2단계 증착 방법이 AlN 박막의 물성 및 체적 탄성파 소자의 특성에 미치는 영향

조동현, 정준필, 이진복, 박진석
한양대학교 전기전자제어계측공학과 박막소자연구실

Effects of two-step deposition on the property of AlN films and the device characteristic of AlN-based FBARs

Dong-Hyun CHO, Jun-Phil JUNG, Jin-Bock LEE, and Jin-Seok PARK
Dept. of Electronic, Electrical, Control and Instrumentation Engineering, Hanyang University

Abstract - AlN thin films are prepared on Si (111) substrate by RF magnetron sputtering. Two-step deposition method is proposed to obtain AlN thin films with high c-axis (002)-TC value and low surface roughnesses. For all the deposited AlN films, the c-axis (002)-orientation, surface mophology, and roughness are characterized in terms of deposition conditions

FBAR devices with Al/AlN/Mo/Si(111) configuration are also fabricated. From the frequency response characteristics. the return loss and electromechanical coupling contant(k_t^2) are estimated.

1. 서 론

최근 소자의 집적화, 소형화 및 고주파화 추세에 따라 표면 탄성파(surface acoustic wave, SAW) 필터에 비하여 많은 장점을 가지고 있는 체적 탄성파 공진기(film bulk acoustic resonator, FBAR) 필터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한, 체적 탄성파 공진기는 표면 탄성파 필터에 비하여 삽입 손실이 작고 소자의 크기가 작아 MMIC화가 가능하다.[1] 이러한 체적 탄성파 공진기는 표면 탄성파 필터와 마찬가지로 압전재료의 압전 특성을 이용하지만, 기존의 고가의 단결정 압전 기판 대신 ZnO나 AlN등과 같은 저가의 압전박막을 사용할 수 있는 장점이 있다. 특히, AlN는 높은 열적 안정성과 c-축 우선 배향성, 높은 음파속도를 갖고 있기 때문에 고주파대역에서 동작할 것으로 판단된다.[2] AlN 박막의 압전성은 배향성, 결정성 그리고 표면 거칠기에 크게 의존한다. 우수한 AlN 박막을 성장시키기 위해 여러 연구가 진행되고 있지만, 복잡한 제조 방법, 고가의 공정장비 등으로 인해 많은 제약이 따르고 있다. 그러나 기존의 공정 방법과는 달리 이러한 제약점들을 해결하면서 양질의 AlN 박막을 성장시킬 수 있는 공정에 대한 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 AlN 박막의 (002)-방향 배향성을 향상시키고 표면 거칠기를 감소시킬 수 있는 2 단계 증착 방법을 새로이 제안하였다. 이러한 방법에 의해 제작된 AlN 박막의 물성을 기존의 단일 증착법에 의한 박막의 물성과 비교하였으며, 2단계 증착에 의한 AlN 박막의 물성 변화가 체적 탄성파 소자의 특성에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

AlN 박막은 Mo/Si(111) 기판위에 RF 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 증착하였으며, 99.999%의 Al 타겟에 Ar과 N_2를 주입시켜 증착하는 반응성 스퍼터링(reactive sputtering) 방법을 사용하였다.

본 연구에서는 RF 전력과 증착 압력을 변화시켜가면서 단일 증착 방법과 2단계 증착 방법으로 AlN 박막을 증착하여 (002) 배향특성, 결정성, 표면 거칠기등의 변화를 살펴보았다. 2단계 증착 방법은 작은 표면 거칠기를 가지는 박막을 증착하는 첫 번째 단계와 첫 번째 단계에서 유도된 작은 표면 거칠기를 갖는 박막 위에 증착시 RF 전력과 증착 압력을 변화시켜 우수한 배향성, 결정성 그리고 표면 거칠기를 만족시키기 위한 두 번째 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 RF 전력은 350W, N_2/Ar의 유량비는 15/15[sccm/sccm], 기판온도는 250°C, 증착 압력은 5mTorr, 증착시간은 20분으로 고정하였다. 두 번째 단계는 첫 번째 박막 위에 RF 전력을 250W~500W, 증착 압력은 5mTorr~20mTorr로 변화시켜 실험하였고, 기판온도는 250°C, N_2/Ar 유량비는 20/10[sccm/sccm]로 고정시켰으며 총 증착시간이 4시간이 되도록 하였다.

