

다양한 IDT 금속막을 이용한 ZnO-SAW 필터의 제작 및 특성 분석

이명호, 이해정, 이진복, 박진석
한양대학교 전자전기제어계측 공학과

Fabrication and characterization of ZnO-based SAW filters using various IDT metals

Myung-Ho LEE, Hye-Jung LEE, Jin-Bock LEE, Jin-Seok PARK
Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University

Abstract - ZnO-based SAW(surface acoustic wave) filters are fabricated with the configuration of IDT/ZnO/SiO₂/Si(100) using various IDT materials such as Al, Cu/Ti, and Cu/Al. Their frequency response characteristics are measured and compared. The thickness of Al IDT is varied to examine the mass loading effect.

In addition, effects of thermal treatment and electrical stress on the frequency responses of the fabricated SAW filters are investigated.

1. 서 론

최근, 표면 탄성파(SAW) 필터는 휴대용 전자기기의 RF 회로에 널리 사용되고 있다. 표면 탄성파 필터는 입력 전기적 신호가 압전 기판 위에 IDT에 의해서 SAW로 변화되고 있다.^[1] 그러나, 순수 Al 전극을 사용할 경우에는 필터의 동작시 SAW에 의해서 반복적인 스트레스를 받게 되며, 이러한 스트레스가 Al 원자의 이동을 발생시키고, 이것이 공공(void)이나 hillrock을 발생시켜 SAW 필터의 동작을 악화시킨다고 보고되고 있다.^[2] 또한, Al 전극을 사용할 경우, 표면 탄성파 필터가 고주파수 대역에서 사용됨에 따라서, 좁은 선폭이 요구되고 있으므로 박막형 전극의 내전력성을 보장하기 어려운 단점을 가지고 있다.^[3] 이러한 IDT의 내전력성을 보완하기 위해 현재 Al-Cu, Al-Ti의 합금박막과 Al-Cu/Cu/Al-Cu과 같은 다층막의 전극에 대한 연구가 진행중에 있다.^{[4][5]} 그러나, 기존의 연구에서는 SAW 필터의 전극에 대한 연구가 단결정 압전기판에만 적용되었을 뿐, 박막형 SAW 필터에 적용한 예가 전무한 상태이다.

따라서, 본 연구에서는 ZnO 박막형 SAW 필터의 제작시 IDT 금속막으로써 Al에 비해서 내전력 특성이 우수하고 비저항이 작은 Cu를 사용하고자 하였다. 그러나, Cu는 ZnO와의 접착력이 좋지 않기 때문에 중간층으로 기존의 ZnO와 접착력이 우수한 Al과 접착력이 우수하면서도 기계적 특성이 우수하고 Cu에 비해 상대적으로 질량이 적은 Ti를 사용하였다.^[6] 따라서, 본 연구를 위해 IDT 금속막을 Al, Cu/Al, Cu/Ti으로 변화시켜 그 특성을 비교하였다. 한편, 금속막으로서 Cu를 사용하는 경우 예칭작업의 어려움이 있기 때문에, lift-off 공정을 사용하였다. 또한, mass loading 효과의 영향을 분석하기 위해 Al IDT의 두께 변화에 따른 SAW 필터의 특성을 분석하였다. 또, 이러한 ZnO 박막형 SAW 필터의 열처리와 전기적 스트레스에 의한 영향을 살펴보기 위해 열, 전기적 에너지를 소자에 인가한 후, 그 주파수 응답 특성의 변화를 살펴보았고, 이를 각각의

IDT 종류에 따라 적용하여 Al IDT의 경우와 비교, 분석하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

본 연구에서는 RF 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 SiO₂(5000Å)/Si(100)위에 높은 비저항과 우수한 배향 특성을 가진 ZnO 박막을 증착하였다. 또, SAW 필터의 제작을 위해 RF 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 IDT 금속막을 증착하였다. 제작한 ZnO SAW 필터의 구조를 그림1에 나타내었으며, IDT 금속막은 Al, Cu/Al, Cu/Ti을 사용하였다. 한편, SAW 필터의 IDT는 lift-off 공정에 의해서 제작되었으며, SAW 필터의 설계시 IDT 선폭은 2 μ m로 하였다.

