

## 마그네트론 스퍼터링 장치의 타겟구조 개선에 관한 연구

배창환\* · 이주희\* · 한창석\*\*†

\*호서대학교 혁신기술경영융합대학원 메카트로닉스공학과

\*\*호서대학교 국방과학기술학과

### A Study on the Improvement on the Target Structure in a Magnetron Sputtering Apparatus

Chang-Hwan Bae\*, Ju-Hee Lee\*, Chang-Suk Han\*\*†

\*Dept. of Mechatronics Eng., Graduate School of M. T. &M., Hoseo University

\*\*Dept. of Defense Science & Technology, Hoseo University,

165 Sechul-Ri, Baebang-Myun, Asan City, Chungnam 336-795, Korea

**Abstract** The cylindrical magnetron sputtering has not been widely used, although this system is useful for only certain types of applications such as fiber coatings. This paper presents electrode configurations which improved the complicacy of the target assembly by using the positive voltage power supply. It is a modified type which has a target constructed with a large cylindrical part, a conical part and a small cylindrical part. When positive voltage was applied to an anode, a stable glow discharge was established and a high deposition rate was obtained. The substrate bias current was monitored to estimate the effect of ion bombardment. As a result, it was found that the substrate current was large. With cylindrical and conical cathode magnetron sputter deposition on the surface of the substrate to prevent re-sputtering, ion impact because it can increase the effectiveness with excellent ductility and adhesion of Ti film deposition can be obtained. We board at the front end of the ground resistance of 5 k $\Omega$  attached to the substrate potential can be controlled easily, and Ti film deposition with excellent adhesion can be obtained. Microstructure and morphology of Ti films deposited on pure Cu wires were investigated by scanning electron microscopy in relation to preparation conditions. High level ion bombardment was found to be effective in obtaining a good adhesion for Cu wire coatings.

(Received December 23, 2009; Revised January 4, 2010; Accepted January 14, 2010)

**Key words:** Cylindrical magnetron sputtering, Glow discharge, Ion bombardment, Pure Cu wire, Adhesion

## 1. 서 론

원통형 구조의 마그네트론 스퍼터장비[1-3]는 양극에 (+)전압을 인가하여 방전시키는 구조이기 때문에 접지전위보다 낮은 (-)전위에서 박막 증착이 가능하다. 이와 같이 (-)전위상태에서 pure Cu wire(선재) 기판에 Ti를 증착시키면 우수한 밀착성을 갖는 박막을 얻을 수 있다[4]. 그러나, 이와 같은 구조로 되어 있는 장치에서 접지전위보다 -100 V 낮은 전위에서는 반대로 밀착성이 떨어지게 되는데, 이것은 기판에 충돌하는 (+)이온에 대한 가속전압을 너무 증가시켰기 때문이다. 이온충격효과를 최대한 이용하여 밀착성이 우수한 증착막을 얻기 위해서는 바이어스 전압

을 변화시키지 않고 기판에 충돌하는 (+)이온만의 양을 증가시킬 수 있는 기술적인 개선이 요구된다. 일반적인 평판 마그네트론 스퍼터링 장치의 경우, (+)이온만의 양을 증가시킬 목적으로 unbalanced magnetron(UBM) sputtering방식[5-10]을 이용하여 플라즈마의 일부를 기판 쪽으로 끌어낼 수 있는 방법이 있다. UBM 방법은 외부자석의 세기가 중앙에 위치한 자석보다 상대적으로 강해 자기장이 내부자석보다 외부자석에 의해 완전히 닫혀진 구조가 아니라 일부 자기장의 방향이 기판을 향한다. 이 방법은 증착속도를 증가시킬 수 있으며, 반응성 금속박막의 독특한 특성을 얻을 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 이 방법을 기본적으로 활용하고 원통형 타겟의 형상

