

# W-C-N 확산방지막의 전자거동(ElectroMigration) 특성과 표면 강도(Surface Hardness) 특성 연구

김수인<sup>a</sup> · 김창성<sup>b</sup> · 이재윤<sup>b</sup> · 박준<sup>b</sup> · 노재규<sup>b</sup> · 안찬근<sup>b</sup> · 오찬우<sup>b</sup> · 함동식<sup>b</sup> · 황영주<sup>b</sup> · 유경환<sup>b</sup> · 이창우<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>국민대학교 나노전자물리학과, 서울 136-702

<sup>b</sup>경기북과학교, 의정부 480-826

(2009년 2월 10일 받음, 2009년 4월 15일 수정, 2009년 5월 18일 확정)

반도체 공정에서 기존 금속배선으로 사용되던 Al을 대체하여 사용되는 금속배선으로는 Cu가 그 대안으로 인식되고 있다. 이는 비저항값이 Al (2.66  $\mu\Omega\text{-cm}$ )보다 Cu (1.67  $\mu\Omega\text{-cm}$ )가 더 작아 RC 지연 시간 (RC delay time)을 극복하기 때문이다. 그러나 Cu의 녹는점은 1085 $^{\circ}\text{C}$ 로 높지만 저온에서 쉽게 Si기판과 반응하는 특성을 가지고 있고, 또한 Si과의 접착력이 좋지 않는 것으로 알려져 있다. 이러한 이유로 Cu와 Si과의 반응을 방지하고 접착력을 높이기 위하여 확산방지막의 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 본 연구그룹에서는 Cu의 확산을 방지하기 위하여 W-C-N의 확산방지막에 대하여 연구하여 왔다. 지금까지 보고된 연구 결과에 의하면 W-C-N (tungsten-carbon-nitrogen) 확산방지막은 고온에서도 Cu와 Si과의 확산을 효과적으로 방지하는 것으로 보고되었다. 이 논문에서는 W-C-N 확산방지막에 질소(N) 비율을 다르게 증착하여 지금까지 진행한 연구 결과를 기반으로 새로이 Cu의 전자거동현상(Electromigration)에 대하여 연구하였고, 고온 열처리 과정에서 박막의 표면강도(Surface hardness)를 Nano-Indenter system을 이용하여 연구하였다. 이러한 연구를 통하여 박막내 질소가 포함된 W-C-N 확산방지막이 Cu의 전자거동에 더 안정적이며, 고온 열처리 과정에서도 표면 강도가 더 안정한 연구 결과를 획득하였다.

주제어 : W-C-N 박막, 확산방지막, 전자거동, Nano-Indenter System, 표면강도

## I. 서 론

현대의 반도체 산업에서 금속 배선과 실리콘(Si) 사이의 상호작용은 반도체의 성능을 크게 저해하는 요소로서 큰 문제가 되고 있다. 이를 방지하기 위하여 금속과 실리콘 사이에 확산방지막을 두어 Si와 금속의 접합이 보다 안정적으로 이루어지게 하며 둘 사이의 상호작용을 막게 한다. 현재 기존 금속배선으로 사용되던 Al을 대체하여 사용되는 금속배선으로는 Cu가 그 대안으로 인식되고 있다. 그러나 Cu의 녹는점은 1085 $^{\circ}\text{C}$ 로 높지만 저온에서 쉽게 Si기판과 반응하는 특성을 가지고 있고, 또한 Si과의 접착력이 좋지 않는 것으로 알려져 있다. 이러한 이유로 Cu와 Si과의 반응을 방지하고 접착력을 높이기 위하여 확산방지막의 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 본 연구그룹에서는 Cu의 확산을 방지하기 위하여 W-C-N (tungsten-carbon-nitrogen)의 확산방지막에 대하여 연구하여 왔다. 지금까지 보고된 연구 결과에 의하면 W-C-N 확산방지막은 고온에서도 Cu

와 Si과의 확산을 효과적으로 방지하는 것으로 보고 되었다 [1-4]. 이 연구에서는 W-C-N 확산방지막에 불순물(Nitrogen, Carbon)인자를 첨가하였을 때 특히 질소의 비율에 따라 확산방지막의 특성이 어떻게 변화하는지 보았다. 이에 따라 높은 온도 하에서 시간에 따른 전류값과 전압값의 변화를 측정하여 확산방지막의 저항값의 변화를 측정하여 확산방지막이 적용된 상태에서 Cu의 전자거동 현상(electromigration; EM)을 분석하였다. 또한 Nano-Indent System [5-6]을 사용하여 고온 열처리 과정 후 박막의 표면 강도를 분석하여 W-C-N 확산방지막의 물성 특성을 분석하였다.

