

고출력 레이저 증폭기 계열의 optical isolator 설계(I) ; Glass optics[†]

Design of the Optical Isolator System for the High Power Pulse Laser.

이인원*, 서정철(한국표준연구소), 이상수(한국과학기술원)

ABSTRACT

The overall design of the optical isolator system is prepared for the 1 TW Nd pulse laser. Two pockels cell optical switches are employed to suppress the amplified spontaneous emission and the backward reflection. The role of two Farady rotators is to protect the laser system from the light amplified after back reflection. One saturable absorber dye and one liquid crystal polarizer/isolator will also serve as optical isolator.

1. 광단절기(optical isolator)의 역할

고출력 레이저광을 얻기 위해서는 레이저 발진기에서 방출된 레이저광을 여러 단계의 레이저 증폭기를 거쳐 출력을 키워야 한다. 레이저 증폭기의 증폭율을 최대로 하기 위해서는 증폭 매질의 이득이 최대한 순간에 레이저 광이 지나가면서 유도방출에 의한 증폭이 이루어져야 한다. 펄스 레이저의 경우 증폭매질의 펄핑도 펄스로 하게 되며 펄핑 시작순간부터 밀도 반전이 최대가 되어 증폭이득이 최대되는 순간까지는 시간이 걸리게 되며 이시간동안 상 에너지준위(upper energy level)에 여기된 매질이 하 에너지 준위로 떨어지면서 자연방출에 의한 빛을 내게 된다. 자연방출 방식으로 발생된 빛중 이득매질 내부를 광축방향으로 진행하는 빛은 유도방출에 의해 증폭되면서 밀도반전의 크기를 감소시키는 결과를 초래한다. 이러한 현상은 바람직 하지 못한 것으로서 레이저 발진기에서 나온 레이저 펄스가 증폭매질을 통과하기 전에 증폭 매질의 이득을 감소시킴으로써 목적하는 광펄스의 증폭을 저해하는 요인이 되며 핵융합 연구에서와 같이 아주 작은 목표물에 레이저광을 순간적으로 집중시켜 실험하고자 할 때에는 추가되는 광펄스가 도달되기 전에 목표물에 원치 않는 광이 조사되어 목표물의 위치와 상태를 흐트러 뜨리는 나쁜 요인이 되기도 한다.

증폭기 계열이 여러 단계로 되어 있을수록 이러한 증폭기 매질내에서의 자연방출의 증폭현상이 심각해지며 이를 방지하기 위해서는 각 단계의 증폭기를 서로 단절시키는 광단절기가 필요하게 된다.

고출력 펄스레이저광을 목표물에 집중시켜 플라즈마 발생, X-선발생등의 실험을 하거나 핵융합 연구를 할때 목표물에서 반사된 레이저광이 되돌아 거꾸로

진행하면서 증폭 매질에서 계속적으로 증폭될 경우에는 대단히 큰 에너지가 레이저 발진기 등의 장치에 입사되므로 장치의 손상을 초래하기 쉽다. 목표물 이외에도 광축과 수직인 경계면에서 반사된 빛은 되돌아 거꾸로 진행하면서 증폭되며 경계면 사이에서 왕복하면서 발진할 수도 있다. 이러한 후방반사 현상을 줄이기 위해서도 광단절기가 필요하게 된다[1].

레이저 발진기에서 짧고 강한 펄스광을 얻기 위해서 보통 모드로킹(mode locking)과 Q-스위칭을 이용하게 되며 여러개의 광펄스 중에서 원하는 시간 간격으로 하나의 펄스를 선택하여 증폭기에 보내게 된다. 이때 발진기에서 얻어지는 레이저광이 원하는 광펄스 이외에 작은 잡음신호를 동반하는 경우가 있으며 이러한 잡음을 상대적으로 줄여주기 위해서 광단절기가 이용되기도 한다.

2. 광단절기의 종류

본 연구에서 관심이 있는 고출력 펄스 레이저에서 사용되는 대표적인 광단절 방식을 열거하면 아래와 같다.

