

BCl₃/Ar 유도 결합 플라즈마 시스템에서 이온 에너지 분포에 따른 HfO₂ 박막의 식각

論 文

56-2-19

The Etching of HfO₂ Thin Film as the Ion Energy Distributions in the BCl₃/Ar Inductively Coupled Plasma System

金 瓏 河* · 金 徑 兌** · 金 宗 奎*** · 禹 鍾 昌*** · 姜 贊 民*** · 金 昌 日†

(Gwan-Ha Kim · Kyoung-Tae Kim · Jong-Gyu Kim · Jong-Chang Woo · Chan Min Kang · Chang-Il Kim)

Abstract - In this work, we investigated etching characteristics of HfO₂ thin film and Si using inductive coupled plasma(ICP) system. The ion energy distribution functions in an ICP system was analyzed by quadrupole mass spectrometer(QMS) with an electrostatic ion energy analyzer. The maximum etch rate of HfO₂ thin film is 85.5 nm/min at a BCl₃/(BCl₃+Ar) of 20 % and decreased with further addition of BCl₃ gas. From the QMS measurements, the most dominant positive ion energy distributions(IEDs) showed a maximum at 20 % of BCl₃. These tendency was very similar to the etch characteristics. This result agreed with the universal energy dependency of ion enhanced chemical etching yields. And the maximum selectivity of HfO₂ over Si is 3.05 at a O₂ addition of 2 sccm into the BCl₃/(BCl₃+Ar) of 20 % plasma.

Key Words : Etch, Plasma diagnostics, QMS, ICP, Ar/BCl₃

1. 서 론

Si/SiO₂ 재료가 도입된 1957년 이후로 SiO₂는 MOS (Metal Oxide Semiconductor) 트랜지스터의 기본적인 게이트 유전체로서 사용되어져 왔다. 초고밀도 집적회로의 분야에서 MOS 트랜지스터의 크기는 연속적으로 감소되었고 CMOS 회로의 밀도는 3년마다 2배로 증가하였다. 비례 축소의 법칙에 따라 게이트 산화막의 두께를 줄여주면, 게이트 전압에 의해 채널 포텐셜을 가능하게 하며, 구동 전류의 증가로 인하여 단채널 효과(Short-Channel-Effect)를 줄여주어 게이트 길이의 축소를 가능하게 하며, 구동 전류의 증가로 인하여 집적회로의 속도를 개선할 수 있는 장점이 있다[1]. 그러나 SiO₂를 이용하여 차세대 100nm 소자에 필요한 2nm 이하로 산화막의 두께를 축소할 경우 산화막의 두께가 얇아 직접 터널링(Direct tunneling)에 의한 허용치 이상의 과도한 꺼진 상태 누설 전류가 발생하고, 얇은 산화막을 통하여 도펀트가 침투되어 문턱전압이 변화하며, 자연 산화막, SiO_x 층 등의 영향으로 고품질의 산화막 형성이 어렵고, 허용 가능한 결합 밀도가 산화막이 얇을수록 급격히 감소하여 수율은 현저히 낮아지는 문제를 가진다[2].

열이온 방출(thermionic emission)과 직접 터널링(direct tunneling)을 최소화시켜 게이트 누설 전류를 줄이고 게이트 유전막의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 SiO₂ 보다 고유전율을 특성을 가진 금속 산화물로 대체되어야 한다[3]. 이러한

SiO₂의 대체 물질로 Al₂O₃, Y₂O₃, Gd₂O₃, La₂O₃, Pr₂O₃, TiO₂, ZrO₂, HfO₂, Ta₂O₅, SrTiO₃(STO), (Ba,Sr)TiO₃(BST) 등이 연구되어 왔다. 이들 재료 중 STO나 BST같은 매우 높은 유전상수를 갖는 물질은 FIBL(fringing field induce barrier lowering) 효과를 일으킬 수 있으며 열역학적으로 불안정하여 실리콘 기판과의 계면에서 실리콘사이드나 SiO₂가 생성되므로 이를 방지하기 위한 완충막(buffer layer)이 필요하다[4, 5]. Al₂O₃와 Y₂O₃등은 SiO₂에 비하여 유전 상수가 2-3배 정도 크므로 100nm 이하의 소자에 적용될 가능성은 적다[6]. 그러므로 SiO₂ 대비 4-5배 정도 큰 유전상수 값을 가지면서 실리콘 기판과 열역학적으로 안정한 HfO₂가 SiO₂의 대체 물질로 유력하다고 할 수 있다[7]. HfO₂ 박막을 CMOS 커패시터의 게이트 유전물질로 응용하기 위해서 몇몇 선행연구에 의하여 기본적인 식각 특성 등이 보고되었으나 게이트 유전체의 식각에서는 단순한 식각률 보다 식각 공정 중 플라즈마에 의한 저손상 식각 및 Si과의 높은 선택비를 가질 수 있는 식각 공정이 필요하다.

