

15-3-5

Enhanced-Inductively Coupled Plasma (E-ICP)를 이용한 Silylated photoresist 식각공정개발

The Development of Silylated Photoresist Etch Process by Enhanced-Inductively Coupled Plasma

조수범*, 김진우*, 정재성*, 오범환*, 박세균*, 이종근**

(Soo-Beom Jo, Chin-Woo Kim, Jae-Seong Jeong, Beom-hoan O, Se-Geun Park, and Jong-Geun Lee)

Abstract

The silylated photoresist etch process was tested by enhanced-ICP. The comparison of the two process results of micro pattern etching with $0.35\mu\text{m}$ CD by E-ICP and ICP reveals that E-ICP has better quality than ICP. The etch rate and the RIE lag effect was improved in E-ICP. Especially, the problem of the lateral etch was improved in E-ICP.

Key Words : Silyated photoresist, E-ICP, ICP, Etch rate, Etch profile

1. 서 론

최근 반도체 기술의 급격한 발전으로 게이트 형성을 위한 최소 선 폭이 지속적으로 축소되었고, 향후 $0.15\mu\text{m}$ 의 길을 가기 위해 많은 노력이 행해지고 있다. 이러한 최소 선 폭을 축소하기 위해서는 무엇보다 리소그래피 기술의 발전이 선행되어야 하는데 이에 따라 새로운 개념의 리소그래피 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 하지만 리소그래피 기술의 최소 선 폭(critical dimension)의 한계를 극복하는 데에는 몇 가지 어려움이 있는 것으로 알려져 있다. 첫째는 표면 굴곡의 심한 불규칙성으로 인한 초점심도 (DOF margin) 문제이고, 둘째는 표면 굴곡에 의해 발생하는 반사광에 의한 최소 선 폭 한계이며, 셋째는 불균일 반사에 의한 간섭의 영향 등이다. 이러한 문제점들을 극복하기 위하여 새로운 방식들이 제안되었고, 대표적으로는

multilayer resist와 surface image resist라는 이름으로 불리는 trilayer resist process, Si-CARL process, AT&T process, bilayer process, 및 TSI process가 있다. 이 중에서 TSI (top surface image) 공정은 공정 단계가 간단하고 수직한 패턴을 얻을 수 있어서 건식현상 (dry develop)의 대표 주자라 하겠다. 이 모두가 DESIRE (Dry Etching Silylation Image Resist)라고 불리는 방법이다 [1-3]. 이 방식의 이점은 해상력이 우수하며 선 폭 변화가 적고, 수직적인 패턴을 얻을 수 있다. 게다가 모든 공정과정이 진공용기 내에서 일괄 진행될 수 있어 오염의 가능성도 적다. 본 논문에서는 자체 개발된 E-ICP[5-7]에서 silylated photoresist 식각을 수행하였고, 종래의 유도결합플라즈마(ICP)를 통해 식각된 결과와 비교하였다. 아울러 각 공정 변수에 따른 식각 프로파일의 변화, 식각균일도 및 RIE lag과 같이 미세패턴 식각 시 발생하는 문제점에 대해서도 고찰하였다.

* : 인하대학교 전자재료공학과
(인천광역시 용현동 253번지 Tel : 032-860-7434,
Fax : 032-875-5882
E-mail : obh@inha.ac.kr)

** : (주) A.S.E
2001년 9월 27일 접수, 2001년 10월 22일 1차 심사 완료,
2001년 12월 27일 2차 심사 완료.

2. 실험

2.1 Silylated photoresist 제작

식각실험에 사용된 silylated photoresist는 그림 1의 공정을 통해 제작되었다. 기판의 표면 위에 도포된 photoresist를 부분적으로 노광 후에 실리콘이 포함된 가스에 노출시키면 노광된 부분에만 실리콘이 선택적으로 침투되어 silylated 된다. 이러한 silylation 반응이 끝난 기판은 산소 플라즈마를 이용한 건식현상 (dry develop) 공정시 산소원자가 실리콘을 포함한 photoresist와 반응하여 SiO_x 하드마스크를 형성하게 된다. 반면 silylated 되지 않은 photoresist는 산소라디칼과 이온에 의해 고 종횡비의 구조 식각이 가능하다. 그림 2는 위 공정을 통해 제작된 silylation 테스트 패턴의 사진이며 최소 선 폭은 0.18 μ m이며 실리콘 기판 위에 약 1 μ m이 증착 되었다.

