

반응성 마그네트론 프로세서의 방전특성 및 질화티타늄 박막형성에 관한 연구

Study on Discharge Characteristics and TiN Thin Film by Magnetron Process

金光和*·趙淵玉**·郭永淳***·曹井守***·朴正后§
 (Kwang-Hwa Kim · Yun-Ok Cho · Young-Soon Kwak · Jung-Soo Cho · Chung-Hoo Park)

Abstract - The setting up and the characteristics of the reactive magnetron sputtering process are described and TiN thin film deposited by this system is studied in this paper. We have studied characteristics of the discharge voltage-current, electron temperature and density. With the variation of discharge current and magnetic field, partial pressure of N₂ that changed from Ti to TiN sputtering region has been investigated with experimental method. We have analyzed the physical characteristics of TiN thin film obtained under the various conditions in this sputtering process with SEM photo-analysis and X-ray diffraction pattern of these samples.

1. 서 론

매우 안정된 화합물로 알려져 있는 질화티타늄(TiN)은 전기적으로 정밀저항체, 반도체의 도체막 및 확산장벽(diffusion barrier) 등으로 이용될 수 있어 최근에 많은 연구가 되고 있다. [1~6]

질화티타늄 박막은 벌크(bulk)상의 순수 티타늄(Ti)을 반응성 질소가스 분위기중에서 글로우방전(glow discharge)을 이용한 스퍼터링에 의해 제작이 가능하여, 정밀기계분야에서도 고속절삭공구 등에 이용되는 표면 경화막이나 내식 내열 박막으로 자주 이용되고 있다. [6~8]

현재 스퍼터링 방법에는 여러종류가 있으며, 그 중에서도 평판전극을 이용한 직류 2극방식(DC diode system)은 구조가 간단하고 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 이방식에서는 안정된 방전과 충분한 스퍼터율(sputter rate)을 얻으려면 용기내 가스압력이 다른 방식에 비해 고압(10³~10 mTorr)이 되어야 하는 결점이 있다. 고압이 되면 이상 아크가 발생하거나, 작용기체의 원자가 박막에 다량 함유되어 필연적으로 박막의 질이 저하하게 된다.

저압하에서도 강력한 스퍼터링을 행할 수 있는 방법으로는 고주파(R.F.)전원을 사용하거나, 자체를 인가하는 방법이 있다. 고주파법은 절연물도 스퍼터링할 수 있는 장점이 있으나, 가격이 높고 장치가 복잡할 뿐만 아니라 금속 스퍼터링시 블로킹 콘덴서(blocking condenser)가 필요하므로 유지 보수에 문제점이 많다. 이상의 결점을 보완할

*正 會 員 : 電氣研究所 高電壓研究室 前任研究員
 **正 會 員 : 電氣研究所 高電壓研究室 室長 · 工博
 ***正 會 員 : 釜山大 工大 電氣工學科 教授 · 工博
 §正 會 員 : 釜山大 工大 電氣工學科 副教授 · 工博
 接受日字 : 1991年 6月 18日
 1次修正 : 1991年 10月 4日

수 있는 방법의 하나가 마그네트론 스퍼터링 프로세스법이다.

이 마그네트론(magnetron)은 원래 직교 전자계 하에서 동작하는 고주파 신호발생 또는 증폭용 전자관을 의미하였으나, 현재는 전계와 자계가 직교하는 같은 원리를 이용하고 있는 스퍼터링 장치도 마그네트론이라고 부르고 있다. 이 방식의 특징은 방전공간에서 전계와 전계에 수직인 자계를 동시에 가하므로써 방전가스 압력을 $10^0 \sim 10^{-1}(\text{mTorr})$ 의 저압으로 유지하여도 전극간에 강력한 플라즈마를 형성시킬 수 있어 안정된 방전이 가능하므로 박막의 질을 높일 수 있다. 즉, 자계에 의해 높은 에너지를 가진 전자들을 음극표면 근방으로 구속하여 이온생성율을 높일 수 있을 뿐만 아니라, 기판을 방전영역 외부에 둘 수 있어 금속 및 절연물 기판을 사용할 수 있으며, 기판의 반응력을 감소시킬 수 있어 순수박막을 얻기 쉽다. 그리고 D.C diode형이나 RF법에 의한 스퍼터링보다 상대적으로 높은 적층율($1 \sim 30\text{nm/sec}$)을 얻을 수 있으며, 적층면적이 넓고, 기판에 높은 에너지를 가진 전자의 유입이 억제되어 기판온도상승이 억제되는 장점을 갖고 있다. [9~11]

초기의 마그네트론 스퍼터링 프로세스는 Thornton 및 Penfold 등[10, 12]에 의해 장치의 개선과 이론적 해석이 시도되었으며, 최근에는 Rosnagel [13]등도 이 장치의 이론적 해석을 행하였다.

지금까지 알려진 마그네트론 스퍼터링 장치로는 원통형(cylindrical type), 평판형(planar type), 홀로캐소드형(hollow cathode type) 및 권형(gun type) 등이 있다. 원통형과 평판형은 넓은 면적 및 다량의 시료를 동시에 제작할 수 있어 권형과 함께 전기·전자산업에 널리 이용되고 있으며, 홀로캐소드형은 공구와 같은 복잡한 형상을 갖는 것을 코팅하는 데 적합하다.

본 실험에서 제작하여 연구의 대상으로 하고 있는 원통형 마그네트론은 타겟(target)의 면적보다 큰 기판에도 거의 균일하게 박막을 형성할 수 있으며, 동시에 타겟의 표면이 균일하게 침식하는 장점이 있어 타겟재료를 효율적으로 사용할 수 있다. 또한 반응성 스퍼터링으로서 아르곤 동작가스와 반응성 가스로서 질소를 사용할 경우 거의 균일한 질화 티타늄 화합물이 타겟에 형성시킬 수 있는 장점이 있다. 특히 평판형 권형 등에서 자계를 효과적으로 이용하기 위해서는 얇은 타겟을 사용하여야 하지만, 원통형에서는 타겟 두께에 영향을 받지 않으므로 필요에 따라 장시간 스퍼터링이 가능하다.

