



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년08월10일
(11) 등록번호 10-1647062
(24) 등록일자 2016년08월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21B 1/23 (2006.01) G21K 1/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G21B 1/23 (2013.01)
G21K 1/10 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0002611
(22) 출원일자 2016년01월08일
심사청구일자 2016년01월08일
(56) 선행기술조사문헌
JP05312712 A*
JP06102086 A*
JP2003240715 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
조규만
서울특별시 강북구 인수봉로79길 93 4동 201호(수유동, 현대빌라)
윤승현
서울특별시 성북구 송인로2길 61, 113동 1504호 (길음동, 길음동동부센트레빌아파트)
(74) 대리인
(뒷면에 계속)
이지연

전체 청구항 수 : 총 8 항

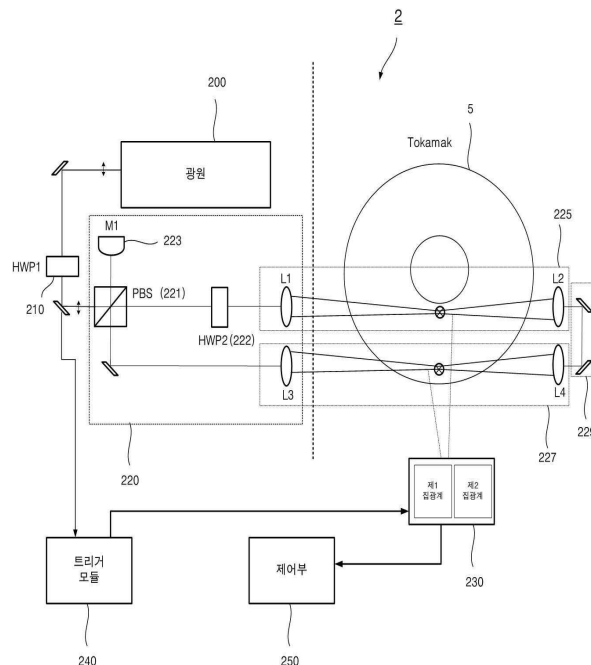
심사관 : 윤연숙

(54) 발명의 명칭 다중경로 톨슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템

(57) 요약

본 발명은 다중경로 톨슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템에 관한 것이다. 상기 플라즈마 진단 시스템은, 플라즈마 내의 서로 다른 영역에 광집속되는 제1 및 제2 광집속부를 구비하고, 상기 광원으로부터 제공된 레이저 빔 펄스를 이용하여, 제1 및 제2 광집속부에 수직 편광 상태의 레이저 빔 펄스와 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄 (뒷면에 계속)

대표도 - 도2



스를 제공하는 광학계; 상기 제1 광집속부에 의해 집속된 레이저 빔 펄스에 의해 플라즈마에서 산란된 신호들을 집광한 제1 집광 신호 및 상기 제2 광집속부에 의해 집속된 레이저 빔 펄스에 의해 플라즈마에서 산란된 신호들을 집광한 제2 집광 신호를 측정하여 제공하는 집광계; 및 상기 집광계에 의해 측정된 제1 및 제2 집광 신호들을 이용하여, 플라즈마에 대한 톨슨 산란 신호를 측정하는 제어부;를 구비하고, 상기 제1 및 제2 집광 신호는 집속된 레이저 빔 펄스의 편광 상태에 따라 톨슨 산란 신호와 배경 산란 잡음 신호가 혼합되어 구성된 혼합 신호 및 배경 산란 잡음 신호 중 하나로 구성된다.

본 발명에 따른 다중경로 톨슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템은 플라즈마의 서로 다른 2 영역에 레이저 빔 펄스를 광집속하여 다중경로로 산란을 발생시키고, 플라즈마로부터 산란된 신호들을 다중으로 측정함으로써, 정확한 산란 신호들의 측정이 가능하다.

(72) 발명자

안화근

경상북도 안동시 무주무길 110 6통 2반 (수하동)

박준규

서울특별시 영등포구 여의대방로45길 20 102호 (신길동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NRF-2014M1A7A1A01029956

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 2014년 대학중심 핵융합기초연구 및 인력양성지원사업

연구과제명 KSTAR 톨슨산란장치 성능 개선을 위한 다중 왕복 방법 및 광학계 개선 연구

기 여 율 1/1

주관기관 서강대학교

연구기간 2015.06.01 ~ 2016.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

사전 설정된 편광과 파장의 레이저 빔 펄스를 제공하는 광원;

