레이저 가공을 위한 자동 초점 제어 시스템에 대한 연구

*김선흠, 배한성, 홍윤석, 문성욱, 김경호, 김종배, 남기중
고등기술연구원

A Study on Auto-Focusing Control System for Laser Material Processing

*S. H. Kim, H. S. Bae, Y. S. Hong, S. W. Moon, G. H. Kim, J. B. Kim, G. J. Nam
Institute for Advanced Engineering

Key words : Auto-Focusing, Laser Material Processing

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 구멍이나 절단 등에 활용 될 수 있어 산업적으로 그 활용도가 점점 커지고 있다. 그러나 레이저 광을 가공하고자 하는 시료의 표면에 렌즈를 이용하여 정확히 초점을 맺히게 하는 것은 매우 어렵다. 이를 위하여 고가의 자동 초점 장치들이 개발되었지만 사용되는 레이저와 광학계의 특성에 따라 그 정밀도에 오차가 있으며 대부분 사용자가 가공 표면을 확인하면서 초점 위치를 찾는 경우가 대부분이다. 이것은 가공 시간과 가공의 정밀도를 높이기 위해서는 사용자의 광학에 대한 전문성을 필요로 하게 된다.

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

2. 자동 초점 제어 시스템 설계

공초점 현미경이란 시료에 맺히는 초점과 APD(Avalanche Photo Diode)에 맺히는 초점을 공유하는 것으로 시료에서 반사된 광원의 세기가 가장 큰 위치를 초점으로 사용하였다. 그리고 이를 측정하기위해 아날로그 전압신호를 Analog Device사의 A/D 컨버터(AD574)를 이용하여 디지털 전압신호로 변환하고, 이것을 측정하고 저장하기 위한 8051 보드를 설계 및 제작 하였다. 시료에 반사된 신호를 측정하는데 있어 시료의 종류에 따라 광원의 반사량이 다르기 때문에 본 연구에서는 골드미러와 웨이퍼 두 종류를 사용하였고, 이중 웨이퍼는 자동초점을 찾은 후 실제 가공까지 병행하였다. 각각의 시료에서 반사되는 광원의 세기를 APD 센서장치에서 광원의 세기에 따라 전압으로 변환하여 출력한다. PD를 사용하지 않고 APD를 사용한 이유는 시료의 반사율이 작아 광원의 신호세기를 증폭하기 위해서 이다. 스테이지는 대물렌즈를 상하로 움직이며 자동으로 초점을 찾는데 최대 스캔 범위는 150㎜이고 스테이지의 분해능은 1㎛이다.

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. 본 연구에서 샘플링 분해능이란 아날로그 전압신호를 한 개의 12비트 디지털 전압신호로 변환하는 것을 말한다. 따라서 2㎜의 범위로 측정하면 스테이지가 1㎛이동 할 때마다 한 개의 12비트 디지털 전압신호가 변환되고 20㎜의 범위로 측정하면 10㎛마다 한 개의 12비트 디지털 전압신호가 변환된다. 따라서 자동 초점의 범위가 늘어나면 그 만큼 분해능이 떨어지므로 적절한 범위 조정이 필요하다.

Fig. 1은 자동 초점 제어 시스템의 구성도로서 광원으로는 780nm LD(레이저 다이오드)를 사용하였고 렌즈를 사용하여 평행빔으로 전환하였다.

수평 편광된 레이저 빔은 PBS(Polarization Beam Splitter)를 통과하여 광섬유로 커플링 된다. 광섬유는 편광유지 단일모드 광섬유(Single Mode Polarization Maintaining Fiber)를 사용하였다. 광섬유를 통과한 레이저 빔은 1/4λ 판에 의해 원편광으로 바뀌고, 스테이지에 연결된 대물렌즈를 통과하여 시료에 조사된다. 시료에서 반사된 레이저 빔은 다시 한번 더 대물렌즈와 1/4λ 판을 통과 하면서 수직편광으로 바뀌고, 광섬유를 통과한 후 PBS에 반사되어 APD로 검출된다.

8051 보드는 APD 수광 소자장치, A/D 컨버터 장치, 메모리 장치, 데이터 입출력장치, UART 장치, 그리고 CPU로 구성되어있다.

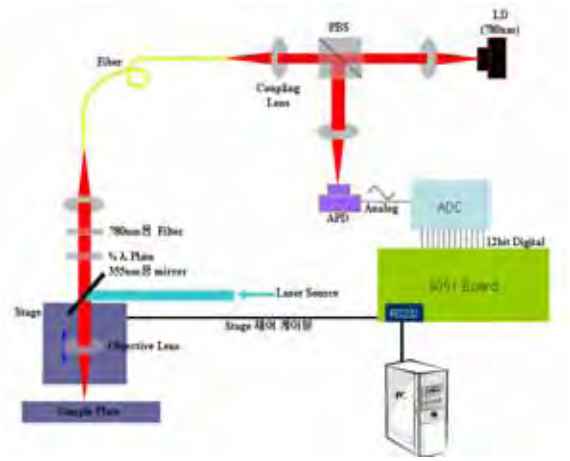

Fig. 1 Block diagram of Auto-Focusing Control System

APD 수광 소자장치는 시료에서 반사된 레이저 빔을 검출하기 위해 사용하고, A/D 컨버터 장치는 APD에서 출력되는 아날로그 전압신호를 디지털 전압신호로 바꾸기 위해 사용한다. 데이터 입출력장치는 A/D 컨버터에서 보내는 12비트의 디지털 전압신호를 받기 위한 목적으로 사용하였다. A/D 컨버터로 입력되는 아날로그 전압신호는 0~10V이며 12비트 디지털 전압신호로 변환되는 시간은 약 35μs가 소요되고 모든 데이터는 0 ~ 10V내에서 4096개의 디지털 전압 레벨을 갖는다.

