

# 피코초 펄스 레이저를 이용한 사파이어 웨이퍼 스크라이빙에 관한 연구

문재원·김도훈  
연세대학교 금속공학과

## A Study on Sapphire Wafer Scribing Using Picosecond Pulse laser

Jae-Won Moon and To-Hoon Kim  
Department of Metallurgical Engineering, Yonsei University

### Abstract

The material processing of UV nanosecond pulse laser cannot be avoided the material shape change and contamination caused by interaction of base material and laser beam. Nowadays, ultra short pulse laser shorter than nanosecond pulse duration is used to overcome this problem. The advantages of this laser are no heat transfer, no splashing material, no left material to the adjacent material. Because of these characteristics, it is so suitable for micro material processing. The processing of sapphire wafer was done by UV 355nm, green 532nm, IR 1064nm. X-Y motorized stage is installed to investigate the proper laser beam irradiation speed and cycles. Also, laser beam fluence and peak power are calculated.

Key words : 피코초 펄스 레이저(picosecond pulse laser), 사파이어웨이퍼(sapphire wafer), 어블레이션(ablation), 초단파 펄스(ultra short pulse), 다광자 흡수(multi photon absorption)

## I. 서론

본 연구에서는 피코초 펄스 레이저를 이용한 사파이어 웨이퍼 스크라이빙을 수행하였다. 기존의 사파이어 웨이퍼 가공은 주로 다이아몬드 휠(diamond wheel)이나 다이아몬드 팁(diamond tip)을 이용하여 이루어지고 있다. 그러나 휠이나 팁을 이용한 기계적 가공시 생기는 미소크랙(micro crack)으로 인하여 사파이어 웨이퍼는 정밀한 전자부품이나 광학부품에의 확대 적용이 힘들었고, 최근에 들어서야 펄스 레이저가 가공에 이용되기 시작하였다. 그동안 나노초 펄스 레이저, 피코초 펄스 레이저, 펨토초 펄스 레이저를 이용한 사파이어의 어블레이션은 몇몇 연구 그룹에서 이루어졌다. 그렇지만, 이들에 의한 실험은 대부분 레이저빔의 펄스폭을 달리하여 나타나는 현상을 연구했을 뿐 사용하는 레이저빔 파장을 달리하여 실험을 한 것을 찾기 어려웠다<sup>1~3)</sup>.

사파이어는 넓은 밴드갭(wide band gap)을 가지고 있으며 광학적, 기계적, 전기적, 열적 성질이 우수하여 다양하게 이용되고 있다. 실험에서 사용한 C-plane 사파이어 기판은 블루 LED에 사용되는 III-V 족과 II-IV 족 혼합물에 사용되어 그 사용이 점점 증가하고 있다. 기존의 나노초 펄스 레이저를 이용한 사파이어 웨이퍼 가공은 레이저 빔에 의한 어블레이션 후 녹은 물질이 레이저 빔 조사부 주위에 재증착되는 현상이 발생해 미세 가공에 적절치 않았다<sup>4,5)</sup>. 높은 파워 밀도와 초단파 펄스를 가지는 펨토초 펄스 레이저의 경우 광학재료에 대한 레이저 빔 조사에 관한 연구는 기존의 펄스 레이저보다 좋은 결과를 나타냈다<sup>6)</sup>.

본 연구에서는 피코초 펄스 레이저를 사용하여 기본 파장인 1064nm를 기본으로 2nd HG 532nm(green), 3rd HG 355nm (UV)의 3가지 레이저빔 파장을 이용하여 최적의 사파이어 웨이퍼 스크라이빙 조건을 찾으려

하였다. 또한, 실험을 통해 얻은 결과를 바탕으로 피코초 펄스 레이저의 레이저빔 조사량, 조사회수, 플루언스에 따라 제거된 사파이어의 질량과 부피를 구하였다.

## II. 실험방법

### 1. Picosecond pulse laser

본 연구에서 사용한 레이저는 최대 10W의 출력을 낼 수 있는 독일 LUMERA 사의 STACCATO Nd:YVO<sub>4</sub> picosecond pulse laser 이다. 이 레이저는 크게 레이저 헤드(head)와 레이저 컨트롤 유닛(laser control unit)의 두 부분으로 구성되어 있으며 기본 파장 1064nm, 2nd HG 532nm, 3rd HG 355nm 의 3가지 레이저빔 파장을 낼 수 있다.

### 2. Sapphire wafer

본 연구에서 사용한 사파이어 웨이퍼는 직경 2 inch, 두께 470±10μm, 양면 폴리싱(polishing)이 안된 것을 사용하였다.

