

다층배선을 위한 구리박막 형성기술 (Deposition Technology of Copper Thin Films for Multi-level Metallizations)

조남인, 정경화
선문대학교 전자정보통신공학부

Abstract

Copper thin films are prepared by a chemical vapor deposition technology for multi-level metallizations in ULSI fabrication. The copper films were deposited on TiN/Si substrates in helium atmosphere with the substrate temperature between 120°C and 300°C. In order to get more reliable metallizations, effects on the post-annealing treatment to the electrical properties of the copper films have been investigated. The Cu films were annealed at the 5×10^{-6} Torr vacuum condition, and the electrical resistivity and the nano-structures were measured for the Cu films. The electrical resistivity of Cu films shown to be reduced by the post-annealing. The electrical resistivity of $2.2 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ was obtained for the sample deposited at the substrate temperature of 180°C after vacuum annealed at 300°C. The resistivity variations of the films was not exactly matched with the size of the nano-structures of the copper grains, but more depended on the deposition temperature of the copper films.

1. 서론

반도체집적회로 제조기술은 무선통신기기와 인터넷의 새로운 제품을 가능하게 하였으며, 앞으로 반도체의 기술발전은 집적도와 정보전달 속도의 증가방향으로 전개될 것으로 예상된다. 이를 실현하기 위하여 차세대 반도체 집적회로의 배선재료에서 요구되는 금속배선 재료의 사양은 비저항 값이 현재의 Al 재료로는 실현하기 어려울 것으로 여겨지며, 배선 물질은 최소 선폭 0.25 μm 까지는 Al 배선이 사용되어 질 것이나, 최소 선폭이 0.13 μm 로 고집적화 되면 낮은 비저항과 높은 용점을 가진 Cu 박막이 가장 유력한 재료가 될 것으로 예상된다. 이에 따라서 배선공정은 구리 배선재료를 이용한 다층배선의 구조가 될 것이며, 배선구조를 형성하는데 필요한 기술로는 1) 구리박막 형성기술, 2) 층간 절연물질 형성기술, 3) 구리 확산방지막 형성기술, 4) 실리콘 contact silicide 형성기술을 들 수 있다. 화학적 기상증착 방법 (CVD; Chemical Vapor Deposition) 과 구리도금 방법 (Electroplating Deposition) 이 Cu 박막을 형성하기 위한 기술로 유망 시 되어 꾸준한 연구가 진행되어 왔다. 그 중 구리도금 방법은 초기 금속 물질 증착이 선행되어야 하는 단점이 있으나 공정의 편리성 때문에 산업체에서 선호하고 있다. 이에 비하여 CVD 공정으로 증착한 Cu 박막의 경우는 공정에 어려움이 있으나 기판의 모양에 관계없이 기판의 모든 부분에서 균일한 두께의 박막을 얻을 수 있어 충실도가 매우 우수하다는 가장 큰 장점이 있다[1-6]. 한편, CVD-Cu 박막이 초고집적 소자에 응용되기 위해서는 최적의 공정 조건과 신뢰성이 확립되어야 한다. 따라서 본 실험은 CVD 방식에 의한 구리박막의 형성기술에 대하여 낮은 비저항을 얻기에 필요한 실용적인 공정기술에 대하여 살펴보고, 구리박막의 나노구조와 전기적 성질과의 관계를 알아보았다.

