

## PSD를 이용한 광학적 자동 초점장치

박기수 · 홍왕수 · 남병호 · 권진혁

영남대학교 물리학과

김도훈 · 이종현

한국전자통신연구소 공정장비연구소

(1993년 5월 13일 받음)

PSD(Position Sensitive Detector)를 위치센서로 사용하여 광학적 자동초점 장치를 구성하여 그 특성을 조사하였다. 본 연구는 광 리소그래피 장비인 KrF 엑사이머 레이저 스텝퍼를 모델로 개발 하였다.

광원으로 780 nm인 반도체 레이저를 사용하였으며, 시준기, 반사경, 렌즈 등을 사용한 광학계를 구성하여 위치신호(position error signal)를 측정 하였으며, 분해능은 0.03  $\mu\text{m}$ 이었다.

### I. 서 론

자동초점 장치(Autofocus system: AF)는 웨이퍼(wafer)와 같은 물체가 기준 위치에서 물체 표면의 수직방향 ( $\Delta z$ )으로 벗어난 거리를 측정하여 웨이퍼가 원래의 위치로 돌아올 수 있도록 위치정보를 구해내는 장치로써, 광 리소그래피(lithography) 장비에서 웨이퍼의 위치를 축소투영렌즈(reduction lens)의 초점심도 내에서 위치 시키는데 필수적이다. 특히 근래에는 반도체 소자의 고 집적화 경향에 따라 필요한 선폭이 0.5  $\mu\text{m}$  이하로 되면서 초점 장치(focus system)의 정밀도와 분해능에 대하여 더 향상된 성능이 요구되고 있다.

근래 광 리소그래피 장비의 개발은 분해능을 높이기 위하여 노광광원을 g, i-line에서 단파장인 248 nm(KrF 엑사이머 레이저)를 이용하는 방향과 식 (1)에 의하여 축소투영렌즈의 NA(numerical aperture)를 증가시켜 분해능을 높이는 방향으로 연구되고 있다.

$$R = k_1 / NA \quad (1)$$

$$DOF = k_2 / NA^2 \quad (2)$$

위 식에서  $R$ 은 분해능을 나타내며,  $DOF$ 는 축소투영 렌즈의 초점심도를 나타낸다. 그리고  $k_1$ ,  $k_2$ 는 공정상수를 나타내며 이 값들은 대략  $k_1 = 0.6$ ,  $k_2 = 0.5$ 의 값을 지닌다.<sup>[1]</sup>

그러나  $NA$ 가 증가를 하게 되면 식 (2)에 의하여 축소투영렌즈의 초점심도가 짧아지게 된다. 이러한 축소투영렌즈의 초점심도의 감소는 스텝퍼(stepper)와 같은 정밀 광학장비에서 심각한 문제가 되고 있다. 즉, 축소투영렌즈의 초점심도의 크기는 공정과정과 설계규칙, 노광장비의 광학계 등의 오차요소들을 포함해야 한다.<sup>[2]</sup>  $NA$ 가 0.5이고 248 nm의 파장을 이용하는 축소투영렌즈에서는 약 0.5  $\mu\text{m}$ 의 초점심도를 가지며, 이 초점심도 안에 웨이퍼 자체의 휨, 회로의 지형도, field curvature, chuck의 편평도 오차 등을 포함해야 하므로 실제 웨이퍼의 위치 정밀도는 0.1  $\mu\text{m}$  이하의 정밀도를 지녀야 하는 것으로 보고 되어 있다.<sup>[3,4]</sup> 한 예로서 ASM사의 경우 반복적인 웨이퍼의 높이방향 위치 정렬 정밀도가 25 nm의 값을 가지는 것으로 발표 하였다.<sup>[5]</sup>

자동초점 장치의 정렬방법은 pneumatic gauge 방법, capacitance gauge 방법, 그리고 광학적인 방법등이 있으며, 이들 방법중에 광학적인 방법이 비 접촉식이며, 진공과 같은 영역에서도 장치할 수 있으며 높은 분해능을 지니고 있기 때문에 널리 이용되고 있다.<sup>[6]</sup> 본 실험에서 구성한 자동초점 장치는 광학적인 방법을 사용하였다.

