

평판형 전극계의 RF 글로우 방전특성 및 TiN 박막특성

곽동주 김두환** 김희재** 박정후**

* 경성대학교 전기공학과, ** 부산대학교 전기공학과

RF Glow Discharge and TiN Thin Film Characteristics in a Plane Electrode System

D. J. Kwak* D. H. Kim** H. J. Kim** C. H. Park**

* Kyungsung University, ** Pusan University

Abstract

In order to study the relationship between the physical properties of glow discharge plasma and the physical behavior of TiN thin film, electrical characteristics of RF discharge plasma driven at 13.56MHz in a parallel-plate electrode system were measured.

Plasma parameters, such as electron density and temperature, are also studied since they may be considered as one of the very important factors deciding the physical properties of TiN thin film under given conditions of applied biasd voltage and pressure.

The TiN thin film were fabricated over a wide range of discharge conditions, and some of the general relationships between the measured plasma parameters and the properties of TiN thin film were discussed.

1. 서론

최근 전력기기의 대용량화 및 소형화 추세에 따라 그 응용이 확대되고 있는 microelectronics 분야에 있어, 관련 절연물을 박막화하려는 연구가 한창 진행되고 있다. 이들 중에서 질화티타늄(TiN)박막은 내마모성, 내부식성 및 내열성등의 면에서 우수할 뿐만 아니라 온도 변화에 따른 저항의 변화가 적어 정밀 저항체로서의 이용이 관심을 끌고 있다[1].

질화티타늄을 비롯한 각종 박막의 제조에는 CVD (Chemical Vapor Deposition)법이 기판에의 접착력이 우수하여 많이 이용되어 왔으나, 증착속도가 느리고 박막의 형성과정이 고온의 기판위에서의 기상화학반응에 의존하므로 저용점의 기판을 사용할 수 없으며, 성막후 상온에서의 열응력으로 인한 치수의 변화가 수반되는 결점을 지니고 있다.

이에 스퍼터링 및 이온 플레이팅법등 PVD (Physical Vapor Deposition)법이 유리한 성막의 방법으로 제안되어 활발한 연구가 진행되어 왔으나, 기판에의 부착력 및 박막의 강도특성이 CVD법에 비해 개선되지 않고 있는 실정이다.

플라즈마 프로세서에 의한 스퍼터링법에 있어 형성된 박막의 부착력 및 강도 특성은 성막시 형성된 방전 플라즈마중의 전자밀도 및 온도의 상태에 크게 의존하는 등 박막특성의 제어를 위해서는 방전 플라즈마의 물성과 박막 특성과의 상관관계에 대한 연구가 반드시 필요하나, 이에 대한 체계적인 연구는 거의 없는 실정이다.

이에 본 연구에서는 양질의 박막제조 및 박막특성 제어의 관점에서 글로우 방전 특성연구를 실행하고, double probe법에 의하여 전자온도 및 밀도를 구하며, 이러한 플라즈마 파라메터의 변화에 따른 TiN박막의 제특성의 변화를 고찰함으로써 방전 플라즈마의 물성 및 박막특성의 상관관계를 확립하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

그림1에 실험장치의 개략도를 나타내고 있다. 진공조는 SUS304로 직경 270mm, 높이 450mm의 직원통의 형태로 진공조의 외벽에는 자계를 발생하기 위한 전자석 코일을 설치하여, 진공조의 중심 자계가 최대 1000Gauss 까지 가변되도록 하였으며 방전중 진공조내의 온도 상승의 억제 및 코일의 냉각을 위하여 진공조를 수냉벽으로 하였다. 진공조는 10⁻⁶Torr 까지 배기한 후 MFC로 Ar을 주입하여 원하는 진공도를 조절하였다. 전극은 직경 70mm의 용광성 평행 평판 전극계로 전극 간격은 100mm로 하였으며, 이온 충격에 의한 음극의 온도 상승을 억제하기 위하여 냉각수를 공급하였다.

전원 장치로는 RF(13.56MHz, 600W)전력 발생 장치를 사용하였으며, 방전전압 및 전류는 1000:1의 고압 프루브 및 전류 프루브 시스템을 이용하여 디지털 오실로스코프

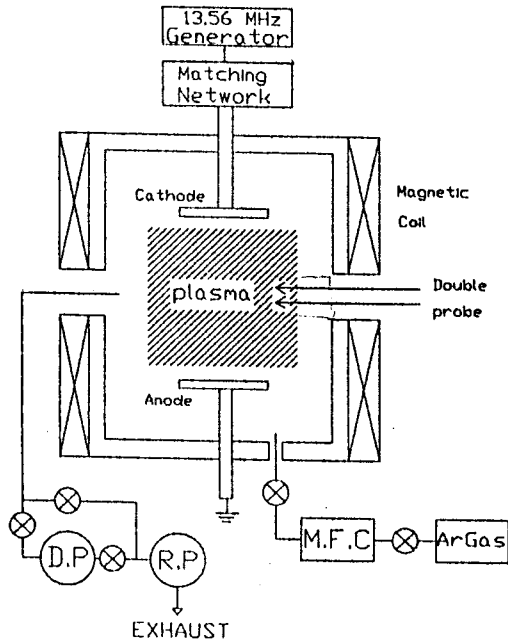


Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup

(TDS 460AS)상의 오실로그래프로 확인하였다. 그림2에 방전전압 및 전류 곡선의 한 예를 나타낸다.

