

論文99-36D-3-8

# (hfac)Cu(VTMOS)를 이용한 Thermal CVD Cu 박막의 제조 및 그 특성

## (Fabrication and Characteristics of MOCVD Cu Thin Films Using (hfac)Cu(VTMOS))

李鍾弦\*, 崔時永\*

(Jong Hyun Lee and Sie Young Choi)

### 요 약

본 연구에서는 열 안정성이 우수한 (hfac)Cu(VTMOS) 전구체를 사용하여 구리 박막으로의 사용 가능성을 조사하여 보았다. 실험에 사용된 기판은 Si 웨이퍼 위에 스퍼터링으로 형성한 TiN 웨이퍼다. 실험 조건은 기판온도 140 ~ 220 °C, 챔버내 증기압 1.5 torr, 버블러 온도 50 °C, 캐리어 가스의 유량 50 sccm, 열선과 항온조 온도 65 °C이다. 각각의 성장조건에 대해 얻어진 Cu 박막을 성장률, 결정성, 표면 미세구조, 비저항 및 조성분포에 대해 분석하였다. 성장된 Cu 박막의 순도는 매우 높았으며, (111) 피크가 주 피크로 나타났다. 또한 성장온도에 따라서 Cu 박막의 성장률은 두 구간으로 분리되어 200 °C미만의 영역에서는 표면반응 제한구역, 200 °C이상에서는 물질전달 제한구역으로 나타났다. 기판온도가 180 ~ 200 °C의 영역에서는 Cu 박막의 비저항이 2.5  $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 나타났다. 따라서, 다른 전구체를 사용하는 Cu 박막과의 특성 차이는 거의 나타나지 않았다.

### Abstract

In this paper, we had studied the possibility of application as Cu thin films from (hfac)Cu(VTMOS) which is very stable. Cu thin films had been studied as a function of deposition temperature. Substrates used in the experiment were PVD TiN on Si wafer. Deposition conditions were as follow : deposition temperature 140 ~ 220 °C carrier gas flow 50 sccm, working pressure 1.5 torr and bubbler temperature 50 °C. Cu thin films were analyzed by AES, four point probe, XRD and SEM. All of deposited films were very pure and some favoring of <111> planes perpendicular to the substrate surface were observed. Cu thin films had two distinct growth rates at various deposition temperature. One is the surface reaction limited region below 200 °C, and the other is the mass transport limited region above 200 °C. The resistivity of deposited Cu thin films under the optimum deposition condition is 2.5  $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ . Thus, properties of deposited Cu thin films using (hfac)Cu(VTMOS) didn't show difference with Cu thin films from other precursors.

### I. 서 론

소자의 크기의 감소와 소자의 구조가 복잡해짐에 따

라 배선기술은 다층 금속배선화로 발전되었고, 이에 따라 절연체와 배선금속의 적층현상은 소자의 속도, 성능, 수율과 신뢰성에 중요한 역할을 하게 되었다<sup>1,2</sup>. 소자의 크기가 축소됨에 따라 소자의 선풍은 더욱 감소되고, 더 밀집해졌다. 그래서, 종래의 Al 금속배선과 SiO<sub>2</sub>의 절연체를 가지는 구조의 커패시턴스에 의한 RC 지연시간을 더 이상 무시할 수 없게 되었다.

\* 正會員, 慶北大學校 電子·電氣工學部  
(School of Electronic & Electrical Engineering,  
Kyungpook National University)

