

I-Line과 DUV Resist에서 Poly-Si 플라즈마 식각시 미치는 개스의 영향

신기수 · 김재영

현대전자산업주식회사 메모리연구소 공정개발2실
(1996년 10월 11일 접수)

Effects of Gas Chemistries on Poly-Si Plasma Etching with I-Line and DUV Resist

Kisoo Shin and Jae-Young Kim

Hyundai Electronics Ind. Co., Ltd., Memory R & D Center, Ichon-si 467-701, Korea
(Received October 11, 1996)

요 약 - 256M DRAM급에 해당하는 0.25 μm 의 회로선 폭을 가공하기 위해 Arc layer & DUV resist 사용이 필수적이다. Poly-Si 식각시 Arc layer 적용여부 및 resist 종류에 따른 차이를 TCP-9408 etcher(Lam Research Co.)에서 Cl_2/O_2 , Cl_2/N_2 , Cl_2/HBr 3가지 gas chemistry를 변화시키며 조사하였다. 동일한 식각 조건에서 DUV resist 사용의 경우에 I-line resist에 비해 식각 profile이 positive 하고 CD gain도 크게 나왔다. 이것은 resist 손실에 의한 polymer 생성의 증가가 식각시 측벽 보호막을 강화시키기 때문이다. Arc layer 적용의 경우 Arc layer 식각시 생기는 fluorine계 polymer가 poly-Si 식각시 mask 역할을 하므로 CD gain이 증가하는 것으로 나타났다. Gas chemistry에 의한 영향은 Cl_2/O_2 의 경우가 식각시 polymer 형성을 촉진시켜 positive profile 및 CD gain을 초래하였다. Cl_2/HBr 의 경우에는 profile이 vertical 하였고 CD gain도 거의 없었다. 또한 dense pattern과 isolated pattern 사이의 profile 및 CD 차이도 가장 작게 나타났다. HBr gas 사용이 식각시 pattern density에 따른 측벽 보호막 형성의 불 균일성을 최소화 시켜 양호한 특성을 보여주었다.

Abstract - It is necessary to use Arc layer and DUV resist to define 0.25 μm line and space for 256 M DRAM devices. Poly-Si etching with Arc layer and different resists has been performed in a TCP-9408 etcher with variation of gas chemistries; Cl_2/O_2 , Cl_2/N_2 , and Cl_2/HBr . DUV resist causes more positive etch profile and CD gain compared to I-line resist because the sidewall passivation is more stimulated by increasing polymerization through the loss of resist. When Arc layer is applied, CD gain also increases due to the polymeric mask formed after etching Arc layer. From the point of gas chemistry effects, the etch profile and CD gain is not improved using Cl_2/O_2 gas, since polymerization is accelerated in this gas. However, the vertical profile and less CD gain is obtained using Cl_2/HBr gas. Furthermore, HBr gas is very effective to suppress the difference of profile and CD variation between dense pattern and isolated pattern by minimizing non-uniformity of side wall passivation with pattern density.

1. 서 론

반도체 기억소자가 고집적화 되어감에 따라 보다 작은 회로선 폭이 요구되고, 소자의 회로선 폭을 결정짓는 광학노광기술은 광원의 단파장화를 통해서 발전되어 왔다. 빛의 파장이 g-line($\lambda=436\text{ nm}$)에서 i-line($\lambda=365\text{ nm}$)으로 전이하는 과정에서는 동일한 광원과 거의 같은 성

분의 photoresist를 사용하는 관계로 기술상의 큰 차이점이 없었으나, 256M DRAM급에 해당하는 0.25 μm 의 회로선 폭을 가공하는데는 DUV($\lambda=248\text{ nm}$) 광원을 사용해야 하는데, 공정 특성상 delay time effect나 multi-reflection에 의한 critical dimension(CD) variation 등의 문제점이 존재한다. 이러한 단점을 보완하기 위해서는 I-line resist와는 성분이 다른 화학중폭형 DUV resist의

사용이 필수적이다[1-3]. 한편, poly-Si 위에 resist를 도포하고 mask를 형성할 시 단차로 인해 반사된 빛이 resist에 notching을 주는 현상을 유발한다. 이를 최소화하기 위해서 빛의 반사를 줄여주는 Arc(Antireflection Coating) layer를 poly-Si 위에 증착하고 DUV resist를 사용하게 된다.

