

Cylindrical Magnetron을 사용한 실리콘의 반응성 이온 건식식각의 특성에 관한 연구

염 근 영

성균관대학교 재료공학과

A Study on the Characteristics of Reactive Ion Etching of Si Using a Cylindrical Magnetron

Geun-Young Yeom

Dept. of Materials Engineering, Sungkyunkwan University

초 록 Helmholtz구성을 가진 두개의 전자석에 의해 작동되는 RF cylindrical magnetron을 사용하여 이의 플라즈마 성질을 가한 자장의 함수로 조사하고, 또한 CHF_3 와 CF_4/H_2 를 3mTorr의 낮은 압력하에서 사용하여 실리콘의 반응성 이온 건식식각 특성을 조사하였다. 또한 여러 자장의 크기 및 개스 분위기하에서 식각한 실리콘으로 제조한 Schottky 다이오드의 전류-전압 특성으로 식각으로 인한 실리콘의 손상정도를 측정하였다. Cylindrical magnetron에 가한 자장을 증가시키에 따라 플라즈마내 이온밀도 및 분해된 개스밀도(radical density)가 직선적으로 증가하였으며 시편이 위치한 전극에 유도되는 직류 자기 바이아스 전압(dc self-bias voltage)은, 반면, 지수적인 감소를 하였다. 100Gauss 부근의 자장을 가한 경우에 최대의 식각속도를 갖고 이때의 실리콘의 식각속도가 자장을 가하지 않은 경우에 비해서 5배정도로 증가하였으며, 전기적인 특성 역시 습식방법을 사용하여 식각한 실리콘에 가까운 정도의 이온손상이 없는 식각상태를 얻을 수 있었다.

Abstract Using a RF cylindrical magnetron operated with two electromagnets having a Helmholtz configuration, RF magnetron plasma properties and characteristics of reactive ion etching of Si were investigated as a function of applied magnetic field strengths using 3mTorr CF_4/H_2 and CHF_3 . Also, I-V characteristics of Schottky diodes, which were made of silicons etched under different applied magnetic field strengths and gas environments, were measured to investigate the degree of radiation damage during the reactive ion etching. As the magnetic field strength increased, ion densities and radical densities of the plasmas were increased linearly, however, the dc self-bias voltages induced on the powered electrode, where the specimen are located, were decreased exponentially. Maximum etch rates, which were 5 times faster than that etched without applied magnetic field, were obtained using near 100Gauss, and, under these conditions, little or no radiation damages on the etched silicons were found.

1. 서 론

고단위 직접회로(VLSIC)에서 회로의 크기가 감소함에 따라 반응성 이온 건식식각은 active area definition, 점점식각(contact etch), 그리고 배선금속 식각 등의 거의 모든 식각에 응용되어 반도체 직접회로 제조공정에 없어서는 안될 중요한 요소가 되었다.¹⁾ 또한 웨이퍼 크기가 증가함에 따라 단일 웨이퍼 공정(single wafer processing)이 배치공정(batch pro-

cessing)에 비하여 웨이퍼 손실의 위험이 적고, 식각균일도가 우수하고, 식각이 끝나는 지점(end point)을 찾기가 쉬우며, 또한 공정의 자동화가 손쉬운 등의 여러가지 장점으로 인해 거의 모든 공정이 단일 웨이퍼 공정으로 대체되고 있는 실정이다. 단일 웨이퍼 공정이 단위시간당의 웨이퍼 처리능력에 있어서 배치공정에 떨어지지 않기 위해 플라즈마(plasma)의 밀도를 증가시켜 식각속도를 높이며 재료에 손상을 적게하기 위해 Magnetically

enhanced reactive ion etcher(MERIE)나^{2~5)} Electron cyclotron resonance(ECR) plasma etcher^{6~9)} Inductively coupled plasma etcher¹⁰⁾ 등의 여러가지 장비가 연구되고 또한 일부는 실제 반도체 제조에 이용되고 있다.

위 장치들은 종전의 planar diode형이나 hexode형 반응성 이온 식각장치 및 플라즈마 식각장비에 비하여 낮은 압력에서 플라즈마가 형성되어 사진식각으로 형성된 회로의 패턴을 좀 더 정확하게 식각되는 물질에 이전할 수 있고 반응성 이온 건식식각시에 웨이퍼로 입사되는 이온에너지(ion bombardment energy)도 줄일 수 있어서 이온식각의 가장 큰 문제점인 웨이퍼 표면의 이온손상^{11~20)}을 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 계속적으로 줄어드는 회로의 크기에 따라 반응성 이온 건식식각 후 발생하는 이온손상을 제거할 수 있는 열처리의 정도가 떨어지기 때문에 이온식각시에 이온손상을 가능한 입지 않도록 하는 방법들이 꾸준히 연구되고 있다.

