

Nd:LaSc₃(BO₃)₄ 마이크로칩 레이저 소자의 제조에 관한 연구

유영문*, A.Yu.Ageyev

Korea Research Institute of Chemical Technology

* ymyu@pado.kRICT.re.kr

초록

용액인상법에 의하여 Nd³⁺이 15% 주입된 LaSc₃(BO₃)₄ 단결정을 성장하고, 성장한 단결정을 초정밀 가공하여 마이크로칩 레이저 소자를 제조하였다. 고품질의 단결정을 성장할 수 있는 결정성장조건 및 초정밀 결정가공 조건을 규명하고, 분광물성을 조사하였다.

결정성장 실험 결과, 40kW 및 10kHz의 고주파 유도가열기를 열원으로 하고, 유속 3 l/min의 질소분 위기, 이리듐 도가니 및 <001>방위의 LSB단결정을 종자결정으로 사용하여 결정을 성장하는 경우 최적의 결정성장 조건은 인상속도 1.5mm/hr와 회전속도 10rpm이었다. 결정구조 분석 결과 결정격자 상수는 a=7.73 Å, b=9.86 Å, c=12.06 Å, β=105.48° 의 monoclinic 구조로 측정되었다. 마이크로칩 소자의 결정 가공 정밀도를 평가한 결과 소자의 결정방위 <001>±0.2°, 평면정도 λ/5-λ/10, 평행도 <30 arc-seconds, 직경 3±0.02 mm, 두께 1±0.02 mm이며, scratch는 검출되지 않았다. 분광물성을 조사한 결과 808 nm에서 강한 선평확대된 흡수대와 1064 nm를 형광방출의 중심파장으로 하고 1050~1080 nm에 걸친 선평확대된 형광 방출대가 관찰되었다. 결정성장, 초정밀 결정가공 및 광학 코팅을 통하여 Nd:LSB 마이크로칩 레이저 소자 제조기술을 확립하였다.

1. 서론

최근 크기가 1 mm 이하인 레이저매질을 반도체레이저 (Laser Diode)로 구동하는 마이크로칩 고체 레이저 연구가 활발해지고 있다. 마이크로칩 고체 레이저는 레이저기기의 초소형화, 고효율과 고흡출 및 안정된 출력으로 TEM₀₀ 모드와 단일 종모드 발진이 가능하고, 수명이 길며, 고주파변조가 가능하고 연속가변파장이 가능할 수 있으며, 광학부품의 사용을 최소화할 수 있으므로 저가격화가 가능해지는 등 여러 가지 장점이 있다.

지금까지 1960년대에 처음 발명되고 1970년대에 결정성장 기술이 안정화된 Nd:YAG 및 Nd:YVO₄ 단결정을 마이크로칩 고체 레이저 매질로 이용하는 연구보고가 1980년대 이후 연구의 주종을 이루어 왔으며, 이제는 기술적 안정화 및 실용화 단계에 도달하여가고 있다. 그러나 Nd:YAG 단결정은 성장속도 (0.5-0.8mm/hr)가 느리고 평탄한 고액계면으로 성장하기 위한 기술적 난이도가 높으며, Nd:YVO₄ 단결정은 V⁵⁺ 이온이 증발과 용액의 조화용융 특성의 상실, 조성적 과냉의 발생으로 결정의 품질이 저하되는 문제점을 가지고 있기 때문에 성장된 결정으로부터 결정을 채취한 위치에 따라 제조된 소자의 성능이 크게 변동되고, 결정성장의 난이성에 수반되는 소자의 고가화 등 많은 단점을 가지고 있다.

이에 비하여 Nd:LaSc₃(BO₃)₄(Nd:LSB) 단결정은 1987년 러시아의 Laptev⁽¹⁾에 의하여 처음 발명되었으나 결정성장법에 관한 상세한 연구보고는 아직까지 이루어지지 않았으며, 1994년 B. Beier 등⁽²⁾과 1996년 B. Brown 등⁽³⁾에 의하여 우수한 성능이 보고는 되었으나 단결정 소재의 구입이 곤란하여 마이크로 칩 레이저로서의 다양한 연구는 아직 이루어지지 못한 새로운 레이저 소재이다.

본 연구실에서는 최근 용액인상법에 의하여 양질의 Nd:LSB의 단결정 성장을 고속으로 성장하는 기술 및 초정밀 결정가공을 통한 마이크로칩 레이저 소자 제조기술을 확립하였고, 성장된 Nd:LSB 단결정

의 분광물성에 대하여 조사하였다. 그러므로 본 논문에서는 Nd:LSB 마이크로칩 레이저 소자 제조에 대하여 보고하고자 한다.

