

Compact ECR plasma 장치의 제작 및 특성 연구

(Study on the Fabrication and Characterization of Compact ECR Plasma System)

尹敏熙*, 朴源一**, 南基錫*, 李起芳***

(Min Kee Yun, Won Il Park, Kee Suk Nahm and Kee Bang Lee)

要約

μ -파(2.45GHz, 500W) 발진기와 한개의 자장유도 코일(coil)로 된 compact ECR plasma 장치를 제작하고, 그 plasma 특성을 Langmuir 단탐침을 이용하여 I-V 특성 실험으로 조사하였다. 제작된 plasma 장치의 효능을 CF₄/O₂(30%) 기체에 의한 Si의 식각에 적용하여 조사하였다. 전자밀도와 식각율은 압력이 증가함에 따라 증가하다가 다시 감소하였으나, 전자온도는 이와 반대의 경향을 보였다. $3 \times 10^{-4} \sim 0.05$ Torr의 압력 범위에서 Ar plasma의 전자밀도는 $0.85 \times 10^{10} \sim 5.5 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$ 였으며, 전자온도는 4.5 ~ 6.0eV였다. 식각율은 공간관 출구로부터 2.5cm되는 위치에서 최대를 보였으며 $\pm 6\%$ 의 균일성을 보였다. 1.5×10^{-4} Torr의 식각압력에서 이방성지수는 0.75였다.

Abstract

A compact electron cyclotron resonance(ECR) plasma system composed of a microwave generator and a magnet coil was fabricated. A Langmuir single probe was used to investigate the plasma characteristics of the system through I-V measurements. The performance of the compact ECR plasma system was tested for the case of silicon etching reaction with CF₄/O₂(30%) mixed gas. Electron density and etch rate increased to maximum values and then decreased with increasing argon gas pressure, but electron temperature changed in the opposite way. The electron density and the electron temperature of argon gas plasma were $0.85 \times 10^{10} \sim 5.5 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$ and 4.5 ~ 6.0 eV, respectively, in the pressure range from 3×10^{-4} to 0.05Torr. The etch rate reached a maximum value at the position of 2.5cm from the bottom of plasma cavity. Etch rate uniformity was $\pm 6\%$ across 6cm wafer. Anisotropic index was 0.75 at 1.5×10^{-4} Torr.

* 正會員, 全北大學校 工科大学 工業化學科
(Dept. of Chemical Technology, Chonbuk Nat'l Univ.)

** 正會員, 全州工業專門大學 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Jeonju Technical Junior College)

*** 正會員, 全北大學校 自然大學 物理學科
(Dept. of Physics, Chonbuk Nat'l Univ.)

※ 본 연구는 한국과학재단 지원 전북대학교 반도체물성연구센터(SPRC)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

接受日字 : 1993年 6月 7日

I. 서론

ECR plasma는 저압에서 오염이 없이 고 이온화율에 의한 고 밀도 plasma를 얻을 수 있다는 특성 때문에 정밀전자소자의 제조공정에 이용하는 경우 많은 장점이 있다.^{1,3)} 이러한 이유에서 지난 10년동안 반도체 제조공정에서 ECR plasma의 응용성이 연구되어 왔으며^{4,5)}, 최근 몇년 동안은 자장구배를 조절하여 uniform plasma를 얻어 큰 면적의 wafer를 처리할 수 있는 ECR plasma 장치를 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다.^{6,8)} 국내에서도 비교적 최근에 ECR plasma장치를 국산화 하고자 하는 노력이 학계와 연구소를 중심으로 진행되어 왔다.⁹⁾ 지금까지 보고된 ECR장치는 대부분이 대형이기 때문에 전자 cyclotron 공조용 자장유도 코일의 무게와 크기가 커질 뿐만 아니라 ECR plasma 조건인 10^{-3} Torr 이하의 진공압력을 얻기 위한 진공장치의 고급화에 의한 제작비가 많이 소요된다. 따라서 소규모의 시료를 이용하여 화학증착이나 식각을 연구하고자 하는 연구실에서는 그 이용에 많은 제한을 받고 있는 실정이다.

본 연구실에서는 개인 실험실에서 쉽게 저렴한 가격으로 제작하여 사용할 수 있는 실험실용 compact ECR plasma 장치를 설계 제작하였다. 제작된 ECR plasma 장치의 구조를 상술하는 한편, plasma의 장치의 특성을 I-V측정을 하여 조사하였다. 제작된 ECR plasma의 특성을 기존의 ECR plasma 특성과 비교하였다. 제작된 ECR plasma장치의 효능을 조사하기 위해 $CF_4+O_2(30\%)$ 기체에 의한 Si의 식각에 적용하여 식각특성을 식각시간, 식각압력 및 시료의 위치의 함수로 측정하였다.

