



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2016년12월05일  
 (11) 등록번호 10-1682593  
 (24) 등록일자 2016년11월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 H01S 3/11 (2006.01) H01S 3/08 (2006.01)  
 (52) CPC특허분류  
 H01S 3/1127 (2013.01)  
 H01S 3/08036 (2013.01)  
 (21) 출원번호 10-2015-0072797  
 (22) 출원일자 2015년05월26일  
 심사청구일자 2015년05월26일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 KR101487271 B1\*  
 JP2014103287 A\*  
 WO2007067643 A2  
 JP1996195519 A  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
 한국과학기술연구원  
 서울특별시 성북구 화랑로14길 5 (하월곡동)  
 (72) 발명자  
 전영민  
 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5  
 안준모  
 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
 특허법인 티앤아이

전체 청구항 수 : 총 9 항

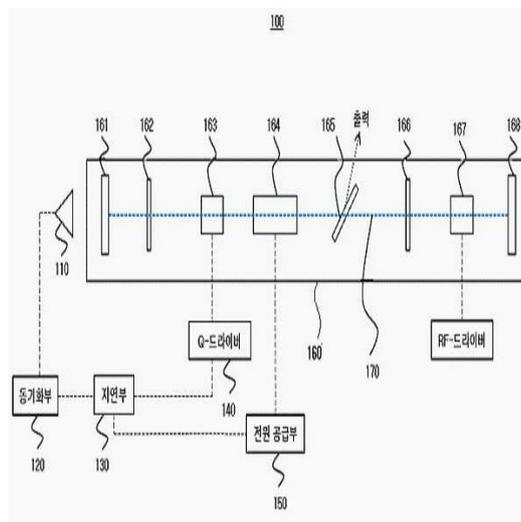
심사관 : 조성찬

(54) 발명의 명칭 **단일 펄스 레이저 장치**

**(57) 요약**

제1 미러와 제2 미러, 이득매질, 모드록킹 및 Q-스위칭을 각각 수행하는 전기광학 변조기들을 구비하는 공진기를 포함하는 단일 펄스 레이저 장치에 있어서, 상기 공진기에서 발진되는 레이저 광을 측정하는 포토다이오드; 상기 레이저 광을 측정하여 생성된 전기신호를 TTL 신호로 변환하는 동기화부; 상기 TTL 신호에, 모드록킹 및 Q-스위칭된 펄스들간의 동기화를 시키기 위하여 결정된 지연시간을 설정하고, 상기 지연시간에 따라 트리거 TTL 신호를 출력하는 지연부; 및 상기 트리거 TTL 신호를 Q-스위칭을 수행하는 전기광학 변조기에 입력하여 동작시키는 Q-드라이버를 포함한다.

**대표도**



- (52) CPC특허분류  
**H01S 3/1106** (2013.01)
- (72) 발명자  
**이석**  
 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5  
**김재현**  
 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5  
**서민아**  
 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5  
**김철기**  
 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5

- 이택진**  
 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5
- 우덕하**  
 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5
- 박민철**  
 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

- 과제고유번호 1415135212
- 부처명 산업통상자원부
- 연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원
- 연구사업명 바이오의료기기산업핵심기술개발사업
- 연구과제명 파장가변형 초고속 스위칭 레이저기반 진단/치료 시스템 개발
- 기여율 1/2
- 주관기관 레이저옵텍(주)
- 연구기간 2014.06.01 ~ 2015.05.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

- 과제고유번호 2V04170
  - 부처명 미래부
  - 연구관리전문기관 한국과학기술연구원
  - 연구사업명 Bridge Program
  - 연구과제명 피부용 피코초 펄스 레이저
  - 기여율 1/2
  - 주관기관 한국과학기술연구원
  - 연구기간 2015.01.01 ~ 2015.09.30
-

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

제1 미러와 제2 미러, 이득매질, 모드록킹 및 Q-스위칭을 각각 수행하는 전기광학 변조기들을 구비하는 공진기를 포함하는 단일 펄스 레이저 장치에 있어서,

상기 공진기에서 발진되는 레이저 광을 측정하는 포토다이오드;

상기 레이저 광을 측정하여 생성된 전기신호를 TTL 신호로 변환하는 동기화부;

상기 TTL 신호에, 모드록킹 및 Q-스위칭된 펄스들간의 동기화를 시키기 위하여 결정된 지연시간을 설정하고, 상기 지연시간에 따라 트리거 TTL 신호를 출력하는 지연부;

상기 트리거 TTL 신호를, Q-스위칭을 수행하는 전기광학 변조기에 입력하여 동작시키는 Q-드라이버; 및

상기 공진기에서 출력되는 레이저 광의 펄스폭과 펄스 에너지를 모니터링하여 상기 지연시간을 결정하는 제어부를 포함하는 단일 펄스 레이저 장치.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

제1항에 있어서, 상기 제어부는

상기 트리거 TTL 신호가 지속되는 지속시간을 결정하는 것을 특징으로 하는 단일 펄스 레이저 장치.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 이득매질에 에너지를 공급하고, 램프를 펌핑할 때 출력되는 동기화 TTL 신호를 상기 지연부에 입력하는 전원 공급부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 단일 펄스 레이저 장치.

#### 청구항 5

제1항에 있어서, 상기 모드록킹을 수행하는 전기광학 변조기는

특정 피코초 펄스폭의 레이저 광을 사전 발진시키는 것을 특징으로 하는 단일 펄스 레이저 장치.

#### 청구항 6

제5항에 있어서, 상기 제어부는

상기 사전 발진된 펄스 간의 간격과 Q-스위칭된 펄스의 펄스폭의 관계를 기초로 상기 지연시간을 결정하는 것을 특징으로 하는 단일 펄스 레이저 장치.