UART(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)장치는 PC와 8051 보드간의 통신을 위해 사용된다. 자동 초점 제어 시스템은 두 가지 방법으로 제어가 가능하다. 하나는 8051 보드에 설치된 스위치를 사용하여 제어하는 방법과 다른 하나는 PC에서 Visual C++ 프로그램으로 만든 GUI(Graphic User Interface)를 이용하여 제어하는 방법이다. 후자를 사용할 경우에 RS232 통신 방식을 사용하는 UART 통신이 필요할 뿐만 아니라, 8051 보드의 메모리장치에 저장되어 있는 데이터를 PC내부에 파일로 보관하기 위한 목적으로 사용된다.

CPU가 위에 있는 모든 내용을 제어하고 동시에 ASM46BK 스텝모터의 제어를 위해 사용하며, 메모리 장치에 보관되어 있는 12비트 디지털 전압 신호를 비교 연산하여 초점위치를 찾을 수 있도록 보드를 설계하였다.

3. 실험 및 결과

8051 보드의 2개 핀(P0.0, P0.1)을 사용하여 스테이지를 상하로 제어하였다. 한 개의 펄스에 대한 스테이지의 이동 거리는 1㎛이다.

스테이지에 부착된 대물렌즈는 Table 1에서 보여준 것과 같은 스테이지의 측정범위와 샘플링 분해능으로 한 번의 스캔을 하게 되며, 시료에서 반사된 아날로그 전압신호를 APD에서 검출하여 8051 보드를 이용해 12비트 디지털 전압신호로 바꾸고 데이터 입출력장치를 통해 메모리에 차례로 저장한다.

한 개의 데이터가 메모리의 0번지에 저장되면 그 다음 데이터는 2번지에 순차적으로 저장되어 15999번지까지 저장 할 수 있다. 따라서 메모리에 저장할 수 있는 데이터 수는 8000개를 넘어서는 안 되며, 본 연구에서는 2000개의 데이터를 사용하였다. 메모리 번지가 샘플링 분해능이고 메모리 번지에 저장되는 데이터가 레이저의 세기이다.

CPU는 메모리에 저장된 2000개의 데이터 모두를 2바이트씩 비교 연산한다. 비교 연산 알고리즘은 첫 번째 데이터와 두 번째 데이터를 비교한 후 큰 값을 별도의 메모리에 저장하고 그 값을 세 번째 데이터와 동일한 방식으로 비교하고 저장하는 것이다. 비교연산이 끝난 후 데이터가 가장 큰 값의 위치로 스테이지가 이동하고 그 위치를 초점으로 삼는다.

자동으로 초점을 찾은 후 UART 통신으로 메모리에 있는 데이터가 PC에 전송된다. PC에 저장된 데이터 파일은 16진수로 표현되어 있기 때문에 16진수를 10진수로 바꾸어 Fig.2와 같이 그래프로 표현하였다.

