

SiO₂ 완충층이 ZnO 박막의 물성 및 IDT/ZnO/SiO₂/Si 다층막 구조 표면탄성과 소자의 특성에 미치는 영향

論 文

51C-9-4

Effects of SiO₂ Buffer Layer on Properties of ZnO thin Films and Characteristics of SAW Devices with a Multilayered Configuration of IDT/ZnO/SiO₂/Si

李進馥* · 李明鎬** · 朴珍奭***
(J. B. LEE · M. H. LEE · J. S. PARK)

Abstract - ZnO thin films were deposited on various substrates, such as Si-(111), SiO₂(5000 Å by thermal CVD)/Si-(100), and SiO₂(2000 Å by RF sputtering)/Si-(100). The (002)-orientation, surface morphology and roughness, and electrical resistivity of deposited films were measured and compared in terms of substrate. Surface acoustic wave(SAW) filters with a multilayered configuration of IDT/ZnO/SiO₂/Si were also fabricated and the IDT was obtained using a lift-off method. From the frequency-response characteristics of fabricated devices, the insertion loss and side-lobe rejection were estimated. The experimental results showed that the (002)-oriented growth nature of ZnO films, which played a crucial role of determining the characteristic of SAW device, was strongly dependent upon the SiO₂ buffer.

Key Words : ZnO, SiO₂ Buffer, Si Orientation, Multi-Layered SAW Device, (002)-Orientation

1. 서 론

표면탄성과(surface acoustic wave, SAW) 필터는 HDTV 및 CATV 등의 새로운 영상 시스템과 휴대전화기와 같은 이동통신 분야에서 기존의 유전체 필터 등에 비하여 소형화 및 양산성 등에 많은 장점을 가지고 있기 때문에 핵심 수동소자의 하나로서 주목받고 있다[1-2]. 표면탄성과 소자용 압전재료로서는 현재 널리 사용되고 있는 LiNbO₃, LiTaO₃ 및 수정 등과 같은 단결정 압전세라믹을 비롯하여 최근에는 ZnO, AlN, KNbO₃, LiTaO₃ 등의 다양한 박막형 압전재료가 개발되고 있다[3-5]. 이 중에서 ZnO 박막은 Si 및 유리, 다이아몬드, 사파이어 등의 기판재료와 다층막 구조를 형성하여 MHz~GHz 대역의 광범위한 주파수 범위에서 다양한 응용이 기대되고 있다[6-7]. 특히, Si를 기판으로 이용하는 경우는 표면탄성과 필터 제작시 기존의 Si 공정을 그대로 적용하여 소자의 집적화가 가능한 장점이 있다[8]. 또한, 일반적으로 Si 기판을 사용하는 경우에는 Si 위에 직접 ZnO 박막을 증착하거나, 완충층(buffer layer)으로서 SiO₂ 막을 사용하는데, 이 경우 Si의 결정 방향 및 SiO₂ 막의 성질 등에 따라 ZnO 박막의 압전물성이 서로 다를 수 있으며, 결국 이는 ZnO 박막을 이용하여 제작되는 표면탄성과 소자의 특성에 영향을 미치게 된다. 그러나, 현재까지 이에 관한 체계적인 연구 결과가 발표된 예는 매우 드물다.

본 연구에서는 Si를 기판재료로 이용하여 ZnO 표면탄성과 필터를 제작하는 경우, Si의 결정방향, SiO₂ 완충층의 유무

및 성장방법 등이 표면탄성과 필터의 주파수 응답 특성에 미치는 영향을 비교, 조사하였으며, 다양한 소자들에서 나타나는 특성의 차이를 물성적으로 규명하기 위하여 기판층의 종류 및 물성이 ZnO 박막의 구조적, 전기적 물성의 변화에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였다.

2. 실험방법

본 연구에서 사용된 ZnO 박막은 RF 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 증착하였는데, 약 1×10^{-6} Torr의 초기 진공을 유지하였고, 균일한 박막의 증착을 위하여 증착 중에 기판을 저속으로 회전시켰으며, 스퍼터링용 가스는 Ar(99.999%)을 사용하였고, ZnO 타겟은 99.999%의 순도를 갖는 4 inch 크기의 소결체를 사용하였다. ZnO 박막의 주요 증착조건으로서, 기판온도(T_{sub})는 200 °C, RF 전력은 100 W, 증착압력은 5 mTorr, O₂/(Ar+O₂) 혼합비는 10%로 각각 고정하였으며, 박막의 두께(h)는 표면탄성과의 파장(λ)에 대하여 h/λ 의 비가 0.57 및 1.14 등이 되도록 증착하였다. ZnO 박막의 증착을 위한 기판으로는 (111) 및 (100) 방향의 Si 기판을 사용하였는데, 기존의 연구를 통하여 Si-(100) 기판의 경우에는 기판자체의 배향성 때문에 ZnO의 c-축 (002) 방향 우선 배향 특성이 잘 나타나지 않는 것으로 조사되었기 때문에[6], 본 연구에서는 SiO₂ 완충층을 사용하였으며, RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 약 2000Å(이후, sputtered-SiO₂로 표기) 및 열산화법으로 5000Å(이후, CVD-SiO₂로 표기)의 두께로 각각 증착하였다.