接受日字:1999年1月18日, 수정완료일:1999年2月26日

선폭 0.25  $\mu\text{m}$  이하영역에서는 배선물질의 저항을 낮추는 것이 필수적이다. 따라서 낮은 전기 저항과 높은 electro-, stress migration resistance를<sup>[3,4]</sup> 가지는 Cu 박막은 미래의 고속 ULSI의 배선물질로 그 중요성이 더욱 증가되고 있으며, 현재까지 많은 연구가 진행되고 있다. 한편, Cu 박막의 형성에 있어서는 다양한 형성방법이 제기되었는데, 이중에서도 metal organic chemical vapor deposition(MOCVD)공정에 대해 많은 관심이 집중되고 있다. Cu MOCVD법은 1964년 Siever 등<sup>[3]</sup>에 의해 처음 시도된 방법으로, 일반적인 CVD 공정 조건에서와 초고진공 조건에서 많이 연구되어 왔다. 이 방법은 불순물이 비교적 적고 낮은 저항과 좋은 단차 피복비를 가져서 소자의 신뢰성이 높은 특성이 있으나, 기판과 소스에서 해결해야 할 많은 문제가 제기되고 있다. 먼저 기판에서의 문제점으로는 Cu 박막을 형성할 때 Cu가 상온에서 확산상수( $\sim 10^8 \text{cm}^2/\text{s}$ )가 높아서 Si쪽으로 확산하거나,  $\text{SiO}_2$ 와 같은 절연체로 표동이 일어나서 소자의 성능을 감소시키며<sup>[5,6]</sup>, 다른 물질과의 접합이 좋지 않아 선택적으로 성장하여 기공의 발생을 유발시키는 등의 문제가 남아 있다. 그리고, 소스 자체의 문제로는 Cu 전구체(precursor)가 공기나 수분에 노출되었을 때, 열 안정성이 낮아서 매우 민감하게 반응하여 그 결과로 전구체의 물성이 변화되며, 상온에서 쉽게 분해되기도 한다. 그래서 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 확산 방지막으로 특성이 좋은 물질과 안정된 Cu 전구체의 개발이 필수적이다. Cu MOCVD에 사용되는 전구체는 Cu 화합물들중  $\beta$ -diketonate 계열 전구체가 최근 많이 연구되고 있다<sup>[7-11]</sup>. 본 연구에 사용한 Cu 전구체는 (hfac)Cu(VTMOs)이다. Hfac는 hexafluoroacetylacetonato라는 리간드이며, VTMOs는 vinyltrimethoxysilane으로써 지금까지 보고된 다른 Cu 화합물과는 달리 열적으로 매우 안정하고, 높은 순도를 지니며, 장기간 보관할 수 있어서, Cu 전구체로의 특성이 좋은 것으로 보고되었다<sup>[12]</sup>.

따라서, 본 연구에서는 최근에 개발되어 열적으로 매우 안정된 특성을 나타내고 있는 것으로 보고된 (hfac)Cu(VTMOs)를 이용하여 PVD TiN위에 thermal CVD법으로 Cu 박막을 형성하였으며, 성장된 Cu 박막의 특성을 원소 조성비, 배향성, 표면 미세구조와 성장률에 관하여 분석하여 ULSI 배선기술에 관해 그 적용성을 알아보았다.

## II. 실험 및 측정

Cu 박막을 형성하는데 사용된 MOCVD 장비의 개략도를 그림 1에 나타내었다. MOCVD 장비는 진공 시스템, 소스를 공급하는 버블러, 막형성을 위한 챔버, 그리고 히팅 등을 위한 전원 공급장치로 구성되어 있다. 버블러에서 챔버까지의 가스관과 챔버의 외벽을 열선으로 감싸 온도를 65  $^{\circ}\text{C}$ 로 유지하였고, 샤워 헤드 부분도 항온조로 65  $^{\circ}\text{C}$ 를 유지하여 Cu 전구체가 가스관이나 샤워 헤드부분에 응고되는 것을 막았다. 정확한 기판온도를 측정하기 위해서 T-C 웨이퍼(thermocouple wafer)를 두고, 캐리어 가스를 흘려 챔버 압력에서 실제온도를 측정하여 실제온도를 기준으로 Cu 박막을 형성하였다. 기판은 가장 많이 사용되는 P형 (100) Si위에 스퍼터링으로 형성시킨 PVD TiN이다. 사용된 기판은 2 $\times$ 2 cm 정도로 잘라서 아세톤, 메탄올에 담그고 D. I water rinsing을 행하였다. 그 후에 기판을 챔버 안에 진공상태로 만든 후, Cu 박막을 성장하였다.

