

表示素子 應用을 위한 Copper, Aluminum 薄膜의 成長과 特性

논문
8-3-13

(Copper, Aluminum Based Metallization for Display Applications)

김형택*, 배선기**
(Hyung-Taek Kim, Seon-Gi Bae)

Abstract

Electrical, physical and optical properties of Aluminum(Al), Copper(Cu) thin films were investigated in order to establish the optimum sputtering parameters in Liquid Crystal Display (LCD) panel applications. DC-magnetron sputtered film on corning 7059 samples were fabricated with variations of deposition power densities, deposition pressures and substrate temperatures. Low resistivity films(Al:2.80 $\mu\Omega$ -cm, Cu:1.84 $\mu\Omega$ -cm), which lower than the reported values, were obtained under sputtering parameters of power density(250W), substrate temperature(450-530 $^{\circ}$ C) and 5×10^{-3} Torr deposition pressure. Expected columnar growth and stable grain growth of both films was observed through the Scanning Electron Microscope(SEM) micrographs. Dependency of the applicable defect-free film density upon deposition power and temperature was also characterized. Not too noticeable variations in X-ray diffraction patterns were remarked under the alterations of sputtering parameters. High optical reflectivities of Al, Cu films, approximately 70-90 %, showed high degree of surface flatness.

Key Words (중요용어) : Al,Cu Metallizations (Al,Cu 금속막 공정), TFT(Thin Film Transistor) Electrodes (박막소자전극), Electrical Resistivity (전기적 비저항), XRD(X-ray Diffraction: X선 회절), Al-Cu Film Optics(광학적 특성)

1. 서 론

최근 반도체 집적 소자 제조 공정 기술이 초집적(Ultra Large Scale Integrated :ULSI) 단계로 고밀도 화 됨에 따라 금속 전극 배선의 sub-quarter-micron 미세 가공 공정 변수 및 적층화 구조를 요구하고 있다^{1,2)}. 현재 반도체 집적 소자에 응용이 되고 있는 박막 전극 재료인 알루미늄(Al) 및 알루미늄 합금 (Al-Cu, Al-Si, Al-Cu-Si)의 경우 ULSI 집적 공정에서 배선 미세 pattern 화에 따른 구동 신호 전달 지연 및 전류 밀도 증가로 인한 통전(electromigration) 배선 단락 현상으로

소자 적용에 어려움이 있는 것으로 보고 되고 있다^{3,4)}. ULSI 공정에서 알루미늄 대체 전극 재료로 요구되는 고용점, 저저항, 높은 통전 저항 신뢰성, 미세 가공성 및 다층 배선의 평탄성 등을 만족하는 금속 박막으로 구리(Cu), 금(Au), 은(Ag), 텅스텐(W) 등에 대한 응용 노력이 진행 되고 있으며, 그 중에서도 구리 박막의 저 저항특성(1.67 $\mu\Omega$ -cm)에 의한 빠른 소자 구동 신호 전달(RC time), 저소비 구동 전력 특성 및 입계 석출 구리 원자의 높은 이동도에 따른 통전 저항 신뢰성은 소자 응용 관점에서 구리의 공정 응용 가능성을 높게 하고 있다⁵⁻⁷⁾. 현재 구리 박막의 공정 적용을 위한 연구 노력은 주로 화학기상증착(CVD)에 대한 증착 조건 및 박막 특성 실험에 한정되고 있으며, 특히 열확산 방지를 위한 저온 증착 및 확산 버퍼층 형성에 관심이 집중 되고 있다⁸⁻⁹⁾. 그러나, 구리 박막 step-coverage 와 다층 배선 via-filling 접촉

* 인천대학교 재료공학과

** 인천대학교 전기공학과

접수일자 : 1994년 11월 20일

심사완료 : 1995년 3월 9일

특성을 제외한 벌크 저항에 근접한 박막 저 저항 특성, 불순물 정도, 저온 증착 및 높은 퇴적 속도, 다층 배선 평탄화 가공, 절연층의 연속 증착 특성에 있어서는 스퍼터링에 의한 증착이 화학 기상 증착보다 더 안정적인 것으로 최근 이야기 되고 있으며, 향후 실소자 공정 응용 실험이 진행 될 것으로 예상 되고 있다^{10,11)}. 이러한 차세대 집적 소자 응용 전극 개발의 연구에서 스퍼터링 구리 단위 박막의 증착변수에 따른 박막 특성 평가 실험은 향후에도 많은 연구 노력이 필요한 것으로 판단되며, 또한 현재 Cu 박막 증착의 기판이 반도체 집적 소자 응용을 위한 반도체(Si) 및 산화, 절화 절연 하지막(SiO₂, Si₃N₄)등으로 한정 연구되는 바, 본 연구에서는 차세대 표시 소자로 주목 받고 있는 대면적, 고정세 박막 트랜지스터(Thin Film Transistor: TFT) 액정 표시 소자 전극 응용을 위하여 현재 TFT 공정에 전극 배선으로 적용되고 있는 알루미늄 및 향후 대체 전극 물질인 구리 단위 박막을 corning 7059 유리 기판에 스퍼터링으로 증착하고, 증착 변수에 의한 전기적, 물리적, 광학적 특성 및 결정 구조 특성을 평가하여 TFT 집적 공정 응용의 최적화 박막 특성 도출을 위한 증착 조건을 관찰 하고자 한다.

2. 실험

2-1. 실험 시료 제작

알루미늄, 구리 단위 박막 시료는 약 480 Gauss magnet(Nd/Fe/B), 2KW 상향식 DC magnetron 스퍼터링으로 제작 되었다. 5N(99.999 %), 3" (원형 반경) X 0.25 " (두께)의 알루미늄, 구리 스퍼터링 target으로 corning 7059 유리 (9X9 cm, 1.1 mm) 기판(substrate)에 증착 조건 변수로 각 시료가 제작 되었으며, corning 기판 세척은 TCE (trichloroethylene) 용액 침전 세정에 의한 유기물 제거 후 acetone, DI water 2단계 저주파형(25 kHz) 초음파 세정, 질소(N₂) 건조를 행하였다. 증착을 위한 진공조의 배경 압력 및 증착 압력은 각각 실질 TFT 스퍼터링 공정 변수인 2X10⁻⁶ Torr 이하, 5-9X10⁻³ Torr 범위로 조절 되었다. 확산 펌프 오일 역류로 인한 증착 오염을 최소화하기 위해 액체질소(LN₂) cold trap이 사용 되었으며, 스퍼터링 DC power 및 기판 온도를 증착 변수로 설정하여, 증착 power 및 power density는 80,250 W (1.8, 5.5 W/cm²) 로 변화 하였고, 증착 전단의 진공조 예비 가열 및 예비 스퍼터링은 약 70 °C에

서 15 분간 진행 되었다. 기판의 증착 온도는 기판 가열이 차단된 상태에서 스퍼터링 방사열에 의한 상온 증착 온도(약 40 °C)에서 각 단위 박막 결정화 온도 이상 (450 °C, 530 °C)까지 변화 되었으며, 알루미늄, 구리 재 결정화 임계 온도(290 °C, 480 °C)¹²⁾ 이상의 고온 공정에서 성막 미세 결정립 구조, 입계 확산 및 표면 평활성 영향 관찰을 위한 증착 온도 범위가 설정 되었다. 실 소자 공정의 적용을 위하여 박막의 두께는 현 TFT 전극 공정상의 두께 변수인 500-2500 Angstrom[Å] 범위로 증착 되었으며, 증착 속도는 성막의 두께 조절을 위해 약 2-3 Å/sec로 조절 하였다. 제작 된 박막 시료의 증착 변수는 표 1에 정리 되었다.

