

論文94-31A-10-13

삼층감광막구조를 이용한 미세패턴의 전자빔 묘화

(Submicron Patterning in Electron Beam Lithography using Trilayer Resist)

裴容徹*, 徐泰源*, 全國鎭*

(Yong Cheol Bae, Tae Weon Suh and Kuk Jin Chun)

要約

전자빔 묘화에서 미세 선폭의 구현과 이때 수반되는 근접효과를 개선하기 위해 PMMA/Ge/AZ 층으로 구성된 삼층감광막구조를 사용하여 후방산란 전자에 의한 근접효과를 감소시키고 패턴의 왜곡을 개선하였다. 실험에서 삼층감광막구조를 이용하여 테스트 패턴을 형성한 결과 0.9 μm 과 1.7 μm AZ의 삼층감광막의 경우 후방 산란영역에서 EID (Energy intensity distribution) 값이 단층감광막에 비해 각각 11%, 30% 정도 감소하였다. 그리고, Ge 두께가 240Å인 경우 500Å에 비해 EID곡선이 후방 산란 영역에서 36%정도 감소하였다. 본 구조를 이용하여 2000Å 두께의 PMMA층에 dose 330 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 로 노출하여 MIBK : IPA (1:3) 현상액에서 150초 현상한 경우 0.1 μm 선/간격 미세패턴이 형성되었다.

Abstract

The PMMA/Ge/AZ trilayer resist decreased proximity effect of backscattering electrons and corrected pattern distortion in order to form deep submicron patterns. In the experiment, the proximity effect is decreased by 11% and 30% for the case of 0.9 μm and 1.7 μm AZ, respectively, in trilayer resist compared to monolayer resist. Also, the EID of 240Å Ge film is smaller than that of 500Å Ge film by 36%. 0.1 μm line/space was formed in the 2000Å PMMA layer with the condition of dose 330 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ and of 150sec of develop time in MIBK : IPA (1:3) developer.

1. 서론

VLSI의 집적도가 증가함에 따라 lithography분야의 역할이 더욱 중요해지고 있는데 현재의 photomask 기술은 조사선의 파장에 의해 해상도와

정확도가 제한되므로 deep submicron device를 제작하기 어렵다. Submicron 소자 제작을 위한 사진 기술로는 deep UV, phase shift, electron beam, x-ray, ion beam기술 등이 연구 중에 있다. 이중 전자빔 묘화기술은 고해상도와 높은 정렬 정확도를 가지므로 64M DRAM급 이상의 고집적회로의 제작에 이용될 수 있으나, 전자들이 감광막과 기판 내에서 산란하여 패턴을 왜곡시키는 근접효과^[1]가 발생하므로 이를 보정해야 한다. 이를 위해서 공정 상에서

*正會員, 準會員 서울大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Seoul Nat'l Univ.)
接受日字 : 1994年 4月 26日

는 multilayer resist^[2], thin resist, high energy beam^[3], low energy beam^[4] 등의 방법이, 소프트웨어적으로는 dose modification^[5,6] 을 통해 근접효과를 보정하고자 하는 연구가 행하여지고 있다. 삼층감광막구조를 이용하여 근접효과를 개선하는 경우 planarizing layer, intermediate layer, imaging layer의 3층을 이용하며, 각 layer는 polymer, conductive metal, e-beam resist로 이루어진다. 전자빔에 의해 imaging layer에 형성된 패턴은 식각공정에 의해 intermediate layer에 전이되고, 이 패턴은 다시 식각공정에 의해 bottom layer로 전이된다. 이렇게 형성되는 삼층감광막구조는 다음과 같은 장단점을 가진다. 얇은 imaging layer를 사용하므로 높은 해상도를 유지할 수 있으며, 전도 특성이 좋은 intermediate layer는 charging effect에 의한 패턴의 왜곡현상을 제거한다. 또한 intermediate layer는 imaging layer와 planarizing layer 사이에서 이들 층을 분리하므로 감광막으로만 이루어지는 bilayer에 비해 삼층감광막의 형성을 용이하게 한다. Bottom layer는 일반적으로 두꺼운 감광막층을 사용하므로 backscattering이 줄어들어 근접효과를 줄이며 웨이퍼의 평탄화 및 step coverage를 좋게 하고, 또한 식각시 필요한 감광막 두께를 확보하게 된다. 본 논문에서는 삼층감광막 구조에서 미세패턴을 구현하는 경우 bottom layer와 intermediate layer의 두께 변화에 따른 근접효과 보정에 관한 실험 및 현상을 분석하고 그것을 이용하여 미세패턴을 형성하였다.

