

미러용 반사막을 위한 알루미늄 박막의 증착과 그 특성

The Deposition of Aluminum Thin Films for Mirror Reflection Films and Its Properties

김 춘 곤, 정 귀 상
동서공과대학교 전자공학과

Choon-Gon Kim, Gwi-Sang Chung
Dept. of Electronic Eng., Dongseo University of Technology

Abstract - Physical, electrical and optical properties of Aluminum(Al) thin films were investigated in order to establish the optimum sputtering parameters in mirror reflection films. Al thin films deposited on corning glass substrate by DC magnetron sputtering were grown as a variation of the input power, operation pressure and deposition time. The properties of the Al thin films have been discussed by depositon rate, SEM, XRD, sheet resistivity, resistivity and reflectance. Al thin films were obtained at the deposition conditions as follows: operating pressure, 3 mtorr; DC input power desnsity, 3 W/cm².

1. 서 론

일반적으로 금속박막은 electron beam evaporation법으로 형성하고 있지만, electron beam에 의한 radiation damage, 집적 회로의 집적도가 증가와 더불어 소자의 크기가 작아짐에 따라 금속 배선의 선포도 작아져 높은 전류 밀도($\sim 10^6$ A/cm²)에 의해 야기되는 electromigration¹⁾ 그리고 접합 깊이가 얇은 IC구조에서 전극형성시에 Al-Si의 공정합금 반응이 두께 방향으로 진행되어 접합의 전기적인 단락으로 인해 junction spiking²⁾이 발생한다. 이와 같은 문제점들을 Al 합금을 사용함으로써 방지할 수 있다. 그러나 합금은 용융점이 높기때문에 evaporation법으로는 박막 두께 및 성분 조성 조절이 대단히 어렵다.

최근 개발된 스퍼터링법에 의한 박막형성기술은 이상에서 기술한 합금박막형성시 야기되는 문제점들을 해결할 수

있으며 또한 증착율도 evaporation법에 상응한다. 특히, 스퍼터링시 자기장을 인가하며 자기장에 의해 플라즈마가 집중되어 스퍼터링의 효율이 증가될 뿐만 아니라 또한 기판에 충돌하여 온도를 높이는 하전입자를 줄여서 박막의 특성이 개선된다. 스퍼터링법중에서 마그네트론 스퍼터링법은 일반적인 스퍼터링법보다 더 낮은 기판온도, 낮은 압력에서 양질의 박막을 형성할 수 있다.³⁾

향후 자동차기술은 인간중심의 바탕을 둔 기술로 진보할 것이며 특히, 안정에 대한 사회적 요구로 안정성에 큰 비중을 차지할 것이다. 최근에는 고도로 발달한 박막형성 기술을 일반 코팅(coating) 산업분야에 응용하려는 움직임이 활발히 전개되고 있다. 수많은 분야중에서도 고품질의 자동차용 미러 제작에 박막형성기술을 응용하고 있다.

본 연구에서는 DC 마그네트론 스퍼터링법으로 corning glass기판에 입력 power, Ar 가스의 압력, 증착시간에 따라 Al 박막을 증착한 후, 이들의 물리적, 전기적 그리고 광학적 특성을 조사하였다.

2. 실 험

본 연구에서는 DC 마그네트론 코스퍼터링 장치으로 순도가 98 %인 Al target 그리고 99.99 % 이상의 고순도 Ar 가스를 이용하여 Al 박막을 corning glass기판에 증착하였다. 이때 Ar 가스유량 및 기판온도는 각각 80 sccm, 200 °C로 고정했다. 증착 전 초기 진공은 5×10^{-6} torr 이하로 하였다. 본 스퍼터링(main-sputtering)전에 예비 스퍼

터링(pre-sputtering)을 하여 target 표면의 산화 및 오염 물질을 제거하며 잔류가스의 방출 및 플라즈마를 안정시켰다. 10분간의 예비 스퍼터링 후 shutter를 열어 박막을 증착시켰다.

