삼층레지스트 구조를 이용한 서브미크론 상층패턴 형성

(Formation of Submicron Top Pattern by using Tri-Layer Resist Structure)

沈揆煥,* 楊典旭,* 李進熙,* 姜鎭榮,* 馬東星*

(Kyu Hwan Shim, Jeon Wook Yang, Jin Hee Lee, Jin Yeong Kang and Dong Sung Ma)

要 約

선폭 편이 10퍼센트 이하인 0.8미크론 패턴을 형성하기 위해 삼층 레지스트 기술과 단층 레지스트 기술을 비교했다. 단층 레지스트 기술로는 정재파효과와 빛산란효과 때문에 산화막이나 알루미늄스텝 위에서 패턴형성이 적절치 못했다. 반면 삼층 레지스트 기술로는 산화막과 알루미늄 위에 균일한 0.8 미크론 패턴을 형성할 수 있었다. 삼층 레지스트에서 하층의 평탄화와 광흡수특성은 230℃에서 30분 열처리로 적정화 했다. 산화막위에 균일한 0.8 미크론 패턴 형성을 위한 하층 광흡수계수는 0.85이상 이어야 함에 대해 알루미늄의 경우 0.95이상 이이야 했다.

Abstract

The effectiveness of tri layer resist (TLR) technique is compared with that of single layer resist (SLR) technique in order to make a 0.8um pattern with the linewidth deviation of 10 percents. SLR technique is not appropriate to shape the micro-pattern on oxide and aluminum steps because of the standing wave effect and the light scattering effect in shaping the resist pattern. On the contrary, the uniform line with a width of 0.8um on oxide and aluminum steps can be formed by TLR technique, reducing such effects. The planarization and the light absorption coefficient of the bottom layer resist in TLR are optimized by exposing it to ultra violet light after baking it for 30 min at 230°C. An uniform line with a width of 0.8um on oxide step is defined with the light absorption coefficient of 0.85 whereas that on aluminum step is defined with 0.95.

I. 서 론

현재 리소그라피 공정은 단층 레지스트를 이용한 광학 리소그라피 기술이 주도하고 있다. 특히 반도체 소자의 고집적화에 따라 sub-μm 형상 형성이 필요하게 되었다. 그런데 기판의 요철형상으로 인한 레지스터의 두께 변화는 분해능을 저하시키고 국부적 선폭 편이를 심하게 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 개발되어온 다층 레지스트 기술로는 3층 레지스트(tri layer resist ; TLR), 2층 레지스트 구조, 저반사막 구조, 고선명도막 구조 등이 있다.[1,2] 그중에서 3층 레지스트 구조가 촛점심도, 선폭조절, 비등방성식각의 마스크 특성에 대하 가장 우수한 것으로 평가되고 있다.[3,4]

본 연구에서는 3층 레지스트 구조를 이용한 초미세형상 형성공정 중에서 하층 레지스트의 형성공정기술에 따른 평탄화 및 광흡수에 대한 적정화를 하였고, 시뮬레이션을 이용하여 단층 레지스트와 3

*正會員, 韓國電子通信研究所 化合物半導體研究部
(Compound Semiconductor Department., ETRI)
接受日字 : 1988年 2月 23日

층 레지스트 기술을 비교하였다. 또한, 3층 레지스트를 이용시 하층 레지스트가 패턴 형성에 미치는 영향을 실제 형성한 0.8μm 패턴의 단면모양을 이용하여 비교 분석하였다.

