

## 구리의 선택적 전착에서 결정 입자의 크기가 전기적 접촉성에 미치는 영향

황규호, 이경일, 주승기, 강탁  
서울대학교 공과대학 금속공학과  
신소재 공동 연구소, 서울, 151-742

### Effect of the particle size on the electrical contact in selective electro-deposition of copper

Kyu Ho Hwang, Kyung Il Lee, Seung Ki Joo, Tak Kang  
Department of Metallurgical Engineering, Seoul National University,  
Seoul, 151-742, Korea

#### 요 약

초 고집적 회로의 시대로 접어들면서 지금까지의 금속선 형성 기술 및 배선 재료에 많은 문제점들이 나타나고 있다. 알루미늄의 대체 재료로서 검토되고 있는 구리를, 전기 화학적 방법에 의해 미세 접촉창에 선택적으로 충전함으로써 새로운 금속선 형성 기술을 제시하고자 하였다.

0.75M의 황산구리 수용액을 전해액으로 사용하여 p형 (100) 규소 박판위에 구리 전착막을 형성한 후 Alpha Step, 주사 전자 현미경, 4-탐침법을 사용하여 막의 두께, 입자 크기, 비저항을 측정함으로써 전착 시간, 전류 밀도, 첨가물로 사용한 젤라틴 농도가 전착막의 성질에 미치는 영향에 대해 조사하였다.

평균 전착 속도는 전류 밀도가  $2A/dm^2$ 일때  $0.5-0.6\mu m/min$  였고 구리 입자의 크기는 전류밀도 증가에 따라 증가하였다. 입자 크기  $4000\text{\AA}$  이상에서 얻어진 비저항값은  $3-6\mu\Omega \cdot cm$ 였다. 젤라틴을 첨가하여 입자의 크기를  $0.1\mu m$ 이하로 감소시킴으로써 크기  $1\mu m$ 이하의 접촉창에 구리를 선택적으로 충전시키는데 성공하였다.

#### ABSTRACT

With the advent of ULSI, many problems in previous metallization techniques and interconnection materials have become more serious. In this work, selective deposition of copper to fill the submicron contact has been tried.

After forming electro-deposited copper films on p-type (100) silicon wafer using 0.75M  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  as an electrolyte, the effect of deposition time, current density and concentration of an additive on film properties were investigated. Film thickness, particle size and resistivity were analyzed by Alpha Step, SEM and 4-point probe measurement respectively.

The deposition rate was about  $0.5\text{--}0.6\mu\text{m}/\text{min}$  at  $2\text{A}/\text{dm}^2$  and the particle size increased with increasing current density. The resistivities of electro-deposited copper films were about  $3\text{--}6\mu\Omega \cdot \text{cm}$  for the particle size above  $4000\text{\AA}$ . By the addition of  $0.2\text{ g}/\ell$  gelatin, the particle size was reduced to less than  $0.1\mu\text{m}$  and selective plugging of copper on submicron contacts could be successfully achieved.

## 1. 서 론

반도체 소자 제조를 위한 공정들은 소자의 집적도 향상에 따라 각기 새로운 재료와 공정 기술의 개발을 필요로 하고 있다. 특히, 소자간의 전기적 연결을 위한 금속선 형성 공정에 있어서 접촉창 및 금속선의 선평이  $1\mu\text{m}$ 이하로 작아짐에 따라 기존의 배선 재료와 공정 기술을 적용하는데 많은 문제점이 나타나고 있다.

배선재료가 갖추어야 할 조건은 전도성, 오믹접촉 형성 가능성, 기판과의 접착성, 공정의 용이성, 신뢰성 등 여러가지가 있다[1]. 그러나 소자 크기의 감소로 인한 배선 전류밀도의 증가로 생기는 소자 구동 전압의 손실을 줄이고 배선과 기판과의 정전 용량으로 인한 신호 전달 지연의 크기를 나타내는 RC시정수를 개선하기 위해선 배선 재료의 비저항을 줄이는 것이 가장 중요하다[2]. 현재의 대단위집적회로(VLSI)의 시대까지는 비교적 이 조건들을 많이 만족시키는 알루미늄과 그 합금 재료를 사용하여 왔다. 그러나 초 고집적 회로(ULSI)의 시대로 접어들면서 신뢰성 문제의 중요성이 커짐에 따라 알루미늄 사용의 한계가 드러나기 시작했고 대체 배선 재료에 대한 탐색과 연구가 활발히 진행되고 있다. 구리는 알루미늄보다 30% 가량 낮은 비저항( $1.7\mu\Omega\text{cm}$ )을 가지며 소자의 신뢰성에 치명적인 영향을 미치는 전기적 원자이동이나 실리콘 기판과의 고용에 의한 접촉부 침투 등의 단점이 없어 차세대 금속선 형성 재료로 크게 주목받고 있다[3].

집적도 향상으로 인한 접촉창의 크기 감소와 비등방성 식각으로 인한 표면 요철의 심화로 금속선 형성 공정에 있어 등각 계단 도포(conformal step coverage)와 선택적 금속막 형성이 필수적인 과제가 되었다. 따라서 기존의 진공 열증착법이나 스퍼터링과 같은 물리적 방법으로는 더 이상 신뢰성 있는 금속선을 형성할 수 없게 되었고 새로운 금속선 형성 기술 개발이 필요하게 되었다. 최근에 등각 계단 도포성이 우수하고 증착 조건의 조절에 의해 선택적 증착이 가능한 금속의 화학 증기 증착법에 관한 연구가 가장 활발히 진행되고 있다[4-19]. 특히  $\text{Cu}(\text{hfa})_2$ 를 이용한 구리 화학 증착법은 등각 계단 도포는 가능하지만 안정된 선택적 증착조건의 확립에 문제가 있고 공정이 복잡하다는 단점을 지니고 있다[20].

본 연구에서는 전기 도금에 의해 구리박막을 형성하면 전기 화학 반응에 의해 선택적 전착이 가능할 뿐 아니라 낮은 공정 온도, 짧은 공정 시간, 간단한 설비 등의 장점이 있다는 점에 착안하여 미세 패턴을 가진 규소 박판위에 구리를 선택적으로 전착시킨 다음 박막의 비저항을 측정하여 실제 고집적 소자 제조에의 적용 가능성을 제시하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 시편제작

실험에 사용한 시편은 p형 (100)실리콘 웨이퍼이고 패턴을 만들어 주기위해 두께  $1.0\text{--}$

1.2 $\mu\text{m}$ 의 실리콘 산화막을 형성시킨 다음 사진 식각 공정을 거쳤다. 시편 전체에 균일한 전기장이 형성되도록 규소 박판 뒷면에 두께 0.5 $\mu\text{m}$ 의 알루미늄을 진공 열증착시켰다.

