

## Ti/TiN Barrier 층을 갖는 Al 배선의 Electromigration 특성

### A study on Electromigration characteristics in Al line with Ti/TiN Barrier Layer

추 교섭°, 신 상우, 주 유진, 성 영권  
고려대학교 전기공학과

K.S. Choo, S.W. Shin, Eugene Chu, Y.K. Sung  
Department of Electrical Engineering, Korea University

#### Abstract

We investigated the Electromigration characteristics in Cu alloyed Al line and the effect of Ti/TiN barrier layer on the characteristics. Test structures were fabricated by wafer level and 50% failure times were tested in the condition of  $j = 2 \text{ MA/cm}^2$ ,  $T = 300^\circ\text{C}$ . The reliability of Al line was improved which was 0.5%Cu Alloyed, but Ti/TiN under layer deteriorated the reliability while TiN over layer improved the characteristics.

MTF : 50% 파괴시간

m : 가속인자 (acceleration factor)

A : 배선 공정조건에 의해 결정되는 상수  
(constant determined by process)

T : 절대온도 (temperature in Kelvin) [K]

j : 전류밀도 (current density) [A/cm<sup>2</sup>]

n : 전류밀도의 지수

(대개 1~5 사이의 값을 가짐)

E<sub>A</sub> : EM 활성화 에너지

(Activation Energy for EM) [eV]

k : 볼츠만 상수

(Boltzmann's constant

:  $1.381 \times 10^{-23} \text{ [J/K]} = 0.863 \times 10^{-4} \text{ [eV/K]}$ )

#### 1. 서론

ULSI 소자에서 배선재료로 가장 널리 사용하는 재료는 Al이다. IC 배선에 Al이 가장 널리 쓰이는 이유는 전기전도도가 높고, Si과의 부착성이 우수하고, 배선 패턴 형성을 위한 etching 공정이 용이하는 등, 각종 공정이 유리하기 때문이다.

그러나, Al은 원자량이 작아 이동도가 크고, 용점이 낮기 때문에 미세화 추세에 있는 ULSI 소자의 배선에 있어서 EM (Electromigration)에 의한 신뢰성의 저하가 큰 문제점으로 여겨지고 있어, 이의 해결에 관하여 많은 연구가 행해졌으며, 그 일환으로 Al에 Cu를 첨가함으로써 EM 특성을 개선하였음은 이미 오래 전부터 알려져 있다.<sup>[1],[2]</sup> 한편, TiN 역시 저항이 낮으면서도 열적으로 안정하여 IC 배선에 많이 사용하고 있는 복합재료이다.<sup>[3]</sup>

ULSI 소자가 소형화함에 따라 금속 박막 배선의 신뢰성이 소자의 수명과 신뢰성에 가장 중요한 인자의 하나로 주목받고 있다.<sup>[4],[5]</sup> 이에 따라 배선의 신뢰성을 평가하기 위해서는 EM test를 통해 MTF (Median-Time-to-Failure)를 측정하여 배선의 신뢰성의 척도로 삼고 있으며, Black 공식이라 하여 아래와 같이 나타낼 수 있다.<sup>[6]</sup>

$$MTF = mA T j^{-n} \exp(E_A/kT)$$

본 논문에서는 Al(1%Si)에 첨가하는 Cu의 양에 따른 EM 특성과 Ti/TiN층의 유무에 따른 그 특성의 변화를 wafer level에서 관측하였다.

#### 2. 실험방법

시료는 열산화시킨(두께 3000Å) (100) Si wafer 위에 DC magnetron sputtering법을 사용하여 표1에 나타낸 것과 같은 5가지 type으로 제작하였다.

표 1. 제작한 시료의 구성 및 두께

Sample No.	적층의 구성	각 층의 두께[Å]
1	Al(1%Si)	6000
2	Al(1%Si 0.5%Cu)	6000
3	Ti/TiN/Al(1%Si)	300/700/5000
4	Ti/TiN/Al(1%Si 0.5%Cu)	300/700/5000
5	Al(1%Si 0.5%Cu)/TiN	5000/700

모든 시료는 선폭 1 $\mu$ m, 길이 5000 $\mu$ m가 되도록 lithography와 BCl<sub>3</sub>를 사용한 반응성 이온 에칭법으로 배선 패턴을 형성한 후, N<sub>2</sub> 분위기에서 410 $^{\circ}$ C에서 30분간 어닐링 처리하였다.

wafer level로 제작한 test structure의 개략도를 그림 1로 나타내었으며, test system의 block diagram은 그림 2에 나타내었다. 각 test structure당 주입전류는 20mA로 하여 배선에서의 실제 전류밀도는 2 MA/cm<sup>2</sup>가 되게 하였으며, wafer를 가열가능한 sample holder에 놓고 300 $^{\circ}$ C로 가열하여, 저항변화가 초기치의 20%만큼 증가했을 때를 open failure로 간주하여 failure time을 기록할 수 있도록 하여 누적 failure time과 MTF를 실측하였다.

### 3. 결과

그림 3은 각 시료의 MTF를 나타낸 것으로, 각각의 정확한 값을 아래의 표 2에 보였다.

