

전자빔 증착법으로 제작한 Cu 박막의 부착력과 저항율 특성

백상봉, 신중홍

동의대학교 전기공학과

The Resistivity Properties and Adhesive Strength of Cu Thin Films Fabricated by EBE Method

Sang-Bong Paik, Joong-Hong Shin

Dept. of Electrical Eng, Dong-Eui Uni.

Abstract

Cu thin films of 6000Å thickness were deposited by Electron Beam Evaporation(EBE) method on the glass. The resistivity properties and adhesion of Cu thin films were investigated by various annealing and substrate temperature. Cu thin films were annealed in the air and vacuum condition for 10 min after the deposition. The resistivity and adhesion(the force required to separate films from substrates) was measured by 4-point probe and scratch testing. The resistivity of non-annealing Cu thin films was distinguished more substrate temperature 100°C than substrate temperature R.T, 200°C. In the case of air condition annealing, as heating temperature was increased, the resistivity was decreased. In the case of vacuum condition annealing, the resistivity was increased at heating temperature 200°C. The best resistivity(1.72 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$) of Cu thin films was obtained by the air condition heating temperature 200°C at the substrate heating temperature 100°C. As a result of scratch testing, adhesion was increased by annealing. And maximum adhesion had 600 gf.

Key Words : Cu thin film(구리박막), EBE(전자빔 증착), Resistivity(비저항), Adhesion(부착력), Annealing (열처리)

1. 서론

박막 소자의 배선 재료로 사용되는 알루미늄과 알루미늄 합금 등은 높은 비저항(2.66 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$)과 낮은 용점(667°C)으로 인한 문제점으로 소자의 신뢰도에 많은 문제를 야기시키고 있다.^[1,2] 일반적으로 박막소자 응용을 위한 배선용 금속 재료로는 구리, 금, 은, 텅스텐 등이 있으며 이 중에서 구리는 낮은 비저항(1.67 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$)과 높은 용점(1083°C) 및 우수한 전자이주(EM) 신뢰성, 저렴한 가격 등의 장점을 가지고 있어서 알루미늄을 대체할 차세대 배선 물질로 부각되고 있다.^[3-6] 구리를 박막 소

자용 배선 재료로 사용하기 위해서는 낮은 비저항 특성과 함께 기판과 부착력이 높아야 한다.

본 연구에서는 전자빔 증착법으로 제작한 Cu 박막의 부착력과 저항율 특성을 조사하였다.

2. 실험

2.1 실험장치와 제작

구리 박막은 전자빔 증착기(KVE-660)로써 슬라이드 글라스 위에 증착하였고 기판의 가열은 할로젠 램프를 사용하였다. 구리는 일본 순정화학사 순도 99.99%를 사용하였다. 슬라이드 글라스는 아세톤, 에틸 알코올, 증류수 순으로 초음파 세척기에

서 각각 30분간 세척하고 드라이 오븐에서 건조하였다. 증착시 원하는 크기(2×10mm)의 구리 박막을 얻기 위해 기판 아래에 순동으로 제작한 마스크를 사용하였다. 증착시 챔버내의 진공도는 2×10^{-6} torr였으며 구리 박막의 두께는 6000 Å으로 동일하게 하였다. 증착 초기 10분간은 셔터를 닫아 구리 시료 표면에 존재하는 불순물 입자들의 증착을 방지하였다. 진공중 열처리하는 챔버내 5×10^{-5} torr의 진공하에서 할로젠 램프(250W×5EA)로 하였고 대기중에서는 드라이 오븐으로 각각 10분간하였다. 그림 1에 본 실험에서 사용한 증착기 진공조의 내부 계통도를 나타내었다.

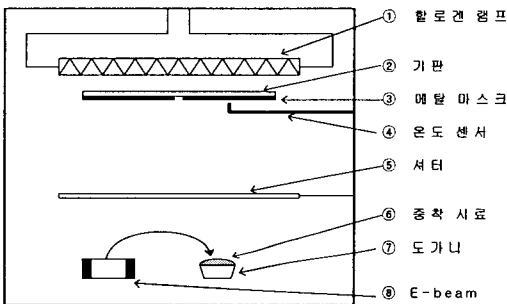


그림 1. 증착기 진공조 개략도.
Fig. 1. Schematic of EBE Chamber.