플라즈마 내의 서로 다른 제1 영역 및 제2 영역에 각각 광집속되는 제1 및 제2 광집속부를 구비하고, 상기 광원으로부터 제공된 레이저 빔 펄스를 이용하여, 제1 및 제2 광집속부에 수직 편광 상태의 레이저 빔 펄스와 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스를 제공하는 광학계;

상기 제1 광집속부에 의해 집속된 레이저 빔 펄스에 의해 플라즈마에서 산란된 신호들을 집광한 제1 집광 신호 및 상기 제2 광집속부에 의해 집속된 레이저 빔 펄스에 의해 플라즈마에서 산란된 신호들을 집광한 제2 집광 신호를 측정하여 제공하는 집광계; 및

상기 집광계에 의해 측정된 제1 및 제2 집광 신호들을 이용하여, 플라즈마에 대한 톨슨 산란 신호를 측정하는 제어부;

를 구비하고, 제1 및 제2 광집속부를 통해 플라즈마내의 제1 및 제2 영역에 왕복 경로마다 서로 다른 편광 상태를 갖는 레이저 빔 펄스들을 순차적으로 제공하여 플라즈마 내의 다중 경로 산란을 발생시키는 것을 특징으로 하며,

제1 및 제2 영역에 수직 편광 상태의 레이저 빔 펄스가 집속되면 상기 제1 및 제2 집광 신호는 톨슨 산란 신호와 배경 산란 잡음 신호가 혼합된 신호로 구성되며, 제1 및 제2 영역에 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스가 집속되면 상기 제1 및 제2 집광 신호는 배경 산란 잡음 신호로 구성되며,

상기 제어부는 상기 집광계에 의해 측정된 톨슨 산란 신호와 배경 산란 잡음 신호가 혼합된 신호 및 배경 산란 잡음 신호를 이용하여 톨슨 산란 신호를 검출하는 것을 특징으로 하는 다중경로 톨슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 광학계는,

상기 광원으로부터 제공된 레이저 빔 펄스의 광경로상에 배치된 편광 빔 스플리터;

상기 광원으로부터 제공된 레이저 빔 펄스가 반사되어 출사된 상기 편광 빔 스플리터의 제1 면의 전면에 배치되어, 편광 빔 스플리터의 제2 면으로부터 투과된 레이저 빔 펄스를 다시 편광 빔 스플리터의 제 2면으로 제공하는 반사 거울;

상기 편광 빔 스플리터의 제1 면의 후면 위치한 반파장판;

플라즈마의 양단으로부터 일정거리 이격된 위치에 배치된 2개의 볼록 렌즈를 구비하여, 상기 레이저 빔 펄스가 플라즈마 내의 제1 영역에서 집속되도록 구성된 제1 광집속부;

플라즈마의 양단으로부터 일정거리 이격된 위치에 배치된 2개의 볼록 렌즈를 구비하여, 상기 레이저 빔 펄스가 플라즈마 내의 제2 영역에서 집속되도록 구성된 제2 광집속부;

상기 제1 광집속부로부터 출력된 레이저 빔 펄스를 제2 광집속부로 제공하거나, 제2 광집속부로부터 출력된 레이저 빔 펄스를 제1 광집속부로 제공하는 광경로 변경부;

을 구비하여, 제1 및 제2 광집속부를 통해 플라즈마내의 제1 및 제2 영역에 수직 편광 상태의 레이저 빔 펄스와 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스들을 순차적으로 제공하여 플라즈마 내의 다중경로 산란을 발생시키는 것을 특징으로 하는 다중경로 톨슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 광원과 광학계의 사이에 광 차폐 모듈을 더 구비하고,

상기 광 차폐 모듈은 상기 광원으로부터 제공된 레이저 빔 펄스가 광학계로 진행하도록 하되, 상기 광학계로부터 출력된 광이 광원으로 들어가지 못하게 하는 것을 특징으로 하는 다중경로 톱슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 플라즈마 진단 시스템은 상기 광학계로부터 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스와 수직 편광 상태의 레이저 빔 펄스가 제공될 때 각각 트리거 신호들을 생성하여 출력하는 트리거 모듈을 더 구비하고,

상기 집광계는 트리거 모듈로부터 출력되는 트리거 신호들에 따라 구동되는 것을 특징으로 하는 다중경로 톱슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 트리거 모듈은 상기 광원과 상기 광학계의 사이 또는 광학계의 입구의 위치에 배치되어, 상기 광원으로부터 상기 광학계로 레이저 빔 펄스가 제공되는 것을 감지하거나 상기 광학계로부터 플라즈마로 레이저 빔 펄스가 제공되는 것을 감지하거나 상기 광학계의 입구의 위치에서 레이저 빔 펄스가 제공되는 것을 감지하면, 트리거 신호를 생성하여 출력하는 것을 특징으로 하는 다중경로 톱슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 집광계는 제1 및 제2 집광계로 구성되며,

제1 집광계는 제1 광집속부의 산란 신호를 측정하여 제1 집광 신호를 제공하며, 제2 집광계는 제2 광집속부의 산란 신호를 측정하여 제2 집광 신호를 제공하는 것을 특징으로 하는 다중경로 톱슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템.

