

유도결합 Cl_2 및 HBr/Cl_2 플라즈마를 이용한 STI용 실리콘 Shallow trench 식각공정에 관한 연구

이주훈 · 이영준 · 김현수 · 이주욱* · 이정용* · 염근영

성균관대학교 재료공학과, *한국과학기술원 재료공학과
(1997년 2월 3일 접수)

A study on the silicon shallow trench etch process for STI using inductively coupled Cl_2 and HBr/Cl_2 plasmas

Ju-Hoon Lee, Young-Jun Lee, Hyeon-Soo Kim, Ju-Wook Lee*,
Jung-Yong Lee*, and Geun-Young Yeom

Department of Materials Engineering, Sung Kyun Kwan University, Suwon 440-746, Korea

*Department of Materials Engineering, Korea Advanced Institute of
Science and Technology, Taejeon 305-701, Korea

(Received February 3, 1997)

요 약 - 고밀도 유도결합 Cl_2 및 HBr/Cl_2 플라즈마를 이용하여 차세대 반도체 집적회로에 사용가능한 STI (Shallow Trench Isolation) 구조에서 trench 식각시 trench etch profile 및 격자손상에 영향을 미치는 공정변수의 효과에 대하여 연구하였다. 식각결과 Cl_2 만을 사용한 경우에는 trench 식각공정 동안 화학적 측면식각의 증가로 인하여 등방성 식각이 얻어지고 이는 유도입력 전력이 증가하고 바이어스 전압이 감소함에 따라 이의 경향이 증가하였다. 측면식각의 정도는 Cl_2 에 N_2 및 O_2 의 첨가에 따라 감소하였다. 순수 HBr 을 사용한 경우에 있어서는 Br 라디칼이 Cl 라디칼에 비하여 자발적인 실리콘 식각의 민감도가 감소하여 positive angle의 식각형상이 얻어졌으며 HBr 내에 Cl_2 의 증가에 따라 이방성 식각이 얻어졌다. 물리적인 격자손상을 투과전자현미경으로 관찰한 결과 Cl_2/N_2 및 HBr 을 함유한 식각가스를 사용한 경우에 trench 표면에서 결함이 관찰되었다.

Abstract - Silicon shallow trenches applied to the STI (Shallow Trench Isolation) of integrated circuits were etched using inductively coupled Cl_2 and HBr/Cl_2 plasmas and the effects of process parameters on the etch profiles of silicon trenches and the physical damages on the trench sidewall and bottom were investigated. The increase of inductive power and bias voltage in Cl_2 and HBr/Cl_2 plasmas increased polysilicon etch rates in general, but reduced the etch selectivities over nitride. In case of Cl_2 plasma, low inductive power and high bias voltage showed an anisotropic trench etch profile, and also the addition of oxygen or nitrogen to chlorine increased the etch anisotropy. The use of pure HBr showed a positively angled etch profile and the addition of Cl_2 to HBr improved the etch profile more anisotropically. HRTEM study showed physical defects formed on the silicon trench surfaces etched in Cl_2/N_2 or HBr/Cl_2 plasmas.

1. 서 론

반도체 집적회로 소자의 면적이 submicron 이하로 감소됨에 따라서 기존의 LOCOS(LOCAl Oxidation of Silicon)방법을 이용한 소자분리 방법은 bird's beak과 평탄화 과정에 있어서 그 한계에 이르고 있다[1,2]. LOCOS를 대체할 새로운 소자분리 방법으로 연구되고 있는 방

법으로는 SOI(Silicon on Insulator), wafer bonding, SIMOX(Separation by IMplanted OXYgen), 그리고 STI (Shallow Trench Isolation)방법 등이 있다[3]. 이들 방법 중 STI 소자분리 방법은 활성영역침식(active area encroachment)과 접합모서리 부분에서의 정전용량이 작다는 장점을 지니며 trench refill 과정 후 평탄화 과정에서 평탄한 표면을 얻을 수 있는 등의 deep submicron 소자

의 소자간 분리공정의 적용에 있어서 많은 장점을 지닌다. STI 소자분리 기술은 크게 트렌치 식각, CVD oxide refill, 그리고 평탄화 공정의 3가지 과정으로 나뉘어 질 수 있다[4]. 본 연구에서는 최근 고밀도 플라즈마 소스로 개발되고 있는 ECR(Electron Cyclotron Resonance)[5,6], Helicon[7,8], ICP(Inductively Coupled Plasma)[9,10], Helical Resonator 등의 방법 중 유도결합 플라즈마(ICP)를 이용하여 deep submicron 소자의 STI 소자분리를 위한 shallow trench를 식각하고 이의 특성을 연구하였다.

STI 소자분리 공정에서 중요한 요소들로는 트렌치 식각후 절연 물질인 산화물을 쉽게 채워 넣기 위한 profile angle의 제어, 트렌치 바닥 모서리 부분의 roundness, 실리콘의 높은 식각속도 및 마스크 물질과의 높은 식각선택도 등이 있다. 또한 식각된 트렌치 측면과 바닥 부분에 식각으로 발생하는 오염과 손상을 최소화 하는 것이 필요하다[11-13].

