

# HfO<sub>2</sub> dielectrics를 이용한 reactive sputtering TaN gate electrode 의 특성분석

(Characterization of reactive sputtering TaN gate electrode on HfO<sub>2</sub> dielectrics)

Youngsoon Kim, Taeho Lee, Jinho Ahn

Department of Materials Science & Engineering, Hanyang University, 17  
Haengdan-dong, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Korea

## Abstract

고유전물질인 HfO<sub>2</sub> 극박막에 사용될 TaN metal 전극에 대한 특성에 대한 연구를 하였다. 고유전물질인 HfO<sub>2</sub>는 4" p-type wafer를 SCI cleaning후 ALD(atomic layer deposition)을 통해 50Å를 증착하였다. Hf source는 TEMAH를 이용하였으며 Oxygen source는 H<sub>2</sub>O를 이용하였다. 이렇게 증착한 HfO<sub>2</sub> 극박막에 Ta target을 이용하여 질소 가스를 Ar가스에 첨가하여 reactive sputtering을 통해서 TaN 전극을 증착하였다. TaN 박막의 증착두께는  $\alpha$ -step과 TEM을 통해서 확인하였으며 면저항은 four point probe를 이용하여 측정하였다. 이렇게 증착된 HfO<sub>2</sub>/TaN구조에 대한 전기적 특성을 측정하였다.

## 1. Introduction

최근까지 poly-si은 gate 전극으로 사용되어져 왔다. 그러나 devices의 직접화가 이루어지면서 Poly-Si 공정은 dopant penetration, high dopant activation temperature, poly depletion effect 같은 여러 가지 문제를 야기 시키고 있다.[1,2,3] 전형적으로 poly-Si은 대부분의 high-k gate dielectric에 적용시키기가 어렵다. 이는 전극과 high-k 물질의 계면에서 다른 계면층을 형성 시키거나 high-k 재료와 반응해 silicides를 형성시키기 때문이다. 현재 이런 문제를 해결하기 위해서 여러 가지 metal 전극이 연구되어지고 있다. Mo, RuO<sub>2</sub>, Pt 같은 여러 가지 metal 전극 재료들이 p-MOS용으로 연구되어지고 있다.[4] 비록 Mo가 mid gap에 가까운 work function을 가지고 있으며 self aligned junctions 형성중 dopant penetration을 막지 못하지만 Mo를 가지고 p-MOS에 이용하여 좋은 결과를 발표한 그룹이 있다.[5] RuO<sub>2</sub>는 좋은 work function을 가지고 있지만 높은 온도 공정중에 화학비를 유지하기 힘들다는 문제점을 가지고 있다. Pt는 좋은 work function을 가지고 있지만 Pt의 화학적 성질 때문에 sub-100nm gate에 적용시킬시 pattern 형성에 문제가 될 것이다. Ir과 Au 또한 같은 문제를 가지고 있다. n-MOS의 경우는 TiN, TaN, TaAlN, Ta, Nb, Al 등이 연구되어지고 있다. TiN은 work function이 mid gap에 가깝지만 metal 전극과 poly-si gate간의 barrier로 가장 많이 사용되어지는 재료이다 Ta와 Al은 쉽게 산화되고 high-k dielectric와 계면층을 쉽게 형성한다. TaN의 경우 Ec와 가까운 work function을 가지고 있고 1000°C까지 열적으로 안정하다. 본연구에서는 TaN은 reactive dc magnetron sputtering방법을 이

용하여 증착하였다

## 2. Experimental

본 실험에서는 4-inch p type (100) Si wafer를 사용하였다. 박막을 증착하기전 75°C의 D.I water:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:NH<sub>4</sub>H=5:1:1용액에서 10분간 SC1 cleaning을 실시하였으며 10초동안 5%HF를 이용하여 native oxide를 제거시켜 H-terminated 표면을 형성시켰다. HfO<sub>2</sub> 박막은 ALD를 사용하여 증착시켰으며 Hf-source로는 HfN(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)CH<sub>3</sub>]<sub>4</sub>를 이용하였고 충분한 증기압이 유지될 수 있도록 canister를 75°C까지 가열하였고 HfN(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)CH<sub>3</sub>]<sub>4</sub> gas line도 90°C까지 가열하여 gas 상태의 HfN(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)CH<sub>3</sub>]<sub>4</sub>가 반응 chamber에 주입 되도록 하였다. HfO<sub>2</sub> 박막 증착시 증착온도는 350°C로 일정하게 유지한후 1sec/30sec/0.2sec/60sec로 유지하여 전극의 특성평가를 위한 HfO<sub>2</sub> 박막을 50Å 증착하였다. TaN 전극은 Ta target을 이용하여 질소 gas를 2% 첨가하면서 공정압력과 공정파워를 변화시키면서 증착하였다.

