

CZ법으로 성장시킨 $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ 단결정에서의 광손상에 관한 연구

김비오, 김병국, 윤종규, 노지현*

서울대학교 금속공학과, 서울, 151-742

*부산대학교 물리학과, 부산, 607-735

A study on the optical damage in $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ single crystals grown by CZ method

B.O. Kim, B.K. Kim, J.K. Yoon and J.H. Ro*

Department of Metallurgical Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

**Department of Physics, Pusan National University, Pusan 607-735, Korea*

요 약 CZ법을 이용하여 합치용융조성(congruent) LiNbO_3 및 광손상에 큰 저항성을 보이는 $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ 단결정에 MgO 첨가량을 2, 5 및 7 mol%로 변화시키면서 육성하여, 보상 방법으로 광손상을 측정하였다. 5 mol% 이상의 MgO 첨가시 광흡수단 및 OH^- 흡수밴드의 특성이 크게 변화함을 관찰함으로써 MgO 첨가량에 일정한 역치(threshold)가 존재함을 확인하였다. $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ 단결정에서는 5 mol% 이상의 MgO 첨가시 Mg 가 Nb 자리를 차지하여 $\text{Mg}_{\text{Nb}}^{2+}$ 를 형성함에 따라 광손상에 대한 저항이 크게 향상될 수 있다. 실제로 용액에 5 mol% 이상의 MgO 첨가시 $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ 단결정의 광손상 저항이 3배 이상 향상되었다.

Abstract Congruent LiNbO_3 single crystals and $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ single crystals, having high resistance to optical damage, doped with MgO to the levels of 2.0, 5.0 and 7.0 mol% were grown successfully by CZ method and optical damage of each crystal was measured by compensation method. With doping level reaching about 5 mol%, there was an abrupt change in the features of optical absorption edge and OH^- absorption band. From these data, we confirmed indirectly the threshold in MgO doping level. When the MgO doping amount reaches about 5 mol% in the melt, Mg^{2+} occupies Nb site and becomes $\text{Mg}_{\text{Nb}}^{2+}$, resulting in the sharp increase of

optical damage resistance. The optical damage resistance of $\text{LiNbO}_3 : \text{Mg}$ was improved more than three times when MgO amount in the melt reaches 5 mol%.

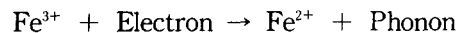
1. 서 론

상온에서 LiNbO_3 단결정은 강유전상이며 공간군 $R3c$, 점군 $3m$ 을 갖는 육면체(hexagonal) 구조이다. 이 구조는 Curie 온도(T_c)까지 안정한 상태로 존재하며, T_c 이상의 온도에서는 공간군 $R3c$, 점군 $3m$ 인 상유전상으로 존재한다. LiNbO_3 에서 산소의 배열은 틀어진 육방최밀충진에 의해 기술되는데, Nb를 중심으로 하여 주위에 산소 이온이 팔면체를 형성하고, Li 주위에서 삼각형을 형성한다[1,2]. LiNbO_3 단결정은 압전 및 광학 특성이 우수하여 이를 이용한 응용이 확대되고 있다. 압전 특성을 이용하여 C/TV, VTR 등의 미디어기기 및 자동차용전화, 무선전화 등의 무선 통신기기의 표면탄성파(surface acoustic wave) 소자로서 응용되고, 광학 특성을 이용하여 2차 조화파 발생 및 광 변조기 소자로서 응용되고 있다. 이처럼 LiNbO_3 단결정은 응용범위가 넓으나, 레이저 조사시 광손상(optical damage)을 일으켜 전기광학 기기나 고강도 레이저 기기에의 응용에 큰 한계성을 드러내고 있다.

광손상 또는 광굴절율 효과(photorefractive effect)란 결정에 강한 광을 조사시킬 경우 굴절율이 변하는 현상을 말하며, 1966년에 Ashkin등[3]이 LiNbO_3 와 LiTaO_3 단결정에 청록색 영역의 레이저광을 조사시켰을 때 이들 결정들의 굴절율이 변하는 것을 관찰함으로써 최초로 발견하였다. 광손상은 투과광의 진행 방향을 변화시키므로 전기광학 소자, 광도파관 등의 여러가지 광학적 응용에 심각한 장애가 된다[4]. 광손상은 강한

광에 의해 여기된 자유전자들이 결정축의 광축방향(+c)으로 포획(trap)과 이탈(detrap) 과정을 거치면서 광에 조사된 지역에서 drift [5] 또는 diffusion[6]하여 광의 가장자리에 모이게 됨으로써, 이 자유전자들에 의한 음전하와, 양으로 대전된 이온 중심들 사이에 형성된 공간 전하장(space charge field)에 의한 선형전기광학효과(Pockels effect)때문에 굴절율의 변화가 생김으로써 일어난다 [7].