표 1. 단위박막 시료의 증착조건

Table 1. Deposition Variables in Film Preparation

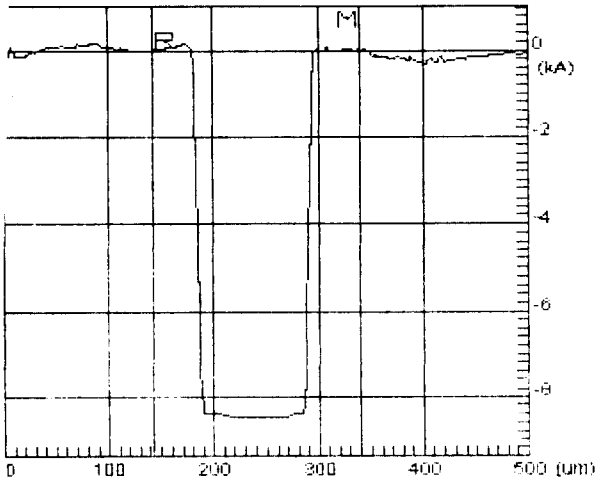
단위 막	두께 (Å)	증착 power (W)	기판온도 (°C)	증착 압력 (Torr)	Ar 유량 (sccm)
알루미늄 (Al)	1550	80	상온	9X10 ⁻³	13
	1600	250	300	7X10 ⁻³	12
	2000	250	450	5X10 ⁻³	11
구리 (Cu)	500	80	상온	9X10 ⁻³	13
	2300	250	400	7X10 ⁻³	12
	2300	250	530	5X10 ⁻³	11

2-2. 금속 박막의 두께 측정

성막된 알루미늄, 구리 박막 두께는 Tencor 표면 단차 측정기(α-step)로 측정 하였으며, 두께 측정을 위한 3" 원형 박막의 표면 단차 형성 사진 식각 작업이 수반 되었다. 두께 균일성 평가를 위해 전 3" 원형 박막에 대한 9 points 행렬 단차 측정이 행해졌으며, 측정된 각 시료의 두께 균일도는 5 % 이내로 관찰 되었다. Probe tip의 주사 길이는 500-3000 μm로 조절 되었으며, 주사 속도 및 측정 points 는 15-25 sec, 600-1000 point 측정 되었다. 측정된 표면 단차 plot은 그림 1,2 와 같으며, 박막 두께는 알루미늄 (약 1550Å, 1600Å, 2000Å), 구리 (약 500Å, 2300Å) 으로 관찰 되었다. 두께와 증착변수 (기판온도, 스퍼터링 power) 에 따른 표면 요철 영향은 크지 않은 것으로 표면 단차 상에 나타나고 있으나, 표면 평활성 특성에서 구리가 알루미늄보다 단차 표면 요철이 약간 심한 것으로 관찰 되었다.

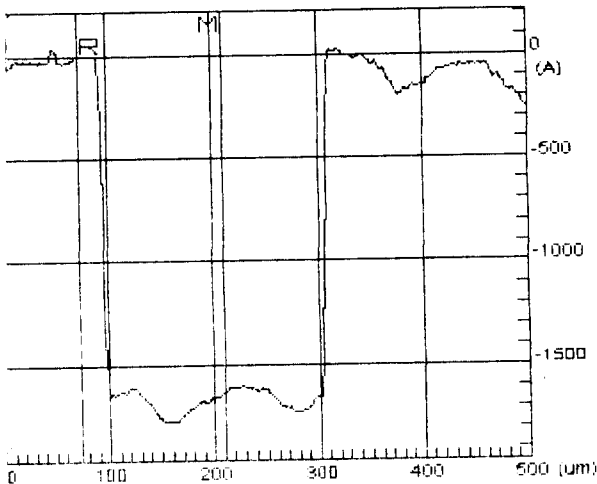
2-3. 금속 박막의 전기적 특성 평가

두께 측정 된 박막의 비저항(resistivity:ρ_{film}) 및 면저항(sheet resistance:R_s)은 Signatone 4분 탐침법 (CMT-SR2000)로 측정 되었다. 각 박막 시료



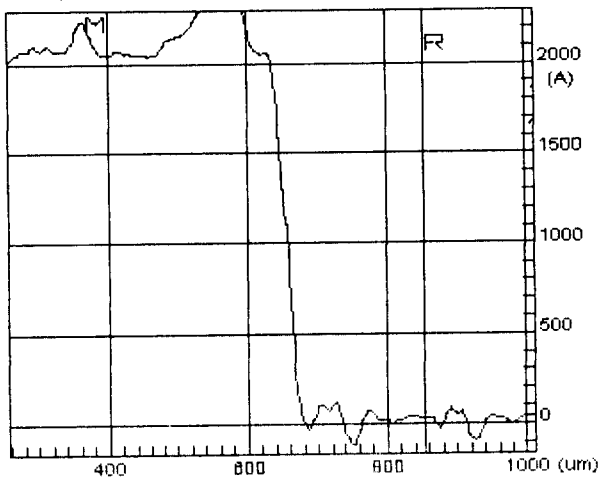
```

DEKTAK 3 Version 1.05
PROG FILE NAME: 940617
SCAN ROUTINE #: 1
TIME OF SCAN: 14:10:17 Wed Jun
DATA FILE NAME: .001
Scan ID..... 0
Scan Length.... 500um
Scan Speed.... Medium (25 sec)
Data Points.... 1000
Resolution.... 0.500 um/sample
Meas. Range.... 655 kA
Profile..... Hills&Valleys
R. Cursor..... 0A @ 142.55um
M. Cursor..... -3A @ 340.43um
Vert. Delta.... -3A
Horiz. Delta... 197.87um
ANALYTIC FUNCTIONS:      R:(um);
    
```



```

DEKTAK 3 Version 1.05
PROG FILE NAME: 940617
SCAN ROUTINE #: 1
TIME OF SCAN: 15:04:28 Wed Jun
DATA FILE NAME: .001
Scan ID..... 0
Scan Length.... 500um
Scan Speed.... Medium (25 sec)
Data Points.... 1000
Resolution.... 0.500 um/sample
Meas. Range.... 655 kA
Profile..... Hills&Valleys
R. Cursor..... 0A @ 73.48um
M. Cursor..... -1628A @ 210.11um
Vert. Delta.... -1628A
Horiz. Delta... 136.70um
ANALYTIC FUNCTIONS:      R:(um);
    
```

