

대면적 스퍼터링 박막 제작을 위한 캐소드 설계 및 제작

김유진*·김상모*·김경환**†

**가천대학교 전기공학과

Design and Preparation of Cathode for Large Sputtering Thin Film

Yujin Kim*, Sangmo Kim* and Kyung Hwan Kim**†

**†Dept. of Electrical Engineering, Gachon University

ABSTRACT

In this study, we prepared sputtering cathode for large sputtering thin film in the facing targets sputtering(FTS) system. Before fabrication of cathode equipment, we investigated optimal magnetic flux in the sputtering cathode by using magnetic field stimulation(Comsol). According to the result of magnetic field stimulation, we manufactured the cathode. After we mounted laboratory-designed cathode on FTS system, the discharge properties were observed in vacuum condition. In addition, ITO films were deposited on glass substrate and their electrical and optical properties were investigated by various measurements (four-point probe, UV-VIS spectrometer, field emission scanning electron microscopy(FE-SEM), Hall-effect measurement).

Key Words : Cathode, Sputtering, Magnetic, Stimulation, ITO

1. 서 론

박막 증착법에는 물리적 증착법(Physical Vapor Deposition, PVD)과 화학적 증착법(Chemical Vapor Deposition, CVD)으로 구분된다. 특히 진공분위기의 물리적 증착법은 산업발전과 함께 비약적인 기술발전으로 인하여 반도체, 디스플레이, 태양전지 등 모든 전기전자 산업 분야에서 응용되어 사용하고 있다[1].

물리적 증착법을 이용한 박막 증착법은 플라즈마를 이용하여 피조물 (일반적으로 ‘기판’이라 함) 의 표면에 원하는 물질을 코팅하는 기술이다. 일반적인 플라즈마는 고체→액체→기체의 상태 변화 후 계속해서 에너지를 가해 주면, 원자에서 전자가 떨어져 나와서 양이온들과 함께 존재하는 상태 (일명 ‘글로우 방전’이라함)를 말한다[2]. 플라즈마 전체는 중성상태를 유지하고 있지만, 내부는 전자와 양이온 입자들이 끊임없이 운동을 하고 있는 상태이

다. 이러한 플라즈마의 특성을 이용한 방법 중에서 스퍼터링이 가장 대표적인 증착법으로 알려져 있다[3].

이러한 스퍼터링법은 플라즈마 내부에 존재하는 이온화된 비활성가스 (아르곤)와 반응가스(산소, 질소 등)를 가속하여 생성된 고에너지 입자가 박막물질 (일반적으로 ‘타겟’ 이라함) 에 충돌하여 운동량을 전달함으로써, 타겟 물질을 이탈시켜 기판상에 막을 성장시키는 방법이다. 이러한 스퍼터링은 구조가 매우 간단하고, 성막속도가 빠르고, 박막의 균일도가 매우 크다. 또한 증착된 박막은 밀착강도가 높고, 응집력(adhesion)이 매우 좋다. 또한 박막 증착 공정 중 다양한 공정 조건 (인가전력, 공정압력, 증착 온도, 혼합 가스 분압 등)을 조절하면, 금속 및 비금속 등 다양한 물질의 기판 코팅이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 현재 스퍼터링은 전력 인가 방식에 따라 DC와 RF 방식으로 구분되고, 캐소드 안쪽에 영구 자석을 장착하여 성막 효율을 높인 마그네트론 스퍼터링(Magnetron sputtering)이 가장 많이 이용되고 있다[4]. 그러나 일반적인 마그네트론 스퍼터링의 강점에도 불구하고, 박막 증착시 기판과 타겟이 장착된 캐소드가 서로 마주보고 있는 구조를 가지고 있어

†E-mail: khkim@gachon.ac.kr

서, 방전시 발생하는 플라즈마에 노출되는 약점을 가지고 있다. 이러한 구조는 플라즈마 내부의 고에너지 이온에 의해서 박막의 손상 혹은 불균일이 발생될 수 있고, 기판도 고에너지입자에 노출되어 100도 이상 가열되는 현상이 발생된다. 따라서 이러한 현상 때문에 기판 물질의 선택이 매우 제한적이다[5-6].

