

공초점 정렬을 이용한 자동초점보정 레이저 직접묘화 시스템

Auto-focusing laser direct writing system

using confocal geometry

김용우*, 이진석, 김경식, 한재원

연세대학교 기계공학과

Yongwoo Kim*, Jinseok Lee, Kyoungsik Kim, Jaewon Hahn

School of Mechanical Engineering, Yonsei University

ABSTRACT

We constructed a micro-patterning system that build patterns on a photoresist coated wafer using laser direct writing system. Confocal microscope system was adapted for real-time auto-focusing of the laser writing lens to generate lines of uniform width.

Key Word: laser direct writing (레이저 직접묘화), micro-patterning (미세 패터닝), confocal (공초점), auto-focus (자동 초점 보정)

1. 서론

레이저 직접묘화 기법은 미세가공, 표면처리, 증착 등의 여러 분야에서 응용되는 기술로 많이 연구되고 사용되고 있는 기술이다. 이는 마스크 없이 원하는 패턴을 형성할 수 있고 상대적으로 저렴하면서 시스템이 간단하다는 장점이 있어서 포토레지스트를 코팅한 웨이퍼 표면에 노광하여 패턴을 형성하는 리소그래피 분야에서도 많이 사용되고 있다.

^{1,2)} 이때 형성되는 최소 선폭을 줄이기 위해서는 빔을 집광시키는 대물렌즈의 NA를 높이

고 짧은 파장의 레이저를 사용해야 하는데, 이에 따라 초점심도가 짧아져서 대물렌즈와 시편 사이의 거리 변화에 대해 집광된 빛의 크기가 많이 변하게 된다. 따라서 일정한 선폭으로 패턴을 형성하기 위해 공정시 실시간으로 초점거리의 변화를 보정해주는 방법이 필요하다.

본 연구에서는 공초점 현미경(confocal microscope)을 응용한 시스템을 설치하여 집광 대물렌즈와 시편을 최적의 초점거리 상태를 유지하고 거리 변화를 보정하여 일정한 선폭의 패턴을 형성하는 방법을 살펴본다. 레이저 빔이 대물렌즈를 통과해 시편에 초점을 맺고 시편 표면에서 반사되는 빛이 다시 렌즈를 통과해 공초점 핀홀을 통과하게 되는데, 가장 초점이 잘 맞은 상태일 때 공초점 핀홀을 통과하는 광량이 가장 커지게 되기 때문에 이를 광 검출기로 측정하여 최대 신호가 나오는 거리를 유지해 줌으로써 초점거리를 유지하는 방식이다. 이는 노광에 사용되는 빛을 이용하여 광 검출기의 신호만으로 초점거리를 자동으로 보정하게 되어 시스템이 상대적으로 간단하고 경제적이라는 장점이 있다. 본 논문에서는 이러한 시스템을 구성하고 실험을 통하여 자동 초점거리 제어가 작동하는 것을 확인하였다.

2. 레이저 직접묘화 시스템

Fig. 1 에서 보듯이 레이저 직접묘화 시스템은 공간 필터링되어 평행하게 진행하는 405nm DPSS 레이저 광이 NA 0.65의 현미경 대물렌즈를 통해 포토레지스트가 코팅된 웨이퍼에 집광된다. 이 빛은 반사되어 다시 대물렌즈를 통과해 공초점 핀홀을 통과하게 되고 광 검출기에서 측정되어 그 신호의 크기를 통해 대물렌즈와 웨이퍼 사이의 거리를 일정하게 조절하게 된다. 포토레지스트가 코팅된 웨이퍼는 3축 나노 스테이지 위에 놓고 x-y 축으로 시편을 이동하면서 패턴을 형성하게 되고, 광 검출기의 신호는 NI사의 Labview를 이용하여 초점거리 제어를 하여 스테이지의 z축을 이동하면서 일정한 초점거리를 유지하게 된다. 시편은 실리콘 웨이퍼 위에 Shipley사의 S-1805 양성(positive) 포토레지스트를 코팅하여 사용하였다. 대물렌즈를 통해 집광된 빛은 세기가 강하기 때문에 ND 필터를 통해 광량을 조절하였다.

