

실리카 도파로(Silica Waveguide) 제작을 위한 Inductively Coupled Plasma에 의한 산화막 식각특성 연구

박상호 · 권광호* · 정명영 · 최태구

한국전자통신연구원 통신부품연구소, 한서대학교 전자공학과*
(1997년 3월 31일 접수)

The study of oxide etching characteristics using inductively coupled plasma for silica waveguide fabrication

Sang-Ho Park, Kwang-Ho Kwon*, Myung-Young Jeong and Tae-Goo Choi

Component Technology Development Section Electronics & Telecommunications Research Institute, Taejon, 305-350
*Department of Electronics, Hanseo University, Choongnam, 356-820
(Received March 31, 1997)

요 약 - 본 실험은 고밀도 플라즈마원인 inductively coupled plasma(ICP)를 이용하여 실리카 도파로의 코어를 형성하고자 하였다. CF_4/CHF_3 유량비, bias power 및 source power 등의 변화에 따른 산화막의 식각 특성 즉 식각 속도, 식각 단면 및 식각된 표면의 거칠기 등의 변화를 검토하였다. 또한 single Langmuir probe 및 optical emission spectroscopy(OES)를 이용하여, 식각 변수에 따른 ICP의 플라즈마 특성을 관찰하였다. 이상의 결과를 토대로, $SiO_2-P_2O_5$ 로 구성된 실리카 도파로의 코어(core)층을 형성하였고, 이때 최적화된 식각 조건에서 식각 속도는 380 nm/min이고, 마스크 층으로 사용된 Al(Si 1%)와 산화막과의 식각 선택비는 30:1 이상이었다. 형성된 실리카 도파로를 scanning electron microscopy(SEM)으로 관찰한 결과, 코어층의 식각 단면이 수직하고 패턴 선포의 손실이 거의 없음을 확인하였다.

Abstract - This study was tried to form the silica waveguide using high density plasma. Plasma characteristics have been investigated as a function of etch parameters using a single Langmuir probe and optical emission spectroscopy(OES). As etch parameters, CF_4/CHF_3 ratio, bias power, and source power were chosen as main variables. The oxide etch characteristics of inductively coupled plasma(ICP) dry etcher such as the etch rate, etch profile, and surface roughness were investigated as a function of etch parameters. On the basis of these results, the core pattern of the wave guide composed of $SiO_2-P_2O_5$ was formed. It was confirmed that the etch rate of $SiO_2-P_2O_5$ core layer was 380 nm/min and the aluminum selectivity to oxide, that is, mask layer was approximately 30:1. The SEM images showed vertical etched profiles and minimal loss of pattern width.

1. 서 론

정보통신 서비스의 고도화에 따라, 저가격, 고집적의 평면형 광소자가 요구되고 있다. 그 중 실리카(silica)를 이용한 평면형 광소자는 경제성, 광섬유와의 접속의 용이성 및 성능 측면에서 가장 각광받는 소자이다. 이러한 실리카 도파로 제작을 위해서는 플라즈마를 이용한 건식식각 공정이 필수적이다. 저손실 특성을 갖는 사각 도파로를 구현하기 위해서는 이방성 식각 단면, 산란 손실

(scattering loss)를 줄이기 위한 측벽 거칠기(sidewall roughness)의 개선, 8 μm 이상을 식각할 수 있는 높은 식각속도, 높은 aspect ratio 식각 특성이 요구된다. 지금까지 실리카 도파로를 제작하기 위하여 RIE(Reactive Ion Etching)를 이용한 식각방법이 주로 사용되어 왔다 [1,2]. 그러나 RIE를 이용하는 방법은 식각 속도가 낮고, 높은 aspect ratio 식각 특성을 얻기 어려운 단점이 있다. 그러므로 $SiO_2-P_2O_5$ 로 구성된 8 μm 이상의 수직한 코어층을 형성하여야 하고, 높은 aspect ratio 특성을 가지는

식각 기술의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 플라즈마 밀도가 높고, 고 진공에서도 고밀도 플라즈마를 유지할 수 있는 ICP(Inductively Coupled Plasma)[3,4]를 사용하여 $\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ 로 구성된 실리카 도파로의 코어층을 형성하고자 하였다. 먼저 ICP의 식각 변수중 식각 특성에 크게 영향을 미치는 가스 혼합비, source power, bias power 등의 변화에 따른 산화막의 식각 특성을 고찰하였다. 식각 변수의 변화에 따른 식각 특성의 변화 원인을 규명하기 위하여 Langmuir probe 및 optical emission spectroscopy(OES)등의 플라즈마 진단 장비를 이용하였다. 이상의 실험 결과를 이용하여 8 μm 두께의 $\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ 로 구성된 코어층을 형성하였다.

