

Er³⁺ 도핑된 화학양론조성 LiNbO₃ 결정의 발광특성

Emission Characteristics of Er³⁺-doped Stoichiometric LiNbO₃ Crystals

강정안, 이선균*, 임기수*, Kenji Kitamura**, 이명규
 연세대학교 신소재공학부, *충북대학교 물리학과, **일본 물질연구소
 jeonga@yonsei.ac.kr

Er³⁺ 도핑된 LiNbO₃는 광통신파장인 $\lambda = 1.5 \mu\text{m}$ 부근에서 광전이현상을 나타내는 Er³⁺ 이온과 우수한 전자광학, 음향광학 및 비선형 광학 특성을 가진 LiNbO₃가 결합된 재료로서, 특히 광통신시스템에서 광손실을 최소화할 수 있는 1.53 μm 의 파장 부근에서 광대역증폭과 발진을 가능하게 하므로 많은 주목을 받고 있다. 기존의 LiNbO₃를 이용한 광소자에는 거의 대부분 congruent LiNbO₃ (Li/Nb = 48.5/51.5)가 사용되어 왔는데, 이는 우수한 결정성을 가진 결정을 비교적 쉽게 성장시킬 수 있었기 때문이다. LiNbO₃에 있어서의 여러 물리적 특성은 Li vacancy 및 Nb antisite defect와 같은 고유결함의 농도, 즉 [Li]/[Nb]의 비와 밀접한 관련이 있음이 그동안의 연구결과 밝혀졌으며 이러한 연유로 화학양론조성 (stoichiometric) LiNbO₃에 대한 많은 관심이 있어왔다. 그러나 결정성장의 어려움으로 인해 Er³⁺ 도핑된 VTE(vapor transport equilibrated) LiNbO₃ 결정을 이용한 연구가 주로 이루어졌으나 congruent LiNbO₃ 결정을 Li-rich vapor 분위기하에서 열처리하여 Li를 인위적으로 주입한 경우에는 결정의 질이 나빠지는 문제점이 있었다. 최근 일본 물질연구소에서 Double-crucible Czochralski method에 의해 성장시킨 고품질의 화학양론조성 LiNbO₃ 결정은 congruent LiNbO₃에 비하여 우수한 전기광학 및 비선형광학 특성을 나타내며¹⁾, 특히 Er³⁺ 도핑된 화학양론 LiNbO₃ 결정은 차세대 광소자로서의 가능성이 기대된다.

Er³⁺ 이온의 excited state에서의 정확한 lifetime의 측정은 emission cross section이나 quantum efficiency와 같은 기본적인 physical quantity를 규명하는 것과 관계가 있기 때문에 소자 설계에 있어서 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 본 연구에서는 Er³⁺ 이온이 도핑된 고품위의 화학양론조성 LiNbO₃ 결정(Li/Nb = 49.9/50.1)에서의 발광특성을 분석하고자 한다. 서로 다른 Er³⁺ 도핑농도(0.2 %, 0.5 %, 1.0 %, 2.0 %)를 가진 X-cut 결정(약 5 mm × 5 mm × 1 mm)이 분석에 사용되었는데, 그림 1은 Ar ion laser (514 nm)를 pump beam으로 하여 얻어진 1.5 μm (⁴I_{13/2} → ⁴I_{15/2})에서의 emission spectrum인데, Er³⁺ 농도 증가에 따른 발광강도의 증가를 보여주고 있다. Lifetime 측정에는 1.53 μm 에서의 전이를 이용하였으며, 그림 2에서 보는바와 같이 10 ns의 펄스폭을 가지는 Nd:YAG SHG laser가 pump laser로 사용되었다. 재흡수에 의한 영향을 최대한 줄이기 위해 결정의 두께를 1 mm로 하여 광로를 줄였고, radiation trapping에 의한 영향을 알아보기 위해 직경 0.5 mm의 aperture를 사용한 경우와 그렇지 않은 경우의 lifetime을 각각 측정하였다.