가. 포화흡수체(saturable absorber)

해당 레이저 파장에서 흡수 특성을 지니는 색소 등을 증폭기 각 단계 사이에 설치함으로써 ASE (amplified spontaneous emission)을 억제할 수 있으며 잡음신호도 제거할 수 있다. 레이저 발진기에서 나와 전치증폭기(pre-amplifier)에서 증폭된 강한 빛이 포화 흡수체에 입사될 경우에는 포화흡수체는 극히 일부의 빛만을 흡수함으로써 표백되어 빛을 투과시키게 되며 반면에 잡음신호, 자연방출광과 같이 약한 빛에 대해서는 강한 흡수체의 역할을 하게 된다. Nd 레이저에서 사용 되는 Kodak 9860, 9740 색소의 경우에는 10^8 W/cm² 수준에서 포화되는 것으로 알려져 있다[1]. 따라서 목표물에서의 후방반사광(10^9 W/cm² 수준)에 대해서는 독자적 으로는 광단절기 역할을 하기에 미흡하며 다음에 설명 되는 파라디 편광소자(Farady rotator) 등과 함께 쓰이기도 한다.

나. Pockels cell switch

서로 직각으로 놓여 있는 편광자(polarizer) 사이에 전기광학소자(electrooptic element)를 설치하고 전압을 걸어 편광방향이 90° 회전되도록 조절하면 전압 이 걸린 때에는 빛이 통과하고 전압을 걸지 않았을 때에는 빛의 통과가 차단되는 광스위치

† 이 연구는 과기처 특정연구로 수행되었음.

형성된다. Nd 레이저에서는 $KD^*(KD_2PO_4)$ 결정이 [2] pockels cell로 주로 사용되고 있으며 pockels cell은 ASE 억제와 후방반사 방지에 모두 효과적이며 레이저 발진기에서의 광펄스 잡음을 제거하고 원하는 펄스만을 통과시키기 위해서는 전압을 빠른 속도로 원하는 순간에 맞추어 걸어들 수 있는 부속장치가 필요하며 따라서 비교적 높은 경비와 기술이 요구되는 방식이다.

다. Farady rotator

매질내부에 광축과 평행인 방향으로 자기장을 만들어 주어 매질을 지나는 광의 편광방향이 매질의 Verdet 상수와 자기장의 세기에 비례하여 회전되는 Farady 효과를 이용함으로써 광단절기 구성이 가능하다. 두개의 편광자와 45° 편광회전판을 사용할 경우에는 Farady 효과로 45° 를 회전시켜 줌으로써 전체 장치에 들어오고 나가는 빛의 편광방향을 연직 또는 수평방향 등으로 유지시킬 수 있다. Farady rotator는 한쪽 방향으로 빛을 통과시키고 반대방향으로는 빛을 차단하는 특성이 있으므로 목표물에서의 후방반사에 의한 레이저 장치 손상을 방지하기 위해 사용되기에 적합하다. 두개의 편광자와 함께 사용함으로써 후방반사 등에서 발생하는 편광방향 변화에 영향받지 않고 항상 좋은 순방향 역방향 투과율비를 유지할 수 있는 장점이 있다. 자장을 만들어 주기 위한 부대 장치가 필요하다.

라. 수동 편광회전자(passive rotator)

선편광된 빛이 편광자(polarizer)를 통과한 다음 $\frac{1}{4}$ 파장판을 지남으로써 원편광되게 하면 반사될 때에 180° 위상이 바뀐 빛은 $\frac{1}{4}$ 파장판을 다시 지난 다음 편광자와 수직방향으로 선편광되게 되므로 통과하지 못하게 된다. 액정을 사용하여 유사한 광단절기를 구성할 수 있다. Cholesteric 액정은 우선성(right handed) 또는 좌선성(left handed)의 광활성(optical activity)을 가지며 우선성 액정의 경우 오른쪽 나사방향으로 원편광된 빛은 반사하고 왼나사방향 원편광은 통과시키므로 반사된 빛은 차단해 버리는 광단절기로 작용한다. 수정이나 액정과 같은 수동편광회전자는 간편하고 가격이 비교적 싸다는 장점이 있으며 액정의 경우 대구경 제품도 쉽게 만들 수 있다[3].