증착된 ZnO 박막은 XRD(x-ray diffractometer, Bede D3 system)를 이용하여 c-축 (002) 우선 배향 특성을 확인하였고, ZnO 박막의 XRD 분석에서 나타나는 모든 배향을 관찰하여 (002) 배향의 대한 상대적인 우선 배향 특성, 즉 TC(002)(texture coefficient for (002)-orientation) 값을 산출하여 정량적으로 비교하였다. FE-SEM (field emission

* 正 會 員 : 漢陽大 電氣工學科 博士課程

** 準 會 員 : 漢陽大 電子電氣制御計測工學科 碩士課程

*** 正 會 員 : 漢陽大 電子컴퓨터工學部 副教授 · T.博

接受日字 : 2002年 5月 27日

最終完了 : 2002年 6月 25日

scanning electron microscope, JEOL JSM-6330F)을 이용하여 ZnO 박막의 표면 형상을 관찰하였으며, AFM(atomic force microscope, Park Scientific Instrument)을 이용하여 평균 표면 거칠기를 측정하여 제작된 모든 ZnO 박막들의 구조적 물성간 상관관계를 조사하였다. 또한, 기판의 종류에 따른 ZnO 박막의 비저항의 차이를 비교하였으며, 이러한 차이에 대한 이유를 박막의 구조적 측면에서 규명하기 위하여 Raman(Jobin-Yvon T64000) 분광 분석을 통하여 얻어진 박막들의 격자 내 결합구조를 비교, 검토하였다.

표면탄성과 소자는 상기한 바와 같이 Si-(111) 및 SiO₂ 완충층을 증착한 SiO₂/Si-(100) 기판을 이용하여 IDT (interdigital transducer)/ZnO/substrate 구조로 제작하였다. 여기서, IDT 전극은 DC 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 약 1800Å 두께로 Al 박막을 ZnO 위에 증착한 후, lift-off 공정을 이용하여 2μm의 선폭(λ/4)이 되도록 제작하였다. 제작된 표면탄성과 소자를 측정용 PCB에 고정하고 network analyzer(HP 8720C)를 이용하여 주파수 응답 특성을 측정하였으며, 이로부터 삽입손실(insertion loss) 및 저지대역폭(side-lobe rejection) 등의 소자 파라미터를 산출하여 기판의 종류에 따라 비교하였다. 또한, h/λ 비가 1.14인 소자의 경우에 reflector 구조의 IDT를 적용하여 표면탄성과 소자의 특성 변화를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 ZnO 박막의 물성 분석

그림 1은 Si-(111) 및 Si-(100) 위에 CVD-SiO₂ 및 sputtered-SiO₂ 완충층을 각각 형성한 3가지 종류의 기판위에 증착된 ZnO 박막에 대하여 XRD 측정으로부터 나타나는 모든 특성 피크를 나타낸 것이다. Si-(111) 기판은 ZnO 박막의 hexagonal 구조와 유사한 cubic 구조를 가지고 있기 때문에, TC₍₀₀₂₎ 값이 약 64 % 정도로서 (002) 우선 배향 특성이 비교적 잘 나타났음을 알 수 있다. 또한, 일반적으로 SiO₂ 막

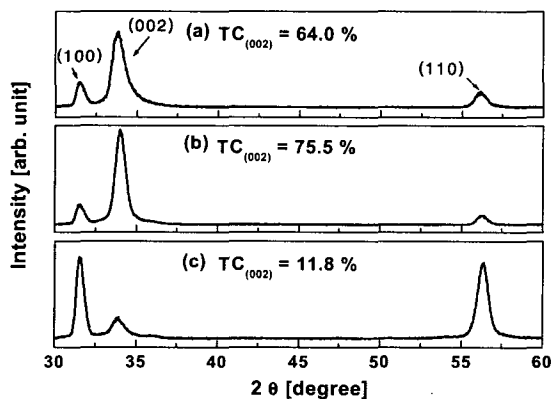


그림 1 기판의 종류에 따른 ZnO 박막의 XRD 패턴 : (a) ZnO/Si(111), (b) ZnO/SiO₂(CVD)/Si(100), (c) ZnO/SiO₂(sputtering)/Si(100)

Fig. 1 XRD patterns of ZnO films deposited on various substrate materials : (a) ZnO/Si(111), (b) ZnO/SiO₂(CVD)/Si(100), (c) ZnO/SiO₂(sputtering)/Si(100)

