

ECR plasma 식각장치에서 CF₄에 의한 Si의 식각반응에 관한 연구

윤민희 · 김종배 · 남기석 · 이상목* · 박원일* · 이기방*

전북대학교 공과대학 공업화학과

*전북대학교 자연대학 물리학과

(1992년 3월 9일 접수, 1993년 1월 30일 채택)

Study on the Etching Reaction of Silicon with Carbon Tetrafluoride in Electron Cyclotron Resonance Plasma Etching System

Min Hee Yun, Chong Bae Kim, Kee Suk Nahm, Sang Mok Lee*, Won Il Park* and Kee Bang Lee*

Dept. of Chemical Technology, Chonbuk National University

**Dept. of Physics, Chonbuk National University*

(Received 9 March 1992; accepted 30 January 1993)

요 약

ECR plasma 식각장치를 제작하여 CF₄에 의한 Si의 식각반응을 연구하였다. ECR plasma 식각장치의 식각특성을 조사하기 위해 p-Si(100)과 n-Si(100)의 식각속도를 식각시간, 식각압력, CF₄의 유량, O₂의 첨가량 및 식각온도를 변화시키면서 측정하여 해석하였다. 식각속도는 p-Si(100)와 n-Si(100)에 상관없이 거의 같은 속도를 보였으며, 식각압력과 CF₄의 유량이 증가함에 따라 증가하기는 하나 높은 압력에서는 Si 표면에 고분자 막이 형성되는 한편 유량이 높아지면 반응성성분이 배출되어 식각속도가 감소하였다. 균일한 식각속도를 보였으며, CF₄에 첨가한 O₂의 함량이 약 15%일 때 최대의 식각속도를 보였다. 낮은 압력에서는 이방성식각을 보였으나 높은 압력에서는 등방성식각을 얻었다.

Abstract—The etching reaction of silicon with CF₄ was studied in a home-made ECR(electron cyclotron resonance) plasma etching system. Experimental data for the etch rates of p-Si(100) and n-Si(100) were measured and analyzed with varying etch time, etching pressure, CF₄ flow rate, the partial pressure of O₂ and etching temperature to investigate the characteristics of the etching system. The etch rates were almost the same for both p- and n-type Si(100) and increased with the increases in etching pressure and CF₄ flow rate, while the etch rate decreased because polymer film was formed on the Si surface at high pressure and reactive species were pumped away at high flow rate of CF₄. The etch rate became maximum when the amount of O₂ added to CF₄ was about 15% and showed uniformity. The etching profile showed anisotropic etching at low pressure and isotropic etching at high pressure.

1. 서 론

VLSI(very large scale integrated circuit) 제조 공정에서 현재 가장 일반적으로 이용되고 있는 건식식각(dry

etching)은 고주파 방전(RF discharge)에 의해 생성된 plasma를 이용한 반응성 이온 식각(reactive ion etching)인데[1], 이 식각방법은 식각속도의 제어가 용이하고 이방성식각(anisotropic etching)을 얻을 수 있다는 장점이

있으나, 식각반응의 선택도가 낮으며 이온충격(ion bombardment)에 의한 웨어퍼(wafer)의 손상 때문에 열적 및 전기적 손상에 매우 민감한 정밀전자소자(microelectronic devices) 제조에는 이용하기가 어렵다[2]. 이에 반하여 자계안에서의 전자의 원 운동 주파수와 여기에 이용되는 μ -파(microwave)의 주파수를 일치시켜 공조 흡수에 의해 plasma를 생성하는 전자싸이크로트론공조(electron cyclotron resonance, ECR) plasma식각은 낮은 압력(10^{-3} - 10^{-6} Torr)에서도 저 이온에너지와 고밀도의 반응성기체 plasma를 생성하며, 전극을 이용하지 않으므로 전극재료에 의한 오염이 없다는 점, 그리고 식각 압력에 의해 이온 에너지를 조절할 수 있어서 이온충격에 의한 손상이 없이도 이방성식각을 얻을 수 있어서 기존의 plasma식각공정에 비교하여 우수한 특성을 갖고 있다[3-5].

ECR plasma 장치는 '70년대 후반에 일본 Hitachi사의 Suzuki 등에 의해 처음 개발되었으며, 이들은 제작한 ECR plasma 장치를 식각공정에 이용하여 이온충격이 없이도 식각반응기 내의 압력에 따라서 식각각도를 등방성에서 이방성까지 자유로이 조절할 수 있다고 보고하였다[6]. 그 후 ECR plasma 장치를 반도체박막의 증착 및 식각 공정에 이용하여 그 특성과 이용성에 관한 연구가 주로 '80년대에 수행되었다. 그 결과 자기장 구배의 퍼짐성 때문에 plasma가 방전영역에서 식각영역으로 전달되는 과정에서 이온과 라디칼이 이완되거나 재결합하면서 그 양이 감소하여 식각속도, 선택도 및 식각균일성을 감소시킨다는 단점이 알려졌다[7-10]. 최근에는 기존의 장치에 부코일(sub-coil)[11, 12], bias[13] 및 저온장치[14] 등을 부착하여 이러한 문제점을 보완하고자 하는 새로운 ECR plasma 장치의 개발에 관한 연구가 다양하게 이루어 지고 있다[11-14]. 이에 반하여 국내에서는 ECR plasma 장치의 개발에 관한 연구나 이 장치를 이용한 식각 및 증착에 관한 연구는 거의 되어 있지 않은 실정이다[15, 16].

