

열증착법에 의한 구리박막의 실시간 응력 거동연구
 In-situ Stress behavior of Cu thin films during thermal evaporation

류 상 , 이경천, 오승근, 김영만
 전남대학교 신소재공학부 재료강도 실험실

초 록 : 박막형태의 소재는 일반적으로 광·전자 및 소재가 공 관련 산업에서 특수한 기능이 요구되는 부품 제조에 광범위하게 응용되고 있다. 이러한 박막 소재는 물성 면에서 벌크물질일 때의 물성과 매우 다를 수 있는 것으로 알려져 있다. 박막에 스트레인이 존재하면 전자의 이동도나 밴드갭 에너지를 변화시켜 줄 수 있으며, 계면의 전위는 소자를 열화 시키는 역할을 하기도 한다. 이러한 이유로 박막 성장 시 실시간으로 스트레인을 관찰하고 이 결과를 실제 제조공정에 피드백 하여, 소자의 신뢰성을 확보하는 노력이 행해지고 있다. 구리박막의 실시간 응력거동은 F. Spaepen에 의해 보고된 초기 압축응력, 인장응력, 2차적으로 나타나는 점진성의 압축응력의 독특한 3단계 응력거동으로 나타나는 것으로 알려져 있으며, 본 실험에서는 박막증착도중 단시간 증착을 중단한 이후 재 증착을 하여 응력거동을 관찰함으로써 독특한 3단계 응력거동의 메커니즘을 알고자 하였다.

1. 서 론

많은 반도체 소자의 경우, 기판 위에 기판과 물질이 다른 이종에피 (heteroepitaxial) 박막을 성장시켜 소자를 구현하고 있다. 박막은 초기에 기판의 격자상수에 부합하도록 기판 위에 부정규형 성장을 하게 되는데, 이때의 박막은 자신의 고유 격자상수를 가지지 못하여 스트레인을 받게 되고, 변형 에너지가 축적되게 된다. 이러한 금속 필름의 스트레스의 발생은 박막이 증착되는 동안 다중광 측정장치를 통해 관찰하고 있다. F. Spaepen에 의해 보고된 독특한 3가지 응력거동인 초기 압축응력, 인장응력, 2차적으로 나타나는 압축응력은 구리 박막이 증착되는 동안 두께(증착시간)에 비례하여 관찰되고 있다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

본 실험의 장치는 진공 열증착법(thermal evaporation)과 X, Y로 정렬되는 레이저 반사장치로 구성되어 있으며, 반사되는 레이저 포인트들의 변화는 증착되는 동안 응력의 변화를 즉시 그래프로 변환하여 나타난다. 기판은 4인치 Si(100)웨이퍼를 사용하였고, 증착 중에 곡률 반경을 더욱 민감하게 측정하기 위하여 웨이퍼 두께를 100 μ m가 되도록 양면 연마하였다. 열증착기 챔버 내부의 압력은 2 $\times 10^{-5}$ torr이하로 유지 시켰으며, 이어지는 모든 실험은 이와 동일한 압력에서 진행되었다. 챔버 내부 온도는 상온으로 유지하였고 기판과 구리를 담은 보트 사이의 거리는 약 32cm로 항상 일정하게 유지하였으며, 구리 펠렛(99.99%)을 텅스텐 보트(폭1cm \times 길이10cm)에 장입하기 전에 미리 무게를 측정하고 항상 같은 양(Cu-5.15g)이 장입되게 하였다. 박막 증착도중에 증착을 중단시켰을 때 스트

레인 변화량을 측정하기 위하여 기판과 증착될 물질 사이에 0.8Å/s 로 일정하게 유지 하면서 증착하였다.

일정한 flux를 가지는 구리 박막에 대하여 방해 없이 연속으로 증착시켰을 때의 응력거동의 변화와, 순간 응력이 압축응력에서 인장응력으로 변하는 점과 인장응력에서 압축응력으로 변화하는 지점에서 박막 증착을 5분간 멈추었다가 재 증착하였을 때의 응력거동의 변화를 관찰하였다. 또한 AFM으로 증착을 연속으로 한 시편과 증착 중 일정 시간 중단하였다가 재 증착한 시편의 미세구조의 차이를 조사하였다.