### 3. X-Y 모터 구동 테이블

레이저빔이 조사되는 속도와 반복회수의 영향을 알아보기 위해 레이저빔 조사부 하단에 X-Y 모터 구동 테이블을 설치하였다. 시편에 레이저빔을 조사하여 스크라이빙 하는 방법은 테이블 자체가 움직이거나 레이저빔을 갈바노 스캐너(galvano scanner)로 조사시키는 법이 있다. 갈바노 스캐너 사용시 높은 속도와 정확성, 일정한 품질을 얻을 수 있지만 레이저빔의 초점이 아닌 곳에서는 오차가 생길 수 있어 정밀한 가공이 이루어지지 못하는 경우가 발생한다. 그러므로 레이저빔의 조사 위치를 고정시키고

테이블을 움직여서 실험하는 것이 레이저빔의 초점 변화에 따른 영향 없이 정확한 결과를 얻을 수 있다.

#### 4. 에어노즐

일반적으로 나노초 펄스 레이저에 의한 재료 가공은 레이저빔의 조사 후 어블레이션 안되고 남아 있는 가공물질이 재흡착되거나, 가공물질이 산화되며 생기는 산화물 같은 2차 불순물에 의해 가공 품질의 저하가 나타난다. 본 실험에서 사용한 피코초 펄스 레이저는 2차 불순물 발생의 염려 없이 가공이 가능하다 알려져 있지만 아직 문헌적으로 증명된 것이 없으므로 압축공기를 보조 가스로 사용하여 실험을 수행하여 미사용 때와의 결과를 비교하려 하였다.

#### 5. 실험기구의 배치

위에서 설명한 실험 기구들을 바탕으로 도시하면 Fig. 1 과 같다. 진동에 의한 영향을 없애기 위해 광학테이블(optical table) 위에 피코초 펄스 레이저를 놓았다. 피코초 레이저는 레이저빔 펄스폭을 13ps, 레이저

빔 주파수를 50kHz 로 고정하여 사용하였다. 수평으로 조사되는 빔을 수직 방향으로 전환하기 위해 빔 손실이 적은 HR(high reflection) mirror 를 배치하여 레이저빔의 방향을 수직으로 바꿨다. 레이저빔의 품질을 향상시키기 위해 BET(beam expander) 를 설치하였다. 피코초 펄스 레이저의 조정 및 X-Y 테이블 조정은 컴퓨터를 사용하였다. 에어 노즐에는 압축공기를 사용하였으며 그 압출구의 직경은 1mm, 압력은 3 bar 로 맞추어 실험하였다.

### III. 결과 및 고찰

본 연구에서 행한 레이저빔을 이용한 사파이어 웨이퍼 스크라이빙에는 많은 변수가 존재하며, 그 중에서 제일 중요한 것으로는 레이저빔 출력(laser power), 주사속도(laser scanning speed), 보조 취입가스(assist gas)의 사용여부, 레이저빔의 초점 위치 등이다. 이러한 변수를 적절히 제어하면서, 재실험시에도 동일한 결과를 얻을 수 있는 정밀한 스크라이빙 폭과 아주 양호한 스크라

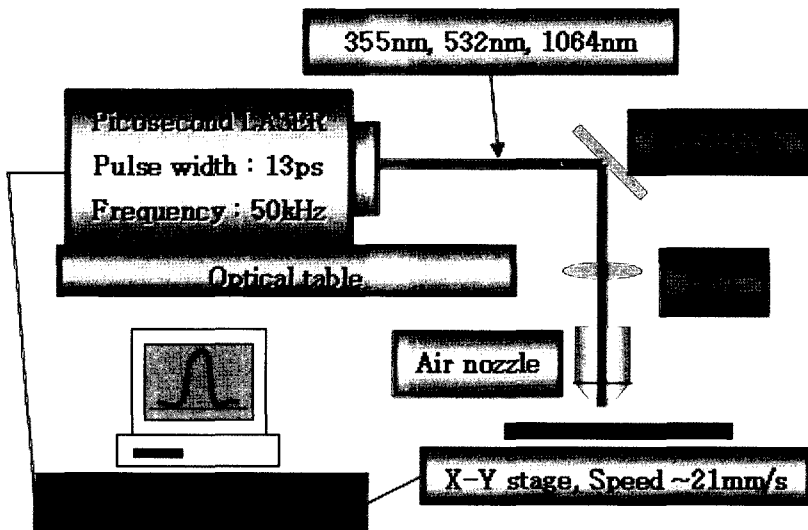


Fig. 1 Schematic illustration of experimental equipment.

