

KH₂PO₄ (KDP) 결정을 이용한 Nd:YAG 레이저의 제2고조파 변환
 -Second Harmonic Conversion of Nd:YAG Laser using KH₂PO₄ (KDP)-

장 용 무*	한 양 대
강 형 부	전 기 과

CHANG YONG MOO*	HAN YANG UNIV.
KANG HYUNG BOO	Dept. Elec. Eng.

1. 서 론

최근 레이저 핵융합, X-선 lithography, 레이저에 의한 동위체 분리, 의학 등의 많은 분야에 대출력 단파장광이 필요케 되어 단파장의 대출력 레이저에 대한 연구가 활발하다. 특히 레이저에 의한 관성 밀폐 핵융합 (inertial confinement fusion) 연구에 있어서 단파장의 경우에서 레이저광과 연료 pellet 간의 에너지 흡수율이 증가되고 에너지 결합이 향상된다는 것이 실증된 후¹⁾ Excimer 레이저, 자유전자레이저(FEL) 등의 단파장 레이저 시스템이 개발되어 있으나 이들의 대출력화는 아직 미흡하다. 그러므로 대출력의 단파장 레이저 펄스를 얻기 위해서는 Franken²⁾ 이후 급속한 발전을 한 비선형 광학소자에 의한 고조파 변환에 의해서 단파장광을 얻는 것이 가장 유리하다.

본 연구에서는 1.064 μm의 레이저 펄스에 대한 고조파 변환장치를 위한 수치해석 프로그램을 개발하여 입사레이저 펄스강도에 따른 제2고조파 변환 효율 및 위상 부정합에서의 변환효율 감소의 정

도를 구했으며, 펄스강도 및 rising time 에 의한 변환효율의 변화등을 알아보았다.

2. 제2고조파 변환 방정식

Armstrong³⁾ 등에 의해 제시된 고조파 변환방정식은 TYPE-II KDP의 제2고조파 변환에 대해서는 아래 식으로 주어진다⁴⁾

$$\frac{dE_1}{dz} = -\frac{1}{2}\gamma_1 E_1 - iKE_3 E_2^* \exp(-i\Delta kz) \quad (1)$$

$$\frac{dE_2}{dz} = -\frac{1}{2}\gamma_2 E_2 - iKE_3 E_1^* \exp(-i\Delta kz) \quad (2)$$

$$\frac{dE_3}{dz} = -\frac{1}{2}\gamma_3 E_3 - i2KE_1 E_2 \exp(i\Delta kz) \quad (3)$$

여기서 E_j는 z 방향으로 진행하는 복소전계 Vector로서 계산의 간편화를 위해 E_j = n_j E_j^{*} (단, E_j^{*}는 복소전계벡터, n_j는 j파의 굴절률)로 수정하였다. 첨자 j (j=1, 2, 3)는 각각, 기본파 상광선, 및 제2고조파 상광선을 나타내었다. 또 γ_j는 비선형 매질의 흡수계수이다. Δk = k₃ - (k₁ + k₂)는 파수의 부정합을 나타내므로 위상점합각과 진행파의 방향이 이루는

부정합각 $\Delta\theta$ 에 비례한다. K 는 식(4)로 주어진다.

$$K = \frac{w}{2c} \cdot \frac{1}{\sqrt{n_1 n_2 n_3}} \cdot \frac{d_{eff}}{\epsilon_0} \quad (4)$$

또, d_{eff} 는 TYPE-II KDP 결정에서 식(5)로 주어진다.

$$d_{eff} = d_{36} \cos 2\phi \cdot \sin 2\theta_m \quad (5)$$

(θ_m : phase matching angle)

3. 수치해석결과 및 고찰

TYPE-II KDP 결정에 대한 제2고조파 변환방정식 식(1) 식(3)을 Runge-Kutta 법에 의해 수치해석하였다.

