

Cu 금속 배선에 적용되는 질소와 탄소를 첨가한 W-C-N 확산방지막의 질소불순물 거동 연구

김수인·이창우

국민대학교 나노전자물리학과, 서울 136-702

(2007년 8월 20일 받음)

반도체 기술이 초고집적화 되어감에 따라 미세화공정에 의하여 소자의 크기가 급격히 줄어들고 있으며, 공정에서는 선편이 크게 줄어들고 추세이다. 또한 박막을 다층으로 제조하여 소자의 집적도를 높이는 것이 중요한 이슈가 되고 있다. 이와 같은 수많은 제조 공정을 거치는 동안, Si 기판과 금속 박막사이에는 확산에 의한 많은 문제점들이 발생되고 있기 때문에, 이러한 금속과 Si 사이의 확산을 방지하는 것이 큰 이슈로 부각되어 왔다. 특히 Cu는 낮은 온도에서도 Si와 확산을 일으켜 Si 기판과 접합에서 확산에 의한 소자 failure 등이 문제로 발생하게 되며, 또한 선편이 줄어들어 따라 고열이 발생하여 실리콘으로 spiking이 발생하게 된다. 이를 방지하기 위하여 본 논문에서는 질소와 탄소를 첨가한 3개의 화합물로 구성된 Tungsten-Carbon-Nitrogen (W-C-N) 확산방지막을 사용하였다. 실험은 물리적 기상 증착법(PVD)으로 질소비율을 변화하며 확산방지막을 증착하였고, 이를 여러 가지 온도에서 열처리하여 열적인 안정성에 대한 실험을 실시하였다. 결정구조를 확인하기 위하여 X-ray Diffraction 분석을 통하여 확산방지막의 특성을 연구하였다.

주제어 : W-C-N 박막, 확산방지막, 금속배선

I. 서론

반도체 소자의 고집적화로 인하여 반도체 소자의 선편은 더욱 줄어들고 있으며, 각 박막층은 더욱 다층화 되어가고 있다[1-3]. 이와 같은 수많은 제조 공정을 거치는 동안, Si 기판과 금속 배선사이에는 확산에 의한 많은 문제점들이 발생되고 있기 때문에, 이러한 금속과 Si 사이의 확산을 방지하는 것이 큰 이슈로 부각되어 왔다. 특히 Cu는 낮은 온도에서도 Si와 확산을 일으켜 Si 기판과 접합에서 확산에 의한 소자 failure 등이 문제로 발생하게 되며, 또한 선편이 줄어들어 따라 고열이 발생하여 실리콘으로 spiking이 발생하게 된다. 또한 비저항도 크게 증가하여 전체적인 회로의 신뢰도는 떨어지게 된다. 따라서 Cu의 확산을 효과적으로 방지할 확산방지막이 필수 요건으로 자리하게 되었다 [4-6]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 실리콘과 금속 사이에 확산방지막을 증착하게 되었고, 기존의 확산방지막으로는 Titanium Nitrogen이 연구되었지만 Ti 원자는 실리콘과 반응하는 성질을 보여 TiN과 Si 경계면에 치명적인 손상을 입힐 수 가 있다 [7,8].

이러한 문제를 해결하고자 본 논문에서는 Tungsten에 기반을 둔 Tungsten-Carbon-Nitrogen (W-C-N) 확산

방지막을 증착하여 연구를 하였고, 연구에 사용된 텅스텐, 카본은 모두 녹는점이 높아(텅스텐 : 3407 °C, 카본 : 3827 °C) 열에 강한 가장 큰 장점을 지니고 있으며 비저항 또한 좋은 값을 나타내고 있다. 본 연구에서는 위에서 언급한 3 가지 화합물로 이루어진 W-C-N 박막의 질소량에 따른 박막의 특성을 알아보려고 한다.

II. 실험

W-C-N 확산방지막을 증착하기에 앞서 Si기판을 HF에 담그어 산소를 제거하였으며 증착법으로는 RF magnetron sputtering 시스템을 사용하였다. 타겟은 순도 99.99 %인 W, 99.95 %인 WC를 사용하였으며 각각 100 W, 4 W의 세기를 가하였다. 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 5 %까지 조절하여 각각의 실험에 임하였다. W 타겟의 co-sputtering

* [전자우편] cwlee@kookmin.ac.kr

condition은 2 W/cm^2 , WC 타겟은 0.2 W/cm^2 이었으며 1000 \AA 의 확산방지막을 증착하였다. 증착 후 $700 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 까지 N_2 분위기에서 30분간 열처리를 하여 열처리 전과 후의 확산방지막을 4-point probe 장비를 사용하여 비저항을 측정하였고, X-Ray diffraction (XRD)을 사용하여 결정구조를 분석하였다.

