

單一 레이저 펄스 發生을 위한 LiNbO₃ Q-스위치의 動作 特性 (The Operational Characteristics of LiNbO₃ Q-Switch for Generating a Single Pulse Laser)

李 鍾 旻*

(Lee, Jong Min)

要 約

單一 펄스의 Nd-YAG 레이저를 發生시키기 위한 Q-스위치로서 LiNbO₃ 크리스탈을 使用할때 생기는 難點을 解決하기 위하여 그 動作 特性을 調査하였으며 간단한 解決 方法을 提示하였다.

Abstract

To eliminate some difficulties encountered in the operation of LiNbO₃ crystal as a Q-switch for generating a single pulse Nd-YAG laser, the operational characteristics of the crystal, was investigated. Also a simple method for solving the difficulties was presented.

1. 序 論

強力한 첨두出力의 레이저 펄스 發生裝置는 多方面의 레이저 응용 分野에서 널리 이용되고 있기 때문에 이와 같은 레이저 펄스를 얻기 위한 効率的인 發生裝置 設計 및 그 Mechanism이 계속 研究되고 있다.

Hellwarth와 McClung(1-3)은 광펌핑(optical pumping)에 의한 여기상태(excitation state)가 threshold level 보다 훨씬 높은 level에 到達할때까지 一種의 shutter에 의하여 막혀서 기저상태(ground state)로의 유도방출(stimulated emission)이 지연 되도록 하였다가 갑자기 그 shutter를 열어주면 대단히 높은 強度의 單一-레이저 펄스를 얻을수 있다는 것을 證明하였다.

그 후 이 shutter에 해당하는 Q-스위치의 switching 方法이 (4-5) 많이 研究되어 왔으며 주로 다음과 같은 種類가 使用되고 있다.

- (1) 회전거울(rotating mirror) 혹은 회전 프리즘(rotating prism) Q-스위치
- (2) Acousto-optic Q-스위치

(3) Dye Q-스위치

(4) Pockels-cell 혹은 Kerr-cell Q-스위치

(5) Faraday-cell Q-스위치

(6) 其他

이들 중에서도 특히 正確한 펄스 timing과 높은 첨두出力을 요구하는 레이저 펄스 發生을 위해서는 Pockels-cell Q-스위치가 가장 널리 使用되고 있다. Pockels-cell 物質로는 Lithium niobate(LiNbO₃)와 Potassium di-deuterium phosphate(KD₂PO₄ 혹은 KD P)가 代表的이며, 특히 LiNbO₃는 물에 용해되지 않고, 溫度特性이 좋으며, 또한 투과波長 범위가 넓고, 투과도가 클뿐만 아니라 取扱이 간편하여 각종 레이저 裝置에 많이 應用된다.

本 實驗에서는 레이저 펄스를 얻기 위하여 Q-스위치로 LiNbO₃ 結晶을 利用하였으며 그 發生裝置는 그

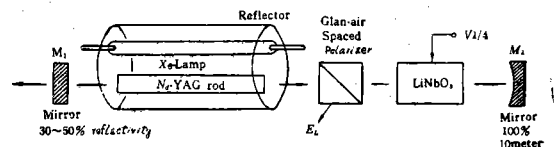


그림 1. 전형적인 레이저 펄스 發生裝置圖

Fig. 1. Typical block diagram of a laser pulse-generator

* 正會員 高麗大學校 大學院 物理學科(Dept. of Physics Korea University)
接受日字: 1976年 5月 18日

림 1과 같다.

여기서 Q-스위치로 사용한 LiNbO₃는 실제 동작시간이 매우 짧은 많은 문제점들을 야기시킨다. 이들의 해결을 위하여 이 LiNbO₃ Q-스위치 물질의 몇가지 동작 특성을 조사하였다.

여기서 사용된 LiNbO₃결정의 크기는 9×9×25mm (Harshaw Co.)이며 0.6328micron과 1.064micron 파장의 광에 대한 Half wave retardation voltage (V_{λ/2})는 각각 1300V와 2900V이다. 레이저 발振재료는 1/6"φ×2" Length 크기의 Nd-YAG rod를 사용하였다.