Ⅱ. 실 험

실험에 사용한 노광장치는 g-line (436nm) 웨이퍼 스텝퍼 이었다. 3층 레지스트의 하층 레지스트에는 S1400-31 레지스트를 이용하였고 중간층으로는 spin-on-glass (SOG) 를, 상층에는 S1400-27 레지스트를 이용하였다. 하층의 평탄화 특성은 대표적으로 1μm의 스텝높이와 10μm의 스텝간격을 갖는 형상으로 적정화 하였으며, 2000-6000rpm의 도포회전속도, 120-250℃의 열처리, 열처리전 원자외선(210-330 nm) 및 자외선(436nm)을 노광한 경우에 대해 실험하였다. 또한 하층의 광흡수특성은 150-250℃ 에서 30분 열처리와 3-60분 동안 230℃에서 열처리한 경우에 대해 실험하였다. 중간층은 SOG를 2000-3000 Å 두께로 도포한 후 220℃에서 경화하였다. 중간층 형성시 작은 입자들의 생성과 도포의 불균일성을 막기 위해 원심도포기를 개조하여 사용하였다. 상층 레지스트의 도포 이전에 중간층과 접착력 강화를 위해 70℃에서 10분 동안 HMDS 처리를 하였다. 상층은 S1400-27 레지스트를 0.5μm 두께가 되도록 5,500 rpm으로 도포한 후 110℃에서 45초 열처리 하였다. 그 후 노광장치를 이용해 노광하고, MF314현상액을 탈 이온수와 1 : 5로 희석하여 현상하였으며, 형성된 형상은 전자현미경으로 관찰하였다.

Ⅲ. 시뮬레이션(SAMPLE)

노광시스템인 g-line 스텝퍼와 포토레지스트의 물성에 관련된 시뮬레이션 파라미터는 표 (1)과 같다. 평탄화(degree of planarization ; DP) 는 본래 스텝의 높이 (h) 와 레지스트 도포후의 스텝높이(h′) 차이의 백분률인 (h-h′) 100/h (%) 로 나타낸다. 또한 입사한 광(I_0)의 흡수를 나타내는 흡광도 계수(α)는 거리에 따른 지수함수인 $I_0 \exp(-\alpha \cdot x)$를 나타내며 물질반사계수의 허수부인 소멸계수 (k) 와 $\alpha = 4\pi \cdot k/\lambda$인 관계를 갖는다. 노광에너지(dose) 는 스텝퍼의 노광시간으로 결정되며, 노광은 여러 종류의 필터를 거친 436nm의 단일파장을 이용한다. 축소렌즈의 개구수($NA' = n \cdot \sin\theta$) 와 대물렌즈의 개구수(NA)의 비인 가간섭성 (σ) 값으로 마스크를 통과한 분산함수 (modulation transfer function ; MTF) 가 구해지

표 1. 시뮬레이션에 이용한 입력파라미터
Table. 1. Input parameters for simulation.

Stepper	λ(Å)	4,360	Step	Mater.	Al
	σ	0.5		ref. index	0.47-i4.87
	NA	0.35		Mater.	SiO_2
Top layer	thick. (μm)	0.5	Substrate	Mater.	Si
	ref. index	1.68-i0.019		ref. index	4.75-i0.136
Middle layer	Mater.	SiO_2	Exposure para.	$A(\mu m^{-1})$	0.54
	ref. index	1.5-i0.019		$B(\mu m^{-1})$	0.03
	thick. (μm)	0.2		$C(cm^2/mJ)$	0.014
Bottom layer	thick. (μm)	2	Develop para.	E_1	5.27
	ref. index			E_2	8.19
	85% Absorption	0.0313		E_3	-12.5
	95% 〃	0.052			

고, 레지스트 내에서 광강도는[5]

$$\frac{\partial I(z,t)}{\partial z} = -I(z,t)[A \cdot M(z,t) + B]$$

로 나타낸다. 이때z는 포토 레지스트의 수직방향거리이며, M (z, t) 는 inhibitor의 농도, A는 inhibitor에 의한 흡수, B는 수지자신과 반응생성물에 의한 흡수를 나타내어 $\alpha = A + B$인 관계가 있다. 입사된 광에 의한 inhibitor의 분해속도는

$$\frac{\partial M(z,t)}{\partial t} = -I(z,t) \cdot M(z,t) \cdot C$$

와 같으며, 이때 상수 C는 단위 광 강도당 inhibitor의 감소율이다. 그리고 노광된 레지스트의 용해속도에 대한 실험식은

$$S = \exp(E_1 + E_2 \cdot M + E_3 \cdot M^2)$$

으로 나타내며, 이때 E_1, E_2, E_3는 실험에 의해 구한 식각비 상수이다. 이러한 파라미터들은 일반적으로 사용되는 표 (1)의 값을 사용하였다.[6,7] 시뮬레이션에서 형상형성의 최적조건은 스텝이 아닌곳(on valley) 을 설정하였고, 중간층과 상층의 두께는 각각 0.2μm와 0.5μm로 고정하였으며 모서리에서의 난반사 효과는 무시하였다.

