

열처리에 의한 비정질 산화물 반도체 InGaZnO₄ 박막의 전기적 특성 변화 연구

배성환*, 구현*, 유일환*, 정명진*, 강석일**, 박찬****

서울대학교 공과대학 재료공학부*, 전북대학교 물리학과**, 서울대학교 신소재공동연구소***

Effect of annealing on the electrical properties of amorphous oxide semiconductor InGaZnO₄ films

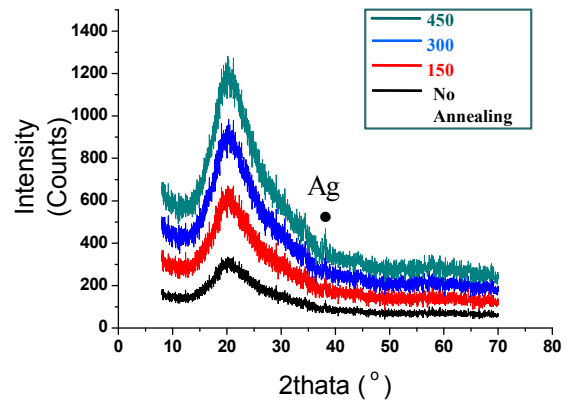
Sung-Hwan Bae*, Hyun Koo*, Il-Hwan Yoo*, Myung-jin Jung*, Sukill Kang**, Chan Park*,***
 Seoul National University*, Chonbuk National University**,
 Research Institute of Advanced Materials (RIAM)***

Abstract - Amorphous oxide semiconductor InGaZnO₄(IGZO) is a very promising candidate of channel layer in transparent thin film transistor(TTFT) because of its high mobility and high transparency in visible light region. Amorphous IGZO films were deposited at room temperature on a fused silica substrate using pulsed laser deposition method. In-situ post annealing was carried out at 150-450C right after film deposition. The O₂ partial pressures during the deposition and the post annealing was fixed to 10mTorr. The electron transport properties of the amorphous IGZO films were improved by thermal annealing. The temperature range in which the improvement of the electrical properties, was 150C~300C.

근에서 ZnO 002 peak이 관찰되었다. 열처리 온도가 증가함에 따라 ZnO002 peak의 강도가 증가함을 알 수 있다. 2theta 38도 부근의 peak은 기관을 히터 피면에 붙이기 위하여 사용한 은(silver) paste에서 나온 peak이다.

1. 서 론

비정질 투명 산화물 반도체 InGaZnO₄(IGZO)는 비정질 상으로 높은 전하이동도와 가시광선 영역에서 높은 광투과도를 가지는 재료로, 저온 공정을 통해 구부리거나 휘어짐이 가능한 투명한 소자를 만들 수 있다. 점에서 차세대 전자소자와 디스플레이 소자에 활용될 수 있다. 2004년 플라스틱 기관 위에 비정질 IGZO를 channel layer로 사용한 박막형 트랜지스터(TFT)의 우수한 성능이 보고된 이후, 비정질 IGZO 박막에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔으며, 현재 생산되는 디스플레이에 비정질 IGZO를 channel layer로 하는 TFT 소자가 사용되고 있다[1]. 비정질 IGZO 박막의 전기적 특성이 TFT 소자의 성능 구현에서 중요한 역할을 하기 때문에, 비정질 IGZO 박막의 전기적 특성을 향상시키고자 하는 연구가 많이 진행되어 왔으며, 후열처리 공정을 통해 비정질 IGZO 박막의 전하이동도 특성을 향상시킨 결과가 2008년 발표되었다[2]. 열처리 효과에 대한 체계적인 이해가 비정질 IGZO를 이용한 소자 제작을 위해 필요하다. 이에 대한 연구는 아직 미흡한 상황이다. 본 연구에서는 비정질 IGZO 박막의 열처리 조건에 따른 전기적 특성의 변화를 분석함으로써, 비정질 IGZO 박막의 전기적 특성을 향상시킬 수 있는 열처리 조건을 확립하였다.



