

이온 에너지 분석에 의한 Sputter Ion Plating의 동작 특성 연구

성열문⁰, 이창영, 조정수, 박정후
부산대학교 공과대학 전기공학과

A Study on the Characteristics of Sputter Ion Plating by Ion Energy Analysis

Y.M. SUNG⁰, C.Y. LEE, J.S. CHO, C.H. PARK
Department of Electrical Engineering, Pusan National University

ABSTRACT

A Sputter Ion Plating(SIP) system with a r.f. coil electrode and the Facing Target Sputter(FTS) source was designed for high-quality thin film formation. The rf discharge was combined with DC facing target sputtering in order to enhance ionization degree of a sputtered atoms. The discharge voltage-discharge characteristics curves of a FTS source could be characterized by the form of $I \propto V^n$ with n in the range of 8~12. The energy of ions incident on the substrate depended on the sheath potential of DC biased substrate. The mean impact ion energy increased with negative bias voltage and rf power. The adhesive force of the TiN film formed was in the range of 30~50N, and markedly influenced by substrate bias voltage.

1. 서 론

플라즈마를 이용한 박막 제작 기술은 초기에 진공증착 방식에서 부터 현재의 PVD 스파터링이나 CVD 등에 이르기까지 그 기술개발 및 응용의 범위가 급속도로 확대되어 왔다.

그 중 마그네트론 스파터링은 가장 대표적인 예로서, 질화물이나 산화물, 같은 반응성 박막의 형성에 매우 적합하며 특히, 고 스파터율의 Facing Target Sputtering(FTS) system은 페라이트나 니켈 같은 자성박막의 형성도 가능하였다. 그러나 대부분의 마그네트론 스파터링 장치는 박막형성의 제어 파라메타가 가스압, 인가전압, 기판온도 정도로서 한정되어 있기 때문에 부착력 특성이나 균일성, 치밀성과 같은 고강도의 박막 형성에는 한계가 있다. 그에 비해 이온 플레이팅 방식은 박막입자를 전리시켜 전계에 의해 직접 제어가능하므로 대부분의 산업체에서는 이 방식을 이용하고 있다.

본 실험에서는 코일형 rf 전극과 DC FTS장치를 이용하여 간단한 구조의 새로운 Sputter 이온 플레이팅 방식을 제시하고자 하였다. 고밀도의 rf 플라즈마를 FTS 장치와 기판사이에 형성시켜 스파터 입자의 이온화율을 증대킴으로써 기판 bias 효과에 의한 고강도의 박막형성에 적합할 것으로 기대되어 이 장치의 방전특성과 박막형성 시 기판에 입사하는 이온의 에너지 분포를 가스압, rf power 그리고 기판 bias전압을 변수로 하여 조사하였고, 이 장치에 의해 얻어진 TiN 박막의 부착력 특성과 제작조건과의 상관관계를 고찰하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

그림 1은 본 실험장치의 전체 개략도를 나타내고 있다. 크게 진공 배기장치, 전원장치 그리고 시료 제작 및 측정진단 장치로 구분할 수 있고, 진공 system은 2중 수냉벽으로 제작된 진공조에 10^{-6} Torr 이상 배기할 수 있는 고진공 펌프와 MFC에 의해 주입가스의 유량을 조절하여 진공조내의 압력을 일정하게 유지할 수 있도록 하였다.

그리고 FTS형 Ion Plating System의 주 구성 요소인 전원장치는 1차 스파터원에 해당하는 Ti 타겟의 대향 음극형 직류 마그네트론 스파터링 장치(FTS)와 타겟에서 스파터된 중성입자의 전리작용을 위한 coil형 rf 전극, 그리고 박막 형성시 기판에 고에너지의 이온 충격을 유도하기 위한 기판 bias 전극으로 구성된다.

그리고 공간전위, 이온 밀도, 이온 에너지등 플라즈마의 진단에는 Single 및 Double Probe와 retarding grid type의 Ion Energy Analyzer (IEA) 를 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 2는 rf power를 변수로 한 FTS 장치의 DC 방전특성을 나타내고 있다. 방전 전류-전압 특성은 실험식 $I \propto V^n$ 과 잘 일치하였으며 본 장치는 특성상 rf와 DC 마그네트론 방전이 혼합되어 고밀도의 플라즈마가 형성되는데,

FTS반의 방전에서는 n값이 12정도로 비교적 높게 나타났으나, rf 방전이 혼합됨에 따라 n값은 9 이하의 범위가 되었다. 한편 플라즈마 밀도는 double probe의 측정 결과 $10^{11} \sim 10^{12} [\text{cm}^{-3}]$ 범위의 고밀도였고 전자온도의 경우 3~6eV범위였다.