스퍼터 물리증착(sputter deposition)에 많이 사용되어온 cylindrical magnetron²¹⁾은 요즘 널리 사용되고 있는 planar magnetron^{22), 23)}과 같이 자기장을 전기장에 수직으로 가하여 전극에서 방출된 전자(secondary electron)를 구속하여 E×B 표류전류를 형성하고 또한 이들 전자가 나선운동을 하게 함으로써 음극에서 방출된 에너지를 가진 전자를 효율적으로 개스의 이온화 및 분해에 이용한다는 점에서는 같으나, planar magnetron과는 달리 전극표면과 진공용기 내에서의 모든 지점에서 가한 자장의 밀도가 균일하여 고주파를 가하여 얻어지는 플라즈마 밀도가 전극 표면 주위에서 일정하게 되므로 웨이퍼 전 면적에 균일한 식각이 요구되는 반응성 이온 건식 식각에 응용하기에 적합하다. 본 연구에서는 Helmholtz구조를 가지는 2개의 전자석을 이용한 RF cylindrical magnetron을 제조하여 이의 플라즈마 성질과 이 장치로 실리콘을 식각하여 반응성 이온 건식식각에 미치는 자기장의 효과를 3mTorr CHF₃와 CF₄/H₂ 분위기하에서 연구하고 또한 이온식각 후에 Schottky 다이오드를 제조하여 식각으로 인한 이온손상의 정도를 조사하였다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용한 실험장치를 그림 1에 보였다. 자장은 Helmholtz형태로 진공용기 주변에 2개의 환상코일(coaxial coils)을 설치하여 얻어졌으며, 진공용기와 이 코일을 그림 1에 보인 것과 같이 탄소강으로 둘러 싸므로써 진공용기내 자장의 강도와 균일도를 증가시켰다. 자장은 0에서 250Gauss까지 변화시켰다. 진공용기는 스텐레스강으로 제조되었으며 중앙에 위치하는 cylindrical magnetron전극(그림 2)은 염소에 대한 반응성을 줄이고 전극으로부터의 전자 방출속도를 증가시키기 위해 양극산화 알루미늄(anodized aluminum)으로 제조되었다. 250Gauss의 자장을 가했을때 전극 표면에서의 자장의 균일도는 3% 이내였고, 시편이 위치하는 전극부분에서의 균일도는 0.5% 이내였다. 실리콘 웨이퍼는 그림 2에 보이는 바와 같이 제조한 마그네트론 전극에 시편홀더(specimen holder)를 이용하여 전극에 부착시켰다. 전극은 수냉을 하였으며 이 전극에 13.5MHz의 고주파를 연결시켰다. 전극에 가해지는 전력밀도는 0.45W/cm²으로부

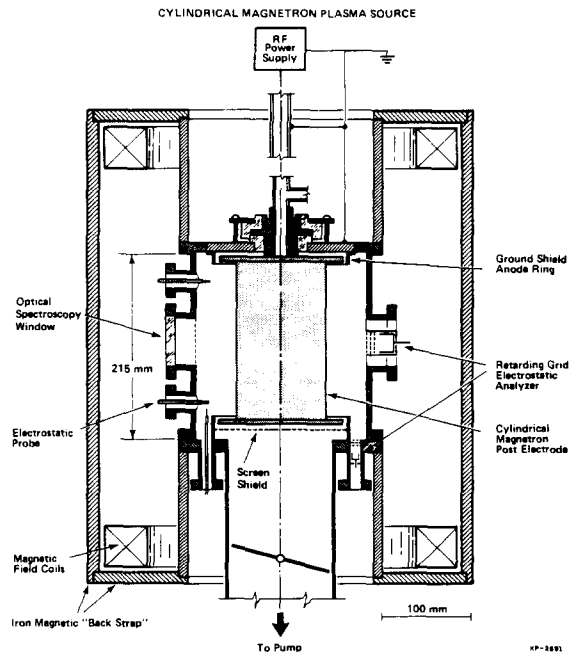


Fig. 1. Schematic drawing of the experimental apparatus.

터 $1.2\text{W}/\text{cm}^2$ 으로 변화시켰다. 플라즈마를 고 주파로 유도시켰을 때 얻어지는 직류 자기 바이아스 전압(dc self-bias voltage)은 정합회로 망(matching network)과 전극사이에서 75MHz의 대역폭(bandwidth)을 갖는 고임피던스 전압 프로브(high impedance voltage probe, 모델: Tektronix p6015)로 측정하였다. 실험장치와 자장에 대한 좀더 구체적인 내용은 다른 문헌들에 적혀있다.^{24~26)}

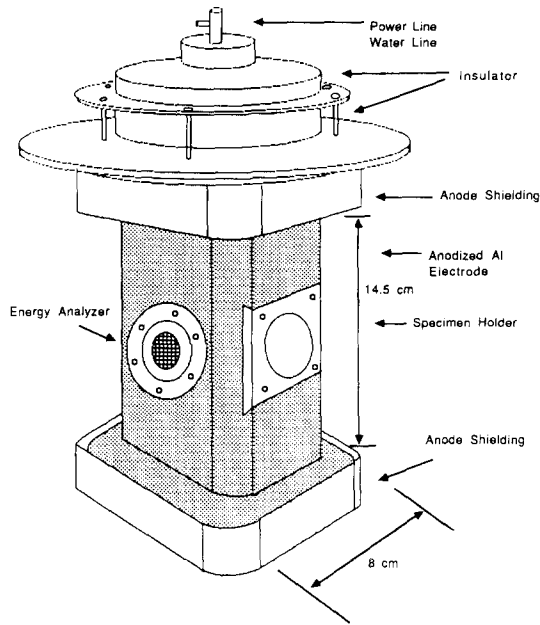


Fig. 2. Cylindrical-post "flange type" magnetron electrode used in the etching experiment. The electrode was made of anodized aluminum.

