

CO₂ 레이저를 이용한 시료 표면의 국부 폴리싱

김영섭, 손익부, 노영철

광주과학기술원 고등광기술연구소

The local polishing of material surface using the CO₂ laser

Youngseop Kim, Ik-Bu Shon, Young-Chul Noh

GIST, Advanced Photonics Research Institute

Abstract

In this paper, we study experimentally the local polishing of SiO₂ surface using the CO₂ laser. For laser local polishing, we polished to remove the grooves or to be reformed the surface of grooves after forming the grooves on the material surface. We measured the reflectance, transmittance, and beam profile in order to measure the roughness of polished surface. The Atom Force Microscope (AFM) is used to measure roughness of local polishing surface. We can predict that the laser polishing contribute to the removal of generated debris and surface roughness on the micro processing.

Key Words: CO₂ laser, laser polishing, micro processing, SiO₂

1. 서론

폴리싱은 부제조 공정(secondary manufacturing process) 중의 하나로 연삭작업 또는 광내기라고도 한다. 일반적으로 연마(grinding) 작업을 거친 후 연삭작업을 하는 경우가 많으며 평면도를 향상시키거나 높은 품질의 연삭면을 얻기 위해서는 랩핑(lapping) 작업을 거친 후 연삭작업을 하는 경우도 있다. 폴리싱은 시료를 물리적으로 문지르거나 화학작용 또는 전기 분해적 방법을 이용하여 시료의 표면을 매끄럽게 빛나게 하는 과정을 통해 표면 반사율을 증대 또는 표면 확산율을 감소시키는 것으로 표면의 거칠기를 최소화 시키는 공정을 말한다.^{1,2} 폴리싱 방법으로는 연마제를 사용하는 기계적 폴리싱 방법과 식각(etching)이나 착색(tinting) 또는 산화피막(anodizing)과 같은 화학적 폴리싱 방법 그리고 이들보다 최근에 소개된 레이저나 자기장을 적용시키는 비기계적 폴리싱 등으로 구분된다.³⁻⁵ 기계적 폴리싱은 연마석과 같은 유계 연마제(bound abrasive) 또는 연마 화합물과 같은 무계 연마제(un-bound abrasive)를 사용하여 석재 폴리싱이나 버프 연마(buffing)에 주로 사용된다. 따라서 미세한

수준의 폴리싱은 어려울 뿐만 아니라 지속적으로 연마제를 소모해야 하거나 화학 약품을 사용해야 하기 때문에 환경적인 요인도 무시할 수 없다. 또한 폴리싱하고자 하는 영역의 설정과 자동화 시스템 구축에 있어 많은 어려움이 따르고 있다. 반면에 비기계적 폴리싱은 자성의 물질을 연마제로 사용하는 자기 유변 유체(Magnetorheological fluid, MR Fluid) 폴리싱과 집속된 레이저 빔을 사용하는 레이저 폴리싱으로 구분된다. 레이저 폴리싱은 주로 CO₂ 레이저와 Nd:YAG 레이저를 사용하며 시료의 용융과 냉각에 의한 비접촉식 폴리싱으로 시료의 오염이 거의 없다고 할 수 있다. 또한 폴리싱하고자 하는 영역을 레이저 빔 제어에 의해 쉽게 국부화시킬 수 있으며 자동화가 가능하다는 장점을 가지고 있다.⁶ 본 연구에서는 전술된 레이저 폴리싱의 장점을 활용해 CO₂ 레이저를 이용해 SiO₂ 시료 표면을 선택적으로 폴리싱하여 분석하였다.

2. 실험 및 결과

본 연구의 실험에 사용된 시료는 SiO₂의 평판을

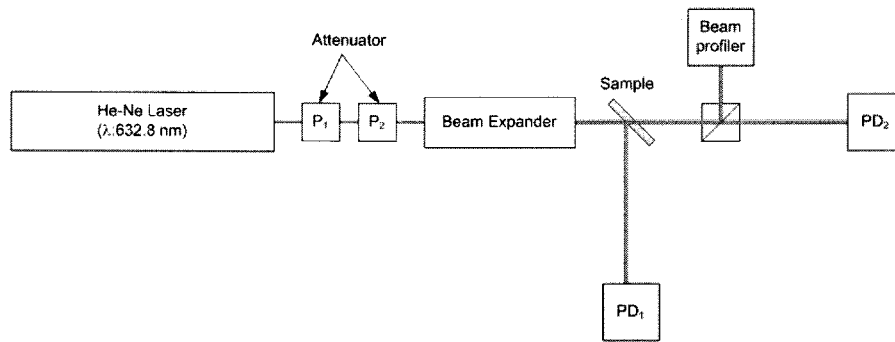


Fig. 1 Schematic diagram for measurements of reflectance, transmittance, and beam profile.