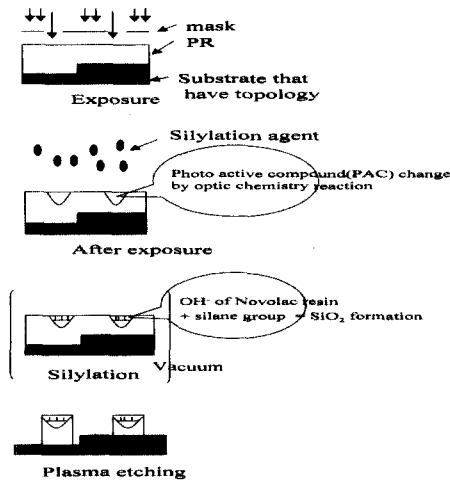


그림 1. Silylation 공정순서.
Fig. 1. Silylation process flow.

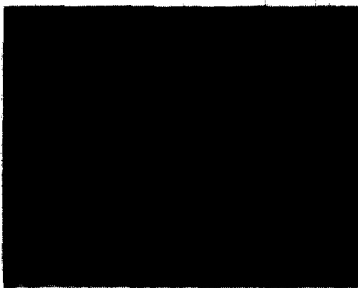


그림 2. 완성된 테스트 패턴.
Fig. 2. Test pattern.

2.2 Silylated photoresist 식각용 장비의 구조 (E-ICP)

종래의 반응성 이온식각 (RIE)를 이용하여 silylated photoresist를 식각하는 데에는 많은 어려움이 있다. 특히 미세패턴의 식각과 RIE lag의 제어면에서 유리한 저압 (<20 mTorr)에서 플라즈마 밀도가 낮고, 시료에 입사하는 이온의 에너지를 플라즈마 밀도와 독립적으로 조절이 불가능하기 때문에 높은 선택비를 유지하기가 어렵기 때문이다 [4,9]. 이 때문에 저압에서도 높은 플라즈마 밀도를 얻을 수 있고 기판에 입사하는 이온 에너지를 독립적으로 조절 가능한 유도결합 플라즈마 (ICP), 전자싸이클로트론 공명 (ECR), 헬리콘 (helicon)과 같은 고밀도 플라즈마 소스를 이용하여 silylated photoresist를 식각하는 것이 최근의 추세이다 [2,8].

본 실험에서는 자체 고안된 E-ICP를 이용하여 silylated photoresist를 식각하였다. 그림 3에서 보듯 E-ICP는 기존의 ICP 반응기에 축방향의 균일한 자기장을 인가하기 위하여 헬름홀츠 코일을 반응기에 설치하였고, 상부 코일에는 교류, 하부 코일에는 1.7 A 크기의 직류전류를 인가하였다. 주파수 변환기를 이용하여 상부 코일 전류의 주파수를 식각 가스와 공정조건에 부합하는 특정 자화 주파수로 조절할 수 있도록 제작하였다. 아울러 반응기 외부에는 플라즈마 특성을 분석하기 위한 진단 장비로 QMS (quadrupole mass spectroscopy)와 Langmuir probe가 설치되었다.

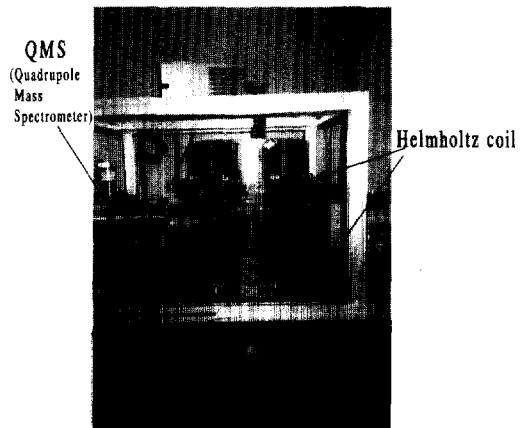


그림 3. E-ICP 식각장치의 개념도.
Fig. 3. Experimental setup for E-ICP.

