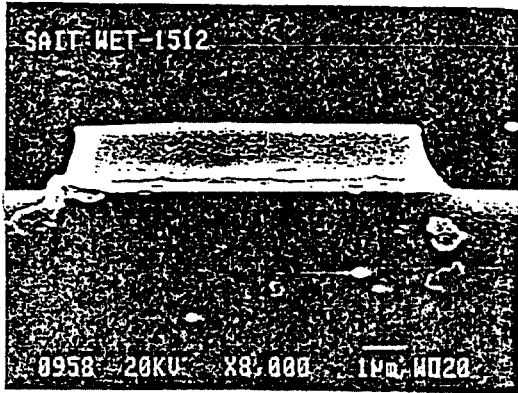
이중 모드 공진기형 필터의 전극 제작은 반도체 제조 공정의 사진식각 방법(Photoithoghaphy)에 의하여 제작하는데, 반사기의 수직 식각 상태가 공진기의 공진특성에 크게 영향을 미치므로 수직식각이 우수하도록 하여야 한다.

특히, 화학 약품에 의한 습식식각(Wet Etching) 방법을 사용하면 식각시 수평방향으로도 식각이 동시에 일어나 전극의 구조가 사다리형으로 제작되므로, 습식식각 방법으로는 양호한 공진 특성을 얻기가 어렵다. 그러므로 수평 방향의 식각 없이 수직으로 식각된 전극형상을 얻기 위해서, 건식식각 방법(Dry Etching)인 이온반응 식각장치(Reactive Ion Etcher)를 이용하여 우수한 전극 형상을 얻었다.

이온반응 식각방법에 의해 제작된 전극과 습식 식각방법에 의해 제작된 전극의 형상을 그림 18에서 비교하였다.



(a) RIE 방법



(b) 습식 식각방법

그림 18. RIE 법과 습식 식각방법에 의한 전극형상 비교
Fig 18. The comparison of RIEtched & wet etched electrode pattern

V. 결과 고찰

이중 모드 공진기형 필터의 두 공진점간 대역폭에 대한 Dispersion 특성을 얻기 위하여 공진기 진극폭 (W)과 결합 간격(G)을 변화시킨 설계 I의 6종류 이중모드 필터를 제작하여 그 주파수 특성을 분석한 결과 실험적 Dispersion을 얻었으며, 3장에서 계산된 이론적 Dispersion 특성과 비교하였다.(그림10)

그림 10을 보면 이론적으로 계산된 Dispersion 특성과 실험적으로 얻어진 Dispersion 특성간에 다소 차이가 있으나 전체적인 변화의 경향이 일치함을 알 수 있다. 이 차이는 IV-2 절에서 언급했듯이, 실험 공정과정에서의 오차외에, 이론적인 가정에 의해 생기는 것으로, 설계 및 제작 현실상 불가피한 것으로 사료되므로 이를 보정하기위한 실험적 설계특성을 얻는데 초점을 맞추었다.

실험적인 Dispersion 특성에 대한 데이터를 얻는 것은 매우 중요하다. 왜냐하면 이론치와 실험치의 편차를 고려하여, 이중 모드 공진기형 필터를 설계할때 실제적인 설계자료로 활용할 수 있기 때문이다. 즉, 제작된 이중모드 필터의 특성과 설계특성간의 오차를 최소화하고 Computer Simulation에 의한 설계를 가능하도록 하기 위하여, 실험적으로 얻어진 Dispersion 특성을 기준으로 하여 이론적 Dispersion 특성을 편이시킨다면, 실험 제작하지 않은 공진기 진극폭

(W) 및 탄성결합 간격(G)에 대한 협대역 필터의 Dispersion 특성을 찾을 수 있고, 이로써 얻어진 수정된 Dispersion 특성에 의하여 원하는 사양의 공진기형 필터를 설계, 제작할 수가 있다.

표 2의 설계 II는 이와 같이 수정된 Dispersion 특성을 기준으로 하여 설계한 것인데, 설계목표는 중심 주파수 150.15MHz, 3-dB 대역폭 80KHz 이지만, 실제로 설계한 필터의 설계변수는 중심 주파수 150.055MHz 대역폭 65KHz 이며, 제작하면 그림 17에서 알 수 있듯이 설계목표와 정확히 일치함을 확인할 수 있었다.

따라서 본 논문의 결과는 이중모드 공진기형 협대역필터의 설계에 활용할 수 있을것으로 생각된다.

VI. 결 론

본 논문에서는 2개의 동일한 1-Port 형 공진기를 병렬로 근접배치시킨 이중모드 SAW 공진기의 설계를 위하여, 우선, 결합 모드이론에 의한 1-Port 형 공진기의 특성을 기초로하여, 도파로 모델을 적용한 이중모드 SAW 공진기의 특성을 분석하였으며, 이를 이용해서 중심주파수가 150.15MHz이고 대역폭이 80 KHz인 2-Pole 및 4-Pole 협대역 필터를 설계·제작하였다.

