

## KrF 엑시머 레이저를 이용한 웨이퍼 스텝퍼의 제작 및 성능분석

이종현 · 최부연 · 김도훈 · 장원익 · 이용일 · 이진호

한국전자통신연구소 반도체연구단

김상철 · 권진혁

영남대학교 물리학과

(1993년 3월 4일 받음)

본 연구에서 설계제작된 KrF 엑시머 레이저 스텝퍼는 광원인 KrF 엑시머 레이저, 조명광학계, 축소 투영광학계, 정밀구동 웨이퍼 스테이지, 정렬시스템 및 이들을 제어하기 위한 제어계로 구성되어 있다. 본 실험에서 사용한 KrF 엑시머 레이저는 밴드폭 3 pm, 반복주파수 200 Hz, 평균출력 3 W이고, 5:1 투영렌즈는 N.A. 0.42, 전체 필드영역  $\phi$  21.2 mm, 왜곡수차 최대 60 nm 이하이다. 또한 정밀구동 웨이퍼 스테이지의 재현성과 해상도는 각각  $\pm 0.08 \mu\text{m}/200 \text{ mm}$  (3 sigma), 100 mm 반경에서 0.05  $\mu\text{m}$ 이다. 자동 초점 시스템은  $\pm 50 \mu\text{m}$  범위에서 0.1  $\mu\text{m}$ 의 해상도를 나타냈으며, 자동수평시스템은 120 arcsec 범위에서 1 arcsec의 해상도를 나타냈다. OFF-AXIS 정렬방식에서는 0.2  $\mu\text{m}$ 의 해상도를 가지며, 두빔의 간섭을 이용한 새로운 TTL 정렬은 0.1  $\mu\text{m}$ 의 해상도를 나타냈다. 스텝퍼 패턴 실험결과 SAL603 레지스트를 사용하였을 때 웨이퍼의 노광후 열처리 105°C, 60초에서 0.3  $\mu\text{m}$  Lines and Spaces(L/S)까지 해상되었으며, 0.34  $\mu\text{m}$  L/S에서 1  $\mu\text{m}$ 의 초점심도를 얻을 수 있었다. 마스크 패턴과 레지스트 패턴의 선형성은 0.4  $\mu\text{m}$  L/S까지 유지 되었다. 또한 XP-89131 레지스트의 경우 노광후 열처리 110°C, 60초에서 0.34  $\mu\text{m}$  L/S까지 해상됨을 알 수 있었다.

### I. 서 론

최근에 LSI의 집적도가 증대함에 따라 DRAM의 최소 회로선폭이 Sub-micron에서 Quarter micron으로 접근하고 있다.<sup>[1]</sup> Quarter micron 리소그래피 방법으로는 i선 (365 nm) + 위상쉬프트법,<sup>[2]</sup> i선 변형조명법<sup>[3]</sup> 등의 방법이 제안되고 있지만 이들방법에는 마스크의 제작 및 수정, 조명빔 균일도 및 제한된 조건에서의 성능향상 등 해결되어야 할 기술적인 문제가 산적해 있다. 또한 단 파장 광원인 KrF 엑시머 레이저 스텝퍼에도 레지스트, 유지보수 등에 대한 문제가 완전히 해결되지 않은 상태이다.

그러나 엑시머 스텝퍼는 새로운 포지티브형(Positive type) 레지스트의 개발로 0.25  $\mu\text{m}$  L/S에 대하여 초점심도 1  $\mu\text{m}$  정도를 확보하고 있으며,<sup>[4]</sup> 광원인 KrF 엑시머 레이저에 있어서도 밴드폭 1.2 pm, 평균출력 6 W로 수율향상 및 유지보수 비용에 상당한 개선이 이루어지고 있다. 현재 64 M DRAM 양산시에 사용될 노광 장치가

아직 확정되지 않은 상태이지만 0.25  $\mu\text{m}$ , 0.15  $\mu\text{m}$ 의 최소 회로 선폭을 갖을 것으로 예상되는 256 M DRAM 및 1G DRAM을 고려하면 i선 보다는 KrF 엑시머 레이저 스텝퍼가 최소회로 선폭 0.35  $\mu\text{m}$ 를 요구하는 64 M DRAM 2세대부터 부가될 것으로 예상된다.