이렇게 측정된 결과 값으로 C_0 의 확산을 방지할수있는 W-C-N 확산방지막의 특성을 연구하였다.

III. 결과 및 고찰

그림 1은 질소비율 변화에 따른 W-C-N 확산방지막의 증착률을 나타낸 그림으로 증착시 질소 비율이 증가됨에 따라서 증착률은 감소하는 그림을 나타낸다. 하지만 증착률의 감소비율은 직선적인 분포 보다는 질소비율이 2.5%인 지점을 기준으로 증착률의 감소비율이 급격히 증가하는 모습을 보여주고 있다. 따라서 질소 비율이 0에서 2.5%까지는 1.38 \AA/sec 부터 1.30 \AA/sec 으로 감소를 하다가 질소 3.125%, 3.75% 첨가되면서 증착률은 급격한 경사를 이루며 1.22 \AA/sec , 1.08 \AA/sec 으로 감소하게 됨을 볼 수 있다.

그림 2는 일정한 질소비율에서 as-deposited 상태에서 $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 까지 열처리한 결과를 나타낸 그림이다. 서로 다른 질소 분압 조건에서 열처리 전 상태를 확인한 결과 비저항이 약 $210 \mu\Omega\text{-cm}$ 이하로 확산방지막으로 우수한 비저항을 나타냄을 확인하였다. 또한 열처리가 진행될수록 비저항이 급격히 감소하는 모습을 확인하였다. 그림 2(a)에서는 $70 \text{ }^\circ\text{C}$ 열처리 결과 비저항이 $170.19 \mu\Omega\text{-cm}$ 에서 $32.24 \mu\Omega$

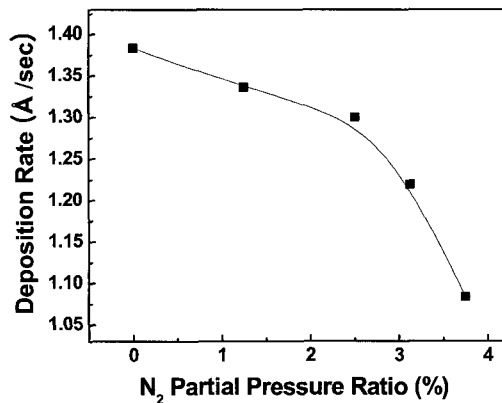


그림 1. 질소 분압 비율 변화에 따른 W-C-N / Si 박막의 증착률 변화.

-cm 로 급격히 감소하며 이후 열처리 온도가 $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 까지 증가하여도 일정하게 유지되고 있다. 하지만 그림 2(b)와 2(c)에서는 열처리 온도가 증가할수록 비저항 값이 약 $210 \mu\Omega\text{-cm}$ 에서 약 $25 \mu\Omega\text{-cm}$ 로 일정하게 감소하는 모습을 보여준다. 이는 박막내에 일정한 양의 질소가 포함된 경우 열처리 온도가 증가함에 따라 박막 내에서 외부로 질소가 빠져 나감으로 인한 것이고, 박막내 질소 비율이 높을수록 고온에서도 빠져나가는 양이 달라져 비저항의 감소가 덜한 것으로 여겨진다.

박막내 질소 비율이 열처리 조건에 따라서 다르게 나타나는 것을 확인하기 위하여 각 조건에 대하여 XRD 분석을 하였다.