## II. 실험

W-C-N 확산방지막을 증착하기에 앞서 Si기판을 HF에 넣어 산화막을 제거하였으며 증착법으로는 RF magnetron

\* [전자우편] cwlee@kookmin.ac.kr

sputtering 시스템을 사용하였다. 타겟은 순도 99.99 %인 W, 99.95 %인 WC를 사용하였으며 타겟의 세기는 일정하게 고정 하였다. 본 실험에 들어가기 전 pre-sputtering을 하여 타겟의 산화막을 제거한 후 상온에서 본 실험에 임하였다. Ar과 N<sub>2</sub>의 양은 mass flow controller를 사용하여 정확하게 조절하였다. 확산방지막이 Cu의 전자거동현상 (electromigration; EM)을 방지하는 것을 확인하기 위하여 증착된 시료를 이용하여 이후 Cu를 열기상증착법을 이용하여 증착한 후 EM 특성을 확인하였다.

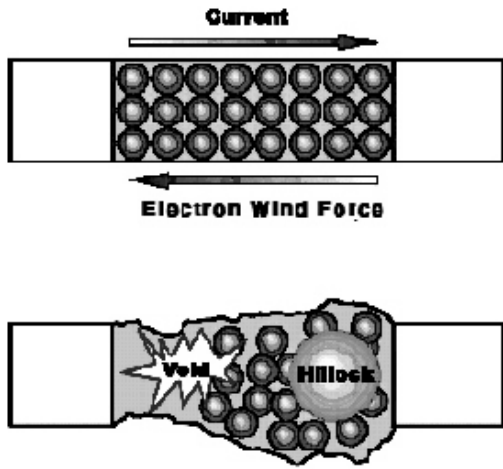


Figure 1. Mechanism of Electromigration (a) before EM test and (b) after EM test.

Fig. 1은 EM에 대한 모식도를 나타낸 그림이다. EM은 electron migration의 약자로 금속에 전류가 흐르게 되면 전자와 원자의 운동량 교환에 의해 전자풍력이라는 힘이 금속 원자에 작용하게 된다. 전자에 의해 금속 원자들이 이동하는 현상을 말하며 특히 반도체에서 중요하게 고려해야 할 현상이다. 전자거동현상이 얇은 금속 박막에서 일어나게 되면 금속 도선의 저항이 크게 증가하거나 끊어질 수 있다.

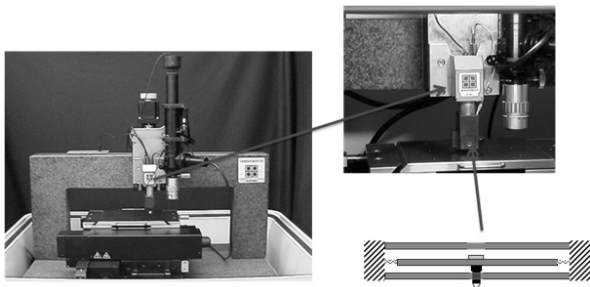


Figure 2. Photo image of nano-indenter system.

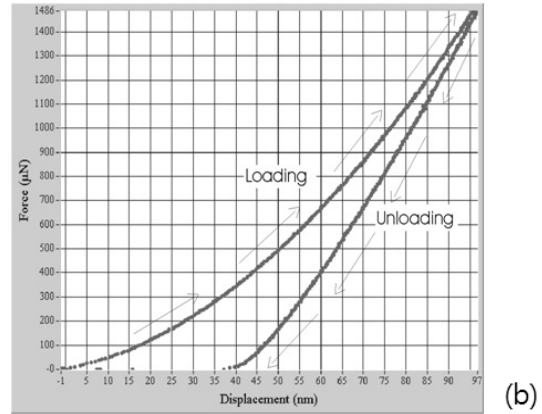
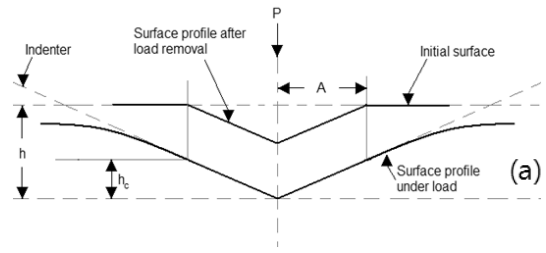