플라즈마의 성질은 광 다중 채널 분석기(optical multichannel analyzer)와 Langmuir probe를 사용하여 분석하였다. 광 다중 채널 분석기는 플라즈마로부터 방출되는 빛을 통하여 플라즈마내에 분해된 각 반응성개스(radicals)의 밀도를 연구하기 위해 사용되었다. 이는 마노크로미터(Instrument SA, 모델: HR320, grating은 150g/mm와 1200g/mm을 사용)를 통하여 분광된 플라즈마의 빛을 intensified photodiode array(Princeton Instrument IRY-700)를 통하여 전기신호로 바꾸고 이를 IBM PC/AT에 연결하여 플라즈마내에 분해된 개스의 밀도를 예측하는데 사용하였

다. 형성된 플라즈마는 광렌즈(optical lens)를 사용하여 전극과 진공용기 사이의 중간지점에 초점을 맞추고 광섬유를 통하여 마노크로미터로 보내졌다. Langmuir probe는 single electrostatic probe 형태로서 플라즈마내의 이온밀도와 플라즈마 전위(plasma potential)등을 측정하기 위하여 사용되었다. 이는 probe tip으로서 0.25mm 직경×10mm 길이의 텅스텐선이 6mm 직경의 수정관 지지대 밖으로 노출되어 플라즈마와 접촉을 하고, 선의 반대쪽은 진공용기 밖에서 10Ω 저항 및 가변형 건전지와 직렬로 연결된 상태로 이 건전지의 전압을 변화시킴에 따라 측정되는 전압-전류의 곡선으로부터 플라즈마내 이온밀도 및 플라즈마 전위를 계산하였다.^{27~30)}

실리콘의 식각속도는 웨이퍼위에 사진 감광물질(photoresist)로 패턴을 하고 이를 각각 건식식각한 후에 사진 감광물질을 제거하고 나서 식각된 부분을 profilometer(Tencor Instrument Alpha step 200)를 사용하여 식각깊이를 측정하고 이를 식각시간으로 나누므로써 구하였다.

Schottky 다이오드를 제조하기 위하여 5-20 Ω-cm, N-type(100)실리콘을 각 반응성 이온 건식식각 조건에서 처리하기 전과 후에 각각 RCA 세척방법인 유기물오염의 제거방법을 사용하여 세척하였다. 즉, H₂O₂+H₂SO₄를 1:4로 섞어 90°C로 가열한 용액에 20분간 처리

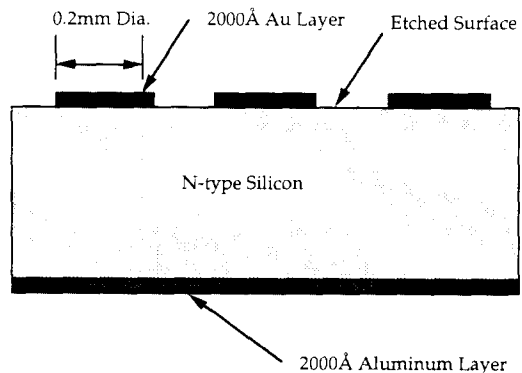


Fig. 3. Schematic drawing of a Schottky diode used in the experiment. Au layer was used to make a Schottky contact and Al layer was used to make an Ohmic contact. The Schottky contact area was $3.24 \times 10^{-4}\text{cm}^2$.

한 후 순수 water로 세척하여 웨이퍼 표면에 형성된 폴리머 등의 오염층을 제거하였다. Schottky 다이오드는 그림 3과 같은 구조로서 식각한 실리콘 표면에 0.2mm직경 \times 2000Å의 Au원형전극을 증착후 lift-off방법으로 제작하였다. 이면의 전극은 전자빔 증착법(electron beam evaporation)으로 2000Å 정도의 알루미늄(Al)박막을 입혔다. I-V특성 측정에는 semiconductor parameter analyzer(모델: HP4145A)를 사용하였다.

3. 실험 결과

Cylindrical magnetron을 사용하여 3mTorr CHF₃ 및 CF₄로 0.45W/cm²로부터 1.2W/cm²의 출력에서 식각한 경우의 실리콘 식각속도를 그림 4에 가한 자장의 함수로 표시하였다. 그림에 보인 바와 같이 실리콘의 식각속도는 대체로 초기에 가한 자장이 증가함에 따라 식각속도가 증가하는 경향을 보였으나 자장의 강도가 계속 증가함에 따라서 그 식각속도가 최대치를 보이고 이후 계속적으로 자장이 증가함에 따라 식각속도가 감소하였다. 최대 식각속도는 출력이 증가함에 따라 증가하였으며 CF₄의 경우가 CHF₃에 비해 식각속도가 큼을

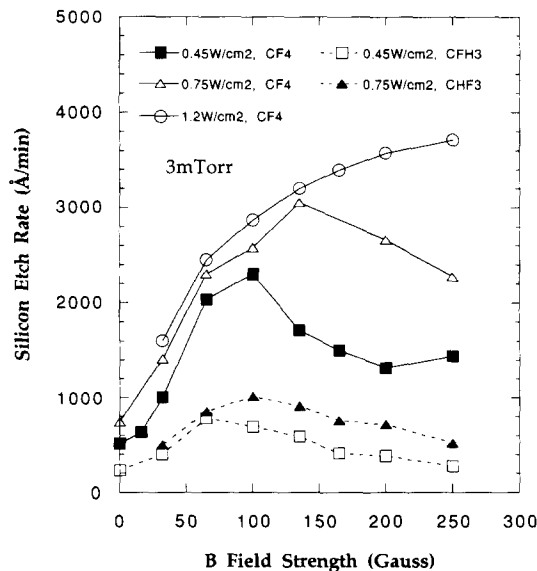


Fig. 4. The effect of magnetic field strength and power deposition on the etch rates of Si in CF₄ and CHF₃.