사용하였다. SiO₂ 평판의 표면에 3 mm × 3 mm 의 크기로 펄초 레이저(Cyberlaser, Japan, 파장 = 785 nm, 반복율 = 1 kHz, 펄스폭 = 185 fs)를 사용하여 20 μm 주기의 그루브(groove)를 형성시켜 스크래치 효과와 시료의 가공 잔해(debris)를 형성시켰으며 CO₂ 레이저(SYNRAD, USA, TEM₀₀, 파장 = 10.6 μm, 반복율 = 5 kHz, 펄스폭 = 160 μs)로 스캔하여 폴리싱하였다. 폴리싱된 시료는 Fig. 1과 같이 평균 출력 3 mW의 He-Ne 레이저를 사용해 반사빔과 투과빔의 강도를 측정과 동시에 투과빔의 빔 프로파일을 측정하였다. 반사빔과 투과빔의 강도는 각각 PD₁과 PD₂(DET 110, Thorlabs)를 사용하여 측정하였다.

폴리싱에 사용된 CO₂ 레이저의 평균 조사 에너지는 2.27 mJ/pulse 이었으며 x-y 주사 스캐너를 사용하여 레이저의 초점 거리에서 약 3 mm 벗어난 영역에서 평균 4 mm/sec의 속도로 스캔하여 폴리싱하였다. 이는 가능한 적은 폴리싱 횟수와 빠른 스캔 속도를 유지하기 위함이다. 스캔 방법은 횟수, 스캔 방향을 변수로 하여 폴리싱하였다. Fig. 2는 펄초 레이저에 의해 형성된 그루브 영역을 각각의 스캔 방법에 의해 폴리싱한 후 그림 1과 같은 측정 방법에 의해 투과율과 반사율을 측정한 것이다. “reference”는 그루브를 생성시키지 않은 기준 시료이고, “groove”는 CO₂ 레이저로 폴리싱 처리하기 전 시료, “1fre”는 1회 스캔 폴리싱, “2fre”는 2회 스캔 폴리싱한 것이다. “-45”는 그루브 방향과 폴리싱하기 위한 스캔 방향이 서로 45°의 각도를 이루는 것이고, “-per”는 90°, “-hor”는 서로 평행을 이루는 것이다. 폴리

싱하기 위한 스캔 방향의 각도 변화는 스캔 횟수와 독립적으로 투과율에는 크게 영향을 미치지 않았으나 반사율에는 다소 영향을 미치는 것으로 보였다. Fig. 2의 결과에 따라 그루브 방향과 폴리싱 스캔 방향이 서로 평행일 때 최적의 폴리싱 조건으로 나타났다. Fig. 3은 기준시료와 그루브를 생성한 시료 및 최적의 폴리싱 조건에서 폴리싱한 후 He-Ne 레이저 빔을 통과시켜 측정된 빔 프로파일이다.

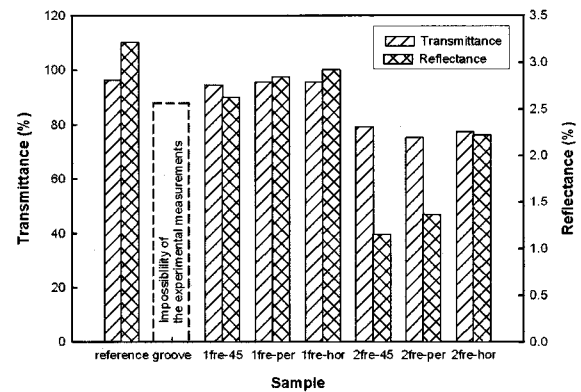


Fig. 2 Transmittance and reflectance with regards to laser polishing times and directions.

Fig. 3(a)는 기준시료로 정확한 가우시안 형태의 빔 프로파일을 보이고 있다. Fig. 3(b)는 기준시료에 그루브를 생성시킨 시료로 그루브 내에서 측정 레이저 빔의 산란으로 측정된 프로파일이 어떤 정보를 가지고 있다고 말할 수 없다. Fig. 3(c), (d)는 그루브가 형성된 시료를 각각 1회 및 2회 스캔 폴리싱한 시료로 약간의 왜곡은 있지만 거의 기준시료와 비슷한 빔 프로파일을 보이고 있다.