†E-mail : hancs@hoseo.edu

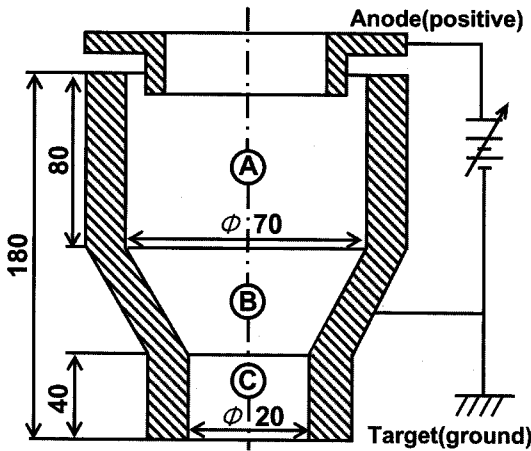


Fig. 1. A new type of sputtering target for wire coating.

을 변경시켜 증착시킨 박막의 특성에 대하여 조사하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 스퍼터장비의 기본 구조

본 실험에서 사용한 증착장치의 타겟(음극) 형상 및 양극의 배치도를 Fig. 1에 나타내었다. 주요한 특징으로서는 (1) 원통형 타겟(그림의 A부분) 밑에 원추형 타겟부(B부분)를 제작하였으며, (2) 원추형 타겟부의 하부에 할로우 캐소드(hollow cathode) 방전용 홀(C부분)을 만들었고, (3) 양극을 원통형 타겟부의 상부에만 설치한 점이다. 타겟형상을 원통형과 원추형으로 구성한 이유는 플라즈마가 타겟인 음극 표면 부근에만 집중하지 않게 하기 위한 것이며, 특히 원추부분에서 기판(선재)과 타겟을 가깝게 하여 기판을 용이하게 플라즈마 영역 내에 있게 하기 위해서이다. 이와 같은 구조는 원추부에서 전자를 방전 공간으로 내보내는 경향이 있기 때문에 양극을 1개만 사용하여도 된다. 그러나, 원통형 타겟부가 짧기 때문에 빠른 증착속도를 얻기는 어렵다고 예상되어, 작은 홀을 만들어 홀 내부에도 할로우 캐소드 방전을 발생시켜 타겟인 음극 내부로 전자를 공급할 수 있도록 하였다.

Fig. 2는 증착장치의 개략도이다. Pure Ti봉으로 타겟을 제작하였고, 링 형상인 양극은 스테인리스강으로 제작하였다. 음극으로 사용되는 2개의 타겟을

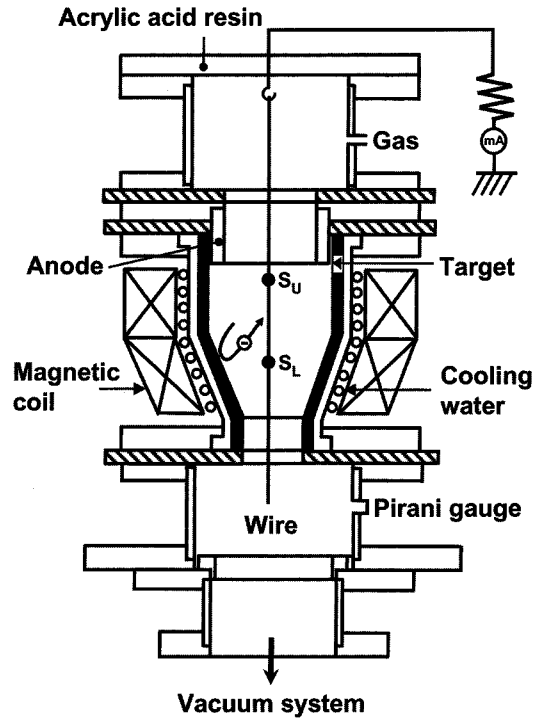


Fig. 2. A sputtering apparatus fabricated in this study.

스테인리스 파이프 내에 배치하고, 그 주변을 전자교일로 감았다. 아르곤 가스는 미세 유량 조절계(MFC)를 통하여 원통형 타겟의 상부측으로 들어오게 하였으며, 장치의 하부측으로 배기하였다.