#### 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 레이저 광의 펄스폭을 조정하는 에탈론을 더 구비하는 것을 특징으로 하는 단일 펄스 레이저 장치.

**청구항 8**

제7항에 있어서, 상기 에탈론은

일정한 반사율을 갖는 평행 평면판으로서, 유리 또는 수정의 평행 평면판 한면 또는 양면에 유전체 다층박막을 증착시켜 반사율을 높인 광학소자이고,

레이저 광이 상기 에탈론을 투과할 때 투과 과장대역을 제한함으로써, 상기 에탈론의 반사율, 두께 및 굴절률에 의해 레이저 광의 펄스폭이 조정되는 것을 특징으로 하는 단일 펄스 레이저 장치.

**청구항 9**

제7항에 있어서, 상기 에탈론은

적어도 하나 이상이며, 특성이 다른 에탈론을 공진기의 내부 또는 외부에 선택적으로 사용하여, 레이저 광의 펄스폭이 조정되는 것을 특징으로 하는 단일 펄스 레이저 장치.

**청구항 10**

제7항에 있어서, 상기 레이저 광의 펄스폭은

100 ps ~ 1 ns의 구간에서 조정되는 것을 특징으로 하는 단일 펄스 레이저 장치.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 레이저 장치에 관한 것으로, 특히 모드록킹된 신호 및 Q-스위칭된 신호간의 동기화를 시킬 수 있는 단일 펄스 레이저 장치에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 최근 레이저를 이용한 치료 기술이 널리 사용되고 있는데, 이러한 레이저를 이용한 치료장치는 피부과, 안과, 치과, 외과 수술 등에 사용되고 있다. 이 중, 피부과에서 사용되는 레이저 치료장치는 일반적으로 피부에 발생되는 피부 질환 또는 혈관 질환 같은 병변의 치료에 사용되며, 일정한 파장 및 세기를 갖는 레이저를 피부에 조사하여 치료 목적을 달성한다. 여러 가지 종류의 레이저가 피부과에서 치료를 위해 사용된다. 알렉산드라이트 레이저(Alexanderite laser, 755nm에서 동작, 2012년 개발)는 자연적으로 발생한 피부병리학적인 색소침착 및 문신을 처리하기 위하여 주로 이용되고, 후유증을 최소로 하면서 치료효과를 극대화 하기 위한 피코초(picosecond) 펄스를 이용한다. 또한, 장펄스 루비 레이저는 머리털 제거를 위해 사용되고, Nd:YAG 레이저(1060nm에서 동작), 이산화탄소 레이저(CO2 laser, 10.6마이크로미터에서 동작) 및 아르곤 레이저(488-514nm범위에서 동작)는 확장성 혈관의 치료를 위해 사용된다.

[0003] 구체적으로 피부과에서는 얼룩 반점, 기타 확장성 혈관 장애 및 문신을 포함한 색소 장애와 같은 다양한 피부병리학적 문제를 처리하기 위하여 레이저 치료장치가 이용된다. 이는 구성 단백질이 변성되거나 색소 입자가 분산되는 정도로 온도를 상승시키도록 국부적인 가열이 가능하도록 한다. 이때, 의료용 레이저는 다른 연구용 및 산업용 레이저와 달리 피부의 상처 치료에 적합한 레이저 조사광의 펄스폭과 에너지가 중요하다. 특히, 치료 효과를 극대화하기 위해 출력 펄스에 에너지가 최대한 집중 되어야 하는데, 이를 위하여 단일 펄스 출력이 가능한

레이저가 필요하다.

[0004] 종래의 기술에서는 단일 피코초 펄스 출력과 높은 에너지를 출력하기 위한 목적으로 펄스 피커(pulse picker) 방식 및 공진기 덤핑(cavity dumping) 방법을 사용한다. 그러나, 이러한 방법을 사용할 경우, 고속의 고전압 회로가 필요하기 때문에 회로 설계제작 가격과 소비전력 부담이 발생하고, 출력 에너지가 작기 때문에 증폭기를 사용해야 하는 문제가 있고, 증폭기의 사용에 따른 시스템 부피 증가와 증폭기에 공급되는 고전압에 의한 소모 전력 및 가격 부담이 발생한다.

[0005] 미국등록특허 US 7,929,579는 전기광학변조기(EOM, Electro-Optic Modulator)를 1개만 사용하고 공진기 덤핑 방법을 사용하여 고 에너지 단일 펄스를 출력하는 방법을 개시하고 있다. 그러나, 이 경우에는 고전압 전기광학 변조기를 사용하여야 하고, 고속의 고전압 구동 회로가 필요하기 때문에 이에 따른 가격과 소비전력의 부담이 발생하고, 전기광학변조기를 1개만 사용하여 모드록킹(mode-locking)과 Q-스위칭(Q-switching)을 모두 해야 하기 때문에, 고전압에 의한 소비 전력의 부담이 발생하는 문제가 있다. 또한, 고전압 전기광학변조기를 사용하여 모드록킹과 Q-스위칭을 모두 하기 위하여 고속 고전압 스위칭 회로가 제작되어야 한다. 이에 더하여, 고 에너지 피코초 단일 펄스 출력이 가능하여 증폭기의 사용이 필요 없지만, 완전한 모드록킹을 구현하지 않기 때문에 일 발 펄스(one shot pulse)를 만드는데 한계가 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0006] (특허문헌 0001) 미국등록특허 US 7,929,579

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0007] 본 발명의 목적은 Q-스위칭된 신호의 펄스폭과 모드록킹 된 신호들 간의 상관관계를 계산하고 레이저 시스템에 반영하여 단일 펄스를 출력할 수 있고, 공진기 덤핑(cavity dumping) 기술을 통하여 단일 펄스 출력 레이저 광에 에너지를 집중 시킬 수 있으며, 사전 발진(prelasing) 방법을 통하여 연속파(CW, Continuous Wave) 모드록킹 된 신호의 피코초 펄스폭이 출력빔에 반영될 수 있는 단일 펄스 레이저 장치를 제공하는데 있다.

