

## Micromachine의 구형(矩形) 박막재료의 edge에 유기된 응력

서울시립대학교 전자공학과 홍순관 김철주

현재의 반도체공정은 물론 이를 응용하고 있는 micromachine(미소기계구조체)의 제작공정에서는 Si의 표면결정위에 필요에 따라 여러층의 박막(SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, poly-Si, Al등)을 형성시키게 된다. 일반적으로, 다층으로 형성된 Si과 박막재료간의 물성(예컨대 열팽창계수등)의 차이로 인하여 박막의 edge 및 단차부분등에서 불균형적인 응력(stress)분포가 나타난다. 이러한 불균형적인 응력 분포와 관련하여 전위의 발생<sup>1)</sup>, Al배선의 단선<sup>2)</sup>, SiO<sub>2</sub>의 신뢰성 저하<sup>3,4)</sup>등의 문제가 발생된다.

전위의 발생은 이러한 불균형적인 응력분포 및 Si의 산화시에 Si/SiO<sub>2</sub>계면에 발생하는 산화유기응력과 밀접한 관계가 있다. 또한, micromachine의 제작공정에서는 구조재료인 poly-Si을 SiO<sub>2</sub>위에 형성시켜 사용하게 되므로 이러한 응력의 영향을 무시할 수 없다.

본 연구는 micromachine의 제작공정에 있어서 희생층의 재료인 SiO<sub>2</sub>막과 구조재료인 poly-Si에 관한 edge 유기응력과 Si에 미치는 영향에 대하여 논한다.

Si을 고온에서 열산화할 때 Si과 SiO<sub>2</sub>의 열팽창계수의 차이에 의해 실온에서는 edge에 압축응력이 작용하고, 그에 따라 Si기판에 격자왜곡(lattice distortion;S)이 도입된다<sup>5,6)</sup>. 박막내부의 응력( $\delta_0$ )과 왜곡( $S_0$ )은  $S_0 = \delta_0 d_0$  ( $d_0$ 는 박막의 두께)의 관계가 있으며, 왜곡은 탄성왜곡으로 알려져 있다.<sup>7,8)</sup>

### 1)계산모드

기판위에 구형의 박막패턴을 형성할 때 박막의 edge에 작용하는 힘에 의해 기판내에 발생되는 변위, 응력분포를 구할 수 있다.  $Z \geq 0$ 인 공간에서 탄성체의 표면위( $Z=0$ )에 힘이 작용하였을 때 탄성체의 조화방정식

$$\nabla^2 U = \frac{1}{1-2\nu} \text{grad} \cdot \text{div} U = 0$$

를 무한대로 변위가 0인 경계조건에서 해를 구하여 변위 U를 구할 수 있다. 변위 U의 x,y,z방향의 성분  $U_0, V_0, W_0$ 는 다음식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} U_0 &= A(axF_x + \beta F_x + \gamma \delta_x) \\ V_0 &= A(ayF_x + \beta F_y + \gamma \delta_y) \\ W_0 &= A(\zeta F_z + \xi \delta) \end{aligned}$$

본 연구에서는 이들 결과를 이용하여 구형 박막패턴을 기판위에 형성하였을 경우 기판내에 발생되는 변위를 구하였다.

## 2) 변위 분포

구형 박막의 edge에 단위 압축응력이 작용할 경우( $\text{SiO}_2$ 막의 경우), X방향의 변위U의 분포를 구하였다.  $X=0$ 의 격자면에서 비교하면 패턴의 중앙위치에서 최대이고 모서리쪽에 가까울수록 변위량이 감소하며, 패턴edge의 바깥영역에서는 격자면전체가 평행으로 변위되었다. 일반적으로 변위량은 구형패턴의 크기에 의존하는데, edge의 길이가 길어질수록 변위량도 커진다. 이 결과는 계산모델에서 변위량이 edge에 관한 선적분에 의해 결정되며, 반대방향의 edge와 역방향의 힘이 작용하므로 edge간의 거리가 클수록 영향이 작아짐을 뜻한다.

## 3) 응력 분포

$\text{SiO}_2$ 와 같은 박막의 edge에 단위 압축응력이 작용할 경우 Si기판에 발생하는 응력의 분포를 등응력 분포곡선으로 평가하였다. 등응력 분포곡선의 형태는 중앙위치에서의 응력의 기울기를 제외하고는 zy축에 대칭이었으며, 모서리에 가까울수록 x의 양의 방향 영역에서 분포곡선의 벌어짐이 감소하였다. 또한, x의 음의 영역(박막측)에서는 벌어짐이 증가하였으며 비대칭적이었다. 응력을 박막에 대한 작용방향에 따라 압축응력과 인장력으로 구분할 경우, x의 양의 방향에서는 압축응력, 박막측에서는 인장력이 우세하였다. 박막측에서의 인장력은 분포곡선의 벌어짐으로부터 중앙위치보다 모서리부근의 edge쪽이 더 큼을 알 수 있었다. 역으로 압축응력은 모서리 부근보다 중앙위치에서 크다는 것을 알 수 있었다. 공정상 막의 두께를 얇게 하면 그에 따라 패턴의 폭도 좁게 하는데, 그에 따라 박막의 밑부분에서 응력이 증가하고 박막이 없는 영역에서 응력이 현저하게 감소한다.

이상의 결과에서 구형패턴의 길이가 일정할 경우 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 구형패턴의 폭이 커짐에 따라서 응력분포는 Z축에 대칭이 된다.
- (2) 구형패턴의 폭이 좁아지면 등응력 분포곡선의 벌어짐은 박막측에서는 증가하고, 박막이 없는 영역에서는 감소한다.

## 참 고 문 헌

- 1) J.klema, et al., 22nd IEEE Int. Reliability Physics sympo., 1(1984).
- 2) J. Curry, et al., ibid,6(1984).
- 3) V.Zekeriya and T-P. Ma, IEEE Trans. Nuclear Science, NS-31, 1261(1984).
- 4) N. Yamamoto, 19th conf. on SSDM, 415(1987).
- 5) G.H.Schwutte and J.K.Howard, J.Appl.Phys., 39, 1581(1968).
- 6) J.M.Fairfield et al, Electrochem. Technol., 6,110(1968).
- 7). E.S.Meieran et al, J.Appl.Phys., 36, 3162(1965).
- 8). L.A.Blech et al, J.Appl.Phys., 38, 2913(1967).