### 2.2 방전특성 및 바이어스 전류측정

먼저, 본 장치의 기본적인 성능을 파악하기 위하여 방전특성을 조사하였다. 바이어스 전류측정을 위한 기판은 표준전기저항선 및 온도측정용 열전쌍 재료로 사용되는 콘스탄탄(constantan; 니켈에 구리 46%를 첨가한 구리-니켈 합금)선을 이용하였으며, 기판의 크기는 직경 0.508 mm, 길이 400 mm로 구성하였다. 챔버내에서 방전이 일어나게 되면 콘스탄탄선에 전류가 흐르게 되는데, 이 전류를 바이어스 전류라고 표기한다.

### 2.3 박막구조 관찰

박막구조를 관찰하기 위하여 직경 1 mm, 길이 300 mm인 pure Cu wire를 기판으로 사용하였다. 먼저, 기판전위를 전기적으로 절연시킨 후, 10 kΩ

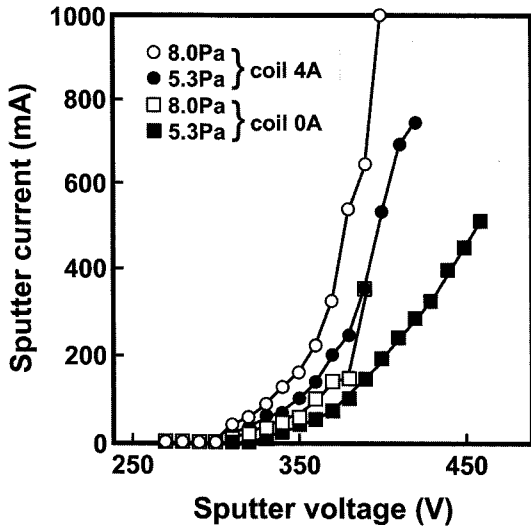


Fig. 3. Current-voltage characteristics of the present apparatus.

또는 5 kΩ의 저항을 접지하여 변화시켰으며, 증착조건은 다음과 같다. 스퍼터 전압; 310 V, 스퍼터 전류; 400 mA, 아르곤 가스압력; 5.3 Pa, 증착시간; 900 sec이다. 전자코일에 4.4 A를 통전시켜 원통 · 원추형 타겟인 음극 중심축 부근에서 약  $7 \times 10^{-3}$  T의 자장 측정값을 얻었으며, FE-SEM(JSM-6301F)을 이용하여 증착된 pure Cu wire의 절단면을 관찰하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 방전특성과 바이어스 전류

예비 스퍼터링을 통하여 Ti 원자의 청색 발광을 확인하였으며, 타겟 중심부(기관위치)에서의 발광이 뚜렷하였기 때문에 플라즈마가 타겟 표면부근에 집중되지 않는 것을 확인하였다. 스퍼터 전압을 300 V로 내려서 홀 내부에서도 방전이 일어나는 것을 확인하였다.

Fig. 3은 방전특성 측정결과이다. 스퍼터 전압 400 V에서 500 mA 정도의 스퍼터 전류를 얻을 수 있었으며, 원통형 마그네트론 스퍼터장치와 비교하였을 때 특성에는 큰 차이가 없다[4]. 방전특성 측정결과에서는 타겟인 음극에 홀을 만든 효과는 나타나지 않았지만, 홀 내부에서도 방전이 일어나는 점으로부터 미약한 hollow cathode(할로우 음극)방전에 의한