본 연구에서는 본 실험실에서 제작한 ECR plasma 장치[15]를 Si의 식각에 이용하였다. 식각실험은 CF_4 를 식각 기체로 사용하여 식각시간, 식각압력, CF_4 의 유량, 식각 온도, CF_4 기체 중의 O_2 의 함량들을 변화시키면서 Si(100)의 식각반응을 수행하여, 제작된 ECR plasma 장치의 식각반응 특성을 조사하는 한편 기존의 연구 결과와 비교하였다.

2. 실험

2-1. 실험장치

본 실험에 사용한 식각장치는 본 연구실에서 제작한

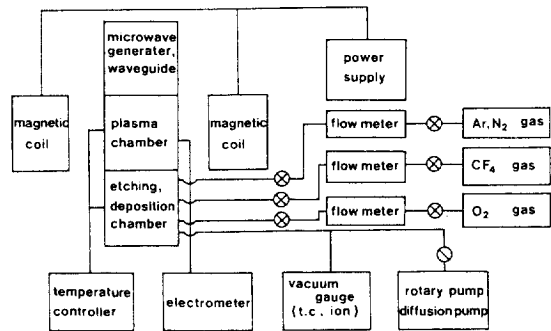


Fig. 1. Experimental apparatus for ECR plasma etching reaction of silicon.

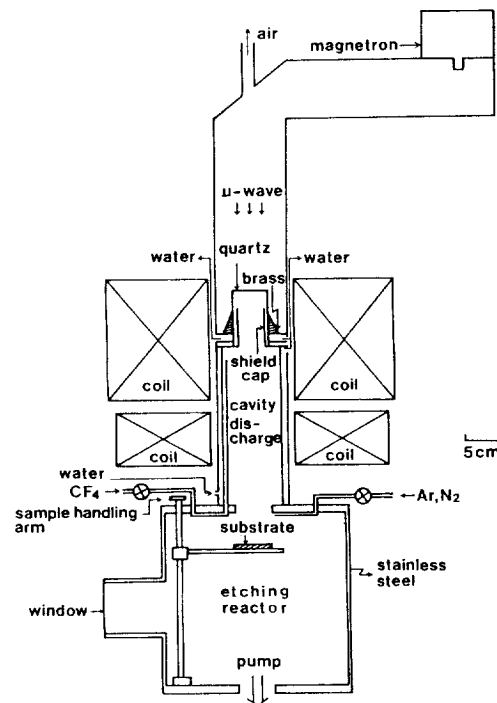


Fig. 2. A schematic diagram of ECR plasma system.

ECR plasma 장치였다[15]. Fig. 1에 실험장치의 개형도를, 그리고 Fig. 2에는 ECR plasma 장치의 개략도를 보였다. ECR plasma 식각장치의 구성은 다음과 같다. 500 W, 2.45 GHz의 μ -파를 마그네트론(magnetron, 금성사)을 이용하여 발생하였으며, 발생된 μ -파는 가로 8 cm, 세로 8 cm, 길이 30 cm인 직각 도파관과 직경 10 cm ϕ , 길이 28 cm인 원통형 도파관을 통하여 공진관(plasma cavity)을 향하여 전파되었다. 전자파의 모드는 T_{11} -mode이었다. 이같이 유도된 μ -파는 직경 50 mm ϕ , 높이 80 mm의 원통형 quartz window를 통하여 내경 8 cm ϕ , 외경 10 cm ϕ , 길이 22 cm인

stainless steel 공진기로 유입하여 plasma를 형성하는데, 이용하였다. 이 때 공진기 벽면은 냉각수를 흘려 식각반응 중 생성되는 열을 제거하도록 제작하였다. 공진기 외곽에는 내경 11 cm, 외경 40 cm인 2개의 solenoid를 설치하여 ECR 조건인 875 Gauss 이상의 자장을 얻을 수 있도록 전류를 공급하였다. 공진기의 하단에는 지름 28 cm, 높이 26 cm 크기의 원통형 stainless steel 식각반응기를 설치하였고, 그 안에 시료의 온도를 500°C 까지 가열할 수 있는 시료 받침대(substrate holder)를 설치하였다. 반응기 내부는 반응기 벽면에 설치된 2개의 창을 통하여 관찰할 수 있도록 하였다.

식각실험에 사용한 기체는 대한특수가스에서 공급된 CF₄(99.999%)와 O₂(99.999%)였으며, 이들은 질량유량 조절계(mass flow controller, MKS 747C 4-channel control box and 1159B control head)를 이용하여 일정 유량을 식각 반응장치에 공급하였다.

진공장치는 회전펌프(rotary pump, 600 l/min, 우성진공사)와 확산펌프(500 l/sec)로 이루어졌으며, 식각 반응장치 내의 기초압력은 3×10^{-5} Torr까지 얻을 수 있도록 하였다.

