

새로운 공정을 이용한 AlN 체적 탄성파 소자의 제작 및 다양한 금속 전극막에 따른 주파수 응답 특성 분석

論 文
56-5-15

Fabrication of AlN-based FBAR Devices by Using a Novel Process and Characterization of Their Frequency Response Characteristics in terms of Various Electrode Metals

金甫滋* · 朴昶均** · 朴珍奭†
(Bo-Hyun Kim · Chang-Kyun Park · Jin-Seok Park)

Abstract - AlN-based film bulk acoustic resonator (FBAR) devices which adopt a membrane-type configuration such as Mo/AlN/bottom-metal/Si are fabricated by employing a novel process. The proposed resonator structure does not require any supporting layer above the substrate, which leads to the reduction in energy loss of the resonators. For all the FBAR devices, the frequency response characteristics are measured and the device parameters, such as return loss and input impedance, are extracted from the frequency responses, and analyzed in terms of the various metals such as Al, Cu, Mo, W used in the bottom-electrode. The mass-loading effect caused by the used bottom-electrode metals is found to be the main reason for the difference revealed in the measured characteristics of the fabricated FBAR devices. The results obtained in this study also show that the degree of match in lattice constant and thermal expansion coefficient between piezoelectric layers and electrode metals is crucial to determine the device performance of FBAR.

Key Words : Aluminum nitride (AlN); Film bulk acoustic resonator (FBAR); Membrane-structure; Metal electrode; Mass-loading effect; Frequency response.

1. 서 론

최근 통신용 부품, 소자의 소형화, 집적화 및 고주파화 추세에 따라 삽입손실(insertion loss)이 작고, MMIC화가 가능한 장점을 가지고 있는 박막형 체적탄성파 공진기(film bulk acoustic resonator, FBAR)에 대하여 많은 관심이 고조되고 있다[1,2]. 이러한 체적탄성파 공진기를 이용한 필터, 듀플렉서와 같은 수동소자는 여기에 사용되는 압전박막의 물성 및 소자의 구조 등이 그 소자의 동작 특성에 결정적인 영향을 미치게 된다. 이러한 이유로 소자 동작시 발생하는 에너지 손실을 최소화하고 소자의 특성을 향상시키기 위하여 안정된 구조적 물성과 우수한 압전물성을 가지는 압전박막의 성장 및 소자 구조의 최적화 등과 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다[3-5].

이와 관련하여, 일반적으로 체적탄성파 공진기의 기판재료에 의해 발생하는 에너지 손실을 줄이기 위해서, membrane형, air-gap형, Bragg-reflector형 등의 구조가 널리 채용되고 있다[6-8]. 이는 기판위에 증착되는 하부전극, 압전박막, 상부전극 등의 공진발생 부분을 기판과 분리하여 에너지 손실을 최소화하기 위함이다. 상기한 구조들에서는 공통적으로 압전박막이 증착되는 금속막 혹은 기판재료 등의 종류에 따

라 압전박막의 물성이 크게 달라질 수 있으며, 이로 인해 체적탄성파 공진기의 동작 특성에도 심각한 영향을 미칠 수 있다. 그러나, 현재까지 체적탄성파 공진기의 하부 혹은 상부 전극의 종류에 의해 압전박막의 물성이나 소자의 특성이 정량적으로 어떤 영향을 받게 되는 지, 또한 박막의 물성과 소자의 특성 사이에는 어떠한 상관관계가 존재하는 지 등을 설명할 수 있는 체계적인 실험 결과나 명확한 원인 규명에 대하여 문헌에 보고된 바를 찾기는 매우 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 AlN 박막을 압전박막층으로 사용하는 membrane형 체적탄성파 소자의 제작시 다양한 금속재료(Al, Cu, Mo, W)를 하부전극으로 채용하여 이에 따른 압전박막의 물성 분석과 동시에 소자의 주파수응답의 변화를 정량적으로 분석하였다. 또한, 체적탄성파 소자 제작시 기존의 연구에서 공진기를 지지하면서 동시에 기판과의 분리를 위해 설치하였던 중간 지지층(supporting layer)을 별도로 사용하지 않는 새로운 공정방법을 제안하고, 이러한 공정방법에 의해 제작된 소자의 주파수 응답 특성을 기존의 방법에 의해 제작된 소자의 특성과 비교하였다.