**과제의 해결 수단**

[0008] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 제1 측면은, 제1 미러와 제2 미러, 이득매질, 모드록킹 및 Q-스위칭을 각각 수행하는 전기광학 변조기들을 구비하는 공진기를 포함하는 단일 펄스 레이저 장치로서, 상기 공진기에서 발진되는 레이저 광을 측정하는 포토다이오드; 상기 레이저 광을 측정하여 생성된 전기신호를 TTL 신호로 변환하는 동기화부; 상기 TTL 신호에, 모드록킹 및 Q-스위칭된 펄스들간의 동기화를 시키기 위하여 결정된 지연시간을 설정하고, 상기 지연시간에 따라 트리거 TTL 신호를 출력하는 지연부; 및 상기 트리거 TTL 신호를, Q-스위칭을 수행하는 전기광학 변조기에 입력하여 동작시키는 Q-드라이버를 포함한다.

[0009] 바람직하게, 상기 공진기에서 출력되는 레이저 광의 펄스폭과 펄스 에너지를 모니터링하여 상기 지연시간을 결정하는 제어부를 더 포함할 수 있다.

[0010] 바람직하게, 상기 제어부는 상기 트리거 TTL 신호가 지속되는 지속시간을 결정할 수 있다.

[0011] 바람직하게, 상기 이득매질에 에너지를 공급하고, 램프를 펌핑할 때 출력되는 동기화 TTL 신호를 상기 지연부에 입력하는 전원 공급부를 더 포함할 수 있다.

[0012] 바람직하게, 상기 모드록킹을 수행하는 전기광학 변조기는 특정 피코초 펄스폭의 레이저 광을 사전 발진시킬 수 있다.

[0013] 바람직하게, 상기 제어부는 상기 사전 발진된 펄스 간의 간격과 Q-스위칭된 펄스의 펄스폭의 관계를 기초로 상

기 지연시간을 결정할 수 있다.

- [0014] 바람직하게, 상기 레이저 광의 펄스폭을 조정하는 에탈론을 더 구비할 수 있다.
- [0015] 바람직하게, 상기 에탈론은 일정한 반사율을 갖는 평행 평면판으로서, 유리 또는 수정의 평행 평면판 한면 또는 양면에 유전체 다층박막을 증착시켜 반사율을 높인 광학소자이고, 레이저 광이 상기 에탈론을 투과할 때 투과 파장대역을 제한함으로써, 상기 에탈론의 반사율, 두께 및 굴절률에 의해 레이저 광의 펄스폭이 조정될 수 있다.
- [0016] 바람직하게, 상기 에탈론은 적어도 하나 이상이며, 특성이 다른 에탈론을 공진기의 내부 또는 외부에 선택적으로 사용하여, 레이저 광의 펄스폭이 조정될 수 있다.
- [0017] 바람직하게, 상기 레이저 광의 펄스폭은 100 ps ~ 1 ns의 구간에서 조정될 수 있다.

**발명의 효과**

- [0018] 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명의 단일 펄스 레이저 장치에 따르면, Q-스위칭된 신호의 펄스폭과 모드록킹된 신호들 간의 상관관계를 계산하고 레이저 시스템에 반영하여 단일 펄스를 출력하므로 펄스 피커(pulse picker)를 사용하지 않을 수 있는 이점이 있다.
- [0019] 또한, 본 발명에 따르면, 덤핑 기술을 통하여 단일 펄스 출력빔에 에너지를 집중 시킬 수 있으며, 사전 발진 (prelasing) 방법을 통하여 연속파(CW, Continuous Wave) 모드록킹된 신호의 피코초 펄스폭이 출력빔에 반영될 수 있는 이점이 있다.
- [0020] 또한, 레이저 공진기에서 충분히 에너지를 얻을 수 있기 때문에 증폭기를 사용하지 않을 수 있는 이점이 있다.
- [0021] 또한, 단일 펄스 출력을 위해 고속 고전압의 특별한 회로설계 제작이 필요 없기 때문에, 비용을 줄일 수 있고, 피코초 펄스폭의 단일 펄스 출력이 가능하기 때문에, 의료용뿐만 아니라, 높은 피크 파워(peak power)가 필요한 산업용에도 응용할 수 있는 이점이 있다.
- [0022] 또한, 치료 목적에 따라 에탈론을 사용하여 출력 빔의 적절한 펄스폭과 에너지를 설정 할 수 있고, 알렉산드라이트 레이저뿐만 아니라 다른 고체 레이저에도 확장이 가능한 이점이 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0023] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 단일 펄스 레이저 장치에 대한 블록도이다.
- 도 2는 트리거 TTL 신호에 따라 Q-스위칭이 수행되는 과정을 도시한 그래프이다.
- 도 3은 모드록킹 및 Q-스위칭된 신호를 통하여 출력되는 단일 펄스를 도시한 그래프이다.
- 도 4는 사전 발진 상태와 Q-스위칭 및 모드록킹된 신호를 도시한 그래프이다.
- 도 5는 사전 발진에 따라 변경된 펄스폭을 도시한 그래프이다.
- 도 6은 에탈론의 두께에 따라 변화되는 펄스폭을 나타내는 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0024] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세하게 설명하기로 한다. 그러나, 이하의 실시예는 이 기술분야에서 통상적인 지식을 가진 자에게 본 발명이 충분히 이해되도록 제공되는 것으로서 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 다음에 기술되는 실시예에 한정되는 것은 아니다.
- [0025] 그리고, 피부치료용 레이저의 주요 인자에는 펄스 에너지(pulse energy), 펄스폭(pulse width), 피코초(picosecond), 레이저 파장(laser wavelength), Q-스위칭(Q-switching), 모드록킹(mode-locking), 단일 펄스(single pulse), 공진기 덤핑(cavity dumping) 등이 있다.