II. Compact ECR plasma 장치 제작

그림 1에 compact ECR plasma 장치의 개략도를 보였다. ECR plasma 장치는 크게 나누어 ECR plasma source부, 반응부, 기체공급부 및 진공장치부의 4부분으로 나누어져 있다.

compact ECR plasma source는 μ -파 발전기, 도파관, 공진관으로 구성되어 있다. μ -파는 금성사 제품인 2.45GHz, 500W 전자렌지용 마그네트론(magnetron)을 이용하여 발생하였다.

발생된 μ -파는 가로 4.3cm, 세로 8.6cm, 길이 19.3cm의 스텐(stainless steel) 직각 도파관으로 유입되어 도파관 끝에 부착된 반사면에 의해 직각으로 반사되어 하향되도록 하였다.

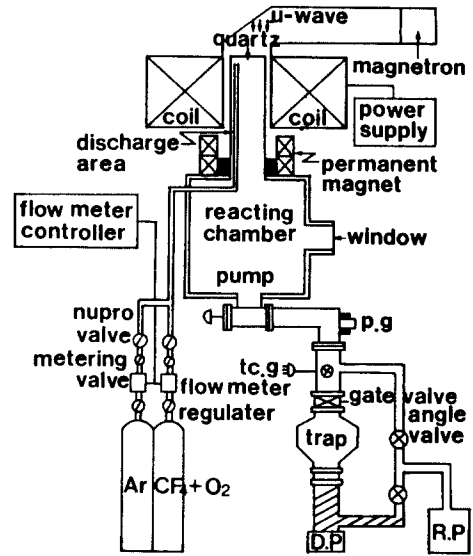


그림 1. ECR plasma장치의 개략도

Fig. 1. A schematic diagram of ECR plasma system.

하향 직각 도파관은 길이가 2cm인 동일 규격의 스텐 직각 도파관을 사용하였다. 공진관은 내경 2.5cm, 외경 3.0cm, 높이 18cm인 석영관(quartz tube)을 사용하였으며, 상단을 밀봉하여 하향 도파관에 수직으로 삽입하였다. 공진관 외각에는 직경 0.2cm의 동선을 감아 만든 한개의 원통형 코일을 설치하여 공진관으로 유입된 2.45GHz의 μ -파가 ECR 조건을 얻기 위하여 875 Gauss 이상의 자장을 발생시키도록 전류를 공급하였다. 이 코일은 내경이 5.0cm, 외경이 12cm, 높이가 14cm인 원통형 코일(무게 36kg)이었다. 원통형 코일 내부에는 외경이 0.63cm인 동관을 삽입하여 물을 순환시킬 수 있게하여 전류가 동선을 통해 흐를때 생성되는 열을 제거되게 하였다. 발전기에서 생성되어 직각도파관을 통해 원통형 공진관에 유입되는 μ -파의 mode는 TE₁₁₀이었다.

공진관의 하단에는 지름 20cm, 높이 12cm의 원통형 스텐 반응함이 설치되어 있다. 이 반응함의 전후면의 벽에 직경 5cm의 창을 설치하여 반응함 내부를 관찰할 수 있게 하였으며, 직경이 8cm인 문을 내어 시료의 유출이 가능하게 하였다.

식각실험에 사용한 기체는 질량유량조절기(mass flow controller, MKS 247C 4-channel control box and 1159B control head)를 이용하여 일정유량을 조절하여 반응함을 통하여 공진관 상부에서 공

급되었다. 진공장치는 현대 진공사에서 제작한 회전 펌프(300 l/min)와 확산펌프(150 l/sec)로 이루어져 있으며 장치내의 기초압력은 1×10^{-5} Torr까지 얻을 수 있었다. 장치내의 진공압력은 T.C gauge (Varian 802A)와 Penning gauge(Varian 860A)을 이용하여 측정하였다.

III. 자장분포도 및 plasma 특성 실험

1. 자장분포도

compact ECR plasma 장치를 제작한 후 공진관 외곽에 설치한 자장유도 코일에 직류전류를 흘렸을 때 공진관과 반응함 내부에 형성된 자장 분포도를 측정하여 그림2에 나타내었다. 그 결과 9~12A 영역의 전류가 공급될때 공진관 내에 형성된 자장분포는 ECR조건에 맞는 자장인 875G를 유지함을 알 수 있었다.