따라서, 0.25 μm poly-Si 식각시 I-line resist와 DUV resist 차이 및 Arc layer 사용하는 경우와 안 하는 경우의 차이가 식각 특성에 영향을 줄 것으로 예상된다. 실제 poly-Si 전극 크기가 작아질수록 식각 profile 및 CD 제어는 매우 어렵게 된다. 특히 dense pattern(cell)과 isolated pattern(TR)에서 식각후 profile과 CD 차이가 크기 때문에 device 특성에 나쁜 영향을 준다[4-6]. 이를 해결을 위해서는 식각시에 측벽 polymer 형성을 적절히 유지하는 것이 필요하며 이때 측벽 표면의 화학성분이 많은 영향을 주는 것으로 보고되었다[7]. 또한, 식각시 이온의 물리적 충격이나 라디칼의 화학반응에 의한 mask 모양이나 resist 손실 정도가 profile에 변화를 주게 된다[8-10]. 이에 본 연구에서는 3가지 다른 gas chemistry를 사용하여 플라즈마 식각을 행하였을 때 resist 종류의 차이와 Arc layer의 적용여부에 따라 식각 profile 및 CD 특성이 pattern density에 따라 어떻게 차이 나는지 조사하였다.

2. 실험 방법

플라즈마 식각 특성 파악을 위하여 실험에 사용한 wafer는 다음과 같이 준비하였다. 8 inch Si wafer 위에 thermal oxide를 70 Å 성장시킨 후 poly-Si을 2000 Å 증착하고 나서 불순물인 phosphorous를 도핑 하였다. 다음에, Arc layer의 사용 여부에 따른 차이점을 살펴보기 위해서 Arc-oxynitride(SiON) 300 Å deposition을 split 하였고, resist 종류의 차이에 따른 식각 특성의 차이점을 파악하기 위하여 I-line resist와 화학중폭형 DUV resist로 mask를 split하였다. 이렇게 준비하여 얻은 4가지 다른 mask 조건인 첫째, Arc layer & DUV resist, 둘째, Arc layer & I-line resist, 셋째, Arc layer 없는 DUV resist, 넷째, Arc layer 없는 I-line resist에 대하여 Lam Research사의 TCP-9408 poly etcher를 사용하여 플라즈마 식각 특성을 비교하였다. Main etch에서 Cl₂/O₂, Cl₂/N₂, Cl₂/HBr 3가지 gas chemistry를 split하여 식각 하였고, over etch는 동일하게 Cl₂/O₂ gas를 적용하였다. Arc layer의 식각 조건은 5mT, 300W(RF power), 90W(bias power), 100C₂F.

이고, Poly-Si의 식각 조건은 Cl₂/O₂의 경우 3 mT, 300W(RF power), 60W(bias power), 20Cl₂, 90O₂이며, Cl₂/N₂의 경우 5 mT, 380W(RF power), 60W(bias power), 130Cl₂, 6N₂이며, Cl₂/HBr의 경우 5 mT, 380W(RF power), 37W(bias power), 70Cl₂, 30HBr이다. 각각의 경우에 식각 전후로 CD를 측정후 dense pattern 지역과 isolated pattern 지역에서 CD gain이 어떻게 차이가 나는지 조사하였고, 식각후 profile은 단면 Scanning Electron Microscope(SEM)을 사용하여 비교 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Cl₂/O₂ Gas Chemistry에 의한 식각

4가지 mask 조건에 대해서 Cl₂/O₂ plasma를 사용하여 건식 식각을 행한 후 resist strip 및 BOE dip으로 측벽 polymer를 제거하고 나서 얻어진 식각 profile이 Fig. 1에 나타나있다. 본 실험에서는 식각시 photoresist mask의 CD나 profile 차이에 의한 식각후의 CD나 profile 영향을 배제하기 위해서 I-line 이나 DUV photoresist 공히