Silylated photoresist를 식각하기 위하여 본 실험에서는 산소플라즈마를 이용하였으며 공정조건은 다음과 같다. source power 600 W, bias power 40, 70, 150 W, 공정압력 30 mTorr 산소유량은 30 sccm, 그리고 기판온도는 20 °C로 유지하였다. 식각후의 식각단차는 surface profiler (Alpha-Step 500, Tencor)를 이용하여 측정하였고 미세패턴 식각 프로파일은 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 E-ICP와 ICP의 식각율, 식각 프로파일의 비교

Silylated photoresist 식각과정에서 보다 정밀한 패터닝을 위해서는 photoresist의 측면식각(sidewall etch)을 최소화하고, 수직방향식각 (vertical etch)을 극대화시키는 것이 중요하다. 본 실험에서는 각 공정변수에 따른 식각 프로파일변화를 정량화하기 위하여 그림 4와 같이 측면식각의 크기를 정의하였다. 측면식각 (sidewall etch)이란 하드마스크 아래 photoresist 부분을 측면으로 식각한 부분을 총칭하며, 하드마스크의 바로 아래 부분이 측면식각된 형태인 undercut, photoresist 중앙부분이 등방적으로 식각된 형태인 bow etch 그리고 lateral etch는 식각종료(etch stop)부분이 식각된 형태를 포함한다.

그림 5에서 보듯 식각 시간을 증가시키에 따라 식각 속도는 전체적으로 다소 줄어드는 경향이 관측되었고 이는 식각이 진행됨에 따라 종횡비의 증가로 인한 것으로 판단된다.

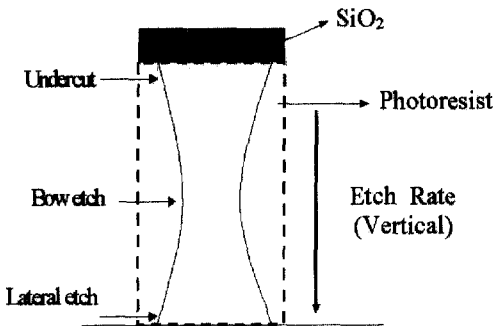


그림 4. Sidewall etch의 부분별 정의.
Fig. 4. Definition of sidewall etch.

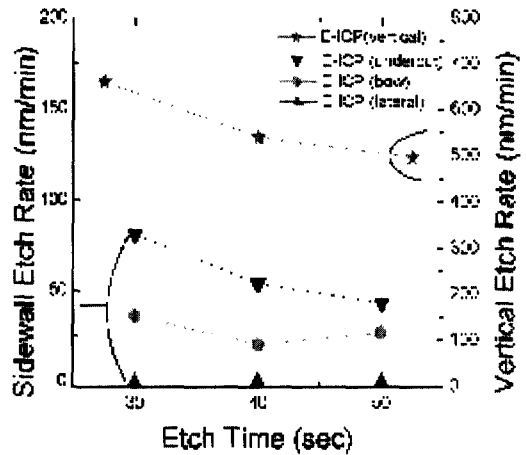


그림 5. 식각시간에 따른 식각율 변화.
Fig. 5. Dependence of silylated photoresist etch rate on etch time.

그림 6은 0.35 μ m의 선 폭을 갖는 패턴에서 bias power를 150 W로 유지하고 30초간 식각후 E-ICP와 ICP의 silylated photoresist 식각결과를 SEM을 통해 분석한 결과이다. E-ICP의 식각율은 ICP보다도 2배 가량의 식각율을 보이고 있으며 식각된 측면과 바닥부분의 표면상태가 E-ICP에서 상당히 개선되었음을 확인할 수 있다.