우선, mass loading 효과를 관찰하기 위하여 Al IDT의 두께를 2000Å, 4000Å으로 변화시켜 제작하였다. 또 Cu/Ti, Cu/Al 등의 다층막 구조를 형성하면서 Ti와 Al의 효과를 감소시키기 위해서 이들의 두께를 Cu의 두께보다 상당히 얇게(300Å) 증착하였다. 이렇게 금속막의 변화에 따라 제작된 ZnO SAW 필터의 주파수 응답 특성을 비교하였다.

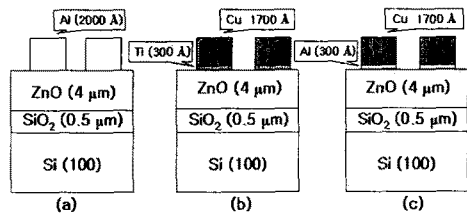


그림1 ZnO-based SAW 필터의 IDT 구조
(a) Al IDT (b) Cu/Ti IDT (c) Cu/Al IDT

또, IDT 금속막의 변화에 따른 ZnO 박막형 SAW 필터의 열처리에 의한 영향을 알아보기 위해 1 \times 10⁻⁶ mTorr의 진공 중에서 200°C로 24간 동안 후처리한 다음에 주파수 응답 특성의 변화를 살펴보았으며, 주파수 응답특성의 측정은 Network Analyzer(HP 8720 C)를 이용하였다. 또한, 전기적 스트레스의 영향을 알아보기 위해 0 ~ 100V의 전압을 인가하여 ZnO 박막의 절연파괴 전압을 구하고, 그보다 낮은 일정한 직류전압(30V)을 Test Fixture(Keithley 8002)에 설치된 SAW 필터에 High Current Source Measurement Unit(Keithley 238)로 인가하여 일정 시간마다 주파수 응답 특성의 변화를 SAW 필터의 삼입 손실에 관하여 정량적으로 관찰하였다.

2.2 결과 및 고찰

일반적으로 ZnO 박막은 모든 기판재료에 대하여 (002) 우선 배향 특성이 나타나는 것으로 알려져 있다. 그러나, Si(100)을 기판으로 사용한 경우에는 기판 배향의 영향으로 (002) 배향 특성을 나타내지 않았기 때문에^[7], 본 연구에서는 Si(100)위에 열산화막을 buffer 층으로 사용하여 ZnO 박막을 증착하였다. 본 연구에서 SAW 필터 제작에 사용된 ZnO 박막의 두께는 4 μ m로 하였으며 주요 증착조건을 그림2에 나타내었다.^[8]

또한, 그림2에 본 연구에서 SAW 필터의 제작을 위하여 상기한 조건에 의하여 증착된 ZnO 박막의 배향 특성을 나타내었다. 그림과 같이 SiO₂(5000Å)/Si(100) 위에 증착한 ZnO 박막의 경우 다른 방향의 배향 특성이 거의 나타나지 않고 (002) 우선 배향 특성이 나타남을 확인할 수 있었다. 또, ZnO 박막의 비저항 역시 $3.13 \times 10^{13} \Omega\text{cm}$ 의 높은 비저항 값을 갖기 때문에 SAW 필터의 응용에 적합한 물성을 갖고 있음을 확인하였다.^[8]

