

# 펨토초 레이저를 이용한 다이아몬드 미세가공 특성

\*윤홍석, 김재구, 조성학, 장원석, 황경현  
한국기계연구원 나노공정장비연구센터

## Micro processing characteristics of diamond using femtosecond laser

\*H.S. Yoon, J. G. Kim, S. H. Cho, W. S. Chang, K. H. Hwang  
Nano-Mechanical Systems Research Center, KIMM

Key Words : Femtosecond laser, Diamond, Micro processing

### 1. 서론

최근 고출력, 단파펄스 광원으로 주목 받고 있는 펨토초 레이저를 이용한 가공기술이 개발되어 산업적 활용가치에 대한 기대가 증가하고 있다. 펨토초 레이저는 수 ~ 수백 fs의 극히 짧은 펄스폭을 가지므로 잘 알려진 대로 가공부에 조사된 에너지는 매질 내에서 열전달이 발생하기 전에 가공을 끝내게 되어 열적인 손상이 극히 적은 정밀가공을 구현할 수 있다. 아울러 펨토초 레이저의 높은 첨두출력은 투명매질 내에서 다광자흡수(Multiphoton absorption)를 일으켜[1,2]이론적으로는 파장에 관계없이 모든 재료를 가공할 수 있는 장점이 있다.

이에 본 연구에서는 펨토초 레이저를 이용하여 다이아몬드 표면을 미세가공하여 우수한 가공품질을 얻기위해 다양한 가공 변수와 가공특성을 관찰하였다.

### 2. 실험장치 및 방법

#### 2.1 실험장치

본 실험을 위한 장치 레이아웃은 Fig. 1과 같다. 레이저 소스로는 800nm의 파장을 가진 Ti:sapphire 증폭 시스템(Coherent, RegA 9000)을 사용하였으며 펄스폭은 240 fs이내이고, 100 kHz의 펄스반복율로 사용되었다. 평균 초기출력은 565 mW이고, 집속을 위해 사용된 렌즈(NIR용 대물렌즈)는 100x(NA:0.8)렌즈로 렌즈통과후 출력은 95.8mW이다. 이론적으로 계산된 초점위치에서의 빔직경은 대략 1.3 um이다. 레이저 가공시 시료에서 반사된 빔은 가공렌즈를 거쳐 Dichroic mirror를 투과한 다음 CCD 카메라로 전달되어 모니터로 가공영역의 영상을 볼 수 있게 하였다.

#### 2.2 실험방법

다양한 가공 조건을 도출하기 위해 가공 품질에 영향을 끼치는 주요변수들을 정의하였다. 패턴 가공의 기본인 직선을 기본으로 가공하였고, 적절한 품질과 생산성을 얻을 수 있는 가공조건을 찾으려 하였다. 주요 가공 변수로는 레이저 출력, 가공 속도로 한정 시켰으며 초점변화에 따른 가공 조건을 배제하기 위해 Vision 시스템 CCD 초점과 대물렌즈 가공 초점을 일치 시켜 CCD 초점을 맞춤으로서 가공 초점을 통일 시킬 수 있었다. 가공시 발생하는 파티클은 가공후 Ultrasonic cleaning으로 표면을 처리하였으며 각각의 가공 변수 변화에 따른 시료의 변화를 FESEM(RAITH)으로 관찰하였다. 가공 변수중 하나인 다이아몬드 가공 파워는 평균 초기출력과 집속렌즈 통과후 출력을 변수값으로 했고, 렌즈통과 후 측정이 어려운 출력은 사전에 진행된 필터조건별 측정된 값의 비율에 따라 측정하였다. Table 1은 실험에 사용된 Diamond의 물성치이다.

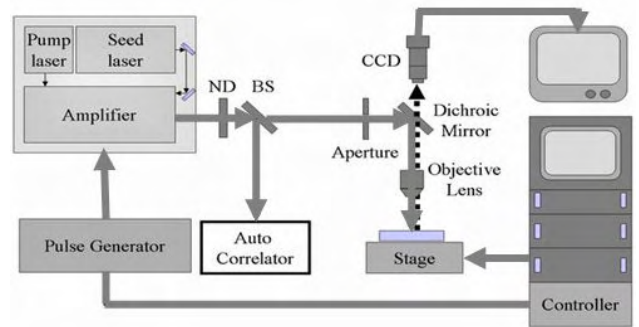


Fig. 1 Experimental layout for glass micromachining using femtosecond laser

Table. 1 Material properties of the diamond

Refraction index	2.417
Bulk modulus	$1.2 \times 10^{12} \text{ Nm}^{-2}$
Compressibility	$8.3 \times 10^{-13} \text{ m}^2 \text{ N}^{-1}$
Thermal expansion coefficient	$1 \times 10^{-6} \text{ mm/K}$
Broad option transparency from the deep UV to the far IR	
Sound propagation velocity	17.5 km/s

