

단층RESIST의 미세패턴형성기술

배 경 성 , 홍 승 각
삼성 반도체 통신 (주)

SUBMICRON TECHNOLOGY OF SINGLE LAYER PHOTO-RESIST

KYUNG - SUNG BAE , SEUNG - KAG HONG
SAMSUNG SEMICONDUCTOR TELECOMMUNICATIONS CO. Ltd.

요 약 -

PHOTO-RESIST 자체문제로인해 감소되는 최소해상력, 촛점심도여유 및 CRITICAL DIMENSION (C.D.) 조정여유도등을연구하였다.
기존에 사용중인 PHOTO-RESIST(큰 분자량)와 PHOTO-RESIST 자체내에 CONTRAST 촉진 물질 (CEM)이첨가된것 (INNER CEM TYPE) 및 PHOTO-RESIST구성성분중 작은 분자량 / 짧은 분자량 산포가형성된 RESIN의 PHOTO-RESIST(LOW MOLECULAR WEIGHT CONTROL TYPE)를 생겨져 PHOTO-RESIST를 사용 하여 상기의 항목을분석하였다. INNER CEM TYPE 및 LOW MOLECULAR WEIGHT CONTROL TYPE의 PHOTO-RESIST는 기존에사용중인 RESIST보다, 최소 RESOLUTION은 약 0.2 - 0.3 um, DEFOCUS MARGIN은 약 0.8 - 1.2 um 및, C.D. CONTROL LATITUDE향 상된것등이 우수하였다.

- ABSTRACT -

THE STUDY ABOUT CHARACTERISTICS OF PHOTO RESIST ITSELF (MINIMUM RESOLUTION, DEPTH OF FOCUS MARGIN AND CRITICAL DIMENSION CONTROL LATITUDE) WAS DONE AND REPORTED.
THREE TYPES OF PHOTO RESISTS WERE TESTED. THE FIRST IS THE LOW MOLECULAR WEIGHT PHOTO-RESIST SHOWING THE NARROW DISTRIBUTION OF MOLECULAR WEIGHT (LOW MOLECULAR WEIGHT CONTROL TYPE), THE SECOND IS A PHOTO-RESIST CONTAINING THE INNER CONTRAST ENHANCEMENT MATERIAL (INNER CEM TYPE) AND THE THIRD IS A NORMAL PHOTO-RESIST (HIGH MOLECULAR WEIGHT TYPE). THE INNER CEM TYPE AND THE LOW MOLECULAR WEIGHT CONTROL TYPE PHOTO-RESIST ARE MORE IMPROVED PHOTO-RESISTS. IT PROVED THAT THE MINIMUM RESOLUTION WAS IMPROVED BY 0.2 - 0.3 um, THE DEPTH OF FOCUS MARGIN WAS IMPROVED BY 0.8 - 1.2 um AND THE C.D. CONTROL LATITUDE WAS IMPROVED .

1. 서론

: 현재, 0.7 um 혹은 0.8 um DESIGN RULE을 갖는 반도체 소자 제조시 요구되는 SUBMICRON형성기술은, 크게 SINGLE LAYER RESIST 와 MULTI LAYER RESIST PROCESS로 나누어진다.⁽¹⁾ SINGLE LAYER RESIST PROCESS는, 종래 사용되고있는 기술로서 기술축적이다양하나, SUBSTRATE 단차에 따른 LINE-WIDTH CONTROL 및 노광 장치의 LENS 특성인, 최소 RESOLUTION 및 DEPTH OF FOCUS (DEFOCUS)

문제등으로인해 RESOLUTION LIMIT가 존재한다.⁽²⁾ 그러나, MULTI LAYER RESIST PROCESS는 SINGLE-LAYER RESIST PROCESS에서 가장 큰 문제인 SUBSTRATE 단차에 의한 RESOLUTION LIMIT를 개선시킬수있으며, 이런 문제의 개선으로 RESOLUTION LIMIT는 약 0.5 ~ 0.6um이다.⁽³⁾

SINGLE-LAYER RESIST PROCESS는, 소자형성시간이 MULTI-LAYER RESIST PROCESS보다 짧음으로 소자 COST 및 소자제조기간이 감소된다.^(2,3) 이러한 장점으로인해, SINGLE LAYER RESIST PROCESS는 현재까지 광범위하게 사용되고있다.

