

두꺼운 감광막의 노광 파장에 따른 측면 기울기에 관한 연구

한창호*, 김학*, 전국진*

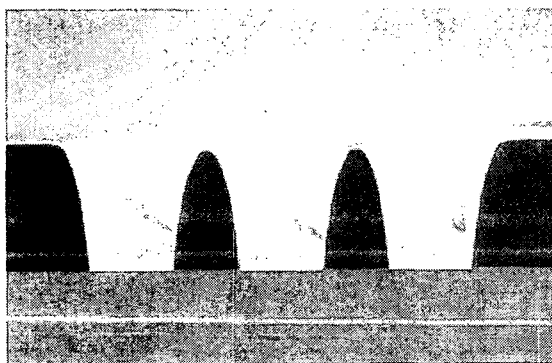
*서울대학교 전기공학부

초 록

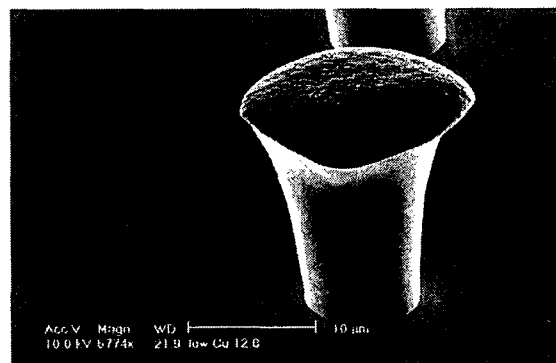
MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 응용 분야에 있어서 RF나 Optic등에 응용되는 금속 구조물이나 배선을 위한 도금, 두꺼운 구조물의 식각등을 위해서 수십 um두께의 감광막이 필요하다. 특히 이러한 감광막은 도금을 위한 전단계에서 몰드 형성에 이용되는데 그 이유는 제작이 용이할 뿐만 아니라 다양한 두께 형성이 가능하고 금속과의 선택적 제거가 쉬운 장점이 있다. 감광막 몰드가 갖추어야 할 조건으로는 수직에 가까운 측면 기울기, 두께, 도금액에 대한 저항성을 들 수 있으며 그 중에서 측면 기울기 개선에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 본 논문에서는 감광막의 형상에 영향을 주는 요인을 찾아내고 수식모델링을 통해 측면 기울기를 예측하고자 한다.

1. 서 론

두꺼운 금속 구조물을 만들기 위한 방법으로 감광막 몰드를 이용한 금속 도금이 많이 이용된다. 이 때 감광막의 형상에 의해 구조물의 형상이 정해지기 때문에 감광막 몰드 형성 공정은 매우 중요하다. 그림 1 은 잘 형성되지 않은 감광막 몰드와 도금후의 금속 구조물의 전자현미경 사진이다.



(A) 표면이 넓어진 감광막



(B) 도금 후 구조물

그림 1. 잘 형성되지 못한 감광막과 도금 후 금속 구조물 사진

엑스레이를 이용한 리가(LIGA) 공정은 엑스레이의 높은 투과성 때문에 밀리미터단위의 고형상비의 구조물을 제작할 수 있다고 알려져 있다. 그러나 자외선을 이용한 감광막의 노광은 감광막의 특성 및 노광장비의 영향을 받게 되는데 본 논문에서는 diazo 타입의 양성 감광막의 contact 노광에 대해서 다루려고 한다.

diazo 타입의 감광막은 70 년대에 Dill 에 의해 처음 모델화되었다. 이 모델은 PAC(PhotoActive Compound)의 농도 M 에 따라 흡수계수가 변하고 이에 따라 깊이에 따른 광원의 세기가 달라진다는 것이다.

$$\frac{dI(r,t)}{dx} = -\alpha I(r,t) \quad \text{--- 식(1)}$$

$$\alpha = AM(x,t) + B \quad \text{--- 식(2)}$$

Dill 모델은 위의 두 가지 식에 의해 설명될 수 있는데 식(1)은 빛의 일반적인 특성으로 깊이 r 에 따라 빛의 세기가 지수적으로 감소하는 것을 나타내고 식(2)는 diazo 타입의 고유특성으로 감소하는 특성이 PAC 의 농도 M 과 관계 있음을 보여준다. 여기서 A, B 는 감광막의 측정가능한 상수이고 일반적으로 파장에 따라 다르다. 이 때, M 은 0 과 1 사이의 값을 갖는데 $t=0$, 즉 전혀 노광하지 않았을 때는 1이고 $t=\infty$, 즉 완전 노광 후 0이다.

$$\frac{\partial M(r,t)}{\partial t} = -CI(r,t)M(r,t) \quad \text{--- 식(3)}$$

식(3)은 PAC 의 농도는 빛의 세기와 현재 PAC 농도에 따라 감소하는 것을 나타낸다. 식(1)-(3)을 이용하면 시간에 따라 빛의 세기와 PAC 농도를 계산할 수 있다.