본 연구에서는 본 연구실에서 설계하고 제작한 KrF 엑시머 레이저 스텝퍼 시스템 구조, 정렬시스템 동작 특성, Shipley SAL603과 Shipley XP-89131 레지스트를 사용한 해상특성 및 공정조건에 대하여 보고한다.

### II. 시스템 구성

그림 1은 KrF 엑시머 스텝퍼의 개략도로서 확대역화된 KrF 엑시머 레이저, 조명계, 콘덴서 렌즈, 레티클(Reticle) 스테이지, 축소투영광학계, 정밀 웨이퍼 스테이지, 자동 초점 및 수평등을 포함한 정렬시스템으로 구성되어 있다. 각 모듈들은 레이저를 제외하고 온도  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ , 습도  $\pm 1\%$ 로 제어되는 환경 챔버 속에 넣어 외부조건의 변

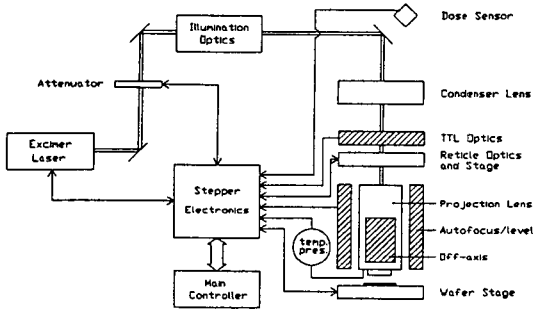


그림 1. A schematic diagram of a KrF excimer laser stepper.

화에 따른 효과를 최소화 하였다.

광원인 KrF 엑시머 레이저는 “Cymer사”의 CX-2LS로 3 pm(FWHM) 이하로 협대역화 되어 있으며, 평균출력과 반복주파수는 각각 3 W, 200 Hz이다. 펄스간 출력 변동 폭은 약 ±5%이다.

조명계는 레이저에서 방사된 6×17 mm<sup>2</sup>의 직사각형 빔을 25×25 mm<sup>2</sup>로 빔을 확대하는 광속확대기, 간섭에 의한 스펙클 효과를 줄이기 위한 확산판, 빔을 Fly’s eye 렌즈상에 균일하게 조명하기 위한 칼라이드스코프(Kaleidoscope), Coherence factor를 0.5~0.8까지 조정할 수 있는 줌렌즈와 레티클상에서 조명균일도를 높이기 위한 Fly’s eye integrator, 그리고 빔을 집속하기 위한 콘덴서 렌즈로 구성되어 있다. 조명방식은 Köhler 방식이며, 실험 결과 레티클면에서 빔크기와 균일도는 각각 87×110 mm<sup>2</sup>, ±2.0% 이하이다.

축소투영렌즈는 “Carl Zeiss사”의 모델 107863으로 축소비는 5 : 1이고, 필드 직경은 φ21.2 mm, N.A.는 0.42이다. 전체 노광영역에서 왜곡수차는 최대 60 nm 이하이고, 비점수차와 상면만곡은 각각 0.13 μm, 0.22 μm 이내이다. 또한 엑시머 레이저 파장의 투과도를 높이고 TTL 정렬이 가능하도록 노광파장인 248 nm와 정렬파장인 633 nm에 대하여 투과도가 높도록 코팅되어 있으며, KrF와 He-Ne 파장에서 투과도는 각각 63%, 40%이다.

웨이퍼 스테이지는 “Anorad사”에 의하여 제작되었으며 X, Y, θ, Z, Tilt(θ, θ)의 자유도를 갖는다. X와 Y 방향에 대한 위치정밀도 및 재현성은 각각 ±0.08 μm/200 mm(3 sigma), ±0.08 μm/200 mm(3 sigma)이며, θ 및 Tilt(θ, θ) 방향의 해상도는 100 mm 반경에서 0.05 μm이다. 그리고 X와 Y 방향에 대한 Pitch, Yaw, Roll은 ±0.5 arcsec/200 mm이고, Move and settle time은 평균 750 msec/15 mm step 이내이다.

