

이온 플레이팅에서 기판 BIAS 전위와 이온 에너지 분포와의 상관관계 연구

성열문⁰, 신중홍[#], 손재봉[&], 조정수, 박정후
부산대학교 공과대학 전기공학과
#: 동의대학교 &: 부산전문대

A Study on the Relationships between Substrate Bias Potential and Ion Energy Distributions

Y.M. SUNG⁰, J.H. SHIN[#], J.B. SON[&], J.S. CHO, C.H. PARK
Department of Electrical Engineering, Pusan National University
#: Dong Eui University &: Pusan technical college

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 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 Thin-film Processing 에서 플라즈마 파라메타와 박막의 물성과는 밀접한 상관관계를 가진다. 박막 형성시, 인가 Power, 기판 및 가스 분위기 등의 기본 제작조건 뿐만 아니라, 실제 막특성에 직접적인 영향을 미치는 플라즈마 파라메타의 정밀제어를 통하여 보다 우수하고 재현성 있는 박막을 얻을 수 있고, 막특성의 제어 또한 용이하므로 박막의 제작조건과 플라즈마 특성 그리고 박막의 물성과의 상관관계에 대한 고찰은 고품질의 박막제작에 있어서 필수적이다. 이온 플레이팅의 경우, 중착원과 기판사이에 고밀도의 플라즈마를 형성시키고 기판에 Bias 전압을 인가하면 플라즈마 내의 고에너지의 활성이온과 전리된 박막 입자들을 Bias전계에 의해 고속 퇴적시켜 균일하고 치밀한 특성의 박막을 얻을 수 있으며 주로 기판 Bias 전압에 큰 영향을 받게된다. 기판 Bias전압은 이온 플레이팅을 비롯한 Thin-film Processing에서 박막형성에 큰 영향을 미치는 주 파라메타로 작용되며, 대체로 인가 범위는 제작조건에 따라 수 십 ~수 kV 범위에 이른다. 예를 들어, Bias 스파터링 방식의 경우, 수 십~수 백 V 범위에서 최대의 Bias 효과가 나타나며 그 이상 전압을 증가하면 포화하거나 오히려 감소하는 경향이 알려져 있으나, 이에 대한 정확한 해석이나 체계적인 연구는 아직 없다.[1, 2] 실제 기판 Bias전압과 플라즈마 특성 및 박막형성과의 상관관계에 대한 근본적인 이해를 통해 박막 형성시 막특성을 보다 재현성있게 정밀제어할 수 있을 것으로 생각된다.

본 실험에서는 코일형 RF 전극과 DC FTS장치를 이용하여 고밀도의 RF 플라즈마를 FTS 장치와 기판사이에 형성시켜 스파터 입자의 이온화율을 증대시킴으로써 기판 Bias 효과에 의한 고강도의 박막형성에 적합한 새로운 Sputter 이온 플레이팅 장치를 고안하였다. 이 장치로서 박막형성시 기판에 입사하는 이온의 에너지 분포를 가스압, RF power 그리고 기판

Bias전압 등을 변수로 하여 조사하였으며, 특히 기판 Bias전위가 플라즈마에 미치는 영향 및 그에 따른 TiN 박막의 물성변화에 대한 상관관계를 주로 고찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

그림 1은 본 실험장치의 전체 개략도를 나타내고 있다. FTS형 Ion Plating System은 1차 스파터원에 해당하는 Ti 타겟의 대향 음극형 직류 마그네트론 스파터링 장치(FTS)와 타겟에서 스파터된 증성입자의 전리를 위한 Coil형 RF 전극, 그리고 Bias 전원이 인가되는 기판으로 구성된다. 플라즈마 파라메타의 측정에는 Probe와 Ion Energy Analyzer(IEA)를 사용하였는데, 그림 2는 3개의 Grid 전극과 1개의 Collector 전극으로 구성되어 있는 Retarding Grid형 이온 에너지 분석기를 나타낸다. Probe와 이온 에너지 분석기의 I-V 특성곡선은 X-Y Plotter에 연결하여 처리하였다. 그리고 형성된 TiN 박막의 특성평가로서 우선방향 결정성장, 밀착성, 표면 morphology 등을 각각 XRD, 스크래치 테스트, SEM 등에 의해 측정 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 3-a는 1 mTorr에서 기판에 부의 DC Bias전압을 인가했을 경우 이온 에너지 분석기(IEA)의 I-V 특성곡선을 나타낸다. 그림 3-b는 Bias전압에 대한 기판 입사이온의 에너지 분포를 나타낸다. 이온 에너지 분포의 피크치가 bias전압의 증가에 따라 고 에너지측으로 이동하며 기판에 입사하는 이온 에너지는 플라즈마 공간전위와 기판 Bias전위의 차 즉, 기판의 sheath전위에 비례하였다.

