

스퍼터링법에 의해 증착된 알루미늄 박막의 전기적 · 구조적 특성에 관한 연구

김도영 

울산과학기술대학교 전기전자공학부

The Study of Electrical and Structural Performance of Aluminum Thin Film Deposited by Sputtering Method

Doyoung Kim

School of Electrical and Electronics Engineering, Ulsan College, Ulsan 44022, Korea

(Received November 6, 2019; Revised November 29, 2019; Accepted December 3, 2019)

Abstract: In this study, we performed the deposition of Al thin film using a DC magnetron sputtering method. To evaluate electrical and structural properties, the growth conditions were changed in terms of two functions, namely, sputtering power ranging from 41.6 to 216 W and film growth rate ranging from 5.35 to 26.39 nm/min. The growth rate and the microstructure were characterized by a scanning electron microscopy and X-ray diffraction analysis. The plane of crystalline growth showed that the preferential (111) direction and defects due to the grain boundary increased with DC power. The resistivity of the Al film over 50 nm showed a constant value by horizontal grain growth. Our results can be applicable for the preparation of nano-templates for anodic aluminum oxide.

Keywords: Aluminum, Thin film, Sputtering, Grain growth, Anodic aluminum oxide

1. 서론

진공상태에서 스퍼터링방법을 이용하여 증착된 알루미늄 박막은 증착 조건에 따라 전기적 · 구조적 특성이 매우 크게 달라지는 것으로 알려져 있다 [1,2]. 특히, 스퍼터링 전력과 증착률에 따라 비저항과 반사율, 표면 색상 등이 크게 달라지며 이에 따라 적절한 증발원 및 증착 방법의 선택이 박막의 특성을 좌우하게 된다. 특히 양극산화 알루미늄을 제작하기 위해서는 알루미늄은 용점이 낮은 반면 증기화되는 온도가 높을 뿐만 아니라 고온에서는 대부분의 내화물 금속과 반응하기 때문

에 저항가열 증발원을 이용하여 증발시키기가 매우 까다로운 물질 중의 하나이다 [3]. 또한 전자빔으로 증발시킬 경우에는 열전도도가 커서 수냉 도가니를 통해 열이 빠져나가기 때문에 효과적인 증발을 위해서는 고전력을 투입해야 하는 어려움이 있다. 한편, 스퍼터링 증발원을 이용하여 알루미늄을 증착하면 낮은 증착률로 인해 반사율과 같은 제반 특성이 현저히 떨어지는 단점이 있다 [4]. 특히 본 논문에서는 알루미늄 박막의 제조를 위하여 스퍼터링 방법을 이용하여 최적의 증착 방법을 소개하고 증착 조건과 박막 특성의 상관성을 조사하였다. 실험 결과로부터 알루미늄박막의 특성 변화, 그리고 증착 조건이 박막의 특성에 미치는 영향을 소개하였다. 본 논문의 결과로부터 나노템플레이트에 적용되는 알루미늄 양극산화막(AAO) 연구에 응용 [5]이 가능하다.

✉ Doyoung Kim; dykim@uc.ac.kr

Copyright ©2020 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.

2. 실험 방법

본 실험에서는 Al 박막을 증착시키기 위하여 DC 마그네트론 스퍼터링 장비를 활용하였다. 공급된 전력은 41.6 W에서 216 W로 조절되었으며 사용된 전압과 전류는 320~400 V, 0.12~0.55 A로 각각 입력되었다. 타겟으로 사용된 Al은 3인치, 순도 99.99%의 원형 디스크가 사용되었다. 기판으로는 저가의 soda lime glass가 사용되었다. 타겟과 기판의 거리는 40 mm로 고정되었으며 박막 증착 시 압력은 3 mTorr로 일정하게 유지되었다. 기판의 온도는 별도의 히터를 사용하지 않고 실온으로 유지되었으나 스퍼터링 공정 중에서 Al 증착과정에서 발생하는 10°C의 온도 상승이 동반되었다. DC 전력에 따른 박막의 특성을 확인하기 위하여 증착두께는 1 μm 이하로 일정하게 고정하면서 시간으로 조절하여 Al 박막시료를 제작하였다. 아래의 표 1에 본 연구에서 제작한 Al 박막의 증착조건을 나타내었다.

Table 1. The condition of Al deposition as a function of DC sputtering power.