청구항 7

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 광학계는 플라즈마 내부로 레이저 빔 펄스를 집속시키며, 상기 집광계는 상기 플라즈마 내의 산란된 빛 신호들을 집광하여 측정하며, 상기 제어부는 플라즈마 내의 톱슨 산란 신호를 측정하여 제공하는 것을 특징으로 하는 다중경로 톱슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템.

청구항 8

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 플라즈마 진단 시스템은 전자의 온도와 밀도 측정이 필요한 플라즈마 장치에 적용되는 것을 특징으로 하는 플라즈마 진단 시스템

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 톱슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로는, 톱슨 산란이 이를 유도시키는 선형으로 편광된 입력광의 편광방향과 같은 방향으로 산란광을 방출시키지 않는다는 톱슨산란의 고유한 특성을 이용한 발명으로, 입력광이 핵융합로 내의 플라즈마에서 진행횟수에 따라 편광이 90도 회전하는 다중 경로를 발생시키도록 구성된 광학계를 이용하여, 플라즈마 내에서 배경 산란 잡음신호에 묻혀있는 톱슨 산란 신호로부터 배경 산란 잡음 신호를 제거하여 정확한 톱슨 산란 신호를 측정해 낼 수 있는 다중 경로 톱슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

토카막(Tokamak) 방식의 핵융합은 대표적으로 중수소 원자와 삼중수소 원자에 높은 온도를 가열하여 원자핵들과 전자들 각각이 자유로운 이동도를 갖는 원자들이 이온화된 플라즈마 상태가 되며, 강한 토로이드 자기장을 이용하여 이들을 구속시킴으로써 충분히 높은 온도의 원자핵들이 쿨롱 힘을 극복하고 충분히 가까워져 핵융합 반응이 일어난다. 이 고온 고밀도의 플라즈마 상태를 안정적으로 운영 및 컨트롤하기 위해 플라즈마의 온도와 밀도를 알아야 하며, 따라서 이들에 대한 정밀한 측정이 요구된다. 이러한 요구에 의해, 다양한 방식의 플라즈마 진단

단 장치들이 개발되어 사용되고 있으며, 그 중 하나가 톰슨 산란(Thomson Scattering)을 이용한 진단 장비이며 전자의 온도와 밀도를 측정하는 데 필수적인 기초진단장치이다.

[0003] 도 1은 핵융합로의 토카막 내부의 플라즈마 상태를 진단하기 위한 종래의 톰슨 산란을 이용한 진단 장비를 개략적으로 도시한 구성도이다.

[0004] 도 1을 참조하면, 핵융합로의 토카막(5) 내부의 플라즈마 상태를 진단하기 위한 전술한 종래의 톰슨 산란을 이용한 진단 장비(1)는, 수직인 방향으로 편광된 강한 펄스 레이저 빛을 출력하는 광원(100), 수직 편광 상태의 레이저 빛을 토카막 내부의 플라즈마로 집속시키는 광학계(110), 상기 토카막 외부에 장착되어 토카막으로부터 나온 레이저 빔을 흡수하여 제거하는 레이저 빔 덤프(120), 레이저 빛에 의해 산란된 빛들을 집광하는 집광계(130)를 구비한다.