### 3. 실험결과 및 고찰

펨토초 레이저를 이용하여 다이아몬드 표면에 미세 가공할시 고려해야 되는 것은 다이아몬드 표면의 굴절률이다. 다이아몬드 표면에 밴드갭(band gap)을 넘는 레이저가 조사되면, 다이아몬드 구조가 변하게 된다. 그러므로 조사된 에너지가 높으면 크랙 혹은 굴절률 변화가 발생하지만, 다이아몬드의 밴드갭(band gap) 이하의 에너지에서는 아무런 변화도 주지 못한다. 이에 다이아몬드의 굴절률은 변수대상에서 제외시켰다. 따라서 펄스 출력에 따라 표면 가공 형태를 비교하기 위한 실험을 진행하였으며 FESEM장비로 관측한 사진을 Fig. 3과 같이 나타내었다. 가공 방법은 100x 대물렌즈를 다이아몬드 표면에 focusing해서 0.766 mW, 0.958 mW, 1.245 mW, 1.629 mW, 2.299 mW, 2.587 mW 출력으로 일정한 속도로 스테이지를 이동시켜 일정한 간격의 라인이 생성 되도록 실험하였다. 레이저 출력은 ND filter조합을 통해 다이아몬드 표면에 가공되도록 조절하였다. Fig. 3의 가공부 초점주위에 보이는 팁(tip)은 가공되면서 ablation 된 것으로 초점부에서 발생하는 멀티포톤 이온화(multiphoton ionization) 및 터널링 이온화(tunneling ionization)와 뒤이어 발생하는 에벌런치 이온화(avalanche ionization)에 의해 자유전자 밀도가 급격히 증가하면서 에너지를 흡수한 격자의 형태가 변형된 것이다. 가공 영역 내부에서의 골은 다이아몬드 박막이 미처 기화되지 않고 용해된 상태에서 레이저에서 발생하는 폭압에 의해 가공 부위 주변으로 밀려난 것으로 추정된다.[3][4] 그러나, Fig.

4 에서 보이는바와 같이 펄초 레이저를 이용한 0.479 mW ~ 0.76 mW 범위에서의 다이아몬드 거동 실험에서는 열적 손상이나 폭압에 의한 크랙은 발생하지 않았으며, 안정된 가공 표면이 나타났다. 가공부 표면에 발생한 ripple 형태는 편광방향에 수직하게 생성되는 rippe 형상으로 160 ~ 165 nm의 간격이었다. Fig. 5 는 레이저 가공출력이 1.245 mW 로 일정하고 스캔 속도를 0.1 mm/sec, 0.2 mm/sec, 0.5 mm/sec, 1.0 mm/sec, 2.0 mm/sec, 5.0 mm/sec로 가공했을때의 변화를 나타낸다. 가공부 초점에서 ablation 되면서 생기는 격자는 가공표면과 깊이 방향으로 영향을 끼쳤으며 스캔속도가 높아질수록 가공방향과 수직인 편광방향에 대해 ripple형태를 확인할 수 있었다.

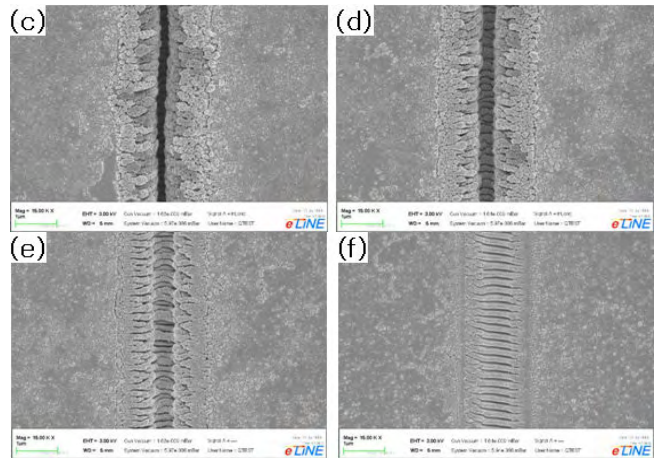


Fig. 5 FESEM image of laser treated diamond sample for (a) 0.1 , (b) 0.2, (c) 0.5, (d) 1.0, (e) 2.0 and (f) 5.0 mm/sec at processing power of 1.245 mW