식각에 사용되는 염소 플라즈마는 고농도로 도핑된 n+ 다결정 실리콘의 이방성 식각에 널리 이용되고 있다[14,15]. 그러나 염소 플라즈마는 식각된 트렌치 형상이 이상적인 모양에서 벗어나는 경우가 발생하고 Si₃N₄ 또는 감광막과의 식각선택도가 원하는 만큼 높지 못한 등의 단점을 지니고 있다[16]. 반면, 브롬계 플라즈마(HBr, Br₂)는 염소 플라즈마보다 높은 이방성과 마스크 물질과의 높은 식각선택도를 지닌다는 점에서 다결정 실리콘 게이트 구조의 식각에 널리 이용되고 있다[17, 18]. 비록, 염소계와 브롬계 플라즈마가 다결정 실리콘 게이트 구조 식각에 이용되고 있기는 하지만 단결정 실리콘 트렌치 식각의 적용에 있어서는 그 식각 특성에 관한 연구가 완전히 이루어 지고 있지 않은 상태이다.

본 연구에서는 유도결합형 플라즈마 식각장비를 이용하고 식각가스로는 Cl₂, HBr, 또는 그 혼합가스를 이용하여 deep submicron 실리콘 트렌치를 식각하고 식각조건에 따른 트렌치 모양과 TEM을 이용한 물리적 손상에 관한 관찰을 그 목적으로 하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서 사용된 ICP 식각장비의 유도결합 플라즈마 소스는 3.5회 감은 평면 와선형 구리코일로 구성되어 있고 1 cm 두께의 석영창으로 방전 챔버와 격리되어 있다. 13.56 MHz의 rf 전력이 코일에 인가되어 유도결합형 플라즈마를 발생시키고 또 다른 13.56 MHz의 rf 전

력이 기관에 인가되어 웨이퍼에 바이어스 전압을 유도하게 된다. ICP power는 200~600 W, 직류 바이어스 전압은 0~-100 V로 변화를 주었고 기관온도는 냉각장치를 이용하여 3°C로 일정하게 유지시켰다. 플라즈마 발생을 위한 주식각 가스로는 Cl₂, HBr, 그리고 그들의 혼합가스로 하고 작업 압력은 5 mTorr 또는 10 mTorr로 유지시켰다. 또한 소량의 산소 또는 질소(10%)를 주식각 가스에 첨가하여 이방성 식각을 하고자 하였다.

ICP power, 바이어스 전압, 가스혼합 등의 공정 변수의 변화에 따른 식각속도와 식각 선택도에 미치는 효과를 측정하기 위하여 1 μm 두께의 undoped polysilicon, 0.3 μm 두께의 nitride, 0.3 μm 두께의 oxide를 실리콘 기판위에 증착하고 동일한 식각조건에서 각각 식각하였다. 식각속도와 식각선택도는 Nanospec을 이용하여 식각전후의 박막의 두께를 측정함으로써 평가되었다. 기본적인 식각특성의 결과로부터 몇 가지로 선택되어진 공정 조건에 대하여 실리콘 트렌치 식각을 하였다. 본 실험에서 사용되어진 트렌치 식각 마스크로는 2000 Å의 nitride와 100 Å의 pad oxide를 이용하였고 감광제 마스크를 이용하여 0.25~0.8 μm의 선폭을 갖는 패턴을 형성한 후 실리콘 트렌치 식각전에 감광제를 제거하였다. 실리콘 트렌치 깊이는 0.3~0.5 μm의 범위에서 식각이 행해졌다.

식각을 통하여 얻어진 트렌치 모양은 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 관찰하였다. 식각된 실리콘 표면의 화학적 조성 및 잔류물의 결합상태는 -40 V의 바이어스 전압 유무에 따른 실리콘 표면의 XPS분석결과를 이용하여 가스 조합에 따라서 측정하였다. 식각된 실리콘 트렌치의 측면, 바닥, 바닥모서리 부분의 물리적인 결합분석에 있어서는 투과전자현미경이 사용되어졌다.

3. 실험 결과

3.1 기본식각 특성

3.1.1 Cl₂ 플라즈마

먼저 염소가스를 이용하여 blank 실리콘 웨이퍼 기판 위에 형성된 undoped polysilicon, oxide, nitride를 ICP power, 바이어스 전압, 그리고 첨가가스(O₂ 또는 N₂)의 변화에 따라서 식각하고 식각속도와 식각선택도를 측정하였다. Fig. 1은 Cl₂ 5 mTorr, 바이어스 전압을 -20 V로 일정하게 유지한 상태에서 ICP power 변화가 polysilicon의 식각속도 및 식각선택도에 미치는 효과를 나타

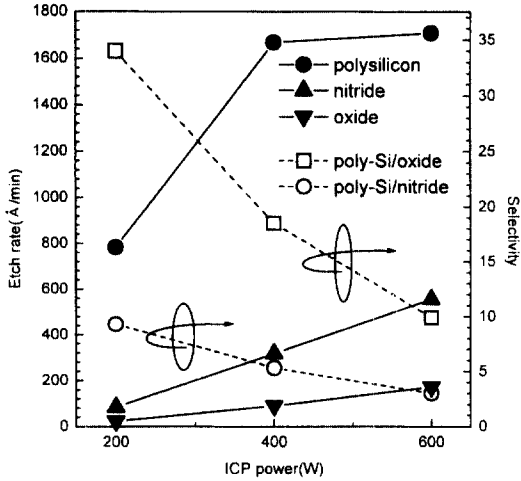


Fig. 1. Etch rates of polysilicon, nitride, and oxide, and etch selectivities over oxide and nitride as a function of inductive power. Process condition: 100%Cl₂, 5 mTorr and -20 V bias voltage.