2-2. 시료의 제작

식각에 사용한 Si는 금성사 제품의 비저항이 5-10 Ω-cm의 p-Si(100)과 비저항이 5-8 Ω-cm인 n-Si(100)이었다. 시료를 1 cm×1 cm의 크기로 자르고 시료 표면에 흡착된 불순물을 제거하기 위해 trichloroethylene, acetone, methanol, 증류수의 순서로 5분씩 초음파세척을 하였다. 이 시료를 회전장치(spinner) 위에 올려놓고 한 두 방울의 레지스터(positive register, Az-1350J)를 떨어뜨린 후 회전장치를 작동하여 고르게 입힌다. 레지스터를 입힌 시료를 건조기에서 100°C로 4분 30초간 굽는다. 이 시료에 10 μm의 선폭이 새겨진 mask를 덮고 UV lamp로부터 40 cm 떨어진 거리에서 30초간 노출시킨다. 이렇게 노출된 시료를 0.5% NaOH용액으로 처리하여 시료 표면에 10 μm의 선폭을 만든다. 현상된 시료를 건조기에서 100°C로 5분간 건조시킨 후 실험에 사용한다.

2-3. 실험방법

제작된 시료는 반응기의 창을 통하여 시료 받침대 위에 올려 놓고 회전펌프를 작동시킨다. 반응기 내의 압력이 5×10^{-3} Torr 이하의 진공도가 유지될 때 확산펌프를 약 30분동안 예열시킨 후 작동시킨다. 확산펌프를 작동시켜서 기본진공도인 3×10^{-5} Torr를 유지시킨 후 시료 받침대에 부착된 가열기를 조절하여 기판을 실험하고자 하는 온도로 유지시킨다. 반응기체는 이 때 질량유량

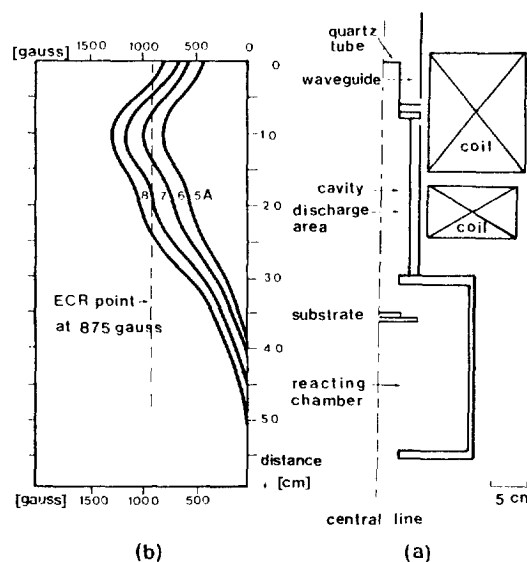


Fig. 3. Distribution of magnetic field from the top of plasma chamber.

조절계를 이용하여 반응유량으로 조절하여 반응기 내로 유입한다. 기체의 유량이 일정히 유지되면 진공장치의 valve를 조절하여 반응기를 반응압력으로 일정히 유지한다. Solenoid에 미리 냉각수를 충분히 흘려서 전류를 공급하여, 자장을 발생시키면서, μ-파 발진기를 작동하여 공진기 내에 plasma를 형성하여 실험을 시작한다. 이 실험이 진행되는 도중 공진기의 외곽에 위치한 자장의 전류는 875 Gauss 이상의 자장이 형성되도록 7A를 유지시켰다.

실험이 끝나면 solenoid와 마그네트론의 전원을 끈 후 Ar가스를 반응기 내로 purge해서 장치 내의 압력을 대기압으로 만들어 시료를 꺼낸다. 식각된 Si 웨이퍼는 SEM(scanning electron microscopy)을 이용하여 웨이퍼의 절단면과 표면을 조사하여 식각속도와 식각된 형상을 조사하고, XPS(X-ray photoelectron spectroscopy), AES(Auger electron spectroscopy) 및 UPS(ultraviolet photoelectron spectroscopy)를 이용하여 Si 웨이퍼 표면에 형성된 화학성분을 분석하였다. 특별한 언급이 없는 한 본 실험은 상온에서 수행하였으며, 시료는 공진기의 출구로부터 하향 8 cm되는 곳에 두고 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 공진기 및 식각반응기 내의 자장분포

식각장치 내의 중심선을 따라 형성된 자장을 측정하여 그 분포도를 식각장치의 높이에 따라 Fig.3에 나타내었다.

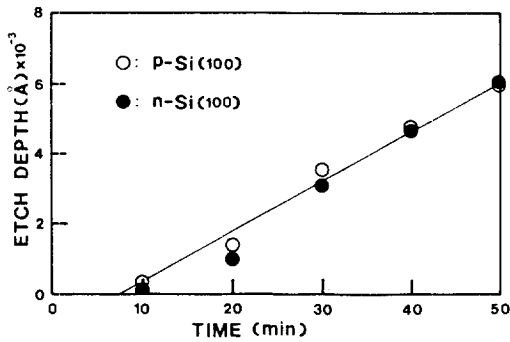


Fig. 4. Etch depth of silicon as a function of etching time at 5 SCCM and 100 mTorr.