본 논문에서는 SiO₂를 대체할 수 있는 High-k 물질 중 HfO₂ 박막을 단원자 증착법으로 증착하여 유도결합플라즈마(inductively coupled plasma)를 이용한 저손상 식각을 위하여 산화막 식각에서 중요한 변수인 이온 에너지에 대한 상관 관계를 연구하였으며 O₂ 첨가로 Si과의 선택비 향상을 꾀하였다. 기존 CCP(capacitively coupled plasma)와는 달리 기판 전위를 독립적으로 제어할 수 있는 유도결합 플라즈마 시스템은 높은 에너지를 가진 이온들에 의한 웨이퍼 손상을 극소화할 수 있을 뿐만 아니라 공정 물질에 따라 이온에너지 분포를 제어함으로써 공정 제어의 최적화가 가능하다. 이와 같은 유도결합 플라즈마 시스템은 사중극자 질량분석기를 이용하여 분석하였으며 식각 후 시료의 표면은 XPS(X-ray spectrometry)를 이용하여 고찰하였다.

* 正 會 員 : 중앙대 전자전기공학부 박사과정

** 正 會 員 : 중앙대 전자전기공학부 박사후 과정 · 공박

*** 學 生 會 員 : 중앙대 전자전기공학부 석사과정

† 교신저자, 正 會 員 : 중앙대 전자전기공학부 교수 · 공박

E-mail : cikim@cau.ac.kr

接受日字 : 2006年 11月 1日

最終完了 : 2006年 12月 11日

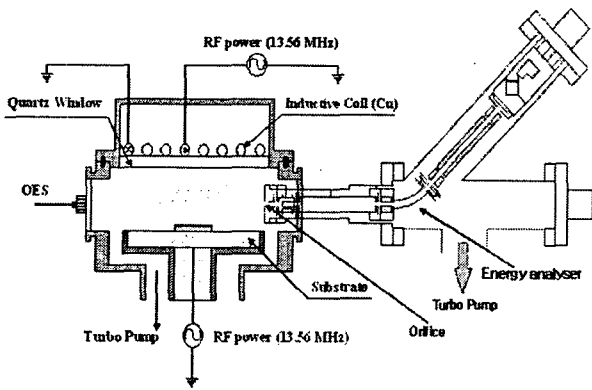


그림 1 사중극자 질량 분석기가 장착된 유도결합 플라즈마 장치의 개략도
 Fig. 1 Schematic of inductively coupled plasma system with quadrupole mass spectrometer

2. 실험 방법

본 실험에서 사용된 기판은 boron이 doping된 p-type Si(100) wafer로 비저항은 6~12 Ωcm이다. 기판은 5 inch full wafer를 사용하였다. 기판 위의 유기물질 제거를 위해 Piranha cleaning(H₂SO₄:H₂O₂=4:1)을 10분간 하였고, 자연 산화막을 제거하기 위해 HF cleaning(HF:DI water=1:100)을 2분간 하였다. 준비된 시편위에 HfCl₄와 TMA를 source로, H₂O gas를 반응가스로 사용하였으며, carrier gas 및 purging gas로 99.999%의 Ar을 사용하였다. HfCl₄는 150℃에서 vaporizing하였으며 TMA와 H₂O는 상온(17~19℃)에서 공급하였다. 각각의 공급시간은 HfO₂의 경우 source pulse 2초, source purging 4초, H₂O gas pulse 4초, H₂O gas purging 4초로 공정을 진행하였다. Si 기판온도는 300℃로 유지하였으며 공정압력은 throttle valve 및 diaphragm gauge를 통해 1 Torr로 일정하게 유지하였다.