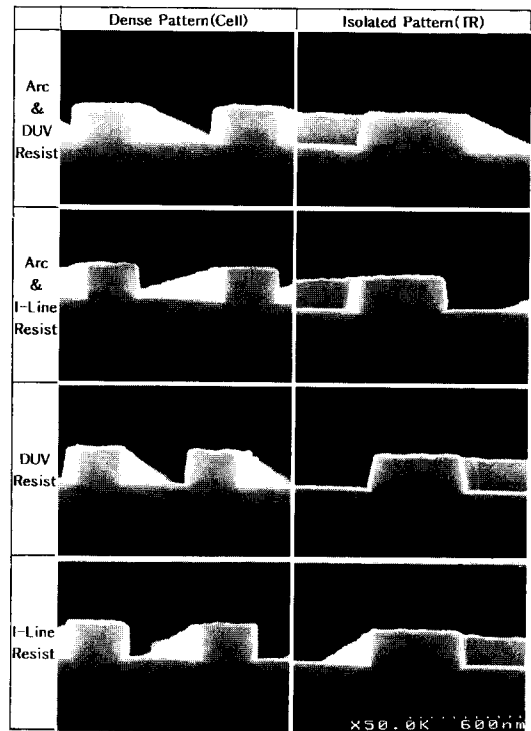


Fig. 1. Etched profiles of 0.30 μm poly-Si line in Cl₂/O₂ plasma.

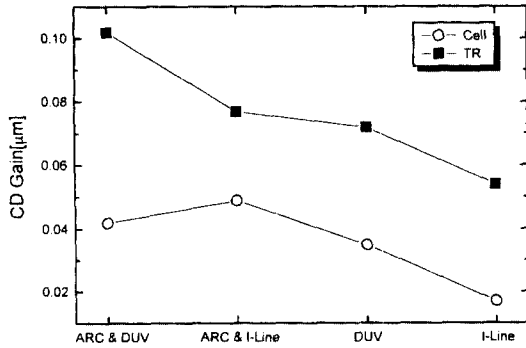


Fig. 2. CD gains with four different mask conditions after Cl_2/O_2 plasma etching.

동일한 CD와 vertical profile을 갖도록 노광 조건과 초점거리를 최적화 하였다. dense pattern 지역과 isolated pattern 지역에서 모두 positive slope을 보이고 있는데, 이것은 식각 도중에 생기는 polymer에 의한 측벽 보호막에 기인한다[11-12]. Fig. 2에 식각 전후의 CD gain의 변화를 dense pattern과 isolated pattern에서 측정한 값을 나타내었다. 각각의 CD gain을 비교해 보면 Arc layer의 적용에 관계없이 DUV resist를 적용했을 때 I-line resist 보다 전반적으로 CD gain이 크을 알 수 있다. 이는 동일한 조건에서 건식 식각을 했을 때 상대적으로 DUV resist가 I-line resist의 경우보다 resist의 손실이 많아 polymer를 많이 생성시켜 측벽 보호막을 강화시키기 때문이다. Fig. 3에서 이를 확인할 수 있는데 식각후 남아있는 resist의 상대적 양을 측벽 polymer의 높이로 비교할 수 있다. DUV resist를 사용한 경우 남아있는 resist의 양이 상대적으로 적는데 이는 식각시 carbon source가 많이 발생하여 polymer 형성이 촉진되어 측벽 보호막이 강화됨을 의미한다. 왜냐하면, I-line photoresist 경우 식각 mask 역할을 Novolac resin이 하는데 polymer가 Benzene ring인 환형 사슬이 주종이고 DUV photoresist 경우는 t-BOC resin이며 이 경우는 Novolac resin 보다 상대적으로 적은 Benzene ring을 가지고 있으며 polymer가 선형 사슬이 많다. 따라서 식각시 DUV resist 경우가 더 쉽게 주쇄가 절단되므로 식각에 대한 저항력이 떨어지고 resist 손실이 커진다.