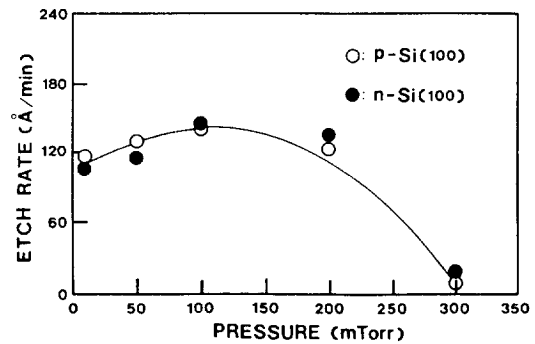


Fig. 5. Etch rate of silicon as a function of pressure at 5 SCCM.

자장분포도에서 실선은 자장코일에 흐르는 전류에 따른 자장분포이고, 점선은 2.45 GHz의 μ -파의 전자회전공명이 일어날 수 있는 875 Gauss에 해당하는 선을 나타낸다. 자장분포는 자장코일에 흐르는 전류에 따라 변화했으며, 전류가 5 A일 때 약 200-800 Gauss, 6 A일 때 300-1000 Gauss, 7 A일 때 400-1150 Gauss, 8 A일 때 500-1300 Gauss 사이의 분포를 나타냈다. 따라서 자장 전류가 5 A일 때는 ECR이 일어나지 않으며, 6 A일 때는 quartz window로부터 약 7 cm와 13 cm, 7 A일 때는 5 cm와 20 cm, 8 A일 때는 3 cm와 25 cm 근처에서 각각 875 Gauss의 자장을 형성하여 전자파의 에너지가 plasma에 전달되는 ECR이 일어남을 알 수 있었으며, 이 위치는 plasma가 형성되는 공간기 내에 속하였다.

3-2. 식각시간의 영향

식각시간에 따른 식각속도의 변화를 관찰하기 위해 식각깊이를 식각시간에 따라 측정하였다. CF_4 의 유량은 5 SCCM이었고, 식각반응기 내의 압력은 100 m Torr로 일정히 유지하고, 반응시간은 10분에서 50분까지 변화시키면서 Si의 식각깊이를 측정하여 Fig. 4에 도시하였다. 그 결과 식각깊이는 p-Si(100)과 n-Si(100) 모두 약 7분의 유도시간(induction time)을 가진 후 반응시간에 따라 거의 직선적으로 증가하여 식각속도가 식각시간에 관계없이 일정함을 알 수 있었다. 이와 같이 반응 시작 전 유도시간이 필요한 것은 시료제작 후 ECR plasma 장치에 넣는 중 공기에 노출되었을 때 생성된 SiO_2 가 F에 의해 제거되는데 걸린 시간으로 생각된다. 이처럼 식각 깊이가 시간과 선형적인 관계를 갖는 것은 Matsuo가 보고한 Si의 ECR plasma 식각의 결과와 잘 일치한다 [17]. 따라서 본 실험에서는 40분동안 식각한 후 식각 깊이를 유도시간을 제외한 식각시간으로 나누어 식각속도를 구하여 식각반응결과의 해석에 이용하였다.

3-3. 식각압력의 영향

RF plasma 식각에서와는 달리 ECR plasma 식각에서는 식각반응기의 압력에 따라 식각된 결과가 크게 다르다고 보고되어 있다[6]. 식각압력이 식각반응에 어떠한 영향을 미치는지를 관찰하기 위해 CF_4 의 유량을 5 SCCM으로 일정히 유지하면서 식각반응기 내의 압력을 10, 50, 100, 200 및 300 mTorr로 변화시키면서 각 압력에서의 식각속도를 측정하여 Fig. 5에 나타내었다. 그 결과 식각압력이 증가함에 따라 식각속도가 점차 증가하다가 100 mTorr 근처에서 극대점을 보이고 그 이상의 압력에서는 압력에 따라 감소함을 볼 수가 있었다.

ECR plasma 식각에서는 반응기 내의 plasma 밀도, 전자온도, 반응기체의 체류시간에 따라 식각속도가 크게 영향을 받는다. 일정 유량에서 반응기 안의 분자의 갯수는 압력이 증가함에 따라 증가하며, 또한 체류시간이 증가하여 반응활성종의 생성량이 증가하여 식각속도가 증가하나, 높은 압력에서는 반응기 내의 체류시간이나 분자의 갯수는 증가하나 분자의 평균자유경로(mean free path)가 급격히 짧아져서 ECR plasma의 효과가 줄어들어 전자밀도와 전자온도가 급격히 떨어져서 반응활성종을 만들지 못하기 때문에 식각속도가 감소하는 것으로 생각된다. 실제로 400 mTorr 이상에서 실험했을 때 ECR plasma가 생성되지 않았다. 또한 높은 압력에서는 반응활성종을 생성하는 대신 비포화종의 농도를 증가시켜 반응 표면에 고분자 막을 형성하여 식각속도를 감소시킨다고 보고되어 있다[18]. CF_4 를 5 SCCM으로 일정히 공급하면서 10 mTorr와 300 mTorr에서 40분간 식각시킨 n-Si(100)의 표면상태를 SEM으로 관찰하여 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6(a)에 보인 것처럼 10 mTorr에서 식각된 Si의 표면은 깨끗한 표면을 보인 반면, 300 mTorr에서는 Fig. 6(b)에 보인 것처럼 Si의 표면에 이물질이 덮여 알갱이를 이루고 있는 것처럼 보였다. 300 mTorr