#### 4. 결론

펄초 레이저 가공시스템을 구축하여 다이아몬드 재질에 대한 정밀가공을 수행하고 관련된 가공변수별로 가공품질에 대한 영향을 고찰하여 향상된 가공품을 얻기 위한 최적조건을 도출하였다. 그 결과 다이아몬드의 펄초 레이저에 대한 가공은 같은 에너지 밀도에서도 높은 출력 빠른 속도에서의 가공품질보다 낮은 출력, 저속조건에서 우수하였음을 알수 있었으며 0.479 mW에서 0.76 mW사이의 가공출력과 2.0 mm/sec의 스캔속도에서는 편광방향과 수직인 ripple이 형성됨을 확인하였다. 또한 가공재료의 표면에 조사되는 레이저의 집속도와 빔의 강도 및 초점의 위치가 다이아몬드 가공품질에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다.

#### 참고문헌

1. A. Rosenfeld et al., "Ultrashort-laser-pulse damage threshold of transparent materials and the rold of incubation", Appl. Phys. A 69, 373-376, 1999.
2. C. B. Schaffer, "Interaction of femtosecond laser pulse with transparent materials", Ph.D. thesis, Harvard University, 2001.
3. D. Ashkenasi, M. Lorenz, R. Stoian, A. Rosenfeld, " Surface damage threshold and structuring of dielectrics using femtosecond laser pulses: the role of incubation", Applied Surface Science, 150, 101-106, 1999.
4. A. Saliminia, R. Vallée and S.L. Chin, "Waveguide writing in silica glass with femtosecond pulses from an optical parametric amplifier at 1.5 μm", Optics Communications, 256, I4-6, 422-427, 2005

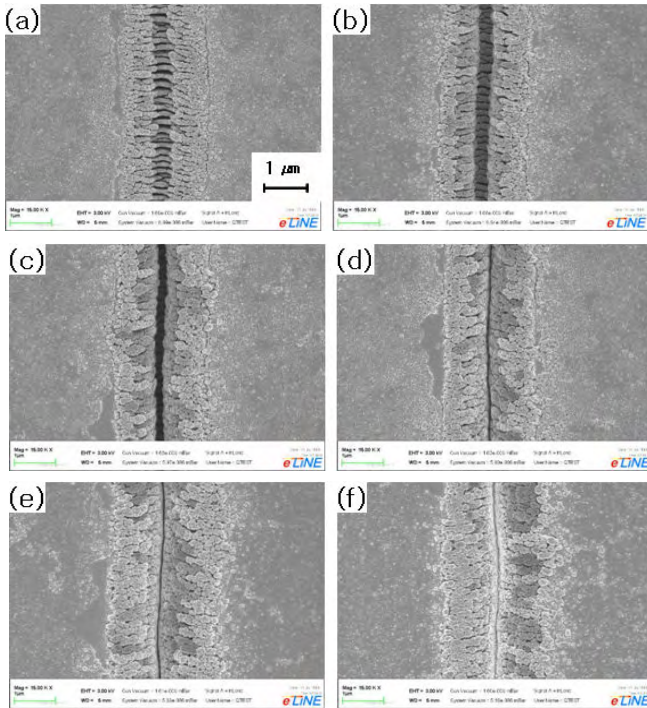


Fig. 3 FESEM images of laser treated diamond sample for (a) 0.766, (b)0.958, (c)1.245, (d)1.629, (e)2.299 and (f) 2.587 mW at scan speed of 0.5 mm/sec

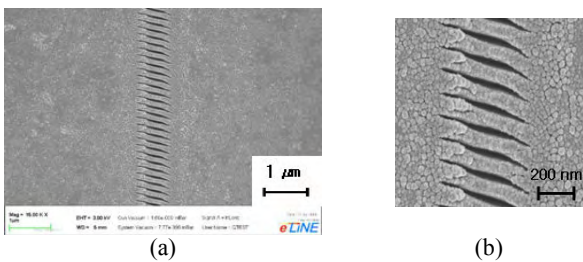


Fig. 4 FESEM image of the ripple shape by power range (0.479~0.76 mW) and scan speed : 2.0 mm/sec: (a) surface processing power of 0.575 mW and (b) real size of ripple