3. 실험 및 결과

우선 Fig. 1 의 시스템을 이용하여 나노 스테이지를 z축으로 구동하면서 광 검출기의 신호를 측정할 결과 Fig. 2 와 같은 형태의 신호가 측정되었다. NA 0.65 대물렌즈의 405 nm 파장에서 초점 심도 $\pm 480\text{nm}$ 를 갖는다. 이 범위 내에서는 신호의 크기가 큰 변화가 없으며, 이 범위 내에서는 초점 면 근방에 위치한다고 가정 할 수 있다. 초점 심도에서 거리가 멀어질수록 신호의 크기가 감소하는 것을 확인하였다. 이 신호를 참조 데이터로 활용하여 오토포커싱의 수행 여부를 판별하였다.

오토포커싱의 기본 알고리즘은 광 검출기를 통해서 받은 n 번째 신호의 변화의 방향과 그 이전에 스테이지가 n 번째 움직이는 방향의 부호를 곱하여 n+1 번째 스테이지가 움직여야 할 방향을 결정하며 그 방향에 일정한 step 을 곱하여 최종적인 움직임의 크기와 방향을 결정하게 된다. 초기값은 초점 면에서 z 축으로 약 $\pm 7\mu\text{m}$ 지점 안에서 설정을 하게 되고 스테이지가 움직여야 할 Step 을 초기값으로 정하여 설정한다. 본 연구에서는 step 을 상수로 설정하였다. 이러한 오토포커싱의 기본 알고리즘을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$S_{n+1} = S_n + \Delta S_n$$

$$\Delta S_n = \text{step} \times \frac{(\Delta s_{n-1} \times \Delta p_{n-1})}{|\Delta s_{n-1} \times \Delta p_{n-1}|} \quad (1)$$

$$\Delta p_n = p_{n-1} - p_{n-2}$$

이 때 S는 PZT 스테이지의 높이, p_0 는 광 검출기의 신호, 그리고 step은 PZT 스테이지의 이동 단위를 나타낸다. 본 실험에서는 초기 스테이지 높이 S_0 를 $3\mu\text{m}$, 초기 광 검출기 신호 p_0 를 1V 로 설정하여 실험을 진행하였다. DAQ 를 이용하여 200개의 데이터를 평균하여 스테이지를 제어하였고 Labview를 이용하여 위의 알고리즘을 구현하였으며 그 결과는 Fig. 3 과 같이 표현된다. Fig. 3 (a) 는 광 검출기 신호의 변화를 나타내고 (b) 그래프는 시편이 집광 대물렌즈의 초점거리로부터 벗어난 정도를 나타낸다. 광 검출

기 신호의 그래프에서 최대값으로 수렴하여 시편이 대물렌즈의 최적의 초점면에 위치하는 구간이 존재하고 PZT 스테이지가 자동으로 이 지점을 찾아가는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 레이저 직접묘화 시스템을 구성하였고 공초점 정렬을 이용하여 집광 대물렌즈와 시편 사이의 거리를 실시간으로 초점거리에 맞게 일정하게 유지하는 연구를 수행하였다. 이를 통해 높은 NA의 대물렌즈를 이용한 레이저 직접묘화 시스템에서 실시간으로 시편의 z축 방향 변동을 보정하여 일정한 선폭을 유지하며 원하는 패턴을 형성할 수 있을 것이다. 또한 광 검출기 신호와 비초점(defocus) 상태에서의 집광 빔의 크기와 관계를 이용하여 시스템의 최소 선폭보다 큰 점, 선의 형태 또한 일정하게 패턴닝할 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

1. GuoGuang Yang, Yibing Shen, "Laser direct writing system and its lithography properties," Proc. SPIE, Vol. 3550, pp. 409-418, 1998.
2. Holger Becker, Reinhard Caspary, Christian Toepfer, Manfred V. Schickjuss, Siegfried Hunklinger, "Low-cost direct writing lithography system for the sub-micron range," J. of Modern Optics, Vol. 44, No. 9, pp. 1715-1723, 1997.