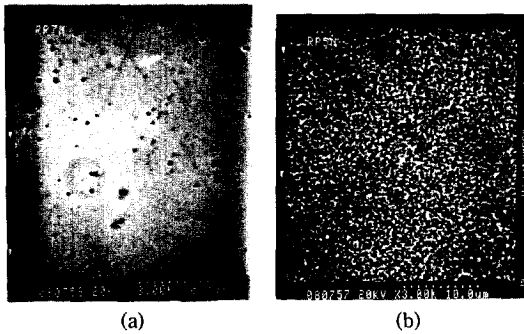


Fig. 6. SEM photographs of etched surface of Si at 5 SCCM: (a) 10 mTorr and (b) 300 mTorr.

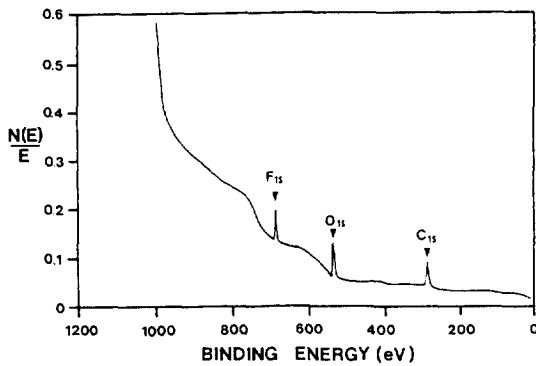


Fig. 7. XPS spectrum of the silicon surface etched at 5 SCCM and 300 mTorr.

에서 식각된 n-Si(100)의 표면을 XPS로 분석하여 표면 물질의 성분을 확인하였으며, 이 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 보인 바와 같이 Si표면은 거의 F, O, C로 이루어진 일종의 막으로 덮혀 있음을 알 수 있었다. 본 연구에서 사용한 CF₄는 plasma에서 압력이 증가하면 고분자 막 생성이 잘 되는 식각제로 알려져 있다[19]. 따라서 300 mTorr에서는 분자의 평균자유경로가 급격히 짧아져서 ECR plasma의 효과가 줄어 반응활성종을 만들지 못하는 한편, 비포화종의 농도를 증가시켜 반응표면에 고분자 막을 형성하여 식각속도를 감소시킨다고 생각된다. XPS 분석에서 관찰된 산소성분은 Si를 ECR plasma 장치에서 식각한 후 표면분석장치로 옮기는 과정에서 공기 중의 산소가 Si웨이퍼 표면물질에 작용하여 생긴 것으로 생각된다.

3-4. CF₄ 유량의 영향

식각속도에 대한 CF₄의 유량변화의 영향을 조사하기 위해 반응기의 압력을 100 mTorr로 일정히 유지하면서 CF₄의 유량에 따른 Si의 식각속도를 측정하여 Fig. 8에

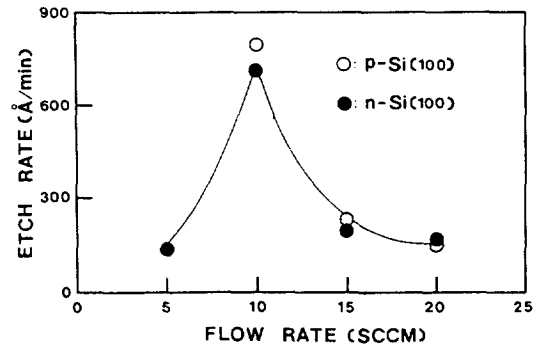


Fig. 8. Etch rate of silicon as a function of CF₄ flow rate at 100 mTorr.

나타내었다. 그 결과 식각속도는 10 SCCM까지는 증가하다가 그 이상의 유량에서는 감소하였다. 이 결과는 Chapman 등[20]이 보고한 결과와 잘 일치하는데, 이들은 일정 압력에서 유량의 변화에 따른 식각속도의 변화를 간단한 모델을 이용하여 설명하여, 낮은 유량에서는 식각기체의 공급량이 낮아서 식각속도가 낮으나, 높은 유량에서는 반응성성분인 F의 체류시간이 너무 짧아서 Si와 반응하기 전에 배출되기 때문에 식각속도가 떨어진다고 보고하였다. 또한 본 연구에서 사용한 ECR 특성 실험에 의하면 plasma 내의 전자밀도는 100 mTorr의 일정한 압력에서 유입기체의 유량이 증가할수록 증가하다가 10 SCCM에서 최대값(3.1×10⁸ cm⁻³)을 보이다가 다시 감소함을 나타내었다[15]. 따라서 식각속도가 CF₄의 유량에 따라 변하는 것은 CF₄의 체류시간의 영향 뿐만 아니라 CF₄의 유량이 변함에 따라 ECR plasma 특성이 변하는 것에 기인하는 것으로 생각된다. 위의 검토 결과로부터 100 mTorr, 10 SCCM에서는 반응기 내의 반응성성분 F의 농도가 최대가 되는 ECR plasma 상태와 체류시간을 유지하여 F와 Si의 식각반응속도를 증가시키는 것으로 생각된다.