### III. 정렬시스템

리소그래피 장비인 엑시머 레이저 스텝퍼에 있어서 웨이퍼와 마스크 사이의 정확한 연속적인 중첩정렬(Overlay alignment)을 위해서는 웨이퍼 정렬시스템이 중요한 보조 시스템이라 할 수 있다. 정렬 시스템은 크게 나누어서 웨이퍼의 평면방향에 대한 정렬(x, y축)과 수직방향(z축)에 대한 정렬로 구분되어지며 본 엑시머 레이저 스텝퍼에서는 전자의 경우로써 각각 OFF-AXIS, TTL(Through The Lens)정렬시스템, 후자의 경우로써 자동 초점시스템(Autofocus: AF), 자동수평 시스템(Autoleveling: AL)을 채택하고 있다.

Position Sensitive Detector(PSD)를 이용한 AF시스템의 개략도를 그림 2에 나타내었다. 광원으로는 중심 파장 790 nm의 출력 안정화된 레이저 다이오드(laser diode: LD)를 사용 하였으며, 렌즈에 의해서 초점이 모아지면서 웨이퍼 표면에 입사한 레이저 빔은 웨이퍼 표면에서 반사되고 렌즈와 거울에 의해서 PSD수광소자에 입사하게 된다. 여기서 사용된 1차원형 PSD는 유효 감지영역이 1 mm×6 mm이며, z-축 방향의 웨이퍼의 위치변화는 PSD상에서의 수광점의 위치변화로 나타난다. 그림 3은 웨이퍼 스테이지의 z-축방향으로 ±15 μm 영역에 걸쳐서 측정된 자동초점 시스템 출력신호의 선형 특성 결과이다. 1 μm의 스테이지 수직 이동거리에 대해서 전치증폭기를 통해서 증폭된 전기적 출력신호는 0.22 V의 기울기를 나타냄을 알 수 있으며, 스텝퍼 시스템에 부착하여 0.1 μm 이하의 분해능을 얻을 수 있었다. 이때 AF시스템은 100 μm의 capture range를 가진다.

그림 4는 AL시스템의 개략도를 나타낸다. 시준렌즈를 통해서 웨이퍼 표면에 입사하는 레이저 빔은 φ6 mm의 지름을 가지며, 광원으로는 AF시스템에서 사용된 동일한

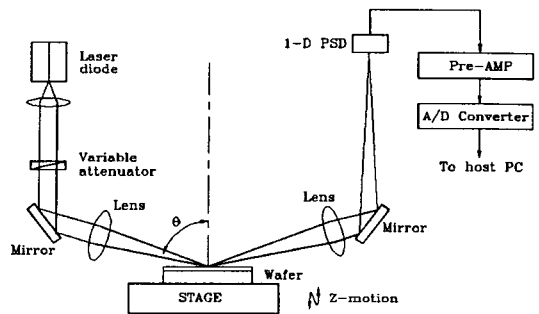


그림 2. A schematic diagram of a developed autofocus system.

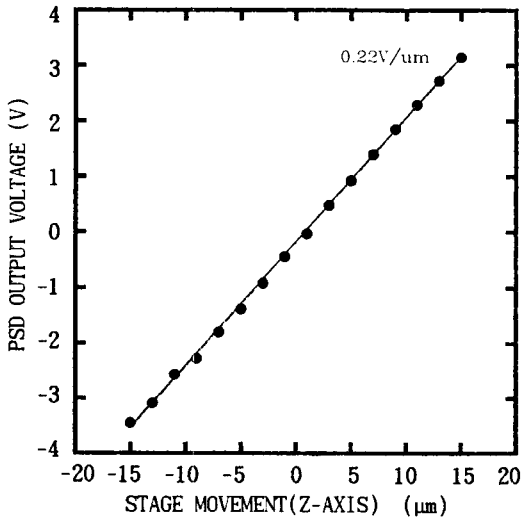


그림 3. The experimental results of the linearity characteristics of a autofocus system.

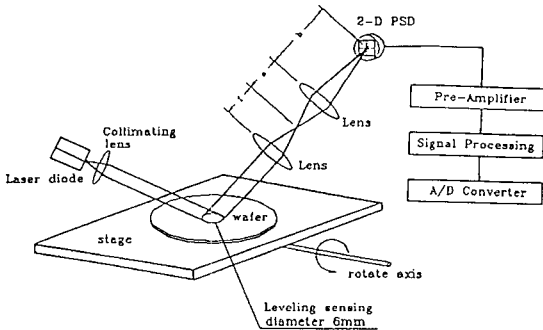


그림 4. A schematic diagram of an autolevelling system.

