

신 공정을 이용한 멤브레인형 체적탄성과 공진기의 제작 및
하부전극이 주파수 응답특성에 미치는 영향

김보현, 김도영, 조동현, 이진복, 박진석
한양대학교 전자전기제어계측공학과 박막소자연구실

Fabrication of a FBAR device using a novel process and the effect of
bottom electrode on the frequency response

Bo-Hyun Kim, Do-Young Kim, Dong-Hyun Cho, Jin-Bock Lee, and Jin-Seok Park
Dept. of Electronic, Electrical, Control and Instrumentation Engineering, Hanyang University

Abstract - Film bulk acoustic resonator (FBAR) devices which adopt a membrane-type configuration are fabricated by a novel process. In contrast to the conventional FBAR structure, the newly fabricated resonator doesn't employ any supporting layer below or above it, so that the properties of piezoelectric layer are not influenced by the bottom electrode material. FBAR devices with Mo/AlN/Metal configuration are also fabricated. The frequency response characteristics (S_{11}) of the devices fabricated using the proposed process are compared with those of the conventional devices. The return losses are also estimated, in terms of the kind and thickness of bottom electrode materials.

1. 서론

최근 소자의 소형화, 집적화 및 고주파화 추세에 따라 적은 삽입 손실과 소자의 크기가 작아 MMIC화가 가능한 체적 탄성과 공진기(film bulk acoustic resonator, FBAR)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{[1][2]} 이러한 체적 탄성과 공진기는 압전박막의 물성과 기판에 의한 에너지 손실, 하부전극의 물성 등이 소자 특성에 결정적인 영향을 주기 때문에 제조방법이나 구조의 변화로 소자 특성을 향상시키기 위해 여러 연구가 진행되고 있다. 일반적으로 기판에 의한 에너지 손실을 줄이기 위해서는 크게 membrane형, air-gap형, Brag-reflector형 구조로 체적 탄성과 공진기를 제작하고 있다. 체적 탄성과 공진기의 구조는 기판 위에 하부전극, 압전박막, 상부전극을 차례로 증착하는 샌드위치형으로 제작되고 있기 때문에, 압전박막의 증착시 하부전극의 물성이 압전박막의 물성을 확보하는데 많은 영향을 주고 있다.^[3]

본 연구에서는 기판에 의한 에너지 손실을 줄이기 위해 membrane형 구조의 소자를 제작하였고, 하부전극의 물성이 압전박막의 물성에 영향을 주지 않는 공정방법을 새로이 제안하였다. 이러한 공정방법으로 제작된 소자와 기존의 공정방법으로 제작된 소자의 주파수 응답특성을 비교하였으며, 새로운 공정방법으로 압전박막의 물성을 유지하는 상태에서 하부전극의 종류와 두께가 소자의 특성에 미치는 영향을 알아보았다.

2. 본론

2.1 실험방법

그림1은 본 연구에서 제안한 방법과 기존의 공정방법을 개략적으로 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 본 연구에서 제안한 공정방법은 Si 식각후 SiO₂위에 AlN 박막과 상부전극을 증착시키고 지지층이었던 SiO₂를 식각한 후 뒷면에서 하부전극을 증착시키는 방법으로 AlN 박막을 SiO₂위에 증착하기 때문에 하부전극의 물성으로