2. 실험방법

실험은 CVD-Cu 장치를 이용하여 구리박막을 증착하고 후공정 열처리를 통하여 전기적 특성을 향상시키는데 목표를 두었다. 실험에 사용되는 유기금속 전구체 원료 (MO: metal organic precursor)는 대개 염소나 불소가 함유된 물질이며, 구리박막 증착 공정 중에 50°C로 가열되어 증기압을 높여서 반응용기로 전달된다. 가열 시에는 균일한 온도가 유지되도록 실리콘 오일 안에 전구체 용기를 담그고 전기히터로서 오일을 가열한다. 사용되는 가스는 고순도의 헬륨과 질소로서 전구체와 반응하지 않는다. 헬륨은 증기상태의 전구체를 증착 용기로 오염없이 이동시키는 역할을 하는데 유량은 200 sccm 범위에서 조정할 수 있다. 전구체는 (hfac)Cu(I)VTMS를 사용하였는데, 이는 액체상태의 물질로서 끓는점이 50°C로 낮기 때문에 200°C 내외의 저온 증착이 가능하고, 불균등화 화학반응에 의해 50nm/min 내 외의 빠른 증착 속도를 나타내는 것으로 알려져 있다. 반응용기는 반응 기체들이 화학적 반응에 의하여 모재 위에 증착되도록 하는 가장 중요한 부분으로 모재가 위치하는 곳을 히터로서 가열할 수 있는데 상온~400°C까지 온도를 조정할 수 있다. 증착을 위한 모재로는 실제의 반도체 공정을 감안하여 TiN 박막을 사용하였다. TiN 박막은 구리박막의 확산 방지 물질로서 알려져 있으며, 구리박막을 안정적으로 증착할 수 있기 때문이다. 구리박막 증착을 위한 TiN 모재의 온도는 120°C와 300°C 사이에서 변화시켰다. 진공 열처리 온도 범위는 200°C~300°C로 변화시켰다. 구리박막의 물성분석은 투과형 전자현미경 (TEM)이 이용되었으며, 전기적 특성 측정에는 4-point probe를 사용하였다. 고배율의 TEM을 통하여 증착 시의 열처리에 의한 물질 및 상변화, 그레인 크기의 변화를 관찰하였다.

3. 실험결과 및 논의

구리박막의 증착 온도와 열처리 온도에 따른 구리박막의 비저항 측정결과는 그림 1과 같다. 실리콘 기판 위에 TiN 박막을 증착하고 MOCVD 방법에 의해 증착한 구리박막의 기판온도 변화에 따른 전기적 비저항 값 변화와 후속열처리를 수행 후의 구리박막의 비저항 변화를 나타낸 것이다. 150°C에서 $6.0 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, 180°C에서 $2.8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 의 비저항 값을 얻었다. 180°C에서 $2.6 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 의 비저항값은 Al의 비저항과 대등한 정도의 값이지만 $0.13 \mu\text{m}$ 급의 집적회로에서 요구되는 비저항 특성은 $2.0 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 이하이므로 후속 열처리를 통하여 구리박막의 미세구조를 향상시키고 나아가 전기적 비저항 값을 개선시켰다. 집적회로공정에서 금속배선이후에는 통상 600°C 이내에서 후공정이 처리되므로 이 온도 범위 중 모재 온도를 300°C에서 열처리하여 구리박막의 전기적 성질을 알아보았다. 전구체의 공급을 중단하고 초기 진공도를 5×10^{-6} Torr로 유지한 후 모재 온도를 300°C로 증가시켜 30분 간 진공 열처리한 후 같은 박막의 비저항을 측정하였다. 180°C에서 증착한 시료를 열처리했을 때 비저항이 $2.2 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 가장 작은 값을 얻었다. 다음 TEM으로 구리박막의 막치 밀성과 나노구조를 분석하였다. TEM의 배율을 100k로 하여 구리박막의 나노구조를 관찰한 결과, 증착 시의 온도가 그레인의 크기에 비례하는 것으로 분석되었다. 전자회절에 의하여 분석한 결과도 결정성에서는 고온 증착한 시편이 월등함을 보여주었다. 그림 2는 180°C에서 형성된 구리박막의 TEM 나노구조를 관찰한 결과이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 최소의 비저항을 갖는 구리박막이나 그레인의 크기는 250°C에서 형성된 구리박막의 TEM 나노구조에 비하여 작다는 것을 알 수 있었다. 이는 구리 박막의 전기적 성질은 나노구조의 크기 뿐 아니라, 박막의 그레인 경계면 구조나 불순물의 함유량에 의해서도 크게 좌우된다는 것을 의미한다.

