

## 스퍼터링에 의한 산화아연박막의 구조적 특성 및 전파경계조건 Constructional Characteristics and Propagation Conditions on ZnO Films by Sputtering

이동윤

중부대학교 전기전자공학과

Dong-Yoon Lee

Joongbu Univ.

### 요약

압전성을 갖는 산화아연 박막을 스퍼터링을 이용하여 실리콘 기판위에 증착하였고 여러 증착 공정변수들이 물성에 미치는 영향과 박막의 구조적 특성 및 전파경계조건을 고찰하였다. 특히, 평탄한 표면을 갖는 압전 박막을 제조하여 전파 특성에 우수한 증착조건을 제시하고 탄성표면파의 전파 및 경계조건을 분석한다. 박막의 구조적 특성 분석을 위하여 여러 가지 증착조건 중 아르곤과 산소의 가스비율 과 기판온도가 박막의 제조에 미치는 특성을 분석하였다. 스퍼터링 가스인 산소양이 50%이상으로 증가할수록 박막의 표면 거칠기가 나빠지는 특성을 보였다. 비저항과 표면형상은 유입되는 산소에 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

### Abstract

Thin film deposition methods have been widely used and intensively investigated because high quality crystalline films enable to fabricate by sputtering. Especially rf magnetron sputtering deposition has advantages of being employ a relatively high deposition rate and also to achieve high crystalline films in low pressure because plasma density around target by magnetic is high. To apply ZnO thin film for SAW filter, it has highly flat surface, excellent c-axis preferred orientation and high resistivity value. As-deposited ZnO films showed the strong c-axis growth and excellent crystallinity. C-axis preferred orientation, resistivity and surface roughness highly depended on oxygen/argon gas ratio.

## I. 서론

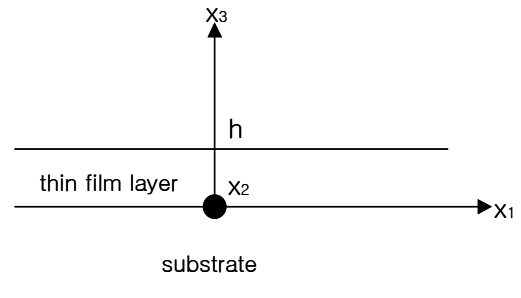
최근 수년간 정보통신 분야는 이동통신을 선두로 급속한 발전을 이루어 왔으며, 앞으로도 이러한 추세가 계속 되어질 것으로 전망되고 있다. 국내외적으로 정보통신분야에 사용되는 주파수영역은 정보량의 증가와 전송속도 및 거리등의 이유로 점점 고주파 화 되어가고 있으며, 이에 상응하는 시스템과 부품개발이 더욱더 중요한 실정이다. 본 연구에서는 스퍼터링에 의해 실리콘 기판위에 산화아연 박막을 증착하고 인터 디지털 변환기로 전파가 발생되어지는 현상을 고찰하고 전파경계조건과 박막의 구조적 특성을 연구하고자 한다. 산화아연

박막의 제조에는 스퍼터링법, 이온 빔 증착법, 화학 기상 증착법, 반응성 증발법 및 Laser ablation법 등 다양한 방법들이 사용되어져 왔으며, 가장 널리 사용되고 있는 것은 스퍼터링법이다.[1,2] 고체의 표면에 고에너지의 입자(대부분은 전장으로 가속된 정이온)를 충돌시키면, 고체 표면의 원자, 분자가 고에너지 입자와 운동량을 교환하여 표면에서 밖으로 튀겨 나오게 된다. 이 현상을 스퍼터링 현상이라 한다. 스퍼터링법은 우수한 평면의 평활도와 투명하고 치밀한 박막을 제조할 수 있는 장점이 있다. 산화아연 박막 제조에 관한 연구는 주로 압전성을 이용하기 위한 다결정 c-축 배향막 또는 에피텍시 박막의 제조와 투명 전도막으로의 응용을 위

한 높은 전도성을 가진 박막의 제조에 초점이 맞춰져 왔다.[3] 일반적으로 산화아연은 유용한 압전 박막재료로 간주되어 있는데 이는 큰 압전 결합계수 (piezoelectric coupling factor) 때문이다.[4] 다결정 산화아연 박막 제조에 대한 연구는 압전성을 이용한 탄성표면파 소자의 응용을 위하여 주로  $c$ -축이 기판에 수직으로 존재하는  $c$ -축 우선배향성과 전파의 전파를 위한 평탄한 평면을 가진 박막 제조가 중점적으로 연구되어 왔다.[5]

