

불순물을 주입한 텅스텐(W) 박막의 확산방지 특성과 박막의 물성 특성연구

김수인 · 이창우

국민대학교 나노전자물리학과, 서울 136-702

(2008년 8월 19일 받음, 2008년 11월 9일 수정, 2008년 11월 25일 확정)

반도체 집적도의 비약적인 발전으로 박막은 더욱 다층화 되고 선편은 더욱 미세화가 진행되었다. 이러한 악조건에서 소자의 집적도를 계속 향상시키기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 소자 집적도 향상으로 금속 배선 공정에서는 선편의 미세화와 배선 길이 증가로 인한 RC지연이 발생하게 되었다. 이를 방지하기 위하여 Al보다 비저항이 작은 Cu를 배선물질로 사용하여야 하며, 또한 일부 공정에서는 이미 사용하고 있다. 그러나 Cu를 금속배선으로 사용하기 위해 해결해야 할 가장 큰 문제점은 저온에서 쉽게 Si기판과 반응하는 문제이다. 현재까지 본 실험실에서는 tungsten (W)을 주 물질로 W-C-N (tungsten - carbon - nitrogen) 확산방지막을 증착하여 연구를 하였으며, β -ray, XRD, XPS 분석을 통하여 고온에서도 Cu의 확산을 효과적으로 방지한다는 연구 결과를 얻었다. 이 연구에서는 기존 연구에 추가적으로 W-C-N 확산방지막의 표면을 Nano-Indenter System을 이용하여 확산방지막 표면강도 변화를 분석하여 확산방지막의 물성 특성을 연구하였다. 이러한 연구를 통하여 박막내 불순물인 질소가 포함된 박막이 고온 열처리 과정에서 보다 안정적인 표면강도 변화를 나타내는 연구 결과를 얻었으며, 이로부터 박막의 물성 분석을 실시하였다.

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

I. 서 론

반도체 소자의 지속적인 발전으로 인하여 금속 배선 공정에 필요한 배선선편은 더욱 줄어들고 배선길이는 더욱 증가되고 있다. 또한 금속 배선 선편 감소와 배선 길이증가는 RC지연을 유발하게 된다. 이를 방지하기 위하여 배선 물질에 대한 연구가 진행되었고 Cu가 그 대안으로 인식되었다. 하지만 Cu는 저온에서도 Si기판과 쉽게 반응하기 때문에 접촉면의 저항이 급격히 증가하여 소자로써의 기능이 불가능하게 되는 단점이 있다. 따라서 이러한 Cu와 Si기판 사이의 반응을 효과적으로 방지할 수 있는 확산방지막의 개발이 필수 요건이 되었다. 이 연구에서는 tungsten(W)을 주 구성 물질로 불순물인 탄소(C)와 질소(N)를 첨가한 W-C-N (tungsten - carbon - nitrogen) 박막을 확산방지막으로 제시하였다[1-6].

본 연구에서는 W-C-N 확산방지막의 표면강도에 대한 물성 분석을 위하여 Nano-Indenter System을 이용하여 실험을 실시하였다. 다양한 조건의 박막 표면 강도 분석을

통하여 각 박막의 물성 분석을 실시하였으며, 더욱 안정된 확산방지막에 대한 연구를 실시하였다.

II. 실험

W-C-N 확산방지막을 증착하기에 앞서 Si기판을 HF에 넣어 산화막을 제거하였으며 증착법으로는 RF magnetron sputtering 시스템을 사용하였다. 타겟은 순도 99.99 %인 W, 99.95 %인 WC를 사용하였으며 타겟의 세기는 일정하게 하였다. 본 실험에 들어가기 전 pre-sputtering을 하여 타겟의 산화막을 제거한 후 상온에서 본 실험에 임하였다. Ar과 N₂의 양은 mass flow controller를 사용하여 정확하게 조절하였다. 증착 후 600 °C에서 900 °C까지 N₂ 분위기에서 30분간 열처리를 하였다.

또한 본 연구에서는 확산방지막의 표면강도(surface hardness) 분석을 위하여 처음으로 Nano-Indenter System을 활용하였다. 그림 1은 Nano- Indenter 장비의

* [전자우편] cwlee@kookmin.ac.kr

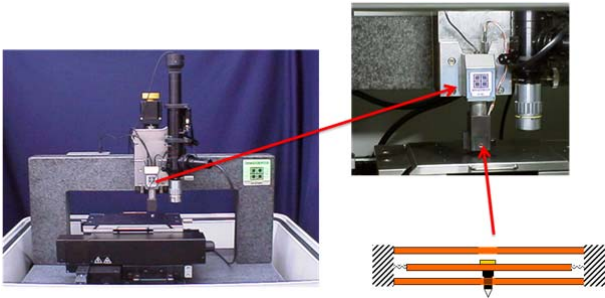


Fig. 1. Photo image of nano-indenter system

주요 장치의 사진이다. 그림 1에 보이는 팁이 박막의 표면에 하중을 인가 혹은 제거하는 과정으로 박막의 표면 강도를 측정한다. 그림 2(a)는 Nano-Indenter system의 하중을 인가 및 제거 과정에 대한 모식도이며, 그림 2(b)는 팁의 Z-축에 대한 깊이(nm)와 인가된 힘(μN)에 대한 그림이다. 이때 표면강도 H 는 다음과 같이 주어진다.

