18

Al-1%Si 박막금속화의 Electromigration에 대한 Interconnection Geometry 효과

(The Effects of Interconnection Geometry on the Electromigration in Al-1%Si Thin Film Metallizations)

*조형원 김대일 김진영

광운대학교 전자재료공학과

1. 서론

초고집적 소자내 박막금속화(Thin Film Metallization)에는 여러가지 길이의 금속선과 인접한 두 선을 연결하는 Via나 Stud 같이 부분적으로 전류가 응집된 현상인 Current Crowding을 유발하는 구조가 포함되어 있다. 그러므로 여러가지 도선의 길이(Linelength)와 이러한 구조에서의 Electromigration Mechanism에 대한 이해는 초고집적 반도체 소자내 Interconnection의 물리적 한계를 제시하며, 이에 대한 저항성의 연구는 Design Rule을 설정하는데 있어 매우 중요한 역할을 한다. 더우기 ULSI 기술에서는 소자의 고집적화와 처리속도 증가를 위해 박막금속화의 선폭이 Half-Submicron 이하 범위로 줄어들고 있으며, 그로 인한 도선의 고전류밀도는 Electromigration에 기인한 소자 신뢰성에 심각한 문제를 야기하고 있다. 이러한 문제점은 Current Crowding을 유발하는 박막금속화 내 여러 구조에서 더욱 복잡해진다.

본 연구에서는 길이에 따른 Electromigration Lifetime의 변화를 연구하기 위해 100, 400, 800, 1200, 그리고 1600μm의 길이를 갖는 Al-1%Si 박막금속화에 $4.5 \times 10^6 A/cm^2$의 전류밀도를 인가하였다. 또한 Current Crowding에 의한 박막금속화의 수명 감소를 관찰하기 위해 두가지 형태의 박막금속화에 $2.5 \times 10^6 A/cm^2$의 전류밀도를 인가하여 실험하였다.

2. 실험

3μm의 선폭을 갖는 박막금속화와 여러가지 형태의 구조를 갖는 박막금속화가 Electromigration Lifetime Test를 위해 증착되었으며 Test Stripe의 Pattern은 Photolithography로 형성하였다. 기판은 13Ωcm의 P형 Si Wafer(100)가 사용되었으며, 1000℃에서 150분간 산화하였다. 산화막의 두께는 6000±10%Å이다. 7000Å의 Al-1%Si이 DC Magnetron Sputter에 의해 증착되었으며, RIE(Cl_2+BCl_3)로 식각하였다. Pattern이 형성된 박막금속화에는 8000Å의 PSG(7wt% P)와 1000Å의 SiO_2를 증착하였다.

길이에 따른 Electromigration Lifetime의 변화를 살펴보기 위한 Test Pattern은 3μm의 선폭으로 100, 400, 800, 1200, 그리고 1600μm의 길이를 갖는 Straight Line이다. Current Crowding 효과를 살펴보기 위해 두가지 형태의 Test Stripe이 형성되었다. 커다란 Pad와 Test Line과의 접합 부분에서의 Current Crowding 현상을 감소시키기 위해, Test Structure는 Test Line(W_t)과 W_t 2배의 선폭을 갖는 Wider Line(W_w)이 연결된 구조를 갖는다.

제작된 Test Structure를 이용하여 두종류의 가속화 실험을 수행하였다. Test Stripe에 인가된 DC 전류밀도는 길이에 따른 변화를 관찰하는 Test Line과 Current Crowding을 관찰하기 위한 Stripe에 $4.5 \times 10^6 A/cm^2$과 $2.5 \times 10^6 A$으로 각각 인가하였다. 박막금속화의 시간에 따른 저항 변화를 관찰하여, 회로의 Open으로 인한 저항의 급격한 증가를 보이는 시간으로 수명을 측정하였다. 각 실험 조건에서 Al-1%Si 박막금속화의 Time-to-Failure(TTF) 및 이 값에 대한 90% 신뢰구간(Confidence Limits)을 구하고, 각 조건별 표준편차(Standard Deviation)와 이 값에 대한 90% 신뢰구간을 구했다. 실험후 Electromigration에 의한 결함현상 분석은 광학현미경, SEM 등을 이용하였다.

