

# FTS형 이온 플레이팅의 특성 및 박막 형성에 관한 연구

성열문, 이창영, 신중홍<sup>†</sup>, 김규섭<sup>‡</sup>, 조정수, 박정후  
부산대학교 공과대학 전기공학과  
<sup>†</sup>:동의대학교, <sup>‡</sup>:동명공업전문대학

## A Study on the Characteristics of FTS Type Ion Plating System and Thin film Deposition

Y.M. SUNG, C.Y. LEE, J.H. SHIN<sup>†</sup>, G.S. KIM<sup>‡</sup>, J.S. CHO, C.H. PARK  
Department of Electrical Engineering, Pusan National University  
<sup>†</sup>:Dong Eui University, <sup>‡</sup>:Dong Myung Junior College

### ABSTRACT

We developed the ion plating system, consisted of the Facing Target Magnetron Sputtering System and the r.f. electrode of the coil type, which was available to control the reactive and the adhesion between thin film and substrate, and studied about the discharge characteristics and the optimum condition in order to form the high quality thin film.

The characteristics of discharge and plasma was measured as Double Probe and Electrostatic Retarding Grid Analyzer.

The incident ion energy on the substrate was increased as the increasing r.f power, bias voltage.

By the r.f electrode, the ionization rate of the sputtered particles was about 75%, and the mean incident ion energy depend on the value which was difference between the plasma potential and biased substrate potential.

### 1. 서 론

최근 플라즈마를 이용한 박막화 기술(Thin Film Process)이 신소재 개발분야 등에 응용되면서 그 연구가 활발히 진행되어 왔다. 특히, 고효율의 마그네트론 스파터링(Magnetron Sputtering) 방식과 이온 플레이팅(Ion Plating) 방식 등이 개발되어 IC용 소자, 조정밀 저항박막, 내식성 및 내열성 코팅 등 공업적으로 그 응용범위가 급속히 확대되고 있다. 더우기, 고순도, 고강도, 고정밀성 등 점차 향상된 박막특성이 요구됨에 따라 보다 우수한 박막 제작 기술의 확립이 절실히 요구되고 있다.

현재 상용화되고 있는 dc 혹은 r.f. 플라즈마를 이용한 마그네트론형 스파터링 방식은 스파터율이 높고 반응성 박막제작에 적합하나 원리상 대부분 스파터된 증성입자들에 의해 박막이 형성되므로 막과 기판사이의 부착력이 나쁘고 치밀하고 균일한 박막형성이 어려울 뿐 아니라, 박막특성의 정밀한 제어가 어렵다. 박막의 부착력 특성을 향상시키기 위해 현재까지 진공 증착형 장치중에 플라즈마를 형성시켜 타겟에서 튀어나온 증성입자를 이온화하여 전계가속에 의해 박막을 형성시키는 방식과 전자 beam에 의한 이온 플레이팅 방식이 있으나 박막 형성 속도를 제어하기 어렵다든지 혹은 고가로 되어 실용성이 결여되어 왔다."

본 연구에서는 장치가 간단하고 스파터 효율이 높을 뿐 아니라 자성체 박막형성에도 현저한 장점을 가지고 있는 대향 음극형 마그네트론 스파터링(Facing Target Magnetron Sputtering: FTS)장치를 1차 스파터 발생원으로 하고 스파터된 입자를 r.f. 플라즈마내에 통과시켜 이온화시키고 기판의 전계에 의해 가속시켜 기판상에 치밀한 박막을 형성시킬 수 있는 새로운 이온 플레이팅 방법을 제안하였다. 이 방식에 의하면 이온화된 스파터 입자와 플라즈마내의 활성이온에 대한 전리율 및 기판 입사 에너지는 박막 형성시 막질의 특성에 큰 영향을 미치는 새로운 파라메타로 작용하게 된다. 본 장치는 r.f power와 기판 bias 전압의 조절로서 이러한 파라메타를 제어할 수 있으므로 박막제작시 막질을 보다 정밀하게 조절할 수 있어서 반응성 이온 플레이팅에 매우 용이할 뿐 아니라, 고강도의 박막형성 및 박막형성 속도의 제어 등이 가능할 것으로 생각된다. 본 실험의 주 고찰내용은 FTS형 이온 플레이팅 시스템의 기본적인 플라즈마 파라메타의 특성과 기판 bias 전압에 대한 입사 이온의 에너지 분포관계 및

타겟과 기판사이에 형성된 r.f. 플라즈마에 의한 스파터된 타겟입자의 전리율 등을 구하고 이때 구해진 박막의 물성적 특성과의 상관관계를 통해 장치의 기본적 특성 및 효율성 등을 고찰하고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

그림 1은 본 실험장치의 전체 개략도를 나타내고 있다. 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 r.f. 전극, 그리고 박막 형성시 기판에 고에너지의 이온 충격을 유도하기 위한 기판 bias 전극으로 구성된다.