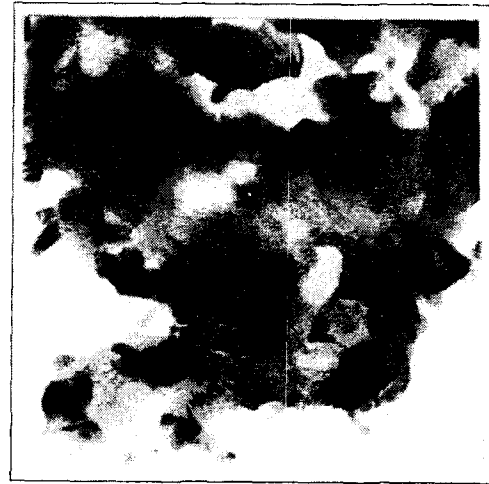
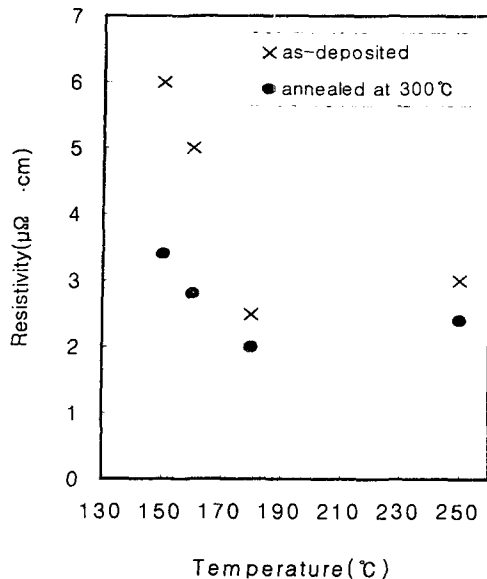


그림 1. 열처리온도에 따른 비저항 변화 그림 2. 180°C에서 형성된 구리박막의 TEM 나노구조

4. 요약

CVD 기술에 의하여 구리박막을 준비하였으며, TEM 관찰과 비저항 측정을 실시하였다. 구리박막은 증착 시와 후 열처리의 온도에 따라 전기적 성질에 많은 변화를 관찰하였다. 증착된 구리박막을 진공 열처리한 후 비저항 값의 변화를 살펴보면 10%~50% 향상되었으며, 180°C에서 증착된 구리박막의 비저항 값은 $2.6 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 에서 $2.2 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 감소함을 알 수 있다. 열처리 전후의 비저항 값 변화를 통해 알 수 있는 것은 낮은 온도에서 증착한 구리박막은 진공 열처리를 통하여 비저항을 감소하는 데에는 한계가 있으며, 진공 열처리 후의 비저항 값 역시 180°C에서 증착된 시편에 대하여 가장 양호한 결과를 보여 준다는 것이다. 구리 박막의 전기적 성질은 나노구조의 크기 뿐 아니라, 박막의 그레인 경계면 구조와 불순물의 함유량에 의해서도 영향을 받음을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2001-041-E00168)

참고문헌

- [1] M. Ono, M. Saito, T. Yoshitomi, C. Fiegna, T. Ohguo. and H. Iwai, IEEE Electron Dev., Vol. 42, pp.1822 (1995)
- [2] J.Y. Lee and J.W. Park, Kor. J. Mater. Research, Vol. 6, pp.626 (1996)
- [3] S.L. Cohen, M. Lieher, and S. Kasi, Appl. Phys. Lett., Vol. 60, pp.50 (1992)
- [4] M. Colgan, C. Morath, G. Tas, and M. Grief, Solid State Technol., pp. 67 (Feb. 2001)
- [5] N.I. Cho and Y. Sul, Materials Sci. Eng. Vol. B72, pp.184 (2000)
- [6] H. Hamamura, H. Komiyama, and Y. Shimogaki, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 40, pp.1517 (2001)