## 2.2. 실험장치 및 실험조건

구리 전기 도금을 위해 사용한 실험 장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 전해액은 황산 구리 수용액( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )이고 첨가제는 젤라틴을 사용하였다. 음극 전류 밀도를 일정하게 하고 두 전극 사이의 전위차를 측정하였다. 전착 전 시편을 10:1 HF에 10초간의 산세와

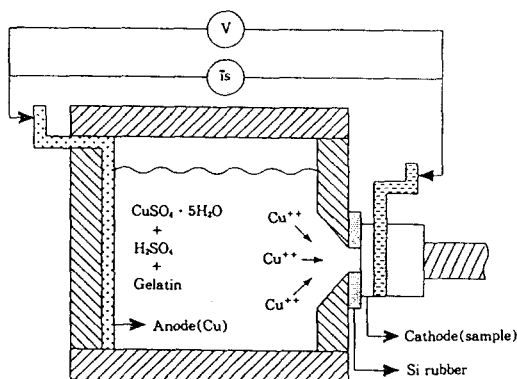


Fig. 1. Schematic diagram for copper electroplating system.

Table 1. Operating condition of Cu electro-deposition.

전해액	No additive	0.75 M $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} +$ 74 g/l $\text{H}_2\text{SO}_4$
	0.1 g/l gelatin	
	0.2 g/l gelatin	
전류밀도	1-8 A/dm <sup>2</sup>	
전극간격	5cm	
음극면적	0.5cm <sup>2</sup>	
전해액온도	상온	
전착시간	30-300초	

이온 교환수 세척을 거쳐  $\text{N}_2$ 에 의해 건조한 직 후 Table 1과 같은 조건에서 실험을 행하였다.

## 2.3. 관찰 및 측정

전착된 구리 박막의 두께는 Alpha Step으로 측정하였고 4-탐침법을 사용하여 면저항을 구하였다. 광학 현미경을 통하여 전착 상태를 확인하였고 주사 전자 현미경(SEM) 조직 사진을 통하여 전착된 구리 입자의 평균 크기를 구하였다. 구리가 충전된 접촉창의 단면 역시 주사 전자 현미경을 사용하여 관찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 전착 시간 변화에 따른 효과

Fig. 2는 전류 밀도를 2 A/dm<sup>2</sup>로 고정시키고 전착 시간을 30초에서 300초까지 변화시켰을 때 얻어진 구리 박막의 두께를 나타낸다. 패러데이 법칙에 따라 전착되는 구리의 양은 전하량(전류 × 시간)에 비례하므로 첨가제의 농도에 관계없이 전착 속도는 동일하였다. 근사한 직

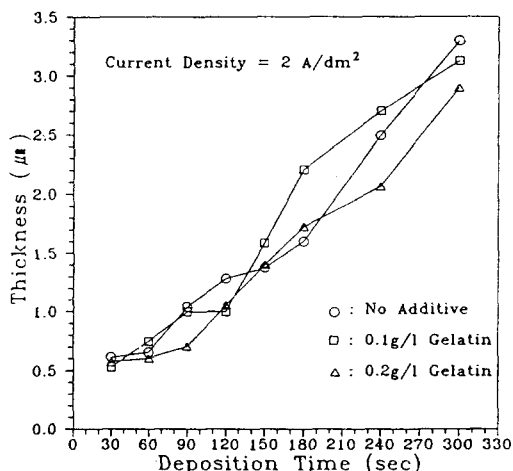


Fig. 2. Variation of thickness of electro-deposited copper films with deposition time for 0, 0.1 and 0.2 g/l gelatin.

선의 기울기로 부터  $0.5-0.6\mu\text{m}/\text{min}$ 의 전착속도를 얻었다. 전류 밀도를  $2\text{A}/\text{dm}^2$ 로 고정시키고 전착 시간을 30초에서 300초까지 변화시켰을 때 구리 입자의 크기 변화는 Fig. 3과 같았다. 첨가제를 사용하지 않은 경우에 대하여  $0.1\text{g}/\ell$ 의 젤라틴 첨가로 15-20%,  $0.2\text{g}/\ell$

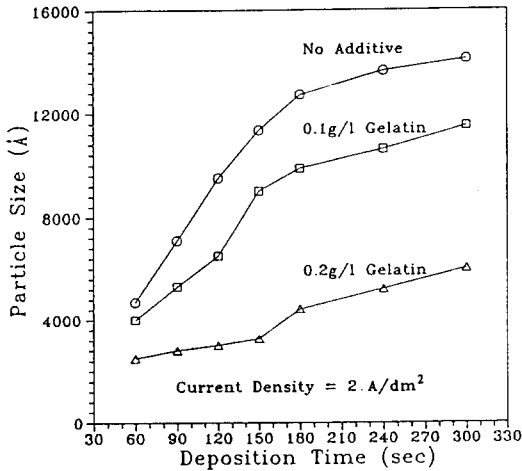


Fig. 3. Variation of particle size of electro-deposited copper with deposition time for 0, 0.1 and 0.2 g/l gelatin.

의 경우 50-60%의 입자 크기 감소 효과를 얻었다. 첨가제를 사용하지 않는 경우 전기력선의 밀도가 높은 결정핵의 선단부가 우선적으로 성장하여 조대한 결정립이 만들어지나 젤라틴을 첨가하면 젤라틴이 결정핵의 선단부에 흡착되어 기존 결정의 성장을 억제하고 새로운 핵생성을 조장하므로 평활하고 치밀한 전착막이 얻어지는 것으로 알려져 있다[21-23]. Fig. 4는 Fig. 2, 3과 같은 실험 조건에서 면저항을 나타낸 것이다. 전착시간이 증가할수록 면저항이 감소하는 것은 Fig. 2의 결과에서 박막 두께의 증가에 따른 것이고 같은 전착 시간(전류 밀도는  $2\text{A}/\text{dm}^2$ 로 일정하므로 같은 박막 두께)에 젤라틴 농도에 따라 면저항이 차이가 나는 것은 Fig. 3의 결과로 설명할 수 있다. 즉 젤라

틴 첨가로 인한 결정립의 미세화로 비저항이 감소하기 때문이다. 젤라틴을 첨가하지 않은 경우의 면저항과의 차이가  $0.1\text{g}/\ell$ 의 경우보다  $0.2\text{g}/\ell$ 의 경우가 더 크음을 알 수 있다. Fig. 2의 박막 두께에 Fig. 4의 면저항을 곱하

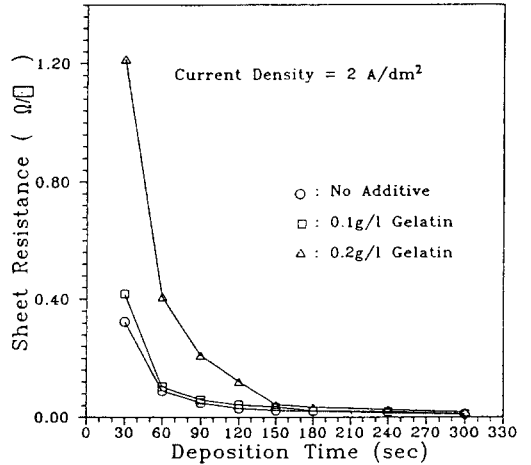


Fig. 4. Deposition time dependence of sheet resistance of electro-deposited copper films for 0, 0.1 and 0.2 g/l gelatin.