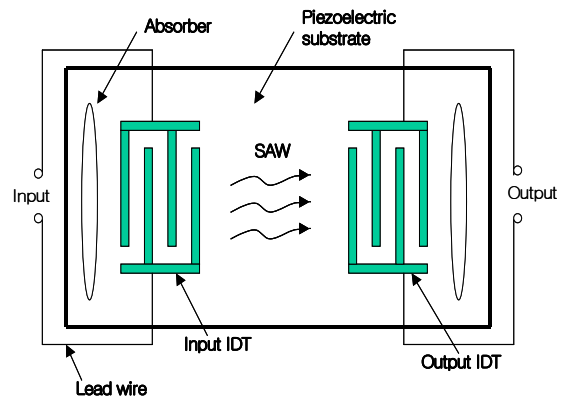
## II. 본론

산화아연 박막을 이용한 탄성표면파 필터의 경우 탄성 표면파의 전파에 대한 관계는 비교적 간단한 식으로 나타낼 수 있으며, 좌표계를 이용하여 구할 수 있다. 먼저 기판의 두께는 반무한이라 가정하고, 각 층에서의 변위 ( $U_i$ ), 매질의 밀도 ( $\rho$ ), 전위 ( $\Phi$ )를 압전체에 대한 기본식과 뉴턴의 운동 방정식에 대입하면 나타낼 수 있다. 그림 1에서 나타낸 좌표계 중에서  $x_1$  방향으로 전파속도  $v$ 로 전파하는 탄성표면파를 나타낸다. 계면의 각 층(박막/기판, 공기층/박막, 박막내부)에서 역학적 및 전기적인 연속 조건을 부가하면 해를 구할 수 있다. 탄성표면파는 전파방향( $x_1$  방향) 및 그에 수직인 방향( $x_3$  방향)으로 결과 변위성분을 가지며, 그 에너지가  $x_3$  방향으로 깊이 약 1파장의 범위에 집중하는 파이다. 반무한의 비압전 기판에 압전박막을 제조하여 만들어진 탄성표면파의 경우 압전 박막의 두께가 탄성표면파의 한파장 보다 적다. 따라서 압전박막과 기판은 탄성표면파의 전파 특성에 영향을 미친다. 압전박막과 기판의 경계면에서 수직응력과 입자변위는 경계면에 단락이 없다면 모두 연속이다. 박막과 공기층의 경계면에서 수직응력은 0이며, 전계변위는 경계면 위에 단락면이 없으면 연속이다. 박막 내부에 단락면이 존재하면 기계적 경계조건은 변하지 않고 전기적 경계 조건은 0이다. 비 압전기판위에 층을 이루는 구조를 갖는 소자의 경우에 대해서도 이터디지탈 변환기의 주파수 특성은 벌크 소자와서와 같은 형태로 다루어지며, 박막 탄성표면파 소자의 중심주파수( $f_0$ )는  $f_0 = v/\lambda$  로 주어지므로, 탄성 표면파 소자의 전파속도( $v$ )는  $v = f_0\lambda$  로 된다. 여기서



▶▶ 그림 1. 전파 좌표계  
Fig. 1. Propagation coordinate

$\lambda$  는 탄성표면파의 파장이다. 탄성표면파와 소자에서 전파 속도는 인터디지탈 변환기의 주어진 크기에서 동작 주파수를 결정한다. 층을 이루고 있는 구조에서 여기되는 탄성표면파는 기본모드와 몇 개의 고차모드로 구성되며, 이들 전파속도는 산화아연 박막의 두께에 따라 변한다. 산화아연/실리콘에서 얻어진 기본모드에 대한 박막 두께에 따른 전파속도는 산화아연 박막의 두께를 조절함으로써 2700~3400 m/sec 범위에서 선택할 수 있다. 더 높은 전파 속도는 사파이어를 기판으로 이용하는 경우이며, 이 경우 산화아연박막은 에피택셜로 성장이 가능하다. 아래그림2의 인터디지탈 변환기는 2개의 공통전극(summing bar)과 서로 교차하는 핑거전극(finger electrode)으로 구성된다. 압전체위에서 형성된 표면파의 진행은 입력 인터디지탈 변환기에서 발생하고 방사된 표면전위  $\Phi$ 와 전기장의 강도  $E$ 의 진행파로 연관 지을수 있다.



▶▶ 그림 2 탄성표면파 필터의 구조  
Fig. 2.4. the structure of SAW filter

인접전극들 간에 시간에 따라 변하는 전기장의 분포는 복소수이지만 압전체 표면에 수직하다고 가정한다.

이를  $xy$ 평면에서  $E_{xy}$ 라고 표시하면 인접전극들간의 극성이 반대이며, 중심주파수( $f_0 = v/\lambda$ )에서  $\lambda_0/2$ 에 중심이 존재하므로 인터디지털 변환기에 의해서 형성되는 탄성표면파는 서로 보강의 역할을 한다. 전기장의 분포의 강도는 입력전압이 시간 의존성 입력신호에 의해 형성되므로 순간적인 입력전압에 의해 형성되는 인접전극들에 축적되는 전하량에 비례한다.