2.2 측정

박막의 두께(t)는 α -step(Dektak3, veeco사)으로 측정하였다. 비저항(ρ)값은 4-point probe(CMT-2000, changmin tech사)를 사용하여 면저항(R_s)을 측정 후 식 $\rho = R_s \times t$ 로 계산하였고 면저항값은 각각 5회씩 서로 다른 곳을 측정하여 최고치와 최저치 값을 제외한 나머지 값의 평균을 취하였다. 부착력 측정에는 스크래치 테스트를 사용하여 2 rpm의 속도로 초기 100 g에서부터 50 g씩 변화시키며 광학 현미경(Axiolab 2690/polar, zeiss사)으로 50~500배의 배율로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 저항률 특성

그림 2는 기판 가열 온도에 따른 구리 박막의 저항률을 나타내고 있다. 각각 실온(49.82 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$), 100°C (6.61 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$), 200°C (34.35 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$)에서 서로 다른 저항률을 나타내고 있다.

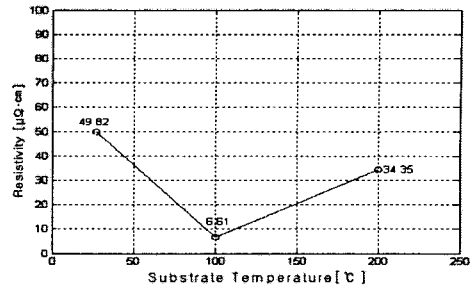
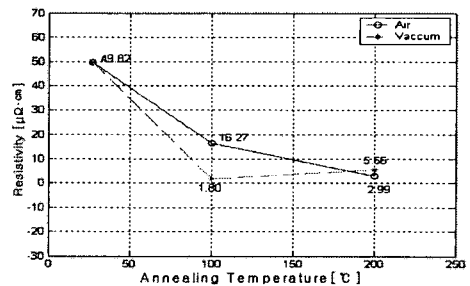


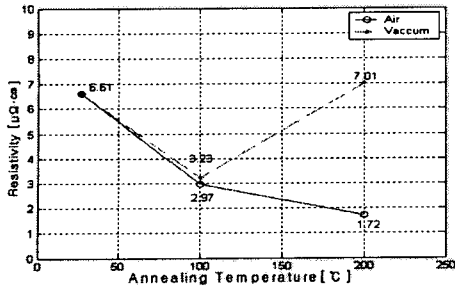
그림 2. 기판 가열 온도에 따른 구리 박막의 저항률.
Fig. 2. Resistivity of Cu thin film with substrate heating temperature.

실온에서 증착한 구리 박막의 비저항값이 높게 측정된 것은 구리가 벌크 비저항에 근접한 박막 저항 특성을 가지고 있고 구리의 전자가 가지는 평균 자유 행로가 대략 400 Å 정도로 본 실험에 사용된 박막의 두께(6000 Å)보다 적으므로 박막과 벌크의 비저항이 비슷할 것으로 예상되나 이보다 높은 값을 가진 것은 진공조 내의 기체 입자들이 증착되는 구리 전자와의 충돌로 에너지를 받아서 구리박막에 침투함으로 인한 영향이라고 보고된 바 있다.^[7] 실온에서의 비저항에 비해 100°C에서의 비저항이 낮음을 보여주는데 이는 구리 입자들의 확산으로 결정입자가 성장하고 이로 인한 재배열로 박막내의 기포(공공) 등의 결함들이^[8] 안정되기 때문이며 그 이상의 온도(200°C)에서는 열전자 방출에 기인한 불순물 입자들의 침투로 오히려 비저항값의 증가가 발생했다고 생각된다.

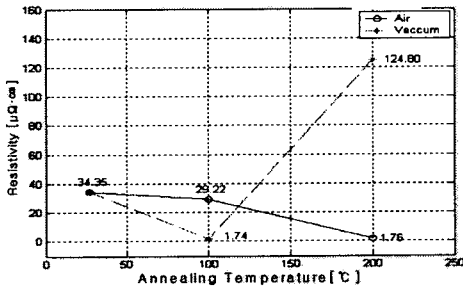
그림 3은 증착 중의 기판 가열 온도의 변화와 그에 따른 진공과 대기중의 열처리로 인한 저항률을 나타낸 것이다.