II. 실험방법

삼층감광막을 이용한 미세패턴의 형성순서는 그림 1과 같다. 아래에서는 공정순서대로 공정조건 및 막 형성과정과 패턴전이에 대해 살펴보기로 한다.

1. 삼층감광막구조의 형성

아래층으로는 AZ5206 양성감광막이 사용되며 중간층은 thermal evaporator에서 Ge이 증착된다. Ge층위에 2000Å PMMA층을 올린다. AZ에 포함된 솔벤트는 끓는점이 130℃이므로^[7], AZ를 130℃ 이상에서 베이킹한 경우 솔벤트는 거의 제거되며, PMMA의 소프트베이크 온도가 AZ 베이킹온도보다 높은 경우에는, AZ 내 잔유 솔벤트의 증발에 의하여 Ge막이 주글주글 해지며, 반대의 경우에는 Ge막의 손상은 나타나지 않았다. 본 실험에서는 AZ 160℃, PMMA 120℃에서 베이킹한 경우 Ge막이 변화하지

않음을 확인하였다.

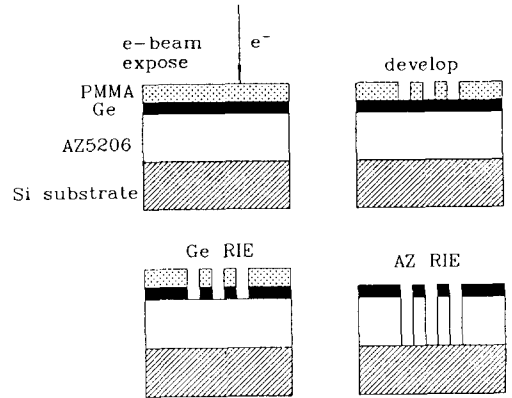


그림 1. 삼층감광막구조의 형성 및 패턴전이 과정
Fig. 1. Formation of Tri-layer resist and pattern transfer.

2. 전자빔묘화공정

삼층감광막의 전자빔묘화조건은 EBMF10.5장비를 사용하여 표1.과 같이 PMMA두께, dose 및 현상시간을 변경하여 최적의 조건을 구하였다. 다만, Ge막 위에 HMDS처리를 하고 PMMA를 도포하는 경우 막균일성이 좋지 못하므로 HMDS처리를 생략하였으며 접착성에 관한 문제는 발생하지 않았다.

표 1. PMMA전자빔묘화 공정조건
Table 1. Conditions of E-beam litho. using PMMA.

공정 변수	공정변수 수치
PMMA	2000Å / 1000Å
EHT	30KeV
Beam Current	0.5nA
Beam Diameter	60-70nm
Dose	270-390μC/cm ²
Developer	MIBK:IPA(1:3)
Develop Time	60-180sec
Softbaking	90, 120, 140℃

3. RIE 조건

Ge층을 마스크로 AZ층에 패턴전이를 하기 위해서는 측면식각이 없어야 하며, 식각율이 높아야 한다. 이를 위하여 RIE를 이용하였는데 이는 RIE가 습식식각에 비해 이등방성식각이 가능하고 공정이 간단하기 때문이다. RIE에서는 여러 가지 식각변수에 의해서

식각율과 측면식각이 변화하게 되는데 RIE시 측면식각을 최소로 줄이기 위하여 이들 변수(power, 압력, 가스량과 가스성분 등)의 변화에 대한 실험을 하였으며 식각조건은 표2와 같다. 실험결과 AZ와 Ge의 etching selectivity는 1000:1이상으로 나타났다.