광손상의 원인이 되는 자유전자의 근원은 Fe와 같은 전이금속 불순물(transition metal impurity)이며, 광손상과 관련된 주요 반응식은 다음과 같다[8].



여기서 광손상과 관련된 주요 변수는 전하를 포획할 수 있는 Fe^{3+} 이온의 단면적이다. Fe는 LiNbO_3 결정내에서 Li 자리에 ($\text{Fe}_{\text{Li}}^{2+}$) (Li 자리를 점유한 Fe, 유효가전자수는 +2) 형태의 불순물로 존재하여 양전하를 가지므로 광전자에 대한 어셉터로써 작용하여 광전자의 광전도도를 감소시키지만, 역치(threshold) 이상의 MgO 첨가시에는 여분의 Mg가 Nb 자리를 차지하여 $\text{Mg}_{\text{Nb}}^{2+}$ (Nb 자리를 점유한 Mg^{2+})를 형성함으로써 Fe는 Li자리에서 Nb 자리로 옮겨가고 ($\text{Fe}_{\text{Nb}}^{2-}$) (Nb 자리를 점유한 Fe, 유효가전자수는 -2) 형태의 불순물로 된다. Nb 자리를 차지한 Fe는 음전하를 가지므로 전하를 포획할 수 있는 Fe^{3+} 이온의 단면적 감소로 인하여 광전자를 밀어

내므로 어셉터로써의 성질을 상실하여 상대적으로 광전자의 광전도도는 크게 증가하며 광굴절율 효과는 줄어들게 된다[8]. LiNbO₃ 내에서 MgO 첨가량과 관련된 Fe의 위치 이동에 대해서는 Volk등의 ESR(Electron Spin Resonance) 분석 결과로 이미 알려진 바 있다[9]. 그러므로, 광손상과 관련된 MgO 첨가량의 역치를 찾아내는 것은 큰 의미가 있다.

따라서 본 연구에서는 CZ법을 이용하여 합치용융조성의 LiNbO₃ 및 2, 5, 7 mol%의 MgO가 첨가된 LiNbO₃:Mg 단결정을 성장시켜 조업변수를 획득하고, MgO 첨가량에 따른 Mg 양이온의 도핑 위치의 변화를 광흡수단(optical absorption edge) 및 OH⁻ 흡수밴드(absorption band)의 이동양상으로 부터 확인하여 역치를 규명하였으며, He-Ne 레이저와 Soleil-Babinet compensator를 사용하여 레이저 조사 시간에 따른 복굴절율의 변화를 측정함으로써 일정한 역치 이상에서 실질적으로 광손상 저항이 향상되었음을 보이 고자 한다.

2. 실험 방법

2.1. 단결정 성장

CZ법은 용액성장법의 일종으로서 용액에 종자정을 담그어 일정한 온도구배를 가진 구역을 통해 회전과 동시에 인상시킴으로써 결정을 성장시키는 방법으로서, 실험의 과정은 charging, melting, soaking, dipping, necking, shouldering, body growing, tailing, cooling 등으로 구성된다. CZ법에 의한 단결정 성장은 로내의 적당한 온도구배와 정교한 온도조절이 필요하며 결정의 인상속도 및 회전속도

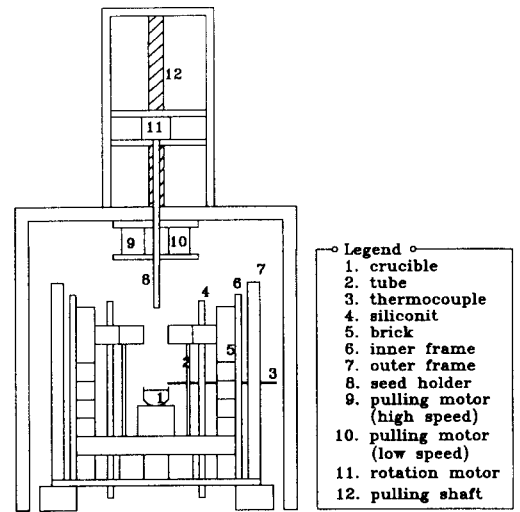


Fig. 1. Schematic diagram of CZ system.

