

# Nd:LSB 마이크로칩 레이저 광소자의 광학 특성

장원권, 박종선, 김동열, 유영문\*

한서대학교 컴퓨터응용물리학과, 한국광기술원\*

## Optical characteristics of Nd:LSB microchip laser device

Won Kweon Jang, Jong-seon Park, Tong-yol Kim, Young Moon Yu\*

Hanseo Univ., Korea Photonics Technology Institute\*

### Abstract

Czochralski pulling method에 의해 성장된 고농도 도핑 Nd:LSB의 광학적 특성을 조사하였다. 결정 성장 조건에 의해 달라지는 space group은 지금까지 C2/c, R32, Cc와 C2등 4가지가 보고되었으며, 기본적으로 6 방정계의 구조를 가지고 비선형 광학 결정으로서의 특성을 보였다. x선 회절 분석계를 이용하여 구조를 분석하였고, 도핑 농도에 따른 형광 수명의 변화, 분산곡선 특성을 조사하였다. 또한 흡수 및 저온 형광 스펙트럼을 이용하여 도핑 농도 및 space group의 변화에 따른 에너지 준위의 변화를 관찰하고 비교하였다.

**Key Words** : Nd:LSB, 비선형광학결정, 흡수스펙트럼, 형광스펙트럼

### 1. 서 론

레이저의 고체화는 반도체 산업의 급속한 발달에 힘입어 다양하게 산업화되어왔으며, 간결함이 중요시되면서 더욱더 소형화 추세이다. 특히, Nd형 레이저는 상대적으로 높은 펄핑광의 흡수효율을 가짐에도 불구하고 높은 도핑 농도를 가지기 어려운 단점 때문에 마이크로 칩 형태의 레이저 매질로 사용되지 못하고 있다. 가장 널리 사용되는 Nd:YAG의 경우 대개 1% 내외의 도핑농도를 가지는데 이것은 Nd이온의 크기가 Y이온 크기와 비교해 반경이 3% 정도 크기 때문에 결정 조직에 원만히 삽입되지 않기 때문이다. 최근 다양한 결정 성장 방법에 의해 다소 도핑 농도의 상승은 있지만 여전히 매질의 두께가 1mm이하인 마이크로칩 레이저의 매질로는 어려움이 있다. Nd:LSB (LaSc<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>)는 이러한 단점을 극복하기 위해 연구된 물질로 광학적, 역학적 특성을 거의 그대로 유지한 채 LSB 결정에 거의 100%까지 도핑이 가능하며, 펄핑 파장인 808nm에서의 흡수 대역도 4nm 정도로 넓어 펄핑 다이오드 레이저의 선택의 폭이 넓다.

성장된 Nd:LSB 결정의 구조를 해석하고 흡수 및

형광 스펙트럼을 조사하여 다른 Nd 형 레이저 매질의 광학 특성과 비교하여 마이크로 칩 레이저 매질로서의 가능성을 조사하였으며, 초소형 고밀도 집적 레이저 매질로서 Nd:LSB의 특성을 분석하고 논하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 결정

Nd:LSB는 C2/c ( $\alpha$ -phase), R32 ( $\beta$ -phase), Cc ( $\gamma$ -phase), 및 C2 등 최소 4가지 이상의 공간 군(space group)이 보고되어 있다. 결정성장 조건에 따라 결정되는 공간 군은 모두 구조상 모두 비대칭형 단사정계이며, 약간의 결합각과 방향성이 차이가 있을 뿐 근본적인 변화는 관측할 수 없지만,  $\beta$ -위상인 R32 공간 군의 결정은 자체파주수 증배의 특성을 가지고 있는 것으로 보고되었다.

그림 1은 성장한 결정을 4주기 x-선 회절계를 이용하여 측정된 회절 pattern 및 구조로 실험에 사용한 결정은 C2/c의 구조를 가지고 있는 것으로 조사되었다. 비중심대칭(noncentrosymmetric) 구조에 결정격자 상수는  $a=7.7\text{\AA}$ ,  $b=9.8\text{\AA}$ ,  $c=12.0\text{\AA}$ ,  $\beta=105.4^\circ$  이었다.