표 2. 삼층감광막구조에서의 패턴전이조건 (RIE공정변수)

Table 2. Conditions of pattern transfer on Tri-layer resist. (RIE conditions)

공정변수		공정변수 수치		
Power		50,70,80,100 W		
Pressure		~ 10 ⁻³ torr		
Gas	Ge layer RIE	CCl ₂ F ₂	20 sccm	
		O ₂	4 sccm	
	AZ layer RIE	I	O ₂	5~20 sccm
			He	10~40 sccm
		II	O ₂	5 sccm
			N ₂	5~40 sccm

III. 결과 및 논의

1. 근접효과 개선

그림 2는 AZ 두께의 변화에 따른 EID(Energy Intensity Distribution)의 변화를 보여준다. 0.9 μm, 1.7 μm AZ층을 가지는 삼층감광막구조와 PMMA단층감광막구조에서 전자빔으로 EID 측정용 패턴을 노출한 후 동일 조건에서 현상하고, SEM으로 측정한 후 EID를 구하였다.

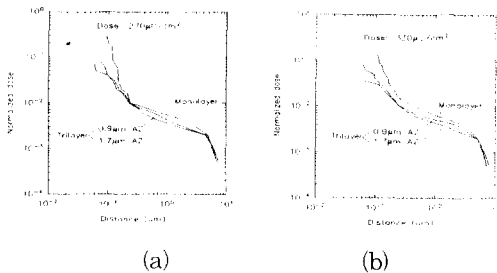


그림 2. AZ 두께의 변화에 따른 EID 곡선 (a) Dose 270 μC/cm² 일 경우 (b) Dose 330 μC/cm² 일 경우

Fig. 2. EID according to AZ thickness.

(a) Dose 270 μC/cm² (b) Dose 330 μC/cm²

그림에서 나타나듯이 0.9 μm, 1.7 μm AZ의 삼층감광막의 경우, 후방산란영역에서 EID값이 11%, 30%정도 감소한다. 값의 측정은 식(1)과 같이 전자빔 입사지점에서 1 μm떨어진 곳의 산란전자 에너지량을 비교하여 계산하였다.

$$\frac{D_{tri} - D_{mono}}{D_{mono}} \times 100 \quad (1)$$

D_{mono} : 1 μm 지점에서 Monolayer의 normalized dose 량

D_{tri} : 1 μm 지점에서 Trilayer의 normalized dose 량

전체적으로 dose가 330 μC/cm² 일 때가 270 μC/cm² 보다 EID가 크나, 삼층감광막에서의 후방산란은 비슷한 정도이다. 그러므로, 본 삼층감광막구조에서는 270 μC/cm² 과 330 μC/cm² 사이의 dose양에서는 근접효과의 차이가 근소함을 알 수 있다. 이러한 후방산란현상의 감소는 두꺼운 AZ층 내에 후방산란되는 전자가 정지하게 되므로 PMMA층에 영향을 미치는 산란전자의 수가 감소하기 때문이다. 그 결과 패턴형성시 밀집된 패턴에 의해 발생하는 근접효과를 감소시킬 수 있다.

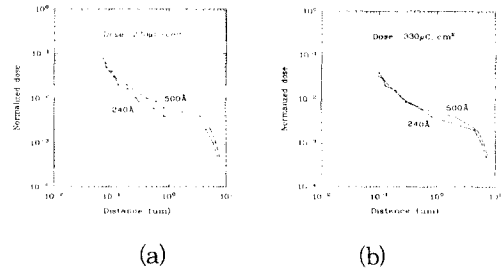


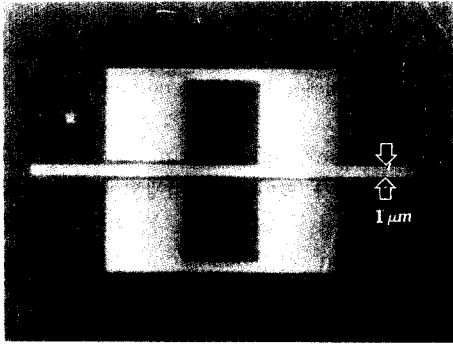
그림 3. Ge 두께의 변화에 따른 EID 곡선 (a) Dose 270 μC/cm² 일 경우 (b) Dose 330 μC/cm² 일 경우

Fig. 3. EID according to Ge thickness.

