

스퍼터링법으로 제조한 타이타늄 박막의 전기적 및 구조적 특성

Electrical and structural properties of Ti thin films by sputtering

김영준, 박중윤, 정운조, 박계춘, 이진

(Young-Jun Kim, Jung-Yun Park, Woon-Jo Jeong, Gye-Choon Park, Jin Lee)

Abstract

Ti films were deposited onto 100×100 mm alumina substrates using dc magnetron sputtering under the following conditions; substrate temperature of R.T.~400 °C, annealing temperature of 100~400 °C and sputtering gas pressure of $1.3\sim 3.0\times 10^{-2}$ Torr. And the films were examined by X-ray diffraction analysis (XRD), scanning electron microscopy(SEM) and 4-point measurement system. The best electrical and structural properties obtained by substrate temperature of ~200 °C, target-substrate distance of ~14 cm and sputtering pressure of $1.3\sim 1.7\times 10^{-2}$ Torr. Also at that condition the most excellent adhesion was observed.

Key Words : Ti, Titanium, thin film, sputtering

1. 서론¹⁾

레이저, 스위칭 소자, 라우팅 소자, 수광소자 등과 같은 광전자 디바이스는 동작온도에 있어서 상당한 주의가 요구된다. 특히 레이저 디바이스에 있어서 동작온도의 변동은 중심파장의 천이, 문턱치 전류와 출력 전력의 변화를 초래하게 되어 결과적으로 시스템의 성능이 저하하게 된다. 따라서 레이저 등과 같은 광전자 디바이스에서는 동작온도의 안정성을 위하여 통상 열전냉각 소자(Thermoelectric coolers; TE)를 사용하게 되는데, 이러한 TE와 광전자 디바이스를 집적화해서 패키징할 때 모 기판재료의 선택이 중요하게 된다. 열전도도의 측면에서 볼 때 이러한 Optical platform 기판 재료로는 Alumina, Sapphire, AlN, SiC 등이 사용되고, 전기전도성을 부여하기 위해 Metallization을 하게 된다. 광전자 디바이스의 전도성 재료로는 Au 박막이 주로 사용되는데, Au 박막은 비저항이 낮고 내식성이 강하며, 화학적으로 안정하다는 장점 때문에 전자산업에 있어서 널리 이용되고 있다.

그러나 Au 박막은 세라믹 등의 절연성 기판에 잘 부착되지 않는다. 부착력(adhesion)은 박막의 내구성을 평가하는 중요한 인자가 되는데, 이를 극복하기 위하여 기판과 Au 박막 사이에 adhesive layer로서 Ti, Cr, Ni 박막을 입히게 된다. 또한 이러한 adhesive layer는 패키징 공정중 soldering이나 wire bonding 등을 행할 때 인가되는 높은 온도에서도 강한 부착력을 유지해야되고, 이를 위해서는 adhesive layer를 형성하는 공정변수들과 그 전기적, 구조적인 특성과의 상관 관계가 규명되어야 할 것이다.

본 연구에서는 알루미늄 기판상에 adhesive layer로서 Ti를 선택하여 DC magnetron sputtering으로 Ti 박막을 형성하였고, 기판온도, 스퍼터링 압력, 열처리 조건에 따른 Ti 박막의 전기적, 구조적 특성 및 알루미늄 기판과의 부착력을 고찰하였다.

2. 실험

실험에 사용된 스퍼터링 시스템은 약 3,000 Gauss의 magnet이 부착된 magnetron sputtering 장치로서, 저진공은 로타리 펌프, 고진공은 Turbo molecular pump를 사용하여 초기 진공도는 약 8×10^{-7} Torr까지 도달된다.

