

## SiN<sub>x</sub> 유전 보호막이 이동통신용 고주파 SAW 필터의 특성에 미치는 영향

이용의 · 이재빈 · 김형준 · 김영진\* · 양형국\*\* · 박종철\*\*

서울대학교 공과대학 무기재료공학과

\*경기대학교 공과대학 재료공학과

\*\*전자부품종합기술연구소 센서기기연구팀

### The Effects of SiN<sub>x</sub> Dielectric Thin Films on SAW Properties of the High Frequency SAW Filter for Cellular Communication System

Yong Eui Lee, Jae Bin Lee, Hyeong Joon Kim, Young Jin Kim\*,  
Hyung Kook Yang\*\*, Jong Chul Park\*\*

Dept. of Inorg. Mat. and Eng., Seoul National University, Seoul 151-742

\*Dept of Mat. Sci. Eng. Kyonggi University, Suwon 440-760

\*\*Korea Electronics Technology Institute, Masan-Ri, Jin Wi-Myon Pyung Taek, Kyung Gi-Do, 451-860

초 록 이동통신용 고주파 표면탄성파(SAW) 필터를 36° Y-X LiTaO<sub>3</sub> 압전기판과 IIDT 전극 구조를 이용하여 제작하였다. 제작한 SAW 필터의 중심주파수는 주파수 응답 특성 측정 결과 설계한 중심주파수보다 낮아짐이 관찰되었다. 이러한 단점을 보완하고 미세한 주파수의 조절을 가능하게 하기 위해 SiN<sub>x</sub> 유전박막을 보호막으로 증착하여 이에 따른 주파수 특성 변화를 관찰하였다. SAW파장에 대한 SiN<sub>x</sub> 유전 박막의 두께비를 증가시킬수록 SAW 진행 속도가 증가하여, 제조한 필터의 중심 주파수를 높게 이동시킬 수 있었다. 그러나 유전박막의 두께가 증가할수록 필터의 삽입손실이 증가하는 문제점이 존재하였다.

**Abstract** High frequency SAW filters for cellular communications were fabricated by metallizing 36° Y-X LiTaO<sub>3</sub> piezoelectric substrate with IIDT type electrodes. It was found that the center frequency of the filter was lowered than as designed. In order to overcome such a drawback and enable a fine tuning of its center frequency, dielectric SiN<sub>x</sub> thin films were deposited on LiTaO<sub>3</sub> substrate by PECVD as passivation layer and then frequency responses were also characterized. As a result, the center frequency of the filter could be shifted to a higher frequency with increasing the thickness of SiN<sub>x</sub> film, because SAW velocity increased with increasing the ratio of the thickness of dielectric thin film to wavelength. The insertion loss of the filter, however, became larger with increasing the thickness of SiN<sub>x</sub> film.

### 1. 서 론

표면탄성파(Surface Acoustic Wave : SAW) 필터는 기존의 세라믹 필터 방식에 비해서 소형경량, 무조정화, 고신뢰성으로 인해 그 응용이 확대되고 있는 통신 부품 중의 하나이다. 기존의 SAW 필터는 주로 TV, VCR 등의 영상기기의 IF(Intermediate Frequency) 필터로서 많이 사용되어 왔으나, 최근 정보 통신 산업의 비약적인 발전에 힘입어 그 응용이 점점

고주파 필터 범위로 확대되고 있다. 더욱이 휴대용 전화기의 소형, 경량화를 실현하기 위해 회로의 LSI화, 저 소비 전력 디바이스 개발, 전지의 소형화 및 고성능화등과 함께 SAW 필터와 같은 소요 전자 부품의 소형화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 이동통신용 고주파 SAW 필터 제조의 경우 다소 높은 삽입손실과 전극의 내구성, sub-micron 영역의 전극 폭을 가져야 하는 전극 디자인과 공정 상의 문제점이 존재하므로 이

를 해결하기 위한 다양한 방법들이 모색되고 있다<sup>1)</sup>.

특히 TV용과 같은 비교적 저주파 필터인 경우 SAW 진행 속도 차가 수 % 정도되어도 중심주파수 조절에는 큰 문제가 되지 않지만 본 연구에서와 같이 고주파 대역에서는 상당히 심각한 문제점을 야기시킬 수 있다. 이러한 중심주파수의 이동은 사용한 AI IIDT의 두께에 따른 질량하중에 의한 효과를 고려한 디자인과 0.1~0.01 $\mu$ m에 달하는 전극 폭 조절 공정 기술의 확립<sup>2)</sup>이나, 이후에는 언급하는 바와 같이 보호막을 코팅해야함으로써 보완할 수 있음이 알려져 있다<sup>3)</sup>.