그림 4-a와 4-b는 5 mTorr에서의 DC Bias전압에 대해 기판에 입사하는 이온 에너지분포를 나타낸다. 기판에 입사하는 이온 에너지는 그림 3과 마찬가지로 Bias전압에 비례하여 증가하며 Bias 전압 -150V일때 이온 에너지 분포의 FWHM(full width of the half) 즉, ΔE 값이 증가함을 알 수 있다. 이는 기판 Bias전압이 증가하면 sheath길이 길어져 sheath내에서 충돌 등에 의한 이온의 random motion이 증가하기 때문인 것으로 생각된다.

그림 5-a와 5-b는 10 mTorr에서의 DC Bias전압에 대해 기판에 입사하는 이온 에너지분포를 나타낸다. ΔE 값은 Bias전압 -100V에서부터 증가하였는데, 압력이 증가할수록 이온의 평균자유행정이 짧아져서 그만큼 sheath 내에서의 충돌이 증가하기 때문인 것으로 생각된다.[3]

이상의 결과에 의하면 기판 Bias전압이 증가하면 이온의 입사에너지는 비례적으로 증가하며, 임의의 Bias전압 이상에서는 이온 에너지 균일도 ΔE 가 크게 증가하기 시작함을 알 수 있다. 이러한 이온 에너지 분포의 변화가 실제 막형성에 미치는 영향을 고찰하고자 본 실험장치인 Sputter Ion Plating 방식으로 5mTorr에서 DC Bias전압 변화에 따라 TiN 박막을 형성하여 물성특성을 조사하였다. 그림 6의 TiN 박막의 X선 회절시험의 결과에 의하면 초기 Bias전압 0V일때 (111)면의 성장이 지배적이거나 Bias전압의 증가에 따라 (200)면의 피크가 점차 증가하며 Bias전압 -100V에서 가장 피크가 예리하였다. Bias전압을 더욱 증가시켜 -150V에서는 Bias효과는 감소되며 박막표면의 손상이나 재스퍼터 작용 등이 나타났다.

그림 7의 저항률 특성에서도 Bias전압 -100V에서 가장 낮은 저항률 특성을 나타내었으나, -150V 이상의 영역에서는 오히려 상승하는 경향이 나타났다.

그림 8은 Bias 전압에 대한 TiN박막의 부착력 특성을 나타낸다. -100V 이하의 범위에서는 Bias전압에 비례하여 부착력이 향상되나, Bias전압 -150V 이상에서는 더 이상 향상되지 않았다.

그림 9는 Bias 전압 변화에 따른 TiN박막의 SEM 단면을 나타낸다.

본 실험의 XRD Pattern, 저항률, 부착력 특성의 결과에 의하면 기판 Bias 효과는 인가전압에 비례하며 -100V에서 최대가 되나, 그 이상의 전압범위에서는 감소하는 경향을 나타내었다. -150V 이상에서는 앞의 이온 에너지 분포에서 균일도 ΔE 가 커지기 시작하는 영역으로 Bias전계에 의한 이온가속 효과보다 입사이온의 충돌 등에 의한 Random motion의 영향이 막형성에 더 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다. 즉, Bias전압의 증가에 따라 이온의 입사에너지가 비례적으로 증가하면서 형성되는 막의 표면에 일정한 이온 충격을 유도하게 되어 결정화나 부착력 등에서 매우 향상된 특성을 얻을 수 있지만, 전압을 너무 증가시켜 임계값을 넘어서게 되면 Random motion의 영향으로 Bias전계에 의한 효과적인 이온제어가 어렵게 되는 것을 알 수 있다.