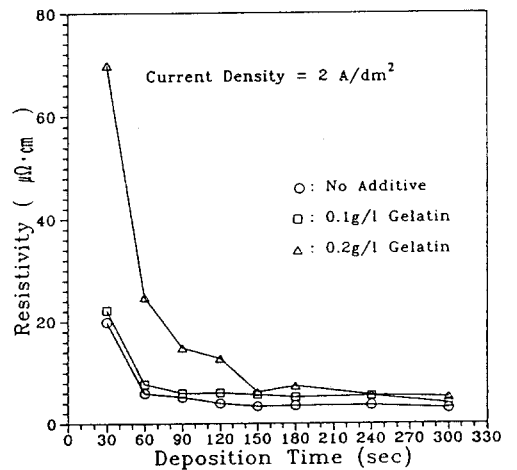


Fig. 5. Deposition time dependence of resistivity of electro-deposited copper films for 0, 0.1 and 0.2 g/l gelatin.

고 여기에 보정 상수를 곱하여 얻은 비저항값을 Fig. 5에 나타내었고 입자 크기 변화에 따른 비저항 값의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 5와 Fig. 6에서 보듯이 시간이 지날수록 입자 크기 증가에 따른 비저항 감소율이 현저히 감소하여 전착 시간 3분 이상(입자 크기 4500 Å 이상)에서는 젤라틴 농도에 따른 비저항값의 차이가  $1-2 \mu\Omega \cdot \text{cm}$  이하로 감소하였다.  $2 \text{ A/dm}^2$ , 5분에서는 비저항이 구리의 고유 비저항값( $1.7 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ )의 2-3배인 구리 전착막을 얻을 수 있었다.

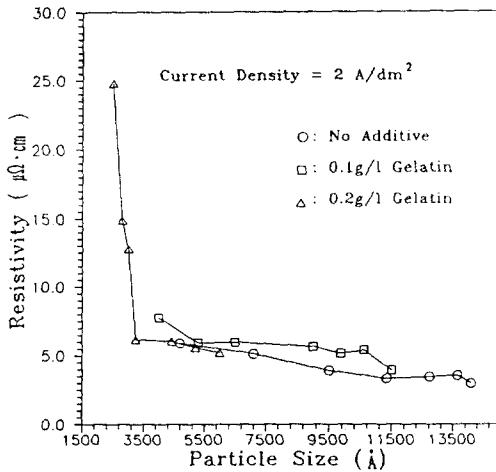


Fig. 6. Variation of resistivity of electro-deposited copper films with particle size for 0, 0.1 and 0.2 g/l gelatin at  $2 \text{ A/dm}^2$

### 3.2. 전류 밀도 변화에 따른 효과

Fig. 7은 전류 밀도와 두 전극 사이의 전위차와의 관계를 나타낸다. 첨가제의 농도에 관계없이 전류와 전압 사이에 비례 관계가 성립하였다. 따라서 젤라틴이 전해액의 전도도에는 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. Fig. 8은 전착 시간을 60초로 고정시키고 전류 밀도를  $1-8 \text{ A/dm}^2$ 로 변화시켰을 때 얻어진 구리 박막의 두께를 나타낸다. 첨가제의 농도에 관계없

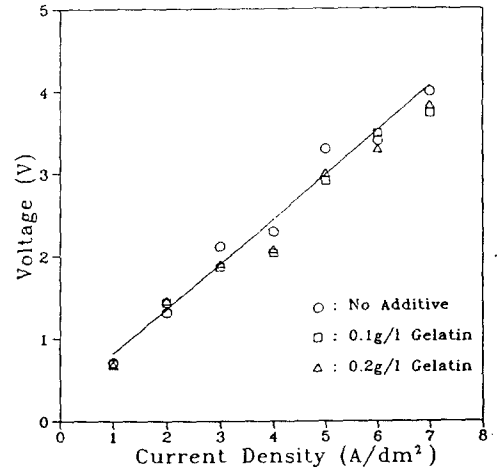


Fig. 7. Current density versus voltage profile.

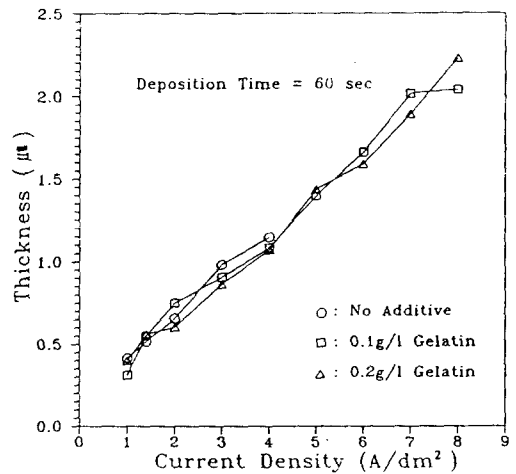


Fig. 8. Variation of thickness of electro-deposited copper films with current for 0, 0.1 and 0.2 g/l gelatin.

이 박막의 두께는 전류 밀도에 따라 직선적으로 증가하였다. 기울기로부터 두께 증가율은 약  $0.25 \mu\text{m}/(\text{A/dm}^2)$ 이었다. Fig. 9는 구리 박막의 두께를 Alpha-step으로 측정하였을 때 나타나는 전형적인 결과이다. 박막과 기판과의 경계면에 생기는 모서리에 전기력선이 집중되어 국부적인 두께 증가를 가져 왔고 이러한 현

