

Double Metal 공정에서의 SM 및 EM 특성 개선

심상철, 김응수, 조경원, 정창범, 송창섭, 임순권, 최규현

삼성전자(주) 반도체 연구소 MICRO 공정개발

I. 서 론

반도체 device에서 금속 배선의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 stress migration(이하 SM)과 electromigration(이하 EM)에 대한 내성이 큰 금속 배선의 형성이 필요하다. 그러나, double metal 공정에서 stress migration이 주로 후속 열처리와 overlayer 공정시 1차 금속 배선 측면 부위에서 void나 표면에서 hillock의 형태로 유발될수 있다. 이와같이 SM이 금속 배선에 발생할 경우 EM에 대한 저항성도 감소하여 금속 배선의 신뢰성을 저하시킨다.

본 연구에서는 SM 현상 억제와 EM 특성을 개선하기 위해 두종류의 실험을 수행하였다. 첫째, Al 막질과 구조를 변화시켜 SM에 대한 Al 자체의 내성이 강화되도록 금속의 증착 조건을 변경하였으며 둘째, Al의 표면에 Ti계 capping 막을 in-situ 증착하여 void와 hillock free 및 EM 특성을 향상시킬수 있도록 금속 구조를 개선하였다. SEM, FIB, AES등의 분석 장비를 이용하여 이와같은 개선 원인에 대하여 고찰하였다.

II. 실험 방법

본 실험은 두개의 group으로 나누어 진행하였다. 제 1 group은 Al 합금을 vacuum break하여 2회로 나누어 증착하는 2 step 증착 방법 및 Al 합금 증착전 고온 preheating하는 방법을 적용하였으며, 제 2 group에서는 Al 합금상에 Ti, TiN, TiW 내열 금속을 각각 증착하였다. 모든 실험 조건에서 1차 금속인 Al-1%Si-0.5%Cu 8000 Å의 증착 온도는 300°C이고 초기 진공 4~7X10⁻⁸ Torr에서 증착하였다. Capping metal인 sputtered Ti와 reactive sputtered TiN은 증착 온도 200°C, 초기 진공 3~5X10⁻⁸ Torr에서 Al 증착후 in-situ 증착하였다. TiW의 경우는 Al, Ti, TiN을 증착한 M-2000 sputter와 달리 MRC 643 Sputter System을 이용하여 증착 온도 200°C, 초기 진공 5X10⁻⁷ Torr에서 composit TiW target을 이용하여 증착하였다.

Stress migration 실험을 위해 2µm급 Bipolar 공정을 선택하여 LTO/BPSG 증착 → metal 조건별 증착 및 patterning → alloy → 보호막 증착 → PAD patterning의 순으로 시료를 제작하였다. 보호막 증착후 각 실험 조건에서 동일한 금속 배선간의 void 발생 정도를 비교하였으며, 동일한 부위의 1차 금속 배선을 선택하여 금속 저항을 측정 비교하였다.

EM 실험 조건은 200°C에서 4mA/cm² 로써 constant DC 방식을 이용하여 3µm의 선폭과 1200µm의 길이를 가진 금속 배선을 사용했다. 금속 배선의 failure 판정은 초기 저항치를 기준으로하여 50%의 저항 증가로 했으며 실험 장비로는 Sienna Tech사의 ITS-8000을 이용했다.

III. 실험 결과 및 고찰

최종 열처리 공정인 보호막 증착후 각 조건의 금속 배선을 관찰한 결과, Al 표면에 Ti계 capping 막을 사용한 모든 조건에서 void가 발생하지 않았다. Two-step 증착 방법에서는 금속 배선의 측면에 void의 율박을 지나 void와는 달리 Al의 bulk migration이 1차 Al의 두께 8000 Å 중에 상부 4000 Å 부위에서만 발생(이하 semivoid)하였으며 일반적인 void는 발견되지 않았다. Preheating 조건에서는 void 숫자와 크기가 감소하였다. 1 group 조건의 SM에 대한 내성 및 void 억제 정도를 평가하기 위해 보호막 형성후 폭 25µm, 길이 1340µm 인 금속 배선에서 발생한 void 數를 wafer내 5 부위에서 측정하여 비교한 결과, 일반적인 Al 조건에서는 약 40개가 발생한 반면, 2-step 조건과 preheating 조건에서는 10개 미만의 void만이 발생하였다.

보호막 증착후 PAD 식각을 하여 HP 4145B로 각 실험 조건에 대해 폭 3µm, 길이 1200µm의 동일한 금속 배선에서 1차 금속 저항을 측정하였다. 이 결과, TiW 500 Å의 capping 막을 사용한 조건은 저항이 일반 조건보다 약 6 Ohm 정도 크며, TiN 500 Å capping 조건과 preheating 조건에서는 감소했다. 기타 조건의 저항은 일반 조건과 유의차가 없었다.