증착된 AlN 박막은 XRD(x-ray diffraction)를 이용하여 박막의 (002) 우선 배향성을 확인하였고, 이로부터 (002) 우선 배향에 대한 상대적인 TC(texture coefficient)값을 산출하여 정량적으로 비교하였으며, SEM(scanning electron microscopy), AFM(atomic force microscopy) 분석등을 통하여 증착조건에 따라 각각의 표면 및 단면형상, 표면 거칠기 등을 분석하였다.

체적 탄성파 공진기는 상기한 바와 같은 AlN 박막 위에 약 2000Å 두께의 Al 박막을 DC 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 증착하고, lift-off 공정을 이용하여 G-S-G (ground-signal-ground) 구조를 갖는 상부전극을 형성하여, Al/AlN/Mo/Si(111)의 구조로 제작하였다. 제작된 체적탄성파 공진기를 network analyzer(HP 8720C)와 probe station을 연결하여 주파수 응답특성을 측정하였으며, 이로부터 단일 증착 방법으로 증착된 AlN 박막과 2 단계 증착 방법으로 증착된 AlN 박막으로 제작한 체적 탄성파 공진기의 주파수 응답특성을 비교하였다.

2.2 실험 결과 및 고찰

2.2.1 2단계 증착에 따른 AlN 박막의 물성 변화

그림 1(a)는 단일 증착 방법의 경우 RF 전력의 변화에 따른 박막의 배향성 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 RF 전력이 증가함에 따라 AlN 박막의 (002) 피크가 감소하고, (101) 피크가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 높은 전력이 인가될 경우 박막 증착에 참여하는 원자들이 격자 평형위치로 도달하기 전에 스퍼터링된 원자들이 지속적으로 오기 때문에 특정 방향으로의 우선 성장이 이루어지지 않기 때문이라 사료된다.[3,4]

그림 1(b)는 2단계 증착 방법의 경우 RF 전력에 따른 AlN 박막의 배향성 변화를 나타낸 것이다. 첫 번째 단계에서는 위에 상기한 바와 같이 실험 조건을 고정하여 증착하였으며, 두 번째 단계는 그 위에 RF 전력을 250W~500W로 변화시켜 증착하였다. 그림에 나타난 바와 같이 단일 증착의 경우 RF 전력 변화에 따라서 AlN 박막의 (002) 배향특성이 현저히 저하되었지만, 2단계 증착 방법을 사용한 경우 첫 단계의 영향으로 RF 전력의 증가에 따라서 다른 배향 특성이 나타나지 않고 (002) 방향으로 우선 배향된 AlN 박막이 계속적으로 증착되었음을 확인할 수 있었다. 이는 첫 번째 단계에서 증착된 AlN 박막이 두 번째 단계에서 증착된 AlN 박막의 seed 역할

을 해서 AlN 박막이 한 방향으로 증착되도록 유도한 것으로 사료된다.

그림 2는 RF 전력을 변화시키면서 단일 증착 방법과 2단계 증착 방법으로 증착한 AlN 박막의 (002)-TC 값 및 표면 거칠기를 나타낸 것이다. 단일 증착 방법에 의한 AlN 박막의 경우(○), RF 전력이 증가함에 따라 (002)-TC 값은 감소하고, 표면 거칠기는 증가하는 경향을 볼 수 있다.[5] 한편 2단계 증착 방법에 의해 증착된 AlN 박막의 경우(■)에는 RF 전력이 증가함에 따라서 단일 증착과 유사한 경향을 보이고 있다. 그러나 단일 증착 방법에 비해 2단계 증착 방법으로 증착된 AlN 박막의 (002)-TC 값이 모든 조건에서 증가하였으며, 그 변화가 작게 나타나고, 표면 거칠기 역시 우수하게 나타나고 있다. 이는 위에 제시한 것과 같이 첫 번째 단계 증착시 AlN 박막이 작은 크기의 결정립을 형성하고 이 결정립들이 AlN 박막을 (002) 방향으로 성장하도록 유도하는 seed 역할을 하기 때문에 두 번째 단계에서 증착된 AlN 박막의 표면 거칠기는 작으면서 높은 (002)-TC 값을 갖게 된 것으로 판단된다.[6]

그림 3(a)는 단일 AlN 박막의 경우 증착 압력의 변화에 따른 박막의 배향성 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 증착 압력의 변화에 따라 (002) 배향특성의 변화는 크게 관찰되지 않지만, (002) 피크 외의 (101) 피크가 관찰되어지는 것을 알 수 있다. 반면 그림 3(b)의 2단계 증착 방법으로 증착된 AlN 박막의 경우 증착 압력의 변화에 따라 단지 (002) 피크만 관찰되어지고 있다.