그림 3에 1.53 μm 전이에 대해서 측정한 lifetime을 나타내었는데 농도의존성은 크지 않았으나, aperture를 사용한 경우의 lifetime (3.0 ~ 3.2 ms)이 그렇지 않은 경우보다 다소 낮게 나타났다. 이는 radiation trapping effect를 최대한 억제한 값이므로 더 정확한 lifetime이라 할 수 있으며, Er 도핑된 congruent LiNbO₃에 대해서 보고된 값 (2.3 ~ 2.7 ms)^{2),3)}보다 10 ~ 30 % 증가된 것으로 매우 고무적

이다. Congruent LiNbO₃는 많은 농도의 고유결함을 보유하고 있는데, 이는 phonon-assisted nonradiative decay rate를 증가시켜 excited state에서의 lifetime을 줄이는 역할을 하게 된다. 그러나 조성이 화학양론에 가까워질수록 이러한 고유결함의 농도는 줄어들게 되고 따라서 Er의 excited state에서의 lifetime이 증가한 것으로 해석할 수 있다.

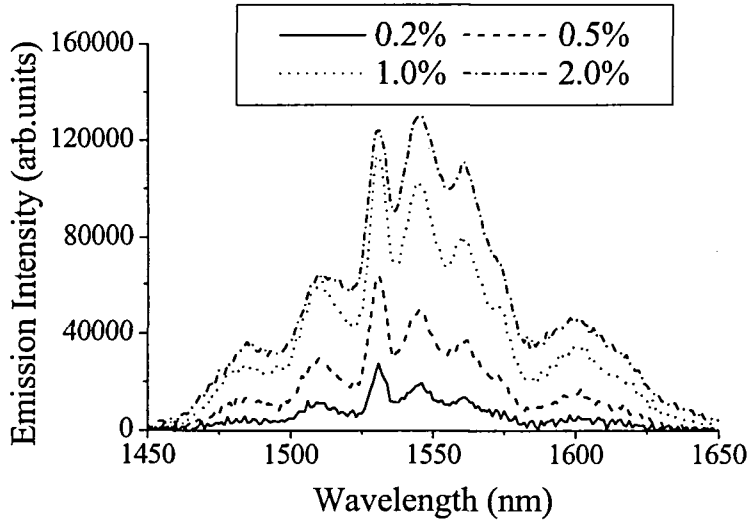


그림 1. Er³⁺ 농도에 따른 ⁴I_{13/2}→⁴I_{15/2} 전이의 발광 스펙트럼

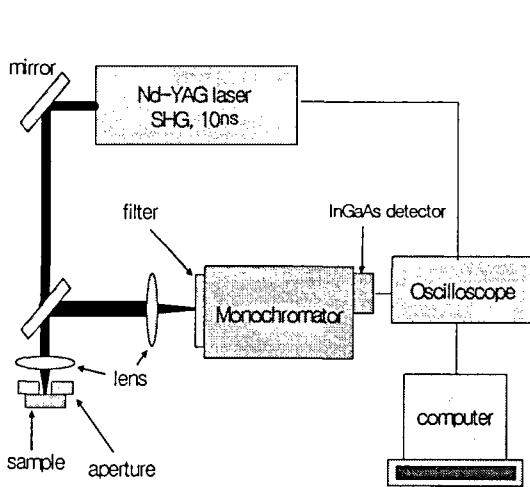


그림 2. 1.53 μm lifetime 측정을 위한 실험장치의 개략도

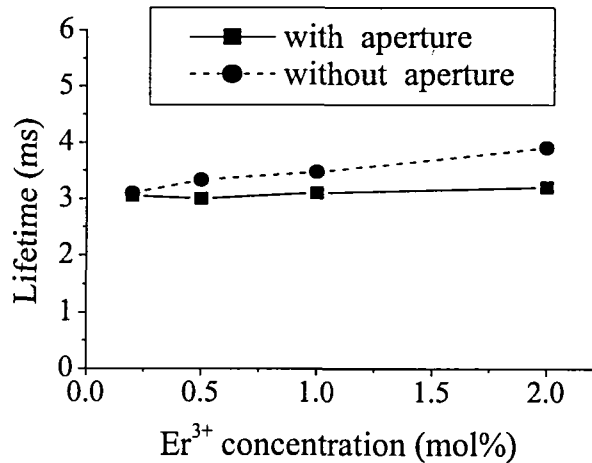


그림 3. Lifetime의 농도의존성

참고문헌

1. K. Kitamura, Y. Furukawa, K. Niwa, V. Gopalan, and T. Mitchell, Appl. Phys. Lett., **73**, 3073 (1998)
2. J. Amin, B. dussardier, T. Schweizer, and M. Hempstead, J. Lumin. **69**, 17 (1996)
3. L. Nunez, G.Lifante, and F. Cusso, Appl. Phys. B: Lasers Opt. **62**, 485 (1996)