가 성장 및 성장된 결정의 물성에 큰 영향을 미치므로 정교한 인상장치가 필수적이다. 따라서 본 실험에서의 성장장치는 인상속도를 1.5 ~ 8.0 mm/h, 회전속도를 최대 80 rpm까지 낼 수 있게 만들어졌으며, 실험에 사용한 CZ 성장장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

LiNbO₃ 단결정 성장시 1260°C 이상의 온도가 요구되어 직렬로 연결된 네개의 SiC heater를 상호 병렬 연결한 총 여덟개의 저항 발열체를 사용하여 도가니를 가열하였다. 도가니는 직경 5 cm, 높이 5 cm, 두께 0.5 mm인 백금도가니를 사용하였고, 종자정은 c축으로 성장된 결정을 이용하였으며, 종자정과 인상봉은 0.3 mm의 백금선으로 감아서 연결하였다. 온도조절을 위해 PID형 REX-P100 온도조절기를 사용하였으며, 열전대는 PR선(R-type)을 사용하여 도가니 직상부에 위치시켰다. 노내 온도구배는 제어온도를 실제 조업온도에 맞추고 용액 직상부에서부터 위로 5 cm까지 측정한 결과 20 ~ 22°C/cm 정

Table 1
Compositions of crystals grown in the present study

sample	Li/Nb (mol %, in melt)	MgO (mol %, in melt)
No. 1	48.6/51.4	0.0
No. 2	48.6/51.4	2.0
No. 3	48.6/51.4	5.0
No. 4	48.6/51.4	7.0

도로 나타났으며, 용액표면 직상부와 직하부의 온도차는 약 20°C 정도였고, 도가니 내부에서는 하부로 내려감에 따라 2.0°C/cm 정도로 온도가 높아졌다. 따라서, 성장이 진행되면서 용액 표면의 높이가 낮아짐에 따라 제어온도를 조금씩 낮추면서 실험하였다.

출발시료의 조성은 각각의 상태도를 기초로 하였다. Svaasand[10]가 보고한 $\text{Li}_2\text{O}-\text{Nb}_2\text{O}_5$ 상태도에서는 44~50 mol% Li_2O 에 이르는 넓은 영역에서 LiNbO_3 상이 존재하며, LiNbO_3 단결정의 고용영역은 900°C 이상에서는 넓게 형성되어 있으나, 그 온도 이하에서는 점점 좁아지는 특징을 갖고 있음을 보여주고 있다. Grabmaier등[11]이 제안한 $\text{Nb}_2\text{O}_5-\text{Li}_2\text{O}-\text{MgO}$ 의 3원계 상태도에서는 $\text{LiNbO}_3:\text{MgO}$ 가 냉각과정이나 어닐링 동안에 편석(segregation)이 일어나지 않고 단상으로 존재할 수 있는 영역이 합치용융조성에서 12 mol% MgO임을 보여주고 있다.

본 연구에서는 순도가 99.9995인 Johnson Matthey사의 LiNbO_3 소결체를 사용하였는데, 조성은 Li_2O 의 양이 48.6 mol%인 합치용융조성이다. $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ 단결정은 MgO의 첨가량을 각각 2, 5 및 7 mol%로 변화시키면서 성장시켰다. 각각의 결정에 대한 용

액의 조성은 Table 1에 나타내었다.

2.2. EDS 분석 및 광특성 측정

광학적 물성의 측정을 위한 $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ 단결정 내에 첨가된 Mg 양이온의 함량을 측정하기 위하여 Philips-PV9900-EDAX를 이용한 EDS 분석으로 성장된 결정의 상부 및 하부의 Nb 양이온과 Mg 양이온의 농도비를 원자 백분율(atomic percent)로 구하였다.

광손상이 Mg 양이온의 도핑 위치와 관련이 있으므로, 결정내부의 Mg 양이온의 도핑 위치가 MgO 첨가량에 따라 변화함을 확인하기 위하여 합치용융조성의 LiNbO_3 와 각각의 $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ 단결정에 대한 c-축 방향의 투과율을 조사하였다. UV-VIS 영역의 투과도는 UV-VIS spectrophotometer (Hewlett-Packard HP8452A)를 이용하여 측정하였으며, IR 영역의 투과도는 FTIR spectrometer (MATTSON 500)를 이용하여 측정하였다.

