

다층박막을 이용한 Ga-doped ZnO 투명전도막의 특성

김봉석, 황현석, 이규일, 정규원, 송준태
 성균관대학교 정보통신공학과, 한국전력 중앙교육원'

Characteristics of Ga-doped ZnO transparent thin films by using multilayer

Bong-Seok Kim, Hyun-Suk Hwang, Kyu-Il Lee, Kyu-Won Jeong', Joon-Tae Song
 Sungkyunkwan University, KEPCO Central Education Institute'

Abstract : Ga-doped ZnO(GZO) multilayer coatings were prepared on glass by DC sputtering. Optimization of the deposition conditions of both AZO and Au layers were performed for better electrical and optical characteristics. The properties of multilayer were affected by the deposition process of both GZO and Au layers. The best multilayer coating exhibits low resistivity of $2.72 \times 10^{-3} \Omega\text{-cm}$ and transmittance of 77%. From these results, we can confirm a possibility of the application as transparent conductive electrodes.

Key words : Au, multilayer, Ga-doped ZnO, polycarbonate

1. 서론

최근 휴대기기의 발달에 따라 각종 소자의 경량화, 초박박화가 요구되고 있다. 특히 이러한 흐름은 휴대기기의 큰 비중을 차지하는 모바일 디스플레이를 중심으로 전개되어 가고 있으며 현재까지 사용되어온 기존의 유리 기판을 이용한 디스플레이를 대체하기 위한 플렉서블 기반의 투명전도막에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 폴리머 플렉서블 기판은 낮은 열변형온도를 가지기 때문에 박막 증착 시 막질의 향상을 위해 온도를 높일 경우 열에 의한 기판 손상 및 변형이 발생할 수가 있다. 이와 같은 제한된 조건에서 성장시킨 불순물이 첨가된 ZnO(zinc oxide) 박막은 충분한 결정화가 이루어지지 않아서 높은 저항을 갖게 되어 투명전극으로 활용이 제한된다. 이러한 단점을 개선하기 위한 방안으로 ZnO 박막에 금속층을 삽입한 샌드위치의 투명전도막을 제작함으로써 전기적 특성을 향상시킬 수 있다.[1] 샌드위치 구조에서 상부의 산화물층은 금속층의 보호와 아울러 광학적으로는 반사억제 코팅막(antireflection layer)의 역할을 하여 광투과도를 증진시킨다.[6]

본 연구에서는 샌드위치 구조의 투명전도막을 제작하기 위해 단층 투명전도막의 최적의 조건제어를 위해 증착 조건에 따른 GZO(Ga-doped ZnO) 박막의 특성연구를 선행한 후 GZO, Au 다층막을 제작하여 광투과율과 전기전도도의 변화에 대해 고찰하였다.

2. 실험

Ga 불순물을 도핑한 ZnO 박막을 이용하여 투명전도막으로 적용함에 있어 가장 우수한 전기, 광학적 특성을 지닌 박막을 얻고자 하였다. 투명전도산화막으로는 Ga를 2 wt% 도핑한 ZnO를 이용하여 DC 스퍼터링법으로 증착하였던 구체적인 증착조건은 표 1에 나타내었다. 전도성 향상을 위해 삽입되는 금속으로는 전도성과 화학적 안정성이 뛰어나

표 1. Ga-doped ZnO 박막의 증착조건

Parameter	Value
Target	Ga 2.0 wt% doped ZnO
Power mode	DC 60 W
Base pressure	2×10^{-6} torr
Working pressure	7×10^{-2} torr
Sputtering gas	Ar - 15 sccm
Substrate distance	70 mm

한 Au를 사용하였으며 디스플레이 소자에 사용 가능한 투과율을 보이기 위해 50 Å의 두께로 증착하였다. Au 금속층은 evaporation을 이용하였고 두께 모니터링을 이용하여 두께를 50 Å로 제어하였다. 투명전도막의 제작은 표2에 나타내었듯이 GZO와 Au의 증착 순서에 따라 다르게 제작되었다. 1번 시편은 GZO만을 이용하였고 2번 시편은 유리기판에 Au를 50 Å의 두께로 증착한 후 GZO를 1000 Å의 두께로 성장시켰다. 3번 시편은 500 Å 두께의 GZO 층 사이에 50 Å의 Au를 증착시켜 전체 두께는 동일하게 하였다.

표 4. 구조를 달리하여 제작한 투명전도막의 종류

Sample no.	Composition
1	GZO(1000 Å)
2	GZO(1000 Å) / Au(50 Å)
3	GZO(500 Å) / Au(50 Å) / GZO(500 Å)

3. 결과 및 고찰

그림 1에 투명전도막의 X선 회절 패턴을 나타내었다. 실험 결과에서 보여지듯이 Au에 의한 피크는 관찰되지 않았다. 모든 시편에서 ZnO의 (002)피크가 우세하게 나타났고 특히 GZO/Au 투명전도막에서 가장 높은 강도를 보였다.