과 같은 비정질(amorphous)막을 사용하는 경우에는 기판 자체가 특정한 방향으로의 성장 특성이 없기 때문에 ZnO 박막의 (002) 우선 배향 특성이 뚜렷이 관찰될 수 있는 것으로 알려져 있다[9]. 그러나, 그림 1의 (b)와 (c)의 XRD 결과를 비교할 때, 열산화법으로 형성된 비정질 SiO₂ 막위에 증착된 ZnO 박막의 (002) 우선 배향 특성은 매우 우수함(TC₍₀₀₂₎ ≈ 75.5%) 것으로 나타났으나, 스퍼터링 방법에 의해 형성된 SiO₂ 막위에서는 (002) 배향 특성이 상당히 저하됨(TC₍₀₀₂₎ ≈ 11.8%) 것으로 나타났다. 이는 스퍼터링으로 증착된 SiO₂ 막이 열산화막에 비하여 표면에서의 결합 밀도가 높고, 막의 치밀도가 상대적으로 떨어지기 때문이라 사료된다.

그림 1의 세 가지 ZnO 박막에 대한 FE-SEM 표면 형상을 그림 2에 나타내었다. 그림 2의 (a) 및 (b)의 경우와 같이, ZnO 박막의 (002)면이 기판과 수직방향으로 우선 배향하여 증착된 경우에는 피라미드 형태로의 성장이 이루어지고, (c)와 같이 박막이 (110)면으로 우선 배향된 경우에는 (100)면과 (101)면이 한 변을 공유하고 있는 삼각지붕 형태로 성장하는 것을 관찰할 수 있다. 이는, AlN 박막에 대하여 기존에 보

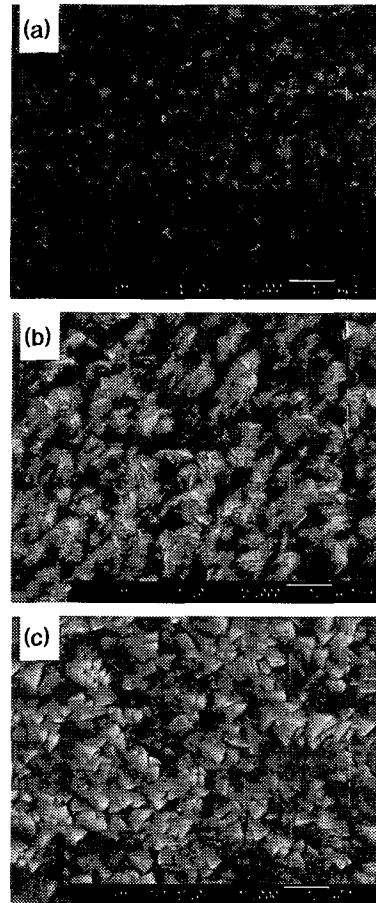


그림 2 기판의 종류에 따른 ZnO 박막의 FE-SEM 표면형상 : (a) ZnO/Si(111), (b) ZnO/SiO₂(CVD)/Si(100), (c) ZnO/SiO₂(sputtering)/Si(100)

Fig. 2 FE-SEM surface images of ZnO films deposited on various substrate materials : (a) ZnO/Si(111), (b) ZnO/SiO₂(CVD)/Si(100), (c) ZnO/SiO₂(sputtering)/Si(100)

고된 성장 형태와 매우 유사한 결과로서[10], ZnO 박막은 AlN와 거의 동일한 구조적 특성을 가지고 있기 때문에 나타난 결과라 판단된다.

또한, 그림 3에 상기한 세 가지 ZnO 박막들에 대한 AFM 표면 형상 및 RMS 표면거칠기의 산출 결과를 나타내었다. 그림 3의 (c)에 보인 바와 같이, sputtered-SiO₂ 완충층을 기판으로 사용한 경우에는 표면거칠기가 약 109 nm 정도로 Si-(111) 기판이나 열산화막을 사용한 경우에 비하여 약 2 배 이상 큰 것으로 나타났다. 이와 관련하여 기존의 연구에서[11] 기판의 종류 및 증착조건에 따라 우수한 (002) 배향 특성을 갖는 ZnO 박막일수록 대체적으로 표면거칠기가 작은 경향이 있었음을 실험적으로 확인한 바 있었는데, 본 연구에서도 (002) 배향 특성이 우수한 경우 표면 거칠기가 감소함을 확인할 수 있었다. ZnO 박막을 이용하여 표면탄성과 소자를 제작하는 경우 박막의 표면거칠기가 크면, 미세하고 명확한 IDT 전극의 제작에 어려움이 초래되며, 표면탄성과의 전달손실 증가에 결정적인 영향을 미칠 수 있으므로, 표면탄성과 소자의 응용시에는 박막의 배향특성과 표면 거칠기의 향상을 위한 완충층의 선택이 중요할 것으로 판단된다.

