

## ECR-PECVD 장치의 제작과 특성

손영호 · 정우철 · 정재인 · 박노길\* · 황도원\*\* · 김인수\*\*\* · 배인호\*\*\*\*

포항산업과학연구원 센서 · 계측연구팀, \*식품의약품안전청 방사선표준과  
\*\*알파플러스 기술개발실, \*\*\*경운대학교 전자공학과, \*\*\*\*영남대학교 물리학과  
(1999년 11월 23일 접수)

### Manufacturing and characterization of ECR-PECVD system

Young Ho Son, Woo Chul Jung, Jae In Jeong, No Gill Park,\* Do Weon Hwang,\*\*  
In Soo Kim,\*\*\* and In Ho Bae\*\*\*\*

*Research Institute of Industrial Science and Technology, Pohang 790-600*

*\*Korea Food and Drug Administration, Seoul 122-020*

*\*\*R & D Lab. Alpha Plus Co. Ltd., Pohang 790-140*

*\*\*\*Department of Electronic Engineering, Kyungwoon University, Kumi 730-850*

*\*\*\*\*Department of Physics, Yeungnam University, Kyoungsan 712-749*

(Received November 23, 1999)

**요 약** - 이온화율이 높고 저온 성막이 가능하며 넓은 진공도 영역에서 플라즈마 공정이 가능한 ECR-PECVD 장치를 제작하였다. 이 장치는 진공용기, 시료 스테이지, 진공 게이지, 진공 펌프, 가스 공급장치, 진공 실링 밸브, ECR 소스, 제어장치 등으로 구성되어 있으며, microprocessor와 ROM program으로 제어할 수 있도록 설계하였다. 제작된 장치의 구성에 따라서 박막 성장시에 예상할 수 있는 특성 변화에 관심을 두고, 장치의 진공과 플라즈마 특성을 조사하였다. 본 장치로 가스 주입에 따른 진공상태의 안정성과 bias 전압으로 인한 이온 충돌 효과 등을 기대할 수 있음을 확인하였다. 플라즈마 밀도는 가스 유량과 ECR power를 증가시킬수록 높게 측정되었고 ECR 소스와 멀어질수록, 또한 진공용기 중심에서 수평 반경거리를 증가시킬수록 낮게 측정되었으며, 그 측정값의 범위는  $9.7 \times 10^{11} \sim 3.7 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$  이었고, 플라즈마 밀도 분포로부터 박막 두께의 균일성을 예측할 수 있음을 확인하였다.

**Abstract** - An ECR-PECVD system with the characteristics of high ionization rate, ability of plasma processing in a wide pressure range and deposition at low temperature was manufactured and characterized for the deposition of thin films. The system consists of a vacuum chamber, sample stage, vacuum gauge, vacuum pump, gas injection part, vacuum sealing valve, ECR source and a control part. The control of system is carried out by the microprocessor and the ROM program. We have investigated the vacuum characteristics of ECR-PECVD system, and also have diagnosed the characteristics of ECR microwave plasma by using the Langmuir probe. From the data of system and plasma characterization, we could confirmed the stability of pressure in the vacuum chamber according to the variation of gas flow rate and the effect of ion bombardment by the negative DC self bias voltage. The plasma density was increased with the increase of gas flow rate and ECR power. On the other hand, it was decreased with the increase of horizontal radius and distance between ECR source and probe. The calculated plasma densities were in the range of  $9.7 \times 10^{11} \sim 3.7 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ . It is also expected that we can estimate the thickness uniformity of film fabricated by the ECR-PECVD system from the distribution of the plasma density.

### 1. 서 론

플라즈마는 전자기장의 형태로 공급되는 에너지에 의해 발생되는데, 이온과 전자의 상대적 질량차이 때문에

대부분 전자에 큰 에너지가 전달된다. 따라서 전자에 의한 중성입자와의 비탄성 충돌이 플라즈마 발생의 주 원인이 된다. 마이크로파 에너지는 전자가 흡수하여 자유전자가 되고, 이 영역에 추가로 자기장을 가하면 전

자는 Lorentz 힘에 따라 회전 운동을 하게 된다. 2.45 GHz의 마이크로파를 입사시킬 경우에 수직 자기장을 875 Gauss의 세기로 걸어주면, 자기장에 의한 전자의 회전주파수와 마이크로파 주파수가 일치하여 공명 [1,2]이 일어나고, 전자의 속도 즉, 운동 에너지가 증가하면서 회전 반경이 커지게 된다. 플라즈마 내의 전자는 이 영역을 지나면서 공명에 의해 가속되어 큰 에너지를 얻게 되고, 형성된 자기장에 의해 반응기 벽으로의 확산 손실이 줄어들면서 기체의 이온화율이 높아지기 때문에 낮은 압력에서도 높은 밀도의 플라즈마를 얻을 수 있다 [3]. 이러한 고밀도 플라즈마 특성을 가진 ECR (Electron Cyclotron Resonance) 마이크로파 플라즈마 장치는 반도체 etching 공정 [4,5], 표면처리 [6], 증착 [7-9] 등에 많이 사용되고 있다.

ECR 마이크로파 플라즈마를 증착에 사용할 경우에 장치의 구성에 따라서 PVD (Physical Vapor Deposition)나 CVD(Cheical Vapor Deposition)에 모두 적용할 수 있다 [7,8,10,11]. 이중에 ECR-PECVD는 이온화율이 높을 뿐만 아니라 저온 성막이 가능하며 넓은 진공도 영역에서 플라즈마 공정이 가능하다는 장점이 있기 때문에 최근에 많이 이용되고있는 CVD 방법이다.

