

Antenna structure를 이용한 MIS(TaN/HfO₂/Si) capacitor의 plasma damage 연구

*양승국, 이승용, 유한석, 김한형, 송호영, 이종근, 박세근
인하대학교 정보통신공학부
e-mail : ysk25@daum.net

Plasma damage of MIS(TaN/HfO₂/Si) capacitor using antenna structure

*Seung-Kook Yang, Seung-Yong Lee, Han-Suk Yu, Han-Hyung Kim,
Ho-Young Song, Jong-Geun Lee and Se-Geun Park
School of Information and Communication Engineering
Inha University

Abstract

Plasma-induced charging damage was been measured during TaN gate electrode of MISFET(TaN/HfO₂/Si) or interconnection metal etching step using large antenna structures. The results of these experiments were obtained that HfO₂ gate dielectric layer was affected about plasma charging effects and damage increased with F-N tunneling. Therefore, the etching conditions should be optimized to avoid the defects caused by plasma charging.

I. 서론

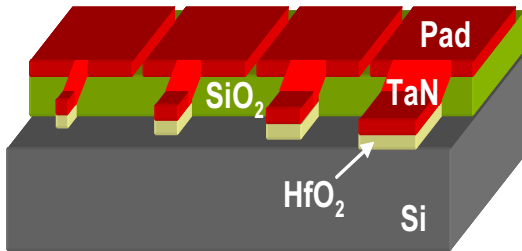
CMOS device가 sub-micron size로 감소됨에 따라 gate oxide layer로 SiO₂ 대신에 high-k dielectric이 필요하게 되었고, gate electrode도 poly-silicon 대신에 metal electrode가 대두되게 되었다. Gate dielectric 후보 재료들 중에서 HfO₂는 높은 유전상수를 보유하고 있으며, Si위에 증착 했을 경우 열적 안정성 및 넓은 밴드갭(5.68eV) 특성을 가지고 있어 가장 각광 받고 있는 재료 중에 하나이다. Metal electrode로는 TaN에

대한 연구가 활발한데, 이는 TaN이 다른 금속재료들에 비해 식각이 용이하고, midgap work function을 가지고 있어서 dual gate MOSFET를 제작하는데 적합하며, 높은 열적 안정성(1000℃ 이상)의 특성도 가지고 있기 때문이다 [1]. HfO₂나 TaN는 소자의 크기가 sub-micron급으로 감소함에 따라 새롭게 개발되는 재료이기 때문에 각각의 식각특성 확보나 전기적인 특성과 열처리 후 발생하는 계면층 문제 등에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 하지만 이러한 재료들을 이용하여 sub-micron 소자를 제작하기 위해서는 건식식각 같은 plasma 공정이 반드시 수반되어야 하며, 공정시 발생하는 plasma damage는 sub-micron device의 전기적 특성과 신뢰도에 지대한 영향을 미치기 때문에 많은 연구가 필요한 부분이다. 따라서 HfO₂와 TaN를 이용하여 MIS(TaN/HfO₂/Si) capacitor를 그림 1과 같이 채널영역의 크기는 같지만, gate 전극과 연결된 안테나의 면적이 각각 다르게 제작하여 같은 조건에서 건식 식각한 후 발생하는 plasma damage를 트랜지스터의 전기적 특성변화로 연구하였다.

II. 본론

MIS capacitor 소자를 p-type Si wafer에 LOCOS isolation의 구조로써 제작하였다. Active 영역의 native

oxide를 wet etching으로 제거한 후에 ALD(Atomic Layer Deposition)로 HfO_2 를 7nm 증착하였고, TaN는 dc sputter로 약 300nm로 증착하였다. 이때에 sputtering damage를 최소화하기 위하여 비교적 낮은 dc bias를 인가하였다. 표준의 photolithography를 거쳐 PR patterning을 진행한 후에 ICP(Inductively Coupled Plasma) 식각 장비에서 HCl gas를 사용하여 TaN와 HfO_2 를 식각하였다. Plasma damage가 gate dielectric에 미치는 영향을 알아보려고 그림 1과 같이 antenna structure를 이용하였다. Antenna structure는 $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ 의 면적을 기본으로 100배에서부터 10000배까지의 면적을 가지고 있다. 각각의 pad size는 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 로 모두 같으며, capacitor의 면적 부분만 다르게 디자인 되어있다. Capacitor의 기본인 I-V 측정결과인 그림 2를 보면 MIS capacitor의 면적에 따른 leakage current를 나타내고 있다. Capacitor의 면적이 증가 할수록 누설전류가 뚜렷하게 증가하는 현상을 보이고 있다. $500\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$ 와 $200\mu\text{m} \times 150\mu\text{m}$ 의 경우는



