

UV 레이저를 이용한 리튬니오베이트(LiNbO₃)의 레이저 그루빙 Ultraviolet laser grooving process for LiNbO₃ waveguide

*#서명희, 박기영, 이재철

*#Myung-hee Seo(sign0924@naver.com), Ki-Young Park, Jae-cheul Lee
고등기술연구원

Key words : UV Laser , Grooving, LiNbO₃

1. 서론

고에너지를 이용한 산업을 보면 단순히 광학적 가공 기술 분야뿐만 아니라 반도체/디스플레이 분야에까지 레이저를 이용한 기술이 점차적으로 증가하고 있다. 미세 가공 분야에서도 집적화 된 광자를 이용한 가장 상용화되고 안정화 된 공정이 레이저 가공법이라고 할 수 있다. 이러한 방식을 사용하면 비접촉식 가공이기 때문에 시편에 물리적인 손상이 없고 영역을 정확하게 제어할 수 있어서 기존의 방식에 비하여 속도가 빠르고 정밀도가 우수하며 환경친화적인 공정이 가능하다.

파장이 짧고, 첨두출력(peak power)이 높을수록 시편에 열영향부(HAZ, Heat Affected zone)가 거의 없는 초정밀 가공이 이루어진다. 파장이 짧은 UV 레이저의 경우 금속이나 유리의 패터닝(Patterning)¹⁾, 어블레이션(Ablation)²⁾, 그루빙(grooving)³⁾, 인그레이빙(engraving)⁴⁾, 컷팅(cutting)⁵⁾, 스크라이빙(scribing)⁶⁾에 주로 활용되고 있다.

리튬니오베이트는 전기 광학 특성을 가지고 있다. '전기 광학 특성'은 이차 비선형 광학 재료가 갖는 중요한 특성 중의 하나로서 재료의 상하에 전기장을 가하고 이를 변화시키면 재료의 굴절율이 변하는 특성을 일컫는다. 이러한 특성은 재료를 통과하는 빛의 속도와 위상을 조절할 수 있으므로, 고속 대용량의 정보 전달에 적합한 광통신의 핵심 소자인 광 변조기나 광 스위치 등과 같은 소자에 사용된다. 이러한 소자에 리튬니오베이트를 사용 시 빔이 편광 소광 특성이 나타나는데 이러한 빔의 편광 소광 특성을 향상시키기 위하여 다이싱에 의한 그루빙외에 레이저 그루빙 처리 단계를 추가한다. 레이저 그루빙 처리를 하면 시편 표면에서 홈이 파일 경우에 이러한 영역의 광의 반사를 억제하고 난반사를 유도하여 빔을 효과적으로 차단하는 역할을 하게 된다.

본 연구에서는 열적인 손상이 적은 UV 레이저를 이용하여 리튬니오베이트(LiNbO₃)의 레이저 그루빙 처리(laser grooving process)에 관하여 특성 분석을 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

그림 1은 본 연구에서 사용된 레이저 인그레이빙 장치의 개략도를 나타낸 것이다. 레이저에서 나온 빔은 감쇄기(attenuator)로 입사되어 원하는 파워로 감쇄된다. 감쇄된 빔은 5배의 빔 확장기 (beam expander)로 입사되며 확장된 빔은 반사 거울을 거쳐 집광 렌즈가 장착된 스캐너(scanner)에 입사되어 빔이 시료 표면에 조사된다. 이 때 스캐너를 이용하여 x-y 방향으로 빔을 조절하여 레이저 그루빙을 하게 된다. 스캐너는 Scanlab사의 ScanJin을 사용하였으며, 집광렌즈의 초점거리가 100mm인 텔레센트릭 렌즈 (telecentric lens)를 사용하여 빔 스팟 사이즈 (beam spot size)를 20 μ m로 만들어 가공하였다. 사용된 레이저는 EKSPLA사의 NL15100 펄스 레이저로 파장은 Nd:YAG 레이저의 3차 조화파 (3rd harmonics)로서 355nm이며 펄스 폭은 6-13ps, 출력은 1W, 편광방향이 수직이며 펄스에너지는 최대 0.09mJ의 특성을 가진다.