증착된 TaN 박막의 두께측정은  $\alpha$ -step을 이용하였으며 면저항은 four point probe를 이용하여 측정하였다. HfO<sub>2</sub>/TaN 구조에서 Si와 HfO<sub>2</sub> 사이의 계면과 HfO<sub>2</sub>와 TaN사이의 계면 그리고 microstructure는 HRTEM(High resolution transmission electron microscopy)를 사용하여 관찰하였다. 또한 증착된 박막의 화학적 분석을 위해서 AES(Auger electron spectroscopy)를 이용하였다. 이렇게 물리적, 화학적 분석을 통한 TaN 박막의 특성을 확인 후 전기적 특성을 측정하기 위해서 Keithley를 이용하여 정전용량을 측정하였으며 HP4155A를 이용하여 누설전류특성을 측정하였다.

## 3. Results and Discussion

그림 1은 공정조건에 따른 TaN 박막의 증착율과 면저항값을 보여준 것이다. 그림1(a)는 공정파워에 따른 TaN 박막의 특성으로 공정파워가 증가시 증착율은 파워에 비례적으로 증가하며 면저항값은 비례적으로 감소하는 것을 확인할 수가 있었다. 이는 증착되는 시간이 감소하면서 질소와 reactive 되어지는 양이 작아져서 Ta-rich한 박막이 증착된 것으로 추정된다. 그림1(b)는 공정압력의 변화에 따른 TaN 박막의 특성으로 공정압력의 증가시 증착율과 면저항값이 비례적으로 증가하는 것을 확인할 수가 있었다. Ta target를 이용해서 reactive sputtering을 하는 경우 질소의 함량의 변화에 따른 증착되는 박막의 두께는 그림 3(c)와 같이 질소의 함량이 증가할수록 증착되는 박막의 두께는 감소하게 된다. 이는 reactive sputtering에서 주로 관찰되는 현상으로서 sputtering시 주 sputtering gas가 Ar인데 질소를 함유함에 따라서 질소 gas의 낮은 ionization 비율 때문에 sputtering하는 비율이 감소되어 증착되는 두께가 감소되는 것과 질소의 함량이 증가하면서 sputtering시 target의 표면이 질화되면서 증착속도가 감소하는 것으로 추정된다. 질소 함량이 5% 이하의 경우에는 박막의 면저항값이 41.8 $\Omega/\square$ 로 거의 일정하게 나타나지만, 5%이상이 되면 면저항값이 급격히 증가하는 것을 알 수 있었다. 따라서 nitrogen이 TaN 박막 내에서 저항을 증가시키는 원인으로 작용하고 있을 것으로 판단된다

Ta-N 박막의 증착시 공정파워를 변화시켜서 증착시키는 경우 공정파워가 30W와 50W인 경우에는 Hexagonal구조를 가지고 있는 것을 그림 2에서 확인할 수가 있었다. 또한 공정파워가 증가할수록 비정질 구조를 가지고 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 증착시간의 감소

와 빠른 증착율로 인해서 reactive sputtering시 Ta-N구조를 가지는데 충분한 시간을 가지지 못하기 때문이라고 추정하고 있다.

그림 3은 TaN 박막의 AES data로써 시편이 대기중에 노출되어 표면부분에서의 탄소의 함량이 높게 측정된 것으로 추정하고 있으며 박막 내부에서는 극소량만이 존재하는 것을 알 수가 있다. 또한 산소의 함량이 표면 부분에 많은 것을 확인할 수가 있는데 이는 TaN 박막이 산화되어서  $Ta_xO_y$ 를 형성하였기 때문이라고 추정하고 있다. 박막내부에 nitrogen성분이 존재하는 것을 확인할 수가 있으며 이는 reactive sputtering으로 TaN 박막이 성공적으로 증착되어졌다는 것을 확인할 수가 있었다.