- [0026] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 단일 펄스 레이저 장치에 대한 블록도이다.
- [0027] 도 1을 참조하면, 단일 펄스 레이저 장치(100)는 포토다이오드(photodiode)(110), 동기화부(120), 지연부(130), Q-드라이버(140), 전원 공급부(150) 및 공진기(160)를 포함하고, 공진기(160)는 제1 미러(161), 파장판(162), Q-스위칭(Q-switching)을 수행하는 전기광학 변조기(163), 이득매질(164), 선형 편광기(165), 에탈론(166), 모드록킹(mode-lock)을 수행하는 전기광학 변조기(167), 및 제2 미러(168)를 포함한다.
- [0028] 일 실시예에서, Q-스위칭 및 모드록킹을 수행하는 전기광학 변조기들(163 및 167)은 각각 전기광학 변조기 또는 음향광학 변조기로 구성될 수 있다. 여기에서, 음향광학 변조기는 특별한 고속 고전압 회로의 설계제작이 필요하지 않고, 고전압을 사용하지 않으며, 저전압 RF를 사용하기 때문에 전력소모와 비용 측면에서 이점이 있다. 또한, 전기광학 변조기 또는 음향광학 변조기로 구성될 수 있는 점을 통하여 본 발명은 단일 펄스인 동시에 Q-스위칭 및 모드록킹된 펄스를 출력할 수 있다.
- [0029] 이하에서는, 먼저, 공진기(160) 내부에 포함되는 제1 미러(161), 파장판(162), Q-스위칭(Q-switching)을 수행하는 전기광학 변조기(163), 이득매질(164), 선형 편광기(165), 에탈론(166), 모드록킹(mode-lock)을 수행하는 전기광학 변조기(167), 및 제2 미러(168)에 대하여 설명한다.
- [0030] 공진기(160)의 양쪽 끝에는 제1 미러(161)와 제2 미러(168)가 배치된다. 제1 미러(161)와 제2 미러(168)는 공진기 덤핑(cavity dumping) 방식을 구현하기 위하여 모두 99.9% 이상의 반사도를 가지는 전반사경이다.
- [0031] 파장판(162)은 공진기(160) 내부에서 발생하는 펄스의 세기를 조절 할 수 있고, 일 실시예에서,  $\lambda/4$  플레이트가 사용될 수 있다.
- [0032] 이득매질(164)은 펌핑을 통해 밀도반전이 이루어질 수 있는 물질로서, 외부에서 이 물질로 입사해온 광은 증폭 작용을 하여 높은 세기의 광으로 출력된다. 외부에서 펌핑 디바이스로 사용될 수 있는 것은 플래쉬 램프, 아크 램프, 또는 다른 레이저 등이 있다. 이득매질(164)로는 알렉산드라이트(alexandrite) 또는 티타늄(titanium) 도핑된 사파이어 크리스탈(sapphire crystal) 봉(rod), 네오디뮴(neodymium)으로 도핑된 이트륨-알루미늄(yttrium aluminum) 가넷 크리스탈(Nd:YAG crystal) 봉 등이 사용될 수 있다.
- [0033] 예를 들어, 펌프 램프를 사용하여 광을 이득매질(164)에 입사시키면, 이득매질(164)에서 여기된 빛은 광축(170)을 따라 에탈론(166)을 지나 제2 미러(168)에서 반사된다. 다시, 광축(170)을 따라 에탈론(166), 이득매질(164), 전자광학 변조기(163)를 차례로 지난 광은 제1 미러(161)에서 반사된다.
- [0034] 선형 편광기(165)는 공진기(160)에서 발진된 레이저 광이 출력되어 나가게 한다.
- [0035] 모드록킹을 수행하는 전자광학 변조기(167)는 모드록킹 상태를 만들고 파장판(162)과 선형 편광기(165)에 의한 공진기 손실(cavity loss)을 최대도 하여 발진을 막고, 이득매질(164)에 펌핑 에너지가 저장되게 한다.
- [0036] 에탈론(166)은 레이저 광의 펄스폭을 조정하는 역할을 하는데, 일정한 반사율을 갖는 평행 평면판으로서, 통상 유리 또는 수정의 평행 평면판 또는 그 양면에 유전체 다층박막을 증착시켜 반사율을 높인 광학소자이다. 에탈론(166)에 대하여는, 이하, 도 6을 참조하여 보다 상세하게 설명한다.
- [0037] 이하에서는, 공진기로부터 발진되는 레이저 광을 기초로 단일 펄스 레이저 광을 생성하기 위한 포토다이오드(photodiode)(110), 동기화부(120), 지연부(130), Q-드라이버(140) 및 전원 공급부(150)에 대하여 설명한다.
- [0038] 포토다이오드(110)는 공진기로부터 발진되는 레이저 광을 측정하고, 레이저 광의 측정에 대한 전기신호를 생성하여 동기화부(120)에 입력한다.
- [0039] 동기화부(120)는 포토다이오드(110)로부터 입력 받은 전기신호를 TTL 신호로 변환한다. 그리고 나서, 동기화부(120)는 TTL 신호를 지연부(130)에 입력한다.
- [0040] 지연부(130)는 동기화부(120)로부터 입력 받은 TTL 신호에 지연시간을 설정하여 트리거 TTL 신호를 Q-드라이버(140)로 출력한다. 여기에서, 지연시간은 모드록킹 및 Q-스위칭된 펄스들간의 동기화를 시키기 위하여 제어부를 통하여 결정된다.
- [0041] Q-드라이버(140)는 지연부(130)로부터 특정 지연시간 지연된 트리거 TTL 신호를 입력 받아 Q-스위칭을 수행하는

전기광학 변조기(163)에 전압(V)을 제공하여, 전기광학 변조기(163)가 Q-스위칭을 수행하도록 동작시킨다.

