

AlN박막을 이용한 SAW 소자의 제조

(Fabrication of SAW device by using AlN thin films)

안창규, 최승철, 조성훈* 한성환*
아주대학교 재료공학과
한국과학 기술연구원 나노환경 연구센터*

Abstract

AlCl₃:tBuNH₂ 단일 전구체를 이용하여 MOCVD방법에 의해 상압하에서 1μm의 두께로 증착하였다. 증착된 AlN 박막을 XRD, SEM, RBS 그리고 AES로 분석했으며 IDT전극을 형성하기 위해 1500Å의 두께로 증착했다. 중심주파수 1.5GHz를 갖고 입출력 개수가 각각 500개이며 IDT선폭이 1μm인 전송형의 SAW filter를 제작하고자 하였다.

1. Introduction

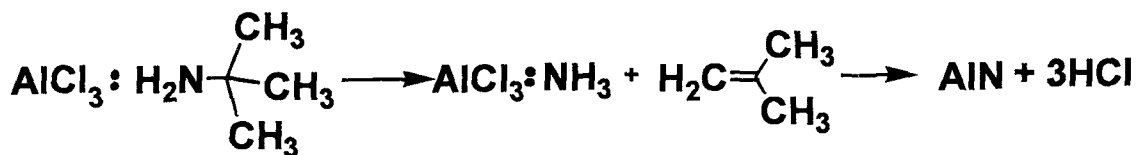
현대사회는 정보화의 시대이며 그 정보화시대에 걸맞게 수 많은 통신수단이 사용되고 있다. 또한 모든 통신 수단이 아날로그시대에서 디지털 시대로 거의 바뀌어 가고있는 이 시점에서 언제 어디서든 1:1 통신을 할 수 있는 이동통신의 개발은 제3의 산업혁명을 일으켰다고 말해도 과언이 아니다. 현재는 소리와 문자전송만이 가능한 PCS와 cellural phone에서 동화상 전송까지 전송 가능한 IMT2000 세제로 나아가고 있다. 여기서 SAW filter는 수십 혹은 수백개의 L-C filter의 역할을 하나의 SAW filter가 대체하는 소자이므로 기타 소자의 경박단소를 가능케 하는 매우 중요한 소자이다. SAW filter는 SAW IDT내의 finger들이 서로반대의 극성을 교대로 가져야하는 제약 때문에 SAW filter에서 신호처리는 교류에 국한되며 주로 대역 통과 filter에 사용된다. 현재 SAW filter에 사용되는 wafer는 LT, LN 등의 단결정이 사용되고 있는데 그 이유는 높은 전기기계결합계수와 큰 압전성질 그리고 표면 uniformity가 우수하기 때문이다. 그러나 이러한 재료로 만들어진 SAW filter는 고주파 대역에서 사용하기엔 그 한계를 가지고 있다, 그래서 IDT회로 설계시 선폭을 매우 낮추는 공정을 개발하는 추세와 SAW 속도가 매우 빠른 재료를 개발하고 있는 추세로 나아가고 있는 실정이다.

AlN, ZnO, CdS, CdSe등의 압전 박막을 이용하는 SAW filter개발이 매우 빠르게 진행되고 있다.^[1-4] 특히 AlN인 경우 적당한 압전성질과 기존의 LT(LiTaO₃), LN(LiNbO₃) wafer와 비교하여 높은 표면 탄성과 속도를 가지기 때문에 SAW 소자로서 매우 우수한 재료이다. AlN 박막의 제조는 스퍼터링 등의 물리 증착 방법^[5-7]과 MOCVD 등의 화학 증착법^[8-10]으로 많은 연구가 진행되어 왔다. 그 중에서 MOCVD로 대표되는 화학 증착법의 장점은 박막

