

Eosin을 첨가한 Boric-Acid Glass의 비선형 광학적 특성

유 연 석

청주대학교 물리공학과

(1991년 7월 15일 접수)

Eosin을 첨가한 boric acid 유리질 포화흡수체의 포화세기는 비교적 낮은 것으로(약 700 mW/cm^2) 측정되었고, 세기가 낮은 경우에서도 축퇴4광파혼합에 의해 광학적 위상공액파를 발생시킬 수 있었다. 파장이 488 nm 인 Ar-ion laser를 사용하여 이 매질에서 DFWM에 의한 위상공액파의 편광특성을 보였고, 위상공액 반사율의 빛의 세기와 파장에 대한 의존성을 측정하였다. 이 매질에서 비축퇴2광파혼합에 의한 에너지 교환은 두 광속의 주파수차가 약 100 Hz 정도인 경우에 최대가 되었다.

I. 서 론

매질의 비선형 광학적 특성은 일반적으로 고출력의 광파에 대한 매질의 반응을 다루게 된다. 매질의 비선형 광학적 특성은 기초적인 연구분야에서 뿐만 아니라 응용분야에서도 많은 관심을 갖게 된다. 광학적 쌍안정, 위상공액파 발생 등과 같은 비선형 효과는 순전한 광학적 신호 처리에 있어서 고속화, 광섬유기술에 의한 집적화, 대용량 병렬처리 등의 장점을 주게 된다. 이러한 장치들에서 요구되는 특성을 만족스럽게 수행하려면 낮은 세기의 광원에서도 빠른 비선형반응과 비선형계수가 큰 물질이 사용되어야 한다. 최근의 연구들에 의하면 고체 matrices에 유기색소를 첨가하여 만든 매질들 중에는 유기분자들의 포화흡수에 의하여 대단히 큰 비선형계수를 가지며, 여러가지의 응용이 가능함이 알려져 있다. [1-8] 이러한 매질들은 상온에서도 비교적 큰 비선형감수율(nonlinear susceptibility) $\chi^{(3)}$ 를 갖게 되는데 이런 매질에 빛이 조사되면 광학적 여기 후에 singlet 기저 상태인 전자분포가 singlet 여기상태에 이른 후에 보다 낮은 위치의 triplet 상태로 intersystem crossing을 하게 된다. 고체 matrix에 고정된 색소의 경우에는 triplet 상태를 quenching시키는 여러가지의 요인이 존재하지 않게 되어 가장 낮은 위치의 triplet 상태의 수명은 매우 길어지게 된다. 이러한 긴 수명은 빛이 조사되는 동안에 triplet 준위에 포획되는 분자가 많아지게 하고 결과적으로 포화흡수의 세기는 매우 낮아지게 된다.

본 연구에서는 eosin을 boric-acid glass에 첨가한 매질의 비선형 광학적 특성을 규명하기 위하여 포화세기 측정, 축퇴4광파혼합(degenerate four wave mixing; DFWM)에 의한 위상공액반사율의 편광특성 측정, 비축퇴2광파혼합^[9](non-degenerate two wave mixing; ND-TWM) 실험 등을 수행하였다.

II. 실험

Eosin을 첨가한 비선형 광학 매질을 제작하기 위해 $10^{-3} \sim 10^{-5} \text{ weight\%}$ 정도의 eosin을 boric acid와 혼합하여 약 240°C 정도에서 용융시켰다. 균일하게 혼합된 boric-acid glass 조각을 $140 \sim 160^\circ\text{C}$ 정도의 slide glass 사이에 넣고 압력을 가해 $50 \sim 100 \mu\text{m}$ 정도의 두께로 시료를 제작하였다. Eosin을 첨가한 boric acid glass의 triplet 상태 수명은 fluorescent decay로부터 측정하였다. 시료를 Ar-ion laser beam으로 조사하다가 mechanical chopper로 cutoff하여 fluorescence의 시간에 따른 변화를 photomultiplier tube(Hamamatsu, 1P28A)로 monitor한 후 digital memory oscilloscope와 chart recorder로 기록하였다. 이 매질의 포화특성은 선형 편광된 cw Ar-ion laser를 사용하여 측정하였다. 사용한 광원의 파장은 476.5 nm 이었고, 투과도는 입사 laser 광의 세기 함수로 측정하였다. 입사 및 투과된 빛의 세기는 power meter(Spectra Physics Model 404)를 사용하여 측정하였다. 축퇴4광파혼합(DFWM)에 의한 위상공액 반사율의 편광의존 특성을 측정하기 위하여 그림 1과 같은 방법을 사용하였다. 여기서는 일반적인 DFWM 방법에 quater-

*본 연구는 1989년도 한국과학재단연구비 지원에 의해서 연구되었음.