2. LiNbO₃ Q-스위치의 Risetime과 투과도測定

그림 2는 LiNbO₃ Q-스위치의 risetime과 transmission을測定하기 위한 裝置圖이다.

LiNbO₃ 결정은 편광축이 서로 cross된 두 polarizer 사이에 놓았다. 光源으로는 He-Ne레이저(波長: 0.6328 micron)와 Nd-YAG CW 레이저(波長: 1.064 micron)를 사용하였다.

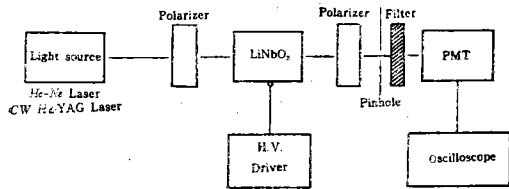


그림 2. Q-스위치의 risetime과 transmission測定을 위한 實驗裝置圖

Fig. 2. Experimental setup for measurement of Q-switch risetime and transmission.

우선 사용하는 LiNbO₃의 正確한 Half wave retardation voltage (V_{λ/2})를 구하기 위하여 LiNbO₃ 결정 兩端에 橫方面으로 0~4000V까지의 電壓을 걸면서, 투과해 나오는 光의 強度를 plot하여 얻은 curve에 의해서 V_{λ/2}를 구한다. 그 結果 0.6328μm과 1.064μm 파장에 대해서 V_{λ/2}는 각각 1300V와 2900V임을 알았다. 사용된 LiNbO₃결정의 risetime과 transmission은 EG&G의 KN-22 Krytron tube를 利用한 High voltage driver(그림 3참조)를 사용하여, LiNbO₃ 결정 兩端에 걸는 V_{λ/2}를 갑자기 0V로 switching(falltime: 20~100ns)하면서 PMT로 투과광을 檢出하여 測定하였다.

測定 結果는 그림 4와 같다. A, B, C는, V_{λ/2}가 걸려 있지 않을 경우, V_{λ/2}가 걸려 있을 경우, V_{λ/2}가 걸려 있다가 switching된 경우에 PMT에서 나오는 各各

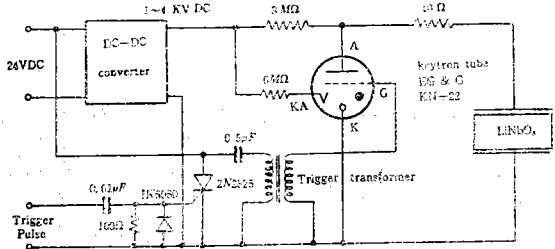
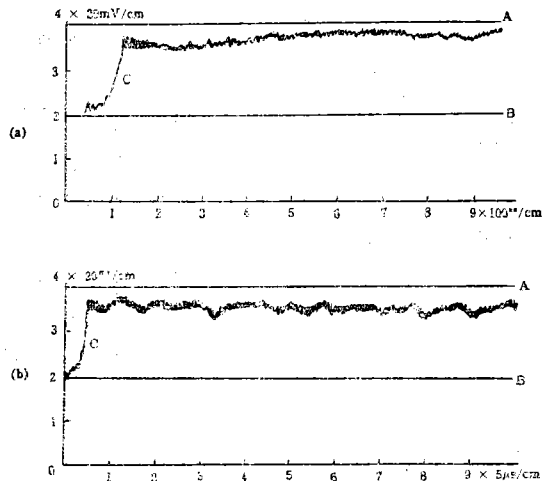


그림 3. Q-스위치用 고압 구동회로

Fig. 2. High voltage driver circuit for Q-switch

의 신호를 比較한 것이다. 여기서 risetime은 20ns以內임을 알수 있었으며, Q-스윗칭때(C의 경우) 침투 투과(peak transmission)는 A의 경우(steady state case)처럼 높아지지는 않았다. He-Ne 레이저 光源을 사용했을 때는 대략 15~25% 정도 차이가 나



- A: Half wave voltage off
- B: Half wave voltage on—not switched
- C: Half wave voltage switched

(a) 100ms, 20nV division (b) 5μs, 20mV division

그림 4. He-Ne 레이저에 의해 測定된 투과도

Fig. 4. Transmission waveshapes measured by using the He-Ne laser.

