

고집적 반도체 배선용 Cu(Mg) 박막의 기계적, 전기적 특성 평가 (Mechanical and electrical properties of Cu(Mg) film for ULSI interconnect)

서울대학교 안재수, 이제훈, 주영창

1. 서론

최근 반도체 배선용 재료로 사용되기 시작한 구리 배선의 경우 에칭이 잘 되지 않으며 공기와 접촉하였을 경우 쉽게 산화가 되며 전기장이 가해졌을 때 유전막으로 쉽게 확산이 되고 유전막과의 접착력도 좋지 않은 등의 많은 문제점이 존재한다. 지금까지 이러한 문제들은 다마신 공법과 barrier를 사용함으로써 해결을 하고 있지만 앞으로 barrier 물질의 두께가 점점 얇아지게 되고 특히 low-k물질에 매우 얇은 두께의 barrier를 증착하게 되면 barrier에 pinhole이 발생하여 barrier로서의 역할을 제대로 수행하지 못한다는 문제가 생기게 된다. 따라서 이러한 구리배선의 문제를 해결하기 위한 새로운 방법이 필요하며 지금까지 순수 구리배선을 대체할 합금구리배선에 대하여 많은 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 구리에 Mg를 첨가한 Cu(Mg) 박막을 증착하였을 경우 기계적, 전기적 성질의 변화를 조사하였다.

2. 실험방법

Oxidized Si wafer 위에 sputter를 이용하여 3000Å의 Cu(Mg) 박막을 증착하였다. Cu(Mg)의 증착은 3at%의 Mg 조성을 갖는 Cu(Mg) alloy target을 이용하였으며 Mg의 농도를 조절하기 위하여 5mm×5mm 크기의 Mg chip을 sputter target 위에 올려놓고 증착하는 방법을 이용하였다. 증착된 Cu(Mg) 박막을 vacuum furnace를 이용하여 진공도 10^{-7} Torr 레벨에서 150°C~600°C의 온도 범위에서 열처리를 하였다. 기계적 성질을 분석하기 위하여 AFM, scratch test, nano-indentation 등을 이용하였으며, 전기적 성질을 분석하기 위하여 4-point probe, BTS test 등을 이용하였다.

3. 실험 결과 및 토의

Cu(2.7at% Mg) 박막의 경우 증착 초기의 저항은 $5.7\mu\Omega\text{cm}$ 이상이 나왔다. 이를 열처리 온도 및 시간을 변화시키면서 저항을 측정할 경우 약 300°C 이상의 온도에서 10분 이상 열처리를 할 경우 급격한 저항 감소가 관찰되었다. Cu(Mg) 박막의 기계적 성질은 Cu에 비하여 많은 향상을 가져왔다. 열처리 이후의 표면거칠기의 경우 Cu가 약 100Å 정도이나 Cu(Mg)의 경우는 약 10Å 정도로 1/10 정도로 줄어들었다. Scratch test를 이용하여 SiO₂와의 접착력을 테스트 한 결과 Cu(Mg)는 Cu에 비하여 2배 이상 접착력의 향상을 보여주었으며 nano-indentation 결과 Cu의 경도는 2.63GPa 이었으나 Cu(Mg)는 4.13GPa로 경도가 크게 높아졌다. 또한 Cu(Mg)는 Cu에 비하여 더 큰 스트레스 저항력을 가지며 이로 인하여 Cu에서 발생하는 표면의 void 형성이 Cu(Mg)에서는 전혀 관찰되지 않았다. 350°C에서 30분간 열처리를 한 Cu(Mg) film과 Cu film을 175°C, 1MV/cm의 BTS를 30분 동안 가한 결과 Cu film에서는 V_{FB}의 shift현상이 나타난 반면 Cu(Mg) film에서는 V_{FB}의 shift가 발생하지 않았다. 또한 leakage current 측정을 통한 SiO₂의 failure time을 측정하여 보았을 때 Cu(Mg)는 Cu에 비하여 약 3배 정도의 확산 방지 효과를 확인하였다. 이러한 Cu(Mg) 박막의 기계적, 전기적 성질 향상의 원인으로서는 Mg가 Cu 및 Si보다 산소와 쉽게 반응하여 Cu(Mg)의 표면 및 계면에서 MgO를 형성하기 때문으로 알려져 있다. 이를 확인하기 위하여 TEM을 이용하여 미세구조를 관찰한 결과 Cu₂MgO₃의 석출물 형태로 존재하며 계면쪽에서는 Mg가 segregation 되어 있는 것으로 나타났다.