2. 실험방법

본 연구에서 membrane 구조(Mo/AlN/bottom-metal/Si)의 AlN 체적탄성파 공진소자의 제작을 위하여 제안한 주요 제작공정을 그림 1에 개념도로 나타내었다. 그림 1에서 보는 바와 같이, 본 연구에서 제안한 소자 구조의 특징은 하부전극층의 아래에 별도의 지지층이 존재하지 않는 것이며, 이러한 이유로 기존에 지지층을 이용하는 방법에 비하여 공정과정이 보다 단순화되고, 지지층에 의한 소자의 에너지 손실을 근본

* 學生會員 : 漢陽大學 電子電氣制御計測工學科 工學碩士
** 正 會 員 : 漢陽大學 電子電氣制御計測工學科 工學博士
† 교신저자, 終身會員 : 漢陽大 電子컴퓨터工學部 教授·工博
E-mail : jinsp@hanyang.ac.kr

接受日字 : 2007年 3月 13日

最終完了 : 2007年 3月 25日

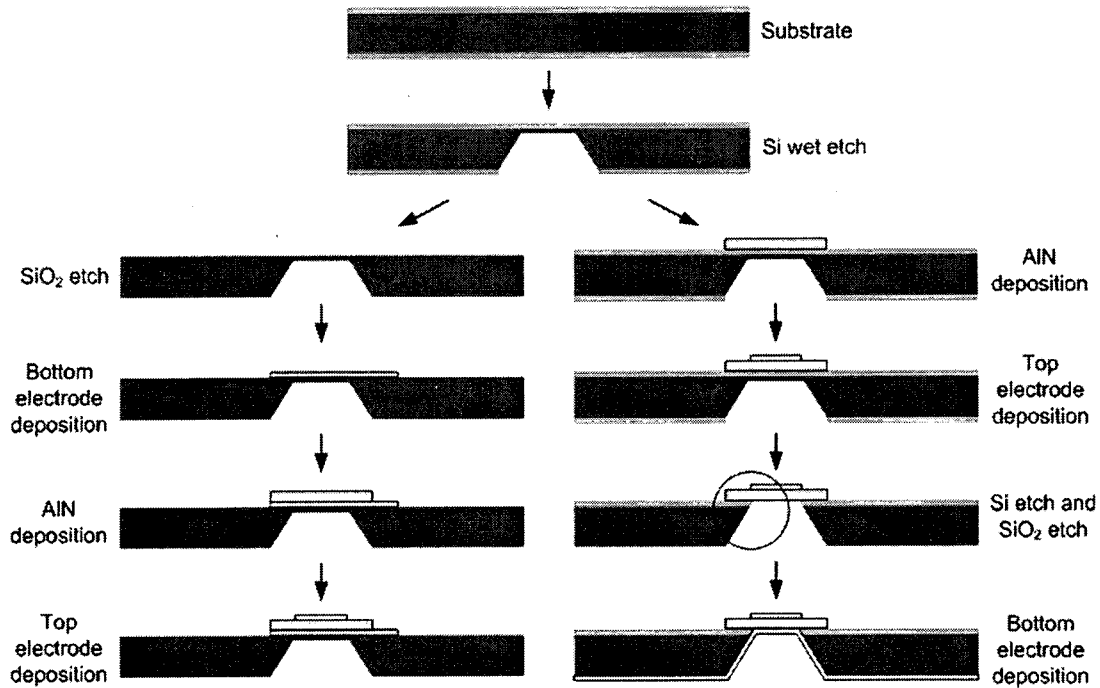


그림 1 Membrane형 체적탄성파 공진기의 주요 공정: (a) 기존의 공정방법, (b) 제안된 공정방법.
 Fig. 1 The fabrication process of a membrane-type FBAR device: (a) conventional (b) proposed.