한편 DUV resist만을 적용한 경우와 Arc layer & DUV resist를 적용한 경우를 비교해보면 Arc layer & DUV resist의 경우가 CD gain이 더 컸으며, Arc layer & I-line resist의 경우에도 I-line resist만 적용한 경우보다

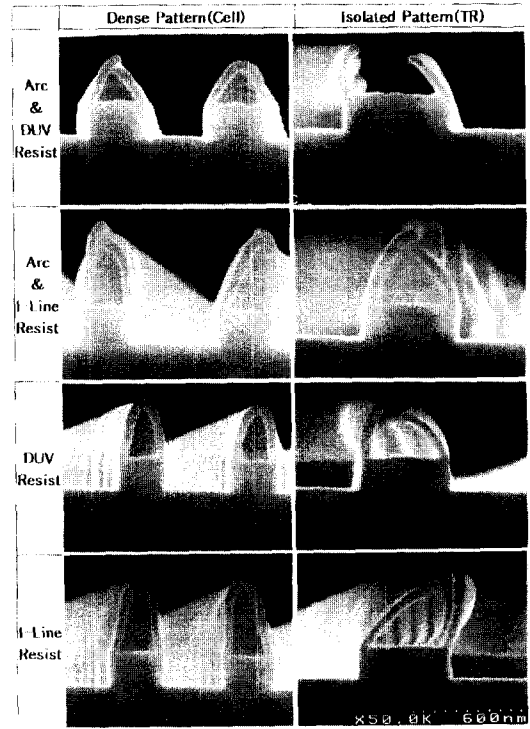


Fig. 3. Etched profiles of $0.30 \mu m$ poly-Si line, showing sidewall polymer in Cl_2/O_2 plasma.

CD gain이 컸다. 이는 Arc layer의 존재가 CD gain을 증가시키는 방향으로 작용함을 의미한다. Arc layer의 식각은 poly-Si 층을 식각할 때에는 다른 etchant인 CF_4 나 C_2F_6 gas를 사용하는 관계로 부산물로 생성되는 polymer의 성분이 CF_x 계로 CCl_x 계와는 차이가 있다. 따라서, poly-Si 층 식각시 이미 Arc layer 식각시 발생한 fluorine계 polymer가 mask 역할을 하여 CD gain이 크게 생기는 것으로 분석된다. Arc layer 물질은 SiON 인데 식각시 profile이 경사지면 이후 Poly-Si 식각에 영향을 주어 CD gain이 생길 수 있으며 Arc layer 식각후 CD는 Hitachi CD SEM으로 정확한 값을 측정하였다. CD gain은 dense pattern과 isolated pattern 모두 Arc layer를 사용하고 화학중독형 DUV resist를 사용하여 식각을 한 경우가 가장 크며, Arc layer없이 I-line resist만을 적용하여 식각을 했을 때 CD gain 억제 측면에서 가장 양호한 결과를 보였다.