본 장치에 의해 발생된 플라즈마의 진단에는 오실로스코프와 직접 제작한 Double Probe 및 Retarding Grid Ion Energy 분석기를 사용하였고 이때 구해지는 I-V 특성측정에는 X-Y plotter를 이용하였다. 그리고 박막의 두께측정은 Fabry-Perot 간섭계를 이용하여 측정하였다. 기판은 SUS-304와 실리콘 웨이퍼 및 알루미늄 등을 사용하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

그림 2는 Target 전류를 200mA로 일정하게 유지한 후 r.f. power 및 진공도 변화에 대한 Double Probe의 I-V 특성곡선 및 전자온도, 밀도 특성을 나타내고 있다. 이온온도는 이온 에너지 분석기로서 구하였다. Double Probe로서 얻어진 이온 밀도는 대략  $10^{11} - 10^{12}(\text{cm}^{-3})$ 까지 변화하였고 가스압력과 r.f. power에 비례하였다. 한편, 이온온도가 전자온도에 비해 훨씬 낮은 값을 나타내는데 이는 충돌에 의한 에너지 손실이 전자보다는 이온이 훨씬 크기 때문이다.

그림 3은 박막 형성시 기판 bias 전압에 대한 Retarding Grid 이온 에너지 분석기의 I-V 특성곡선과 기판에 입사하는 이온입자의 에너지 분포를 나타낸다. 실제로 bias 전압이 증가할 수록 기판에 입사하는 이온 에너지는 증가함을 알 수 있으며 이때의 이온 에너지는 인가한 bias 전압

보다 25-35eV 정도 큰 값을 가지는 것으로 나타났는데 이것은 기판에 bias 전압을 가하면 입사하는 이온 입자는 플라즈마 공간전위( $V_p$ )와 기판 bias전위( $V_{ab}$ ) 차 만큼의 포텐셜 에너지에 의해 가속되기 때문인 것으로 생각된다.<sup>2)</sup> 실제 타겟과 기판 사이의 플라즈마 공간전위를 그림 4의 오실로스코프 측정법으로 간단히 구할 수 있는데 대략 25-35V 정도의 값을 나타냈다.

그림 5는 각 진공도 조건에서 기판 bias 전계에 의해 유입된 이온 입자의 평균 에너지를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 이온은 플라즈마 공간전위와 기판 bias전위 차만큼의 에너지를 가지고 입사함을 알 수 있다.

그림 6은 타겟에서 스파터된 중성입자를 이온화 시키기 위해 설치한 coil형 r.f.전극 시스템의 전리율을 구하기 위하여 Retarding Potential법<sup>3)</sup>에 의해 형성시킨 박막두께를 측정한 결과를 나타내고 있다. 박막형성시 mesh 30의 스펀망을 기판 앞에 설치하여 이온입자의 입사 에너지에 상당하는 전압을 역으로 인가하면 그림과 같이 grid의 전압에 따라 박막의 두께가 급격히 감소하는 영역이 나타난다. 즉 중성입자는 grid 전압에 영향을 받지않고 기판에 도달하게 되지만 전리된 입자는 grid에 형성된 역전계가 어느 임계치 이상이 되면 기판에 도달하기 전에 대부분 반발되거나 grid에 흡수되는데 이때 막두께의 변화량을 구해 스파터된 입자의 이온화율을 구할 수 있다. 실험에 의하면 기판 bias 전압이 zero일때 입사 이온의 평균 에너지는 약 30eV로 측정되며 grid 전압 +30-35V 근방에서 박막의 두께가 현저히 감소하였다. 이것은 전체 스파터된 입자중 r.f. 플라즈마를 통과하면서 이온화되는 입자의 비가 75% 정도임을 나타낸다. 실제 기존의 마그네트론 스파터링 방식에서 스파터된 입자의 이온화율이 10% 미만인 점을 고려할때 이는 매우 큰 값이 되며, 특히 이온화된 타겟입자는 박막 형성시 막특성에 크게 영향을 미치는 새로운 파라메타로 작용할 뿐 아니라 플라즈마의 반응성 이온 또한 이 방식에 의해 제어 가능하므로 반응성 및 고밀도, 고강도의 박막제작에 크게 유용할 것으로 생각된다.