입력레이저 펄스는 선형편광되고 시간 t 에 대해 Gauss 형이며, 공간강도분포는 일정하다고 가정한 식(6)로 하였다.⁵⁾

$$I(t) = I_{peak} \exp(-t^2 / T^2) \quad (6)$$

(T : Gaussian pulse width)

또, 흡수계수 γ_j 는 $\gamma_o^w = 0.058 \text{ cm}^{-1}$, $\gamma_e^w = 0.020 \text{ cm}^{-1}$, $\gamma_e^{2w} = 0.0 \text{ cm}^{-1}$ 로 하였다.⁶⁾ 기본파 펄스의 파장

$\lambda = 1.064 \mu\text{m}$ 에 대해 TYPE-II KDP 결정의 위상정합각

$\theta_m = 1.0284$ [rad]이며, K 는 $K = 1.128 \times 10^{-6} / V$

(단 $d_{36} = 6.9 \times 10^{-24}$ [As/V²])이다.

그림2는 TYPE-II KDP 결정의 두께를 $L = 2.15 \text{ cm}$ 로 변화시켰을 때의 입사레이저 펄스의 제2고조파 변환 효율을 나타내었다. 횡축은 펄스의 최대강도를 표시한 것으로서 두께가 13cm 일때 최고 71%의 변환효율을 얻었다.

입사광의 편광각 θ_p 를 $\theta_p = 45^\circ \sim 41^\circ$ 로 변화시켰을 때 최적위상 정합이 된 TYPE-II KDP 결정의 제2고조파 변환효율은 그림3에 나타내었다. $\theta_p = 45^\circ$ 일때 ordinary photon 과 extraordinary photon의 비가 1:1을 이루어 최대효율을 얻을 수 있다.

그림4. 및 그림5에서 보는바와 같이 변환효율은 위상정합에 매우 민감하여 이랄각 $\Delta\theta$ 에 의한 변환

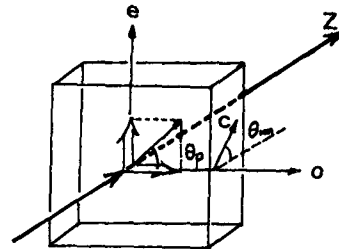
효율은 입사펄스의 강도가 클수록 더욱 크게 감소된다.

또 TYPE-II 는 TYPE-I 보다 비선형 광학계수가 4/3 배정도 크며 위상 정합을 위한 허용각도의 범위가 넓고, 소자제작을 위한 bulk 결정의 크기가 작아도 되는 이점 때문에 대부분의 변환시스템에서 TYPE-II 형을 채택하고 있다.

입사레이저 펄스폭 1nsec, 최대강도 50 MW/cm^2 인 Gauss 형 펄스가 제2고조파 변환된 펄스파형을 그림6에 나타내었다. 펄스의 상승시간 및 최대강도가 각각 짧고 클때 변환된 제2고조파 펄스의 파형은 입사 펄스에 가깝게 되어, 결과적으로 에너지 변환효율이 높아지게 된다.

4. Reference

- 1) H. Nishimura et. al., Phys. Rev., A23, p2001, 1981.
- 2) P. A. Franken et. al., Phys. Rev. Lett., 7, p118, 1961.
- 3) J.A. Armstrong et. al., Phys.Rev., 127, p1918, 1962.
- 4) R. S. Craxton, IEEE J. Quantum Electron., QE-17, p1771, 1981.
- 5) Rep. UCRL-50021-76, 1977.
- 6) Rep. UCRL-50021-79, 1980.