광손상 측정을 위하여 LiNbO_3 및 각각의 $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ 단결정의 a-면 시편을 제작하여 입자 크기가 3 μm 및 0.3 μm 인 알루미늄 분말까지 최종 연마하였다. 광손상에 의한 굴절을 변화는 intensity modulation 방법, 즉 보상(compensation) 방법으로 파장이 6328 Å, 최대출력이 15 mW인 He-Ne 레이저(Nihon Kagaku Eng., NEO-15MS)와 Soleil-Babinet compensator(Gaertner, L135)를 사용하여 측정하였다. 광손상 측정을 위한 장치도는 Fig. 2와 같다. 레이저에서 발생한 광은 편광판을 통과한 후에 선편광이 된다. 선편광된 광이 Fig. 3과 같이 결정축과 편광방향이 각을 이루고 복굴절을 일으키는 결정에 들어간다. 결정내에 들어간 광은 정상광과 이상광으로 분리되어 서로 다른 속도로 진행된다. 따라서 정상광과 이상광 사이에 위상차가 생

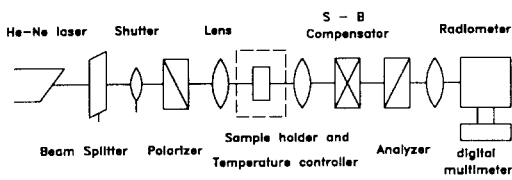


Fig. 2. Block diagram of the set-up for optical damage measurement.

기계 되어 광이 시료를 통과한 후에는 타원 편광이 된다. 실험에서는 입사광의 편광방향과 결정축 사이의 각이 45°가 되게 하였다. 강한 광을 조사시키면 결정의 굴절율이 변하므로 정상광과 이상광 사이의 위상차도 변한다. 강한 레이저광을 조사시키기 전의 위상차와 조사시킨 후의 위상차의 차가 광을 조사시킴으로써 유기된 위상차이다. 시료를 통과한 광의 위상차를 보상자를 통해 보상시키면 광이 polarizer와 수직으로 놓여 있는 analyzer를 통과하면서 소광이 생기는데, 위상차는 이 때의 보상자 눈금을 통해서 얻어진다. 광이 analyzer를 통과한 후의 세기를 radiometer로 측정하였다. 이와 같은 방법으로 측정된 위상차의 변화량은 아래 식과 같이 표현된다[12].

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta(n_e - n_o) L$$

위 관계식을 이용하여 위상차 $\Delta\phi$ 로부터 복굴절을 변화량 $\Delta(n_e - n_o)$ 를 계산하였다. 여기서 λ 는 위상차를 측정하는 보조광의 파장이고, n_e 와 n_o 는 각각 정상광과 이상광에 대한 굴절율이며, L 은 광이 투과한 시료의 두께이다.

위상차의 변화를 측정하는 보조광은 측정하는 동안 결정에 광손상이 가해지지 않도록 하기 위해 neutral density filter를 이용하여 입사광의 세기를 2 μ W 정도로 줄인 것을

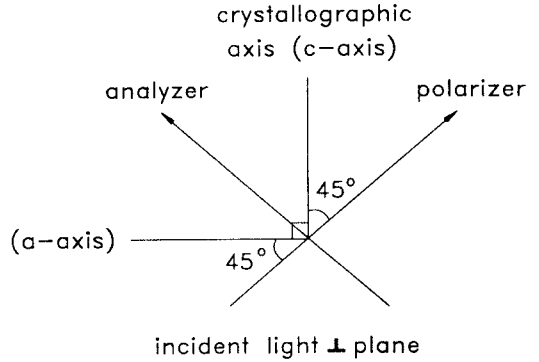


Fig. 3. Relative direction between crystallographic axis and polarization.

사용하였다. 시료에 광손상을 일으킬 광의 세기를 beam splitter를 이용하여 필요한 세기가 되도록 조절한 후, 초점거리가 30 cm되는 볼록렌즈를 사용하여 광을 직경 0.7 mm 정도로 집속하였으며 광의 조사시간은 shutter로 조절하였다. 렌즈의 초점에 시료를 넣고 강한 레이저광을 조사시켜 광손상을 일으킨다. 본 실험에서는 광손상을 일으키기 위해 15 mW, 즉 3.9 W/cm²의 세기로 He-Ne 레이저광을 시료에 조사시켰으며, 순수한 LiNbO₃는 광손상이 심하므로 20초 간격으로, LiNbO₃:Mg는 30초 간격으로 300초 동안 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 단결정 성장 및 고찰

인상속도 및 회전속도를 변화시키면서 LiNbO₃ 및 LiNbO₃:Mg 단결정을 성장시켜 성장에 필요한 변수들을 획득하였다. Fig. 4는 성장된 각각의 결정에 대한 사진이며, Fig. 5는 각각의 결정에 대한 두께 1 mm의 웨이퍼 사진인데 이로부터 결정의 투명도가