3. 결과

1) Linelength Dependence of Electromigration Lifetime

Electromigration Lifetime에 대한 Linelength의 영향과 각각의 길이에 따른 표준편차(Standard Deviation)가 그림 1과 그림 2에 나타나있다. 박막금속화의 길이가 100μm에서 800μm까지는 다소 급격하게 감소하다가 1200μm이상에서는 포화됨을 볼 수 있다. 표준편차는 도체 길이에 무관한 것으로 나타났다. 또한 그림 3에 나타나 있는 것과 같이 Electromigration에 의한 박막금속화의 결함 발생 분포는 음극지역이 지배적임을 알 수 있으며, Stripe의 중앙과 양극영역에서의 결함 발생은 초기 Extrinsic Defects에 의한 결함으로 사료된다.

2) Current Crowding Effects

Current Crowding Effects를 관찰하기 위해, 본 연구에서는 두가지 선폭을 갖는 Reduction(3, 5μm) & Expansion(10μm) 형태의 Test Stripes와 3μm와 6μm의 선폭을 갖는 톱니 형태의 Al-1%Si 박막금속화에 2.5 × 10^6A/cm^{2}의 전류밀도를 인가하여 측정하였다. 각각의 Pattern에 따른 TTF가 그림 4와 5에 도시되어 있으며, 수명은 두 형태에서 모두 선폭이 증가함에 따라 증가함을 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구의 주요 결과로는 첫째, Al-1%Si 박막금속화에서의 Electromigration Lifetime은 도선의 길이가 100에서 800μm까지 증가함에 따라 다소 급격하게 감소하나 1200μm 이상에서는 길이에 의한 영향을 받지 않는다. 둘째, 박막금속화 전 길이에 걸친 평균 수명에 대한 표준편차(σ)는 길이에 대한 의존성이 없다. 세째, Electromigration에 기인한 박막금속화의 결함 발생은 음극에서 지배적이며, 네째, Current Crowding은 Electromigration으로 인한 박막금속화 수명의 감소를 가속화 시킨다.

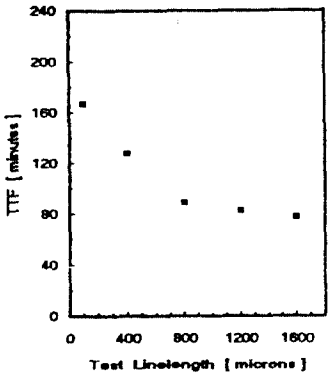

그림 1. 박막금속화의 길이 변화에 따른 Electromigration Lifetime

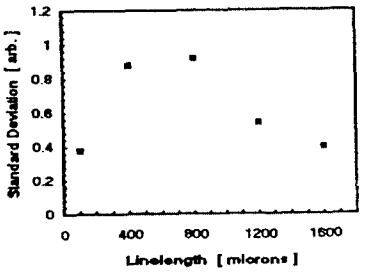

그림 2. 박막금속화의 길이에 따른 표준편차의 분포

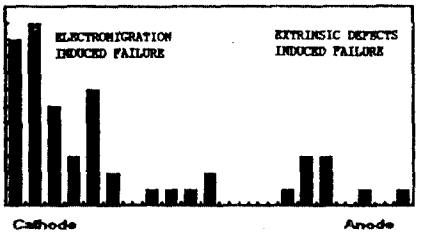

그림 3. Electromigration에 기인한 박막금속화 결함의 분포

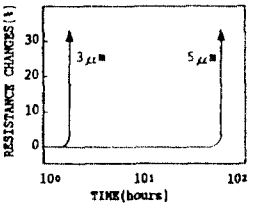

그림 4. Reduction & Expansion 형태에 대한 TTF

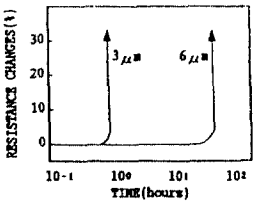

그림 5. 톱니형태에 대한 TTF