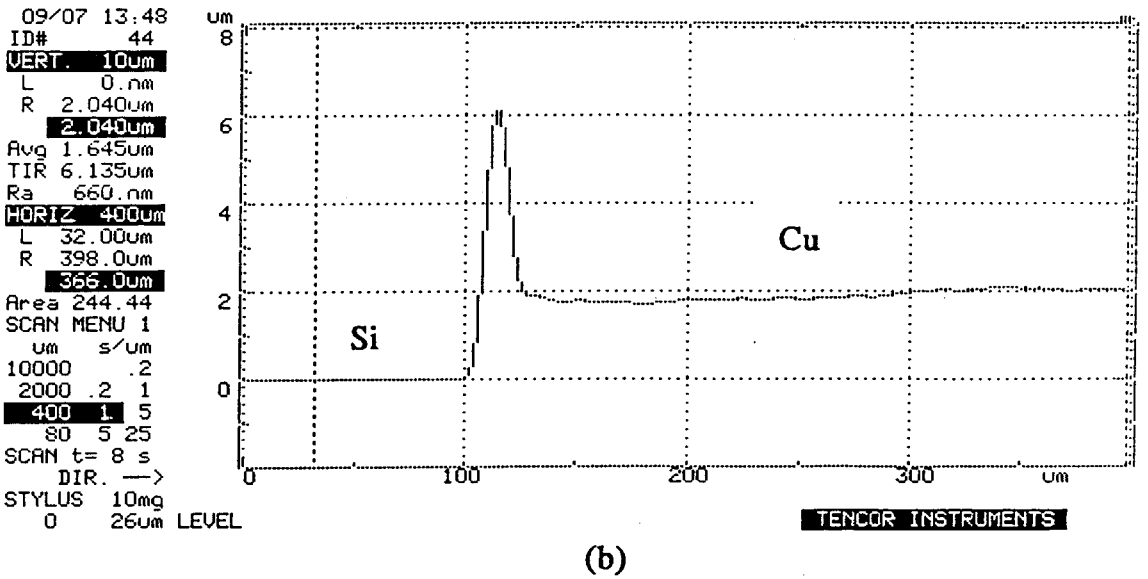
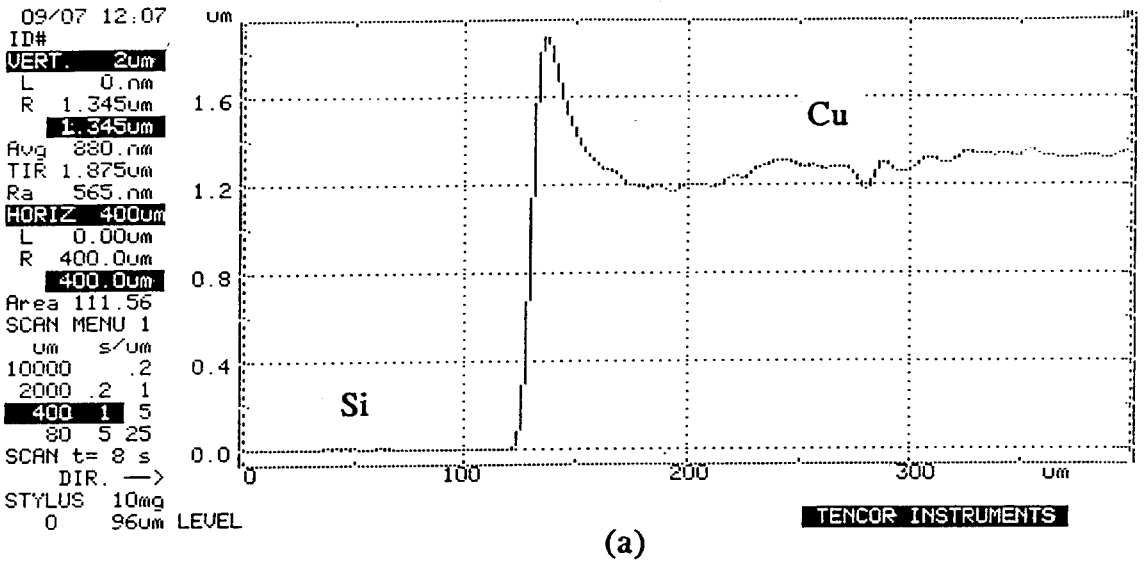


Fig. 9. Typical data of Alpha-step measurement.

(a) 4A/dm<sup>2</sup>, 60sec, 0.1 g / l gelatin.

(b) 7A/dm<sup>2</sup>, 60sec, 0.1 g / l gelatin.

상은 음극 전류 밀도가 클수록 심하게 나타났다. Fig. 8과 같은 조건에서 전류 밀도에 따른 구리 입자 크기의 변화를 Fig. 10에 나타내었다. 젤라틴 첨가에 따른 입자 미세화 효과가 나타났고 첨가제가 없는 경우  $1400 \text{ \AA}/(\text{A}/\text{dm}^2)$ ,  $0.1 \text{ g}/\ell$  일때  $800 \text{ \AA}/(\text{A}/\text{dm}^2)$ ,  $0.2 \text{ g}/\ell$  일때  $400 \text{ \AA}/(\text{A}/\text{dm}^2)$  정도의 크기 증가율을 나타내었다. 이는 전류 밀도가 커질수록 결정 성장을 위한 구동력이 핵생성을 위한 구동력보다 상대적으로 커져 결정립이 조대해지고 젤라틴의 첨가가 결정 성장을 억제하고 핵생성을 촉진한다는 사실로 설명할 수 있다. 젤라틴 첨가와 전류 밀도 증가에 따른 입자 크기 변화를 비교할 수 있는 예를 Fig. 11에 제시하였다. 젤라틴을 첨가하지 않은 경우  $4 \text{ A}/\text{dm}^2$  이상에서는 세척시 전착막이 벗겨질 정도로 기판과의 접착력이 좋지 않았다. 이것은 전류 밀도 증가에 따른 입자 조대화 때문이라고 생각된다. Fig. 12는 Fig. 8과 Fig. 10과 같은 실험 조건에서 면저항을 나타낸 것이다. Fig. 13은 Fig. 10과 Fig. 12로부터 구한 비저항 값을 전류 밀도에 따라 도시한 것이다. 전류 밀도 증가에 따른 박막 두께의 증가로 면저항이 감소하였고 입자 크기의 증가로 비저항이 감소하였다. Fig. 14는 입자 크기 변화에 따른 비저항 값을 도시한 것이다. 입자 크기  $4000 \text{ \AA}$  이하에서는 비저항이 급격히 감소하나 그 이상에서는 감소율이 크게 줄어 들었다. 따라서 젤라틴 첨가로 인한 결정립 미세화로  $1-2 \text{ A}/\text{dm}^2$ 에서는 젤라틴 농도에 따른 비저항의 차이가 크지만 전류 밀도가 커질수록 차이가 작아져  $5 \text{ A}/\text{dm}^2$  이상(입자 크기  $4000 \text{ \AA}$  이상)에서는  $4.5-6.0 \mu\Omega \cdot \text{cm}$  값에 수렴하였다.

### 3.3. 미세패턴위에서의 구리 전착

Fig. 15은 젤라틴 농도  $0.2 \text{ g}/\ell$ ,  $5 \text{ mA}$ 의 정전류, 전착 시간 10초의 조건에서 미세 패턴에 구리가 충전된 표면을 광학 현미경으로 관찰한 사진이다. 실리콘/실리콘 산화막의 기판에서

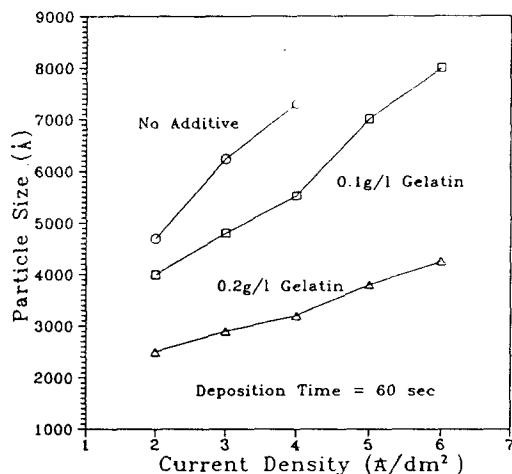


Fig. 10. Variation of particle size of electro-deposited copper with current for 0,0.1 and  $0.2 \text{ g}/\ell$  gelatin.