한편 스퍼터링에서 박막의 형성속도는 공업화하

는데 중요한 인자로 된다. 이 박막의 형성속도는 타겟의 스퍼터링율과 관계가 있으며, 이 값은 입사되는 이온의 온도와 단위시간당 입사하는 이온의 입자수에 따라 변화한다.

본 논문에서는 반응성 마그네트론 스퍼터링 프로세스를 제작하여 질화티타늄 박막형성시 스퍼터링율의 지표가 되는 방전전압-전류의 특성, 전극간 플라즈마 특성 및 질화티타늄 박막의 형성에 미치는 자계 및 반응성 가스 분압의 영향 등에 관해 실험적 고찰을 행하였다.

2. 실험장치

2.1 실험장치

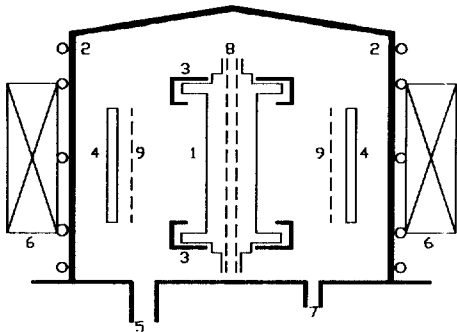
그림1(a)는 마그네트론 프로세스 중심부인 진공조 내부 및 마그네트론 코일배치의 개략도이고, 그림1(b)는 이 장치의 전기 회로도를 나타내고 있으며, 그림1(c)는 이 장치의 사진을 나타내고 있다. 진공조 내부의 중요부는 음극 타겟과 양극으로, 타겟은 그림1(a)와 같이 알루미늄 원통에 원판형 날개(wing)를 일체로하여 스푼(spool)형으로 제작하여 강력하고 균일한 플라즈마를 음극상에 형성하도록 하였다.

음극과 양극 사이에는 $400 \sim 800(\text{V})$ 범위의 직류전압을 인가하게 되며, 이 전압으로 인한 날개부분의 아크 방전을 피하기 위하여 절연물로써 전극간을 채웠다.

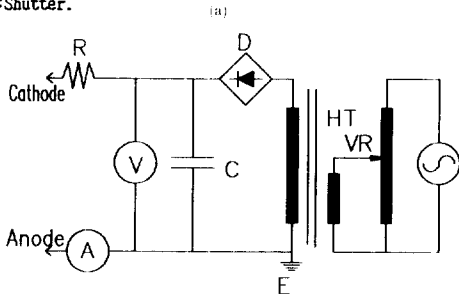
한편 타겟은 이온 및 전자에 의한 충격 때문에 가열되므로 충분히 냉각할 필요가 있다. 본 실험에서는 원통상 타겟 중심에 직경 $10(\text{mm})$ 의 냉각수 통로를 만들어 냉각수를 공급하였다. 그러나 양극(Anode) 측에는 충돌과정을 거친 저속의 전자가 흡수되며, 충격가열도 크지 않으므로 냉각할 필요가 없다. 일반적으로 양극은 접지하여 사용한다.

기판은 방전에 영향을 미치지 않고, 고속 전자 충격에 의해 열이 발생하지 않는 적당한 거리에 둘 수 있으며, 본 실험에서는 타겟표면에서 $25(\text{mm})$ 거리에 기판을 두었다. 그리고 온도제어가 가능하도록 하였으며, 전면에서 셔터(shutter)를 설치하여 초기 불순물의 유입을 제어하였고, 기판홀더(holder)는 접지하였다. 기판은 알루미늄판(Al_2O_3 , $25.4 \times 10 \times 0.6\text{mm}$)을 사용하였다.

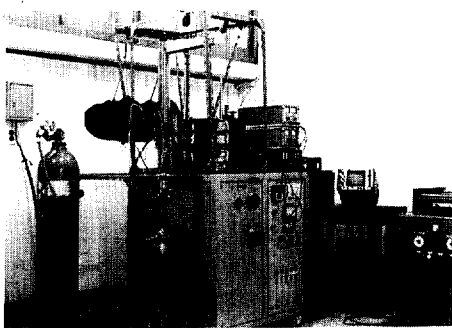
음극측에 평행인 자계 발생용 코일 권회수는 2400 회로서 중심부는 거의 균일한 최대 $800(\text{gauss})$ 의 자속을 얻을 수 있다. 방전 직류전압원은 아크발생시 안정을 유지할 수 있도록 보호



1: Cathode, 2: Vacuum Chamber, 3: Anode, 4: Substrate,
5: Connection to Vacuum Chamber, 6: Magnet Coil,
7: Inlet of Working Gas, 8: Cooling Water Pipe and Horse,
9: Shutter.



A: Ampere Meter, V: Volt Meter, R: Damping Resistor,
C: Smoothing Capacitor, B: Bridge Diode Rectifier,
HT: High Voltage Transformer, VR: Voltage Regulator.



(c)

그림 1 실험장치의 개략도 (a) 실험장치의 개략도 ; (b) 전기회로도 ; (c) 실험장치의 사진.

Fig. 1 Configuration of Experimental Set-Up :
(a) Design of Set-up
(b) Electrical Circuit Diagram
(c) Photo of Experimental Set-Up.

장치를 내장토록 설계 제작하여 사용하였으며, 최대 전압 및 전류는 각각 2(kV) 및 2(A)였다. 진공조의 진공시스템은 액체질소 트랩장치, 확산 펌프 및 로타리 펌프로 구성하였다.

진공도의 측정은 피라니(pirany)진공계 및 열음극 전리진공계를 이용하여 측정하였다. 가스유량 조절은 10^{-3} (mTorr)용의 리크밸브(leak valve)를 사용하였다.

