

반도체 소자의 열적안정성을 위한 W-C-N 확산방지막의 연구

김수인, 이창우

서울시 성북구 정릉동 861-1 국민대학교 나노전자물리학과

초록

반도체 집적화 기술의 발달로 반도체 공정에서 디바이스의 선폭은 줄어들고, 박막의 다층화가 필수적인 과정이 되었다. 이에 따라 반도체에서 Si 기판과 금속 배선과의 열적 안정성에 대한 신뢰성이 더욱 중요시 되어가고 있다. 이를 방지하기 위하여 우리는 3개의 화합물로 구성된 Tungsten-Carbon-Nitrogen (W-C-N) 확산방지막을 사용하였다. 실험은 Si 기판위에 W-C-N 박막을 물리적 기상 증착법(PVD)으로 질소비율을 변화하며 확산방지막을 증착하여 Si 기판과 W-C-N 확산방지막의 특성을 여러 온도 열처리 조건에서 확인하였다. 특성을 분석을 위하여 α -step과 β -ray를 이용하여 증착률을 확인한 후 4-point probe를 이용하여 비저항을 측정하였고, X-ray Diffraction 분석을 통하여 결정 내부의 변화를 확인하였다. 이를 통하여 W-C-N 확산방지막의 열적인 안정성을 질소변화에 따라 조사하였다.

1. 서론

고집적된 반도체 회로내의 금속배선은 선폭이 줄어들고 다층화 되었다. 그 결과 반도체와 금속사이의 접합에서는 열이 가해짐으로써 박막의 안정도는 떨어지게 된다[1-2]. 또한 회로내의 열 발생으로 반도체와 금속이 반응함에 따라서 비저항도 크게 증가하여 전체적인 회로의 신뢰도는 떨어지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 Si과 금속 사이에 확산방지막을 증착하게 되었다. 본 논문에서는 Tungsten에 기반을 둔 Tungsten-Carbon-Nitrogen (W-C-N) 확산방지막을 증착하여 연구를 하였고, 연구에 사용된 Tungsten, Carbon은 모두 녹는점이 높아(Tungsten: 3407°C, Carbon: 3827°C) 열에 강한 가장 큰 장점을 지니고 있으며 비저항 또한 좋은 값을 나타내고 있다. 본 연구에서는 위에서 언급한 3가지 화합물로 이루어진 W-C-N 박막의 질소량에 따른 박막의 특성을 알아보려고 한다 [3-8].

2. 실험 방법

W-C-N 확산방지막을 증착하기에 앞서 Si기판을 HF에 담그어 산소를 제거하였으며 증착법으로는 RF magnetron sputtering 시스템을 사용하였다. 본 실험에 들어가기 전 pre-sputtering을 하여 타겟의 native oxide layer를 제거한 후 상온에서 본 실험에 임하였다. Ar과 N₂의 양은 mass flow controller를 사용하여 정확하게 조절하였고, 증착시의 (N₂ + Ar) 압력은 7 mTorr를 유지하였고 N₂ / (N₂ + Ar)의 비율을 0 %에서 2.5 %까지 조절하여 각각의 실험에 임하였다. W 타겟의 co-sputtering condition은 4 - 7 W/cm², WC 타겟은 0.2 - 0.3 W/cm²이었으며 1000 Å의 확산방지막을 증착하였다. 증착 후 700°C에서 1000°C까지 N₂ 분위기에서 30분간 열처리를 하여 열처리전과 후의 확산방지막을 4-point probe 장비를 사용하여 비저항을 측정하였고, X-Ray diffraction (XRD)을 사용하여 결정구조를 분석하였다.

이렇게 측정된 결과값으로 W-C-N 확산방지막의 질소량의 변화에 대한 특성을 연구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1 그래프는 7mTorr에서 증착된 박막의 증착률을 나타내고 있다. 7mTorr에서 증착된 박막은 질소가 첨가됨에 따라서 증착률이 감소하는 추세를 보이며 질소 0에서 2.5%까지는 1.38Å/sec부터 1.30Å/sec으로 감소를 하다가 질소 3.125%, 3.75% 첨가되면서 증착률은 급격한 경사를 이루며 1.22Å/sec, 1.08Å/sec으로 감소하게 됨을 알 수 있다.