(a) R.T



(b) 100°C



(c) 200°C

그림 3. 동일 기판 가열 온도하의 열처리 온도에 따른 구리 박막의 저항율.

- (a) R.T에서 증착한 구리 박막의 열처리.
- (b) 100°C에서 증착한 구리 박막의 열처리.
- (c) 200°C에서 증착한 구리 박막의 열처리.

Fig. 3. Resistivity of Cu thin film with annealing temperature under the same substrate heating temperature.

- (a) Annealing of Cu thin film was deposited at RT.
- (b) Annealing of Cu thin film was deposited at 100°C.
- (c) Annealing of Cu thin film was deposited at 200°C.

각각의 그림 3(a-c)에서 보여지듯이 대기중에서 열처리한 구리 박막의 경우에서 온도가 증가할수록 낮은 저항율이 구해졌고 기판 가열 온도 100°C에서 증착하고 대기중에서 200°C로 열처리한 구리 박막의 경우에서 구리 벌크 비저항 값($1.67 \mu\Omega \cdot \text{cm}$)과 거의 일치한 값($1.72 \mu\Omega \cdot \text{cm}$)을 얻을 수 있었다. 이는 열처리에 의한 구리 원자들의 재배열에 의해 박막내의 결함들이 안정되었다고 보여지고 실험온도 R.T, 100°C, 200°C에서의 열처리이므로 이는 Thronton의 후막 구조도에서^[9,10] 보여지는 영역1~영역2까지의 변화로 보여진다. 진공중에서 열

처리한 구리 박막의 경우는 100°C에서의 가열에서 낮은 비저항값($1.80 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, $3.23 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, $1.74 \mu\Omega \cdot \text{cm}$)이 구해지나 200°C에서의 열처리에서 오히려 비저항값($5.66 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, $7.01 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, $124.80 \mu\Omega \cdot \text{cm}$)이 증가되고 있다. 이것은 열처리로 인한 구리 원자들의 재배열과 결함 제거 효과보다 기판 가열로 인해 증착된 박막의 재방출과 불순물 입자의 침투로 인한 결함 증가가 더 큰 영향을 미친다고 생각된다.

3.2 부착력 특성

제조된 구리 박막은 낮은 전기 비저항 특성뿐만 아니라 높은 부착력을 가져야 한다. 구리는 유리와의 부착력이 뛰어나지 않으므로^[11] 열처리를 함으로써 나타나는 부착력의 증감을 조사하였다.

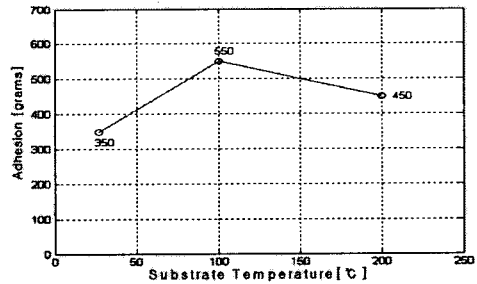
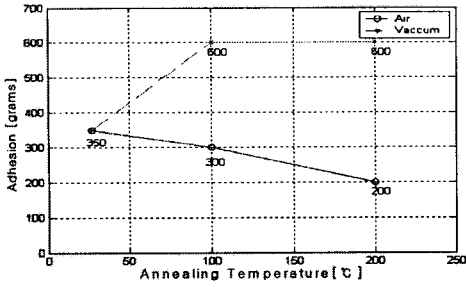


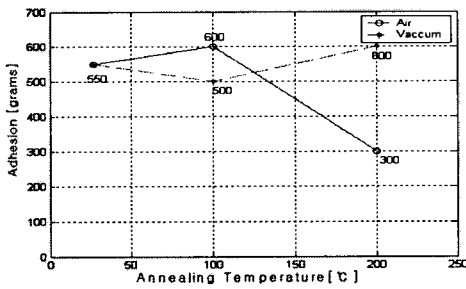
그림 4. 기판 가열 온도에 따른 부착력.

Fig. 4. Adhesion of Cu thin film with substrate heating temperature.