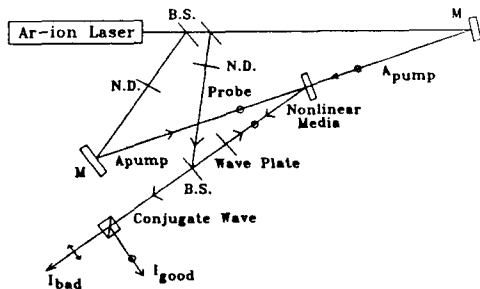


Fig. 1. Experimental arrangement used to study the polarization properties of DFWM.

wave plate(QWP)와 편광 beam splitter(PBS)를 추가하였다. QWP는 임의의 각 θ 로 방위지어질 수 있도록 하였다. QWP의 fast axis가 입력(탐사파, A_p)의 편광방향에 대하여 45° 가 될 때 시료 매질에 입사되는 탐사파는 원편광이 된다. 만일 이때의 DFWM이 완전한 vector phase conjugation(VPC)을 나타낸다면 QWP의 효과는 QWP를 두번 통과한 셈이 되어 소거될 것이고, 발생된 위상공액파의 편광은 초기의 편광방향과 같게 될 것이다. 이때 발생된 위상공액파는 편광 beamsplitter(PBS)를 사용하여 VPC 성분(I_g)과 그에 수직되는 (I_b) 성분으로 나누어 그 세기를 측정하였다. 또한 위상 공액 반사율의 spectrum 의존 특성을 측정하기 위하여 Ar-ion laser의 파장을 457 nm, 496.5 nm, 501 nm, 514.5 nm로 변화시켜가며 반복 측정하였다. 이 경우들에서 두 pump beam의 세기는 거의 같게 하였고 탐사광(probe beam)의 세기는 펌프광의 세기의 8% 정도로 유지하였다. ND-TWM(Non Degenerate Two Wave Mixing)의 경우에는 PZT($3 \mu\text{m}/1 \text{ kv}$, Spindler and Hoyer)에 대칭적 3각파형의 신호를 입력하여 반사된 광파의 진동수를 0~300 Hz까지 변화시켰다. Probe beam의 세기변화를 digital memory oscilloscope에서 두 광속 사이의 진동수 차의 함수로 측정하였다.

III. 결과 및 토의

그림 2는 eosin을 첨가한 boric-acid glass 매질의 singlet-singlet 흡수 스펙트럼을 보여준다. 흡수 spectrum의 line center는 약 453 nm 위치이다. 매질의 비선형성의 반응시간은 triplet 준위의 population이 다른 에너지 준위보다 비교적 길게 유지되는 수명시간에 주로 의존하게 된다. 이러한 준 안정적인 triplet 준위가 있어 trap level과 같은 역할을 할 경우 2준위계처럼 취급되어질 수

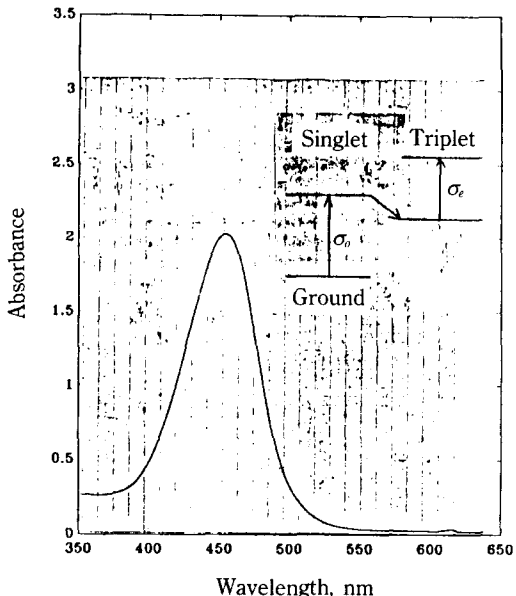


Fig. 2. The room-temperature absorption is measured as a function of wavelength. Inset, Energy-level diagram showing the relevant optical interactions in eosin-doped boric acid glass.

