

의료용 고출력 레이저에서 Q-스위칭

조창호 · 박종대

배재대학교 전산전자물리학과 (우) 302-735 대전시 서구 도마동 439-6

cho51111@pcu.ac.kr, jdpark@pcu.ac.kr

김운일, 조길환, 윤현식

원테크놀로지(주) (우)305-500 대전시 유성구 용산동 테크노밸리 538

Q-switching in Medical High Power Laser

Chang-Ho Cho and Jong-Dae Park

Pai Chai University

Woon-Il Kim, Kil Hwan Cho and Hyun-sik Yun

Won Technology Co.

요 약

의료용 고출력 단일 레이저 펄스를 만들기 위한 전기광학적인 Q-스위칭 방법은 밀도 반전과 Q-스위칭 시간과의 관계에 영향을 받는다. Q-스위칭으로서 $LiNbO_3$ 결정을 사용할 때 발생하는 난점을 해결하기 위하여 각 결정에 대한 인가 전압에 대한 편광실험이 필요하다.

ABSTRACT

The electro-optic Q-switching device for medical high power laser depends on the relation between the population inversion and the Q-switching time. The polarization changes in applied voltage must be experimented to use each $LiNbO_3$ crystal for Q-switching in high power laser.

Keywords: electro-optic Q-switching device, medical laser, $LiNbO_3$ crystal.

Corresponding Author : Chang-Ho Cho, Dept. of Physics Pai Chai University, Daejeon, Korea, 302-735,
Tel : +82-42-520-5372, E-mail : cho51111@pcu.ac.kr

I. 서 론

의료용으로 사용하기 위하여 강력한 출력의 레이저 펄스 발생장치는 필수적이다. 그러므로 강력한 레이저 펄스를 얻기 위한 효율적인 발생장치의 설계 및 열개는 계속 연구되고 개발되고 있다[1].

레이저 발생 매질에 펌핑에 의하여 여기상태가 문지방 수준보다 훨씬 높은 수준에 도달할 때까지 셔터에 의하여 막혀서 기저상태로의 유도방출이 지연되도록 하였다가 갑자기 그 셔터를 열어주면 강력한 단일 펄스를 얻을 수 있다. 이러한 셔터에 해당하는 Q-스위칭 방법이 연구되어 왔으며 그 종류로는 다음과 같다. (1)회전거울 혹은 회전프리즘 Q-스위칭 (2)포켈셀(Pockels cell) 혹은 커셀(Kerr cell) Q-스위칭[2] (3)음향-광학적 Q-스위칭 [3] (4)염료 Q-스위칭[4] 등이다.

Q-스위칭 종류 중에서도 특히 정확한 펄스 타이밍과 강력한 펄스를 발생시키기 위하여 포켈셀 Q-스위칭 방법이 널리 사용된다. 포켈셀 효과를 나타내는 물질로는 강유전체인 $LiNbO_3$ 와 KDP 가 대표적이다. 특히 $LiNbO_3$ 는 물에 용해되지 않고 온도특성이 매우 좋으며, 투과 파장 범위가 넓고, 투과도도 클뿐만 아니라 취급이 간편하여 각종 레이저 장비에 응용이 많이 된다[5].

본 실험은 $LiNbO_3$ 결정을 이용하여 Q-스위칭을 수행하였다. $LiNbO_3$ 크기는 $9 \times 9 \times 25mm$ 이며, 발진시키는 파장이 $1.064\mu m$ 인 Nd:YAG 레이저를 사용하였으며 몇 종류 다른 제품을 구입하여 실험을 수행하고 결과를 비교하였다.

II. $LiNbO_3$ 결정의 특성조사

본 실험을 위하여 $LiNbO_3$ 의 비선형 굴절률을 표 1과 같이 측정하였다. 굴절률을 측정한 실내온도는 $21^\circ C$ 였다.