알 수 있었다. 이는 개스내 존재하는 탄소는 실리콘과 반응하지 않고 불소와 결합하여 실리콘위에 폴리머 형태로 석출되어 실리콘의 식각을 억제시키는 반면, 불소는 증기압이 높은 SiF_x형태의 화합물을 형성하여 실리콘을 식각하게 되는데 CF₄가 CHF₃에 비해 F/C의 비율이 크므로 같은 조건하에서 식각속도가 큰 것으로 알려져 있다.³¹⁾ CF₄에 수소 함량을 변화시켜 실리콘의 식각속도를 측정한 경우 역시 유사한 결과를 얻었다.³²⁾

자장의 강도를 증가시킴에 따라 cylindrical magnetron 전극에서 재어지는 직류 자기 바이아스 전압을 CF₄/H₂ 및 CHF₃에 대해 그림 5에 나타내었다. 그림에 보인 바와 같이 자장을 0Gauss에서 250Gauss로 증가시킴에 따라 직류 자기 바이아스 전압은 1000volt 이상에서 0volt에 가까운 정도로의 지수적인 감소를 보였다. 또한 그림에 보인 바와 같이 전극에 가한 출력이 증가함에 따라 직류 자기 바이아스 전압이 증가하고 CF₄/H₂ 혼합개스를 사용시 수소함량이 증가함에 따라 이 전압이 감소

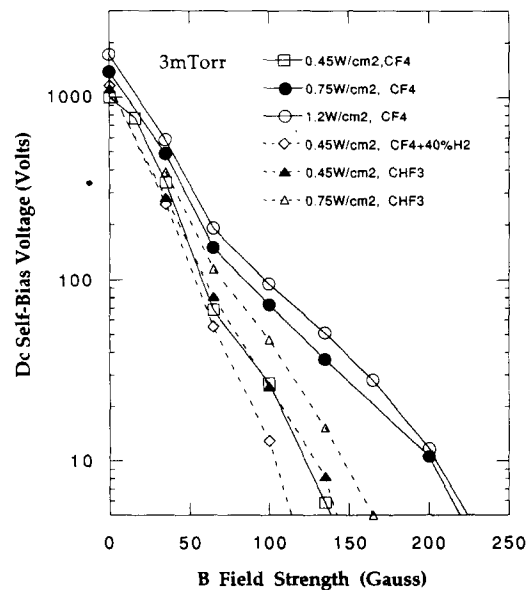


Fig. 5. Dc self-bias voltages measured as a function of magnetic field strength.(Power was varied from 0.45W/cm² to 1.2W/cm² in 3mTorr CF₄/H₂ and CHF₃ gas environment).

하는 경향을 보였으나 이중 가한 자장에 따른 효과가 가장 컸다. 직류 자기 바이아스 전압의 감소와 더불어 마그네트론 전극에 형성되는 RF의 침투전압(peak-to-peak voltage)도 역시 가한 자장이 증가함에 따라 큰 감소를 보였다.^{25, 26)}

플라즈마로부터 나오는 빛을 광섬유를 통해서 집광하고 마노크로미터를 통해 분광하여 각 파장별로 얻어진 빛의 강도를 나타낸 것을 CF₄의 경우에 대해 그림 6에 나타내었다. 파장이 200nm로부터 220nm까지의 침점(peak)들을 주로 CF^{33, 34)}로부터의 방출에 의한 것이고 260nm 주변의 연속적인 파장의 빛은 주로 CF₂^{35~37)}로부터 방출된 빛이고 600nm로부터 750nm의 뚜렷한 침점(peak)들은 F³⁸⁾로부터 방출되는 빛들이다. 그림에 보인 바와 같이 자장의 강도가 증가함에 따라 침점의 강도는 계속적인 증가를 보였다. 실제 플라즈마내에 CF₄의 분해로 인하여 생성된 이들 분해된 개스(radicals), 즉, CF₂, CF, 그리고 F의 밀도는 분자 및 원자의 특성파장에서 방출되는 빛의 침점(optical emission peak)의 강도와 관련이 있으나 꼭 비례하는 것은 아니다.³⁹⁾ 원자의 특성파장에서 방출되는 빛의 강도에 관한 이론적인 식은 F 원자의 경우 $I_F = k_F n_0 \eta_F = k_F n_0 n_e \langle Q_F v \rangle$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 k_F 는 비례상수, n_0 는 기저상태에서의 분해된 개스의 F 원자밀도, η_F 는 여기효율(excitation efficiency), n_e 는 전자밀도, Q_F 는 분해된 개스가 여기상태로 되는 확률을 나타내는 상수(excitacional cross-section), 그리고 v 는 전자의 속도를 나타낸다. 즉, 방출되는 빛(optical emission peak)의 강도는 플라즈마내 F 원자의 밀도(n_0)와 전자밀도(n_e)와의 곱에 비례한다. 따라서, 플라즈마내의 전자밀도는 플라즈마내의 이온밀도와 거의 같으므로, 플라즈마내의 F원자의 농도가 일정하더라도 이온밀도가 증가하면 F에서 방출되는 빛의 침점강도는 증가하게 된다. 따라서 전자밀도의 효과를 상쇄시키기 위하여 Coburn과 Chen에 의해 도입된 Ar actinometry^{33, 39, 40)}를 사용하였다. 즉, 측정하고자 하는 플라즈마의 성질이 변하지 않는 정도의 Ar(약 4% 정도)을 CF₄와 혼합하여 플라즈마내에 주입하여 703.7nm에서 얻어지는 F원자의 방출파장의 강도값에 750.5nm에서 얻어

