

MgO가 0.65 mole% 첨가된 LiNbO₃ 단결정에서 제 2 고조파 발생을 이용한 공간전하장 측정

Sensitive measurement of Space-charge field in a LiNbO₃ crystal doped with 0.65 mole% MgO using second harmonic generation

김봉기, 이범구¹, 차명식^{*}

서강대학교 물리학과, ^{*}부산대학교 물리학과

¹brhee@ccs.sogang.ac.kr

광굴절률 현상은 optical signal processing과 홀로그래프 기억소자로 널리 응용 될 수 있기 때문에 지금까지 광범위하게 연구되어져 왔다. 광굴절률 현상에서 중요한 변수는 빛이 있는 동안 drift, diffusion과 photovoltaic current와 같은 전하 운반 메커니즘을 통해서 local charge의 재분포에 따른 공간전하장(Space-charge field, E_{sc})이다. 지금까지 single beam에 의한 공간전하장을 측정하는 방법으로 birefringence^{1,2}와 interference method³을 이용하여 굴절률 변화를 측정함으로써 얻을 수 있었다. 그러나 이런 방법들은 공간전하장의 변화를 측정하기 위해서 전기광학계수를 측정하여 얻는 간접적인 방법이고 또한 실험방법도 다소 복잡하다. 따라서 본 투고에서는 광굴절률 현상시 제 2 고조파 세기(SHG)의 변화로부터 공간전하장을 간단하게 측정하는 방법을 소개하여한다. 이 방법은 전기광학물질인 LiNbO₃에서 SHG 위상정합조건이 dc 전기장에 의존하는 성질을 이용한 것이다. 그리고 온도가 일정할 경우 전기장의 변화에 따라 SHG의 크기가 sinc²-function에 따라 변함을 이용하였다. 상온(26.2°C)에서 제 2 고조파 발생이 비임계 위상정합에서 가능하기 때문에 본 실험에서 MgO가 0.65 mole% 첨가된 LiNbO₃ 결정을 사용하였다.

광굴절률 현상시 donor의 전자들이 빛의 가장자리의 acceptor에 trap이 되므로 표면전하밀도 σ_s 가 형성이 된다. 따라서 공간전하장은 $E_{sc} = \sigma_s / \epsilon$ 으로 쓸수 있다. ϵ 는 dielectric permittivity tensor이다. 또한 diffusion의 영향이 없는 uniform한 광이 쪼여질 경우 공간전하장은 시간에 따른 함수로 쓸 수 있다².

$$E_{sc}(t) = E_{sat} [1 - \exp(-\frac{t}{T_0})] \quad (1)$$

$E_{sat} = pI/\sigma$; saturated space-charge field, $T_0 = \epsilon/\sigma$; dielectric relaxation time

p = photovoltaic coefficient, I = intensity, σ = conductivity

그림 1에서 보드시피 광굴절률 현상을 일으키기 위해서 Ar-ion laser($\lambda=514.5\text{nm}$)을 기록광으로 사용하였다. 이론 식(1)과 같은 조건을 만들기 위해서 beam-expander를 이용하여 빛살모양을 2.5배 크게 했다. 검출광으로는 diode-pumped cw Nd:YAG laser($\lambda=1064\text{nm}$)을 사용하였다. 실험방법은 먼저 광굴절률 현상전 SHG의 크기를 측정한다. 그리고 광굴절률 현상을 일으키기 위해서 일정한 기록광으로 일정시간동안 쪼인다. 그러면 내부에 생긴 전하장에 의해서 SHG 크기에 변화가 생긴다. 그리고 결정내부

에 생긴 전하장과 크기가 같고 방향이 반대인 전하장을 외부에서 걸어주면 전하장이 서로 상쇄가 생겨 SHG 크기가 원래의 상태로 되돌아 간다. 이로부터 외부전기장을 측정함으로써 결정내부에 생긴 전하장을 직접적으로 알 수 있다. 이런 방법으로 일정한 광세기로 매 5분마다 쯤인후 기록광을 막고 Nd:YAG의 fundamental beam에 의한 SHG 크기 변화로부터 공간전하장을 측정하였다. 그림 2는 이런 방법을 이용하여 두 가지의 기록광에 대해서 얻은 E_{sc} 이다. 그리고 식(1)로 fitting을 하여 Table 1.과 같은 변수들을 얻을 수 있었다.

결론적으로 본 실험방법은 SHG를 이용하여 광굴절률 현상에 따른 공간전하장을 직접적으로 측정할 수 있었다. 이 방법으로 $\lambda=514.5\text{nm}$ 에서 MgO가 0.65 mole% 첨가된 LiNbO_3 단결정의 photoconductivity 와 photovoltaic 상수를 알 수 있었다. 또한 이 방법은 위상정합이 되지않는 경우에도 SHG가 가능하므로(예, Marker fringes 실험의 SHG) 광범위하게 광굴절 결정에 적용할 수 있으리라 생각된다.

참고문헌

1. F. S. Chen, J. Appl. Phys. **40**, 3389 (1969).
2. R. Grousseau, M. Henry, S. Mallick and S. L. Xu, J. Appl. Phys. **54**, 3012 (1983).
3. K. Buse, S. Breer, K. Peithmann, S. Kapphan, M. Gao and E. Krätzig, Phys. Rev. **B55**, 1 (1997).

I (kW/m^2)	T_0 (sec)	E_{sat} (kV/cm)	σ ($10^{-12} \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$)	p ($10^{12} \text{A}/\text{W}$)
41	420 ± 10	2.4 ± 0.1	0.67 ± 0.1	3.9 ± 0.2
82	290 ± 10	3.1 ± 0.1	0.98 ± 0.1	3.7 ± 0.2

Table 1. Summary of the numerical values for $\text{LiNbO}_3:\text{MgO}(0.65\text{mole}\%)$ at two different intensities.

Fig. 1.

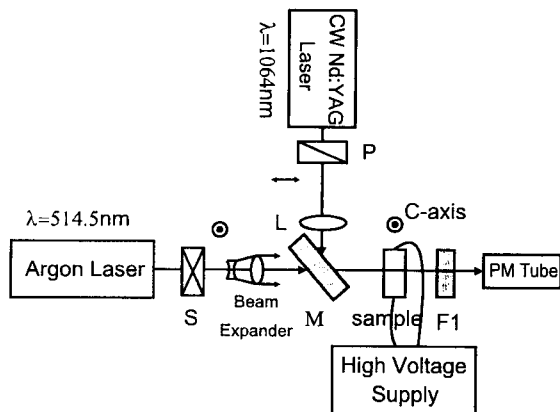


Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup for measuring space-charge field and its saturation dynamics. P:polarizer, L:lens($f=10\text{cm}$), S:shutter, M:dichroic mirror, F1:band-pass filter(transmittance 60% at 532nm and 0% at 1064nm).

Fig. 2.

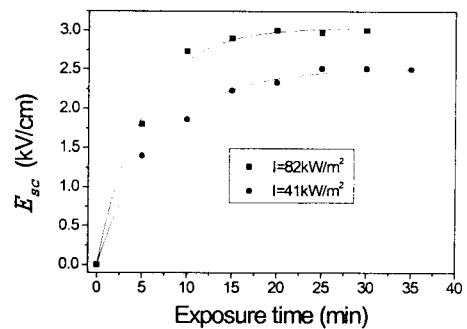


Fig. 2. Measured E versus exposure time of Ar-ion laser illumination at two different intensities(black circles and squares). The solid curves are the best theoretical fits to the corresponding data.