[0005] 이를 보다 구체적으로 설명하면, 전술한 톰슨 산란을 이용한 진단 장비(1)는 플라즈마에서 전자의 온도와 밀도를 측정하기 위해, 광원(100)과 광학계(110)를 이용하여 토카막(5) 외부에서 단일파장(1064nm)의 강한 세기를 갖는 레이저 펄스를 플라즈마로 채워진 토카막 내부에 집속(focusing)을 한다. 집속된 단일 방향으로 진동하는 강한 전기장에 의해, 플라즈마를 구성하는 전자들, 특히 전자들은 레이저 빛의 전기장 방향으로 진동하기 때문에, 입사된 레이저 빛과 같은 진동수로 진동하는 전기 쌍극자 모멘트에 의해 방출되는 광, 즉 톰슨 산란광을 방출한다. 따라서, 톰슨 산란광은 진동하는 전기 쌍극자 모멘트와 같은 세기 분포로 산란광을 방출하며, 이 경우, 레이저 빛의 편광 방향에 평행한 방향으로 톰슨 산란광이 방출되지 않는다. 따라서, 도 1의 토카막 단면으로 들어오는 레이저 빛의 편광이 이 면에 대하여 수직인 경우는 집광계(collection optics) 방향으로 산란광이 방출되어 이를 받아들일 수 있다. 그에 반해, 도 1의 토카막 단면에 대하여 수평으로 편광된 레이저 빛의 경우에는 집광계 방향으로 톰슨 산란광이 방출되지 않기 때문에 집광계로 받아들여지는 톰슨 산란 빛이 거의 없다.

[0006] 한편, 플라즈마들이 가만히 있는 것이 아니라 빠르게 이동하고 있으므로 산란되는 빛은 도플러효과에 의해서 파장의 도플러 이동(Doppler shift)이 일어나게 된다. 따라서, 톰슨 산란을 이용한 진단 장비는 도플러 효과에 의한 파장 변이를 측정함으로써 플라즈마에서 전자의 온도를 알 수 있으며, 또한 측정되는 빛의 분포 세기에 따라 전자의 밀도도 알 수 있다. 즉, 플라즈마에서 톰슨 산란 빛의 신호를 정확히 측정할 수 있다면, 플라즈마의 온도와 밀도를 정확하게 알 수 있게 된다.

[0007] 하지만, 완전히 않은 광부품 등에 의해 반사되어 토카막으로 입사된 빛과 토카막의 벽면 등에서 산란된 다수의 산란된 빛들이 존재하는데, 이를 미광(stray light)이라 한다. 종래의 톰슨 산란을 이용한 진단 장비에 의해 측정되는 톰슨 산란 신호에 전술한 미광(stray light)에 의한 배경 산란 잡음 신호(Background noise)가 포함됨에 따라, 측정된 톰슨 산란 신호의 정확도가 떨어지게 되는 문제점이 발생한다. 특히 플라즈마로부터 발생한 톰슨 산란 단면적(scattering cross section)이 매우 작기 때문에 미광에 의한 효과가 톰슨산란에 대한 신호분석에 커다란 장애가 되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 한국특허공개공보 제 10-2014-0007145호
(특허문헌 0002) 한국특허공개공보 제 10-2013-0099641호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 전술한 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은 플라즈마 내의 서로 다른 영역에 광집속되는 제1 및 제2 광집속부를 갖는 광학계를 이용하여 배경 산란 잡음 신호가 제거된 정확한 톰슨 산란 신호를 측정할 수 있는 다중 톰슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템에 관한 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 전술한 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따른 다중 톰슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템은, 사전 설정된 편광과 파장의 레이저 빔 펄스를 제공하는 광원; 플라즈마 내의 서로 다른 영역에 광집속되는 제1

및 제2 광집속부를 구비하고, 상기 광원으로부터 제공된 레이저 빔 펄스를 이용하여, 제1 및 제2 광집속부에 수직 편광 상태의 레이저 빔 펄스와 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스를 제공하는 광학계; 상기 제1 광집속부에 의해 집속된 레이저 빔 펄스에 의해 플라즈마에서 산란된 신호들을 집광한 제1 집광 신호 및 상기 제2 광집속부에 의해 집속된 레이저 빔 펄스에 의해 플라즈마에서 산란된 신호들을 집광한 제2 집광 신호를 측정하여 제공하는 집광계; 및 상기 집광계에 의해 측정된 제1 및 제2 집광 신호들을 이용하여, 플라즈마에 대한 톰슨 산란 신호를 측정하는 제어부;를 구비하고, 상기 제1 및 제2 집광 신호는 집속된 레이저 빔 펄스의 편광 상태에 따라 톰슨 산란 신호와 배경 산란 잡음 신호가 혼합되어 구성된 혼합 신호 및 배경 산란 잡음 신호 중 하나로 구성되며, 제1 및 제2 광집속부를 통해 플라즈마내의 제1 및 제2 영역에 레이저 빔 펄스를 제공하여 플라즈마 내의 진행 횟수에 따라 편광이 90도 회전하는 다중 경로 산란을 발생시키는 것을 특징으로 한다.