지는 Ar파장의 강도값으로 나누어 전자밀도의 효과를 상쇄시킴으로써 교정된 F 원자밀도의 상대적인 값을 구할 수 있다. 그림 7에 CHF₃ 및 CF₄/H₂의 반응성 개스 분위기하에서 0.45W/cm²의 출력을 가하였을 때 위의 방법을 사용하여 구한 F 원자밀도의 상대값을 가한 자장의 함수로 나타내고 있다. 또한 이와 함께 Langmuir probe를 사용하여 측정한 자장의 증가에 따른 이온밀도를 함께 나타내었다. 그림에서 보이는 바와 같이 자장을 증가시키기에 따라 이온밀도가 선형적으로 증가하고 또한 F 원자의 밀도도 같이 증가함을 알 수 있다. 주어진 자장의 강도 하에서 F 원자밀도는 CF₄보다는 CHF₃경우가, 또한 CF₄/H₂의 경우는 개스내 H₂%가 클수록 감소하였다.

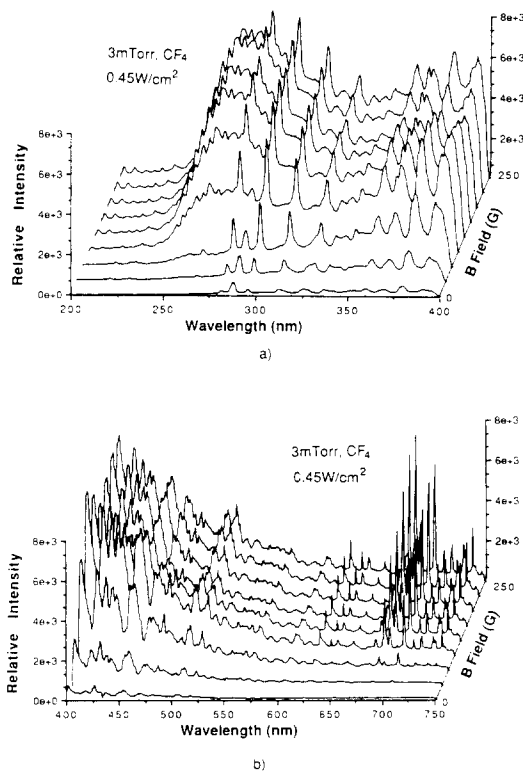


Fig. 6. Optical emission spectra measured for CF₄ discharges as a function of magnetic field strength.

CF₄를 사용하여 3mTorr, 0.75W/cm²의 조건 하에서 각기 다른 자장의 강도를 사용하여 1.5 μm 깊이를 식각한 실리콘으로 제작된 Schottky

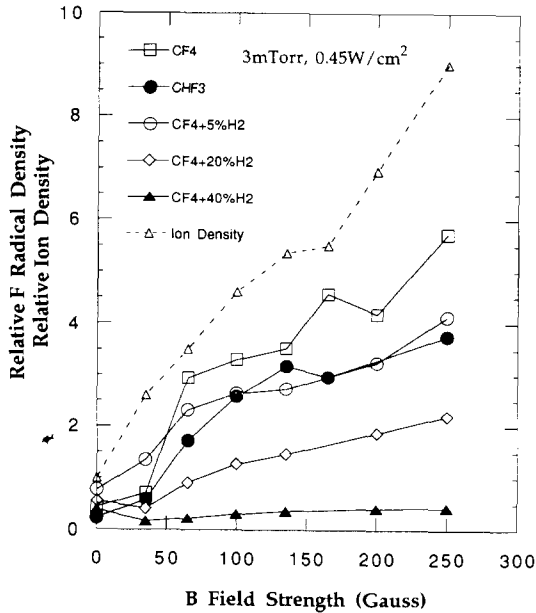
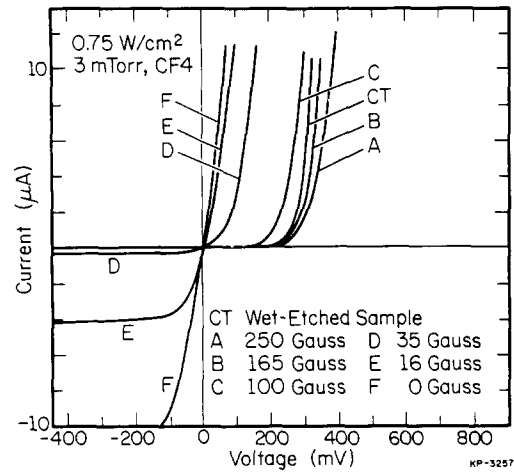


Fig. 7. Relative F radical densities estimated from Ar actinometry for CHF_3 and different CF_4/H_2 mixtures (3mTorr, $0.45\text{W}/\text{cm}^2$). Also, relative ion densities for CF_4 plasmas measured with a Langmuir Probe are shown(dashed line).

