

<연구논문>

ECR 플라즈마 장치의 제작

오수기 · 정근모

아주대학교 물리학과
(1991년 11월 23일 접수)

Construction of an Electron Cyclotron Resonance Plasma Apparatus

Soo-Ghee Oh, Keun-Mo Chung

Department of physics, Ajou University, Suwon 441-749
(Received November 23, 1991)

요 약—ECR 플라즈마 장치를 설계 제작하였다. ECR 플라즈마의 흐름을 얻기 위해 자기장의 기울기를 조작할 수 있는 전자석계가 필요하였다. 요크를 사용하면 같은 전류로 자기장을 1.5배 더 크게 할 수 있었다. 이 장치로 만든 ECR 플라즈마의 특성을 조사하기 위하여, 랑뮈르 탐침을 이용하여 챔버의 축방향을 따라 위치에 따른 전자온도 T_e 와 전자밀도 N_e 의 공간분포를 실험적으로 구하였다.

Abstract—An ECR plasma apparatus is designed and constructed. The gradient of magnetic field in microwave cavity was adjusted to provide an ECR plasma stream by electro magnetic lenz system. Employing a yoke around the electro magnets, the magnetic field intensity was increased by 50% with the same electric current. Characteristics of the ECR plasma discharged in the apparatus were investigated by Langmuir probe method. The variations of electron temperature and electron density along chamber axis were analysed.

Keywords: ECR plasma, electro magnetic lenz system, plasma diagnostics

1. 서 론

반도체 집적회로의 제작과정에서 플라즈마를 사용하는 공정은 소자의 고성능화에 중요한 기술로 발전하고 있다[1]. 플라즈마를 이용하면 가스분자의 분해라든가 이온화에서 고활성 상태를 쉽게 얻을 수 있어서, 이 특징을 에칭이나 박막형성에 사용하면 일반적인 화학반응으로는 얻기 힘든 가공처리도 저온에서 실현 가능한 때문이다[2]. 특히, 자기장과 마이크로파를 사용하는 전자 싸이클로트론 공명(Electron Cyclotron Resonance, ECR)현상을 이용한 플라즈마 생성 방법은 낮은 가스 압력과 높은 이온화율의 특징을 갖고 있어 앞으로의 플라즈마 응용기술로 주

목받고 있다.

ECR에 의해 발생된 플라즈마를 반도체 공정에 응용하려면 자기장에 기울기를 주어 생성된 플라즈마가 처리하려는 기판 위로 흐르게 하고 기판의 표면과 플라즈마간의 상호작용에 의해 얻고자 하는 반응을 만들어 가공하게 된다[4]. 반도체 웨이퍼의 대구경화 추세에 따라 6~8인치의 웨이퍼를 ECR 플라즈마를 사용하여 가공하려면 300~500 cm²의 면적에 대해 고밀도의 균일한 ECR 플라즈마를 형성시키는 것이 필요하다[5, 6]. 이는 대구경 웨이퍼에 대한 플라즈마 가공 처리의 균일성 뿐 아니라 웨이퍼 면에 대한 이온의 입사각이 수직이 되도록 하기 위한 고정밀도의 제어를 요구한다. 이를 위하여 자기장의 공간분포

구성과 발산자기장의 기울기를 조절하여 이온의 수직 입사 조건과 플라즈마의 균일성을 조정하는 일에 대한 많은 실험과 경험이 요구된다.

본 연구에서는 ECR 장치를 설계 제작하고, 이 장치로 만든 ECR 플라즈마의 특성을 살펴보았다.

2. 장치의 설계 및 제작

낮은 압력의 가스를 플라즈마 챔버 안으로 흘려 넣으면서, 자기장을 걸고 마이크로파를 입사시키면 플라즈마가 생성된다. 플라즈마중의 전자는 자기장에 의해 로렌츠 힘을 받아 자기력선 주위의 원운동을 하게 된다[7]. 전자가 자기장 B 속에서 원운동하는 각진동수를 전자 사이클로트론 진동수 ω_{ce} 라 하고, 전자의 질량을 m_e , 전자의 전하량을 e 로 쓰면

$$\omega_{ce} = \frac{eB}{m_e}$$

로 주어진다. 전자 사이클로트론 각진동수 ω_{ce} 와 마이크로파의 각진동수 ω 가 일치하도록 자기장의 세기를 조정해 주면 공명현상이 생겨 마이크로파의 에너지가 전자의 운동에너지로 효율적으로 변환된다. 이 현상을 전자 사이클로트론 공명(ECR)이라 하고, 공명이 일어나는 공간을 ECR 영역이라 한다[3]. 에너지를 얻은 전자와 충돌한 가스분자는 전리되며 ECR 영역에서 높은 밀도의 플라즈마가 형성된다. ECR 영역에서 발생된 플라즈마는 자기장의 기울기를 따라