AlN 박막의 제조는 스퍼터링 등의 물리 증착 방법^[5-7]과 MOCVD 등의 화학 증착법^[8-10]으로 많은 연구가 진행되어 왔다. 그 중에서 MOCVD로 대표되는 화학 증착법의 장점은 박막의 빠른 성장 속도, 대량생산과 연속공정이 가능하고 다른 반도체 공정과 연계성이 뛰어나다는 점이다. CVD 공정에서는 원료 공급원으로서 어떤 종류의 전구체를 사용하느냐에 따라 박막의 제조 방법과 질 등이 결정된다. 그러므로 고 순도이며 낮은 온도에서 높은 증기압을 가진 우수한 성능의 전구체를 개발하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 보다 양질의 공급원을 제조하기 위해서 분자 레벨에서 검토한 새로운 단일 전구체를 합성하였다. 탄소오염의 주된 원인 중의 하나는 전구체안에서 Al-R (R=Methyl, Ethyl, D) 형태로 존재하는 탄소를 함유한 알킬기와 알루미늄간의 결합이다. 탄소오염을 줄일 수 있는 한 가지 방법으로 Al-R 결합이 포함되어있는 전구체를 출발원료 후보로부터 배제시키는 것이다. 본 연구에서는 알루미늄의 소스로 AlCl₃을 선택하였다. 이는 무극성구조로 높은 증기압을 나타내며 탄소를 함유하고 있지 않다. AlCl₃는 전형적인 루이스 산으로 N의 원료로서 적당한 알킬 작용기를 선택한다면 AlCl₃는 아민 화합물과 산-염기의 1:1 첨가 생성물(adduct)을 이룰 것이다. 이 방법으로 Al과 N이 1:1 비율을 가진 화합물로 단일 전구체 제조를 시도하였다. 일반적으로 N의 원료로서는 암모니아를 주로 사용하지만 그 높은 열적 안정성을 낮추기 위해 N-H 결합중의 하나를 알킬 작용기로 대체시킬 수 있다. 이 알킬 작용기는 증기압이 높고 잔류탄소를 남기지않는 조건을 충족 시켜야 한다. 가장 이상적인 작용기의 하나로 t-butyl을 들 수 있다. 이는 분해과정에서 eq. 1에서와 같이 i-butylene를 형성하며 이는 열역학적으로 안정한 화합물이다.

또한 t-butyl기는 CH₃기들이 입체적으로 둘러싸여 NH₂기를 감싸는 모습을 하고 있다. 그래서 입체적이며 부피있는 t-butyl기들과 Cl기들은 무극성 구조와 원형의 모양을 갖게 한다 이것이 전구체의 증기압을 높이는 원인 중의 하나가 될 수 있다.

본 실험에서는 AlCl₃:t-BuNH₂의 단일 전구체를 제조하여 AP-MOCVD방법으로 증착하여 IDT회로를 설계해 SAW filter의 제조에 응용하였다.



Equation 1

2. Experimental Procedure

2.1 단일전구체 제작

125ml schlenk 플라스크에 dropping funnel을 설치하고 flame dry한 후 알콘으로 치환된 반응용기에 AlCl₃ (3 g, 22.5 mmol)를 benzene(20 ml) 용액에 t-butylamine(14 ml)을 천천

히 0 °C에서 적가한 후, 반응 혼합용액을 상온에서 2시간동안 반응시킨다. 반응 후 진공에서 용매를 제거하면 흰색 고체를 얻는다. 이 흰색 고체를 90 °C에서 승화법으로 정제하면 무색 결정성 고체 2.7 g을 58 %의 수율로 얻을 수 있다.

박막증착에 사용한 기판은 단결정 sapphire (0001)로서 $8 \times 8 \times 0.5 \text{ mm}^3$ 크기로 잘라서 사용하였다. 증착 전에 기판표면의 유기 및 무기 오염물을 제거하기 위해 다음과 같은 전처리 세정공정을 거쳤다. 우선 기판을 methanol에 담그어 20분간 sonication하고 3차 증류수로 washing한 후 100 °C의 $3\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}$ 용액에 10분간 담궈 표면의 오염물을 제거한다. 표면의 오염물을 제거한 후 vacuum dry하여 수분을 제거하고 반응기내의 susceptor 위로 장입한다.