2. 실 험

ICP에 의한 산화막의 식각 특성을 추출하기 위하여 p-type 5인치 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 웨이퍼를 1% $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}$ 용액에서 60초동안 세척한 후 420°C에서 SiH_4 및 O_2 가스를 사용하여 400 nm 두께의 산화막을 증착시켰다. 산화막을 증착후 산화막의 식각을 위한 마스크 물질로 Al(1% Si)막을 증착하였다. Al(1% Si)막은 Varian 3180 d.c. sputtering system을 이용하였고, sputtering target은 Al과 1 wt.% Si으로 구성된 합금을 사용하였다. Sputtering은 8 mTorr의 압력에서 research-grade Ar에 의해 수행되었으며, 이때 sputtering power는 9.6 kwatts였다. 이상의 조건에서 Al(1% Si)의 증착 속도는 1,000 nm/min였다. 증착동안 기관의 온도는 gas conduction heating방법에 의해 200°C로 유지되었다. 증착된 Al(1% Si)의 두께는 400 nm였으며, 5 inch wafer내에서 증착 두께의 균일도는 약 95%였다. 증착 두께는 4-point probe 및 Tencor Model α -step 200 surface profiler에 의해 측정되었다.

Al(1%Si)막위에 contact aligner를 사용하여 도파로 패턴을 제작하였으며, 이를 hot plate에서 130°C, 3분동안 baking하였다. 패턴이 형성된 5 inch 웨이퍼를 2.5×6.4 cm^2 의 크기로 잘라 식각공정을 수행하였다. Al(1% Si)의 식각은 RIE mode로 구성된 Plasma-Therm etching system에 의해 수행되었다. Al(1% Si)의 식각 장비는 평행한 평판 전극으로 구성되어 있고, 하부 전극에 식각하고자 하는 시료를 올려 놓는다. 상부 전극은 접지되어 있으며, 하부 전극은 matching box를 통하여 r. f. power supply에 연결되어 있다. Al(1% Si)의 식각을 위하여

BCl_3 (40 sccm) 및 Cl_2 (5 sccm) 가스를 이용하였고, 식각 압력은 20 mTorr, r. f. power는 150 watts인 분위기에서 30% 과식각되었다. 이상의 식각조건에서 Al(1% Si)의 식각 속도는 400 nm/min였으며, 식각 속도의 균일도는 약 95%였다. 식각 속도는 앞에서 언급한 surface profiler를 이용하여 측정하였다. Al(1% Si) 식각후 Al(1% Si) 패턴위에 잔류하는 감광막을 제거하기 위하여, 시료를 solvent 용액내에서 10분 동안 strip하였다. 감광막이 제거된 시료는 D. I. water로 rinse하고, 다시 N_2 gun으로 시료에 존재하는 습기를 제거하였다.

감광막 제거후, Plasma-Therm ICP 식각 장비를 이용하여 CF_4/CHF_3 가스 플라즈마하에서 산화막을 식각하였다. ICP 식각장비는 상부 전극 주위에 inductive coil이 감겨 있고, 이 코일에 source power가 공급된다. 또한 하부 전극은 matching box를 통하여 r. f. power supplier에 연결되어 있으며, 하부 전극에 bias power가 공급된다. 시료는 clamping되어 있는 5 inch 웨이퍼위에 loading되었다. ICP의 식각 변수에 따른 식각 특성을 추출하기 위하여, 식각 변수중, 식각 특성에 크게 영향을 미치는 가스 혼합비, source power, bias power 등을 변화시켰다. 먼저 CF_4/CHF_3 가스 혼합비를 0/40, 10/30, 20/20, 30/10 및 40/0 sccm으로 변화시켰다. 또한 ICP source power를 400, 600, 800 및 1,000 watts로 변화시켰으며, bias power를 10, 30, 50, 및 70 watts로 변화시켰다. 이때 식각 챔버의 압력은 10 mTorr로 고정하였다.