	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Depo. time (min)	Thickness (nm)	Depo. rate (nm/min)
1	320	0.13	41.6	185	990	5.35
2	340	0.19	64.6	120	940	7.83
3	360	0.26	97.2	75	990	13.2
4	380	0.35	133	60	950	15.83
5	400	0.54	216	36	950	26.39

3. 결과 및 고찰

그림 1은 스퍼터링 전력에 따른 Al 박막의 증착속도를 나타낸 것이다. 박막의 두께를 약 950~990 nm로 고정하고 스퍼터링 전력의 증가에 따라 Al 증착속도는 선형적으로 증가하고 있음을 알 수 있었으며 이것은 Al 타겟과 충돌하는 플라즈마 내의 이온의 밀도가 증가한 것을 의미한다.

그림 2는 스퍼터링 DC 전력에 따른 Al 박막의 결정성을 분석하기 위하여 진행한 X-ray diffraction 결과이다. 스퍼터링 DC 전력이 증가함에 따라서 계산된 (111)과 (200) 면방향이 가지는 결정구조의 texture coefficient [6]는 (111)의 경우 1.19에서 0.91로 (200)의 경우 0.89에서

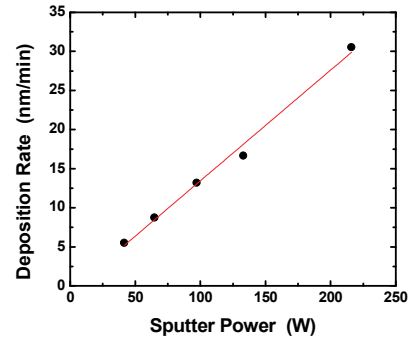


Fig. 1. Deposition rate as a function of sputtering power in the same thickness condition.

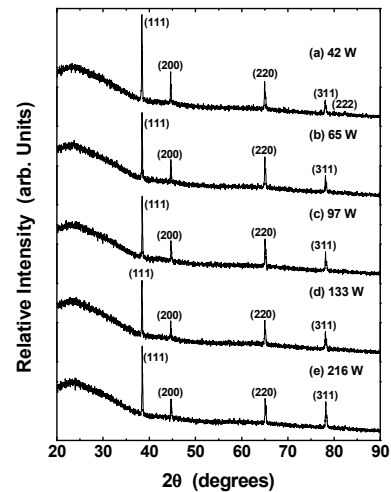


Fig. 2. X-ray diffraction results as a function of DC sputtering power from 42 W to 216 W.

0.40으로 감소하나 (311) 방향의 texture coefficient는 0.68에서 1.29로 증가하는 것으로 계산되었다. 이는 스퍼터링 DC 전력의 증가에 따라 증착속도의 증가는 박막의 주 결정방향이 (111), (200)으로부터 (311) 면방향으로 박막 주 결정면 방향에 영향을 주는 것으로 사료된다.

본 연구에서는 그림 3과 같이 SEM (scanning electron microscopy)을 이용하여 관찰한 Al 박막의 표면이미지를 보였다. 42 W로 증착한 Al 박막의 경우 65 W로 증착한 Al 박막의 표면상태와 유사하여 본 논문에는 제시하지 않았다. 낮은 DC 전력에서 증착된 Al 박막의 경우 큰 결정입계(grain boundary)로 박막의 표면이 관찰되었으며, 각각의 결정입계의 결함은 매우 큰 것으로 관측된다 [7]. DC 전력이 증가함에 따라서 큰 결정입계의 결함은 줄어들면서 결정입(grain)의 크기는 감소한 것으로 관측되었다. 이것은 낮은 DC 전력에서 낮

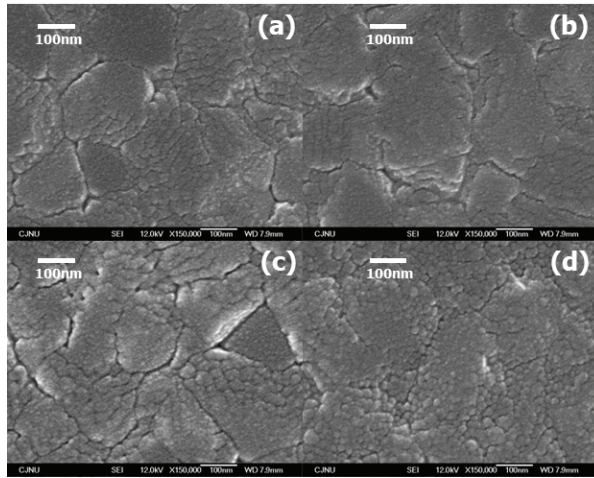


Fig. 3. SEM surface image as a function of sputtering DC power (a) 65 W, (b) 97 W, (c) 133 W, and (d) 216 W.