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

여기서 P_{\max} 는 인가된 힘의 최대값을 의미하며, $A(H_c)$ 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 $A(H_c)$ 는 팁의 Z-축에 대한 위치 정보를 이용하여 다음과 같이 계산되어 진다.

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

식에서 S 는 최대하중일 때 하중제거 곡선의 기울기이다. 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.

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

식에서 E_r = 등가 탄성계수, E_s = 시편 탄성계수, E_i = 압입자 탄성계수, ν_s = 시편의 포아송비, ν_i = 압입자의 포아송비이다. 따라서 압입자에 대한 정보를 바탕으로 시

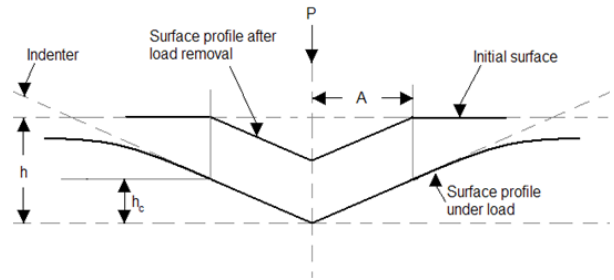


Fig. 2(a)

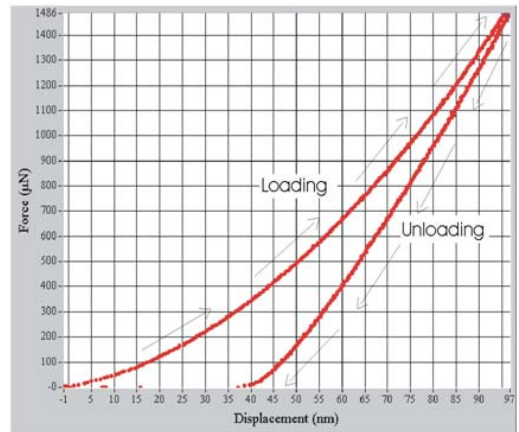


Fig. 2(b)

Fig. 2. Measurement diagram of surface hardness used by nano-indenter system.

료의 탄성계수를 계산합니다.

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

III. 결과 및 고찰

그림 3은 본 실험에서 사용된 Nano-Indenter 팁의 시간에 대한 하중 인가, 유지 및 제거에 대한 그림이다. 이 실험에서는 5초 동안 0 μN 에서 3000 μN 으로 일정한 증가율로 팁의 압입 인가력을 증가시켰으며, 5초간 3000 μN 으로 유지시켰다. 이후 5초 동안 3000 μN 에서 0 μN 으로 팁의 인가력을 제거하였다. 박막의 표면 분석을 위하여 총 3개의 구간을 유지하였으며, 3번째 단계인 인가력 제거 구간에서 박막의 표면강도 계산을 위한 데이터를 획득하였다.

그림 4는 질소 비율을 0 sccm과 2 sccm으로 박막을 증착한 후 각 질소 비율에 대한 열처리과정에 대한 열적인 표면 강도에 대한 물성 특성을 확인하기 위하여 as-deposited



Fig. 3. Diagram of load and unload force by nano-indenter system

상태에서 900 °C까지 열처리하였다 (열처리는 600 °C에서 시작하여 900 °C까지 100 °C 간격으로 3단계로 열처리 하였다). 그림 4(a)에서는 질소비율이 0 sccm인 박막으로 표면강도는 최소 9.37 GPa에서 최대 203.68 GPa으로 나타났다. 특히 열처리 온도가 700 °C인 시료에서 표면강도가 최대값이 203.68 GPa으로 나타났다. 그림 4(b)는 질소비율이 2 sccm인 박막으로 최소 10.29 GPa에서 최대 44.27 GPa으로 측정되었으며, 그림 4(a)에서와 같이 700 °C에서 최대값이 측정되었다. 박막 표면의 강도는 박막내 질소가 2 sccm 포함된 박막이 0 sccm의 박막에 비하여 표면강도



Fig. 4. Hardness change of W-C-N / Si thin films as a function of annealing temperature for various nitrogen concentration of (a) 0 sccm and (b) 2 sccm

Fig. 5. Elastic modulus change of W-C-N / Si thin films as a function of annealing temperature for various nitrogen concentration of (a) 0 sccm and (b) 1 sccm

가 더 균일한 값을 가짐을 확인할 수 있었다. 박막 표면의 강도의 급격한 변화는 표면의 물성변화를 의미한다. 확산 방지막의 경우에는 상온에서 고온으로 박막의 환경이 변화 하여도 본연의 목적인 확산을 방지하기 위하여는 박막의 온도상승에 대하여 가급적 균일한 물성을 요구하게 된다. 따라서 그림 4의 결과로부터 박막내 질소가 포함된 W-C-N 확산방지막이 질소가 불포함된 W-C 박막보다 더 우수한 확산방지막의 역할을 한다고 사료된다.