3-5. CF₄와 O₂ 혼합기체에서 O₂ 함량의 영향

CF₄에 O₂를 첨가할 때 Si의 식각반응에 미치는 영향을 조사하였다. CF₄와 O₂의 혼합기체의 총 유량을 5 SCCM으로 일정히 유지하면서 100 mTorr에서 CF₄에 함유된 O₂의 함량에 따른 Si의 식각속도를 측정하여 Fig. 9에 나타냈다. 그 결과 순수한 CF₄에 O₂를 첨가할 때 O₂의 함량이 증가함에 따라 식각속도가 증가하다가 O₂의 함량이 15%인 점에서 최대의 식각속도를 보이고, 그 이상의 O₂를 첨가해 주면 식각속도가 감소하는 것으로 나타났다. CF₄ 가스에 의한 Si의 식각반응은 CF₄가 plasma상에서 CF_x(x<3)과 F원자를 생성하는데 이 F원자

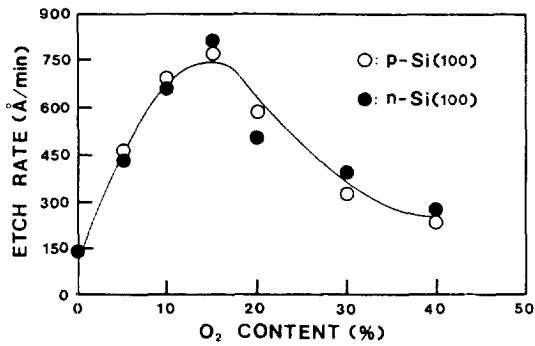


Fig. 9. Etch rate of silicon as a function of oxygen content in CF_4+O_2 mixture: Total flow rate and pressure are 5 SCCM and 100 mTorr.

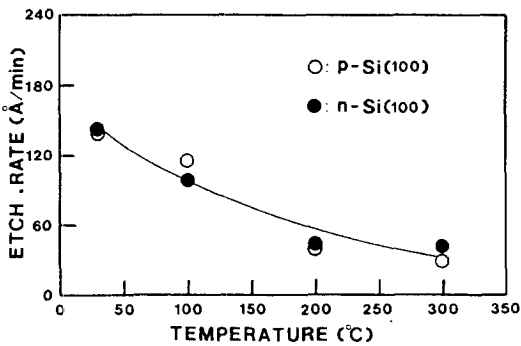


Fig. 10. Etch rate of silicon as a function of etching temperature at 5 SCCM and 100 mTorr.

가 Si와 반응을 하여 SiF_4 로 제거되어 식각이 이루어지는 것으로 보고되어 있다[21]. 이 때 CF_4 에 O_2 를 첨가하면 COF_2 , CO 및 CO_2 를 생성하여 CF_x 라디칼의 농도는 감소하는 반면, F의 농도는 증가하여 Si의 식각속도가 증가한다. 그러나 O_2 의 양이 너무 많으면 산소 plasma가 생겨 Si표면이 산화되어 $SiO_x(x \leq 2)$ 막을 형성하여 F에 의한 Si 식각반응속도가 낮아지는 것으로 알려져 있다 [22]. 이 결과 Suzuki 등[6]이 보고한 결과와 거의 유사하게 일치하는 것으로 O_2 의 함량이 15% 정도에서 최대의 식각속도를 보임을 알 수 있었다.

3-6. 식각온도의 영향

압력과 유량을 각각 100 mTorr와 5 SCCM으로 일정히 유지하고 반응온도를 25-300°C 까지 변화시키면서 Si의 식각반응속도를 측정하여 Fig. 10에 보였다. 그 결과 반응온도가 증가함에 따라 식각속도가 감소함을 보였다. 이 결과는 지금까지 보고된 온도상승에 따른 식각속도의 증가현상과 반대되는 결과이다[23]. 이와 같은 결과는 식각온도가 화학반응을 촉진하기 보다는 반응

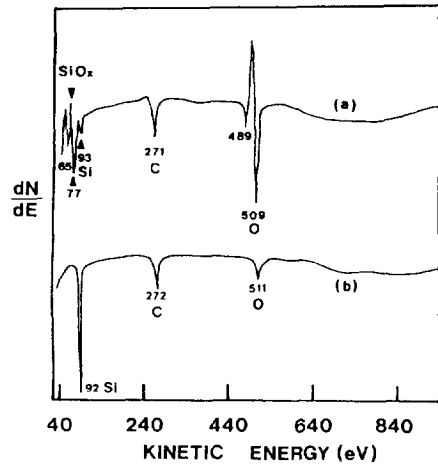


Fig. 11. AES spectra of the silicon surface etched at 300°C, 5 SCCM and 100 mTorr: (a) Si surface and (b) Ar sputtered Si surface.