자기장이 발산하는 방향으로 가속된다. 원하는 ECR 플라즈마의 흐름을 얻으려면 진공챔버의 전체 영역에서 자기장의 기울기를 조작할 수 있는 전자석계의 설계를 필요로 한다.

앞에서 살펴본 ECR 플라즈마의 특성을 고려하여 장치를 설계하였다. ECR 플라즈마 장치는 1) 플라즈마 반응실, 2) 마이크로파 발생회로, 3) 전자석계의 3개 부분으로 나뉘어진다. 장치의 구성을 Fig. 1에 나타내었다.

2.1. 플라즈마 반응실

ECR 플라즈마 진공챔버는 마이크로파를 진공챔버 속으로 효율적으로 받아들이기 위한 마이크로파 캐비티와 캐비티에서 발생된 플라즈마가 유입되는 플라즈마 반응실로 구성된다. 마이크로파 캐비티는 지름 76 mm, 높이 70 mm의 원통형으로 한쪽 끝에는 마이크로파를 입사시키기 위한 석영유리 시창이 있고, 다른 끝은 반응실과 연결되어 있다. 캐비티 둘레에는 전자석 코일이 설치되어 캐비티 내부에 자기장을 형성한다. 가스는 아르곤을 사용하였고, 최대 유량이 10 sccm인 유량 조절기(MFC)를 거쳐 반응실 안으로 조절된 양을 흘려 넣었다. 캐비티 아래에 위치한 반응실은 지름 152 mm 높이 255 mm의 원통형으로 캐비티와 같은 축상에 놓여있다.

진공용기는 SUS-304로 제작하였고 시창, 전극설치, 진공배기 및 가스 주입, 진단 등을 위하여 12개의 크고 작은 플랜지를 설치하였다. 내부 관찰을 위한 직경

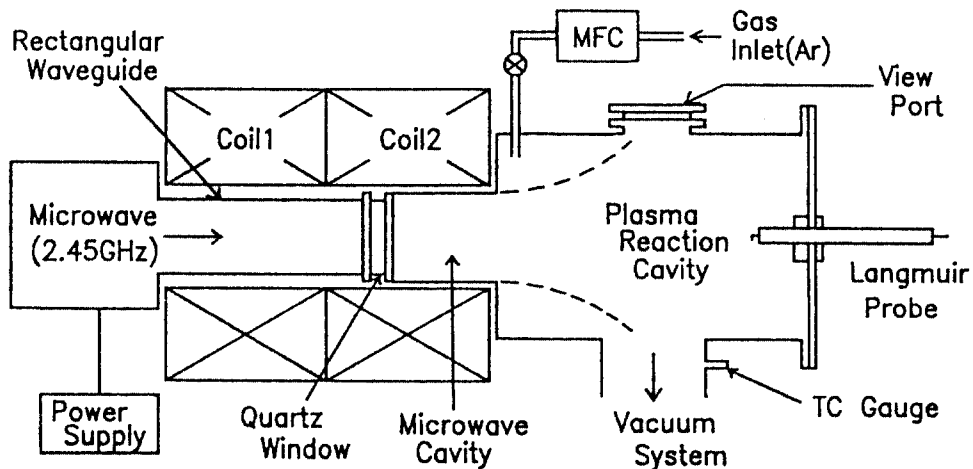


Fig. 1. Schematic diagram of the ECR plasma apparatus.

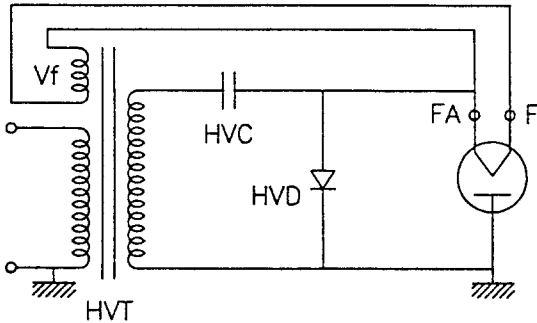


Fig. 2. Electric circuit for magnetron.