플라즈마 특성 측정용으로 사용한 프로브(pobe)는 오손에 의한 오차를 줄일 수 있는 에미션 프로브(emission probe)로써 텅스텐선($\phi 0.15 \times 3\text{mm}$)을 사용하였으며, 가열전류는 2.5(A)이고, 바이어스(bias) 전원으로는 ± 150 (V)용의 양극성 직류 가변전원을 사용하였다.

2.2 실험방법

방전전압-전류 특성을 구하기 위하여 진공시스템을 4~5시간 가동하여 진공조의 압력을 5×10^{-3} (mTorr)이하로 한 후 준비된 가스를 리크밸브로 통하여 진공조에 주입하여 요구하는 압력이 되도록 조정하였다. 그리고 진공조 외부에 설치된 자계코일에 직류 전류를 흘려 일정자계를 타겟 주위에 형성시키고, 타겟에 직류전압을 인가하여 방전을 개시하였다. 이 경우 일정 방전전류가 되도록 방전전압을 조정하고, 15분이상 예비방전을 실시하여 타겟 표면의 오염물 제거 및 안정한 방전상태가 되었을 때 방전전압-전류 특성을 측정하였다. 그리고 각 조건이 바뀔 때마다 이상과 같이 예비방전을 실시한 후 실험을 행하였다.

전자온도 및 밀도 측정은 방전전압-전류 측정과 동일한 조건에서 에미션프로브에 D.C 2.5(A)를 흘리고 바이어스 전압을 D.C -100(V)에서 30(V)까지 변화시키면서 프로브에 인가하여 X-Y 레코더(Recorder)로 프로브 전압-전류 특성을 기록하였다. 구해진 프로브 전압-전류 특성으로 부터 전자온도와 밀도 특성을 계산하였다.

알루미늄 기판세정은 초음파세정기로 증류수, 아세톤, 증류수 순으로 각 15분 이상씩 세정을 실시하였고, 건조중에 먼지가 들어가지 않도록 포장 후 저온 항온조에서 120°C로 4시간이상 건조하였다. 그리고 건조된 기판은 데시게이터에 보관하여 사용하였다. 이상과 같이 준비된 기판을 타겟 표면에서 25(mm) 떨어진 거리에 타겟축과 평행하게 설치하였으며, 기판 전면에 샷타를 설치하고, 뒷면에 히타를 붙여 기판온도를 조절할 수 있게 하였다. 이후 진공조의 진공시스템을 가동하고, 동시에 기판을 일정온도로 가열하였다. 진공조의 압력이

5×10^{-3} (mTorr) 이하로 떨어지면 예비방전을 15분 이상 실시하여 안정상태에 이르면 샤타를 내려 기관에 티타늄 또는 질화티타늄박막을 형성하였다.

질화 티타늄 박막은 X-ray회절기(Rigaku-2)의 피이크로써 확인하였다. 측정각위치 2θ 는 20° 부터 90° 까지 1분당 1° 씩 스캐닝(Scanning)하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 마그네트론에서 방전전압-전류 특성

그림2와 그림3은 본 실험에서 사용된 마그네트론 스퍼터링 장치의 방전전압-전류특성을 나타내고 있다. 여기서 그림2는 동작가스로써 아르곤을 사용했을 경우이고, 아르곤의 압력은 1(mTorr)이다. 그림3은 반응성 스퍼터링 동작기체로써 아르곤과 질소의 혼합가스를 사용했을 경우로써 진공조내의 압력이 1(mTorr)인 경우를 나타내고 있다.

본 실험의 조건에서 방전전압-전류특성은 글로우(glow discharge)영역에 속하게 되며, 자계가 존재할 경우 이 영역의 전압-전류 특성은

$$I = kV^n \quad (1)$$

여기서, k, n 은 상수.

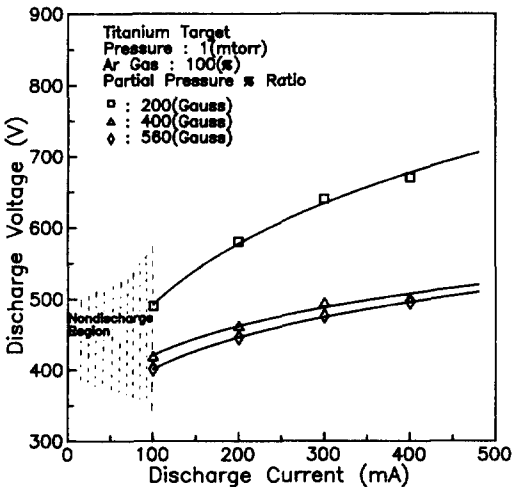


그림 2 아르곤 가스 방전에서 여러가지 자계별 방전전압-전류 특성.

Fig. 2 Characteristic of Voltage versus Current for various Magnetic Field in Ar Gas Discharge.

로 나타낼 수 있다. [14] 이 경우 본 실험에서 n 값은 5~11 범위로서 경험적인 식(1)과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

한편 자계가 증가하면 주어진 전류에서 방전전

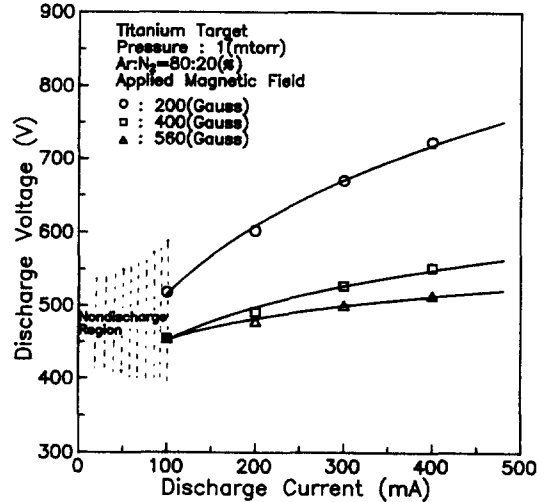


그림 3 아르곤-질소 혼합가스 방전에서 여러가지 자계별 방전전압-전류 특성

Fig. 3 Characteristic of Voltage versus Current for various Magnetic Field in Ar-N₂ Gas Discharge.