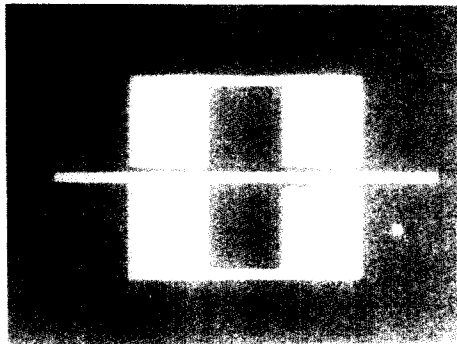
(a) Dose 270 μC/cm² (b) Dose 330 μC/cm²

그림 3은 Ge 두께의 변화에 따른 EID의 변화를 보여준다. 얇은 Ge막일수록 입사되는 전자빔과의 산란확률이 감소하여 후방산란현상이 적게 나타나므로 후방산란효과가 줄어들음을 볼 수 있다. Ge 두께가 240 Å인 경우 500 Å에 비해 EID곡선이 후방산란 영역에서 36%정도 감소하게 된다. 이때, AZ층의 두께는 0.9 μm이다. Dose가 330 μC/cm² 일 때보다 270 μC/cm² 일 때 후방산란효과가 더 줄어드는 현상을 보인다.

따라서, AZ층이 두꺼울수록, 또한 Ge층이 얇을수록 삼층감광막구조에서 근접효과는 감소하게 되나, AZ 두께가 증가하면 측면식각 역시 증가하고, Ge막이 너무 얇으면 박막형성시 uniformity저하와 pinhole 등의 문제가 발생하므로 본 구조에서는 공정 조건의 절충이 필요하다.



(a)



(b)

그림 4. 근접효과와 테스트 패턴상에서 근접효과 비교
(a) 단층감광막(PMMA) (b) 삼층감광막
Fig. 4. Proximity effect comparison in test pattern. (a) Monolayer(PMMA) (b) Tri-layer

2. 미세패턴의 형성

표 3의 조건 [1] 과 같이 SB(Softbaking) 90℃에서 dose 300 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 과 330 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 로 노출하여 MIBK:IPA (1:3) 혼합 현상액에서 120초 현상한 경우, 직립 형태의 0.15 μm 미세패턴을 형성하였다. 그리고, 조건 [2] 와 같이 SB 120℃에서는 dose 330 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 로 노출하여 150초 현상한 경우, 직립 형태

의 가장 좋은 단면을 가지는 0.1 μm 미세패턴을 형성하였으며(그림5), 조건 [3] 의 SB 140℃에서 dose 390 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 로 노출하여 150초 현상한 경우, 선과 선폭의 차이가 다소 큰 0.1 μm 미세패턴을 형성하였다. 이상의 결과에서 조건 [2] 의 경우가 0.1 μm 패턴 형성을 위한 가장 좋은 조건임을 알 수 있다. 미세선폭을 구현하기 위해서는 SB가 높을수록 도즈량 및 현상시간이 증가하여야 하며, 도즈량의 증가는 전자의 전방산란효과의 증가를 의미하므로 따라서 선폭이 증가함을 알 수 있다.

표 3. 2000 Å PMMA층에 미세패턴을 형성하기 위한 공정조건

Table 3. Conditions of pattern formation using 2000 Å PMMA.

조건	SB온도(℃)	도즈량($\mu\text{C}/\text{cm}^2$)	현상시간(sec)	비고
[1]	90	300	120	0.15 μm 그림5(0.1 μm)
		330		
[2]	120	330	150	0.1 μm
			160	
[3]	140	390	150	0.1 μm

- * 조건 [1] — AZ 베이킹 110℃
- * condition [1] — AZ baking 110℃
- * 조건 [2], [3] — AZ 베이킹 160℃
- * condition [2] [3] — AZ baking 160℃

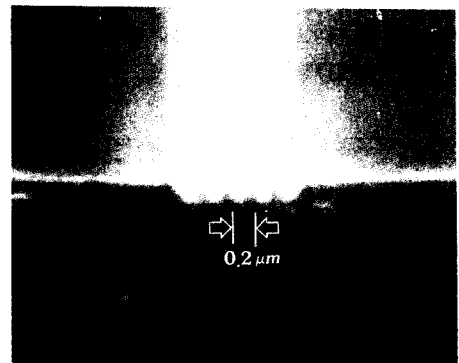


그림 5. 표 3의 조건 [2] 에 의해 PMMA층에 형성된 0.1 μm 선/간격 패턴(25kX)
Fig. 5. 0.1 μm line/space pattern on PMMA using Table 3., condition [2].