일반적으로 ECR-PECVD 장치를 이용하여 박막을 제조하여 그 특성들을 보고하는 연구 논문들 [7-11]을 살펴보면, 박막 제조시에 사용된 장치의 특성들은 박막의 증착변수에 직접적으로 영향을 미침에도 불구하고 박막을 제조하는 조건들이나 극히 일부분의 장치 특성들에 대해서만 논하고 있다. 즉, 보고되고 있는 연구 논문을 참고하여 새로운 장치를 설계 및 제작하거나 혹은 제작된 장치를 효과적으로 운용하려고 함에 있어서, 현재 보고되고 있는 연구 논문들에 대해서는 많은 연구자들이 장치의 특성 부분에 궁금증을 갖게 된다. 특히 플라즈마 특성에 대한 연구 논문들 [12,13]은 플라즈마 자체에 대한 물리적 의미에만 더 많은 관심을 갖고 있으며, 플라즈마 특성이 실제 박막 제조시에는 어떤 영향을 미치는지에 대한 논의는 많이 결여되어 있다.

따라서 본 연구에서는 박막을 제조하기 위한 ECR-PECVD 장치 제작과 제작된 장치의 구성에 따라서 박막 성장시에 예상할 수 있는 박막의 특성 변화에 관심을 두고, 제작된 ECR-PECVD 장치를 소개하고 또한 장치의 진공 및 플라즈마 특성을 조사하였다. 플라즈마 특성조사는 Langmuir 탐침법 [14,15]을 이용하였고 ECR 마이크로파 power, 가스 유량, ECR 소스와 탐침

간의 거리, 진공용기 중심에서부터 수평 반경거리 등을 변화시켜 가면서 CVD 장치에 응용할 수 있는 ECR 마이크로파 플라즈마 밀도와 공간분포를 분석하였다. 본 논문에서 보고하는 진공 및 플라즈마 특성으로부터 박막 제조시에 활용할 수 있는 증착변수 결정에 있어 많은 참고가 될 것으로 판단된다.

## 2. 플라즈마 특성

플라즈마 특성을 조사하는 방법으로 비교적 간단하면서도 가장 많이 사용되는 것이 Langmuir 탐침법이다. Langmuir 탐침법은 플라즈마 내부에 표면적이 작은 전도성 탐침을 주입하여 여기에 전압을 걸어 흐르는 전류를 측정하고 그 결과를 해석하여 플라즈마 상태에 대한 여러 가지 물리량을 추정하는 방법이다. 진공증착 공정에서 플라즈마의 상태가 성막되는 박막의 물성과 직접적인 관련이 있으므로, 플라즈마 상태를 파악하는 것이 매우 중요하다 [2]. 본 연구에서는 박막 제조시에 박막과 가장 밀접한 관계가 있는 것이 플라즈마 밀도이므로, 플라즈마 밀도에만 관심을 두고 플라즈마 특성을 조사하였다.

일반적으로 Langmuir 탐침의 전류-전압 곡선은 탐침에 인가하는 전압에 따라 전류 특성이 세 영역으로 구분된다. 탐침의 전위가 플라즈마 전위보다 크면 전자는 탐침으로 끌려오고 이온은 반발하게 되는데 이 영역을 포화 전자 전류 영역이라 부른다. 반대로 탐침의 전위가 매우 큰 음의 값을 가지면 이온들이 모여들고 전자는 반발되어 포화 이온 전류 영역이 된다. 전자의 이동도가 이온보다 높기 때문에 포화 이온 전류 크기는 포화 전자 전류보다 작다. 위의 두 영역의 중간에는 전위가 플라즈마 전위보다 낮아서 이온들이 탐침으로 모이고 일부 전자들도 반발력을 뛰어넘어 탐침에 도달한다. 이러한 전류-전압 곡선에서 플라즈마 밀도를 계산하는 방법은 다음과 같다 [14].

플라즈마 밀도( $n_i = n_e$ )를 계산하기 위해서는 전류-전압 곡선의 포화 이온 전류 영역을 이용한다. 이 영역에서 이온전류( $I_i$ )는 다음과 같다.

$$I_i = \frac{Ae^2 n_i}{2\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{3T_e}{m_i} \left(1 - \frac{V - V_p}{T_e}\right)} \quad (1)$$

여기서  $T_e$ 는 전자온도,  $V_p$ 는 플라즈마 전위, A는

탐침의 표면적이며,  $m_i$ 는 이온의 질량이다. 전자 전류가 흐르지 않을 때 식 (1)은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$n_i^2 = \frac{4\pi m_i}{3A^2 e^3} \left( \frac{\partial I_i}{\partial V} \right) \quad (2)$$

탐침 전류 제곱의 전위에 대한 기울기로부터 플라즈마 밀도는 식 (2)으로 계산할 수 있다.

### 3. ECR-PECVD 장치의 제작 및 구성

ECR 마이크로파 플라즈마를 이용하여 박막을 제조하기 위해 본 연구에서 제작 및 구성한 장치의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 장치는 진공용기, 시료 스테이지, 진공 게이지, 진공 펌프, 가스 공급장치, 진공 실링 밸브, ECR 소스, 제어장치 등으로 구성되어 있다.