이와 같이 증착된 HfO₂ 박막은 그림 1과 같은 구조의 유도결합 플라즈마 시스템을 이용하여 식각하였다. 반응로는 알루미늄 재질로 되어 있으며 별개의 13.56 MHz의 RF 전력을 유도 코일 전력과 직류 바이어스 전력으로 각각 사용하였다. 상부에 수냉 되는 3.5 회외 나선형 구리 코일을 안테나로 사용하였고 코일과 반응로를 분리시키는 24 mm 두께의 석영창(quartz window)과 기판과의 거리는 약 65 mm이다. 진단 시 반응로 압력은 Edward E2M80 mechanical pump와 Alcatel ATP 900 HPC turbo-molecular pump를 이용하여 2 Pa으로 유지하였고, MFC(mass flow controller)를 이용하여 총 가스유량은 20 sccm(standard cubic centimeter per minute)으로 유지하였다. 식각률은 Tencor사의 α-step 500을 이용하여 측정하였다. 식각 후 라디칼(radical)과 박막의 화학적 표면 반응 분석을 위해 사용한 XPS는 VG사의 multilab 2000 기종이고 Al target을 사용하였으며 1486.6eV의 에너지를 가진 X-ray를 사용하였다.

이온의 질량 및 에너지 분석은 Hiden사의 EQP 510 사중극자 질량 분석기를 이용하였으며 에너지 분석을 위하여 직렬로 정전 이온 에너지 분석기(electrostatic ion-energy analyzer: ESA)와 이차전자 증배기(secondary electron multiplier: SEM)로 구성되어 있다. 사중극자 질량 분석기는

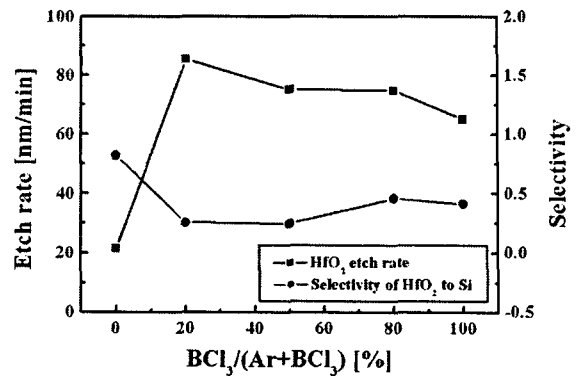


그림 2 BCl₃/Ar 가스혼합비에 따른 HfO₂ 박막의 식각률 및 Si과의 선택비.

Fig. 2 Etch rate of HfO₂ thin film and selectivity of HfO₂ thin film over Si as a function of BCl₃/(BCl₃+Ar) gas mixing ratio.

독립된 mechanical pump 및 turbo molecular pump가 장착되어 차동배기 되도록 하였으며 탐침은 반응로의 벽을 지나 하부 전극의 가장자리에 위치하게 하였고 오리피스(orifice)는 탐침의 중앙에 위치하며 크기는 250 μm이다. 하부 전극에 도달하는 절대적인 flux와 신호 세기의 관계는 SEM에 도달하는 이온의 충돌 비율과 신호의 세기에 의해서 결정되었다. EQP는 절대적인 flux를 측정하지 못하기 때문에 상대적인 신호의 세기로 나타내었으며, 이는 중요 이온의 변화가 반도체 공정에 미치는 영향을 고려하기에는 적당하다.

3. 결과 및 고찰

HfO₂ 박막을 ICP 식각 장비를 이용하여 식각하였다. 그림 2는 BCl₃/(BCl₃+Ar) 가스의 혼합비에 따른 HfO₂ 박막의 식각률과 게이트 산화막의 하부 물질인 Si과의 선택비를 나타낸 것이다. 이때 식각 공정 변수는 20 sccm의 총 가스 유량, 600 W의 RF power, -150 V의 직류 바이어스 전압, 2 Pa의 공정 압력, 23℃의 기판 온도로 고정시켰다. BCl₃ 가스를 20% 첨가함에 따라 HfO₂ 박막의 식각률은 높아지는 반면 Si과의 선택비는 급격히 감소하였다. BCl₃ 가스를 20% 이상 첨가할 때 HfO₂ 박막의 식각률은 서서히 감소하였으며 Si과의 선택비는 점차적으로 증가하였다. BCl₃(20%)/Ar(80%)의 조건에서 HfO₂ 박막의 식각률은 85.5 nm/min으로 가장 높았다. 이는 HfO₂ 박막을 식각하는데 있어서 Ar 이온에 의한 스퍼터링 효과와 라디칼(radical) 생성 등의 플라즈마 특성 변화를 야기하기 때문인 것으로 판단된다. BCl₃ 플라즈마에서 HfO₂ 박막의 식각 시 HfCl₄, B₂O₃ 등의 식각 부산물이 예상된다. HfCl₄(녹는점: 432℃), B₂O₃(녹는점: 450℃)[8]등의 높은 휘발성으로 인해 Ar 이온에 의한 스퍼터링에 의하여 Hf-O 결합이 끊어질 경우 시료 표면에서 Cl 또는 B 라디칼과의 반응으로 식각 부산물의 탈착이 용이하여 BCl₃(20%)/Ar(80%)의 조건에서 HfO₂ 박막의 식각률이 가장 높았을 것으로 생각된다.