표 3은 Hall effect 측정 장비로 분석한 투명전도막의 전

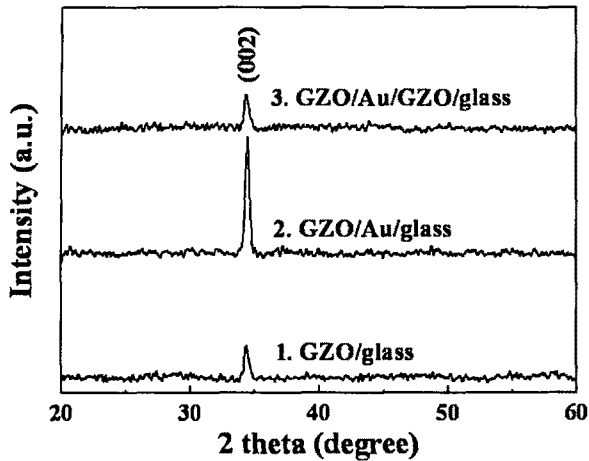


그림 1. Au 금속층을 이용한 투명전도막의 XRD 패턴

기적 특성에 대한 결과를 나타낸다. GZO 단층으로 이루어진 투명전도막이 $1.66 \times 10^{-1} \Omega\text{-cm}$ 의 비교적 높은 비저항을 보이는 반면 GZO/Au/GZO 투명전도막의 비저항은 $2.72 \times 10^{-3} \Omega\text{-cm}$ 으로 월등히 우수한 전기적 특성을 보였다. 투명전도막에 삽입된 얇은 금속층이 전체 박막의 전도도 향상에 상당한 기여를 했음을 보여준다. 실험적으로 측정된 비저항 R_s 는 투명전도막 R_o 와 금속층 R_m 이 병렬 연결된 것으로 볼 수 있다.

$$\frac{1}{R_s} = \frac{1}{R_o} + \frac{1}{R_m} + \frac{1}{R_o}$$

이러한 병렬 구조에서는 투명전도막의 비저항에 의한 영향보다는 비저항이 비교적 낮은 금속층에 의해 전체 비저항 값이 크게 변화한다.[7] 또한 GZO/Au층은 전도에 기여하는 Au층이 보다 두꺼운 GZO층 아래에 위치하기 때문에 GZO/Au/GZO에 비해서 상대적으로 높은 비저항을 갖는 것으로 판단된다.

표 5. Au 금속층 형성에 따른 Hall effect 측정 결과

No.	Resistivity ($\Omega\text{-cm}$)	Mobility ($\text{cm}^2/\text{V.s.}$)	Electron concentration (cm^{-3})
1	1.66×10^{-1}	35.33	1.061×10^{18}
2	8.64×10^{-3}	2.123	3.405×10^{20}
3	2.72×10^{-3}	1.137	2.021×10^{21}

Au 금속층 형성에 따른 투명전도막의 광투과도를 그림 2에 나타내었다. 박막의 투과도를 측정하기 위해서 먼저 증착을 하지 않은 glass를 이용하여 기판의 투과율을 측정하고 background로 보정한 후 기판에 대한 투과율을 참조하여 박막의 투과율을 측정하였다. GZO 박막의 광투과도는 80% 이상으로 투명전도막으로 손색이 없는 투과도를 보였다. 전도도 향상을 위해 Au층을 삽입한 박막은 비교적 낮은 투과도를 보였지만 GZO/Au/GZO 박막은 가시광 영역에서 평균 77%의 투과율을 보임으로써 투명전도막으로 응

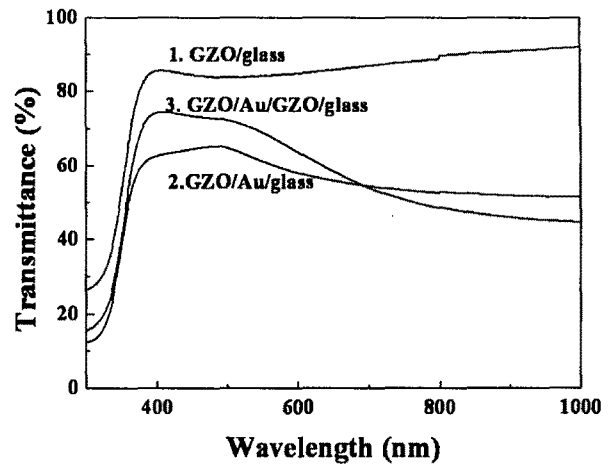


그림 2. Au 금속층을 이용한 투명전도막의 광투과도

용할 수 있는 잠재적 가능성을 보였다.

4. 결 론

본 연구에서는 Ga-doped ZnO 박막에 50 Å의 Au 레이어를 삽입함으로써 투명전극의 전도도 향상에 목적을 두었다. 증착이 상온에서 증착에 이루어짐에 따라 GZO만으로 제작한 투명전극의 경우 $1.66 \times 10^{-1} \Omega\text{-cm}$ 의 다소 높은 비저항을 보인 반면 50 Å의 GZO/Au/GZO의 구조로 제작한 투명전도막에서는 $2.72 \times 10^{-3} \Omega\text{-cm}$ 로 비저항 특성이 크게 향상되었다. 다만 가시광 영역에서의 광투과도가 70% 미만으로 개선되어야 할 문제로 남아있다. 추가적인 연구를 통하여 금속층의 광투과도의 향상을 이뤄낼 경우 상온에서 성장시킨 투명전도막으로써 폴리머를 이용한 플렉서블 디스플레이에 이용이 가능할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업연구개발(R-2005-7-147)의 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] W. C. Song, "Electrical and optical properties of ITO thin films prepared on the PET substrate", J. KIEEME, Vol. 17, No. 12, p.1277, 2004.
- [2] D.R. Sahu, J.L. Huang, "Design of ZnO/Ag/ZnO multilayer transparent conductive films" Materials Science and Engineering B, Vol. 130, p.295-299, 2006
- [3] J. M. Ting, C. K. Lin, "Characteristics of transparent conducting nano-scaled thin films based on ZnO", J. Am. Ceram. Soc., Vol.89, No.12, p.3676-3680, 2006.