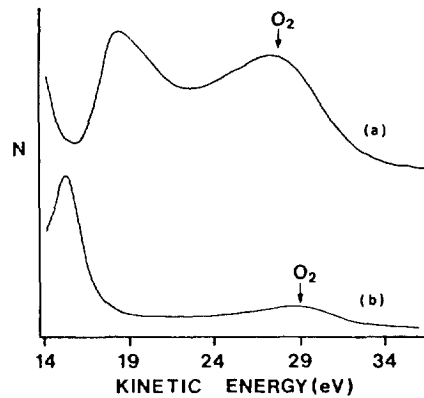


Fig. 12. UPS spectra of the silicon surface etched at 300°C, 5 SCCM and 100 mTorr: (a) Si surface and (b) Ar sputtered Si surface.

성성분인 F의 흡착을 막아 Si와의 반응을 억제하거나, Si표면에 이물질층을 형성하여 식각반응을 막기 때문이라고 생각된다. 이를 확인하기 위해서 300°C에서 40분 동안 식각된 시료의 표면을 AES로 분석하여 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11(a)에 보인 바와 같이 식각된 Si표면에는 소량의 SiO_x 와 Si, C, O가 존재함을 알 수 있다. 이 표면을 Ar으로 15분간 sputtering한 후 AES분석한 결과 C의 양은 큰 변화가 없는 반면 SiO_x 는 깨끗이 없어져 Si의 peak는 명확해지고 O는 미량 남아 있음을 알 수 있다[Fig. 11(b)]. Si표면에 여전히 남아있는 O의 명확한 존재여부를 알아보기 위해 UPS분석을 하여 Fig. 12에 나타내었다. 그 결과 sputtering하기 전에 남아있던

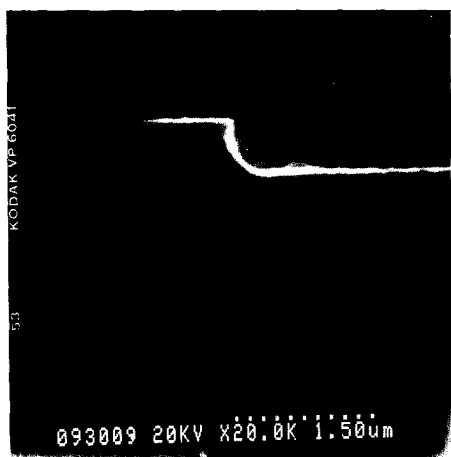


Fig. 13. SEM photograph of the etching profile of silicon etched at 5 SCCM and 50 mTorr.

O가 sputtering 후에는 완전히 없어져 Fig. 11(b)의 511 eV에서 관찰된 peak는 산소에 의한 peak가 아님을 알 수 있었다. 이 결과로부터 시료 표면에 형성된 SiO₂층은 Si를 ECR plasma 장치에서 식각한 후 표면분석을 위해 표면분석장치로 옮기는 과정에서 Si이 공기 중에 노출되어 생긴 산화층임을 알 수 있었다. 따라서 CF₄기체를 사용하여 Si를 식각하는 경우 기판의 온도가 증가함에 따라 시료 표면의 일부에 C층이 형성되어 식각속도를 억제함을 알 수 있었다.

3-7. 식각각도

식각압력이 식각각도에 미치는 영향을 조사하기 위해 각 압력에서 식각된 Si웨이퍼의 절단면을 SEM분석하여 전형적인 결과로 50 mTorr의 식각각도를 Fig. 13에 나타내었다. 본 실험에서는 10-100 mTorr에서는 거의 이방성식각에 가까운 식각각도를 보였으나, 100-300 mTorr에서는 등방성식각이 지배적으로 이루어졌다. 일반적으로 ECR plasma 식각의 경우 낮은 압력에서는 이방성식각이 진행되나, 그 이상에서는 등방성식각이 이루어진다는 보고와 잘 일치하고 있다[6].

3-8. 식각의 균일성

식각반응의 균일성을 연구하기 위해 시료의 높이를 변화시키면서 공진관의 중심에서부터 반경방향으로의 Si 웨이퍼의 식각속도를 측정하여 Fig. 14에 나타냈다. 그림에 보인 것처럼 중앙에서 좌우로 6cm의 거리까지 아주 균일하게 330 Å/min 정도의 식각속도를 나타냈다. 식각의 균일성은 공진기의 출구로부터 하향 4 cm에서는 균일성이 ± 10%, 8 cm에서는 ± 5%, 12 cm에서는 ± 2.5

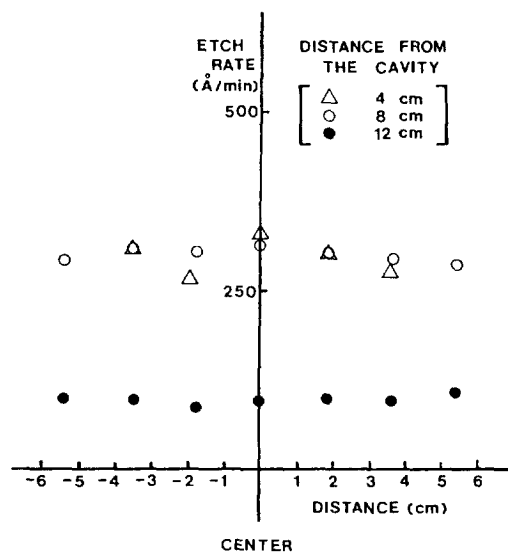


Fig. 14. Etch rate uniformity under various substrate holder spacings.