- [0042] 또한, 도면에는 도시하지 않았지만, 제어부는 공진기로부터 출력되는 레이저 광의 펄스폭과 펄스 에너지를 모니터링하여 지연시간을 결정한다. 예를 들어, 제어부는 출력되는 레이저 광의 펄스폭이 기 설정된 기준보다 작고 펄스 에너지가 기 설정된 기준보다 크게 형성되는 시간을 기초로 지연시간으로 결정할 수 있다. 그리고, 제어부는 결정된 지연시간을 지연부(130)에 제공하고, 지연부(130)는 트리거 TTL 신호에 해당 지연시간을 설정하여 해당 지연시간만큼 지연한 다음 트리거 TTL 신호를 Q-드라이버(140)에 제공할 수 있다.
- [0043] 일 실시예에서, 제어부는 트리거 TTL 신호가 지속되는 지속시간을 결정할 수 있다.
- [0044] 전원 공급부(150)는 이득매질(164)에 에너지를 공급하고, 램프(lamp)를 펌핑(pumping)할 때 출력되는 동기화 TTL 신호를 지연부(130)에 입력한다. 또한, 전원 공급부(150)에서 공급된 전력을 사용하여 램프가 펌핑 되고, 이득매질(164)에 펌핑된 광이 입사되어, 레이저 광을 생성하는데 필요한 에너지가 공급될 수 있다.
- [0045] 도 1을 참조하여, 신호의 흐름을 살펴보면, 포토다이오드(110)가 공진기(160)로부터 발진되는 레이저 광을 측정하여 동기화부(120)에 전기신호를 입력한다. 동기화부(120)는 전기신호를 TTL 신호로 변환하여 지연부(130)에 입력한다.
- [0046] 지연부(130)는 기 설정된 지연시간만큼 지연한 다음 트리거 TTL 신호를 발생시켜, Q-드라이버(140)에 입력한다. 기 설정된 지연시간만큼 지연한 다음 트리거 TTL 신호를 발생시키면, 모드록킹된 펄스와 Q-스위칭된 펄스 간의 정확한 동기화를 시킬 수 있어 단일 펄스 출력이 가능하다.
- [0047] 또한, 지연부(130)는 전원 공급부(150)로부터, 전원 공급부(150)가 램프를 펌핑할 때 출력되는 동기화 TTL 신호를 입력 받아 Q-드라이버(140)에 트리거 TTL 신호를 입력할 수 있다.
- [0048] Q-드라이버(140)는 트리거 TTL 신호를 입력 받아 구동되어 Q-스위칭을 수행하는 전자광학 변조기(163)가 동작하도록 할 수 있다.
- [0049] 도 2는 트리거 TTL 신호에 따라 Q-스위칭이 수행되는 과정을 도시한 그래프이다.
- [0050] 우선, 모드록킹을 수행하는 전자광학 변조기(167)는 처음부터 계속 일정한 진폭과 주파수로 동작한다. 보다 구체적으로, 매우 작은 세기의 모드록킹된 펄스가 공진기(160) 내부에서 발생할 수 있도록 파장관(162)을 조정하여 사전 발진(prelasing) 상태를 만들 수 있다.
- [0051] 또한, 사전 발진 된 펄스는 에탈론(166)에 의하여 펄스폭이 100ps - 1ns 범위 내의 값으로 조정되고, 제1 및 제2 미러(161 및 168)는 모두 99.9% 이상의 반사도를 가지는 전반사경이므로 공진기(160) 외부로 빔이 빠져나가지 못하여 펌핑 에너지는 모두 공진기(160) 내부에 저장된다.
- [0052] 상기 도 1을 참조하여 설명한 바와 같이, 트리거 TTL 신호가 Q-드라이버(140)에 입력되면, Q-드라이버(140)는 Q-스위칭을 수행하는 전기광학 변조기(163)에 전압을 제공하여 전기광학 변조기(163)를 동작시키고, Q-스위칭이 수행되도록 한다.
- [0053] 보다 구체적으로, 지연시간은 제어부를 통하여 결정되고, 제어부는 출력되는 레이저 광의 펄스폭과 펄스 에너지를 오실로스코프(oscilloscope)를 통하여 모니터링 하면서, 펄스폭이 특정 기준 보다 작고, 펄스 에너지는 특정 기준 보다 커지는 특정 시간을 기초로 지연시간을 결정할 수 있다. 일 실시예에서, 제어부의 기능은 사용자에게 의하여 외부로부터 입력되는 데이터를 기초로 실행되거나, 또는 제어부에서 자동으로 실행될 수 있다. 즉, 제어부는 직접 모니터링을 수행하고 지연시간을 결정하여 지연부(140)에 제공하거나, 또는 사용자에게 의하여 입력된 지연시간을 지연부(140)에 제공할 수 있다.
- [0054] 또한, 제어부는 트리거 TTL 신호가 얼마 동안 지속되어야 하는지에 대한, 지속시간(duration time)도 설정하여 지연부(130)에 제공할 수 있다.
- [0055] 도 3은 모드록킹 및 Q-스위칭된 신호를 통하여 출력되는 단일 펄스를 도시한 그래프이다.
- [0056] 우선, 상기 도 2를 참조하여 설명된 바와 같이, 모드록킹을 수행하는 전자광학 변조기(167)는 처음부터 계속 일

정한 진폭과 주파수로 동작한다. 즉, 전자광학 변조기(167)는 RF-드라이버가 동작함에 따라 사전 발진에 의해 피코초(picosecond) 펄스폭의 레이저 광을 미리 발진시킨다.