KDP Type II

Fig. 1. Schematic diagram of TYPE-II second harmonic conversion

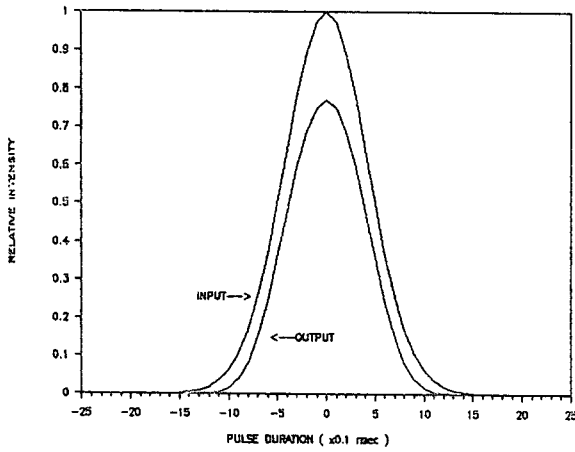
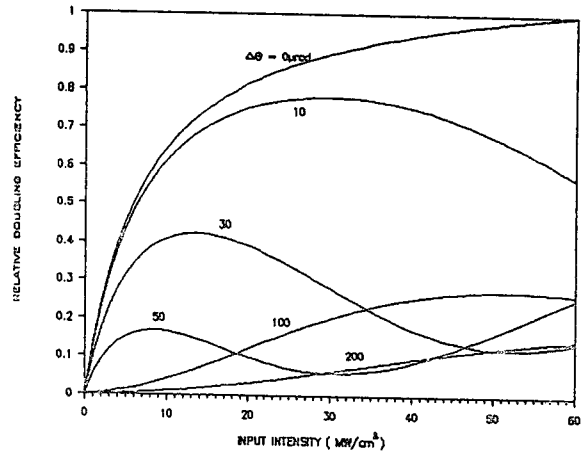
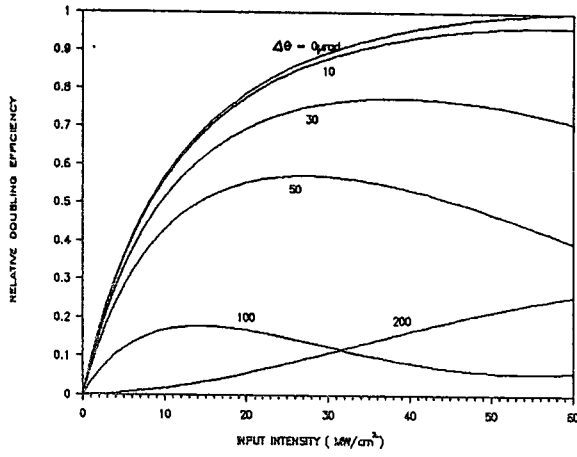
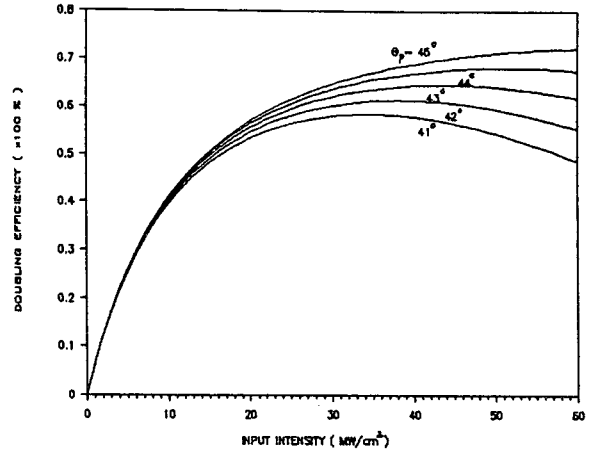
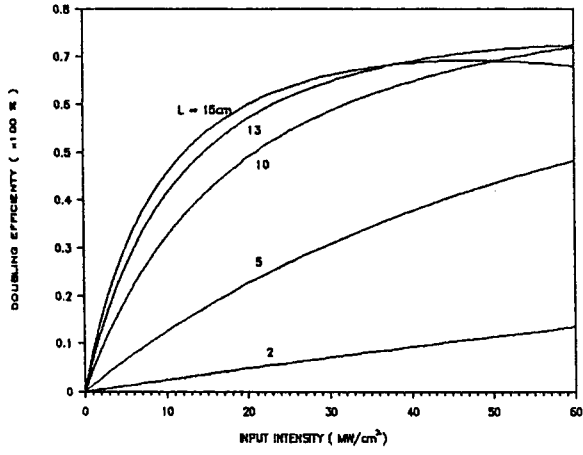


Fig. 2. Fig. 3.
 Fig. 4. Fig. 5.
 Fig. 6.