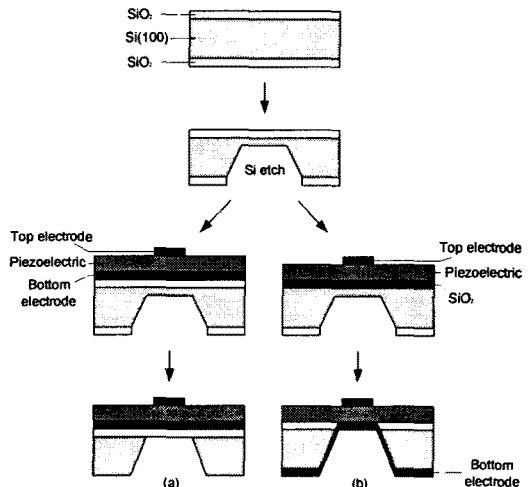


그림 1. (a) 기존의 멤브레인형 체적탄성과 공진기의 제작 순서 및 (b) 새로운 공정에 의한 멤브레인형 체적탄성과 공진기의 제작 순서

인한 AlN 박막의 물성 변화를 근본적으로 제거하였다. SiO₂를 보호막으로 사용해 Si를 부분 식각하였고, 이때 사용한 식각용액으로는 SiO₂는 Buffered HF용액, Si는 25wt%의 TMAH(tetra methyl ammonium hydroxide) 용액 사용하였다. 본 연구에서 SiO₂가 Si 기판의 식각에서 마스크 역할을 할 수 있고 SiO₂ 자체의 식각 조절이 가능하고 식각 정지막으로서 충분한 기능을 할 수 있어 Si₃N₄와 같은 지지층 대신에 SiO₂를 선택하였다.

압전물질로 사용된 AlN 박막은 SiO₂/Si(100) 기판 위에 RF 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 증착하였으며, 99.999%의 Al 타겟에 Ar과 N₂를 주입하여 증착하는 반응성 스퍼터링(reactive sputtering) 방법을 사용하였다. AlN 박막의 증착조건은 RF 전력은 350W, Ar/N₂의 유량비는 10/20[sccm], 기판온도는 250℃, 증착압력은 15 mTorr, 증착시간은 4시간으로 고정하였다.

상부전극은 0.5μm 두께의 Mo 박막을 DC 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 증착하였고, lift off 공정을 이용하여 G-S-G(ground-signal-ground) 구조를 갖는 상부전극을 형성하였고, network analyzer(HP 8720C)와 probe station을 연결하여 주파수 응답 특성을 측정하였다. 하부전극은 각각 0.6μm~1.5μm의 두께로 증착하여 두께의 변화에 따른 소자의 특성을 비교하였고, Al, Cu, Mo, W을 하부전극으로 사용하여 하부전극의 물질이 소자의 특성에 미치는 영향을 알아보았다.

본 연구에서 제작한 체적 탄성과 공진기는 membrane형으로 Mo/AlN/Metal의 구조로 제작되었고 상부전극은 모든 제작된 소자에 Mo를 사용하였다.

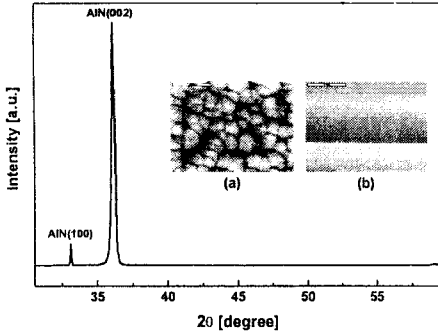


그림 2 AlN의 XRD 분석 결과와 SEM 표면 분석. (a)표면 (b)단면

2.2 실험 결과 및 고찰

2.2.1 AlN/SiO₂/Si(100) 구조: AlN 물성

AlN 박막의 최적 조건을 도출하기 위하여 스퍼터링시 증착조건을 변화시키면서 SiO₂/Si(100) 기판 위에 AlN를 증착하였다. 그 결과 RF 전력 350W, 기판온도 250℃, 증착압력 15mTorr, 반응 가스 비율 Ar:N₂:1:2의 조건에서 가장 배향성이 우수한 AlN 박막을 얻을 수 있었다. 그림 2는 XRD와 SEM을 통해 분석한 AlN 박막의 배향 특성과 표면, 단면 구조이다. XRD 분석 결과 SiO₂ 위에 성장시킨 AlN의 경우 2θ=36°에서 AlN 박막이 c-축 수직 방향으로 성장되었다는 것을 의미하며 이때 AlN 박막의 압전 특성이 가장 강하게 나타난다. AlN(002) 배향 외에 2θ=33°에서 AlN(100) 배향이 다소 관찰되었으나 TC (Texture Coefficient) 값이 92%로 나타나 AlN(002) 배향에 크게 영향을 주지 않는 것으로 확인되었다. 그림 2의 (a)와 (b)는 SEM으로 관찰한 AlN 박막의 표면 및 단면 구조이다. 표면 분석과 단면 분석 결과 박막의 결정질의 경계가 뚜렷하고 수상 구조가 관찰되었다.