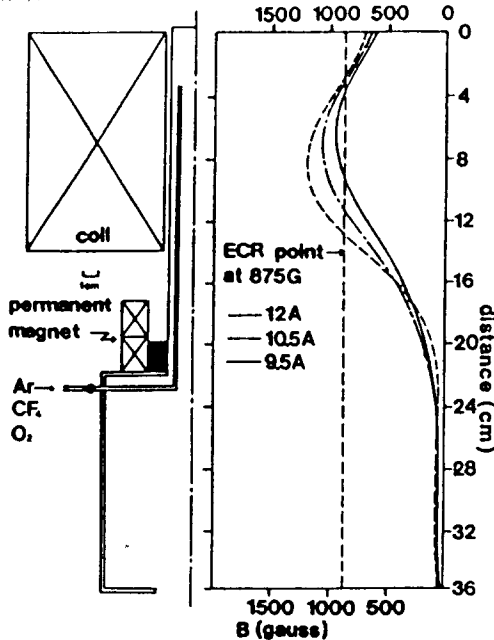


그림 2. Quartz 공진관과 반응함 내의 자장분포
Fig. 2. Distribution of magnetic field in quartz cavity and reacting chamber.

2. I-V 특성 실험

제작된 ECR system의 전기적 특성을 조사하기 위하여 Langmuir 단탐침을 사용하여 I-V 특성실험을 실온에서 행하였다. 사용한 탐침은 직경이 0.4cm 인 tungsten선을 길이 0.5cm만 노출시키고 나머지 부분은 ceramic관으로 shielding시킨 형태로 제작하

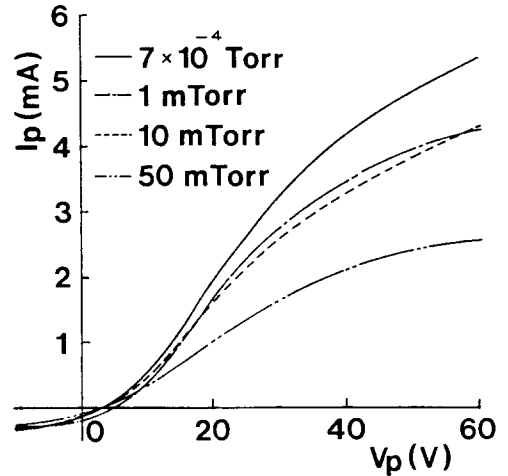


그림 3. 여러 Ar기체의 압력에서 전형적인 I-V곡선 (5SCCM, 10.5A)
Fig. 3. Typical I-V curves at various Ar gas pressure at 5SCCM and 10.5A.

였다. 이 단탐침의 끝이 공진관의 중간 위치에 오도록 수직으로 설치하였다. 특성실험에 사용한 기체는 Ar이었으며, 탐침에 공급한 전원의 영역은 -10V ~ +80V 였다. 탐침에 흐르는 전류와 이때 얻어진 전압을 X-Y기록기(Rikadenki, kogyo)에 의해 기록하여 I-V곡선을 구하였다. 대표적인 I-V곡선을 10.5A, 5SCCM에서 반응함내의 압력을 $3.5 \times 10^{-4} \sim 0.05$ Torr 범위로 변화시키면서 측정하여 그림 3에 나타내었다. I-V특성실험은 자장전류를 10.5A로 일정히 유지하면서, Ar기체의 유량은 1~10SCCM의 범위에서, 그리고 기체의 압력은 $3.5 \times 10^{-4} \sim 0.05$ Torr 범위에서 수행하였다. I-V특성곡선에서 부터 전자온도와 전자밀도를 계산하여 그림4에 압력의 함수로서 표시하였다.

그림4에서 볼 수 있듯이 일정한 유량(5SCCM)을 유지하고 압력을 증가시키면서 실험한 결과 $3.5 \times 10^{-4} \sim 1.0 \times 10^{-3}$ Torr까지의 영역에서는 압력이 증가함에 따라 전자밀도는 증가하는 한편 전자온도는 감소하여 1.0×10^{-3} Torr에서 최대의 전자밀도와 최소의 전자온도를 보이나 그 이상의 압력에서는 전자밀도는 감소하는 반면 전자온도는 다시 증가하였다. 일반적으로 일정한 유량에서 공진관 안의 분자의 갯수는 압력이 증가함에 따라서 증가하며, 또한 체류시간이 증가하여 이온화율이 증가하여 전자밀도가 증가하나 분자의 자유경로는 짧아져서 전자온도는 감소한다. 이에 반하여 압력이 너무 높으면 공진관 안에