그림 3은 BCl₃/(BCl₃+Ar) 플라즈마에서 BCl₃ 가스 첨가에 따른 Ar⁺, B⁺, Cl⁻, Cl₂⁻이온의 에너지 분포 변화를 나타낸다. 이때 공정 변수는 그림 2와 같다. 그림에서 보듯이 BCl₃가

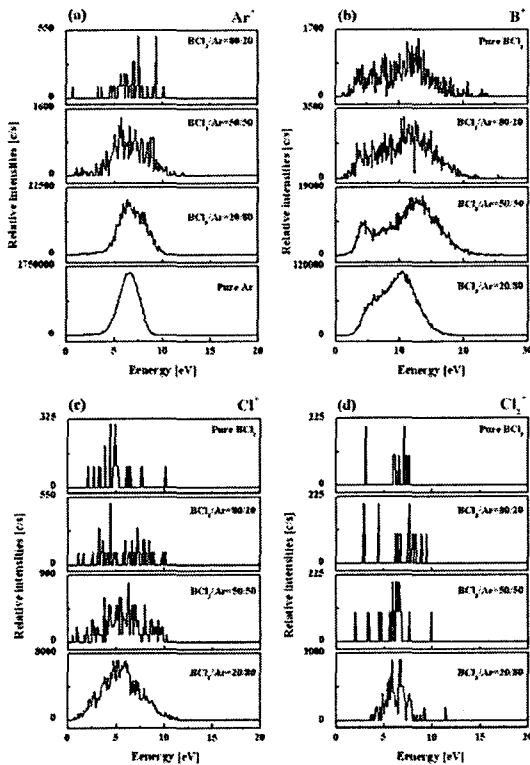


그림 3 BCl₃/Ar 가스 혼합비에 따른 Ar⁺, B⁺, Cl⁺, Cl₂⁺ 이온의 에너지 분포 변화.
 Fig. 3 Ion energy distributions of Ar⁺, B⁺, Cl⁺, and Cl₂⁺ as a function of BCl₃/(BCl₃+Ar) gas mixing ratio.

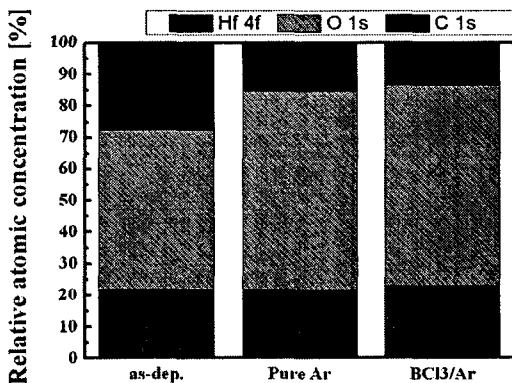


그림 4 공정 조건에 따른 (a) Hf 4f, (b) O 1s 의 XPS scan 스펙트럼.
 Fig. 4 XPS relative atomic concentration as a function of process conditions.