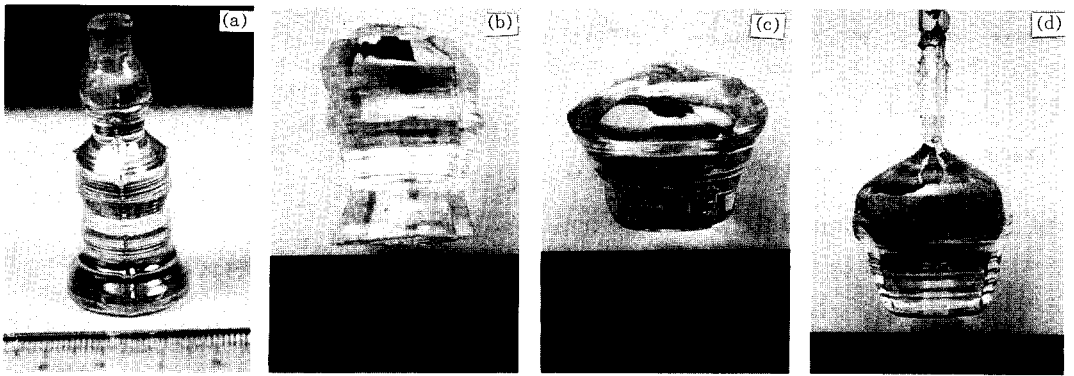


Fig. 4. Photographs of grown crystals. (a) No. 1, (b) No. 2, (c) No. 3 and (d) No. 4.

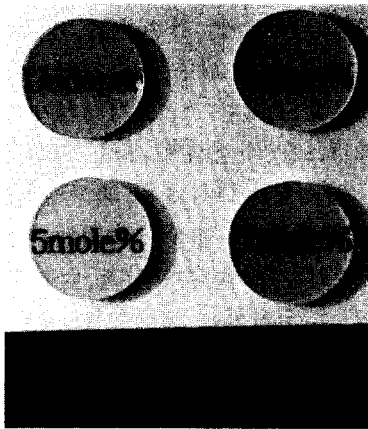


Fig. 5. Photographs of wafers for each crystal.

상당히 뛰어난 것을 알 수 있다. Table 2에는 각각의 결정에 대한 종자정의 방위, 제어온도의 범위, 성장속도, 결정회전속도 등의 성장조건 및 거시적인 특성에 대하여 나타내었다. Fig. 6은 순수한 LiNbO_3 및 $\text{LiNbO}_3 : \text{Mg}$ (5 mol%) 결정에 대한 c-면의 Laue 사진이며, 이것으로부터 결정의 성장 방향이 종자정의 방향과 같은 $[00\cdot1]$ 방향임을 알 수 있었다.

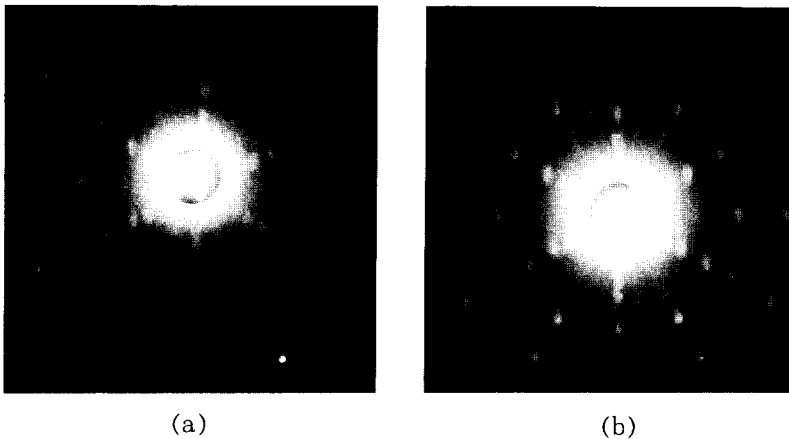


Fig. 6. Back reflection Laue pattern of $(00\cdot1)$ plane. (a) No. 1 and (b) No. 3.