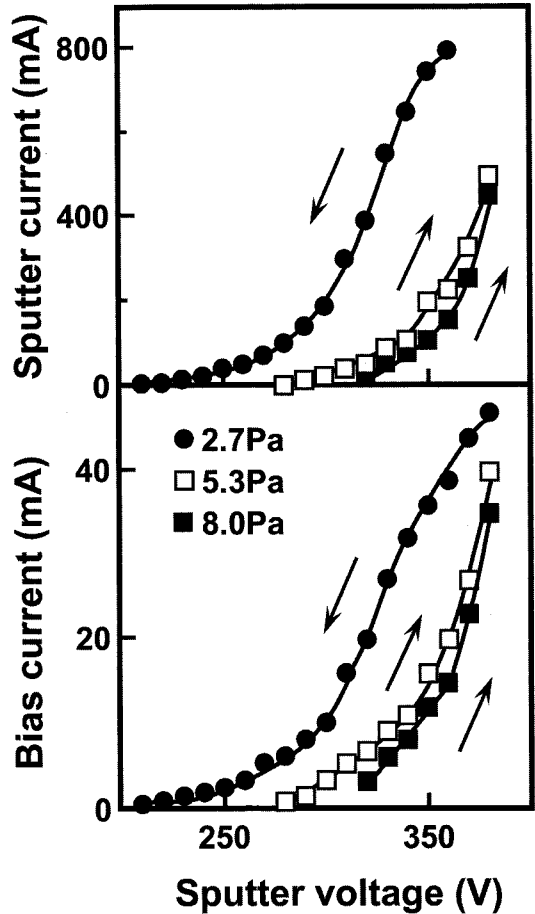


Fig. 4. Bias current measured through a wire set in the central line of the apparatus.

효과는 있다고 판단된다.

Fig. 4는 스퍼터 전압의 변화에 따른 바이어스 전류 측정결과(그래프의 화살표는 스퍼터 전압을 변경시킨 방향을 나타냄)로서, 바이어스 전류는 스퍼터 전류의 1/10 정도인 값을 얻었다. 다량의 (+)이온충격을 받는 음극의 표면적이 (+)이온충격을 받는 기관의 표면적보다 훨씬 크기 때문에(약 100배 정도 음극의 표면적이 크다고 가정하면) 단위면적당 기관 표면을 충격하는 이온수는 음극표면을 충격하는 이온수보다 10배 정도 크게 된다. Kaldec 등은 비평형 마그네트론 스퍼터장치를 이용하여 기관 부근에 수 mT의 자장을 형성시키면 음극과 기관의 양쪽에서 방전이 유지되어 기관을 충격하는 이온전류가 음극을 충격하는 이온전류보다 크게 된다고 보고하였다[5].

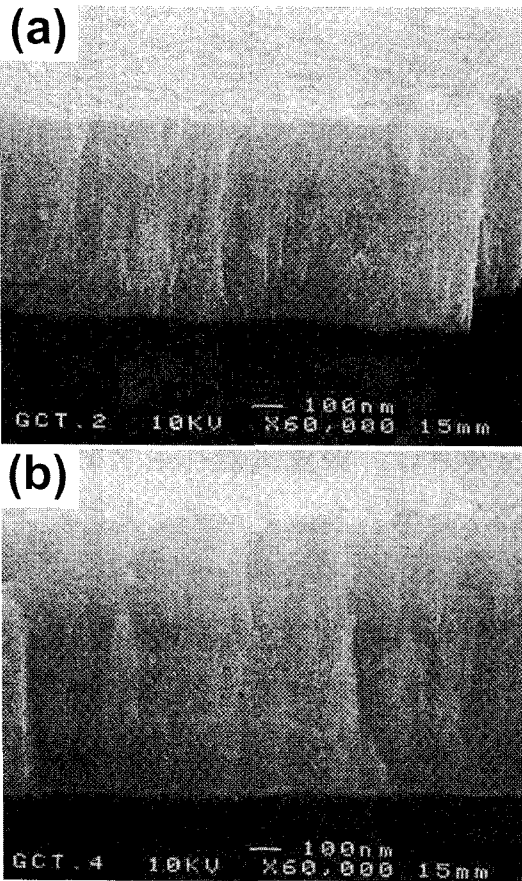


Fig. 5. Cross sectional surfaces of titanium films deposited under an electrically isolated condition. (a) The upper part (SU) film and (b) the lower part (SL) film nearby a partially peeled off part.