스를 첨가함에 따라 평균 에너지의 이동은 발생하지 않았으며 모든 이온들의 에너지 강도는 급격히 감소하였다. BCl₃ 가스 첨가에 따라 B, Cl, BCl, Cl₂ 등의 활성종의 플라즈마 방출 세기는 증가한다고 선행 연구들[9]에서 보고하였으나 식각 특성에 관여되는 개별 활성종의 에너지 분포에서는 반대되는 경향을 보이고 있다. 이는 BCl₃ 가스 혼합비가 증

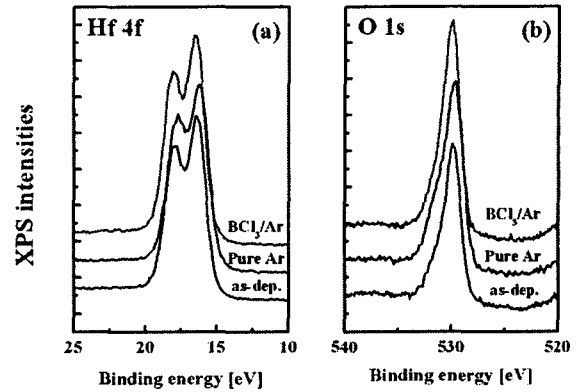


그림 5 공정 조건에 따른 (a) Hf 4f, (b) O 1s 의 XPS scan 스펙트럼.
 Fig. 5 XPS scan spectrum of (a) Hf 4f and (b) O 1s as a function of process conditions.

가할 때 단순히 이온화율 또는 해리율만 증가하였을 뿐이며 각각의 활성종의 운동 에너지는 보다 더 적게 되어 Ar 이온의 스퍼터링에 의한 Hf-O 결합의 끊어짐이 적게 되고 라디칼들의 에너지가 작아 시료 표면에서의 반응이 줄어들어 그림 2와 같이 식각률에 영향을 미치는 것이라고 사료된다.

HfO₂ 박막의 Hf, O 물질들이 B, Cl 라디칼과 박막 표면에서 어떻게 반응하여 식각되는지를 연구하기 위하여 가스의 혼합비 변화에 따라 각각의 물질들에 대하여 XPS 분석을 통해서 각 원소에 대한 상대적 원소비를 고찰하였다. 또한, 각각의 물질들에 대하여 XPS narrow scan을 수행하였다.

그림 4는 식각 전의 HfO₂ 박막과 Ar 플라즈마에서 식각된 HfO₂ 박막, BCl₃/(BCl₃+Ar) 플라즈마에서 식각된 박막의 Hf, O의 상대적인 원소비를 나타낸 것이며, 그림 5는 Hf 4f와 Si 1s의 narrow scan spectra이다. 그림에서 보듯이 세 조건의 모든 시료에서 유사한 비율의 Hf과 Si 피크가 나타났다. 다만 식각 전의 시료에서 C이 상대적으로 다량 검출되었는데 이는 식각 전의 시료가 상대적으로 대기 중에 오래 노출되어 생긴 오염 때문이라고 생각된다. Narrow scan spectra에서는 라디칼과 시료와의 반응으로 이동(shift)된 피크도 없었다. 이는 시료의 구성 성분인 Hf와 O가 플라즈마의 B와 Cl 라디칼과 반응하여 시료 표면에 잔존하지 않고 시료 표면으로부터 탈착이 용이한 것을 의미한다. BCl₃가 20% 이상 첨가될 경우 Ar 비율의 감소하게 되어 스퍼터링에 의한 Hf-O 결합을 끊는 비율이 감소하여 라디칼과의 반응이 저하되기 때문에 식각률의 감소가 나타난다. 이와 같은 결과에서, HfO₂ 박막의 효율적인 식각은 BCl₃와 같은 반응성 가스에 의한 화학적 식각과 Ar 이온에 의한 스퍼터링 효과의 도움이 있을 때 가능하다. Ar 이온의 경우 스퍼터링에 의한 물리적인 식각에 주요한 인자이며 식각 프로파일의 제어 및 Ar 플라즈마에 의한 penning 이온화 등으로 안정된 플라즈마 공정을 위하여 중요한 역할을 한다.

고유전율 산화막인 HfO₂ 박막이 SiO₂ 등을 대체하기 위하여 적절한 식각률 및 프로파일의 확보는 물론 산화막의 저손상 식각, 마스크 및 하부 막과의 높은 선택비 등이 필요하며 CMOS의 경우 게이트 산화막과 소스/드레인의 Si과의

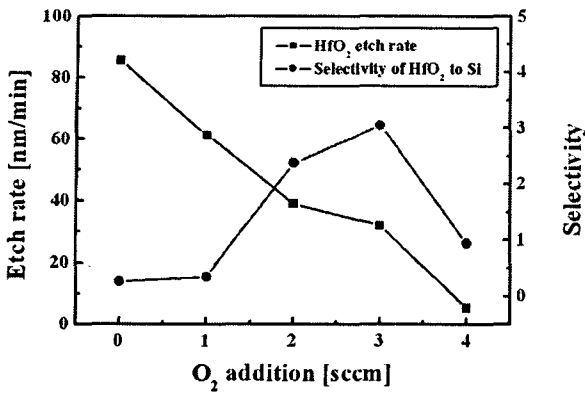


그림 6 BCl₃/Ar 가스혼합비에 O₂ 첨가에 따른 HfO₂ 박막의 식각률 및 Si과의 선택비.