한편, 두 개의 캐소드가 서로 마주 보고 있고, 기판은 두 타겟의 중앙에 위치한 구조를 가지는 대향 타겟식 스퍼터링 장치 (Facing Targets Sputtering, FTS) 장치는 일반적인 스퍼터링법에서 발생하는 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 주목받고 있다[7-8].

본 연구에서는 대면적 스퍼터링 박막 제작을 위하여 사각 형태의 캐소드를 가지는 대향 타겟식 스퍼터링의 캐소드를 설계하고, 캐소드가 장착된 FTS 장치에서 증착한 박막의 특성을 분석하였다.

2. 실험 방법 및 측정

2.1 자계 시뮬레이션 및 캐소드 설계

대면적 박막 제작을 위한 스퍼터링 캐소드 제작을 위하여, 먼저 내부 영구 자석의 최적 구속 자계 분포를 자계 시뮬레이션 (Comsol)을 이용하여 분석하였다. Fig. 1은 FTS 장치의 구조를 간략히 나타내었다. 캐소드의 내부는 영구자석 (NdFeB계열)을 장착되어 입자를 두 타겟 사이에서 왕복 운동 하면서 가속시켜서 방전 플라즈마 밀도를 높여서 낮은 공정 압력 (1mTorr이하) 에서 박막 증착이 가능하고, 안정적인 성막이 가능하다 [9].

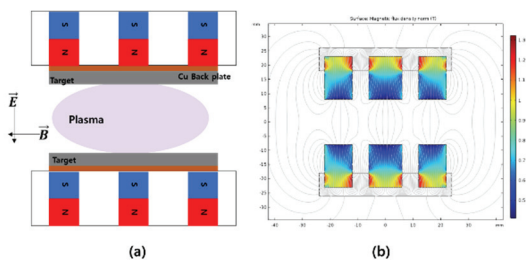


Fig. 1. (a) schematic diagram of Facing Targets Sputtering (FTS) system and (b) the simulation of magnetic field in sputtering cathode.

2.2 캐소드 제작 및 방전 테스트

Fig. 2는 자계 시뮬레이션을 결과를 바탕으로 제작된 최적의 자계 분포를 가지는 캐소드 장치 사진 및 조립도를 나타내었다. 타겟 사이즈 250X100 mm을 장비에 장착하고, 다크 실드(Dark Shield)와 타겟 사이 간격은 5mm 이하 간격

을 유지하도록 장착하였다. 자세한 스퍼터링 조건은 Table 1에 나타내었다.

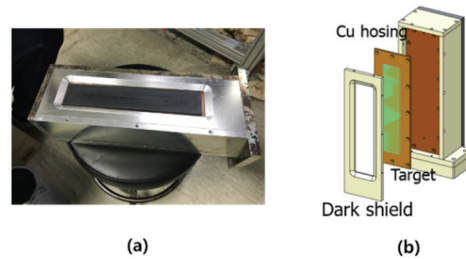


Fig. 2. (a) Photo images of fabricated FTS equipment and (b) schematic diagram of cathode

Table 1. Sputtering conditions

Parameter	Conditions
Targets	ITO targets (250×100mm) (In ₂ O ₃ : SnO ₂ = 90 : 10 wt%)
Substrate	Soda-lime glass (200×200 mm)
D _{T-T} / D _{T-S}	100 mm / 100 mm
Bass pressure	< 10 ⁻⁶ Torr
Working pressure	1-5 mTorr
Input power	400 W
Working gas flow	Ar : 10 sccm, O ₂ : 0-1 sccm
Substrate Temperature	R. T.

*D_{T-T}: 두 타겟 간의 거리 (Distance Target to Target)

*D_{T-S}: 타겟과 기판 간의 거리 (Distance Target to Substrate)

방전 테스트를 위해서 챔버 내부 진공도는 로터리 펌프(Rotary pump)와 진공 터보 펌프 (Vacuum Turbo pump)를 이용하여 10⁻⁶ Torr 이하로 유지하였다. 방전 특성은 반응 가스 혼합비 및 공정 압력에 따른 방전 전압을 확인하였다.