### II. 이 론

광학적 자동초점 장치는 그림 1(a)와 같이 어떠한 물

\*본 연구는 1992년도 한국전자통신 연구소의 위탁과제로 수행되었습니다.

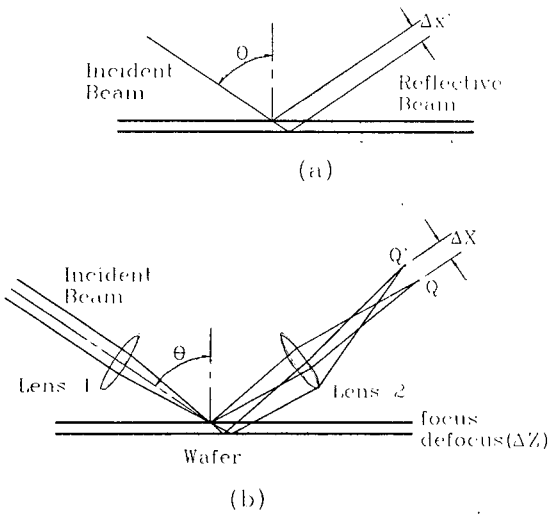


그림 1(a). 광학적 자동초점 장치의 원리도.  
 (b). 광학적 자동초점 장치의 렌즈 배치도.

체의 평면에 입사광을 입사시켜 그 반사광의 경로 위치를 검색하여 물체의 위치를 판단하게 된다. 그림 1(a)는 입사광의 광축을 그린 그림이다. 만일 웨이퍼가  $\Delta z$ 만큼 물체의 법선 방향으로 움직이게 되면 반사광의 광축이 광축 방향의 법선 방향으로  $\Delta x'$ 만큼 변하게 된다. 즉, 물체의 움직임  $\Delta z$ 에 대하여 반사광의 광축 움직임  $\Delta x'$ 는 아래의 식 (3)과 같이 나타난다.

$$\Delta x' = 2 \Delta z \sin \theta \quad (3)$$

여기서  $\theta$ 는 물체에 대한 입사광의 입사각이다. 그림 1(b)는 그림 1(a)의 원리를 이용한 배치도로서 렌즈 1에 의하여 입사광이 물체의 표면에 집광 하게 된다. 만일 물체가 원래의 위치에서  $\Delta z$  만큼 움직이게 되면 렌즈 2에 의하여 광점  $Q$ 가  $Q'$ 로 위치가 바뀌게 된다. 즉, 위의 식에 나타난 변위  $\Delta x'$ 는 그림 1(b)의 렌즈 2에 의하여  $\Delta X$ 로 증폭이 된다. 이때 반사광의 위치변화  $\Delta X$ 는 식 (4)와 같이 나타난다.

$$\Delta X = 2M \Delta z \sin \theta \quad (4)$$

여기서  $M$ 은 그림 1(b)에서 나타나 있는 렌즈 2의 배율이다. 즉,  $\Delta X$ 는 식 (4)에 의하여 웨이퍼의 움직임  $\Delta z$ 에 비례하여 변화함을 알 수 있다.

### III. 실험장치 및 실험방법

본 실험의 장치는 크게 두 부분으로 구분을 할 수 있다.

첫번째는 렌즈와 반사경 등을 이용한 광학계의 구성이고, 두번째는 신호해석을 위한 전자회로를 이용한 신호처리계이다. 3.1절에서는 스텝퍼에서의 자동초점 장치를 소개하였으며, 3.2절에서는 광학계에 관하여 기술하였고, 3.3절에서는 전자회로를 이용한 신호처리계에 관하여 기술하였다.

#### 1. 스텝퍼의 구성

KrF 엑사이머 레이저 스텝퍼에서는 축소투영렌즈와 웨이퍼 사이에 약 10 mm의 공간을 지니고 있다. 즉, 축소투영렌즈와 웨이퍼와의 거리 정보를 직접적으로 알아내는 방법은 부적합하다. 그래서 축소투영렌즈를 지지하고 있는 지지대의 좌, 우측의 면에 AF sender와 AF receiver를 설치하였다. 즉, 지지대에서 웨이퍼까지의 상대적인 거리를 측정하여 축소투영렌즈에 대한 웨이퍼의 상대적인 위치를 검색하게 된다.