Fig. 6 Etch rate of HfO₂ thin film and selectivity of HfO₂ thin film over Si as a function of O₂ addition into the BCl₃/(BCl₃+Ar) gas mixing ratio.

선택비의 확보가 그 일례라고 할 수 있다. 그림 2와 같은 경우 Ar 플라즈마에서 0.82의 최대 선택비를 보이거나 물리적인 식각으로 인하여 하부 Si에 많은 식각 손상을 야기할 수 있다. 이에 다음 그림 6에서와 같이 O₂ 가스를 BCl₃/(BCl₃+Ar) 플라즈마에 첨가하여 Si과의 선택비를 확보하고자 하였다. 이때의 식각 공정 변수는 그림 2와 같다. O₂ 가스를 첨가함에 따라 HfO₂ 박막과 Si 모두 식각률이 급격히 떨어지며 식

각률 감소 기울기에 따라 선택비는 증가하다 감소하는 경향을 보인다. 이는 O₂ 가스 첨가에 따라 HfO₂ 박막의 경우 선택적인 식각률 감소를 보이거나 Si의 경우 O₂ 2 sccm 첨가할 때 까지는 급격한 식각률 저하를 보이며 계속적인 O₂ 첨가시 완전한 식각률 감소를 보이기 때문이다. O₂ 가스 첨가시 HfO₂ 박막의 경우 구성 성분인 O가 과잉 생성되어 B₂O₃ 형태의 식각 부산물 형성에 필요한 B 라디칼의 부족에 따라 HfO₂ 박막의 식각률 감소를 보이는 것이며, Si의 경우 시료 표면에서 SiO₂ 형태의 산화막이 형성되어 식각률 저하가 야기되는 것으로 생각된다. 이와 같은 식각 특성으로 인하여 HfO₂ 박막과 Si과의 선택비는 O₂ 2 sccm 첨가할 때 최대 선택비 3.05를 얻을 수 있었다.

그림 7은 BCl₃/(BCl₃+Ar) 플라즈마에 O₂ 가스 첨가에 따른 Ar⁺, B⁺, Cl⁺, Cl₂⁺, O⁺이온의 에너지 분포 변화를 나타낸다. 이때 공정 변수는 그림 2와 같다. 그림에서 보듯이 O₂ 가스 첨가에 따라 평균 이온 에너지 분포는 저에너지로 이동이 발생하였으며 이와 같은 현상은 플라즈마 내의 활성종과 시료와의 반응이 약해져 식각률의 변화에 영향을 주었을 것으로 사료된다. O₂ 가스 비율이 높은 곳에서 Cl⁺ 이온의 이중 피크 구조의 에너지 분포가 나타나는 것은 쉬스(sheath)에서 전하 교환 충돌(charge exchange collisions)에 의한 이온 생성 때문이다[9]. Ar⁺, B⁺, Cl₂⁺ 에너지 분포 강도는 O₂ 가스를 2 또는 3 sccm 첨가하였을 때, Cl⁺와 O⁺의 경우에는 O₂ 4 sccm을 첨가하였을 때 최대 분포를 보인다. 이는 O₂ 가스를 첨가함에 따라 B⁺, Cl⁺ 이온 에너지 증가에 비하여 O⁺의 이온 에너지가 급격히 증가하여 HfO₂ 박막의 구성 성