표 1. $LiNbO_3$ 단결정의 각 축에 대한 굴절률

	blue 파장	green 파장	red 파장
X 축 굴절률	2.35257	2.31481	2.28219
Y 축 굴절률	2.26802	2.23530	2.20698

$LiNbO_3$ 결정을 Q-스위칭에 사용하기 위하여 우선 입력 전압에 대한 굴절률 변화를 측정하여야 한다. 비선형 굴절률 변화 관찰하기 위하여 편광특성을 조사하였다. 편광 특성을 조사하기 위한 실험장치는 그림1과 같다. $LiNbO_3$ 를 부르티각으로 절단하고 양 쪽에 편광자를 놓아 둔다. $\lambda/2$ 볼트를 인가하면 검출기에는 레이저가 투과하지 않게 된다. 오실로스코프를 연결하여 파형과 인가 볼트를 측정하고, 검출기의 레이저광의 세기의 변화를 측정하였다. 인가 전압을 증가시키면 검출기에서 레이저 광의 세기는 점점 감소하다가 최소가 되고 다시 증가하였다. 측정된 레이저광이 최소인 점에서 인가한 전압을 구하여 회로를 구성하였다. 각 $LiNbO_3$ 결정에 따라서 약간의 차이를 보였다.

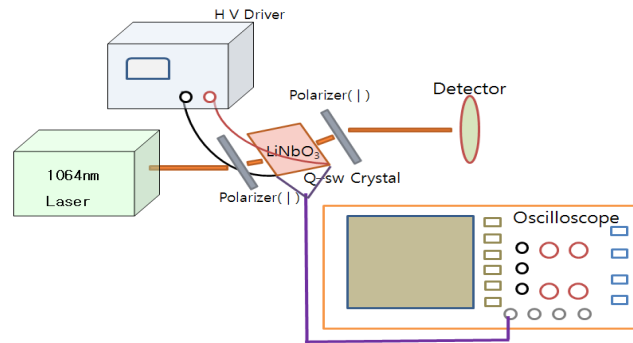


그림 1. $LiNbO_3$ 결정의 $\lambda/2$ 전압 측정 실험장치

그림 2는 레이저광의 세기와 인가한 볼트와 관계를 나타낸다.

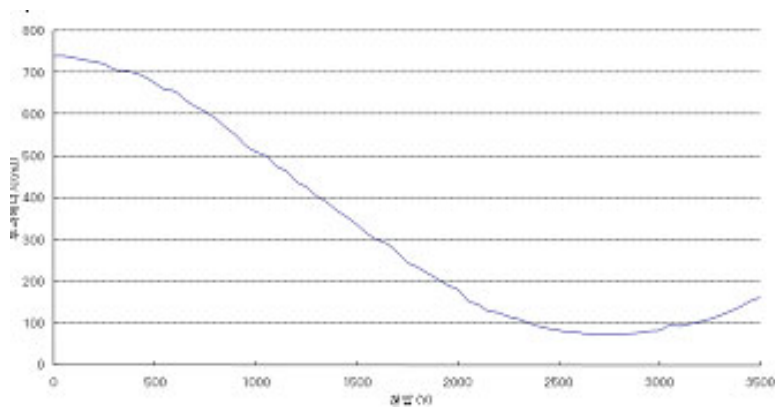


그림 2. 인가한 전압에 대한 투과한 레이저광의 세기

Q-스위칭용으로 사용하고저 하는 $LiNbO_3$ 결정의 $\lambda/2$ 전압은 약 2800V로 측정되었다.