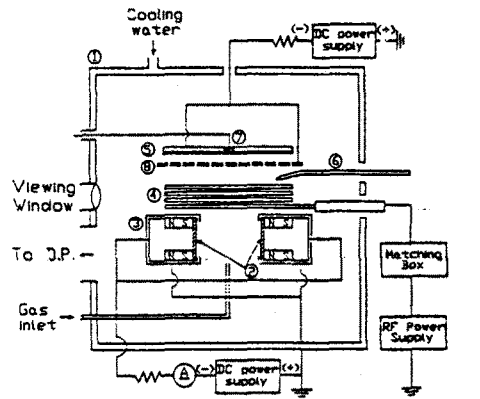
4. 결 론

박막 형성시 이온 충격을 유도하기 위해 기판에 Bias전압을 인가할 경우, Bias 전위는 입사이온의 에너지 분포특성과 박막형성에 큰 영향을 미치게 되며 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 기판 Bias전압이 증가하면 이온의 입사에너지는 비례적으로 증가하며, 임의의 Bias전압 이상에서 이온 에너지 균일도 ΔE 가 크게 증가하기 시작한다.
2. 이온 에너지 균일도 ΔE 가 수 eV 로서 크지 않은 범위에서는 Bias 전계에 의해 형성되는 막의 표면에 효과적인 이온 충격을 유도하게 되어 박막의 결정화나 부착력 등에서 매우 향상된 특성을 얻을 수 있다.
3. 기판 Bias 전압을 증가시켜 어느 임계값 이상이 되면 에너지의 균일도 ΔE 값이 증가하면서 Bias 효과는 감소하게 되는데 이때는 Bias전계에 의한 이온가속 효과보다 입사이온의 충돌 등에 의한 Random motion의 영향이 막형성에 더 큰 영향을 미치게 된다.
4. Bias전압 변화에 따른 TiN 박막의 XRD Pattern, 저항률, 부착력, 및 SEM 특성 등을 조사한 결과, 기판 Bias 효과는 -100V에서 최대가 되며, -150V 이상의 범위에서는 감소하거나 포화하는 경향을 나타내었다.

REFERENCE

- [1] N.A.G. Ahmed, "Ion Plating Technology Developments and Applications," John Wiley & Sons, 1987.
- [2] J.W. Coburn, "Plasma Etching and Reactive Ion Etching," 1982.



① 진공챔버 ② Ti 타겟 ③ 양극 ④ rf coil 전극 ⑤ 기판
⑥ Single 푸루브 ⑦ 에너지 분석기 ⑧ 그리드 전극

그림 1. 실험장치의 개략도

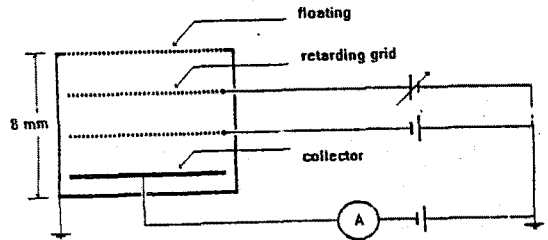


그림 2. 이온 에너지 분석기의 개략도

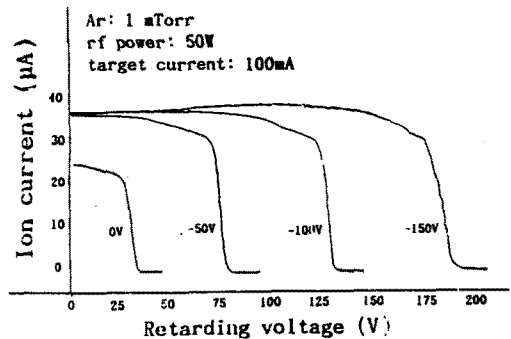


그림 3-a. Bias전압에 대한 IEA의 I-V 특성곡선(1 mTorr)

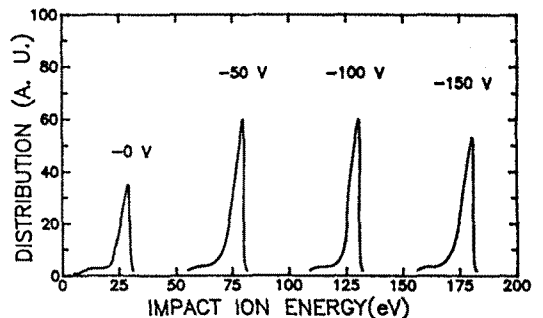


그림 3-b. Bias전압에 대한 이온 에너지 분포(1 mTorr)

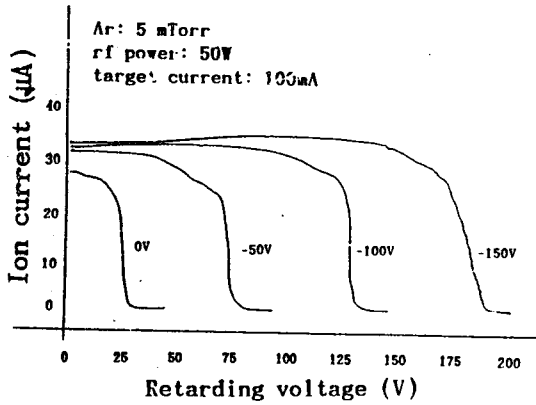


그림 4-a. Bias전압에 대한 IEA의 I-V 특성곡선(5 mTorr)