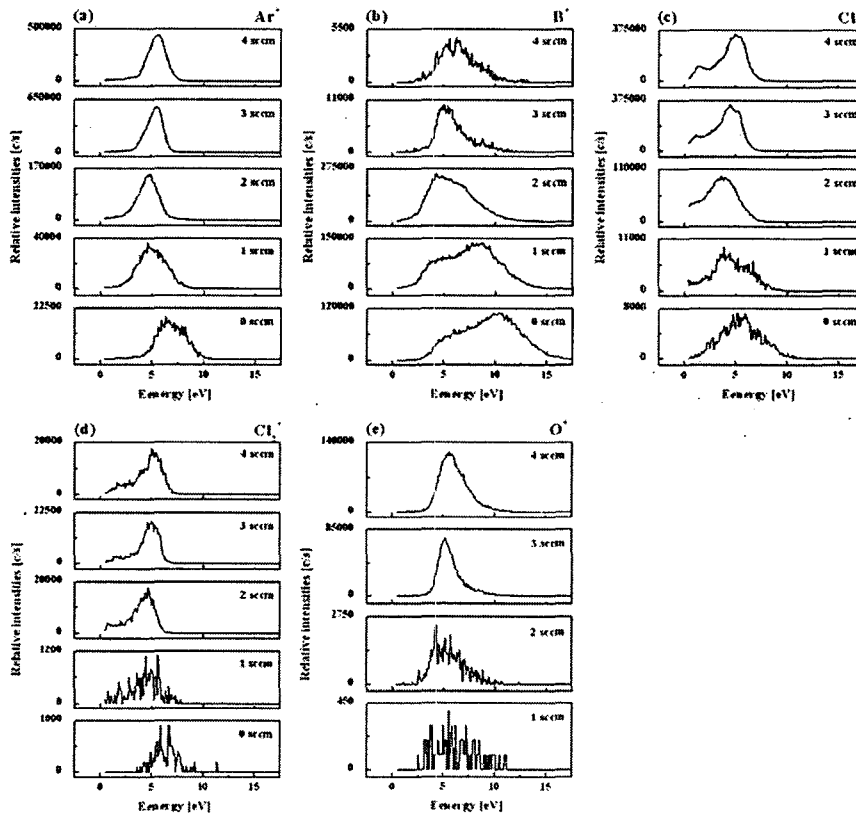


그림 7 BCl₃/Ar 가스혼합비에 O₂ 첨가에 따른 Ar⁺, B⁺, Cl⁺, Cl₂⁺ 이온의 에너지 분포 변화.

Fig. 7 Ion energy distributions of Ar⁺, B⁺, Cl⁺, and Cl₂⁺ as a function of O₂ addition into the BCl₃/(BCl₃+Ar) gas mixing ratio.

본인 Hf, O와 반응하여야 할 B, Cl 라디칼이 첨가 가스인 O₂의 해리된 활성종과 결합하여 식각률의 저하가 야기되는 것으로 추정할 수 있으며 Hf와 반응할 수 있는 Cl⁺ 및 Cl₂⁺ 등의 양이 증가하여 HfCl₄ 형태의 식각 부산물이 형성될 것이라 예상되지만, B⁺의 경우 O₂ 2 sccm 이후 급격한 감소로 인하여 B₂O₃ 형태의 식각 부산물의 빠른 감소를 유발하여 식각률의 감소를 가져온다.