목포대학교 전기공학과
(전남 무안군 청계면 도림리 61,
Fax: 061-470-1689
E-mail : yjunk718@hanmail.net

Ti 박막 증착시 최적 조건을 도출하기 위해 기판 온도(R.T.~400 °C), 가스 압력(13~30 mTorr) 및 열처리 온도(100°C~400°C)를 변화시켰다. 기판은 Alumina(100×100mm)를 사용했으며, Ti 박막의 두께 균일성을 위해 기판과 타겟 사이의 거리는 약 14 cm 로 하여 평행하게 배치하였고 약 6 rpm의 속도로 기판 홀더를 회전시켰다. 이때 원하지 않는 조건에서 스퍼터 되는 것을 방지하기 위해 기판과 타겟 사이에 셔터를 설치하였다. 각 스퍼터 조건에서의 증착물은 두께 컨트롤러(STM-100/MF, Sycon)를 사용하여 조절하였고, 보다 정확한 두께 보정을 위해 단면 형상 측정 장치(Dektak 3, USA)로 확인하였다. Ti 박막의 부착력은 와이어 본딩 테스트 법을 사용하였고, 저항률은 4-point probe system(SR3000, Chang-Min Tech.)을 사용하여 상온에서 측정하였다. 시편의 비대칭성과 전극 접촉부의 불균일성의 영향을 줄이기 위해 시편의 각 위치에 따른 저항을 10회 반복 측정하여 그 평균값을 취하였다. 또한 Ti 박막의 결정성을 고찰하기 위해 XRD(D/Max- 2400, Rigaku)와 SEM(S3500, Hitachi)분석을 하였고 측정된 저항값과 부착력과의 관계를 비교 분석하였다.

표 1. 스퍼터링 조건.

Table 1. Sputtering condition.

DC Power	-230V, 800mA
기판온도	R.T., 100°C~400°C
스퍼터링 압력	1.3×10^{-2} Torr~ 3.0×10^{-2} Torr
열처리 온도	100°C~400°C

3. 결과 및 고찰

3.1 Ti 박막의 전기적 특성

그림 1은 약 1,000 Å 두께인 Ti 박막의 기판온도에 대한 면저항의 변화를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 실온에서는 다소 높은 약 550~750 Ω/square의 면저항이 나타나다가, 기판온도 100 °C 이상에서는 급격히 감소하여 작게는 약 23 Ω/square 까지 나타나고 있다. 또한 기판온도 100 °C까지는 기판표면 저항값의 구배가 심하게 나타나다가 200 °C 이상에서는 거의 구배가 없는 Ti 박막을 얻을 수 있었다. 이는 큰 에너지를 가지고

타겟 표면으로부터 떨어져 나온 스퍼터 입자가 기판까지 도달하는 동안 그 에너지의 상당량이 소실되었고, 그 결과 치밀하지 못하고 균일하지 못한 Ti 박막이 형성될 수밖에 없었다고 생각되며, 이를 방지하기 위해서 외부에서 추가로 기판표면에 열 에너지를 공급하였고 그 결과 Ti 입자가 충분한 에너지를 가지고 기판 표면상을 표류하다가 제 위치에 정착되게끔 하였다.

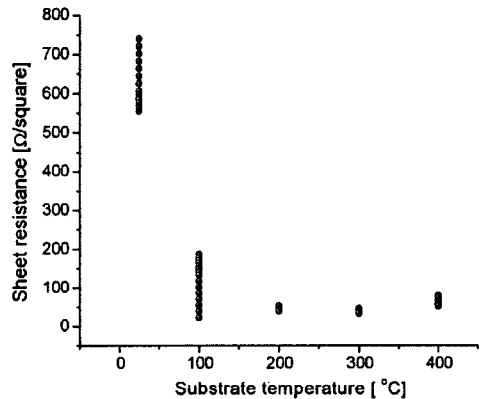


그림 1. Ti 박막의 기판온도에 따른 면저항.

Fig. 1. Sheet resistance of Ti thin film by substrate temperature.

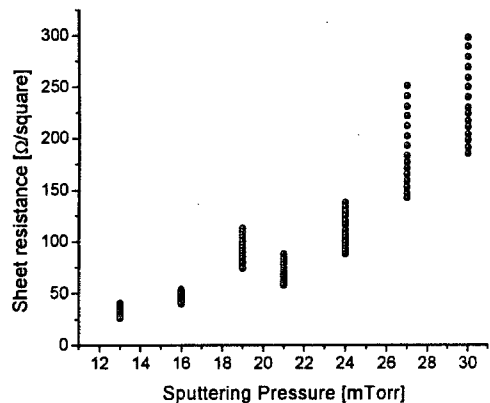


그림 2. Ti 박막의 스퍼터링 압력에 따른 면저항.

Fig. 2. Sheet resistance of Ti thin film by sputtering pressure.

그림 2는 스퍼터링 압력을 변화시켰을 때 Ti 박막의 면저항 분포를 나타내었는데, 압력이 증가할 수록 면저항은 거의 비례해서 증가하는 추세를 나타내고 있고, 특히 27 mTorr 이상의 스퍼터링 압

력에서는 저항값의 구배 또한 심하게 나타났다. 이러한 현상이 나타나는 이유는 스퍼터된 입자가 기판까지 도달하는 동안 Ar^+ 이온들과 충돌을 반복하게 되는데, 스퍼터링 압력이 높을수록 충돌 횟수는 증가하게 되고 결국 기판 표면에 도달하였을 때에는 Ti 입자의 에너지가 상당량 감소한 상태에서 정착하게 되어 양질의 박막이 얻어질 수 없다고 생각된다.