내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 polysilicon의 식각 속도는 ICP power가 200 W에서 600 W로 증가함에 따라서 직선적으로 증가하고 있다. 이에 따라서 nitride와 oxide의 식각속도도 증가하여 polysilicon과의 식각 선택도가 선형적으로 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한, oxide가 nitride에 비해 polysilicon과의 식각선택도가 월등히 우수함을 알 수 있다. 이는 염소 플라즈마에 있어서 Si-O의 결합력(799.6±13.4 KJmol⁻¹)이 Si-N의 결합력(439±38 KJmol⁻¹)[19]보다 높은 것과 관계가 있는 것으로 사료되며 고정된 바이어스 전압에서 ICP power의 증가에 따른 식각선택도의 감소는 플라즈마내의 이온의 증가로 인해서 기판에 충돌하는 이온이 증대됨으로 인하여 발생하는 스퍼터 효과의 증대로 설명될 수 있다. 비록 oxide가 nitride에 비해서 polysilicon에 대한 식각 선택도가 높기는 하지만 본 실험에서는 oxide가 아닌 nitride가 실리콘 트렌치 식각에 있어서 식각 마스크로 사용되어 졌기 때문에 nitride에 대한 polysilicon의 식각 선택도에 관해서 더 많은 연구를 하였다.

Fig. 2에서는 압력을 5 mTorr, ICP power를 400 W로 고정한 상태에서 바이어스 전압의 변화에 따른 첨가가스 및 바이어스 전압이 polysilicon의 식각속도와 nitride와의 식각선택도에 미치는 효과를 나타내고 있다. Polysilicon의 경우는 바이어스 전압이 0에서 60 V로 증가함에 따라 식각속도가 증가하였으나 본 연구에서 사용된 높은 바이어스 전압 영역에서는 polysilicon의 식각속도가 포화되

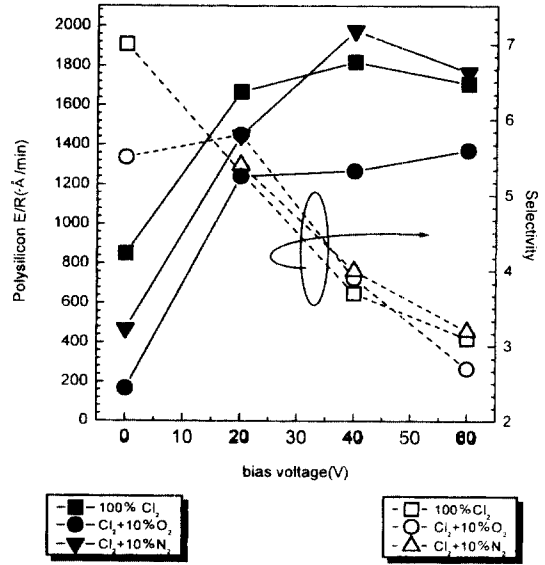


Fig. 2. Polysilicon etch rates and etch selectivities over nitride as a function of bias voltage and additive gas. Process condition: 5 mTorr and 400 W inductive power.

는 경향을 나타내었다. 염소에 10% 질소를 첨가한 경우에 있어서는 순수 Cl₂을 사용한 경우보다 약간 낮거나 비슷한 식각속도를 나타내고 있으며 10% 산소를 첨가한 경우에 있어서는 순수 염소를 사용한 경우에 비해 약 25%정도로 식각속도가 감소함을 나타내고 있다. 높은 바이어스 전압영역에서 polysilicon의 식각속도가 포화되는 것은 실리콘과 염소간의 화학적 반응을 통하여 휘발성인 SiCl_x를 형성하기도 전에 physisorb된 염소 라디칼을 입사하는 이온이 스퍼터시킴으로써 발생하는 현상으로 사료된다[20]. 염소 플라즈마에 산소를 첨가함으로써 polysilicon의 식각속도가 낮아지는 것은 XPS를 통한 실리콘 표면분석에서도 확인이 되었는데 비휘발성인 Si-O 결합을 형성하기 때문으로 사료된다. 반면, nitride나 oxide의 경우 이들의 식각이 염소와의 화학적 반응에 의한 식각보다는 스퍼터에 의한 식각의 효과가 크므로 바이어스 전압의 증가에 따라서 첨가가스에 관계없이 식각속도가 증가하여 nitride에 대한 polysilicon의 식각선택도는 감소하는 경향을 나타내고 있다.