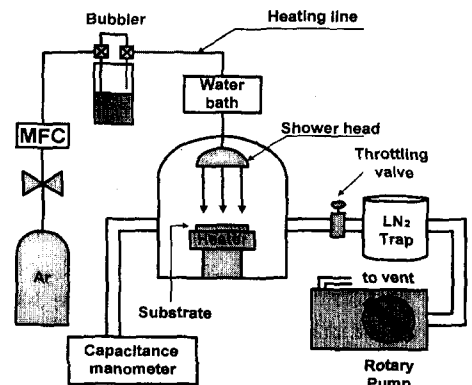


그림 1. Cu MOCVD의 개략도

Fig. 1. The schematic diagram of Cu MOCVD system.

이때 챔버 배기 쪽에 액화 질소(LN<sub>2</sub>)를 넣은 트랩을 사용해서 수분이나 불순물에 의한 오염을 막으며, 동시에 소스가 분해되지 않고 액체상태로 나갈 때에 LN<sub>2</sub> 트랩에서 소스를 응고시켜서, 펌프를 보호하였다. 본 연구에서의 Cu 박막 성장조건은 성장온도 140 ~ 220  $^{\circ}\text{C}$ , 버블러 온도 50  $^{\circ}\text{C}$ , 캐리어 가스의 유량 50 sccm, 열선과 항온조 온도 65  $^{\circ}\text{C}$ , 그리고 챔버 압력 1.5 torr이다. Cu 박막을 성장시켜 특성을 평가 및 분석하기 위해서 각 조건에서 성장된 Cu 박막을 결정

성, 표면 미세구조, 성장률, 비저항 및 조성분포에 대해서 XRD (Philips-X' PERT), SEM (HIDACHI : S-4100), four point probe, 그리고 AES (Perkin-Elmer PHI 650)로 분석하였다. XRD 결정분석에서 결정이 형성되면 결정 격자에 의해 Bragg의 법칙( $\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta$ )이 만족되는 각도에서 피크가 나타나게 된다. Cu bulk의 경우는 fcc(face centered cubic) 구조로 격자 상수가 3.615 Å이며, (111) 방향으로 우선 방향을 갖는다. XRD 분석은 파장이 1.5405 Å의 Cu  $K_{\alpha 1}$ 을 이용하여 측정하였고, XRD의 측정범위는  $30^\circ \sim 80^\circ$  사이의  $2\theta$  값을 측정하였다. 이것을 JCPDS(joint committee on powder diffraction standards)와 비교하여 각각의 피크에 대해 결정성을 알아냈다.

Cu 박막의 저항 측정에서는 Cu 박막 두께 측정오차, 측정 시편 크기에 대한 오차, 일렉트로미터 (electrometer : Keithley 617)의 오차가 각기 존재함으로 본 논문에서는 이를 일반적인 측정 방법으로 four point probe을 이용하여 일렉트로미터로 면저항을 측정한 다음, 측정된 박막의 두께를 곱하여 (1) 식과 같이 구하였다.

$$R_s = K_p \frac{V}{I} \quad (1)$$

(1) 식에서의  $K_p$ 는 단자의 배치에 따른 변수이며, 이의 값은 약 4.532이다. 한편 Cu 박막의 표면 분석 및 깊이 방향의 분석은 AES를 통하여 조사하였다.

### III. 결과 및 고찰

본 연구에 사용된 전구체는 UP Chemical 사에서 구입한 (hfac)Cu(VTMOS)이며, 이의 분자식은  $(C_5HO_2F_6)Cu(C_5H_9O_3Si)$ 이다. 표 1에서 (hfac)Cu(VTMOS)와 (hfac)Cu(VTMS)를 비교하여 특성을 나타내었고 그림 2에서는 (hfac)Cu(VTMOS)와 (hfac)Cu(VTMS)의 화학적 구조를 나타내었다. (hfac)Cu(VTMOS) 전구체의 성장 메커니즘은 아래의 식들과 같다. 먼저, 중성 리간드인 (VTMOS)가 식 (3)과 같이 쉽게 탈착되며, 이는 리간드가 약하게 결합되어 있어서 낮은 온도(200 °C 이하)에서도 쉽게 열 분해되어 Cu(I)(hfac)와 VTMOS 상태로 떨어지고, 두 개의 Cu(I)(hfac)가 결합되어 disproportionation reac-

tion에 의해 불순물이 거의 존재하지 않는 순수한 Cu 박막을 얻을 수 있다.