[0057] 그리고, 모드록킹된 펄스 간의 간격(ML-Round Trip time)과 Q-스위칭된 펄스의 펄스폭(QS-pulse width)의 관계를 기초로 공진기(160)를 설계제작하고, 트리거 TTL 신호의 지연시간을 결정하여, Q-스위칭의 동작과 사전 발진의 펄스가 지나가는 순간을 일치시켜 단일 펄스 레이저 광을 출력한다.

[0058] 보다 구체적으로, 트리거 TTL 신호의 지연시간은 아래의 [식 1]에 의하여 결정된다.

$$\Delta\tau_{QS-Pulse\ Width} \approx n \cdot \Delta T_{ML-Round\ Trip} \quad (n \leq 5)$$

[0059] [식 1]

[0060] 여기에서,  $\Delta\tau_{QS-Pulse\ Width}$  는 Q-스위칭된 펄스 폭에 대한 변수이고,  $\Delta T_{ML-Round\ Trip}$  은 모드록킹의 왕복 시간으로서, Q-스위칭된 펄스 폭의 변수가 모드록킹의 왕복 시간과 배수의 관계에 있음을 나타낸다.

[0061] 도 3을 참조하여, 단일 펄스 레이저 광이 생성되는 과정을 보면, 사전 발진된 펄스들이 공진기(160)를 계속 왕복하는 동안, 공진기 손실(cavity loss)에 의하여 이득매질(164)에 에너지가 충분히 쌓여 밀도 반전이 기 설정된 기준을 초과하고, 에너지가 최대로 충전되게 된다. 그러면, 사전 발진된 펄스가 Q-스위칭을 수행하는 전자광학 변조기(163)를 지나는 순간, 전자광학 변조기(163)를 동작시켜 Q-스위칭을 수행하도록 한다. 즉, Q-스위칭을 최대로 동작시켜주는 순간에 사전 발진 펄스가 지나가도록, 지연부(130)는 Q-드라이버(140)에 트리거 TTL 신호를 수십 ~ 수백 ns 의 정밀도로 지연시킨 다음 입력해야 한다.

[0062] 이렇게 Q-스위칭이 최대로 동작하는 시간과 사전 발진 펄스가 지나가는 시간이 일치하게 되면, 이득매질(164)에 최대로 충전된 에너지가 모두 출력되어 1개의 펄스에 거의 대부분의 에너지가 실리게 되고, 이는 공진기 내부를 1회 왕복한 다음 선형 편광기(165)에 의해서 출력된다. 여기에서, 출력이 되는 이유는, 1회 왕복 동안에 Q-스위칭이 동작하므로, 빔의 편광이 원래 수평편광에서,  $\lambda/4$  를 두 번 거치게 되어 수평 편광에 대해 수직편광으로 돌아가기 때문에 선형 편광기를 통과하지 못하고 모두 외부로 반사되기 때문이다.

[0063] 본 발명은, 이와 같이, Q-스위칭된 펄스폭과 모드록킹된 펄스들 간의 관계를 이용하여 피코초 단일 펄스를 생성하므로, 펄스 피커(pulse picker) 방식을 사용하지 않을 수 있다.

[0064] 도 4는 사전 발진 상태와 Q-스위칭 및 모드록킹된 신호를 도시한 그래프이다.

[0065] 도 4의 (a)는 사전 발진 상태에서 트리거 레벨(trigger level)을 작게 설정하여 측정된 도면이고, 도 4의 (b)는 Q-스위칭 및 모드록킹된 펄스의 시작부분으로서 트리거 레벨을 높여서 측정된 도면이다.

[0066] 즉, 도 4를 참조하면, 사전 발진 되다가 Q-스위칭 및 모드록킹이 수행되면 에너지가 큰 단일 펄스 레이저 광이 생성되는 것을 볼 수 있다.

[0067] 도 5는 사전 발진에 따라 변경된 펄스폭을 도시한 그래프이다.

[0068] 도 5를 참조하면, 사전 발진 없이 Q-스위칭 및 모드록킹이 수행된 펄스의 펄스폭을 사전 발진 방법을 사용하여 생성된 Q-스위칭 및 모드록킹된 펄스를 비교하면, 사전 발진 방법이 사용되는 경우가, 펄스폭이 더 작게 형성되는 것을 볼 수 있다.

[0069] 즉, Q-스위칭이 동작 하기 전에 미리 연속파 발진(cw lasing)을 동작 시키는 사전 발진 방법을 사용하여, 사전 발진된 연속파 모드록킹된 펄스(cw mode-locked pulse)의 피코초 펄스폭이 출력 빔에 반영되도록 하여, 펄스폭을 더 작게 형성한다.

[0070] 이를 통하여, 펄스폭은 좁고 에너지는 높게 형성된 단일 펄스 레이저 광을 형성할 수 있고, 따라서, 국소부위에 레이저 광을 집중시킬 수 있는 이점이 있다.