유전박막을 SAW필터의 보호막으로 응용 시에는 외부 환경에 대한 보호막으로서의 기능뿐만 아니라, 유전박막의 두께 변화에 의해서 압전체 내에서 형성되는 SAW의 속도를 변화시켜 필터의 중심주파수의 조절을 용이하게 하며, 적절한 유전박막을 선택하면 TCD (Temperature Coefficient of Delay)를 줄일 수 있기 때문에 필터의 열적 안정성을 향상시킬 수 있는 가능성을 가지고 있다<sup>4-6)</sup>.

본 실험에서는 저 삽입손실용 SAW필터를 제조하기 위해서 IIDT(Interdigitated Interdigital Transducer) 형태의 전극 구조를 사용하여 SAW 전달 속도가 4178m/sec으로 알려진 36° Y-X LiTaO<sub>3</sub>를 압전기판으로 이동통신용 고주파 SAW 필터를 제조 하고자 하였다. 또한 Si공정에 있어서 금속간의 절연체, 보호막, 확산 공정의 마스크, 능동 소자의 캐패시터 등의 소자에 사용되고 있는 SiN<sub>x</sub> 유전박막<sup>7)</sup>을 고주파용 SAW필터의 보호막으로서 PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)법으로 증착하였으며, 이때 제조한 유전박막이 필터의 특성에 미치는 영향을 고찰하였다.

## II. 실험 방법

### 1. IIDT의 제조

UHF/VHF 대역에서 사용하는 일반적인 표면탄성과 필터는 하나의 입력 IDT와 하나의 출력 IDT로 구성되어 있는 것이 일반적이다. 이러한 필터의 삽입손실은 각기 용도에 따라 다르나 보통 20~30dB의 영역에 있다. 그러나 이동통신용 고주파 SAW필터의 경우에는

이러한 높은 삽입손실을 가진 소자로는 사용이 불가능하며, 따라서 삽입손실을 감소시켜야 하는 것이 고주파 SAW필터의 제조에 있어서 가장 큰 문제점 중의 하나이다. 현재 전극 디자인이 비교적 쉬우며, 공정과 impedance matching이 용이한 이유로 공진자형 SAW필터와 IIDT 전극구조를 이용한 저 삽입손실용 SAW 필터의 제조에 대한 연구가 주로 행해지고 있다. 이중에서 IIDT를 이용한 SAW 필터의 제조는 최근에 Lewis<sup>8)</sup>에 의해서 시도된 이후로 가장 각광받는 저손실용 SAW 필터의 한 분야가 되었다. IIDT 구조는 기존의 양방향 SAW 필터에서 필연적으로 발생하였던 6dB의 양방향 손실을 감소시키기 위해 입, 출력 IDT의 수를 증가시킨 것으로 IIDT 전극구조의 양방향 손실은 다음과 같이 주어진다<sup>9)</sup>.

$$L_b = 10 \log \frac{(N+1)}{(N-1)} \dots\dots\dots(1)$$

여기서 L<sub>b</sub>는 양방향 손실, (N+1)/2는 입력 IDT의 개수, (N-1)/2는 출력 IDT의 개수이다. 식 (1)에서 보듯이 IDT의 개수가 많을수록 L<sub>b</sub>를 감소시킬 수 있으나, IDT가 너무 많아지면 필터의 크기가 커지는 단점이 있으므로 이를 적절히 보완하여야 한다.

본 실험에서는 저삽입손실용 SAW 필터를 구현하고자 그림 1과 같은 IIDT 방식의 전극 구조를 채택한 SAW 필터를 제조하였다. 이때 IDT 전극의 폭은 기관의 SAW 전달속도와 목표한 필터의 중심주파수 836.5MHz를 이용하여 아래와 같이 계산하였다.