Ⅳ. 결과 및 토의

1. 하층 레지스트의 평탄화 특성

하층 레지스트의 평탄화는 3층 레지스트 구조의 제작에 필수적이다. 특히 스텝이 높으면 평탄화가 어려운데, 평탄화에 미치는 영향으로는 레지스트의

두께 및 성질, 스텝의 높이 및 형태, 레지스트의 도포조건 및 열처리 조건등이 있다.[8] SOG 막을 중간층으로 이용하는 경우 200℃ 이상의 고온 열처리가 필요한데, 이때 발생하기 쉬운 균열을 방지하기 위해 하층 레지스트를 SOG 도포전에 200℃ 이상에서 열처리해야 한다. 이 열처리에 의해 용매의 증발과 고분자화등의 반응이 일어나 두께 감소는 그림 1과 같이 나타난다. 약 200℃의 온도에서 거의 모든 용매가 증발하여 AZ1318-SFD4와 S1400-31의 경우 각각 16%와 12%로 포화되었다. 또한 그림 2는 노광에너지보다 매우 큰 3600mW/cm² 의 에너지로 자외선 또는 원자외선으로 노광한 후 열처리했

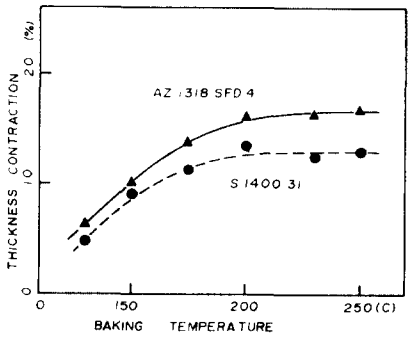


그림 1. 열처리 온도에 따른 AZ1318-SFD4 와 S1400-31 레지스트의 두께 감소

Fig. 1. Thickness contraction of AZ1318-SFD4 and S1400-31 resist at various baking temperatures.

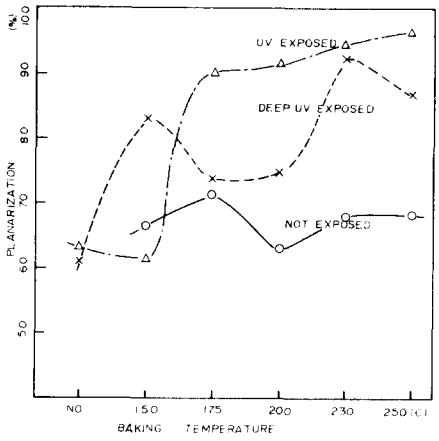


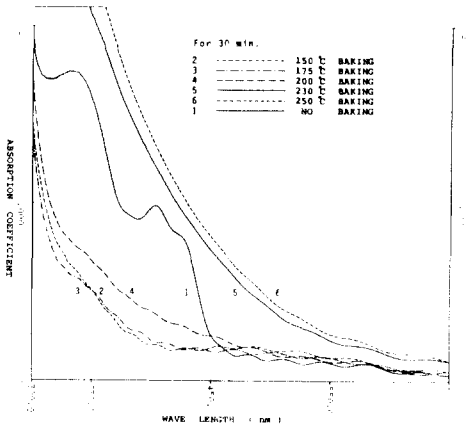
그림 2. 평탄화에 미치는 노광효과와 베이킹 효과

Fig. 2. Exposure effects and baking effects on planarization.