실리콘 위에만 선택적으로 구리를 충전시킬 수 있었다. 사진에서 밝게 보이는 부분이 선택적으로 충전된 구리이다. Fig. 16은 젤라틴 농도  $0.2 \text{ g}/\ell$ ,  $1.5, 3.0 \text{ mA}$ 의 정전류, 전착 시간 10초의 조건에서 전착된 구리선의 단면을 주사 전자 현미경으로 관찰한 것이다. 높이가 균일하고 표면이 매끄러운 구리선이 얻어졌고 기초 실험에서 나타난 것과 같은 국부적인 두께 불균일 현상은 없었다. 전착 시간과 전류 밀도를 증가시켜 구리를 과잉 충전시킨 결과를 Fig. 17에 나타내었다. 이 경우에도 박막의 표면은 평탄하였다. 미세 패턴의 경우 충전 양상은 젤라틴 농도, 전착 시간, 전류, 전압의 변화에 민감하게 달라졌다. Fig. 18에서 보듯이 젤라틴 농도  $0.1 \text{ g}/\ell$ ,  $0.7 \text{ V}$  정전압하에서  $0.6 \mu\text{m} \times 1.0 \mu\text{m}$ 의 접촉창을 거의 완벽하게 구리로 충전시킬 수 있었다. Fig. 19는 지름  $1 \mu\text{m}$ 의 접촉 구멍에 구리를 충전시킨 단면과 표면 사진이다. 젤라틴 농도  $0.1 \text{ g}/\ell$ ,  $1.0 \text{ V}$  정전압, 전착 시간 10초의 조건에서 과소 충전되었으나 전착 시간을 20초로 증가시켜 접촉 구멍을 완전히 메꿀 수 있었다.

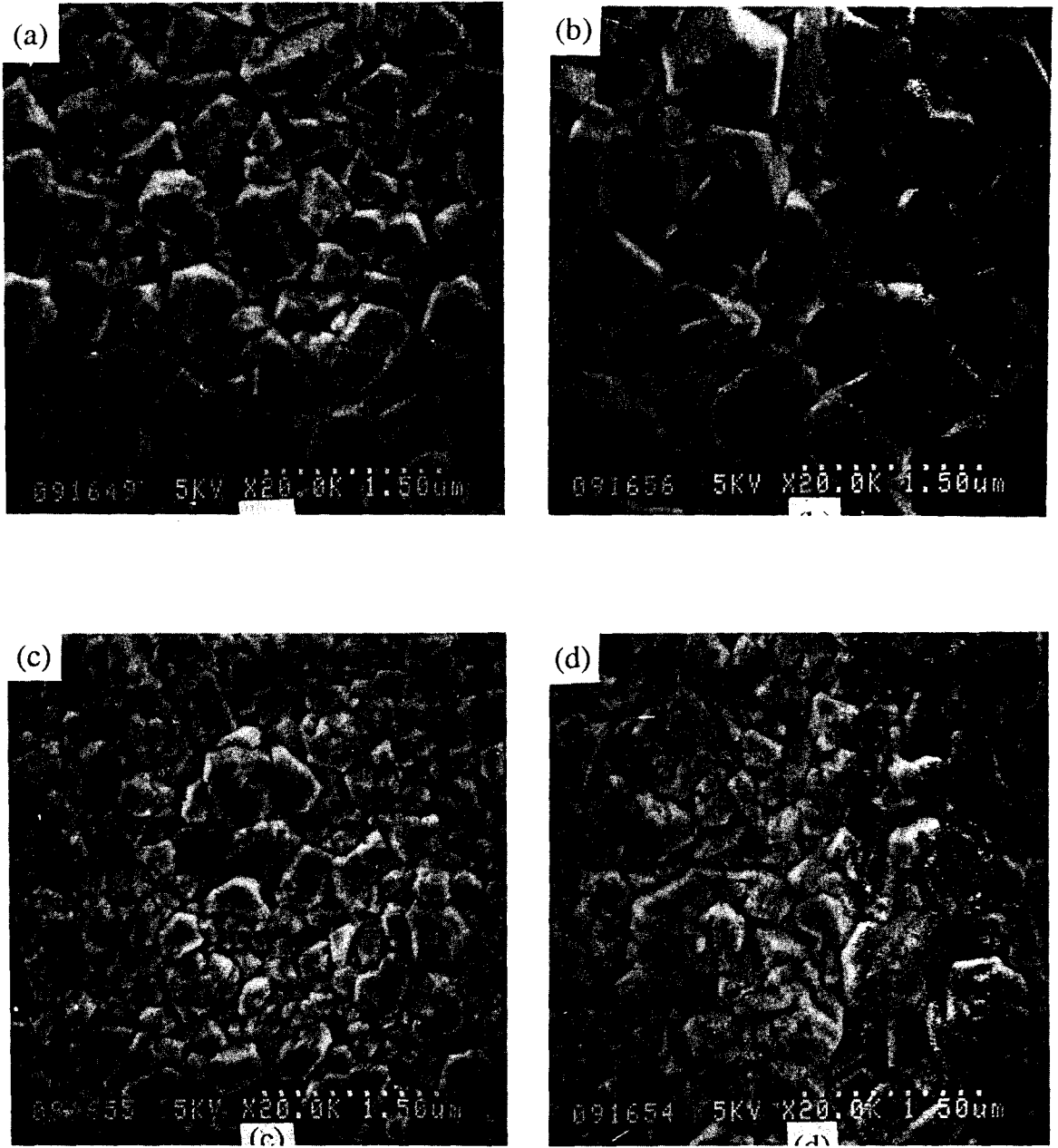


Fig. 11. SEM micrographs of electro-deposited copper.