LD를 광원으로 사용하였다. 수광소자로서는 2차원면에서의 광점의 변화를 측정할 수 있도록 4.1 mm×4.1 mm의 유효감지영역을 가지는 2차원형 PSD를 사용하였다. 그림에서, 스테이지의 x, y축을 중심으로한 웨이퍼의 기울기는 PSD수광영역에서 웨이퍼 반사빔의 2차원적인 변위로 나타나고 이를 전기적 신호로 바꾼 다음 웨이퍼의 기울기를 측정 후 보정한다. 본 스텝퍼에 적용된 AL시스템은 120 arcsec의 capture range에서 1 arcsec의 정밀도를 가진다.

그림 5의 개략도에서 나타난 것처럼 OFF-AXIS 웨이퍼 정렬시스템으로서 정렬의 정밀도와 신뢰도를 향상시키기 위하여 두가지 방식을 병행하여 사용하고 있다.<sup>[5]</sup> 첫번째 방식은 정렬마크의 확대상을 이용하는 방식으로써 웨이퍼의 정렬마크에 광을 조명하여 정렬마크의 영

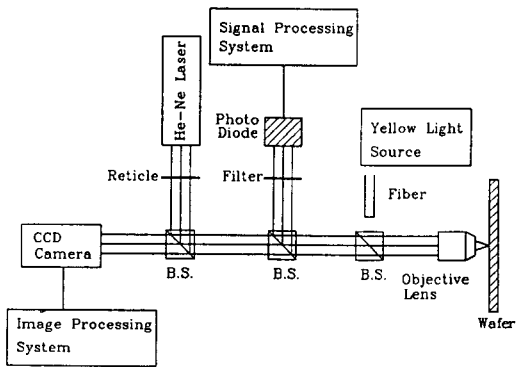


그림 5. A schematic diagram of a OFF-AXIS alignment system.

상을 대물렌즈를 통하여 확대시켜, CCD카메라와 영상처리 시스템에 의해 모니터에 나타나는 정렬마크의 영상과 컴퓨터가 계산한 특정한 기준점과의 상대적 위치를 비교함으로써 웨이퍼를 정렬하는 방법이다. 두번째 방식은 회절광을 이용하는 방식으로써 웨이퍼에서 회절격자 역할을 하는 정렬마크에 He-Ne 레이저 빔을 입사시켜, 정렬마크에서 발생하는 회절광 중에서 0차와 고차 회절광들을 공간필터를 사용하여 제거한 후, ±1차 회절광만을 신호로 검출하여 정렬을 하는 방법이다. 본 연구실에서 제작한 OFF-AXIS정렬시스템의 위치검출 분해능은 화상처리방식과 회절광방식에서 각각 0.2 μm이며, 광축방향으로 웨이퍼를 이동하여 초점심도를 분석한 결과 약 20 μm였다.

현재, 광학적 리소그래피 장비에서 노광광원이 점차 단파장화함에 따라 이에따른 투영렌즈의 색수차 때문에 모든 엑시머 레이저 스텝퍼에서 TTL정렬을 수행하는데는 여러가지 제약이 많다. 이러한 점을 극복하기 위해서 본 엑시머 레이저 스텝퍼에서는 두빔의 간섭방법(dual beam interferometric method)에 의한 TTL정렬방법<sup>[6]</sup>을 사용하였다. 그림 6a에 마스크, 프리즘, 공간필터, 포토다이오드 그리고 5 μm의 L/S를 가지는 격자모양의 정렬용 마크로 구성되어지는 TTL 정렬시스템의 개략도를 나타내었으며, 그림 6b에 두빔의 간섭방법에 의한 TTL정렬의 원리도를 나타내었다. He-Ne 레이저에서 나온 시준된 두 레이저빔은 각각 투영렌즈를 통하여 웨이퍼의 정렬마크 위에서 서로 간섭하여 5 μm pitch의 간섭무늬를 만들면서 정렬마크에 입사하고, 정렬마크에 의해서 수직방향으로 회절된 ±1차 회절광은 다시 투영렌즈를 통하여 되돌아 온다. 그림 7은 이러한 TTL 정렬계로부터 추출한 정렬신호이며 본 시스템의 TTL정렬계는 0.1 μm