진공용기는 내부 직경 400 mm, 높이 400 mm의 원통형이며, 플라즈마를 관찰할 수 있는 6" 크기의 투시창과 시료 교체 및 용기 유지·보수를 위한 12" 크기의 quick access door가 부착되어 있고, 투시창에는

마이크로파를 차단할 수 있도록 접지된 mesh를 설치하였다.

시료 스테이지 내부에는 시료를 가열하기 위한 IR 램프와 온도 측정을 위한 열전대를 설치하였고, 스테이지 상단에는 4" 실리콘웨이퍼를 놓을 수 있는 절연된 시료 홀더를 설치하였다. 그리고 bias 전압을 시료에 인가할 수 있도록 시료 홀더에 RF 전력선을 연결하였다.

플라즈마 공정시에 주로 사용한 게이지는 capacitance manometer이고, 측정 영역은  $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-1}$  torr이다. 진공배기를 위해서 배기 속도 500 l/s의 turbomolecular pump와 745 l/m의 chemical rotary pump를 사용하였으며, chemical rotary pump는 독성 가스를 배기 하여도 비교적 안정된 펌프이다.

가스 공급 장치는 Ar, H<sub>2</sub> 및 CH<sub>4</sub>에 대하여 각각 200 SCCM의 가스 유량을 조절할 수 있는 3개의 MFC(Mass Flow Controller), MFC를 통해서 나온 가스가 혼합되어 ECR 소스로 공급되도록 해주는 mixing tank, 그리고 ECR 소스로 공급되는 최종의 가스 유량 및 압력을 제어할 수 있는 장치-가스 유량 최대치 500 SCCM로 구성되어 있다. 그리고 진공용기 하단부의

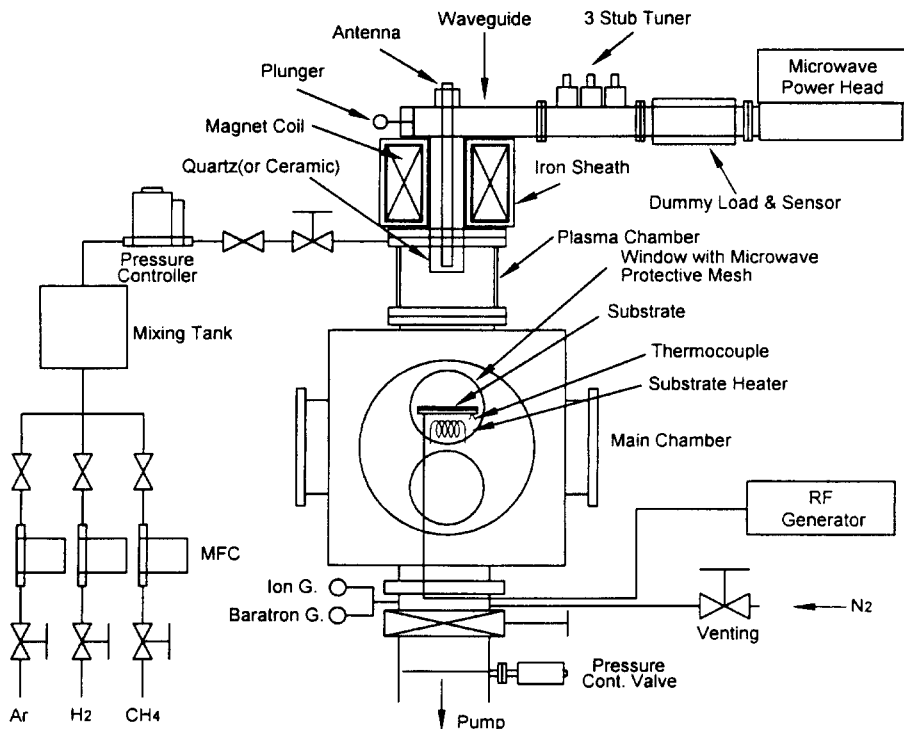


그림 1. ECR-PECVD 시스템의 장치도.

spool에 원판형 셔터를 설치하여, 진공용기로 유입되는 같은 가스 유량에 대해서 플라즈마 공정 압력을 제어할 수 있도록 하였다. 본 연구의 장치에서 Ar, H<sub>2</sub> 및 CH<sub>4</sub> 가스들을 위한 MFC는 장치 구성 후에 다이아몬드상 탄소 박막을 제조하기 위하여 고려한 것이다. ECR 마이크로파 플라즈마 소스는 2.45 GHz의 마이크로파를 발생시키는 power head 부분, 반사되어 돌아온 마이크로파를 검출하여 표시해 주는 indicator 부분, 반사파의 에너지를 상쇄시키는 dummy load 부분, 마이크로파를 정파로 만들어 주는 3-stub tuner 부분, waveguide, antenna, plunger, quartz, 875 Gauss의 자장을 발생시키는 전자석 등으로 구성되어 있으며, power 최대치는 850 W이다. 그림 1에서 quartz가 놓여 있는 부분이 플라즈마가 만들어지는 곳인 플라즈마 용기이며, 플라즈마 용기 상단에 있는 가스 주입구는 가스의 확산 균일성을 유지하기 위하여 conductance가 매우 작은 orifice들로 이루어져 있다. ECR 소스의 antenna를 통하여 2.45 GHz의 마이크로파가 플라즈마 용기 안으로 들어오고, 전자적으로 875 Gauss의 자장을 만들어 주면, quartz 주변에 도넛형의 ECR 영역이 생성된다. Orifice를 통하여 유입되는 가스는 ECR 영역 내에 있는 전자들과 충돌하여 이온화가 되면서 플라즈마가 만들어지고, 이때 만들어진 플라즈마들은 진공용기로 down stream되면서 기판 위에 박막이 형성된다.