[0011] 전술한 특징에 따른 다중 톰슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템에 있어서, 상기 광학계는, 상기 광원으로부터 제공된 레이저 빔 펄스의 광경로상에 배치된 편광 빔 스플리터; 상기 광원으로부터 제공된 레이저 빔 펄스가 반사되어 출사된 상기 편광 빔 스플리터의 제1 면의 전면에 배치되어, 편광 빔 스플리터의 제2 면으로부터 투과된 레이저 빔 펄스를 다시 편광 빔 스플리터의 제2 면으로 제공하는 반사 거울; 상기 편광 빔 스플리터의 제1 면을 지나 광경로상에 위치한 반과장판; 플라즈마의 양단으로부터 일정거리 이격된 위치에 배치된 2개의 볼록 렌즈를 구비하여, 상기 레이저 빔 펄스가 플라즈마 내의 제1 영역에서 집속되도록 구성된 제1 광집속부; 플라즈마의 양단으로부터 일정거리 이격된 위치에 배치된 2개의 볼록 렌즈를 구비하여, 상기 레이저 빔 펄스가 플라즈마 내의 제2 영역에서 집속되도록 구성된 제2 광집속부; 상기 제1 광집속부로부터 출력된 레이저 빔 펄스를 제2 광집속부로 제공하거나, 제2 광집속부로부터 출력된 레이저 빔 펄스를 제1 광집속부로 제공하는 광경로 변경부;를 구비하여, 제1 및 제2 광집속부를 통해 플라즈마내의 제1 및 제2 영역에 수직 편광 상태의 레이저 빔 펄스와 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스를 제공하여 플라즈마 내의 다중 산란을 발생시키는 것이 바람직하다.

[0012] 전술한 특징에 따른 다중 경로 톰슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템에 있어서, 필요할 경우 상기 광원과 광학계의 사이에 광 차폐 모듈을 더 구비하고, 상기 광 차폐 모듈은 상기 광원으로부터 제공된 레이저 빔 펄스가 광학계로 진행하도록 하되, 상기 광학계로부터 출력된 광이 광원으로 들어가지 못하게 하는 것이 바람직하다.

[0013] 전술한 특징에 따른 다중 톰슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템에 있어서, 상기 광학계로부터 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스와 수직 편광 상태의 레이저 빔 펄스가 제공될 때 각각 트리거 신호들을 생성하여 출력하는 트리거 모듈을 더 구비하고, 상기 집광계는 트리거 모듈로부터 출력되는 트리거 신호들에 따라 구동되는 것이 바람직하며,

[0014] 상기 트리거 모듈은 상기 광원과 상기 광학계의 사이 또는 광학계의 임의의 위치에 배치되어, 상기 광원으로부터 상기 광학계로 레이저 빔 펄스가 제공되는 것을 감지하거나 상기 광학계로부터 토카막으로 레이저 빔 펄스가 제공되는 것을 감지하거나 상기 광학계의 임의의 위치에서 레이저 빔 펄스가 제공되는 것을 감지하면, 트리거 신호를 생성하여 출력하는 것이 바람직하다.

[0015] 전술한 특징에 따른 다중 톰슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템에 있어서, 상기 집광계는 제1 및 제2 집광계로 구성되며, 제1 집광계는 제1 광집속부의 산란 신호를 측정하여 제1 집광신호를 제공하며, 제2 집광계는 제2 광집속부의 산란 신호를 측정하여 제2 집광신호를 제공하는 것이 바람직하나 제1 광집속부에 의한 산란위치와 제2 광집속부에 의한 산란위치 사이의 간격이 크지 않을 경우 제1 및 제2 집광계는 동일한 하나의 것을 사용할 수 있다.

[0016] 전술한 특징에 따른 다중경로 톰슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템에 있어서, 상기 플라즈마 진단 시스템은 토카막(Tokamak) 방식의 핵융합로에 적용되며, 상기 광학계는 토카막 내부로 레이저 빔 펄스를 집속시키며 다중경로를 갖게 하고 순차적으로 편광방향을 90도 회전시키며, 상기 집광계는 상기 토카막 내의 산란된 빛 신호들을 집광시키고 폴리크로메터(polychrometer)를 사용하여 파장대역 별로 측정하며, 상기 제어부는 토카막 내의 톰슨 산란 신호를 측정하여 제공하는 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0017] 본 발명에 따른 다중경로 플라즈마 진단 시스템은 수직 편광 상태의 레이저 빔 펄스와 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스를 순차적으로 토카막으로 제공하여 집속함으로써, 배경 산란 잡음 신호가 제거된 톰슨 산란 신호를 정확하게 측정하여 제공할 수 있다.