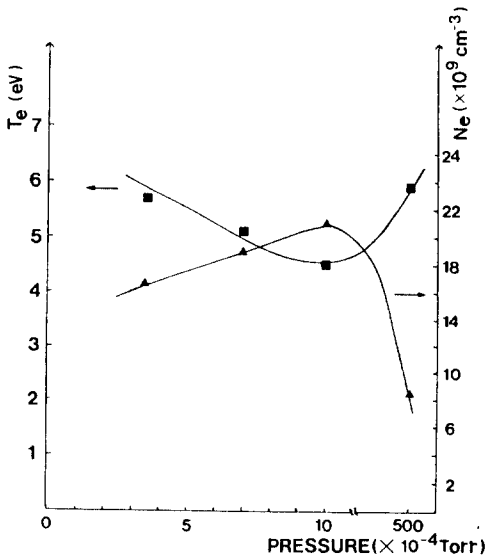


그림 4. Ar기체의 압력변화에 따른 전자온도와 전자밀도(5SCCM, 10.5A)

Fig. 4. Electron temperature and electron density as a function of Ar gas.

서의 체류시간이나 분자의 갯수는 충분히 높으나 분자의 자유경로가 너무 짧아져서 ECR 효과가 없어서 전자밀도가 급격히 떨어지면서 전자온도는 다시 증가하는 것으로 생각된다. 이와 같은 결과는 각 실험조건은 다르지만 Sakamoto^[12], Tohinaga^[4] 및 송^[9] 등이 보고한 결과와 같은 경향을 보인다.

plasma 발생 시간을 조사한 결과 제작된 compact ECR plasma source는 자장유도 전류 10.5A, 유량 5SCCM, 압력 7.0×10^{-4} Torr에서 전자온도 5.2eV와 전자밀도 1.89×10^{10} cm³을 유지하면서 40분간 안정된 plasma를 발생시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

이상의 특성실험의 결과로 부터 제작된 compact ECR plasma의 전자밀도는 10×10^{10} cm³의 크기로 Matsuoka 등^[14]이 7.5×10^{-4} Torr의 압력에서 얻은 전자밀도의 범위에 속하는 크기이나, 이값은 기존에 보고된 ECR plasma의 전자밀도($10^{10} \sim 10^{12}$ cm³)에서 낮은 값에 속한다. 이는 공진관으로 전달된 μ -파의 전달효율이 낮기 때문에 기인한 것으로 생각된다.

IV. Compact ECR plasma 장치에 의한 Si 식각 실험

제작된 compact ECR plasma 장치의 효능을 확

인하기 위해 Si의 식각반응에 적용하여 그 특성을 실험적으로 조사하였다. 식각실험에 사용한 반응기체는 $CF_4+O_2(30\%)$ 였고 Si 시료는 p-Si(100) (2~7 Ω cm)와 n-Si(100) (3~5 Ω cm)이었다. 시료 표면에 흡착된 불순물을 제거하기 위해 trichloroethylene, acetone, methanol, 증류수의 순서로 5분씩 초음파 세척한 후 HF와 증류수로 처리하였다. 이 시료를 회전장치(spinner)위에 올려놓고 한 두 방울의 레지스터(positive register, Az-1350J)를 떨어 뜨린 후 회전장치를 작동하여 고르게 입힌다. 레지스터를 입힌 시료를 건조기에서 100 $^{\circ}$ C로 4분 30초간 굽는다. 이 시료에 1 ~ 3 μ m의 선폭이 새겨진 mask를 덮고 UV lamp로부터 40cm 떨어진 거리에서 30초간 노출시킨다. 이렇게 노출된 시료를 0.5% NaOH용액으로 처리하여 시료 표면에 1 ~ 3 μ m의 선폭을 만든다. 현상된 시료를 1 cm X 1 cm의 크기로 자르고 건조기에서 100 $^{\circ}$ C로 5분간 건조시킨 후 실험에 사용한다. 제작된 시료는 반응함의 창을 통하여 시료 받침대 위에 올려 놓고, 기본 진공도인 1×10^{-5} Torr로 유지하여 반응함 내에 존재하는 불순기체를 제거한 후 기체를 질량유량조절기를 이용하여 반응유량으로 조절하고 진공 valve를 조절하여 반응압력으로 유지한다. 코일에 미리 냉각수를 충분히 흘리면서 전류를 공급하여, 자장을 발생시키면서, μ -파 발진기를 작동하여 공진기내에 plasma를 형성하여 실험을 시작한다. 실험이 끝나면 코일과 발진기의 전원을 끈 후 Ar기체를 반응함내로 purge해서 장치내의 압력을 대기압으로 만들어 시료를 꺼낸다. 식각된 Si 웨이퍼는 SEM(scanning electron microscopy)을 이용하여 웨이퍼의 절단면을 조사하여 식각율과 식각된 형상을 관찰하였다. 본 실험은 실온에서 수행하였다.