그림 2는 개략적인 스텝퍼의 구성도이다. 중앙에 그려진 부분이 축소투영렌즈이며 외부의 지지대에 의하여 고정되어 있다. 이 지지대의 좌측부분에 AF sender 부분이 설치되어 있으며 우측부분에 AF receiver 부분이 설치되어 있다. 본 자동초점 장치의 입사광은 지지대의 아랫부분에 부착되어있는 미세조정용 반사경에 의하여 웨이퍼에  $76^\circ$ 의 각으로 경사지게 입사가 하게 되어 있으며, 웨이퍼에서 반사되어 나온 광이 다시 지지대 아래편에 부착된 반사경에 의하여 AF receiver부분으로 들어가게 된다.

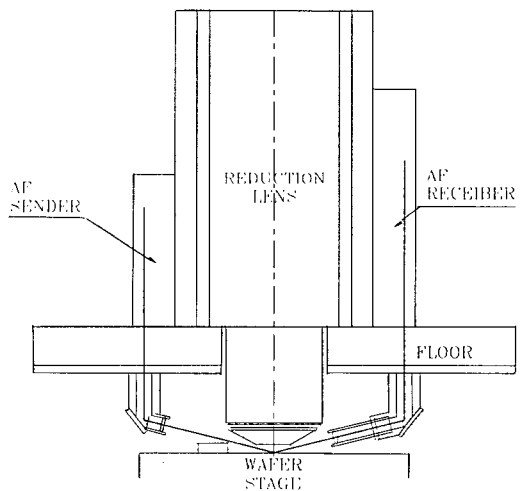


그림 2. 스텝퍼의 구성도. 축소투영 렌즈를 중심으로 좌측에는 AF sender가 위치하고 있으며, 우측에는 AF receiver가 설치 되어 있다.

2. 광학계의 구성

광학적 자동초점 장치를 그림 3과 같이 설치 하였다. 광원으로는 파장이 780 nm인 LD(laser diode: LD)를 사용하였으며, 평행광을 만들기 위하여 레이저 앞에 시준기를 설치하였다. 시준기에서 나오는 광의 광량을 조절하기 위하여 광량조절기를 설치 하였다. 광량조절기에서 나오는 평행광은 렌즈 1에 의하여 웨이퍼 상에 초점이 맺히게 된다. 이때 웨이퍼에 입사하는 광의 입사각은 76°로 하였다. 이 광량 조절기는 LD를 구동하는 전류를 제어하여 조절하는 방법도 있으나, 웨이퍼에 입사할 때 광의 편광성을 조절할 수 있게 하기 위하여 편광판을 이용하였다. 그리고 웨이퍼에서 반사되어 나오는 반사광(신호광)이 렌즈 2와 반사경에 의해 PSD 표면에 입사하게 되어 있으며, PSD에 입사하기 직전에 유리판을 설치하여 표면 반사되는 광을 광 다이오드에 입사하여 PSD 입사광량을 측정하게 하였다. 이때 반사광은 렌즈 2에 의하여 약 10배 증폭이 되었다.

본 광학계를 이용한 자동초점 장치는 절대 기준점이 없으며, 실제 공정에 들어가서 단계별로 노광 실험을 거친 후에 가장 적절한 위치를 기준으로 웨이퍼가 벗어나지 않게 하는 역할을 한다.