각종 제어장치는 control rack에 설치하고, 상단에는 control panel를 만들어 장치의 모든 제어는 control panel를 통하여 이루어지도록 설계 및 제작하였으며, control board는 80C31 microprocessor와 ROM program으로 제어되게 하였다. 그리고 ECR-PECVD 장치의 제어 흐름 개념도를 그림 2에 나타내었다.

정전, 단수, 과열, 용기 벤팅 등에 대비하고 장치의 안전을 위하여 진공도, 공압, 각종 제어장치의 전원, 반사된 마이크로파 전력, quick access door, 가스 공급 장치 및 각종 밸브에 대한 interlock 장치와 interlock 발생시에 이를 알려줄 수 있도록 알람을 설치하였다.

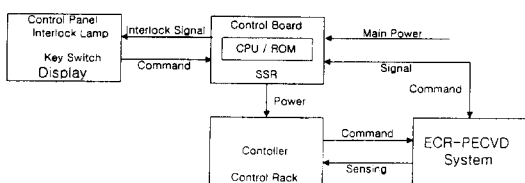


그림 2. ECR-PECVD 시스템의 제어 개략도.

### 4. 실험

본 연구에서 제작 구성한 장치의 제반 특성을 알아보기 위하여 먼저 장치의 배기 특성을 조사하였고, 가스 유량과 셔터 조절에 따른 진공 특성을 조사하였다. 가스 유량과 셔터 조절에 따른 진공 특성은 배기장치의 배기 능력에 대비한 가스 유량의 최대치와 가스 유량에 따른 압력 변화 및 안정성 등을 알아보기 위함이다. 압력 제어는 가스 주입장치에 의한 것과 셔터의 conductance 조절에 의한 것이며, MFC를 통하여 가스를 진공용기 내부로 주입하면서 진공 게이지로 진공도를 측정하였다. 이때 사용한 가스는 Ar이다.

시료 홀더의 하단부에 250 W IR 램프 2개로 진공중에서 온도 특성을 조사하였다. 이것은 시료의 열처리 효과를 실험하기 위한 것으로 IR 램프에 전압을 인가하여 Si 웨이퍼를 가열하면서 열전대로 온도를 측정하였다. 시료의 이온충돌 효과를 실험하기 위하여 시료 홀더에 RF power를 공급하고, RF에 의해 유도되는 negative DC self bias 전압을 측정하였다.

플라즈마 특성을 측정하기 위한 장치 및 Langmuir 탐침의 배치도를 그림 3에 나타내었다. 플라즈마 특성을 측정하기 위하여 먼저 Langmuir 탐침을 진공용기 내부의 원하는 위치에 설치한다. 전압 가변기로 전압(V)을 탐침에 인가해 주고, 탐침에 흐르는 전류를 저항을 통하여 전압( $\Delta V$ )으로 변환하여, 인가한 전압과 변환된 전압을 오실로스코프에 저장한다. 저장된 두 전압으로부터 전류-전압 곡선을 얻을 수 있다. 본 연구에서 인가한 전압은 -70~70 V이고, 저항은 100  $\Omega$ 을 사용하

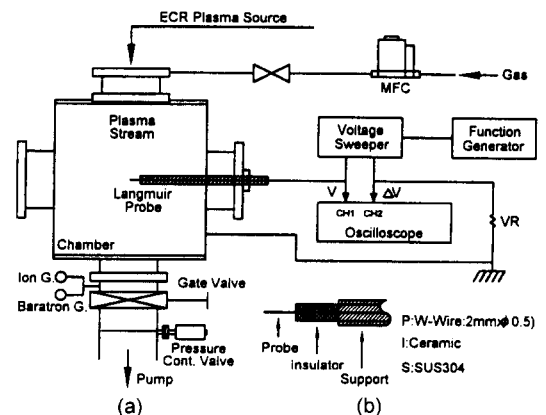


그림 3. (a) 플라즈마 밀도 측정 장치, (b) Langmuir 탐침.

표 1. ECR 마이크로파 플라즈마 진단을 위한 측정 조건

Parameters	Values
Distance (mm)	150, 300
Horizontal Radius (mm)	0, 60, 120
Gas Flow Rate (SCCM)	30, 90, 160, 220, 280
ECR Power (W)	350, 550, 700, 850

였다. Langmuir 탐침은 직경이 0.5 mm, 길이 2 mm의 텅스텐이며, 탐침 위에는 세라믹 절연층으로 둘러싸고 SUS304 튜브로 지지하였다. 탐침, 세라믹 및 지지대 사이는 각각 진공 실링되게 제작하였고, 탐침의 지지대는 2.75" 플랜지와 O-ring을 사이에 두고 진공 실링된 상태에서 좌우로 움직일 수 있게 하였다. 가스는 Ar를 사용하였고, 가스주입은 500 SCCM의 가스 유량을 갖는 MFC를 사용하였다. ECR 마이크로파 플라즈마 밀도를 측정하기 위한 조건은 표 1과 같다.