[0018] 본 발명에 따른 다중경로 플라즈마 진단 시스템은 핵융합로의 토카막 내부의 서로 다른 2 영역에서 다중 산란을

발생시키고 각 영역에서 산란 신호들을 측정함으로써, 토카막 내부의 위치에 따른 산란 신호의 변화를 측정할 수 있어 토카막 내에서 플라스마의 위치에 따른 전자밀도 및 온도를 측정할 수 있어 더욱 유용한 정보를 제공할 수 있도록 한다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 핵융합로의 토카막 내부의 플라스마 상태를 진단하기 위한 종래의 단일 경로 톱슨 산란을 이용한 진단 장비를 개략적으로 도시한 구성도이다.
- 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 다중경로 톱슨 산란을 이용한 플라스마 진단 시스템을 개략적으로 도시한 구성도이다.
- 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 다중경로 톱슨 산란을 이용한 플라스마 진단 시스템에 있어서, 각 단계에서의 레이저 빔 펄스의 편광 상태를 설명하는 도표이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 본 발명에 따른 다중 톱슨 산란을 이용한 플라스마 진단 시스템은 핵융합로의 토카막 내부의 서로 다른 2 영역에 레이저 빔 펄스를 집속하여 다중 산란을 발생시키고, 토카막 내부의 산란 신호들을 다중으로 측정함으로써, 정확한 산란 신호들의 측정이 가능하다. 또한, 본 발명에 따른 플라스마 진단 시스템은 토카막 내부로 수직 및 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스를 순차적으로 제공함으로써, 수직 편광 상태의 레이저 빔 펄스에 의하여 배경 산란 잡음 신호와 톱슨 산란 신호가 혼합된 신호를 측정하고, 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스에 의하여 배경 산란 잡음 신호를 측정하여, 혼합 신호로부터 배경 산란 잡음 신호가 제거함으로써 톱슨 산란 신호를 정확하게 측정할 수 있게 된다.
- [0021] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 다중경로 톱슨 산란을 이용한 플라스마 진단 시스템의 구조 및 동작에 대하여 구체적으로 설명한다.
- [0022] 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 다중경로 톱슨 산란을 이용한 플라스마 진단 시스템을 개략적으로 도시한 구성도이다.
- [0023] 도 2를 참조하면, 본 발명에 따른 다중경로 플라스마 진단 시스템(2)은 핵융합로의 토카막(5)의 외부에 설치되는 것으로서, 광원(200), 제1 반파장판(210), 레이저 빔 펄스의 수직 편광 빔과 수평 편광 빔을 순차적으로 토카막으로 제공하는 광학계(220), 토카막 내부의 산란 빛을 집광하는 집광계(230), 트리거 모듈(240) 및 제어부(250)를 구비한다.
- [0024] 상기 광원(200)은 1064nm의 단일 파장의 강한 전기장 세기를 갖는 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스를 출력한다.
- [0025] 상기 제1 반파장판(Half Wave Plate: 'HWP', 210)은 상기 광원으로부터 출력된 레이저 빔 펄스의 광 경로상에 배치되어, 진행하는 레이저 빔 펄스의 편광 상태를 선택하여 유지시키게 된다.
- [0026] 상기 광학계(220)는 광원과 토카막(5)의 사이에 설치되어, 광원으로부터 레이저 빔 펄스가 제공되면, 수직 편광 상태의 레이저 빔 펄스와 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스를 순차적으로 토카막으로 제공하게 된다.
- [0027] 상기 광학계(220)는 상기 광원으로부터 제공된 레이저 빔 펄스의 광경로상에 배치된 편광 빔 스플리터(Polarizing Beam Splitter; 'PBS', 221), 반사 거울(223), 제2 반파장판(222), 제1 광집속부(225), 제2 광집속부(227) 및 광경로 변경부(229)를 구비한다.
- [0028] 상기 편광 빔 스플리터(PBS, 221)는 수평 편광 상태의 빔은 투과시키고 수직 편광 상태의 빔은 반사시킨다.
- [0029] 상기 반사 거울(223)은 상기 광원으로부터 제공된 레이저 빔 펄스가 상기 PBS에서 반사되어 진행하는 광경로상에 배치되어, PBS로부터 투과된 레이저 빔 펄스를 다시 PBS로 제공한다.
- [0030] 상기 제2 반파장판(222)은 PBS(221)와 제1 광집속부(225)의 사이에 배치되어, 입사되는 레이저 빔 펄스에 대한 편광 상태를 90도 회전시켜 출사시킨다. 톱슨산란과 톱슨신호를 집광하는 광학계의 위치에 따라 상기 제2 반파장판의 사용을 고려하지 않을 수도 있다.
- [0031] 상기 제1 광집속부(225)는 핵융합로의 토카막의 양단으로부터 일정거리 이격된 위치에 2개의 볼록 렌즈(L1, L2)를 배치하여, 레이저 빔 펄스가 플라스마 내의 제1 영역에서 집속되도록 구성된다. 한편, 상기 제1 광집속부

는 상기 광원으로부터 제공된 수평 편광이 PBS를 투과하고 제2 반파장판을 통해 수직편광으로 변환되어 진행하는 광경로상에 배치된다.