이상의 실험 결과를 기초로 하여 실리카 도파로를 형성하였다. 실리카 도파막은 실리콘 기관위에 FHD(Flame Hydrolysis Deposition)법[2]을 이용하여 20~30 μm 두께의 buffer clad층을 형성한 후, 고온(1,200~1,300°C)에서 열처리(consolidation) 과정을 통하여 형성하였다. Buffer clad층 형성 후, 이상의 과정과 동일한 방법으로 8 μm 의 코어($\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$)층을 형성하고, 형성된 코어층위에 Al(1% Si)막을 증착하였다. Al(1% Si)막 형성, photolithography공정 및 식각공정은 앞에서 언급한 방법과 동일하게 수행하였다. 코어층의 식각후 Al(1% Si)막을 제거하기 위해 알루미늄 식각 용액을 이용하였다.

한편 식각 조건에 따른 플라즈마의 특성을 관찰하기 위하여, OES 및 single Langmuir probe를 이용하였다. OES를 이용하여, 플라즈마내에 형성되는 불소 라디칼의 밀도를 측정하였으며, 불소 라디칼을 검출하기 위하여 685.6 nm인 파장을 이용하였다. 또한 single Langmuir probe를 이용하여 이온 전류 밀도를 측정하였다.

Ion saturation current 측정시, 전류 값은 약 20 volts에서 포화되었으며, 재현성을 확보하기 위하여 40 volts에서 전류 값을 이용하였다. 이들 결과는 도파로 형성을 위하여 사용된 ICP 식각장비와 동일한 방식의 플라즈마 원에 의해 추출되었다. CHF₃ 가스만을 사용한 경우에 플라즈마내에 형성되는 라디칼 밀도 및 이온 전류 밀도를 기준으로 하여, 상대적인 량의 변화로 기술하였다. 마스크 물질 및 코아층의 식각단면 변화를 Hitachi S800 SEM으로 관찰하였으며, 식각 속도는 Nanospec. 두께 측정 장비를 이용하여 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

CF₄/CHF₃ 가스 혼합비 변화에 따른 산화막의 식각속도 변화를 그림 1에 나타내었다. 이때 ICP source power는 800 watts, bias power는 30 watts였다. 그림 1은 CF₄ 가스 혼합비가 증가함에 따라 식각속도가 증가함을 보여준다. 이는 가스 유량비의 변화에 따른 플라즈마 특성 변화에 기인하는 것으로 판단된다.

그림 1에 나타난 현상을 규명하기 위하여, 플라즈마의 변화 즉 플라즈마내의 불소 라디칼(radical)의 변화를 OES로 조사하였다. 이는 산화막 식각시 불소 라디칼은 COF₂ 혹은 SiF₄ 등의 화합물을 형성하여 산화막 식각에 절대적인 영향을 미친다. 그림 2는 식각 가스의 혼합비에 따른 불소 라디칼의 변화를 나타낸 것이다. 그림으로

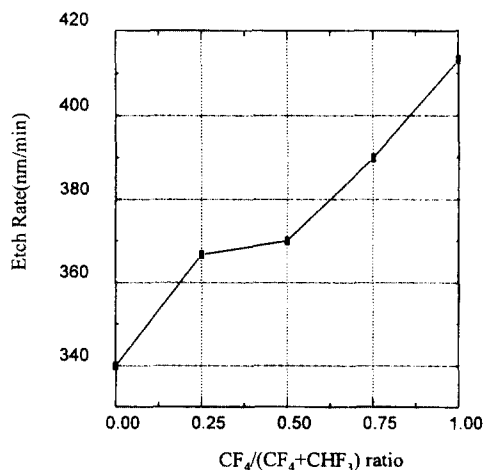


그림 1. CF₄/CHF₃ 가스 혼합비에 따른 산화막의 식각속도 (챔버 압력=10 mTorr, source power=800 watts 및 bias power=30 watts)