$$\lambda = \frac{v}{f_0} = \frac{4178 \text{m/sec}}{836.5 \text{MHz}} \approx 5 \mu\text{m} \dots\dots\dots(2)$$

$$p = \frac{\lambda}{4} = 1.25 \mu\text{m} \dots\dots\dots(3)$$

여기서,  $\lambda$ 는 SAW의 파장(제조한 IDT의 주

Table 1. Spec. of IIDT Electrode

Number of input IDT	7
Number of output IDT	6
Wavelength, $\lambda(\mu\text{m})$	5
Aperture, W( $\mu\text{m})$	77
Metallization ratio	0.5
Number of reflectors(pairs)	31

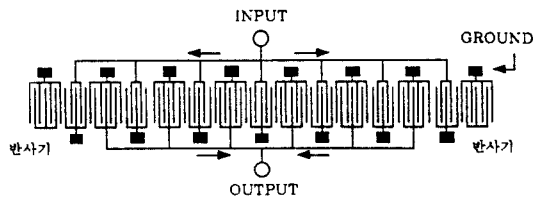


Fig. 1. Electrode configuration of IDT

기),  $v$ 는 SAW 속도,  $f_0$ 은 중심주파수,  $p$ 는 전극의 간격을 나타낸다. 또한 IIDT 설계시 탄성과 진동을 필터 내로 집중시켜 저지대역의 감쇠능을 높이기 위해 각 IDT내의 전극 개수를 중심에서 바깥으로 갈수록 점점 줄어 들게 설계하였다. 이러한 구조는 apodization weighting시 생기는 회절 손실이나 withdraw-al weighting시 불연속부에서 생기는 이상응답

Table 2. Deposition Condition and Properties of SiN<sub>x</sub> Thin Films

Perparation Conditions		SiN <sub>x</sub> Film Properties	
SiH <sub>4</sub> /NH <sub>3</sub>	4.2/3.65 SCCM	Growth Rate	205 Å/min
Substrate Temperature	100°C	Thickness	400-3000 Å
rf Power	110W	Refractive Index	1.85
Pressure	0.42 Torr		

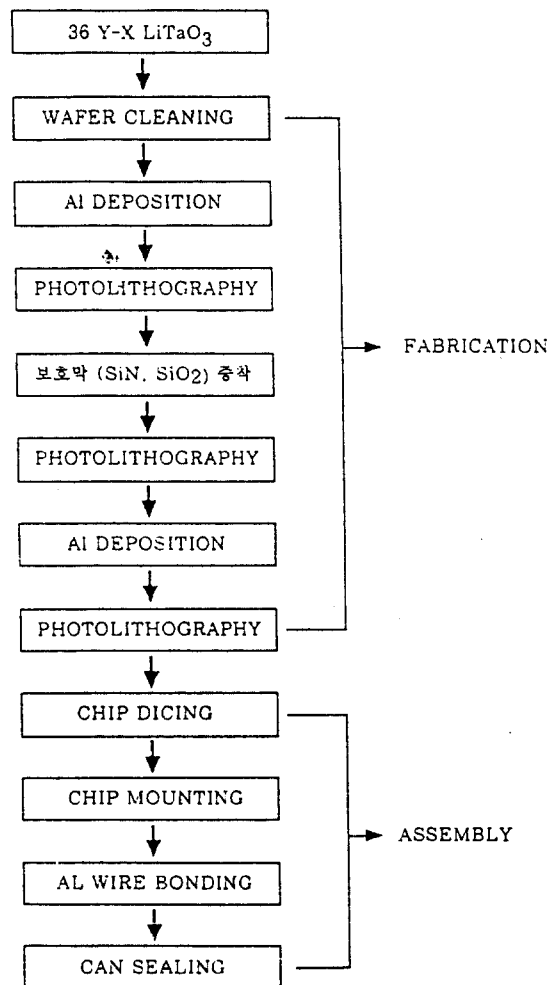


Fig. 2. Flow chart of SAW filter fabrication

을 피할 수 있다<sup>10)</sup>. 그리고 필터의 양단에는 반사에 의한 이상응답을 방지하기 위해 전극 수 31쌍의 반사기를 설치하였다. Al 전극을 d.c. magnetron sputtering법으로 두께 1200 Å으로 36° Y-X LiTaO<sub>3</sub> 압전기판( $\phi=3"$ , 일본 삼화부품(주)) 위에 증착하였으며, 이를 KTI사의 Al 전용 ETCH-II로 상온에서 습식에 침하였다. 표 1은 제작한 IIDT의 사양을 나타낸 것이다. 마스크의 PG(Pattern Generation)는 SUN Workstation을 사용하였으며, Du Pont Korea(주)에서 5인치 크기의 mask를 Cr down right reading 방식으로 Al IDT 패턴용, 유전박막용, Al pad용으로 3set 제작하였다.