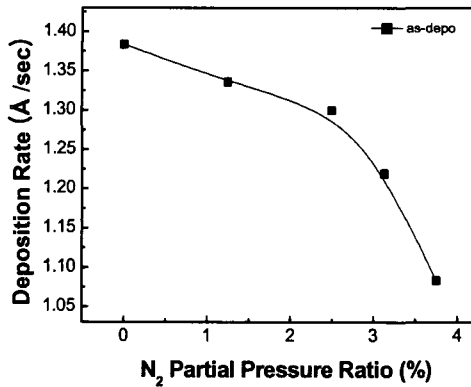


그림 1. 질소분압에 따른 W-C-N확산방지막의 증착률 그림.

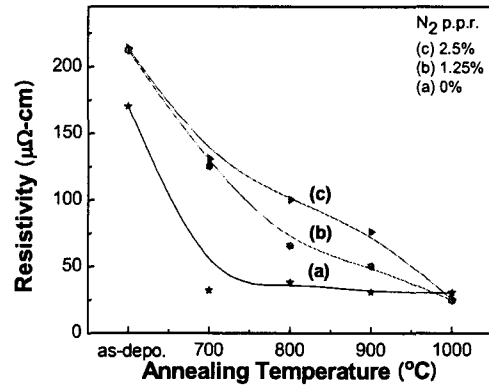


그림 2. 질소분압에 따른 W-C-N확산방지막의 열처리 후 비저항. (a) as-depo., (b)1.25%, (c) 2.5%

그림 2는 열처리 온도에 따른 비저항 값으로 as-deposited state에서는 질소를 0, 1.25%, 2.5% 주입함에 따라 비저항 값은 170.19 $\mu\Omega\text{-cm}$, 211.98 $\mu\Omega\text{-cm}$, 213.67 $\mu\Omega\text{-cm}$ 으로 증가를 하고 열처리 온도를 높일수록 비저항 값은 모두 감소하게 되어 질소가 0인 박막의 비저항은 각 온도 700°C, 800°C, 900°C, 1000°C 에 따라 32.242 $\mu\Omega\text{-cm}$, 38.025 $\mu\Omega\text{-cm}$, 30.813 $\mu\Omega\text{-cm}$, 30.368 $\mu\Omega\text{-cm}$ 값을 가지며, 질소 1.25%첨가된 박막은 125.543 $\mu\Omega\text{-cm}$, 65.668 $\mu\Omega\text{-cm}$, 50.538 $\mu\Omega\text{-cm}$, 24.598 $\mu\Omega\text{-cm}$ 이다. 질소 2.5% 첨가된 박막의 비저항 값은 위와 같은 온도에 대하여 131.033 $\mu\Omega\text{-cm}$, 100.384 $\mu\Omega\text{-cm}$, 76.211 $\mu\Omega\text{-cm}$, 25.281 $\mu\Omega\text{-cm}$ 이다. 질소량의 차이를 3가지로 분류하여 실험을 한 결과에서 1000°C 열처리시 비저항값은 비슷한 값들을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이는 질소량에 관계없이 1000°C에서는 대부분의 질소가 빠져나가 비저항 값도 비슷해진다고 볼 수 있다.

다음으로 7mTorr로 증착된 박막의 XRD pattern을 분석하여 보았다. 먼저 그림3에서는 질소가 들어가지 않은 W-C/Si 박막의 XRD pattern을 그래프로 나타내었다. 질소를 첨가하지 않고 7mTorr에서 증착한 박막에서 1000°C에서 silicide peak이 나타나는 것으로 보아 고온에 약하다는 것을 알 수 있다. as-deposited state에서도 결정성을 보였고, $\beta\text{-W}(200)$, $\beta\text{-W}(211)$, $\beta\text{-W}(320)$, $\beta\text{-W}(321)$ 가 35.6°, 43.9°, 66.9°, 69.8° 에서 나타났고, $\alpha\text{-W}(110)$ 이 40.1°에서 나타났다. 700°C에서 열처리를 하였을 경우에는 $\beta\text{-W}$ 에서 $\alpha\text{-W}$ 으로 변하는 과정단계이다. 800°C와 900°C으로 열처리 하였을 경우에는 모두 $\alpha\text{-W}(110)$, $\alpha\text{-W}(200)$, $\alpha\text{-W}(211)$ 만이 40.5°, 58.4°, 73.4°에서 나타났다. 이는 7mTorr에서 증착한 W-C 박막은 700°C이상으로 열처리를 해야 불순물이 섞여있는 $\beta\text{-W}$ 이 사라지고 순수한 $\alpha\text{-W}$ 으로 결정을 이룸을 알 수 있다. 1000°C에서 열처리 하였을 경우에는 박막 미약하게 silicide peak이 나타나기 시작한다.