Kaldec 등은 이 방전방식을 Double-Site-Sustained Discharge(DSSD)라고 부르고, 치밀한 TiN막을 형성 하기에 효과적이라고 하였다. 본 실험에서는 음극만 으로 방전을 유지하지만, 기판을 접지시킨 경우 단위 면적당 이온전류는 DSSD와 동일하게 음극보다 기판 측이 커진다. 단지, 이와 같은 다수의 이온충격을 받 는 경우는 기판을 접지시켰을 때이다. 기판을 전기적 으로 절연시키면 기판으로의 이온충격이 감소하여 증 착속도가 빨라지게 되며, 본 장치로 얻은 최대 증착 속도는 6 nm/sec이다.

### 3.2 박막구조 관찰

전기적으로 절연시켜 증착한 pure Cu wire는 일 부분이 박리 되었으며, 박리된 증착막의 조각 형태가

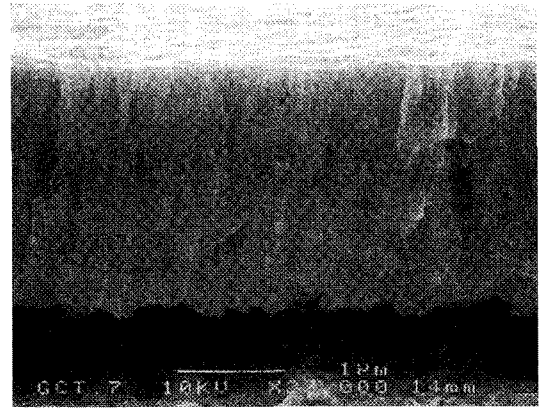


Fig. 6. Cross sectional surface of a titanium film deposited by using a 10 kΩ electric resistance.

활처럼 굽어진 형상이었기 때문에 증착막은 인장 내 부응력을 가지고 있다고 판단된다.

Fig. 5(a), (b)는 기판으로 사용한 pure Cu wire 에 증착된 상하 2곳, 즉 Fig. 2의  $S_U$  및  $S_L$ 에서의 박막에 대한 SEM 이미지 사진이다. 원통형 마그네 트론 스퍼터 장치를 이용하여 증착한 Ti박막에서는 이온충격이 커서 주상정구조가 나타나지 않았지만[4], 본 연구에서 개선한 타겟구조에서는 증착막이 주상정 구조를 나타냄을 Fig. 5(a), (b)의 결과로부터 알 수 있었다. 따라서, 주상정구조가 나타나는 것은 이온충 격이 미약한 상태에서 증착된 것이라고 판단되며, Fig. 5(a), (b)와 같은 증착막의 구조는 Thornton 모델[11]의 Zone I에 속한다.

또한, Pure Cu wire 기판에 10 kΩ과 5 kΩ의 저항을 분리하여 접지시켰을 때에 증착된 막은 모두 박 리되지 않았다. 저항이 10 kΩ일 때의 바이어스 전류 는 22 mA 이었으며, 5 kΩ일 때에는 25 mA 이었다. 저항 양끝단의 전압강하는 220 V와 125 V로 계산되 기 때문에 pure Cu wire의 전위는 310 V인 스퍼터 전압으로부터 각각 90 V와 185 V가 낮다고 판단된다. Fig. 6은 10 kΩ인 저항을 사용하여 증착한 pure Cu wire의 SEM 이미지 사진이다. 관찰한 위치는 pure Cu wire를 전기적으로 절연시켰을 때 박리가 일어난 장소와 동일하다. 증착막 내부에 미약한 주상정구조가 확인되었으며, 증착막 표면은 매우 평탄한 것을 알 수 있다. 따라서, Fig. 6의 증착막 구조는 Thornton 모델[11]의 Zone T에 속한다고 판단된다.