[0032] 상기 제2 광집속부(227)는 핵융합로의 토카막의 양단으로부터 일정거리 이격된 위치에 배치된 2개의 볼록 렌즈(L3, L4)를 배치하여, 레이저 빔 펄스가 플라즈마 내의 제2 영역에서 집속되도록 구성된다. 한편, 상기 제2 광집속부(227)는 상기 반사 거울(223)로부터 반사된 수평 편광이 PBS를 투과한 후 입사되거나 제1 광집속부(225)로부터 출력된 수직 편광이 PBS에서 반사된 후 입사되도록 구성된다.

[0033] 상기 제1 및 제2 광집속부들(225, 227)을 구성하는 볼록 렌즈들은 토카막의 외부에 설치되는 것이 일반적이나, 토카막의 형상에 따라 토카막 내부에 설치될 수도 있을 것이다.

[0034] 상기 광경로 변경부(229)는 상기 제1 광집속부로부터 출력된 레이저 빔 펄스를 제2 광집속부로 제공하거나, 제2 광집속부로부터 출력된 레이저 빔 펄스를 제1 광집속부로 제공하도록, 프리즘, 폴딩 거울 등과 같은 광경로 변경 소자들로 구성된다.

[0035] 전술한 구성을 갖는 본 발명에 따른 플라즈마 진단 시스템은, 광학계의 제1 및 제2 광집속부를 통해 핵융합로의 토카막의 플라즈마의 제1 및 제2 영역에 수직 편광 상태의 레이저 빔 펄스 또는 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스를 제공함으로써, 플라즈마 내의 다중 산란을 발생시키게 된다. 특히, 제1 및 제2 광집속부에 의해 수직 편광 상태의 레이저 빔 펄스가 제공되면 플라즈마의 제1 및 제2 영역에서 톰슨 산란이 발생하게 되고, 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스가 제공되면 플라즈마의 제1 및 제2 영역에서 톰슨 산란이 발생하지 않게 된다.

[0036] 상기 집광계(230)는 토카막 내부의 플라즈마에서 산란되는 빛들을 집광한 제1 집광 신호 및 제2 집광 신호들의 세기를 측정하여 제공한다. 상기 집광계는 트리거 모듈의 트리거 신호에 따라 집광하고, 집광된 신호들을 제어부로 제공하게 된다. 상기 제1 집광 신호는 상기 제1 광집속부에 의해 집속된 레이저 빔 펄스에 의해 플라즈마에서 산란된 신호들을 집광한 신호이며, 상기 제2 집광 신호는 상기 제2 광집속부에 의해 집속된 레이저 빔 펄스에 의해 플라즈마에서 산란된 신호들을 집광한 신호이다. 상기 제1 및 제2 집광 신호는 집속된 레이저 빔 펄스의 편광 상태에 따라 톰슨 산란 신호와 배경 산란 잡음 신호가 혼합되어 구성된 혼합 신호 및 배경 산란 잡음 신호 중 하나로 구성되는데, 수직 편광의 레이저 빔 펄스가 집속된 경우 톰슨 산란 신호와 배경 산란 잡음 신호의 혼합 신호로 이루어지며 수평 편광의 레이저 빔 펄스가 집속된 경우 톰슨 산란이 발생되지 않으므로 배경 산란 잡음 신호만으로 이루어진다.

[0037] 상기 집광계(230)는 단일의 집광계로 구성될 수도 있으며, 토카막의 내부의 제1 영역에 대한 제1 집광계 및 제2 영역에 대한 제2 집광계로 구성될 수도 있다. 집광계를 제1 집광계 및 제2 집광계로 구성하는 경우, 제1 및 제2 집광계에 의해 측정된 집광 신호들에 대한 평균값을 구하여 집광 신호로 사용함으로써, 집광 신호에 대하여 토카막의 내부의 측정 위치에 따른 오차를 최소화시킬 수 있게 된다.