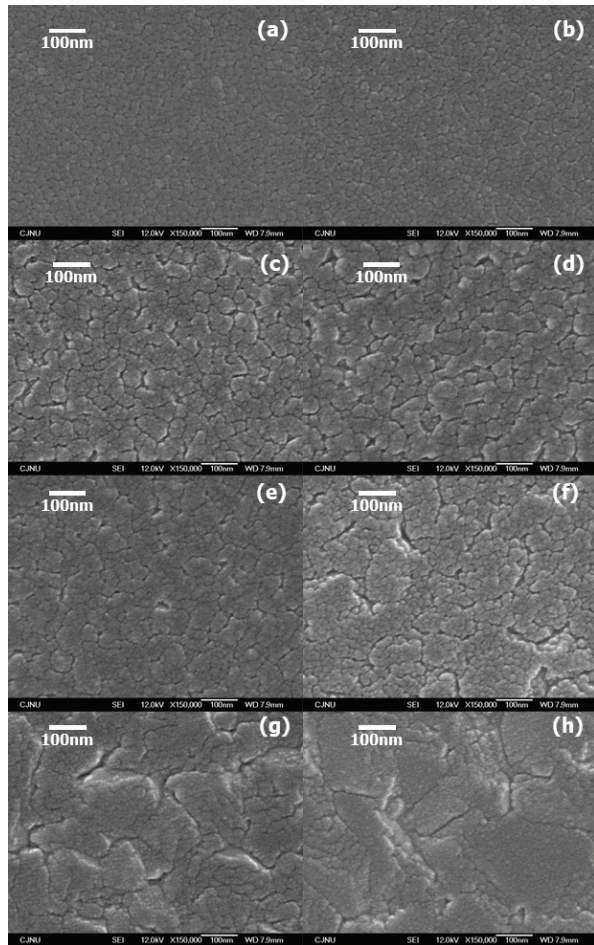


Fig. 4. SEM surface image as a function of Al thickness (a) 20 nm, (b) 30 nm, (c) 50 nm, (d) 80 nm, (e) 160 nm, (f) 280 nm, (g) 490 nm, and (h) 1,050 nm.

은 sputtering yield가 박막성장속도를 느리게 하고 결국 큰 결정입계에 높은 결함을 만든 것으로 사료되며 반대로 높은 DC 전력에서는 높은 sputtering yield가 박막의 성장속도를 빠르게 하고 결국 작은 결정의 크기와 낮은 결함밀도를 만든 것으로 사료된다 [8].

본 연구에서 결정립의 성장과정을 확인하기 위하여 sputtering DC power를 100 W로 고정하고 두께를 증가시키면서 표면의 형상을 SEM으로 그림 4와 같이 관찰하였다. 박막의 두께가 20 nm에서는 매우 미세한 결정립이 형성되었으며 두께가 증가함에 따라서 결정립의 크기가 증가하는 것으로 관찰되었다. 박막의 두께가 50 nm에서부터는 결정립과 결정립 간의 미세한 결정립계가 발생하기 시작하고 동시에 결함들이 발생하기 시작하였다. 결정립의 크기가 490 nm 이상에서는 미세한 결정립계들이 결합되어 큰 결정립계가 형성되며 결정립들도 다른 미세한 결정립들과 결합되어 큰 결정립이 형성되었다. 이러한 결과는 초기의 박막 성장의 경우 결정립들이 수평성장보다는 수직성장이 주도하는 결정성장이 이루어지며 두께가 증가함에 따라서 수직성장보다는 수평성장이 주도함에 따라서 결정립의 크기가 커지는 것으로 사료된다 [9].