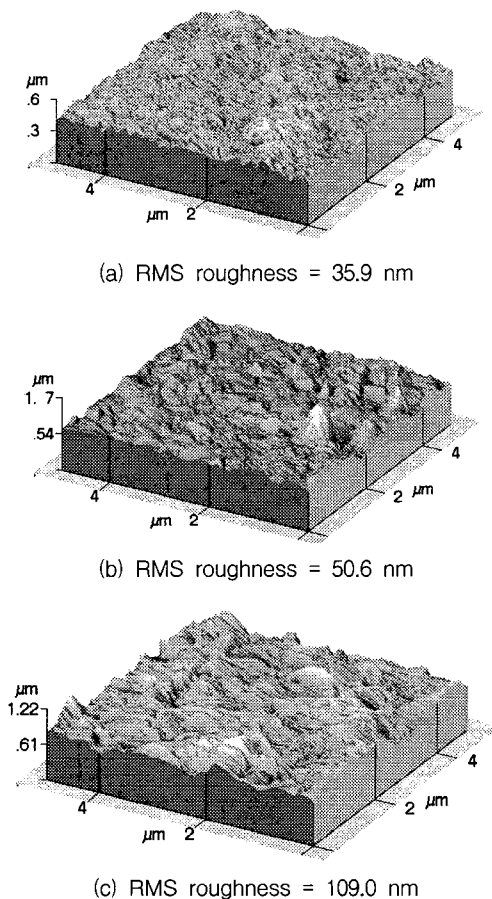


그림 3 기판의 종류에 따른 ZnO 박막의 AFM 형상 및 거칠기: (a) ZnO/Si(111), (b) ZnO/SiO₂(CVD)/Si(100), (c) ZnO/SiO₂(sputtering)/Si(100)

Fig. 3 AFM images and roughnesses of ZnO films deposited on various substrate materials : (a) ZnO/Si(111), (b) ZnO/SiO₂(CVD)/Si(100), (c) ZnO/SiO₂(sputtering)/Si(100)

또한, 압전 박막의 비저항은 c-축 우선 배향 특성, 표면거칠기 등과 더불어 표면탄성과 소자 응용시 박막의 중요한 물성으로서, ZnO 박막의 경우 비저항은 가능한 높을수록 좋으며 최소한 약 10⁷ Ωcm 이상은 되어야 하는 것으로 보고된 바 있다[12]. 본 연구에서 기판의 종류에 따라 ZnO 박막의 비저항을 측정된 결과, sputtered-SiO₂/Si 기판을 사용한 경우에는 2.1×10⁵ Ωcm 정도의 비교적 낮은 비저항을 갖지만, Si-(111) 및 CVD-SiO₂/Si 기판위에 증착된 박막들의 경우에는 각각 1.23×10¹³ Ωcm 및 3.13×10¹³ Ωcm의 높은 비저항 값을 갖는 것으로 나타났다. 이와 같이 기판의 종류에 따른 ZnO 박막의 전기적 비저항의 차이에 대한 이유를 박막의 구조적 측면에서 규명하고자 Raman 분광 분석을 수행하였다.

그림 4는 그림 1~그림 3에서 사용한 ZnO 박막들에 대하여 측정된 Raman 스펙트럼 결과를 나타낸 것이다. 일반적으로 ZnO 박막의 경우에는 Wurtzite 구조를 갖고 있음을 나타내는 소위 E2 모드에 의한 437 cm⁻¹ 에서의 피크와 ZnO 박막의 격자내에 과도한 Zn가 존재하여 상대적으로 산소가 부족한 경우에 나타나는 E1 모드에 의한 579 cm⁻¹ 에서의 피크 등 크게 두 가지의 중요한 피크가 존재하는 것으로 알려져 있다[13-14]. 그림 4의 (c)는 sputtered-SiO₂/Si 기판위에 증착된 ZnO 박막의 Raman 스펙트럼 결과로서, (a)와 (b)에 나타낸 Si-(111) 및 CVD-SiO₂/Si 기판위에 증착된 박막들의 경우와 비교하여 579 cm⁻¹ 피크의 크기가 상대적으로 더 강하게 나타난 것을 관찰할 수 있다. 이는 과도한 Zn의 존재로 인하여 ZnO 박막내의 산소가 부족함을 의미하는 바, ZnO 박막 증착시 주입된 산소가 sputtered-SiO₂ 막내에 존재하는 다수의 결함을 보상(passivation)하는데 사용되어 실제로 ZnO 박막의 증착에 참여하는 산소의 양이 그만큼 줄어들었기 때문이라고 사료된다. 또한, 이와 같이 sputtered-SiO₂ 막위에 증착된 ZnO 박막의 산소 함유량이 낮은 것은, 앞에서 언급한 바와 같이 Si-(111)이나 CVD-SiO₂/Si 기판위에 증착된 박막들에 비하여 이 박막의 비저항이 상대적으로 낮게 나타난 결과에 대한 이유가 될 수 있을 것이라 판단된다.