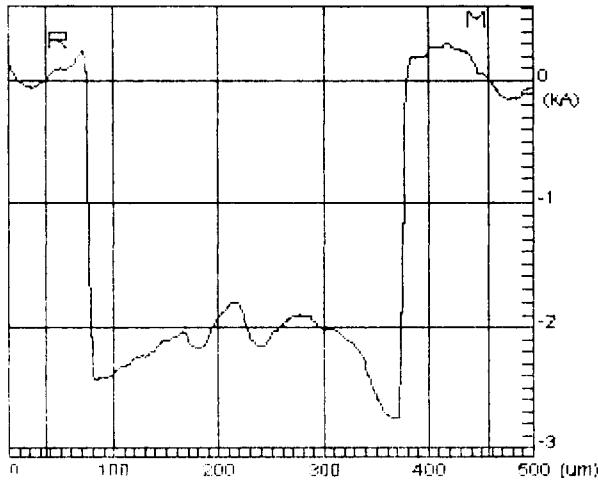


```

DEKTAK 3 Version 1.05
PROG FILE NAME: TEST02.DAT
SCAN ROUTINE #: 1
TIME OF SCAN: 15:48:37 Mon Jul
DATA FILE NAME: .001
Scan ID..... 0
Scan Length.... 3000um
Scan Speed.... Medium (15 sec)
Data Points.... 600
Resolution.... 5.000 um/sample
Meas. Range.... 655 kA
Profile..... Hills&Valleys
R. Cursor..... 0A @ 853.72um
M. Cursor..... 2031A @ 402.13um
Vert. Delta.... 2031A
Horiz. Delta... -451.59um
ANALYTIC FUNCTIONS:      R:(um);
    
```

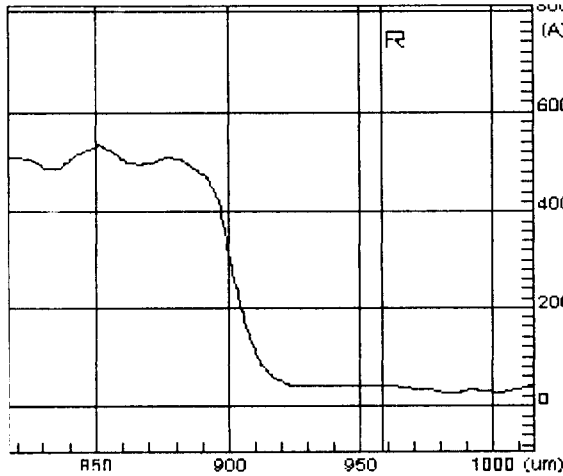
Fig. 1. α -step profile plots(A).

그림 1. Al박막 표면단차 특성



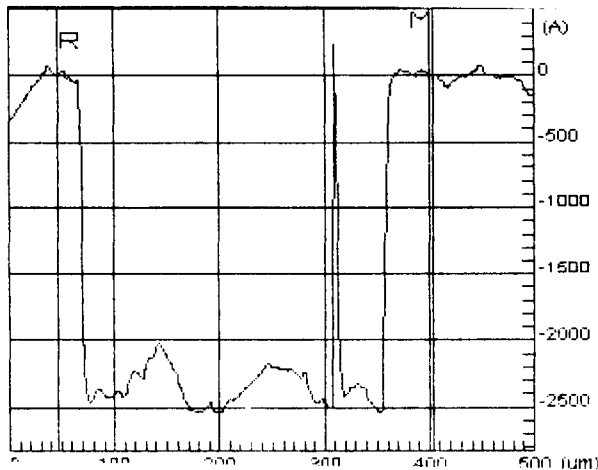
```

DEKTAK 3 Version 1.05
PROG FILE NAME: 940617
SCAN ROUTINE #: 1
TIME OF SCAN: 18:01:02 Wed Jun
DATA FILE NAME: .001
Scan ID..... 0
Scan Length.... 500um
Scan Speed..... Medium (25 sec)
Data Points.... 1000
Resolution..... 0.500 um/sample
Meas. Range.... 655 KA
Profile..... Hills&Valleys
R. Cursor..... 0A @ 36.17um
M. Cursor..... -80A @ 457.45um
Vert. Delta... -80A
Horiz. Delta... 421.28um
ANALYTIC FUNCTIONS:      R: (um);
    
```



```

DEKTAK 3 Version 1.05
PROG FILE NAME: TEST02.DAT
SCAN ROUTINE #: 1
TIME OF SCAN: 15:30:42 Mon Jul
DATA FILE NAME: .001
Scan ID..... 0
Scan Length.... 3000um
Scan Speed..... Medium (15 sec)
Data Points.... 600
Resolution..... 5.000 um/sample
Meas. Range.... 655 KA
Profile..... Hills&Valleys
R. Cursor..... 0A @ 958.43um
M. Cursor..... -6A @ 1094.48um
Vert. Delta... -6A
Horiz. Delta... 136.04um
ANALYTIC FUNCTIONS:      R: (um);
    
```



```

DEKTAK 3 Version 1.05
PROG FILE NAME: 940617
SCAN ROUTINE #: 1
TIME OF SCAN: 18:16:31 Wed Jun
DATA FILE NAME: .001
Scan ID..... 0
Scan Length.... 500um
Scan Speed..... Medium (25 sec)
Data Points.... 1000
Resolution..... 0.500 um/sample
Meas. Range.... 655 KA
Profile..... Hills&Valleys
R. Cursor..... 0A @ 46.81um
M. Cursor..... -72A @ 404.26um
Vert. Delta... -72A
Horiz. Delta... 357.45um
ANALYTIC FUNCTIONS:      R: (um);
    
```

그림 2. Cu막 표면단차 특성

Fig. 2. α -step profile plots(Cu).