고 CW Nd-YAG 레이저 光源을 사용했을 때는 18~30% 정도 차이가 났다. 따라서 이러한 현상은 光源의 波長이 길어질수록 V_{λ/2}도 증가하므로 더 극심해질 것으로 기대된다. 또한 그림 4. (a)에서는 Q-스윗칭된 후 300~400ns 사이에 투과도가 최저상태를 나타내며 그림 4. (b)에서는 투과도가 6~7μs의 周期性을 나타냄을 볼수 있다.

3. Q-스위칭에 의해 發生된 레이저 펄스

Q-스위칭에 의해서 發生된 레이저 펄스의 펄스폭은 10~15ns였으며 入力에너지 卽 pumping energy가 증가할 경우 Q-스위칭된 出力에너지는 그림 5에서와 같이 理論値와 實驗値가 차이가 났다.

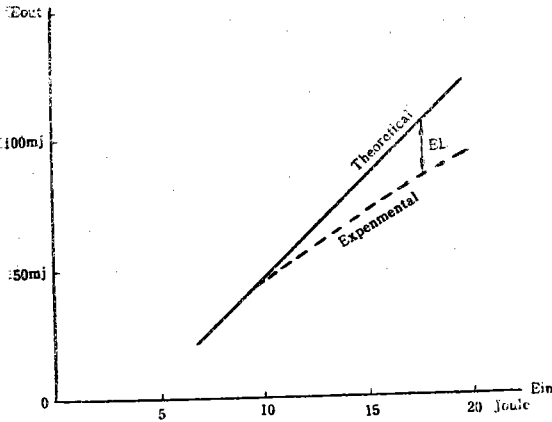
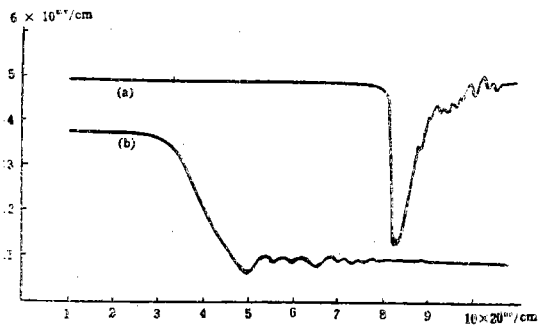


그림 5. 入力에너지對 Q-스위칭된 레이저 出力에너지.

Fig. 5. Input energy E_{in} versus Q-switched laser output energy E_{out} . The cavity was 27cm long, and employed $\frac{1}{6}'' \times 2''$ Nd-YAG rod.

그러나 그 에너지차이 즉 손실 에너지 E_L 는 그림 1에 나타낸바와 같이 polarizer의 접착면 反對 方向에서 관측되었으며 入力에너지가 증가 할수록 손실에너지 E_L 도 증가 하였다. 따라서 이와 같은 손실은 polarizer에 의한 一種의 잔여 부굴절 效果(residual fire-fringence effect)에 기인한 것으로 추측된다.

그림 6은 LiNbO_3 에 걸린 積류 고전압 $V_{1/4}$ (Quarter wave voltage)이 0V로 스위칭된후 (그림 6. (a))



(a) 레이저 펄스
(b) Q-스위칭 전압

그림 6. 레이저 펄스의 지연발생.

Fig. 6. Retardation of laser pulse generation.

發生된 레이저 펄스(그림 6. (b))의 지연(retardation)을 나타낸다. 보통은 고전압 $V_{1/4}$ 이 스위칭 됨과 同時에 레이저 펄스가 放出 될것으로 기대되나 入力에너지 증감에 따라서 Q-스위칭 된지 50~400ns후에 레이저가 發生되며 入力에너지가 증가할수록 지연시간이 줄어드는 것을 관측할수 있었다.