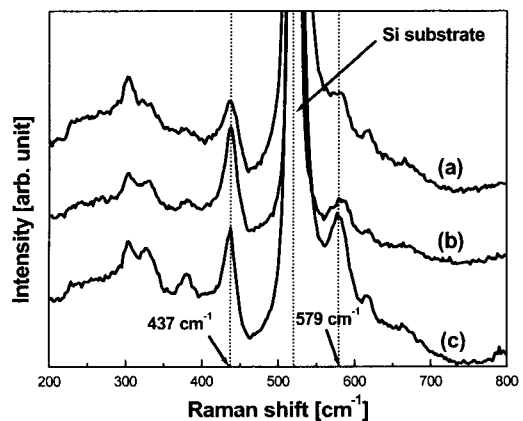


그림 4 기판의 종류에 따른 ZnO 박막의 Raman 스펙트럼 : (a) ZnO/Si(111), (b) ZnO/SiO₂(CVD)/Si(100), (c) ZnO/SiO₂(sputtering)/Si(100)

Fig. 4 Raman spectra of ZnO films deposited on various substrate materials : (a) ZnO/Si(111), (b) ZnO/SiO₂(CVD)/Si(100), (c) ZnO/SiO₂(sputtering)/Si(100)

3.2 표면탄성과 소자의 특성 분석

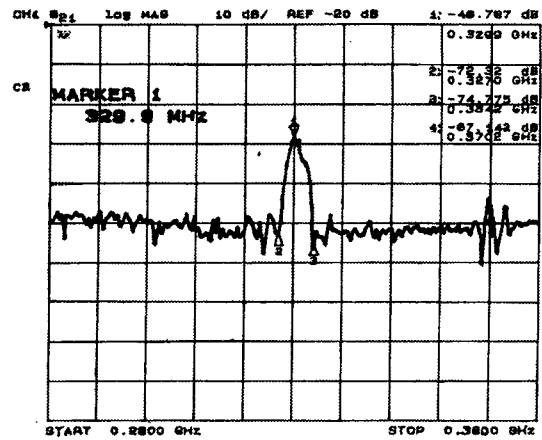
그림 5의 (a)~(c)는 상기한 바와 같이 세 가지 서로 다른 기판위에 증착된 ZnO 박막을 이용하여 제작한 다층막 구조의 표면탄성과 소자에 대한 주파수 응답 특성을 비교한 것이다. 중심주파수는 사용된 기판의 종류에 거의 관계없이 약 330 MHz 정도였으며, 이는 본 연구에서 증착한 ZnO 박막의 표면탄성과 속도가 약 2640 m/s 정도이고, SiO₂ 완충층의 유무 혹은 두께의 차이가 표면탄성과의 속도에는 거의 영향을 미치지 않았다는 것을 의미한다.

그림 5의 (c)와 같이 sputtered-SiO₂ 완충층을 기판으로 사용한 경우는 다른 기판을 사용한 경우들에 비하여 저지대역폭이 너무 작아서 표면탄성과 소자로 응용하기는 어렵다고 판단된다. 다만, 이 경우에 상대적으로 삽입손실이 작게 측정된 것은 앞에서 고찰한 바와 같이, sputtered-SiO₂ 막위에 증착된 ZnO 박막은 비저항이 현저히 낮았기 때문이다. 또한, Si-(111) 기판을 사용한 경우에 비하여 CVD-SiO₂ 막을 완충층으로 사용한 표면탄성과 소자의 경우가 삽입손실 및 저지대역폭 등의 특성이 더 우수한 것으로 나타났다. 이는 앞에서 고찰한 바와 같이, CVD-SiO₂ 막위에 증착된 ZnO 박막의 (002)에 대한 TC값 및 비저항이 상대적으로 더 높았기 때문이라 사료되며, 결국 상기한 세 가지 기판의 영향을 비교하면 ZnO 박막의 c-축 성장이 가장 우수하게 나타날 수 있는 기판을 선택하는 것이 표면탄성과 소자의 우수한 특성을 확보하기 위한 중요한 조건이라 할 수 있다.