있으며 이러한 매질의 비선형반응은 simple two-level system보다 더 강해질 것으로 예상된다. 전형적인 포화 흡수체의 광학적 위상공액 반사율은 입력 pump파의 세기가 포화세기 정도인 경우에 line center 진동수에서 수 percent order에 이를 수 있다. 이러한 포화흡수체에서 포화세기는 $I_s = h\nu / (\sigma_e t)$ 로 주어진다. 여기서 σ_0 는 ground 상태 흡수 단면적, t 는 매질의 반응시간이고 ν 는 singlet exciting 상태로의 excitation frequency이다. 선형 편광된 입사 laser 광의 세기 함수로써 측정된 투과도가 그림 3에 있다. 그림에서 실선은 triplet 상태의 흡수를 포함한 다음의 세기 I 에 대한 미분 방정식을 적분하여 구한 투과도이다. $dI/dZ = -(\alpha + \alpha_e)I$ 여기서 α 는 singlet 상태흡수계수이고, α_e 는 triplet 상태흡수계수이다. $\alpha_e/\alpha = 1.8$, $\alpha_e/\alpha = 1.0$ 로 둘 때, 이 매질의 포화세기는 0.7 w/cm^2 인 것으로 측정되었다.^[10] 이 값은 fluorescein이 첨가된 boric acid glass^[10]의 약 15 mw/cm^2 보다는 더 크나 Silberberg^[11] 등이 측정된 gelatin에 첨가한 erythrosin B의 1.8 w/cm^2 보다는 작은 값으로 비교된다. 흡수 spectrum의 형태가 Lorentzian이라 가정하고 이 실험의 결과로부터 이 매질의 3차 비선형 susceptibility를 $\chi^{(3)} = n_0^2 \epsilon^2 \alpha_e / 24\pi^2 \omega I_s (\delta - i)$ 로부터 구했다. 여기서 n_0 는 비포화시 굴절률, δ 는 규격화된 크기로서 흡수 spectrum의 line cen-

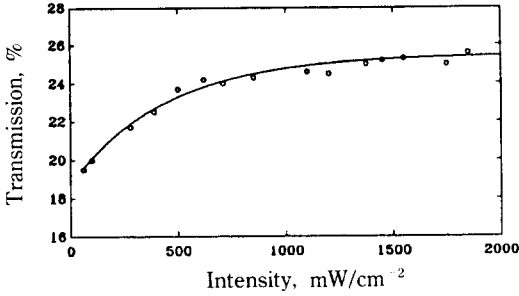


Fig. 3. Transmission of eosin-doped boric acid glass as a function of laser intensity for a laser wavelength 476.5 nm.

ter 진동수 w_0 와 laser의 진동수 w 의 차와 dipole dephasing time T_2 의 곱이다. $\alpha_0 = 180 \text{ cm}^{-1}$, $I_s = 0.7 \text{ w/cm}^2$, $\delta = 1$ 로 주어질 때 $\chi^{(3)} = 0.05(1-i) \text{ esu}$ 로 구해졌다.

Fluorescence 신호의 시간에 따른 변화를 그림 4에 반대수 scale로 그렸다. 이 매질의 경우 fluorescent가 비지수 함수적으로 감쇠됨을 알 수 있고 감쇠시간은 근사적으로 1.2 msec에서 3.2 msec 사이에서 변화했다. 이 결과는 eosin을 gelatin에 첨가한 경우의 지수 함수적 감쇠와 비교된다.^[12] 이 결과로 볼 때 triplet 상태의 수명은 약 1.2 msec에서 3.2 msec 사이임을 알 수 있다. 고체 매질에 첨가된 유기 분자들을 포화흡수에 의해 비선형 광학적 특성이 세기가 낮은 광파에서도 쉽게 나타난다. 고체 매질에 고정된 분자들은 자유롭게 회전할 수 있는 분자들이나 원자들에서처럼 등방적 흡수를 하지 못한다. 따라서 고체 매질에 고정된 임의 방향을 갖는 비등방적 흡수 분자들은 입사광의 편광상태에 따라 포화흡수의 정도가 달라진다.^[10,13] 축퇴4광파혼합(DFWM)에서의 vector phase conjugation(VPC) 특성은 여러 경우에서 보고된 바 있다. 즉, 펌프파의 임의의 편광에 대한 VPC,^[14] CuCl을 매질로 하여 biexcitonic resonance에 의해 증강된 DFWM에서의 VPC,^[15] 펌프파의 특별한 편광방향과 전파 벡터 방향이 요구되는 VPC,^[16] 2광자공명 DFWM에 의한 VPC^[17] 등이 연구된 바 있다. Tompkin^[18] 등은 색소분자는 입사된 field 중에서 그 자신의 chromophore 방향을 따라서 편광된 성분만 흡수한다고 가정하고, 분자 천이 쌍극자 모멘트를 $\pi = \mu \hat{u}$ 으로 두었다. 여기서 \hat{u} 은 chromophore의 방향을 기술하는 단위 vector이다. DFWM에 의한 위상 공액파의 vector적 특성을 구하기 위해 편광 단위 vector들을 써서 공액파를 유발하는 비선형 편광의 진폭 P_c 대한 polarization-conjugating과 non-polarization-conjugating의 기여