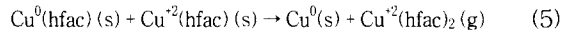
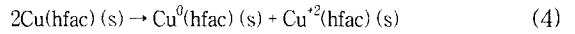
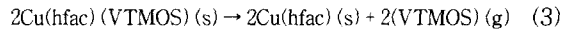
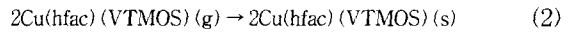


표 1.  $Cu^{-1}$  전구체들의 성질.  
Table 1. Properties of  $Cu^{-1}$  precursors.

	(hfac)Cu(VTMOS)	(hfac)Cu(VTMS)
formula	$C_{10}H_{13}O_5CuF_6Si$	$C_{10}H_{13}CuF_6O_2Si$
State(20°C)	Chartreuse liquid	Chartreuse liquid
Density(20°C)	1.48g/cc	1.37g/cc
Thermal Stability	stable under 60°C	?
Long term stability	very stable at room temp, over years	slowly decompose
Sensitivity to air	sensitive, turn to blue upon exposure to air	sensitive
Storage	at room temp	in refrigerator

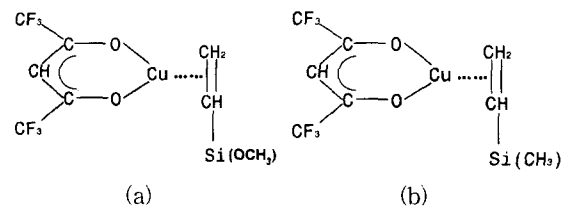


그림 2.  $Cu^{-1}$  전구체들의 화학적 구조

(a) (hfac)Cu(VTMOS), (b) (hfac)Cu(VTMS)

Fig. 2. Chemical structures of  $Cu^{-1}$  precursors.

(a) (hfac)Cu(VTMOS), (b) (hfac)Cu(VTMS).

Cu 박막 성장률은 SEM으로 Cu 박막의 두께를 측정하여 구하였다. Cu 박막의 두께는 약 1500~2200 Å이며, 이것은 성장시간과 성장온도에 비례하였다. 그림 3은 성장온도에 따른 결과를 나타내었는데, 200 °C를 중심으로 두 개의 직선 구간으로 분리되는 것을 볼 수 있다. 성장온도가 200 °C보다 낮은 저온영역에서는 표면반응 비율이 성장온도 증가에 비례하는 표면반응 제한구역(surface reaction limited region)이 되어 이의 활성화 에너지는 약 0.516 eV이다. 200 °C보다 높은 고온영역에서는 성장속도가 기판의 온도에 거의

영향을 받지 않는 물질전달 제한구역(mass transport limited region)이 되었고, 이때의 활성화 에너지는 약 0.0958 eV이었다. 표면반응 제한구역에서는 성장 온도가 가장 중요한 요소가 되므로, 이 구간에서 평탄한 박막을 형성하려면 기판의 온도를 균일하게 유지하도록 해야하며, 캐리어 가스의 유량은 성장률에 큰 영향을 주지 못한다.

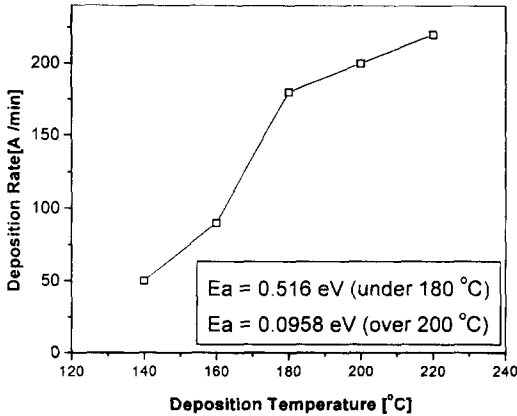


그림 3. 성장온도에 따른 Cu 박막의 성장률  
Fig. 3. Deposition rate of Cu films at various temperatures.