적으로 제거한 것이다. 기판으로 사용된 SiO₂(600nm)/Si(100)에서 SiO₂막은 측면 식각이 용이하기 때문에 본 소자의 air-gap 구조 형성시 희생층으로 사용하였으며, 사진공정을 이용하여 소자의 전극 패턴을 형성한 후, 나머지 부분을 buffered HF (HF:NH₄F = 1:6) 용액을 이용한 습식 식각을 이용하여 제거하였다. 압전물질로 사용된 AlN 박막은 Al 타겟(99.999%)에 N₂와 Ar을 주입하는 RF magnetron reactive sputtering 방법으로 증착하였다. AlN 박막의 주요 증착조건으로서, RF 전력은 350W, N₂/Ar 유량비는 20/10, 기판온도는 250°C, 증착압력은 15mTorr, 증착시간은 4시간으로 각각 고정하였다. 증착된 AlN 박막의 배향특성, 표면 및 단면 구조, 표면거칠기 등의 물성은 XRD(x-ray diffraction, Bede D3 system), FESEM(field emission scanning electron microscope, JSM-6330F) 및 AFM(atomic force microscope, Auto-Probe CP) 등을 이용하여 분석하였다. AlN 박막의 두께는 SEM 측정 결과, 상기한 증착조건에서 약 2μm의 두께로 성장한 것으로 나타났다. 하부전극은 DC magnetron sputtering 방법을 이용하여 Al, Cu, Mo, W 등의 금속막을 증착하였으며, 각 금속막이 양호한 물성을 가질 수 있도록 증착조건을 각각 최적화하였다. 상부전극은 DC magnetron sputtering 방법을 이용하여 0.5mm 두께로 증착한 Mo막을 공통적으로 사용하였으며, lift-off 공정을 이용하여 G-S-G(ground-signal-ground) 구조로 형성하였고, network analyzer(HP 8720C)와 probe station을 연결하여 주파수응답 특성을 측정하였다. 또한, 하부전극의 두께를 0.3~1.2mm로 변화시켜 하부전극의 두께에 따른 체적탄성파 소자의 주파수응답 특성의 변화를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

체적탄성파 공진기의 압전박막으로 사용되는 AlN 박막의 우수한 물성을 확보하기 위하여 Si(111) 기판 위에 sputtering 장치에서 조절 가능한 거의 모든 증착변수를 다양한 범위로 변화시키면서 AlN 박막을 증착하였다. 증착된 박막들에 대하여 XRD, SEM, AFM 등의 측정 결과를 그림 2의 (a)에 AlN 박막의 XRD spectrum 및 rocking 곡선을 나타내었고, 동일한 박막의 FESEM 표면 및 단면 사진을 (b)와 (c)에, AFM 영상을 (d)에 각각 나타내었다. 전반적으로 RF 전력 350W, 기판온도 250°C, 증착압력 15mTorr, 반응가스 비 N₂:Ar=2:1의 조건에서 가장 우수한 물성을 가지는 AlN 박막을 얻을 수 있었다.

그림 2 (a)의 XRD spectrum에 보인 바와 같이, 측정 범위 내에서 2θ = 36.12°에서의 (002)-방향 TC(texture coefficient)값이 거의 100%에 가까울 정도로 나타난 바, c-축 방향 성장이 우선되는 우수한 배향성을 가지는 AlN 박막이 성장되었음을 알 수 있다. 또한, rocking 곡선으로부터 산출된 FWHM(full width at half maximum)값이 약 4.6°이었고, 이는 결정의 평균 크기가 약 80nm에 해당하는 것으로서, 증착된 AlN 박막이 체적탄성파 공진기의 압전박막 재료에 적당한 우수한 배향특성과 결정성을 확보하고 있다고 판단된다. 그림 2의 (b)와 (c)에 나타난 AlN 박막의 단면과 표면 분석 결과, 박막 내 결정들의 경계가 뚜렷하고 전형적인 주상구조(columnar structure)로 박막이 성장되었음을 알 수 있다. 또한, 그림 2의 (d)에 나타난 AFM 측정 결과로부터 전체적으로 매우 균일하게 박막이 증착되었음을 알 수 있으며, 박막의 평균 RMS 표면거칠기는 약 1.92nm 정도로 나타났다.