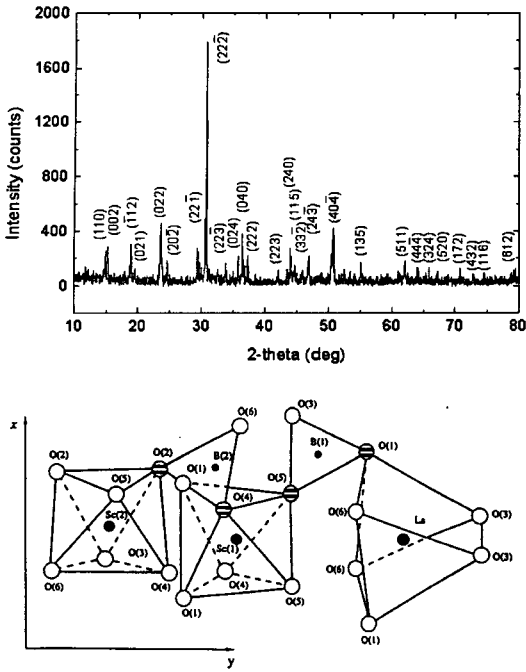


그림 1. Nd:LSB x-선회절 pattern 및 결정구조.

Nd:LSB는 쌍축 결정이나 그림 2와 같이 유사 단축 결정과 같이 취급할 수 있으며, 측정된 굴절률은 그림 3과 같다.

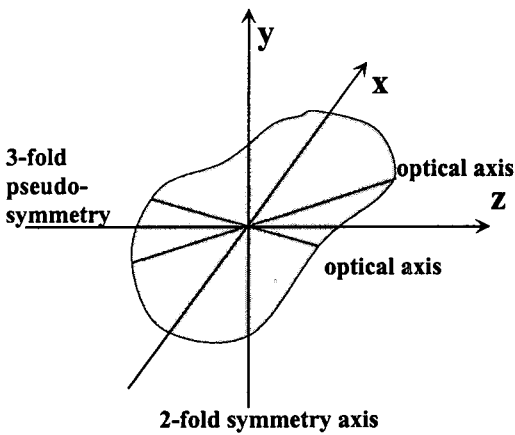


그림 2. Nd:LSB 쌍축 결정.

## 2.2 광학 특성

그림 3은 프리즘 방법에 의해 측정된 분산곡선

이다. 그림 2에서 보인 바와 같이  $n_x$ 와  $n_y$  사이의 차이를 발견하기 어려울 정도로 Nd:LSB는 단축결정에 근사한 특성을 보였다.

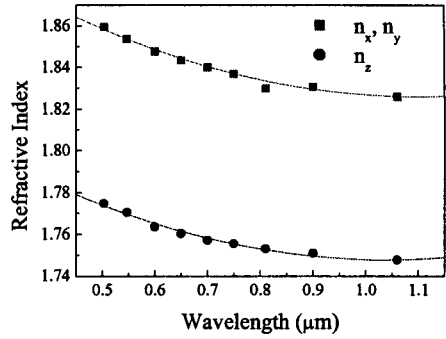


그림 3. Nd:LSB의 굴절을 분산.

그림 4는 상온에서 흡수분광기 (U-3500, Hitachi)를 사용하여 측정된 15% Nd:LSB의 흡수 스펙트럼이다. 결정은 두께가 1mm로 양면이 평행하게 연마된 것을 사용하였으며, 다른 Nd형 레이저 결정과 마찬가지로 바닥상태인  ${}^4I_{9/2}$ 로부터 들뜬 상태인  ${}^4F_{5/2}$ 와  ${}^4H_{9/2}$ 로의 전이에 의해 807nm에서의 흡수 최대를 볼 수 있었는데 Nd:YAG와 비교하여 볼 때 높은 도핑 농도로 인해 선폭 확대가 이루어진 것을 알 수 있다. 이것은 공간군의 종류에 상관없이 모든 Nd:LSB에서 관찰되었으며, 상업용 다이오드 레이저의 선택을 용이하게 해준다. 그러나 최대 흡수율의 저하로 최적조건에서의 최대 발진효율은 낮아지는 단점이 있다.