- (a)  $i_s = 2 \text{ A/dm}^2$ , 60 sec, 0.1 g / l gelatin
- (b)  $i_s = 4 \text{ A/dm}^2$ , 60 sec, 0.1 g / l gelatin
- (c)  $i_s = 2 \text{ A/dm}^2$ , 60 sec, 0.2 g / l gelatin
- (d)  $i_s = 4 \text{ A/dm}^2$ , 60 sec, 0.2 g / l gelatin



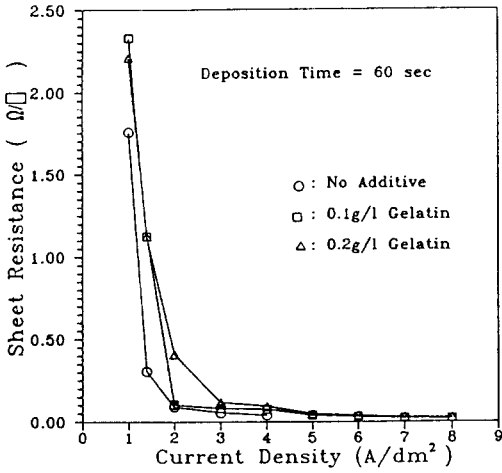


Fig. 12. Current dependence of sheet resistance of electro-deposited copper films for 0,0.1 and 0.2 g / ℓ gelatin.

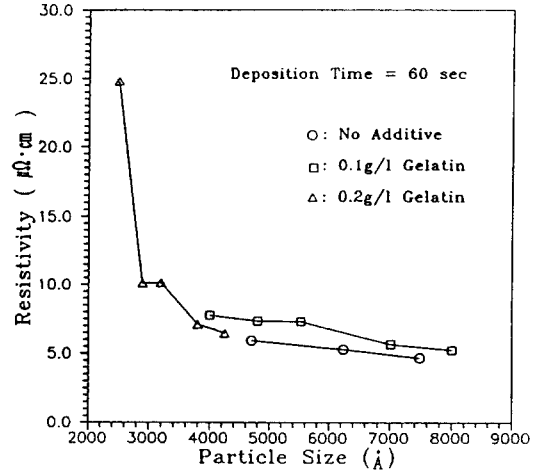


Fig. 14. Variation of resistivity of electro-deposited copper films for 0,0.1 and 0.2 g / ℓ gelatin at 60sec.

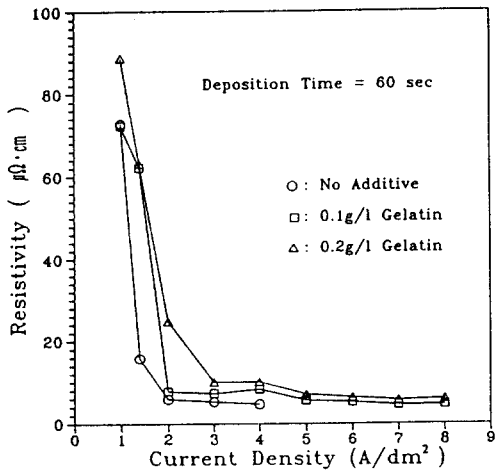


Fig. 13. Current dependence of resistivity of electro-deposited copper films for 0,0.1 and 0.2 g / ℓ gelatin.

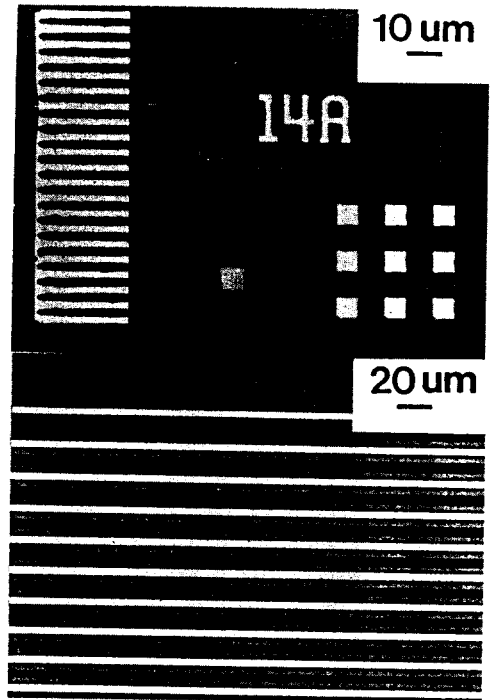
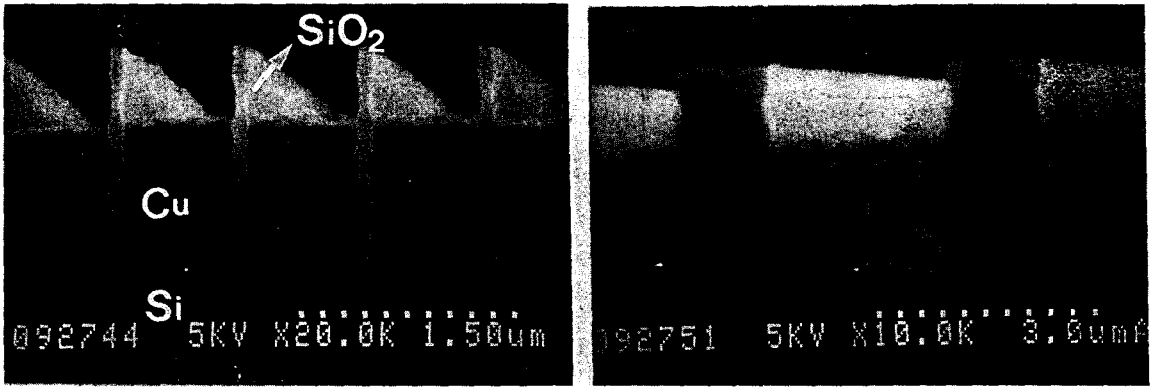
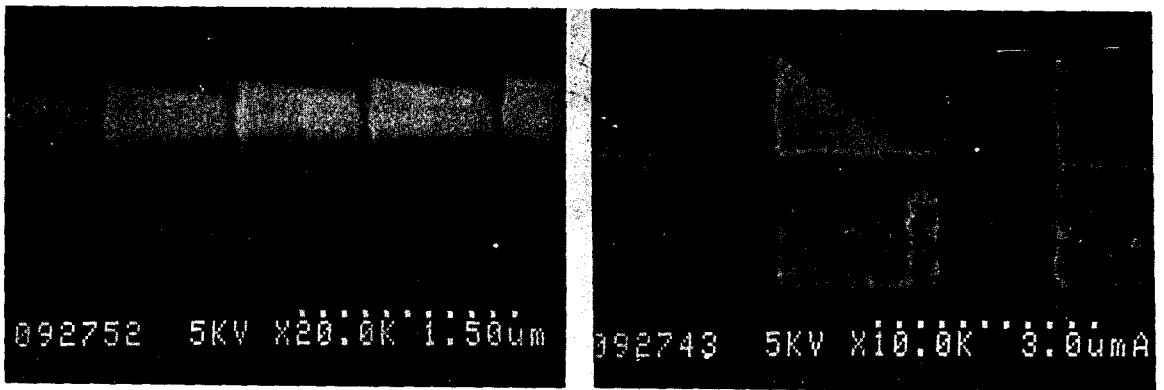


Fig. 15. Surface of electro-deposited copper on Si/SiO<sub>2</sub>(i<sub>s</sub>=5mA, 10sec, 0.2 g / ℓ gelatin)



(a)



(b)

Fig. 16. Cross section of electro-deposited copper lines.