증착된 Al 박막의 물리적, 전기적, 광학적 특성은 α -step, 4-point probe, SEM, XRD 그리고 UV-VIS-IR Spectrophotometer을 사용하여 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

1) 물리적 특성

1.1. 증착율

α -step으로 박막의 두께를 측정하여 증착 조건에 따른 Al 박막의 증착율을 조사하였다. 그림 1은 Ar 가스 압력 3 mtorr일때, 입력 power(1 W/cm² ~ 9 W/cm²)에 따른 증착율의 변화를 나타낸 것이다. 결과로부터 증착율은 Ar 가스 압력에 관계없이 입력 power의 증가에 따라 선형적으로 비례함을 알 수 있다. 증착율 증가의 원인중의 하나로 스퍼터링 yield의 증가를 들 수 있다. 스퍼터링 yield는 스퍼터링 현상을 기술하는데 중요한 양으로써 target면에 외부에서 n_1 개의 입자가 충돌할 경우, n_2 개의 원자가 스퍼터되어 방출되는 양으로 입사 입자 1개당 방출되는 target 원자의 수이다. 스퍼터링 yield는 첫째로 target에서의 이온-전류 밀도에 의해 결정된다. 즉, 이온-전류 밀도의 증가로 인해 더 많은 양의 이온이 음극에 입사하여 스퍼터링 yield를 증가시킨다. 둘째로, 이온 에너지(voltage)에 의해 결정된다. 전압이 증가하면 target에 충돌하는 Ar⁺ 이온의 평균 에너지가 증가하여 스퍼터링 yield를 증가시킨다. 즉, 스퍼터링 yield가 증가한다는 것은 스퍼터되는 Al 입자가 증가하는 것으로 더 많은 입자가 기판에 증착되어 증착율을 증가시킨다. Magnetron의 특성상 전압과 전류는 독립적으로 제어할 수 없으므로 power를 증가시키기 위해 전압을 증가시키면 전류도 증가하며 전류를 증가시키면 전압도 따라서 증가한다.

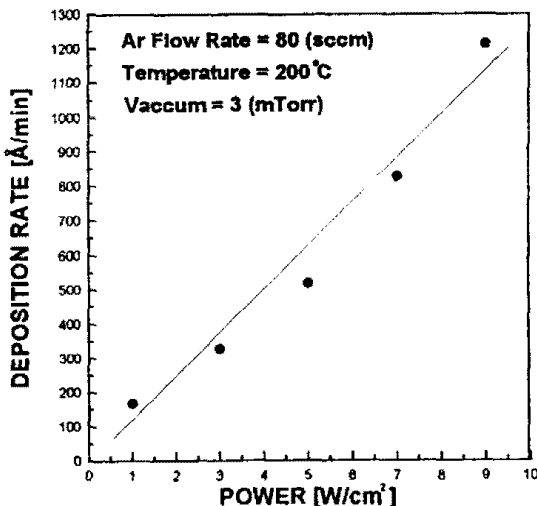


Fig. 1 Variation of deposition rate of Al thin films deposited at increasing power

그림 2는 입력 power가 7 W/cm²일 경우, Ar 가스 압력 (3 mtorr ~ 15 mtorr)에 따른 Al 박막의 증착율 변화를 나타낸 것이다. 결과로부터 Ar 가스의 압력이 증가할 때 증착율이 감소함을 알 수 있다. Ar 가스 압력이 증가함에 따라 Ar⁺ 이온도 비례하여 증가하여 target면에 입사하는 Ar⁺ 이온이 증가하여 스퍼터되는 Al의 입자수를 증가시킨다. 그러나 Ar 가스와 스퍼터된 Al과의 충돌 효과에 의해 실제 기판에 증착되는 실제적인 Al 입자는 줄어들어 증착율은 감소하는 것으로 사료된다.

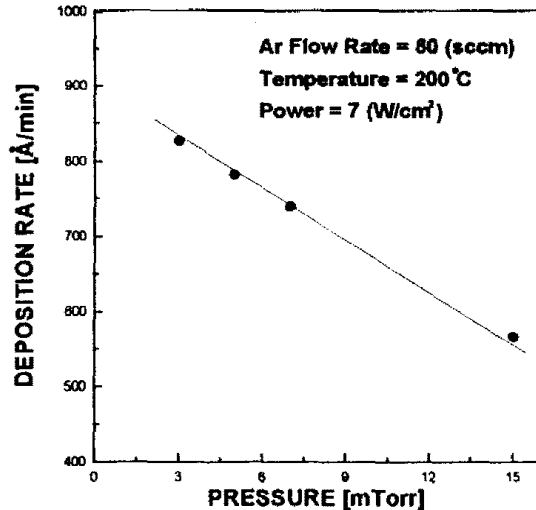


Fig. 2 Variation of deposition rate of Al thin films deposited at increasing Ar pressure

1.2 표면 구조

Al 박막의 미세 표면 구조를 SEM으로 관찰하였다. 그림 3은 Ar 가스 압력이 3 mtorr일 경우, 입력 power에 따른 Al 박막의 표면 구조 변화를 나타내는 SEM사진이다. 입력 power가 증가함에 따라 스퍼터링 yield가 증가하여 막의 두께가 두꺼워지며 그레인의 크기가 커지고 박막의 밀도가 치밀해짐을 관찰할 수 있다.⁴⁾ 또한, 박막은 columnar형태로 성장함을 확인하였다.