SINGLE-LAYER RESIST PROCESS에서 RESOLUTION LIMITATION을 개선하기위해서는, 첫째, 노광 장치의 고 N.A. (NUMERICAL APERTURE) 화 및 짧은 WAVELENGTH의 광 사용등이있고 둘째, PHOTO-RESIST의 개발, 현상액의 개발 및 PROCESS 최적화등이있으며, 셋째로는 소자형성시 발생하는 기관단차의 평탄화등으로 구분할수있다. 노광장치의 고 N.A. 화와 짧은 WAVELENGTH 광 사용은 RESOLUTION과 DEFOCUS의 역 관계로 인해, SUBSTRATE의 단차로인한 RESOLUTION LIMIT을 개선하기는어렵다.⁽⁴⁾ 또한, 기관단차의 평탄화 실현은 소자제조에 요구되는 공정조건의 제약으로 평탄화가어렵다. 그러나, PHOTO-RESIST 개발, 현상액 개발 및 PROCESS 최적화는, RESOLUTION 및 FOCUS에 대한 일반적인식 (1), (2)에서, K_1, K_2 값이 개선되므로 RESOLUTION 및 FOCUS 개선에 매우 효과적인방법이라할수있다.⁽⁵⁾ 즉, PHOTO-RESIST 자체문제로인해 RESOLUTION 및 DEFOCUS등의 요소가 악화될수있다.

따라서, 본 연구는 최소 RESOLUTION 및 촛점심도여유도등의 요소가 PHOTO-RESIST 특성에 따라 변화될수있다는 것과 이에 대한 개선방법을 강구하고자하였다. 또한, 이와같은 특성이 개선된 PHOTO-RESIST가 0.7um 혹은 0.8um 소자제조에 적합한지를 평가하고자하였다.

$$Re. = K_1 \frac{\lambda}{NA} \text{ ----- (1)}$$

$$D.F. = K_2 \frac{\lambda}{(NA)^2} \text{ ----- (2)}$$

Re : RESOLUTION
 D.F. : DEPTH OF FOCUS
 λ : WAVE LENGTH
 N.A : NUMERICAL APERTURE
 K_1, K_2 : 비례상수

2. PHOTO-RESIST 의 이론적 고찰 및 실험.

: 일반적으로, PHOTO-RESIST는 수지, 감광제, SOLVENT 및 기타 첨가물로 구성되어진다. POSITIVE PHOTO-RESIST의 수지로는 NOVOLAK계수지를 사용하고 있다. (6) 감광제는 PHOTO-RESIST가 UV에 반응할 수 있도록 하는 촉매재 역할을 하며, i-LINE RESIST 혹은 g-LINE RESIST 구분은 어떤 SENSITIZER를 사용한 PHOTO-RESIST인가에 의해 결정된다. (6) SOLVENT는 PHOTO-RESIST의 VISCOSITY를 CONTROL하여, 기판위에 PHOTO-RESIST의 일정한 막이 균일하게 형성될 수 있도록 한다. 그리고, 기타 첨가물로는 SURFACTANT 및 DYE등이 첨가된다.