위의 비선형방정식을 근사하여 풀면[1]

$$I(r,t) = \frac{\exp(-Br)I_{inc}}{1 + \exp(-CI_{inc}t)[\exp(Ar) - 1]} \quad \text{--- 식(4)}$$

$$\ln M(r,t) = -\exp(-Br) \cdot \ln(1 + \exp(-Ar)[\exp(CI_{inc}t) - 1]) \quad \text{--- 식(5)}$$

가 된다.

본 논문에서는 측면 기울기에 영향을 미치는 가장 중요한 요인이 파장에 따라 다른 감광막의 투과도이고, 투과도가 측면기울기에 주는 영향을 마스크 가장자리에서의 빛의 회절과 노광에 의해 생기는 현상가능한 물질의 확산으로 설명할 것이다.

먼저 회절에 의한 영향은 기존 연구결과를 바탕으로[1]

깊이 r , 마스크가장자리로부터 수평거리 x 위치에서의 PAC 농도에 관한 식은

$$\ln M(x,r,\tau) = -\frac{\exp(-Br)}{4(0.5x\sqrt{2/\lambda r} + 1)^4} \cdot \ln(1 + \exp(-Ar)[\exp(\tau) - 1]) \quad \text{--- 식(6)}$$

이 때 두께 T 의 감광막이 현상이 될 때 $\tau = CI_{inc}t$ 는

$$\tau \approx (4 + AT)\exp(BT) \quad \text{--- 식(7)}$$

과 같이 된다

이 때 현상이 시작되는 PAC 농도인

$$\ln M(x,r,\tau) = -1 \quad \text{--- 식(8)}$$

이 되는 x, r 값을 구하면 현상 후 감광막의 형상을 알 수 있다.

그 다음으로 확산에 의한 영향은 식(5)와 식(7)로부터 시간 t 동안 노광 후에 깊이에 따른 PAC 농도 M 을 구하면 현상가능한 물질의 농도 P 는 $1-M$ 이 된다. 투과도의 영향으로 현상 문턱값인 $M=\exp(-1)$ 을 지나는 시간이 깊이에 따라 달라지게 되는데 문턱값을 지난시간 t_r 부터 식(7)에서 구한 최종 노광시간 t 까지 측면으로 확산한다고 가정하고 정상상태의 확산방정식

$$P(x,r) = P(r) \operatorname{erfc}(x/\sqrt{Dt}) \quad \text{--- 식(9)}$$

을 이용하여 측면으로 P 의 확산방정식을 세우고 현상이 시작되는 농도 $P=1-\exp(-1)$ 이 되는 x, r 을 구하면 측면 기울기를 알 수 있다.

$$x = \sqrt{D(t-t_r)} \cdot \operatorname{erfc}^{-1} \left(\frac{1-\exp(-1)}{1-M(r)} \right) \quad \text{--- 식(10)}$$

회절과 확산에 의한 영향을 합하면 현상 후 감광막 형상을 예측할 수 있다. 투과도의 나쁜 경우에는 감광막내에서 표면과 바닥과의 반응차가 많이 나기 때문에 확산에 의한 영향이 클 것이다.

2. 실험 방법

Novolak 타입의 양성 감광막인 PMER P-LA900PM 을 이용하여 20um 두께의 물드를 형성하였다. 노광장비로는 MA6 aligner(SUSS, 365nm~436nm)로 노광방법은 soft contact 을 이용하였다. 소프트베이크는 핫플레이트에서 110℃ 6 분하였고 이 때 Dill A,B 파라미터 값은 i-line(365nm), g-line(436nm)에서 각각 A(0.440,0.033), B(0.074,0.064)이다. 노광실험은 i-line, g-line, broadband(365~436nm)에서 각각 진행하였고 서론에서 설명한 모델에 대한 파장별 계산은 MATLAB 6.5 를 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

세가지 실험에 대한 공정 결과는 다음 그림과 같다.

