

## 마그네트론 스퍼터링법으로 증착시킨 TiC 박막의 물리적, 전기적 특성에서 RF 파워의 영향

김남훈<sup>1</sup>, 박용섭<sup>2,a</sup>

<sup>1</sup> 조선대학교 전기과

<sup>2</sup> 조선이공대학교 광전자과

### Effects of RF Power on Physical and Electrical Characteristics of TiC Thin Films Deposited by Magnetron Sputtering

Nam-Hoon Kim<sup>1</sup> and Yong Seob Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical Engineering College of Engineering, Gwangju 501-744, Korea

<sup>2</sup> Department of Photoelectronics, Chosun College of Science & Technology, Gwangju 501-744, Korea

(Received June 11, 2014; Revised June 23, 2014; Accepted June 24, 2014)

**Abstract:** TiC thin films were deposited on Si wafer by unbalanced magnetron sputtering (UBMS) system with two targets of graphite and titanium. During the TiC sputtering, the RF power was varied from 100 W to 175 W and the physical and electrical properties of TiC films were investigated. The hardness and rms surface roughness of TiC films were improved with increasing RF power and the maximum hardness about 24 GPa and the minimum rms surface roughness about 1.2 nm were obtained. The resistivity of TiC films was decreased with increasing RF power. Consequently, the physical and electrical properties of TiC film were improved with increasing RF power.

**Keywords:** TiC, Unbalanced magnetron sputtering, Hardness, RMS surface roughness, Resistivity

#### 1. 서론

다이아몬드상 탄소 (diamond-like carbon, DLC) 박막은 고경도, 낮은 마찰 계수, 낮은 표면 에너지, 높은 내마모성, 화학적 안정성을 바탕으로 최근 휴대폰, 휴대폰 유리코팅, 의료용 주사기, PET 플라스틱 용기 등의 코팅소재로서 많은 연구가 진행되고 있다 [1-3]. 그러나 DLC 박막의 낮은 접착력과 높은 잔류응력은 그 응용의

한계를 갖게 한다. DLC 박막과 다양한 기판사이의 접착력을 향상시키고 박막의 잔류응력을 줄이는 방안으로 박막 내에 금속이나 실리콘을 첨가하거나 중간에 금속층을 포함하는 연구들이 지속적으로 진행되고 있다 [4,5].

본 연구에서는 DLC 박막의 물리적 특성 향상을 위해 주구성성분인 탄소에 titanium(Ti) 금속을 도핑하였으며, DLC 박막의 증착은 비대칭 마그네트론 스퍼터링 (unbalanced magnetron sputtering, UBMS) 장치를 이용하여 제작하였다.

a. Corresponding author; yongspark@est.ac.kr

#### 2. 실험 방법

TiC 박막은 4인치 (10.16 cm)의 흑연 (graphite)과

티타늄 (titanium) 두 개의 타겟을 이용한 비대칭 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하였다. 스퍼터링 가스로는 아르곤 (Ar)을 사용하였고, 기판은 p-type Si (100) 기판을 사용하였다. TiC 박막 증착 전 기판은 TCE (trichloroethylene), 아세톤 (acetone), 메탄올 (methanol), DI-water에서 각각 10분 간 초음파 세척 후 HF (1:10)용액에서 50초 간 처리하여 Si 기판 표면의 자연 산화막을 제거하였다. 기판과 타겟 사이의 거리는 6 cm로 고정하였다. 챔버 내의 초기 진공도는  $1.0 \times 10^{-5}$  Torr, 스퍼터링 시 진공도는  $2.0 \times 10^{-3}$  Torr로 유지하였으며, 증착 두께는 150 nm로 유지하였다. 플라즈마 형성을 위하여 Ti 타겟의 RF 파워는 100 W로 고정하였으며, graphite 타겟은 100 W부터 175 W까지 변화시켜 TiC 박막을 제작하였다. 제작되어진 TiC 박막은 FE-SEM (field emission scanning electron microscope; Jeol, JSM 890), XRD (X-ray diffraction), XPS (X-ray photoelectron spectrometer: ESCA 2000)를 사용하여 구조 특성을 고찰하였으며, nano-indentation (MTS, Nano-indenter II), nano-scratch tester (J&L Tech, JLST 022)와 atomic force microscope (AFM: NITECH,SPM 400)을 사용하여 물리적 특성을 고찰하였다.