위와 같은, 일반적인 PHOTO-RESIST 구성요소에 CONTRAST ENHANCEMENT MATERIAL (일반적으로 INNER CEM이라 칭함)를 첨가하게 되면, 비노광부 PHOTO-RESIST의 UV 흡수를 증가와 노광부분의 UV 투과율을 증가개선으로, 노광장치의 PATTERN 현상 한계 부분에서 큰 영향을 미치는 광의 회절현상으로 노광 PATTERN의 CONTRAST가 저하되어 조기에 RESOLUTION LIMIT가 초래되는 것을 방지할 수 있으며, 또한, RESIST의 BULK EFFECT로 인한 노광장치의 RESOLUTION 한계 부분에서 PATTERN 선형성이 악화되는 것을 방지할 수 있다. (7)

PHOTO-RESIST의 구성요소중에서 수지의 MOLECULAR WEIGHT 특성은 PHOTO-RESIST의 현상속도와 관계되므로, 노광장치의 한계 PATTERN 영역에서 PHOTO-RESIST의 현상속도 감소로 인해 발생하는 RESOLUTION LIMIT를 개선시킬 수 있다. 즉, 큰 MOLECULAR WEIGHT는 RESIST의 용해능력이 작은 MOLECULAR WEIGHT보다 상대적으로 감소되며, UV광에 대한 SENSITIVITY 감소등으로 FINE PATTERN 형성 및 HIGH RESOLUTION PATTERN 형성이 어렵다. (8)

또한, MOLECULAR WEIGHT 산포도 역시 MOLECULAR WEIGHT의 특성과 유사한 양상이므로, NARROW한 산포도일수록, RESOLUTION은 증가하게 된다. (8)

표 1은 본 실험에서 사용한 PHOTO-RESIST에 대한,

MOLECULAR WEIGHT 및 MOLECULAR 수, MOLECULAR 산포도를 나타낸 것이다. 이러한, PHOTO-RESIST 자체의 RESOLUTION LIMITATION PART를 INNER CEM 혹은, LOW MOLECULAR WEIGHT CONTROL (LOW MOLECULAR WEIGHT 사용과 NARROW한 산포도) 등을 통하여, RESOLUTION, FOCUS 및 PROCESS LATITUDE를 개선할 수 있다. (8,7)

PHOTO RESIST 종류	MOLECULAR 수 (Mn)	MOLECULAR WEIGHT (Mw)	산포도 (Mw/Mn)
NORMAL RESIST	1300	25700	19.8
INNER CEM RESIST	932	7220	7.75
MOLECULAR WEIGHT CONTROL RESIST	874	4250	4.88

표 1. PHOTO-RESIST 종류별 MOLECULAR WEIGHT 및 수 비표.

상기의 결과물 토대로 하여, 표 2와 같이 본 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 PHOTO-RESIST는 3종류로 각각의 특성에 따라 NORMAL RESIST, INNER CEM RESIST 및 LOW MOLECULAR WEIGHT CONTROL RESIST 등으로 분류하였고, 노광장치로는 g-LINE이며, N.A.가 0.42인 5X STEPPER를 사용하였다. PHOTO-RESIST의 BAKING은 HOT PLATE를 사용하였고, 현상액은 TMAH계의 현상액을 사용하였다. LINE WIDTH 측정은 SEM을 사용하여 C.D.를 평가하였다.

NO.	공정 순서	조건
1	WAFER 준비	a. P-type WAFER
2	PHOTO-RESIST	a. 종류 : NORMAL TYPE INNER CEM TYPE LOW MOLECULAR WEIGHT CONTROL TYPE b. THICKNESS : 1.1 μ m
3	SOFT BAKE	a. HOT PLATE 사용. b. 100 C, 60 sec
4	노광장치	a. 노광 파장 : g-LINE b. N.A. : 0.42 c. 5X STEPPER.
5	현상	a. TMAH계 현상액 사용. b. 현상 온도 : 상온. c. 현상 시간 : 60 sec

표 2. 공정 순서 및 공정 조건.

3. 결과 및 고찰.