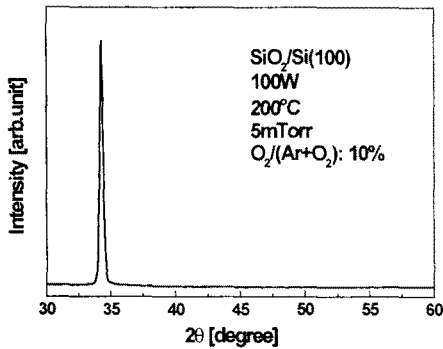


그림2 ZnO 박막의 증착조건과 XRD 패턴

일반적으로 mass loading 효과는 표면 탄성파가 진행하는 단결정 혹은 박막 위에 존재하게 되는 금속막의 두께가 이 탄성파에 미치는 영향에 대한 효과이다.^[9] 기존의 연구에서 이에 주파수 응답 특성상의 구체적인 영향이 제시되어 있지 않았기 때문에, 본 논문에서 실험으로 그 영향을 확인하고자 하였다. 그림3은 Al 금속막의 두께를 2000Å와 4000Å로 변화시켜 제작한 ZnO SAW 필터의 주파수 응답 특성을 나타낸 것이다. 그림3의 (a)와 (b)에 나타난 바와 같이 IDT의 두께가 4000Å인 ZnO SAW 필터의 경우가 2000Å인 경우보다 주파수 응답 특성이 저해되는 것을 확인할 수 있다. 즉, 두 가지 경우 모두 삽입손실은 -27dB로 비슷하지만 (b)의 저지대역이 (a)의 저지대역보다 상승하여 전체적인 저지대역폭이 감소한 것을 관찰할 수 있다. 또, Al 금속막이 두꺼워지면서 저지대역폭이 감소했을 뿐 아니라 신호도 많이 왜곡되어 나타났다. 이는 SAW 필터의 제작시 금속막의 두께 외에는 모든 조건이 동일하므로 본 실험 결과는 금속막의 mass loading이 SAW 필터의 주파수 응답 특성에 영향을 주었을 것으로 판단된다. 또한, 기존의 연구에서 금속막의 두께에 따라서 중심주파수가 감소한다는 mass loading 효과가 보고되었다.^[11] 본 연구에서도 금속막의 두께가 2배 증가한 (b)의 경우, 중심주파수가 (a)보다 낮은 것을 확인할 수 있었으며, 이는 그림4의 금속막의 변화에 따른 SAW 필터의 특성 변화에서 명백히 확인할 수 있었다.

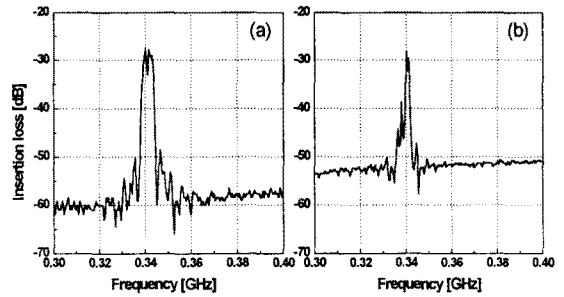


그림3 Al IDT 두께 변화에 따른 주파수 응답 특성 변화
(a) Al 2000Å (b) Al 4000Å

그림4(a), (c), (e)는 IDT 금속막의 변화에 따른 주파수 응답 특성을 나타낸 것이다. Cu는 Al보다 밀도가 높기 때문에 SAW 필터의 제작시 금속막의 변화가 mass loading 효과를 발생시킨다. 따라서, IDT 금속막으로 Cu를 사용할 경우, 그림3과 같이 중심주파수의 감소와 신호의 왜곡을 확인할 수 있었다. 또한, (a)와 (e)는 (c)의 경우에 비해서 SAW 필터의 주파수 응답 특성이 우수한 것을 볼 수 있었다. 이는 (a)와 (e)는 중간층이 Al인 경우이고, (c)는 Ti인 경우인데, 금속막의 증착시 Al과 ZnO와의 계면 상태가 Ti/ZnO와의 계면 상태보다 우수하였기 때문이라고 판단된다. 또한, 다음은 SAW 필터의 열처리의 영향을 알아보기 위해 세가지 서로 다른 종류의 IDT를 가진 SAW 필터에 대하여 다음과 같이, 1×10^{-6} Torr의 고진공 분위기에서 200°C로 24시간 동안 열처리를 한 후 주파수 응답 특성의 변화를 관찰한 것이다. 그림4(b), (d), (f)는 열처리 후의 특성 변화를 나타낸 것이다. (b)와 (e)의 경우 열처리 후에도 주파수 응답 특성의 변화가 거의 없었기 때문에 열처리에 의한 ZnO 박막과 Al/ZnO와의 계면에서의 효과는 거의 없는 것으로 간주하였다. 그러나, (d)의 경우에는 열처리로 인해서 제작된 SAW 필터의 삽입 손실 및 저지대역폭이 향상되는 것을 볼 수 있었다. 이는 열처리로 인한 Cu/Ti와 ZnO 계면 특성의 향상과 Cu/Ti의 비저항의 향상^[5] 때문이라고 판단된다. 따라서, Cu/Ti를 IDT 금속막으로 사용할 경우는 소자 특성의 향상을 위해 열처리가 필요하다고 판단된다.