그림 3은 기관상에 설치한 IEA의 압력변화에 따른 I-V 특성곡선을 나타낸다. 유입되는 이온 전류밀도는 압력의 증가에 따라 증가되는 반면, retarding 전위는 고진공일수록 큰값을 나타내고 있다. 그리고, 그림 3의 미분특성인 압력에 대한 기관에 입사하는 이온의 에너지분포를 그림 4에 나타내었다. 입사이온의 평균 에너지는 5 mTorr일 경우 약 25eV이며, 고진공에서 더욱 증가하였고 이온 에너지분포의 FWHM(full width of the half), 즉 ΔE 는 3~4eV로서 균일도가 비교적 높았으며 압력에 비례하였다. 기관에 입사하는 이온의 평균 에너지는 플라즈마와 기관사이에 형성되는 전위차에 기인되는데 실제로 그 값은 공간전위의 측정치와 거의 일치하였다.

그림 5는 rf power에 대한 기관 입사이온의 에너지분포를 나타낸다. rf power의 증가에 따라 평균 이온 에너지가 다소 증가하는데 이는 공간전위의 증가를 의미한다.

그림 6은 기관에 부의 DC bias전압을 인가했을 경우 IEA의 I-V 특성곡선을 나타낸다. 기관 bias전압은 이온전류의 유입량에는 그다지 큰 영향을 미치지 않으나 이온 에너지와는 절대적인 상관관계가 있음을 알 수 있는데, 그림 7은 bias전압에 대한 이온 에너지분포를 나타낸다. 이온 에너지분포의 피크치가 bias전압의 증가에 따라 고 에너지측으로 이동하고 있는데 이때, 이온의 평균 입사에너지는 플라즈마 공간전위와 기관 bias전위차 즉 기관의 sheath전위에 해당함을 알 수 있다. 한편 ΔE 값은 bias 전압 -150V의 경우를 제외하고는 대략 4~5eV였다. bias 전압 -150V의 경우 sheath범위가 너무 길어져 충돌에 의한 열운동이 증가하기 때문인 것으로 생각된다.

그림 8은 본 장치인 Sputter ion plating 시스템으로 증착시킨 TiN 박막의 스크래치 측정의 결과이다. 제작조건은 다음과 같다.

	(a)	(b)	(c)
rf power	100 watt	100 watt	0
기관 bias전압	-100 V	0	0
5 mTorr Ar-N ₂ (5%)			
FTS방전전류: 600mA 방전전압: 550 V			
기관(SUS-304)온도: 300°C			

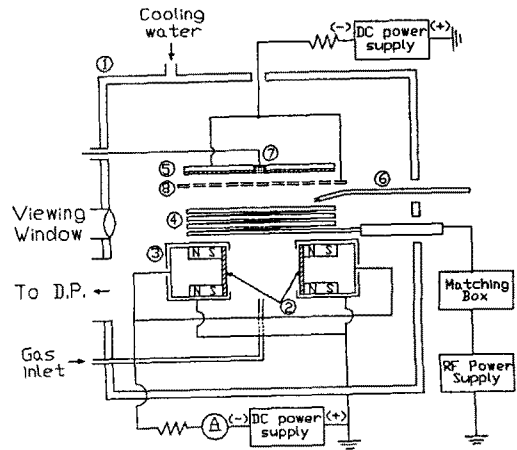
그림과 같이 기관 bias 전위의 증가에 따라 뛰어난 부착력 특성이 나타나며 -150V 이상에서는 더이상 향상되지 않았다. 대체로 30~50N의 결과를 얻을 수 있었다.

4. 결 론

1. rf와 DC 마그네트론의 혼합 방전시 $10^{11} \sim 10^{12} [\text{cm}^{-3}]$ 범위의 고밀도의 플라즈마가 형성되었으며 방전특성을 실험식 $I \propto V^n$ 에 적용할때 n값은 8~12였고 특히 rf power의 증가에 따라 n값은 9 이하가 되었다.

2. 기관에 유입되는 이온전류는 압력과 rf power에 비례하나 bias 전압에는 그다지 증가하지 않았다. 한편, 입사이온의 에너지는 압력과 rf power 뿐만 아니라 특히 bias 전압에 큰 영향을 받게 되는데 입사이온의 평균 에너지는 플라즈마 공간전위와 bias 전위차에 해당함을 알 수 있었다.

3. 본 장치로서 TiN 박막을 증착시킨 결과 bias 전압 -100V 부근에서 30~50N의 뛰어난 부착력 특성을 얻을 수 있었다.



① Vacuum chamber ② Cathode Target ③ Anode
④ rf coil electrode ⑤ Substrate ⑥ Double probe ⑦ Ion Energy Analyzer ⑧ control grid