2.2.1 3단계 응력거동

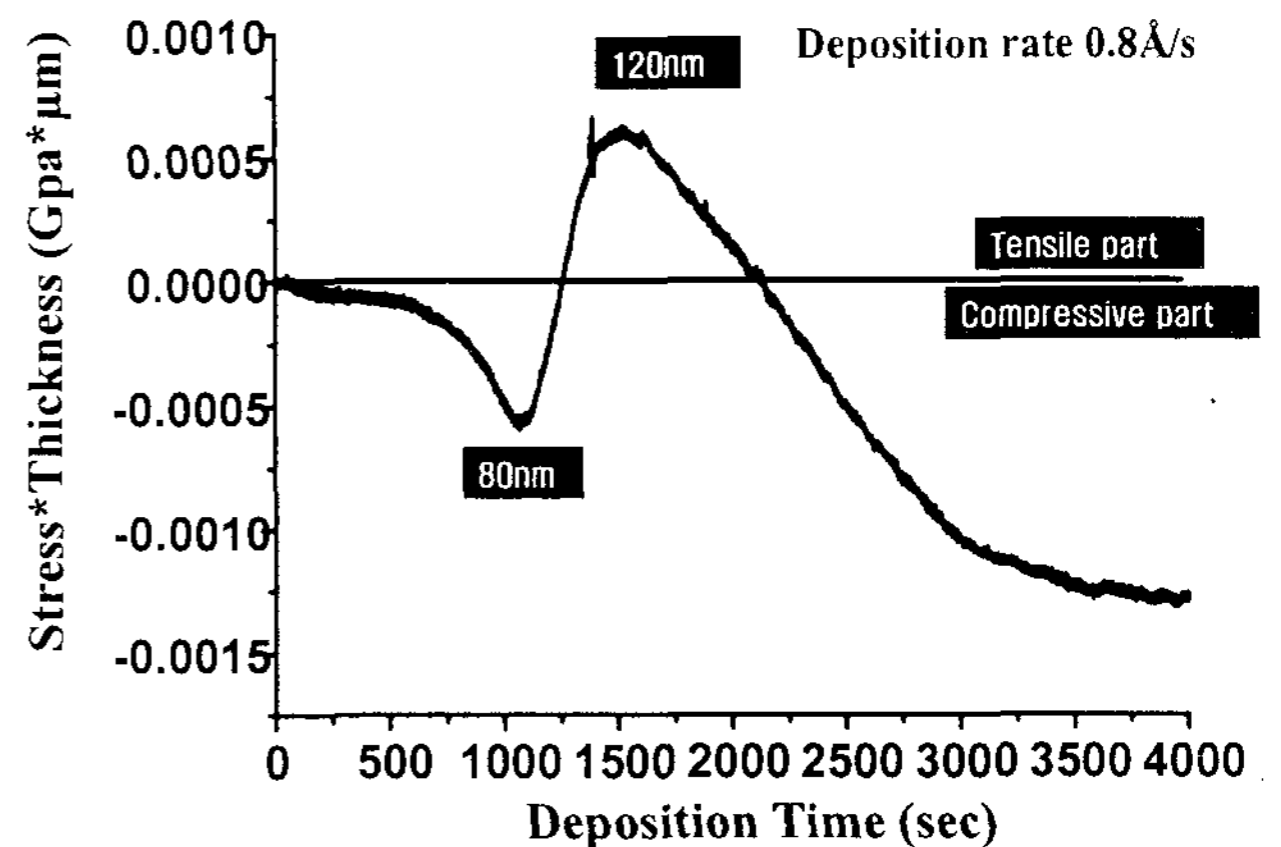


Fig. 1. The typical graph of [Stress x instantaneous thickness] vs. deposition time(thickness) for copper film showing unique three stage in-situ stress behavior.

구리박막의 경우 그림1과 같이 초기 압축응력, 인장응력, 2차적으로 나타나는 점진성의 압축응력의 독특한 3가지 응력거동을 나타낸다.

2.2.2 박막증착을 중단 했을때의 응력거동의 변화

그림2의 (a)는 방해 없이 연속으로 증착시켰을 때의 응력거동의 변화이며, 각 (b), (c))는 순간응력이 압축에서 인장으로 변하는 지점, 순간응력이 인장에서 압축으로 변하는 지점에서 5분간 증착을 멈추었다가 재 증착했을 때의 응력 거동의 변화로서 그래프 (a)를 기준으로 (b), (c)가 증착을 멈춘 지점에서 서로 다른 응력거동의 변화가 나타난 것을 관찰할 수 있다.

또한 증착을 단시간 중단하는 것이 인장응력이나 압축응력의 절대 값에 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, (b)와 (c)의 응력 변화량이 서로 다른 것을 알 수 있다.