그림 7은 FTS 이온 플레이팅 장치로서 형성시킨 TiN박막의 SEM 사진이다. 진공도 5mTorr에서 Ar-N<sub>2</sub>(5%)의 동작 기체를 사용하여 Target전류 400mA, r.f. Power 100watt 그리고 기판 bias전압 -100V에서 1시간 동안 성막시킨 결과, 두께 약 3 $\mu$ m의 TiN박막을 얻을 수 있었다. 현재 기판 bias

전압과 r.f. Power의 조건에 따른 박막의 물성이나 반응성 스파터링에 대한 보다 상세한 고찰이 진행중에 있다.

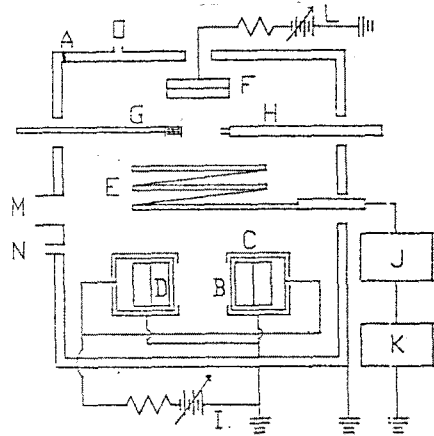
#### 4. 결론

본 연구에서는 FTS 장치와 r.f. coil 전극을 이용하여 구성된 FTS형 이온 플레이팅 장치의 특성을 고찰하였다. 각 조건에 따른 플라즈마 파라메타의 특성과 기판 bias 전압에 따른 이온 에너지 분포의 변화 및 r.f. 플라즈마에 의해 스파터된 입자의 이온화를 등을 고찰하였으며 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 타겟과 기판사이에 형성된 r.f 플라즈마 파라메타를 Double Probe 및 Ion 에너지 분석기 등을 이용하여 측정한 결과, 이온 밀도는  $10^{11}$ - $10^{12}$  범위였으며, 전자온도는 3-6 [eV]이었고 이온 온도는 1[eV] 이하로 나타났으며, 플라즈마 공간전위는 30[V] 내외였다.
2. 기판 negative bias 전압이 증가함에 따라 이온 에너지는 증가하며 이때 입사하는 이온의 평균 에너지는 플라즈마 공간전위와 bias된 기판 전위차에 상당하는 값을 나타냄을 알 수 있었다.
3. r.f. 플라즈마에 의한 스파터된 타겟입자의 이온화를 retarding potential법에 의해 측정 한 결과 75%였다. 본 장치는 이온화된 타겟입자를 r.f. power 및 기판 bias 전압으로 효과적으로 제어할 수 있어서 실제 박막제작시 막질을 보다 정밀하게 제어할 수 있는 장점이 있다.

#### 참고 문헌

- 1) N.A.G. AHMED "Ion Plating Technology Developments and Applications"
- 2) J.W. Coburn "PLASMA ETCHING AND REACTIVE ION ETCHING"
- 3) M. Yamashita J. Vac. Sci. Technol. A 7(2) 151 (1989)  
" Fundamental characteristics of built-in high-frequency coil-type sputtering apparatus "



A : Vacuum Chamber B: Cathode C: Anode D: Magnet E: r.f. coil electrode F: Substrate bias electrode G: Ion Energy Analyzer H: Double Probe I: DC Gener. J: Matching network K: r.f. Generator L: bias Gen. M: Vacuum pump N: gas inlet O: Cooling water

Fig.1 The schematic diagram of experimental set-up.