3.2 Cl_2/N_2 Gas Chemistry에 의한 식각

Fig. 4는 Cl_2/N_2 gas를 이용하여 식각을 행한 다음의

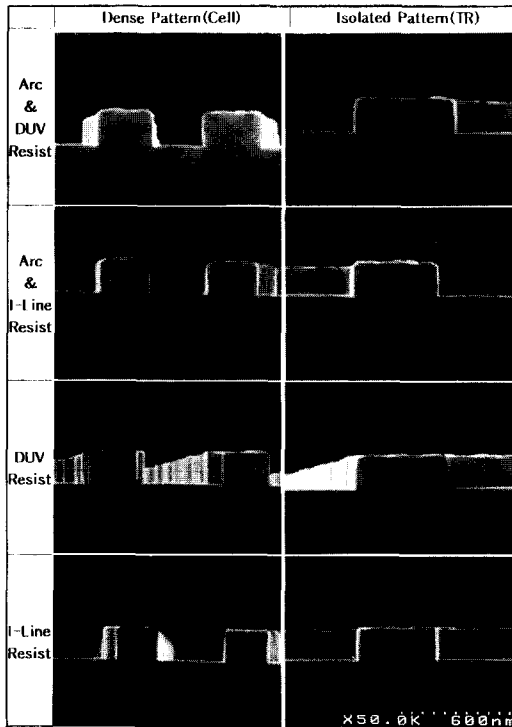


Fig. 4. Etched profiles of 0.30 μm poly-Si line in Cl_2/N_2 plasma.

profile을 보여주고 있다. isolated pattern의 경우에는 Cl_2/O_2 gas를 이용하여 식각 했을 때보다는 4가지 조건에서 모두 일정하게 약간의 positive slope을 보여주었고, DUV resist만을 적용했을 경우가 식각후의 profile이 가장 positive slope을 보였다 그러나, dense pattern의 경우에는 약간 다른 특성을 보여주고 있다. Arc layer & DUV resist의 경우가 약간의 microtrench 현상은 관찰되지만 positive slope에 가깝고, Arc layer & I-line resist나 DUV resist만을 적용한 경우는 vertical profile을 보여주고 있다. 반면에 I-line resist만을 적용했을 때는 약간 negative slope을 보이고 있다. 이것은 polymer 생성이 Cl_2/O_2 gas를 사용했을 때보다 적어서 profile은 보다 vertical해진 것으로 이해할 수 있으며, 따라서 CD gain이 보다 적어질 것으로 예측할 수 있다. 이는 Fig. 5에서 확인할 수 있는데, dense pattern에서는 CD gain의 경향성이 Cl_2/O_2 gas에서와 동일한 양상으로 나타났지만 Arc layer를 사용하거나 DUV resist를 사용한 경우가 상대적으로 CD gain이 컸다. 그러나 isolated pattern에 있어서는 mask 조건별로 거의 차이가 없었다. 따라서

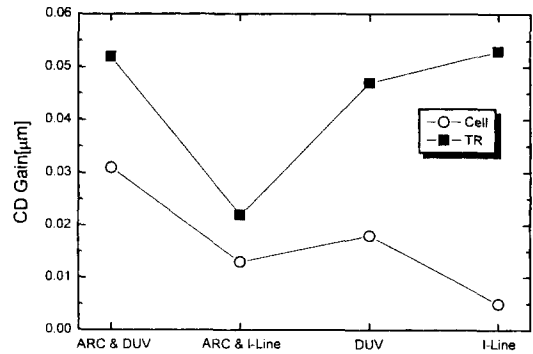


Fig. 5. CD gains with four different mask conditions after Cl_2/N_2 plasma etching.

dense pattern과 isolated pattern 모두 4가지 mask 조건에 관계없이 식각후 CD gain이 Cl_2/O_2 gas를 사용했을 때 보다 적었다. 이는 Cl_2/N_2 gas를 사용하여 식각할 때 polymer가 적게 생성되기 때문으로 파악되고, 또한 Cl_2/O_2 의 경우는 Poly-Si 측벽이 O_2 에 의해 산화되므로 SiO_2 막을 형성하고, 이것이 측벽 식각 속도를 감소시켜 CD gain이 증가하는 것으로 사료된다.