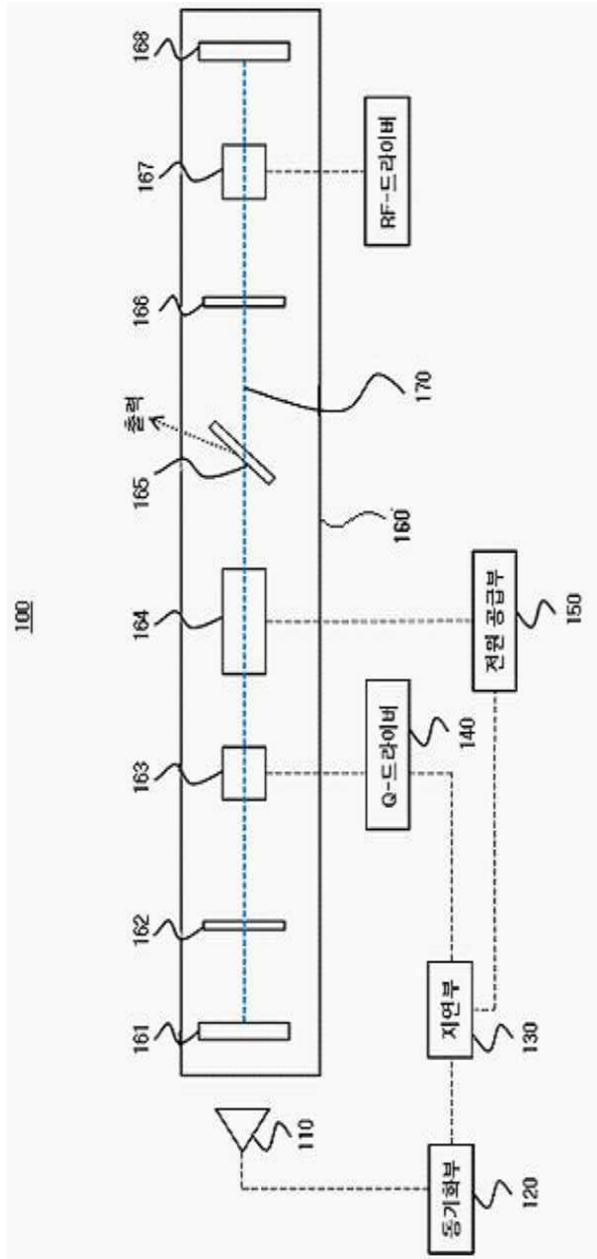
[0071] 도 6은 에탈론의 두께에 따라 변화되는 펄스폭을 나타내는 그래프이다.