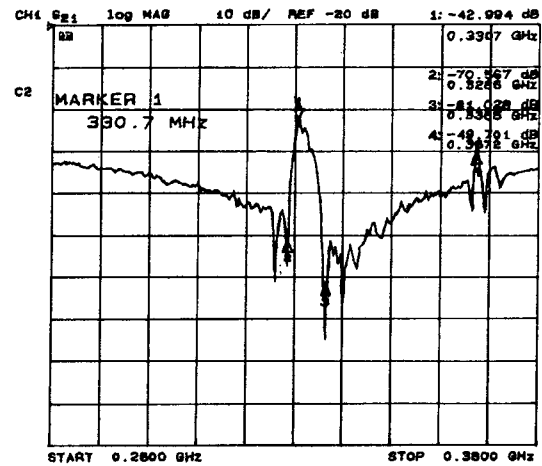
또한, 상기한 바와 같은 ZnO 박막의 물성 및 표면탄성과 소자의 특성 분석 결과를 근거로 다음의 실험에서는 CVD-SiO₂ 막을 완충층으로 사용하되, h/λ 비가 1.14가 되도록 ZnO 박막을 증착하여 표면탄성과 소자를 제작하였고, 한 개의 소자는 반사형(reflector-type) 구조의 IDT 전극을 형성하여 그 특성을 비교하였다. 그림 6의 (a)에 나타난 결과와 그림 5의 (b)에 나타난 결과를 비교할 때, h/λ 비가 0.57로부터 1.14로 증가함에 따라 삽입손실이 크게 감소하였음을 알 수 있는데, 이는 ZnO 박막의 두께가 증가함에 따라 표면탄성과의 전달시 완충층으로 사용된 CVD-SiO₂ 막의 영향을 상대적으로 적게 받았기 때문이라 판단된다. 또한, 그림 6의 (b)에 나타난 바와 같이 반사형 IDT를 설치한 결과, 그림 6의 (a)에 나타난 결과에 비하여 삽입손실이 약 6~7 dB 정도 더 감소하였음을 알 수 있다. 이는 이론적으로 표면탄성과 소자의 IDT가 반사형과 같은 양방향성의 특성을 가지는 경우 에너지의 흐름이 입·출력단의 양방향으로 분리되기 때문에 각각의 IDT에서 1/2의 전력 손실이 발생하고, 결국 출력단에 도달되는 전력은 전체 입력의 1/4이 되어 10×log₁₀(P_{out}/P_{in})≅6 dB의 손실이 발생하게 되기 때문이다[15].

본 연구에서 제작한 IDT/ZnO/substrate 구조의 표면탄성과 소자들에 대한 주파수 응답 특성으로부터, 세가지 기판의 형태에 따라 각 소자에서 나타난 삽입손실 및 저지대역폭의 특성값을 산출하여 표 1에 정리하였다. ZnO 박막을 이용한 표면탄성과 소자에 관하여 현재까지 문헌에 보고된 연구결과에 의하면, 대부분 삽입손실의 범위가 약 20~30 dB, 저지대역폭이 최대 약 30 dB 이하인 것으로 발표되고 있다[16]. 본 연구에서 CVD-SiO₂ 기판을 사용하고 반사형 IDT를 적용하여 제작한 소자의 경우, 삽입손실과 저지대역폭이 각각 약

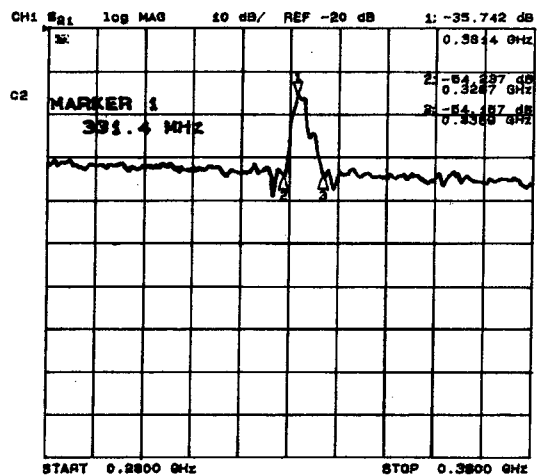
27.8 dB 및 약 42.7 dB 등으로 측정된 바, 기존의 결과에 비하여 상당히 우수한 특성을 가지고 있다고 사료된다.



(a) IDT/ZnO/Si(111)



(b) IDT/ZnO/SiO₂(CVD)/Si(100)



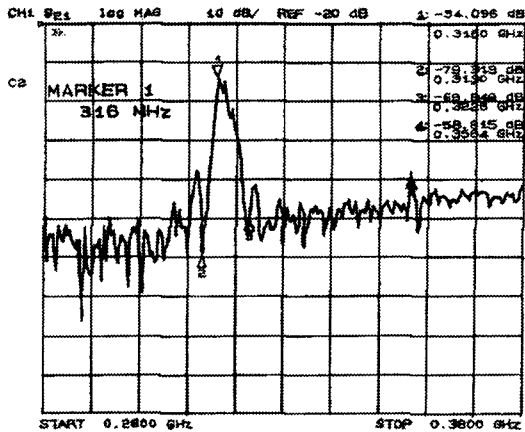
(c) IDT/ZnO/SiO₂(sputtering)/Si(100)

