

X선 회절을 이용한 Si/SiO₂ 및 Si/SiO₂/poly-Si의 응력 측정

임규훈, 김도진, 김상기*, 안근영*, 박경호*, 남기수*, 조정익*
충남대학교 재료공학과, 한국전자통신연구소*

반도체 공정 중의 다수는 열적공정을 사용하며, 박막을 기판위에 열적 공정을 통하여 형성할 경우 열팽창계수의 차이에 의해 기판은 휘어지게 될 것이다. 이러한 시스템의 응력을 측정하는 일반적인 방법은 그 휘는 정도가 두 물질에 내재하는 힘의 균형에 의해 결정되는 원리에 기초를 두고 있다. 즉 cantilever 형태의 빔으로 가공하여 자유로운 한쪽 끝에서의 변위를 측정하거나, 원형의 디스크의 중심에서 발생하는 변위를 측정함으로써 구할 수 있다. 또, 응력은 X-ray 또는 전자 회절 방법에 의해서도 측정될 수 있다.

본 연구에서는 Si/SiO₂ 및 Si/SiO₂/Poly Si 시스템에서의 응력을 X-ray 회절 방법을 사용하여 측정하였다. 기판은 5인치, 625 μ m 두께의 p형 (100) Si 웨이퍼를 사용하였다. Si/SiO₂ 시스템은 925 $^{\circ}$ C에서 steam oxidation하여 1000, 3000, 5000 Å의 산화막을 성장시켰다. Si/SiO₂/Poly Si 시스템은 420 $^{\circ}$ C에서 LTO(low temperature oxidation) 방법에 의해서 2 μ m의 산화막을 성장시키고 그 위에 625 $^{\circ}$ C에서 LPCVD 방법에 의해서 poly-Si의 두께를 0.5, 1, 2 μ m로 변화시키며 성장시켰다. 웨이퍼의 curvature는 뒷면의 박막을 제거한 후 측정하여 응력을 계산하였다. X-ray 타겟으로는 Cu를 사용하였고 상대결정으로는 Si(022)를 사용하였고 시편의 (004)면에서의 Bragg angle을 측정하였는데, 웨이퍼 내의 네방향에 대하여 Bragg angle에서의 변화량을 측정 하였다.

양면에 산화막이 존재하는 경우 양면에 같은 두께의 산화막이 존재한다면 응력이 상쇄되어 zero curvature가 기대되었으나, 측정결과 양의 방향의 curvature가 나타났다. 이는 기판의 뒷면이 앞면과 달리 요철면을 이루고 있어 effective 두께가 더 두껍기 때문으로 사려된다.

Fig.1에서 보듯이 steam oxidation 방법으로 성장시킨 산화막은 1000 Å의 경우에는 Si 기판에 압축응력을 가하나, 산화막이 두꺼워지면서 3000 Å 이상에서 인장응력을 가한다. 3000 Å 이상에서 산화막의 압축응력은 $\sim 2.5 \times 10^9$ dyn/cm² 정도로 측정되었으나, 인장응력을 갖는 초기산화막을 고려한 경우 산화막의 압축응력은 $\sim 4 \times 10^9$ dyn/cm² 정도에서 포화될 것으로 생각된다. 1000 Å 박막에서는 결정방향에 따라 응력의 부호가 바뀌었으며, 여러 웨이퍼 측정결과 결정방향에 따른 응력상태는 일정하지 않았다. Si 기판에 작용하는 응력은 두께에 비례해서 증가하였으며, 대략 10^6 dyn/cm² order이다.(Fig.2)

LTO에 의해서 성장한 2 μ m산화막은 $\sim 1.8 \times 10^9$ dyn/cm²의 압축응력을 나타냈고, LTO 산화막위에 poly-Si 박막을 성장시키면 겉보기 응력은 LTO 만 있을 경우의 응력보다 작게 나타났다.(Fig.3) 이는 산화막의 응력 일부가 poly-Si 박막에 의해 compensation된 결과로 보인다. Poly 증착공정을 거친 LTO의 응력은 $\sim 0.6 \times 10^9$ dyn/cm² 정도의 압축응력을, poly-Si은 $\sim 1.8 \times 10^9$ dyn/cm² 정도의 압축응력으로 계산되었다. LTO(2 μ m)/poly-Si(2 μ m)이 Si 기판에 미치는 응력은 $\sim 3.2 \times 10^7$ dyn/cm²정도이다.(Fig.4)

Fig.1 열산화막 두께에 따른 박막의 응력

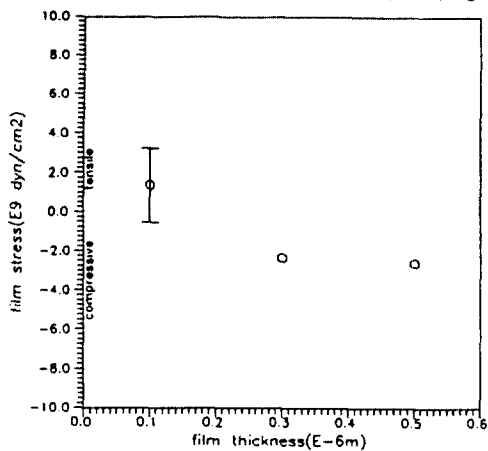


Fig.2 열산화막 두께에 따라 기판에 미치는 응력

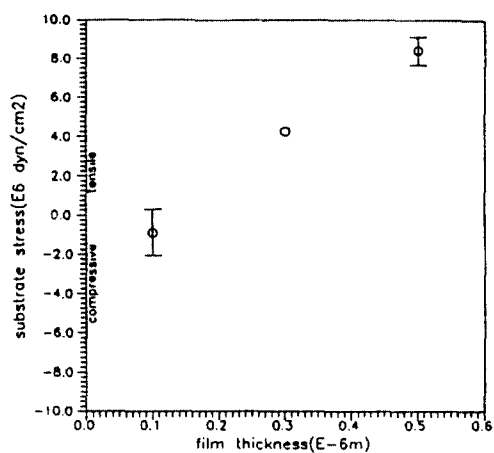


Fig.3 Poly-Si 두께에 따른 LTO/poly-Si 박막의 응력

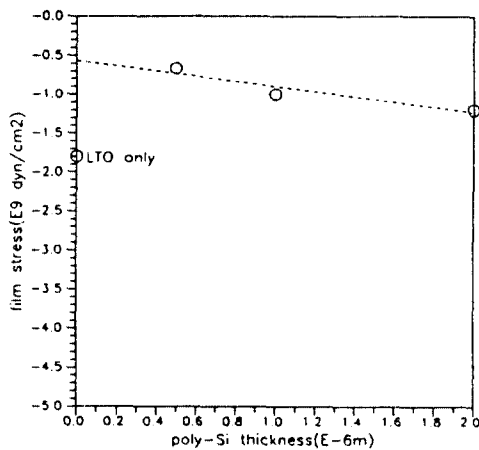


Fig.4 Poy-Si 두께에 따라 기판에 미치는 응력