2. SiN<sub>x</sub>유전박막의 증착

Cellular phone용 고주파 SAW 필터의 중심 주파수 조절을 용이하게 하기 위하여 유전박막을 PECVD법으로 Al IDT/LiTaO<sub>3</sub> 구조의 SAW 필터 위에 증착하였다. 표 2는 유전박막 증착 시의 공정조건과 증착한 박막의 물성을 나타낸 것이다.

유전보호막의 에칭은 RIE(RIE-80, Plasma Tech)법을 이용하였으며, 이때 반응가스로는 SF<sub>6</sub>를 사용하였다.

SAW 필터 제조의 전체 제조 공정 흐름도를 그림 2에 나타내었다. 이렇게 제조한 고주파용 SAW 필터의 표면형상을 SEM으로 관찰하였으며, can type capsuling을 한 뒤에 주

파수특성을 network analyzer 8510C와 s-parameter set 8517A를 이용해 측정하였다. 이때 50Ω으로 full 2-port calibration을 한 후 측정하였다.

### III. 결과 및 고찰

36° Y-X LiTaO<sub>3</sub> 압전기판을 사용하여 IDT의 전극구조를 갖는 저손실용 SAW 필터를 제작하였다. 그림 3은 이때 제조한 SAW 필터의 SEM(Scanning Electron Micrograph) 사진이다. 사진에서 보듯이 최적조건만 확립되면 용액 에칭에 의해서도 각 IDT의 핑거 전극이 잘 에칭됨을 알 수 있다. 제조한 SAW 필터의 주파수 응답 특성을 측정한 결과를 그림 4에 나타내었다. 이때 중심주파수는

는 주피크에서 첫번째 null이 형성되는 지점의 중간값을 취하였다. 그림에서 보는 바와 같이 삽입손실은 5.3dB, 중심주파수는 825.5MHz로 설계시의 목표 중심주파수 836.5MHz보다 약 11MHz 아래로 중심주파수가 이동되었다. 이론적으로는 SAW의 전달속도  $v=f \cdot \lambda$ 이므로 측정한 중심주파수와 IDT의 파장 5μm를 대입하면 4127.5m/sec의 속도가 구해져 제조한 필터에서의 SAW 진행속도는 원래의 기판에 비해서 약 1.2% 감소하였음을 알 수 있다.

일반적으로 SAW 전달속도의 변화는 다음과 같은 식에 의해서 결정된다<sup>(1)</sup>.

$$\frac{dv}{v} = \frac{dv}{v} \Big|_n + \frac{dv}{v} \Big|_m + \frac{dv}{v} \Big|_s, \dots \dots \dots (4)$$

여기서 첫번째 항은 압전효과에 의해 존재하는 표면 전기장의 단락, 두번째 항은 질량하중효과(mass loading effect), 세번째 항은 표면파가 진행하는 영역의 강화효과(stiffening effect)를 나타내고 있다. 첫번째 항과 두번째 항은 SAW 전달속도를 감소시키는 결과를 나타내며, 세번째 항은 증가시키는 결과를 나타낸다. 본 실험의 경우에 표면파 진행속도의 감소는 식 4의 첫번째 항과 두번째 항이 동시에 기여하기 때문으로 추정된다. 우선적으로 본 연구에서 설계한 IIDT 전극 형태는 필터 대부분의 영역이 Al 전극으로 덮여 있어 질량하중효과에 의해 전달속도가 감소할 뿐만 아니라, 사용한 36° Y-X LiTaO<sub>3</sub> 압전기판의 높은 기계결합계수(K<sup>2</sup>~5-8%)로 인하여 표면에 존재하는 전극은 압전기판의 내부에 진행되는 SAW 포텐셜을 단락시키는 효과를 초래함으로 이 역시 전달속도를 감소시키는 역할을 하는 것이다.