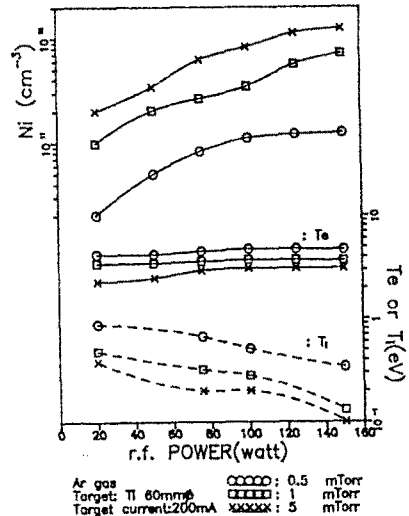
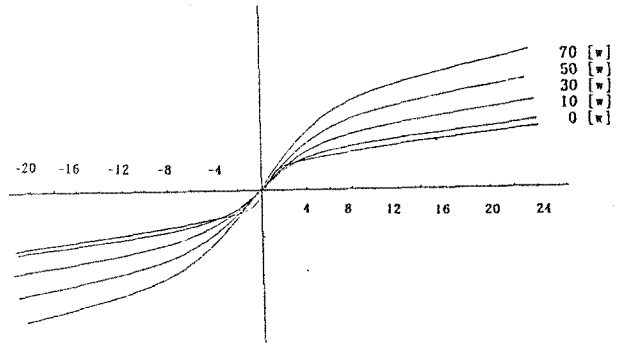


Fig.2 The plasma parameters of FTS ion plating system.

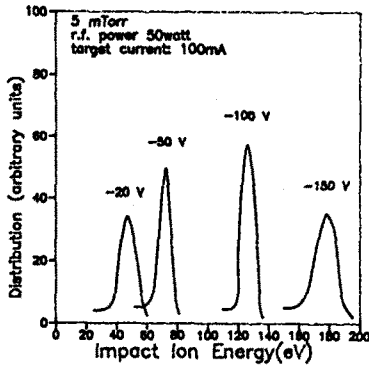
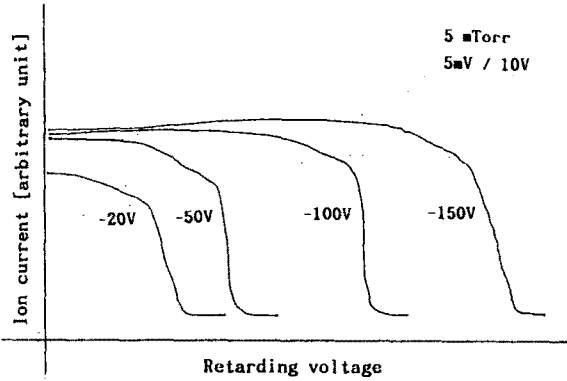


Fig.3 Energy distribution of ions incident on the substrate v.s. bias voltage.

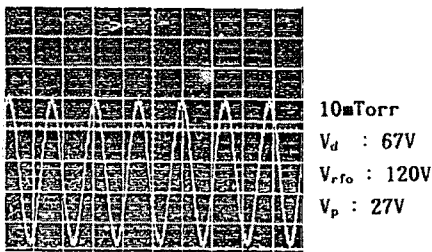
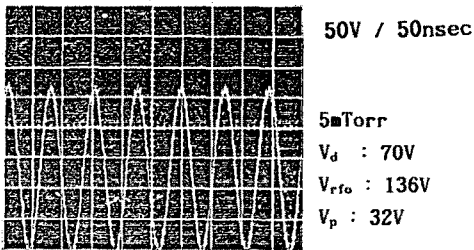


Fig.4 r.f voltage waveforms by OSC.

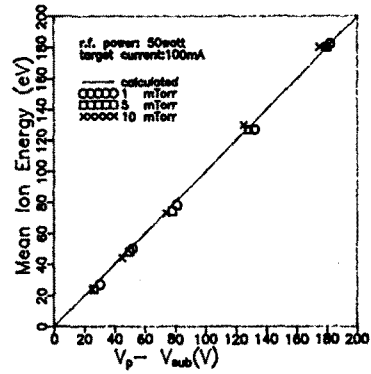


Fig.5 The Mean energy of ions incident on substrate vs  $V_p - V_{sub}$  as a parameter of pressure.

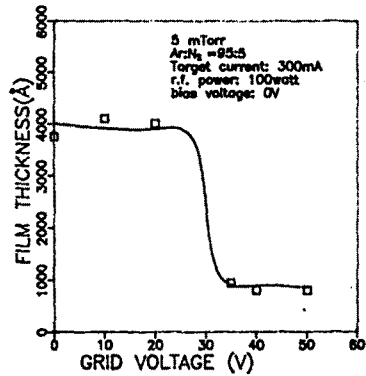


Fig.6 The variation of TiN film thickness for retarding grid voltage.



Fig.7 SEM photograph of thin film.