9 cm의 시창에는 마이크로파가 새어나오지 않도록 0.5 mm 간격의 스텐레스 철망을 설치하였다. 탐침은 캐비티 축을 따라 이동하면서 측정이 가능하도록 하였다.

진공 배기계는 배기속도 600 l/min의 유화산 펌프와 배기속도 180 l/min의 회전펌프로 구성하였다. 챔버 내의 진공은 10^{-6} Torr까지 떨어 뜨렸다가 가스를 주입시켜 10^{-4} Torr부터 10^{-1} Torr 사이의 압력에서 플라즈마를 발생시켰다.

2.2. 마이크로파 발생회로

2.45 GHz 마이크로파 발생에는 Toshiba 2M172 모델의 마그네트론을 사용하였으며, Fig. 2에 마그네트론을 동작시키기 위해 사용한 전기회로를 나타내었다 [8]. 입력전압은 220 V이고 1 : 10의 고압 트랜스와 고압 콘덴서, 고압 다이오드를 거쳐 단상의 반파 정류를 얻는다. 이 회로는 배전압 효과를 가지므로 마그네트론 양극에는 피크 전압 4 kV가 걸린다.

마그네트론에서 발생한 2.45 GHz의 마이크로파를 캐비티로 전송하기 위한 도파관은 TE₁₀모드가 지배 모드(dominant mode)인 EIA(Electronic Industry Association)의 WR 284 표준 사각형 도파관 규격을 따랐다[9]. 이 도파관 내의 관내파장 λ_g 의 1/4 지점에 마그네트론의 안테나를 삽입시켜 반사되는 파가 영향을 미치지 않도록 고려하였다.

마이크로파 캐비티에 입사되는 마이크로파의 출력에 따라 플라즈마 밀도가 달라진다[10]. 따라서 안정한 플라즈마를 얻으려면 마이크로파의 출력이 일정하도록 조절해 주어야 한다. 본 장치에서는 Fig. 2의 고압 콘덴서 용량을 조절하여 마이크로파의 출력을 제어하였다. Fig. 3은 콘덴서 용량에 따른 출력 변화의

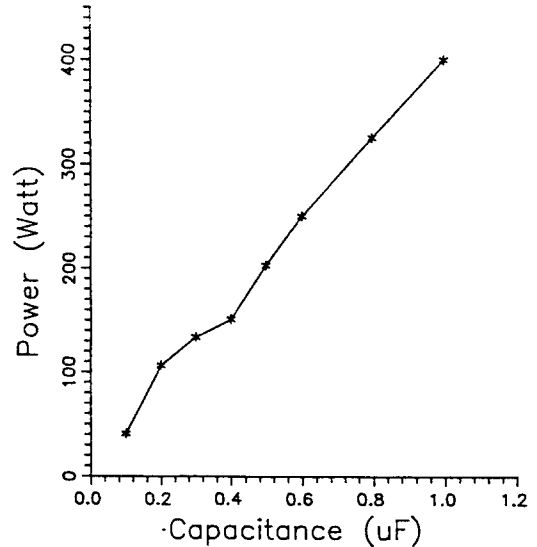


Fig. 3. Microwave power vs. capacitance.

그래프이다. 출력은 마이크로파에 의한 물의 가열로서 추정하였다. 즉, 출력 = MCT/t 로 쓸 수 있는데, M은 물의 질량, C는 물의 비열, T는 물의 온도차를 나타내고 t는 가열시간이다. 물의 온도측정에는 써미스터를 사용하였다.

2.3. 전자석계

ECR 조건이 되는 875 가우스 지점은 캐비티의 중심 근처에서 만족되며, 석영유리 시창으로부터 반응실 쪽으로 자기장의 세기가 단순 감소하는 발산 자기장을 이루어야 발생된 ECR 플라즈마가 반응실로 흐르게 된다. 이 조건을 만족하는 자기장을 얻기 위한 전자석계를 설계 제작하였다.