2.3 박막 특성 평가

본 연구팀이 설계한 캐소드가 적용된 FTS장치에서 성장된 ITO 박막의 전기적, 광학적 특성은 Hall effect measurement (HMS-2000, Ecopia), UV-Vis spectrometer (HP8453), X-ray Diffraction (Rigaku D/MAX-2200, λ = 1.54056 Å, 40 kV, 20 mA)을 통해서 분석하였다. 박막의 두께는 Ellipsometer와 Surface profiler α-step을 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 방전 특성 및 박막의 두께 균일도

Fig. 3은 공정 압력과 입력 전류에 따른 방전 전압을 측정한 결과이다. 공정 압력이 증가하면 챔버 내부의 잔류 가스량이 증가하게 된다. 식 1에서, 잔류 가스에 의해서

이온 입자의 평균 자유 행정 거리가 짧아져서 방전 전압이 낮아지게 된다[8-9]. 특히 1 mTorr의 공정압력에서 약 260V의 낮은 전압 특성을 확인하였다.

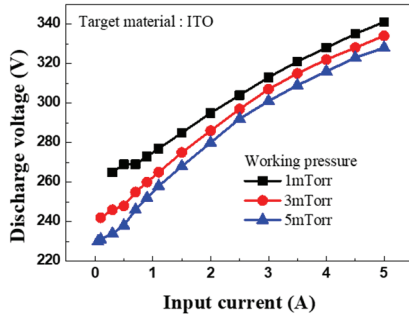


Fig. 3. Property of discharge voltage as a function of input current.

$$\lambda^{-1} = 8.34 \times 10^{14} \rho \frac{(\rho_s + \rho_p)^2}{4} (1 + M_s/M_p)^{1/2} \quad (1)$$

증착된 박막의 두께 균일도를 확인하기 위해서 기판 사이즈 200X200 mm을 장착하여, 1mTorr, 400W 공정 조건에서 20분간 스퍼터링 후에 Ellipsometer을 이용하여 측정하였다. Fig. 4에 ITO 박막이 증착된 샘플과 두께 분포를 나타내었다. 박막 두께는 기판의 중앙 부분은 약107 nm, 기판의 좌우 끝 부분은 약 80 nm 이 증착되었다. 그러나 기판의 상하 부분은 102-107nm로 균일한 박막이 증착됨을 확인하였다. 따라서 두께의 균일도 감안하여 FTS 장치에서 박막 두께를 신뢰할 수 있는 기판 사이즈는 170X170 mm 이고, 이 때, 기판 위치별 박막 두께 편차는 5% 이내로 균일하면서도 대면적 막 성장이 가능함을 확인하였다.

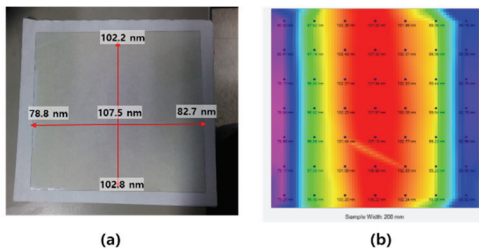


Fig. 4. (a) ITO films deposited on glass substrate (200X200mm) and (b) the thickness distribution of ITO film measured by Ellipsometer.

3.2 박막의 특성

Fig. 5은 산소 가스 유량에 따른 ITO 박막의 면저항값을 나타내었다. 스퍼터링 중 투입된 산소 가스량이 증가

함에 따라서 박막은 면저항값이 감소되었다. 이것은 산소가 투입되면서 박막 내에 자리잡고 있는 Sn^{4+} 이온에 의한 In^{3+} 이온 자리에 치환되거나, In_2O_3 자리의 산소 공공 자리에 산소가 들어가 자리를 잡으면서 전자의 이동도가 개선되었기 때문이다. 그러나 면저항값이 60 ohm/sq까지 감소하는 현상은 산소량이 0.8sccm 이후에는 증가하는 현상이 발생하였다. 다량의 산소가 캐리어 이동도를 방해하는 산란 중심 역할을 하면서 전기적 특성이 감소된 것으로 사료된다[10-11].