그림 5에서는 박막의 DC power와 성장 두께에 따른 비저항을 사분탐침법(4 point probe)을 이용하여

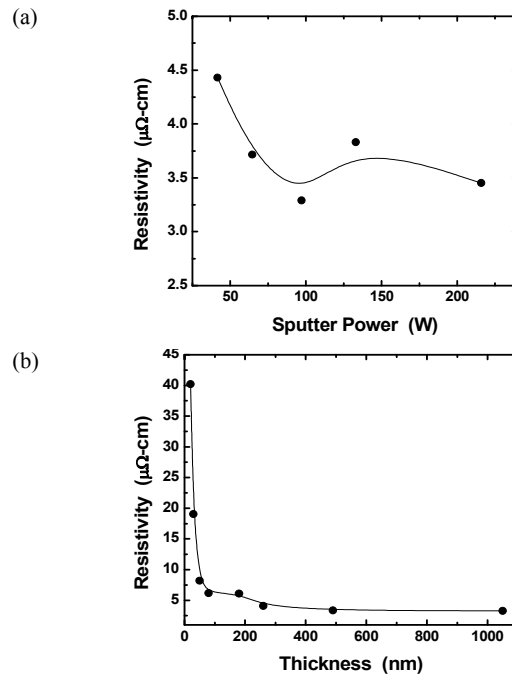


Fig. 5. Al film resistivity as a function of (a) sputter power and (b) Al thickness.

측정하였다. 스퍼터링의 DC power가 증가함에 따라서 비저항은 감소하는 결과는 보였으며 이는 그림 3의 SEM 이미지에서 나타내는 결과 같이 결정립계의 결합이 감소함에 따라서 비저항도 감소한 것으로 사료된다. Al 박막의 두께의 경우 30 nm의 낮은 두께에서는 높은 비저항을 나타내었으나 50 nm 이하의 Al 박막에서는 비저항이 일정한 것으로 관찰되었다. 이는 Al의 초기 성장에서는 수직방향 성장에 따른 미세한 결정립형성이 전기전도를 방해하였으나 50 nm 이상의 두께에서는 수평성장이 주도함에 따라서 비저항이 일정하였음을 알 수 있었다 [10].

4. 결론

본 논문에서는 DC 마그네트론 스퍼터링법에 의해 증착된 알루미늄 박막의 증착률 및 두께는 스퍼터 전력과 증착시간과 선형적인 관계를 나타내었다.

XRD 분석 결과 Al 박막은 스퍼터 전력에 관계없이 (111)면 방향으로 우선방위를 가지고 성장하며 스퍼터 전력 및 두께가 증가함에 따라 결정성이 향상됨을 알 수 있었다. Al 박막은 SEM을 이용한 표면 분석 결과 DC power가 증가함에 따라서 결정립계에 의한 결합이 증가하였으며 두께에 따라서 결정립의 크기가 증가하였다. 전기 비저항은 스퍼터 전력 및 두께가 증가함에 따라 감소하였으나 50 nm 두께 이상의 경우 큰 변화를 나타내지 않았다.

ORCID

Doyoung Kim

<https://orcid.org/0000-0002-3315-7501>

감사의 글

이 논문은 2018년 울산과학대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행됨.

REFERENCES

- [1] D. V. Sidelev, A. V. Yuryeva, V. P. Krivobokov, A. S. Shabunin, M. S. Syrtanov, and Z. Koishybayeva, *J. Phys. Conf. Ser.*, **741**, 012193 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/741/1/012193>]
- [2] M. M. Singh, G. Vijaya, M. S. Krupashankara, B. K. Sridhara, and T. N. Shridhar, *Mater. Today: Proc.*, **5**, 2696 (2018). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.01.050>]
- [3] J. H. Lee, *J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.*, **14**, 923 (2010). [DOI: <https://doi.org/10.6109/jkiice.2010.14.4.923>]
- [4] Y. Homma and S. Tsunekawa, *J. Electrochem. Soc.*, **132**, 1466 (1985). [DOI: <https://doi.org/10.1149/1.2114145>]
- [5] S. I. Kwon, K. J. Yang, W. C. Song, J. H. Lee, and D. G. Lim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **21**, 415 (2008). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2008.21.5.415>]
- [6] Y. Wang, W. Tang, and L. Zhang, *J. Mater. Sci. Technol.*, **31**, 175 (2015). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2014.11.009>]
- [7] C. Molteni, N. Marzari, M. C. Payne, and V. Heine, *Phys. Rev. Lett.*, **79**, 869 (1997). [DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.79.869>]
- [8] K. H. Jang, S. J. Hwang, and Y. C. Joo, *Met. Mater. Int.*, **14**, 147 (2008). [DOI: <https://doi.org/10.3365/met.mat.2008.04.147>]
- [9] F. M. Mwema, O. P. Oladijo, S. A. Akinlabi, and E. T. Akinlabi, *J. Alloys Compd.*, **747**, 306 (2018). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.03.006>]
- [10] H. Takatsuji, T. Arai, S. Tsuji, K. Kuroda, and H. Saka, *Thin Solid Films*, **337**, 235 (1999). [DOI: [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(98\)01384-4](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(98)01384-4)]