그림 4는 증착 압력을 변화시키면서 단일 증착 방법과 2단계 증착 방법으로 증착한 AlN 박막의 (002)-TC 값 및 표면 거칠기를 나타낸 것이다. 단일 증착시, 압력이 증가할수록 (002)-TC 값은 거의 변화가 없지만, 표면 거칠기는 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 증착 압력이 증가할수록 박막에 작용하는 원자들의 수가 많아지므로 증착된 결정립의 크기가 커져 박막의 표면 거칠기가 증가하는 것이라고 사료된다.[7] 2단계 증착 방법의 경우, 단일 증착 방법에 비해 (002)-TC 값과 표면 거칠기 모두 우수하게 나타나고 있다.

그림 5는 RF 전력(a)과 증착 압력(b)의 변화에 따른 단일 증착 방법과 2단계 증착 방법으로 성장시킨 AlN 박막의 FWHM 값의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 두 경우((a),(b))모두 2단계 증착 방법에 의해 증착된 AlN 박막이 단일 증착 방법에 비해 FWHM 값이 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 2단계 증착 방법에서, 첫 번째단계에서 작은 크기의 결정립을 갖고 성장하도록 유도하였기 때문에 단일 증착 방법의 AlN 박막에 비해 결정립의 크기가 감소하여, 그에 따라 FWHM 값이 증가된 것이라 판단된다.[8,9]

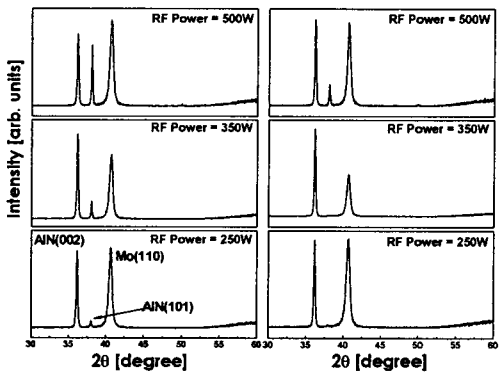

그림 1. RF 전력에 따른 XRD 패턴 : (a) 단일 증착 방법에 의한 AlN 박막 (b) 2단계 증착 방법에 의한 AlN 박막

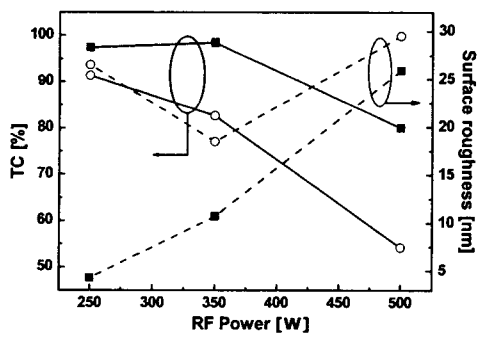

그림 2. AlN 박막의 (002) 배향에 대한 TC 값 및 거칠기 (■ : 2단계 증착 방법에 의한 AlN 박막, ○ : 단일 증착 방법에 의한 AlN 박막)

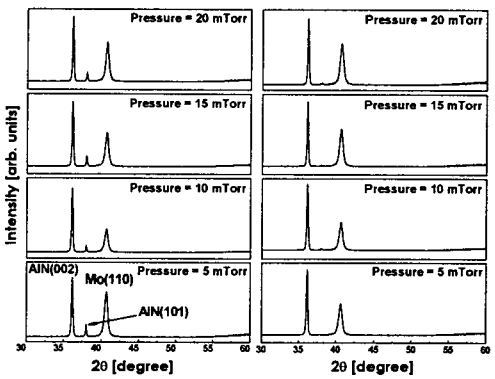

그림 3. 증착 압력에 따른 XRD 패턴 : (a) 단일 증착 방법에 의한 AlN 박막 (b) 2단계 증착 방법에 의한 AlN 박막

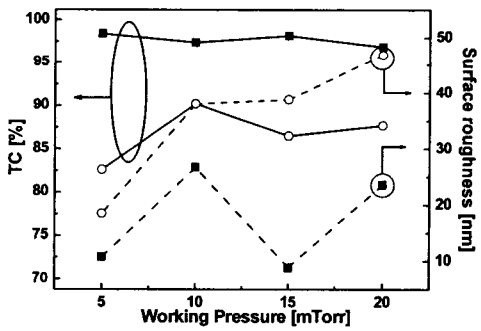

그림 4. AlN 박막의 (002) 배향에 대한 TC 값 및 거칠기 (■ : 2단계 증착 방법에 의한 AlN 박막, ○ : 단일 증착 방법에 의한 AlN 박막)