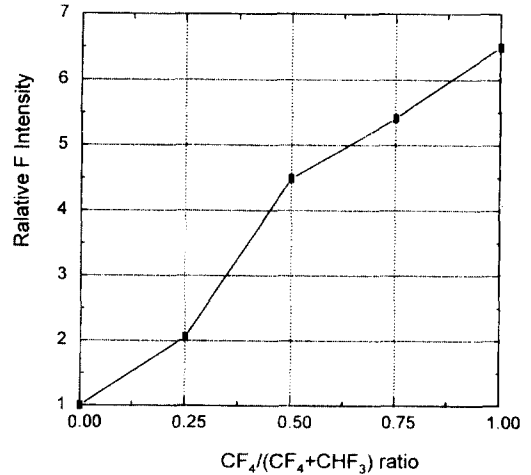


그림 2. CF₄/CHF₃ 가스 혼합비에 따른 상대적인 불소 라디칼의 변화(챔버 압력=10 mTorr, source power=800 watts 및 bias power=30 watts)

부터 CF₄ 가스 유량이 증가할수록 상대적인 불소 라디칼 량이 증가함을 알 수 있다. 이는 CHF₃ 가스의 유량이 증가할수록 플라즈마내에 형성되는 불소 라디칼의 양이 감소함을 의미한다. 이러한 현상은 CHF₃ 가스의 경우 플라즈마내에서 형성된 불소 라디칼 중의 일부가 HF의 형태로 소모되며, 그 결과 CHF₃ 가스의 유량이 증가할수록 플라즈마내에서 존재하는 불소 라디칼이 감소되어 나타난 결과로 해석된다[5]. 따라서 그림 1에 나타난 식각 속도의 변화는 식각 가스의 변화에 따른 플라즈마내에 형성되는 불소 라디칼의 변화에 기인함을 알 수 있다.

한편 건식식각에 의한 식각 반응은 식각 재료와 플라즈마에 의한 화학 반응과 이온 충돌에 의한 물리적 효과(ion bombardment effects)에 의해 진행된다. 따라서 식각반응을 고찰하기 위해서는 식각에 미치는 물리적인 효과를 고려하여야 한다. 이를 위해 가스 혼합비에 따른 상대적인 이온 전류 밀도(ion current density)를 그림 3에 나타내었다. 그림으로 부터 CF₄ 유량이 적은 경우, CF₄ 유량이 증가함에 따라 이온 전류 밀도가 급격히 증가하는 반면, CF₄ 유량이 25% 이상인 범위에서는 CF₄ 유량이 증가하여도 이온 전류 밀도는 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 이는 CF₄ 유량이 25% 이하인 영역에서는 CF₄ 유량이 증가함에 따라 식각 속도의 증가는 플라즈마내의 불소 라디칼 및 이온 증가에 기인함을 의미한다. 이에 반해 CF₄ 유량이 25% 이상인 영역에서는 CF₄ 유량이 증가함에 따라 불소 라디칼 밀도가 증가되고, 이

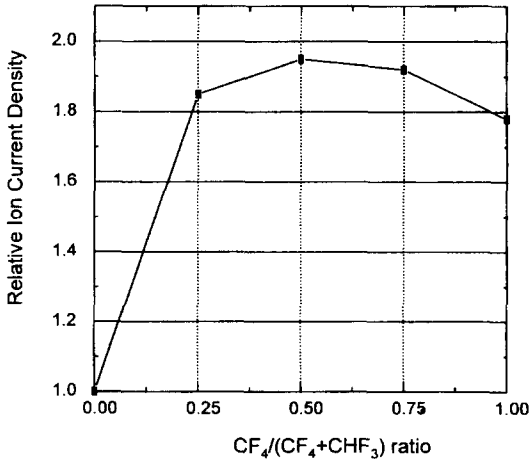


그림 3. CF₄/CHF₃ 가스 혼합비에 따른 상대적인 이온 전류 밀도의 변화(챔버 압력=10 mTorr, source power=800 watts 및 bias power=30 watts)

러한 라디칼 밀도의 증가가 식각속도 증가의 원인임을 알 수 있다.

그림 4는 bias power 변화에 따른 식각 속도 및 Vdc (self bias)의 변화를 나타낸 것이다. 그림으로 부터, bias power가 증가될 수록 식각 속도 및 Vdc(self bias)가 증가함을 알 수 있다. 플라즈마와 시료 사이에 형성되는 Vdc의 증가는 sheath에 의한 directional acceleration의 증가를 의미한다. 따라서 bias power의 증가에 의해 산화막의 식각 속도가 증가한 결과로 판단된다.