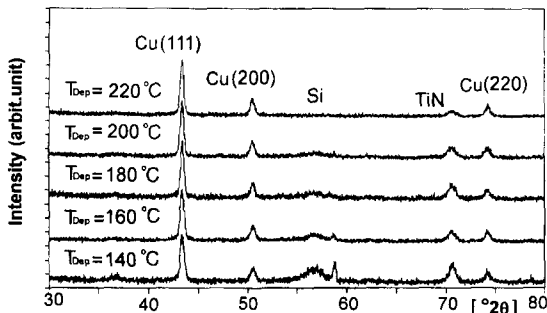


그림 4. 성장온도에 따른 Cu 박막의 XRD 패턴  
Fig. 4. XRD patterns of copper films at various deposition temperatures.

물질전달 제한구역에서는 성장온도의 변화에 거의 영향을 받지 않고, 캐리어 가스 유량에 직접적으로 영향을 받기 때문에 챔버 안에서 가스의 변화가 없도록 유지해야만 균일한 박막을 얻을 수 있었다. 본 실험에서는 두 영역에서 모두 평탄한 박막을 얻기 위해서 항상 같은 위치에 시편을 놓았고, 샤워 헤드와 시편 사이의 거리는 3 cm가 되게 설치하였다. 형성된 Cu 박막의 결정성을 조사하기 위해서 XRD 측정을 행하였

다. 그림 4는 Cu/TiN/Si 구조를 갖는 시편에 대하여 성장온도별로 분석한 XRD 결과이다. 그림 4는 성장된 Cu 박막이 모두 결정 구조를 가지며, 전체적으로 140 ~ 220 °C까지의 시편에 대해서 주 피크인 (111) 방향이 우선 방향으로 지배적이며, 43° 근처에서 기판에 수직으로 이 피크가 나타난다는 것을 보여준다.

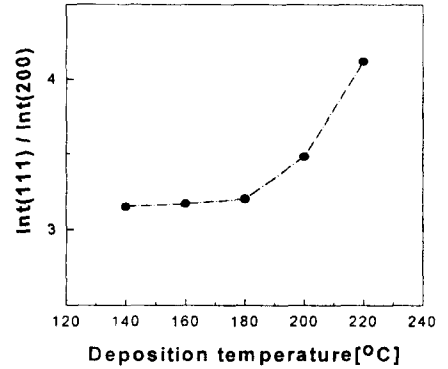


그림 5. 성장온도에 따른 Cu 박막의 Int(111) / Int(200) 비교  
Fig. 5. Comparison of intensity(111) / intensity(200) at various deposition temperatures.

그림 5에서는 성장온도에 따른 Cu 박막의 주 피크와 부 피크 비의 세기를 나타내었다. 성장온도가 높아질수록 (111) 피크가 더 지배적으로 나타났으며, 주 피크인 (111) 피크의 크기를 100 %으로 보았을 때의 (200) 피크의 값을 구하여 이를 Int(111) / Int(200)으로 나타내었다. 저온영역에서 Int(111) / Int(200)의 크기는 약간 상승하였으나, 거의 일정하게 보였다. 그러나, 200 °C 이상의 온도에서 (111) 피크의 크기가 급격히 증가되어 Int(111) / Int(200)의 크기가 상승하였다. 따라서 200 °C 이상의 고온영역에서는 (111) 피크가 저온영역보다 더 지배적으로 나타나는 좋은 결정 배향성을 나타내었다. 이는 주 피크가 지배적으로 되면서 단결정화가 되기 때문에 결국 electromigration의 저항에 큰 영향을 미칠 것이다<sup>[13]</sup>. 따라서, 200 °C 이상의 고온영역에서의 EM 저항성이 저온영역보다 높다고 생각되어진다.

CVD 공정에서 중요한 요소들은 선택성, 성장률, 부착력, 순도 및 전기적 전도성 등이 있다. 이들 대부분은 표면 미세구조와 직접적인 관계가 있고, 표면 미세구조를 관찰함으로써 결정립의 크기나 형태, 기공(void) 등을 알 수 있다. Cu 결정립의 크기는 성장온