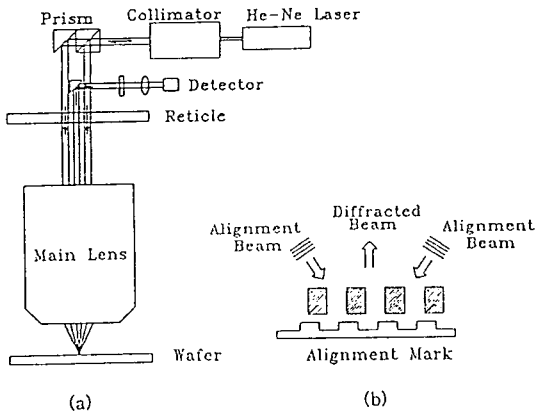


그림 6. The (a) TTL alignment system by a dual beam interferometric method and its (b) principle.

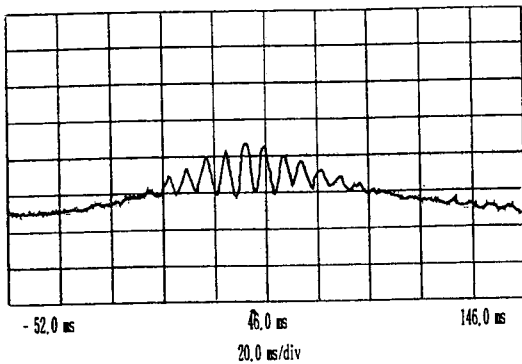


그림 7. The output signal of a TTL alignment system.

이하의 분해능을 가지는 것을 실험적으로 확인하였으며, 이후 중박노광 실험에서  $0.15 \mu\text{m}$  이하의 중첩정밀도 (overlay accuracy)를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

#### IV. 패턴실험

본 실험에서 사용한 레지스트는 “Shipley사”의 네가티브형(Negative type) SAL603과 XP-89131으로 SAL603은 전자빔과 DUV용이고, XP-89131은 DUV용으로 개발된 것이다. SAL603은 HMDS처리 후  $0.66 \mu\text{m}$  두께로 도포하고,  $110^\circ\text{C}$ 에서 60초동안 전열처리(Soft baking)한 후 노광하고,  $105^\circ\text{C}$ 로 60초 동안 hot plate에서 노광후 열처리(Post Exposure Baking)하여 MIF312-CD27 현상액에서 3분 30초 동안 현상하였다. XP-89131은 HMDS 처리후  $1 \mu\text{m}$  두께로 도포하고,  $90^\circ\text{C}$ 에서 60초 동안 전열처리 한 후 노광하고,  $110^\circ\text{C}$ 로 60초 동안 hot plate에서

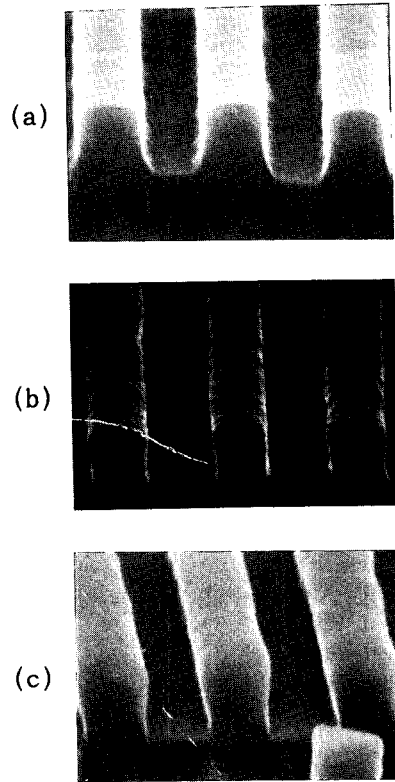


그림 8. SEM photographs of the develop time for the SAL603 resist, [(a) 180 sec, (b) 210 sec, (c) 270 sec].

노광후 열처리(Post Exposure Baking)하여 XP-89114 현상액에서 2분 동안 현상하였다. 본 실험에서 웨이퍼 상에서 한 펄스당 노광에너지 측정은 “OAI사”의 센서를 이용하였으며 한 펄스당 에너지는  $0.1 \text{ mJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$ 이다. 한 펄스당 에너지가 작은 것은 광량제어 시스템을 작동시키지 않은 관계로 레이저빔을 전송하는 거울중의 하나를 부분반사 거울로 대체하여 노광에너지 변동폭을 작게 하였기 때문이다.