### 5. 결과 및 고찰

대기압 상태에서 먼저 chemical rotary pump로 10 분간 배기하여  $3.0 \times 10^{-3}$  torr에 도달시킨 후, turbo-molecular pump를 작동하여 배기하였다. turbo-molecular pump는 작동 후 7분만에 50,000 rpm의 최고 속력에 도달하였고, 이때 진공도는  $2.1 \times 10^{-6}$  torr였다. 이 상태에서 IR 램프에 전압을 인가하여, 진공용기를 100 °C로 6시간 baking 하였고, 용기가 식은 후 진공도는  $2.2 \times 10^{-7}$  torr에 도달했다. 진공용기를 벤팅 후에 다시 chemical rotary pump와 turbo-molecular pump로 배기하면, 용기를 baking 하지 않고도  $low \times 10^{-7}$  torr의 진공도를 쉽게 얻을 수 있었다. 이것으로 본 연구에서 구성한 배기장치로 박막 제조를 위한 기본 진공은 20분 안에  $low \times 10^{-7}$  torr의 진공상태를 확보할 수 있음을 확인하였다. 그리고 IR 램프에 전압을 인가하여 Si 웨이퍼를 가열하면서 온도 특성을 조사하였다. 온도는 IR 램프에 인가하는 전압에 따라서 증가하였고, 20 V 전압에서 약 400 °C의 온도 값을 얻었다.

본 연구에 사용된 turbo-molecular pump는 motor의 load 전류 한계가 7 A이고, 가스 유량이 증가하여 motor의 load 전류가 7 A 이상이 되면 pump의 안전을 위해 interlock이 걸리도록 되어있다. 그래서 load 전류가 6.5 A가 될 때까지 가스 유량을 계속 증가시키면서 가스 유량에 따른 압력 변화를 조사하였다. 이때

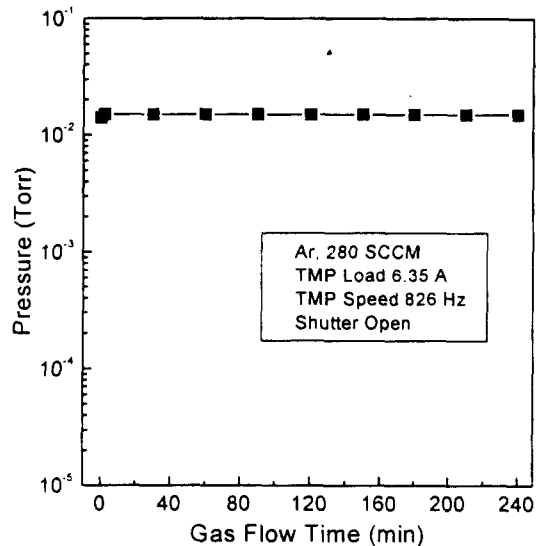


그림 4. 가스 유량에 따른 압력의 안정도 특성.

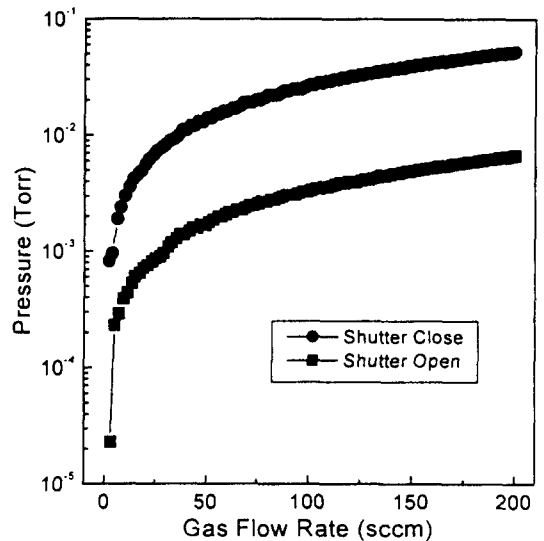


그림 5. 셔터 조절과 가스 유량에 따른 압력 변화.

load 전류가 6.5 A 되었을 때의 가스 유량은 308 SCCM이고, 진공도는  $1.7 \times 10^{-2}$  torr였다. 즉 박막 제작시 진공 용기 안으로 주입할 수 있는 유량 최대치가 308 SCCM임을 알 수 있었다.

그림 4는 가스 유량에 따른 압력의 안정도 특성을 나타낸 것이다. 셔터 open 상태에서 4시간 동안 Ar 가스 280 SCCM을 용기 내부로 주입하였다. 압력은  $1.5 \times 10^{-2}$  torr로 4시간 동안 안정된 값을 나타내었다.

이때 turbo-molecular pump의 motor load current는 6.35 A였다. 이 결과로 본 연구에서 제작된 장치가 280 SCCM 내의 가스 유량에 대해서 박막 제작시 가스 주입에 따른 진공상태의 안전성이 보장되어 짐을 확인할 수 있다.

셔터를 조절하여 가스 유량에 따른 압력 제어 실험 결과는 그림 5와 같다. 셔터는 full open과 full close 상태로 하고, 가스 유량을 3~200 SCCM 변화시켜 주었다. 장치 제작시 full close 상태는 원래의 full close 상태에서  $4.7\text{ cm}^2$ 의 구멍을 갖도록 제작하였으며, 이것은 장치 운용시의 편리성을 위해서이다. 셔터의 full open 상태에서는  $2.3 \times 10^{-5} \sim 6.7 \times 10^{-3}$  torr, 셔터의 full close 상태에서는  $9.0 \times 10^{-4} \sim 5.2 \times 10^{-2}$  torr의 압력 변화가 측정되었다. 이 결과는 3~200 SCCM 범위의 가스 유량에서 셔터 제어로 플라즈마 공정에 필요한  $2.3 \times 10^{-5} \sim 5.2 \times 10^{-2}$  torr의 진공도 영역에서 플라즈마를 제어할 수 있다는 것을 의미한다.