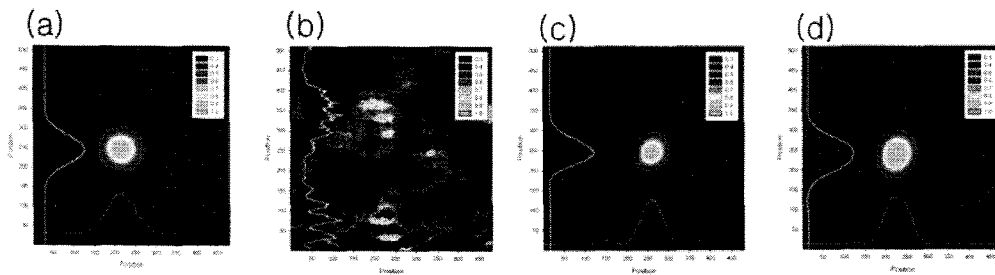


Fig. 3 The beam profile of transmitted beam: (a) reference sample, (b) un-polished (grooved), (c) 1 time, polished, and (d) 2 times, polished.

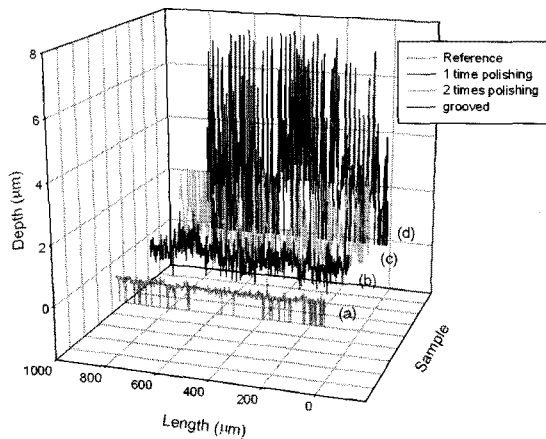


Fig. 4 Alteration of surface of samples: (a) reference, (b) 1 time polishing, (c) 2 times polishing and (d) grooved sample.

Fig. 4는 시료의 표면 및 깊이 정보를 보이고 있다. Fig. 4의 (a), (b), (c) 및 (d)는 각각 기준시료, 1회 폴리싱한 시료, 2회 폴리싱한 시료 및 그루브를 새긴 시료로 각 시료에 대한 표면 거칠기뿐만 아니라 시료 전체의 거시적 평면도를 예측할 수 있다. Fig. 3(c), (d)에서는 비슷한 빔 프로파일을 보이며 왜곡된 정도를 정량적으로 정확히 파악할 수 없었으나 Fig. 4(b), (c)에서는 표면의 왜곡된 정도를 정량적으로 정확히 파악할 수 있다. 또한 스캔 횟수와 시료의 표면 왜곡 정도는 폴리싱을 위해 주어진 CO₂ 레이저의 출력에서 서로 의존적임을 볼 수 있는데 이는 1회 스캔 폴리싱에 의해 시료가 용융과 냉각 과정을 거치면서 시료 표면의 물리적 성질 변화에 기인한 것으로 예측된다.

Fig. 5는 기준시료와 그루브를 생성한 시료 및 레이저 폴리싱된 시료의 국부 영역의 AFM 사진

이며 Fig. 6은 폴리싱 횟수에 따른 시료의 표면 조도로써 1회 폴리싱된 시료(Fig. 6(a))와 2회 폴리싱된 시료(Fig. 6(b))의 국부 영역의 AFM 사진이다. 국부 영역에서는 기준시료와 1회 폴리싱된 시료의 조도가 거의 동일하게 나타남을 볼 수 있다.

Fig. 6에서 알 수 있듯이 스캔 횟수가 증가함에 따라 시료의 표면 조도는 더 거칠어짐을 보였으며 이는 빔의 반사와 투과에 있어 보다 많은 산란을 일으키고 있음을 실험 결과 알 수 있었다.

일정 주기의 그루브가 만들어진 시료의 일부분을 폴리싱하기 위하여 기 실험과 동일한 조건하에서 평균 조사에너지만을 1.85 mJ/pulse로 변화시켰다. Fig. 7은 평균 조사에너지 변화에 의해 표면 폴리싱된 그루브의 광학 현미경 사진이다. 폴리싱되지 않은 그루브 내부는 산란에 의해 검게 측정된 반면 폴리싱된 그루브 내부는 시료의 표면과 거의 동일한 투명도를 보이고 있다.

