

Al-1%Si 박막 금속화의 Electromigration에 의한 결함현상

(Electromigration Induced Failures in Al-1%Si Thin Film Metallizations)

* 장철하 김진영

광운대학교 전자재료공학과

1. 서론

반도체 소자 고집적화 기술의 발전으로 집적회로내 metal interconnection의 선폭이 submicron scale을 갖게 되었다. 집적회로 dimension의 scale down은 interconnection에 고전류밀도를 유도하고, 이러한 조건하에서 electromigration은 두드러지게 일어난다. 결과적으로 device의 파괴를 유도하는 electromigration은 ULSI 미세회로내 metallization의 신뢰도에 영향을 미치고 metallization과 process technology의 선택에 있어서 중요한 변수로 작용한다.

본 연구에서는 Al-1%Si 박막금속화(thin film metallization)에 대한 온도와 전류밀도에 따른 가속화 실험(accelerated test)을 통해 electromigration에 대한 저항성 및 failure 현상을 연구하였다. 활성화 에너지(activation energy, Q) 측정을 위해 고정된 전류밀도 조건에서 test structure의 분위기 온도를 150°C에서 225°C로 변화시켰다. 또한, 일정한 온도조건에서 전류밀도만 변화시켜 인가하였다. 그 결과, 온도와 전류밀도가 증가함에 따라 박막금속화의 수명은 감소하였고, 측정된 활성화 에너지 값은 0.646eV로 나타났다.

2. 실험

본 실험에 사용된 test structure는 photolithography와 RIE(Reactive Ion Etching) 과정을 통해 제작되었다. wafer위에 5000 Å의 산화막을 thermal oxidation으로 성장시켰고, 산화막위에 1000 Å의 Al-1%Si을 DC magnetron sputter로 증착한 후, photolithography를 이용하여 폭 2.5 μm, 길이 200 μm, 두께 1000 Å의 dimension을 갖는 test structure를 제작하였다.

제작된 test structure를 사용하여 두 종류의 가속화 실험(accelerated test)을 수행하였다. 첫째 조건으로, 1×10⁷A/cm²의 고정된 전류밀도에서 temperature stress로서 150°C, 175°C, 225°C의 온도를 인가하였다. 둘째 조건으로, 200°C의 고정된 온도에서 전류밀도를 6×10⁶A/cm², 8×10⁶A/cm², 1×10⁷A/cm²으로 변화시키면서 인가하였다.

각 실험조건에서 Al-1%Si 박막금속화의 평균수명(MTF, t₅₀) 및 이 값에 대한 90% 신뢰구간(confidence limits)을 구하고, 각 조건별 표준편차(standard deviation)와 이 값에 대한 90% 신뢰구간을 구했다. 일정 전류밀도 조건에서 stress 온도의 역수에 대한 ln(t₅₀)의 Arrhenius plot을 취하여 활성화에너지(Q)를 구하였다. 실험후 electromigration에 의한 결함현상 분석은 광학현미경, SEM, FIB(Focused Ion Beam)를 이용하였다.

3. 결과

test structure의 저항은 stress 인가후 일정상태를 유지하였고, stripe이 개방 (open)되기 전 급격한 증가를 보였다. 첫째조건의 실험결과, 각 온도에서 test structure의 평균수명(t_{50})은 3.386, 1.024, 0.235로 나타났고, 둘째조건의 실험결과 각 전류밀도에서 1.442, 1.025, 0.579로 나타났다. 각 조건에서 얻은 test structure의 failure time(t_f)에 대한 누적확률(cumulative probability)을 graph로 나타낸 결과 lognormal distribution을 갖는 것으로 나타났다. 일정한 전류밀도 조건에서 stress 온도의 역수에 대한 $\ln(t_{50})$ 의 Arrhenius plot을 취하여 활성화 에너지 (activation energy)를 구한결과 Al-1%Si 박막의 활성화 에너지값은 0.646 eV로 나타났다. 광학현미경, SEM, FIB를 통한 failure 현상의 분석결과 test structure stripe상에 void와 hillock이 형성되었음을 관찰할 수 있었다.

4. 결론

일정한 DC 전류밀도 조건의 경우 stress 온도가 150°C, 175°C, 225°C로 증가됨에 따라 test structure의 평균수명은(t_{50}) 감소하였고(그림 1), 일정 온도 조건의 경우 DC 전류밀도가 $6 \times 10^6 \text{A/cm}^2$, $8 \times 10^6 \text{A/cm}^2$, $1 \times 10^7 \text{A/cm}^2$ 으로 증가됨에 따라 평균수명은 감소하였다.(그림 2) Electromigration에 의한 stripe의 failure는 DC 전류밀도 조건에서 lognormal distribution을 갖는 것으로 나타났다. Al-1%Si 박막금속화의 electromigration에 대한 활성화 에너지(Q)는 0.646eV로 나타났다. (그림3) electromigration에 의한 물질 이동의 결과, test structure stripe에 void와 hillock이 형성되었다.

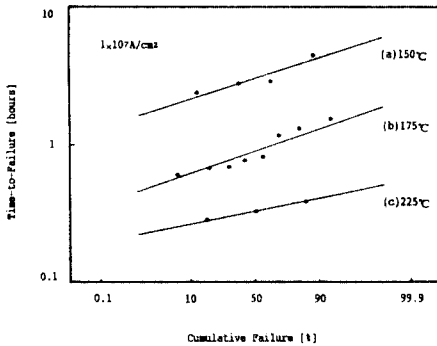


그림 1. Time-to-Failure vs. Cumulative Percent at 1.107A/cm^2 (a)150°C (b)175°C (c)225°C

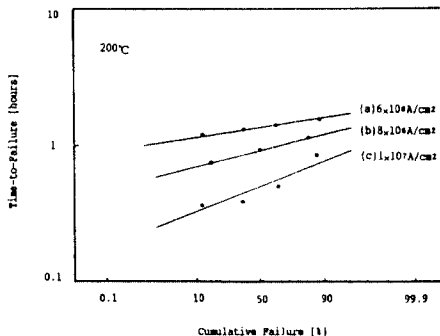


그림 2. Time-to-Failure vs. Cumulative Percent at 200°C (a) 6.104A/cm^2 (b) 8.104A/cm^2 (c) 1.107A/cm^2

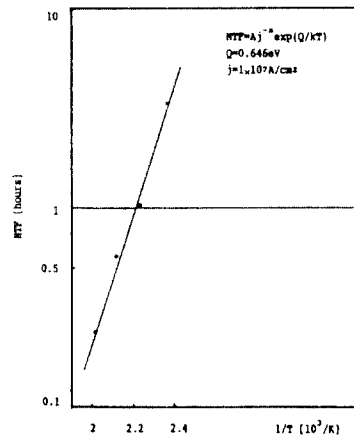


그림 3. 고밀전 전류밀도 조건에서 평균수명의 Arrhenius Plot.