웨이퍼 비열 가공을 위한 고출력 펨토초 펄스 레이저 시스템

High Power Femtosecond Pulse Laser System for Non-thermal Wafer Dicing

*한승회, 김윤석, 김승만, 박상욱, 박지용, #김승우
*S.H. Han, Y.S. Kim, S.M. Kim, S. Park, J. Park, #S.W. Kim(swk@kaist.ac.kr)
한국과학기술원(KAIST) 극초단광학 초정밀기술연구단

Key words : Wafer dicing, Femtosecond pulse laser, Non-thermal machining

1. 서론

레이저 가공은 비접촉식 공정으로 레이저 광과 재료가 반응하여 국부적인 면적에 에너지를 가하여 가공하는 기술로 집속력이 뛰어난 레이저 빔의 특성으로 인해 수 ㎛ 에서 수백 nm 까지의 매우 작은 영역의 가공이 가능하게 되며, 좁은 가공 선폭과 높은 정밀도를 얻을 수 있다. 이러한 장점으로 기존의 블레이드 혹은 다이아몬드 팁을 이용한 접촉식 가공이 한계를 갖는 소형화 정밀화의 산업적 수요 흐름에 맞는 가공 방식으로 자리잡았다.

기존의 나노초 레이저 가공의 경우 재료와의 열적인 반응이 지배적이여서 열적 영향 지대(HAZ:Heat Affected Zone) 때문에 미세 가공에는 한계를 보여왔다. 열적 영향으로는 가공 시 일어나는 열 확산 및 발생되는 용융물에 의해 가공치수를 작고 균일하게 가져가기 어렵고 품질에도 영향을 미치게 된다. 이러한 기존 나노초 레이저 가공의 한계를 넘어서기 위한 많은 연구가 수행되어 왔으며, 펨토초 단위의 펄스 폭을 갖는 극초단 레이저가 새로운 가공 방법으로 떠오르고 있다.

극초단 펄스의 경우 시간적 펄스 폭이 매우 짧음으로 인해 매우 높은 첨두 출력을 갖게 되며 이를 통해 물질과의 비선형 현상이 일어나게 된다. 이러한 비선형 현상에 의해 레이저의 파장에 의존하지 않고 레이저 광으로부터 재료로 에너지 전달이 가능해지고, 재료가 제거되는데, 이러한 과정이 기존의 나노초 레이저의 열적 가공과는 다르게 된다.

따라서 극초단 펄스를 이용한 가공의 경우 레이저 광의 특성에 따른 가공 특성을 파악할 필요가 있으며, 이를 위해 각각의 레이저 광 특성을 조절할 수 있는 고출력 펨토초 펄스 레이저 가공 시스템을 구성하였다.

2. 기본이론

극초단 펄스 레이저와 가공 대상물의 반응은 이온도계 모델(TTM:Two Temperature Model)로 설명할 수 있으며, 이는 가공 대상물을 격자계와 전자계로 나누어 에너지 전달을 설명한다 [1]. 극초단 펄스 레이저를 이용한 가공은 크게 이온화 과정, 전자에서 격자로의 열 전달 과정, 이온 분리 과정으로 구분된다. 이온화 과정은 높은 에너지를 갖는 레이저 광이 입사되면서 전자계에서 에너지를 흡수하며 높은 에너지를 갖는 전자들이 이온화되며 일어난다. 높은 에너지를 갖는 전자들은 격자로 열 형태의 에너지를 전달한다. 이때 전자계에서 격자계로의 열 확산시간은 약 수~수십 피코초 정도이다. 펄스 폭이 이보다 짧은 레이저 광이 물질에 조사하게 되면, 조사된 부분으로부터의 열 확산을 최소화 시킬 수 있다. 높은 에너지를 갖는 전자계에 의해 생성되는 정전기력은 격자계에 남아있는 양이온을 물질 외부로 잡아당기게 되고 이러한 정전기력이 결합에너지보다 클 경우 이온은 박리된다 [2]. 이러한 과정을 통해 결과적으로 주변부에 열 확산이 적은 비열적 가공이