도에 영향을 받아서 성장온도가 증가함에 따라서 Cu 결정립의 크기가 증가되었다. 이것은 Cu의 결정립들이 온도의 증가로 인해서 서로서로 응집되어 성장되기 때문이다. 먼저 저온영역 특히 140 °C(그림 6. a.), 160 °C 경우의 결정립은 수백 Å 정도의 작은 크기를 가지고 있다. 180 °C(그림 6. b.)의 시편은 기공이 없으며 결정립의 크기가 1500 ~ 2000 Å 정도를 나타냈다. 200 °C(그림 6. c.)나 220 °C(그림 6. d.) 정도의 고온에서 SEM 사진으로 볼 때 서너 개의 Cu 결정립들이 뭉치어 하나의 큰 cluster를 가지고 있는데, 결정립들이 큰 cluster를 형성함으로써 이들은 결정립 경계부분에 기공을 유발시키고, 결정립의 수를 감소시켰다. 기공의 발생은 200 °C를 경계로 하여 고온으로 갈수록 증가되어졌다. 성장온도에 따른 결정립 크기의 증가는 그림 7에서 나타내고 있다.

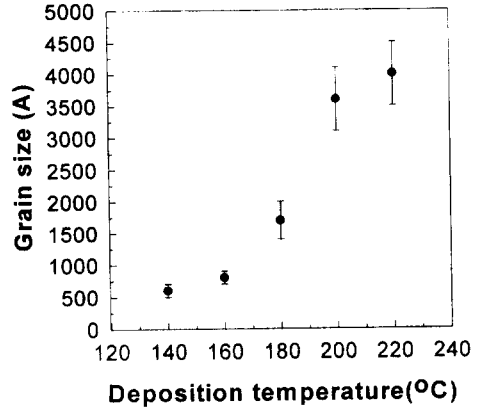


그림 7. 성장온도에 따른 Cu 박막의 결정립 크기  
Fig. 7. Grain size of copper films at various deposition temperatures.

Cu 박막의 비저항을 four point probe로 면저항을 구한 뒤, 시편의 두께를 SEM으로 측정하였고 이를 그림 8에 나타내었다. 180 °C ~ 200 °C에서 가장 낮은 비저항( 2.5 μΩ · cm )을 얻을 수 있었다.

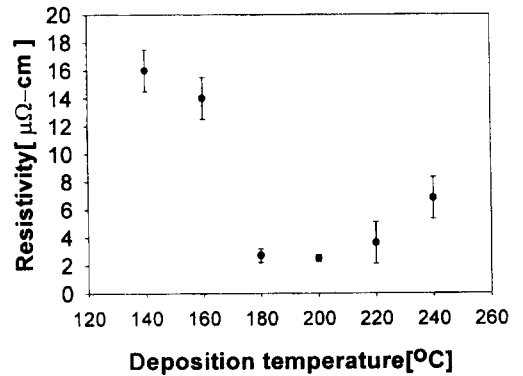


그림 8. 성장온도에 따른 Cu 박막의 비저항  
Fig. 8. Resistivity of Cu thin films at various deposition temperatures.

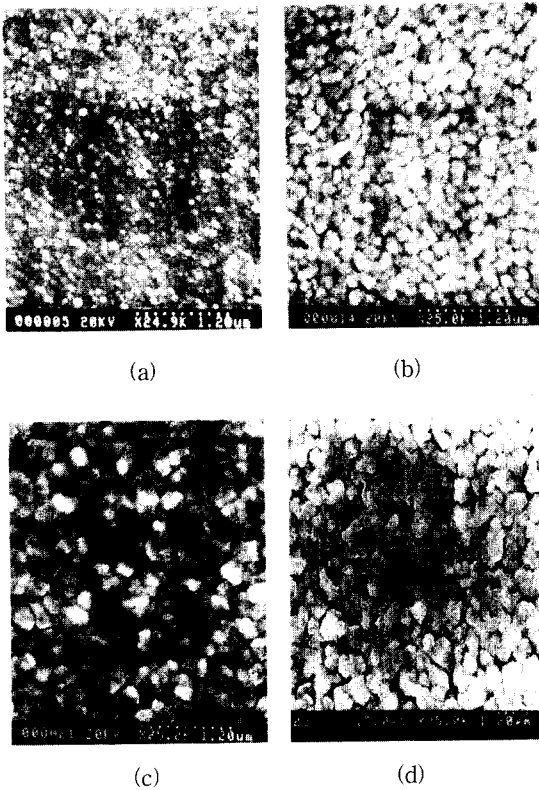


그림 6. 성장된 Cu 박막의 표면사진:  
(a) 140 °C, (b) 180 °C, (c) 200 °C, (d) 220 °C

Fig. 6. SEM photographs of Cu films deposited by (hfac)Cu(VTMO) at various temperatures:  
(a) 140 °C, (b) 180 °C, (c) 200 °C, (d) 220 °C.