Table 2
Comparison of grown crystals

결정	종자정의 방위	제어온도 의 범위(°C)	인상속도 (mm/h)	결정회전 속도(rpm)	몸체직경 (mm)	결정길이 (mm)
No. 1	〈00·1〉	1268 ~1271	3.0 ~ 4.0	12	18	40
No. 2	〈00·1〉	1270 ~1274	3.0 ~ 3.5	12	22	30
No. 3	〈00·1〉	1271 ~1274	2.5 ~ 3.5	12	20	23
No. 4	〈00·1〉	1268 ~1271	2.5 ~ 3.0	12	20	25

결정	계면형태	외형	색깔	결합	대칭성
No. 1	flat	round	clear	no crack	3-fold
No. 2	flat	round	clear	no crack	3-fold
No. 3	flat	round	clear	no crack	3-fold
No. 4	flat	round	clear	no crack	3-fold

3.2. Mg 양이온의 성장 방향으로의 분포상태 분석

LiNbO₃:Mg 단결정 내의 Mg 양이온의 분포상태를 알아보기 위하여 성장 초기와 말기에 대한 결정의 조성을 측정하였으며, 이를 Table 3에 나타내었다. Mg 양이온의 분포상태는 MgO 첨가량에 따라서 다르게 나타나고 있다. 결정내부의 Mg 양이온의 농도는 성장방향에 따라 감소하다가 7 mol% 이상에서는 성장방향으로 증가하였다.

3.3. 광투과도 측정을 통한 도핑위치(doping site) 분석

MgO 첨가에 따른 UV-VIS 영역의 광투과도 측정을 통한 광흡수단의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 실험적으로 정확한 흡수단의 위치를 결정하기는 어려우나, 관심의 대상은 상대적인 이동 양상이다. LiNbO₃는 322 nm,

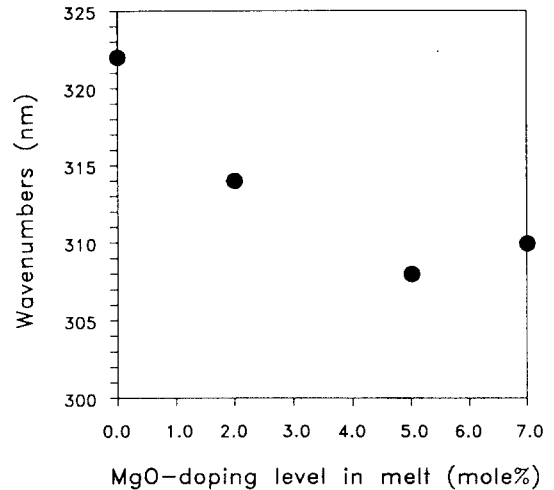


Fig. 7. Variation of optical absorption edge according to MgO doping level.

LiNbO₃:Mg(2 mol%)는 314 nm, LiNbO₃:Mg(5 mol%)는 308 nm, 그리고 LiNbO₃:Mg(7 mol%)는 310 nm에서 각각 형성되었다. MgO 첨가량이 증가할수록 단파장쪽으로 이동하다가 5 mol% 이상의 MgO 첨가시 다

Table 3
Compositional variations of Mg^{2+} in $LiNbO_3 : Mg$ crystals

Doping level	Composition (mol%)			
	Liquid (melt)		Solid (crystal)	
	Initial	Final	Top	Bottom
2 mol%	2.00	1.919	2.45	2.34
5 mol%	5.00	4.908	5.66	5.45
7 mol%	7.00	7.024	6.84	6.88

시 장파장쪽으로 이동하는 경향을 나타내었다. Yamamoto 등[13]에 의하면 화학양론적 $LiNbO_3$ 와 $LiNbO_3 : Mg(5 \text{ mol}\%)$ 의 흡수단의 위치가 동일한데, 결국 MgO 의 첨가가 가지는 효과는 Mg 가 Li 자리를 차지하여 Li/Nb 의 비를 증가시켜 Li/Nb 의 비를 화학양론적 조성으로 변화시켜 점결함을 안정화시키는 것이다. 따라서 forbidden band width는 더 넓어지고, 흡수단은 단파장쪽으로 이동한다. 하지만 역치 이상의 MgO 첨가시 Mg 는 Nb 자리를 차지하게 되고, 격자완화(lattice relaxation)에 의하여 변형의 영역이 형성되므로 에너지갭은 수축되고 흡수단은 장파장쪽으로 이동한다. 5 mol% 이상의 MgO 첨가시 흡수단의 이동양상이 변화함을 관찰함으로써 Mg_{Nb}^{2+} 의 형성을 간접적으로 확인하였다.