또한 3dB 통과대역은 약 23.2MHz이며, 통과대역 피크와 첫번째 sidelobe의 차는 약 27dB였다. 그러나 결과에서 알 수 있듯이 통과대역 내의 리플이 다소 심함을 관찰할 수 있다. 이러한 리플의 형성은 주로 주로 e-m (electromagnetic) feedthrough와 TTI(Triple Transit Interference)에 의해서 형성되는 것으로 알려져 있다<sup>(2)</sup>. 또한 time domain에서 측정한 결과에 의해 본 연구에서 제조한 필터의 경우 e-m feedthrough보다 TTI에 의한 영향이 더욱 큼을 알 수 있었다. 이러한 통과대역

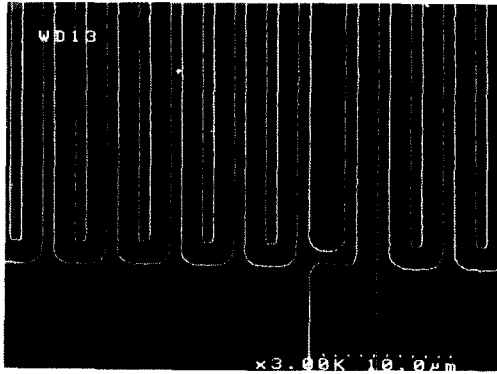


Fig. 3. Scanning Electron Micrographs of SAW filter without passivation layer

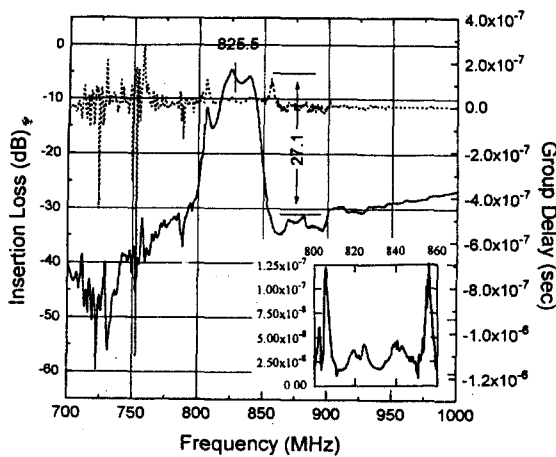


Fig. 4. Frequency response of SAW filter without passivation layer

내의 리플은 군지연(group delay)이 일정치 않음으로써 야기되는 결과로 필터의 통과대역 내에서의 특성에 악영향을 미치는 요인으로 작용하게 된다. 따라서 앞으로 이러한 통과대역 내에서의 리플을 감소할 수 있는 전극 디자인이 연구되어야 하겠다.

고주파 SAW 필터의 중심주파수 이동을 위해서 SiN<sub>x</sub> 유전박막을 보호막으로 400~3000 Å 두께로 증착하였으며, 이때의 파장에 대한 SiN<sub>x</sub> 박막의 두께비에 따른 중심 주파수 편이량을 그림 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 SiN<sub>x</sub> 박막의 파장에 대한 두께비가 증가할수록 중심주파수가 증가함을 알 수 있으며, h/λ가 0.04~0.06의 영역에서 편이폭이 다소 완만해지는 경향을 보인다.

우선 중심주파수 증가의 이유는 다음과 같다. 일반적으로 표면탄성파는 매질이 등방성인 경우는 주파수의 변화에 관계없이 일정한 전달속도를 가지는데 반하여 적층구조를 가진 매질을 통하여 이동할 경우에는 주파수에 따라서 상속도가 변화하며, 이때 형성되는 파 또한 무수히 많은 것으로 알려져 있다. 표면

탄성파가 매질을 진행하여 이동할 경우 파의 속도는 다음과 같은 두 식에 의해서 계산될 수 있다<sup>13)</sup>.

$$\rho \frac{\partial^2 u_j}{\partial t^2} - c_{ijkl} \frac{\partial^2 u_j}{\partial x_i \partial x_l} - e_{kij} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x_i \partial x_k} = 0 \dots\dots\dots(5)$$

$$e_{kij} \frac{\partial^2 u_k}{\partial x_i \partial x_k} - \epsilon_{ikl} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x_l \partial x_k} = 0 \dots\dots\dots(6)$$