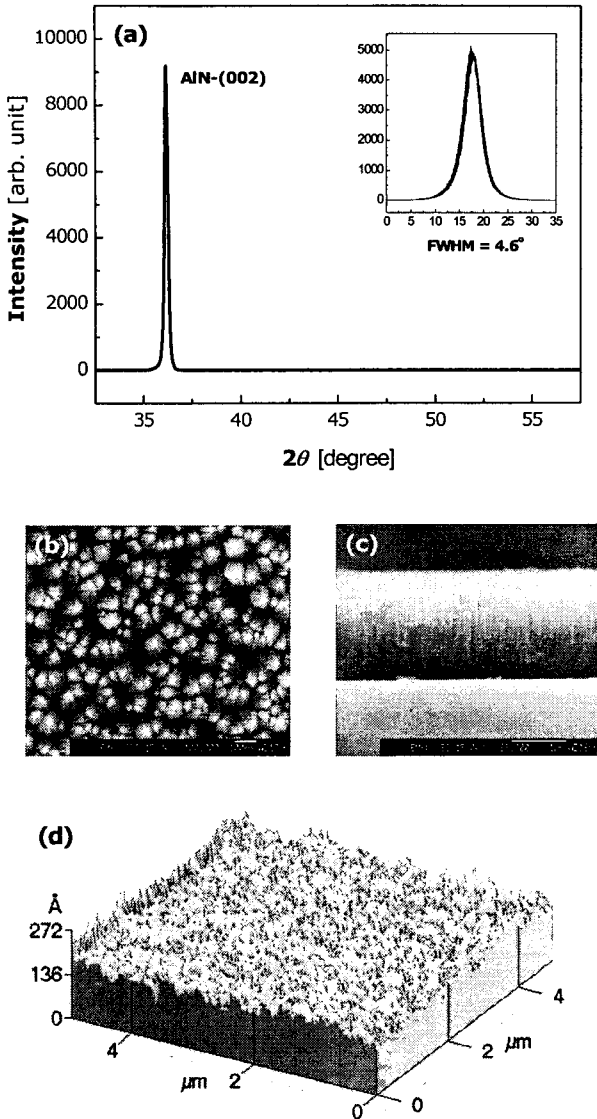


그림 2 압전층으로 사용된 AlN 박막의 XRD, SEM, AFM 측정 결과 : (a) XRD 및 rocking 곡선, (b) SEM 표면사진, (c) SEM 단면사진, (d) AFM 영상.

Fig. 2 XRD, SEM, and AFM results of the AlN film used as the piezo-electric layer: (a) XRD and rocking curve, (b) SEM surface, (c) SEM cross-section, (d) AFM image.

그림 1의 체적탄성과 소자 제작과정에 나타난 바와 같이, 본 연구에서는 SiO₂ 식각 후 하부전극, AlN 박막, 상부전극을 순서대로 증착하여 공진기의 기본구조를 형성하였고, 희생층으로 사용된 SiO₂를 식각하여 기관과 공진기를 분리하였다. 그림 3은 새로운 공정법 및 기존의 공정법에 의해 제작된 AlN 체적탄성과 공진기의 주파수응답 특성을 비교한 측정 결과로서, 그림 3의 (a)에는 반사손실(return loss: S₁₁), (b)와 (c)에는 입력 임피던스(input impedance, Z_{in})의 크기 및 위상을 각각 나타내었다.

그림 3의 (a)에 나타난 바와 같이, 새로운 공정으로 제작된 공진기의 반사손실은 1.191GHz의 공진주파수(resonance

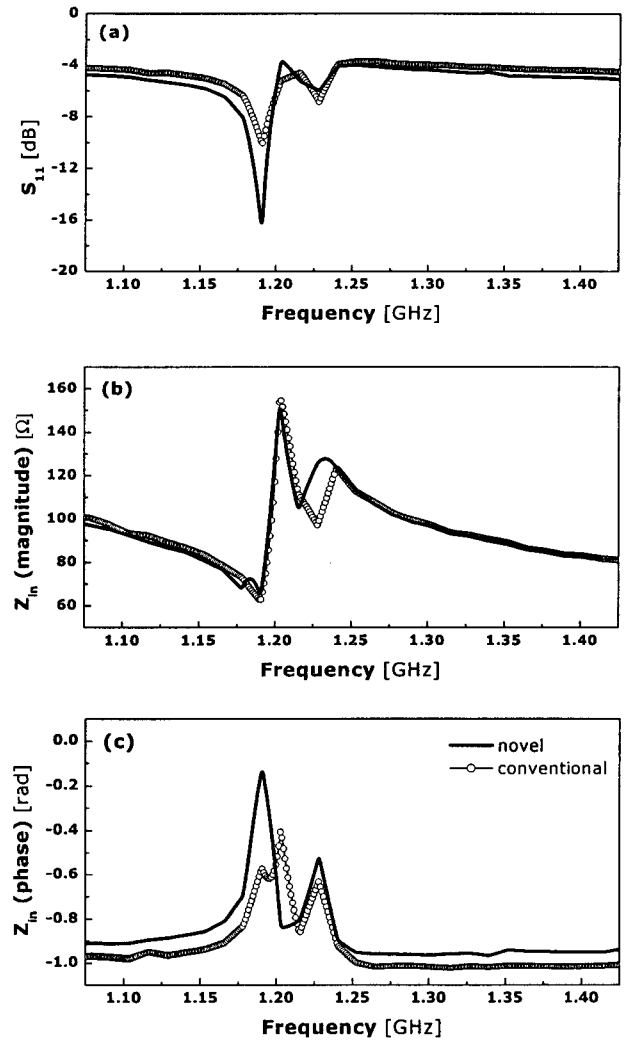


그림 3 제작된 체적탄성과 공진기의 주파수응답 특성: (a) 반사손실, 입력 임피던스의 (b) 크기 및 (c) 위상.