3. 신호처리계

3.1 수광 소자의 특성

PSD는 1×6 mm<sup>2</sup>의 감도영역을 지니며 분해능이 0.2 μm인 Hamamatsu 모델 S3931을 사용하였다. PSD는 그림 4와 같이 p-n 접합에서 횡방향의 광 기전력 효과를 이용한 소자이기 때문에 감도영역에 입사한 광점의 조사위치를 검출할 수 있다.<sup>[7]</sup> 또한 이 소자는 연속적인 수광부를 지니고 있어 위치 분해능이 뛰어나고 응답성이

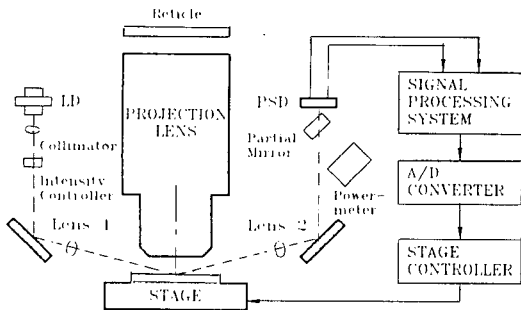


그림 3. 실험 장치도. 축소투영 렌즈의 좌측의 AF sender에서 광이 나와서 stage를 거친 후에 축소투영 렌즈의 우측에 있는 AF receiver에 입사하게 되어 있다.

우수하며 주변 장치도 간단하다.

PSD는 p-층 표면에 입사된 광에 의하여 소자 표면에서 광전자를 발생 시킨다. 이렇게 발생한 광전자는 p-층에 있는 두 애노드 단자를 통하여 광전류의 형태로 출력된다. 즉, PSD에 광점이 입사하면 양쪽에 위치한 두 애노드 단자에서 각각 식 (5), (6)에 나타난 양 만큼 광전류를 출력하게 된다.<sup>[7]</sup>

$$I_1 = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{2}{L} X \right) I_0 \tag{5}$$

$$I_2 = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2}{L} X \right) I_0 \tag{6}$$

위의 식에서 L은 PSD 감도영역의 길이, X는 PSD 감도영역의 중심에서 광점이 입사한 곳까지의 거리, I<sub>0</sub>는 두 애노드 단자에서 흐르는 광전류의 합이다. 위의 수식에서 PSD 감도영역의 중앙에서의 거리(X)는 아래의 식 (7)에 의해 구할 수 있다.

$$\frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1} = \frac{2X}{L} \tag{7}$$

3.2 위치신호 검출을 위한 회로도

광학계에 의해 위치신호가 증폭된 신호광은 PSD 표면에서 광 전류로 변환되며, 각각의 I<sub>1</sub>과 I<sub>2</sub>는 그림 5의 전류-전압 변환회로에서 V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>로 변환된다. 이 전류-전압 변환과정에서는 아래의 식 (8)에서 보는바와 같이 전압 신호(V)는 입력전류(I<sub>S</sub>)와 피드백 저항(R<sub>F</sub>)에 관계된다.

$$V = -R_F \cdot I_S \tag{8}$$

전압신호로 변환된 두 신호파는 그림 6에 있는 가산기와 감산기에서 V<sub>2</sub>-V<sub>1</sub>, V<sub>1</sub>+V<sub>2</sub>를 만들어서 아날로그

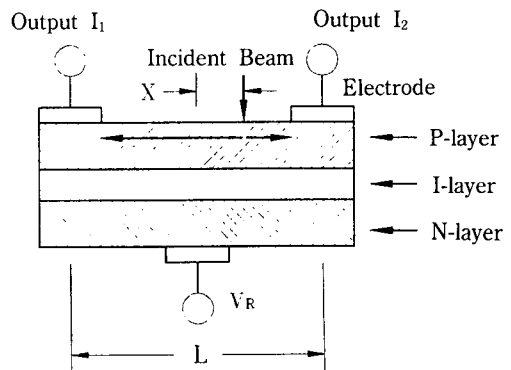


그림 4. PSD 구조 및 연산도.

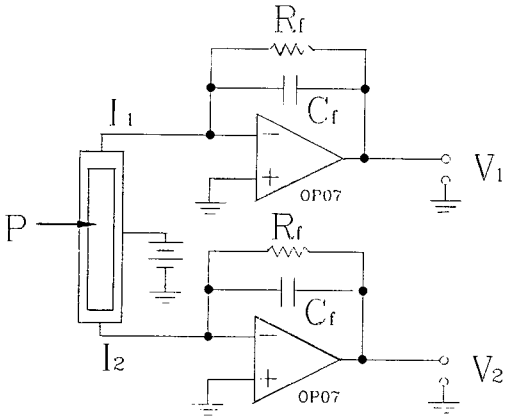


그림 5. 전류-전압 변환회로.