3.1 RESIST IMAGE EDGE WALL ANGLE.

: 일반적으로, RESIST의 수직적인 PATTERN 형성은, RIE ETCHING시 C.D. LOSS 측면에서 매우 유리하다. (9) RESIST IMAGE EDGE WALL ANGLE은 PATTERN 형성시 공정 변수와 매우 밀접한 관계를 가지고 있으므로, 본 실험에서 사용한 각 PHOTO-RESIST별 공정 변수는 모두 동일한 조건으로 진행하였다. NORMAL RESIST의 경우 IMAGE EDGE ANGLE은 약 80⁰ 정도이며, INNER CEM TYPE

RESIST의 경우는 약 85° 정도이고, LOW MOLECULAR WEIGHT CONTROL RESIST는 약 87° 정도이다. 또한, NORMAL RESIST의 경우, SUBSTRATE BOTTOM부근에서 RESIST의 PROFILE이, TOP부근의 RESIST PROFILE과 약 10° 정도 차이가 있음을 관찰할 수 있다. (그림 1

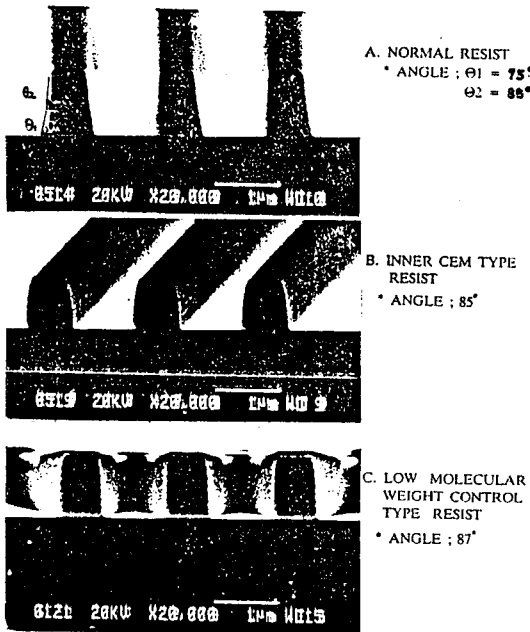


그림 1. RESIST IMARE EDGE SIDE WALL ANGLE 측량 SEM 사진.

NORMAL RESIST의 경우에는 PHOTO-RESIST 자체내의 LOW CONTRAST 및 HIGH BULK EFFECT로 인해, INNER CEM TYPE 혹은 LOW MOLECULAR WEIGHT CONTROL TYPE보다, RESIST EDGE WALL ANGLE이 감소됨을 알 수 있다. 따라서, INNER CEM TYPE RESIST는 자체 CONTRAST ENHANCEMENT EFFECT 및 LOW BULK EFFECT로 인해 NORMAL RESIST보다 RESIST EDGE ANGLE이 개선되었으며, LOW MOLECULAR WEIGHT CONTROL TYPE RESIST는 LOW MOLECULAR 효과 즉, SCUM 형성 방지 및 현상 속도 증가로 인해 RESIST ANGLE이 개선되었다.

3.2 C.D (CRITICAL DIMENSION) 특성비교.

: LITHOGRAPHY공정에서 가장 중요한 FACTOR는 미세 PATTERN 형성 및 C.D CONTROL이라 할 수 있다.⁽⁹⁾ C.D.에 대한 정확한 CONTROL 및 미세 PATTERN 형성 기술은, 소자의 집적화, 소자 특성 및 YIELD 개선 등에 직접적인 영향을 미친다. 노광 장치 및 PROCESS 조건에 의해 결정되는 최소 RESOLUTION은, MASK PATTERN SIZE의 WAFER PATTERN SIZE 충실도로 결정할 수 있다. 즉, MASK TO WAFER의

1:1 전사 능력으로 판단할 수 있다.⁽¹⁰⁾ 이런 관점에서, N.A가 0.42이고 g-LINE인 STEPPER 사용시, NORMAL RESIST의 최소 RESOLUTION은 0.7~0.8um이며, INNER CEM TYPE의 RESIST는 0.7~0.6um이고, LOW MOLECULAR WEIGHT CONTROL TYPE RESIST는 0.6~0.5um이다. (그림 4)