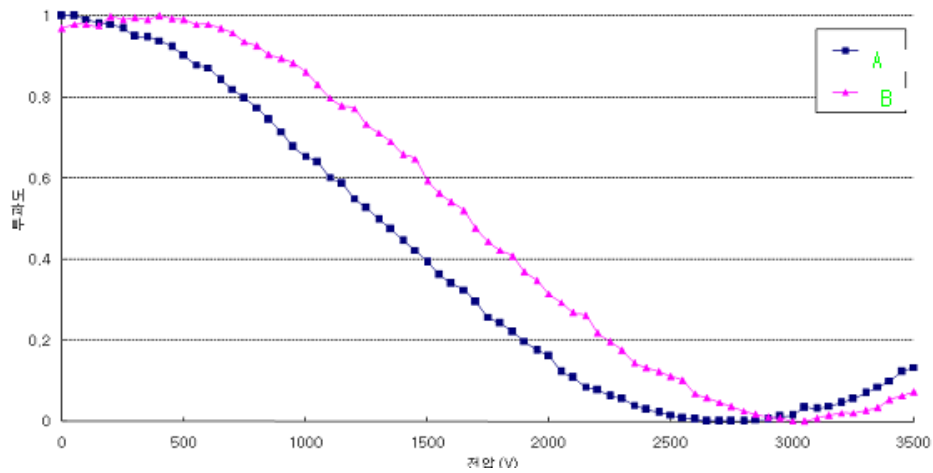


그림 3. 다른 회사 제품의 $LiNbO_3$ 결정과 실험에서 사용하고저 $LiNbO_3$ 의 $\lambda/2$ 전압

다른 회사 제품의 $LiNbO_3$ 결정의 $\lambda/2$ 전압은 약 3000V로 측정되었다.

III. Q-스위칭으로 강력한 레이저 발생

본 실험을 위한 Q-스위칭에 의한 레이저 발생장치는 그림 4와 같다.

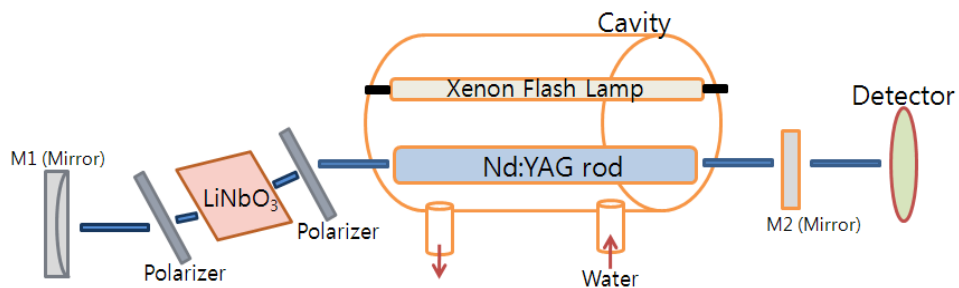
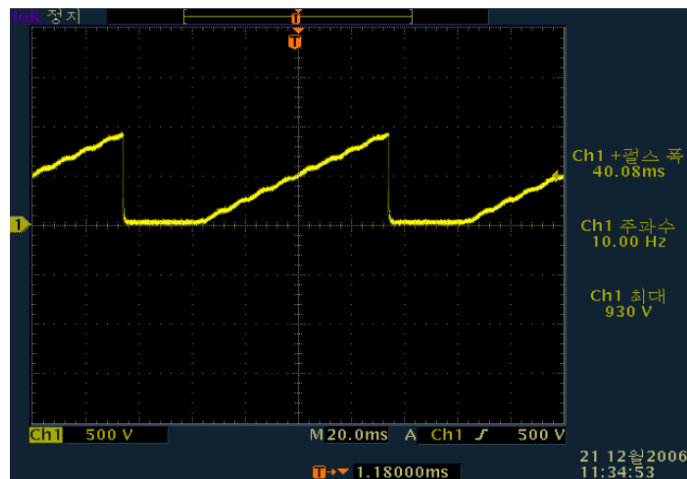


그림4. Q-스위칭에 의한 고출력 레이저 발생장치

그림 4에서 Xenon Flash Lamp에 의하여 Nd:YAG 레이저 발진봉에 광펌핑하여 여기상태로 만들어 유도방출이 일어난다. 반전밀도가 최대 상태로 가기 전까지 레이저 증폭이

일어나지 않도록 $LiNbO_3$ 와 편광기로 이루어진 전자광학 Q-스윗칭 장치에서 막아준다. 반전밀도가 최대가 되는 시간에 셔터를 열어주면 갑자기 강력한 펄스가 만들어져 부분반사경(M2)으로 레이저가 나오게 된다. 전반사경(M1)은 100% 반사와 약 3m 곡률반경을 가지고 있다. $LiNbO_3$ 결정의 양면에 있는 편광기의 편광방향은 같은 방향으로 둔다. 레이저 발진중에 열이 발생하므로 물로 식혀준다.