그림 8은 웨이퍼면에서의 노광에너지  $10 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 에서  $0.5 \mu\text{m}$  L/S에 대하여 현상시간에 따른 레지스트 해상모양을 나타낸 것이다. 현상시간이 3분일 경우 웨이퍼 표면에 잔유물이 남아 있는것을 볼 수 있으며, 시간을 4분 30초로 했을 경우 바닥에 잔유물은 남지 않으나 역삼각형 모양이 되는 것을 알 수 있었다. 시간을 3분 30초로 하였을때 가장 좋은 모양을 가지나, 노광에너지가 변화함에 따라 현상시간도 다소 조정해야함을 알 수 있었다.

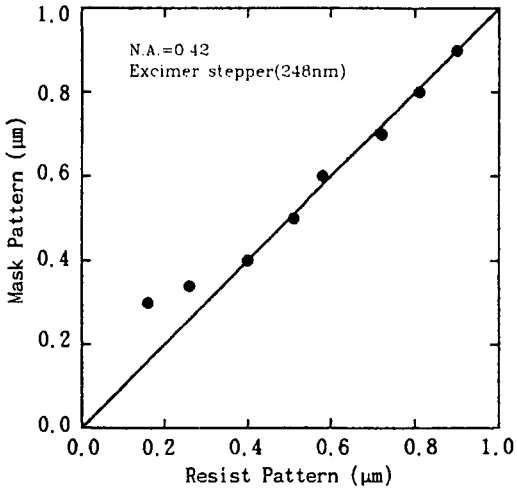


그림 9. The linearity between the mask pattern size and resist pattern size.

그림 9는 마스크의 선폭과 포토레지스트 상에 해상된 선폭의 선형성을 나타낸 것으로 0.4 μm L/S까지 선형성이 유지되었으며, 이때 사용한 포토레지스트는 SAL603이다.

그림 10은 각각 포토레지스트를 SAL603과 XP-89131을 사용했을때 해상된 전자현미경(SEM) 사진으로 SAL603의 경우 0.3 μm L/S까지 해상되고 이때 노광에너지는 0.4 μm L/S까지는 10 mJ/cm<sup>2</sup>이고, 0.3 μm L/S는 13 mJ/cm<sup>2</sup>이다. XP-89131의 경우 0.34 μm L/S까지는 해상되고 있음을 알수 있으나 아직 공정조건이 확립되지 않은 상태이다.

그림 11은 SAL603을 사용하였을때 0.34 μm L/S에 대한 초점심도의 전자현미경 사진이다. 사진에서 초점심도가 1 μm정도가 되는 것을 알 수 있었으며, 이때 노광에너지는 13 mJ/cm<sup>2</sup>이다. 이는 64 M DRAM에서 요구하는 최소선폭 보다 작은 값이며 공정조건 개선에