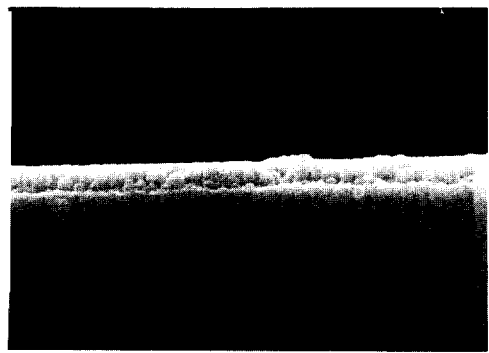
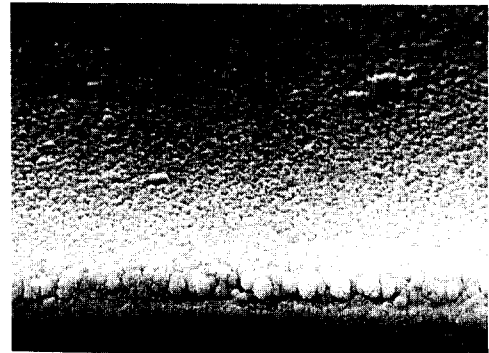
의 전기적 특성은 표 2 에 정리 되었으며, 관찰된 박막의 비저항을 벌크 특성과 비교할 때, 증착 기판 온도가 결정화 온도에 근접할수록 벌크 비저항 (ρ_{bulk})¹³⁾ 과의 편차가 작아 지는 것이 관찰 되었으며, 이는 퇴적막의 성장 초기의 결정 입자름이 기판 온도 상승과 함께 현저히 감소하며, 저항율은 결정 입자름이 적을수록 상승하는 성장 조건에 부합되는 것으로 판단 된다¹⁴⁾. 또한, 잔류 가스 분압이 높은 경우 성장 과정에서 잔류가스의 적층결함으로 퇴적 결정립 배향성이 저하되는 현상에 기인하여 비저항이 상승 되는 것으로 사료된다. 퇴적 속도 및 스퍼터링 power는 성막의 전기적 특성에 크게 영향을 주지 않는 것으로 관찰되었다.

표 2. 단위박막의 전기적 비저항,면저항 특성
Table 2. Electrical Resistivity(ρ), Sheet Resistance(R_s) of Al,Cu Film

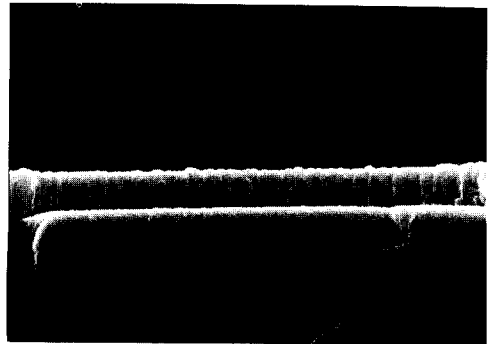
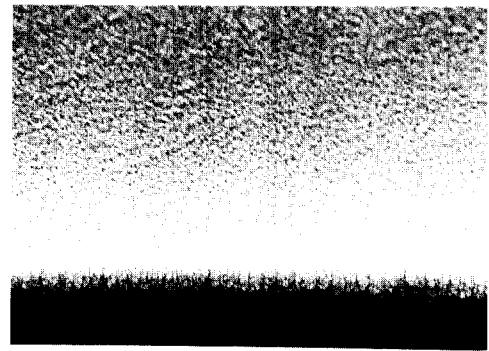
단위박	증착기판온도 [°C]	박막 비저항 (5% 평균) ρ_{film} [$\mu\Omega\cdot cm$]	면저항 R_s [Ω/\square]	체적 비저항 ρ_{bulk} [$\mu\Omega\cdot cm$]
알루미늄 (Al)	상온	3.26	0.21	2.66
	300	2.88	0.18	
	450	2.80	0.14	
구리 (Cu)	상온	2.30	0.46	1.67
	400	2.07	0.09	
	530	1.84	0.08	

2-4. 금속 박막의 물리적 특성 평가

퇴적막의 결정 입자름이나 배향성을 결정 하는 성장 초기 성장 핵 밀도나 결정 축의 배향 경향과 그 후 퇴적 과정에서의 입계 지름 성장, 재배열에 대한 증착 변수 영향이 전자 주사 현미경 (Scanning Electron Microscope: SEM)을 통해 관찰 되었다. 그림 3,4 SEM morphology 에서 관찰 되었듯이 설정된 증착 조건에서 알루미늄과 구리 모두 주상정으로 박막이 성장 되는 것으로 관찰 되었으며, 성장 결정립의 크기 성장이 증착기판 온도 상승에 따라 나타나고 있다. 퇴적 결정립 크기는 증착 power가 80, 250 W로 증가함에 따라 약 10, 30 Å로 관찰 되었으며, 표면의 평탄화 정도는 성장 결정립의 크기 증가에 따라 향상되는 것으로 나타나고 있다. 박막 밀도(film density)는 두께 증가에 따른 대체적인 치밀함이 알루미늄,구리 모두 관찰되고 있으며, 화학적 안정성에 대한 치밀한 (dense) 막질의 성장 조건으로는 높은 증착 power 및 높은 기판온도가 요구되는 것으로 표면 상에서 보여 주고 있다. 또한, 결정화 온도 증착막에서 일반적으로 나타나는 표면돌기 결정립(hillock)현상이나, 낮은 증착속도 혹은 저온 증착 조건에서 불



(상온, 80W)



(450°C, 250W)

그림 3. Al박막 SEM 표면 사진
Fig. 3. SEM Micrographs(Al).

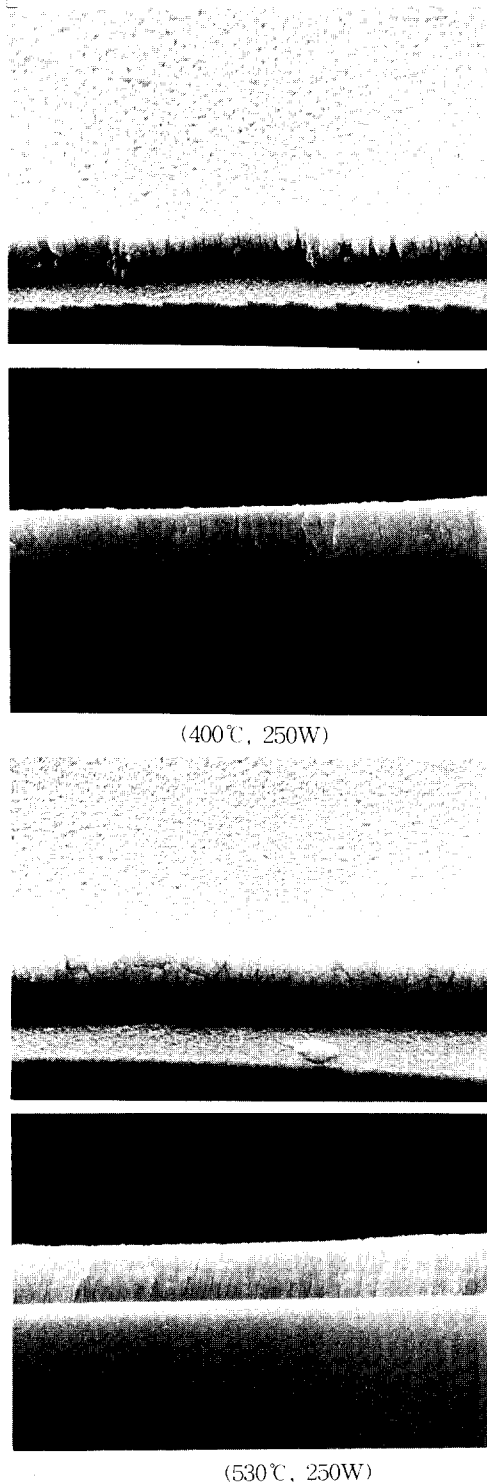
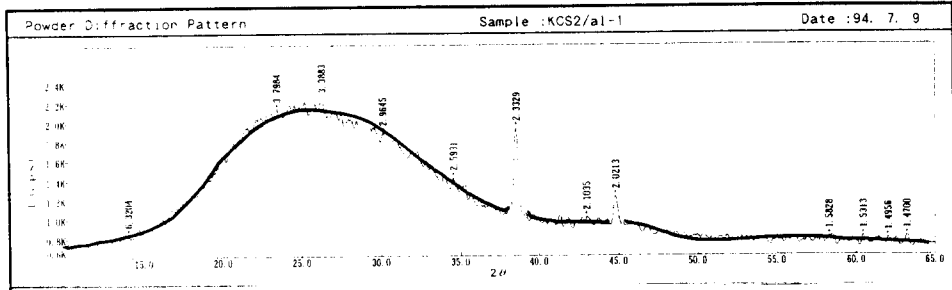