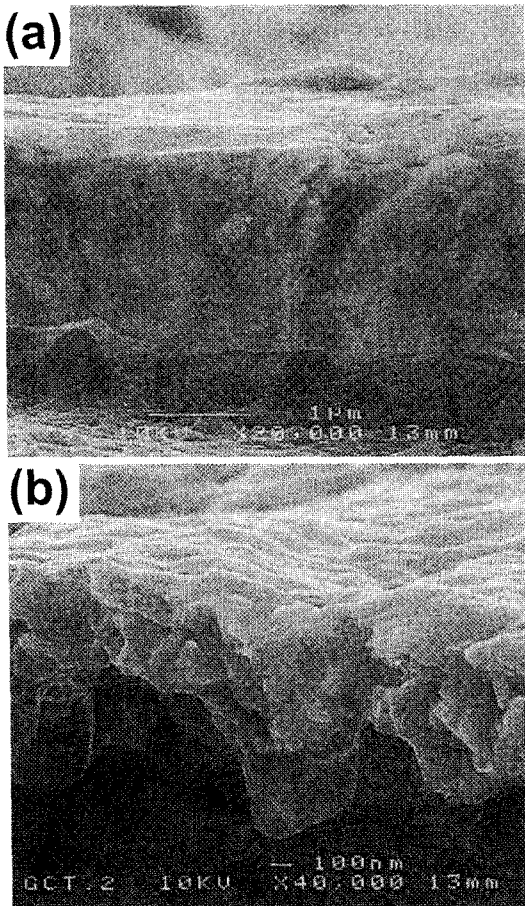


Fig. 7. Cross sectional surface of a titanium film deposited by using a 5 kΩ electric resistance. (a) nearby the cylindrical target part (SU) and (b) the conical target part (SL).

Fig. 7은 5 kΩ의 저항을 사용한 pure Cu wire의 증착막의 단면 이미지이다. Fig. 7(a)는 원통형 타겟 부근의 증착막으로 주상정구조는 형성되어 있지 않으며, 증착막 표면은 평탄하다. 이것에 반하여 원추형 타겟부 상부부근의 증착막에는 Fig. 7(b)와 같이 증착막 파단면에 연성파괴에서 나타나는 약 200 nm인 미세한 딴플이 있는 것을 알 수 있다. 이것은 이온 충격에 의해 기판온도가 상승하였기 때문이라고 생각되며, 이와 같은 막은 Thornton 모델의 Zone II 또는 Zone III에 속한다. 그러나, Ti를 증착한 경우는 -200 V의 바이어스 전압으로 증착하여도 파단면에 딴플이 형성되지 않았다[4]. 따라서, Fig. 7(b)의 증착막은 강한 이온충격을 지속적으로 받으면서 증

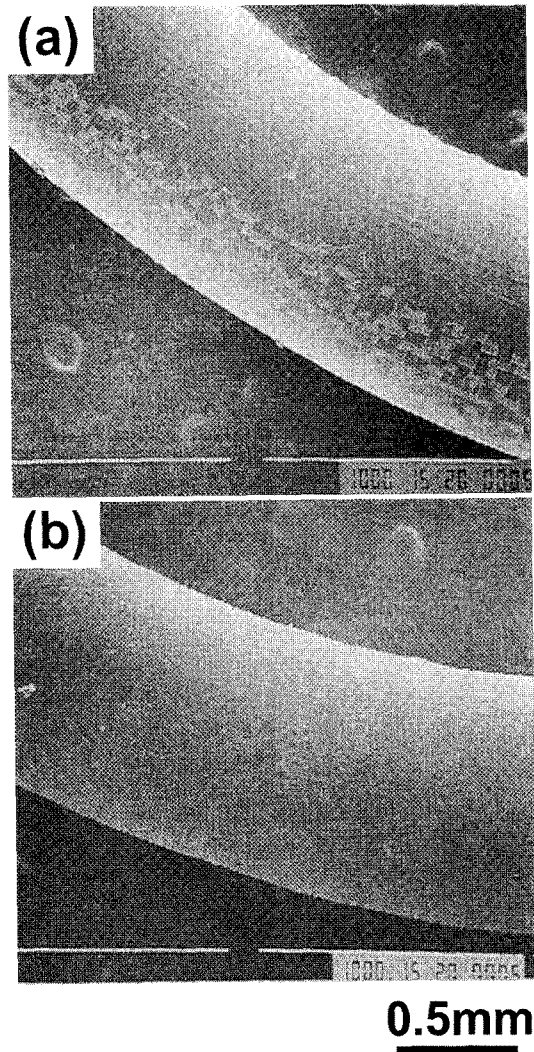


Fig. 8. SEM micrographs of bending titanium-coated wires. (a) using the 10 kΩ and (b) the 5 kΩ