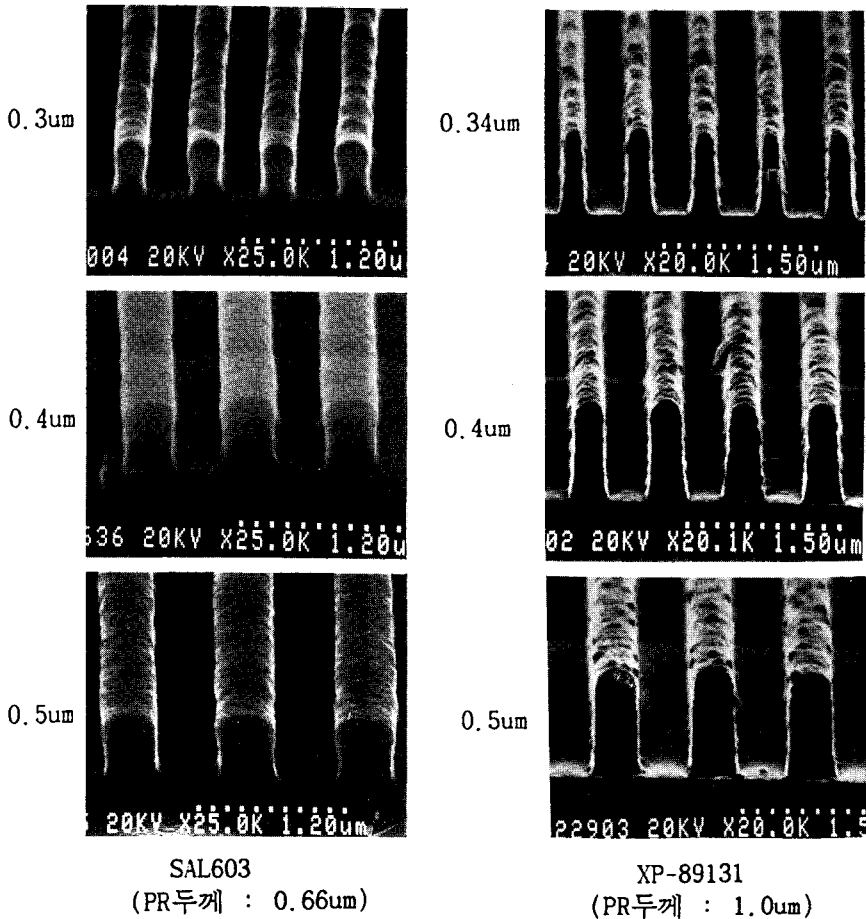


그림 10. SEM photographs of the line and spaces pattern for the SAL603 and XP-89131 negative resist.

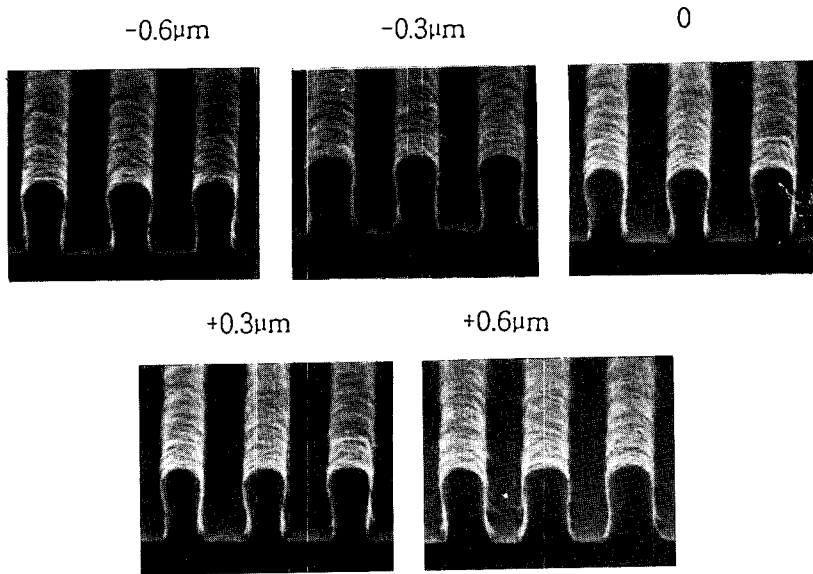


그림 11. SEM photographs of the 0.34  $\mu\text{m}$  line and spaces pattern by 5 focus setting.

의해 0.3  $\mu\text{m}$  L/S 이하의 해상도 가능하리라 판단된다. 또한 0.4  $\mu\text{m}$  L/S에서 초점심도가 1.6  $\mu\text{m}$  이상 되었고, 0.5  $\mu\text{m}$  L/S에서는 2.0  $\mu\text{m}$  이상이였다.

### V. 결 론

본 연구에서는 차세대 노광장비로 유망시 되는 KrF 엑시머 레이저 스텝퍼를 국내 최초로 설계, 제작하였다. 이때 사용된 렌즈는 축소비 5:1, N.A.는 0.42, 전체 필드영역은  $\phi 21.2$  mm이고, 광원인 KrF 엑시머 레이저는 밴드폭 3 pm 이하, 반복주파수 200 Hz, 평균출력 3 W이며, 웨이퍼 스테이지의 재현성과 해상도는 각각  $\pm 0.08 \mu\text{m}/200$  mm(3 sigma), 100 mm 반경에서 0.05  $\mu\text{m}$ 이다.