표 2. 각 시료의 MTF

Sample	MTF [Hrs]
1 Al(1%Si)	85
2 Al(1%Si 0.5%Cu)	180
3 Ti/TiN/Al(1%Si)	42
4 Ti/TiN/Al(1%Si 0.5%Cu)	67
5 Al(1%Si 0.5%Cu)/TiN	500

여기에서 Cu를 첨가한 시료(No.2,4)가 첨가하지 않은 것(No.1,3)보다 MTF가 길다는 사실을 알 수 있으며, Ti/TiN under layer를 갖는 시료(No.3,4)가 Ti/TiN under layer를 갖지 않는 시료(No.1,2)

보다 MTF가 짧다는 사실을 알 수 있다. 반면에, TiN over layer를 갖는 시료(No.5)는 나머지 시료들보다 MTF가 월등히 길다는 사실은 주지할 만한 결과이다.

그림 4는 이 중에서 Al(1%Si 0.5%Cu)(6000A)의 누적 failure time 그래프를 나타낸 것이다.

그림 5는 그 시료에서 open failure를 일으킨 것의 일례를 보여주는 SEM 사진이다.

이들 결과로부터 Al에 Cu를 0.5% 첨가함으로써 EM 특성을 개선할 수 있음을 알 수 있으며, Ti/TiN under layer는 그 특성을 저하시키고, 반면 TiN over layer는 특성을 크게 향상시킴을 알 수 있었고, 이는 Ti/TiN under layer는 Al 배선의 grain size를 작게 해서, 원자확산을 용이하게 하기 때문에 같은 조건 하에서 EM이 쉽게 발생하고, 반면에 TiN over layer는 Al의 표면확산을 억제하기 때문이라고 생각된다.

### 4. 참고문헌

- [1] s.I.A. Bleck, J.Appl.Phys., Vol.48, No.2, pp473-477, Feb, 1977
- [2] P.S. Ho, et al, J.Appl.Phys., Vol.49, No.7, pp4083-4093, Jul, 1978
- [3] B. Grabae, et al, Solid-St. Electron., Vol.26, No.10, pp1023-1032, Mar, 1983
- [4] S. Vaidya, et al, Appl.Phys.Lett., Vol.36, No.6, pp464-466, Mar, 1980
- [5] J.E. Sanchez, Jr., et al, J.Appl.Phys., Vol.76, No.3, pp1563-1571, Aug, 1994
- [6] J.R. Black, IEEE Trans., ED-16, No.4, pp338-347, April, 1969

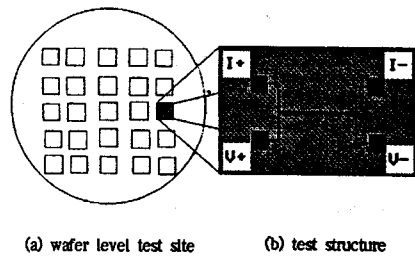


그림 1. wafer level로 제작한 test structure의 개략도

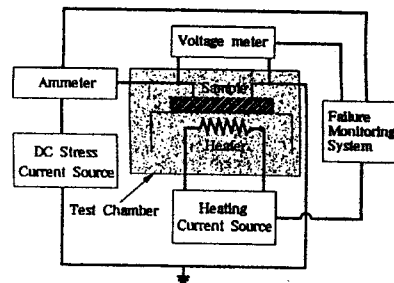


그림 2. EM test system의 block diagram

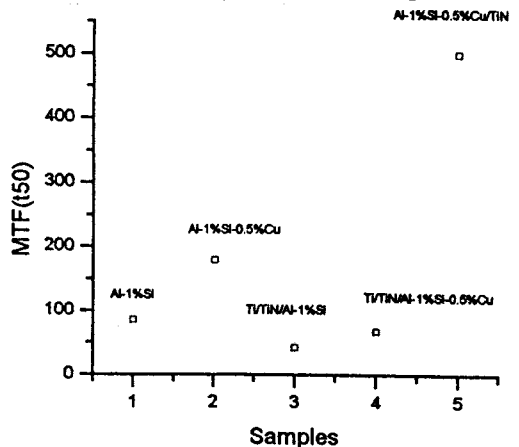


그림 3. 각 시료의 MTF 측정 결과

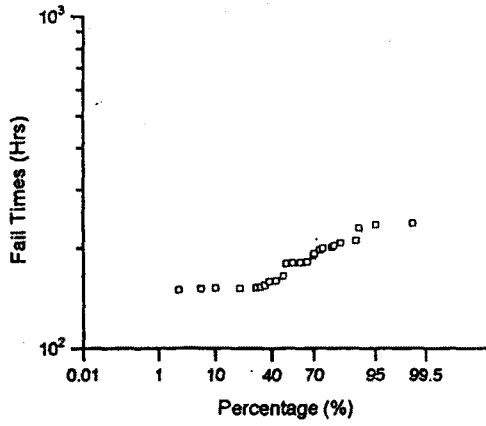


그림4. Al(1%Si 0.5%Cu)[Sample No.2]의  
누적 failure time 분포도

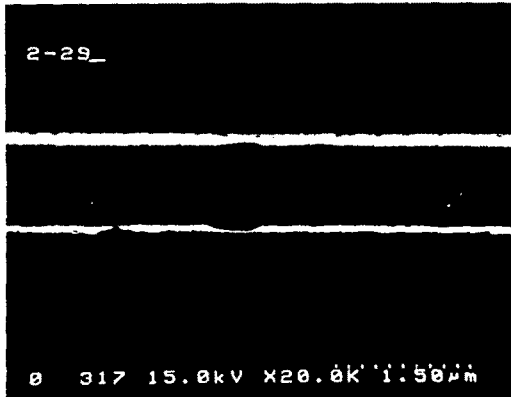


그림5. Al(1%Si 0.5%Cu)[Sample No.2]의  
open failure SEM 사진