Figure 3. Measurement diagram of surface hardness used by nano-Indenter system.

또한 본 연구에서는 확산방지막의 표면강도(surface hardness) 분석을 위하여 처음으로 Nano-Indenter System을 활용하였다. Fig. 2는 Nano-Indenter 장비의 주요 장치의 사진이다. Fig. 3에 보이는 팁이 박막의 표면에 하중을 인가 혹은 제거하는 과정으로 박막의 표면 강도를 측정한다. Fig. 3(a)는 Nano-Indenter system의 하중을 인가 및 제거 과정에 대한 모식도이며, Fig. 3(b)는 팁의 Z-축에 대한 깊이(nm)와 인가된 힘(µN)에 대한 그림이다. 이때 표면강도 H는 다음과 같이 주어진다.

$$H = \frac{P_{max}}{A(h_c)}$$

여기서 P<sub>max</sub>는 인가된 힘의 최대값을 의미하며, A(h<sub>c</sub>)는 인가된 힘이 제거된 후 박막 표면에 생성된 팁의 압흔의 면적을 의미한다. 본 연구에 사용된 장치는 AFM 기능을 이용하여 박막의 표면영상을 확인할 수 있으며 동시에 in-situ로 팁의 압흔 영상을 확인할 수 있도록 제작되었다. 본 실험에서 표면강도 계산을 위하여 사용된 표면면적 A(h<sub>c</sub>)는 팁의 Z-축에 대한 위치 정보를 이용하여 다음과 같이 계산되어 진다.

$$h_c = h_{max} - 0.75 \cdot \frac{P_{max}}{S}$$

또한 하중을 가하는 동안에 시편이 탄성-소성변형을 하더라도, 초기의 하중제거는 탄성적으로 이루어진다. 그 결과로 시편의 탄성계수는 강성도 하중제거 곡선의 초기 기울기(dP/dh)에 의하여 추정된다. 따라서 박막표면의 탄성계수는 다음과 같이 계산되어진다.

$$\frac{1}{E_r} = \frac{1-\nu_s^2}{E_s} + \frac{1-\nu_i^2}{E_i}$$

이렇게 측정된 결과 값으로 W-C-N 확산방지막의 표면 물성 분석을 실시하였다.

### III. 연구 결과

Fig. 4는 Normaski 현미경을 이용하여 EM 측정 진행 중에 있는 시료를 측정 전(a), 중간(b), 후(c)를 본 이미지이다. 측정 전 시료인 Fig. 4-(a)에서는 Cu 외각 경계부가 선명하게 나타나고 또한 Cu의 이미지 색상이 균일하게 보이는 것을 확인하였다. 측정이 진행 중인 Fig. 4-(b)에서는 일부 배선 물질이 이동하기 시작한 형상을 나타나 Cu의 색상 이미지가 일부 영역에서 이동한 것을 확인할 수 있었다. Fig. 4-(c)는 저항값의 변화량이 거의 없어진 후 시료를 본 것으로 양단에 Cu물질이 모두 이동하고 중간부에는 물질이 없는 것을 확인하였다.

Fig. 5는 시간경과동안 저항의 변화량을 나타낸 그래프이다. 두 데이터 모두 시간이 경과함에 따라서 일정 시간동안 저항의 변화량이 선형적으로 증가하고, 일정 시점 이후 저항의 변화량이 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 저항의 변화량이 증가하는 원인은 Cu 원자들이 이동하기 때문이

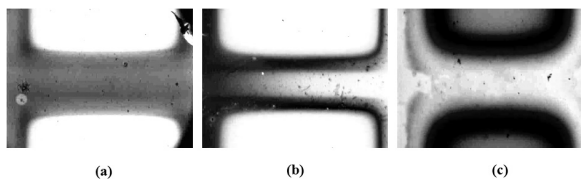


Figure 4. EM process image by optic microscope (a) before EM test (b) during EM test (c) after EM test.