3.1.2 HBr/Cl₂ 플라즈마

현재 다결정 실리콘 게이트 식각의 경우에 있어서 염소 플라즈마에 HBr을 혼합하여 실리콘과 HBr간의 자발적인 화학적 반응을 감소시킴으로써 식각 형상을 향상시키는 공정이 이용되기도 한다. 그러므로 submicron 실리콘

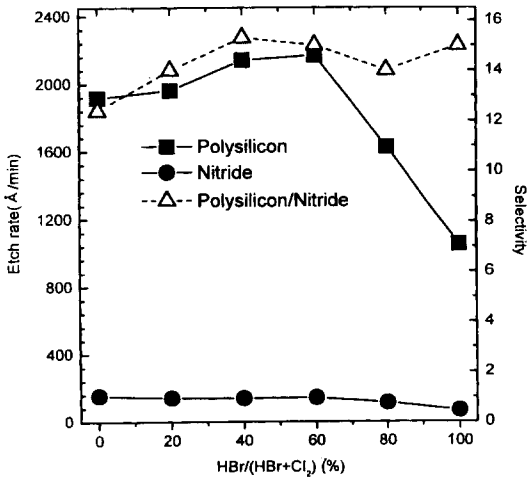


Fig. 3. Etch rates of polysilicon and nitride, and polysilicon etch selectivities over nitride as a function of HBr/Cl₂ ratio. Process condition: 10 mTorr, 400 W inductive power, and -20 V bias voltage.

큰 shallow trench 식각에 있어서도 HBr/Cl₂ 플라즈마를 이용함으로써 HBr이 실리콘 트렌치 식각에 미치는 효과에 관해서 조사하였다. HBr/Cl₂ 플라즈마의 경우에도 역시도 염소만을 이용한 실험에서와 같이 polysilicon과 nitride의 blank 웨이퍼를 이용하여 공정조건인 ICP power, 바이어스 전압, 그리고 가스조합의 변화에 따른 polysilicon과 nitride의 식각속도 및 nitride에 대한 polysilicon의 식각선택도를 10 mTorr의 압력하에서 측정하였다.

Fig. 3은 10 mTorr, ICP power 400 W, 그리고 바이어스 전압을 -20 V로 고정된 상태에서 염소 플라즈마에 HBr을 첨가하여 HBr 첨가량 변화에 따른 polysilicon과 nitride의 식각속도 및 nitride와의 식각선택도를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 HBr 함량이 높은 경우를 제외하고는 염소에 HBr 첨가량의 증가가 polysilicon의 식각속도를 크게 변화시키고 있지 않으며 약 2000 Å/min의 식각속도를 나타내고 있다. 또한, nitride의 식각속도에 있어서도 polysilicon과 유사하게 큰 변화를 나타내고 있지 않다. 따라서 nitride에 대한 polysilicon의 식각선택도는 HBr 첨가량 변화에 관계없이 약 15정도로 큰 변화가 관찰되지 않았다.

3.2 실리콘 Shallow Trench 식각형상

3.2.1 Cl₂ 플라즈마

앞의 기본적인 식각 특성을 이용하여 실제 반도체 소자의 STI 소자분리 공정에서 필요로 하는 submicron

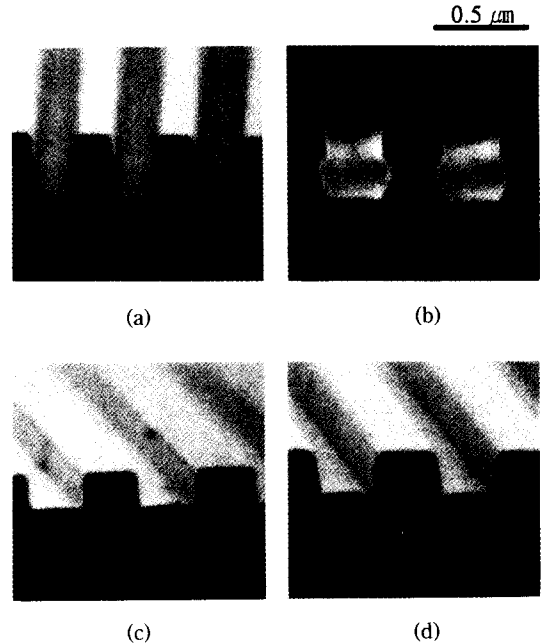


Fig. 4. Submicron shallow trench etch profiles with the variation of inductive power and additive gas. (a) 100% Cl₂, 200 W, (b) 100%Cl₂, 600 W, (c) Cl₂+N₂, 600 W, (d) Cl₂+O₂, 600 W. Process condition: 5 mTorr and -40 V bias voltage.