3. 결과 및 고찰

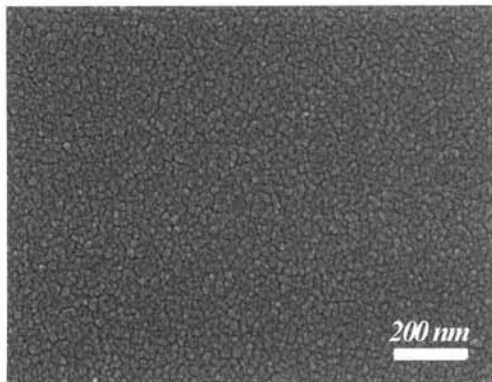


Fig. 1. FESEM surface image of TiC thin film sputtered at RF power of 175 W.

그림 1은 175 W RF 파워 조건에서 실리콘 기판 위에 증착된 TiC 박막의 표면 FESEM 이미지로, 결함이 없이 균일도가 뛰어난 TiC grain이 형성된 것을

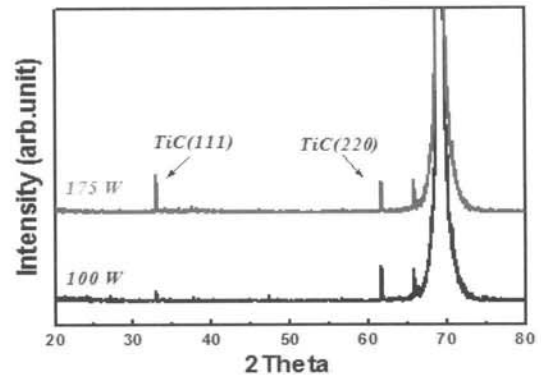


Fig. 2. XRD patterns of TiC films sputtered with various RF powers.

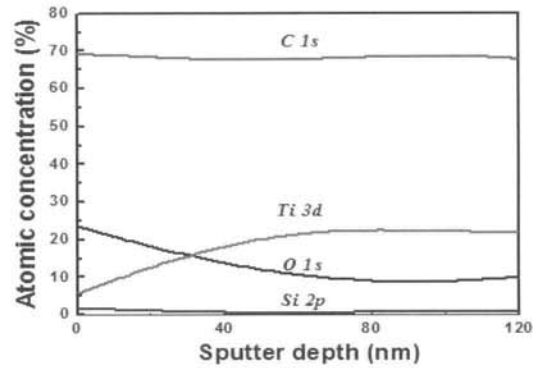


Fig. 3. Atomic concentration of TiC thin film sputtered at RF power of 175 W, measured by XPS.

확인할 수 있다. RF 파워가 증가함에 따라 TiC grain의 크기는 점점 증가하였으며 이러한 결과는 RF파워에 의해 원래의 탄소의 비정질 형태에서 금속 성분이 증가된 결정질 형태로 변화하였음을 판단할 수 있다.

그림 2는 RF 파워에 따라 실리콘 기판위에 증착되어진 TiC 박막의 XRD 분석 결과를 보여준다. RF 파워가 증가함에 따라 TiC(111)과 TiC(220) 피크가 33°와 62° 근처에서 형성됨을 확인할 수 있다. 특히 TiC(111) 피크는 RF 파워의 증가에 따라 강도가 증가하였다. 이러한 결과는 TiC 결정의 증가로 비정질인 탄소박막의 결정성이 향상되었다는 것을 보여준다. RF 파워의 증가만으로 다양한 TiC 피크는 존재하지 않지만 비정질 탄소의 결정성을 향상시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있다 [10].