3. TW Nd 레이저용 optical isolator 설계

현재 국내에서 추진중인 TW Nd 펄스 레이저 개발 연구는 1 TW 출력을 얻기 위해 3단계의 붕 증폭기와 2단계의 디스크 증폭기를 구성하는 것으로 계획되고 있다. 유사한 장치로 특히 참고가 되는 것은 미국 Rochester대학 LLE(Laboratory for Laser Energetics)의 Omega[4] 장치와 일본 오사카대학의 GEKKO XII[5], 미국 Naval Research Lab.의 Pharos II[7]와 중국 Shanghai Inst. of Optics and Fine Mechanics의 고출력 레이저 장치[8] 등이다. 이들 장치에서는 공통적으로 2개 정도의 Farady rotator와 4개 가량의 Pockels cell을 광단절기로 사용하고 있으며 Omega에서는 포화흡수체로 과거에 dye cell을 사용한적이 있으며 액정에 대한 연구도 체계적으로 추진되어 최근에서 액정을 일부 optical isolator 부품으로 사용하고 있다.

국내의 TW 레이저에서도 기존 장치들과 유사하게 2개의 Farady rotator와 2개의 Pockels cell을 채용하고 선택사양으로 1개의 dye cell과 1개의 액정 소자를 사용하는 것으로 계획하고 있다. 첫번째의 Farady rotator FR1은 첫번째 증폭기 앞에 두며 2개의

편광자와 45° 회전판으로 구성하여 후방반사로부터 레이저 발진기를 철저히 보호하는 역할을 담당한다. 2개의 편광자는 다중박막에 의한 Brewster 각 편광자이며 45° 회전판은 수정편광을 사용하고 Farady rotator 재질로는 Verdet 상수의 분산이 적은 FR-5를 선정하였다. 두개의 Pockels cell PC1과 PC2는 제1 증폭기와 제2 증폭기 사이에 PC1을 제2와 제3 증폭기 사이에 PC2를 설치하여 ASE와 후방반사를 억제하고 잡음신호를 제거 한다. 각각 2개의 편광자와 KD^*P 결정으로 구성하되 쉽게 구할 수 있는 1" 직경의 결정을 사용한다. 제3 증폭기와 디스크 증폭기를 단절시키기 위해 제3 증폭기 후단에 포화흡수 색소셀을 1개 설치하고 그 다음에 제2 Farady rotator FR2를 두어 목표물에서 반사되어 오는 빛을 차단하도록 한다. 제4 증폭기와 제5 증폭기 사이에는 광단절기를 설치하지 않고 그대신 제5 증폭기 다음에 액정을 이용한 반사광 차단 소자를 설치한다. 이 액정소자 LC1은 선편광을 원편광으로 바꾸어주는 $\frac{1}{4}$ 파장판 1개와 cholesteric 액정으로 구성하며 액정용기는 국내 제작 한다. 광단절기(optical isolator)에 대한 개괄적인 설계가 수립된 단계이며 각 부품의 구체적 설계는 증폭기 계통의 구체화와 병행하여 결정되어질 전망이다.

References

- [1] J. Soares, S. Kumpan, and J. Hoose, "High power Nd : glass laser for fusion application", Appl. optics 13, 2081 (1974).
- [2] A. Yariv, Quantum Electronics, 2nd Ed. John Wiley and Sons, Inc. (1975).
- [3] S.D. Jacobs et al., "Liquid-crystal laser optics : design, fabrication, and performance", J. Opt. Soc. Am. B5, 1962(1988).
- [4] J. Bunkenburg et al., "The Omega high-power phosphate glass system : design and performance", IEEE J. of Quntum Electronics, QE-17, 1620(1981).
- [5] Y. Kato et al., "GEKKO XII glass laser system : optical components", optics (Japanese)17, 616 (1988).
- [6] D.R. Speck et al., "The Shiva laser-fusion facility," IEEE, J. of Quantum Electronics 17, 1599 (1981).
- [7] J. M. Mc Mahon et al., "The upgraded Pharos II laser system". IEEE J. of Quantum Electronics, QE-17, 1629(1981).
- [8] D. Ximing and Yu Wenyuan, "Development of high-power laser system for laser fusion research", IEEE J. of Quantum Electronics, QE-17, 1650 (1981).