(a)  $i_s = 1.5\text{mA}$ , 10sec, 0.2 g / ℓ gelatin

(b)  $i_s = 3.0\text{mA}$ , 10sec, 0.2 g / ℓ gelatin

구리의 선택적 전착에서 결정 입자의 크기가 전기적 접촉성에 미치는 영향

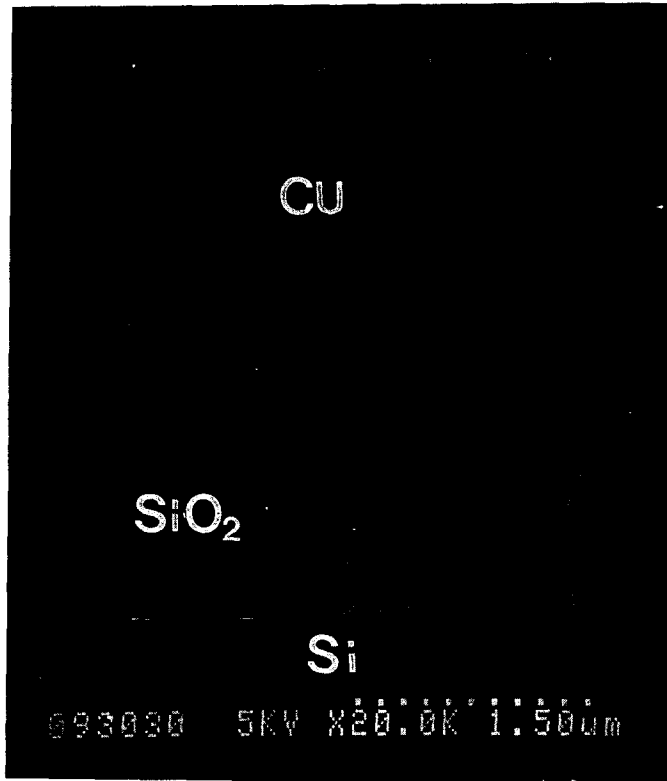


Fig. 17. Cross section of electro-deposited copper lines.  
( $i_s=3\text{mA}$ , 40sec, 0.2 g / ℓ gelatin)

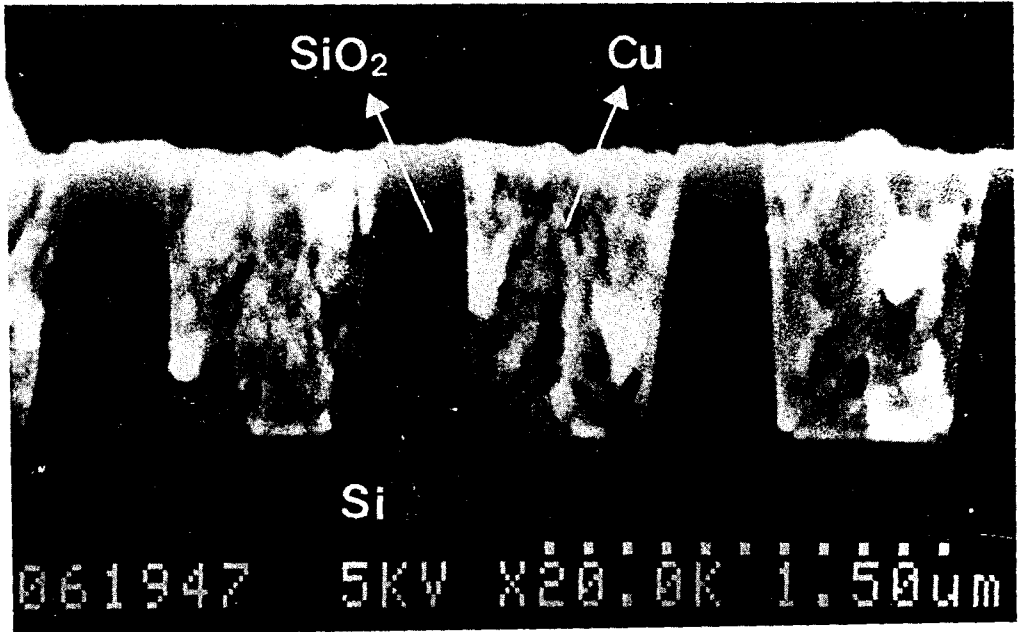
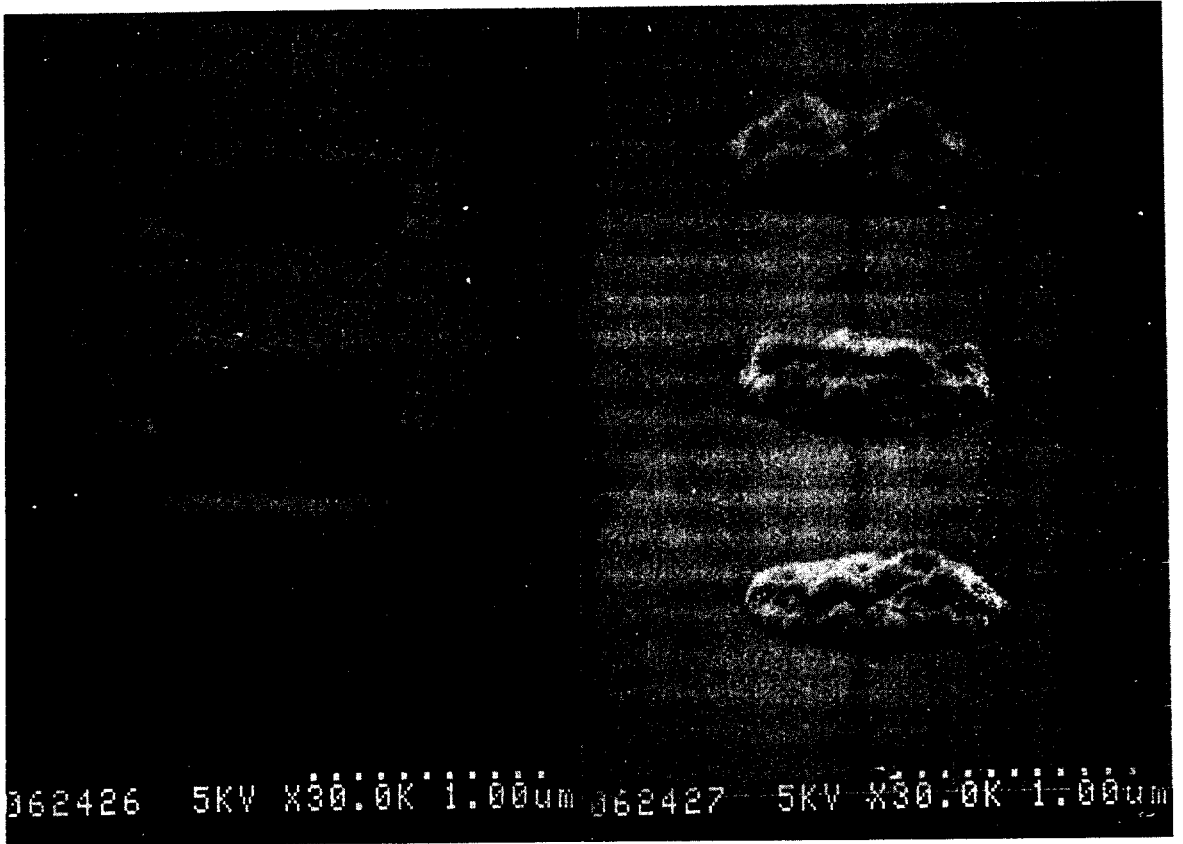