그림 4에서 언급한 Vdc의 변화는 시료의 표면 거칠기

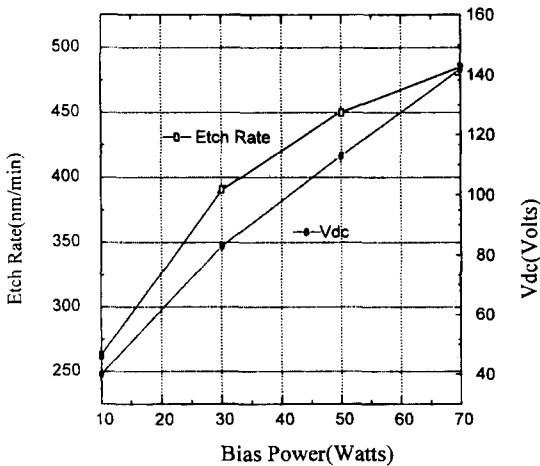


그림 4. Bias power 변화에 따른 산화막의 식각 속도의 변화 (CF₄/CHF₃=30/10 sccm, 챔버 압력=10 mTorr 및 source power=800 watts)

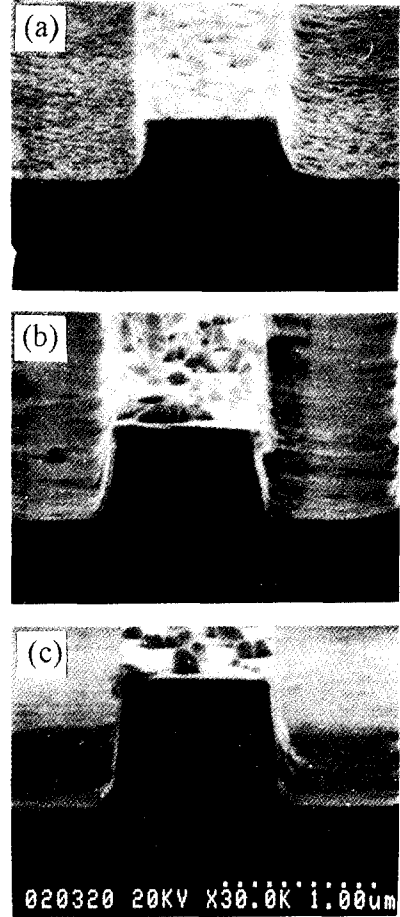


그림 5. Bias power 변화에 따른 식각 단면의 SEM상(CF₄/CHF₃=30/10 sccm, 챔버 압력=10 mTorr 및 source power=800 watts)

에도 영향을 미친다. 그림 5는 여러가지 bias power 조건에 의해 식각된 시료를 SEM으로 관찰한 것이다. 그림 5의 (a), (b) 및 (c)는 bias power가 각각 10, 30 및 70 watts인 경우의 SEM상이다. 그림으로 부터, bias power가 증가함에 따라 시료의 단면은 거의 변화가 없고, 시료의 표면이 매끄러워 짐을 알 수 있다. 이러한 식각 표면의 변화는 식각중 시료의 표면에 형성되는 폴리머에 기인하는 것으로 추측된다. 즉 bias power의 증가는 Vdc가 증가를 초래하고, 그 결과 physical sputtering effect에 의해 폴리머(polymer)가 제거되어, 식각 공정중 시료의 표면에 형성되는 폴리머가 얇아진다. 따라서 식각중 시료의 표면은 bias power가 증가할수록 매끄러워지는 것으로 판단된다.

그림 6은 source power 변화에 따른 식각속도의 변화

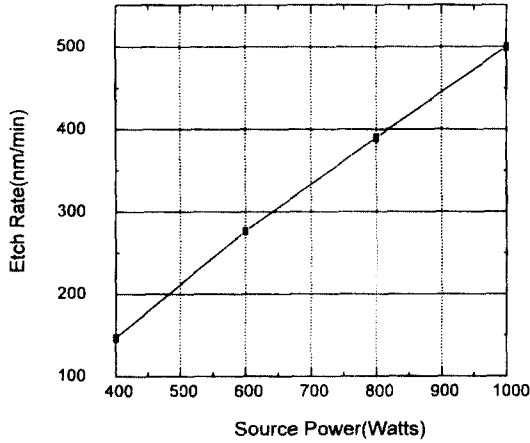


그림 6. source power 변화에 따른 식각속도의 변화(CF₄/CHF₃=30/10 sccm, 챔버 압력=10 mTorr 및 bias power=30 watts)