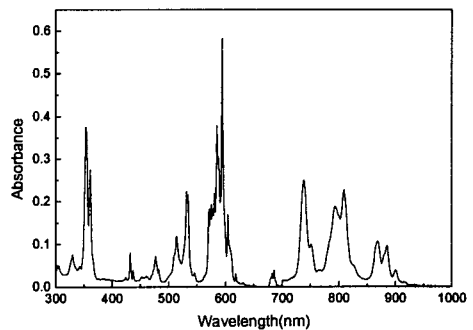


그림 4. 15% Nd:LSB의 흡수 스펙트럼.

### 3. 결과 및 고찰

고농도로 Nd이온의 도핑이 가능한 LSB를 호스트로 하는 마이크로칩 레이저 광소자를 성장하여 선형 광학 특성을 조사하였다. Nd:LSB는 negative biaxial 결정으로 공간 균은 C2/c이었으며, 대부분의 Nd형 레이저 결정에서 볼 수 있듯이 바닥상태인  $^4I_{9/2}$ 로부터 들뜬 상태인  $^4F_{5/2}$ 와  $^4H_{9/2}$ 로의 전이에 의한 807nm 근방에서 상업용 다이오드 레이저의 발전 파장과 잘 일치하는 흡수 최대를 발견할 수 있었는데 높은 도핑 농도로 선폭이 4nm 정도로 확대되어 있었다. 높은 도핑 농도는 마이크로칩 레이저 광소자의 필수 요건이지만 레이저 발전시 비복사 전이에 의한 레이저 효율의 감소를 초래할 수 있다.

최근 마이크로칩 레이저는 다이오드 레이저의 낮은 빔 질을 크게 향상시키고 기존의 고체 레이저의 장점을 유지하는 새로운 형태로 다양한 분야에서 발전이 기대된다. Nd:LSB는 낮은 열 전달 계수로 고출력 레이저의 가능성이 없으나 고농도의 고품질 결정으로 Czochralski pulling method로 성장이 가능하며, R32공간군의 경우는 자체 주파수 증배의 특성을 가지고 있으므로 이 부분에 대한 연구가 필요하다.

### 참고 문헌

- [1] G. Wang, W. Chen, Z. Li, and Z. Hu, Optical transition probability of Nd<sup>3+</sup> ions in a a-Nd<sup>3+</sup>:LaSc<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> crystal, *Phys. Rev.*, Vol. B60, pp. 15469-15471 (1999).
- [2] O. Jarchow, F. Lutz, and K. H. Klaska, Polymorphie and Fehlordnung von NdAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>, *Z. f. Krist.*, Vol. 149, p. 162 (1979).
- [3] P. Gavrilovic, M. S. O'Neill, K. Meehan, J. H. Zarrabi, S. Singh, and W. H. Grodkiewicz, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 60, p. 1652 (1992).
- [4] O. Jarchow, F. Lutz, and K. H. Klaska, Polymorphie and Fehlordnung von NdAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>, *Z. f. Krist.*, Vol. 149, p. 162 (1979).
- [5] Won Kweon Jang, Tae Hoon Kim, Young

Moon Yu, Takunori Taira, "Optical and lasing characteristics of Nd:LSB microchip device", *Proceeding of SPIE Annual Conference*, Vol. 4813, pp 86-93, 2002.

- [6] Won Kweon Jang, Takunori Taira, Tae Hoon Kim, Young Moon Yu, Ho Seob Kim, "Improved lasing property of neodymium doped lanthanum scandium borate microchip laser", *Proceeding of Photonics Asia 2002*, Vol. 4918, pp 259-266, 2002.