일반적으로 SAW 필터에서 Al 금속막을 사용할 경우는 인가되는 고주파 신호가 반복적인 SAW를 발생시키고, 이러한 기계적인 스트레스가 Al IDT의 막에 영향을 주어 특성이 악화된다고 보고되고있다.^[2]

그림5는 IDT 종류에 따른 전기적 스트레스의 영향을 나타낸 것으로 시간에 따른 SAW 필터의 삽입손실을 측정 한 것이다. 그 변화를 명백하게 확인하기 위하여 삽입손실을 표준화하여 나타내었다.

본 연구에서는 이러한 영향을 간접적으로 비교하기 위해 SAW 필터의 입력측 두 단자 (signal과 ground) 양단에 Keithley 238을 이용해 직류전압을 인가해주고 2 시간 간격으로 주파수 응답 특성의 변화를 측정하였다. 본 연구에서 ZnO 박막의 절연저항의 측정 결과 35.5V에서 breakdown이 발생함을 확인할 수 있었다. 따라서, 본 연구에서 전기적 스트레스를 위해서 30V의 전압을 선택하였으며, 30V의 전압에서는 ZnO 박막의 절연 특성의 변화는 없는 것으로 간주하였다. 그림 5에서 나타난 바와 같이 Al IDT를 사용한 경우에는 상기한 바와 같이, 전기적 스트레스에 의한 Al electro-

migration 때문에 시간에 따른 SAW 필터의 삽입손실이 급격하게 감소한 반면에, Cu/Ti와 Cu/Al을 사용한 경우는 시간에 따른 변화가 상대적으로 감소하였다. 특히, Cu/Al의 경우에는 시간에 따라 DC 전압에 의한 소자의 열화 특성이 거의 나타나지 않았고, 또한 SAW 소자의 특성도 순수 Al을 사용한 경우와 거의 유사하였기 때문에 고주파 SAW 필터의 응용 시 Al 단일 금속막을 사용하는 것보다 더 효과적임을 간접적으로 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 우수한 비저항 특성과 배향성을 가진 ZnO 박막을 이용하여 제작한 SAW 필터의 주파수 응답 특성과 IDT 물질을 변화시켜 제작한 SAW 필터의 주파수 응답 특성등을 살펴보았으며 이들 소자에 열처리와 DC bias를 장시간 인가하였을 때 특성의 변화를 측정하고 분석하였다.

우선, SAW 필터의 IDT의 mass loading이 IDT의 질량이 커 질수록 SAW 속도가 저하되어서 중심주파수가 낮아지는 현상과 신호의 왜곡에 영향을 준다는 것을 실험적으로 확인하였다. 또, ZnO SAW 필터의 열처리가 Al과 Cu/Al을 IDT로 사용한 경우에는 거의 영향이 없었으나, Cu/Ti를 사용한 경우에는 삽입 손실과 저지대역폭의 향상에 영향을 미쳤다. 전기적 스트레스의 경우에 Al의 경우가 Cu/Ti와 Cu/Al 보다 민감하게 반응을 실험적으로 확인함으로써 electro-migration의 영향을 간접적으로 확인할 수 있었다. 따라서, Cu/Al의 경우에 고주파 SAW 필터의 제작시 유리한 IDT 막으로 판단하였다.