2.2 AlN 박막증착

박막증착을 위한 시편준비 및 장치 setting이 완료되면 반응기 내부를 argon으로 purging 하면서 할로겐 램프를 통해 boat와 susceptor를 가열한다. Boat의 온도는 precursor가 sublimation되는 온도인 100 °C로 설정하였고, susceptor의 온도는 900 °C로 설정하였다. Susceptor의 승온속도는 약 78 °C/min로서 램프가열법의 급열 특징을 활용하였다. 이때 boat와 susceptor간의 거리가 약 6 cm로 서로 매우 근접해 있기 때문에 susceptor가 약 900 °C 정도가 되면 boat온도는 추가적인 가열원 없이도 sublimation이 진행되는 온도인 65 °C에 근접하게 된다. Boat와 susceptor의 온도가 각각 설정한 온도가 되어 증착조건이 완료되면 argon purging을 종료하고 carrier gas인 H_2 를 400 sccm 공급하여 sublimation된 precursor를 가열된 기판으로 이동시킨다. 이와같은 상태를 2.30시간 동안 유지하여 박막증착 반응이 완료되면 시편을 약 6.3 °C/min로 서서히 냉각시킨다.

2.3 박막 분석

증착된 AlN박막은 RBS (Rutherford Backscattering Spectroscopy)분석을 통해 박막의 원소성분을 분석하였고, 또한 검출된 각 원소의 정량적 조성을 알아보았다. 또한 AES (Auger Electron Spectroscopy) depth profiling을 통하여, 박막 표면으로부터 깊이 방향에 대한 박막 구성성분 원소의 조성을 분석하여, 잔류 oxygen과 carbon 불순물의 양을 결정하고 aluminum과 nitrogen의 정량적 조성비를 조사하였으며, 또한 α -step 을 통하여 증착된 박막의 두께를 측정할 수 있었다. 또한 박막의 결정학적 특성을 알아보기 위해서 XRD (X-Ray Diffractometer) pattern을 이용하였고, SEM (Scanning Electron Microscopy)을 이용하여 생성된 박막의 미세조직을 관찰하였다.

2.4 SAW filter제작

중심주파수 1.5 GHz, λ 는 4 μm , aperture는 3598 μm 그리고 입출력 IDT 전극이 각각

500개인 SAW filter를 제작하기 위해 Al를 1500Å의 두께로 증착 한 후 mask를 만들어 1:1 contact aligner를 사용하여 패턴을 형성하였다. PR로는 SS03A9를 약 5000rpm의 속도로 도포하여 습식식각으로 1µm의 패턴을 형성하고자 하였다.

3. Results and Discussion

제조한 단일 전구체내에 함유된 CHN 조성의 분석은 탄소인 경우 0.2% 내에서 그리고 수소와 질소에 대해서는 0.1% 내에서 정확성을 갖는 유기화학조성분석으로 50 mg의 샘플 크기로 측정하여 그 결과를 Table. 1에 나타내었다. 본 연구에서 새로이 설계된 전구체를 용량 비로 계산한 이론치와 분석 결과치는 ± 0.3% 오차 범위에서 일치하는 결과를 얻었다. Single Crystal X-ray Spectroscopy의 ORTEP (the Oak Ridge Thermal Ellipsoid Plot Program) 이미지를 통한 결과가 본 연구에서 분자 설계했던 전구체와 일치하는 $Cl_3AlNC_4H_{11}$ 의 분자구조를 가진 단일 전구체로 확인되었다. (Fig 3.1) 결정구조는 단사정으로 격자상수는 $a=22.523 \text{ \AA}$, $b=8.161 \text{ \AA}$, $c=11.210 \text{ \AA}$ 이다.