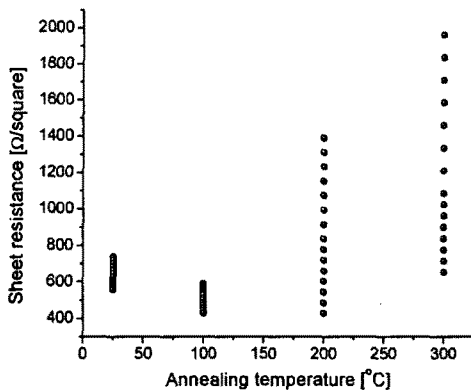


그림 3. Ti 박막의 열처리 온도에 따른 면저항.
Fig. 3. Sheet resistance of Ti thin film by annealing temperature.

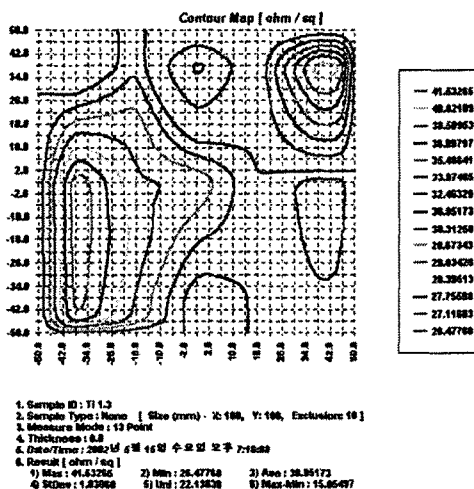


그림 4. Ti 박막의 면저항 분포도.
Fig. 4. Sheet resistance of Ti thin film. ($T_s=200$ °C, sputtering pressure= 1.3×10^{-2} Torr)

그림 3의 샘플들은 기판온도를 가하지 않고 형성된 Ti 박막을 전기로에서 100 °C 간격으로 열처리한 결과이다. 약 100 °C 정도의 열처리 온도에서는 면저항이 약간 감소하는 듯하다가 200 °C 이상에서는 면저항이 현저히 증가하고 있는데, 이는 고온에서 Ti의 표면에 산소가 흡착된 것이라 사료되며 400 °C 이상의 열처리 온도에서는 기판상의 Ti가 거의 증발되어 면저항을 측정할 수 없었다.

이상의 결과로부터 양질의 Ti가 얻어지기 위해서는 약 200 °C 정도의 기판온도 그리고 약 $1.3 \sim 1.7 \times 10^{-2}$ Torr의 스퍼터링 압력이 적정 조건인 것으로 판명된다. 그림 4는 이러한 조건에서 측정된 Ti 박막의 면저항 분포도이다.

3.2 Ti 박막의 구조적 특성

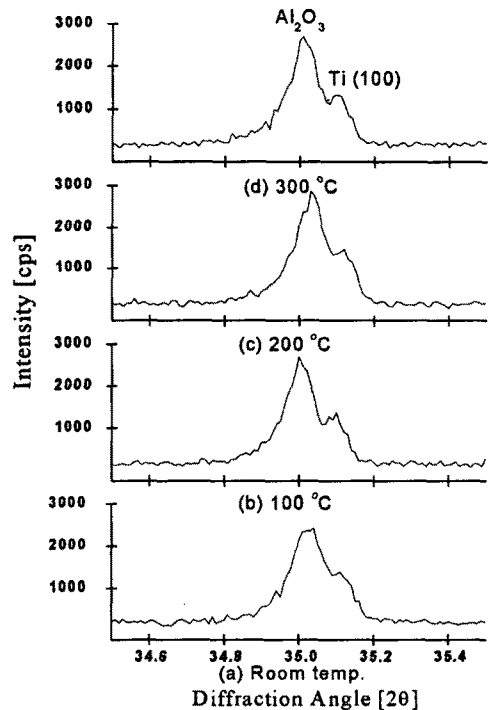


그림 5. Ti 박막의 기판온도에 따른 XRD 패턴.
Fig. 5. X-ray diffraction patterns of Ti films by substrate temperature.