위의 AlN 박막은 고유의 물성이 하부전극에 의해 영향을 받지 않아 하부전극의 물성에 의해 소자의 특성이 바뀌는 것을 막을 수 있다. 따라서 하부전극 위에 성장된 AlN 박막을 이용하는 기존의 멤브레인형 공진기와 비교했을 때 우수한 소자 특성을 얻을 수 있다.

2.2.2 주파수 응답 특성

기존의 membrane형 공진기는 그림 1의 제작 순서와 같이 기판 뒷면에서 Si 식각 후, SiO₂ 위에 하부전극과 AlN박막, 상부전극을 순서대로 증착하여 공진기의 기본 구조를 형성하였다. 새로운 공정에 의한 공진기의 경우 SiO₂ 위에 AlN를 성장시켜 하부전극으로 인한 압전박막의 물성 변화를 제거하고 상부, 하부 전극을 형성하였다. 각각의 공진기에서 AlN 박막은 RF 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 약 2μm의 두께로 성장하였고, 상부전극과 하부전극은 각각 0.5μm, 0.6μm의 두께로 모두 Mo를 DC 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 증착하였다. 상부와 하부 모두 Mo를 사용할 경우 Mo이 다결정진입에도 불구하고 AlN과 열팽창 계수와 격자 상수 등의 물성들이 서로 유사하기 때문에 각각의 공진기의 상부 및 하부 전극으로 Mo를 증착하였고,^[3] 상부전극은 G-S-G 형태의 패턴으로 구성하였다.

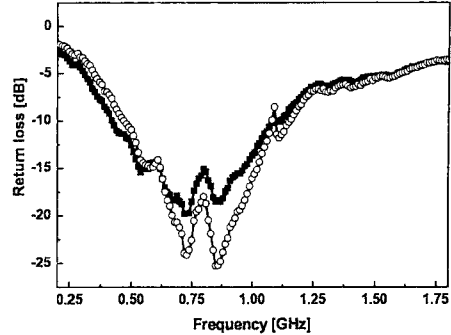


그림 3. 새로운 공정에 의해 제작된 FBAR 소자의 주파수 응답 특성 (■ 기존 공정의 경우, ○ 제안된 공정의 경우)

그림 3은 공진기 각각의 주파수 응답 특성(S₁₁)을 나타낸 것이다. 새로운 공정으로 제작된 공진기의 반사손실이 기존의 멤브레인형 공진기에 비해 약 4dB~7dB 정도 크다는 것을 알 수 있다. 이는 지지층으로 쓰인 SiO₂가 기존의 멤브레인형 공진기에서 에너지 손실의 원인이 되지만 신 공정으로 제작된 공진기의 경우에는 지지층으로 쓰인 SiO₂가 식각되기 때문에 SiO₂로 인한 손실이 없고 AlN박막의 물성이 기존의 공진기와는 달리 하부전극에 의한 영향을 받지 않기 때문인 것으로 사료된다.

2.2.3 체적 탄성과 공진기의 하부전극의 두께에 따른 주파수 응답 특성

그림 4는 하부전극(Mo)의 두께에 따른 주파수 응답 특성을 나타낸 것으로 하부전극의 두께를 각각 0.6μm, 0.9μm, 1.2μm, 1.5μm로 증착하여 두께에 따른 공진기의 특성 변화를 확인하였다. 신 공정으로 제작한 공진기는 하부전극이 압전박막의 물성에 영향을 주지 않으므로 소자의 특성에 미치는 하부전극의 독립적인 영향을 알 수 있다.