900 °C에서 증착된 AlN 박막의 결정성을 XRD로 분석 하였다. Fig 3.2에서 나타낸 것과 같이 $2\theta=36^\circ$ 에서 c 축 방향으로 성장된 peak를 관찰할 수 있었다. 반치폭 (FWHM)은 0.235로 결정립이 치밀한 것을 보여주는데 이것은 epitaxial 성장을 의미한다. 면간 거리는 2.419 Å로 이론치인 2.489 Å보다 약 0.07 Å 압축되어 있었다. 증착된 박막의 구성원소 및 각 구성원소의 절대 정량적 조성비를 RBS를 통해 분석하였다. 2 MeV로 가속된 He²⁺ beam을 사용하여 20 mC, 20 nA 조건에서 분석한 결과는 Fig 3.3와 같이 박막은 Al, N, O, 원소로 구성 되어있다. 분석 결과 Al과 N의 비율이 1:1 이며 잔류탄소는 검출이 되지 않았으며, 산소는 0.05 atomic% 함유되어 있어 그 오염도는 기존의 보고된 자료들과 비교해볼 때 오염도가 아주 낮은 레벨의 고 순도 AlN 박막이 증착 되었음이 확인되었다.

AES를 통하여 depth profile하여 분석한 결과 역시 Al과 N이 1:1 stoichiometry 되어 있음을 확인했고 아주 미량의 Cl만 관찰 되었다. (Fig 3.5)

900 °C에서 증착한 AlN 박막의 표면과 파단 면의 SEM 관찰결과를 Fig 3.6에 나타내었다. 표면은 AlN 박막이 치밀하고 균일하게 형성되었으며 단면은 c 축 (0002) 방향으로 성장되었음을 나타내고 있다. 1µm의 선폭을 나타내는 IDT pattern을 습식식각에 의해서 재현한 모습을 Fig 3.7에 나타내었다.

Table 3.1 CHN analysis of AlCl₃ : tBuNH₂

		Single Precursor Composition [wt%]		
		C	H	N
Calculated	Value	23.3	5.37	6.79
Experimental	Value	23.6	5.52	6.41