[0072] 사전 발진을 한 다음에 출력된 Q-스위칭 및 모드록킹된 펄스의 펄스폭은 에탈론(166)을 사용하여 1ns 이상의 펄

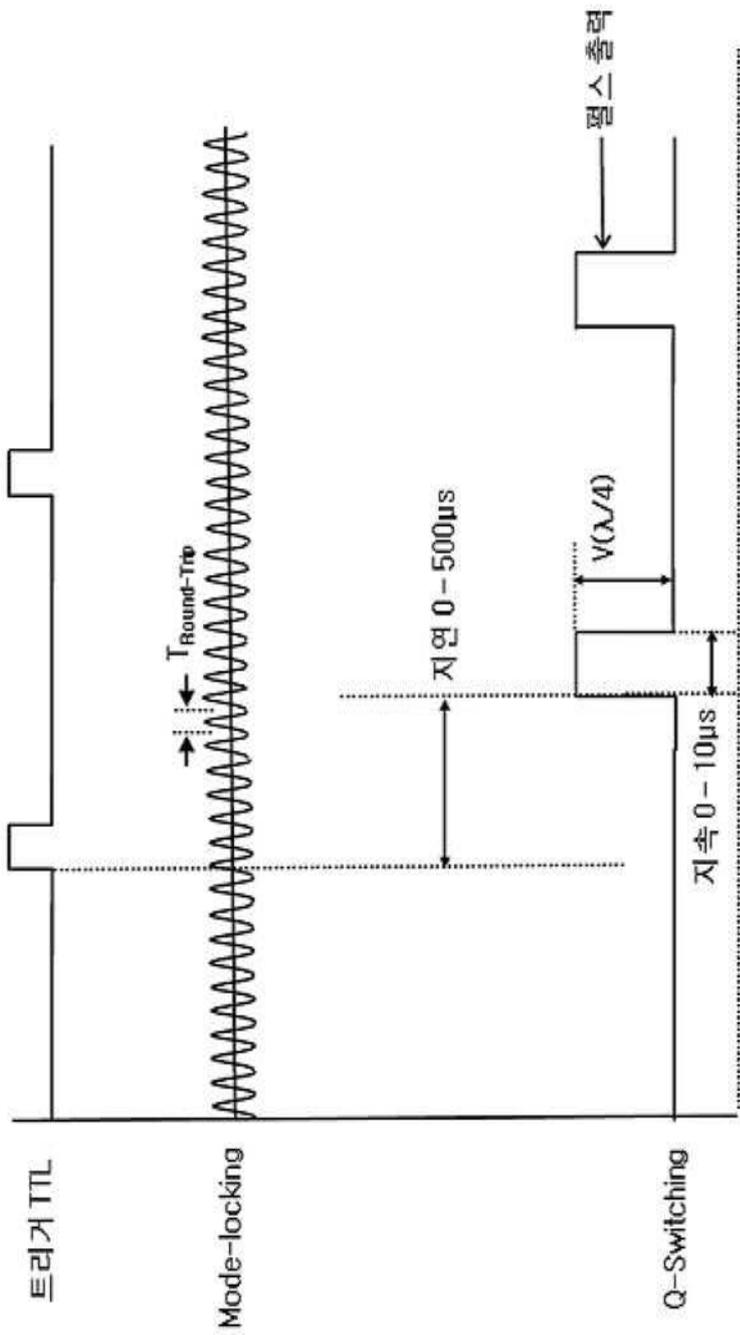


도면

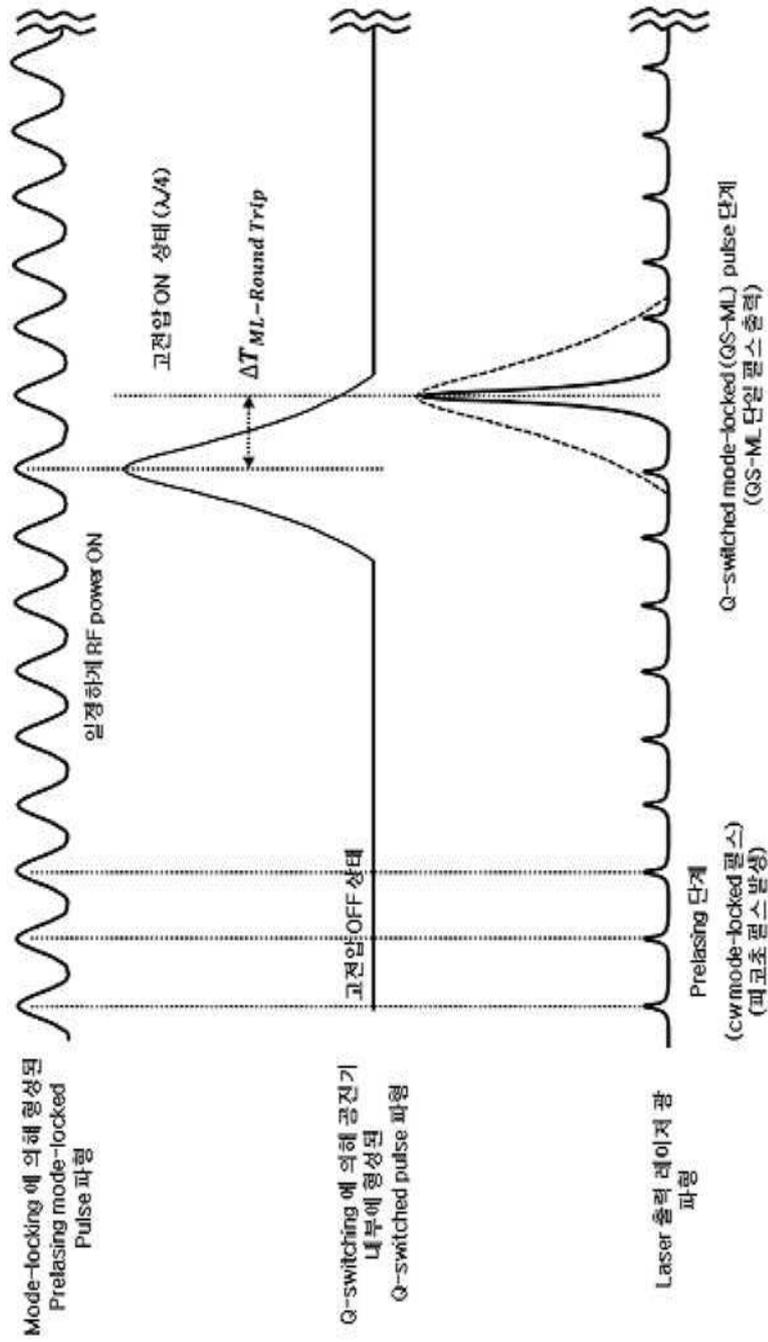
도면1



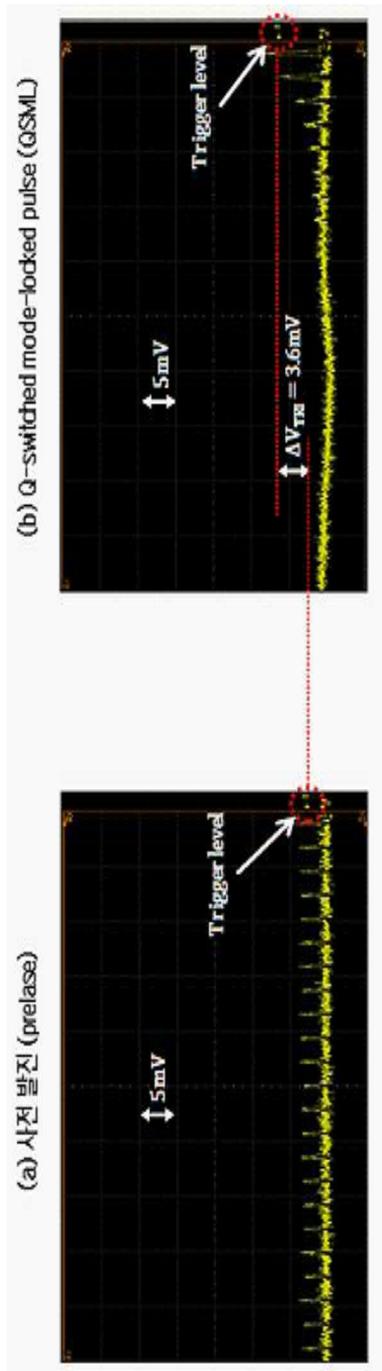
도면2



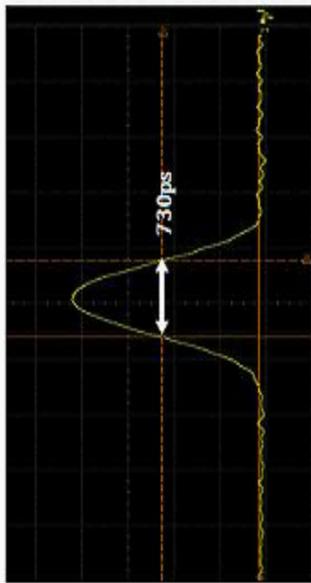
도면3



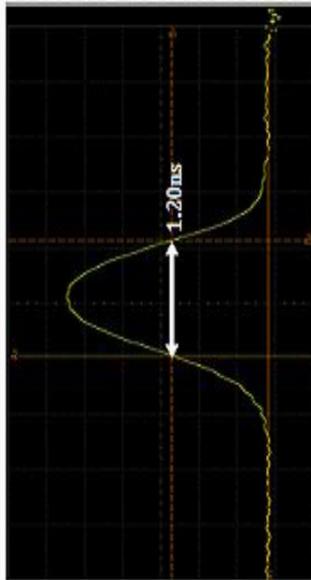
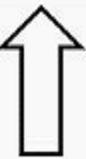
도면4



도면5



사전 발진



도면6