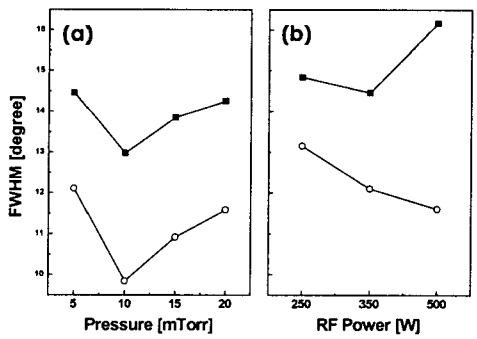

그림 5. FWHM의 변화 : (a) RF 전력의 변화 (b) 증착 압력의 변화 (■ : 2단계 증착 방법에 의한 AlN 박막, ○ : 단일 증착 방법에 의한 AlN 박막)

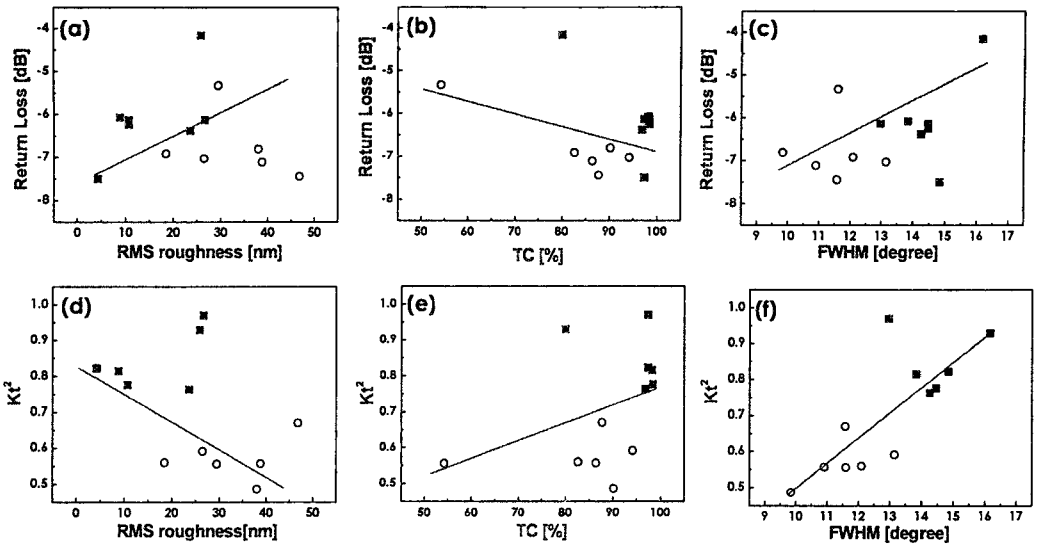

그림 6. AlN 박막의 물성(RMS 표면 거칠기, (002)-TC, FWHM)과 반사손실((a)~(c)) 및 K_t^2((d)~(f))관계
(■ : 2단계 증착 방법에 의한 AlN 박막, ○ : 단일 증착 방법에 의한 AlN 박막)

2.2.2 체적 탄성파 공진기의 특성 분석

본 연구에서는 Al/AlN/Mo의 구조이고, 상부전극은 G-S-G 형태의 패턴으로 구성된 체적 탄성파 공진기를 제작하였다. 또한 network analyzer(HP 8720C)와 probe station을 연결하여 공진기의 주파수 응답 특성(S_{11})을 측정하였다.