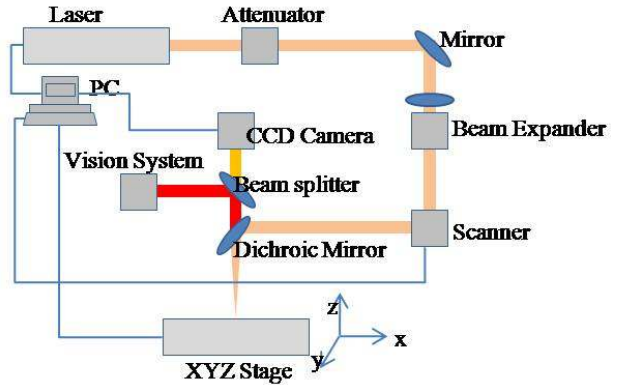


Fig. 1 Laser grooving process set-up

그림 2는 레이저 그루빙 공정의 개념도를 보여준다. UV 레이저 빔이 시료에 조사되고 조사된 부분에서 빔의 흡수가 일어난다. 이 때 펄스 레이저 빔을 사용하였는데 CW 레이저 빔을 사용하면 열적인 손상(HAZ:Heat Affected Zone)이 크게 나타나므로 열적인 손상이 적은(Small Heat Affected Zone) 펄스 레이저 빔을 사용하였다. UV 레이저 빔은 스캐너에 의하여 이동하면서 다음과 같이 그루빙이 이루어진다.

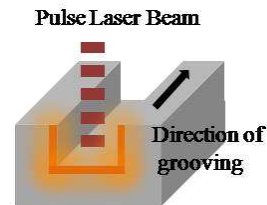


Fig. 2 Laser grooving method in the direction of scanning

표 1은 리튬니오베이트의 특성을 나타낸 것으로 레이저 그루빙 가공 시 물리적인 특성을 고려하여 레이저 가공 조건을 조절한다.

Table 1 Material Properties of LiNbO₃

Properties	
Ctystal structure	Trigonal
Melting point	1220 $^{\circ}$ C
Density	4.64g/cm ³
Absorption coefficient	~0.1%/cm @ 1064nm
Transparency range	420 - 5200 nm
Refractive index	n _e =2.156, n _o =2.322 @ 1064nm

3. 실험 결과

다이싱 방식에 의하여 제조된 리튬니오베이트의 표면에 레이저 그루빙을 하면 화학적으로 에칭이 이루어진 시편에 표면 특성이 시편을 사용하는 공정에 적합하도록 할 수 있다.

본 연구에서는 다이싱이 이루어진 시편과 그루빙을 추가한

시편을 비교하여 그루빙의 역할과 효율성을 분석하고자 한다. 그루빙 과정에서 레이저를 사용하므로 열적인 현상에서 비롯되는 어블레이션(ablation)이 일어나게 된다. 재료를 가공할 때 녹아서 나타나는 현상인데 레이저 공정에서 흔히 나타나는 현상으로 가공 전후에 이를 제거하기 위한 공정이 함께 이루어져야 한다. 이러한 과정을 해결하기 위한 가공 방법으로 스캔 속도(Scan speed)나 레이저 반복률(Repitition rate)을 변화시키는 방법이 있고 펄스 지속 시간(pulse duration)을 감소시키는 방법이 있다. 이 가운데 스캔 속도와 레이저 반복률을 변화시키면서 레이저 가공 특성을 알아보았다. 그림 3은 다이싱한 리튬니오베이트의 시편을 광학현미경으로 본 것이다. 폭은 500 μ m이고 깊이는 200 μ m로 측정되었다. 그림 4는 레이저로 그루빙한 이후의 시편의 형상을 본 것이다. 다이싱 된 시편에 UV 레이저를 이용하여 50 μ m 깊이로 그루빙 공정을 하여 공정의 효율성을 높이고자 하였다.

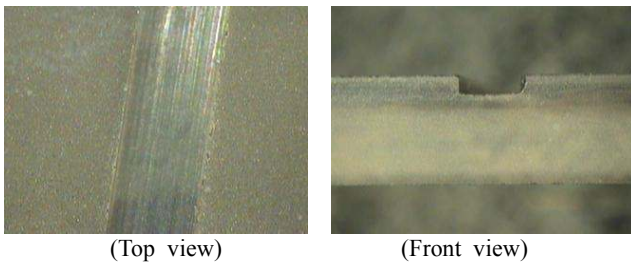


Fig. 3 LiNbO3 specimen diced

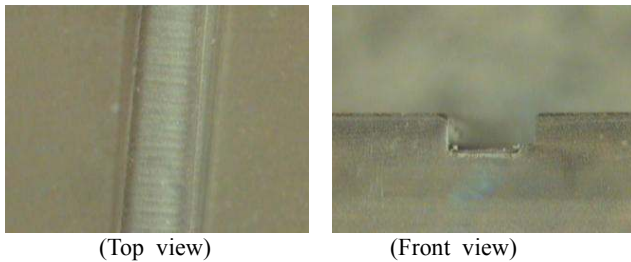


Fig. 4 LiNbO3 specimen laser grooved

그림 5는 다이싱 한 시편과 그루빙 공정을 한 시편의 주사전자현미경(SEM:Scanning electron microscope)을 통하여 본 형상을 얻은 것이다. 좌측의 다이싱으로만 이루어진 시편은 빛이 진행되는 동안 측정부에서 모두 반사가 일어나 형상이 검게 보여지며, 우측의 다이싱한 시편은 빛의 반사를 막아 밝게 형상을 나타내고 있다. 이러한 시편의 형상을 통하여 편광 소광율의 효율성을 확인하게 되었으며, 편광 소광율은 측정 결과 68% 향상되었음을 확인하였다.

