

DC Magnetron Sputtering에 의해 증착된 알루미늄 박막의 특성

°표 재확, 연 충규, 황 기웅
서울 대학교 공과대학 전기공학과

The Characteristics of Aluminum Thin Films using DC Magnetron Sputtering

Jae Hwack Pyo, Chung Kyu Yeon, Ki Woong Whang
Department of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract

Aluminum thin films were deposited on glass substrate using DC Magnetron Sputtering. Deposition rate, specular reflectance, and resistivity were investigated as a function of the input power, pressure, substrate temperature, and deposition time. Reflectance was reduced with increasing power, also with prolonging deposition time. Topography of the surface, which influences the properties such as electromigration, was observed from scanning electron microscope (SEM) and there was a close relation between the topography and measured reflectance.

1. 서론

반도체 소자 제작 시 집적회로를 완성하기 위해서는 여러 공정을 거쳐 형성된 각각의 소자들을 전기적으로 연결시켜 주어야 하는데, 이를 금속 공정 (Metallization)이라고 한다. 알루미늄 및 이의 합금 박막은 지금까지 반도체 소자의 금속 배선으로서 가장 널리 쓰여 왔다. 알루미늄은 전기 저항이 매우 낮고 실리콘과 좋은 음성 접촉을 가지며 다른 금속에 비해 에칭 등의 공정이 용이한 점 등, 많은 장점을 가지고 있다[1]. 이러한 금속 막을 형성하는 방법으로는 Sputtering[2], Evaporation, CVD[3]등이 있다. 그 중에서도 Magnetron Sputtering법은 원리가 비교적 간단하고 방전 효율이 좋으며 낮은 압력에서 동작이 가능하고 증착 속도가 타 방법에 비해 높기 때문에 널리 쓰이고 있다. 집적 회로의 집적도가 증가하고 소자의 크기가 작아짐에 따라 금속 배선의 선포도 작아져야 하고 이에 따라 많은 문제점들이 제기되고 있다. 선포가 점점 줄어들면서 높은 전류 밀도($\sim 10^6$ A/cm²)에 의해 야기되는 electromigration[4], 기판과 알루미늄의 선포장 계수의 차이에 의해 형성되는 Hillock[5]등은 많은 연구의 대상이 되어 왔다. 본 논문에서는 DC magnetron sputter를 이용하여 알루미늄 박막을 증착한 후, 증착 속도, 비저항, 반사율 등의 막의 성질을 분석하고 SEM으로 막의 표면을 관찰하였다. 실험에 사용된 변수는 입력 power, 아르곤 가스의 압력, 기판의 온도, 증착 시간이다.

2. 실험

2.1. 실험 장치

실험을 위해 제작된 장치는 평판형 magnetron sputter 로서, 개략도가 그림 1에 도시되어 있다. 타겟은 99.999% 순수 알루미늄이고 직경은 6인치이다. 시스템에는 Load-lock chamber 가 장착되어 Process chamber가 외부로부터 오염되는 것을 방지하고 높은 청정도를 유지할 수 있게 하였고, 기판 지지대 밑부분에 할로겐 램프를 설치하여 기판을 가열할 수 있게 하였

다. 증착시 압력은 throttle valve, sensor, controller에 의한 down-stream 방식에 의하여 일정하게 유지되었다. 방사온도계로 기판의 온도를 측정하기 위해 ZnSe window가 설치되었다.

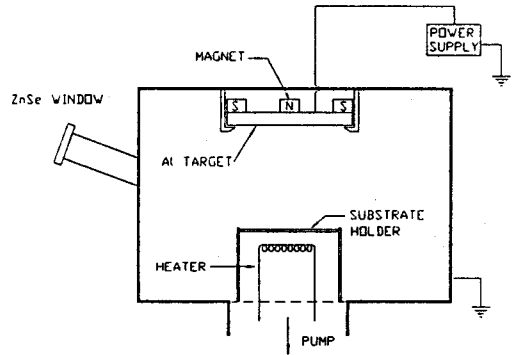


그림 1. 실험 장치의 개략도

2.2. 시편 제작

사용된 기판은 Corning 7059F glass이고 막의 증착에 앞서 기판의 세정은 다음과 같은 절차를 거쳤다;

- ① 기판을 Acetone에 담긴 채 10분간 초음파 세척
- ② DI water로 6분간 세척
- ③ 기판을 Methanol에 담긴 채 10분간 초음파 세척
- ④ DI water로 6분간 세척
- ⑤ N₂ blowing으로 기판 건조

기판의 온도를 측정하기 위해 먼저 기판 위에 장착된 thermocouple을 기준 하여 방사온도계(optical pyrometer)를 보정한 후 실제 증착시에는 방사온도계만으로 온도를 측정하였다. 증착 전 초기 진공은 약 $1\sim 2 \times 10^{-6}$ mbar ($7.5 \times 10^{-7} \sim 1.5 \times 10^{-6}$ Torr)였다.