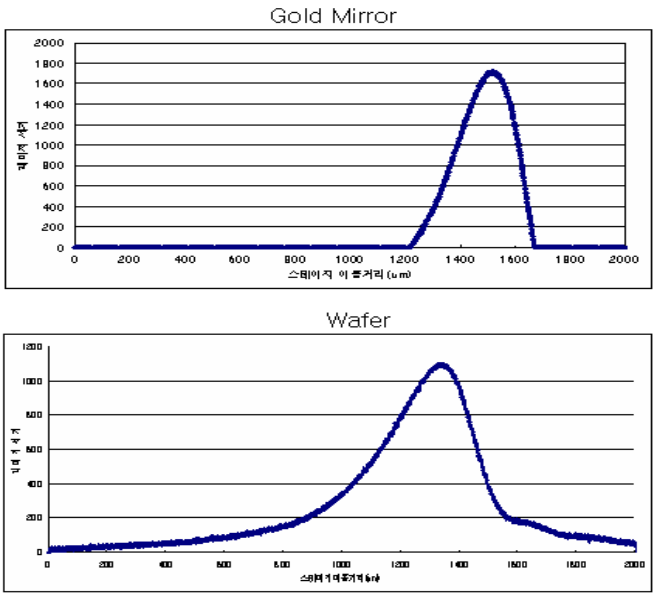

Fig. 2 스테이지 이송거리에 따른 시료 표면에서의 반사량의 세기 분포

Fig. 2는 스테이지를 이동시키면서 자동 초점 제어 시스템으로부터 얻어진 검출신호를 보여주는데 초점위치를 중심으로 비교적 좌우로 대칭형태의 분포도를 나타내고 있다. 시료로는 골드 미러와 웨이퍼를 사용하였고, 스테이지 이동범위는 2㎜, 샘플링 분해능은 1㎛이다. Fig.2에서 두 시료에 대한 반사량의 차이 때문에 반사된 레이저의 세기는 골드 미러가 웨이퍼보다 높게 나온다. 그러나 각각의 그래프에서 최대점이 초점위치라는 것에는 차이가 없다. 또한 웨이퍼 그래프의 폭이 골드 미러의 폭보다 넓은 것을 확인할 수 있는데, 이는 웨이퍼의 표면에서의 난반사 때문에 발생하는 현상으로 추정된다.

Fig. 3은 초점위치를 찾은 후 웨이퍼에 대한 실제 가공 테스트 결과이다. 초점위치에서 Diode pumped Nd:YAG 레이저의 3차 조화파(355㎚)를 조사할 경우는 아래로 100㎛ 스테이지를 이동시킨 후 가공을 해야 정확한 초점 위치에서 가공된다. 이것은 초점을 찾기 위한 LD의 파장과 가공을 위한 레이저의 파장 및 광학계의 퍼짐 효과가 다르기 때문에 초점거리가 바뀜으로써 생기는 오차이다. Fig. 3의 (a)는 초점위치에서 스테이지에서 100㎛ 이동 시킨 후 가공한 결과를 50번 반복 측정하여 전자현미경으로 웨이퍼를 위에서 찍은 사진이다. 가공된 모든 부분이 거의 같은 깊이로 가공된 것을 확인할 수 있으며 그 위치가 실제 가공 레이저의 초점 위치임을 알 수 있다. Fig. 3의 (b) 역시 DOF범위 내있는 가공된 면을 전자현미경으로 정면에서 찍은 사진인데 3개의 가공된 라인의 폭이 거의 동일함을 확인할 수 있다.

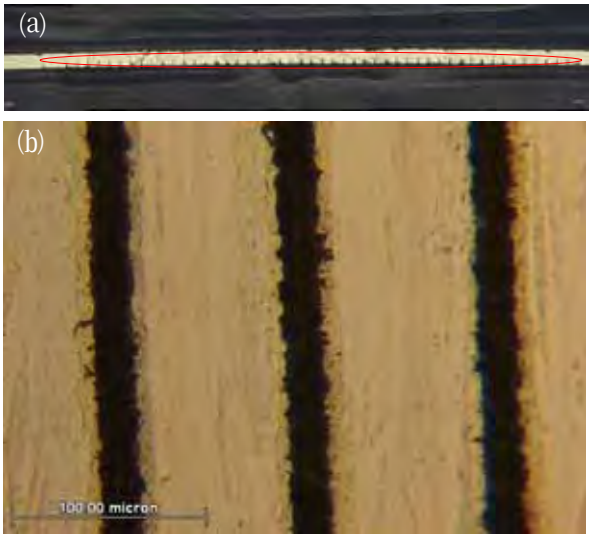

Fig. 3 Wafer of Material Processing

4. 결 론

본 연구에서 공초점 현미경의 원리를 사용한 자동 초점 제어 시스템을 위해 기존의 이론을 바탕으로 광학설비를 구축하였고 8051 보드와 Visual C++ 프로그램을 직접 제작하였다. 시료의 초점 거리에서 반사된 레이저의 세기에 대한 최대점(초점위치)을 기준으로 비교적 좌우 대칭적인 형태의 그래프를 얻었고 자동 초점 제어 시스템을 이용해 웨이퍼에 대한 정밀 가공테스트를 해본 결과 설계 목표에 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다. 자동초점 제어장치의 변위는 2㎜ - 40㎜ 이며 분해능은 최소 1㎛이다. 분해능은 제어장치의 변위를 작게하면 ~㎚ 분해능도 가능하나, 대부분 레이저 가공에서 사용되는 렌즈의 DOF 범위보다 작기 때문에 가공에 영향을 주지 않으리라 본다.

그러나 사용된 자동초점 장치의 LD의 반사량 세기의 최대치는 실제 레이저의 초점 위치보다 100㎛ 차이가 나는데 이것은 사용된 LD와 실제 가공에 사용된 레이저의 파장과 퍼짐 효과에 기인한다. 따라서 이러한 자동초점 제어장치는 사용되는 레이저와 광학계에서 초기에 한번 보정을 하면 그 이후에는 정확한 초점위치를 자동으로 찾을 수 있음을 확인하였다.

후기

이 논문은 산업자원부의 공통핵심기술개발사업에 의하여 지원되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 김종배, 배한성, 김경호, 문성욱,남기중,권남익, “공초점현미경과 원자현미경을 이용한 가공된 시료표면의 형상측정”, 정밀공학회지, 제23권, 제4호, 2006
2. 이호재, 이상윤,공인복,김승우, “고배율 현미경의 자동초점장치”, 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp.255~260, 1994