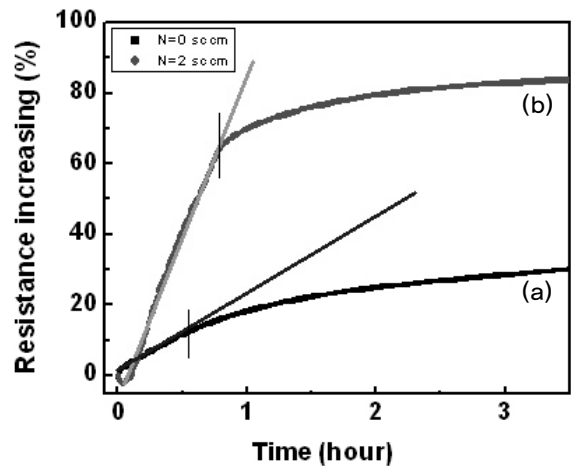


Figure 5. Resistance increasing per time when EM test as a function of N<sub>2</sub> gas flow rate for (a) 0 sccm, and (b) 2 sccm.

고 이후 저항 변화량이 줄어든 원인은 Cu의 이동 가능한 원자들이 모두 이동하고 고착된 원자들만 남아있기 때문이다. Fig. 5의 (a)와 (b)를 비교해 보면 질소가 포함되지 않은 W-C 확산방지막(a)가 더 낮은 저항변화량 기울기를 나타내지만, 기울기가 변화하는 시점은 박막 내 질소가 포함되지 않은 W-C 확산방지막(a)가 더 빠른 시간에 나타난다. 또한 W-C 확산방지막(a)의 비저항은 30 μΩ-cm이고 W-C-N 확산방지막(b)은 130 μΩ-cm으로 나타난다. 이로 인해 특성시간 이전 (b)의 기울기가 더 크다.

Fig. 6과 Fig. 7은 Nano-Indenter system을 이용하여 일정한 질소 유량으로 제작된 시료를 열처리 온도 조건에 따른 표면의 강도(hardness)를 측정하고 측정 후 형성된 indenter 모형을 in-situ로 나타낸 표면 영상이다.

먼저, Fig. 6은 질소 유량이 0 sccm인 시료를 as-deposited state에서 700 °C로 열처리 한 후 측정된 결과를 나타낸 그림이다. 시료 표면의 강도는 9.01 GPa에서

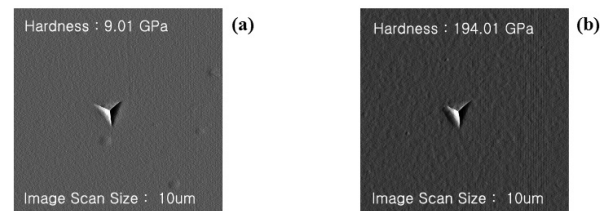


Figure 6. Nano-Indenter surface image of W-C thin films as a function of annealing temperature for (a) as-depo., and (b) 700at a N<sub>2</sub> gas flow rate of 0 sccm.

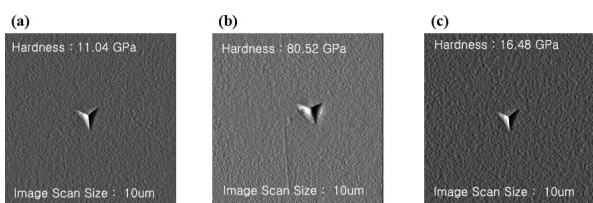


Figure 7. Nano-Indenter surface image of W-C-N thin films as a function of annealing temperature for (a) as-depo., (b) 700 and (c) 900 at a N<sub>2</sub> gas flow rate of 2 sccm.