shallow trench 패턴을 3000~5000 Å의 깊이로 식각하고 몇 가지 식각조건에서 식각된 트렌치 형상을 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4(a)와 (b)는 100%Cl₂에 대해 바이어스 전압을 -40 V로 고정된 상태에서 ICP power를 200 W에서 600 W로 증가시킨 경우 식각된 형상이다. Fig. 4(a)와 (b)를 비교해 보면 ICP power의 증가에 따른 염소 라디칼의 증가로 인해 측면에서의 화학적 측면식각의 정도를 증가시키므로써 부분적인 등방성 식각이 진행되고 있음을 알 수 있다. 또한 ICP power가 증가함에 따라서 기판온도가 증가하게 되는데 이로 인한 트렌치 측면에서의 염소 라디칼과 실리콘과의 반응성 증가가 등방성 식각의 다른 한가지 이유일 수 있다. Fig. 4(c)와 (d)에서는 ICP power 600 W, 바이어스 전압 -40 V에서 10% 질소(산소)를 첨가한 경우에 대한 식각된 형상을 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 산소 또는 질소를 첨가함으로써 트렌치의 측면식각이 감소하여 이방성이 증가함을 알 수 있다. 산소첨가로 인한 이방성 식각의 증가는 Fig. 5의 XPS 결과에서 보듯이 스퍼터가 되지 않는 트렌치 측면에서 비휘발성의 passivation층(Si-O 결합)이

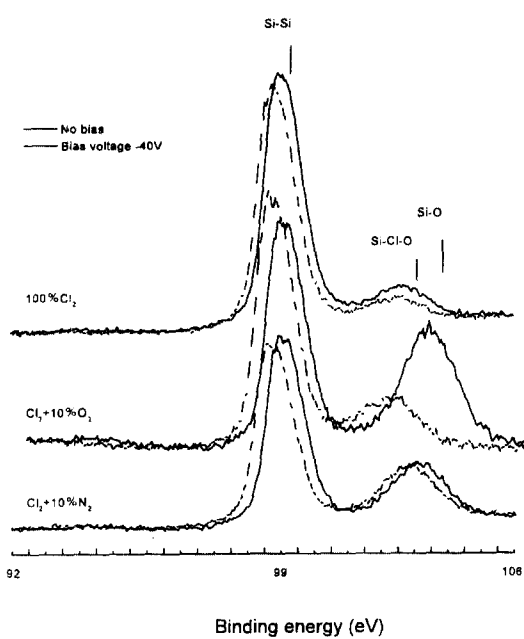


Fig. 5. XPS narrow scan data of etched silicon surface as a function of bias voltage and gas combination.

형성되는 것과 관련지을 수 있다[12,20]. 한편 질소첨가의 경우는 XPS결과에서 측면을 passivation할 수 있는 비휘발성의 Si-N 결합이 관찰되지 않은 상태에서 이방성 식각의 mechanism을 확인할 수 없었다. 단지 이방성 식각형상을 얻을 수 있는 한 가지 가능한 요인은 다음 절에서 설명하는 바와 같은 석영창의 스퍼터링으로 챔버에 유입된 산소와 측면 실리콘과의 반응으로 인한 Si-Cl-O 결합(Fig. 5)의 형성으로 추측되는 정도이다.

3.2.2 HBr/Cl₂ 플라즈마

Fig. 6은 10 mTorr, ICP power 400 W조건에서 HBr/Cl₂ 플라즈마에 있어서 혼합비 변화 및 첨가가스(산소 또는 질소)에 따른 식각된 트렌치 형상을 나타내고 있다. Fig. 6(a)는 100%HBr을 사용한 경우의 식각형상인데 측면식각이 전혀 이루어지지 않고 있으며 측면각도가 (+)인 상태이다. 반면, Fig. 6(b)에서 보는 바와 같이 HBr에 50%의 염소를 첨가한 경우에 있어서는 식각속도가 100%HBr에 비해 월등히 증가하고 측면식각이 나타나고 있지 않으며 거의 수직인 측면을 얻을 수 있었다. 100%HBr 플라즈마의 경우에 있어서 측면각도가 (+)인 트렌치가 형성되는 이유는 sidewall passivation과 연관지어 생각할 수 있고, 실제로 트렌치의 측면이 산소, 카본 등에 의해서 passivation 된다. Fig. 7의 XPS 결

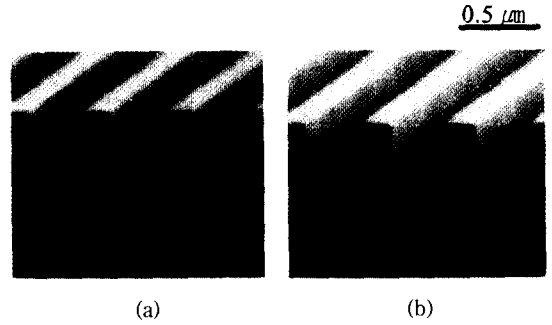


Fig. 6. Etch profiles of 0.3 μm width silicon trenches with the variation of HBr/Cl₂ ratio. (a) 100%HBr, (b) 50%HBr/50%Cl₂. Process condition: 10 mTorr, 400 W inductive power, and -40 V bias voltage.