한편, 180 °C 이하의 저온영역으로 갈수록 비저항은 증가하였는데, 기판의 낮은 온도에서 Cu 원자의 이동도가 낮아 작은 결정립(그림 6. a)을 생성함으로써 인하여, 전자의 결정립 경계에서의 산란이 증가되어 높은 비저항을 갖게 된다. 또한 200 °C 이상의 고온영역에서의 비저항의 상승은 결정립들이 고온에서는 확산되어 하나의 큰 결정립(그림 6. d)을 형성하는 과정에서 발생하는 기공에 의한 영향으로 발생된다.

성장된 박막의 순도는 IC 제조를 위한 CVD Cu에

서 매우 중요한 요소이다. 본 연구에서는 Cu 박막의 원소 조성을 분석하기 위해서 AES를 행하였다. AES 분석에서는 증착변수에 따른 Cu 박막의 성분변화는 거의 나타나지 않았다. 그림 9는 시편 표면분석에서 Cu 박막을 Ar으로 스퍼터링한 후 분석을 행하였다. 표면에서 적은 양의 탄소가 나타났는데, 이는 Cu 전구체 속에 포함된 C의 성분으로 거의 모든 박막에 일정하게 나타났다. 따라서, 일반적으로 사용되어지고 있는 (hfac)Cu(VTMS)로 성장된 Cu 박막 특성을 비교해 볼 때 박막의 순도, 저항, 결정립의 크기 등에서 거의 일치한 특성을 나타내고 있어서 열 안정성이 우수한 (hfac)Cu(VTMS) 전구체의 사용이 가능할 것으로 나타났다.

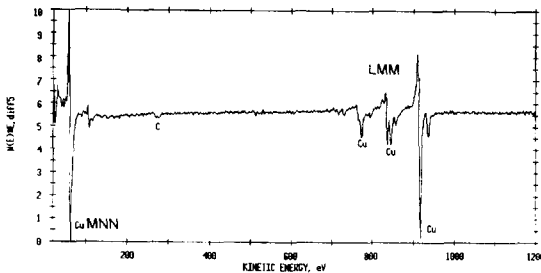


그림 9. 220 °C에서 TiN 기판위에 성장한 Cu 박막의 AES 표면분석

Fig. 9. AES surface analysis of deposited Cu thin films on TiN substrates at 220 °C.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 (hfac)Cu(VTMS)를 사용하여 스퍼터링으로 형성시킨 PVD TiN 웨이퍼 위에 MOCVD법으로 Cu 박막을 성장시키고 그 특성을 조사하였다. 시편은 동일 조건하에서 성장온도만 변화시켰다. 성장온도에 따라서 Cu 박막의 성장률이 증가하였으며, 200 °C를 기준으로 하여 200 °C보다 낮은 온도에서는 성장온도에 비례하는 표면반응 제한지역, 200 °C보다 높은 온도에서는 캐리어 가스의 전달량에 비례하는 물질전달 제한지역으로 나뉘어졌다. XRD 분석에서는 거의 모든 성장온도에서 주 피크인 Cu (111) 피크가 다른 피크에 비해 지배적으로 나타나는 좋은 결정 배향성을 보여주었고, 또한 고온으로 갈수록 Int(111) / Int(200)의 값이 증가하였다. SEM 분석에서는 결정립의 크기가 성장온도에 비례하여 점점 증가하였으며, 표면반응 제한구역에서는 비교적 크기가

일정한 작은 결정립을 가지면서 기공이 거의 존재하지 않았다. 그리고, 200 °C 이상의 고온영역에서는 주변의 결정립들이 모여 하나의 큰 결정립을 형성하여 결정립의 크기가 커지면서 전체적인 결정립의 크기도 균일하지 않고 기공이 점점 증가하였다. 비저항에서는 180 ~ 200 °C에서 비교적 낮은 비저항 특성( $2.5 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ )을 보였고, 이보다 낮은 온도에서는 결정립의 크기가 작아져 전자의 결정립 경계에서의 산란에 의해서 비저항이 증가되고, 200 °C 이상의 고온영역에서는 결정립 크기의 증가로 인하여 기공이 발생되어 역시 비저항이 증가하는 경향을 보였다. AES 분석에서 Cu 박막은 거의 순수한 Cu만의 조성으로 나타났다. 따라서, 일반적으로 많이 사용되고 있는 (hfac)Cu(VTMS) 전구체와 비교하여 볼 때 (hfac)Cu(VTMS) 전구체와 박막 특성차이가 거의 없다는 것을 알 수 있었다.