다이오드의 I-V특성을 그림 8에 나타내었다. Schottky 다이오드의 effective barrier height¹⁴⁾는 표면의 결함상태에 민감하므로 건식식각으로 인한 재료표면의 손상정도를 측정하는데 쓸 수 있다. Schottky 다이오드를 제조하는데 있어서 손상의 정도를 좀 더 정량적으로 알기 위하여 건식식각 대신 10%HF에서 5분간 습식으로 식각한 실리콘을 Schottky 다이오드 제조에 포함시켜 여러조건에서 건식식각한 시편과 함께 다이오드의 I-V특성을 측정하였다. 그림에 나타난 바와 같이 여러 식각조건으로 $1.5\mu\text{m}$ 깊이를 식각한 재료에 대한 Schottky 다이오드의 전기적 특성은 플라즈마에 가한 자장의 강도에 크게 영향을 받음을 알 수가 있다. 즉, 자장의 강도가 증가함에 따라 Schottky 다이오드의 I-V특성이 습식으로 식각한 시편의 I-V특성에 가까워지는 현상을 나타내었다. 또한 자장의 강도가 줄어들어 따라 I-V특성이 Schottky 다이오드라기 보다는 저항체의 성격을 띠어 재료표면의 손상정도가 증가하는 것을 알 수가 있다. 특히 자장의 강

도가 100Gauss이상인 경우는 선형 I-V곡선상에서는 습식으로 식각한 시편과 건식으로 식각한 시편의 I-V특성을 구분하기가 어려울 정도로 유사한 특성을 나타내었다. 이 I-V특성중에서 역방향 포화전류(reverse saturation current)만을 뽑아 대수눈금(log scale)으로 나타내어 비교한 결과 CF_4 뿐만 아니라 CHF_3 와 CF_4/H_2 의 가스조합을 사용한 모든 경우에 대해서 플라즈마에 가한 자장이 증가함에 따라 역방향 포화전류가 지수적으로 감소하였으며 100Gauss이상의 자장을 가한 경우에는 이온손상을 받지 않은 시편과 유사한 정도의 누설(leakage)전류를 나타내었다.



4. Fig. 8. I-V characteristics of Schottky diodes made from CF_4 plasma etched Si at different magnetic field strengths.

4. 고 찰

그림 4에 나타난 바와 같이 일정한 출력에서 초기자장의 증가에 따른 반응성 이온 건식식각 속도의 증가는 자장의 증가에 따라 그림 6과 7에서 보인 바와 같이 반응성개스의 분해속도와 이온화 속도의 증가로 인하며 이는 자장의 증가에 따른 주어진 출력에서 Langmuir probe로 측정된 이온밀도의 증가와 actinometry를 이용하여 같은 조건하에서 측정된 F 원자의 상대적인 밀도의 증가로 알 수가 있다. 본 실험결과에서 실리콘의 식각속도는 자장의 증가에 따라 계속적인 증가를 하지 않고 어느 지점을 최대로 하여 그 이후로 감

소하는 추세를 보이는 것을 그림 4를 통하여 알 수 있는데 이는 그림 7에 보인 바와 같은 자장의 증가에 따른 계속적인 이온밀도의 증가와 F와 같은 분해된 개스밀도의 증가로 예측되는 결과와 모순되는 성질을 지닌다. 즉, 그림 7에 따르면 자장이 증가함에 따라 플라즈마내 이온밀도와 분해된 개스의 밀도가 증가하므로 실리콘 식각속도는 감소함이 없이 직선적으로 증가하여야 한다.

실제에 있어 그림 4에서와 같이 자장의 증가에 따라 실리콘의 식각속도가 최대치를 나타내고 이후에는 감소하는 이유는 자장의 증가에 따라 시편이 위치한 전극에 유도되는 직류 자기 바이아스 전압의 가한 자장에의 의존성에 의해 설명되어질 수 있다고 사료된다.⁴²⁾ 즉, 자장이 증가함에 따라 그림 5에 나타낸 바와 같이 직류 자기 바이아스 전압이 지수적인 감소를 하게 되는데 이와 같이 시편에 가해지는 이온에너지의 감소로 인하여 실리콘위에 형성된 폴리머층의 두께변화로 식각속도가 감소한다고 사료된다. 폴리머층의 두께는 폴리머의 석출속도와 시편에 입사되는 이온에 의한 폴리머의 식각(sputtering)속도에 의해 정해지게 되며 이는 개스의 C/F 비율이 증가함에 따라서 증가하고 또한 이온에너지 및 이온밀도가 감소함에 따라 증가하게 된다. 이온에너지는 그림 5의 직류 자기 바이아스 전압(dc self-bias voltage)과 플라즈마 전위의 합으로 주어지게 되며 플라즈마 전위의 값은 Langmuir probe를 사용하여 측정할 결과 자장의 강도에 따라 다소 다르나 약 50eV정도를 갖는 것으로 측정되었다.