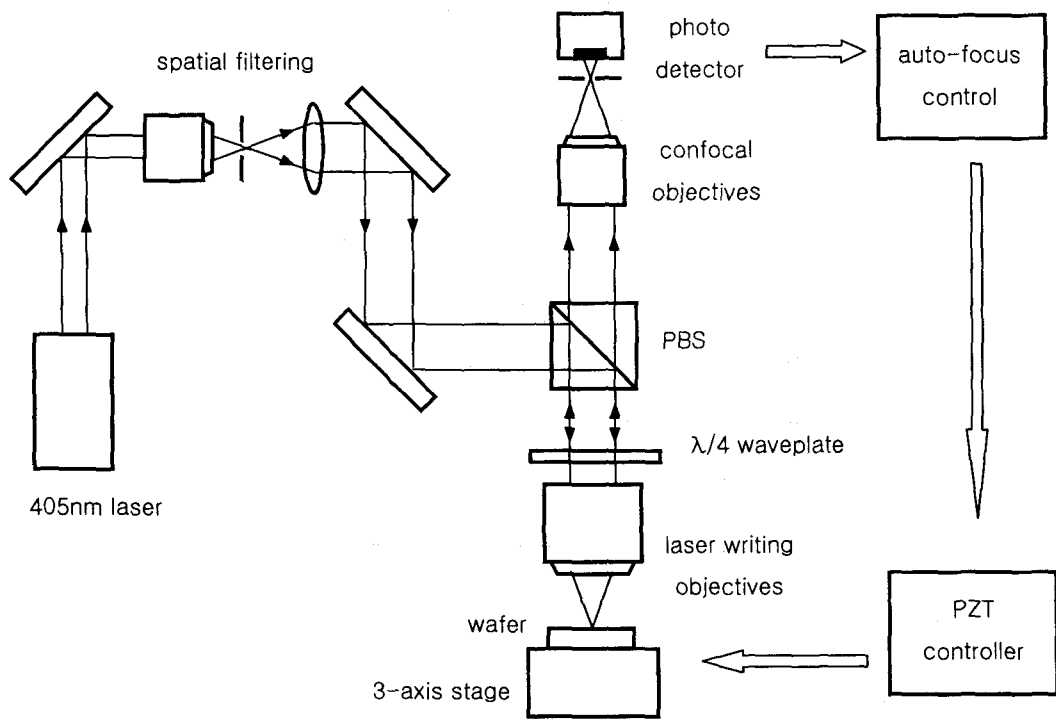


Fig. 1 Schematic of laser direct writing system

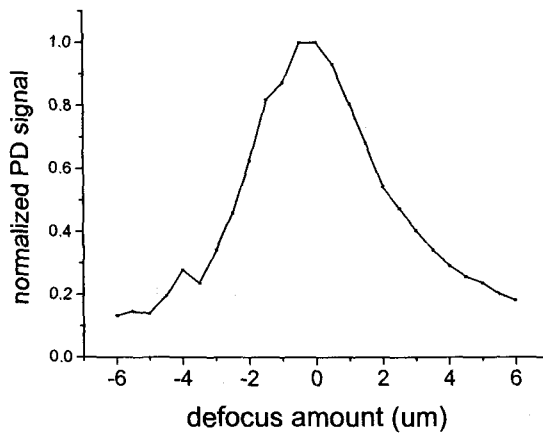
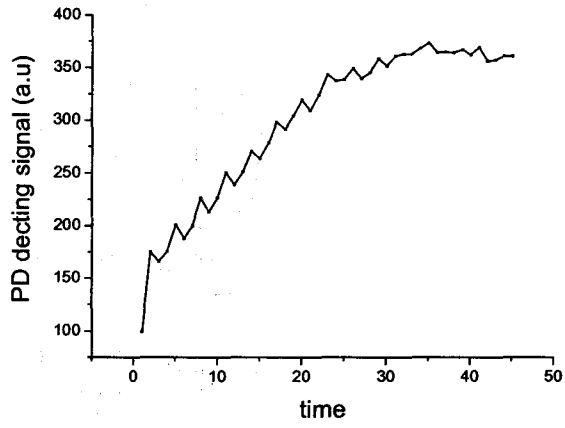
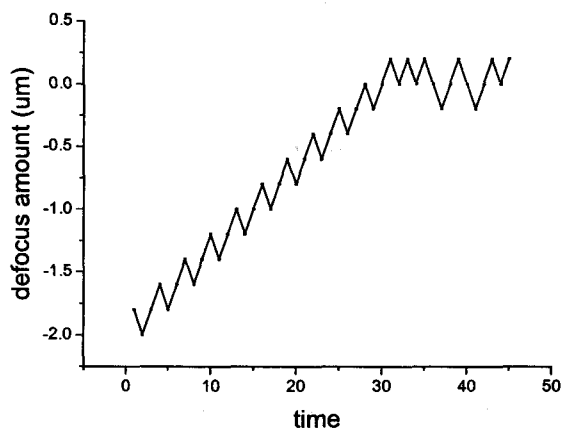


Fig. 2 Relation between defocus amount and photodetector signal



(a)



(b)

Fig. 3 Detected signal of confocal photodetector (a), and amount of defocus (b) measured by the voltage applied to the PZT stage. PZT stage moves to the direction that increase the photodetector signal, and stays in the focal position.