레이저 미세가공 Platform 개발

Development of a laser micro-machining platform

*손현기[1], 이제훈[1], 남기중[2], 한재원[3], 김호상

*H. Sohn[1], J.H. Lee(Jaholee@kimm.re.kr)[1], G.J. Nam[2], J.W. Hahn[3], H.S. Kim[4]

[1] 한국기계연구원 지능형생산시스템 연구본부, [2](주)젯텍, [3]연세대학교, [4]고등기술연구원

Key words : Long-term & real-time laser power stabilization, laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS), auto-focusing (AF)

1. 서론

레이저 미세가공기술(laser micro-machining technology)은 반도체, 전자 산업 등 최신 첨단산업분야에서 활발하게 응용되고 있으며, 응용분야가 지속적으로 확대되고 있다. 최근 이들 첨단산업의 고정세화/고집적화/대면적화 추세에 효율적으로 대응하기 위해서는 레이저 미세가공공정에 대한 실시간 모니터링(monitoring) 기술의 접목이 필수적이다.

본 논문에서는 UV 레이저 발진기(source)를 기반으로 하고, 공정 모니터링을 위한 실시간 레이저 출력 안정화 모듈(real-time laser power stabilizing module), LIBS 모듈(laser-induced breakdown spectroscopy module), 자동초점정렬 모듈(auto-focusing module)을 장착한 레이저 미세가공 platform을 개발하고, 각 모듈의 성능을 테스트하였다.

2. 레이저 미세가공 Platform 구성

Split-axis 타입의 3축 정밀 스테이지(Table 1 참조)를 이용하여 레이저 빔 이송 광학계, 레이저 빔 집속 기구, 공정 모니터링용 광학 모듈을 배치하였다. 레이저 빔의 집속(focusing)을 위해 집속 렌즈와 스캐너를 Z축에 장착하였으며, 공정에 따라 선택적으로 사용할 수 있다. 실시간 레이저 출력 안정화 모듈은 용도상 platform 배면에 장착된 레이저 발진기(Table 2 참조) 앞에 설치되어 있으며, 자동초점정렬 모듈과 LIBS 모듈은 Z축에 설치되어 있어 가공 시 레이저 빔 집속기구와 동시에 이송된다(Fig. 1 참조).

Fig. 1 UV laser micro-machining platform

Table 1 Specifications of the 3-axis precision stage

Items	X axis	Y axis	Z axis
Travel (mm)	600	600	100
Accuracy (μm)	±3	±3	±3
Repeatability (μm)	±0.5	±0.5	±2

Table 2 Specifications of UV laser source

Wavelength	Rep rate	Ave. power	Pulse width	Power stability
355 nm	1-250 kHz	10 W	80 ns	< 2% rms

3. 실시간 레이저 출력 안정화 모듈

레이저 미세가공 시 레이저 출력의 변화는 가공 정밀도에 직접적인 영향을 미치게 된다. 미세가공에 적용되는 레이저 발진기의 출력 안정도는 지속적으로 향상되고 있으나, 일반적으로 2%(rms) 미만이며, 요구되는 가공 정밀도에 따라 2%의 출력 안정도도 개선이 필요하다.

Platform에 설치된 실시간 레이저 출력 안정화 모듈은 반파장판(λ/2 plate)과 PBS(polarization beam splitter)로 구성된 광학 감쇄기(optical attenuator)를 기반으로 하고 있으며, 반파장판의 각도를 조정하여 레이저 빔의 편광을 변화시켜서 출력을 조절한다(Fig. 2 참조). PBS 이후에 분광기(beam splitter)를 설치하여 레이저 빔 출력 변화를 감지하고, 이를 PID 제어하여 레이저 출력을 조절한다. 광학 감쇄기의 반파장판은 정밀급 회전모터(분해능 0.02°)에 장착되어 있다. Platform에 장착된 UV 레이저 발진기 자체의 출력 안정도는 2%(rms)이며, 실시간 레이저 출력 안정화 모듈을 작동하여 레이저 출력을 조절한 결과 레이저 빔의 출력 안정도는 < 1%로 향상되었다(Fig. 3 참조).