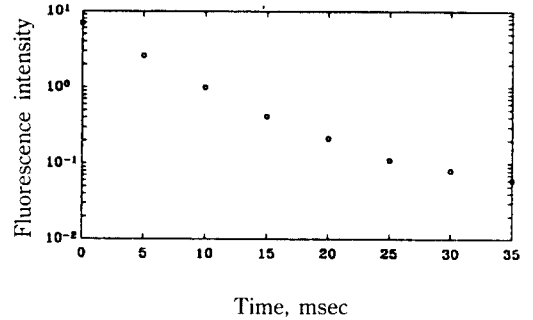


Fig. 4. The measured decay of fluorescence as a function of time. The decay is nonexponential.

를 구분하였다. 탐사파의 편광의 복소 공액방향의 단위 벡터를 \hat{e}_g (즉, $\hat{e}_g = \mathbf{E}_g^* / |\mathbf{E}_g|$)이라 하고 \hat{e}_g 에 수직인 vector($\hat{e}_b \cdot \hat{e}_g = 0$)를 \hat{e}_b 라 정의하면 nonlinear polarization은 다음으로 쓸 수 있다. $P_c = P_g \hat{e}_g + P_b \hat{e}_b$

$$\text{여기서, } P_{gb} = \frac{-K}{|E_s|^4} \int d\Omega \frac{(\hat{u} \cdot \hat{e}_{gb}^*)(\hat{u} \cdot \mathbf{E}_0)^2 (\hat{u} \cdot \mathbf{E}_p^*)}{(1 + |\hat{u} \cdot \mathbf{E}_0| + |\mathbf{E}_s|^2)^2}$$

이다. P_g 는 polarization conjugation을 유발하는 비선형 편광으로 P_g 의 “good” 부분이고 P_b 는 위상공액파 중에서 바르지 못한 편광 성분이 발생되도록 이끄는 부분으로 “bad” part이다. 매질의 흡수를 무시하고 conjugate field를 C 라 하고 P_c 에 대한 phase-matched 기여를 P_c^{pm} 이라 할 때 $dC/dz = 2mkP_c^{pm}$ 으로 쓸 수 있다. $P_c^{pm} = P_g^{pm} \hat{e}_g + P_b^{pm} \hat{e}_b$ 로 쓸 수 있으므로 이 식은 scalar 방정식으로 쓸 수 있고 매질의 두께를 l 이라 할 때 경계조건으로부터 $C_g(0) = -i\kappa_g^* A_p^*$, $C_b(0) = -i\kappa_b^* A_p^*$ 으로 쓸 수 있다. 여기서 $\kappa_g^* = 2\pi k(P_g/A_p^*)$, $\kappa_b^* = 2\pi k(P_b/A_p^*)$ 이다. 따라서 완전한 VPC는 $I_b = |C_b(0)|^2 = 0$ 이고 $I_g = |C_g(0)|^2 \neq 0$ 인 경우이다. Probe beam이 right-hand circular polarized되었다면 위상공액 반사율들 $R_{gb} = I_{gb}/|A_p|^2$ 은 conjugate 파중에서 right-hand(good)과 left-hand circular(bad) 편광성분들의 세기로부터 구해진다. pump beam들과 평행한 편광방향을 갖는 선형 편광 탐사 beam은 fast axis를 입력편광 방향에 대해 45°의 각을 갖도록 방향 지위준 QWP를 통과함으로써 비선형 매질에서는 원형 편광된 상태로 입력된다. conjugate-beam을 QWP를 다시 통과하게 되어 QWP의 효과는 소거된다. conjugate-beam을 프리즘 편광자를 사용하여 원래의 편광방향에 평행한 beam(I_g) 성분과 수직인 성분(I_b) 방향으로 분해하여 각각의 세기를 측정하였다. 이 결과를 그림 5에 보여준다. 그림의 (a)는 QWP의 fast axis를