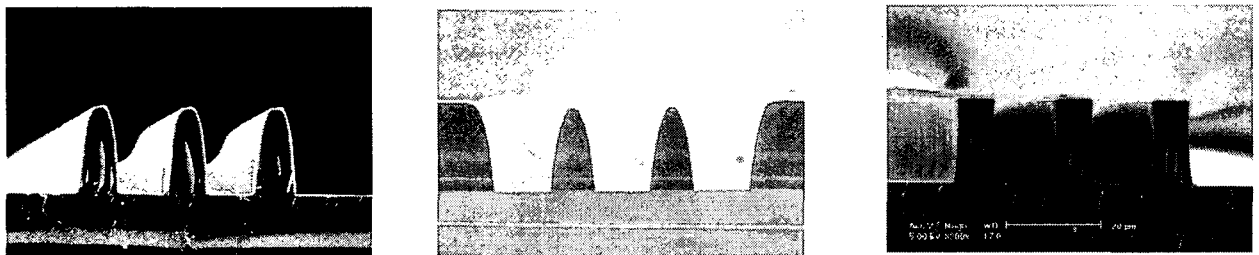


그림 2. 20um 두께의 PMER P-LA900PM 의 10um line & space 의 전자현미경 사진
왼쪽부터 i-line, broadband, g-line

위 전자현미경 사진에서 보듯이 투과도가 좋은 g-line 의 경우에 가장 수직에 가까운 기울기를 얻었고 broadband 는 i-line 의 영향으로 패턴사이의 폭이 커지는 결과를 얻었다. 이는 투과도가 나쁜 i-line 에서 표면반응이 더 많이 일어나서 확산이 더 많이 나타난 것으로 설명된다.

다음 그림은 서론에서 제시했던 회절과 확산에 의한 PAC 농도변화에 따라 현상 후 결과에 대해 예측해본 결과이다.

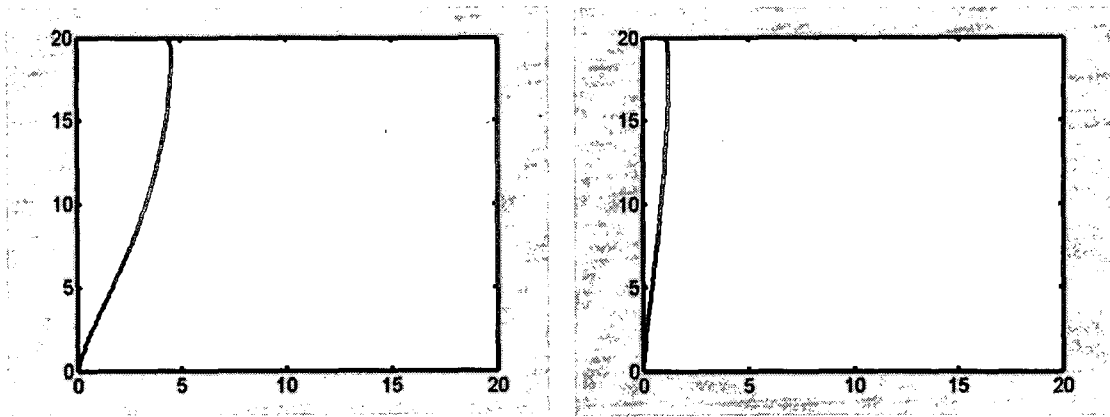


그림 3. 모델링 결과. i-line(왼쪽), g-line(오른쪽)

4. 결론

반도체 공정에서 쓰이는 수 μm 이하의 얇은 감광막과 달리 MEMS 공정, 특히 도금을 이용한 구조물 제작에 많이 쓰이는 수십 μm 이상의 두꺼운 감광막은 바닥까지 완전 노광을 위해서 충분한 노광시간이 필요하다. 광원의 세기는 감광막의 깊이에 따라 지수적으로 감소하게 되기 때문에 두꺼운 감광막은 광원에 대한 투과도가 좋아야 한다. 결과적으로 투과도가 나쁜 경우에 회절과 확산에 의한 영향을 더 많이 받는 것을 관찰할 수 있었다. 수직에 가까운 감광막 형상을 얻기 위해서는 광원에 대한 투과도가 중요하다.

참고문헌

- [1] Yao Cheng et al., "Wall profile of thick photoresist generated via contact printing," IEEE Journal of MEMS, Vol 8, No 1, pp18-26, 1999.
- [2] N.C. LaBianca et al., "High aspect ratio resist for thick film applications." SPIE, vol. 2438, pp846-852, 1995.
- [3] F.H. Dill et al., "Characterization of positive photoresist." IEEE Tras. Electron Devices, vol. ED-22, pp445-452, 1975.