<그림 1> 상온 증착된 IGZO 박막과 열처리 된 IGZO 박막의 x선 회절 분석

2. 본 론

2.1 실험

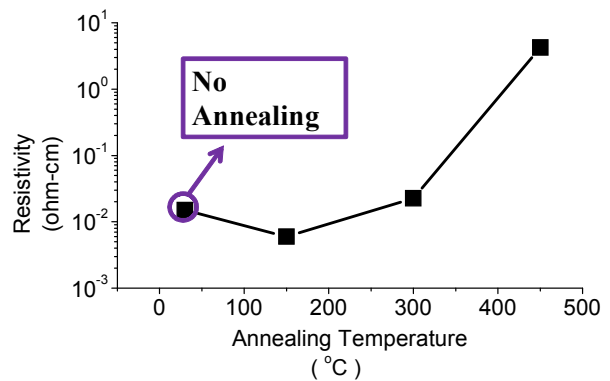
고상반응법을 이용하여 결정질 InGaZnO₄를 합성하고 타겟을 제조하였다. ZnO와 Ga₂O₃, In₂O₃를 2:1:1의 몰분율로 섞고 1250도에서 6시간 대기 중에서 소결하였다. 이렇게 얻어진 결정질 IGZO 타겟과 pulsed laser deposition(PLD) 장비를 이용하여 비정질 IGZO 박막을 성장시켰다. 기관으로는 열처리 시 알칼리의 침투를 방지하기 위해 fused silica 기관을 사용하였으며, 기관 가열 없이 상온에서 증착하였다. 이때의 산소 분압을 10mTorr로 유지하였다. 각 시편 당 6000 shot의 레이저를 조사하여 박막을 증착하였으며, 박막의 두께를 FESEM(SUPRA 55VP)을 이용하여 확인하였다. 비정질 IGZO의 두께는 270~300nm이었으며, 성장한 IGZO 박막을 증착 챔버 내에서 후열처리 하였다. 산소 분압은 박막의 증착과 같은 조건인 10mTorr로 유지하였고 150C, 300C, 450C의 온도에서 30분간 후열처리를 진행하였다.

XRD(X'pert pro) 장비를 사용하여 열처리 전후의 상변화를 분석하였다. 비정질 IGZO 박막의 전기적 특성은 Hall 효과 측정장비(Ecopia HMS-3000)와 van der Pauw법을 이용하여 박막의 저항, 전하이동도, 전하농도의 값을 측정하였다.

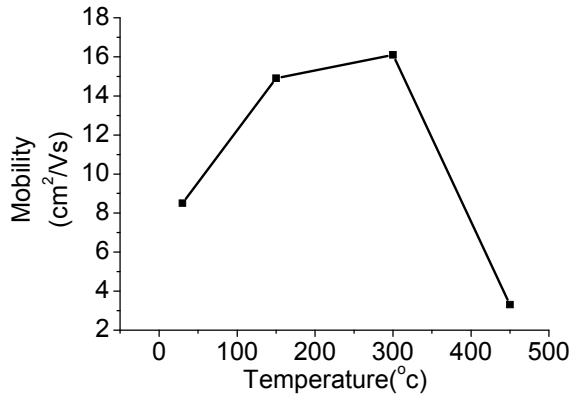
2.2 결과 및 고찰

그림 1은 Fused silica 위에 상온 증착한 IGZO 박막과 박막 증착 후, 열처리 공정을 거친 IGZO 박막의 XRD 분석 결과이다. 열처리 전은 비정질 상만이 존재하나 150C, 300C, 450C 열처리 시편은 2theta 34도 부

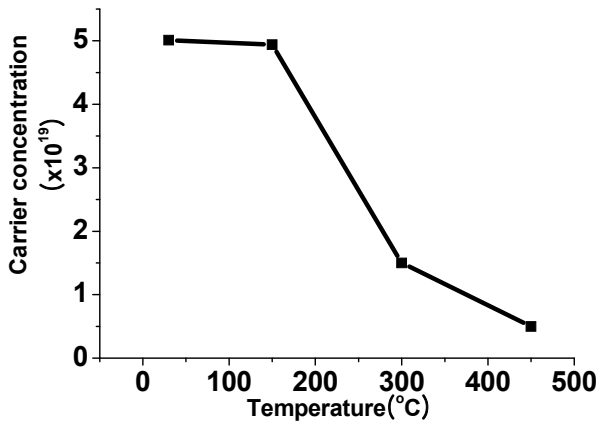
상온 증착된 비정질 IGZO 박막과 열처리된 비정질 IGZO 박막의 전기 저항, 전하이동도, 전하농도를 측정하였다. 그림 2, 3과 4는 열처리 온도에 따른 각 박막의 전기저항, 전하이동도와 전하농도의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 2에서 알 수 있듯이 150C에서 열처리 한 경우가 가장 저항이 낮고, 450C에서 열처리 한 경우는 급격하게 전기저항이 증가하는 것을 알 수 있다. 열처리 효과를 보다 명확하게 이해하기 위해서 전하이동도와 전하농도의 값을 그림 3과 그림 4에 나타내었다.



