

레이저를 이용한 유리基板의 微細加工

이 천^o, 豊田浩一^{*}
인하대학교 전기공학과, 理化學研究所 레이저과학그룹^{*}

Micro-Processing of Glass Substrates Using a Laser

Cheon LEE, Koichi TOYODA^{*}
Dept. of Elect. Engin., INHA Univ., Laser Science Group, RIKEN^{*}

Laser ablation of glass substrates (BK-7 and synthetic quartz) using a transversely excited atmospheric (TEA) CO₂ laser has been investigated to obtain high speed etching. The ablation occurs by local heating of a substrate with a focused TEA-CO₂ laser beam. The dependence of ablation rate on pulse count and repetition-rate of laser has been discussed.

2. 실험방법

TEA-CO₂ 레이저 beam 을 aperture 에 통과시킨 후, 렌즈 (초점거리 20 cm) 를 사용하여 직경 400 μm 로 集束하여, 그 焦点 위치에 기판을 설치하였다. 시료기판으로는 合成石英과 BK-7 을 사용하였다.

ablation 에 의한 에칭은 4.2 x 10⁻⁵ Torr 의 진공과 대기중에서 이루어졌다. 그림 1은 실험장치의 개략도를 나타낸다. 에칭된 깊이는 알파스텝으로 측정하고, 단면의 형상은 광학현미경과 전자현미경(SEM) 으로 관측했다. 가공표면의 화학조성을 분석하기위해 EPMA 를 이용하였다.

1. 서론

유리기판은 자외선에서 부터 적외선까지 투과성이 높고, 열적, 전기적, 화학적 특성이 우수하므로, 자외선 광학, 광전자 소자, fiber 기술 등의 분야에서 널리 이용되는 재료이다. 그러므로 유리기판의 미세가공 기술이 점점 요구되고 있다. 그러나 지금까지의 가공법으로는 가공형상이 더욱 축소화, 복잡화 되어감에 따라 응용에 한계가 있다. 直接除去에 의한 가공인 레이저 ablation이 유기고분자나 플라스틱에 적용된 예¹⁾는 많으나, 유리와 같은 무기물질에 적용된 예는 거의 없다.

TEA-CO₂ 레이저 (파장 10.6 μm) 는 유리에 대하여 높은 흡수계수를 가질 뿐 아니라, pulse 폭이數十 ns로 큰 peak power 를 갖는 pulse 光을 고효율로 발생시킬 수 있으므로, 1 pulse 當의 ablation 속도를 증가시킬 수 있으리라고 기대된다. 그러나, TEA-CO₂ 레이저는 고전압방전을 제어하여야 하므로 pulse 의 반복속도에 한계가 있어, 가공의 고속화에 문제가 있었다. 본 연구에서는, 이화학연구소에서 개발된²⁾ 최대 반복속도 1000 pps, 최고 출력 500 W 의 TEA-CO₂ 레이저를 이용하여 ablation 에 의한 유리기판의 미세가공을 하였다.

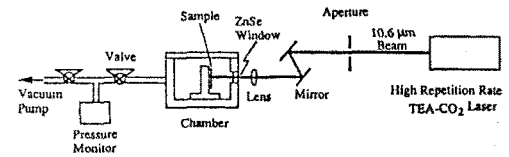


Fig.1. Schematic diagram of the experimental apparatus for laser ablation.

3. 결과 및 고찰

레이저 ablation 이 일어나는 fluence 문턱값은 합성석영과 BK-7 에 대하여 각각 3.5 와 1.6 J/cm² 이다. fluence 문턱값을 넘는 레이저 빔을 기판에 照射하면, 표면의 局所부분으로부터 미세분말이 튀어 나오는 것이 보인다. 에칭 단면의 형상은 가우스분포를 나타낸다. 이러한 결과로부터 레이저에 의한 국소가열로 인한 ablation 으로 에칭이 일어난다고 생각된다. 그림 2는 대기중에서 레이저 fluence 30 J/cm², 반복속도 1 pps 의 조건에서, pulse 數에 대한 ablation 깊이와 폭의 관계를 나타낸다. 레이저 pulse 수의 증가에 따라 홈의

깊이는 선형적으로 증가하지만, 폭은 포화하는 것을 알 수 있다. 이 결과를 이용하면, 합성석영의 공간적 미세 가공과 에칭 형상의 재어가 가능하며, 마이크로 광학소자의 제작에 응용할 수 있다. 그림 3은, 대기중에서 레이저 fluence 30 J/cm^2 , 반복속도 1000 pps의 레이저 빔 10 pulse를 합성석영과 BK-7 기판에 각각 照射하여 얻어진 홈의 단면 형상이다. 합성석영 (용융온도: $1500 \text{ }^\circ\text{C}$)은 홈의 가장자리가 평탄하지만, 용융온도가 낮은 BK-7 ($820 \text{ }^\circ\text{C}$)은 주변이 약간 솟아 오른 모양을 보인다. 이것은 가우스분포를 하고 있는 레이저 빔의 가장자리의 부분이 용융하여 再固化할 때 형성된 것으로 보인다. 레이저 fluence가 30 J/cm^2 일 때 최대 에칭 속도는 $4000 \text{ } \mu\text{m/s}$ 로, HF 水溶液을 이용한 일반적 wet etching ($0.06 \text{ } \mu\text{m/s}$)⁴¹과 비교하여 5 order 높은 값이 얻어졌다. 그림 4는, 진공도 $4.2 \times 10^{-5} \text{ Torr}$ 에서 레이저 fluence가 30 J/cm^2 일 때, ablation 깊이의 pulse 수 의존성과 반복속도 의존성을 나타낸다. 레이저 pulse 수의 증가에 따라 홈의 깊이는 선형적으로 증가하며, 같은 pulse 수에서는 반복속도가 클수록 ablation 속도가 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 pulse 수가 같더라도 반복속도가 클수록 레이저 조사에 의하여 발생한 열의 축적효과가 증대되어, 국부온도 상승이 커지기 때문이다.