그림 5 기판의 종류에 따른 ZnO 표면탄성과 필터의 주파수 응답 특성 (h/λ=0.57)

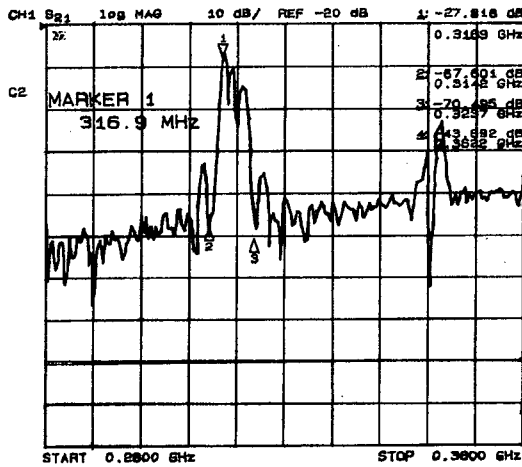
Fig. 5 Frequency responses of ZnO SAW devices fabricated with various substrates (h/λ=0.57)

4. 결 론

본 연구에서는 Si-(111), CVD-SiO₂/Si 및 sputtered-SiO₂/Si 등 세가지 종류의 기판을 이용하여 ZnO 박막을 증착하고 동일한 공정에 의해 표면탄성과 소자를 제작하여, ZnO 박막의 c-축 (002) 배향 특성, 표면 형상 및 표면거칠기, 전기적 비저항 등의 압전 물성 및 표면탄성과 소자의 특성을 상기한 바와 같은 세가지 기판의 종류에 따라 비교, 분석하였다. CVD-SiO₂/Si 기판위에 증착한 ZnO 박막에 비하여 sputtered-SiO₂/Si 기판위에 증착한 박막의 경우 상대적으로 표면거칠기가 크며, (002) 배향 특성도 매우 떨어지는 것으로 나타났는데, 이는 스퍼터링으로 증착된 SiO₂ 막이 열산화막에 비하여 표면에서의 결합 밀도가 높고, 막의 치밀도가 상대적으로 떨어지기 때문이다. 또한, 제작된 표면탄성과 소자의 특성 파라미터를 비교한 결과, CVD-SiO₂/Si 기판을 사용한 소자의 경우에 다른 기판을 사용한 소자들에 비하여 상대적으로 가장 우수한 특성을 가지는 것으로 나타났는데, 이는 CVD-SiO₂/Si 기판위에 증착한 ZnO 박막의 TC₍₀₀₂₎값 및 전기적 비저항이 상대적으로 가장 높았기 때문이다. 아직까지 본 연구에서는 다층막 구조의 표면탄성과 소자에 대한 IDT 전극의 최적 설계나 특성 측정시 임피던스 부정합에 따른 에너지 손실의 최소화 등이 이루어지지 않은 상태임에도 불구하고, IDT(reflector)/ZnO/CVD-SiO₂/Si 구조의 소자에 대하여 약 27.8 dB의 삽입 손실과 약 42.7 dB의 저지대역폭을 갖는 비교적 우수한 특성을 얻을 수 있었다.



(a)



(b)

그림 6 ZnO/IDT/SiO₂(thermal)/Si(100) 구조 표면탄성과 소자의 주파수 응답 특성 : (a) $h/\lambda=1.14$, (b) $h/\lambda=1.14$ 및 반사형 IDT 적용

Fig. 6 Frequency responses of SAW devices with ZnO/IDT/SiO₂(thermal)/Si(100) structure : (a) $h/\lambda=1.14$, (b) $h/\lambda=1.14$ with the reflector-type IDT employed

표 1 제작된 표면탄성과 소자의 특성 파라미터 산출값
Table 1 Estimated values of characteristic parameters for fabricated SAW devices

h/λ	Configuration	IL _{min} [dB]	SLR _{MAX} [dB]
	IDT/ZnO/Si(111)	-48.787	25.988
0.57	IDT/ZnO/CVD-SiO ₂ /Si(100)	-42.994	38.034
	IDT/ZnO/sputtered-SiO ₂ /Si(100)	-35.742	18.495
	IDT/ZnO/CVD-SiO ₂ /Si(100)	-34.096	40.488
1.14	IDT(reflector)/ZnO/CVD-SiO ₂ /Si(100)	-27.818	42.677