그림-1은 2-step 증착 조건에 대한 Auger depth profile인데 sputter 시간 15 ~ 25분 사이에 Al 농도의 감소와 oxygen 농도의 증가를 볼수있다. 이 사실로부터 금속 막 사이에 Al₂O₃ 막이 형성되어 있음을 알수 있고, 기존의 실험에서 SEM과 FIB 분석을 통해서 Al₂O₃의 존재를 관찰하였으며 이는 AES 분석 결과와 잘 일치한다. 그림-2는 Al에 Ti를 300 Å 두께로 capping한 후 열처리를 거치고 Ti를 strip하여 관찰한 AES depth profile이다. Al profile은 초기에는 일정하고 Ti profile이 서서히 변하며 Si는 증가하다가 다시 감소된다. 이 사실로 보아 표면에서는 안정된 Al₃Ti과 포화 Ti이 존재하나 subsurface에서는 이 포화 Ti이 Si과 결합하여 Ti_xSi_y의 화합물을 형성하며 Al₃Ti과 공존하고 있는것으로 판단된다. Al/500 Å TiN과 Al/500 Å TiW 시료에 대한 AES depth profile 분석 결과 Al 막내로 Ti와 함께 N과 W이 각각 확산됨을 확인하였다.

이상과 같이 capping 막에 대한 AES depth profile의 결과로부터 SM 억제 효과는 Al과 보호막 사이의 금속간 화합물 형성에 기인되며, 금속간 화합물은 두 막 사이의 열팽창 계수 차이에 의한 stress를 완화시키는 완충막으로서의 역할과 금속 표면을 강화시키는 역할을 하는 것으로 생각된다. 또한, Ti, N, W등이 금속막 내로 입계를 따라 이동하며 입계에서 응집되어 Al 원자의 이동을 억제하는 원인으로 배제할수 없다.

그림-3은 가속 조건하에서 누적 단선율과 단선 시간을 조건별로 나타낸 것으로 본 실험에서의 개선 조건이 SM은 물론 EM 특성도 일반 조건보다 훨씬 향상시킴을 보여준다. 이 결과로부터 MTTF(mean time to 단선) 값을 얻었고 이는 표-1에 나열하였다.

Ti계 capping 막은 EM 특성을 6 ~ 8배 향상시킴을 알수있고, two-step 증착 조건은 3배이상 향상됨을 알수있다. Two-step 조건이 일반 조건에 비해 EM 특성이 향상된 원인은 대기중 노출시 형성된 중간 Al 산화막이 입계의 연속성을 차단하여 하층부의 Al 원자들이 입계를 따라 이동하는 것이 억제되기 때문이다. 따라서, 산화막을 중심으로 상층부의 금속 배선에 단선이 발생하더라도 하층부의 금속 배선을 통하여 전류가 계속 흐를수 있으므로 단선때까지의 시간이 길어진다.

Ti나 TiN, TiW capping막의 경우에는 Al과 capping막 사이에 형성된 Al, Ti, Al₁₂W등의 화합물에 의해 Al 원자의 이동이 방해되어 지고 void 성장이 지연되어 단선이 늦어진다. 또한, Al 단선후에는 capping layer를 통한 current flow가 가능하여 MTTF값이 향상된다.

IV. 결 론

본 실험을 통해 SM과 EM특성의 개선 방법과 원인에 대해 연구 논의한 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1. Ti계 capping 막을 이용한 방법으로 SM에 의한 void 발생이 방지되며 EM 특성은 6 ~ 8배 향상되었다.
2. Capping 막을 사용하지 않는 two-step 증착 방법으로 SM 내성과 EM 특성을 3배 이상 향상시킬수 있었다.
3. TiW 이외의 실험 조건들은 일반 조건과 비교하여 볼때 금속 저항의 커다란 유의차는 없다.
4. EM에 대한 저항성은 TiW > TiN > Ti > 2-step > normal Al without capping metal의 순으로 양호하다.
5. EM에 의한 단선 mode는 금속 배선의 open과 crack이다.

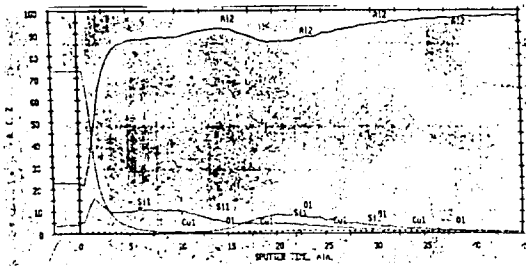


그림-1. Al 4000 Å → vacuum break → Al 4000 Å 조건의 AES depth profile

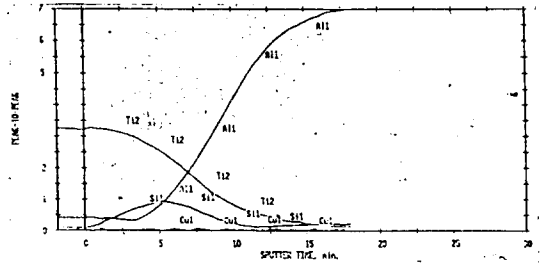


그림-2. Al/Ti capping 조건의 AES depth profile

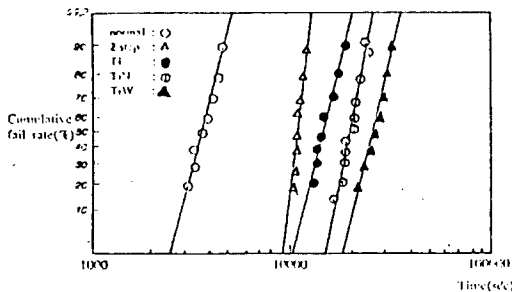


그림-3. accumulation fail time vs fail rate

표-1. MTTF value

test 조건	MTTF 값(sec)
normal Al	2827
2 step	10828
Al/Ti	14003
Al/TiN	17252
Al/TiW	23223