한편, 형성된 플라즈마 밀도 및 전자온도의 측정에는 자계의 영향을 거의 받지 않는 double probe법을 이용하였다. 즉, 직경 0.25mm, 길이 2mm의 원통형 텅스텐 probe 2개를 플라즈마내에 삽입하여, 외부전원에 의해 전압을 인가할 때 얻어지는 플라즈마와 probe간의 이온전류-전압 특성 곡선으로부터 다음 식에 의하여 전자밀도 및 온도를 산정하였다[3].

$$\frac{kT_e}{e} = - \frac{\sum I_i}{A_1 \left[\frac{dI_p}{dV_d} \right]_{V_d=0} - A_2 \left[\frac{dI_p}{dV_d} \right]_{\text{포화}}} \quad (1)$$

$$I_0 = KN_e e \left[\frac{kT_e}{m_i} \right]^{1/2} S, \quad (K \approx 0.61) \quad (2)$$

여기서, T_e 및 N_e 는 전자온도 및 밀도이며, k , e , m_i 는 각각 볼츠만 상수, 전기소량, 이온질량을 나타낸다. 또한, S 는 probe 단면적이며, K , A_1 , A_2 는 플라즈마 특성에 관련된 상수로 각각 0.61, 4, 3.28이다. $[dI_p/dV_d]_{V_d=0}$ 와 $[dI_p/dV_d]_{\text{포화}}$ 는 각각 probe 인가전압 $V_d=0$ 및 포화 전류 영역에서 probe 전류 I_p 의 경사를 나타내고, $\sum I_i$ 는 probe에 유입되는 총 이온전류이며 I_0 는 이온 포화전류이다.

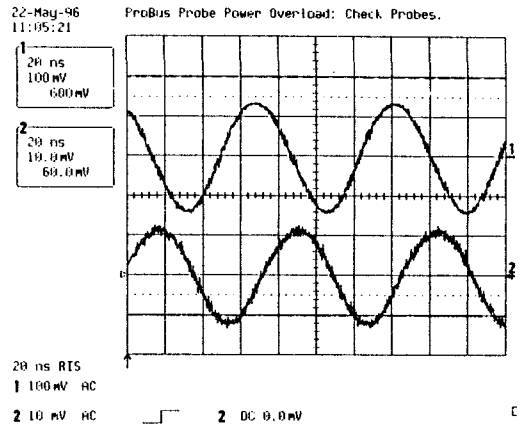


Fig. 2. Typical waveforms of RF voltage and current $P=0.01$ Torr, $B=0$ Gauss, $P_r=45$ Watts

3. 실험결과 및 고찰

여러 방전조건하의 방전전압-전류특성을 조사하였다. 그림3은 그 한 예로 압력이 0.01Torr 및 0.001Torr일 때의 방전특성을 나타내고 있다. 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이, 일정 압력하에서 방전전류는 전압이 증가함에 따라 거의 선형적인 증가 추세를 보이고 있으며, 압력이 높을수록 일정 전압하의 방전전류는 증가하고 있다. 또한, 그림4의 RF 전력-방전전류 특성도 이와 거의 유사한 경향을 나타내고 있다.

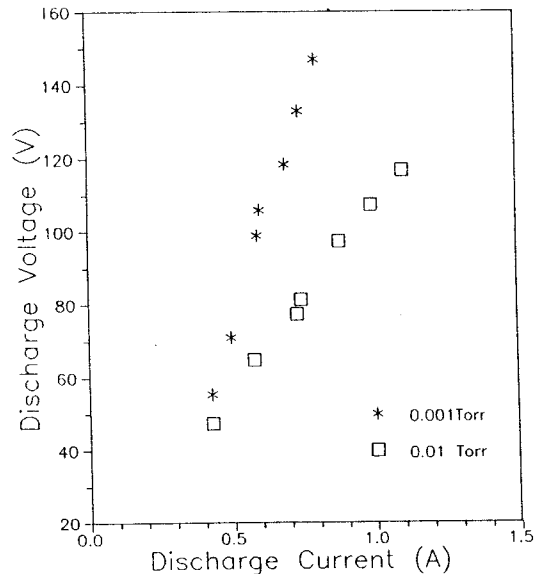


Fig. 3. Discharge voltage vs. current characteristics as a parameter of pressure

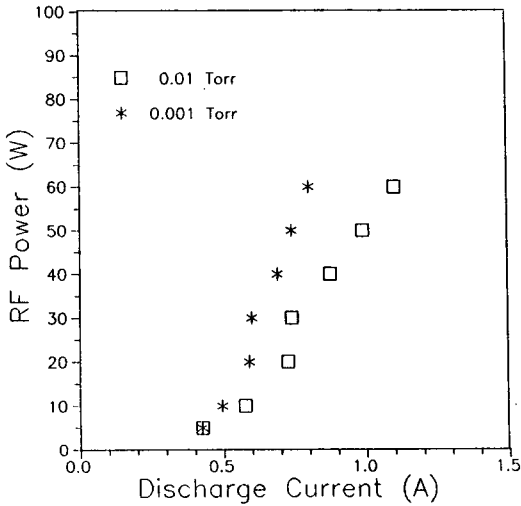


Fig. 4. RF power vs. discharge current characteristics as a parameter of pressure