### III. 결론

순수 아르곤만으로 증착된 박막의 결정립의 형상은 표면 거칠기가 매우 큰 결정립이 성장되어 박막의 평균 거칠기(average roughness)는  $96.5 \text{ \AA}$ 으로 가장 거친 표면 형상을 보였다. 아르곤 : 산소가스 비에서 유입되는 산소의 양이 증가할수록 표면 거칠기가 향상되어 증착된 박막의 결정립의 크기가 감소하면서 매끄럽고 전체적으로 매우 치밀한 형태의 결정립 형상을 보였다. 아르곤 : 산소가스 비가 50/50에서 비교적 매끈하고 평탄한 표면형상인  $28.7 \text{ \AA}$ 의 거칠기를 가졌지만, 그 이상의 산소가 유입되면 표면 거칠기는 나빠지는 특성을 보여 산소가스 비가 10/90에서  $37.2 \text{ \AA}$ 의 거칠기를 가졌다. 이와 같은 결과는 스퍼터링 가스 혼합비에 변화에 따른 결정성의 변화 결과와도 잘 일치하는 것으로, 산소의유입이 증가할수록 큰 모양의 결정립들이 성장하기 시작하고 순수 산소만으로 증착한 박막의 결정립들은 전체 결정립들이 큰 모양의 결정립 형상으로 변화하는 것을 보이는데, 이러한 표면현상은 증착도중 박막표면에서 재스퍼터링이 발생하는 것을 나타낸다. 그러나 전체적으로 기판에 수직인(002) 결정면이 주상구조로 성장하였다. 산화아연 박막 증착에 있어서 스퍼터링시 일정한 산소 유입이 있어야 결정성과 표면형상이 우수한 박막을 제작 할 수 있다. 따라서, 결정성과 표면현상에 스퍼터링 가스인 아르곤 : 산소가스 비가 중요한 영향을 미치는 것을 관찰할 수 있었다. 그리고 산소의 양이 증가함에 따라 성장속도가 감소함을 알 수 있는데 이의 주요 원인은 산소가 아르곤보다 스퍼터링을 발생시키는 비율이 작기 때문에 산소의 양이 증가함에 따라 박막의 성장속도가 감소했기 때문이다.[6] 탄성표면파 소자에서 박막의 두께 편차에 의해 발생하는 주파수 변형의 문제를 해결하기 위해 요구되는 수십  $\text{ \AA}$  ~

수  $\text{ \AA}$  정도의 균일한 박막의 제조가 아르곤 : 산소가스 비에 의해 정밀히 제어될 수 있음을 보여 주었다. 증착된 박막은 기판온도에 크게 의존하는데 이것은 기판온도의 상승에 기인한 스퍼터링된 입자들의 표면 이동도를 향상시켜 표면 에너지가 가장 낮은 최밀 충전면이 스퍼터링된 (002) 결정면이 성장하도록 유도 하는데, 그러나 과도한 기판온도의 상승은 스퍼터링되어 기판에 부착된 입자들의 증발을 유도하게 되며 기판과 산화아연 박막의 다른 열팽창 계수의 차이로 인해 기판의 냉각중 표면에 평행한 방향의 압력과 기판에 수직인 방향으로 발생하는 팽창력에 기인한 기계적 응력의 영향 때문에  $200^\circ\text{C}$  이상의 기판온도에서는 박막의 우선배향성이 감소한다. 온도가 증가하면 증착된 박막의 결정립의 크기가 점점 증가하는 것을 알 수 있고 기판온도가 상온과  $100^\circ\text{C}$ 에서는 결정상의 형태가 거의 차이가 없이 비슷한 결정상을 가지는데, 이것은 기판온도를 가하지 않은 경우에도 스퍼터링된 입자들의 충돌에 의해 기판의 온도가 어느 정도 상승하기 때문에 성장된 결정립의 형태가 비슷하다. 그러나 기판의 온도가 상승하면 결정립의 형태에 큰 변화를 보이며  $200^\circ\text{C}$ 의 결정상들은 매끄럽고 균일한 형태로 성장되었다.

### ■ 참고 문헌 ■

- [1] F. S. Hickernell, J. Appl. Phys., 1061, 44, 1973.
- [2] D. L. Raimondi and E. Kay, J. Vac. Sci. Technol., 96, 7, 1970.
- [3] S. Maniv and A. Zangvil, "Controlled texture of reactively RF sputtered ZnO thin film", J-Appl. Phys., 49, 2787, 1978.
- [4] V. I. Anisimkin, I. M. Kotelyanskii and P. N. Mavlenkov, Sov. Phys. Acoust. 444, 33, 1987.
- [5] Winfried H. G. Horsthuus, Thin Solid Films, 137, 185, 1986.
- [6] C. R. Aita, A. J. Purdes, R.J. Lad and P. D. Funkenbusch, J. Appl. Phys., 5535, 51, 1980.