3. RIE 식각결과

Rf power는 Ge막의 식각으로 인하여 70W로 제한

되며, 이때 RIE 내부에서는 $0.38W/cm^2$ 정도의 power가 공급되고 식각율은 $1800\text{\AA}/\text{min}$ 정도이다. 압력이 증가하면 활성화된 이온 상호간에 충돌에 의한 산란현상이 증가하므로 측면식각성분이 늘어나게 되며, 가스량이 증가할수록 식각에 참여하는 이온의 개수가 증가하여, 식각율이 증가하게 된다. 전체 가스량에 대한 식각율은 증가하다가 감소하는 경향을 보이는데 이는 이온화된 식각가스가 식각작용을 일으키기 전에 펌프에 의해 배출되어지기 때문이다.^[8] Ge층을 식각하기 위해서는 CCl_2F_2 가스가 사용된다. 이때, 전자빔에 의해 형성된 패턴을 디스컴(descum)하기 위하여 소량의 산소가 첨가된다. Ge층의 두께는 500\AA 이 하므로 측면식각에 의한 패턴선평의 변화는 거의 무시할 수 있다. 아래층은 폴리머이므로 기본적으로 산소 플라즈마에 의해서 식각되어지는데, 본 연구에서는

헬륨과 질소를 첨가하여 산소 이온의 에너지를 높이고 산소 이온의 농도를 줄여 측면식각을 감소시켰다. 헬륨의 양에 따라서 식각이 변화하는데 헬륨의 양이 증가할수록 측면식각과 식각율이 동시에 줄어들게 된다. 이는 플라즈마 내에 생성된 전자의 electron temperature가 증가하여 sheath potential이 증가되며, 이로써 O_2 의 운동 방향성이 증가하므로 측면식각이 감소한다.^[9] 그림 6에서 볼 수 있듯이 AZ 5900Å, 11000Å의 경우, Ge 마스크 바로 아래에서 각각 50nm, 60nm의 측면식각이 나타나며, 70W, 20sccm He, 5sccm O_2 , 1mtorr RIE조건에서 0.2 μm 선/간격 패턴까지 구현되었다. (그림 7) 헬륨 대신 질소를 첨가(그림 6(c))한 경우 그림 6(a)의 경우와 비교해 보면 측면식각이 20nm정도 감소하였으며 질소량의 증가와 비례하여 식각율이 증가함을 볼 수 있다.