1차원 PSD를 사용한 자동초점 시스템은 100  $\mu\text{m}$  범위에서 0.1  $\mu\text{m}$ 의 해상도를 나타냈으며, 2차원 PSD를 사용한 자동수평시스템은 120 arcsec 범위에서 1 arcsec의 해상도를 나타냈다. 영상처리 방식과 회절광 처리방식을 병행한 OFF-AXIS 정렬시스템은 0.20  $\mu\text{m}$ 의 해상도를 가지며, 두 빔의 간섭을 이용한 새로운 TTL 정렬 시스템은 0.1  $\mu\text{m}$ 의 해상도를 나타냈다.

엑시머 스텝퍼 패턴 실현결과 SAL603레지스트를 사용하였을 때 노광후 열처리 105 $^{\circ}\text{C}$ , 60초로 0.3  $\mu\text{m}$  L/S

까지 해상되었으며, 0.34  $\mu\text{m}$  L/S에서 1  $\mu\text{m}$ 의 초점심도를 얻을 수 있었다. 마스크 패턴과 레지스트 패턴의 선형성은 0.4  $\mu\text{m}$  L/S까지 유지되었다. 또한 XP-89131레지스트의 경우 노광후 열처리 110 $^{\circ}\text{C}$ , 60초에서 0.34  $\mu\text{m}$  L/S까지 해상되었다.

### 참 고 문 헌

- [1] M. Endo, *et al.*, 1992 IEEE International Electron Devices Meeting 3.1, (1992. 12).
- [2] B. J. Lin, "Phase-shifting and other challenges in optical mask technology," SPIE, **1496**, 54, (1990).
- [3] Y. H. Oh, Y. J. Jeon and Z. Cha, "New mask technique for optical lithography dummy diffraction mask," SPIE proceeding, (1993), To be published.
- [4] Semiconductor world, "Quarter micron KrF excimer lithography," 32, (1992.10).
- [5] 남병호, 박기수, 김상철, 권진혁, "화상처리 방식과 회절방식에 의한 NON-TTL 정렬계 제작 및 특성 분석," 제 9회 광학 및 양자전자학 워크샵 논문집, pp. 44, (1992.8).
- [6] 김상철, 권진혁, "KrF 엑시머 레이저 스텝퍼에서의 TTL정렬계 제작 및 특성분석," 한국물리학회, 투고중, (1993).

## Performance Evaluation of a Developed KrF Excimer Laser Stepper

Jong Hyun Lee, Boo Yeon Choi, Doh Hoon Kim, Won Ick Jang,

Yong IL Lee and Jin Hyo Lee

*Semiconductor Division, Electronics and Telecommunications Research Inst. Taejeon 305-606, Korea*

Sang Cheol Kim and Jin Hyuk Kwon

*Department of Physics, Yeungnam University, Gyongsan, Kyungpook 712-749, Korea*

(Received: March 4, 1993)

This paper describes the design and development of a KrF excimer laser stepper and discusses the detailed system parameters and characterization data obtained from the performance test. We have developed a deep UV step-and-repeat system, operating at 248 nm, by retrofitting a commercial modules such as KrF excimer laser, precision wafer stage and fused silica illumination and 5X projection optics of numerical aperture 0.42. What we have developed, to the basic structure, are wafer alignment optics, reticle alignment system, autofocusing/leveling mechanisms and environment chamber. Finally, all these subsystem were integrated under the control of microprocessor-based controllers and computer.

The wafer alignment system comprises the OFF-AXIS and the TTL alignment. The OFF-AXIS alignment system was realized with two kinds of optics. One is the magnification system with the image processing technique and the other is He-Ne laser diffraction type system using the alignment grating on the wafer. The TTL alignment system employs a dual beam inteferometric method, which takes advantages of higher diffraction efficiency compared with other TTL type alignment systems.

As the results, alignment accuracy for OFF-AXIS and TTL alignment system were obtained within  $0.1 \mu\text{m}/3 \sigma$  for the various substrate on the wafers. The wafer focusing and leveling system is modified version of the conventional systems using position sensitive detectors (PSD). This type of detection method showed focusing and leveling accuracies of about  $\pm 0.1 \mu\text{m}$  and  $\pm 0.5 \text{ arcsec}$ , respectively. From the CD measurement, we obtained  $0.4 \mu\text{m}$  resolution features over the full field with routine use, and  $0.3 \mu\text{m}$  resolution was attainable under more strict conditions.