를 나타낸 것이다. 그림으로 부터 source power가 증가할수록 식각속도가 증가함을 알 수 있다. 이는 source power가 증가되면 이온 전류 밀도 및 중성 라디칼이 증가되어 나타난 결과로 해석된다. 이러한 source power 변화에 따른 불소 라디칼 및 이온 전류의 변화는 그림 7과 8로 부터 확인할 수 있다.

그림 7은 source power 변화에 따른 상대적인 불소 라디칼의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, source power가 증가되면 상대적인 불소 라디칼의 밀도가 증가되었다. Source power의 증가는 플라즈마 내에서 전자 밀도를 증가시켜, 중성입자와의 충돌 빈도수

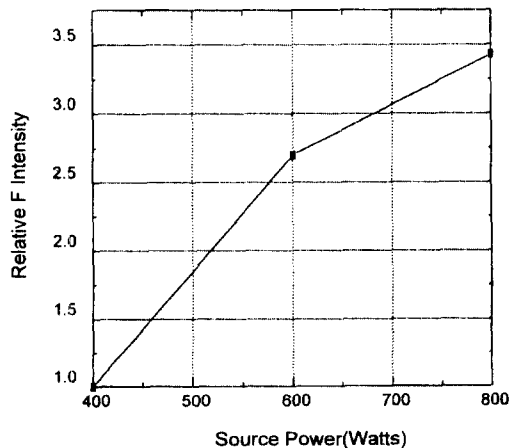


그림 7. Source power 변화에 따른 상대적인 불소 라디칼의 변화(CF₄/CHF₃=30/10 sccm, 챔버 압력=10 mTorr 및 bias power=30 watts)

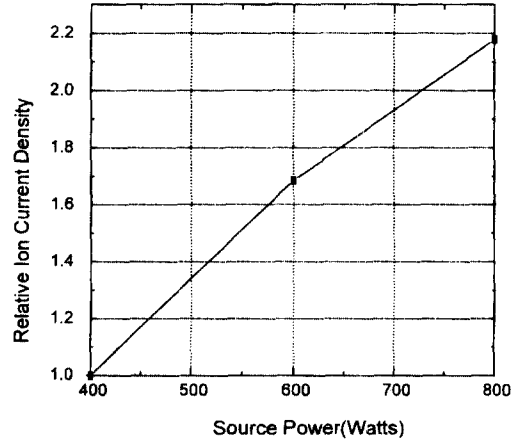


그림 8. Source power 변화에 따른 이온 전류 밀도의 변화(CF₄/CHF₃=30/10 sccm, 챔버 압력=10 mTorr 및 bias power=30 watts)

를 증가시킨다. 이러한 충돌 빈도수의 증가는 플라즈마 내에 존재하는 입자의 분해를 가속시킨다. 그 결과 플라즈마 내에 불소 라디칼이 향상되는 것으로 판단된다. 또한 source power 변화에 따른 이온 전류 밀도의 변화를 그림 8에 나타내었다. 그림 8은 source power가 증가되면 이온 전류 밀도가 증가됨을 보여준다. 이러한 이온 전류 증가는, 그림 8에서 설명한 바와 같이, 플라즈마 내에서 전자 밀도가 증가되고, 그 결과 전자 충격에 의한 이온화 빈도수가 증가되어 나타난 현상으로 판단된다. 즉 source power의 증가는 전자 충격에 의한 이온화 빈도수를 증가시켜 입자의 이온화를 향상시키기 때문이다. 이상의 산화막 식각 특성을 이용하여, SiO₂-P₂O₅로 구성된 코아층을 식각하고, 그 SEM상을 그림 9에 나타내었다. 그림 9의 (a)는 도파로의 단면 SEM상이고, (b)는 도파로 분기점의 SEM상이다. CF₄/CHF₃는 30/10 sccm, source power는 800 watts, bias power는 30 watts, 챔버 압력은 10 mTorr인 조건에서 수행되었다. 그림 9는 식각 단면이 거의 수직하고, 패턴의 넓이가 거의 8 μm로 형성되었음을 보여준다. 이는 마스크의 패턴이 거의 패턴 크기의 손실없이 코아층이 식각되었음을 말해준다.