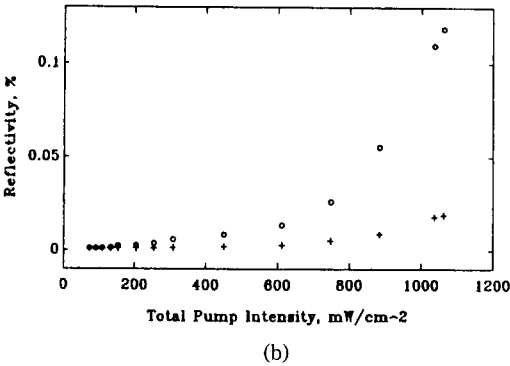
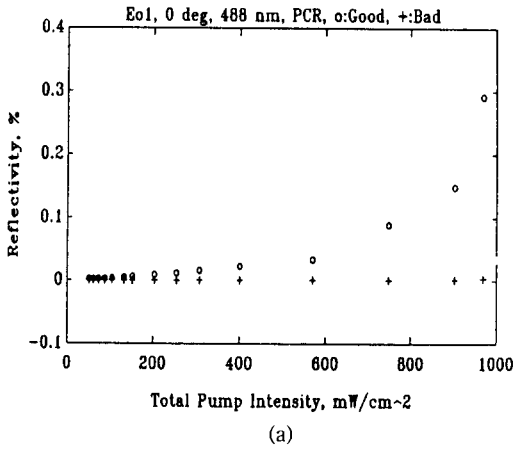


Fig. 5. Reflectivity of the polarization components parallel (○) and perpendicular (*) to the initial probe-beam (pump-beam) polarization direction as function of the total pump intensity. (a) QWP fast axis is parallel to the initial probe-beam polarization direction (b) 45°.

초기의 probe-beam과 평행하게 놓은 경우고 (b)는 45°로 놓은 경우이다. 그림 6의 (a)와 (b)는 $I_g(\circ)$ 와 $I_b(*)$ 편광성분의 세기를 QWP 방위각의 함수로 측정된 결과로써 여기서 (a)는 입력 펌프파의 세기가 낮은 경우로써 포화세기의 10% 정도인 세기가 낮은 경우이고 (b)는 입력 pump파의 세기가 포화세기의 정도인 세기가 큰 경우에서의 측정 결과이다. 이 결과로 볼 때 low power에서 보다는 high power에서 보다 더 정확한 VPC가 나타남을 알 수 있다. 그림 7은 Argon ion laser의 여러 파장들에서 측정된 위상공액 반사율의 파장 의존성을 보여준다. 각각의 경우들에서 pump beam들과 probe beam의 세기 비는 일정하게 두었으며, 빛의 세기는 conjugate (beam) 파가 발생되어 측정 가능한 범위내의 최소 세기값을 기준으로 하여 다른 파장들에서도 동일한 세

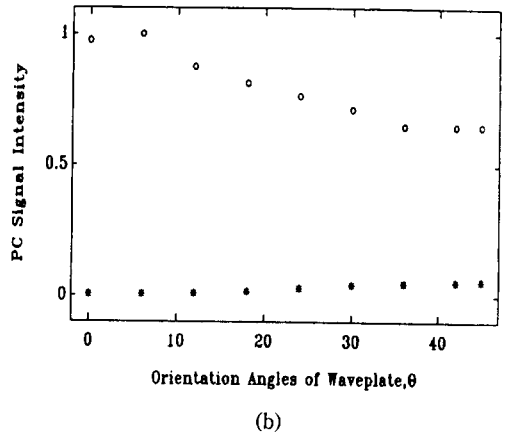
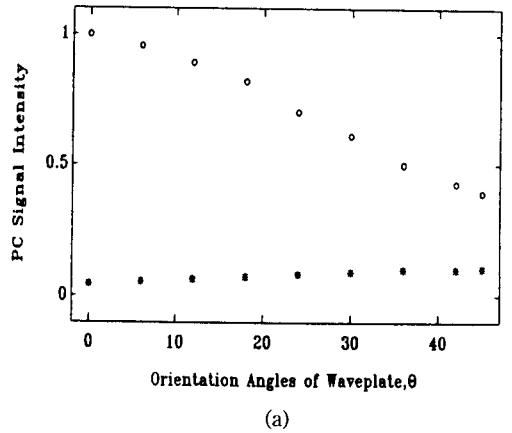