Fig. 18. Cross section of electro-deposited copper on a submicron contact.  
( $v_s=0.7V$ , 120sec, 0.1 g /  $\ell$  gelatin)



(a)

(b)

Fig. 19. Cross section of electro-deposited copper on a submicron contact.

(a)  $v_s=1.0V$ , 20sec, 0.1 g /  $\ell$  gelatin

(b)  $v_s=1.0V$ , 30sec, 0.1 g /  $\ell$  gelatin

#### 4. 결 론

- 1) 전류 밀도가  $2A/dm^2$ 일때 전착 속도는  $0.5 - 0.6\mu m/min$  였다.
- 2) 전해액에 젤라틴을 첨가함으로써  $0.1g/l$  일때 약 15-20%정도,  $0.2g/l$  일때 50-57%의 입자 크기 감소 효과를 얻었고  $1\mu m$  이하의 접착층에 충전이 가능하였다.
- 3) 전류 밀도가 증가함에 따라 구리 박막의 두께는 약  $0.25\mu m/min(A/dm^2)$ 의 비율로 증가하였다.
- 4) 전류 밀도의 증가에 따라 입자 크기가 증가하여 박막의 비저항은 감소하였으나 결정 성장속도의 증가로 기판과의 접착력은 나빠졌다.
- 5) 입자 크기  $4000\text{\AA}$  이하에서는 젤라틴 농도에 따른 비저항 값의 차이가 컸으나 입자 크기 증가에 따른 비저항 감소율이 작아져  $4000^\circ C$  이상에서는 그 차이가  $1-2\mu\Omega \cdot cm$  이하였다.
- 6) 측정된 박막의 비저항 값은  $2A/dm^2$ , 5분에서  $3.0-5.0\mu\Omega \cdot cm$ 였고  $8A/dm^2$ , 1분에서  $4.5-6.0\mu\Omega \cdot cm$  였다.
- 7) 젤라틴 첨가에 의한 구리 입자 미세화, 전류 밀도와 전착 시간의 조절로  $1\mu m$  이하의 미세 패턴에 선택적 충전이 가능하였고 이로써 고집적 반도체 소자 제조를 위한 금속선 형성 공정에의 적용 가능성을 확인하였다.

#### 감사의 글

본 과제는 대한금속학회 및 통신학술연구 지원국을 통한 체신부의 정보 통신 분야 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

[ 1 ] S. M. Sze, VLSI Technology, 2nd Ed,

(McGraw Hill, 1988) p.373.

- [ 2 ] G. E. McGuire, Semiconductor Materials and Process Handbook, (Noyes Publication, 1988) p. 587.
- [ 3 ] Pei-Lin Pai & Chiu H. Ting, "Copper as the future interconnection material", VMIC, (1989) p. 258.
- [ 4 ] M. L. Green and R. A. Levy, "Chemical Vapor Deposition of Metals for Integrated Circuit Applications", J. Metals, (1985) 63.
- [ 5 ] E. K. Broadvent and W. T. Stacy, "Selective Tungsten Processing by LPCVD", Solid State Technology, (1985) 51.
- [ 6 ] D. R. Bradbury and T. I. Kamins, "Effect of Surface on Selective Deposition of CVD W Films", J. Electrochem. Soc., vol. 133, No. 6, (1986) 1214.
- [ 7 ] N. Lifshitz et al, "Selective Molybdenum Deposition by LPCVD", J. Electrochem. Soc., vol. 134, No. 8, (1987) 2061
- [ 8 ] R. A. Levy et al, "Characterization of LPCVD Aluminum for VLSI Processing", J. Electrochem. Soc., vol. 131, No.9, (1984) 2175
- [ 9 ] 류창섭 외 "텅스텐의 저압 화학 증착시 기체 유입량이 증착층의 선택성과 면저항에 미치는 영향", 대한 금속학회지, 제 27권, 제11호, (1989) 995.
- [10] H. W. Piekaar et al, "LPCVD of Aluminum in a batch-type load-locked multi-chamber processing system", VMIC(1989) 122.
- [11] M. j. Cooke et al, "LPCVD of Aluminum and Al-Si Alloy for Semiconductor Metallization", Solid State Tech., No. 12, (1982) 62. R. A. Levy and M. L. Green, "LPCVD of Tungsten and Aluminum for VLSI Application", J. Electrochem. Soc., vol.

- 134, No.2, (1987) 37.
- [14] L. F. Tz. Kwakman et al, "The Incorporation of Copper in CVD Aluminum by Diffusion from In-situ Sputtered Sources", VMIC, (1990) 282.
- [15] K. P. Cheung et al, "Improved CVD Aluminum Deposition Using In-situ Sputtered Nucleation Layers", VMIC (1990) 303.
- [16] 주승기 외, "초고집적 소자 제조를 위한 LPCVD 알루미늄에 관한 연구", 연구보고서(2차년도), 한국전자 통신연구소, (1991)
- [17] T. Kato and T. Ito, "CVD of Aluminum Enhanced by Magnetron Plasma", J. Electrochem. Soc., vol. 135, No. 2(1988) 455.
- [18] D. B. Beach et al, "CVD of Aluminum from Trimethylamine-alane", J. Vac. Sci. Technol., A7(5), (1989) 3177.
- [19] R. A. Levy et al, "Properties of LPCVD Aluminum Films Produced by Disproportionation of Aluminum Monochloride", J. Electrochem. Soc., vol. 132, No. 2, (1985) 457.
- [20] D. Temple and A. Reisman, "CVD of Copper from Copper(II) Hexafluoroacetylacetonate", J. Electrochem. Soc., vol. 136, No. 11. (1989) 3525.
- [21] 김준용, 현대 전기화학공업, 서울대학교 출판부,(1989) p. 351.
- [22] 손현준 외, "도금 공정의 수학적 모델링과 첨가제들의 영향에 관한 연구", 연구보고서, 교육부, (1991)
- [23] Frederick A. Lowenheim, Modern Electroplating, 2nd Ed., p. 178-181, (John Wiley & Sons, 1963) p. 178.