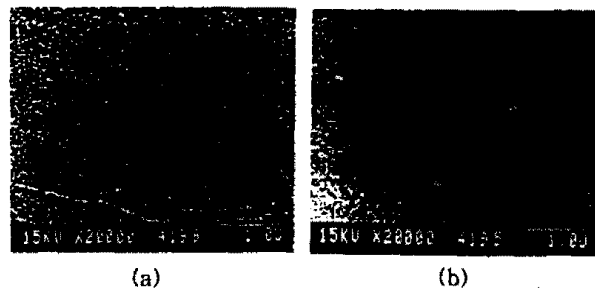


Fig. 3 Observation about variation of grain form according to power (a) 1 W/cm² and (b) 9 W/cm² (Ar pressure : 3 mtorr)

그림 4는 입력 power가 5 W/cm², Ar 가스 압력이 3 mtorr, 7 mtorr경우의 미세 표면 상태를 나타낸 것이다. Ar 가스 압력이 낮은 경우, 스퍼터된 Al 입자가 Ar 가스

와의 충돌이 높은 압력에서 보다 적으므로 증착율이 높아 막이 두꺼워지며, 가스가 박막에 함유될 확률도 줄어들어 grain의 크기가 증가하고 박막이 치밀해지는 것으로 사료된다.

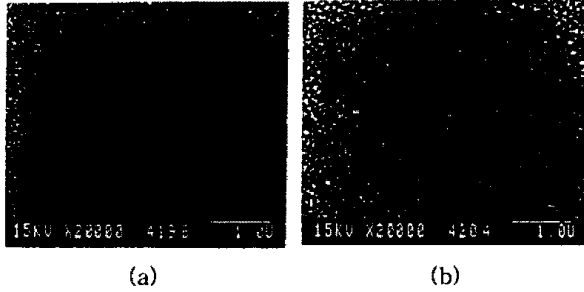


Fig. 4 Observation about variation of grain form according to Ar pressure (a) 3 mtorr and (b) 7 mtorr (power : 5W/cm²)

1.3 결정성

증착 조건에 따른 Al 박막의 결정성 변화를 XRD로 분석하였다. 그림 5는 Ar 가스 압력이 7 mTorr일 경우, 입력 power(3 W/cm² ~ 7 W/cm²)의 변화에 따른 Al 박막의 XRD 패턴을 나타낸 것이다. XRD 패턴은 fcc 결정 상태의 Al에서 주로 나타나는 (111) 배향 방향이 38.5°에서만 나타난다. 또한, 박막에 의한 회절강도가 단결정인 Al에서 나타나는 회절강도와 유사한 값을 가지는 것으로 보아 성장된 박막은 거의 단결정에 가까운 결정성을 가지고 있음을 알 수 있다.

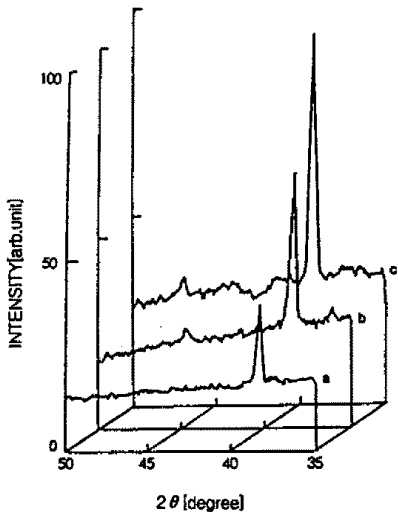


Fig. 5 XRD patterns of Al thin films deposited at various power (a) 3 W/cm², (b) 5 W/cm² and (c) 7 W/cm² (Ar pressure : 7 mtorr)

2) 전기적 특성

먼저 4-point probe으로 면저항을 구한 다음, 막 두께를 곱해서 비저항을 구하므로써 증착 조건에 따른 Al 박막의 전기적 특성 분석하였다. 그림 6은 Ar 가스 압력이 7

mtorr일때, 입력 power(1 W/cm² ~ 9W/cm²)에 따른 Al 박막의 비저항과 면저항의 변화를 나타낸 것이다. 일반적으로 bulk Al의 비저항은 2.7 μΩ·cm이다. 입력 power가 증가할수록 Al 박막의 비저항이 1 W/cm²에서 8.83 μΩ·cm, 9 W/cm²에서 4.85 μΩ·cm로 감소하며 면저항도 0.512 Ω/□에서 0.052 Ω/□으로 감소하였다. 박막 시료의 전기적 특성은 입력 power가 증가할수록 bulk Al 비저항과의 편차가 작아지는 것이 관찰되었다. 이것은 power가 증가하면 기판에 증착되는 Al 입자수가 많아지는 결과가 되고 입자 반경(grain size)이 커져 입자와 입자사이의 접촉면적이 많아져 비저항이 낮아지는 것으로 사료된다.