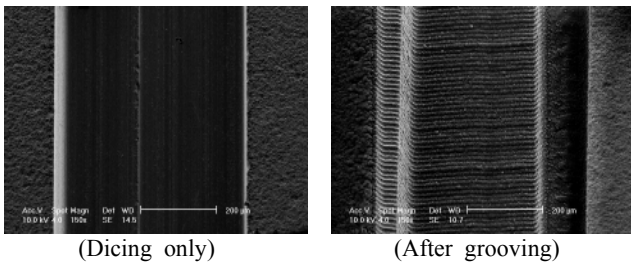


Fig. 5 SEM photos of LiNbO3 specimen ($\times 150$)

그림 6은 UV 레이저를 이용하여 그루빙한 시편을 펄스반복율(Pulse repetition rate)을 10kHz, 30kHz로 하여 비교한 것이다. 그림 6은 그림 3,4에서 광학 현미경으로 측정한 사진을 주사전자현미경을 사용하여 150배로 확대하여 촬영한 것이다. 10kHz에서 30kHz로 펄스 반복율을 높일 경우 반복율이 높아짐에 비례하여 그루빙의 깊이가 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 펄스 반복율이 30kHz인 경우에는 리튬니오베이트에 열적인 손상이 가해지므로

효율성이 떨어진다. 따라서 오른쪽의 10kHz의 그루빙 공정이 적합함을 확인하였다. 스캔 속도를 변화하였을 때에도 펄스 반복율을 높였을 경우와 마찬가지로 속도가 낮아지면 열적인 손상이 크게 나타나고 속도가 높아지면 열적인 손상도 적어지고 가공면의 편광 소광율도 효율이 높아진다.

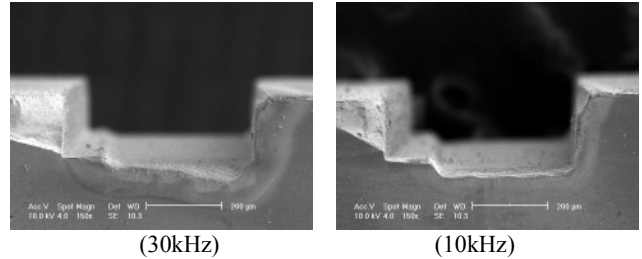


Fig. 6 LiNbO3 grooves produced with a pulse repetition rates of 30kHz and 10kHz ($\times 150$)

4. 결론

오늘날 디스플레이나 가공 분야에서 레이저를 사용한 방식이 다양한 분야에서 점차적으로 확대되고 있는 실정이다. 본 논문에서 사용한 레이저 그루빙의 방법도 기존의 화학적인 공정인 다이싱 가공만으로 이루어진 공정보다 신뢰성이 향상됨을 확인하였다. UV 레이저로 그루빙을 추가한 공정은 기존 공정에 비하여 빔의 편광 소광 특성이 68% 향상되어 효율성을 높였다. 펄스 반복율(Pulse repetition rate)과 스캔 속도(Scan speed)를 변화하여 가공 특성별로 비교하여 적합한 공정을 찾는데 성공하였다.

참고문헌

1. Jeong, S., Jeahoon, L., "Gravure Halftone Dots by Laser direct Patterning," KSPE, 3, 26-31, 2002.
2. Park, M., et al, "Ultrafast ablation on indium tin oxide thin films for organic light-emitting diode application," JOLE, 44, 138-146, 2006.
3. H.Y.J., T.L., "Studies of CO2 laser peeling of glass substrate," JMM, 15, 2093-2097, 2005.
4. Dumont, Th., Lippert, T., Wokaun, A., Leyvraz, P., "Laser writing of 2D data materials in glass," Elsevier, 42-45, 2004.
5. F.Z.Fang, X.D.Liu, L.C. Lee, "Micro machining of optical glasses," Sadhana, 28, 945-955, 2003.
6. Breitenstein, O., Langenkamp, M., Lang, O., Schirmacher, A., "Shunts due to laser scribing of solar cells evaluated by highly sensitive local-in thermograph," PVSEC, 20, 20-24, 1999.