이와 같은 자기장은 두개의 전자석을 나란히 붙여 배열하고 각 전자석에 흐르는 전류를 따로 조절함으로써 얻을 수 있었다. 각 코일은 안지름 100 mm, 바깥지름 250 mm, 폭 110 mm의 원통형으로 지름 4.8 mm의 동파이프 19줄씩 12층으로 이루어져 있다. 이 동파이프 속으로 냉각수가 흐르도록 배관하였다. 두 코일에 각각 48 A를 흘려 주었을 때 최대 900 가우스의 자기장을 얻었다.

Fig. 4와 같은 요크를 사용하면 같은 전류로 자기장을 더 크게 할 수 있었다. 요크는 두께 10 mm의 연철로 제작하였으며 요크를 사용하여 측정된 자기장의 최대값은 요크가 없는 경우의 최대값보다 약 1.5

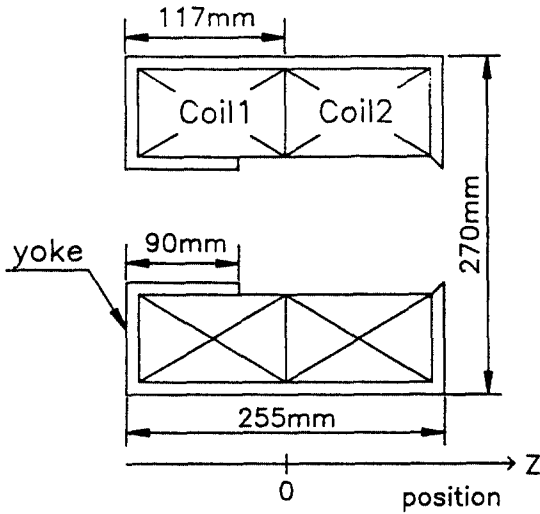


Fig. 4. Schematic diagram of the yoke.

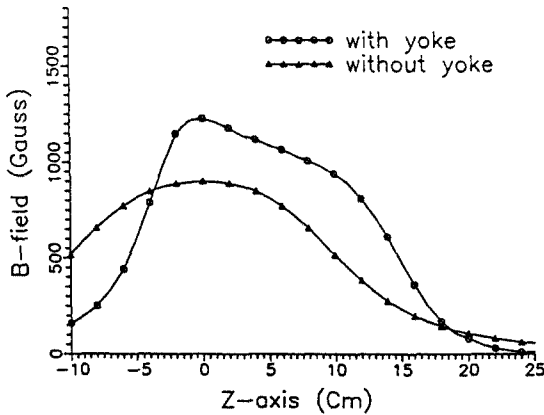


Fig. 5. Magnetic field intensity with or without yoke along cavity axis.

배의 증가를 보였다. Fig. 5에 요크를 설치했을 때와 설치하지 않았을 때 두 코일에 의한 캐비티 내의 자기장 분포를 비교하여 나타내었다.

3. 제작된 장치의 특성조사

제작된 ECR 플라즈마 장치에서 발생된 플라즈마는 시창을 통해 맨눈으로 보았을 때 안정된 푸른 빛으로 관찰되었다. 반응실의 시창에 포토 다이오드를 설치하고 플라즈마의 밝기를 포토 다이오드의 출력전압으로 바꾸어 오실로스코프의 화면에서 관찰하였다.

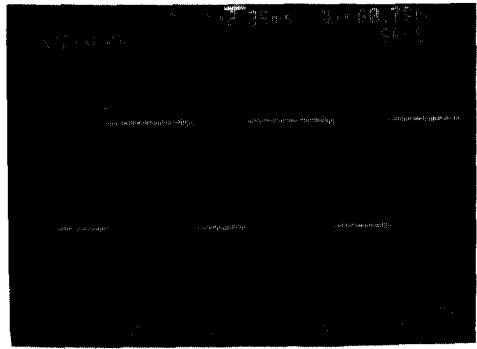


Fig. 6. Photodiode out-output of the ECR plasma luminosity.

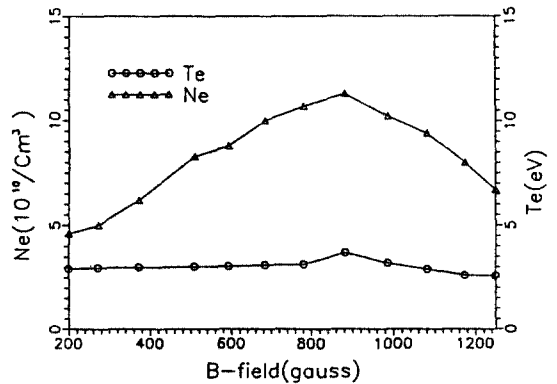


Fig. 7. Electron density and electron temperature along cavity axis.