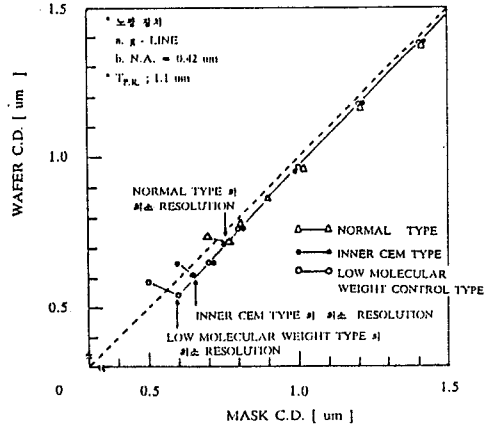


그림 2. 각 RESIST 별 C.D. 선형성.

LITHOGRAPHY공정에서 노광 TIME 변화에 대한 C.D 변화 정도는, C.D CONTROL을 어느 정도까지 미세하게 할 수 있는가를 측정할 수 있는 도구로서, MASK PATTERN SIZE를 WAFER에 균일하게 전사되도록 하는 PROCESS FACTOR가 된다.⁽¹⁰⁾

통상, 0.8um DESIGN RULE이 요구되는 소자에서는 MASK PATTERN SIZE가 WAFER에 1:1로 전사되는 최적 노광 TIME의 10% OVER 노광시, C.D 변화 정도는 약 0.05um 이내라고 규정하고 있다. ⁽¹⁰⁾ NORMAL RESIST의 경우, 10% OVER 노광에 따른 C.D 변화는 0.1~0.15um로, 0.8um DESIGN RULE에는 부적합함을 알 수 있다. (그림 3:a) INNER CEM TYPE RESIST 및 LOW MOLECULAR CONTROL TYPE RESIST는 0.05um 이하로서, 0.8um DESIGN RULE에 적합함을 알 수 있다. (그림 3:b,c)

노광 장치의 DEFOCUS MARGIN은 RESIST 자체의 BULK 효과에 의한 DEFOCUS 감소량을 제거하면, 실 WAFER에서 사용할 수 있는 DEFOCUS MARGIN이 된다.⁽¹⁰⁾ 따라서, 노광 장치에 의한 DEFOCUS MARGIN은 고정되어 있으므로, SINGLE LAYER RESIST 기술에서 DEFOCUS MARGIN의 개선 방법은 RESIST 자체로 인해 감소되는 DEFOCUS MARGIN량을 최소화하는 데 있다. 일반적으로, DEFOCUS MARGIN은, 어떤 LINE WIDTH PATTERN SIZE에 대해 10% NARROW하게 한 후, FOCUS 변화에 따른 LINE WIDTH 변화가 10% 이내인 영역을 나타낸다.⁽¹⁰⁾ NORMAL RESIST의 경우, MASK SIZE가 0.8um LAS(동일 LINE AND SPACE)에 대한 DEFOCUS MARGIN은 약 1.2um 정도이다.

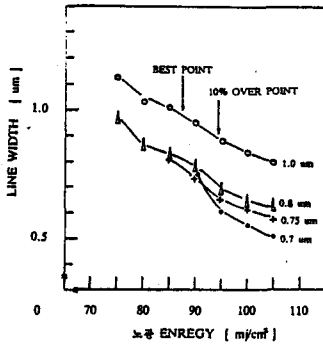


그림 3.a. NORMAL RESIST 의 노광ENERGY별 LINE WIDTH 측정.

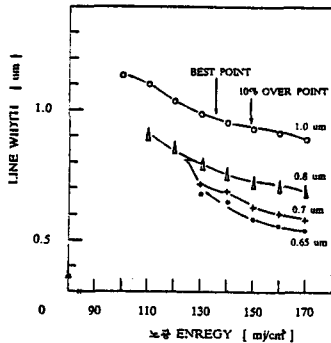


그림 3.b. INNER CEM TYPE RESIST 의 노광ENERGY별 LINE WIDTH 측정.