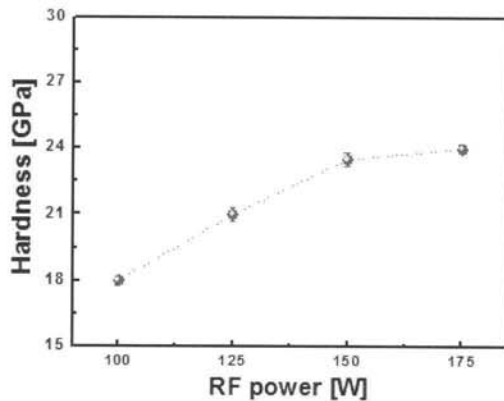


Fig. 4. Hardness of TiC thin films sputtered with increasing RF power of graphite target.

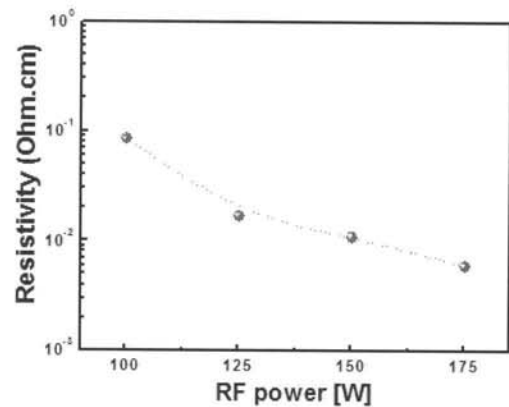


Fig. 6. Resistivity of TiC thin films sputtered with increasing RF power of graphite target.

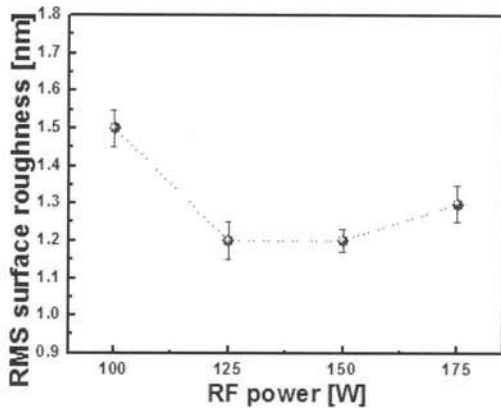


Fig. 5. RMS surface roughness of TiC thin films sputtered with increasing RF power of graphite target.

그림 3은 XPS를 이용하여 물질을 이루고 있는 원자의 core level 전자의 결합 에너지가 원소마다 다른 특성을 이용하여 박막 내 조성을 분석하였다. 결과에서 확인할 수 있듯이, 175 W에서 제작되어진 TiC 박막은 표면에서는 주로 탄소와 산소로 구성되어 있지만 박막 내부에서는 70%의 탄소, 22%의 Ti, 그리고 약 8%의 산소로 구성되어 있다. RF 파워가 증가할수록 박막 내의 탄소 비율은 56%에서 70%까지 증가하였다. 결과적으로 RF 파워는 박막 내 탄소비율을 증가시켰으며, 또한, Ti와 C 사이 결합력을 향상시켜 TiC의 결정화를 유도하였다 [6,7,11].

그림 4는 나노-인텐테이션 장비로 측정된 TiC 박막의 경도 특성 변화를 나타낸다.

RF 파워의 증가에 따라 경도 값이 18 GPa에서 24 GPa로 증가하였다. 탄소계 박막의 물리적 특성의 변화는 박막 내 존재하는  $sp^3$  결합과  $sp^2$  cluster의 비율에 따라 결정되어진다. 본 연구 결과에서 RF 파워 증가에 따른 TiC 박막의 경도 특성 향상은 박막 내 결합의 변화와 관계가 있으며, XRD 결과에서 확인할 수 있듯이 박막 내 결정화에 참여하는 TiC 결합에 의한 결정화가 경도 값 증가에 영향을 미쳤을 것이라고 판단된다 [7,8].