3. 실험 결과 및 검토

3.1. 증착 속도

증착된 시편을 wet etching하여 막의 두께를 구하고 증착 속도를 계산하였다. 그림 2는 power에 대한 증착 속도의 변화이다. 증착 속도는 power에 선형적으로 비례함을 알 수 있다. 이는 다음과 같이 설명할 수 있다. Magnetron의 선류-전압 특성은 다음과 같은 관계를 가진다[6].

$$I = kV^n, P = IV = kV^{n+1}$$

여기서 I는 음극 전류, V는 음극 전압, P는 입력 power, n은

실험적으로 결정되는 값이다. 즉, power가 증가하면 magnetron의 특성상 전류와 전압이 모두 증가하게 되는데, 전압이 증가하면 음극에 충돌하는 아르곤 이온의 평균 에너지가 증가하고 이에 따라 Sputtering Yield가 증가한다. 또 전류가 증가하면 더 많은 양의 이온이 음극에 입사하므로 결국 증착 속도는 증가하게 된다. 또, power를 고정시키고 압력을 증가시킬 경우가 그림 3에 나와있는데, 스피터된 알루미늄과 아르곤 가스의 충돌 효과에 의해 증착 속도는 감소하였다.

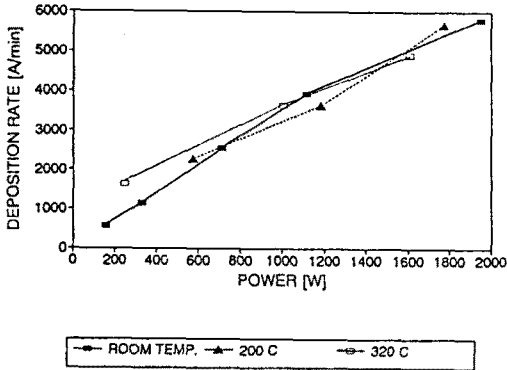


그림 2. 입력 power에 대한 증착 속도의 변화 (압력: 2 mTorr)

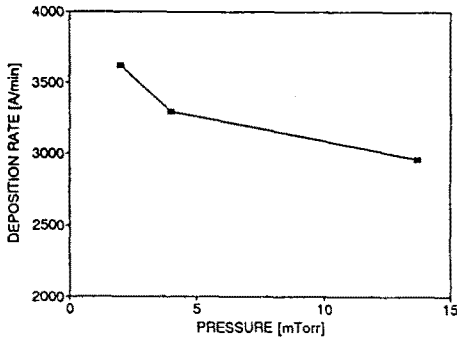


그림 3. 아르곤 가스 압력에 대한 증착 속도의 변화 (1 kW, Room temperature)

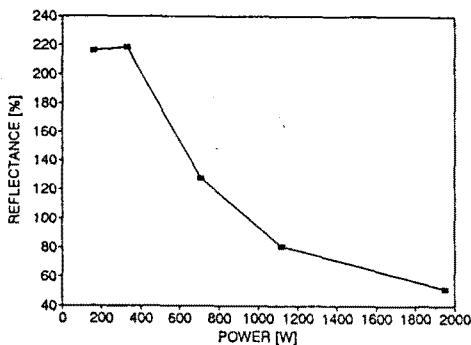


그림 4. power에 대한 반사율의 변화

3.2. 반사율

막에 빛이 수직으로 입사할 경우 막의 표면 상태에 따라 빛은 scattering 되기 때문에 되돌아오는 빛의 양은 막의 형상과 상관 관계를 가진다[7]. 반사율은 Nano-spc으로 측정하였으니 측정된 값은 입사광의 파장이 450 nm이고 Si wafer의 반사율을 100%로 기준하였을 때의 상대적 반사율이다. 그림 4, 5, 6은 각각 power, 아르곤 가스 압력, 증착 시간에 대한 반사율의 변화이다. 압력에 대해서는 반사율이 거의 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. 그러나 입력 power에 대해서는 매우 크게 변화하고 power가 커짐에 따라 반사율은 감소함을 보여준다. 또, 증착 시간이 증가함에 따라 반사율은 감소하였다. 그림 7은 입력 power를 달리하였을 때의 SEM 사진이다. power가 증가할 수록 Hillock의 크기와 밀도가 증가하며 표면의 거칠기가 증가하는 것을 볼 수 있다.

3.3. 비저항

물질의 비저항은 다음의 관계를 가진다:

$$R_s = \frac{\rho}{t}$$

여기서 R_s 는 면저항(Ω /square), t 는 막의 두께(cm), ρ 는 비저항(Ω cm)이다. 먼저 막의 면저항을 Four-point Probe로 측정하고 이 값과 앞서 측정한 막의 두께를 곱해서 비저항을 구하였다. 그림 8, 9는 각각 입력 power, 증착 시간에 대한 비저항의 변화이다. 점선은 bulk 알루미늄의 저항 ($2.7 \mu\Omega$ cm)을 나타내며, power가 증가할 수록, 증착시간이 길어질 수록 비저항은 $2.7 \mu\Omega$ cm에 접근하였다.