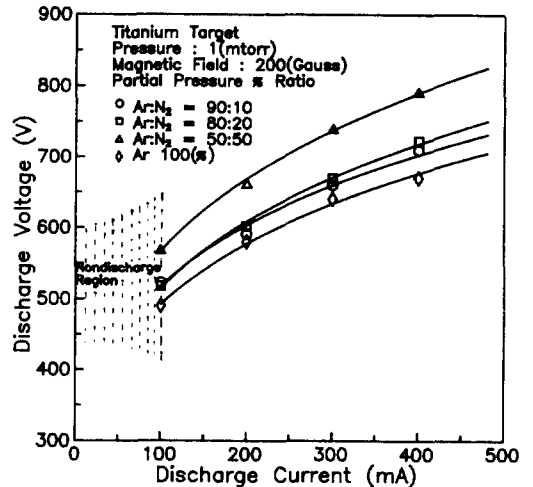


그림 4 아르곤-질소 혼합가스 방전에서 질소분압별 방전전압-전류 특성.

Fig. 4 Characteristic of Voltage versus Current for various Partial Pressure of N₂ in Ar-N₂ Gas Discharge.

압이 저하하는 원인은 다음과 같이 생각할 수 있다. 자계가 증가하면 1차전자는 음극주위에 구속되어 충돌전리작용이 충분히 일어날 수 있는 기회가 많아지므로 압력이 증가하는 것과 같은 효과를 나타내게 된다. 이 관계를 식으로 표시하면

$$P' = P \left(1 + R \frac{B^2}{P^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

여기서, R : 상수, B : 자계, P : 동작가스의 압력, P' : 자계효과에 의한 등가 압력.

와 같다. [15] 본 실험의 조건은 동작가스의 압력이 1(mTorr)이고 타겟과 아노드(anode)사이의 거리가 1.5(cm)인 관계로 파센(Paschen) 파괴전압의 최소점이하의 값이 되므로 자계가 없는 경우는 글로우방전 형성이 불가능하며, 자계가 200(Gauss)에서 400(Gauss)로 증가하는 등가 가스압이 증가하는 효과로 나타나게 되어 파센의 파괴전압 최소점으로 이동하므로 방전전압이 급격히 감소하나, 400(Gauss)에서 560(Gauss)로 증가하는 파센의 파괴전압 최소점부근이므로 크게 감소하지 않는 것으로 생각된다.

그림3은 진공조압력이 1(mTorr)이고 질소분압이 2×10^{-1} (mTorr)인 경우로 자계변화에 따른 방전전압-전류 특성을 나타내고 있다. 그림2와 유사한 전압-전류 특성을 나타내지만, 주어진 방전전류에서 방전전압이 5~10(%) 증가하고 있다. 이것은 전자와 가스의 충돌전리 특성에 따르므로 전자의 속도분포가 불뜨만 분포일 때 단위시간 단위 체적당 전자의 충돌전리횟수를 표시하면

$$r_{di} = a_0 f(P, E_i, T_e) \quad (3)$$

여기서, r_{di} : 전자의 충돌전리횟수, a_0 : 가스별 상수, P : 가스압, E_i : 전리에너지, T_e : 전자온도.

과 같다. 여기서 a_0 가 아르곤은 76이고, 질소는 26이므로 질소가스가 아르곤가스에 비해 충돌단면적이 1/3정도 작게 된다. [16] 따라서 질소가스가 차지하는 분압만큼 전리율이 떨어지게 되어 아르곤가스의 경우에 비하여 일정전류에서 전압이 증가하는 것으로 생각된다.

그림4는 질소분압비를 변화시켰을 때 방전전압전류특성을 나타내고 있다. 이 그림에서 질소분압비의 증가에 따라 주어진 전류하에 방전전압이 증가하는 이유는 질소 충돌 전리 단면적이 아르곤에 비해 1/3정도로 작아지므로 방전공간에서 질소가 차지하는 비율이 증가함에 따라 방전전압이 증가하기 때문인 것으로 생각된다. 그림에서 질소분압비가 10%인 경우는 아르곤만의 경우에 비하여 방전전압이 3% 증가하였고, 질소 분압비가 20%인

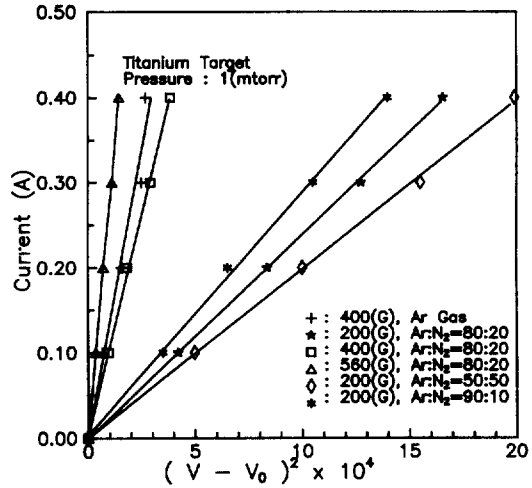


그림 5 마그네트론에서 I 와 $(V - V_0)^2$ 의 관계 특성.
 Fig. 5 Characteristic of I versus $(V - V_0)^2$ in the magnetron.

경우는 방전전압이 5%정도 증가하였다. 그리고 질소분압비가 50%인 경우는 방전전압이 15%정도 증가하였다.

마그네트론 방전특성 식(1)은 경험적인 식으로 실험결과와 잘 일치하지만, Westwood[17] 등은 마그네트론에서 일반적으로 성립할 수 있는 이론적인 식(3)을 제안하였다.

$$I = B(V - V_0)^2 \quad (4)$$

여기서, B : 상수, V_0 : 최소방전전압.