그림 4. Cu박막 SEM 표면 사진
Fig. 4. SEM Micrographs(Cu).

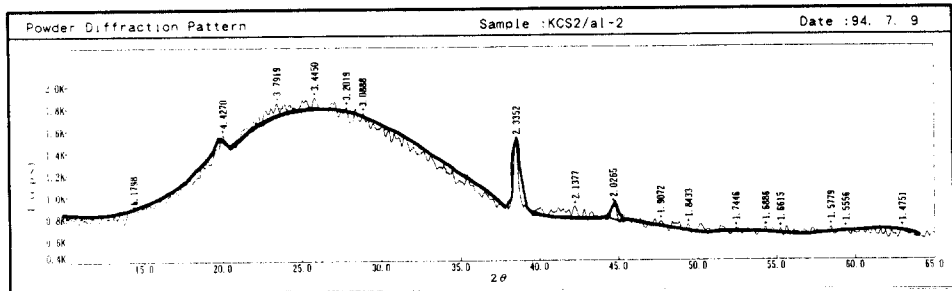
수 있는 결정 입계의 공극현상(void)이 이번 실험에서 현저하게 관찰되지 않은 것을 고려할 때, 설정된 증착 온도 및 압력 변수에 대한 막질의 화학적 안정성 및 불순물 입계 편석 영향은 양호한 것으로 판단된다. 또한, SEM images에 의한 박막 두께 평가는 α -step 단차 측정 값이 2-3 % 편차 이내임을 확인하고 있다. 박막 X-선 회절에 의한 결정 분석은 입사 파장으로 Cu-K α 선을 이용하였으며 주사 속도는 4 deg/min으로 조절되었다. 그림 5,6에 나타난 시료 박막 X-선 회절 패턴은 fcc 결정 상태의 알루미늄, 구리에서 주로 나타나는 [111] 배향 방향이 관찰되고 있으며, 알루미늄의 경우 잔류 가스 피크인 [100] 배향이 미미하게 존재하고 있으나, 증착 온도 변화로 인한 회절각 변화의 결정 방향 전이 현상은 없는 것으로 나타나고 있다.

2-5. 금속 박막의 광학적 특성 평가

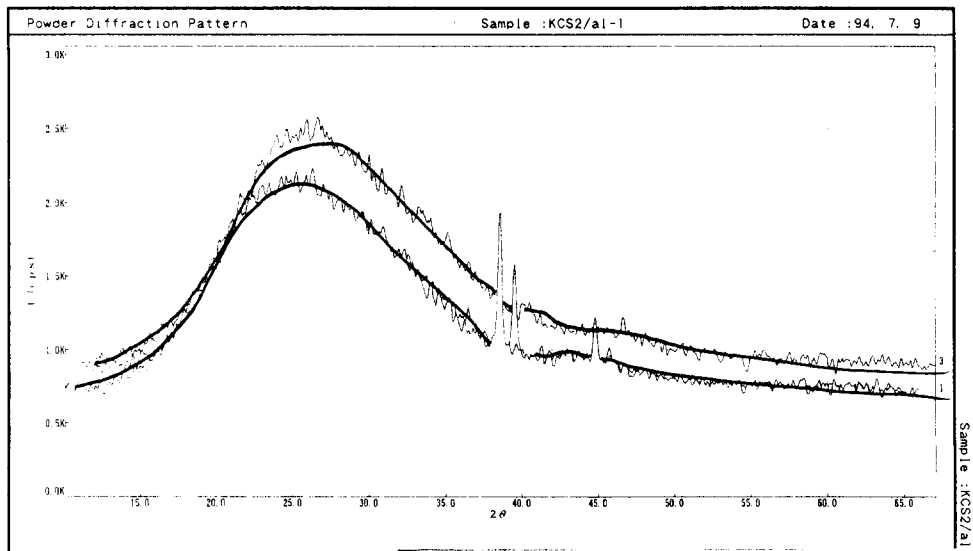
박막의 평탄화 정도 관찰을 위해 각 박막 시료의 반사율(reflectivity), 투과율(transmittance) 측정이 있었다. HITACHI UV/IR Spectrophotometer (U-3410)를 이용하여 광학적 특성이 관찰되었으며, 측정된 반사율 및 투과율 특성은 그림 7,8에 plots 되었다. 특성 평가를 위한 투사파장은 200-1600 nanometer(nm)로 조절되었으며, 광원의 변화는 자동 변화 조건에서 주사속도는 30-60 nm/min 로 유지되었다. 알루미늄, 구리 모두 광원 파장 증가에 따른 반사율 증가가 나타나고 있으며, 200-800 nm 파장 변화에 대한 반사율 증가는 알루미늄이 구리보다 약 12 % 이상 높게 나타나고 있다. 알루미늄 박막의 경우 높은 증착 압력 시료보다 낮은 증착 압력 시료에서 단 파장에서의 반사율 증가가 관찰되었으며, 이는 낮은 잔류 가스 분압에 의한 적층 결정 결함 감소에 기인하는 것으로 판단된다. 투사 전 파장 범위에서 알루미늄이 구리보다 약 +8 % 정도의 높은 반사율이 관찰되고 있으며, 알루미늄 박막의 경우 400 - 1600 nm 범위에서 90 % 이상의 높은 반사율을 보이고 있는 것은 알루미늄 박막이 양호한 표면 평탄화 특성을 갖는 것으로 사료된다. 또한, 전파장 범위 평균 투과율 알루미늄 (-2.02 %-7.53 %), 구리 (10.61%-11.95 %)는 보고된 동일 광원 파장 범위에서의 평균 투과율 4.5 %, 3.0 % 보다 높은 것으로 관찰되고 있다.^{15,16)} 이는 투과율 특성이 기판 온도 및 증착 power 변수로 영향을 받는 것을 보여 주고 있다. 약 850 nm 파장에서 관찰된 광학



(상온, 1550Å)