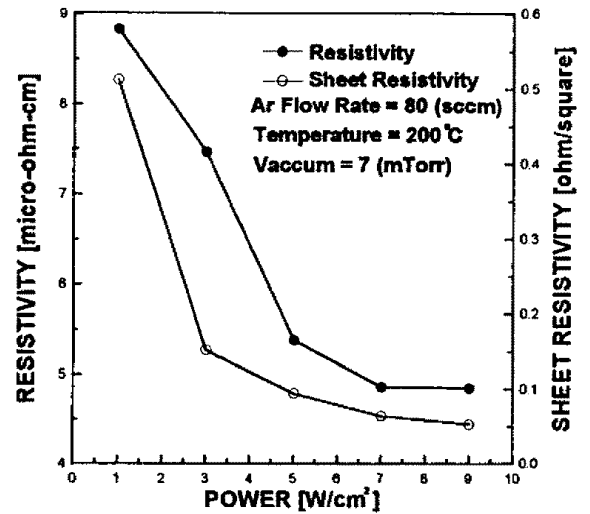


Fig. 6 Variation of resistivity and sheet resistivity of Al thin films deposited at increasing power

그림 7은 입력 power가 5 W/cm² 일때, Ar 가스 압력(3 mtorr ~ 15 mtorr)의 변화에 따른 Al 박막의 전기적 특성 나타낸 것이다. Ar 가스 압력이 증가할수록 Al 박막의 비저항이 3 mtorr에서 4.99 μΩ·cm, 15 mtorr에서 5.67 μΩ·cm로 증가하며 면저항도 0.03 Ω/□에서 0.25 Ω/□로 증가하였다. 이러한 결과는 Ar 가스 압력이 증가하면 증착

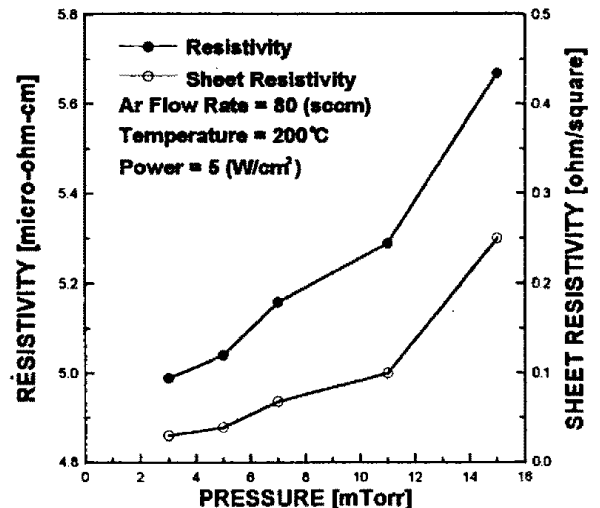


Fig. 7 Variation of resistivity and sheet resistivity of Al thin films deposited at increasing Ar pressure

율이 낮아져 막의 두께가 감소한 것과 더불어 grain size가 작아진다. 따라서 입자사이의 접촉면적이 작아지므로 변저항과 비저항이 증가하는 것으로 사료된다.

3) 광학적 특성

VARIAN UV-VIS-IR Spectrophotometer(Cary 5)를 사용하여 Al 박막의 광학적 특성 분석을 하였다. 측정시 투사파장은 200 nm ~ 2500 nm로 조절했다. 그림 8은 Ar 가스 압력이 3 mtorr일때, 500 nm 파장에서 입력 power (1 W/cm² ~ 9 W/cm²)의 변화에 따른 Al 박막의 반사율 특성 나타낸 것이다. 1 W/cm²일 때 84 %의 반사율을 나타내고 3 W/cm²에서 94 %로 최고를 보이며 3 W/cm²이상에서는 감소하는 현상을 보이고 있다. 1 W/cm²에서보다 3 W/cm²에서 증착된 Al 박막이 치밀하여 반사율이 증가하고 3 W/cm² 이상에서는 힐록과 그레이의 크기와 밀도가 증가하여 표면의 거칠기가 커져 광의 산란 현상의 증가로 인하여 반사율이 떨어 지는것으로 사료된다.⁵⁾