그림 5는 Nano-Indenter의 하중제거 곡선의 초기 기울기(dP/dh)로부터 계산된 박막의 탄성계수를 나타낸 그림이다. 열처리 온도 증가(as-deposited state에서 900 °C)에 대한 탄성계수의 정량적인 값은 그림 5(a)에서는 82.46, 157.96, 936.73, 111, 164.84 GPa으로 측정되었으며, 그림 5(b)에서는 163.68, 169.56, 108.13, 172.49, 89.47 GPa으로 측정되었다. 각 박막표면의 탄성계수는 그림 3과 비교할 때 유사한 그래프 개형을 나타냄을 확인할 수 있으나, 그림 5(b)의 700 °C 구간에서 다른 형태가 측정되었다. 또한, 그림 4에서 계산된 탄성계수는 박막 표면의 stress와 비례적인 관련을 가지게 된다. 따라서 그림 5(b)의 박막(질소 비율 2 sccm)이 그림 5(a)의 박막(질소 비율 0 sccm)인 박막과 비교할 때 상대적으로 균일한 탄성계수를 가짐을 확인하였고, 이는 향후 박막 표면 stress와 관련하여 생각할 때 보다 균일한 표면 stress를 가지게 됨을 예측할 수 있다.

IV. 결 론

본 연구는 텅스텐(W)을 주 물질로 불순물인 탄소(C)와 질소(N)가 포함된 W-C-N 확산방지막에 대한 연구를 실시하였다. 기존 연구에 의하면 박막내 포함된 불순물이 박막내 주 확산경로인 결정립계의 불순물로 존재하여 박막의 확산을 방지하며, 고온 열처리 과정에는 불순물이 박막 외부로 빠져 나가며 고온에서 확산을 방지한다는 연구 결과가 있었다. 이 연구에서는 추가적으로 Nano-Indenter system을 이용하여 박막 표면강도에 대한 연구를 새로이 실시하였다. 그 결과 질소가 포함된 박막인 W-C-N 박막이 질소가 포함되지 않은 W-C 박막에 비하여 상대적으로 안정적인 표면강도를 가짐을 확인하였다. 또한 박막의 탄성계수의 측정 결과역시 같은 결과를 가짐을 확인하였다. 탄성계수는 박막 표면의 stress와 관련이 있고 따라서 박막내 질소가 포함된 박막이 확산방지막으로 더 우수한 효과를 가지는 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 국민대학교의 재정적인 도움을 받았음을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] C. W. Lee, Y. T. Kim, J. Vac. Soc. Technol. B **24(6)**, pp.1432-1435 (2006).
- [2] S. I. Kim, and C. W. Lee, J. Korean Phys. Soc. **50(2)**, 489 (2007)
- [3] S. I. Kim, and C. W. Lee, J. Electroceramics (in press)
- [4] S. I. Kim, and C. W. Lee, J. Korean Phys. Soc. (in press)
- [5] 김수인, 이창우, 한국진공학회지 제 16권 5호, 348 (2007)
- [6] 김수인, 이창우, 한국진공학회지 제 17권 2호, 109 (2007)

Characteristics and Physical Property of Tungsten(W) Related Diffusion Barrier Added Impurities

Soo In Kim and Chang Woo Lee

Department of Nano & Electronic Physics, Kookmin University, Seoul 136-702

(Received August 19, 2008, Revised November 9, 2008, Accepted November 25, 2008)

The miniaturization of device size and multilevel interlayers have been developed by ULSI circuit devices. These submicron processes cause serious problems in conventional metallization due to the solubility of silicon and metal at the interface, such as an increasing contact resistance in the contact hole and interdiffusion between metal and silicon. Therefore it is necessary to implement a barrier layer between Si and metal. Thus, the size of multilevel interconnection of ULSI devices is critical metallization schemes, and it is necessary reduce the RC time delay for device speed performance. So it is tendency to study the Cu metallization for interconnect of semiconductor processes. However, at the submicron process the interaction between Si and Cu is so strong and detrimental to the electrical performance of Si even at temperatures below 200 °C. Thus, we suggest the tungsten-carbon-nitrogen (W-C-N) thin film for Cu diffusion barrier characterized by nano scale indentation system. Nano-indentation system was proposed as an in-situ and nanometer-order local stress analysis technique.

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

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