감사의 글

이 논문은 1998년도 한양대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] J.Koike, H.Tanaka, and H.Ieki,Jpn. "Quasi-microwave band longitudinally coupled surface acoustic wave resonator filters using ZnO/sapphire substrate", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, pp. 2678-2682, 1995.
- [2] S. J. Chang, Y. K. Su, and Y. P. Shei, High quality ZnO thin films on InP substrate prepared by radio frequency magnetron sputtering. II. Surface acoustic wave device fabrication", J. Vac. Sci. Tech. A 13(2), pp. 385-388, 1995.
- [3] H. M. Liaw and F. S. Hickernell, "SAW characteristics of sputtered Aluminum Nitride on silicon and Gallium Arsenide", Proceedings of IEEE Ultrasonics Symp., pp. 375-379, 1994.
- [4] R. Nayak, V. Gupta, and K. Sreenivas, "SAW and AO propagation characteristics of KNbO₃/spinel thin films layered structure", Proceedings of IEEE Ultrasonics Symp., pp.269-272, 2001.
- [5] T. Shoji, K.Nakamura, and D.Yamazaki, "Propagation characteristics of the SH-SAW on (110) ZnO/ (012)

LiTaO₃”, Proceedings of IEEE Ultrasonics Symp., pp. 215-219, 2001.

[6] H. Nakahata, A. Hachigo, K.Higaki, S.Fuhii, S.Shikata, and N.Fujimori, “Theoretical study on 표면탄성과 characteristics of layered structures including a diamond layer”, IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferro-electrics, and Frequency Control, Vol.42, No.2, pp. 362-374, 1995.

[7] T. Mitsuyu, S. Ono, and K.Wasa, “Structures and 표면탄성과 properties of rf-sputtering single-crystal films of ZnO on sapphire”, J. Appl. Phys. Vol.51, pp. 2464-2470, 1980.

[8] 이용의, 김형준, 양형국, 박순섭, 박종철, 김영진, “ZnO 박막과 유전체 박막으로 구성된 이중구조의 물성 및 표면탄성과”, Korean J.Crst., Vol.6, No.2, pp.134-140, 1995.

[9] 이진복, 이해정, 서수형, 박진석, “RF 마그네트론 스퍼터링에 의한 ZnO 박막의 증착 및 구리 도우핑 효과”, Trans. KIEE, Vol. 49C, No.12, pp.654-664, 2000.

[10] R. Rodriguez-Clemente, B. Aspar, N.Azema, B. Armas, C.Combescure, “Morphological properties of chemical vapour deposited AlN films”, Journal of Crystal Growth 133, pp.59-70, 1993.

[11] H.M.Liaw, F.S.Hickernell, “ The characterization of sputtered polycrystalline aluminum nitride on silicon by surface acoustic wave measurements”, IEEE Trans. ultrasonics, ferro-electric, and frequency control, Vol.42, No.3, pp.404-409, 1995.

[12] 이용의, 양형국, 김영진, 한정인, 김형준, “RF 마그네트론 스퍼터링에 의한 ZnO 박막 증착 및 표면탄성과 필터 특성 분석”, 한국재료학회지, Vol.4, No.7, pp.783-791, 1994.

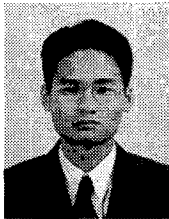
[13] X. L. Xu, S. P. Lau, J. S. Chen, G. Y. Chen, B. K. Tay, “Polycrystalline ZnO thin films on Si(100) deposited by filtered cathodic vacuum arc”, Journal of Crystal Growth 223, pp.201-205, 2001.

[14] Gregory J. Exarhos, Shiv K.Sharma, “Influence of processing variables on the structural and properties of ZnO films”, Thin Solid Films 270, pp.27-32, 1995.

[15] C.K.Campbell, “Surface acoustic wave devices for mobile and wireless communications”, Academic Press, 1998.

[16] M.S.Wu, W.C.Shih and W.H.Tsai, “Growth of ZnO thin films on interdigital transducer/corning 7059 glass substrates by two-step fabrication methods for surface acoustic wave applications”, J.Phys. D: Appl. Phys. 31, pp.943-950, 1998.

저 자 소 개



이진복(李進馥)

1975년 6월 9일생. 1997년 한양대 공학대학 전기공학과 졸업. 1999년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동대학원 전기공학과 박사과정
TEL : (031) 400-4088
E-mail : jblee@ihanyang.ac.kr



이명호(李明鎬)

1976년 10월 22일생. 2001년 한양대 공학대학 전자공학과 졸업. 현재 한양대 대학원 전자전기 제어계측공학과 석사과정
TEL: (031) 400-4088
E-mail: brind@ihanyang.ac.kr



박진석(朴珍奭)

1961년 9월 25일생. 1985년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1993년~1995년 영국 Cambridge 대학 Research Fellow. 현재 한양대 공대 전자컴퓨터 공학부 부교수. 대한전기학회 국제위원 및 C 부문학회 이사. 한양대 전자재료 및 부품 연구센터(EM&C) 부소장
TEL: (031) 400-5166
E-mail: jinsp@hanyang.ac.kr