5x5, 5x50, 50x50, 200x150, 500x500 μm

그림 1. 안테나를 포함한 MIS 구조

매우 큰 leakage current를 보였으며, SBD(Soft Break-Down)의 특성도 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. SBD가 나타난다는 의미는 percolation model로 설명될 수 있다. 즉 plasma에 노출되는 동안 plasma의 하전 입자들에 의해 발생된 potential과 Si의 potential과의 potential difference에 의하여 계속적으로 plasma 식각 중에 dielectric이 stress를 받게 되는 것이다. 이렇게 HfO_2 가 stress를 받게 되면, trap이나 defect들이 발생하게 되며, 이러한 defect들은 측정시 electron이나 hole을 capture하여 leakage current의 path로 작용하는 것이다. 따라서 그림 2에서와 같이 capacitor의 면적이 클수록 plasma의 영향을 받을 확률이 높기 때문에 그 만큼 trap이나 defect들의 영향이 더 크다는 것을 알 수 가 있다. 뿐만 아니라 capacitor의 면적이 감소할수록 SBD가 뚜렷이 감소하는 경향을 보여주고 있는데 이는 trap이나 defect의 발생률이 antenna area에 의존한다는 것을 보여준다. 또한 그림 3을 보면 antenna ratio가 증가함에 따라 failure fraction이 점점 증가한다는 것을 알 수 있다. 따라서 그만큼 면적이 큰 capacitor는 plasma damage에 대한 영향이 크게 작용한다고 볼 수 있다.

III. 결론

새롭게 적용된 TaN/ HfO_2 /Si capacitor에서도 plasma damage에 대한 영향이 기존의 polysilicon과 SiO_2 를 적용한 capacitor에서의 결과와 일치하는 경향을 나타내었다 [2]. 전체적으로 HfO_2 의 leakage current가 비교적 높게 측정된 이유는 plasma damage에 대한 영향과 HfO_2 에서의 Si과 metal의 박막사이의 각각의 계면층을 형성하기 때문에 interfacial trap들의 발생 확률이 높고 이러한 trap들이 leakage current의 path로 작용하거나 assist 했을 가능성이 높기 때문이라 생각된다.

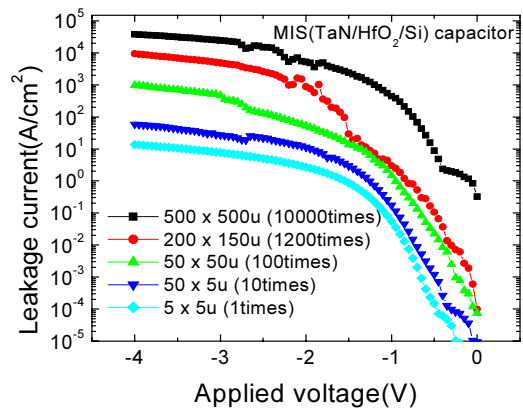


그림 2. Antenna area에 따른 MIS(TaN/ HfO_2 /Si) capacitor의 leakage current특성

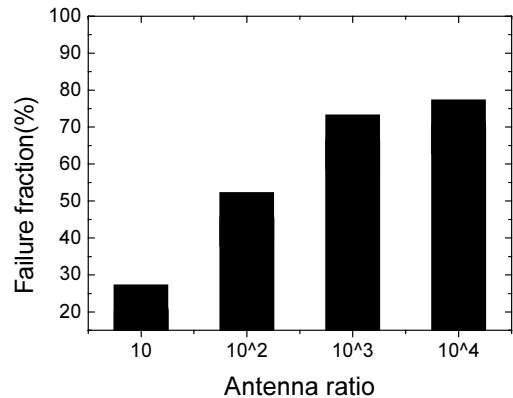


그림 3 Antenna ratio에 따른 MIS(TaN/ HfO_2 /Si) capacitor의 failure fraction특성

IV. 참고문헌

[1] G.D. Wilk, R.M. Wallace, J.M. Anthony, J. Appl. Phys. 89 (2001) 5243.
 [2] O. O. Awadelkarim, S. J. Fonash, P. I. Mikulan, J. Appl. Phys. 79 (1996) 1.