가공표면의 化學組成比를 EPMA로 분석한 결과, 가공 前의 기판의 화학조성비와 같다는 것으로 부터, 분자 또는 cluster의 형태로 ablation이 일어났다는 것을 알 수 있다.

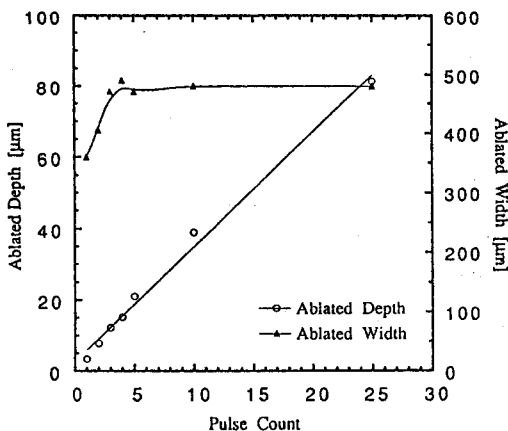


Fig.2. Groove depth and width as a function of laser pulse count at laser fluence of 30 J/cm^2 , repetition-rate of 1 pps, and 760 Torr .

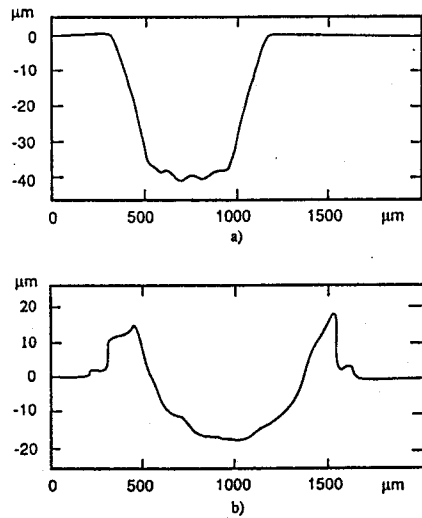


Fig.3. Cross-sectional profiles obtained by laser fluence of 30 J/cm^2 , repetition-rate of 1000 pps, and 10 pulse at 760 Torr . for a synthetic quartz(a) and BK-7(b).

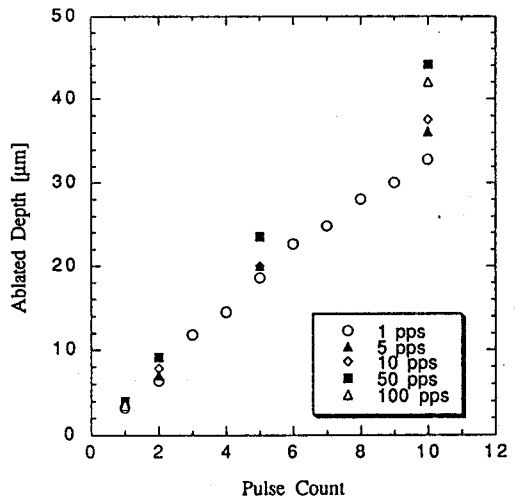


Fig.4. Groove depth as a function of repetition-rate and laser pulse count at laser fluence of 30 J/cm^2 and $4.2 \times 10^{-5} \text{ Torr}$.

4. 결론

TEA-CO₂ 레이저를 이용한 ablation에 의하

여, 가공하기 어려운 재료인 유리기판의 에칭을 하였다. 레이저 fluence, 반복속도, pulse 수 등의 조건에 따른 에칭 특성을 조사하였다. 그 결과, 에칭속도가 종래의 방법과 비교하여 매우 커서, 액정 display 의 기판 등의 가공에 본 연구에 의한 방법이 유효하다는 것을 나타냈다. 또한 레이저 照射 조건에 의하여 가공형상을 제어할 수 있으므로, 마이크로 광학소자 등에서의 응용이 기대된다.

참고문헌

1] H.M.Phillip, D.L.Callahan, R.Sauerbrey, G.Szabo,

and Z. Bor; Appl. Phys. A54, 158 (1992)

2] K.Midorikawa, H.Hatanaka, M.Obara, H.Tashiro; Meas. Sci. Technol. 4, 388 (1993)

3] V.P.Veiko, E.B.Yakovlev, V.V.Frolov, V.A.Chujko, A.K.Kromin, M.O.Abbakumov, A.T.Shakola, and P.A.Fomichov; SPIE, 1544, Miniature and Micro-Optics, 152 (1991)

4] G.Voirin, B.Scheja, and O.Parriaux; SPIE, 1128, Int. Soc. Opt. Eng. 140 (1989)