먼저 그림 3은 질소가 들어가지 않은 W-C/Si 박막의

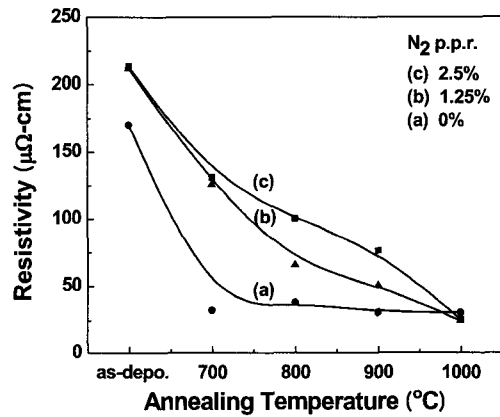


그림 2. 일정한 질소 분압 비율에 조건에 열처리 조건 변화에 따른 W-C-N / Si 박막의 비저항 변화. (a) 0%, (b) 1.25%, (c) 2.5%

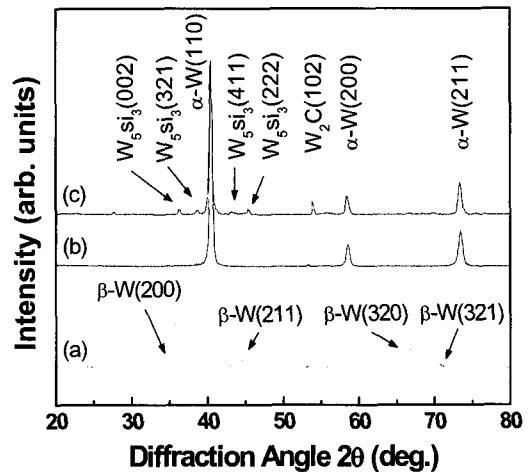


그림 3. 질소 분압이 0%인 W-C / Si 박막의 열처리 온도에 따른 XRD 모양. (a) as-depo, (b) $800 \text{ }^\circ\text{C}$, (c) $1000 \text{ }^\circ\text{C}$

XRD pattern을 그래프로 나타내었다. 질소를 첨가하지 않고 증착한 박막에서 1000 °C에서 silicide peak이 나타나는 것을 확인하였고 이로써 W-C 박막은 1000 °C 이전까지 Si의 확산을 방지함을 확인할 수 있었다. 그림 3(a)은 as-deposited state의 경우에 대하여 결정성을 확인한 결과로서 β -W(200), β -W(211), β -W(320), β -W(321)가 35.6°, 43.9°, 66.9°, 69.8°에서 나타났고, α -W(110)이 40.1°에서 나타났다. 열처리 조건 800 °C(그림 2(b))에서 β -W의 픽은 보이지 않고 α -W의 픽만 존재하는 것으로 보아 열처리 조건에서 박막내 결정상태가 변화함을 확인하였다.

그림 4에서는 질소 비율이 1.25%인 W-C-N / Si 박막의 열처리 온도에 따른 XRD pattern을 보여준다. 그림

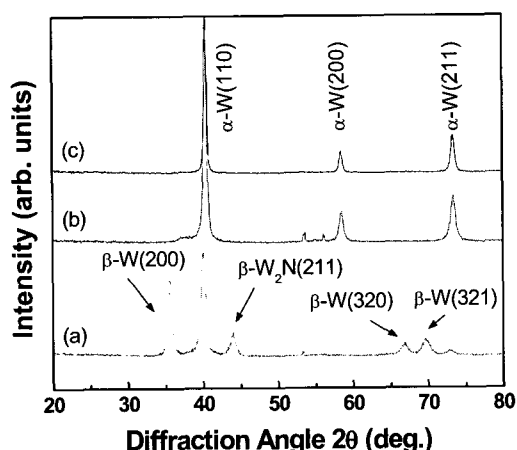


그림 4. 질소 분압이 1.25%인 W-C-N / Si 박막의 열처리 온도에 따른 XRD 모양. (a) as-depo., (b) 800 °C, (c) 1000 °C

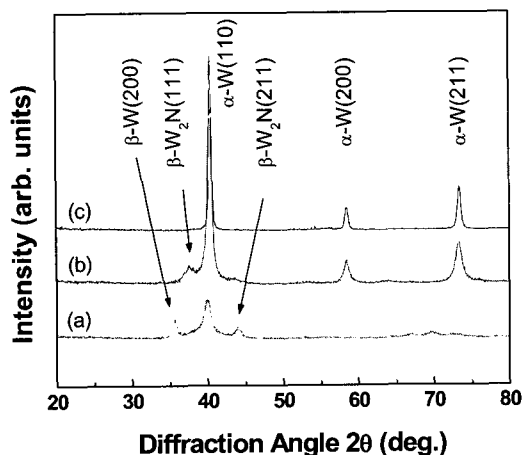


그림 5. 질소 분압이 2.5%인 W-C-N / Si 박막의 열처리 온도에 따른 XRD 모양. (a) as-depo, (b) 800 °C, (c) 1000 °C

4(a)는 그림 3(a)에서와 같이 β -W(200), β -W(211), β -W(320), β -W(321)의 β -W 결정과 α -W(110)인 α -W 픽이 나타남을 확인할 수 있었다. 하지만 그림 4(c)인 1000 °C에서는 어떠한 silicide peak픽이 형성되지 않으며 α -W(110), α -W(200), α -W(211)인 α -W 픽만 존재하는 것을 확인하였다.