3. 결 론

본 연구에서는 BCl₃/Ar, O₂/BCl₃/Ar 유도결합 플라즈마를 이용한 HfO₂ 박막의 식각을 진행하였다. 또한, 사중극자 질량 분석기를 이용하여 가스 혼합비에 따른 Ar⁺, B⁺, Cl⁺, Cl₂⁺, O⁺ 이온의 에너지 분포 변화를 통해 플라즈마 이온의 거동에 대한 분석을 실시하였다. Ar 이온에 의한 HfO₂ 박막의 물리적인 식각뿐만 아니라 소량의 BCl₃ 가스의 첨가로 Cl 또는 B 라디칼과 이온에 의한 화학적인 식각의 증가로 효율적인 HfO₂ 박막의 식각이 이루어지도록 하였으며 BCl₃/Ar 플라즈마에 O₂ 가스 첨가로 HfO₂ 박막과 Si과의 선택비를 3.05 이상 확보할 수 있었다. 이는 BCl₃/Ar 플라즈마에서 HfO₂ 박막 식각 시 Ar 이온에 의한 스퍼터링으로 Hf-O 결합이 끊어지고 시료 표면에 생성된 HfCl₄, B₂O₃ 등의 식각 부산물이 Ar 이온의 스퍼터링에 의하여 시료 표면으로부터 탈착이 용이하게 일어난 결과이다. O₂ 가스 첨가시 HfO₂ 박막의 경우 구성 성분인 O가 과잉 생성되어 B₂O₃ 형태의 식각 부산물 형성에 필요한 B 라디칼의 부족에 따라, Si의 경우 시료 표면에서 SiO₂ 형태의 산화막이 형성되어 식각률 저하가 야기되는 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] K.J. Hubbard and D.G. Schlom, "Thermodynamic stability of binary oxides in contact With silicon", J. Mater. Res., Vol. 11, Issue 11, pp. 2757-2776, 1996.
- [2] K. Onishi, L. Kang, R. Choi, E. Dharmarajan, S. Gopalan, Y. Jeon, C.S. Kang, B.H. Lee, R. Nieh, and J.C. Lee, "Dopant Penetration Effects on Polysilicon Gate HfO₂ MOSFETs," Symp. VLSI Tech., p. 131, 2001.
- [3] M. Balog, M. Schieber, M. Michiman, and S. Patai, "Chemical vapor deposition and characterization of HfO₂ films from organo-hafnium compounds", Thin Solid Films, Vol. 41, Issue 3, pp. 247-259, 1977.
- [4] B. Cheng, M. Cao, R. Rao, A. Inain, P.V. Voorde, W.M. Greene, J.M.C. Stork, Z. Yu, P.M. Zeitsoff, and J.C.S. Woo, "The impact of high-k gate dielectrics and metal gate electrodes on sub-100 nm MOSFETs", IEEE Tran. Electron Device, Vol. 46, Issue 7, pp. 1537-1544, 1999.
- [5] B.H. Lee, L. Kang, R. Nieh, W.J. Qi, and J.C. Lee, "Thermal stability and electrical characteristics of ultra thin hafnium oxide gate dielectric reoxidized

with rapid thermal annealing", Appl. Phys. Lett., Vol. 76, Issue 14, pp. 1926-1928, 2000.

- [6] C.T. Liu, "Circuit requirement and integration challenges of thin gate dielectrics for ultra small MOSFETs", IEDM Tech. Dig., pp. 747-750, 1998.
- [7] P.J. Spencer, "Hafnium: Physico-chemical Properties of its Compound and Alloys", IAEA, p. 25, 1981.
- [8] D.R. Lide, "CRC handbook of chemistry and physics", CRC Press LLC, p. 4-66, 1998.
- [9] 김관하, 김창일, "사중극자 질량분석기를 이용한 BCl₃/Ar 유도결합 플라즈마 특성 진단", 대한전기학회 논문지 C부문, 18권, 4호, pp. 204-208, 2006.

저 자 소 개



김 관 하 (金 瓏 河)

1976년 3월 23일생. 2002년 중앙대 전자전기공학부 졸업. 2004년 동 대학원 전자전기공학부 졸업(석사) 2004년~현재 동 대학원 전자전기공학부 박사과정
Tel : 02-812-9681
Fax : 02-812-9651
E-mail : kim@gwanha.com



김 경 태 (金 徑 兌)

1970년 12월 29일생. 1997년 서남대 전자공학과 졸업. 1999년 광운대 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 2004년 중앙대 대학원 전자전기공학부 졸업(공학박) 2005년~현재 중앙대 전자전기공학부 박사후과정
Tel : 02-812-9681
Fax : 02-812-9651
E-mail : kkt5648@plasma.cau.ac.kr



김 종 규 (金 宗 奎)

1978년 11월 3일생. 2005년 중앙대 전자전기공학부 졸업. 2005년~현재 동 대학원 전자전기공학부 석사과정
Tel : 02-812-9681
Fax : 02-812-9651
E-mail : kjg1103@korea.com



우 중 창 (禹鍾昌)

1978년 9월 6일생. 2006년 가톨릭대 컴퓨터 전자공학부 졸업. 2006년~현재 동 대학원 전자전기공학부 석사과정

Tel : 02-812-9681

Fax : 02-812-9651

E-mail : wjch97@plasma.cau.ac.kr



강 찬 민 (姜贊民)

1979년 12월 24일생. 2005년 선문대 전자공학과 졸업. 2005년~현재 중앙대 전자전기공학부 석사과정

Tel : 02-812-9681

Fax : 02-812-9651

E-mail : uggiking@hotmail.com



김 창 일 (金昌日)

1960년 7월 13일생. 1984년 중앙대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1997년~현재 중앙대 전자전기공학부 부교수

Tel : 02-820-5334

Fax : 02-812-9651

E-mail : cikim@cau.ac.kr