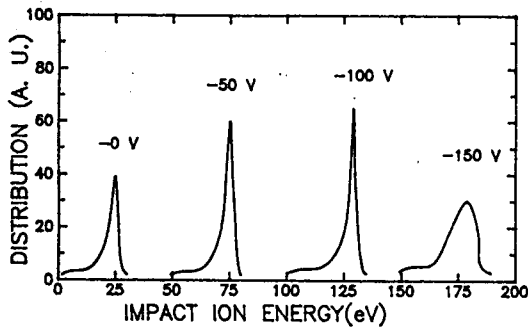


그림 4-b. Bias전압에 대한 이온 에너지 분포(5 mTorr)

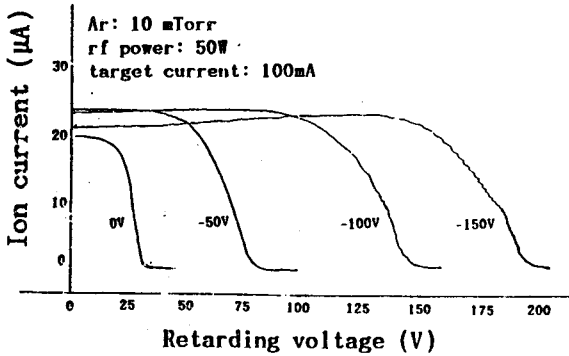


그림 5-a. Bias전압에 대한 IEA의 I-V 특성곡선(10 mTorr)

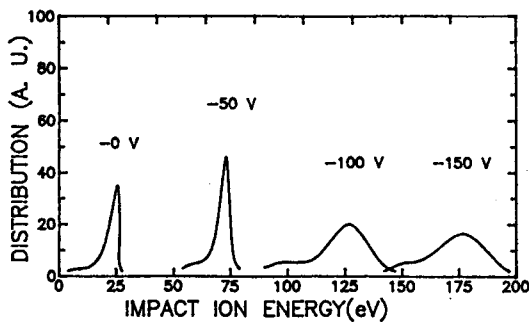


그림 5-b. Bias전압에 대한 이온 에너지 분포(10 mTorr)

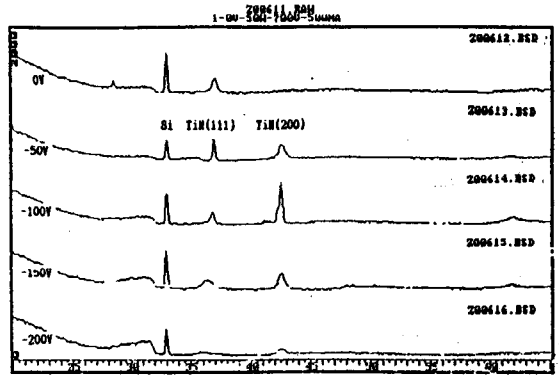


그림 6. TiN 박막의 XRD patterns

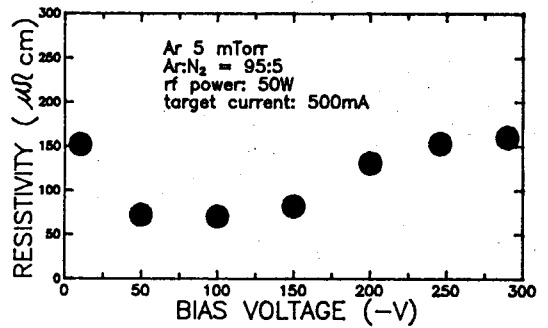


그림 7. TiN 박막의 저항률 특성

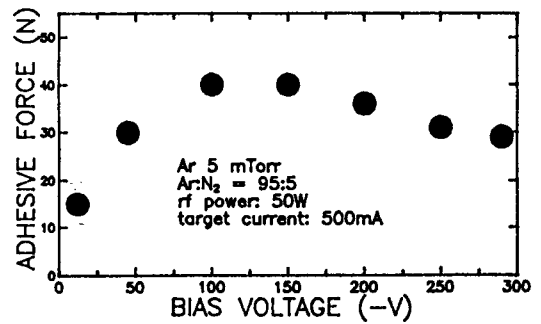


그림 8. TiN 박막의 부착력 특성

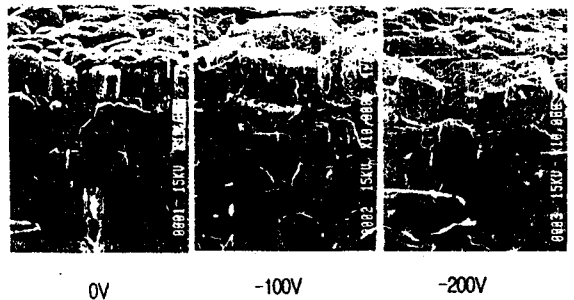


그림 9. TiN 박막의 SEM 단면