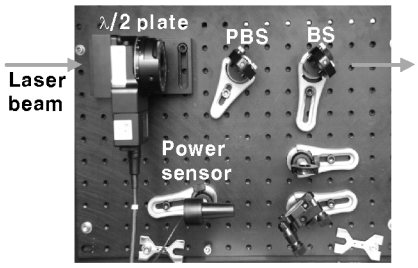

Fig. 2 Configuration of real-time laser power stabilization module

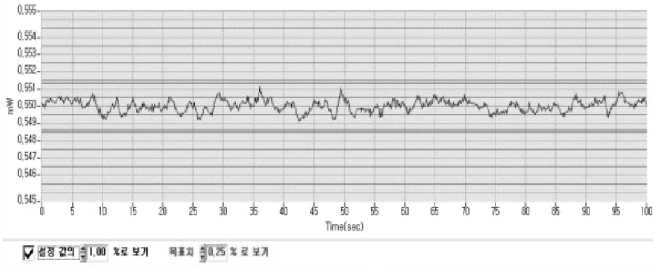

Fig. 3 Stabilized laser power variation (< 1%)

4. LIBS 모듈

전자 부품의 경우 소재가 다양한 재료가 적층된 형태로 되어 있으며, 가공 시 선별적으로 특정한 소재를 제거해야 하는 경우가 있다. 레이저 미세가공 시 가공되는 소재로부터 플라즈마가 발생하게 되며 이를 측정하여 가공되는 소재를 파악하면 선별적 미세가공이 가능하다.

LIBS는 소재 표면에서 발생되는 플라즈마 상태의 원자 또는 이온에서 발산되는 빛을 분광분석하게 되며, 가공 소재에 따라 분광 특성 피크(characteristic peak)가 다르게 나타나므로, 가공 소재를 분별할 수 있다. 예를 들면, 금속의 경우 고유 분광 스펙트럼이 존재하며, 폴리머의 경우는 탄소를 중심으로 조성비에 따라 고유 분광 스펙트럼이 달라진다. Platform에 장착된 LIBS 모듈은 집속 렌즈와 광파이버로 구성되어 있으며, 사용된 광파이버는 다중 모드로 지름이 200 μm이며, NA는 0.22이다(Fig. 4 참조). 광파이버의 반대편 끝에는 분광 분석기(spectrometer)가 연결된다.

폴리이미드(polyimide)와 구리로 구성된 FCCL에 대해 분석을 수행하였다. FCCL은 대부분의 모바일 기기에 사용되는

FPCB(flexible printed circuit board)의 원소재이다. 표피층인 폴리이미드층 가공 시에는 폴리머의 특성 피크인 C_2 swan band가 나타나는 것을 관찰할 수 있었으며, 구리층 가공 시 구리의 특성 피크가 나타나는 것을 볼 수 있다(Fig. 5 참조).

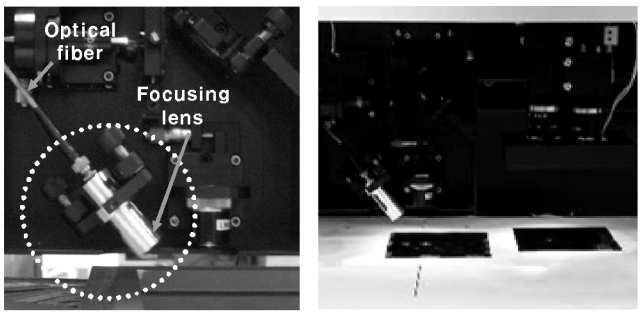

Fig. 4 Configuration of LIBS module

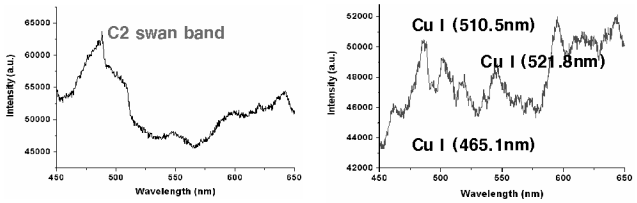

Fig. 5 Characteristic peaks of FCCL

5. 자동초점정렬 모듈

대면적 소재의 가공 시 가공정밀도를 유지하기 위해서는 레이저 빔의 초점과 소재의 가공 표면 사이의 거리를 일정하게 유지하는 것이 매우 중요하다.

자동초점정렬(AF) 모듈은 가공 소재 표면으로부터 반사되는 측정광의 공초점(confocal) 신호를 측정하여 소재 표면과 레이저 빔 초점사이의 거리를 측정한다. 소재 표면의 상태에 따라 측정광의 반사도가 변화하므로, 초기에 반사광량과 간격사이의 선형 변화 구간을 측정하게 되며, 이 구간 내에서 자동초점정렬을 수행할 수 있다. Fig. 6은 platform에 장착된 자동초점정렬 모듈의 구성을 보여 준다.