이빙 면을 가지는 최적의 스크라이빙 조건을 도출하려 하였다. 우선 예비 실험 결과를 통해 최적 조건이 나오게 될 범위를 선정하였고, 본 실험에서는 최적 조건 범위에서 집중적인 실험을 하여 최적 조건을 산출하였다. 실험장비인 피코초 펄스 레이저가 낼 수 있는 3가지 파장인 355nm(UV)-1.8W, 532nm(green)-2.2W, 1064nm(IR)-6.4W를 각각 사용하여 스크라이빙을 행하였다. 레이저 재료 가공시 일반적으로 나타나는 2차 생성물에 의한 영향을 알아보기 위해 압축공기를 사용하는 노즐을 달아 압축 공기 사용시와 미 사용시의 가공정도를 비교하였다.

실험을 통해 얻어낸 최적 조건은 다음과 같다. 각 파장 공히 X-Y 테이블 이동 속도 13mm/sec~15mm/sec, 레이저빔 반복회수 3~5 회에서 얻을 수 있었다. 또, 레이저빔 파장이 커질수록 스크라이빙 폭(street width) 및 깊이(scribing depth)의 비인 A/R(aspect ratio)이 점점 커져 미세 가공에 적절치 않음을 알 수 있었다. 최적 조건에서 많이 벗어나는 실험에서는 스크라이빙 된 V자형 홈 내부가 깨끗하지 못했으며, 스크라이빙 깊이가 또한 적게 나왔다. 이는 짧은 파장과 짧은 펄스폭의 조합에 의한 레이저빔 에너지 조사에서 조사부 주위의 더 적은 주위 열전달과 조사부의 큰 에너지 흡수에 의해 만족할만한 어블레이션 결과를 주기 때문이라 생각된다. Fig. 2 는 사용한 레이저빔 파장에 따른 레이저 플루언스(flucence)에 대해 제거된 사파이어 웨이퍼 부피에 대한 그래프이다. Fig. 3 은 사용한 파장에 따른 레이저빔 피크파워(peak power)에 대해 제거된 사파이어 웨이퍼 질량에 대한 그래프이다. Fig. 4 는 레이저빔 파장에 따른 레이저 파워 1.0W~2.0W 사이에 구한 A/R 이다. Fig. 5 는 스크라이빙 된 선을 따라 절단하여 스크라이빙 된 절단면을 관찰한 사진이다. Fig. 6 은 스크라이빙 된 부위를 횡단

절단하여 관찰한 사진과 레이저빔 조사 방향에서 관찰한 스크라이빙 된 선을 관찰한 사진이다.

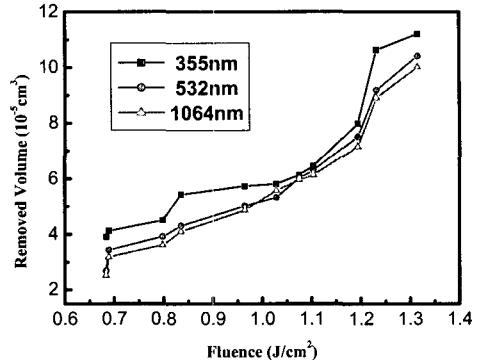


Fig. 2 Removed volume for fluence.

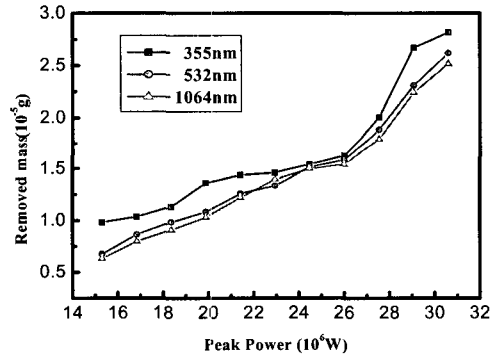


Fig. 3 Removed mass for peak power.

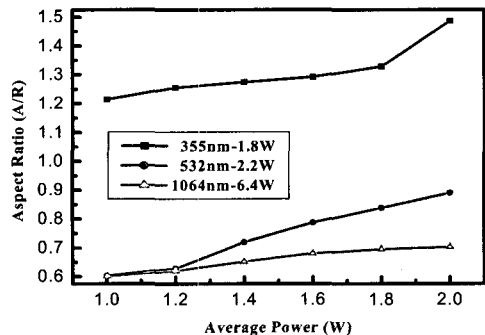


Fig. 4 Aspect ratio(A/R).