따라서 자장의 증가에 따라 시편 위에 생성되는 폴리머층의 이온식각(sputtering)효율이 감소하여 두꺼운 폴리머층을 형성하게 되어 식각 부산물인 SiF_x에 대한 확산장벽(diffusion barrier)을 형성하기 때문에 플라즈마내 이온밀도와 분해된 개스의 밀도가 증가함에도 불구하고 식각속도가 감소하게 된다고 사료된다. 또한 그림 4에서 보인 바와 같이 동일 개스 조건하에서 출력이 증가할수록 실리콘의 식각속도가 최대가 되는 자장이 증가하는 것은 그림 5에서 보듯이 출력이 클수록 폴리머층을 제거하는 이온에너지가 증가하기 때문이라 사료된다. 최대의 식각속도를 갖는 조건에

서의 직류 자기 바이아스 전압은 그림 5로부터 약 30에서 70volt 정도에 있으며 측정된 플라즈마 전위가 50eV 정도이므로 실리콘상의 폴리머층의 효율적 제거를 통하여 계속적으로 식각을 유지시키기 위해 필요한 이온에너지는 직류 자기 바이아스 전압과 플라즈마 전위의 합인 약 100eV 정도가 되는 것으로 사료된다.

자장이 증가함에 따라 시편에 가해지는 이온에너지는 직류 자기 바이아스 전압의 감소와 함께 감소하므로 시편내의 이온손상 역시 지수적으로 감소하게 된다. 이와 같은 현상은 그림 8에 보인 바와 같이 0에서 250Gauss의 여러 자장의 범위를 가진 식각조건하에서 같은 두께 만큼 식각한 실리콘으로 그림 3에 보이는 형태의 Schottky 다이오드를 형성하여 그 I-V특성을 측정하였을 때 자장의 증가에 따라 시편 표면에 식각 중 생성되는 손상이 감소하여 다이오드의 성질이 회복되는 것으로 알 수 있다.

5. 결 론

본 실험에서 cylindrical magnetron을 이용하여 3mTorr CF₄, CHF₃, 그리고 CF₄/H₂개스 분위기하에서 실리콘을 식각하고 식각한 실리콘으로 Schottky 다이오드를 만들어 그 전기적 성질을 측정하였다. 또한 마그네트론 플라즈마의 성질로서 이온밀도, 플라즈마전위, 그리고 actinometry를 이용하여 플라즈마내의 분해된 개스밀도를 측정하고 또한 시편에 가해지는 직류 자기 바이아스 전압을 측정하여 식각속도 및 식각한 시편의 전기적 성질에 미치는 영향과의 관계를 설명하였다. 반응성 이온 건식식각시 각 개스 분위기하에서 가한 자장이 증가할수록 그 식각속도가 증가하여 100Gauss 정도에서는 식각속도가 자장을 가하지 않은 조건에 비해 5배 정도로 그 식각속도가 증가하였으나 이후 다시 그 식각속도가 감소하였다. 초기에서 자장의 증가에 따른 식각속도의 증가는 자장의 증가에 따라 플라즈마내 전자가 효율적으로 구속되고 또한 나선운동을 하게 하므로써 플라즈마의 이온밀도 및 분해된 개스밀도를 증가시켜 실리콘의 식각속도가 증가하나 자장의 강도가 증가함에 따라 시편에 입사되는 이온의 에너지가 감소

하여 이 이온에너지가 시편에 형성되는 폴리머층을 효과적으로 제거시킬 수 있는 약 100eV의 임계 에너지보다 작으면 분해된 개스밀도와 이온밀도의 증가에도 불구하고 그 식각속도가 감소하였다. 반면, 자장의 증가에 따른 이온에너지의 지수적인 감소로 시편에 생성되는 이온손상의 정도 역시 자장의 증가에 따라 크게 감소하여 건식식각 시에도 이온손상을 거의 혹은 전혀 받지 않은 시편과 동일한 전기적 성질을 가지도록 식각을 할 수 있었다. 결론적으로 cylindrical magnetron을 이용하여 반응성 이온 건식식각을 한 결과 조사된 범위하에서 약 100Gauss 부근의 자장을 가하여 식각을 하므로써 전기적 성질이 크게 향상되고 또한 식각속도도 최대가 되는 조건을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

