파이버 공초점법을 이용한 레이저 빔 자동 초점 제어 장치에 관한 연구

Study on auto focusing system of laser beam by using fiber confocal method

문성욱, 김선흠, 김종배, 배한성, 남기중
고등기술연구원
Seong-wook Moon, Sun-hum King, Jong-bae Kim, Han-seong Bae, Gi-jung Nam
Institute for Advanced Engineering

ABSTRACT

Auto focusing system to find optimized focal position of laser beam used for material process has been investigated by using fiber confocal method. Wavelength of laser diode (LD) and diameter of single-mode fiber are 780㎚ and 5.3㎛, respectively. Intensity distributions of beam reflected from the surface of mirror and silicon bare wafer have been observed in a gaussian form. Experimental results show that focal position obtained by LD is shifted from one observed from surface scribed by laser about 80㎛. It is due to the difference of wavelength and each divergence of between LD and laser used for material process. It is confirmed that auto focusing control system through position calibration has operated steadily.

Keywords : Fiber confocal method, auto-focusing, LD(laser diode), UV 355nm DPSS laser, Si bare wafer

1. 서론

최근에 레이저를 이용하여 반도체, 디스플레이 분야에서 정밀 가공 기술이 급격히 확대되고 있다. 레이저는 광을 이용하기 때문에 시료에 비접촉 방법으로 가공이 가능하고 마이크로 크기의 구멍 가공이나 절단 등에 활용 될 수 있어 산업적으로 그 활용도가 점점 커지고 있다. 레이저 가공에 있어서 레이저 광을 렌즈를 이용하여 가공하고자 하는 시료의 표면에 정확히 초점을 맺히게 하는 것은 매우 어려운 작업이지만 가공 성능에 큰 영향을 주는 요소이기 때문에 반듯이 수행되어야하는 작업이다. 최근 초점위치를 자동으로 찾기 위한 방법으로 공초점 현미경에 사용되는 광학계를 사용하고 있다. 공초점 방식은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 광원에서 나온 빔은 광 분할기를 거쳐 집광렌즈에서 집광되어 시료에 전달되고, 시료에서 반사된 빔은 광 분할기를 거쳐 광 검출기에 입사되어 광량을 분석하여 초점 위치를 결정하게 된다.[1,2]

본 연구에서는 파이버를 사용한 공초점 현미경의 원리를 사용하여 레이저 가공 시 자동으로 초점을 찾아주는 자동 초점 제어 시스템 제작을 하여 그 성능 특성에 관하여 연구하였다.

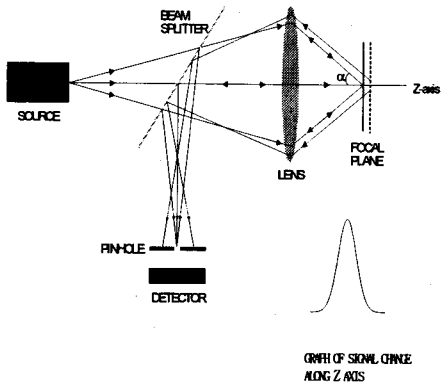

Fig 1. Schematic of Confocal optic system

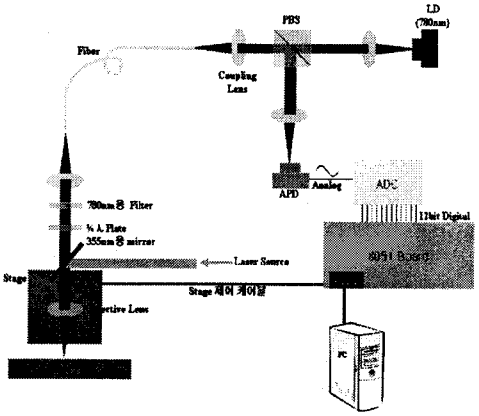

Fig. 2 Block diagram of Auto-Focusing Control System

2. 실험 방법

Fig. 2는 파이버를 이용한 자동 초점 제어 시스템의 구성도를 보여주고 있다. 사용된 광원은 출력이 4mW인 780㎚ LD(레이저 다이오드)를 사용하였고 초점거리가 40㎜, 반경이 5㎜인 대물렌즈를 사용하였다. 편광유지 단일 모드 광섬유(Single Mode Polarization Maintaining Fiber)는 0.45NA에 코어(Core)의 크기가 5.3 ± 0.5㎛이다. LD에서 나오는 수평 편광된 레이저 빔은 PBS(Polarization Beam Splitter)를 통과하여 광섬유로 커플링 된다. 광섬유를 통과한 레이저 빔은 λ/4 판에 의해 원편광으로 바뀌고, 스테이지에 연결된 대물렌즈를 통과하여 시료에 조사된다. 시료에서 반사된 레이저 빔은 다시 한번 대물렌즈와 λ/4 판을 통과 하면서 수직편광으로 바뀌고, 광섬유를 통과한 후 PBS에 반사되어 APD로 검출된다. 검출기에 입사된 레이저 빔의 강도를 정량적으로 분석하기 위하여 8051 보드를 사용하였다. Z축 스테이지는 대물렌즈를 상하로 움직이며 최대 스캔 범위는 150㎜이고 스테이지의 분해능은 1㎛이다. Z축 스테이지 제어와 데이터 획득 및 분석 프로그램은 Visual C++를 이용하여 직접 프로그래밍 하였다.