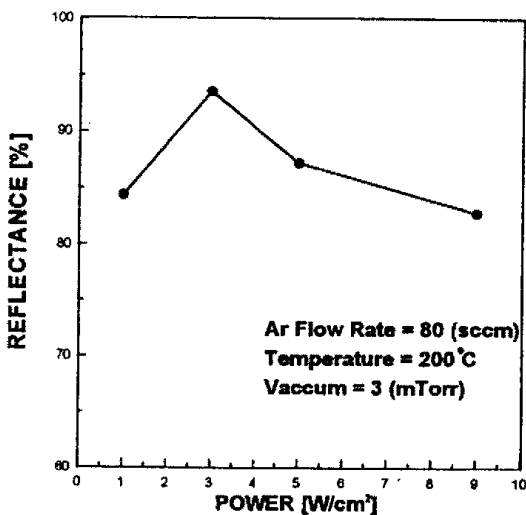


Fig. 8 Variation of reflectance of Al thin films deposited at increasing power

그림 9은 입력 power가 5 W/cm²일때, Ar 가스 압력(3 mtorr ~ 7 mtorr)에 따른 반사율 변화를 나타낸 것이다. Ar 가스 압력의 변화에 따른 반사율은 일정하다. Ar 가스 압력이 증가하면 Al 박막 표면의 힐록의 수는 증가해도 힐록의 크기는 줄어들어 Ar 가스 압력의 변화는 반사율에 영향을 미치지 못하는 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 DC 마그네트론 스퍼터링법으로 Ar 가스 압력, 입력 power 그리고 증착시간을 변수로하여 Al 박막을 증착하는데 있어서, 스퍼터링 조건이 박막의 물리적, 전기적, 광학적 특성에 미치는 영향을 고찰했으며, 이를 통하

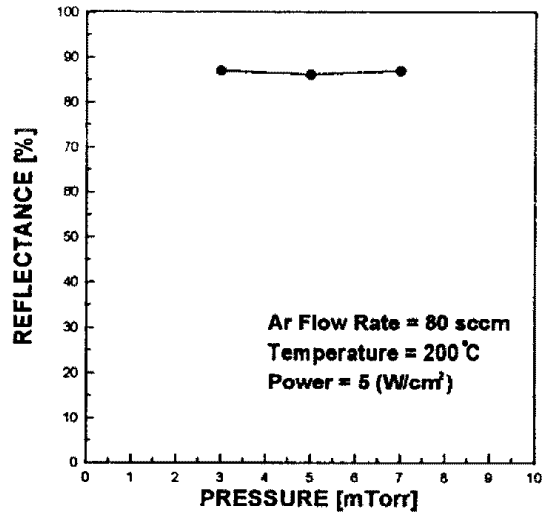


Fig. 9 Variation of reflectance of Al thin films deposited at increasing Ar pressure.

여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 입력 power가 증가할수록 증착율은 선형적으로 증가하지만, Ar 가스 압력이 증가할 때는 증착율은 감소하였다.
- 2) SEM에 의한 표면구조 관찰 결과, 입력 power가 증가하고 Ar 가스 압력이 낮을수록 grain의 크기가 증가하는 것을 알수 있으며 또한, columnar 형태로 성장함을 확인하였다.
- 3) XRD 분석결과, fcc 결정 상태의 Al에서 나타나는 (111) 배향 방향이 38.5°에서 관찰되었다. 입력 power가 증가할수록 XRD 피크의 강도가 증가하지만, Ar 가스 압력이 증가할때는 XRD 피크의 강도가 감소하였다.
- 4) 증착된 Al 박막의 비저항은 입력 power가 증가할수록 감소하며 bulk Al 비저항치인 2.7 μΩ · cm에 접근하였다.
- 5) 500 nm 파장에서 측정된 Al 박막의 반사율은, 입력 power 3W/cm²에서 94%를 나타내었다. 그러나 Ar 가스 압력은 반사율에 거의 영향을 주지 못함을 알 수 있었다.

※ 본 연구는 95년도 동서공과대학교 학술연구비 지원 및 제일전기공업(주)과의 산학협력에 의해 수행되었음.

4. 참고문헌

- 1) K.P. Rodbell et al., J. Appl., Phys., 61, 2844(1987)
- 2) A.C. Adams, Solid State Technol., 24, 178(1981).
- 4) P.S. Mcleod et al., J.Vac. Sci. Technol., 1, 263(1977).
- 3) K.Wasa et al., "Hand Book of Sputter Deposition Technology", Noyes Publications (1992).
- 4) P.S. Mcleod et al., J.Vac. Sci. Technol., 1, 263(1977).
- 5) M.J. Verkerk et al., Appl. Opt. 25, 3602(1986)