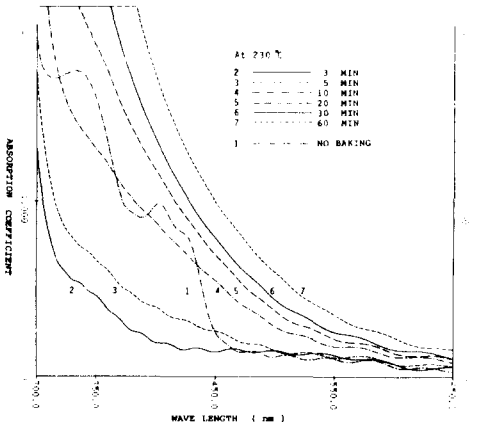
을 때 각각의 평탄도를 나타낸 것이다. 노광조건에 따라 평탄도의 변화가 나타나며, 특히 자외선 노광은 평탄화 특성을 매우 개선시키고 있다.

2. 하층 레지스트의 광흡수특성

하층 레지스트의 광흡수도는 형상의 해상도에 크게 영향을 미친다. 특히 알루미늄과 같이 광반사가 심한 경우 난반사 및 정재파 효과가 두드러지게 선폭 변화가 심하게 된다. 이와 같은 광흡수 특성은 열처리나 색소첨가에 의해 개선시킬 수 있다. 그림 3의 (a)는 S1400-31 레지스트의 열처리 온도에 따른 흡수율 변화를 300nm-650nm의 파장범위에서 측정한 것이다. 200℃ 이하의 열처리는 광흡수특성이 열처리 전보다 저하되어 있고 230℃에서 크게 증가되었다. 그림 3의 (b)는 230℃에서 열처리 시간에 따른 광흡



(a)



(b)

그림 3. 여러 (a) 베이크 온도와 (b) 베이크 시간에서 흡수 계수 변화

Fig. 3. Absorption coefficients at various (a) baking temperature and (b) baking time.

수도 변화에 대한 것으로 시간에 따라 지속적인 증가 현상을 보인다. 또한 도포회전수와 광흡수도에 대한 실험에서 노광파장인 436nm에서 90% 이상의 흡수도를 나타내기 위해서는 S1400-31 레지스트의 경우 2,500 rpm 이하에서 2μm 이상 두께로 도포하는 것이 필요하였다. 그림 3에서 60분의 열처리는 양산성의 효율과 정렬파장인 634μm에서의 광흡수 문제로 인해 적절치 않다. 즉, 하층 레지스트의 광흡수 특성에 관해서는 S1400-31 레지스트의 경우 2,500 rmp 속도 이하의 도포와 약 230℃에서 30min 정도의 열처리가 적합하였다.

3. 단층 레지스트 구조에서 시뮬레이션 결과와의 비교

실리콘 웨이퍼 위에 1um 두께의 산화막 스텝이 있는 경우 스텝 주위에서 선폭편이는 그림 4와 같다.

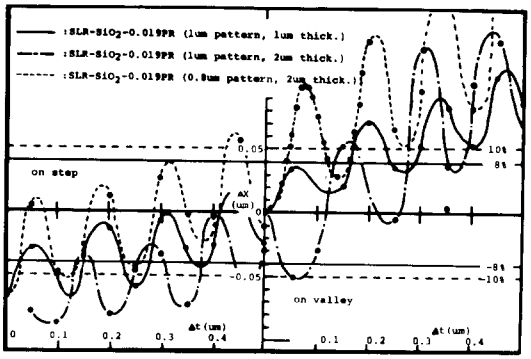
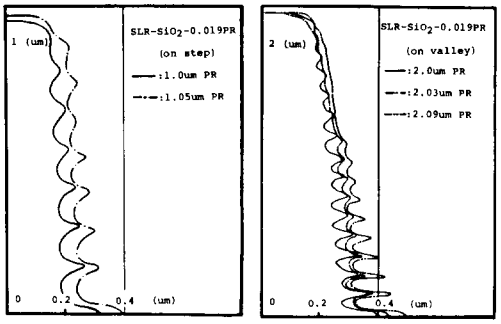


그림 4. 단층 레지스트 이용시 산화막 스텝 주위에서 패턴 형성 특성

Fig. 4. Linewidth deviation of the SLR patterns around oxide step as a function of the PR thickness variation.