본 실험에서 구한 방전전압전류특성의 결과를 식(4)의 형태로 변환하여 I 와 $(V - V_0)^2$ 의 관계를 구한 것이 그림5이다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 I 와 $(V - V_0)^2$ 은 비례관계를 나타내고 있어 본 실험결과는 식(4)도 만족하고 있음을 알 수 있다.

3.2 마그네트론에서 전자온도 및 밀도 특성

마그네트론에서 스피터링 작용에 참여하는 이온은 전자와 중성가스의 충돌전리 작용으로 발생하고, 전자와 중성가스의 충돌전리 확율은 충돌단면적으로 표시된다. 전자에 대한 중성가스의 충돌단면적은 전자온도에 따라 변화하고, 본 실험에서와 같은 저온 플라즈마 영역의 전자온도(20eV이하)에서는 전자온도가 증가하면 충돌 단면적이 증가하므로 중성가스의 전리, 해리 및 여기가 확률적으로 증가한다. 반응성 가스의 전리, 해리 및 여기

등은 타겟에서 화합물 형성에 관여하므로 반응성 스퍼터링에서 화합물형성에 중요한 요소가 된다.

본 실험에서 전위, 해리 및 여기 등의 지표가 되는 전자온도 및 밀도는 에미션 프로브(emission probe) [18~20]의 전압전류를 측정하여 다음 식 (5)와 식(6)에서 구하였다.

$$\log I_e = a + 11600 \frac{V_p - V_s}{T_e} \quad (5)$$

$$n = k \frac{I_{e0}}{S T_e} \quad (6)$$

여기서, I_e : 전자전류, V_p : 프로브 전위, V_s : 플라즈마 전위, T_e : 전자온도, n : 전자밀도, a , k : 상수, I_{e0} : 전자포화전류, S : 프로브표면적.

그림6은 동작가스로서 아르곤 가스 및 아르곤-질소 혼합가스를 사용할 경우 자계변화에 따른 전자온도 변화를 나타낸다. 이 그림에서 안정된 방전이 일어나는 자계값이 100(Gauss)에서 자계가 증가하면 전자온도는 거의 비례적으로 증가하였고, 또 질소의 분압비가 증가하여도 주어진 자계 하에서 전자온도는 증가하였다.

일반적으로 자계가 증가하면 전자온도가 증가하는 원인은 다음과 같이 생각할 수 있다. 이온의 질량은 전자에 비해 크고, 속도가 낮으므로 자계에 의한 영향은 주로 전자전류변화를 초래하게 된다. 자계의 변화에 따른 전자 전류의 변화는 식

(7)과 같이 나타낼 수 있다. [10, 21]

$$I_e = a(\mu_e E + b D_e) \quad (7)$$

$$\mu_e = \frac{d}{\omega_H^2 + c} \quad (8)$$

$$D_e = -\frac{h T_e}{\omega_H^2 + g} \quad (9)$$

$$\omega_H = \frac{eB}{m} \quad (10)$$

여기서, a, b, c, d, g, h : 상수, μ_e : 전자의 이동도, E : 전계, D_e : 전자의 확산계수, B : 자계, m : 전자의 질량, e : 전자의 전하량, ω_H : Larmor각주파수, T_e : 전자온도.

식(7)에서 자계가 증가하면 식(10)의 관계에서 ω_H 가 증가하고, μ_e 는 감소하게 되며, 식(7)에서 I_e 를 일정케 유지시키기 위해서는 D_e 가 증가해야 한다. 결국 식(9)에서 전자온도 T_e 가 증가함을 알 수 있다.

그림7은 전극간 자계변화에 대한 전자밀도 변화를 나타내고 있다. 이 그림에서 자계가 증가하면 전자밀도가 감소하는 원인은 전류밀도는 전하밀도와 전하속도의 적으로 표시되므로 자계가 증가하면 그림6에서 전자온도가 상승하게 되어 그 결과 전자속도가 증가하게 되므로 전자의 밀도가 감소하게 됨을 알 수 있다. 그리고 일정 자계하에서 질소분압비가 증가하면 전자속도가 증가하므로 전자 밀도는 감소하게 된다.

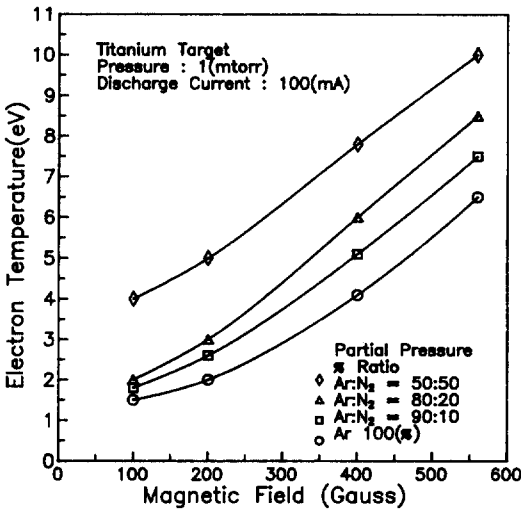


그림 6 아르곤 및 아르곤 질소 혼합가스에서 자계변화에 따른 전자온도 특성.

Fig. 6 Characteristic of Electron Temperature versus Magnetic Field in Ar and Ar-N₂ Gas.

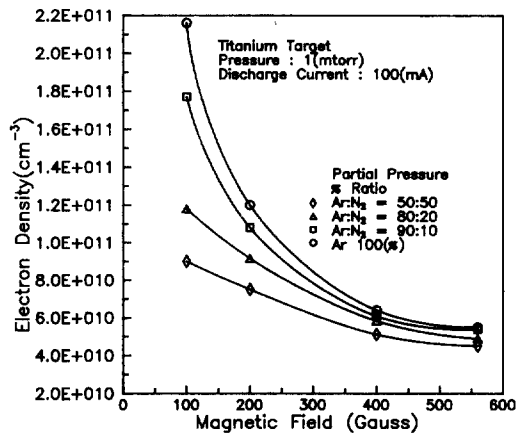


그림 7 아르곤 및 아르곤 질소 혼합가스에서 자계변화에 따른 전자밀도 특성.