<그림 2> 상온 증착된 IGZO 박막과 열처리 된 IGZO 박막의 열처리 온도에 따른 저항변화



〈그림 3〉 상온 증착된 IGZO 박막과 열처리 된 IGZO 박막의 열처리 온도에 따른 전하이동도 변화



〈그림 4〉 상온 증착된 IGZO 박막과 열처리 된 IGZO 박막의 열처리 온도에 따른 전하농도 변화

전하이동도의 경우 열처리 전 비정질 IGZO 박막에서는 8cm²/Vs에서 150C 열처리 후에는 15cm²/V, 300C 열처리 후에는 16cm²/V로 상승한다. 하지만 450C 열처리 후에는 3cm²/V로 감소한다. 전하농도는 열처리 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보인다. 전기전도도는 저항의 역수로 전기전도도와 전하이동도, 전하농도는 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{q\mu N} \quad (1)$$

ρ : 전기전도도
 σ : 전기저항
 q : 전하량
 μ : 전하이동도
 N : 전하농도

150C 열처리 후에는 전하농도의 감소에 비해 전하이동도가 크게 증가하면서 전기저항이 감소하지만, 300C 열처리 후에는 전하농도가 크게 감소하면서 전기저항이 증가하게 된다. 450C 열처리 후에는 전하농도와 전하이동도가 크게 감소하면서 전기저항이 급격하게 증가하게 된다. 열처리에 따른 전하이동도의 증가는 열에너지에 의해 구조적인 완화 (structural relaxation)이 발생하면서 전하이동 경로인 인듐과 산소의 오비탈 결합을 증가시키기 때문이다.[2] 전하농도의 감소는 열처리 온도의 증가에 따라 형성되는 ZnO 상에 의한 것이다. IGZO 내에서 전하는 산소의 결여로 인해 생성된다. 아연과 산소간의 결합력보다 갈륨과 산소간의 결합력이 더 큰 값을 가지므로 갈륨의 증가는 산소 결여의 감소로 전하농도를 감소시키고 아연의 증가는 전하 농도를 증가시킨다.[3] 열처리에 따라 ZnO 상이 형성되며, 이에 따라 비정질 IGZO 내의 아연 원자와 전하 농도가 감소하게 된다.

3. 결 론

PLD 공정을 이용하여 10mTorr 산소 분위기, 상온에서 비정질 산화물 반도체 IGZO 박막을 증착하고 같은 산소 분위기와 다양한 온도에서 열처리 공정을 진행하였다. 열처리온도 150C, 300C에서 전하이동도는 증가하였으나 450C에서는 감소하였다. 열처리 온도가 증가함에 따라 전하농도는 감소하며 이는 ZnO 상이 형성되는 것에 기인한다. 전기전도도는 150C 열처리한 시편에서 가장 우수한 특성을 나타내었으며, 전하이동도는 300C 열처리 시편에서 가장 우수한 결과를 보였다.

[참 고 문 헌]

- [1] K. Nomura, H. Ohta, A. Takagi, T. Kamiya, M. Hirano, H. Hosono, "Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors" Nature, 432, 488, 2004
- [2] H. Hosono, K. Nomura, Y. Ogo, T. Uruga, T. Kamiya, "Factors controlling electron transport properties in transparent amorphous oxide semiconductors", Journal of Non-Crystalline Solids, 354, 2796, 2008
- [3] R.K. Sahu, R.D. Vispute, S. Dhar, D.C. Kundaliya, S. Sundar Manoharan, et al. "Enhanced conductivity of pulsed laser deposited n-InGaZn6O9 films and its rectifying characteristics with p-SiC" Thin Solid Films, 517, 1829, 2008