1. 식각시간의 영향

식각시간에 따른 식각율의 변화를 관찰하기 위해 식각깊이를 식각시간에 따라 측정하였다. CF_4 의 유량은 5SCCM이었고 반응함 내의 압력은 5×10^{-3} Torr로 일정히 유지하고 공진관 출구로부터 2.5cm 되는 위치에서 반응시간을 10분에서 40분까지 변화시키면서 Si의 식각깊이를 측정하여 그림 5에 도시하였다. 그 결과 식각깊이는 반응시간에 따라 거의 직선적으로 증가하여 식각율이 식각시간에 관계 없이 일정함을 알 수 있었으며, 40분간 식각한 시료의 평균식각율은 673A/min였다. 이처럼 식각깊이가 시간과 선형적인 관계를 갖는 것은 Matsuo가 보고한 Si의 ECR plasma 식각의 결과와 잘 일치한다.^[14] 따라서 본 실험에서는 특별한 언급이 없는한 20분동안 식

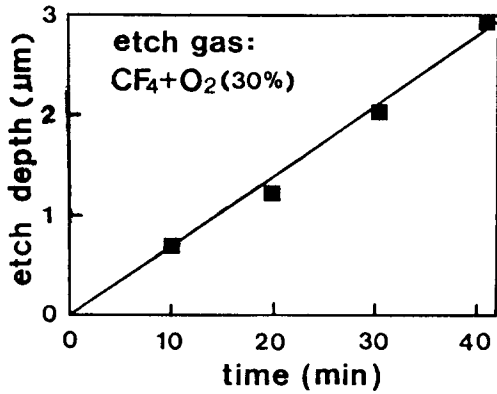


그림 5. 식각시간에 따른 CF₄/O₂(30%)혼합기체에 의한 Si의 식각깊이(5 SCCM, 5x10⁻³Torr)

Fig. 5. Etch depth of silicon in CF₄/O₂(30%) mixed gas as a function of etching time at 5 SCCM and 5x10⁻³Torr.

각한 후 식각깊이를 식각시간으로 나누어 식각율을 구하여 식각반응 결과의 해석에 이용하였다.

2. 공진관 출구로부터 시료의 높이의 영향

공진관 출구로부터 반응함의 시료 위치 까지의 수직거리에 따른 식각율의 변화를 측정하기 위하여 5SCCM, 5 X 10⁻³Torr에서 p-Si(100)과 n-Si(100)의 식각실험을 하여 그림 6에 나타내었다. 그 결과 공진관 출구에서 부터 2.5cm인 위치에 식각율이 624 Å/min와 578 Å/min로 최대를 보이고 이 이외

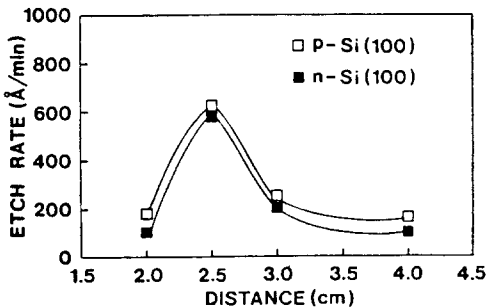


그림 6. 공진관의 출구로부터 시료의 위치에 따른 CF₄/O₂(30%)혼합기체에 의한 Si의 식각율(5 SCCM, 5x10⁻³Torr)

Fig. 6. Etch rate of silicon in CF₄/O₂(30%) mixed gas as a fuction of sample position from the bottom of cavity at 5SCCM and 5x10⁻³Torr.

의 다른 위치에서는 식각율이 현저하게 감소하는 특성을 나타내었다. 2.5cm 이상의 위치에서 식각율이 거리에 비례하여 감소하는데, 이는 공진관 출구에서 부터 시료의 위치가 멀어 짐에 따라 반응성 성분이 재 결합하여 그 농도가 감소하기 때문에 식각율이 감소하는 것으로 생각된다. 이에 반하여 2cm 되는 위치에서 식각율이 낮은 이유는 반응성 성분의 농도는 높으나 수직방향으로의 속도가 반경방향으로의 회전 속도 보다 훨씬 약하여 식각율이 낮게 유지되는 것으로 생각된다.