194.01 GPa로 급격하게 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 특히 이 시료의 경우 700°C 보다 더 높은 열처리 조건에서는 박막 심하게 벗겨지는 형성이 나타나 시료 측정이 불가능한 것으로 보아 표면 강도의 급격한 변화는 확산방지막으로써 역할에 문제를 야기하는 것으로 추정된다. Fig. 7은 질소 유량이 2 sccm인 시료를 900°C 까지 열처리한 시료의 indenter 결과이다. 시료 표면의 강도는 as-deposited state에서 11.04GPa, 700°C에서 80.52 GPa, 900°C에서 16.48 GPa으로 분석되었다.

#### IV. 결론 및 고찰

확산방지막으로 RF magnetron sputtering 방법에 의하여 텅스텐(W)을 기반으로 불순물인 카본(C)과 질소(N)를 첨가한 W-C-N 확산방지막을 질소 함유량을 변화시켜 증착시켰다. 증착 후 상온에서 고온으로 열처리 하여 그 물리적 특성을 Nano-Indenter와 전자거동 분석을 통하여

확산방지막의 물성 특성을 연구하였다. 이 결과 박막내 질소 포함된 W-C-N 확산방지막이 전자거동(EM)에서 저항의 변화가 나타나는 저항변곡점이 더 늦게 나타났으며, 고온 열처리 후 박막의 표면 강도 분석에서도 박막내 질소가 포함된 W-C-N 박막이 더 안정적인 것을 확인하였다.

#### 감사의 글

본 논문은 국민대학교의 재정적인 도움을 받았음을 밝힙니다.

#### 참고문헌

- [1] C. W. Lee, Y. T. Kim, and J. Vac. Soc. Technol. B **24(6)**, 1432 (2006).
- [2] S. I. Kim and C. W. Lee, J. Korean Phys. Soc. **50(2)**, 489 (2007).
- [3] 김수인, 이창우, 한국진공학회지 제16권 5호, **348** (2007).
- [4] 김수인, 이창우, 한국진공학회지 제17권 2호, **109** (2007).
- [5] 김수인, 이창우, 한국진공학회지 제17권 6호, **518** (2008).
- [6] 김수인, 이창우, 한국진공학회지 제17권 6호, **544** (2008).

## Characteristics of Electromigration & Surface Hardness about Tungsten-Carbon-Nitrogen(W-C-N) Related Diffusion Barrier

Soo In Kim<sup>a</sup>, Young Joo Hwang<sup>b</sup>, Dong Shik Ham<sup>b</sup>, Jae Kue Nho<sup>b</sup>, Jae Yun Lee<sup>b</sup>, Jun Park<sup>b</sup>,  
Chan Goen Ahn<sup>b</sup>, Chang Seong Kim<sup>b</sup>, Chan Woo Oh<sup>b</sup>, Kyeng Hwan Yoo<sup>b</sup>, and Chang Woo Lee<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup>*Department of Nano & Electronic Physics, Kookmin University, Seoul 136-702*

<sup>b</sup>*Gyeonggi-buk Science High school, Uijeongbu 480-826*

(Received February 10, 2009, Revised April 15, 2009, Accepted May 18, 2009)

Copper is known as a replacement for aluminum wire which is used for semiconductor. Because specific resistance of Cu ( $1.67 \mu\Omega\text{-cm}$ ) is lower than that of Al ( $2.66 \mu\Omega\text{-cm}$ ), Cu reduce RC delay time. Although melting point of Cu( $1085^\circ\text{C}$ ) is higher than melting point of Al, Cu have characteristic to easily react with Silicon(Si) in low temperature, and it isn't good at adhesive strength with Si. For above these reason, research of diffusion barrier to prevent reaction between Cu and Si and to raise adhesive strength is steadily advanced. Our study group have researched on W-C-N (tungsten-carbon-nitrogen) Diffusion barrier for preventing diffusion of Cu through semiconductor. By recent studies, It's reported that W-C-N diffusion barrier can even prevent Cu and Si diffusing effectively at high temperature. In this treatise, we vaporized different proportion of N into diffusion barrier to research Cu's Electromigration based on the results and studied surface hardness in the heat process using nano scale indentation system. We gain that diffusion barrier containing nitrogen is more stable for Cu's electromigration and has stronger surface hardness in heat treatment process.

Keywords : W-C-N thin film, Diffusion barrier, Electromigration, Nano-indenter system, Surface hardness

\* [E-mail] cwlee@kookmin.ac.kr