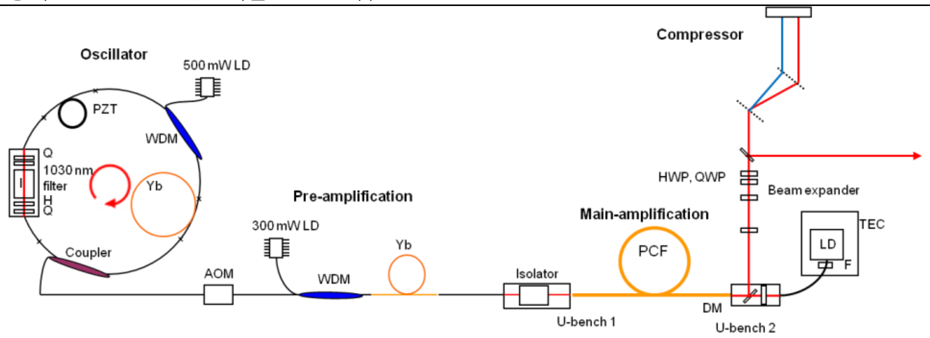

Fig. 1 Schematic diagram of high power femtosecond pulse laser system. Yb:Ytterbium doped fiber, Q:quarter waveplate, H:half waveplate

일어나게 된다.

3. 고출력 펨토초 펄스 레이저 시스템

고출력 펨토초 펄스 레이저 시스템은 Fig. 1 과 같이 공진기, 증폭단, 압축단으로 구성된다. 공진기에서는 비선형 편광 회전(Nonlinear Polarization Rotation) 방식의 모드 잠금을 통해 수 피코초 펄스를 생성할 수 있으며, 생성된 펄스는 이터븀(Ytterbium) 광섬유 기반의 증폭단에 의해 수십 W 의 출력으로 증폭된다. 에너지를 갖는다. 증폭된 펄스는 회절격자를 이용한 펄스 압축단에 의해 압축되며 Fig. 2 와 같이 펄스 폭이 150 fs 로 압축되어 고출력 펨토초 펄스 레이저를 생성한다.

회절격자의 간격 조절을 통해 펄스 폭을 조절할 수 있으며, 이터븀 증폭단의 LD 펌핑 파워 조절을 통해 펄스 에너지를 조절할 수 있다. 펄스 반복률은 공진기 뒤의 AOM(Acousto Optic Modulator)을 펄스의 편광상태는 편광판 회전을 통해서 제어가 가능하며, 입사되는 펄스 수는 셔터와 펄스 피커(Pulse picker)를 통해 조절할 수 있다.

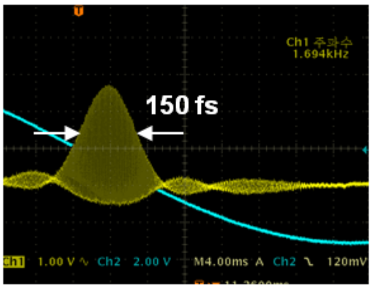

Fig. 2 Measured pulse duration (150 fs).

4. 결론

극초단 펄스 레이저를 이용한 가공에서 가공에 영향을 미치는 레이저 광의 특성을 파악하고 각각의 레이저 광 특성을 조절하여 가공 성능에 미치는 영향을 파악할 수 있는 고출력 펨토초 펄스 레이저 시스템을 구성하였다.

후기

본 연구는 대전광역시의 첨단 기술 상용화 지원 사업의 지원을 받아 KAIST 극초단광학 초정밀기술연구단에서 수행되었습니다.

참고문헌

1. B. N. Chichkov., C. Momma., S. Nolte., F. von Alvensleben., A. Tunnermann., "Femtosecond, picosecond and nanosecond laser ablation of solids", Appl. Phys. A, Vol. 63, No. 2, pp. 109-115, 1996.
2. E. G. Gamaly., A. V. Rode., B. Luther-Davies., "Ablation of solids by femtosecond lasers: Ablation mechanism and ablation thresholds for metals and dielectrics", Physics of Plasma, Vol. 9, No. 3, pp. 949-957, 2002.