Fig. 3 Frequency response characteristics of fabricated resonators: (a) return loss(S₁₁), input impedance (Z_{in}); (b) magnitude, (c) phase.

frequency)에서 약 -16.484dB의 반사손실을 나타냈으며, 기존의 공정으로 제작된 공진기의 반사손실은 동일한 주파수에서 약 -10.012dB의 반사손실을 가지는 것으로 나타난 바, 새로운 공정법에 의해 제작된 공진기의 반사손실이 크다는 것을 확인할 수 있다. 반사손실 측정 결과에서 기생성분이 일부 관찰된 것은 희생층인 SiO₂막의 식각이 부분적으로 제대로 이루어지지 않아 기생 정전용량(spiral capacitance)이 발생하였기 때문이라 사료된다. 또한, 그림 3의 (b) 결과에서 측정 주파수 대역에서의 입력 임피던스(Z_{in})의 크기, 임피던스의 최대값과 최소값에서의 주파수를 의미하는 병렬 공진주파수(f_p) 및 직렬 공진주파수(f_s) 등의 변화는 두 소자에서 큰 차이를 발견할 수 없었다. 끝으로, 입력 임피던스(Z_{in})의 위상 변화를 나타낸 그림 3의 (c) 결과에서는 위상 변화가 클수록 소자의 수직구조에서 음향파의 전달이 효과적으로 발생하는 것을 의미하는데, 새로운 공정에 의한 공진기가 기존의 방법에 의해 제작된 소자에 비하여 더 효과적인 음

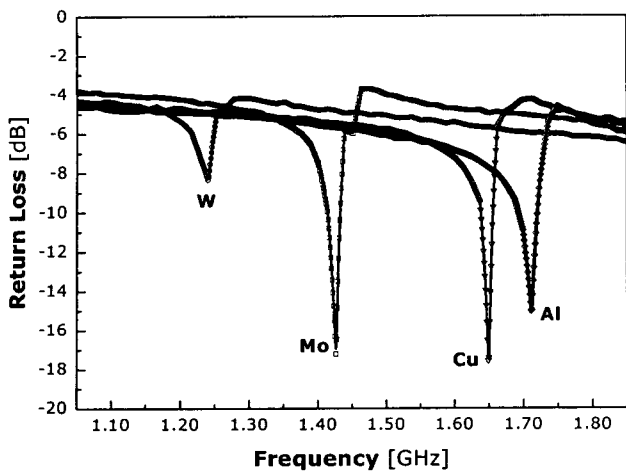


그림 4 하부전극(Al, Cu, Mo, W)의 종류에 따른 체적탄성과 공진기의 주파수응답 특성.

Fig. 4 Frequency response characteristics of FBAR devices as a function of bottom-electrode metals (Al, Cu, Mo, W).

향파 전달이 이루어지고 있음을 보여준다. 또한, 새로운 공정에 의해 제작된 체적탄성과 소자의 전기기계결합계수(electro-mechanical coupling coefficient)와 양호도(quality factor)를 산출한 결과[9-12], 각각 약 2.5 % 및 49.15 등의 값을 나타낸바 손실이 적고 양호도가 우수한 것으로 나타났으며, 공진 대역폭(bandwidth)은 약 12MHz로서 주파수 선택도 측면에서도 비교적 우수한 특성을 가지고 있다는 것을 보여준다. 이는 지지층으로 사용된 SiO₂막이 기존의 공정에 의한 공진기에서는 에너지 손실의 원인이 되지만 새로운 공정으로 제작된 공진기의 경우에는 SiO₂층을 식각하여 제거하였기 때문에 이로 인한 손실이 없었으며, 이와 더불어 AlN 박막의 물성이 하부전극에 의한 영향을 받지 않기 때문에 상기한 바와 같은 우수한 동작 특성을 나타냈다고 판단된다.

표 1은 체적탄성과 공진기의 하부전극에 사용한 금속재료의 원자량(atomic weight), 격자상수(lattice constant), AlN 박막과의 격자 부정합(lattice mismatch), 열팽창계수(thermal expansion coefficient) 등을 원자량의 크기순으로 비교한 것이다. 이러한 금속재료들을 하부전극으로 사용하고, 상부 전극재료로 Mo막을 150nm 두께로 증착하여 제작한 체적탄성과 공진기의 주파수 응답(S₁₁) 특성을 하부전극 금속재료에

표 1 하부전극에 사용된 금속재료의 물성.