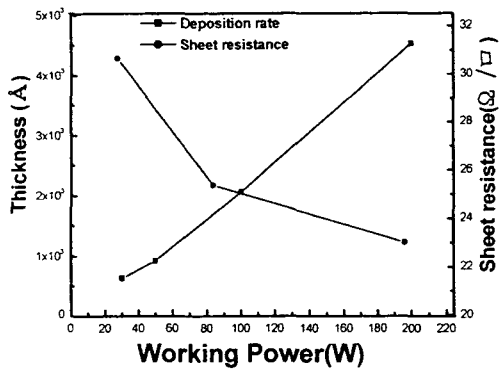
그림 4는  $HfO_2$  박막위에 TaN 전극을 증착한 구조의 HRTEM image이다. TEM image에서 확인할 수 있듯이  $HfO_2$ 는 50Å 증착이 되어있으며 Si과  $HfO_2$  사이의 계면에서 약 8Å 정도의 계면이 생성되어있는 것을 확인할 수가 있었다. 이는 고온에서 증착시  $HfO_2$ 와 Si이 반응하여 생성된 계면층으로 낮은 유전율을 가지는 물질이지만 ALD 공정 특성상 생성되는 물질이다. 그림 4(b)는 Si/ $HfO_2$ /TaN 구조를 RTA(rapid thermal annealing)을 30sec 처리한 것으로  $HfO_2$  박막이 결정화된 것을 확인할 수가 있다. 또한 열처리시 8Å 이던 계면층이 10Å으로 증가하는 것을 확인할 수가 있었다.

TaN 전극의 증착시 공정파워의 변화에 따른 C-V 특성은 그림 5(a)에서와 같이 공정파워가 증가시 정전용량값은 감소하는 것을 확인할 수가 있으며 EOT가 16Å, 23Å, 28Å으로 증가하는 것을 확인할 수가 있었으며 또한 Flat band voltage는 -0.9V, -1.09V, -1.15V로 감소하는 것을 확인할 수가 있다. 이는 공정파워의 증가로 인해서 reactive sputtering시 증착시간이 빨라지면서 nitrogen의 반응이 적어져서 TaN 박막의 질소의 양에 따라서 공정파워의 증가시 flat band voltage가 음의 방향으로 이동하는 것을 알 수가 있다.

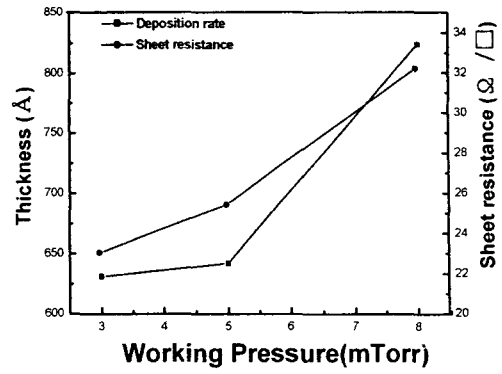
그림 5(b)에서 확인할 수 있듯이 공정파워의 증가에 따라서 누설전류특성이 나빠지는 것을 확인할 수가 있었다. 표1은 TaN 전극의 공정조건에 따른 전기적 특성을 나타낸 것이다.

## References

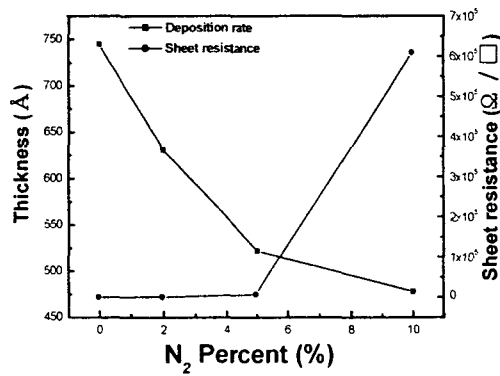
- [1] T. Ushiki et al., IEEE/ED, p.2201, 2000
- [2] A. Yagishita et al., IEEE/IEDM, p.788, 1998
- [3] H. Yang et al., IEEE/IEDM, p.459, 1997
- [4] Q. Lu et al, Tech. Dig. of IEDM, 2000
- [5] C.Choi et al, Elect. Dev. Lett. 20, p292, 1999



(a)



(b)



(c)

그림 1. 증착조건에 따른 deposition rate와 sheet resistance.