Fig. 7 Characteristic of Electron density versus Magnetic Field in Ar and Ar-N₂ Gas.

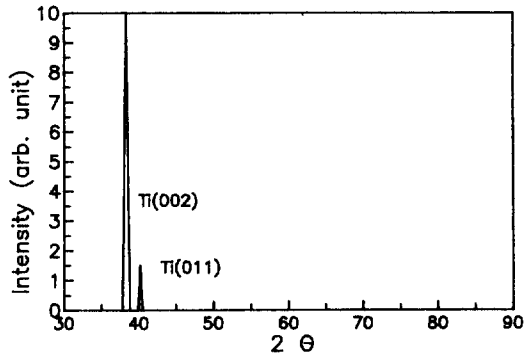
3.3 적층율 특성

그림8은 아르곤-질소 혼합가스에서 스퍼터링할 때 질소분압 변화에 따른 적층율(Deposition Rate) 변화를 나타낸다. 일반적으로 질소분압의 증가에 따라 적층율이 감소하고 있으며, 일정분압 이상이 되면 급격히 적층율이 감소하는 영역이 나타난다. 이 분압을 경계로 낮은 분압 영역에서는 거의 티타늄 박막이 형성되고, 이 분압보다 높은 영역에서는 질화 티타늄이 형성되므로 그림에서 표시한 바와 같이 티타늄 영역과 질화 티타늄 영역으로 구분하여 표시하였다.

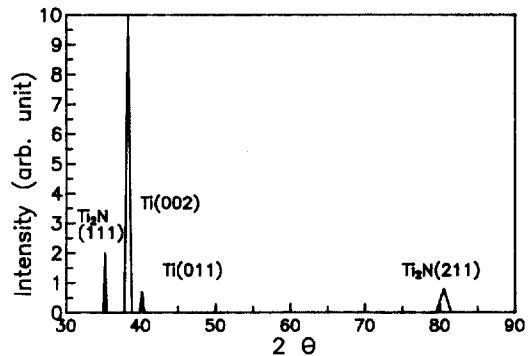
티타늄 영역에서는 질소분압이 증가할수록 적층율이 감소하는 원인은 일정전류하에서 타겟에 단위시간당 입사하는 이온 수는 같으나, 질소분압비가 증가하면 화합물 형성에 관여하는 질소이온이 증가하고, 스퍼터링에 관여하는 아르곤 이온 수는 감소하기 때문인 것으로 생각한다. 질소분압이 더욱 증가하여 티타늄 영역에서 질화티타늄영역으로 스퍼터링되면 적층율이 급격히 감소하는 원인은 타겟 표면 전부가 질화티타늄이 형성되어 스퍼터 증발에너지가 티타늄에 비하여 크게 증가하기 때문인 것으로 생각된다.

3.4 티타늄계 박막의 X-ray 회절분석

그림9(a)는 아르곤만의 동작가스에서 압력이 1(mTorr)이고, 방전전류 100(mA) 및 자계 200(Gauss)인 조건에서 제작된 시료의 X-ray 회절



(a) Ar 1(mTorr), Current 100(mA), Magnetic Field 200(Gauss)



(b) Ar 9×10^{-1} (mTorr), N_2 1×10^{-1} (mTorr), Current 200(mA), Magnetic Field 200(Gauss)

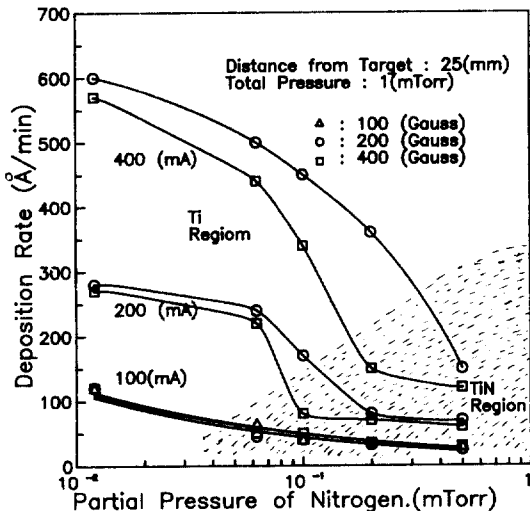
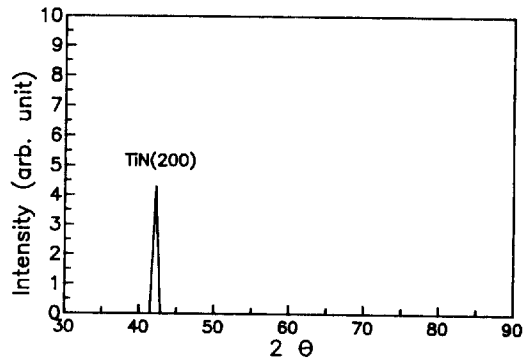


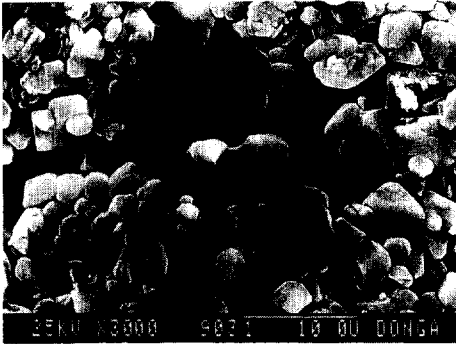
그림 8 반응성 스퍼터링에서 적층율 특성.
Fig. 8 Characteristic of Deposition Rates in the Reactive Sputtering.