Q-스윗칭의 원리는 레이저 발진봉에서 반전밀도가 최대가 될 때까지 레이저 발진이 일어나지 않게 셔터 역할을 하다가 반전밀도가 최대가 될 때 셔터를 열어주어서 레이저 발진이 일어나도록 외부에서 조정해 주는 장치이다. $LiNbO_3$ 에 최대 반전밀도가 일어나는 시간까지 $\lambda/2$ 전압을 인가하여 수평 선형 편광된 광의 방향을 수직 편광으로 90° 회전시켜준다. 전반사경(M1) 쪽에 있는 편광기는 수평 방향으로 편광되어 있으므로 레이저 광은 통과되지 못한다. 그러므로 레이저 발진이 일어나지 않는다. 레이저 발진봉에서 반전밀도가 최대가 되는 시간에 $LiNbO_3$ 에 걸린 전압을 제거하여 주면 Q-스윗칭 장치에 광은 투과하게 되고 레이저 발진이 일어난다. 반전밀도가 최대가 되는 시간은 실험적으로 각각 Q-스윗칭 결정에 따라서 정해야 한다. Xe flash lamp에 인가하는 전압의 시간을 가변저항으로 변화시킬 수 있게 회로를 설계한다. Xe flash lamp에 전압을 인가한 후 약 $200\mu s$ 정도에서 전압을 역전압으로 변환시켜 주면서 시간을 조정하여 최대의 레이저 출력이 되는 시간을 각 Q-스윗칭 결정에서 얻는다.



TR PLUS 1000V, 10Hz

그림 5. Xe Falsh Lamp에 인가한 충전 전압

그림 5는 Xe Flash Lamp에 인가한 충전 전압을 보이는 오실로스코프 그림이다. 펄스 반복률은 10Hz, 충전시간은 70ms, 충전 전압은 최대 930V 인 경우를 나타내고 있다. 본 실험의 레이저 출력의 조절은 충전 전압을 변화하여 시행하였다.

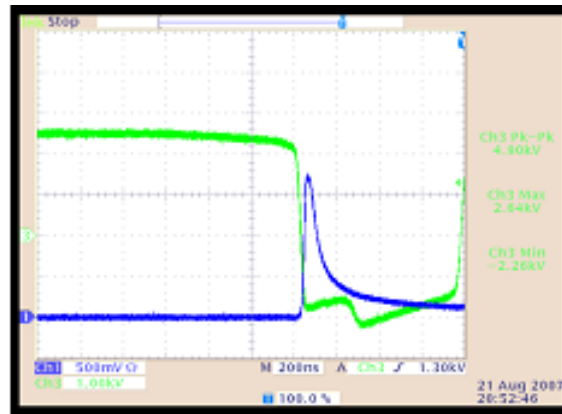
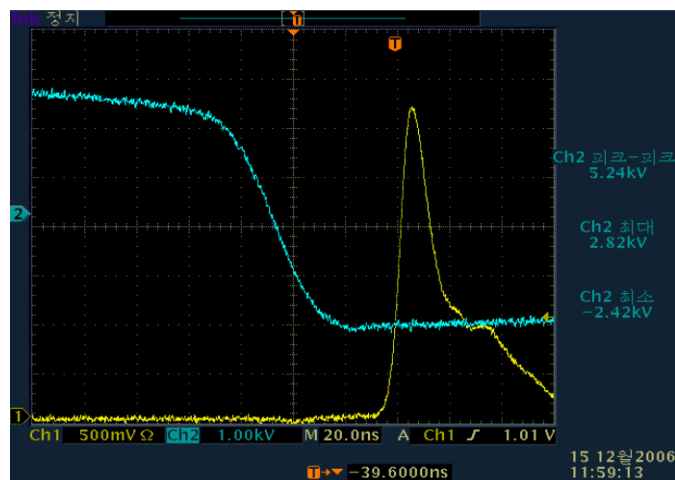