Table 1 Properties of the metals used in the bottom-electrode.

Metal	Atomic weight [g/mol]	Resistivity (film/bulk) [$\mu\Omega\text{cm}$]	Thermal expansion coefficient [$\times 10^{-6}/\text{K}$]	Lattice constant [\AA]
Al	26.98	9.52/2.65	23.1	4.05
Cu	63.55	8.03/1.7	16.5	3.61
Mo	95.94	274.7/5	4.8	3.15
W	183.85	317.2/5	4.5	3.17

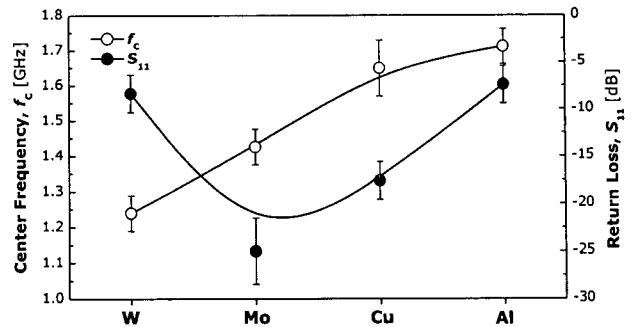


그림 5 하부전극의 종류에 따른 체적탄성과 공진기의 공진 주파수 및 반사손실의 변화.

Fig. 5 Resonance frequency and return loss of resonators as a function of bottom-metals.

따라 비교하여 그림 4에 나타내었다. 여기서, AlN 박막의 두께를 2 μm 로 고정하여 압전박막의 두께에 따라 물성이 변화하는 현상이 체적 탄성과 공진기에 미치는 영향을 제거하였

다. 또한, 이러한 주파수응답 특성으로부터 산출한 공진 중심 주파수 및 반사손실의 변화를 하부전극 재료에 따라 비교하여 그림 5에 나타내었다. 공진 중심주파수가 하부전극의 재료에 따라 Al→Cu→Mo→W의 순으로 낮아지는 것을 볼 수 있는데, 이는 표 1에 나타낸 바와 같이 하부전극의 질량에 의한 부하효과(mass loading effect)에 기인하는 것이라 할 수 있다[13]. 또한, 반사손실은 상부전극과 하부전극 모두 Mo 금속을 사용한 경우에 가장 크게 나타났는데, 이는 증착된 Mo막이 다결정질(polycrystalline)임에도 불구하고 AlN 박막과 열팽창계수와 격자상수 등의 물성들이 서로 유사하기 때문에 전극과 AlN의 격자부정합 및 열팽창에 따른 에너지 손실을 최소화할 수 있고, 음향파의 진행이 다른 금속에 비해 빠르다는 것을 의미한다[14,15].

상기한 바와 같은 하부전극에 의한 부하효과를 확인하기 위하여 동일한 하부전극의 금속재료 Mo막을 사용하고 막의 두께를 각각 0.6 μm , 0.9 μm , 1.2 μm , 1.5 μm 로 증착하여 체적탄성과 공진기의 특성 변화를 분석하여 그림 6에 나타내었다. 여기서, 하부전극의 두께에 따른 주파수 응답 특성의 변화는 본 연구에서 제안한 공정을 이용하여 제작한 공진기의 경우에는 하부전극이 압전박막의 물성에 영향을 주지 않으므로 소자의 특성에 미치는 하부전극의 독립적인 영향을 나타낸다. 하부전극의 두께가 증가할수록 중심주파수는 낮아지는

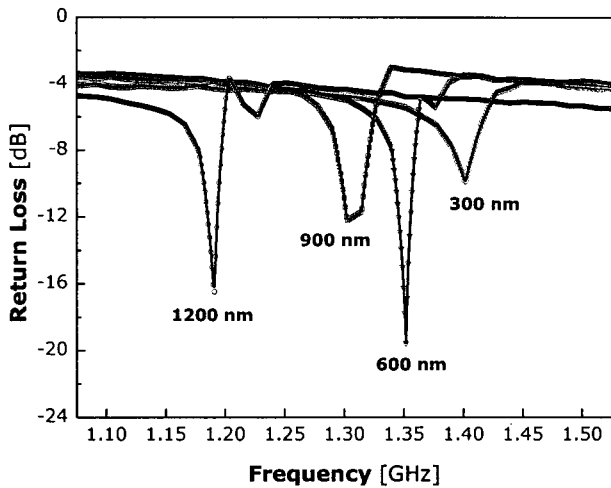


그림 6 하부전극(Mo)의 두께에 따른 체적탄성과 공진기의 주파수응답 특성.