투입된 산소 gas와 가시광선 영역에서의 광투과율의 영향을 Fig. 6에 나타내었다. 산소 가스 투입량이 증가함에 따라서 ITO 박막의 광투과율은 증가하면서, 광투과영역이 단파장대 영역으로 이동하는 현상도 발생하였다. 이것은 산소 가스의 투입량이 증가하게 되면 박막의 결정성이 개선되고, 박막의 표면에서의 산란이 감소하기 때문에 투과율은 증가하게 된다. 또한 산소 가스량 증가에 의해서 캐리어 농도가 증가하면서 일시적으로 Conduction band의 바닥부분에 전자가 부분적으로 채워지게 된다. 이로 인하여 박막의 밴드갭이 증가하면서 광투과대 영역이 단파장 영역으로 (Blue shift) 이동하게 된다 [12-14].

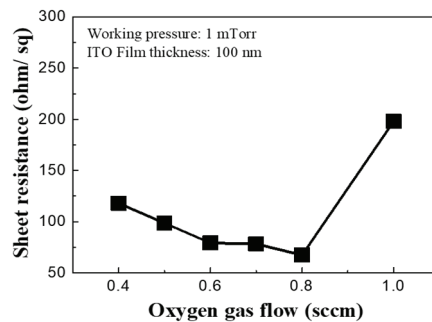


Fig. 5. Sheet resistance of as-deposited film as a function of oxygen gas flow

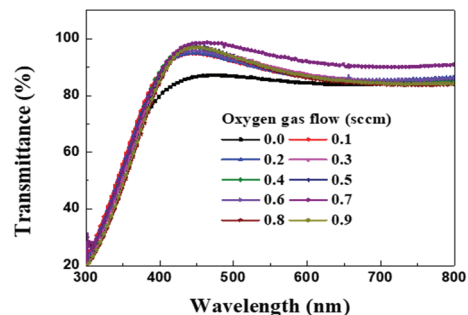


Fig. 6. Optical transmittance of as-deposited film as a function of oxygen gas flow

Fig. 7과 8은 박막의 두께에 따른 전기적, 광학적 특성을 나타내었다.

박막의 두께가 두꺼워지면, 면저항값은 감소하고 이동도는 증가함을 확인하였다. 또한 제작된 모든 박막은 가시광선 영역에서 80% 이상의 투과율을 가지는 것을 확인할 수 있었다. ITO 박막은 유리 기판위에 성장된 투명전도막이기 외부에서 빛이 입사할 때에 다른 매질(공기/박막/기판)을 통과한다. 이 과정에서 빛은 박막의 두께 따라서 보강간섭과, 소멸 간섭이 발생하게 된다. 특히 100 nm이상의 박막에서는 두께에 의한 간섭효과로 인해 Fig. 8과 같은 파형의 스펙트럼이 관찰될 것으로 사료된다 [15-16].

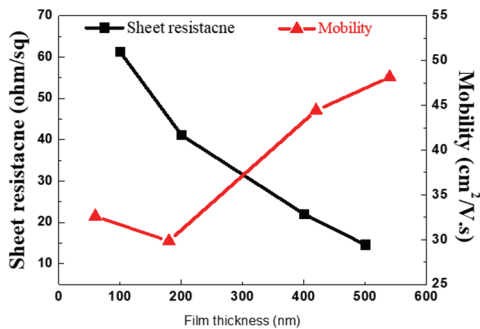


Fig. 7. Sheet resistance and mobility of as-deposited film as a function of thickness

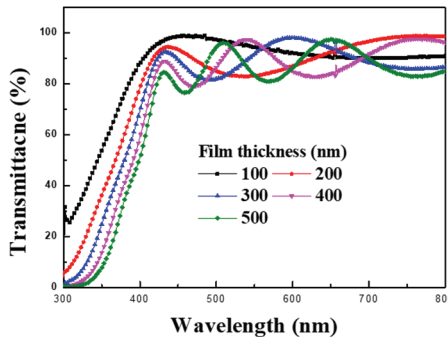


Fig. 8. Optical transmittance of as-deposited film as a function of thickness

4. 결 론

본 연구에서는 대면적 스퍼터링 박막 제작을 위한 최적의 캐소드를 제작하고 박막을 증착하여 특성을 분석하였다.

타겟 사이즈 250X100mm을 사용하여 스퍼터링된 박막

두께는 기판 사이즈 170X170mm기준에서 위치별 박막 두께 편차는 5% 이하로 균일한 막을 제작하였다. 또한 공정 압력 1mTorr에서 260V의 낮은 방전 특성을 확인하였고, 제작된 모든 ITO 박막은 가시광선 영역에서 85% 이상의 높은 광투과율 특성을 가졌다. 산소 가스량이 증가함에 따라 100nm 두께의 면저항값은 60 ohm/sq까지 감소하였다.