이때 정재파 효과로 인하여 약 680Å을 주기로 최대와 최소가 나타난다. 1μm 형상과 0.8μm 형상의 경우 각각 15%와 20% 정도의 선폭편이를 나타내며 전체적으로는 레지스트가 두꺼워질수록 현상이 적게 됨을 보인다. 그림 5는 산화막 스텝이 있을 때 스텝위와 valley 위에 형성되는 형상을 예측한 모양이며, 그림 6과 그림 7은 각각 산화막 스텝과 알루미늄 스텝 위에 형성된 0.8μm 형상이다.

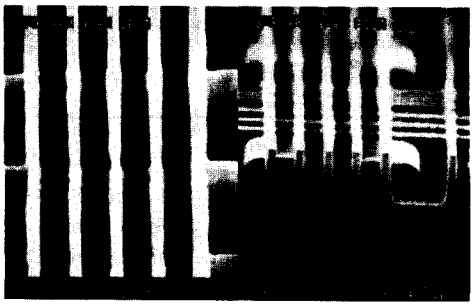
실험결과는 시뮬레이션에 비해 선폭편이나 정재파 효과가 더욱 심각하게 나타나고 있다. 특히 단면을 보면 레지스트의 윗부분이 완전히 제거될 때에도 아랫부분은 현상이 안되었음을 보인다. 그림 9의



(a) (b)

그림 5. 단층 레지스트 사용시 형성되는 패턴의 단면 프로화일

Fig. 5. Cross section profiles of SLR structure (a) on oxide step and (b) on valley (note on the vertical dimension of each figure).



(a) (b)

그림 6. 단층 레지스트에 의한 산화막 스텝 주위에서 패턴형성 특성의 (a) 평면도와 (b) 단면도

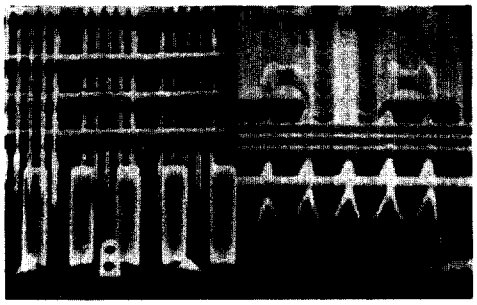
Fig. 6. (a) top view and (b) cross section view of patterns formed around oxide step by SLR.

(a)는 산화막 스텝위에 0.8μm 형상 형성을 기준으로 했을 때 여러 형상의 선폭편이이다.

즉, 단층 레지스트 구조로는 1μm 이상 높이의 스텝이 있는 경우 0.8μm 형상을 g-line 스텝퍼로 선폭편이 10% 이내로 형성하기는 어렵다.

4. 3층 레지스트 구조에서 시뮬레이션 결과와의 비교

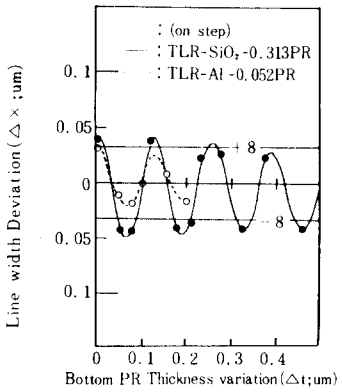
그림 8의 (a)와 (b)는 각각 산화막과 알루미늄 스텝 주변에 3층 레지스트 구조로 형상을 형성할 때 예측되는 선폭편이이다. 산화막 스텝의 경우는 그림 4



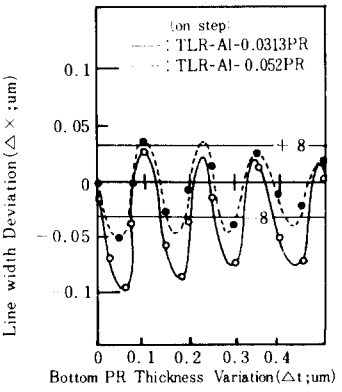
(a) (b)

그림 7. 단층 레지스트에 의한 알루미늄 스텝 주위에서 패턴형성 특성의 (a) 평면도와 (b) 단면도

Fig. 7. (a) top view and (b) cross section view of patterns formed around Al step by TLR.