Fig. 6 Frequency response characteristics of resonators as a function of the thickness of bottom-metal (Mo).

것을 알 수 있는데, 이는 하부전극의 두께 증가에 따라 소자에 미치는 부하효과가 증가하고 있음을 의미한다.

또한, 새로운 공정 및 기존의 공정에 의해 제작된 체적탄성과 소자의 병렬양호도(parallel quality factor)를 산출하고 이를 하부전극의 두께에 따라 분석한 결과를 그림 7에 제시하였다. 본 연구에서 제안한 공정에 의해 제작된 소자의 경우, 하부전극의 두께가 두꺼워질수록 병렬양호도가 점차 감소하는 것으로 나타났지만, 기존의 공정에 의해 제작된 소자의 경우에는 이와는 달리 하부전극의 두께가 증가할수록 병렬양호도가 오히려 증가하는 경향을 나타냈다. 새로운 공정의 경우에는, 앞에서 고찰한 바와 같이 하부전극의 두께 변화에 관계없이 AlN 박막의 물성이 유지되기 때문에 소자 특성 변화가 압전박막의 물성 변화에 기인하지 않고 전극의 독립적인 영향에 의해 변화하였음을 의미한다. 그러나, 기존의 공정을 따르는 경우에는 하부전극의 두께에 따라 AlN 박막의 물성이 변화가 나타날 수 있는데, 일반적으로 AlN 박막 증착시 기판층에 해당하는 금속막의 두께가 증가할수록 AlN 박막의 압전물성이 향상되는 경향이 있기 때문에 양호도는 오히려 다소 증가하는 것으로 나타났다고 판단된다. 즉, 제안된 공정방법을 이용하는 경우에는 압전박막 증착의 최적조건을 이용하여 양호한 물성을 가지는 AlN 박막을 증착하고, 이러한 물성이 금속층의 제작조건에 영향을 받지 않고 유지되어, 궁극적으로 특성이 우수한 체적탄성과 공진기의 제작에 효과적으로 활용될 수 있다고 사료된다.

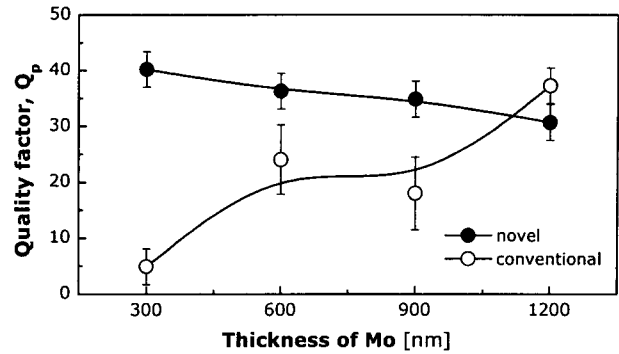


그림 7 하부전극(Mo)의 두께에 따른 체적탄성과 공진기의 병렬양호도 변화.

Fig. 7 The variations in the parallel quality factors of resonators as a function of the thickness of bottom-metal (Mo).

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 AlN 박막을 압전층으로 사용하는 membrane형 체적탄성과 공진기의 제작시 중간 지지층을 별도로 설치하지 않는 새로운 공정방법을 제안하였다. 제작된 소자의 주파수응답 특성 측정 및 주요 소자 파라미터의 정량적인 산출 결과, 제안된 공정방법을 이용하여 기판재료에 의해 공진기에 발생하는 에너지의 손실을 줄일 수 있음을 확인하였다. 또한, 다양한 하부전극 금속재료의 종류 및 두께의 변화에 따라 공진기의 특성을 비교한 결과, 금속박막에 의한 부하효과가 확연히 존재함을 알 수 있었다. 특히, Mo 금속을 하부 및 상부전극에 사용할 경우, AlN 박막이 가지는 격자상수 및 열팽창계수와 가장 유사한 물성을 가지고 있어서, 비교적 높은 비저항값과 큰 질량으로 인한 소자의 공진시 부하효과에도 불구하고 우수한 공진 특성을 얻을 수 있음을 정량적 결과로부터 확인하였다. 결론적으로, 본 연구에서 제안된 공정방법을 채택하여 공진기의 에너지 손실을 근본적으로 감소시키고, 상하부 금속 전극재료의 적절한 선택과 양호한 압전박막의 물성 확보를 통하여 특성이 우수한 체적탄성과 공진기의 제작이 가능하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 한국학술진흥재단 지역대학우수과학자 지원연구(D00508, R05-2004-000-12142-0)의 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

[1] K. M. Lakin, G. R. Kline, and K. T. McCarron, "Thin film bulk acoustic wave filters for GPS", IEEE Ultrason. Symp. Proc., pp. 471-476, 1992.