Ti 박막의 기판온도에 따른 구조적 특성을 살펴보기 위하여 XRD 분석을 하였고, 그 결과를 그림 5에 나타내었다. Ti은 박막으로 성장되었을 때 기판온도 및 가스 압력 등의 증착 조건에 따라 (100)면 또는 (002)면이 강하게 성장된다고 보고되고 있

는데, 본 연구에서는 (002)면보다 (100)면이 두드러지게 성장되었음을 알 수 있다. Ti 박막이 알루미늄이나 기판 상에 성장되었기 때문에 그 결정 배향성이 명확히 나타나지는 않았지만, 회절각을 좁은 범위로 세분해서 표현하면 특정한 방향의 결정면 성장 정도는 구분해 낼 수 있었다. 그림 5에서 보는 바와 같이 실온에서보다 100 °C 이상의 기판온도에서 (100)면의 성장이 두드러짐을 알 수 있고, 이는 치밀하면서 균일한 Ti 박막이 형성되기 위해서는 추가적인 에너지원이 필요하다고 예측한 앞서의 면저항 측정결과와 일치하는 양상을 보여주고 있다.

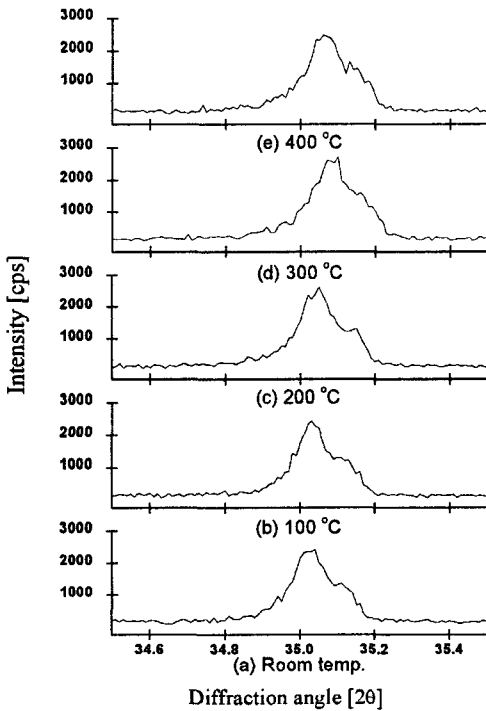


그림 6. Ti 박막의 열처리 온도에 따른 XRD 패턴.
Fig. 6. X-ray diffraction patterns of Ti films by heat-treatment temperature.

이러한 결과로 미루어 볼 때 증착 도중이 아닌 증착된 후에 전기로에서 열처리를 한 경우에도 비슷한 결과가 나오지 않을까 하는 추론을 할 수 있었으며, 이를 확인하기 위하여 실온에서 증착된 Ti 박막을 100 °C ~ 400 °C 온도로 대기중에서 100 °C 간격으로 열처리하였고 XRD 분석 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 열처리한

경우의 Ti 박막의 (100)면은 열처리하지 않았을 때에 비해 변화가 거의 없었거나 혹은 오히려 결정성이 나빠졌음을 볼 수 있다. 이는 열처리하는 과정에서 대기중의 산소가 Ti 박막에 흡착되면서 그 결정성이 변화되었을 것이라고 생각되며, 향후에 정밀한 성분분석이 필요할 것이다.

3.3 Ti 박막의 미세구조

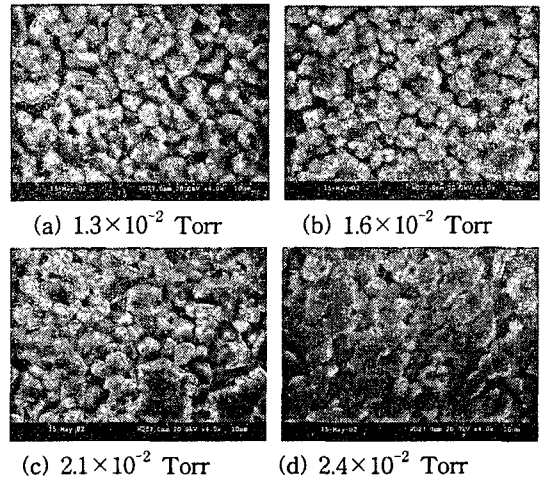
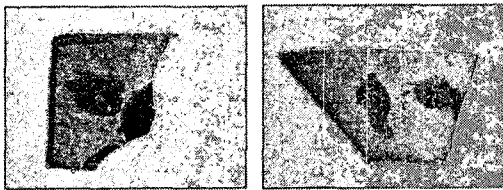


그림 7. Ti 박막의 스퍼터링 압력에 따른 SEM 사진.
Fig. 7. SEM photographs of Ti films by sputtering pressure.