그림 6은 시료에 RF power를 인가하여 유도된 negative DC self bias 전압을 나타낸 것이다. RF power를 증가시킬수록 bias 전압은 증가하였으며, 이때 전압이 증가할수록 down stream되던 플라즈마가 시료 쪽으로 집중되는 것을 육안으로 관측하였다. RF power에 의해 유도되는 bias 전압으로 박막을 증착하는데 있어 이온충돌 효과를 충분히 기대할 수 있을 것으로

판단된다. 일반적으로 이온 충돌효과는 박막의 공극율을 줄이고 또한 밀착력이나 경도 등 박막의 성질을 높일 수 있는 것으로 보고되고 있다 [7].

Langmuir 탐침법으로 플라즈마 밀도를 측정하기 전에 ECR power와 가스 유량을 변화시켜 가면서 플라즈마 상태를 육안으로 관측하였다. 플라즈마 상태가 불안정하게 되면 반사파를 검출하여 표시해 주는 indicator를 보면서 3-stub tuner를 제어하여 플라즈마를 쉽게 안정시켰으며, 전체적으로 플라즈마의 안정도에 대한 신뢰성을 육안으로 확인하였다. 플라즈마 용기에서 아래쪽으로 플라즈마의 down stream을 볼 수 있었고, 진공용기의 중심에서 반경으로 멀어 질수록 플라즈마 빛깔이 흐려짐을 볼 수 있었다. 이때 플라즈마의 빛깔은 옅은 보라 빛이었다. 가스 유량을 증가시킬수록 그리고 ECR power를 증가시킬수록 플라즈마가 좀더 진한 빛깔로 변화되는 것을 육안으로 관측할 수 있었는데, 이것으로 가스 유량 및 ECR power를 증가시킬수록 플라즈마의 밀도가 증가한다는 것을 정성적으로 확인할 수 있었다 [16,17].

Langmuir 탐침에 인가한 전압과 탐침에 흐르는 전류를 저항을 통하여 전압( $\Delta V$ )으로 변환된 값을 각각 오실로스코프의 CH1과 CH2에 저장하여 나타내면 그림 7과 같다. 여기서 x축은 시간이며, y축의 CH1은 -70~70 V를 function generator로 톱니파 형태를 만들어

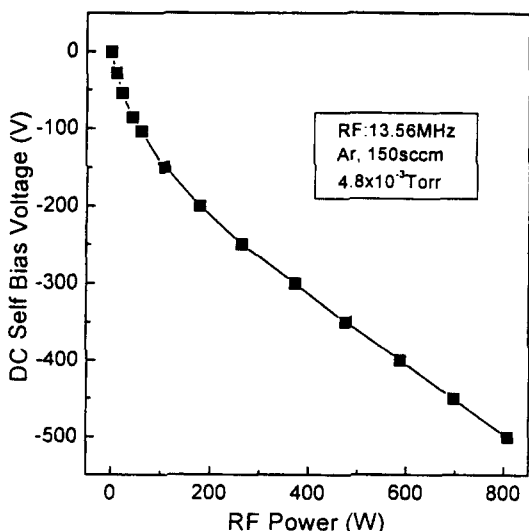


그림 6. RF power 인가에 의해 유도된 negative DC self bias 전압.

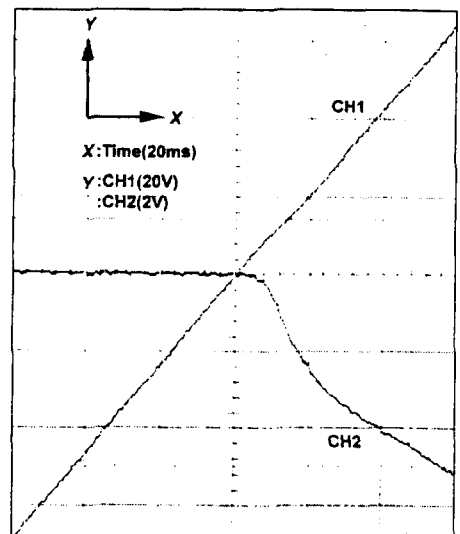


그림 7. 오실로스코프로 얻은 V- $\Delta V$  특성 곡선 (CH1 : 20 V/div, CH2 : 2 V/div).

Langmuir 탐침에 인가한 것이다. 동시에 y축의 CH2는 탐침에 흐르는 전류를 저항을 통하여 전압( $\Delta V$ )으로 변환된 값을 나타낸 것이다. 실제 양의 값을 갖는 CH2가 음의 값으로 표시되게 한 것은 오실로스코프 상에서 CH1과 중복을 피하기 위해서다. y축의 CH1과 CH2는 같은 시간을 x축으로 사용하므로 시간을 기준으로 CH1을 x축, CH2를 y축에 표시하면 전류-전압 특성 곡선이 된다. 표 1의 조건으로 플라즈마 밀도 측정 시험을 하면, CH2의 값은 모두가 그림 7과 유사한 형태를 보이며, 이것은 실린더형 탐침일 경우의 전형적인 전류-전압 곡선 형태이다 [18]. 다만 전류-전압 곡선의 중간영역에서의 기울기 값과 포화 전자 전류 영역의 값이 다르다.