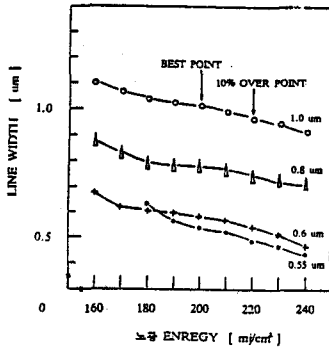


그림 3.c. LOW MOLECULAR WEIGHT CONTROL TYPE RESIST 의 노광ENERGY별 LINE WIDTH 측정.

RESIST	DEFOCUS MARGIN [um]	CONDITION
NORMAL TYPE	1.2	1. SOFT BAKE : 100 C. 60sec 2. 현상에 a. N : 0.2 b. 온도 : 23 C c. TIME : 60 sec
INNER CEM TYPE	2.0	
LOW MOLECULAR WEIGHT CONTROL TYPE	2.4	

표 3. 각 RESIST 별 DEFOCUS MARGIN.
- 0.8um L/S PATTERN에 대한 측정치.

INNER CEM TYPE의 RESIST경우는 NORMAL RESIST와 동일한 L & S PATTERN에서 DEFOCUS MARGIN은 2.0um이며, LOW MOLECULAR WEIGHT CONTROL TYPE RESIST의 경우는 2.4um 이다.(표 4)

이런 결과로 3종류의 PHOTO RESIST 에 대한 상기의 특성을 다음과 같이 평가할수있다. INNER CEM TYPE은 RESIST 자체의 CONTRAST ENHANCEMENT 효과증가와 RESIST 자체의 BULK EFFECT의 감소로 인해, 최소 RESOLUTION 및 DEFOCUS MARGIN이 개선되었다.

또한, CONTRAST의 증가로 노광 TIME 변화에 대한 C.D 변화가 감소되었다. LOW MOLECULAR WEIGHT CONTROL TYPE은 LOW MOLECULAR WEIGHT의 특성인, U.V.SENSITIVITY 증가, RESOLUTION 증가, CONTRAST 증가 및 현상속도증가 등으로 인해, 최소 RESOLUTION, 노광 TIME 변화에 대한 C.D. 변화 및 DEFOCUS MARGIN이 NORMAL RESIST에 비해 개선되었을 것으로 사료된다.

4. 결론

: INNER CEM TYPE RESIST와 LOW MOLECULAR WEIGHT CONTROL RESIST 등의 PHOTO-RESIST는 NORMAL RESIST보다 최소 RESOLUTION, DEFOCUS MARGIN 및 PROCESS LATITUDE 등이 우수하다는 것을 본 실험결과로 인식할수있다. 즉, 0.7um 혹은 0.8um RESOLUTION이 요구되는 DEVICE 에 사용가능한 PHOTO-RESIST는 RESIST 자체내에 INNER CEM 첨가 혹은 LOW MOLECULAR WEIGHT 수지를 사용한 RESIST가 적합할 것으로 사료된다.

REFERENCE

1. J.P. Krusius, J. Nutman, T.C. Nefe, 1984 IEEE workshop in Micrometer and submicrometer Lithography.
2. B.J. Lin, L. Vac. Sci. Technology, vol. 12, p1317, Nov./Dec, 1975
3. J. Underhill, V. Nguyen, M. Kerbangh, D. Sundling, Proc. SPIE, vol. 539, p83, 1985
4. H.L. Stover, M. Nagler, I. Boi, U. Miller, SPIE, vol. 47, Optical Microlithography III, 22 -- 23, 1984.
5. C.H. Ting, Proc. Kodak interface'82, p139.
6. Photographic Science and engineering, vol.13, No. 15271.
7. Tokyo oka, "Photoresist material", Electrochemical Society, vol. 17, 1987
8. F. Enderman, et al., USP 3148983.
9. P. Bias, "Edge Acuity and Resolution in positive type photoresist System", Solid State Technology, Aug. 1977.
10. 주간기술정보, "4 M D - RAM 용 Lithography 기술 II", vol.87-33, 1987.
11. L.F. Hall, J. Vac. Science Technology, vol.5 p323, 1985