3.3 Cl_2/HBr Gas Chemistry에 의한 식각

Cl_2/HBr gas를 사용하여 식각 했을 때 4가지 mask 조건에 따른 식각후의 profile을 Fig. 6에 나타내었다. 전체적인 경향성은 다른 gas chemistry를 사용했을 때 보다는 모든 조건에서 가장 vertical profile을 보여주고 있고 microtrench 현상도 거의 관찰되지 않았다. 그리고 사용한 resist 종류에 관계없이 Arc layer를 사용했을 경우가 dense pattern과 isolated pattern에서 모두 positive profile을 보여주고 있다. Arc layer를 적용하지 않았을 때는 dense pattern 지역에서는 거의 90° 에 가까운 profile을 보여주고 있으며, isolated pattern은 약간 negative slope을 나타냈다. Cl_2/HBr gas를 사용하여 식각 했을 때 Arc layer의 사용 여부에 관계없이 I-line resist와 DUV resist의 차이에 따른 profile 상의 큰 변화를 관찰할 수 없었다. 4가지 mask 조건에 따른 식각후의 CD 변화를 Fig. 7에 나타내었다. dense pattern과 isolated pattern 모두 I-line resist에서 Arc layer & DUV resist쪽으로 갈수록 CD gain이 증가하였다. 이는 Cl_2/O_2 와 Cl_2/N_2 gas를 사용한 플라즈마 식각의 경우와 동일한 경향을 보여 주고 있다. 하지만 Cl_2/HBr gas가 다른 gas chemistry에 비해서 CD gain을 줄일 수 있는 가장 효과적인 조건이었다.

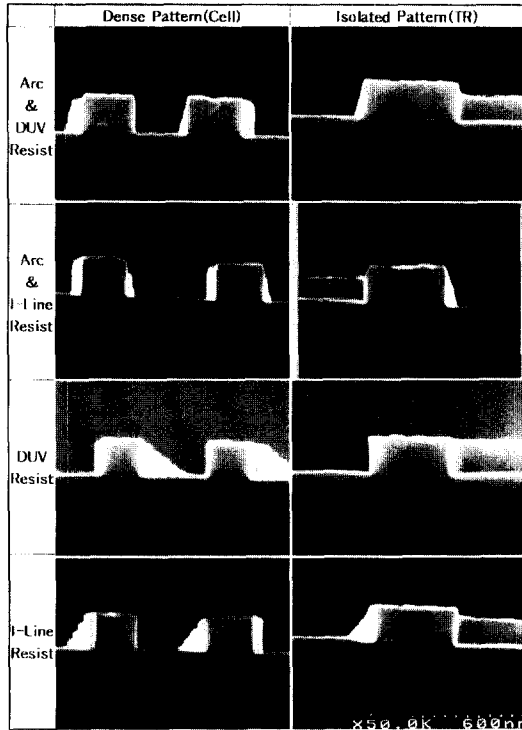


Fig. 6. Etched profiles of 0.30 μm poly-Si line in Cl_2/HBr plasma.

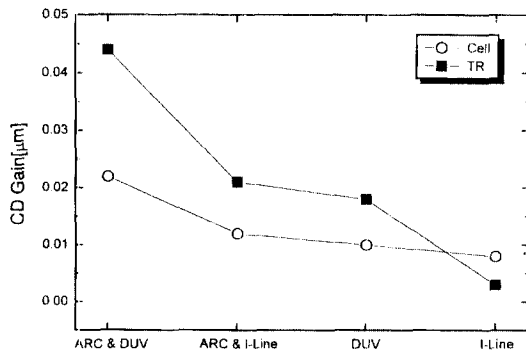


Fig. 7. CD gains with four different mask conditions after Cl_2/HBr plasma etching.

3.4 Gas Chemistry에 따른 식각 특성 차이

동일한 gas chemistry에서 Arc layer의 존재여부와 resist 종류에 따른 식각 profile 및 CD 특성이 차이를 보이지만, gas chemistry 종류의 적절한 선택에 의하여 원하는 식각 특성을 얻을 수 있다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 main etch에서 사용한 gas가 Cl_2/O_2 에서 Cl_2/N_2 그리고 Cl_2/HBr 쪽으로 갈수록, dense pattern 지역은