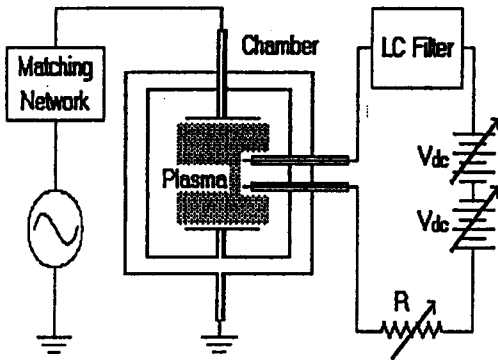


Fig. 5. Equivalent circuit for the probe measurement

한편, 전자밀도 및 에너지를 구하기 위한 double probe 측정시, 직류 방전과는 달리 RF 방전의 경우에는 방전에 의한 RF 간섭현상이 나타나, probe에 상당한 크기의 직류전압이 유기됨이 알려져 있다[4]. 본 연구에서는 이러한 RF 간섭 현상을 억제하기 위하여 그림5에 나타낸 바와 같이 LC filter에 의한 측정회로를 구성하였다.

그림6은 전자밀도를 구하기 위하여, 일정 압력하에서 double probe법을 이용한 플라즈마와 probe 사이의 이온 전류-전압 특성곡선의 한 예로써, 입력된 RF 전력을 매개변수로 하고 있다. 이 때 푸루브의 위치는 발생된 플라즈마 칼럼의 중심부이었다. 그림으로부터 이온화전류는 입력전력이 클수록 증가함을 알 수 있다.

그림7은 RF 전력의 변화에 대한 전자밀도의 변화를 나타내고 있다. 일정 압력하의 전자밀도는 RF 전력의 증가와 함께 증가하였으며, 0.01Torr에서의 방전시의 전자 밀도는 약 $10 \sim 18 \times 10^9/\text{cm}^3$ 정도였다. 한편 전자 온도는 약 $2.5 \sim 5\text{eV}$ 정도였다.

4. 결론

본 연구에서는 방전 플라즈마의 물성과 TiN 박막 특성과의 상관관계를 연구할 목적으로, 우선 일정 압력하의 방전특성 및 플라즈마 파라미터특성에 관하여 간단히 조사하였다. 차후 보다 광범위한 압력 및 RF전력의 조건하에서 방전 플라즈마의 물성을 명확히 하는 한편, TiN 박막을 제작하여 그들의 상관관계를 연구할 계획이다.

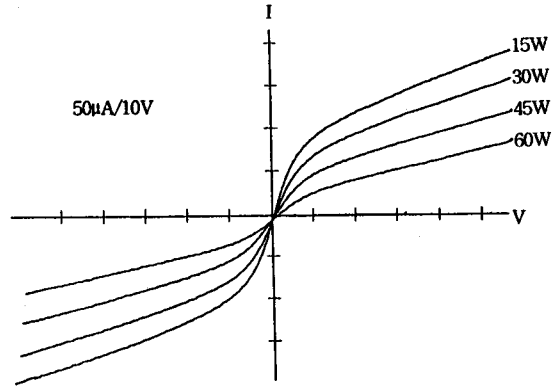


Fig. 6. The I-V curve of double probe

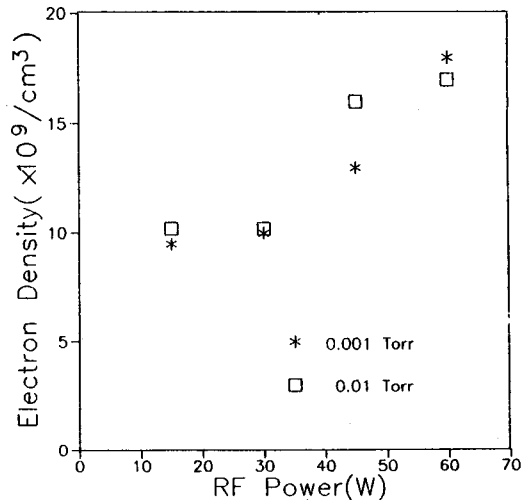


Fig. 7. Electron density vs. RF power characteristics

참고문헌

1. E. O. Ristolainen, et. al., "Study of nitrogen-rich titanium and zirconium nitride film," J. Vac. Sci. Tech. A5(4), pp.99, 1987
2. S. M. Rossnagel, et. al., Handbook of Plasma Processing Technology, pp.387, 1989
3. 堤井信力, プラズマ 基礎工學, 内田老鶴園, pp.159, 1986
4. A. P. Paranjpe et. al., "A tuned Langmuir probe for measurements in rf glow discharge," J. Appl. Phys. 67, pp.6718, 1990