

“RF 마그네트론 스퍼터링 시스템을 이용하여 증착한 AGZO 박막의 Ar 유량에 따른 구조적, 전기적, 광학적 특성”의 Comment

김상모 

세종대학교 지능기전공학부

Comment on “Structural, Electrical, and Optical Properties of AGZO Thin Films Using by RF Magnetron Sputtering System under Ar Flow Rates”

Sangmo Kim

School of Intelligent Mechatronics Engineering, Sejong University, Seoul 05006, Korea

(Received January 17, 2022; Revised January 28, 2022; Accepted January 28, 2022)

본 Comment에서는 “RF 마그네트론 스퍼터링 시스템을 이용하여 증착한 AGZO 박막의 Ar 유량에 따른 구조적, 전기적, 광학적 특성” [1]에 관한 연구 논문에 대해서 다른 견해를 제시하고자 합니다.

먼저, 스퍼터링(sputtering)을 이용한 박막 증착법에 대한 설명과 박막 증착시 주요 공정 변수에 대해서 설명하고자 합니다. 일반적인 스퍼터링은 진공 상태(vacuum)에서 발생된 플라즈마(plasma) 내부의 고 에너지 입자를 이용하는 박막 공정중의 하나입니다. 스퍼터링시 기체의 플라즈마 방전으로 이온화된 고 에너지 입자(Neutral Ar, Ar⁺, Electron 등)가 고체(타겟, target) 표면으로부터 발생됩니다. 이때 높은 에너지를 갖는 입자들이 고체 표면의 원자와 탄성 및 비탄성 충돌함으로써 원자와 분자들은 운동량 교환을 통해서 고체 내부로부터 떨어져 나오는 현상을 이용하여 기판에 박막을 성장시키는 대표적인 물리적 증착법입니다. 특히, 장치의 캐소드(cathode) 위 장착된 타겟의 표면 근처에 존재하는 고 에너지 입자는 영구 자석에 의해서 가속화되고, 싸이클로이드 운동(나선 운동)을 함으로써

높은 에너지 밀도를 형성됩니다. 이러한 고에너지 밀도에 의해서 스퍼터링시 플라즈마는 매우 안정적인 상태를 유지하게 되고, 고품질 박막 증착이 가능하게 됩니다 [2-4].

결과적으로 스퍼터링시 고품질 박막을 제작하기 위해서는 진공상태에서 플라즈마 제어가 반드시 필요하며 다양한 공정 변수를 통해서 내부에 존재하는 고 에너지 입자를 제어함으로써 가능합니다 [5]. 여기서 공정인자는 온도, 가스, 압력, 타겟의 재료, 진공도 등이 있으며, 플라즈마 방전에 있어서 가장 중요한 요소는 가스 압력(working pressure)입니다. 즉, 입자(기체)들의 운동은 압력(pressure) 및 입자의 평균 자유 행정(mean free path)에 의해서 제어됩니다 [5-7].

본 논문에서 저자는 공정 압력을 1 mTorr으로 고정하고 Ar 가스량(Ar gas flow rate)을 변화시키면서 AGZO 박막을 제작하고 이들을 분석하였습니다. 따라서 본 Comment에서는 연구 결과의 분석에 대해서 아래와 같이 접근하고자 합니다.

Ar 가스량 변화에 따른 박막의 특성 변화를 분석하기 위해서는 ‘공정압력 (Working pressure)’ 개념 중심으로 해석되어야 합니다. 먼저, 이상적인 기체 방정식을 아래의 식 (1)과 같이 표현하면,

$$P \times V = N \times k_B \times T \quad (1)$$

✉ Sangmo Kim; sangmokim@sejong.ac.kr

Copyright ©2022 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

P 은 압력, V 은 부피, N 은 입자의 개수, K_B 는 볼츠만 상수 1.386×10^{-23} (J/K), T 는 절대온도(K)를 의미합니다. 여기서 양쪽에 부피 V 로 나누면, 압력을 다음과 표시할 수 있습니다.

$$P = nK_B T \quad (2)$$

n 은 입자 수밀도(number of density of molecules, m^{-3})를 의미하고, 압력(P)은 단위 체적당 압력을 의미합니다. 위 식을 바탕으로 기체의 운동을 해석한다면, 스퍼터링시 발생된 플라즈마 내부 기체 가스의 평균자유행정거리와 충돌 확률이 결정됩니다 [4,8].