이와 같은 E-ICP의 높은 식각율은 통상적인 photoresist 식각 실험[5], 그리고 산화막 식각실험[9]에서도 측정된바 있으며 다음과 같이 설명이 가

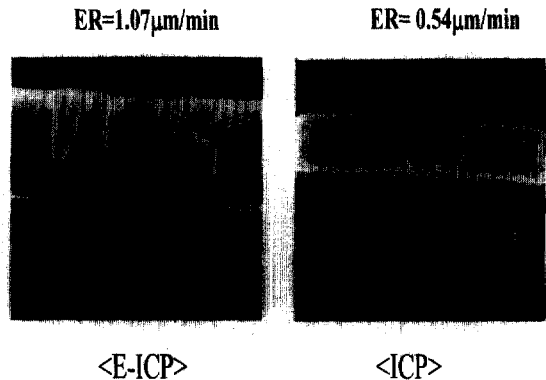


그림 6. E-ICP와 ICP의 식각프로파일 비교.
Fig. 6. Comparison of E-ICP with ICP etch profile.

능하다. 기존 ICP의 경우 외부 시변 전기장으로부터 주로 TE파 (transverse electric field)를 통하여 에너지를 흡수하게 된다. 그러나 고주파의 TE파는 플라즈마의 표피 효과 (skin effect)로 인하여 플라즈마 내부로 깊숙이 침투할 수 없게 되며, 매우 짧은 플라즈마 표피영역에서만 에너지를 흡수하게 된다. 반면에 E-ICP의 경우 헬륨홀츠 코일에서 발생된 축방향의 약 자기장 (~20gauss)이 인가되어, 플라즈마가 자화되는 경우에 플라즈마 내에 투과파 (우원편광파)가 존재하게 되고 이를 통하여 에너지전달 효율이 향상되기 때문이다[6].

3.2 Bias power에 따른 식각특성비교

고밀도 플라즈마를 이용한 silylated photoresist 식각 시에 bias power는 식각 프로파일 그리고 식각 선택비에 큰 영향을 주는 것으로 보고 되고 있다[8]. 그림 7은 E-ICP를 이용하여 silylated photoresist 식각시 bias power에 따른 식각 특성을 나타낸 그래프이다.

그림 8(a)와 8(b)는 40 W, 70 W로 bias power만을 다르게 하여 식각한 식각결과를 SEM을 통해 비교한 결과이며, 그림 8(c)는 40 W bias power 조건에서 ICP를 이용하여 식각 후 SEM를 통해 분석한 결과이다. 그림 7과 표 1에서 보듯 bias power가 증가됨에 따라 수직식각 속도는 크게 증가되고 측면식각은 감소되는 경향을 관찰할 수 있었는데, 이는 bias power가 증가함에 따라 수직방향의 이온의 에너지가 증가하여 수직식각은 급증

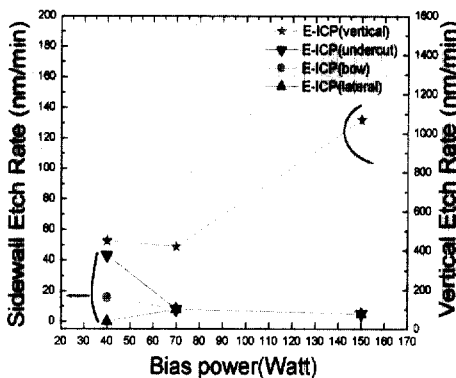
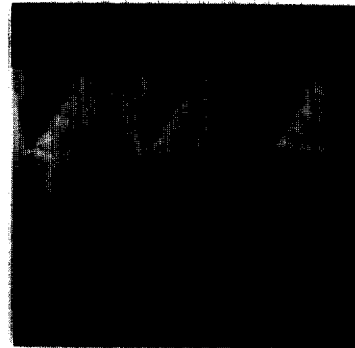
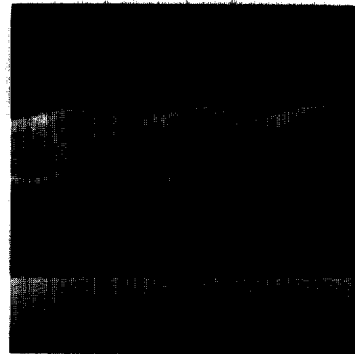


그림 7. Bias power에 따른 식각율 변화
Fig. 7. Dependence of silylated photoresist etch rate on bias power.