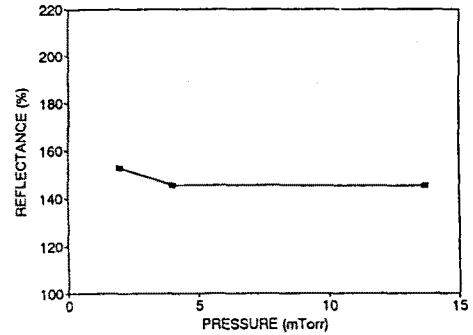


그림 5. 아르곤 가스 압력에 대한 반사율의 변화

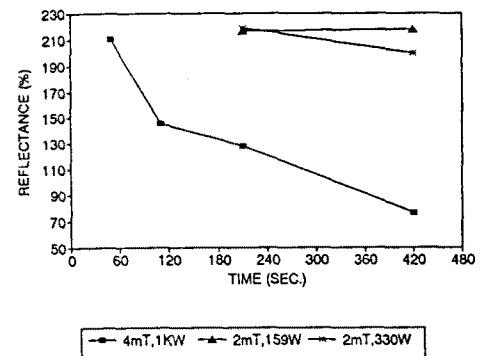


그림 6. 증착 속도에 대한 반사율의 변화 (1 kW, 4 mTorr)

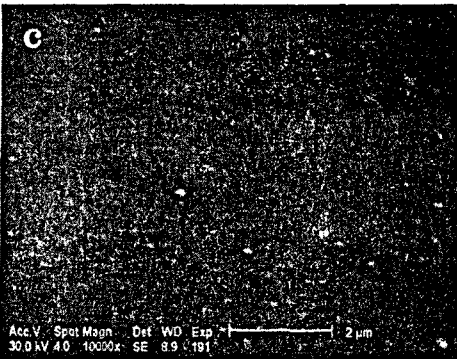
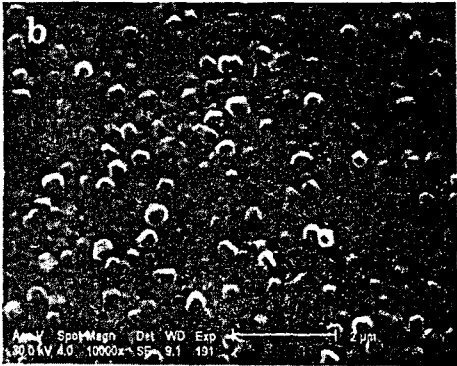


그림 7. power에 따른 막의 표면
a) 2 kW b) 330 W c) 160 W

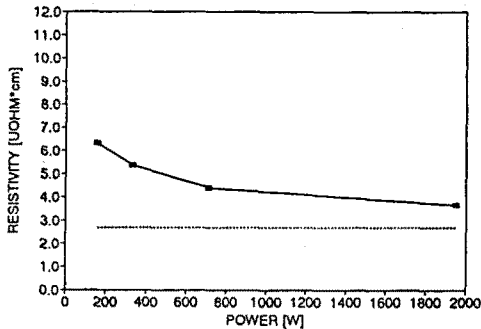


그림 8. power에 따른 비저항의 변화

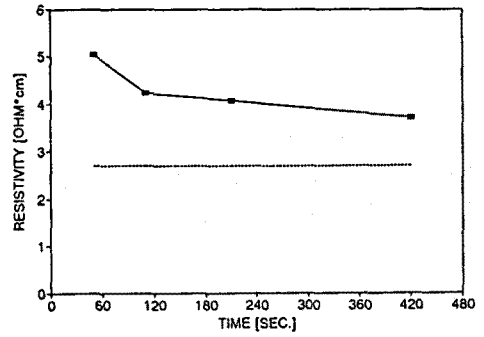


그림 9. 증착 속도에 대한 비저항의 변화

4. 결론

DC magnetron sputter를 이용하여 알루미늄 박막을 증착하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 증착 속도는 모든 온도 범위에서 입력 power에 선형적으로 비례하였다.
- 2) 반사율은 입력 power가 증가할수록, 증착 시간이 길어질수록 저하되었다. hillock의 크기와 밀도는 반사율이 저하될수록 증가하였다.
- 3) 비저항은 입력 power가 증가할수록, 증착 시간이 길어질수록 낮아져서 bulk 알루미늄의 비저항에 가까워졌다.

참고 문헌

- [1] Sze, "VLSI Technology", Mc-Graw Hill (1988)
- [2] P. S. McLeod and L. D. Hartsough, J. Vac. Sci. Technol. 14, pp. 263 (1977)
- [3] 이 경일, 서울대학교 금속공학과 박사 학위 논문 (1993)
- [4] K.P. Rodbell, M.V. Rodriguez, and P.J. Ficalora, J. Appl. Phys. 61, pp. 2844 (1987)
- [5] Ulf Smith, J. Vac. Sci. Technol. A 9 (4), pp. 2527 (1991)
- [6] J. L. Vossen and W. Kern, "Thin Film Processes", Academic (1978)
- [7] Maarten J. Verkerk and Ivo J. M. M. Raaymakers, Appl. Opt., 25, 3602 (1986)