1. S.J. Fonash, Solid State Technol., **27**, 150 (1985).
2. T.E. Wicker and T.D. Manti, J. Appl. Phys., **57**, 1638 (1985).
3. A.M. El-Masry, F-O. Fong, J.C. Wolfe, J. N. Randall, J. Vac. Sci. Technol. **B6**, 257 (1988).
4. K. Ono, T. Oomori, and M. Hanzaki, Japan. J. Appl. Phys., **29**, 2229 (1990).
5. H. Hoga, T. Orita, T. Yokoyama, and T. Hayashi, Japan. J. Appl. Phys., **30**, 3169 (1991).
6. K. Suzuki, K. Ninomiya, S. Nishimatsu, and S. Okudaira, J. Vac. Sci. Technol., **B3**, 1025 (1985)
7. T. Namura, H. Okada, Y. Naitoh, Y. Todokoro, and M. Inoue, Japan. J. Appl. Phys., **29**, 2251 (1990).
8. A. Hall and K. Nojiri, Solid State Technol, **5**, 107 (1991).
9. K. Tsujimoto, S. Okudaira, and S. Tachi, Japan. J. Appl. Phys., **30**, 3319 (1991).
10. A. J. Perry and R. W. Boswell, Appl. Phys. Lett., **55**(2), 148 (1989).
11. S.W. Pang, D.D. Rathman, D.J. Silver-smith, R.W. Mountain, and P.D. DeGriff, J. Appl. Phys., **54**, 3272 (1983).
12. J.M. Heddleson, M.W. Horn, S.J. Fonash, and D.C. Nguyen, J. Vac. Sci. Technol., **B6**, 280 (1988).
13. X.C. Mu, S.J. Fonash, A. Rohatgi, and J. Rieger, Appl. Phys. Lett., **48**, 1147 (1986).
14. S. Ashok and A. Mogro-Campero, paper submitted to IEEE Electron Dev. Sett. (1983).
15. X.C. Mu and S.J. Fonash, G.S. Oehrlein, S. N. Chakravarti, C. Parks, and J. Keller, J. Appl. Phys., **59**, 2958 (1986).
16. T. Hata, J. Kawahara, and K. Toriyama, Japan J. Appl. Phys., **22**, 505 (1983).
17. S.W. Pang, M.W. Geis, N.N. Effremow, and G.A. Lincoln, J. Vac. Sci. Technol., **B3**, 398 (1985).
18. J.H. Thomas III and H. Hammer, J. Vac. Sci. Technol., **B5**, 1617 (1987).
19. S.J. Fonash, R. Singh, A. Rohatgi, P. Rai-Choudhury, P.J. Caplan, and E.H. Poindexter, J. Appl. Phys., **58**, 862 (1985).
20. X.C. Mu, S.J. Fonash, B.Y. Yang, K. Vedam, A. Rohatgi, and J. Rieger, J. Appl. Phys., **58**, 4282 (1985).
21. J.A. Thornton and A.S. Penfold, Chapter II-2 in Thin Film Processes, ed. by J. Vossen and W. Kern, Academic Press, New York, p. 75 (1978).
22. R.K. Waits, Thin Film Processes, ed. by J. L.Vossen and W. Kern, Academic Press, New York, o. 131 (1978).
23. R. Parsons, Chapter II-4 in Thin Film Processes II, ed. by J. Vossen and W. Kern, Academic Press, New York, p. 177 (1991).
24. G.Y. Yeom, J.A. Thornton, and A. S. Penfold, J. Vac. Sci. Technol., **A6**(6), 3156 (1988).
25. G.Y. Yeom, J.A. Thronton, and M.J. Kushner, J. Appl. Phys., **65**(10), 3816 (1989).
26. G.Y. Yeom, J.A. Thornton, and M.J. Kushner, J. Appl. Phys., **65**(10), 3825

- (1989).
27. P.M. Chung, L. Talbott, and K. Touryan, "Electrostatic Probes in Stationary and Flowing Plasmas", Springer-Verlag, New York, p. 14 (1975).
 28. R.W. Boshwell and A. Bouchoule, *Plasma Chem. Plasma Proc.*, **8**, 53 (1988).
 29. N. Hershkowitz, M.H. Cho, C.H. Nam, and T. Intrator, *Plasma Chem. Plasma Proc.*, **8**, 35 (1988).
 30. J.W. Coburn, "Plasma Etching and Reactive Ion Etching", AVS Monograph Series, ed. by N.R. Whetten, American Institute of Physics Inc., New York, NY (1982).
 32. G.Y. Yeom and M.J. Kushner, *J. Vac. Sci. Technol.*, **A7**(3), 987 (1989).
 33. R. d'Agostino, F. Cramarossa, S. De Benedictis, and G. Ferraro, *J. Appl. Phys.*, **52**, 1259 (1981).
 34. "Spectroscopic Constants for Selected Heteronuclear Diatomic Molecules: Vol. 1," ed. by S.N. Suchard, The Aerospace Corp., p. C-10 (1974).
 35. Quach-Tat-Trung, G. Durocher, P. Sauvateau, and C. Sandorfy, *Chem. Phys. Lett.*, **47**, 404 (1977).
 36. D.S. King, P.K. Schenck, and J.C. Stephenson, *J. Molec. Spectrosc.*, **78**, 1 (1979).
 37. P.J. Hargis, Jr. and M.J. Kushner, *Appl. Phys. Lett.*, **40**, 779 (1982).
 38. "Handbook of Chemistry and Physics", ed. by R.C. Weast, CRC Press 68th edition., p. E-230 (1987-1988).
 39. J.W. Coburn and M. Chen, *J. Appl. Phys.*, **51**, 3134 (1980).
 40. R. d'Agostino, V. Colaprico, and F. Cramarossa, *Plasma Chem. Plasma Proc.*, **1**, 365 (1981).
 41. S.M. Sze, *Semiconductor Devices; Physics and Technology*, John Wiley & Sons, New York, p. 167 (1985).
 42. G.Y. Yeom, submitted to *Korean Mat. Res. Soc.*