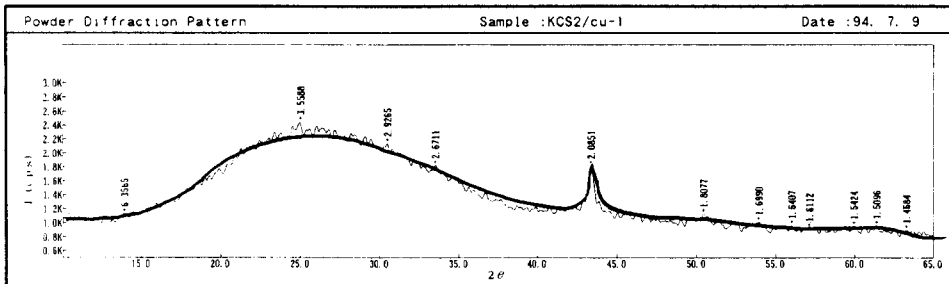
(300°C, 1600Å)



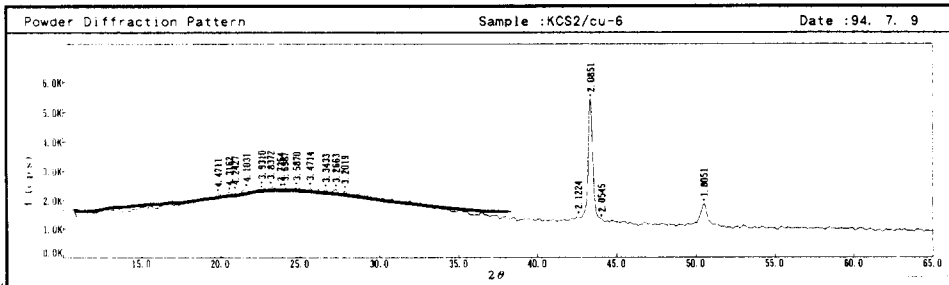
(450°C, 2000Å)

그림 5. Al박막 X선 회절 특성

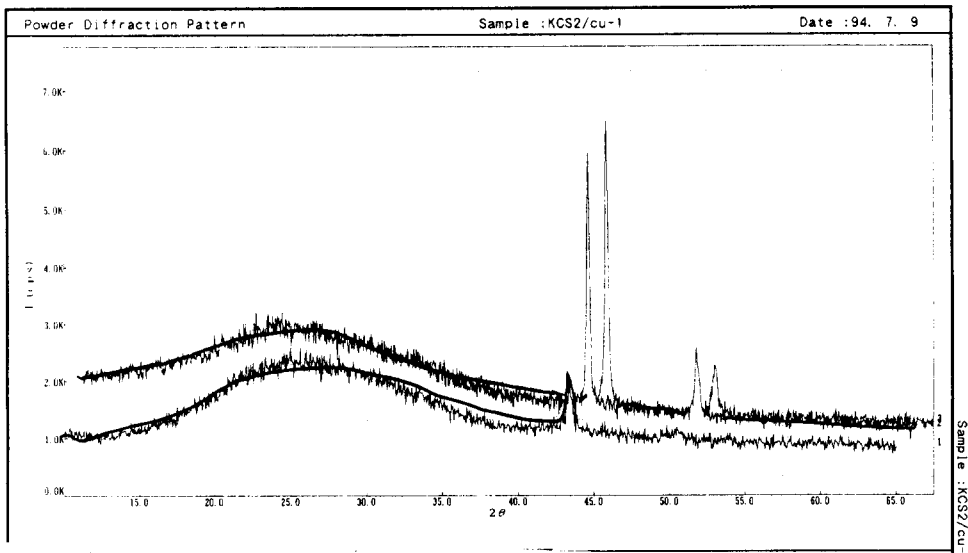
Fig. 5. X-ray diffraction patterns(Al).



(상온, 500Å) 10 Å)



(400℃, 2300Å)



(530℃, 2300Å)

그림 6. Cu박막 X선 회절 특성
Fig. 6. X-ray diffraction patterns(Cu).

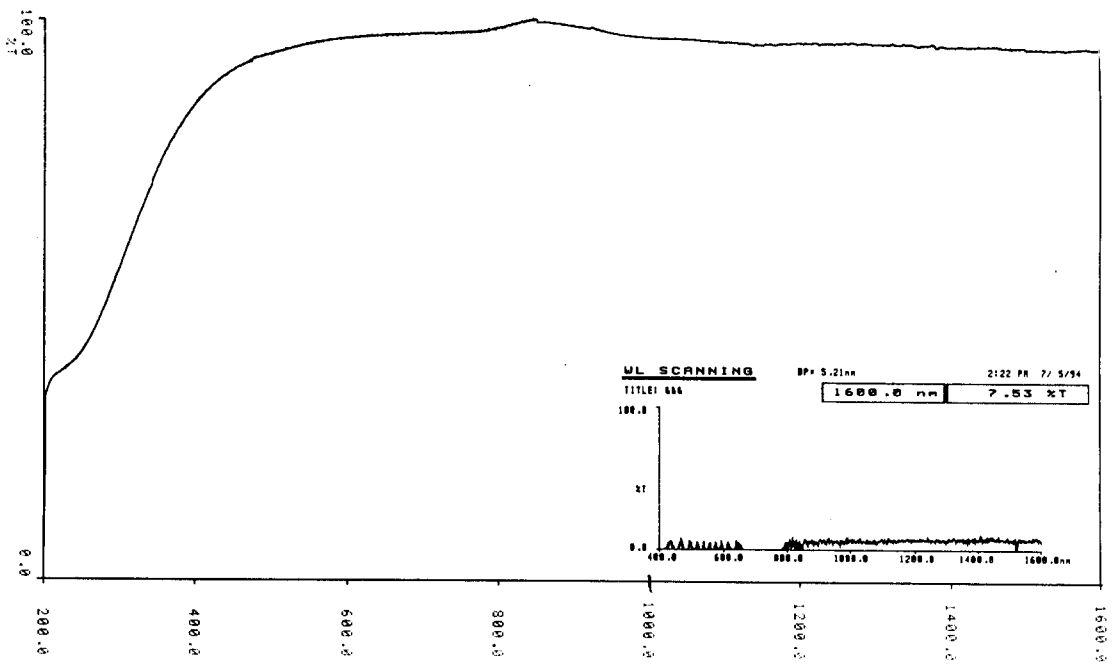
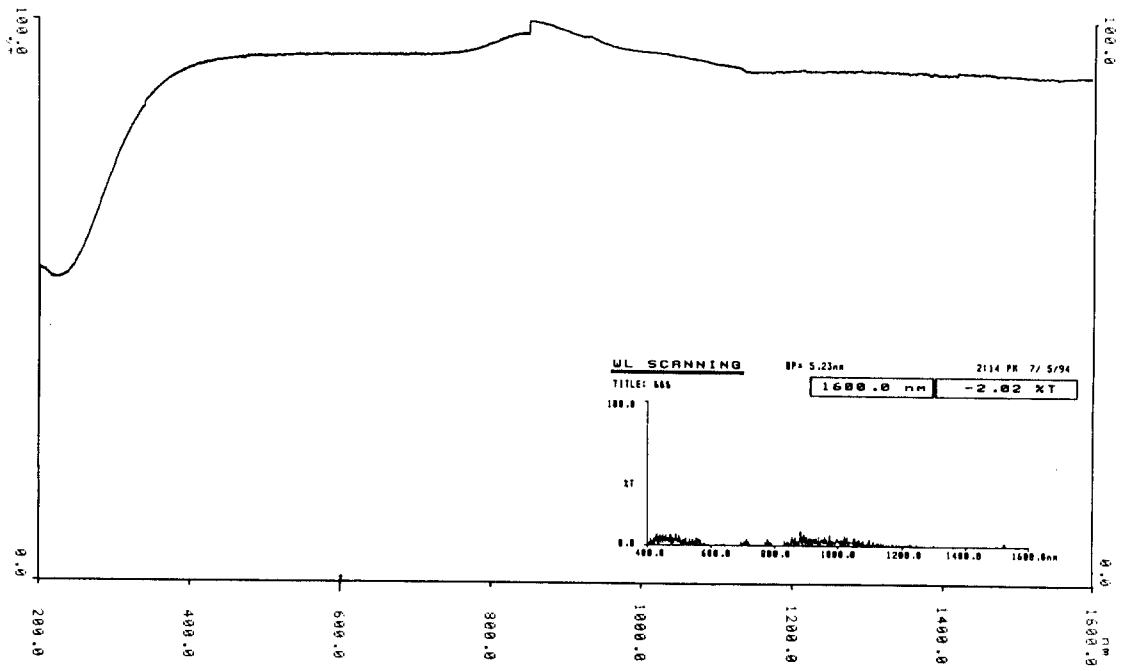