%를 보였으며, 12 cm에서는 Tokahashi 등[24]이 보고한 것처럼 상당히 균일한 plasma가 흐르고 있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

ECR plasma 식각장치를 제작하여 CF₄에 의한 Si의 식각반응을 연구하여 다음 결과를 얻었다.

- (1) 식각속도는 p-Si(100)와 n-Si(100)에 상관없이 거의 같았으며, 식각깊이는 약 7분간의 유도시간을 가진 후 식각시간에 따라 거의 선형적으로 증가하였다.
- (2) 식각속도는 식각압력이 증가함에 따라 증가하다가 약 100 mTorr에서 최대를 보이고 그 이상의 압력에서는 Si표면에 고분자 막이 형성되어 속도가 감소하였다.
- (3) 식각속도는 CF₄의 유량이 증가함에 따라 증가하다가 약 10 SCCM에서 최대를 보이고 그 이상의 유량에서는 반응성성분인 F가 Si와 반응하기 전에 반응기 밖으로 배출되어 속도가 감소하였다.
- (4) 순수한 CF₄에 O₂를 첨가할 때 O₂의 함량이 증가함에 따라 F의 생성량이 증가하여 식각속도가 증가하다가 O₂의 함량이 15%인 점에서 최대의 식각속도를 보이고, 그 이상의 O₂를 첨가해 주면 식각속도가 감소하였다.
- (5) 기판의 온도가 증가함에 따라 시료의 표면에 C층이 형성되어 식각반응이 억제되었다.

(6) 낮은 압력에서는 이방성식각을 보였으나 높은 압력에서는 등방성식각을 얻었다.

(7) 식각속도의 균일성은 시료의 위치에 따라 다르기는 하나 12 cm에서는 $\pm 2.5\%$ 이내의 범위의 우수한 균일성을 보였다.

감 사

이 연구는 한국과학재단 지원 전북대학교 반도체물성연구센터의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Bollinger, D., Lida, S. and Matsumoto, O.: *Solid State Technol.*, May, 111(1984).
- Bollinger, D., Lida, S. and Matsumoto, O.: *Solid State Technol.*, June, 167(1984).
- Samukawa, S., Mori, S. and Sasaki, M.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **29**(4), 792(1990).
- Samukawa, S., Nakagawa, Y. and Ikeda, K.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **30**(2), 423(1991).
- Fujiwara, N., Sawai, H., Yoneda, M., Nishioka, K., Morie, K. and Nakamoto, K.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **30**(11B), 3142(1991).
- Suzuki, K., Okudaira, S., Sakudo, N. and Kanomato, I.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **16**(11), 1979(1977).
- Katsuo, S. and Kiuchi, M.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **22**(4), L210(1983).
- Ono, T., Oda, M., Takahashi, C. and Matuo, S.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **B4**(3), 696(1986).
- Tohinaga, Y., Hayashi, N., Araki, H. and Nakayama, S.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **B6**(1), 272(1988).
- Forster, J. and Holber, W.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **A7**(3), 899(1989).
- Fujiwara, N., Sawai, H., Yoneda, M., Nishioka, K., Horie, K., Nakamoto, K. and Abe, H.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **30**(11B), 3142(1991).
- Pongratz, S., Gesche, R., Kreschmer, K.-H. and Lorenz, G.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **B9**(6), 3493(1991).
- Samukawa, S.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **30**(11B), 3154(1991).
- Tsuimoto, K., Okudaira, S. and Tachi, S.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, 3319(1991).
- Park, W. I., Song, J. J., Lee, S. M. and Lee, K. B.: *Korean Appl. Phys.*, **4**(3), 340(1991).
- Song, S. K., Chang, H. Y., Choi, D. I. and Chang, C. S.: *Korean Appl. Phys.*, **3**(2), 171(1990).
- Matsuo, S.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **17**(1), 235(1978).
- Matsuo, S.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **17**, 587(1980).
- Brandt, W. W. and Honda, T.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **57**(1), 119(1985).
- Chapman, B. N. and Minkiewicz, V. J.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **15**(2), 329(1978).
- Flamm, D. L., Donnelly, V. M. and Ibboton, D. E.: *J. Vac. Sci. Technol. B.*, **1**(1), 23(1983).
- Mogab, C. J., Adams, A. C. and Flamm, D. L.: *J. Appl. Phys.*, **49**, 3796(1978).
- Winters, H. F. and Haarer, D.: *Phys. Rev. B.*, **36**, 6613(1986).
- Takahashi, C., Kiuchi, M., Ono, T. and Matsuo, S.: *J. Vac. Sci. Technol. A.*, **6**(4), 2346(1988).