$LiNbO_3$ 단결정은 결정성장 과정에서 주위 분위기속의 수소를 포획하여 OH^- 결함구조를 이루게 되며, 적외선 영역의 특정 파장에서 투과율이 감소하는 흡수 스펙트럼으로 존재한다. MgO 첨가에 따른 IR 영역의 투과도 변화를 측정하여 OH^- 흡수밴드의 이동양상을 Fig. 8에 나타내었다. $LiNbO_3$ 및 $LiNbO_3 : Mg(2 \text{ mol}\%)$ 단결정은 $2.879 \mu m$ 에서, $LiNbO_3 : Mg(5 \text{ mol}\%)$ 및 $LiNbO_3 : Mg$

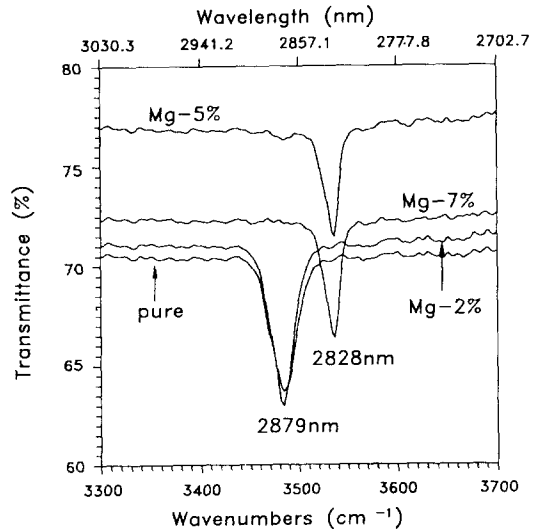


Fig. 8. Variation of the OH^- band according to MgO doping level.

(7 mol%) 단결정은 $2.828 \mu m$ 에서 OH^- 흡수밴드가 형성되었다. H^+ 이온은 $LiNbO_3$ 결정내에서 O^{2-} 이온의 분극효과에 의하여 영향을 받으며, 불순물 이온과 같은 격자 양이온(lattice positive ion)은 O^{2-} 이온에 약하게 포획되어 있으므로 OH^- 스펙트럼은 이온 주변의 환경변화에 민감하다. MgO 첨가량이 역치 이상이 되면 Mg^{2+} 는 Nb 자리를 차지하고 강한 음전하 중심인 $(Mg_{Nb})^{3-}$ (Nb 자리를 점유한 Mg , 유효가전자수는 -3)를 형성

하여 H⁺가 그 주변에 모이게 된다. 한편 Mg²⁺와 Nb⁵⁺의 전기음성도는 각각 1.2와 1.7이므로[8] Nb⁵⁺ 자리에 Mg²⁺가 치환되면 양이온과 주변 산소이온과의 결합력은 약해지고, 반면에 O-H 결합력은 강화된다. 따라서 OH⁻ 흡수밴드는 단파장쪽으로 이동한다. 5 mol% 이하의 MgO 첨가시는 OH⁻ 스펙트럼의 위치 변화가 없으나, 5 mol% 이상의 MgO 첨가시 위치가 이동함을 관찰함으로써 역시 Mg_{Nb}²⁺의 형성을 간접적으로 확인하였다.

이상의 UV-VIS 및 IR 영역의 투과도 측정 결과로부터 MgO 첨가량에 따라 이온의 도핑 위치가 변화하는 역치는 대략 5 mol% 임을 알 수 있었다.

3.4. 광손상 측정

레이저 조사 시간에 따른 복굴절율의 변화를 Fig. 9에 나타내었다. 5 mol% 이상의 MgO 첨가시 레이저 조사시간에 따른 복굴

절율의 변화가 크게 감소하여 광손상에 대한 저항성이 3배 이상 증가하였다. 5 mol% 이상의 MgO 첨가시 Mg_{Nb}²⁺의 형성으로 언급했듯이 광손상의 원인이 되는 Fe 이온을 Li 자리에서 Nb자리로 이동시킴으로써 광전자에 대한 어셉터 기능을 상실하기 때문에 광손상 저항이 크게 향상된다. 결정내에서 광여기된 전자는 결정의 c-축을 따라 광이 조사된 부분의 가장자리로 이동하여 결정내부에 전기장이 생기며, 이 전기장은 광을 조사시키는 시간에 비례하여 증가하는데, 초기에 복굴절율의 변화량이 광을 조사시키는 시간에 비례하여 선형적으로 변하는 것은 전기장이 마치 결정 외부에서 가한 전기장처럼 작용하여 광을 조사시킨 부분에 LiNbO₃ 결정이 선형전기광학 효과(Pockels effect)를 갖기 때문이다. 시간이 경과함에 따라 포화하는 경향을 나타내는 것은 광여기되는 전자의 수와 광여기된 전자가 남기는 빈 trap에 재포획되는 전자의 수가 비슷하기 때문에 나타나는 현상이다.