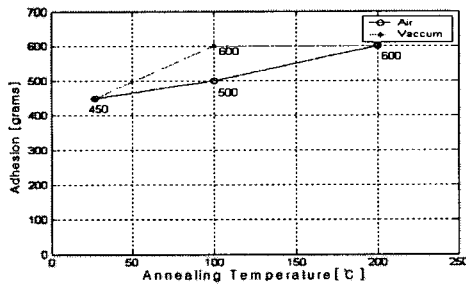
그림 4는 기판 가열 온도에 따른 구리 박막과 유리 사이의 부착력을 나타낸 것이다. 기판을 가열하지 않은 상태에서 증착된 구리 박막은 낮은 부착력을 가지고 있으며 기판 가열 온도 100°C에서 550 gf의 부착력이 측정되었다. 이는 기판이 가열됨으로써 기판 표면의 화학적 작용^[12]에 의하여 구리 입자들의 침투 깊이가 크다고 생각된다. 200°C에서의 부착력은 100°C에서의 부착력에 비해 낮게 조사되었는데 증착중에 기판 가열 온도의 유지로 인해 발생하는 열전자들에 의해 증착되는 구리 입자의 진행 과정에서의 충돌이 많아져서 구리입자가 진공조 내의 이들 열전자와 충돌하여 산란될 확률이 커지므로 전자빔으로부터 받은 에너지를 잃고 기판 내로 입사함으로써 침투깊이가 상대적으로 작아짐에 의해 기인한다고 생각된다.



(a) R.T



(b) 100°C



(c) 200°C

그림 5. 동일한 기판 온도 하에서 열처리 온도에 따른 부착력.

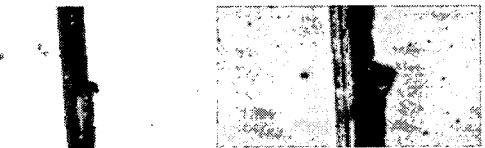
- (a) R.T에서 증착한 구리 박막의 열처리.
- (b) 100°C에서 증착한 구리 박막의 열처리.
- (c) 200°C에서 증착한 구리 박막의 열처리.

Fig. 5. Adhesion of Cu thin film with annealing temperature under the same substrate heating temperature.

- (a) Annealing of Cu thin film was deposited at RT.
- (b) Annealing of Cu thin film was deposited at 100°C.
- (c) Annealing of Cu thin film was deposited at 200°C.

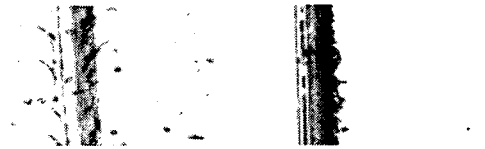
그림 5에서 보여지는 바와 같이 열처리 온도의 증가에 의해 부착력은 최대 600 gf까지 구해졌다. 저항율과는 반대로 대기중의 열처리에 비해서 진공중의 열처리에서 뛰어난 부착력을 가짐을 보여 주는데 이는 진공중의 열처리 시에 기판의 가열 효과로 박막과 기판 사이의 확산으로 인해^[12] 결합력이 강해짐으로 인해 일어난다고 생각된다.

그림 6은 그림 5에 보여지는 최대치의 하중으로 스크래치 한 각각의 구리 박막을 광학현미경 사진이다. 그림 6(a)에서 진공중의 열처리한 것은 600 gf에서도 기판과의 부착력이 보여지나 대기중의 열처리한 구리 박막은 각각 300 gf, 200 gf에서도 그림과 같이 스크래치 되었다. 그림 6(b)에서는 대기중 100°C, 진공중 200°C, 그림 6(c)에서는 대기중 100°C로 열처리한 구리 박막 외에 600 gf의 부착력을 보였다. 그림 6(a)의 대기중 200°C와 그림 6(b)의 대기중 200°C는 각각 200 gf, 300 gf으로 열처리하지 않은 구리 박막에 비해 낮은 부착력을 보였고 하중을 받은 박막 주위의 입자들이 깨어지고 떨어져 나가는 것이 관찰되었다. 이것은 구리 박막과 유리 기판의 부착력이 나쁘고 구리 입자들 간의 결합력 때문에 일어나는 현상이라 생각된다.