Table 1 Auto-Focusing Sampling Resolution

Stage Range	2㎜	10㎜	20㎜	40㎜
Sampling Resolution	1㎛	5㎛	10㎛	20㎛

Table 1은 자동 초점 범위와 샘플링 분해능의 관계를 나타낸다. 샘플링 분해능이란 아날로그 전압신호를 한 개의 12비트 디지털 전압신호로 변환하는 것을 말한다. 즉, Z축 스캔 범위를 2㎜로 설정하여 측정하면 스테이지가 1㎛이동 할 때마다 한 개의 데이터를 얻게 되고 20㎜의 범위를 설정하여 측정하면 10㎛마다 한 개의 데이터를 얻게 된다. 따라서 Z축 스캔 범위에 따라 자동 초점 조절 장치의 분해능이 조절되므로 스캔 범위를 알맞게 조절하여야 한다.

Fig. 2와 같이 파이버를 이용한 자동 초점 장치를 구성하여 반사율이 좋은 금 코팅된 반사거울에 780㎚의 레이저 빔을 조사하여 z축 거리 변화에 따라 가우시안 분포를 갖는 레이저 빔의 강도를 확인하였고 이러한 실험을 반복 수행하여 z축 거리에 따른 가우시안 분포 및 초점위치의 재현성을 확인하였다. 시료를 실제 가공에 사용되는 패턴이 없는 실리콘 웨이퍼로 교체하여 LD를 이용해 동일 실험을 수행하였고 실험 결과 동일 위치에서 레이저 빔의 강도가 가장 강한 것을 확인 하였다. 이후 파장이 355㎚ 인 UV 레이저 빔을 동일 광학계에 설치하여 LD에서 구한 초점 위치를 기준으로 ±400㎛의 범위를 20㎛ 씩 변화시켜가면서 UV 레이저로 패턴이 없는 실리콘 웨이퍼를 100mm/s의 속도로 가공 하였다. 가공된 웨이퍼의 가공 깊이를 측정하여 가장 깊게 가공된 위치와 LD를 이용해 구한 초점 위치를 비교하여 거리 차이를 계산하였고 이 거리만큼 LD를 이용해 찾은 z축 초점 위치를 보정해 주었다. LD와 UV의 초점 위치의 거리차이 값이 매번 일정한 것을 확인하기 위하여 위 과정을 반복 수행하였고, 보정된 z축 위치에서 웨이퍼를 가공하여 가공 깊이가 일정한 값을 유지하는 것을 확인하기 위하여 반복 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 LD를 이용하여 금 코팅 거울과 패턴이 없는 실리콘 웨이퍼 표면에서 반사되는 레이저 빔의 강도를 초점 위치를 기준으로 Z축을 ±20㎛씩 변화하면서 측정한 데이터를 보여주고 있다. 초점 위치는 실리콘 웨이퍼나 금 코팅 거울 모두 일치하는 것을 알 수 있고, 금 코팅 거울의 반사율이 실리콘 웨이퍼의 반사율보다 더 높기 때문에 같은 위치에서 빔의 강도가 차이를 보이고 있다. 또한 금 코팅 거울은 검출기로 들어오는 레이저 빔의 강도가 초점을 기준으로 가우시안 분포를 보이는 반면에 실리콘 웨이퍼의 경우에는 대칭적인 가우시안 분포를 보이지 않는데 이것은 레이저 빔이 반사되는 웨이퍼의 표면이 금 코팅 거울 보다 매끄럽지 않아 초점 위치를 기준으로 z축을 ± 방향으로 변화함에 따라 반사되어 집광렌즈로 되돌아가는 레이저 빔의 양이 차이가 나기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 4는 LD를 이용하여 패턴이 없는 실리콘 웨이퍼에서 z축을 ±20㎛씩 변화 시켜가며 측정한 반사된 레이저 빔의 강도와 그 초점 위치에서 ±20㎛ 씩 변화 시켜가며 UV 355㎚의 레이저를 이용하여 2.5W의 출력으로 두께가 80㎛인 실리콘 웨이퍼를 100㎜/s의 속도로 가공하여 가공 깊이를 측정한 그림이다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 355㎚의 레이저를 이용하여 실제로 가공하여 구한 초점 위치와 LD를 이용하여 구한 초점 위치가 약 80㎛의 차이를 보이고 있는데 이것은 동일 광학계를 사용하더라도 레이저 파장이 바뀌면 초점위치가 변화하고 공초점 자동 초점 제어장치에 사용된 레이저