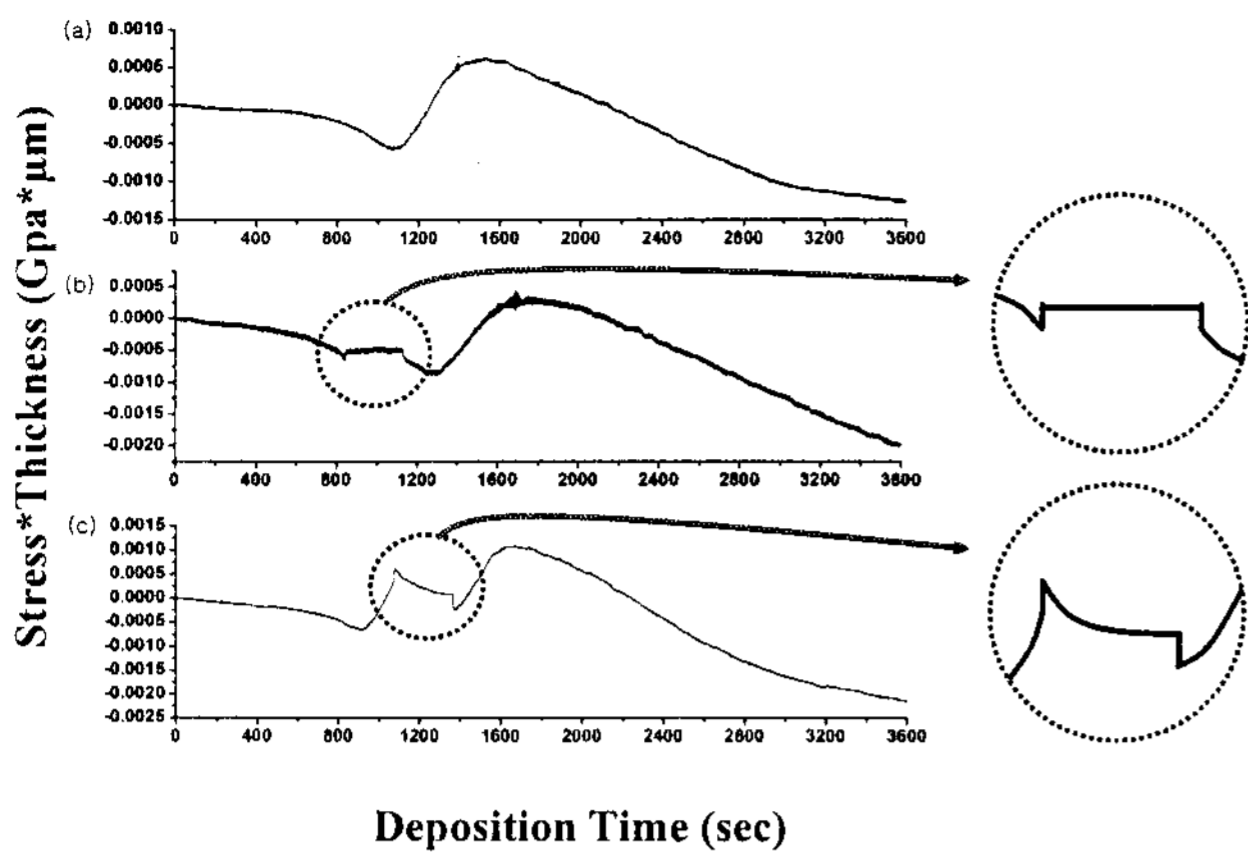


Fig. 2 In-situ stress behavior for continuous deposition and interrupted depositions.

2.2.3 AFM 자료를 통한 추정 (실험결과)

2단계 인장응력의 경우 C. Thompson[9]에 의하면 초기 핵생성 이후 증착되는 박막 재료들에 의해 결정립이 형성되며 이러한 결정립들이 성장하면서 인접하는 다른 결정립들과 합해지면서 성장하게 되는데, 이때 합해지는 부분이 부피가 감소하게 되면서 인장응력이 생성되기 시작하며, 일정 수준 결정립들의 합해지면 인장응력은 사라지고 압축응력이 나타난다고 말하고 있다.