그림 6. $LiNbO_3$ 에 인가한 전압과 레이저 펄스

$LiNbO_3$ 에 인가한 전압인 $\lambda/2$ 전압은 2.4kV이고, 전압을 제거할 경우 잔류전압이 $LiNbO_3$ 에 남아있으므로 역전압을 -2.2kV로 내리면 잔류전압이 스위칭에 영향을 미치지 않기 때문에 역전압을 인가할 회로를 구성하였다.



TDS 3054B - 오후 12:02:32 2006-12-15

그림 7. 인가한 전압의 역전압으로 감소하는 기울기와 발생한 레이저 펄스

본 실험을 정밀하게 수행하기 위하여 역기전력으로 내려가는 전압과 시간과의 관계를 확대하여 본 그림이 그림7이다. 그림7에서 $LiNbO_3$ 에 인가한 전압을 완전히 제거된 후에 수 ns 후에 레이저 펄스가 생성됨을 보였다. 레이저 펄스 폭은 약 7ns로 관측되었다.

IV. 결론

본 실험에서 사용한 $LiNbO_3$ 에 대한 Q-스윗칭 실험은 인가한 전압을 완전히 제거한 후 수 ns 후에 펄스가 형성되었다. 그 결과 펄스 폭은 약 7ns로 측정 되었다. 여러 종류의 $LiNbO_3$ 결정에 대한 실험한 결과, 펄스 형성의 시작은 그림 8처럼 인가한 전압이 완전히 제거 된 후에 이루어 진 것이 아니라 역 전압으로 감소하는 중간에 나오는 경우도 있었다.

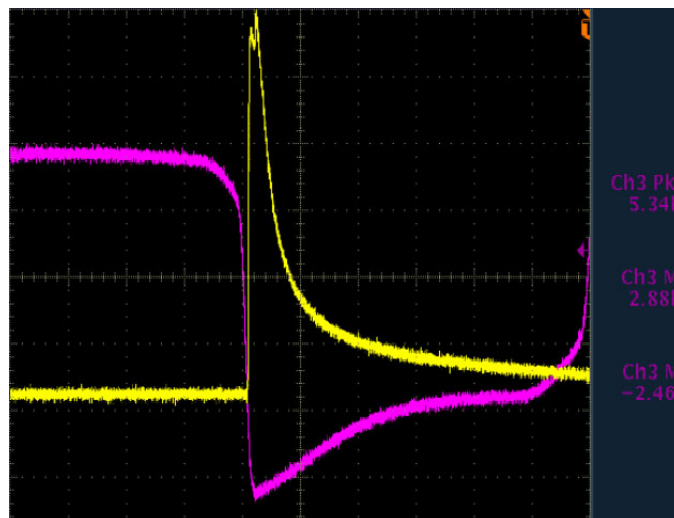


그림 8. 인가된 전압이 하강 중에 레이저 펄스가 발생

각각의 Q-스윗칭 결정 $LiNbO_3$ 가 만들어 질 때 구조가 형성되는데 외부 조건 즉 온도, 조성비, 결정 크기 등에 의하여 비선형 굴절률을 일으키는 전압이 변함을 알 수 있었다. 따라서 $LiNbO_3$ 을 Q-스윗칭 결정으로 사용할 때 전압의 변화에 대한 편광의 변화를 측정 하는 기본적인 실험이 필수적이다.

참고문헌

1. R.W. Hellwarath, "Advances in Quantum Electronics", Edited by J.R. Singer, Columbia University Press, New York, pp. 334~341, 1961
2. I.P. Kamonow, E.H. Turner, Appl. Opt. 54, 1374, 1966
3. D. Maydan, IEEE L. QE-6, 15, 1970
4. B.H. Soffer, J. Appl. Phys, 35, 2551, 1964
5. M.K. Chun, J.T. Bischoff, IEEE J. QE-8, 715, 1972