이러한 현상의 主因은, LiNbO_3 結晶에 걸려있는 고전압의 압전작용(piezo-electric action)에 의해 그 結晶에 압력이 가해지고 있으며 따라서 Q-스위칭에 의해 고압이 순간적으로 제거된다 하더라도 그 압력이 同時에 사라지는 것이 아니고 어떤 限定된 時間區間 동안은 그대로 유지되기 때문인 것으로 추측된다.

4. 多重 펄스 發生 현상

그림 7은 入力 펌핑 에너지와 Q-스위칭 전압을 變化시켜 가면서 發生되어 나오는 레이저 펄스의 모양을 관측하므로써 얻어진 結果이다.

Prelasing 發生 현상은, Q-스위칭 전압이 Quarter wave retardation voltage $V_{1/4}$ 에 맞지 않기 때문에

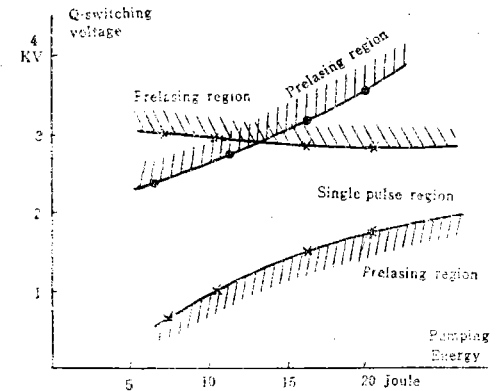


그림 7. LiNbO_3 Q-스위칭에 의한 Nd-YAG 레이저의 出力펄스 特性

Fig. 7. The output pulse characteristics of LiNbO_3 Q-switched Nd-YAG laser

Q-스위칭에 의한 레이저 발생 차단 손실 보다 레이저 發生이특이 더 커져서 Q-스위칭이 되기전에 lasing이 일어나기 때문이며, Postlasing은 그림 4와 같은 현상에서 기인하는 것으로 추측된다.

따라서 單一 펄스를 얻기 위해서는 레이저 發振條件이 單一 펄스 形成 領域에 들어 가도록 設計되어야만 할 것이다.

5. 結 論

레이저 Q-스위칭의 目的은 손실이 작고 安定된 淸

은 펄스폭의 單一 레이저펄스를 얻는 것이다. 따라서 Q-스위치 設計를 위해서는, 發生시키고자 하는 레이저 波長에 따른 Q-스위치의 재질 선택 및 그의 特性을 먼저 알아야만 된다.

本 實驗에서 얻어진 LiNbO_3 Q-스위치의 特性 調查結果는 특히 sample (LiNbO_3 crystal)크기에 상당히 좌우되며, 그밖에, 入力 펄핑 에너지, 레이저 cavity의 길이, 部分 反射鏡의 反射度 등에 의해서도 영향을 받는다. 그러나 Q-스위치 전압 $V_{1/4}$ 의 스위칭 時間(20~100ns)과는 거의 무관하였다.

레이저 펄스의 지연 發生(그림 6) 이라든가 postlasing에 의한 손실(그림 7)은 Q스위칭 하자마자 해당 전압의 약 $\frac{1}{4}$ 되는 역전압(reverse bias voltage)이 걸리도록 Q-스위치 전압 구동 회로를 設計함으로써 상당한 제거가 可能하였다.

參 考 文 獻

1. R.W. Hellwarth, "Advances in Quantum Electronics", Edited by J.R. Singer, Columbia University Press, New York, pp. 334~341, 1961.
2. F.J. McClung and R.W. Hellwarth, "J. Appl. Phys." Vol. 33, pp.828.
3. F.J. McClung and R.W. Hellwarth, "Proc. IRE", vol. 51, pp.46, 1963.
4. E.L. Steele, "Optical Lasers in Electronic," New York, John Wiley and Sons, Inc., pp.177~219, 1968.
5. E.T. Stepke, "The Key to Q-switches," Electro-optical Systems Design, pp.21~28, April 1972.