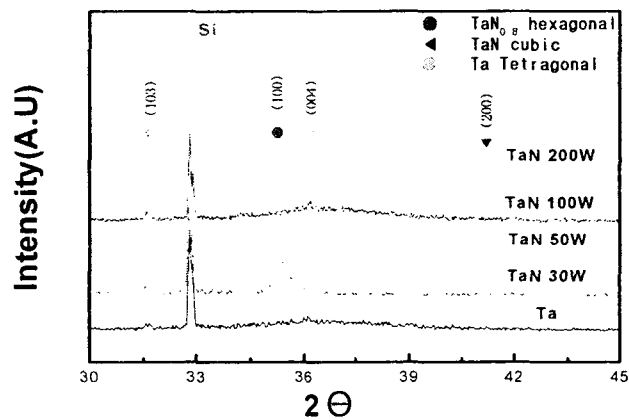


그림 2. TaN 박막의 XRD data

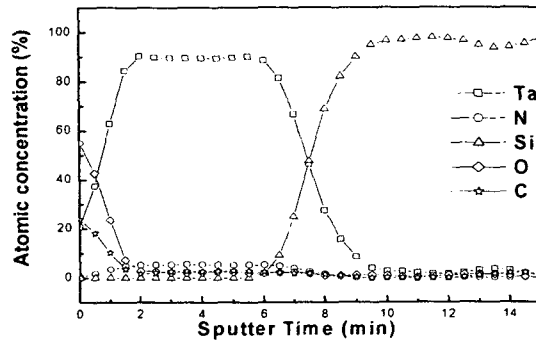


그림 3. TaN 박막의 AES data

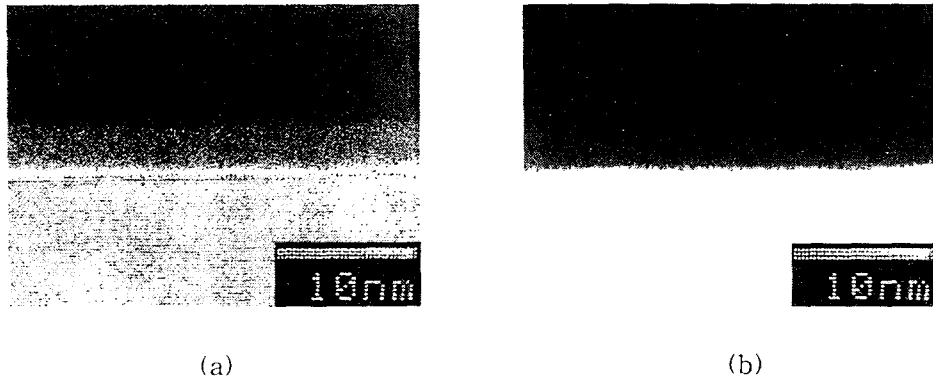


그림 4. Si/HfO<sub>2</sub>/Ta<sub>2</sub>N 구조의 TEM image

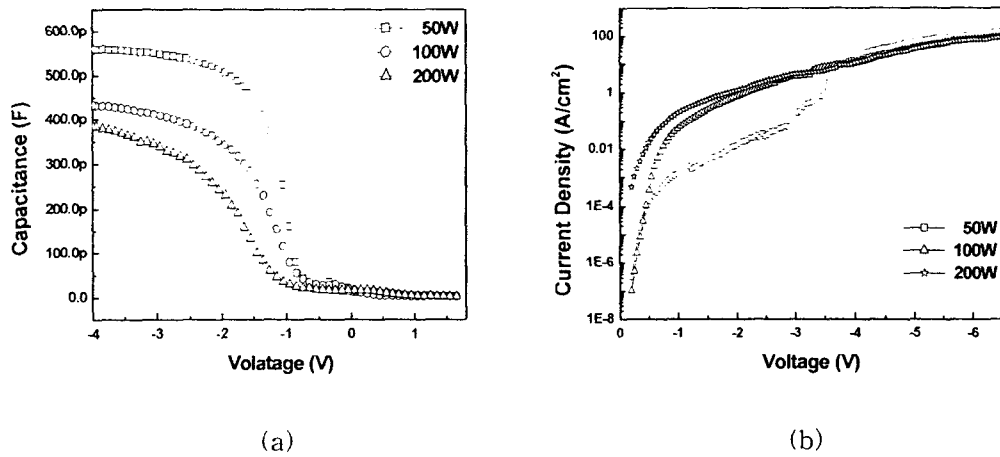


그림 5. TaN 전극 공정과위에 따른 전기적 특성

	EOT(Å)	$V_{FB}(V)$	J at -1V from $V_{FB}(V)$
50W	16	-0.9	9.9E-4
100W	23	-1.09	7.6E-2
200W	28	-1.15	0.271

표 1. TaN 전극 공정파워에 따른 전기적 특성.