4. 결 론

ICP 식각장비의 식각변수에 따른 식각 특성의 변화를 고찰하였으며, 플라즈마의 특성 변화를 Langmuir probe 및 OES를 이용하여 조사하였다.

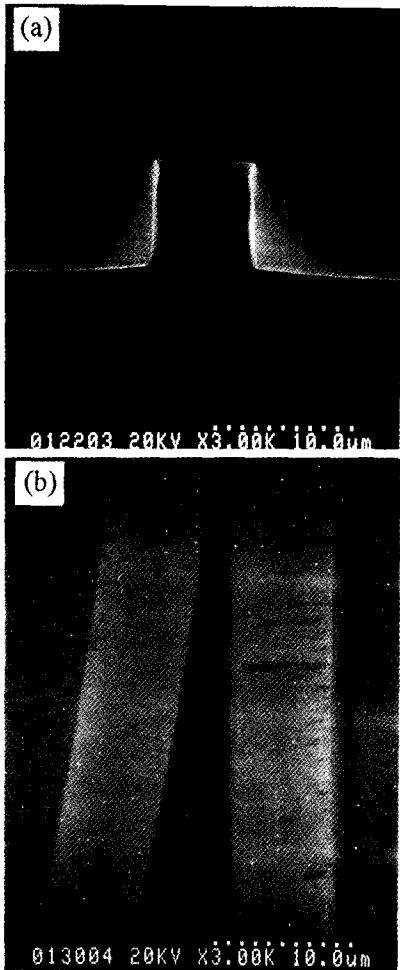


그림 9. 도파로 코어층의 SEM상 (a) 도파로의 단면 SEM, (b) 도파로 분기점의 SEM 상($CF_4/CHF_3=30/10$ sccm, 챔버 압력=10 mTorr, source power=800 watts 및 bias power=30 watts)

CF_4/CHF_3 유량비가 증가함에 따라 산화막의 식각속도는 증가함을 알 수 있었다. 이는 OES 및 Langmuir probe 결과로부터, CF_4 유량이 증가함에 따라 플라즈마 내의 불소 라디칼과 이온 증가에 의해 식각속도가 증가에 기인함을 확인하였다. Bias power가 증가되는 경우, 산화막의 식각 속도는 증가되고, 시료의 표면이 매끄러워짐을 확인하였으며, 이는 Vdc 변화에 그 원인이 있는 것으로 판단된다. 또한 source power가 증가할수록 식각속도가 증가함을 알 수 있었으며, 이는 source power가 증가되면 이온 전류 밀도 및 불소 라디칼의 증가에 기인함을 OES 및 Langmuir probe로 관찰하였다.

이상의 산화막에 의해 최적화된 식각조건을 이용하여, $SiO_2-P_2O_5$ 로 구성된 코어층을 식각하였다. 이때 core층의 식각 단면이 거의 수직하고, 마스크 층으로 사용된 Al (1% Si)과의 식각 선택비는 거의 30:1였다. 또한 패턴의 넓이가 거의 8 mm로 마스크의 패턴이 패턴 크기의 손실 없이 core층이 식각되는 우수한 식각 결과를 얻었다.

인용문헌

1. N. Sharch, E.M. Starr, "Integrated Optic 1×4 Splitter in SiO_2/GeO_2 ", Electronics Letters., Vol. 25, No. 15, pp. 981-982, 1989
2. Kawachi, "Silica Waveguide on Silicon and Their Application to Integrated-Optic Components", Optical and Quantum Electronics, Vol. 22, pp.391-416, 1990
3. Henry, J.M. Fracou, and A. Inard, J. Vac. Sci. Technol., A10(6), pp. 3426, 1992
4. Hopwood, C.R. Guarnieri, S.J. White, and J. J. Cuomo, J. Vac. Sci. Technol., A11(1), pp. 147, 1993
5. A. H. Heinecke, Control of relative etch rates of SiO_2 and Si in plasma etching, Solid State Electron., 18, pp. 1146, 1975