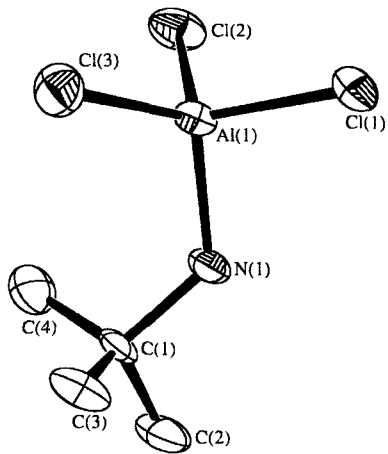


Fig 3.2 ORTEP images of $\text{AlCl}_3 \cdot \text{tBUNH}_2$

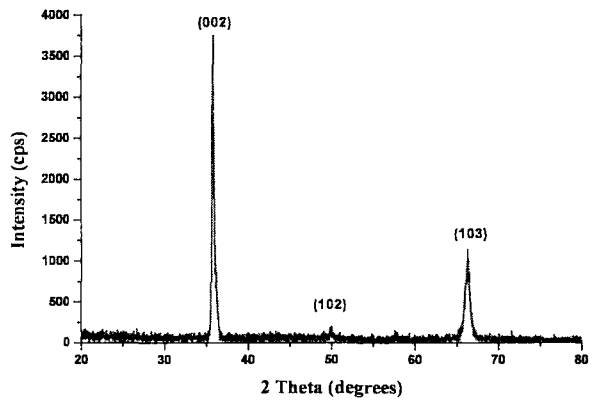


Fig 3.3 XRD pattern of AlN thin film

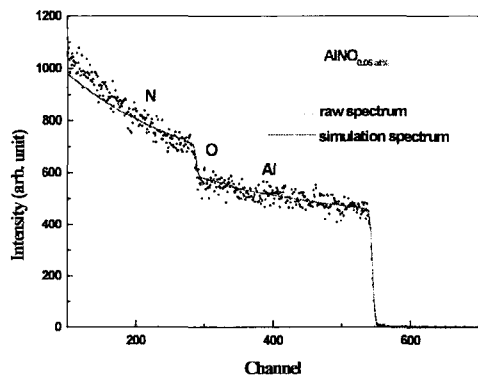


Fig 3.4 RBS of AlN thin film

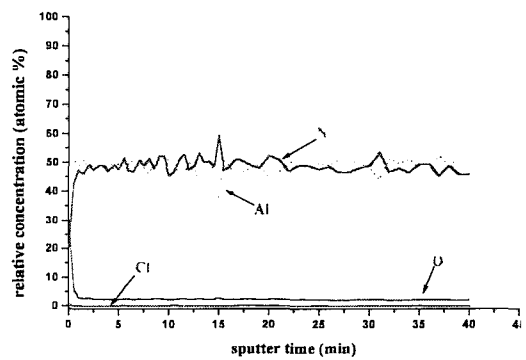


Fig 3.5 AES of AlN thin film

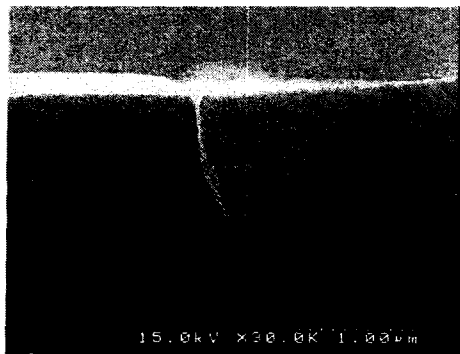


Fig 3.6 SEM images of AlN thin film

1 μm

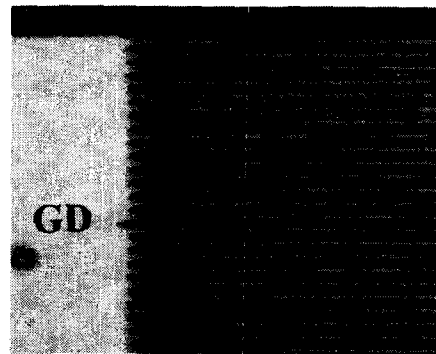


Fig 3.7 IDT pattern on AlN thin film

본 연구에서는 분자레벨에서 설계한 새로운 전구체를 합성하여 AlN 박막을 제조하였다. 그 결과 새로이 제조된 $\text{AlCl}_3:\text{BuNH}_2$ 의 1:1의 전구체는 AlN 박막 제조에서 기존의 전구체와는 달리 산소와 잔류탄소의 오염이 극히 적은 우수한 AlN 박막 제조를 가능케 하였다. MOCVD방법으로 900 °C 제조된 박막은 Al:N 비가 1:1의 정확한 화학 양론비를 가진 균일하고 치밀한 양질의 AlN 박막이었다. 이것을 이용하여 SAW filter 제작공정에서 1 μm 의 패턴을 형성하는데 성공했다. 이때 SAW filter의 중심주파수는 1.5GHz이다.

References

- [1] T. a eugle. Thin Solid Films., 201, 293 (1991).
- [2] D. Zhang and D. Brodie, Thin Solid Films., 251, 151 (1994).
- [3] L. Meng and M. Dossantos, thin Solid Films., 250, 26 (1994).
- [4] C. T. Lee, Y. K. Su and H. M. Wang, Thin Solid Films., 150, 283 (1987).
- [5] H. Okano, N. Tanaka, Y. Takahashi, T. Tanaka, T. Shibata, K. Shibata and S Nakamo, Appl. Phys. Lett., 64, 166-168 (1994).
- [6] 김주형, 이진국, 안진호, 한국세라믹학회지., 38(1), 61-67, (2001).
- [7] 이재빈, 주한용, 이용의, 김형준, 한국세라믹 학회지., 34(2), 209-215, (1997).
- [8] M. J. Hampden-Smith and T. T. kudas, Chem. Vap. Deposition., 1(2), 39-80 (1995).
- [9] M. Morita, N. Uesugi, S. Isogal, K. Tsubouchi and N. Mikoshiba, Jpn. J. Appl. Phys. 20(1), 17-23 (1981).
- [10] 서문규, 한국요업학회지., 35(11), 1233-1239, (1998).