Fig. 6. Intensity of each polarization phase conjugate component as a function of the orientation of QWP (a) for low pump intensities (b) for high pump intensities, $\circ = I_g$, $* = I_b$.

기가 입력되도록 했다. 측정된 반사율을 볼 때 파장이 매질의 흡수 spectrum의 line center에 가까운 빛의 경우에서 반사율이 최소가 되고 line center에서 멀어질 때 반사율이 증가되었다가 다시 감소되었다. 이는 공명(흡수)매질에서 line center에서 멀어질 때 반사율이 증가되었다가 다시 감소되었다. 이는 공명(흡수)매질에서 진폭형 격자와 위상형 격자의 기여에 의한 반사율의 M형 이론으로 해석된다.^[19,20] 진폭형격자의 반사율에 대한 기여는 흡수 spectrum의 형태에 따라 (흡수손실)에 따라 달라지고 위상형 격자에 의한 반사율에 대한 기여는 최소 위치에서 반사율이 zero인 주파수 의존 M형 형태가 된다. 최소 위치에서 반사율이 zero가 되지 않는 것은 진폭형 격자의 기여에 의한 것으로 알려져 있다. 그러나 움직이는 과도형 격자가 아닌 경우에는 반사율이 주파

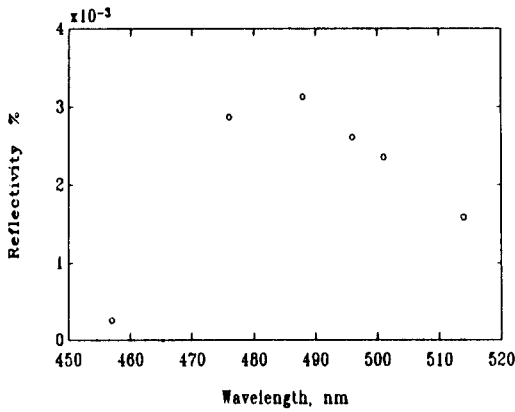


Fig. 7. The spectral dependence of phase conjugate reflectivity.

수의존 M형이 되는 것은 주로 진폭형 격자의 기여에 의한 것으로 생각되어진다.

매질의 반응시간과 3차 비선형 감수율 $\chi^{(3)}$ 을 측정하기 위하여 2광파 혼합 실험을 했다. 2광파 혼합은 매질내에서 교차된 2광속 사이의 에너지 전달을 뜻한다. 만일 간섭하는 두 광속이 약간 다른 진동수들을 갖는다면 간섭무늬는 정지 매질에 대해서 움직이게 될 것이고 매질의 반응시간으로 인해 격자무늬는 간섭무늬와 같은 위상으로 shift 될 것이다. 포화흡수와 분산, 빛의 세기에 따라 변하는 굴절률, 흡수효과 등을 포함하기 위해 굴절률을 복소량으로 쓰면 $n = n_0 + n_2 I = n' + in'' + (n_2' - in_2'')I$ 이다. 여기서 n_2 는 비선형 굴절률, n_0 은 선형 굴절률로써 $n_2 = 3\pi\chi^{(3)}/n_0$ 로 주어진다. Kramer 등은 probe beam의 방향(Z)을 따라 매질을 지나는 진동수 w_1 인 probe beam I_1 과 진동수 w_2 인 pump beam I_2 사이에서 비선형 굴절률 영향에 의한 probe beam I_1 의 세기변화를

$$\frac{dI_1}{dZ} = -\alpha I_1 + \frac{4\pi}{n_c} kn_2''(I_1 + I_2)I_1 + \frac{4\pi}{n_c} kn_2' \frac{I_1 I_2}{1 + \Delta^2} + \frac{4\pi}{n_c} kn_2' \frac{\Delta}{1 + \Delta^2} I_1 I_2$$

로 구했다. 여기서 k 는 전파상수, α 는 선형흡수계수, $\Delta = (w_2 - w_1)\tau$ 고 τ 매질의 반응시간이다. 위 식 우변의 처음 세항을 흡수에 기여하는 항으로 볼 때 마지막 항만이 2광파 혼합에 의한 에너지 전달에 기여함을 알 수 있고 I_2 가 일정하다 가정하면 두계 1인 매질에서 $\Delta=1$ 일 때 최대 probe 세기변화 $\Delta I_1 = (2\pi/n_c)(kn_2' I_2 I_1')$ 가 된다.