3. 식각의 균일성

식각반응의 균일성을 조사하기 위해 공진관의 동심축에 수직인 방향으로 출구로부터 2.5cm 거리에 p-Si(100) wafer를 올려 놓고 5SCCM, 5 X 10⁻³Torr에서 식각실험을 행하였다. 그 결과 그림 7에 보인 것처럼 중앙에서 좌우로 6cm의 거리 까지 아주 균일하게 약 684 Å/min 정도의 식각율을 나타내었으며, ± 6% 정도의 균일성을 갖고 식각이 진행됨을 보이고 있어 Tokahashi등¹⁵⁾이 보고한 것처럼 상당히 균일한 plasma가 흐르고 있음을 알 수 있었다.

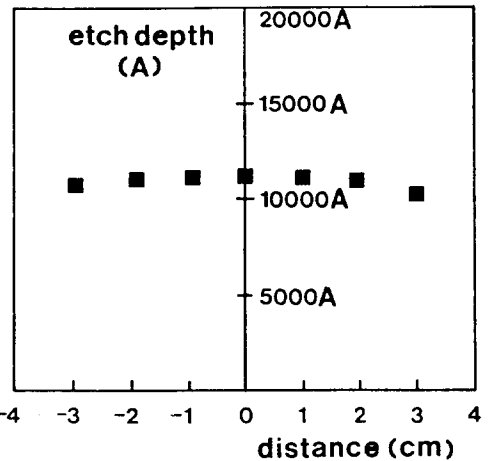


그림 7. 식각율의 균일성(5 SCCM, 5x10⁻³Torr)

Fig. 7. Etch rate uniformity under various substrate holder spacings at 5SCCM and 5x10⁻³Torr.

4. 식각압력의 영향

RF plasma 식각에서와는 달리 ECR plasma 식각에서는 식각 반응함의 압력에 따라 식각된 결과가 크게 다르다고 보고되어 있다.¹⁶⁾ 식각압력이 식각반

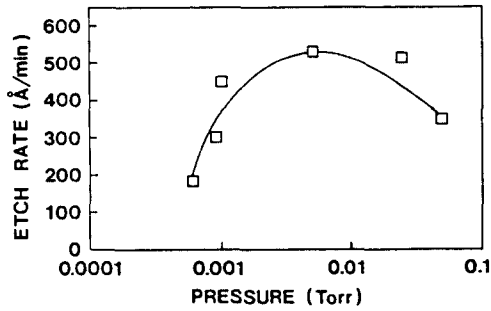


그림 8. $CF_4/O_2(30\%)$ 혼합기체의 압력에 따른 Si의 식각율(5 SCCM)

Fig. 8. Etch rate of silicon as a function of $CF_4/O_2(30\%)$ mixed gas pressure at 5 SCCM.

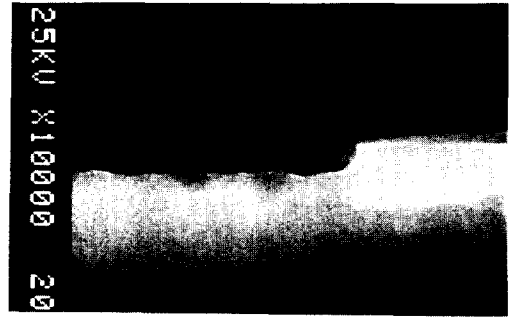
응에 어떠한 영향을 미치는지를 관찰하기 위해 $CF_4+O_2(30\%)$ 의 유량을 5 SCCM으로 일정히 유지하면서 반응함 내의 압력을 6×10^{-1} , 9×10^{-1} , 1×10^0 , 5×10^0 , 2.5×10^1 및 5×10^2 Torr로 변화시키면서 각 압력에서의 식각율을 측정하여 그림 8에 나타내었다.

그 결과 식각압력이 증가함에 따라 식각율이 점차 증가하다가 5×10^0 Torr 근처에서 극대점을 보이고 그 이상의 압력에서는 압력에 따라 감소함을 볼 수가 있었다. 이 결과는 I-V 특성 실험 결과와 연관하여 설명할 수 있다.

ECR plasma 식각에서는 반응함내의 plasma 밀도, 전자온도, 반응기체의 체류시간에 따라 식각율이 크게 영향을 받는다. 일정 유량에서 반응함 안의 분자의 갯수는 압력이 증가함에 따라서 증가하며, 또한 체류시간이 증가하여 반응활성종의 생성량이 증가하여 식각율이 증가하나, 높은 압력에서는 반응함 내의 체류시간이나 분자의 갯수는 증가하나 분자의 평균자유경로(mean free path)가 급격히 짧아져서 ECR plasma의 효과가 줄어 반응활성종의 생성량이 감소하기 때문에 식각율이 감소하는 것으로 생각된다.