Ti 박막의 미세구조를 살펴보기 위해 기판온도, 가스압력 및 열처리 온도에 따른 SEM 분석을 하였는데, 실험에 사용된 알루미늄 기판이 다결정 구조이고 증착된 Ti 박막이 알루미늄 기판의 grain 형상을 따라 성장되는 관계로 Ti 박막의 표면 형상은 스퍼터링 변수에 크게 의존하지 않았다. 다만 그림 7에서 보는 바와 같이 가스압력을 다르게 하였을 경우에 Ti 박막의 결정입계(grain boundary) 형상에 차이를 발견할 수 있었는데, 2.1×10^{-2} Torr 이상의 압력에서는 결정입계가 분명하지 않고 크기가 작은 grain들이 난립하고 있음을 볼 수 있었다. 이러한 현상이 나타나는 이유는 스퍼터된 입자가 기판까지 도달하는 동안 Ar^+ 이온들과 충돌을 반복하게 되는데, 스퍼터링 압력이 높을수록 충돌 횟수는 증가하게 되고 결국 기판 표면에 도달하였을 때에는 Ti 입자의 에너지가 상당량 감소한 상태에서 정착하게 되어 각 grain들의 양호한 성장이 어렵기 때문이라 생각된다.

3.4 Ti 박막의 부착력 테스트

이상의 결과로부터 양질의 Ti가 얻어지기 위해서는 약 200 °C 정도의 기판온도 그리고 약 $1.3 \sim 1.7 \times 10^{-2}$ Torr의 스퍼터링 압력이 적정 조건인 것으로 생각되는데, 본 연구의 목적은 제조된 Ti 박막이 알루미늄 기판과 강한 부착력을 갖는 것이므로 인장력 테스트(Pull-Test)를 시행하였다. 이를 위해 먼저 Ti 박막 위에 Au 박막을 스퍼터링하였고, 시험용 wire를 땀납으로 접착시킨 다음 Pull-Test를 하였다. 그림 8(a)는 실온에서 1.7×10^{-2} Torr의 압력으로 증착한 샘플로 Ti/Au 박막이 쉽게 기판과 분리되었고, 이에 반해 그림 8(b)는 동일한 압력으로 200°C의 기판온도에서 성장된 샘플로 Ti/Au 박막의 분리 현상은 전혀 발견되지 않아 뛰어난 부착력을 가지고 있음을 알 수 있었다.



(a) R.T. (b) 200 °C subs. temp.

그림 8. Ti 박막의 부착력 테스트.

Fig. 8. Adhesion-Test of Ti thin film.

4. 결론

본 연구에서는 알루미늄 기판상에 adhesive layer로서 Ti를 선택하여 DC magnetron sputtering으로 Ti 박막을 형성하였고, 기판온도, 스퍼터링 압력, 열처리 조건에 따른 Ti 박막의 전기적, 구조적 특성 및 알루미늄 기판과의 부착력을 고찰하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) Ti 박막의 전기적, 구조적인 특성으로부터 최적의 Ti 스퍼터링 조건은 약 200 °C의 기판온도, 약 14 cm의 타겟-기판간 거리 및 약 $1.3 \sim 1.7 \times 10^{-2}$ Torr의 스퍼터링 압력으로 생각된다.
- (2) 위와 같은 스퍼터링 조건에서 형성된 Ti 박막이 또한 뛰어난 부착력(adhesion)을 보이고 있어, 부착력과 박막의 전기적, 구조적 특성은 서로 밀접한 관계임을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Y.Hoshi, E.Suzuki and H.Shimizu, "Control of crystal orientation of Ti thin films by sputtering", *Electrochimica Acta*, Vol.44, p.3945, 1999.
- [2] D.H.Ko, E.H.Kim and H.D.Lee, "micro-structure analyses of the titanium films formed by ionized sputtering process", *Thin solid Films*, Vol.340, p.13, 1999.
- [3] P.Oberhauser and R.Abermann, "Influence of substrate properties on the growth of titanium films", *Thin Solid Films*, Vol.350, p.59, 1999.
- [4] T.Sonoda, A.Watazu and K.Naganuma, "Coating of superplastic Ti-alloy substrate with Ti and Ti-O films by magnetron DC sputtering", *Thin Solid Films*, Vol.386, p.227, 2001.
- [5] D.G.Ivey, S.Ingrey, J.P.Noel and W.M.Lau, "Microstructural study of Ti/Pt/Au contacts to p-InGaAs", *Material Sci. and Eng.*, Vol.B49, p.66, 1997.