3. 결론

본 연구는 CO₂ 레이저를 이용한 SiO₂ 표면의 전 영역 및 국부 폴리싱을 수행하였다. 그루브를 생성하지 않은 기준 시료와 비교하여 1회 폴리싱 시 투과율은 99%, 반사율은 91% 수준까지 도달하였으며 2회 폴리싱 시 각각 80%와 69%에 이르렀다. 즉, 폴리싱 면의 조도는 스캔 횟수에 지배적인 영향을 받고 있는데 이는 초기 폴리싱 후 스캔면의 용융과 냉각에 의한 물성의 변화의 연구가 더 심화되어야 할 것으로 보인다. 레이저를 이용한 국부 면의 폴리싱은 펄스초 레이저 가공과 같은 미세 가공에서 항상 문제시 되어 왔던

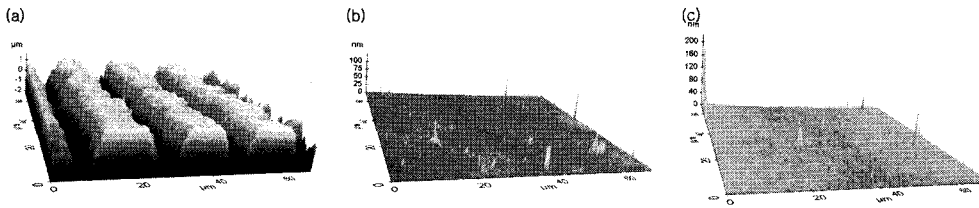


Fig. 5 AFM pictures of the sample: (a) un-polished (groove), (b) reference sample, and (c) polished sample.

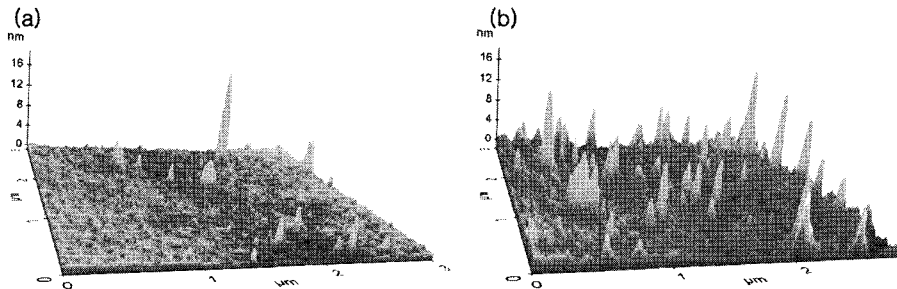


Fig. 6 AFM pictures of the polished samples: (a) 1 time polishing and (b) 2 times polishing.

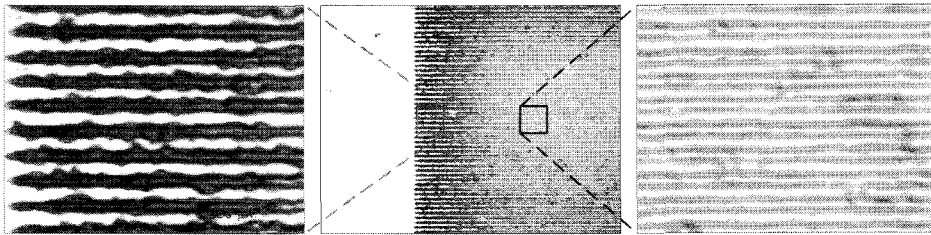


Fig. 7 Optical microscope picture of local polished sample.

가공잔해와 표면조도의 문제점을 해결해줄 것으로 기대되며 회절격자와 같은 광학 소자의 효율을 높이기 위한 후처리 가공에 적용할 수 있으리라 기대된다.

참고문헌

- 1) T. Gumpenberger, J. Heitz, D. Bauerle, and T. C. Rosenmayer, "F2-laser polishing of polytetrafluoroethylene surfaces," *Europhysics Letters*, Vol. 70, No. 6, pp. 831-835, 2005.
- 2) Bauerle D., *Laser Processing and Chemistry*, 3rd edition (Springer, Heidelberg) 2000.
- 3) Mircea Udrea, Hamdi Orun, All Alacakir, "Laser polishing of optical fiber end surface," *Optical Engineering*, Vol. 40, No. 9, pp. 2026-2030, 2001.
- 4) J. M. Bennett and R. J. King, "Effect of polishing technique on the roughness and residual film on fused quartz optical flats," *Applied Optics*, 9, pp. 236-238, 1970.
- 5) R. S. Taylor, K. E. Leopold, R. K. Brimacombe, and S. Mihailov, "Dependence of the damage and transmission properties of fused silica fibers on the excimer laser wavelength," *Applied Optics*, 27, pp. 3124-3134, 1988.
- 6) T. A. Mai and G. C. Lim, "Micromelting and its effects on surface topography and properties in laser polishing of stainless steel," *Journal of Laser Applications*, Vol. 16, No. 4, pp. 221-228, 2004.