5. 식각각도

식각압력이 식각각도에 미치는 영향을 조사하기 위해 1.5×10^{-4} Torr과 0.025 Torr에서 10분간 식각된 Si 웨이퍼의 절단면을 SEM 분석하여 그림 9에 나타내었다. 그림에서 부터 계산된 이방성지수는 0.75였다. 이는 완전한 이방성식각지수 1에는 미흡하나, 압력 1.5×10^{-4} Torr 분위기에서 상당히 좋은 이방성식각 형태를 얻을 수 있음을 시사 하였다.



(a)



(b)

그림 9. 식각된 Si의 식각각도의 SEM 사진(5SCCM, (a) 1.5×10^{-4} Torr, (b) 2.5×10^{-3} Torr)

Fig. 9. SEM photographs of the etching profile of silicon etched at 5 SCCM and (a) 1.5×10^{-4} Torr, (b) 2.5×10^{-3} Torr).

V. 결론

한개로 된 자장유도 코일내의 공진관과 μ -파(2.45GHz, 500W) 발진기로 된 compact plasma source (beam 직경 2.5cm)를 제작하였다. 이 compact plasma source를 사용하여 만든 ECR장치는 150 l/sec인 확산펌프와 300 l/min인 회전펌프에 의해 공진관과 반응함(체적 3.8 l)의 기본진공도를 1×10^{-5} Torr로 유지할 수 있었다. 또한 자장유도 코일에 전류를 10.5A를 흘렸을 때 공진관에 ECR조건이 되는 875G를 얻을 수 있었다.

Ar기체에 의한 I-V특성 실험 으로부터 얻은 결과에 의하면 압력의 영역 $3 \times 10^{-4} \sim 0.05$ Torr 내에서 전자밀도는 $0.85 \times 10^{10} \sim 5.5 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$ 이고

전자온도는 4.5 ~ 6.0eV였다. 이 결과를 일반적으로 사용되고 있는 ECR의 전자밀도($10^{10} \sim 10^{12} \text{cm}^{-3}$)에 비교하여 보면, 본 연구에서 제작한 compact ECR plasma 장치는 일반적으로 통용되는 ECR plasma 장치의 특성을 갖고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 자장유도 전류가 10.5A일 때 40분간 안정된 plasma를 발생시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

$\text{CF}_4+\text{O}_2(30\%)$ 의 식각기체에 의한 Si의 식각 실험으로 부터 얻은 결과는 식각깊이가 식각시간의 변화에 따라 선형적으로 변화되며, 40분간 식각한 시료의 평균식각율은 673Å/min였다.

공진관 출구로부터 2.5cm인 위치에서 Si를 식각할 때 식각율은 가장 높은 624Å/min를 보였으며, 직경이 6cm인 Si wafer에서 식각 균일성을 조사한 결과 $\pm 6\%$ 의 균일성을 갖고 식각이 이루어 짐을 관찰할 수 있었다.

이상의 결과로 부터 본 연구에서 제작한 compact ECR plasma장치는 반도체의 화학증착 및 건식식각에 적용할 수 있는 특성을 보이며, 이 장치는 소형이어서 개인 연구실에서 저렴한 비용으로 쉽게 제작이 가능함을 확인할 수 있었다.