[2] K. M. Lakin, "Thin film resonator and filters", IEEE Ultrason. Symp. Proc., pp. 895-906, 1999.

[3] C. Caliendo, P. Imperatori, and E. Cianci, "Structural, morphological and acoustic properties of AlN thick films sputtered on Si(100) and Si(111) substrates at low temperature", Thin Solid Films, vol. 441, pp. 32-37, 2003.

[4] Y. R. Kang, "Air-gap type film bulk acoustic resonator using flexible thin substrate", Sensors and Actuators: A, vol. 117, pp. 62-70, 2005.

[5] P. Cong, "A novel piezoelectric-based RF BAW filter", Microelectronic Engineering, vol. 66, pp. 779-784, 2003.

[6] M. Hara, "Surface micromachined AlN thin film 2 GHz resonator for CMOS integration", Sensors and Actuators: A, vol. 117, pp. 211-216, 2005.

[7] C.-L. Huang, "Aluminum nitride films deposited under various sputtering parameters on molybdenum electrodes", Solid-State Electronics, vol. 49(2), pp. 219-225, 2005.

[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, pp. 45-49, 2002.

[9] R. Lanz, P. Muralt, "8 GHz microwave filtered based on bulk acoustic waves in piezoelectric AlN thin films", IEEE International Symp., Applications of Ferroelectrics, ISAF., vol. 1, pp. 919-923, Oct. 2002.

[10] M. Hara, J. Kuypers, T. Abe, and M. Esashi, "MEMS based thin film 2GHz resonator for CMOS integration", IEEE MTT-S International, Microwave Symp. Digest, vol. 3, pp. 1797-1800, Jun. 2003.

[11] S. L. Pinkett, W. D. Hunt, B. P. Barber, P. L. Gammel, "Determination of ZnO temperature coefficients using thin film bulk acoustic wave resonators", IEEE Trans. UFFC., vol. 49(11), pp. 1491-1496, Nov. 2002.

[12] M. A. Dubois, P. Muralt, V. Plessky, "BAW resonators based on aluminum nitride thin films", IEEE Ultrasonics Symp. vol. 2, pp. 907-910, Oct. 1999.

[13] 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, pp. 20-26, 2002.

[14] J. B. Lee, J. P. Jung, M. H. Lee, and J. S. Park, "Effects of bottom electrodes on the orientation of

AlN films and the frequency response of resonators in AlN-based FBARs", Thin Solid Films, vol. 447-448, pp. 610-614, 2004.

[15] S. H. Lim, D. Shindo, H. B. Kang, and K. Nakamura, "Study of defects and interfaces in epitaxial ZnO films on (1120) Al₂O₃ grown by electron cyclotron resonance-assisted molecular beam epitaxy", J. Crystal Growth, vol. 225, pp. 202-207, 2001.

저 자 소 개



김보현 (朴 秉 均)

1978년 12월 17일생. 2004년 한양대학교 전기공학과 졸업. 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 삼성전자 반도체총괄 메모리사업부 차세대연구 1팀.
TEL : 031-208-2718
E-mail : bh3972.kim@samsung.com



박창균 (朴 昶 均)

1974년 10월 24일생. 1999년 한양대학교 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 전자전기제어계측공학과 졸업(박사). 현재 한양대학교 BK21 사업단 핵심분야 미래형 하이브리드카의 핵심 전자부품 개발사업팀 신진연구인력(박사후 과정).
TEL : 031-400-4088
Fax : 031-419-3042
E-mail : ckpark@hanyang.ac.kr



박진석 (朴 珍 奭)

1961년 9월 25일생. 1985년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1993년~1995년 영국 Cambridge 대학 Research fellow. 2004년~2005년 캐나다 British Columbia 대학 방문교수. 1995년~현재 한양대학교 전자컴퓨터공학부 교수.
TEL : 031-400-5166
Fax : 031-419-3042
E-mail : jinsp@hanyang.ac.kr