저자는 Ar 가스 유량을 변화시킨 후, 고진공 펌프의 메인 밸브 개폐 동작을 제어하여 공정 압력을 1 mTorr 유지시켰습니다. 따라서, 압력이 일정하다면, 챔버(chamber) 내부의 Ar 가스 입자 밀도 또한 일정하다는 것을 의미합니다. 결국, 챔버 내부에 투입되는 Ar 가스 유량이 변화하지만, 가스 밀도는 변화하지 않기 때문에 플라즈마 내부에서 운동하는 Ar 입자의 평균자유행정거리 및 충돌 확률에 의한 스퍼터링 공정은 일정하게 유지된다고 볼 수 있습니다. 만약에 저자가 가스 유량에 의한 박막 특성 변화를 고찰하고자 한다면, 챔버와 진공펌프(vacuum pump) 사이의 기체분자들의 흐름을 분석하는 컨덕턴스(conductance) 관련 분석이 좀더 적절하다고 사료됩니다. 또한, 밸브 조절을 통해서 고진공 펌프의 진공 배기 능력 혹은 시간과 컨덕턴스 영향에 대한 분석도 독자들에게 흥미로운 연구 결과를 제공할 수 있었을 것으로 사료됩니다.

한편, 연구 논문에서 저자가 제시한 그림 1에서 Ar 유량 감소에 따른 Al 과 Ga 입자의 충돌 감소의 원인은 공정 압력의 감소에 따른 기체의 평균 자유 행정 거리가 증가하면서 충돌 확률이 낮아지면서 발생된 것으로 사료됩니다. Grain size 감소는 빛의 산란(scattering)과 산란 중심(scattering center) 증가로 박막의 이동도를 감소시킬 수 있는 요인으로 작용할 가능성이 높습니다. Ar의 원자 질량은 39.948인데, Ga 69.723, Al 26.981, Zn 65.409으로 스퍼터링시 입자와 타겟 충돌시 각 원자들에게 전달되는 에너지(탄성/비탄성 충돌)의 차이에 의해서도 발생될 가능성이 있을 것으로 사료됩니다.

표 1은 AGZO 박막의 제작 조건을 나타내었고, 제작된 AGZO 박막은 홀 효과 측정기(ECOPIA, HMS-3000)를 이용하여 측정하였고, 그 결과를 그림 1에 나타내었습니다. 본 결과를 바탕으로 전기적 특성 비교 데이터에서 이동도(mobility)와 캐리도 농도(carrier concentration)를 바탕으로 $\rho = \frac{1}{e \times m \times \mu}$ 식 ($e = 1.602 \times 10^{-19}$ C, $m =$ 이동도, $\mu =$ 캐

리어 농도)을 이용하여 계산된 비저항(resistivity)값 ($X 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$)은 4.15 (Ar=5 sccm), 5.32 (Ar=15 sccm), 4.15 (Ar=35 sccm)로 가스 유량에 따른 박막의 전도성 변화의 영향성은 매우 작다고 판단됩니다. 그리고 홀 측정된 AGZO 박막의 이동도 $3.33 \sim 3.80$ ($\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$) 및 캐리어 농도 $2.4 \sim 3.96$ ($X 10^{20} \text{ cm}^{-3}$)의 결과를 봤을 때, 샘플간 전기적 특성 차이가 거의 없어서 Ar 가스 유량에 따른 영향성은 거의 없다고 사료됩니다.

그림 2의 박막의 거칠기(root mean square, RMS)와 Gain size(그림 3, 표 2)의 연관성을 분석하기 위해서는 추가 데이터 혹은 분석이 필요하다고 판단됩니다. 일반적으로 Atomic Force Microscopy (AFM)을 통해서 측정된 RMS 값은 제한된 영역에서의 박막 표면 상태를 확인할 수 있습니다. 따라서 제작된 AGZO 박막의 grain size (혹은 grain boundary) 변화에 따른 부수적인 현상으로 볼 수 있으며, 직접적인 원인을 분석하기 위해서는 추가 측정 데이터와 분석이 필요하다고 사료됩니다.

결론적으로 AGZO 박막의 스퍼터링시 공정 가스 변화에

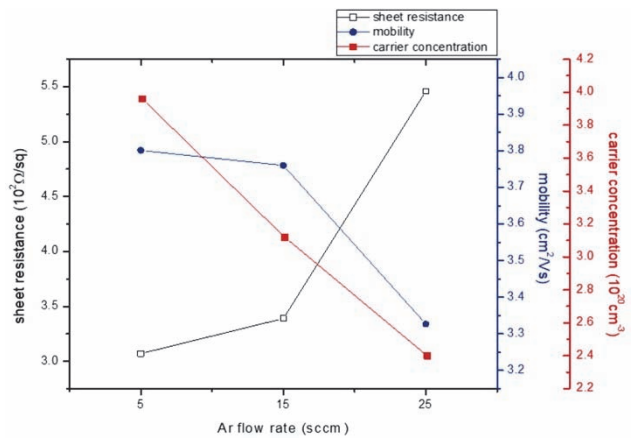


Fig. 1. Carrier concentration, mobility and sheet resistance of AGZO thin films for Ar flow rates [1].