결론적으로 180 ~ 200 °C에서 낮은 비저항과 배선 내에서 요구되는 큰 결정립 크기를 만족함으로 Cu 배선공정에 (hfac)Cu(VTMS) 전구체의 사용이 가능하리라 생각된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] J. Onuki, Y. Koubuchi, and E. Minowa, "High-reliability interconnections for ULSI using Al-Si-Pd-Nb/Mo Layered Films," *IEEE Trans. Electron Device* v. 39, pp. 1332, 1992.
- [2] Jain Li, Tom E. Seidel, and Jim W. Mayer, "Copper-based metallization in ULSI structures," *MRS BULLETIN*, vol. 19, no. 8, pp. 15-18, 1994.
- [3] H. Okabayashi, "Stress-induced void formation in metallization for integrated circuits," *Mater. Sci. & Eng.*, col. R11, pp. 191-241, 1993.
- [4] J. R. Lloyd, and J. J. Clement, "Electromigration in copper conductors," *Thin Solid Films*, vol. 262, pp. 135-141, 1995.
- [5] Pascal Doppelt and Thomas H. Baum, "Chemical vapor deposition of copper for IC metallization," *MRS BULLETIN*, vol. 19, no. 8, pp. 41-48, 1994.

- [6] Shi-Qung Wang, "Barriers against copper diffusion into silicon and drift though silicon dioxide," *MRS BULLETIN*, vol. 19, no. 8, pp. 30-40, 1994.
- [7] C. Ahrens, *et al.*, "Electrical characterization of conductive and nonconductive barrier layers for Cu-metallization," *App. Sur. Sci.*, vol. 91, pp. 285-290, 1995.
- [8] Jonathan K. Schoer, Claudia B. Ross, and Richard M. Crooks, "Scanning probe lithography. 2. selective chemical vapor deposition of copper into scanning tunneling microscope-defined patterns," *Langmuir*, vol. 10, pp. 615-618, 1994.
- [9] A. Jain, A. V. Gelatos, T. T. Kodas, M. J. Hampden-Smith, R. Marsh, and C. J. Mogab, "Selective chemical vapor deposition of copper using (hfac)copper (I) vinyltrimethylsilane in the absence and presence of water," *Thin Solid Films*, vol. 262, pp. 52-59, 1995.
- [10] M. B. Naik, W. N. Gill, R. H. Wentorf, and R. R. Reeves, "CVD of copper using copper(I) and copper(II)  $\beta$ -diketonates," *Thin Solid Films*, vol. 262, pp. 60-66, 1995.
- [11] D. Temple, and A. Reisman, "Chemical vapor deposition of copper from copper (II) hexafluoroacetylacetonate," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 136, no. 11, pp. 3525-3528, 1989.
- [12] H.-K. Shin, "Synthesis of new compounds and use as precursors for MOCVD of Cu, Al and TiN," '95 MOCVD Workshop for Silicon Processing, Kyung ju, Korea, 1995.
- [13] Jong-Hyun Lee, Sie-Young Choi, *et al.*, "The effect of H<sub>2</sub> addition on the enhanced deposition rate and high quality Cu films by MOCVD," *J. Kor. Phy. Soc.*, vol. 33, pp. s112-s116, 1998.

---

 저 자 소 개
 

---



李鍾弦(正會員)

1972년 5월 10일생. 1995년 경남대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년 ~ 현재 경북대학교 대학원 전자 전기공학부 박사과정 재학중. 주관심분야는 미세패턴

배선기술, 일렉트로마이그레이션

崔時永(正會員) 第 33卷 A編 第 12號 參照