과에서 나타내고 있는 바와같이 100%HBr을 이용한 실리콘 표면분석에 있어서도 첨가가스로 산소를 사용하지 않았는데도 불구하고 Si-O결합이 관찰되었다. 순수 HBr 플라즈마에 산소를 첨가하지는 않았는데도 불구하고 Si-O 결합이 관찰된 이유는 유도결합 플라즈마 발생에 있어서 패러데이 셀드가 없이 유도 입력전력 발생을 위해서 spiral 코일을 사용하는 경우에 있어서 석영창이 식각됨으로 인해서 sidewall passivation에 영향을 미치는 산소를 방출하기 때문인 것으로 사료된다. 50%HBr/50%Cl₂을 이용한 실리콘 트렌치 식각에 있어서 측면의 경사도가 감소하여 수직에 가까워지게 되는데 그 이유는 염소첨가시 측면 실리콘이 염소와의 자발적인 화학적 측면식각이 증가함으로 인해서 거의 수직에 가까운 형상이 얻어지는 것으로 사료된다.

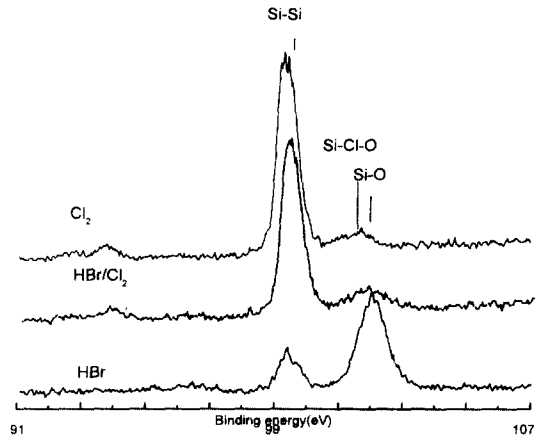


Fig. 7. XPS narrow scan data of etched silicon surface as a function of HBr percent in HBr/Cl₂ plasma.

3.3 Trench 식각시 발생된 격자결함

3.3.1 Cl_2 플라즈마

실리콘 shallow trench 식각의 경우 하부에 etch-stop 층이 없으므로 식각 중 큰 에너지를 갖는 이온의 충돌로 인해 발생가능한 물리적인 손상이 실리콘 트렌치 표면에 남아 있을 수 있다. 앞에서 설명한 여러 가지 공정 조건 중에서 트렌치 식각시에 발생하는 결함에 대하여 조사하기 위하여 5 mTorr, ICP power 400 W 하에서 Cl_2 , $\text{Cl}_2/10\%\text{O}_2(\text{N}_2)$ 의 가스조합의 변화에 따른 실리콘 트렌치 측면과 바닥 부분에 발생하는 격자결함을 TEM을 이용하여 관찰하였다. 식각가스의 변화에 따른 효과를 좀더 확실하게 조사하기 위하여 바이어스 전압으로 본 연구에서 사용한 최대값인 -100 V를 가하여 이에 대한 결과를 조사하였다. TEM을 이용하여 가스조합에 따른 0.3 μm 의 선폭을 갖는 식각된 트렌치 형상을 관찰한 결과 형성된 트렌치 모양은 약간의 경사를 지닌 모양을 유지하고 있었으며 가스조합에 관계없이 유사한 결과를 나타내었으나 트렌치 측면과 바닥 부분을 고분해능 TEM을 이용하여 관찰한 결과는 식각가스의 조합에 따라서 다른 양상의 격자결함 상태를 나타내었다. Fig. 8에서는 $\text{Cl}_2+10\%\text{N}_2$ 를 사용한 경우에 있어서 고분해능 TEM을 이용한 바닥모서리와 바닥 부분을 관찰한 결과를 나타낸다. Fig. 8(a)는 기관으로 입사된 이온과 측면으로부터 반사된 이온들의 충돌을 받음으로 인하여 생성된 격자결함을 나타내며 시간이 지남에 따라서 계속적으로 식각이 진행됨에도 불구하고 이 부분에 가장 많은 격자결함이 관찰되고 있다. 또한 트렌치 측면 부분에서도 약간의 결함이 관찰되었다. Fig. 8(b)는 트렌치 바닥 부분으로서 바닥모서리 부분과 유사하게 계속적으로 식각이 진행되는 지역으로서 기관으로 입사된 이온의 충돌만 받은 상태이므로 바닥모서리 부분에서 보다는 적은 숫자의 결함군이 관찰되고 있다. 100% Cl_2 , $\text{Cl}_2/10\%\text{O}_2$ 를 사용한 경우에 대해서는 그림으로 나타내지는 않았으나 앞서 $\text{Cl}_2/10\%\text{N}_2$ 에서와 같은 결함은 발견되지 않고 깨끗한 격자상태를 유지하고 있다. 현재 염소 플라즈마에 질소의 첨가로 인한 실리콘 표면에서 발생하는 결함의 원인을 정확히 이해할 수는 없으나 결함의 깊이가 실리콘 표면으로부터 약 200 Å인 것으로 보아 ion implantation에 의한 실리콘 원자의 lattice displacement라기 보다는 implant된 원자의 확산 및 합체(coalescence)의 결과로 인한 요인이라고 사료된다.