Fig. 6은 오실로스코프의 화면 사진인데 60 Hz의 주기로 깜박거림을 보여준다. 이는 본 장치에서 사용한 마그네트론 전원이 60 Hz 입력전원에서 반파정류되었기 때문이다.

플라즈마의 밀도와 온도를 알아보기 위해서 랑뮈르 탐침을 캐비티의 축을 따라 이동하면서 각 지점에서 전류-전압 특성곡선을 작성하였다. 아르곤 가스의 압력을 10⁻³ Torr, 마이크로파 출력을 300 W, 전자석계의 두 코일에 흐르는 전류를 각각 40 A로 고정시켰을 때 위치에 따른 전자 밀도와 전자 온도의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 전자 온도는 캐비티 축 상에서 약 3 eV의 거의 균일한 분포를 보였으며 전자 밀도는 875 가우스 근처에서 10¹¹/cm³의 최대값을 나타내었다.

본 실험에서 제작된 ECR 플라즈마 장치에서 1) 가스압력, 2) 진공 챔버 전영역에서 자기장의 세기와

기술기의 분포, 3) 마이크로파 출력 등이 변화되었을 때, 플라즈마 밀도 및 온도의 공간 분포에 어떤 영향을 가져 오는가를 살펴보는 일은 앞으로의 과제로 남아 있다.

4. 결 론

ECR 플라즈마의 흐름을 얻기 위한 자기장의 기술기는 두 개의 전자석을 나란히 붙여 배열하고 각 전자석에 흐르는 전류를 따로 조절함으로써 얻을 수 있었다. 10 mm 두께의 연철 요크를 사용하여 같은 전류로 자기장의 세기를 1.5배 증가시킬 수 있었다. 마그네트론에 60 Hz의 반파 정류된 전압을 사용한 결과 발생된 플라즈마의 밝기도 60 Hz 주기의 깜박 거림을 나타내었다. 마이크로파 출력을 300 W, 아르곤 가스 압력을 10^{-3} Torr로 고정시켰을 때, 발생된 플라즈마는 캐비티 축상에서 약 3 eV의 거의 균일한 전자 온도 분포를 보였으며 전자 밀도는 875 가우스 근처에서 $10^{11}/\text{cm}^3$ 의 최대값을 나타내었다.

감 사

본 연구를 위해 많은 조언과 도움을 주신 서울대학교 원자핵공학과 정기형 교수님과 장비의 제작을 지원해 주신 (주)대우통신에 깊이 감사드립니다.

본 연구는 1991~1992년도 아주대학교 교비 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. J. W. Coburn, R. A. Gottscho, D. W. Hess, *Plasma Processing*(Materials Research Society, Pennsylvania, 1986) Part I.
2. Herman V. Boeing, *Fundamentals of Plasma Chemistry and Technology*(Technomic Publishing Company, Inc., Pennsylvania, 1988) Chap. 8.
3. John Asmussen, J. Vac. Sci. Technol., **A7**, 883 (1989).
4. Morito Matsuoka, Kenichi Ono, Appl. Phys. Lett., **50**(26), 29 (1987).
5. Seiji Samukawa, Sumio Mori, Masami Sasaki, J. Vac. Sci. Technol., **A9**(1), Jan/Feb 85 (1991).
6. J. Hopwood, D. K. Reinhard, J. Asmussen, J. Vac. Sci. Technol. **B6**(6), Nov/Dec 1896 (1988).
7. Martin A. Uman, *Introduction to Plasma Physics* (McGraw-Hill, New York, 1970) Chap. 5.
8. Toshiba Engineer's Manual of Microwave Oven (1983).
9. Samuel Y. Liao, *Microwave Devices and Circuits* 2nd Ed.(Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1985) Chap. 4.
10. Kouun Shirai, Takashi Iizuka, Shun-ichi Gonda, Japanese Journal of Applied Physics, **Vol. 28, No. 5**, 897-902 (1989).