參考文獻

- [1] D.A.Carl and D.W.Hess, "Oxidation of silicon in electron cyclotron resonance oxygen plasma", *J. Vac.Sci.Tech.*, A8 (3), 2924(1990).
- [2] S. Y. Shapoval, V. T. Petrashov, O. A. Popov, M. D. Yoder Jr., P. D. Macial and C. K. C. Lok, "Electron cyclotron resonance plasma chemical vapor deposition of large area uniform silicon nitride films", *J. Vac.Sci. Tech.*, A9(6), 3071 (1991).
- [3] S. Samubawa, M. Sasaki and Y. Sujuki, "Extremely high selective, highly anisotropic, and high rate electron cyclotron resonance plasma etching for n+ poly-Si at the electron cyclotron resonance position", *J. Vac.Sci. Tech.*, B8(6), 1192(1990).
- [4] Y. Tobinaga, N. Mayashi, H. Araki and S. Nakayama, "Anisotropic of low-energy ion etching via electron cyclotron resonance plasma", *J. Vac.Sci. Tech.*, B6(1), 272(1988).
- [5] J. Asmussen, "Electron cyclotron resonance microwave discharges for etching and thin film deposition", *J. Vac.Sci. Tech.*, A7(3), 883(1989).
- [6] N. Fujiwara, H. Sawai, M. Yoneda, K. Nishioka, K. Horie, K. Nakamoto and H. Abe, "High performance electron cyclotron resonance plasma etching with control of magnetic field gradient", *Japn. J. Appl. phys.*, 30(11B) 3142(1991).
- [7] S. Samukawa and T. Nakamura, "Dependence of electron cyclotron resonance plasma characteristics on magnetic field profiles", *Japn. J. Appl. phys.*, 30(11B), 3147(1991).
- [8] G. Fortuno-Wiltshire, "Etch characterization of electron cyclotron resonance process reacting chamber", *J. Vac.Sci. Tech.*, A9(4), 2356(1991).
- [9] 송선규, 장홍엽, 최덕인, 장충석, "ECR에 의해서 생성된 플라즈마의 특성조사", 한국물리학회 "응용물리", 3(2), 171(1990).
- [10] 박원일, 송재준, 이상목, 이기방, "ECR Plasma Etching System 제작 및 그 특성", 한국물리학회 "응용물리", 4(3), 340 (1991).
- [11] K. W. Whang, S. H. Lee and H. J. Lee, "Cryogenic electron cyclotron resonance plasma etching", *J. Vac.Sci. Tech.*, A10 (4), 1307(1992).
- [12] Y. Sakamoto, "Measurement of power transfer efficiency from microwave field to plasma under ECR condition", *Japn. J. Appl. phys.*, 16(11), 1993(1977).
- [13] M. Matsuoka and K. Ono, "Magnetic field gradient effects on ion energy for electron cyclotron resonance microwave plasma stream", *J. Vac.Sci. Tech.*, A6 (1), 25(1978).
- [14] S. Matsuo, "Etching characteristics of various materials by plasma reactive sputter etching", *Japn. J. Appl. phys.*, 17(1), 235(1978).
- [15] C. Takahashi, M. Kiuchi, T. Ono and S.

Matsuo, "An electron cyclotron resonance plasma deposition technique employing magnetron mode sputtering", *J. Vac. Sci. Tech.*, A6(4), 2348(1988).

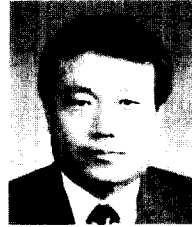
[16] K.Suzuki, S.Okudaira, N.Sakudo and I.Kanomato, "Microwave plasma etching", *Japn.J. Appl.phys.*, 16(11), 1979(1977).

著者紹介



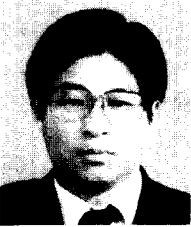
尹敏熙(正會員)

1968年 1月 1日生. 1992年 2月 전북대학교 공업화학과 졸업. 1992年 3月 ~ 현재 전북대학교 공업화학과 대학원 석사과정 재학중. 주관심 분야는 ECR plasma 을 이용한 실리콘의 식각 등임.



朴源一(正會員)

1944年 6月 28日生. 1968年 2月 공주사범대학 물리학과 졸업. 1976年 2月 고려대학교 물리교육과 석사. 1992年 8月 전북대학교 물리학과 이학박사. 1976年 ~ 현재 전주공업전문대학 전자공학과 교수. 주관심 분야는 ECR system 설계 및 그 응용 등임.



南基錫(正會員)

1952年 7月 25日生. 1976年 전북대학교 화학공학과 졸업. 1979年 서울대학교 화학공학과 공학석사. 1986年 서울대학교 화학공학과 공학박사. 1981年 ~ 1990年 서울산업대학 화학공학과 전임강사. 조교수. 1990年 ~ 현재 전북대학교 공업화학과 부교수. 주관심 분야는 실리콘의 화학식각 및 cleaning, ECR plasma 장치의 설계 및 식각공정 응용, 발광 다공성 실리콘의 생성 및 발광 mechanism, SiC박막 성장 등임.



李起芳(正會員)

1936年 12月 26日生. 1960年 전북대학교 물리학과 졸업. 1964年 전북대학교 물리학과 이학석사. 1966年 Forthham University 물리학과 이학석사. 1971年 Clarkson University 물리학과 이학박사. 1972年 ~ 현재 전북대학교 자연과학대학 물리학과 교수. 주관심 분야는 ECR plasma 제작, ECR plasma를 이용한 식각 및 유전체 박막 성장 등임.