그림 5는 RF 파워에 따라 제작되어진 TiC 박막의 표면거칠기 (root mean square, RMS) 값의 변화를 보여준다. 제작되어진 TiC 박막들의 표면거칠기 값이 1.5 nm 이하로서 아주 부드러운 표면을 나타내었으며, 파워의 증가에 따라 표면거칠기 값의 최솟값은 1.2 nm 값을 나타내었다. 그러나 150 W 이상의 RF 파워에서는 부드러운 표면을 가지지만 표면거칠기 값이 다소 증가되었다. RF 파워의 증가에 따라 스퍼터링 되어지는 Ar 이온들의 에너지가 증가하므로 박막 표면에서 resputtering 비율을 증가시켜 박막 표면을 부드럽게 한다. 그러나 175 W 이상의 파워에서는 스퍼터링 이온들에게 인가된 에너지가 너무 커서 박막 표면을 왜곡시키기 때문에 박막 표면의 거칠기 값이 조금 증가했다고 판단된다 [8,9].

그림 6은 RF 파워에 따라 제작되어진 TiC 박막의 비저항 값의 변화를 나타낸다. 탄소를 주성분으로 하는 DLC 박막은 높은 비저항 값을 가진다. 그러나 스퍼터링되어진 탄소 박막의 경우 다양한 전기적 특성을 나타낸다. 본 연구에서 제작된 TiC 박막은 낮은

비저항 값을 가진다. 이러한 결과는 금속의 함유량과 금속과 탄소 성분으로 구성된 TiC 결정화로 설명할 수 있다. 특히 RF 파워 증가에 따라 탄소의 함유량이 증가하는 데에도 불구하고 Ti-C 결정화의 증가로 인해 비저항 값이 감소했다고 판단된다. 결론적으로, RF 파워의 증가에 의해 박막 내 변화되어지는 결합 비율의 변화에 의해 전기적 특성이 향상되었다고 판단되어진다 [6,12].

#### 4. 결 론

UBMS (unbalanced magnetron sputtering) 장비를 사용하여 RF 파워의 변화에 따라 TiC 박막을 제작하였다. 제작되어진 TiC 박막의 물리적, 전기적 특성을 고찰한 결과 마그네트론 스퍼터링 장치로 제작한 TiC 박막의 경우 175 W의 RF 파워에서 가장 우수한 경도 특성을 나타내었으며, 가장 낮은 비저항 값을 나타내었다. 이러한 결과는 RF 파워의 증가에 따라 TiC 박막의 물리적, 전기적 특성 향상은 스퍼터링 되어지는 이온들의 resputtering 효과에 의해 박막 내 Ti-C 결정화가 증가되었기 때문이다.

#### REFERENCES

- [1] J. Robertson, *Diam. Relat. Mater.*, 4, 297 (1995).
- [2] A. Grill, *Diam. Relat. Mater.*, 12, 166 (2003).
- [3] B. Zhou, B. C. Prorok, A. Erdemir, and O. Eryilmaz, *Diam. Relat. Mater.*, 16, 342 (2007).
- [4] Y. S. Park, H. J. Cho, and B. Y. Hong, *Journal of the Korean Vacuum Society*, 16, 122 (2007).
- [5] Y. S. Park, J. D Lee, and B. Y. Hong, *Journal of the Korean Vacuum Society*, 20, 338 (2011).
- [6] A. C. Ferrari, S. E. Rodil, and J. Robertson, *Diam. Relat. Mater.*, 12, 905 (2003).
- [7] K. Yamamoto and K. Matsukado, *Tribology International*, 39, 1609 (2006).
- [8] Y. T. Pei, D. Galvan, and J.Th.M. De Hosson, *Acta Mater.*, 53, 4505 (2005).
- [9] D. Liu, G. Benstetter, E. Lodermeier, I. Akula, I. Dudarchyk, Y. Liu, and Tengcai Ma, *Surf. Coat. Technol.*, 172, 194 (2003).
- [10] S. Zhang, X. L. Bui, J. Jiang, and X. Li, *Surf. Coat. Technol.*, 198, 206 (2005).
- [11] V. N. Vasilets, A. Hirose, Q. Yang, A. Singh, R. Sammynaiken, M. Foursa, and Y. M. Shulga, *Appl. Phys. A*, 79, 2079 (2004).
- [12] P. Nath, J. E. Sundgren, B. Andersson, H.T.G. Nilsson, *J. Phys. D: Appl Phys.*, 12, 1597 (1979).