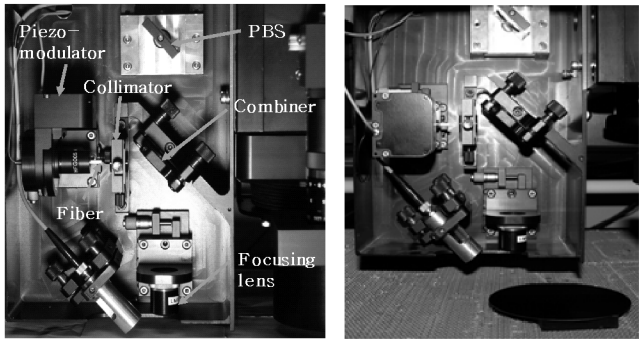

Fig. 6 Configuration of auto-focusing module

AF 모듈을 4 인치 실리콘 웨이퍼의 레이저 드릴링 공정에 적용하였다. 실리콘 웨이퍼의 레이저 드릴링은 대부분 스캐너를 이용하며, 홀 직경이 감소할수록 스캐너의 조사영역이 줄어들어 대면적 가공 시 스캐너를 이송하게 된다. 이때 스캐너의 초점과 웨이퍼 표면 사이의 거리 오차가 발생할 수 있다.

초기 설치된 웨이퍼의 표면 정렬 상태를 AF 모듈을 이용하여 측정한 결과 Fig. 7에서 보는 바와 같이 최대 거리 오차는 약 50 μm이다. 이 값은 진공척을 사용하는 경우 개선될 것으로 판단된다. 이 상태에서 AF 모듈을 이용하여 자동초점정렬을 수행하면 최대 거리 오차는 약 4 μm으로 감소된다.

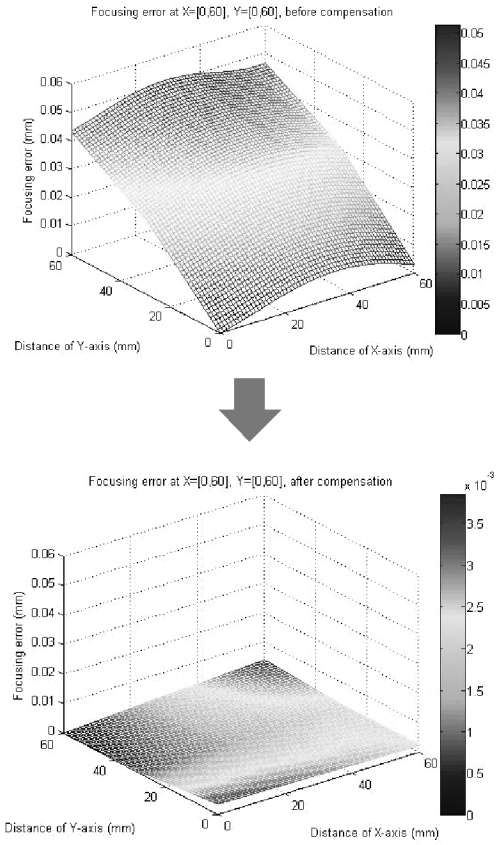

Fig. 7 Auto-focusing result on 4" silicon wafer

6. 결론

반도체, 전자 산업 등 최신 첨단산업분야의 고정세화/고집적화/대면적화 추세에 효율적으로 대응하기 위해 레이저 미세가공공정에 대한 실시간 모니터링(monitoring) 기술의 접목이 필수적이며, 이를 위해 본 논문에서는 실시간 레이저 출력 안정화 모듈, LIBS 모듈, 자동초점정렬 모듈을 장착한 레이저 미세가공 platform을 개발하였다. 실시간 레이저 출력 안정화 모듈을 활용하여 레이저 발진기 출력 안정도를 < 1%로 향상시켰으며, LIBS 모듈을 통해 폴리이미드와 구리 소재를 판별하였으며, 자동초점정렬 모듈을 이용하여 4인치 실리콘 웨이퍼 드릴링 가공 시 레이저 초점과 웨이퍼 표면의 거리 오차를 < 4 μm로 유지할 수 있었다.

후기

본 논문은 지식경제부 지원 차세대신기술개발사업인 "첨단레이저 응용 미세가공기술 개발" 과제의 지원으로 작성되었음.

참고문헌

1. 지식경제부, "첨단레이저 응용 미세가공기술 개발에 관한 산업분석," 연구기획보고서, 2007. 8.
2. B.H. Kolner, "Intensity noise enhancement in the half-wave plate/polarizer attenuator," Opt. Lett., Vol. 16, No. 11, pp. 784, 1991.
3. 류훈철, 곽승우, 강동원, 김경식, 한재원, "PID 제어기법을 이용한 펄스 레이저 출력 안정화에 관한 연구," 한국레이저가공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 89-96, 2006. 6.
4. A.W. Miziolek, "Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) fundamentals and applications," Cambridge, pp. 7-11, 2006.
5. 김상인, 이광일, 김호상, 이경돈, "이송축 특성을 고려한 미세가공용 오토포커싱 장치의 피드백 제어," 한국레이저가공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 102-107, 2007. 6.