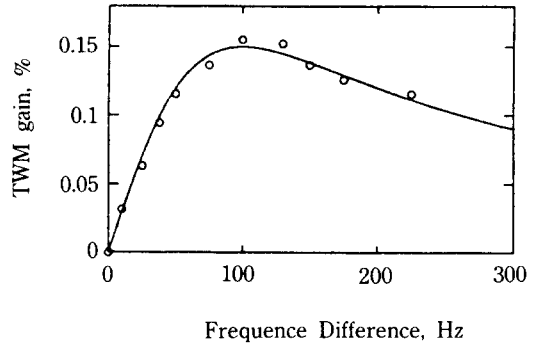


Fig. 8. Measurement of the nondegenerate two-wave mixing gain as a function of the frequency difference between the pump and probe beams.

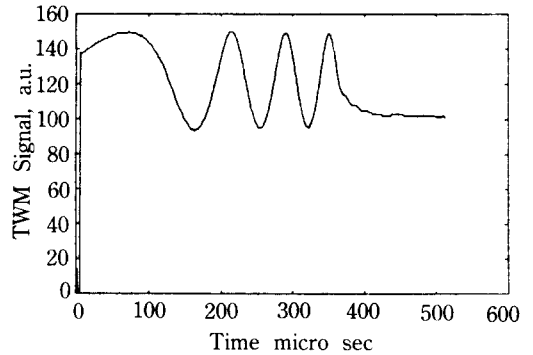


Fig. 9. Transient two wave mixing signal.

여기서 I_1' 는 매질을 투과한 I_1 의 세기이다.^[21] 파장이 488 nm인 Ar-ion laser를 사용하여 측정된 결과가 그림 8에 있다. 비선형 굴절률은 $\lambda=488$ nm, $\delta=1$, $l=0.01$ cm, $n_0=1.77$, $\Delta I_1/I_1'=0.15\%$, $I_2=30$ mw/cm² 등으로 둘 때 $n_2=0.027-0.027i$ 로 계산되었다. 이 값으로부터 $\chi^{(3)}=0.005-0.005i$ esu로 계산되었다. 여기서 δ 값은 $45^\circ \pm 10^\circ$ 로 측정된 그림 9의 초기 위상값을 사용하여 구했다. 그림 9는 파장이 488 nm인 Ar-ion laser를 사용하여 과도 2광파 혼합방법에 의해 측정된 탐사광의 세기변화로써 비선형 매질에 기록된 위상형 격자와 흡수형 격자 사이의 초기 위상관계를 나타내고 있다. 측정된 위상각 ϕ 로부터 n_2''/n_2' 의 관계를 알 수 있다.