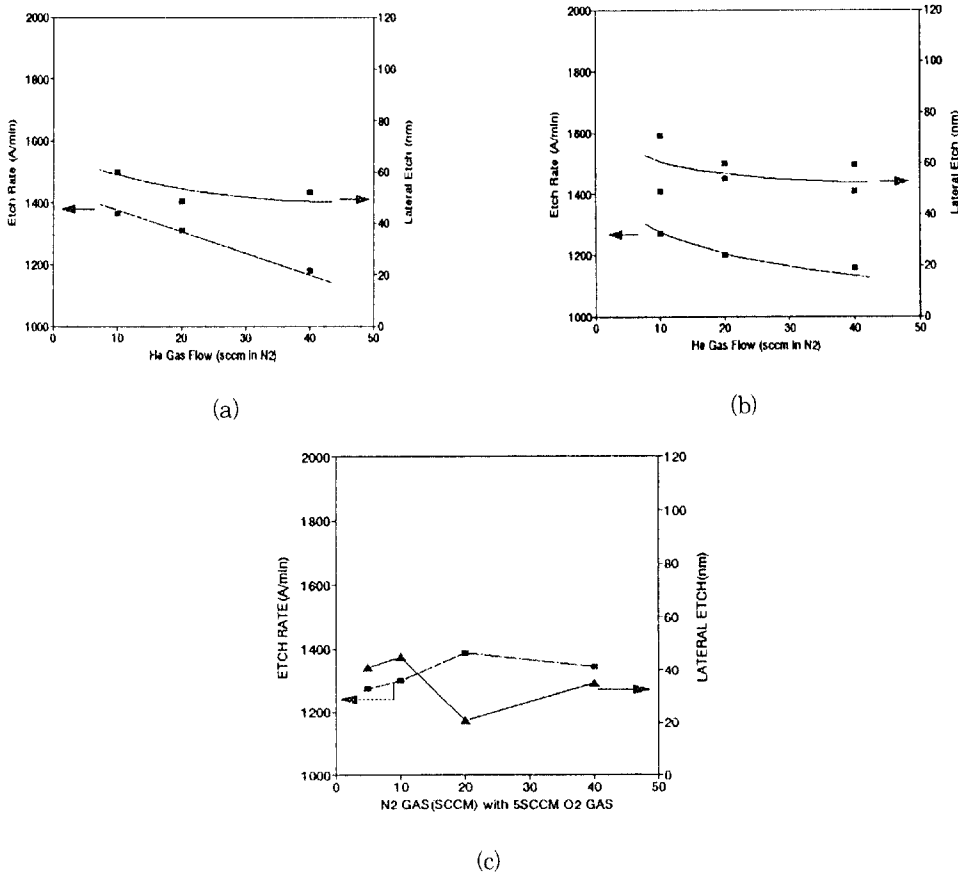


그림 6. 헬륨, 질소량의 변화에 따른 RIE결과 (식각율과 측면식각)
 (a) AZ 5900Å일 경우(He) (b) AZ 11000Å일 경우(He) (c) AZ 5900Å일 경우(N_2)
 Fig. 6. RIE results according to He, N_2 gas flow rate.(etch rate and lateral etch)
 (a) AZ 5900Å (He) (b) AZ 11000Å (He) (c) AZ 5900Å (N_2)

AZ층으로의 패턴전이는 시간을 많이 소요하는데 측면 식각은 식각시간에 비례하므로 식각시간이 짧아지는 얇은 AZ(0.5 μm)층에서 0.2 μm 선/간격 패턴의 전이가 가능함을 볼 수 있다.

한편, 식각율은 아래층이 두꺼울수록 낮아지는 현상을 보이는데, 이는 패턴이 작고 깊이가 깊을수록 구조적으로 식각이온들이 공급되고 반응후 배출되기가 어려워지기 때문이다. 따라서, 측면식각과 식각시간을 줄이기 위해서는 아래층을 얇게 할수록 바람직 한데, 삼층감광막구조를 이용하여 게이트를 만드는 경우 폴리실리콘과 감광제와의 식각율이 4:1 이상이고, 폴리실리콘의 두께를 3000Å로 가정하면 아래층이 800Å로도 식각시 충분하지만, 평탄화를 위해서 5000Å이상의 두께를 필요로 한다. 또한, 삼층감광막 구조의 아래층이 줄어들게 되면 후방산란현상이 증가 하게 되므로 충분한 두께를 가져야 한다.

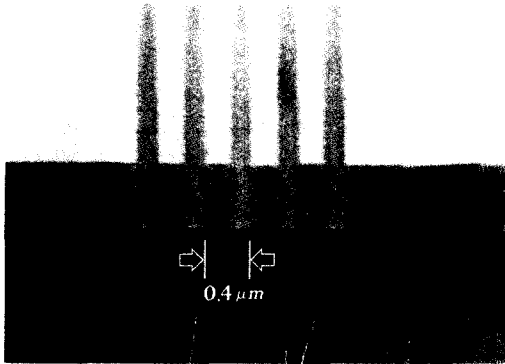


그림 7. O₂ RIE후에 AZ층에 전이된 선/간격 패턴 (5900Å AZ층에 전이된 0.2 μm 선/간격 패턴)

Fig. 7. Line/space pattern on AZ after RIE. (0.2 μm line/space pattern on 5900Å AZ)