그림 7. Al 박막의 광 반사 및 투과 특성
Fig. 7. Reflectance & Transmittance(Al).

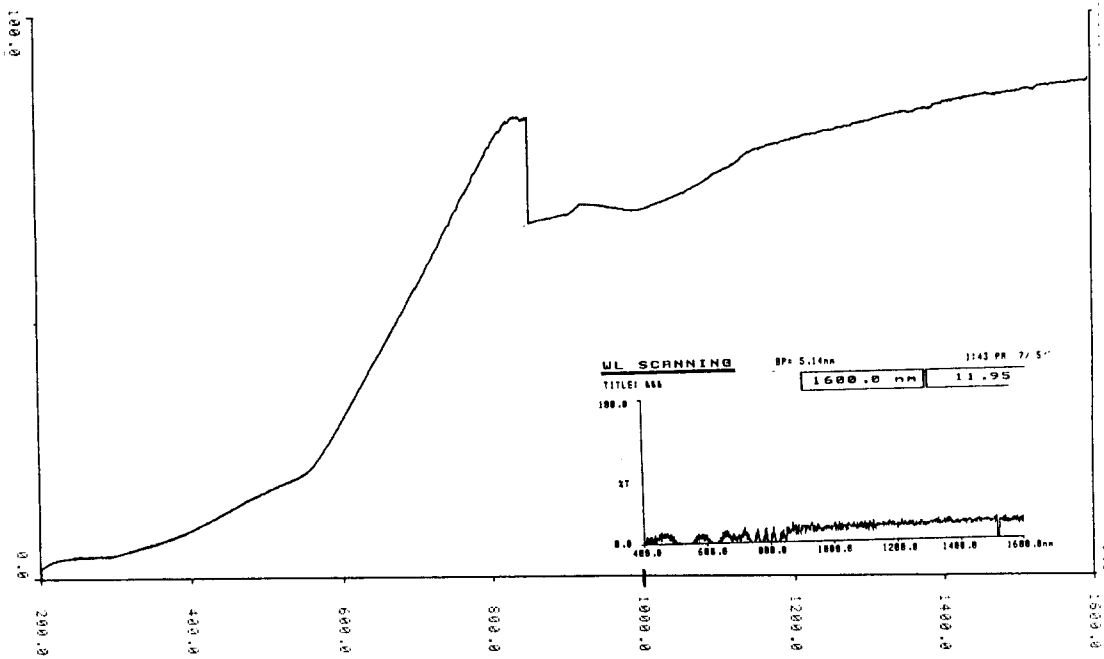
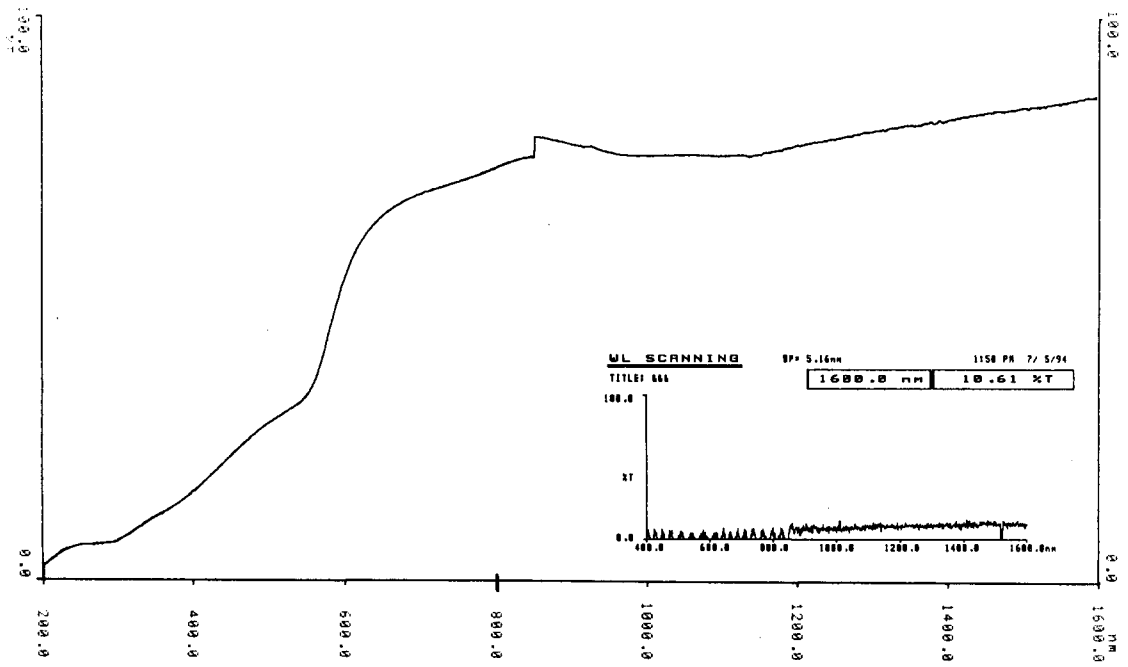


그림 8. Cu박막의 광 반사 및 투과 특성
Fig. 8. Reflectance & Transmittance(Cu).