100°C, air

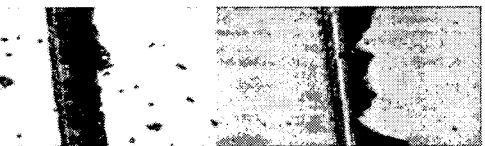
200°C, air



100°C, vacuum

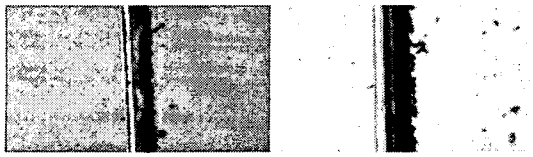
200°C, vacuum

(a) 실온에서 증착한 구리 박막



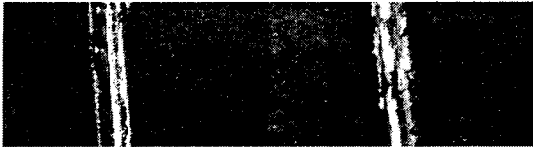
100°C, air

200°C, air

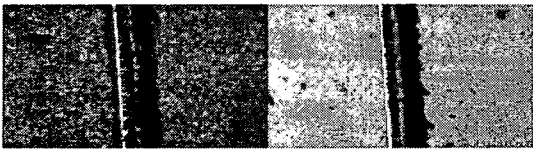


100°C, vaccum 200°C, vaccum

(b) 100°C에서 증착한 구리 박막



100°C, air 200°C, air



100°C, vaccum 200°C, vaccum

(c) 200°C에서 증착한 구리 박막

그림 6. 동일한 기판 온도 하에서 열처리 온도에 따른 부착력 테스트 구리 박막의 사진.

Fig. 6. The surface image after adhesion test of Cu thin film with annealing temperature under the same substrate heating temperature.

4. 결론

본 연구에서는 전자빔 증착법으로 유리 기판 위에 6000Å 두께의 구리 박막을 증착하였다. 이때 기판 온도의 변화와 열처리에 따른 저항율의 변화를 측정하였고 또한 구리 박막과 유리 기판사이의 부착력을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 저항율은 기판 가열 온도 100°C에 증착한 구리 박막을 대기중 200°C로 가열한 시편에서 $1.72 \mu \Omega \cdot \text{cm}$ 로 가장 낮은 값을 가졌다.
2. 진공중의 열처리에 있어서 200°C에서는 저항율이 오히려 증가했다.
3. 부착력은 열처리에 의해서 최대 600 gf까지 증가되었다.
4. 전자빔 증착법으로 제작한 구리 박막의 경우에 낮은 저항율을 얻을 수 있었으며 부착력은 열처리

를 통해서 증가시킬 수 있었다.

참고 문헌

- [1] H. B. Bakoglu, IEEE Trans. Electron devices, ED-32, 5. p.903. 1985.
- [2] J. E. Sanchez, JOM, SEP., p.41. 1990.
- [3] E. J. Rymaszewski, J. Electron. Mater., Vol.18, p.217, 1990.
- [4] G. Larrabee and P. Chatterjee, Semicon. Inter., Vol. 14, 14 p.84, 1991.
- [5] Tosi Shacham-Diamond et al. "Electroless copper deposition for ULSI," Thin Solid Films 262, p.92, 1995.
- [6] P. J. Ding et al., "Effects of the addition of small amount of Al to copper: Corrosion, resistivity, adhesion, morphology, and diffusion," J. Apply. Phys., Vol. 75, No.7, p.3627, 1994.
- [7] 송재성, 오영우. "RF 마그네트론 스퍼터링법에 의해 증착된 구리막의 특성" 전기전자재료학회지. Vol. 9, No. 7. p.727, 1996.
- [8] S. O. Kasap, "Principles of Electrical Engineering Materials and Devices" Chap 1, IRWIN, 1997.
- [9] J. A. Thornton, J. Vac. Sci. Technol. A4, (1896) 3059.
- [10] J. A. Thornton, J. Vac. Sci. Technol. A11, (1974) 666.
- [11] H. K. Pulker, "Coatings on glass", Elsevier Science Ltd, 1984.
- [12] 小林, "스파ッタ 薄膜" Chap. 5, 日刊工業新聞社, 1993.