Langmuir 탐침법으로 가스 유량의 함수로 측정된 전류-전압 곡선으로부터 플라즈마 밀도를 계산하여 그 결과를 나타내면 그림 8(a)와 같다. 이때 ECR 소스와 탐침 사이의 거리는 박막을 만들 때 진공용기 내부의 구조물들을 고려한 것이며, 탐침의 위치는 진공용기 수직선상의 중심에 위치시키고 ECR power는 700 W로 고정하였다. 이때 표 1에 표시되어 있는 가스유량 변화 시 진공도는 각각  $8.0 \times 10^{-4}$ ,  $3.3 \times 10^{-3}$ ,  $5.5 \times 10^{-3}$ ,  $7.7 \times 10^{-3}$ ,  $1.4 \times 10^{-2}$  torr이었다.

플라즈마 밀도는 가스 유량을 증가시킬수록 높고, ECR 소스와 거리가 가까울수록 높게 측정되었고, 측정된 플라즈마 밀도의 값은  $1.0 \times 10^{12} \sim 3.7 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 이었다. 여기서 본 연구에서 제작 및 구성한 장치의 ECR 마이크로파 플라즈마에 대한 두 가지 큰 장점을 이야기 할 수 있다. 하나는 30 SCCM의 가스 유량 즉,  $8 \times 10^{-4}$  torr의 낮은 진공도에서도  $10^{12}$  order의 높은 플라즈마 밀도를 발생시킬 수 있었다는 것이며, 다른 하나는 넓은 진공영역 ( $2.3 \times 10^{-5} \sim 5.2 \times 10^{-2}$  torr)에서 플라즈마 공정이 가능하다는 것이다.

ECR power의 함수로 측정된 전류-전압 곡선으로부터 플라즈마 밀도를 계산하여 그 결과를 나타내면 그림 8(b)와 같다. 이때 ECR 소스와 탐침의 거리는 가스 유량의 실험과 동일하고, 탐침의 위치는 진공용기 수직선상의 중심이며, 가스 유량은 160 SCCM으로 고정하였다. 플라즈마 밀도는 ECR power가 증가할수록 높고, ECR 소스와 거리가 가까울수록 높게 측정되었고, 측정된 플라즈마 밀도의 값은  $9.7 \times 10^{11} \sim 3.2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 이었다. ECR power를 증가시킬수록 밀도가 증가되는 것은 마이크로파 에너지가 클수록 플라즈마 용기 안으

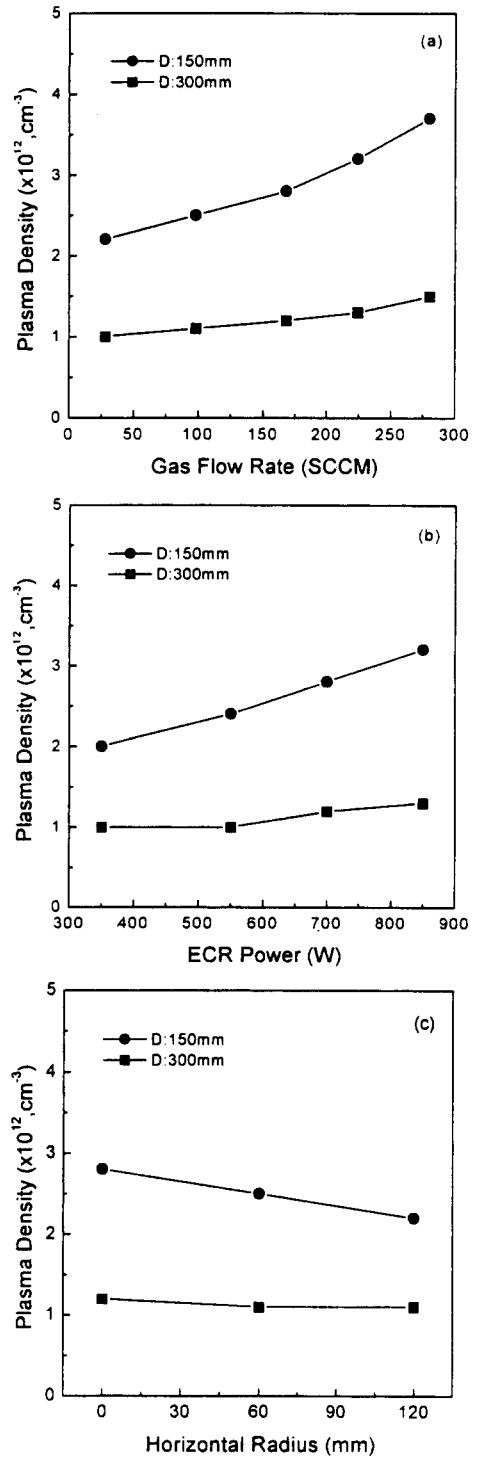


그림 8. (a) 가스 유량, (b) ECR power, (c) 수평 반경거리에 따른 플라즈마 밀도 변화.

로 유입된 가스의 이온화가 더 많이 일어난다는 것을 의미하며, ECR 소스와 거리가 먼 곳 보다 가까운 곳에서 밀도가 높다는 것은 플라즈마가 down stream 되면서 divergence 함을 의미한다 [10].

