

## Ar 중성빔과 BCl<sub>3</sub> gas를 이용한 ZrO<sub>2</sub>의 원자층 식각에 관한 연구

김이연<sup>a</sup>, 임용선<sup>b</sup>, 박병재<sup>a</sup>, 염근영<sup>a,b,c</sup>

<sup>a</sup>성균관대학교 신소재공학과 (gyyeom@skku.edu), <sup>b</sup>성균관대학교 성균나노과학기술학과, <sup>c</sup>테라급 나노소자 개발 사업단

**초 록:** 본 연구에서는, 중성빔을 이용한 Atomic Layer Etching(ALET) system 을 이용하여 ZrO<sub>2</sub>의 atomic layer etching mechanism에 대하여 연구하였다. Ar neutral beam irradiation dose와 BCl<sub>3</sub> gas pressure의 변화에 따라 ZrO<sub>2</sub> etch rate와 RMS roughness를 관찰했을때, Ar neutral beam irradiation dose이  $1.485 \times 10^{16}$  atoms/cm<sup>2</sup>•cycle 이상이고 BCl<sub>3</sub> gas pressure가 0.15mTorr 이상 일 때 ZrO<sub>2</sub> etch rate은 1.07 Å/cycle의 일정한 값에서 유지됨을 확인하였다. 그리고 ALET와 ICP Etcher를 통해 ZrO<sub>2</sub>를 각각 식각하여 physically or chemically damage를 비교한 결과, ALET가 기존의 ICP Etcher system보다 ZrO<sub>2</sub> 식각공정에 대해 적은 damage를 받는 것을 ARXPS를 통해 관찰 하였다.

### 1.서론

반도체 소자 크기가 100nm 이하로 감소함에 따라 게이트 절연막으로 사용되는 SiO<sub>2</sub>의 두께는 20 Å이하로 감소하게 되며, 그에 따라 tunneling 효과 등에 의해 leakage current가 크게 증가하는 문제가 발생하게 된다. 하지만 capacitance를 증가시키기 위해서는 게이트 절연체의 두께를 감소시켜야 하는데, SiO<sub>2</sub>의 경우에는 이미 한계점에 다가왔다. 따라서 절연막 두께 감소없이 캐패시턴스를 증가시키기 위해서는 현재 SiO<sub>2</sub>가 가지는 절연 상수보다 높은 물질을 사용하여야 하며, 이러한 필요에 의해 소자의 gate 물질로 high-k물질을 이용하는 MOSFETs 소자의 연구가 활발히 진행되고 있다. 다양한 high-k 물질 중에서도 zirconium dioxide (ZrO<sub>2</sub>)는 높은 유전상수, 넓은 band gap, 적은 leakage current 그리고 우수한 열적 특성을 갖기 때문에 gate물질로 주목받고 있다. 하지만 gate thickness가 점차 nano scale로 작아짐에 따라 식각물질의 nano scale의 식각 깊이 조절과 under layer와의 매우 큰 식각 selectivity가 요구되어 진다. 또한 under layer에 손상을 주지 않는 식각이 요구된다. 하지만 기존의 plasma 식각 공정의 경우 vertical 한 식각 profile을 얻기 위해 활성화된 이온을 이용하기 때문에 소자 표면에 structural disruption, intermixing layer, stoichiometry modification 그리고 surface roughness증가 등과 같은 물리적 손상이 야기된다. 따라서 본 연구에서는 식각에 따른 물리적 손상을 최소화 할 수 있고 원자층 단위로 식각 깊이를 조절 할 수 있는 atomic layer etching (ALET)을 ZrO<sub>2</sub> 식각에 적용하였다.

### 2.본론

일반적으로 ALET는 4 step으로 구성된다. a) BCl<sub>3</sub> 가스의 주입 및 표면 흡착, b) 표면 반응 후 남은 잉여 Cl<sub>2</sub> 가스의 배기, c) Ar<sup>+</sup> 이온빔에 의한 표면 반응물 탈착, d) 반응물 배기 순으로 이루어진다. 그러나 step c)에서의 Ar<sup>+</sup> 이온빔은 전하를 갖고 있어 소자 표면에 전기적인 손상을 주게 된다. 따라서 본 연구에서는 소자표면에 발생하는 전기적 손상을 최소화하기 위하여 Ar<sup>+</sup> 이온빔을 대체하여 Ar 중성빔을 이용하고 BCl<sub>3</sub> 가스 압력과 Ar 중성빔량을 변화시키면서 ZrO<sub>2</sub>의 etch rate, surface roughness, stoichiometry modification을 관찰하였다.

### 3.결론

본 연구에서는 주기적으로 BCl<sub>3</sub> 흡착과 Ar neutral beam을 주사하는 ALET 공정을 진행하였다. BCl<sub>3</sub> gas pressure와 Ar neutral beam 주사량이 임계값보다 적을 때에는 BCl<sub>3</sub> gas pressure와 Ar neutral beam 주사량이 증가함에 따라 식각률이 증가됨을 관찰 하였다. 그러나 BCl<sub>3</sub> gas pressure와 Ar neutral beam 주사량이 임계값 보다 많은 경우에는 BCl<sub>3</sub> gas pressure와 Ar neutral beam 주사량의 변화에는 상관없이 각각의 물질의 one monolayer에 해당하는 값에서 saturation 됨을 관찰할 수 있었다. 또한 surface roughness와 stoichiometry modification도 식각전과 비교하여 변화하지 않음을 관찰하였다. 이러한 결과는 BCl<sub>3</sub> gas pressure와 Ar neutral beam 주사량을 임계값 이상으로 공급할 경우 self-limited etching mechanism에 의해 식각률이 결정되기 때문으로 사료된다.