2. 실험

순도가 99.99%인 La_2O_3 , Nd_2O_3 , Sc_2O_3 , H_3BO_3 분말을 사용하여 $\text{La}_{1.1-x}\text{Nd}_x\text{Sc}_{2.9}(\text{BO}_3)_4$ (단, $0 < x < 1.1$)의 조성이 되도록 조합한 후 소결하여 결정성장용 다결정을 합성하였다. 합성된 다결정을 직경 50 mm, 높이 50 mm 크기의 이리듬 도가니에 충전한 다음, 유속 3 l/min의 질소분위기 속에서 40kW, 10kHz의 고주파 유도가열기로 유도가열하여 단결정을 성장하였다. 인상속도와 회전속도는 각각 0.5~3 mm/hr와 10~50 rpm의 범위내에서 조절하였으며 종자결정으로 <001>방위의 LSB 단결정을 사용하였다.

성장한 결정으로부터 시료를 채취하여 X선 회절 분말법 및 CAD4 단결정 회절기를 이용하여 결정구조 분석 및 격자상수를 측정하였다.

성장된 단결정을 성장방향에 대해 수직인 방향으로 절단하여 두께 1.1 mm의 박편을 제조한 다음 연삭 및 연마 조건을 달리하여 광학연마를 수행한 후 편광현미경에 의하여 성장된 결정의 결정결합을 평가하여 최적 결정성장 조건을 규명하고, X선회절, interferometer, autocollimator에 의하여 제조된 박편의 결정성장 방위, 평면정도, 평행도를 각각 측정함으로써 결정의 가공정밀도를 평가하였다. 그 후 연마된 박편의 한쪽면을 808 nm AR 및 1.06 μm HR 코팅하였으며, 직경 3 mm의 pellet형으로 드릴 가공하여 마이크로칩 레이저 소자를 제작하였다.

제조된 박편을 UV/VIS 분광기(UV-2100, Shimadzu)로 190~900 nm 범위에서 흡수스펙트럼을 측정하였으며, 808 nm 파장의 반도체 레이저를 광원으로 하고, PMT 튜브를 검출기로 하여 형광방출 스펙트럼을 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

결정결합에 대한 평가를 통하여 규명된 최적의 결정성장 조건은 주어진 결정성장 환경 속에서 회전속도는 10 rpm이었으며, 성장속도는 1.5 mm/hr로 나타났다. 결정의 성장속도가 10 rpm 보다 빠르거나 1.5 mm/hr 이상의 인상속도로 성장하는 경우 용액이 불안정해져 결정결합이 크게 증가하였다.

성장된 결정은 $a=7.73 \text{ \AA}$, $b=9.85 \text{ \AA}$, $c=12.05 \text{ \AA}$, $\beta=105.4^\circ$ 의 monoclinic 구조로 확인되었다. X선 회절 패턴을 구하고, 각 회절 피크에 대하여 indexing함으로써 결정구조 분석을 수행하였다.

제조된 마이크로칩 레이저 소자에 대한 가공정밀도를 측정한 결과 제조된 소자의 광축은 $\langle 001 \rangle \pm 0.2^\circ$, 평면정도 $\lambda/5 - \lambda/10$, 평행도 $< 30 \text{ arc-seconds}$, 직경 $3 \pm 0.02 \text{ mm}$, 두께 $1 \pm 0.02 \text{ mm}$ 이며, scratch는 검출되지 않았다.

흡수스펙트럼의 측정 결과 808 nm 파장영역에서 선평확대된 강한 흡수가 관찰되었으며, 808nm의 반도체 레이저 여기에 의하여 1064 nm를 형광방출의 중심파장으로 하고 1050~1080 nm의 범위에서 선평확대된 형광방출이 측정되었다. 808nm 파장에서의 강한 흡수로 인하여 Nd:LSB 단결정은 808 nm의 반도체 레이저의 광펄핑에 의해 효과적으로 구동될 수 있었으며, 선평확대로 인하여 반도체 레이저의 장시간 구동시 발생하는 열적 파장 이동(thermal wavelength drift)의 효과를 감소시키고 레이저 출력을 안정하게 발생시킬 수 있는 특성을 갖게 됨을 알 수 있다.

References

1. V.V. Laptev, 6th All Union Conf. on Crystal Growth, Moscow, Vol. 3pp 262-263 (1988)
2. B. Beier et. al., Appl. Phys. B, 58, 381-388 (1994)
3. B. Brown et. al., Opt. Lett., 21(6), 405-407 (1996)