여기서 ρ는 SAW가 진행하는 매질의 밀도, u 원자의 이동거리, c<sub>ijkl</sub>는 매질의 탄성계수, e<sub>ijkl</sub>는 압전계수, x는 전달 방향, ψ는 형성된 SAW의 potential, ε은 유전상수이다. 이때 i, j, k, l=1, 2, 3이다. 식(5)는 탄성파의 운동방정식이며, 식(6)은 Maxwell방정식이다. (5), (6)의 식에 각각의 물질에 따른 물질 상수와 전극 형성에 따른 경계조건을 대입하여 각각의 적층구조에 따른 기관과 막에서의 탄성파의 속도와 에너지를 알 수 있게 된다. 일반적으로 적층구조에서 진행되는 SAW의 상속도(phase velocity)는 속도가 빠른 기관의 Rayleigh파 속도와 속도가 느린 적층막의 Rayleigh파 사이의 값을 가지며, 또한 적층막의 두께가 증가할수록 파의 속도는 느리게 된다. 이렇게 기관의 파 전달 속도보다 느린 적층막으로 이루어진 경우에 이 적층막은 기관에 대해 하중 효과/loading effect)를 주며, 파의 전달속도가 느린 기관 위에 빠른 전달속도를 가진 막이 적층될 경우에는 막의 두께가 증가할수록 파의 속도는 증가하게 되며, 이때 적층된 층은 기관에 강화 효과(stiffening effect)를 준다. 이와 같은 맥락에서 생각해 보면 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>의 경우 SAW의 진행속도가 약 5000m/sec<sup>14)</sup>로서 4178m/sec의 전달속도를 가지는 36° Y-X LiTaO<sub>3</sub> 기관에 적층될 경우 기관에 강화 효과를 준 것으로 생각되어진다. SiN<sub>x</sub>를 증착하여 중심주파수의 증가를 보고한 결과는 김윤기<sup>4)</sup>등이 SiN<sub>x</sub>/ZnO/GaAs 구조로 최근에 보고한 바 있으며, 이광렬<sup>5)</sup>은 128° Y-X LiNbO<sub>3</sub> 기관 위에 SiN<sub>x</sub>를 증착하여 중심주파수 이동을 보고하였다.

그림 6은 파장에 대한 유전박막의 두께 변화에 따른 필터의 삽입손실의 변화를 나타낸 것이다. 증착한 SiN<sub>x</sub> 박막의 두께가 두꺼워질수록 삽입손실이 점점 증가함을 알 수 있다. SiN<sub>x</sub>를 증착하지 않은 필터의 경우에는 삽입손실이 약 5.3dB로 우수한 삽입손실 특성을

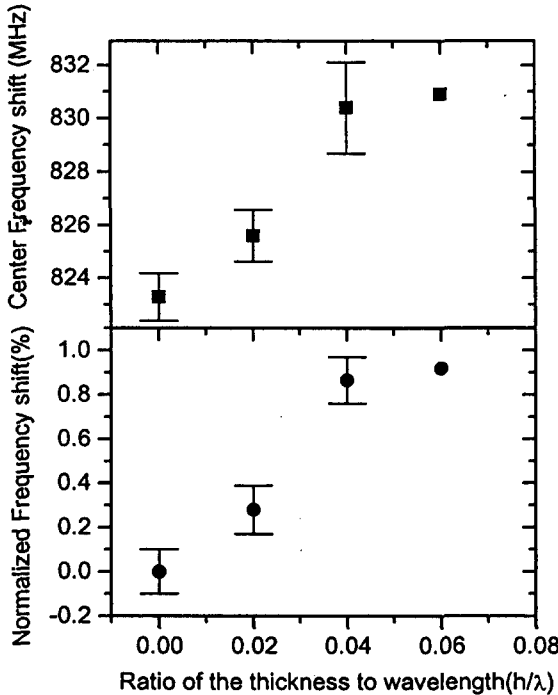


Fig. 5. Center frequency shift of the filters with the ratio of SiN<sub>x</sub> thickness to wavelength

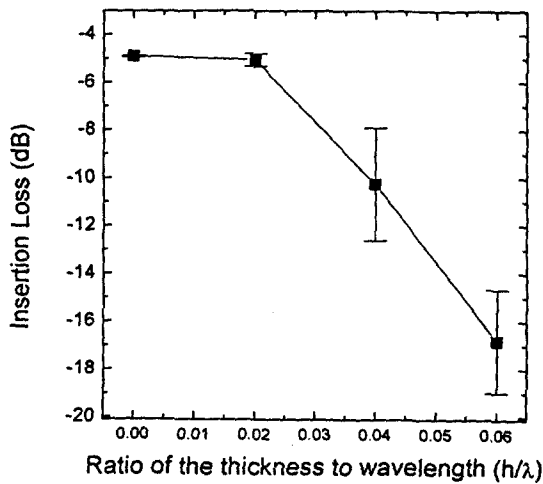


Fig. 6. Variation of insertion loss of the filters with the ratio of SiN<sub>x</sub> thickness to wavelength

가지고 있으나 2000 Å 이상의 유전 막을 증착시킨 필터에서는 삽입손실이 10dB이상으로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 증착되는 유전 막이 두꺼워질수록 박막 내부에 존재하는 여러종류의 결함들이 증가하여 이것들에 의해서 SAW의 진행손실의 증가에 따른 삽입손실이 증가하는 것으로 추정된다.

