

원자두께 감도의 초고감도 스트레스측정 시스템

Monolayer-resolution *in situ* stress measurement system using a non-contact displacement fiber sensor

김영석, 정종률, 신성철
 한국과학기술원 물리학과
 s_kys@cais.kaist.ac.kr

최근 첨단기술의 발달은 주로 반도체, 초전도체, 자성체, 전자소자, 자기소자, 열소자 등 많은 첨단소재들의 개발에 기인된 것이며, 이러한 첨단소재들은 대개 박막의 형태로 제작되고 있다. 특히 기능이 뛰어난 신소재를 만들기 위해서는 박막을 원하는 두께와 크기로 만들어야 하는데 여기에는 많은 문제가 있다. 그 가운데서도 박막을 제조할 때 생기는 스트레스가 고품질 박막제조에 큰 걸림돌이 되고 있다. 스트레스는 모든 박막에서 항상 발생하는 피할 수 없는 문제이며, 과도한 응력은 박막의 깨짐(cracking)을 야기시키고, 과도한 압축력은 박막의 벗겨짐(buckling)을 일으킨다. 또한, 박막의 스트레스는 박막의 광학적, 전기적, 자기적 성질을 심각하게 변화시킬 수 있다[1]. 따라서, 박막제조시의 스트레스를 정확히 측정하고 그 영향을 분석하는 것은, 양질의 박막을 제조하는데 매우 유용한 자료가 될 뿐만 아니라, 박막의 소자응용시 신뢰성을 향상하고, 나아가 제품의 생산율을 제고하는 중요한 기술이라 하겠다.

스트레스는 증착조건, 기판과 박막사이의 열팽창계수 차이, 격자 불일치등과 같은 여러가지 요인들에 의해 발생하는데, 이러한 스트레스의 요인을 분석하기 위하여, 원자 한층의 스트레스도 측정할 수 있을 정도로 민감한 스트레스 측정장치가 필요하다. 본 연구에서 사용한 실시간 비접촉 변위장치의 구성을 그림 1에 나타내었다. 기본적으로 Y 자형 비접촉 변위장치[2-4]는 광원에서 빛을 전달하는 "입사용 광섬유"와, 시료에서 반사되는 빛을 받아들이는 "수신용 광섬유"로 구성되어 있다. 이와 같이 인접한 광섬유쪽을 이용하여 반사되는 빛의 양을 측정함으로써, 시료에서부터 광섬유쪽까지의 변위를 측정할 수 있다. 만약 광섬유쪽이 시료의 표면에 접촉하고 있으면, 반사되는 빛은 전혀 없다. 광섬유쪽이 시료의 표면에서 떨어짐에 따라, 입사용 광섬유가 비추는 면적은 늘어나게 되며, 수신용 광섬유에 들어오는 빛의 양도 많아지게 된다. 이때, 거리에 따른 빛의 양은 선형적으로 증가하게 된다. 이 부분은 거리의 변화에 따른 빛의 양 변화가 급격히 이루어지므로, 정확한 변위 측정은 이 초기 기울기를 이용하게 된다. 거리

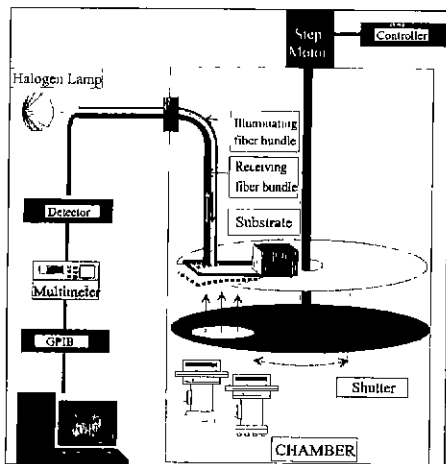


그림 1. 스트레스 측정시스템 개략도

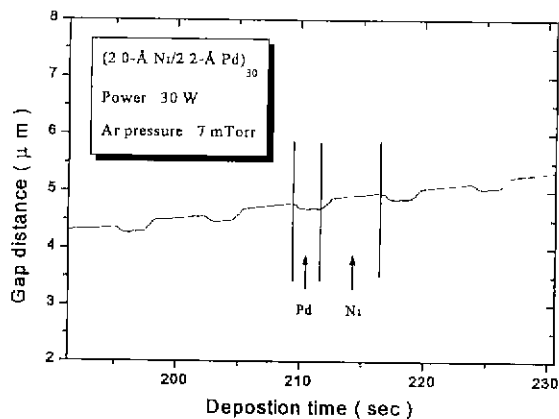


그림 2. Ni/Pd 다층박막에 대한 스트레스 측정결과

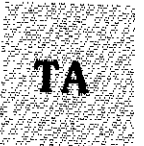
가 증가하여 입사용 광섬유 빛의 cone edge에서 반사된 빛이 수신용 광섬유 끝에 걸릴 때 반사된 빛은 최대가 된다. 이 후로는 반사된 빛의 양은 거리에 반비례하여 작아지게 된다. 원칙적으로 광섬유 두 가닥으로도 이런 system을 만들 수 있으나, 반사빛의 양을 늘리고 특성곡선의 초기 기울기를 증가시키기 위해 광섬유 다발을 사용하게 된다.