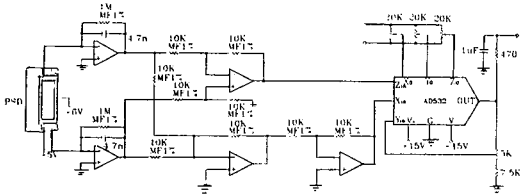


그림 6. 아날로그 연산도. PSD에서 나오는 광전류 신호가 전류-전압 변환회로를 거쳐서 가산/감산기에 들어가게 되어 있다.

나뉘셈기에 입력하여 식 (9)에 나오는  $V_{out}$ 을 만든다. 이  $V_{out}$ 은 위치의 정보를 담고 있는 신호로써 이때의 감도가 광학적 자동초점 장치의 분해능이다. 즉, 실제 실험에서는 식 (9)에 나타난 값을 측정하게 된다.

$$V_{out} = \frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1} \quad (9)$$

만약 광점이 PSD 감도영역의 중앙에 광점이 입사하면  $V_1$ 과  $V_2$ 가 같게 되어 PSD 연산 회로의 출력전압은 0V가 된다. 그리고 중앙점에서 광점이 벗어나게 되면 출력전압  $V_{out}$ 은 기준점에서 아래, 혹은 위의 위치에 비례하여 음이나 양의 전압값을 가지게 된다.

OP-amp 소자는 OP07을 사용하였으며, 아날로그 나뉘셈기는 AD532를 사용하여 전자회로에서 발생하는 신호잡음을 최소로 하여 분해능을 높였다.

#### IV. 실험결과

그림 7과 그림 8은 본 실험장치에서 측정된 값을 그

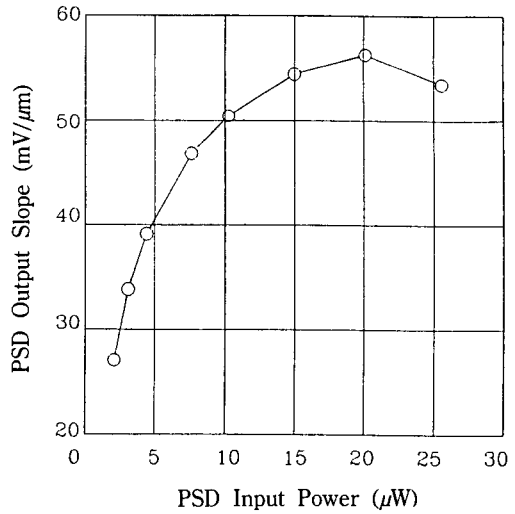


그림 7. 입사광량에 따른 PSD의 특성 기울기.

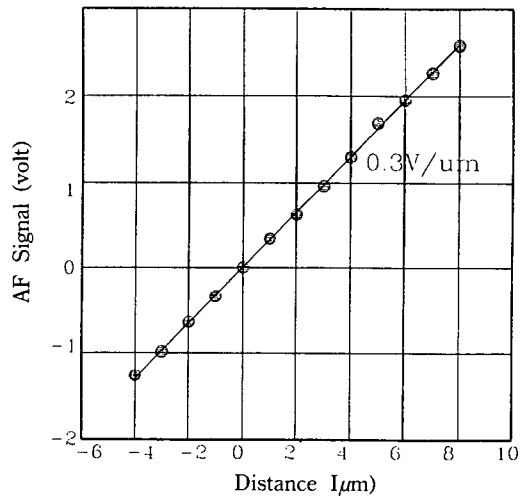


그림 8. PSD 특성곡선.  $1 \mu m$ 당 0.3V의 값을 구하였다.