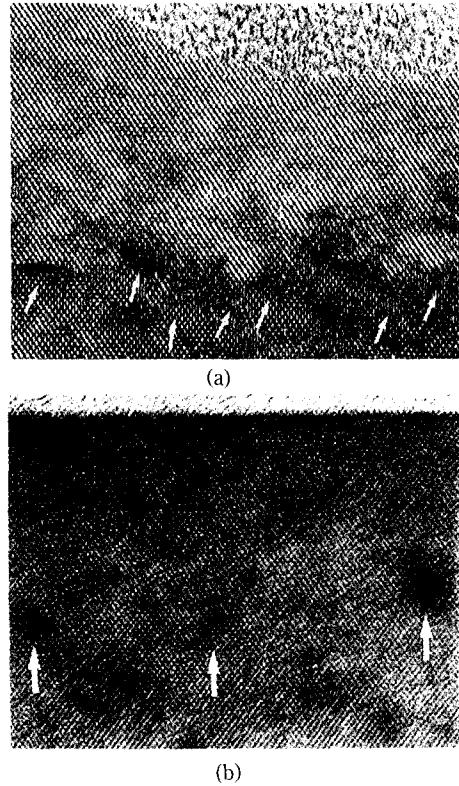


Fig. 8. High resolution TEM micrographs of a 0.3 μm width silicon trench. (a) bottom edge of the etched silicon trench, (b) bottom of the etched silicon trench. Process condition: Cl_2+N_2 , 10 mTorr, 400 W inductive power, -100 V bias voltage, and 5000 Å in etch depth.

3.3.2 HBr/Cl_2 플라즈마

HBr/Cl_2 플라즈마를 이용한 shallow trench 식각시의 격자결함을 관찰하기 위하여 10 mTorr 압력에서 ICP power와 바이어스 전압을 염소에서와 동일한 400 W와 -100 V로 각각 고정하고 HBr/Cl_2 가스조합시 0.3 μm 의 선폭을 갖는 트렌치 형상에 대하여 5000 Å 깊이로 식각시 트렌치 바닥과 측면에 발생가능한 격자결함을 고분해능 투과전자현미경을 이용하여 관찰하였다. 염소 플라즈마에 HBr 혼합비율이 증가할수록 더 많은 결함이 관찰되었고 결함이 트렌치 측면과 바닥 주위를 둘러싸고 있어서 HBr 혼합비율이 40% 이상인 경우에 있어서는 점결합때가 관찰되었다. Fig. 9(a)는 20% $\text{HBr}/80\%\text{Cl}_2$ 를 이용하여 실리콘 트렌치를 식각한 경우 트렌치 바닥모서리 부분에서의 발생된 격자결함을 나타내고 있는데 결함띠를 형성하고 있지는 않으나 약 100 Å미만의 표면

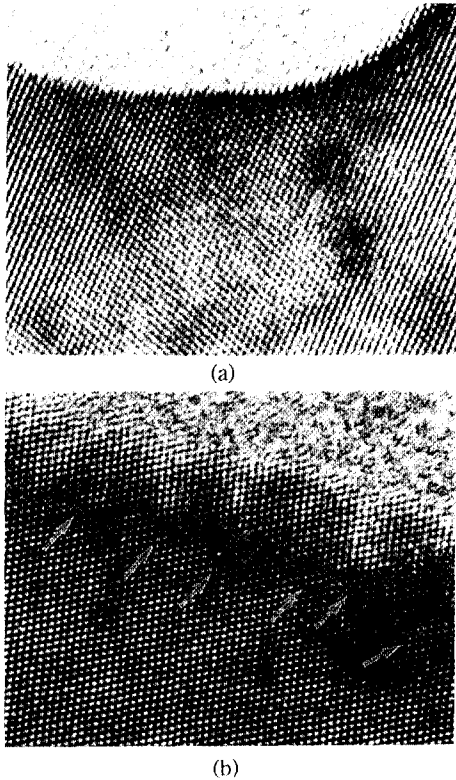


Fig. 9. High resolution TEM micrographs of the bottom edge of the 0.3 μm silicon trenches for the different mixtures of HBr/Cl_2 . (a) 20% $\text{HBr}/80\%\text{Cl}_2$, (b) 40% $\text{HBr}/60\%\text{Cl}_2$. Process condition: 10 mTorr, 400 W inductive power, -100 V bias voltage, and 5000 \AA in etch depth.

부근에서 약간의 결함들이 관찰되고 있다. 그러나 Fig. 9(b)에서 보는 바와 같이 HBr 첨가량이 40%로 증가할 경우 결함수가 증가하였고 바닥모서리 100 \AA 미만인 부분에서 결국은 결함군을 형성함을 알 수 있다. 순수 염소 플라즈마를 이용한 실리콘 식각에서는 결함이 관찰되지 않은 것으로 보아 HBr/Cl_2 플라즈마를 이용하여 트렌치를 식각하는 경우 이와 같이 점결함이 트렌치 바닥과 모서리 등 트렌치 주위에 많이 관찰되는 이유는 HBr 의 수소이온이 쉬스 전압에 의해 가속되어 실리콘 내부로 침투되어 결함을 형성하는 것으로 사료된다[21,22].

4. 결 론

유도결합 Cl_2 과 HBr/Cl_2 플라즈마를 이용하여 STI 소자분리를 위한 실리콘 shallow trench를 식각하고 가스

조합, ICP power, 바이어스 전압 등의 변화에 따른 효과를 조사하였다.