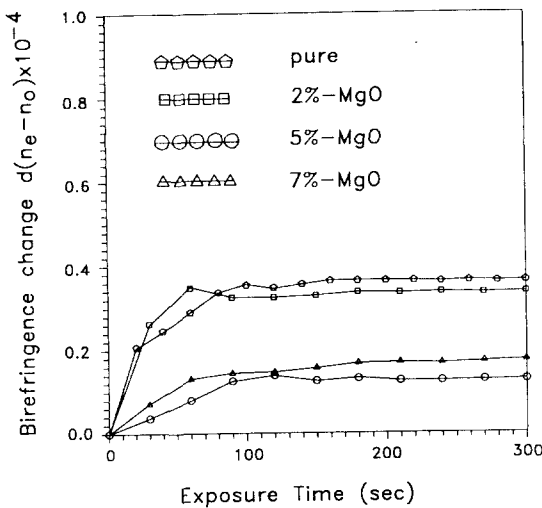


Fig. 9. Birefringence change of each crystal according to exposure time.

4. 결론

1. CZ법을 이용하여 LiNbO₃ 및 서로 다른 첨가량의 LiNbO₃:Mg(MgO=2, 5, 7 mol%) 단결정을 c-축으로 육성하였다. 인상속도가 LiNbO₃ 단결정에서는 3~4 mm/h, LiNbO₃:Mg 단결정에서는 2.5~3.5 mm/h이고, 결정회전속도가 12 rpm일 때 외형이 둥글고 평활한 계면을 가진 결정을 얻을 수 있었다.

2. 광투과도 측정을 통하여 광학적 물성과 관련된 MgO 첨가량에는 역치가 존재함을 확인하였으며, 5 mol% 정도임을 알았다.

(1) MgO 첨가량이 증가함에 따라 광흡수단은 단파장쪽으로 이동하다가 5 mol%를 기준

으로 역전하였는데 이로부터 광손상저항에 큰 영향을 미치는 Mg_{Nb}^{2+} 의 형성을 간접적으로 확인하였다. (2) MgO 첨가량이 5 mol% 이상일 때 OH^- 흡수밴드의 위치가 단파장쪽으로 이동하였는데 이로부터 Mg_{Nb}^{2+} 의 형성을 간접적으로 확인하였다.

3. $LiNbO_3$ 에 MgO를 첨가하여 성장시켰을 경우, MgO의 첨가량이 5 mol% 이상일 때 즉, 역치 이상의 MgO 첨가시 광손상 저항이 3배 이상 크게 향상되었다. 또한 광손상은 Mg 양이온의 도핑 위치와 밀접한 관련이 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국원자력 연구소의 1993년도 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] S.C. Abrahams, J.M. Reddy and J.L. Bernstein, J. Phys. Chem. Solids 27 (1966) 997.
- [2] S.C. Abrahams, W.C. Hamilton and J. M. Reddy, J. Phys. Chem. Solids 27 (1966) 1013.
- [3] A. Ashkin, G.D. Boyd, J.M. Dziedzic, R.G. Smith, A.A. Ballman, H.J. Levinstein and K. Nassau, Appl. Phys. Letters 9 (1966) 721.
- [4] R.L. Holman, P.J. Gressman and J.A. Anderson, Ferroelectric 27 (1980) 77.
- [5] F.S. Chen, J. Appl. Phys. 38 (1967) 3418.
- [6] J.J. Amedei, Appl. Phys. Letters 18 (1971) 22.
- [7] Y. Ohmori, M. Yamaguchi, K. Yoshino and Y. Inuishi, Japan J. Appl. Phys. 18 (1979) 79.
- [8] Feng Xi-Qi, Zhang Qi-Ren, Ying Ji-Feng, Lin Jian-Cheng and Yin Jhi-Wen, Science in China, Vol. 33, No. 1, (1990) 108.
- [9] T.R. Volk, V.I. Pryalkin and N.M. Rubinina, Optics Letters, Vol. 15, No. 18, (1990) 996.
- [10] L.O. Svaasand, M. Eriksrud and A.P. Grande, J. Crystal Growth 18 (1973) 179.
- [11] B.C. Grabmaier and F. Otto, J. Crystal Growth 79 (1986) 682.
- [12] J. Wilson and J.F.B. Hawkes, Optoelectronics An Introduction, 2nd ed., (Prentice Hall, 1989).
- [13] Joyce K. Yamamoto, Kenji Kitamura, Nobuo Iyi and Shigeyuki Kimura, J. Crystal Growth 121 (1992) 522.