이중모드 SAW 필터의 설계변수를 달리하여 여러 번 제작·실험하여, 이론적 Dispersion 특성과 실험적 Dispersion 특성을 비교하여 수정된 Dispersion 특성에 의해 설계함으로써, 등가회로 모델을 이용한 Computer Simulation에 의하여 원하는 사양의 DMS 협대역 필터를 설계·제작하는 방안을 제시하였으며, 그 정확성을 실험적으로 증명하였다.

본 논문에서 서술한 등가회로에 의한 회로해석 방법과 실험적 설계특성은, 앞으로 이동 무선통신 시스템에서 사용하는 DMS 협대역 필터의 설계에 직접 적용할 수 있고, 대역특성을 개선하기 위한 종속연결 및 매칭이 가능하다는 결론을 얻었다.

앞으로 이 연구결과를 바탕으로한 통신용 필터의 고주파 설계방법과 주변회로를 포함한 설계방법의 연구가 필요하며, 이를 하나의 통합적 Simulation Package로 구성하는 것이 필요하다.

참 고 문 헌

1. Y. Koyamada, S. Yoshikawa, "Coupled mode

- analysis of a long IDT," Rev. Elec. Comm. Labs., NTT Public Corp., Vol. 27, 1979, pp. 432-444.
2. T.Uno and H. Jumonji, "Optimization of Quarz SAW Resonator Structure with Groove Gratings," IEEE Trans. on SU, Vol. SU-29, No. 6, Nov., 1982, pp.299-310.
 3. M.Tanaka, T.Morita, K.Ono and Y.Nakazawa, "Narrow Bandpass Filters using Double-Mode SAW Resonators on Quartz," Proc. of 38th Frequency Control Symp., 1984, pp.286-293.
 4. R.V.Schmidt and L.A. Coldren, "Thin Film Acoustic Surface Waveguides on Anisotropic Media," IEEE Trans. on SU, Vol. SU-22, No. 2, 1975, p.115.
 5. A.Yamada and H.Shimizu "Double Mode Filter by Elastically coupled SAW Resonators," Paper of the Technical Group on Ultrasonics, IECE, Japan, US77-33, 1977, pp.29-34.
 6. R.L.Rosenberg and L.A.Coldren, "Scattering analysis and Design of SAW Resonator Filters," IEEE Trans. Sonics Ultrason., Vol. su-26, May, 1979, pp.205-229.
 7. E.J.Staples, "UHF Surface Wave Resonators," Proc 28th Annual Symposium on Frequency Control, U.S. Army Electronics Command, Ft Monmouth, N.J., MAY, 1974, pp.280-285.
 8. J.S.Schoenwald, W.R. Shreve, and R.C. Rosenfeld "Surface Acoustic Wave Resonator Development," Proc. 29th Annual Symposium on Frequency Control. U.S. Army Electric's Command, Ft. Monmouth, N.J., May, 1975, 150-157.
 9. E.J.Staples and R.C.Smythe, "SAW Resonators and Coupled Resonator Filters," 30th Frequency Control Symp. Proc. 1976, p322.
 10. Y. Ebata and H.Satoh, "Current Applications and Future Trends for SAW in Asia," IEEE Ultra. Symp. Proc., 1988, pp.195-202.
 11. Y. Koyamada, S. Yoshikawa, F. Ishihara, "One-Port SAW Resonator using Long IDTs and their Application to Narrow Band Filters," Rev.Elec.Comm.Labs., Nippon Telegraph and Telephone Public Corp., vol.27, 445-458, 1979.
 12. E.J.Staples and R.C.Smythe, "Surface Acoustic Wave Resonator on ST-quartz," IEEE Ultra. Symp. Proc., 1975, pp.307-310.

鄭榮地(Young Jee Chung)

正會員

1959년 10월 22일생

1982년 2월 : 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1984년 2월 : 연세대학교 전기공학과 대학원 졸업(공학석사)

1993년 2월 : 연세대학교 전기공학과 대학원 졸업(공학박사)

1984년 1월~1987년 7월 : 금성계전(주) 연구소

1987년 8월~1993년 2월 : 삼성종합기술원

1993년 3월~현재 : 한국전자통신연구소 재직중

※주관심분야 : 이동무선통신, Spread Spectrum 통신, 탄성표면파 소자및 그응용분야



陳翼洙(Ik Soo Jin) 正會員

1964년 2월 5일생

1987년 2월 : 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1989년 2월 : 연세대학교 전기공학과 대학원 졸업(공학석사)

1990년 9월~현재 : 연세대학교 전기공학과 박사과정

※주관심분야 : 이동무선통신, Spread Spectrum 통신, 채널 코딩 탄성표면파 소자및 그응용분야



黃金燦(Keum Chan Whang) 正會員

1944년 7월 18일생

1967년 2월 : 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1975년 6월 : 미국 Polytechnique Institute of New York 대학원(공학석사)

1979년 6월 : 미국 Polytechnique Institute of New York 대학원(공학박사)

1979년 6월 ~ 1980년 9월 : 大田機械倉 선임연구원

1980년 9월 ~ 현재 : 延世大學校 電氣工學科 教授