그림 6은 AlN 박막의 물성에 따라, 주파수 응답으로부터 산출된 반사손실 및 K_t^2와의 관계를 나타낸 것이다. 그림 6(a)는 표면 거칠기가 증가할수록 반사손실이 감소하는 것을 나타내고 있으며, 그림 6(b)는 (002)-TC 값이 증가함에 따라서 반사손실이 증가하는 것을 나타낸 것이다. 또한, 그림6(c)는 FWHM과 반사손실의 관계를 보여주는 것으로 FWHM이 증가할수록 반사손실이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 소자에 사용된 AlN 박막의 물성이 소자의 반사손실에 밀접한 영향을 주는 것을 나타낸 것으로써, 특히, 본 연구에서 제안한 2단계 증착 방법으로 증착한 경우(■), 상기한 바와 같이 표면 거칠기 및 (002)-TC 값이 확연히 향상되었으며, 이로 인해서 소자의 반사손실이 향상된 것으로 사료된다. 한편, 그림(c)에서 나타난 바와 같이 2단계 증착 방법에 의해서 결정성은 다소 저하되었지만, 박막의 결정성에 따라서 소자의 반사손실이 향상되는 것을 알 수 있었다. 그림6(d)는 AlN 박막의 표면 거칠기가 증가할수록 K_t^2 값이 감소하는 것을 나타내고 있으며, 그림6(e)는 K_t^2와 (002)-TC값을 나타낸 것으로 (002)-TC의 값이 증가함에 따라서 K_t^2값이 증가하게 되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 그림6(f)는 FWHM에 따른 K_t^2을 비교한 것으로서 FWHM이 증가할수록 K_t^2값이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 그림6(a)~(c)에 나타낸 AlN 박막의 물성의 변화에 따른 반사손실의 고찰에서와 같이, AlN 박막의 물성 향상이 소자의 압전 특성을 평가하는 전기결합계수에 밀접한 영향을 미침을 알 수 있었다. 특히, 본 연구에서 제안한 2단계 증착 방법에 의해 AlN 박막의 물성이 확연히 향상된 바, 제안된 2단계 증착법에 의한 영향을 명확하게 확인할 수 있었다. 그러나, 그림6(f)의 경우 AlN 박막의 FWHM이 향상되었을 지라도 소자의 전기결합계수가 확연하게 저하되는 것을 볼 수 있었는데, 이는 박막의 FWHM의 영향이라기 보다는 표면 거칠기 및 (002)-TC 값의 영향이 더 큰 것으로 사료된다. 즉, 소자의 주파수 응답 특성은 결정성보다는 표면의 거칠기 및 (002) 배향특성에 더 의존한다는 것을 알 수 있었다.[10]

3. 결 론

본 연구에서는 고주파 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 Mo 기판 위에 기존의 단일 증착 방법과 제안한 2단계 증착 방법으로 RF 전력을 250W~500W까지 변화시킨 경우와 증착 압력을 5mTorr~20mTorr까지 변화시킨 경우 각각 AlN 박막을 증착하였을 때 그 특성을 비교하였다. 2단계 증착 방법을 다양한 증착 조건에서 사용한 경우 단일 증착 방법에 의한 박막보다 표면 거칠기가 양호하고 우수한 (002)-TC값을 갖은 AlN 박막을 얻을 수 있었다. 따라서, 제안된 2단계 증착 방법에 의한 AlN 박막의 물성에 대한 영향을 확인할 수 있었다. 또한, 단일 증착 방법에 의한 AlN 박막과 2단계 증착 방법에 의한 AlN 박막으로 제작한 소자의 주파수 응답 특성을 비교, 분석하였다. 표면 거칠기 및 (002) TC와 같은 AlN 박막의 물성향상에 따라, 반사손실과 전기결합계수가 확연히 향상되는 것을 알 수 있었다. 특히, 본 연구에서 제안한 2단계 증착 방법에 의한 표면 거칠기 및 (002)-TC 값의 향상이 확연하였으며, 이것이 소자의 반사손실과 전기결합계수에 크게 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] S.H. PARK, B.C. SEO, H.D. PARK and G.W. Yoon. Jpn. j. Appl. Phys. , Vol.39, pp4115, 2000

[2] K.M Lakin, J. F. McDonald, and K.T.McCarron, IEEE Ultrasonics symp., pp827, 2001.

[3] X.H. Xu, H.S. Wu, C,J, Zhang, Z,H. Jin, Thin Solid Films, Vol. 388, pp62, 2001.

[4] K. Kusaka, D. Taniguchi,T. Hanabusa, K.Tominaga, Vacuum, Vol. 59, pp806, 2000.

[5] Z. Y. Fan, G. Rong, J. Browning, N. Newman, Mater. Sci. Engineering B, Vol. 67, pp80, 1999

[6] S.H. Park, B.C. Seo, and G.W. Yoon, H.D. Park, American Vacuum Society, pp2432, 2000

[7] L. Wu, P.C. Chen, S. Wu, H.T. Song and M.C. Chure, Jpn. J. Appl.Phys.Vol.39, pp545, 2000

[8] J.H. Choi, J.Y. Lee, J.H. Kim, Thin Solid Films, Vol pp384, pp166, 2000

[9] K. Kaya, Y. Kanno, H. Takahashi, Y. Shibata and T. Hirai, Jpn. J. Phys. Vol. 35, pp2782, 1996

[10] J.P. Jung, J.B. Lee, and J.S. Park, IEEE FCS, 2003