IV. 결 론

Eosin을 boric acid에 첨가하여 만든 시료를 매질로 하여 측퇴4광파혼합에 의해 발생시킨 위상공액파의 편

광특성을 측정된 결과 이 매질은 비교적 낮은 세기의 광원을 사용해도 위상공액파를 발생시킬 수 있었고 세기가 강한 경우의 VPC 특성이 세기가 낮은 경우보다 향상됨을 알 수 있었다. 이 결과와 함께 이 매질은 측정범위내에서 최대반사율이 약 0.3%에 이르고 있어서 편광 switching에 의한 광학적 논리회로 소자^[20] 이용될 수 있으리라고 생각한다. 또한 fluorescein을 첨가한 boric glass의 경우와 비교할 때 포화세기는 비교적 큰 값을 가졌으나 매질의 반응시간은 fluorescein이 0.1 sec 정도이었던 것에 반해 수 mes 정도의 값을 가져 보다 더 빠른 속도의 신호처리가 가능할 것으로 생각된다. 과도2광과 혼합실험의 결과 흡수형 격자와 위상형 격자의 위상관계로부터 비선형 굴절률의 실수부와 허수부의 비를 구할 수 있었고 2광과 혼합에 의해 측정된 $\chi^{(3)}$ 값은 포화세기로부터 구한 $\chi^{(3)}$ 와 근사적으로 일치되었다. 위상 공액파의 반사율에 비하여 정상상태의 비축퇴2광파혼합에서 두 광속 사이의 에너지전달 비율이(최대 0.15%) 작게 측정되었는데 이로부터 과도형 격자가 아닌 정상상태 격자에서의 회절이 주로 흡수형 격자에 의해 나타남을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] T. A. Shankoff, Appl. Opt. Vol. 8, 2282 (1969).
- [2] T. Todorov, L. Nikolova, N. Tomova and V. Dragostina, Opt. Quan. Elec. Vol. 13, 209 (1981).
- [3] Y. Silberberg and I. Bar-Joseph, IEEE J. Quan. Elec. Vol. QE-17, 1967 (1981).
- [4] M. A. Kramer, W. R. Tompkin, R. W. Boyd and J. Lumin, Vol. 31/32, 789 (1984).
- [5] H. Fugiwara and K. Nakagawa, J. Opt. Soc. Am. Vol. B4, 121 (1987).
- [6] S. A. Boothroyd, J. Chrostowski and M. S. O'sullivan, J. Opt. Soc. Am. Vol. B6, 766 (1989).
- [7] G. R. Kumar, B. P. Singh, K. D. Rao and K. K. Sharma, Opt. Lett. Vol. 15, 245 (1990).
- [8] K. R. Mac Donald, W. R. Tompkin and R. W. Boyd, Opt. Lett. Vol. 13, 485 (1988).
- [9] I. McMichael, P. Yeh and P. Beckwith, Opt. Lett. Vol. 13, 500 (1988).
- [10] M. A. Kramer, W. R. Tompkin and R. W. Boyd, Phys. Rev. Vol. A34, 3025 (1986).
- [11] Y. Silberberg and I. Bar-Joseph, Optics Comm. Vol. 39, 265 (1981).
- [12] K. P. B. Moosad, T. M. Abdul rasheed and V. P. N. Nampoori, Optical Eng. Vol. 29, 47 (1990).
- [13] M. Motecche, M. Settembre and M. Romagnoli, J. Opt. Soc. Am. Vol. B5, 2357 (1988).
- [14] M. Ducloy and D. Bloch, Phys. Rev. Vol. A30, 3107 (1984).
- [15] L. L. Chase, M. L. Claude, D. Hulin and A. Mysyrowicz, Phys. Rev. Vol. A28, 3696 (1983).
- [16] G. Martin, L. L. Lam and R. W. Hellwarth, Opt. Lett. Vol. 5, 185 (1980).
- [17] M. S. Malcuit, D. J. Gauthier and R. W. Boyd, Opt. Lett. Vol. 13, 663 (1988).
- [18] W. R. Tompkin, M. S. Malcuit and R. W. Boyd, J. Opt. Soc. Am. B Vol. 6, 757 (1989).
- [19] K. Nelson, R. Casalegno, R. J. D. Miller and M. D. Fayer, J. Chem. Phys. Vol. 17, 1144 (1982).
- [20] G. R. Kumar, B. P. Singh and K. K. Sharma, Opt. Comm. Vol. 73, 81 (1989).
- [21] W. R. Tompkin, R. W. Boyd, D. W. Hall and P. A. Tick, J. Opt. Soc. Am. Vol. B4, 1030 (1987).

Nonlinear Optical Properties of Eosin-Doped Boric Acid Glass

Yeon-Serk Yu

Department of Physics and Optical Engineering, Chongju University

(Received: July 15, 1991)

Eosin-doped boric acid glass saturable absorber has a relatively low saturation intensity (≈ 700 mV/cm²) and low power optical phase conjugation is achieved by the degenerate four-wave mixing (DFWM) experiments. Polarization properties of optical phase conjugation by DFWM have been demonstrated in this materials using a cw argon ion laser at wavelength 488 nm. The dependence of the phase conjugated reflectivity on the intensity and wavelength of the pump beam is examined. The magnitude of the energy exchange by the nondegenerate two-wave mixing (NDTWM) is maximized by frequency difference between the two beams of $\phi \approx 100$ Hz.