Table 1. Conditions of RF magnetron sputtering system [1].

Classification	Unit	Value
Substrate		Eagle XG glass
Target	wt%	ZnO:Al ₂ O ₃ :Ga ₂ O ₃ =96:2:2
Base pressure	Torr	5×10^{-7}
Working pressure	Torr	3×10^{-7}
Power	W	150
Ar flow rate	sccm	5, 15, 25
Thickness	nm	150

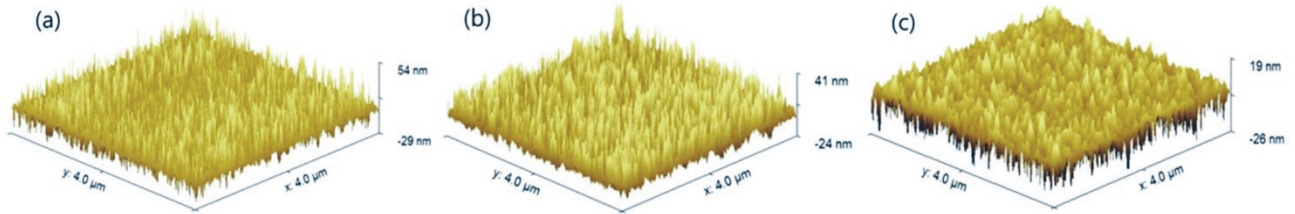


Fig. 2. AFM 3D images of AGZO thin films for Ar flow rate of (a) 5 sccm, (b) 15 sccm, and (c) 25 sccm [1].

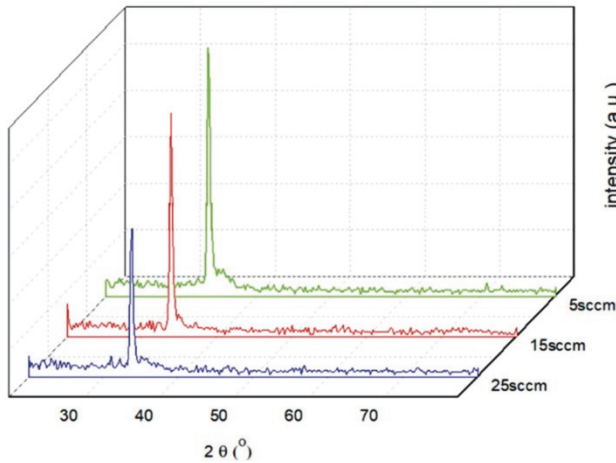


Fig. 3. XRD pattern of AGZO thin films for Ar flow rates [1].

Table 2. RMS roughness and grain size of AGZO thin films for Ar flow rates [1].

Ar flow rate	RMS roughness	Grain size
5 sccm	3.409 nm	39.402 nm
15 sccm	4.819 nm	39.419 nm
25 sccm	2.712 nm	31.526 nm

다른 박막 특성 연구 분석 결과는 관련 분야를 연구하는 연구자에게 많은 정보를 제공해 줄 것으로 기대됩니다. 하지만 본 Comment에 대해서 저자들은 동의할 수 없는 부분도 있겠지만, 다양한 접근 방식을 통해서 연구 결과에 대하여 공정 변수에 대해서 다시 한번 고찰이 필요하다고 판단됩니다.

ORCID

Sangmo Kim

<https://orcid.org/0000-0002-7371-208X>

REFERENCES

- [1] S. H. Jang and D. K. Kim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **35**, 32 (2022). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2022.35.1.5>]
- [2] M. A. Lieberman and A. J. Lichtenberg, *Principles of Plasma Discharges Materials Processing*, 2nd edn. (John Willey & Sons., 2005).
- [3] B. Chapman and J. L. Vossen, *Phys. Today*, **34**, 62 (1981). [DOI: <https://doi.org/10.1063/1.2914660>]
- [4] B. N. Chapman, *Sputtering* (Wiley, New York, 1980). pp. 177-296.
- [5] M. Ohring, *Materials Science of Thin Films*, 2nd edn. (Academic Press, 2002). pp. 711-781. [DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-012-524975-1/50015-x>]
- [6] J. A. Thornton, *Ann. Rev. Mater. Sci.*, **7**, 239 (1977). [DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ms.07.080177.001323>]
- [7] J. A. Thornton, *J. Vac. Sci. Technol.*, **11**, 666 (1974). [DOI: <https://doi.org/10.1116/1.1312732>]
- [8] K. Wasa, I. Kanno, and H. Kotera, *Handbook of Sputter Deposition Technology*, 2nd edn. (William Andrew, 2012).