그림 5에서는 질소 2.5% 첨가된 W-C-N 박막의 XRD pattern을 보여주고 있다. 이 그림에서도 as-deposited state에서는 그림 3, 4에서와 같이 β -W peak과 α -W peak이 나타나지만 그 intensity는 매우 작다. 800 °C 열처리 이후에는 α -W(110), α -W(200), α -W(211)이 40.2°, 58.7°, 73.4°에서 나타나고 새로운 β -W₂N(111) peak이 37.5°에서 나타났다. 하지만 이 peak은 1000 °C에서 열처리를 하면 질소가 빠져나가면서 α -W peak만이 남게 된다. 그러나 어떠한 텅스텐실리사이드 peak도 발견할 수 없음을 확인하였다.

IV. 결론

Cu 금속배선을 반도체 공정에 적용하기 위해서는 저온에서 쉽게 Si으로 확산되는 현상을 방지하는 것이 중요한 과제이다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 Cu와 Si 사이의 확산을 효과적으로 방지하는 W-C-N 확산방지막을 여러 질소비율 조건에서 조사하였다. 그 결과 W-C-N 확산방지막의 질소 비율에 따른 박막의 증착율과 일정한 질소 비율에서 열처리 조건에 따른 비저항을 측정하였다. 그 결과 질소 비율이 증가할수록 증착률이 감소하며, 질소 비율이 2.5%까지 포함된 박막의 비저항이 약 210 $\mu\Omega$ -cm 이하로 확산방지막으로 우수한 비저항을 가지고 있음을 확인하였다. 또한 XRD 분석을 통하여 열처리 온도가 증가할수록 박막내의 질소가 빠져 나감으로 고온에서 안정된 상태를 유지하는 것을 알 수 있었다. 이로써 차세대 Cu 배선 공정에서 W-C-N 확산방지막이 우수한 역할을 할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 산자부 과제 20060240에 의해 수행되었음

참고 문헌

- [1] C.C. Baker, J. Vac. Sci. Technol. **A20**, 5 (2002).
- [2] C.W. Lee, J. Korean. Phys. Soc. **37**, 324 (2000).
- [3] A.D. Feinerman, J. Electrochem. Soc., **137**, 3683 (1990).
- [4] Y. T. Kim, C. W. Lee, and D. J. Kim, Appl. Phys. Lett. **72(12)**, 1507 (1998).
- [5] S. I. Kim and C. W. Lee, J. Korean Phys. Soc., **50(2)**, 489 (2007).
- [6] C. W. Lee, Y. T. Kim, J. Vac. Sci. Technol., B **24(6)**, 1432 (2006).
- [7] Y.T. Kim, and C.W. Lee, Phil. Mag., **B74**, 293 (1996).
- [8] D.S. Williams and S.P. Murarka, J. Vac. Sci. Technol. **B5**, 1723 (1987).

Additional Impurity Roles of Nitrogen and Carbon for Ternary compound W-C-N Diffusion Barrier for Cu interconnect

Soo In Kim and Chang Woo Lee

Department of Nano & Electronic Physics, Kookmin University, Seoul 136-702

(Received August 20 2007)

In submicron processes, the feature size of ULSI devices is critical, and it is necessary both to reduce the RC time delay for device speed performance and to enable higher current densities without electromigration. In case of contacts between semiconductor and metal in semiconductor devices, it may be very unstable during the thermal annealing process. To prevent these problems, we deposited tungsten carbon nitride (W-C-N) ternary compound thin film as a diffusion barrier for preventing the interdiffusion between metal and semiconductor. The thickness of W-C-N thin film is 1,000Å and the process pressure is 7mTorr during the deposition of thin film. In this work we studied the interface effects W-C-N diffusion barrier using the XRD and 4-point probe.

Keywords : W-C-N thin film, Diffusion Barrier

* [E-mail] cwlee@kookmin.ac.kr