그림 4에서 나타낸 것과 같이 하부전극의 두께가 증가할수록 중심주파수는 낮아지고 반사손실이 커지는 것을 알 수 있는데, 이것은 두께가 두꺼울수록 질량이 커져서 하부전극이 압전박막에 부하를 주는 효과(mass loading effect)가 커지기 때문이다.^[6] 일반적으로 이 효과는 질량이 커질수록 크게 나타난다. 반사손실의 경우 하부전극의 두께가 두꺼워질수록 하부전극이 에너지를 감소시키기 때문인 것으로 사료된다.^{[5][6][7]}

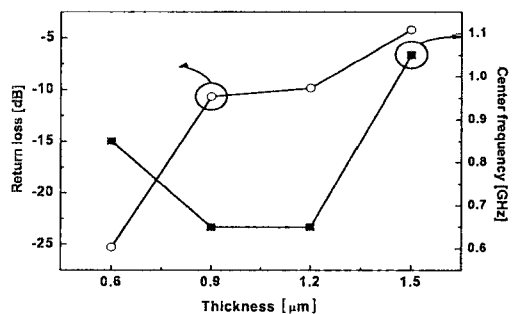


그림 4 하부전극(Mo)의 두께에 따른 반사손실과 중심주파수의 변화 (■ 중심주파수의 변화, ○ 반사손실의 변화)

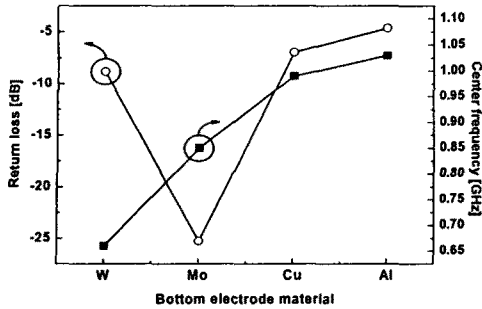


그림 5. 하부전극의 종류에 따른 반사손실과 중심주파수의 변화 (■ : 중심주파수의 변화, ○ : 반사손실의 변화)

표 1 AIN과 각 하부 전극들의 물성 비교

Substrate	Crystal structure	Lattice constant(Å)	Lattice mismatch(%)	Thermal expansion coefficient(10 ⁻⁶ /K)
AIN	hcp	3.112	-	4.2
Al	ccp	a : 4.45	23.15	23.1
Cu	ccp	a : 3.61	13.8	16.5
Mo	bcc	a : 3.15	0.87	4.8
W	bcc	a : 3.17	1.2	4.5

2.2.3 하부전극의 종류에 따른 주파수 응답 특성

그림 5는 하부전극의 종류에 따른 주파수 응답특성을 나타낸 것으로 하부전극의 종류는 Al, Cu, Mo, W을 DC 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 0.6 μ m의 두께로 증착하여 각각의 종류에 따른 반사손실과 중심주파수의 변화를 알아보았다. 이것 역시 신 공정으로 제작하여 하부금속의 물성이 AIN 박막의 물성에 영향을 주지 않는 상태에서 소자의 특성에 미치는 영향을 알아보았다. 그림 5에서 보는 것과 같이 중심주파수는 하부금속의 질량이 커질수록 낮아지고 반사손실은 증가하는 것을 알 수 있는데, 중심주파수가 낮아지는 것은 위에서 언급한 것과 같이 질량이 증가할수록 하부전극이 압전박막에 부하를 주는 효과가 증가하기 때문인 것으로 사료된다.¹⁴⁾ 또한 반사손실이 증가하는 것은 표 1에서 나타낸 것과 같이 하부전극의 격자 부정합도(lattice mismatch)와 열팽창계수(thermal expansion coefficient)의 영향으로 인한 것으로 사료된다.¹⁵⁾¹⁶⁾ W의 경우 이러한 경향에서 벗어나는데 이것은 W를 하부전극으로 증착하였을 때 높은 스트레스가 발생해 소자의 특성에 영향을 준 것으로 사료된다.

3. 결론

본 연구에서는 새로운 공정을 이용해 하부전극이 압전 박막의 물성에 영향을 주지 않는 램브레인형 체적 탄성과 공진기를 제작하고 기존의 공정을 이용한 공진기와 비교하여 보다 우수한 특성을 도출하였다. 또한 Al, Cu, Mo, W 등의 금속을 하부전극으로 사용하여 종류별로 공진기의 특성을 알아볼 수 있었고, Mo의 경우 AIN과 격자상수와 열팽창 계수가 가장 유사하여 우수한 공진 특성을 얻을 수 있었다. 또한 두께에 따른 공진 특성을 알아봄으로써 두께의 조절이 소자의 특성에 많은 영향을 미치는 것을 확인하였다. 따라서 하부전극이 압전박막의 물성에 영향을 주지 않아도 하부전극의 물성이 소자의 특성을 결정하는 중요한 요소임을 확인하였다.