AFM DATA (I)

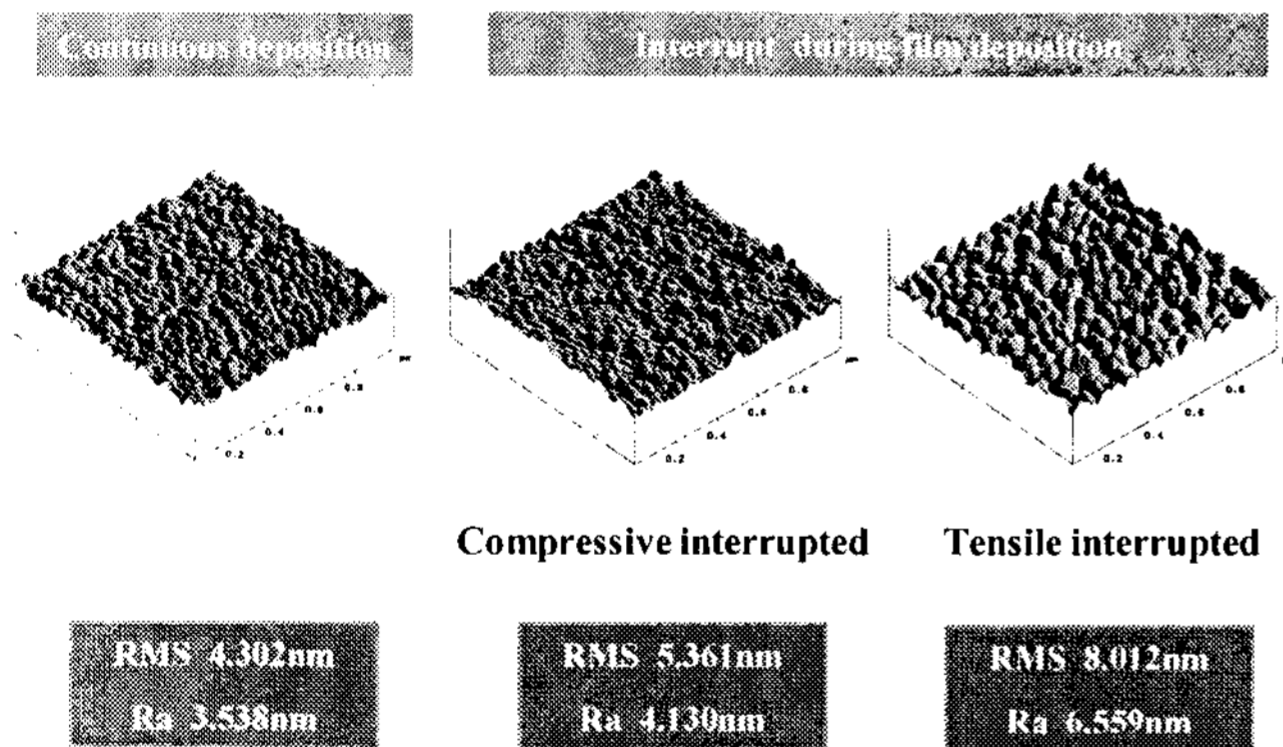


Fig. 3. AFM image of continuously deposited film and interrupted film

이에 대한 근거 자료로서 그림3의 AFM자료를 보면, 연속적으로 증착한 (a) 박막보다는 증착을 중간에 잠시 중단했던 박막((b)와 (c))의 결정립 크기가 크다는 것을 관찰 할 수 있으며, 압축에서 인장으로 변하는 변곡점 부분에서 증착을 중단한 박막 보다는 인장에서 압축으로 변하는 변곡점 부분에서 증착을 중단 시킨 박막의 결정립의 크기가 더 크다는 것을 알 수 있다. (RMS : 4.302, 5.365, 8.012 nm, Ra : 3.538, 4.130, 6.559nm)

이는 그림4를 통해 쉽게 이해할 수 있다. 그림 4.와 같이 연속적으로 증착시키는 시편의 결정립보다 증착 중 일정시간 중단시킨 후 재증착한 시편의 결정립의 크기가 크게 나타나는 이유는 증착을 중지시킨 시간동안 표면이 이완되면서 아일랜드들이 결합하게 되어 결정립이 커지게 되기 때문이라고 예상하고 있다.