그림1. Sputter ion plating의 개략도

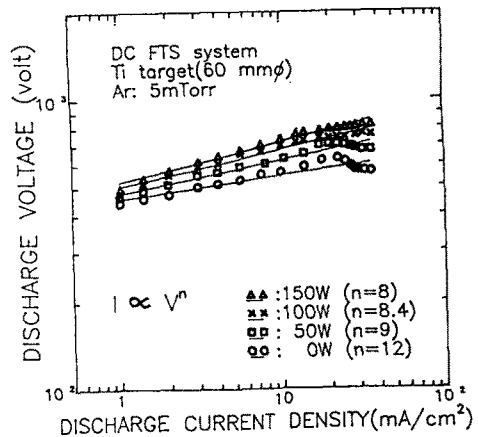


그림2. rf power에 따른 DC FTS장치의 방전특성

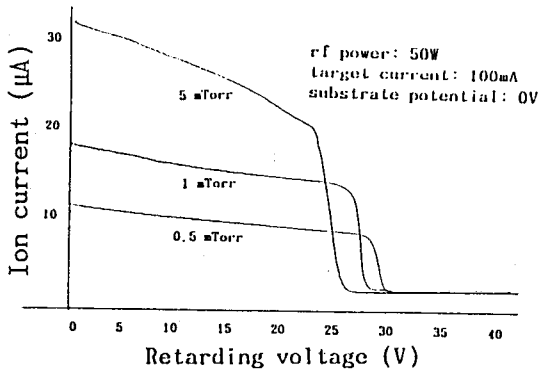


그림 3. 압력변화에 대한 IEA의 전류-전압 특성곡선

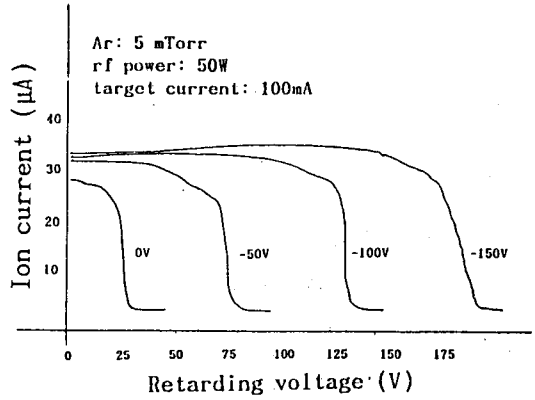


그림 6. 기판 bias 전압에 대한 IEA의 전류-전압 특성곡선

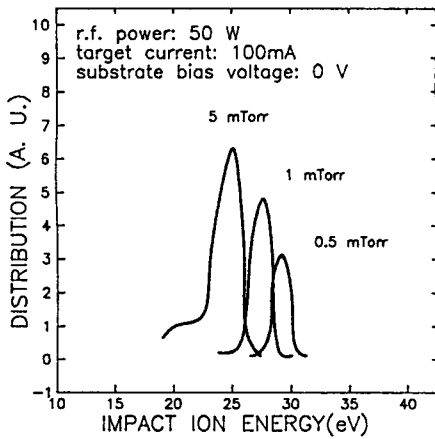


그림 4. 압력에 대한 기판에 입사하는 이온의 에너지 분포

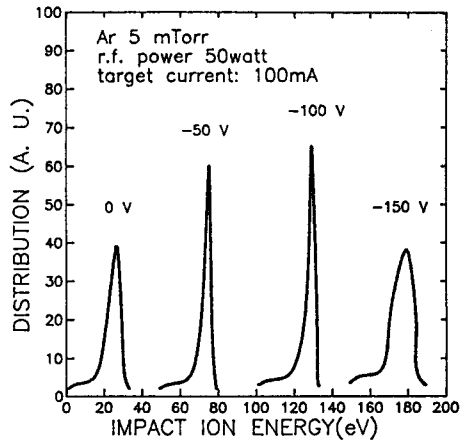


그림 7. 기판 bias 전압에 대한 입사이온의 에너지분포

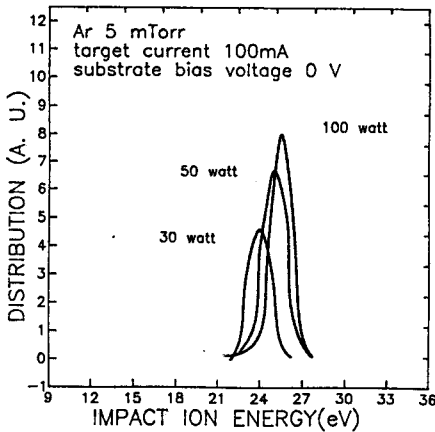


그림 5. rf power에 대한 기판에 입사하는 이온의 에너지분포

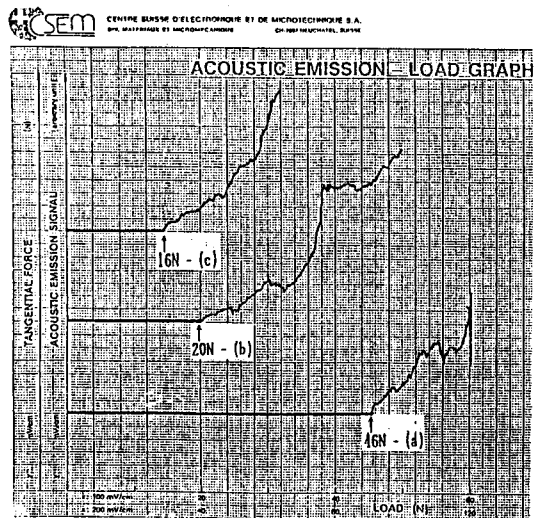


그림 8. Sputter ion plating 시스템으로 형성된 TIN 박막의 스크래칭 테스트의 결과