IV. 결 론

전자빔묘화기술을 이용하여 0.1 μm 선폭의 구현과 이때 수반되는 근접효과를 개선하기 위하여 삼층감광막구조를 이용한 공정이 개발되었다. 삼층감광막구조는 imaging/metal/planarizing층으로 구성되며, imaging layer에서 형성된 미세패턴을 밀층까지 그대로 구현하는 것이 관건이며, metal 중간층은 전자에 의한 charging현상^[10]을 방지하기 위한 것이다. 패턴은 삼층감광막의 위층인 PMMA(2000Å)층이

전자빔에 노출된 후 현상되어 형성된다. 이렇게 형성된 패턴은 CCl₂F₂ RIE를 이용하여 중간층인 Ge층에 전이되며, O₂ + He RIE에 의해 아래층인 AZ층에 전이된다. 그 결과, AZ층에 최소 0.2 μm 선/간격 패턴이 구현되었으며, 이는 두번째 RIE시 측면식각으로 인해 제한되고 있다. 한편, 삼층감광막구조에서 후방산란효과의 감소는 AZ층 두께가 0.9 μm 이고 Ge층 두께가 250Å일 때, Ge층 두께가 500Å인 경우에 비해 36%이며, AZ층 두께가 1.7 μm 이고 Ge층 두께가 500Å인 경우는 PMMA 단층감광막구조에 비해 30% 감소한다.

본 연구에서는 삼층감광막구조를 이용하여 근접효과의 보정 및 imaging층의 0.1 μm 미세패턴 형성, 식각에 의한 0.2 μm 패턴 전이를 구현하였으며, 이는 deep submicron 선폭을 요구하는 공정에 적용 가능하리라 생각된다. 그러나, 0.1 μm 패턴전이를 위해서는 폴리머 식각분야의 연구가 더 필요하다.

※ 본 논문은 ETRI 차세대 반도체 기반 기술 사업의 연구 결과임.

參 考 文 獻

- [1] H.P.Chang, "Proximity Effect in Electron Beam Lithography", J. Vac. Sci. Technol., Vol.12, No.6, pp.1271-1275, 1975.
- [2] David Elliott, "Microlithography", ch.5 Multilayer resist, 1986.
- [3] Norman G. Einspruch et al., "Beam processing technologies", Academic press, inc., pp145, 1989.
- [4] C.R.K.Marran et al., "Low-voltage electron beam lithography with a STM", Appl. Phys. Lett., 56(8), 19, pp. 755-757, 1990.
- [5] Geraint Owen, "Method for proximity effect correction in electron lithography", J. Vac. Sci. Technol. B 8 (6), pp. 1889-1892, 1990.
- [6] J.C.Jacob et al., J. Vac. Sci. Technol. B10(6), pp3077, 1992.
- [7] Usage manual, AZ5200 positive photoresist, Hoechst Korea, 1992.
- [8] B.N.Chapman et al., J. Vac. Sci. Technol. 15, No.2, pp329, 1978.

[9] M.J. Vasile, "A comparative study of rf discharge in gas mixture of helium with flourine, oxygen, nitrogen and argon", J. Appl. Phys. 51(5), pp2503, 1980.

[10] Itoh et al., "Charging effects on trilevel resist with an e-beam lithography system", J. Vac. Sci. Technol. B8(6), pp. 1893-1897, 1990.

著 者 紹 介



裴 容 徹 (準會員)

1970年 5月 19日生. 1992年 2月 서울대학교 전자공학과 졸업(학사). 1994年 2月 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1994年 3月 ~ 현재 삼성전자 Memory 사업부 DRAM 설계팀 연구원. 주관심 분야는 E-beam lithography, MOS device, ULSI memory design 등임.

徐 泰 源 (準會員)

1969年 12月 1日生. 1993年 2月 고려대학교 전기공학과 졸업(학사). 1993年 3月 ~ 현재 서울대학교 대학원 전자공학과(석사과정) 재학중. 주관심 분야는 E-beam lithography 및 반도체소자 등임.

全 國 鎮 (正會員) 第 29卷 A編 第 5號 參照

현재 서울대학교 전자공학과 교수