래프로 그린 것이다. 그림 7의 그래프는 PSD에 입사하는 광의 세기에 따른 PSD 특성 그래프의 기울기 값을 그린 것이다. 이 그래프에 의하면 PSD에 입사하는 광량의 값이 달라지면 그 특성 기울기가 달리 나옴을 알 수 있다. 이러한 결과는 PSD에 입사하는 광의 광량을  $20 \mu W$  이하로 안정화를 시켜야 한다는 것을 의미 한다. 그리고 PSD에서 나오는 신호를 아날로그 연산을 하기 때문에 전기적인 노이즈가 들어오는 것을 볼 수 있었다. 이 노이즈의 제거는 PSD에서 나오는 신호를 읽어 들이는 주 컴퓨터에서 소프트웨어로 제거를 할 수 있었다. 그리고

웨이퍼의 상태에 따른 반사율의 변화는 본 장치안에 부착된 광 다이오드에 의하여 항상 PSD 표면에 입사하는 광의 세기를 점검할 수 있게 하였다.

그리고 그림 8은 웨이퍼의 미소 움직임에 대한 PSD 출력 특성곡선을 그린 것이다. 이 그래프의 특성 기울기가  $0.3 \text{ V}/\mu\text{m}$ 이므로,  $10 \text{ mV}$ 를 기준으로 해석할 때 이 자동초점 장치는  $0.03 \mu\text{m}$ 까지 분해할 수 있다. 실제 한국전자통신 연구소에서 개발중인 KrF 엑사이머 레이저 스텝퍼에 부착시켜서 성능을 평가한 결과  $0.05 \mu\text{m}$ 의 성능을 충분히 보장할 수 있었다.

### V. 결 론

본 광학적 자동초점 장치는 광 리소그래피 장비인 KrF 엑사이머 레이저 스텝퍼에서 축소투영렌즈와 웨이퍼 사이의 거리를 일정하게 유지할 수 있게 하는 역할을 하며, 본 실험실에서는 PSD를 위치센서로 사용하고, 반사형 광학계를 구성하여 그 특성을 조사하였다.

광원으로는 파장이  $780 \text{ nm}$ 인 반도체 레이저를 사용하였으며, 시준기, 반사경, 렌즈 등을 사용하여 광학계를 구성 하였고 위치신호를 측정 하였으며, 분해능은  $0.03$

$\mu\text{m}$ 이었다. 그리고 본 자동초점 장치가 작동할 수 있는 영역은 약  $100 \mu\text{m}$  정도이지만 아날로그 연산기 부분에서 포화현상이 있기 때문에  $30 \mu\text{m}$  정도이다.

앞으로 자동초점 장치는 웨이퍼 면에서 광이 반사될 때 일어날 수 있는 반사율의 변화를 줄일 수 있게 개선을 하여야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] Yoshitada Oshida, JJAP Proc. 15 (1989).
- [2] Harry J. Levinson, J. Vac. Sci. Technol. B **5**, Jan/Feb 293 (1987).
- [3] J. E. van der Werf, J. Vac. Sci. Technol. B **10**, Mar/Apr 735 (1992).
- [4] Burn J. Lin, SPIE **922**, 256 (1988).
- [5] S. Wittekoek, P. Luehrmann, D. Crabtree, Semi-con/Korea Technical Proceedigs I 33 (1992).
- [6] T. Tojo, M. Tabata and Y. Ishibashi, J. Vac. Sci. Technol. B **8**, 456 (1990).
- [7] Hamamatsu Technical Data Book, Hamamatsu Photonics K. K (1989).

## Optical Autofocus System for Wafer Steppers using PSD as the Position Sensor

Ki Soo Park, Wang Su Hong, Byung Ho Nam and Jin Hyuk Kwon  
*Department of Physics, Yeung-Nam University, Kyungsan, Kyungpook 713-749, Korea*

Do Hoon Kim and Jong Hyun Lee  
*Electronics and Telecommunications Research Institute, Taejon 305-606, Korea*

(Received: May 13, 1993)

An optical autofocus system for a DUV KrF excimer laser wafer stepper was developed by using the PSD (Position Sensitive Detector) as the position sensor.

The laser beam was incident on the surface of wafer and the reflected beam was magnified optically by a lens. And the beam was directed onto the surface of PSD by a mirror system. The spatial resolution of the autofocus system was found to be  $0.03 \mu\text{m}$ .