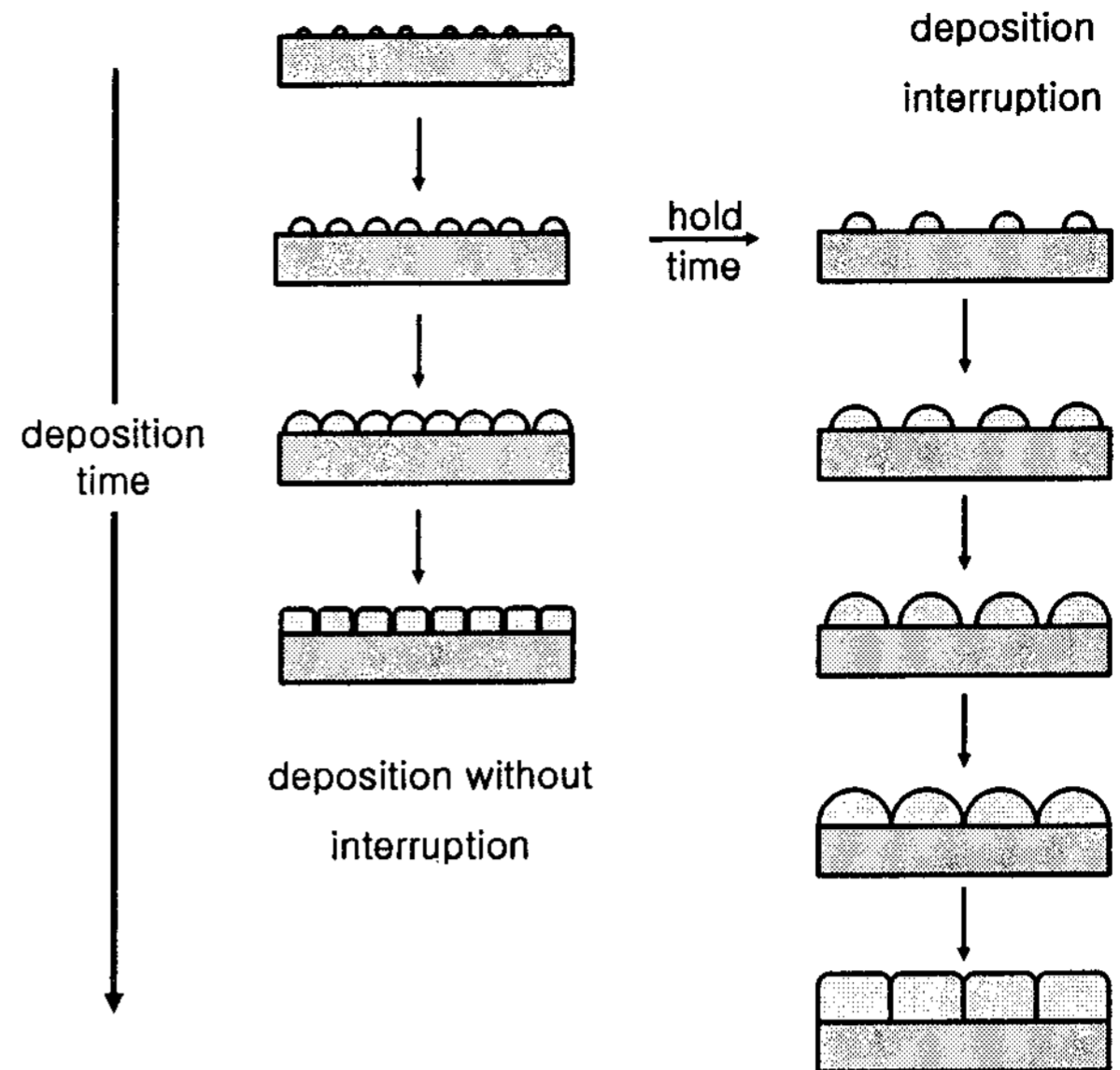


Fig 4. The comparison of continuous deposition with interrupted deposition.

3. 결 론

박막 증착 도중 중단했던 경우와 중단하지 않았던 경우 모두에서 기 언급한 3단계 응력 거동을 보였고, 각 단계의 응력의 절대값은 서로 다른 거동을 관찰할 수 있었다. 이를 통해 3단계의 독특한 응력거동의 2번째인 인장응력의 메커니즘은 결정립의 결합에 의한 박막 부 피감소에 주로 기인한 것으로 추정하였으며, 이 사실은 AFM을 통한 박막의 미세구조 관찰에 의하여 간접적으로 입증되었다.

감 사 의 글

본 연구는 과학재단 (R11-2000-086-02011-0)의 지원으로 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

- [1] F. Spaepen, *Acta Mater.*, 48, 31 (2000).
- [2] R.C. Cammarata, T. M. Trimble, and D. J. Srolovitz, *J. Master. Res.* 15, 2468 (2000)
- [3] Carl. V. Thompson and Roland Carel, *J. Mech. Phys. Solids.*, 44, 657 (1996)
- [4] E. Chason, B. W. Sheldon, L. B. Freund, J. A. Floro and S. J. Hearne, *Physical Review Letters.*, 88, 15 (2002)