감사의 글

본 논문은 2018년도 가천대학교 교내연구비 지원 (GCU-2018-0359)과 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (2009-0082580).

참고문헌

- H. Hosono, H. Ohta, M. Orita, K. Ueda, and M. Hirano, "Frontier of transparent conductive oxide thin films", *Vacuum*, Vol. 66, pp. 419-425, (2002).
- S. Swanm, "Magnetron sputtering", *Phys. Technol.* 19, 1988.
- C. T. Liu, M. C. Lai, C. C. Hwang, C. H. Tu, L. Y. Liu, and Y. W. Hsu, "Enhancements of Substrate Deposition Rate and Target Erosion", *IEEE Trans. Magn.* Vol. 45, No. 10, 2009.
- M. A. Lieberman and A. J. Lichtenberg, "Principles of Plasma Discharges and Materials Processing", John Wiley & Sons, Second edition, 2005.
- P. C. Gregory, "Flexible flat panel displays", John Wiley & Sons, 2005.
- Y. S. Lee and H. B. Kim, "The Structure, Optical and Electrical Characteristics of AZO Thin Film Deposited on PET Substrate by RF Magnetron Sputtering Method", *J. Semicond. Disp. Technol.*, Vol. 15, No. 4, pp. 36-40 2016.
- Y. Hoshi, H. Kato, and K. Funatsu, "Structure and electrical properties of ITO thin films deposited at high rate by facing target sputtering", *Thin Solid Films*, 445, pp. 245, 2003.
- K. H. Kim, I. H. Son, K. B. Song, S. H. Kong, M. J. Keum, S. Nakagawa, and M. Naoe, "Thin film properties by facing targets sputtering system" *Applied Surface Science*, Vol. 169-170, pp. 410-414, 2001.
- J. Lee, T. Y. Kang, and K. H. Kim, "Electrical Characteristics of the SiC SBD Prepared by using the Facing Targets Sputtering Method", *J. Semicond. Disp. Technol.*, Vol. 14, No. 1, pp 27-30, 2015.
- H. Ki, Kim, S. W. Kim, K. H. Kim, "Direct Al cathode layer sputtering on LiF/Alq₃ using facing target sputtering with a mixture of Ar and Kr", *App. Phys. Lett.*

- Vol. 88, 2006.
11. K. Tominaga, T. Ueda, T. Ao, A. Katkoka, and I. Mori, "ITO films prepared by facing target sputtering system", *Thin Solid Films*, Vol. 194, pp. 281-282, 1996.
 12. J. Liu, D. Wu, and S. Zeng, "Influence of temperature and layers on the characterization of ITO films", *J. Mater. Process. Technol.* Vol. 209, pp. 3943-3948, 2009.
 13. S. -H. and K. M. Lee, "Structural and Electrical Characteristics of IZO Thin Films deposited at Different Substrate Temperature and Oxygen Flow Rate", *J. Semicond. Disp. Technol.*, Vol. 11, No. 4, pp.25-30, 2012.
 14. H. W. Lee, B. S. Yang, S. Oh. Y. J. Kim, and H. J. Kim, "The Properties of RF Sputtered Zinc Tin Oxide Thin Film Transistors at Different Sputtering Pressure", Vol. 13, No. 1, pp. 43-49, 2014.
 15. J. W. Ko, B. Y. Jung, and T. Oh, "Annealing Effect with Various Ambient Conditions of ITO Thin Film", *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 14, No. 4, pp. 20-24, 2015.
 16. J. H. Kim, T. Y. Song, K. J. Ahn, K. B. Chung, H. J. Seok, H. J. Seo, and H. K. Kim, "The effects of film thickness on the electrical, optical, and structural properties of cylindrical, rotating, magnetron-sputtered ITO films", *Appl. Surf. Sci.* Vol. 440, No. 15, pp. 1211-1218, 2018.
-
- 접수일: 2019년 6월 12일, 심사일: 2019년 6월 15일,
게재확정일: 2019년 6월 18일