본 논문에서는 AIN 박막을 Si 기판 위에서 성장시키지

않고 비정질 물질인 SiO₂ 위에서 성장시켜 소자를 제작하였다. 이 때문에 Si(100) 기판 위에 바로 성장시킨 압전 박막에 비해 아주 우수한 물성을 갖지는 못했지만 Si(100) 기판 위에 성장시킨 AIN 박막의 물성과 비교했을 때 큰 차이가 없었다. 이는 SiO₂ 위에 성장시킨 AIN 박막의 물성이 증착 조건에 의해 충분히 개선될 수 있다고 판단되었으며, Si₃N₄와 같은 결정을 갖는 물질을 지지막으로 사용하게 되면 보다 우수한 AIN 박막의 물성을 확보할 수 있을 것이라고 사료된다.

본 연구는 2004년도 한국과학재단 지역대학 우수과학자 지원연구(R05-2004-000-1242-0)의 지원과 한양대학교 전자재료 및 부품 연구센터(EM&C)의 연구기자재 지원에 의해 수행되었음.

[참고문헌]

- [1] K.M. Lakin, G.R. Kline, and K.T. McCarron, "Thin film bulk acoustic wave filters for GPS", IEEE Ultrason. Symp. Proc.(1992) p.p471-476
- [2] K.M. Lakin, "Thin film resonator and filters", IEEE Ultrason. Symp. Proc. (1999) p.p895-906
- [3] J.B. Lee, J.P. Jung, M.H. Lee, J.S. Park, "Effects of bottom electrodes on the orientation of AIN films and the frequency response of resonators in AIN-based BARs", Thin Solid Films 447-448 (2004) p.p610-614
- [4] H. Zhang and E.S. Kim, "Air-backed Al/ZnO/Al film bulk acoustic resonator without any support layer", IEEE International Frequency Control Symposium and PDA Exhibition (2002) p.p20-26
- [5] R. Jakkaraju, G. Henn, C. Shearer, M. Harris, N. Rimmer, P. Rich, "Integrated approach to electrode and AIN depositions for bulk acoustic wave (BAW) devices", Microelectronic Engineering 70 (2003) p.p566-570
- [6] M. Takeuchi, H. Yamada, Y. Yoshino, T. Makino, S. Arai, "Effective electromechanical coupling coefficient (k_t²) for fundamental mode of thickness extensional mode thin film bulk acoustic wave resonator fabricated by ZnO thin film", Vacuum 66 (2002) 463-466
- [7] P.Osbond, C.M. Beck, C.J. Brierley, M.R. Cox, S.P. Marsh, N.M. Shorrocks, "The influence of ZnO and electrode thickness on the performance of thin film bulk acoustic wave resonators", IEEE Ultrason. Symp. (1999) p.p911-914
- [8] S.H. Lee, J.H. Kim, G.D. Mansfeld, K.H. Yoon, and J.K. Lee, "Influence of electrodes and bragg reflector on the quality of thin film bulk acoustic wave resonators", IEEE I. F. C. Symp. and PDA Exhibition (2002) p.p45-49
- [9] 이시형, 이전국, 김상희, 김중현, 윤기현, "AIN 압전 박막과 Si를 이용한 체적 탄성파 Over-moded 공진기", J. of Korean Ceramic Society, Vol. 37 No. 12 (2000) p.p1198-1203
- [10] S.H. Lim, D. Shindo, H.B. Kang, K. Nakamura, "Study of defects and interfaces in epitaxial ZnO films on (1120) Al₂O₃ grown by electron cyclotron resonance-assisted molecular beam epitaxy", J. of Crystal Growth 225 (2001) p.p202-207