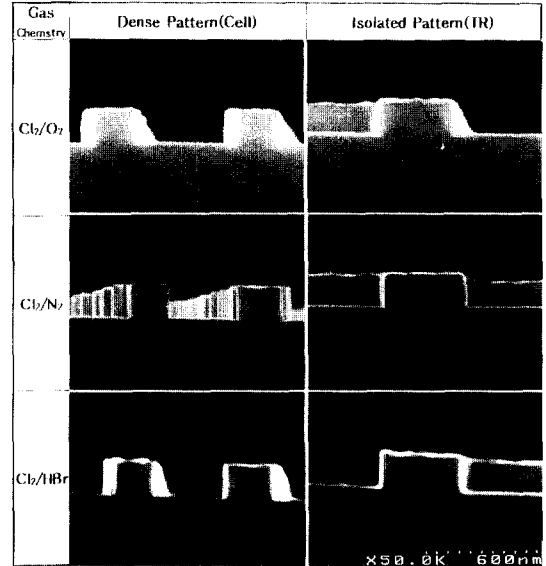


Fig. 8. Etched profiles with three different plasma chemistries, Cl_2/O_2 , Cl_2/N_2 and Cl_2/HBr at dense pattern and isolated pattern.

positive slope에서 보다 90°에 가까운 vertical profile을 보여주었고 microtrench 현상도 현저하게 줄어들음을 알 수 있다. isolated pattern 지역도 마찬가지로 경향성을 보여주고 있는데 이 때에는 Cl_2/O_2 에서는 positive slope을 보여주고 있으나 Cl_2/HBr gas chemistry 쪽으로 갈수록 약간 negative slope을 갖는 profile을 보이고 microtrench 현상도 거의 없어짐을 관찰할 수 있다. 특히 HBr은 O_2 나 N_2 에 비해 분자량이 크기 때문에 이온이 측벽으로 휘지 않고 수직방향을 가지기 때문에 microtrenching이 억제되는 것으로 사료된다. 이러한 현상이 Arc layer의 존재 여부와 DUV resist나 I-line resist 차이에 관계없이 동일한 경향성을 보여주는 것으로 보아서 식각 profile에 미치는 영향은 Arc layer의 사용 여부와 resist의 종류 차이보다 식각시 사용한 gas chemistry의 종류에 의해 더 크게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 9는 dense pattern과 isolated pattern에서 각 gas chemistry 별로 식각한 후 CD 변화를 4가지 mask 조건에 따라 보여 주고 있다. CD gain의 크기는 ion scattering 효과가 작은 isolated pattern이 dense pattern 보다 모든 조건에서 훨씬 컸다. 그리고 전체적인 CD gain값은 dense pattern과 isolated pattern의 경우 모두 resist 종류와 Arc layer의 존재여부에 관계없이 Cl_2/HBr 에서 Cl_2/N_2 , 그리고 Cl_2/O_2 방향으로 갈수록 커짐을 알 수 있다.

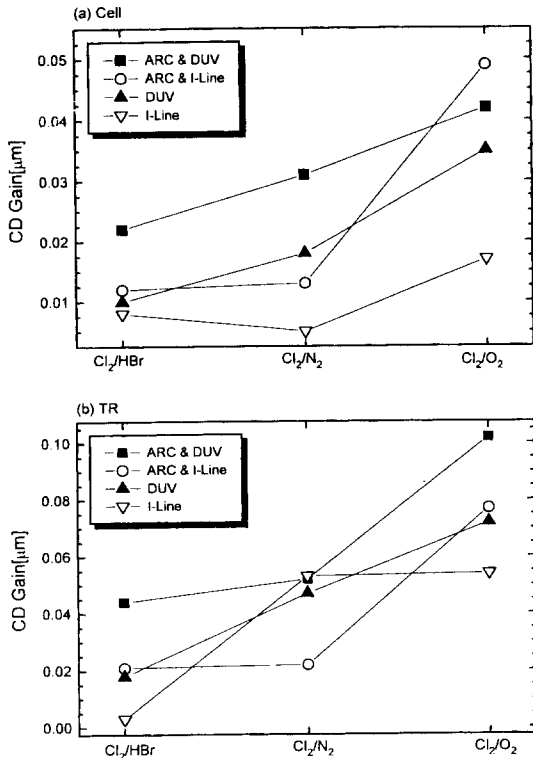


Fig. 9. CD gains with three different plasma chemistry for four different mask conditions, (a) Cell(dense pattern) (b) TR(isolated pattern).