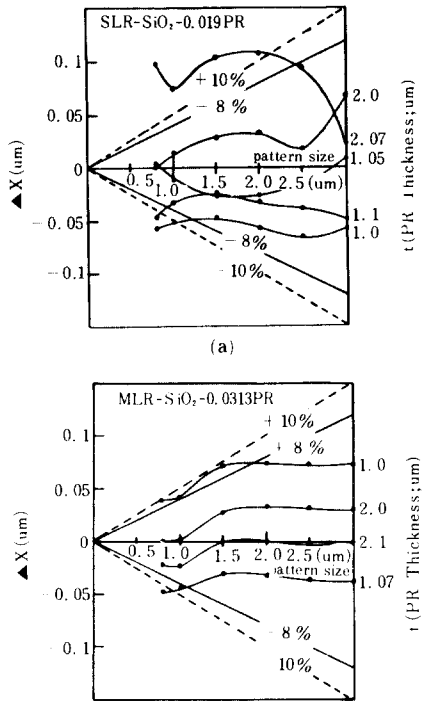
(a)



(b)

그림 8. (a) 산화막의 스텝과 (b) 알루미늄 스텝 위에 형성된 패턴에 미치는 하층 레지스트의 광흡수 효과

Fig. 8. Absorption effects of bottom resist on the pattern formed around (a) oxide steps and (b) aluminium steps.



(a)

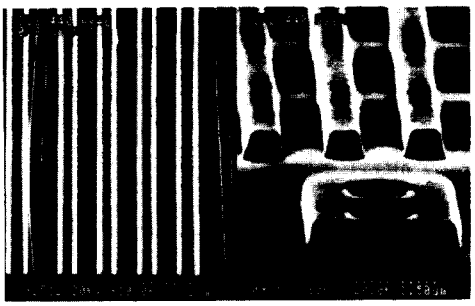
(b)

그림 9. 산화막 스텝 주위에 (a) 단층 레지스트와 (b) 삼층 레지스트 이용시 패턴 크기별 선폭편이

Fig. 9. Line width deviation with PR thickness variation and pattern size variation in case of (a) SLR structure and (b) TLR structure.

와 그림 9 의 (a)에서 모두 하층 광흡수도가 85% 정도이면 선폭편이를 10%로 줄일 수 있음을 보이고 있다. 즉, 그림10은 이러한 조건에서 형성된 0.8μm 형상으로 수직하고 균일한 형상이 형성되었다. 이에 대해 알루미늄 스텝의 경우는 하층 광흡수도가 85% 일때 선폭편이가 최대 20% 까지 되고, 흡수도를 95 %로 해서야 선폭편이가 약 10%로 됨을 알 수 있다. 그림11은 광흡수도가 85%와 95%의 경우 형상 크기별 선폭편이에 대한 것으로 알루미늄의 경우 95%의 광흡수 정도이면 공정여유도 10% 이내로 형성될 수 있음을 보인다. 그림12는 알루미늄 스텝 위에 이러한 3층 레지스트 기술로 형성한 0.8μm 형상으로 정재파 효과가 많이 감소하여 수직한 형태를 이루고 있다.