되었기 때문에 연성이 증가하였다고 생각할 수 있다. 또, 증착막과 기판과의 계면이 명확하지 않기 때문에 증착막은 기판에 강하게 밀착되어 있다고 판단된다. Fig. 8은 직경 10 mm인 Cu wire에 Ti를 증착하여 굽힘시험을 실시한 후의 SEM 이미지이다. Fig. 8(a) 및 (b)는 각각 Fig. 6 및 Fig. 7(b)의 관찰위치와 동일한 원통형 타겟부분( $S_U$ )과 원추형 타겟부분( $S_L$ )을 관측한 것이다. 깨짐현상이나 박리의 형태는 Fig. 8(a)와 (b)가 확실하게 다르며, (b)에서는 인장 변형된 쪽의 깨짐현상은 나타나지 않았다. 이와 같은 결과로부터 기판에 5 kΩ의 저항값을 접지하면 파단

연신이 증가하며, 밀착력이 우수한 막을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 기판으로 사용한 선재(wire)에 충격하는 (+)이온량을 증가시킬 목적으로 원통형 마그네트론 스퍼터 장치의 전극구조를 원통부, 원추부 및 작은 홀로 구성되는 음극인 타겟과 링 형상인 양극으로 변경 및 개량하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 음극형상을 원통형에서 원추형으로 변경하면 뚜렷하게 높은 바이어스 전류를 얻을 수 있으며, 단위 면적당 음극표면보다 다수의 이온이 기판표면을 충격하여 이온충격효과를 증대시킬 수 있다.
2. 원통 · 원추형 음극을 이용하면 기판표면에서의 재스퍼터링을 억제하고 이온충격효과를 증대시킬 수 있기 때문에 연성과 밀착성이 우수한 증착막을 얻을 수 있다.
3. 5 kΩ의 저항을 기판에 접지시켜 증착할 때 기판전위를 용이하게 제어할 수 있으며, 밀착성이 우수한 증착막을 얻을 수 있다.

#### 참고문헌

1. X. Q. Meng, X. J. Fan and H. X. Guo : Thin Solid Films, **335** (1998) 279.
2. X. Y. Fan, Z. G. Wu and G. A. Zhang : J. Alloys & Compounds, **440** (2007) 254.
3. A. Yonesu, H. Takemoto and M. Hirata : Vacuum, **66** (2002) 275.
4. C. H. Bae, J. H. Lee and C. S. Han : J. Kor. Soc. Heat Treat., **22** (2009) 143.
5. S. Kaldec, J. Musil, W. D. Munz, G. Hakanson and J. E. Sundgren : Surface & Coatings Technol., **39/40** (1989) 487.
6. B. Window and N. Savvides : J. Vac. Sci. Technol., **A4** (1986) 196.
7. B. Window and N. Savvides : J. Vac. Sci. Technol., **A4** (1986) 453.
8. W. D. Sproul, P. J. Rudnic, M. K. Graham and S. L. Rohde : Surface & Coatings Technol., **43/44** (1990) 270.
9. P. Sharma, K. Sreenivas and K. V. Rao : J. Appl. Phys., **93** (2003) 3963.
10. X. Z. Ding, X. T. Zeng, Y. C. Liu and L. R. Zhao : J. Vac. Sci. Technol., **A24** (2006) 974.
11. J. A. Thornton : J. Vac. Sci. Technol., **11** (1974) 666.