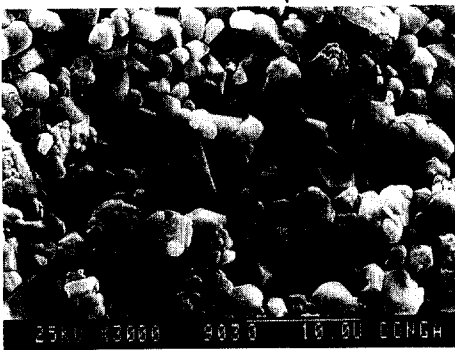
(c) Ar 9×10^{-1} (mTorr), N_2 1×10^{-1} (mTorr), Current 100(mA), Magnetic field 200(Gauss)

그림 9 스퍼터된 박막의 X-ray 회절분석결과.
Fig. 9 X-ray Diffraction Pattern of sputtered Thin Film.

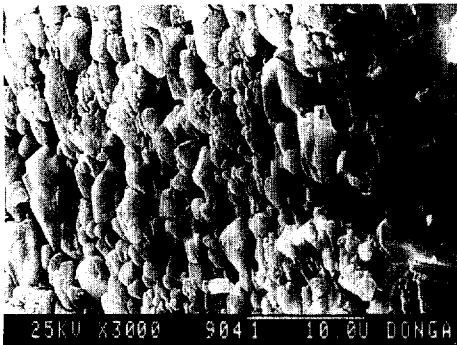
결과로서 Ti(002)면, Ti(011)면의 피크가 관찰되었다.



(a) No Heating



(b) 150°C



(c) 200°C

그림 10 여러가지 온도별 기판상에 적층된 질화티타늄 박막의 전자현미경 사진

- (a) 가열하지 않은 기판
- (b) 기판온도 150°C
- (c) 기판온도 200°C

Fig. 10 SEM Photos of TiN Thin Film deposited at various Substrate's Temperature.

- (a) no heating Substrate
- (b) Substrate's temperature 150°C
- (c) Substrate's temperature 200°C

그림9(b)는 진공조의 전압력이 1(mTorr)이고, 질소분압이 1×10^{-1} (mTorr)인 아르곤과 질소 혼합가스에서 방전전류 200(mA) 및 자계 200(Gauss)인 조건에서 제작된 시료의 X-ray 회절 결과이고, 티타늄 주피이크인 Ti(002)면, Ti_2N (211)면, Ti_3N (111)면의 피이크가 관찰되었다.

그림9(c)는 전압력이 1(mTorr)이고 질소분압이 1×10^{-1} (mTorr)인 아르곤과 질소의 혼합가스에서 방전전류 100(mA) 및 자계가 200(Gauss)인 조건으로 제작된 시료의 X-ray회절결과로서 질화 티타늄의 주피이크인 TiN (200)면의 피이크가 관찰되었다.

3.5 전자 현미경 사진 고찰

그림10은 아르곤과 질소의 혼합가스 하에서 기판온도를 달리했을 경우 작성된 질화티타늄 박막의 전자 현미경 사진이다.

그림10(a)는 기판을 가열하지 않은 경우로서 방전의 영향으로 기판 온도는 80°C까지 증가하였다. 이때 질화 티타늄 박막은 잘 형성되지 않으며, 형성된 그레인(Grain)이 작고, 그레인과 그레인 간 및 그레인과 기판간에 결합이 치밀하지 못하였다. 그림10(b)는 기판을 150°C로 가열한 경우로 질화 티타늄 박막은 그림10(a)와 거의 비슷하였으나, 박막의 형성이 다소 치밀하게 형성되었다. 그림10(c)는 기판을 200°C로 가열한 경우로 질화 티타늄 박막의 결정 그레인 잘 발달한 것으로 나타났으며, 그레인과 그레인 및 그레인과 기판사이의 결합이 가장 양호하였다.

그림10(c)와 같이 기판 온도를 200°C 이상으로 하였을 때는 기판에 수분 등의 부착된 불순물이 잘 제거될 뿐만 아니라, 부착된 원자의 이동도와 부착된 원자간의 결합에너지가 증가하여 핵형성이 잘 되기 때문에 결정 그레인이 발달한 것으로 보여진다. 이 실험결과에서 마그네트론 스퍼터링 프로세스법으로 질화 티타늄 박막을 형성할 경우 필요한 최소의 기판 온도는 200°C 이상인 것으로 생각된다.

4. 결 론

반응성 마그네트론 스퍼터링프로세스를 제작하여, 이 장치의 방전특성과 플라즈마특성 및 형성된 질화 티타늄 박막의 X-ray회절분석 결과와 전자현미경 사진으로 고찰한 것을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 마그네트론 스퍼터링 프로세스에서는 100(Gauss) 이상의 자계를 가하므로써 아르

곤과 아르곤-질소 혼합 가스압이 1(mTorr) 정도의 고진공하에서도 안정된 글로우방전을 얻을 수 있었으며, 타겟에 인가되는 방전 전압도 500(V)전후의 저전압으로 충분하였다. 그리고 방전전압-전류특성은 이론적인 면에 잘 일치하였다.

- 2) 아르곤과 질소 혼합가스하의 방전전압-전류 특성에서 질소가스의 분압비가 클수록 동일한 방전전류를 얻는 데 필요한 방전전압은 증가하였고, 질소의 분압비가 50(%)에 이르면 방전전압은 약 15(%) 증가하였다.
- 3) 마그네트론 방전공간에서 자계가 증가하면 전자온도는 거의 비례적으로 상승하였고, 아르곤 질소 혼합가스하에서는 질소의 분압비가 증가하면 전자온도는 상승하였다. 이 결과는 이론적인 특성과 잘 일치하고 있음을 나타내고 있다.
- 4) 일정 자계하에서 방전전류가 증가하면 티타늄 영역에서 질화티타늄 영역으로 변하는 질소분압은 증가하였고, 일정전류에서 자계가 증가하면 질소분압이 감소하였다.
- 5) 반응성 마그네트론 스퍼터링으로 작성된 박막의 X-ray 회절분석 결과에 의하면 Ti, Ti₂N 및 TiN상이 얻어졌으며, 티타늄 영역에서는 Ti 및 Ti₂N상에서 Ti(002)면, Ti₂N(211)면 및 Ti₂N(111)면이 관찰되었고, 질화티타늄영역에서는 TiN상에서는 TiN(200)면이 관찰되었다.
- 6) 전자현미경 관찰의 결과에서 기판의 온도가 200°C 이상일 때 질화티타늄의 형성이 가장 양호하였다.