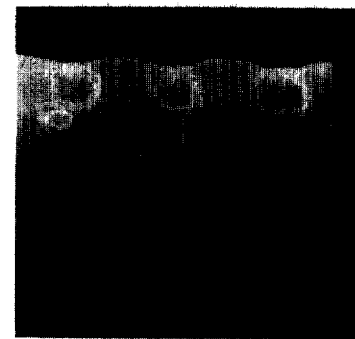
한 반면 측면부분의 식각은 감소하여 비등방적인 식각이 발생된 것으로 판단된다. 따라서 silylated photoresist 식각 시에는 bias power가 식각을 뿐만 아니라 식각 프로파일을 결정하는 중요 공정변수임을 재확인 할 수 있었다.



(a) E-ICP Bias Power 40 W



(b) E-ICP Bias Power 70 W



(c) ICBias Power 40 W

그림 8. (a), (b), (c). Bias power에 따른 식각 프로파일 변화.

Fig. 8. (a), (b), (c). Dependence of silylated photoresist etch profile on bias power.

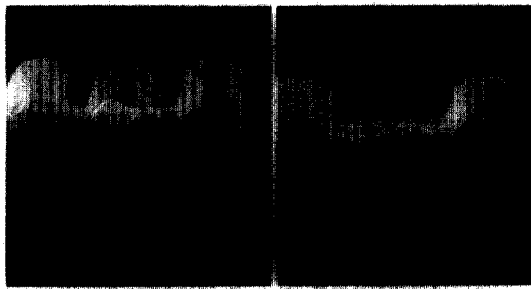
표 1. 식각특성측정결과.

Table 1. Etch results.

Process	Time (min)	Etch Rate ($\mu\text{m}/\text{min}$)	Profile (nm)	Side Wall Angle (deg)	Bottom Profile (nm)
ICP	70	280	27	27	27
ICP	150	540	5	5	5
E-ICP	40	450	43.2	15.6	0
E-ICP	70	420	8	8	8
E-ICP	150	1070	5	5	5

3.3 RIE lag의 제어특성

RIE lag이란 웨이퍼상의 패턴크기에 따라서 식각율 차이가 발생하는 현상을 말하며, 통상적으로 패턴 크기가 작은 경우가 패턴 크기가 큰 경우에 비해 식각율이 작은 것이 일반적이다[10]. 위와 같은 RIE lag의 효과적인 제어는 최근의 고집적 반도체 소자의 식각공정 시에 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 본 실험에서는 E-ICP를 이용하여 서로 다른 선 폭을 가진 패턴을 식각함으로써 E-ICP의 RIE lag 제어 가능성을 검증하고자 하였다. 실험결과 그림 9의 SEM 분석결과에 확인할 수 있듯이 30 mTorr 공정압력에서 0.18 μm 의 선 폭을 가지는 그림 9(a)와 0.54 μm 의 선 폭을 가지는 그림 9(b)의 식각율이 0.59 $\mu\text{m}/\text{min}$ 와 0.60 $\mu\text{m}/\text{min}$ 로 식각율 차이가 미미하였다. 고압에서 RIE lag이 상대적으로 심화되는 점을 감안한다면, E-ICP를 통하여 RIE lag이 효과적으로 제어되고 있음을 확인할 수 있었다.



(a) L/S 0.18 μm (b) L/S 0.54 μm

그림 9. E-ICP에서 RIE lag효과 측정.

Fig. 9. RIE lag effect in E-ICP.

3.4 식각균일도 측정

다른 식각공정에서와 마찬가지로 silylated pho-

toresist 식각에 있어서 높은 식각 균일도를 확보하는 것은 매우 중요하다. 그림 10은 E-ICP를 이용하여 silylated photoresist 식각공정 후 웨이퍼중심 ($r=0$)으로부터 $r=5\text{cm}$ 까지 식각율을 측정하고 이를 통해 식각 균일도를 측정된 결과이다. SEM 사진에서 볼 수 있듯이 3% 수준의 식각 균일도가 측정되었으며 이는 기존의 photoresist 식각실험에서도 측정된 균일도와 유사한 실험결과이다[5]. 비록 4인치 웨이퍼를 이용한 제한적인 균일도 측정 실험이었지만 E-ICP 기술로 향상된 식각 균일도를 얻을 수 있음을 확인하였다.