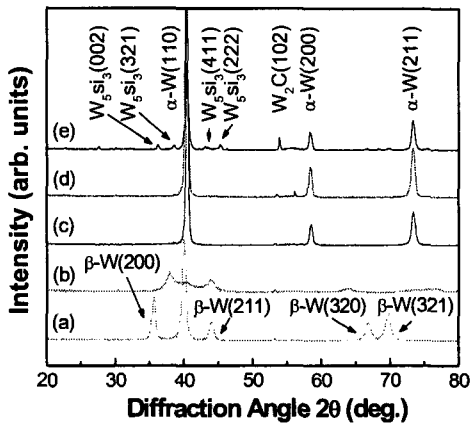


그림 3. 질소분압이 0%인 W-C-N확산방지막의 열처리 온도에 따른 XRD 모양. (a) as-depo., (b) 700°C, (c) 800°C, (d) 900°C, (e) 1000°C

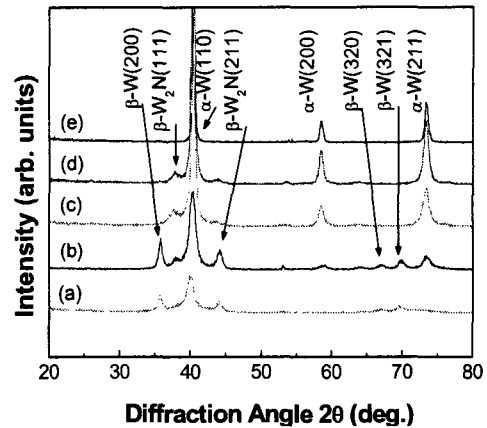


그림 4. 질소분압이 2.5%인 W-C-N확산방지막의 열처리 온도에 따른 XRD 모양. (a) as-depo., (b) 700°C, (c) 800°C, (d) 900°C, (e) 1000°C

그림4에서는 질소 2.5% 첨가된 W-C-N 박막의 XRD pattern 을 보여주고 있다. as-deposited state와 700°C에서는 주로 W peak이 나타나는데 α -W(110), α -W(200), α -W(211)이 40.2°, 58.7°, 73.4°에서 나타났다. 800°C와 900°C에서 열처리 후에는 불순물이 빠지면서 α -W peak의 intensity가 더욱 강하게 나타나고 새로운 β -W₂N(111) peak이 37.5°에서 나타났다. 하지만 이 peak은 1000°C에서 열처리를 하면 질소가 빠져나가면서 α -W peak만이 남게 된다. 그림 3과 그림 4를 보아 질소가 포함된 박막이 더 높은 온도에서도 안정된 상태를 유지한다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

지금까지 Si기판과 금속배선과의 열적변화에 대하여 반응을 방지하기 위하여 W-C-N 확산방지막을 여러 질소비율 조건에 따라 증착하였고, 열적안정성을 확인하기 위하여 제작된 박막을 여러 열처리 온도조건에서 열처리하였다. W-C-N확산방지막의 열처리한 결과 W-C-N 확산방지막은 W-C-N과 Si 기판 계면에서 1000 °C까지 반응 없이 안정한 특성을 가지는 것을 확인하였다. 하지만 박막내에 질소가 포함되지 않은 박막은 900°C까지는 안정된 상태를 유지하였다. 이에 따라서 W-C-N 박막은 박막내에 일정한 비율의 질소가 함유된 경우에 고온에서도 더 안정적으로 확산을 방지하는 것을 알 수 있었다.

후기

본 논문은 국민대학교의 재정적인 도움을 받았음을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] C.C. Baker, J. Vac. Sci. Technol. **A20**, 5 (2002).
- [2] C.W. Lee, J. Korean. Phys. Soc. **37**, 324 (2000).
- [3] Y.T. Kim, C.W. Lee, and S-K. Min, Appl. Phys. Lett., **61(5)**, 537 (1991).
- [4] Y.T. Kim, C.W. Lee, Jpn. J. Appl. Phys., **32(12B)**, 6126 (1993).
- [5] Y.T. Kim, and C.W. Lee, Phil. Mag., **B74**, 293 (1996).
- [6] C. W. Lee and Y. T. Kim, J. Vac. Sci. & Technol. B **24(3)**, 1432 (2006)
- [7] S. I. Kim, and C. W. Lee, J. Kor. Phys. Soc., **50(2)**, 489 (2007)
- [8] S. I. Kim, S. Y. Kim, D. H. Lee, G. B. Kang and C. W. Lee, J. Kor. Phys. Soc., **50(3)**, 650 (2007)