#### IV. 결 론

Cellular phone용 고주파 SAW 필터의 제조에 있어서 중심주파수의 조절을 위해 SiN<sub>x</sub>의 유전박막을 보호막으로 적층시켜서 필터의 주파수 특성에 미치는 영향을 고찰하였다. 36° Y-X LiTaO<sub>3</sub> 단결정 압전 기판 위에 Al IIDT 전극 방식의 필터를 제조하였다. 이때 압전 기판에 손상을 주지 않는 100°C의 기판 온도에서 SiN<sub>x</sub> 유전박막을 증착하였으며, 굴절률은 약 1.85였다.

유전보호막이 없는 경우에는 중심주파수가 825.5MHz로 이론 값보다 약 1.2%의 중심주파수 이동이 관찰되었으며, 이는 주로 Al IIDT에 의한 mass loading과 SAW 포텐셜에 의한 단락효과라고 생각되어진다. SiN<sub>x</sub>를 보호막으로 적층한 경우에는 강화 효과로 인하여 중심주파수가 파장에 대한 두께의 비가 증가할수록 증가하는 경향을 보이는데 400~3000 Å 두께의 변화에 대해 약 1%의 중심주

파수 증가가 가능하였다. 그러나 SiN<sub>x</sub> 유전박막의 두께 증가에 따라 삽입손실이 증가하는 문제점이 발생하였으므로 이의 개선이 요구된다.

#### 감사의 글

본 연구는 1994년도 전자부품종합기술연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.(KETI-RD-94015)

#### V. 참고 문헌

1. K. Yamanouchi, *Proc. Int. Symp. SAW Devices for Mobile Comm.*, pp. 123, 1992.
2. J. Yamada and A. Yuhara, *Proc. Int. Symp. SAW Devices for Mobile Comm.*, pp. 148, 1992.
3. K. Yamanouchi, T. Meguro, Y. Wagatsuma, and H. Satoch, *IEEE Ultrasonics Symp. Proc.*, pp. 195, 1989.
4. Y.K. Kim and W. Hunt, *J. Appl. Phys.*, vol. 75, no. 11, pp. 7299, 1994.
5. K.R. Lee, *Investigation of Silicon Nitride Films by PECVD and Applications to SAW Devices*, Ph. D. dissertation, Univ. of Central Florida, Orlando, Florida, 1992.
6. C. Cambon, J. Lassale, J.M. Saurel and J. Attal, *IEEE Ultrasonics Symp. Proc.*, pp. 364, 1981.
7. A.C. Aadams, "Silicon Nitride and Other Insulator Films" in *Pasma Deposited Thin Films*, edited by J. Mort and F. Jansen, CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 129, 1986.
8. M. Lewis, *IEEE ultrasonics Symp. Proc.*, pp. 12, 1982.
9. J. Koike, K. Shimoe, and H. Iekei, *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 32, pt. 1, no. 5B, pp. 2337-2340, 1993.
10. Y. Satoh, O. Ikata, T. Matsuda, T. Miyashita, and Y. Fujiwara, *T. IEE Japan*, vol. 111-C, no. 9, pp. 396, 1991.
11. C. Campell, *Surface Acoustic Wave Devices and Their Singnal processing Applications*, Academic Press, San Diego, CA, pp. 105, 1989.

12. C. Campell, *Surface Acoustic Wave Devices and Their Signal Processing Applications*, Academic Press, San Diego, CA, pp.35, 1989.
13. G.W. Farrell, "Types and Properties of Surface Waes" in *Acoustic Surface Waves chap. 2* pp. 15 edited by A.A. Oliner, Springer-Verlag, New York, 1978.
14. F.S. Hickemell, *Proc. Int. Symp. SAW Devices for Mobile Comm.*, pp. 31, 1992