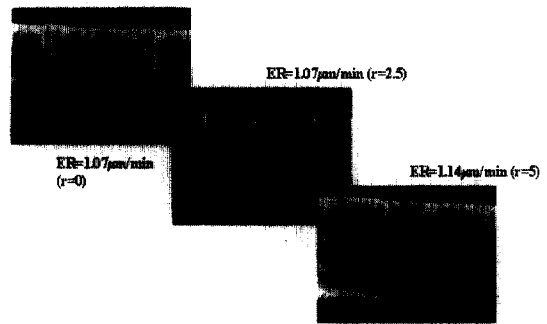


그림 10. E-ICP의 식각균일도.

Fig. 10. E-ICP etch uniformity.

4. 결론

본 논문에서는 자체 개발한 E-ICP 기술을 통해 silylated photoresist를 식각한 결과와 기존의 ICP를 통해 식각한 결과를 비교하였다. 실험결과 E-ICP는 ICP가 지니는 장점과 기본 구조를 유지하면서도, 향상된 식각 프로파일과 2배정도의 높은 식각율이 측정되었다. 또한 식각 균일도 측정에서 3% 수준의 식각 균일도가 측정되었고, 미세패턴 식각 시 발생 가능한 문제인 RIE lag 현상이 효과적으로 제어되고 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부와 과학기술부에서 시행한 선도기술개발사업의 차세대평판표시장치기반기술 개발의 연구비 지원과 인하대학교 교내 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 하이닉스반도체에서 silylated photoresist를 지원해 주었습니다.

참고 문헌

- [1] Maaik Op de Beeck, Mieke Goethals, and Luc Van den hove "Dry development of surface imaging resist : a major parameter for process optimization", J. Electrochem. Soc. Vol. 139, No 9, p. 2644, 1992.
- [2] S. C. Palmateer, A. R. Forte, R. R. Kunz, and M. W. Horm "Dry development of sub-0.25 μ m feature pattern with 193nm silylated resist", J. Vac. Sci. Technol. A 14(3), p. 1132, 1996.
- [3] 김준모 "Silylated resist의 MERIE 건식식각 특성에 관한 연구", 인하대학교 석사학위 논문 1995.
- [4] 이수부, 박헌진, 이석현 "유도결합형 플라즈마원을 이용한 고선택비 산화막 식각에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, Vol. 11, No. 9, p. 261, 1998.
- [5] Beom-hoan O, Jae-seong Jong, and Se-Geun Park "Improvement of ICP plasma with periodic control of axial magnetic field", Surface and coating technology Vol. 120 p. 752, 1999.
- [6] 라상호, 박세근, 오범환 "자화플라즈마의 분산 특성과 유효광학계수 변화", 한국진공학회 논문집 Vol 9, No 3, p. 285, 2000.
- [7] 라상호, 박세근, 오범환, "자화 플라즈마의 주기적 특성 변화와 E-ICP", 한국전기 전자재료학회 2000하계계학술대회 논문집, p. 616, 2000.
- [8] K. T. Sung, W. H. Juan, and S. W. Pang "Low temperature etching of silylated resist in an oxygen plasma generated by an electron cyclotron resonance source", J. Electrochem. Soc. Vol. 140. No 12, p. 3620, 1993.
- [9] 조수범, 송호영, 박세근, 오범환 "산화막 식각에 적용된 E-ICP효과와 형상단면비교", 한국전기전자재료학회 2000하계학술대회 논문집 p. 612, 2000.
- [10] Richard A Gottscho, C. W. Jurgensen, and D. J. Vitkavage "Microscopic uniformity in plasma etchin", J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 10, No. 5, p. 2133, 1992.