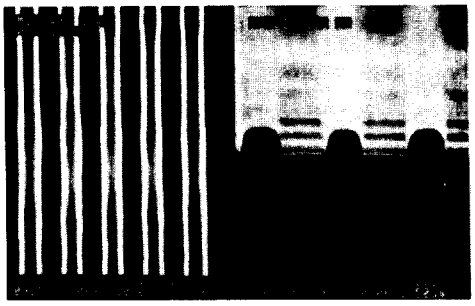
이상으로 1μm 두께의 산화막 스텝이 있을 때, 공정여유 10% 이내의 0.8μm 형상 형성을 위해서는 하층 광흡수도가 85% 이상인 삼층 레지스트를 이용해



(a) (b)

그림10. 산화막 스텝 주위에서 TLR을 이용한 패턴 형성 (a) 평면도와 (b) 단면도

Fig. 10. (a) top view and (b) cross section view of patterns formed around oxide steps by TLR.



(a) (b)

그림12. 알루미늄 스텝 주위에서 TLR을 이용해 형성한 패턴의 (a) 평면도와 (b) 단면도

Fig. 12. (a) top view and (b) cross section view of patterns formed around aluminium steps by TLR.

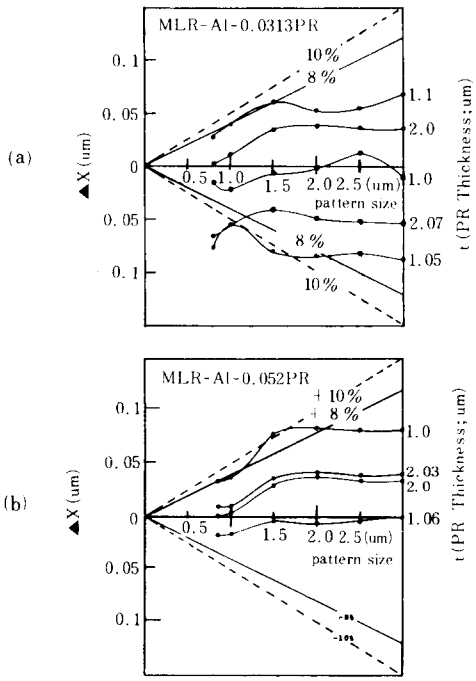


그림11. 알루미늄 스텝 주위에서 하층 광흡수도가 (a) 85%와 (b) 95%일때 패턴 크기별 선폭 편이

Fig. 11. Line width deviation with PR thickness variation and pattern size variation in case of using (a) 85% absorption and (b) 95% absorption bottom resist at TLR.

야 하며, 알루미늄 스텝의 경우는 95%이상 이어야 함을 알 수 있다.

V. 결 론

단층 레지스트 구조와 3층 레지스트 구조를 비교하여 1μm 산화막과 알루미늄 스텝 위에 공정여유도 10% 이내의 0.8μm 형상 형성에 필요한 평탄화 및 광흡수도의 적정화 및 형상 형성을 하였다. S1400-31 레지스트를 이용한 하층 레지스트의 평탄화 및 광흡수도는 자외선 노광과 230℃에서 30분의 열처리로 적정화 하였다. 단층 레지스트는 스텝위에서 0.8μm 패턴형성이 안정하지 않은 데 반하여 3층 레지스트를 이용하면 하층의 광흡수도가 산화막과 알루미늄의 경우 각각 85%와 95%일 때 공정여유도 10% 이내의 패턴을 형성할 수 있었다.

參 考 文 獻

[1] J.M. Morom and D. Maydan, *J. Vac. Sci. Technol.* 16, 1620, 1979.
[2] M.P.C. Watts, "Advances in resist technology," *SPIE Proc.* 469, 2, 1984.
[3] J. Lee, Solid State Technol., June, 143, 1986.
[4] C.H. Ting and K.L. Liauw, *J. Vac. Sci. Technol.* 1, no. 4, 1225, 1983.
[5] N.G. Einspruch, "VLSI electronics," Academic Press Inc., 90, 1981.
[6] Frederick H. Dill et al., *IEEE Trans. on Electron Devices.* ED-22, 445, 1975.
[7] L.K. White and D. Meyerhofer, RCA Rev. 44, 110, 1983.
[8] M. Bolsen et al., Solid State Technol., Feb. 83, 1986. *