본 연구에서 비접촉 변위장치로 쓰인 광섬유는 core의 지름이 $50 \mu\text{m}$, cladding 지름이 $125 \mu\text{m}$ 인 multimode 광섬유이다. Probe 몸체로는 내경 1 mm의 모세관을 사용했으며, 40 가닥의 광섬유를 close packing 하였다. 이때 광섬유를 고정시키기 위해 Norland사의 UV epoxy 81을 사용하였고, probe 표면은 SeO_2 로 연마하였다. close packing된 probe의 끝단을 현미경으로 관찰하면서, 수신용 광섬유와 입사용 광섬유를 배치하였다. 또한, 시료의 표면과 probe사이의 거리를 조절하기 위해서 Differential micrometer (최소눈금 $0.5 \mu\text{m}$)가 부착된 Z-axis translator를 사용했다. 비접촉 변위장치의 광원은 백색광인 할로겐 램프(12 V, 100 W)를 사용하였다. 광원에서 나온 빛은 20가닥의 입사용 광섬유에 launching되며, 수신용 광섬유 20가닥에서 나온 빛은 photodetector로 들어간다. 이때, detector에서 나오는 신호는 dc이므로, 회로상에서 다른 잡음을 없애기 위해, low pass filter를 달았다. 센서부분이 챔버내부로 장착될 때, Torr Seal을 이용하여 feedthrough를 제작하였다.

이렇게 제작한 비접촉 변위장치의 특성곡선을 1000 \AA Al 반사막에 대해 얻었다. 선형구간은 $350 \mu\text{m}$ 에서 $450 \mu\text{m}$ 까지이며, 감도는 $0.0076 \mu\text{m/mV}$ 이다. 박막을 제조할 때 걸리는 스트레스는 박막의 재질과 증착조건에 따라 다르지만, 원자 한층 두께 증착에 의한 변위가 대개 $1 \mu\text{m}$ 내외이므로, 그에 따른 신호 변화는 132 mV 정도이다. 따라서, 제작된 비접촉 변위장치는 원자 한층 두께 증착에 의한 스트레스 측정이 가능할 정도로 충분히 예민하여 박막이 성장하는 동안의 스트레스 변화를 분석할 수 있다.

제작된 고감도 비접촉 변위장치를 Ni 한층과 Pd 두층이 번갈아 쌓이는 다층박막에 적용한 결과를 그림 2에 나타내었다. Ni/Pd 초격자 다층박막의 시료는 두께 $130 \mu\text{m}$, 길이 4 cm, 폭 1.1 cm의 유리판에 dc magnetron sputtering 방법으로 제작되었다. 기관의 한쪽 끝단은 기관 홀더에 고정되어 있고, 다른 쪽 끝단은 자유롭게 움직일 수 있게 되어 있다. 이때 Ni/Pd 다층박막이 증착되는 면의 반대면은 Al 1000 \AA 의 반사막이 형성되어 있다. 스퍼터링시 아르곤 기체가 주입되기 전의 압력은 8×10^{-7} Torr 이하이고, 아르곤 압력은 7 mTorr, gun에 가하는 DC power는 30 W 이다. Ni와 Pd 타겟 순도는 각각 99.99%이며, shutter를 제어하여 기관을 Ni와 Pd 타겟에 번갈아 노출시킴으로써 다층박막을 제조하였다.

Ni은 증착초기에 큰 인장 스트레스를 받고, 원자 한층이 채 쌓이기 전에 보다 작은 인장 스트레스로 변해가며, Pd은 초기에 압축 스트레스를 받다가 인장 스트레스로 변함을 알 수 있다. 이와 같이 증착 초기에 큰 스트레스를 받는 이유는 Ni과 Pd사이의 9.5%의 격자 불일치(mismatch)로 인한 것이다. 격자상수가 상대적으로 큰 Pd은 Ni 위에 쌓이면서 압축 스트레스를 받고, Ni은 Pd위에서 인장 스트레스를 받게 된다. 또한, 원자 한층이 쌓이기 전에 그 크기가 변화하는 것은 각 층의 구조가 결계만남(coherent matching)에서 비결계만남(incoherent matching)으로 전이하기 때문에 생기는 것으로, 이론적으로는 탄성에너지의 증가로 인한 어긋나기(dislocation)의 발생으로 설명할 수 있다. 이와 같이 결계-비결계 전이를 원자 한 층이 쌓일 동안에도 관찰한 것은 종래의 방법으로는 보고된 바가 없으며, 계산된 비결계-결계 전이 두께가 이론적으로 예측된 값과 거의 일치하는 것으로 보아 신뢰성 있는 측정으로 사료된다.



참고문헌

1. Henry Windischmann, "Intrinsic stress in sputter-deposited thin films," *CRC Crit. Rev. in Solid State and Mater. Sci.* 17(6), 547 (1992).
2. Y.-S. Kim and S.-C. Shin, "In-situ stress measurements of Co-based multilayer films," *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, 382, 285 (1995).
3. Y.-S. Kim and S.-C. Shin, "In-situ stress measurements of Co/Pd multilayer films using an optical non-contact displacement detector," *Thin Solid Films*, 258, 128(1995).
4. Y.-S. Kim and S.-C. Shin, "Magneto-elastic effect in Co/Pd multilayer films," *J. Appl. Phys.* 76(10), 6087(1994).