진공용기 중심에서부터 수평 반경거리를 변화시켜 가면서 측정된 전류-전압 곡선으로부터 플라즈마 밀도를 계산하여 그 결과를 나타내면 그림 8(c)와 같다. 이때 ECR 소스와 탐침의 거리는 가스 유량의 실험과 동일하며, ECR power는 700 W, 가스 유량은 160 SCCM 으로 고정하였다. 플라즈마 밀도는 ECR 소스와 거리가 가까울수록 높게 측정되었고, ECR 소스와 거리가 150 mm에서는 수평 반경이 증가할수록 낮아짐을 볼 수 있으나, ECR 소스와 거리가 300 mm에서는 수평 반경이 증가하여도 거의 일정하게 측정되었다. 측정된 플라즈마 밀도는 ECR 소스와 거리가 150 mm에서는  $2.2 \times 10^{12} \sim 2.8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ , ECR 소스와 거리가 300 mm에서는  $1.1 \times 10^{12} \sim 1.2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 이었다. 이 결과로부터 박막 제작시 기관의 크기에 따라서 박막 두께 균일성을 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 즉 그림 8(c)의 결과로 보면 ECR 소스와 거리가 300 mm에서는 기관의 크기를 직경 240 mm로 할 경우에 약  $\pm 4.5\%$ 의 박막 두께 균일성을 예측할 수 있으며, 만약 이 보다 더 균일한 박막의 두께를 필요로 할 경우에는 진공용기 안으로 유입하는 가스의 양이나 ECR power를 더 낮추어야 할 것이다.

## 6. 결 론

박막을 증착하기 위한 ECR-PECVD 장치를 제작하여, 그 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 장치에서 280 SCCM 내의 가스 유량에 대해서 가스 주입에 따른 진공상태의 안전성이 보장되어 짐을 확인할 수 있었다.

2. RF power에 의해 유도된 negative DC self bias 전압을 증가시킬수록 down stream되던 플라즈마가 시료 쪽으로 집중되는 것을 육안으로 관측하였고, 이 결과로 박막 제작시 bias 전압으로 인한 이온충돌 효과를 기대할 수 있었다.

3. 가스 유량과 ECR power를 증가시킬수록 그리고 ECR 소스와 가까울수록 플라즈마의 밀도가 증가함을 확인하였으며, 그 측정값의 범위는  $9.7 \times 10^{11} \sim 3.7 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 이었다.

4. 350~850 W의 ECR power 영역과 3~200 SCCM 까지의 가스 유량 변화에 따른  $2.3 \times 10^{-5} \sim 5.2 \times 10^{-2}$  torr의 넓은 진공도 영역에서 안정된 플라즈마를 제어할 수 있었다.

5. 플라즈마 밀도 측정 결과로부터 박막 제작시 기관의 크기에 따라서 박막 두께 균일성을 예측할 수 있음을 확인하였고, 또한 ECR 소스와 거리가 300 mm에서 직경 240 mm의 기관에 박막을 성장시킬 경우에 약  $\pm 4.5\%$ 의 박막 두께 균일성을 가짐을 예측할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 포스코신기술연구조합의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] R. Geller, *Electron Cyclotron Resonance Ion Sources and ECR Plasmas* (Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 1996), chap. 1.
- [2] C. S. M. Rossnagel, J. J. Cuomo and W. D. Westwood, *Handbook of Plasma Processing Technology* (Noyes Publications, New Jersey, 1990), chap. 11.
- [3] O. A. Popov, *High Density Plasma Sources* (Noyes Publications, New Jersey, 1995), chap. 7-8.
- [4] S. J. Pearton, *Appl. Surf. Sci.* **117/118**, 597 (1997).
- [5] C. B. Vartull, S. J. Pearton, J. D. Mackenzie and C. R. Abernathy, *J. Electrochem. Soc.* **143**, L246 (1996).
- [6] E. Camps, S. Muhl and S. Romero, *Vacuum* **51**, 385 (1998).
- [7] S. F. Yoon, H. Yang, Rusli, J. Ahn and Q. Zhang, *J. Electron Mater.* **27**, 44 (1998).
- [8] M. Zarrabian, N. Fourches-Coulon, G. Turban, M. Lancin and C. Marhic, *Diam. Relat. Mater.* **6**, 542 (1997).
- [9] S. Garcia, J. M. Martin, I. Martil and G. Gonzalez-Diaz, *Thin Solid Films* **315**, 22 (1998).
- [10] G. M. Rao and S. B. Krupanidhi, *Appl. Phys. Lett.* **70**, 628 (1997).
- [11] S. Hirono, S. Umemura, Y. Andoh, T. Hayashi and R. Kaneko, *IEEE Trans. Magnetics*, **34**, 1729 (1998).
- [12] J. Hopwood, D. K. Reinhard and J. Asmussen, *J. Vac. Sci. Technol.* **A8**, 3103 (1990).
- [13] F. Scholze, H. Neumann, M. Zeuner, F. Bigl and J. Mai, *Surf. Coat. Tech.* **97**, 755 (1997).
- [14] J. E. Heidenreich III, J. R. Paraszczak, M. Moisan and G. Sauve, *J. Vac. Sci. Technol.* **B5**, 347 (1987).



- [15] E. Eser, R. E. Ogilvie and K. A. Taylor, *J. Vac. Sci. Technol.* **15**, 199 (1978).
- [16] J. E. Heidenreich III and J. R. Paraszczak, *J. Vac. Sci. Technol.* **B5**, 347 (1987).
- [17] E. Camps, S. Muhl and S. Romero, *Vacuum* **51**, 385 (1998).
- [18] R. A. Morgan, *Plasma Etching in Semiconductor Fabrication* (Elsevier, Amsterdam, 1985), chap. 7.