염소 플라즈마의 경우에 polysilicon의 식각속도는 ICP power에 따라서 증가하나 nitride 마스크 층에 대한 식각선택도는 ICP power가 증가함에 따라서 감소하였다. 식각선택도의 증가는 바이어스 전압을 감소시킴으로써 얻어질 수 있으나 바이어스 전압의 감소는 식각된 실리콘 트렌치의 식각형상의 이방성을 감소시킨다. 따라서, 질소나 산소를 염소 플라즈마에 첨가함으로써 식각형상의 이방성을 증진시킬 수 있었다. 식각된 실리콘 트렌치 표면의 HRTEM을 이용한 물리적인 결합관찰에 의하면 Cl_2/N_2 플라즈마를 이용한 식각시 실리콘 트렌치의 측면, 바닥, 바닥모서리 부분에서 결함들이 관찰되었다.

HBr/Cl_2 플라즈마의 경우에 polysilicon의 식각속도 및 식각선택도는 염소 플라즈마와 유사한 결과를 나타내었다. 트렌치 식각형상은 (+)인 경사도 또는 거의 수직에 가까운 측면을 나타내었는데, 그 원인은 측면에서 브롬 라디칼과 실리콘의 반응이 염소 라디칼과 실리콘과의 반응보다 느리기 때문인 것으로 사료된다. HBr 을 포함하는 플라즈마의 물리적인 결합관찰에서는 염소 플라즈마에 HBr 함량이 증가할수록 더 많은 결함이 관찰되었다. 결함들이 식각된 트렌치의 측면과 바닥부분을 둘러싼 모든 지역에서 관찰되었고 트렌치 바닥모서리 부분에서 가장 많은 결함이 관찰되었다. 염소 플라즈마의 경우 결함이 관찰되지 않았고 그 결함의 깊이도 100 \AA 미만인 것으로 보아 발생한 결함은 플라즈마내 쉬스 전압을 통한 수소의 실리콘 내부로의 침투로 인해서 발생되었다고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 1996년도 현대전자의 차세대 반도체 기반 기술 개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. B. Davari, C. Koburger, T. Furukawa, Y. Taur, W. Noble, A. Megdanis, J. Warnock and J. Mauer, IEDM Technical Digest, 88 (1988).
2. H. Lee, M. Park, Y. Shin, T. Park, H. Kang, S. Lee and M. Lee, 1996 Symposium on VLSI Technology Digest of Technical Papers, 158 (1996).

3. S. Wolf, "Silicon Processing for the VLSI Era", Vol. 2, 12, Lattice press (1990).
4. J. Y. cheng, T. F. Lei and T. S. Chao, J. Electrochem. Soc., **142**(10), L187 (1995).
5. S. Salimian and M. Delfino, J. Appl. Phys. **7**(7), 3970 (1991).
6. M. Delfino, S. Salimian, D. Hodul, A. Ellingboe and W. Tsai, J. Appl. Phys. **71**(2), 1001 (1992).
7. R. Bosewell and R. K. Porteous, J. Appl. Phys. **62**(8), 3123 (1987).
8. A. J. Perry, D. Vender and R. W. Bosewell, J. Vac. Sci. Technol., **B9**(2), 310 (1991).
9. D. Flamm, Solid State Technol., March, 47 (1991).
10. J. Hopwood, C. R. Guarnieri, S. J. Whitehair and J. J. Cuomo, J. Vac. Sci. Technol., **A11**(1), 147 (1993).
11. H. Crazzolaro and N. Gellrich, J. Electrochem. Soc. **137**, 708 (1990).
12. F. H. Bell, O. Joubert and L. Vallier, J. Vac. Sci. Technol., **B14**(3), 1796 (1996).
13. N. Fujiwara, T. Maruyama and M. Yoneda, Jpn. J. Appl. Phys. **34**, 2095 (1995).
14. M. Sato and Y. Arita, J. Electrochem. Soc. **134**, 2856 (1987).
15. S. Samukawa, M. Sasakai and Y. Suzuki, J. Vac. Sci. Technol. **B8**, 1192 (1990).
16. Krishina Shenai, IEEE Transactions on Electron Devices, **39**, 737 (1992).
17. A. M. El-Masry, F-O. Fong and C. Wolfe, J. Vac. Sci. Tech. **B6**(1), 257 (1988).
18. C. C. Cheng, K. V. Guin and V. M. Donnelly, J. Vac. Sci. Technol. **B14**, 85 (1996).
19. D. R. Lide, "CRC Handbook of Chemistry and Physics", 9-108 (72 th ed. 1991-1992, CRC Press).
20. V. Guinn and V. M. Donnelly, J. Appl. Phys. **75**, 2227 (1994).
21. R. G. Frieser, F. J. Montillo, N. B. Zingermann, W. K. Chu and S. R. Mader. J. Electrochem. Soc. **130**, 2237 (1983).
22. R. Singh, S. J. Fonash, S. Ashok, P. J. Caplan, J. Shappino, M. Hage and J. Ponpon, J. Vac. Sci. Technol. **A1**, 334 (1983).