이러한 실험 결과를 기초로 향후, 열처리 조건을 보다 다양화하여 이러한 열적 스트레스가 ZnO 박막의 물성, IDT 패턴 및 SAW 패턴의 특성 등에 미치는 영향을 명백히 규명하고, 궁극적으로 고주파 영역에서 RF 스트레스에 대한 내전력성이 가장 우수한 IDT 금속막을 도출하고자 한다.

본 연구는 한국학술진흥재단의 연구비(KRF-99-041-E00165) 지원과 한양대학교 전자재료 및 부품 연구센터(EM&C)의 시설/기자재 지원 등에 의하여 수행되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] Hashimoto, "Surface Acoustic Wave Devices in Telecommunications", Springer, pp.306-307, 2000.
- [2] Yuhara, Hosaka, Watanabe, Yamada, Kajiyama, Fukaya and Kobayashi, IEEE Ultrasonic symposium, pp.493-496, 1990.
- [3] Kimura, Nakano and Sato, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 37, pp.1017-1020, 1998.
- [4] Kimura, Nakano, Nakazawa and Sato, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36, pp.3101-3106, 1997.
- [5] Kurt, Pitschke, Heinrich, Schumann, Thomas, Wetzig and Burkov, Thin solid films 310, pp.8-18, 1997.
- [6] R.G.Reddy, A.M.Yahya, L.Brewer, Journal of alloys and compounds 321, pp.223-227, 2001.
- [7] 이진복, 이해정, 서수형, 박진석, 대한전기학회 논문지, 49C권 12호, pp.654-664, 2000.
- [8] 이진복, 이해정, 이명호, 서수형, 박진석, 대한전기학회 전기재료연구회 춘계학술대회 논문집, pp.11-13, 2001.
- [9] C.K.Campbell, "Surface acoustic wave devices for mobile and wireless communications", Academic Press, 1998.

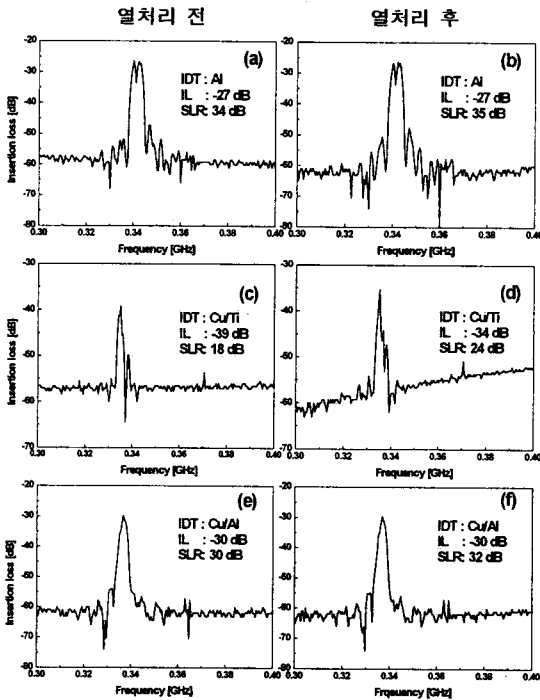


그림4 IDT 종류 및 열처리 효과에 따른 주파수 응답 특성

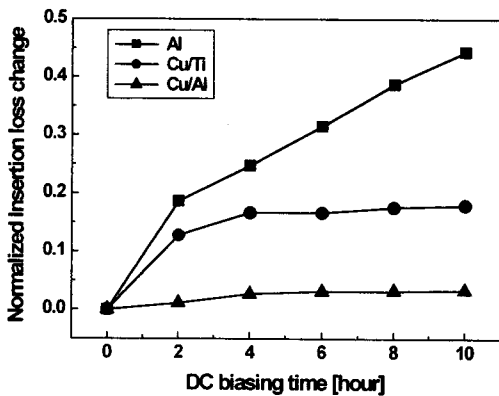


그림5 IDT 종류에 따른 전기적 스트레스의 영향