특성 plot의 급격한 천이는 투과 파장에 따른 광원 auto mode 변화에 기인하는 것이며, 설정된 증착 변수 조건에 대한 박막 표면 평활도 특성은 실소자 공정에 적용이 가능한 범위인 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 연구는 대면적, 고정세 TFT 액정 표시 소자에서 요구되는 차세대 금속 전극 개발을 위한 알루미늄, 구리 단위 박막의 전기적, 물리적, 광학적 특성 비교 및 최적화 스퍼터링 증착 변수를 제시하는데 실험 목적을 설정하였다. 본 실험에서 정립된 증착 변수에 대한 단위막 두께는 동일 기판 내 약 5% 균일성이 유지되었으며, 기판과 기판 사이의 표면 요철 정도는 α -step 단차 상과 광학적 반사도 특성을 고려할 때 설정된 증착 power 및 온도 범위에서 소자 공정 적용이 가능한 특성으로 관찰되었다. 다만, 알루미늄이 구리보다 비교적 표면 평탄성이 높은 것으로 관찰되었으며, 이는 반도체 공정의 적층 접속 평탄화 특성 및 표시 소자의 유리 기판을 고려할 때 구리 박막 평활성 최적화 개선 보완 실험은 향후 노력이 요구되는 것으로 사료된다. 소자응용을 위한 박막 전기적 특성은 벌크 평균값 (알루미늄: $2.66\mu\Omega\text{-cm}$, 구리: $1.67\mu\Omega\text{-cm}$)에 각 $2.80\mu\Omega\text{-cm}$ (+5.3%), $1.84\mu\Omega\text{-cm}$ (+10.2%) 최소 편차 특성이 실험 결과 관찰되었으며, 이는 보고된 $3.1\mu\Omega\text{-cm}$, $2.3\mu\Omega\text{-cm}$ 보다 저 저항 특성으로 관찰되고 있다^{17,18)}. 특히, 구리의 경우 저저항 특성에 있어서는 스퍼터링의 화학 기상증착에 대한 상대 우위가 관찰되었으며, 먼저항 특성은 실질 소자 공정의 수천 Angstrom 박막 두께를 고려할 때 양호한 것으로 판단된다. 이상의 관찰에서 스퍼터링 알루미늄, 구리 박막의 저저항 특성을 위해서는 낮은 잔류 가스 분압 (5×10^{-3} Torr), 증착 power (250 W) 및 결정화 온도 이상의 기판온도 (450°C , 530°C) 증착 조건이 요구되는 것으로 판단된다. 그러나, 최적화 특성을 위한 낮은 증착 압력 (2×10^{-3} Torr) 및 높은 스퍼터링 power (>300 W) 증착 조건 실험에서는 저저항 특성과 막질의 화학적, 물리적 안정성에 저하가 관찰되었으며, 고온 (> 550°C) 증착은 성막과 기판의 계면 열확산 및 실소자 저온 공정 어려움이 예상되었다. 주사 전자 현미경에 의한 안정적인 기동꼴 결정 배향성 관찰이 있었으며, 증착 power 변수에 따른 입자 성장 및 성막 밀도 증가 효과도 있었다. 박막 결정의 X-선 회절 패턴은 적층 결합에 의한 혼재 피크 이외의 설정 증착 변수에 대한

상변이, 결정 회절각 변화는 관찰되지 않았다. 본 실험에서 조사된 증착 조건 변수에 의한 단위 박막 특성은 실소자 전극 응용이 가능한 것으로 관찰되었으며, 향후 소자 공정에 금속 전극 증착 조건으로 정립, 응용이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. A.Kaloyeros, in *Advanced Metallization for ULSI Applications*, edited by D.P.Favreau, Y.Shacham-Diamand, & Y.Horiike (Materials Research Society, Pitts.(1994) p.569
2. A.Krishnan, C.G.Xie, N.Kumar, & S.P.Murarka, *Proc.9th Int.VLSI Multilevel interconnection Conf.*, p.226(1992)
3. Materials Research Society, "MRS Bulletin", p.18-74, Aug.1994.
4. T.Nakano, H.Ono, T.Ohta, & M.Murakami, *Proc.10th ULSI multilevel Interconnection Conf.*(1994) p.407
5. Orlando Auciello & Jurgen Engemann, "Multicomponent and Multilayered Thin Films for Advanced Microtechnologies : Techniques, Fundamentals & Devices", NATO ASI, p.157(1992)
6. E.J.Rymaszewski, *J.Electron.Mater.*, 18(1990) p.217
7. G.Larrabee & P.Chatterjee, *Semicond.Inter.*, 14(1991) p.84
8. W.C.Holton, "Advanced Techniques for Integrated Circuit Processing", SPIE Vol.1392(1990) p.27
9. D.Edelstein, M.Scheuermann & L.Geppert, *Proc.IEEE VLSI Multilevel interconnections Conf.*, Santa Clara(1993) p.15
10. T.Seidel, "Proceedings of the Sematech 4th Annual Sematech Centers of Excellence(SCOE)", March(1992) p.121
11. H.B.Bakoglu, "Circuits, Interconnections, and Packaging for VLSI", Addison-Wesley(1992) p.204
12. Kasturi L. Chopra, "Thin Film Phenomena", McGraw-Hill, p.183(1973)
13. G.T.Dyos & T.Farrell, "Electrical Resistivity Handbook", IEE Materials & Devices series, p.206(1992)
14. L.Krusin-Elbaum & M.O.Aboelfotoh, *Appl.*

Phys.Lett.58(1991) p.1341

15. L.A.Clevenger,N.A.Bojarczuk,K.Holloway, & J.M.E.Harper, J.Appl.Phys. 73(1992) p.300 16. H.M.Dalal,R.V.Joshi, & H.S.Rathore, IEEE IEDM Technical Digest (1993) p.273

17. J.S.Reid,E.Kolawa,R.P.Ruiz & M.A.Nicolet, "Thin Solid Films", 236 (1993) p.319

18. R.G.Purser,J.W.Strane, & J.W.Mayer, in Materials Reliability in Microelectronics III, edited by Rodbell, B.Filter, H.Frost (Mater.Res.Soc.) Symp. Proc.309, Pitt.(1993) p.33

저자소개

김형택



1959년 10월 8일생. 1983년 2월 건국대학교 전자공학과 졸업. 1985년 5월 Univ.of Notre Dame 공과대학원 전자공학 석사. 1985년 7월-1986년 5월 현대바부리 연구소 근무. 1990년 5월 미국 South Dakota Technology 전자재료

Ph. D. 1990년 8월 건국대학교 공과대학원 전자공학과 강사. 1990년 11월-1992년 4월 삼성 반도체 연구소 선임연구원. 1992년 3월-현재 인천대학교 재료공학과 조교수.

배선기



1950년 4월 9일생. 1976년 숭전대 공대 전기공학과 졸업. 1979년 연세대 산업대학원 졸업(석사). 1989년 광운대학교 대학원 전자재료공학과 졸업(박사). 현재 인천대 공대 전기공학과 교수. 당 학회 학술이사.