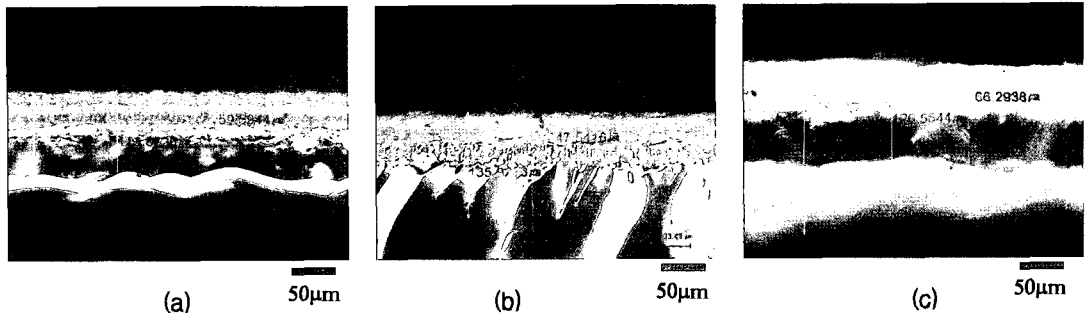


Fig. 5 Optical microscope pictures for cross-section of scribed profile.

(a) 355nm, (b) 532nm, (c) 1064nm

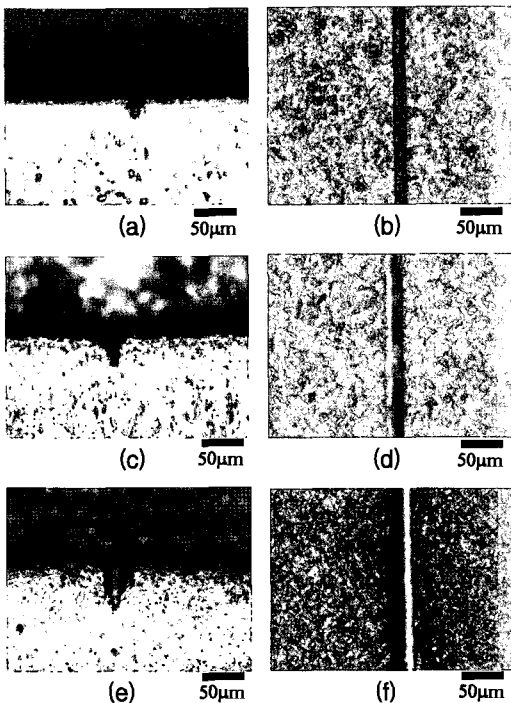


Fig. 6 Optical microscope pictures

- (a) cross-section image for 355nm,
- (b) top-surface image for 355nm,
- (c) cross-section image for 532nm,
- (d) top-surface image for 532nm,
- (e) cross-section image for 1064nm,
- (f) top-surface image for 1064nm.

#### IV. 결 론

피코초 펄스 레이저의 3가지 파장을 이용

하여 사파이어 웨이퍼 스크라이빙을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 최적 스크라이빙 조건은 X-Y 테이블 이동속도 13mm~15mm에서 얻을 수 있었고, 레이저 빔 반복 조사회수 3~5 회에서 얻을 수 있었다.

2. 미세가공에서 중요한 요소인 A/R 비율은 355nm에서 가장 좋게 나왔다. 이는 레이저빔 파장이 작아질수록 레이저빔 초점 크기가 작아지는 효과 외에도 작은 초점에 더 많은 에너지가 조사되어 광학적 효과가 증대되어 더 많은 어블레이션이 일어났다고 추정된다.

3. 피코초 단위의 펄스폭을 가진 레이저 빔을 조사함으로써 나노초 이상의 펄스폭을 지닌 펄스 레이저에서 나타나는 2차 불순물 생성 및 가공 품질의 저하를 현저히 줄여 피코초 펄스 레이저가 미세 가공에 적절함을 알 수 있었다.

#### V. 참고문헌

1. A.C. Tam, J.L. Brand, D.C. Cheng, W. Zapka, Appl. Phys. Lett. 55(20) (1994) 2040
2. D. Ashkenasu, A. Rosenfeld, H. Varel, M. Wahmer, E.E.B. Campbell, Appl.

- Durf. Sci. 120 (1997) 65
3. W. Kaut, J. Krüger, M. Lonznet, S. Sartnia, C. Spielmann, F. Kausz, Appl. Phys. Lett. 69 (1996) 3146
  4. J.L. Brand, A.C. Tam, Appl. Phys. Lett 56 (1990) 883
  5. Chengyong Jiang, Guoqing Zhou, Jun Xu, Peizhen Deng, Fuxi Gan, Journal of crystal growth 260 (2004) 181~185
  6. E. Gu et al, Thin Solid Films 453~454 (2004) 462~466