및 광학계와 레이저 가공에 사용된 레이저 및 광학계의 퍼짐(divergence)이 다르기 때문인 것으로 생각된다. 위 과정을 반복적으로 수행하여 LD로 구한 초점위치와 실제 가공으로 구한 초점 위치가 80㎛의 차이를 갖는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 파이버 공초점법을 이용하여 레이저 빔의 자동 초점 장치에 관한 연구를 수행하였다. 레이저 다이오드를 이용하여 반사율이 좋은 금 코팅 거울에서 반사되는 레이저 빔의 강도를 측정하여 가우시안 형태임을 확인하였고, 시료를 실리콘 웨이퍼로 교체하여 동일 위치에서 초점이 맺히는 것을 확인 하여 설치한 광학계를 검증하였다. 초점 위치에서 355nm 파장의 레이저를 이용하여 패턴이 없는 실리콘 웨이퍼를 가공하여 초점 위치가 80㎛가 이동한 것을 확인 하였다. 이러한 것은 자동 초점제어 장치에 사용된 LD 및 광학계와 가공 광원으로 사용된 레이저 및 광학계의 파장 및 빔의 퍼짐이 달라 발생된 것으로 여겨진다. 이러한 위치 차이를 보정하여 웨이퍼를 가공한 결과 가공 깊이가 ± 5㎛ 의 편차를 보였으며, 이를 통해 본 연구에서 제작하여 사용한 파이버 공초점 법을 이용한 레이저 빔 자동 초점 장치 성능을 확인 할 수 있었다.

5. 참고문헌

1) 김종배, 배한성, 김경호, 문성욱, 남기중, 권남익, "공초점 현미경과 원자 현미경을 이용한 가공된 시료 표면의 형상 측정", 한국정밀공학회 제23권 제4호, pp.52-59(2006).

2) 김선흠, 배한성, 홍윤석, 문성욱, 김경호, 김종배, 남기중 "레이저 가공을 위한 자동 초점 제어 시스템에 관한 연구", 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp.431-432(2006).

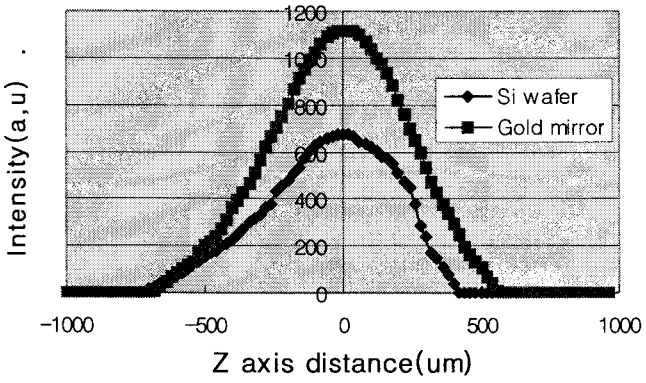

Fig 3. Intensity variation of LD beam reflected from surface of Si bare wafer and gold coating mirror according to z axis distance, respectively.

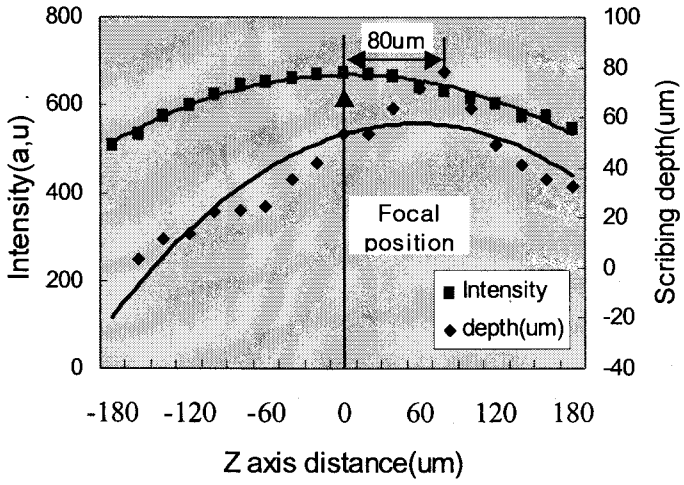

Fig 4. Comparison between intensity distribution of reflected LD and scribing depth along z-axis