참 고 문 헌

- [1] M.F.C. Willemsen, A.E.T. Kuiper, A.H. Reader, R. Hokke and J.C. Barbour, "In situ investigation of TiN formation on top of TiSi₂," J. Vac. Technol. B6(1), pp. 53~61, 1988.
- [2] N. Kumar et al., "Growth and Properties of radio frequency reactively sputtered TiN Thin Films," J. Vac. Sci. Tech. A5(4), pp. 1776~1782, 1987.
- [3] C.Y. Ting, "TiN formed by evaporation as a diffusion barrier between Al and Si," J. Vac. Sci. Tech. 21(1), pp. 14~18, 1982.
- [4] K.Y. Ahn, M. Wittmer and C.Y. Ting, "Investigation of TiN films reactively sputtered using sputter gun," Thin Solid Films 107, pp. 45~54, 1983.
- [5] 김광화, 광영순, 조정수, 하홍주, 박정후, "반응성 마그네트론 스퍼터링 프로세스에 의해 작성된 질화티타늄 및 질화알루미늄계의 박막특성," 전기학회 91년도 방전 및 고전압, 전기재료 합동학술회, pp. 62~66, 1991.
- [6] J-E Sundgren, "Structure and properties of TiN coatings," Thin Solid Films, 128, pp. 21~44, 1985.
- [7] M.T. Laugier, "Adhesion and toughness of protective coatings," J. Vac. Technol. A5(1), pp. 67~69, 1987.
- [8] S. Schiller, G. Beister, J. Reschke and G. Hoetzsch, "TiN hard coatings deposited on high speed steel substrates by reactive direct current magnetron sputtering," J. Vac. Technol. A5(4), pp. 2180~2183, 1987.
- [9] K.I. Kirov et al. "DC magnetron system for cathode sputtering," Vacuum Vol. 26 No. 6, pp. 237~241, 1976.
- [10] J.A. Thornton, A.S. Penfold, in Thin film processes edited by J.L. Vossen and W. Kern, Academic Press, Inc., 1978, pp. 75~113
- [11] J.A. Thornton, "Substrate heating rates for planar and cylindrical-post magnetron sputtering sources," Thin Solid Films 119, pp. 87~95, 1984.
- [12] J.A. Thornton in Semiconductor materials and process technologies edited by McGuire, Noyes Park Ridge, 1984.
- [13] S.M. Rossnagel, "Sputtered atom transport processes," IEEE Plasma Science Vol. 18 No. 6, pp. 878~882, 1990.
- [14] J.A. Thornton, J. Vac. Sci. Tech. 15, pp. 171, 1978.
- [15] 武田進著, 氣體放電의 基礎, 東京電機大學出版局, 1989, pp. 64~124.
- [16] A. von Engel, Ionized Gases, chap. 3, Oxford; Clarendon Press, 1965.
- [17] W.D. Westwood and S. Maniv, "The Current-voltage characteristic of magnetron sputtering system," J. Appl. Phys. 54(12), pp. 6841~6846, 1983.
- [18] J.A. Thornton, "Diagnostic method for sputtering plasmas," J. Vac. Sci. Tech.

15(2), pp. 188~192, 1978.

[19] 김광화, 곽영순, 조정수, 박정후, “가열식 정전 탐침전극의 표면 특성”, 89대한전기학회 추계 종합학술대회 pp. 151~154, 1989.

[20] F.F. Chen in Plasma diagnostic techniques edited by H. Huddlesstone, S.L. Leonard, Academic Press, 1965, pp. 113~199.

[21] F. Chen, “Introduction to plasma physics and controlled Fusion,” Plenum Press ed., Chap 2., 1984.

(a) 1 : Cathode, 2 : Vacuum Chamber, 3 : Anode, 4 : Substrate, 5 : Connection to Vacuum Pump, 6 : Magnet Coil, 7 : Inlet of Working Gas, 8 : Cooling Water Pipe and Horse, 9 : Shutter.

(b) A : Ampere Meter, V : Volt Meter, R : Damping Resister, C : Smoothing Capacitor, D : Bridge Diode Rectifier, HT : High Voltage Transformer, VR : Voltage Regulator.

저 자 소 개



김광화(金光和)

1956년 5월 12일생. 1981년 부산대 공대 전기기계공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 현재 한국전기연구소 고전압연구실 선임연구원.



조정수(曹井守)

1935년 12월 21일생. 1961년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1976년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1983~84년 미국 Oregon Univ. 교환교수. 현재 부산대 공대 전기공학과 교수. 당학회 평의원.



조연옥(趙淵玉)

1952년 5월 8일생. 1976년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1982년 일리노이 공대 전기공학과 졸업(석사). 1985년 아이오아주립대 전기공학과 졸업(공학). 현재 한국전기연구소 고전압연구실 실장.



박정후(朴正后)

1945년 4월 8일생. 1968년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1974년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980~83년 일본 구주대학 대학원 졸업(공학). 현재 부산대 공대 전기공학과 부교수.



곽영순(郭永淳)

1928년 12월 12일생. 1956년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1975년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1987~88년 당학회 부회장 역임. 현재 부산대 공대 전기공학과 교수. 당학회 평의원.