Cl₂/HBr gas로 식각한 경우에는 polymer 생성 정도가 pattern density에 따라 크게 차이나지 않고 측벽 보호막의 두께도 CD gain을 줄일 수 있게 제어가 가능한 것으로 판단된다.

4. 결 론

4가지 mask 조건인, Arc layer & DUV resist, Arc layer & I-line resist, DUV resist, I-line resist에서 poly-Si 플라즈마 식각시 Cl₂/O₂, Cl₂/N₂, Cl₂/HBr gas chemistry 별로 미치는 영향을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 식각할 때 사용한 gas chemistry에 관계없이 DUV resist를 사용한 경우에 식각시 resist 손실이 많아 polymer 생성이 촉진되고 이것이 측벽 보호막 두께를 두껍게 하여 profile이 positive slope이 지고 CD gain이 크게 나왔다.

또한 Arc layer를 사용한 경우에 Arc layer 식각시 형성된 측벽 보호막이 poly-Si 식각에 영향을 주어 CD gain을 증가시켰다. gas chemistry별로 식각 특성을 비교한 결과 Cl₂/O₂ gas를 사용하여 식각했을 때가 profile이 가장 positive slope을 보였으며 CD gain 또한 가장 컸다. 반대로 Cl₂/HBr gas로 식각했을 때가 profile이 가장 vertical 하였으며, CD gain도 가장 작았으며 dense pattern과 isolated pattern 사이의 CD gain의 차이도 작았다. 이는 각 gas chemistry가 발생시키는 polymer의 양 및 성분이 차이를 보여 측벽 보호막 형성이 달라지기 때문으로 사료된다. 따라서 Arc layer 및 DUV resist를 mask로 하여 0.25 μm poly-Si 식각시 생기는 positive profile 및 CD gain의 문제점은 Cl₂/HBr gas를 사용하여 해결할 수 있었다. 그리고, 식각시 CD gain 및 profile에 미치는 영향은 Arc layer나 resist 종류보다는 사용한 gas chemistry의 종류에 의해 더 크게 나타남을 알 수 있었다.

참고문헌

1. K. Y. Kim, H. E. Kim, I. H. Lee, J. S. Kim, J. S. Chun, I. B. Hur, S. C. Moon, K. H. Baik, and S. H. Choi, SPIE **2440**, 76 (1995).
2. P. J. Paniez, C. Rosilio, B. Mouanda, and F. Vinet, SPIE **2195**, 14 (1994).
3. S. Mori, K. Adachi, T. Fukushima, and Y. Sato, J. Photopolym. Sci. Tech. **9**, 601 (1996).
4. K. Harafuji, A. Misaka, H. Nakagawa, M. Kubota, and N. Nomura, IEDM Tech. Dig., p. 169 (1992).
5. A. Misuka, K. Harafuji, H. Nakagawa, and M. Kubota, IEDM Tech. Dig., p. 857 (1993).
6. K. Harafuji, M. Ohkuni, M. Kubota, H. Nakagawa, and A. Misaka, IEDM Tech. Dig., p. 605 (1995).
7. J. W. Coburn, and H. F. Winters, Appl. Phys. Lett. **55**, 2730 (1989).
8. D. Chin, S. H. Dong, and G. J. Long, J. Electrochem. Soc. **132**, 1705 (1985).
9. J. C. Arnold, and H. H. Sawin, J. Appl. Phys. **70**, 5314 (1991).
10. R. A. Gottscho, C. W. Jurgensen, and D. J. Vitkavage, J. Vac. Sci. Technol. **B 10**, 2133 (1992).
11. J. H. Thomas, C. E. Bryson, and T. R. Pampalone, J. Vac. Sci. Technol. **B 6**, 1081 (1988).
12. G. S. Oehrlein, J. F. Rembetski, and E. H. Payne, J. Vac. Sci. Technol. **B 8**, 1199 (1990).