[0038] 상기 트리거 모듈(240)은 상기 광학계로부터 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스와 수직 편광 상태의 레이저 빔 펄스가 제공될 때 트리거 신호(trigger signal)를 생성하여 집광계 및/또는 제어부로 출력하게 된다. 상기 트리거 모듈은 상기 광원과 상기 광학계의 사이, 또는 광학계의 임의의 위치에 설정되는 트리거 포인트 지점(trigger point)에 배치된 폴딩 거울을 투과하는 여분의 레이저 빔 신호를 감지하여 트리거 신호로 사용할 수 있다.

[0039] 상기 집광계는 트리거 모듈로부터 출력되는 트리거 신호에 따라 구동되어, 토카막 내부에 산란된 빛을 집광하여 제공하게 된다.

[0040] 상기 제어부(250)는 집광계로부터 제공된 제1 집광 신호 및 제2 집광 신호를 이용하여 배경 산란 잡음 신호가 없는 톰슨 산란 신호를 측정하여 제공한다. 좀 더 구체적으로 설명하면, 상기 제어부는 광학계의 수직 편광 상태의 레이저 빔 펄스에 의해 토카막 내부의 플라즈마에서 톰슨 산란이 일어나도록 하여 톰슨 산란 신호와 배경 산란 잡음 신호가 혼합된 혼합 신호를 측정하고, 광학계의 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스에 의해 토카막 내부의 플라즈마에 톰슨 산란이 일어나지 않도록 하여 배경 산란 잡음 신호만으로 구성된 신호를 측정하게 된다. 따라서, 상기 제어부는 톰슨 산란 신호와 배경 산란 잡음 신호의 혼합 신호로부터 배경 산란 잡음 신호신호를 제거함으로써, 순수한 톰슨 산란 신호만을 정확하게 측정할 수 있게 된다.

[0041] 이하, 도 3을 참조하여, 전술한 구성을 갖는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 다중 톰슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템의 동작에 대하여 구체적으로 설명한다. 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 플라즈마 진단 시스템에 있어서, 광원으로부터 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스가 출력되면, 광학계를 통해 토카막으로 4회 왕

복하면서 플라즈마 내에서 톰슨 산란시키게 된다.

- [0042] 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 다중 톰슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템에 있어서, 각 단계에서의 레이저 빔 펄스의 편광 상태를 설명하는 도표이다.
- [0043] 도 3을 참조하면, 광원으로부터 수평 편광 상태의 레이저 빔 펄스가 출력되어 제공되면, 첫번째 정방향 구간에 있어서, 수평 편광 상태의 빔이 PBS(221)를 투과하고 제2 반과장판(222)를 통해 수직 편광 펄스 빔이 되어 토카막 내부의 제1 영역에서 집속되는데, 톰슨 산란과 배경 산란이 발생하게 되어 제1 집광계에 의해 제1 영역에 대한 배경 산란 잡음 신호와 톰슨 산란 신호가 혼합된 제1-1 집광 신호를 측정한다.
- [0044] 첫번째 역방향 구간에 있어서, 토카막을 통과한 수직 편광 상태의 빔은 다시 토카막 내부의 제2 영역에 집속되어 톰슨 산란과 배경 산란을 발생시킨다. 이 때, 제2 집광계에 의해 제2 영역에 대한 배경 산란 잡음 신호와 톰슨 산란 신호가 혼합된 제1-2 집광 신호를 측정한다. 그리고, 수직 편광 상태의 빔은 PBS(221)에서 반사되어 두번째 정방향 구간으로 진행한다.
- [0045] 두번째 정방향 구간에 있어서, PBS(221)로 입사된 후 반사되어 제2 HWP(222)로부터 수평 편광 상태의 빔이 토카막 내부의 제1 영역으로 광집속되어, 톰슨 산란 없이 배경 산란만이 발생시키게 된다. 이때, 제1 집광계는 제1 영역에 대한 배경 산란 잡음 신호만으로 구성된 제2-1 집광 신호로 측정한다.
- [0046] 두번째 역방향 구간에 있어서, 토카막의 제1 영역을 통과한 수평 편광 상태의 빔은 다시 토카막 내부의 제2 영역에 집속되어 톰슨 산란 없이 PBS(221)으로 입사된다. 수평 편광 상태의 빔은 PBS를 투과하여 반사 거울(223)으로 진행하게 된다. 제2 HWP(222)에 의해 90도 회전되어 수평 편광 상태가 된다. 이 때, 제2 집광계에 의해 제2 영역에 대한 배경 산란 잡음 신호만으로 구성된 제2-2 집광 신호를 측정한다.
- [0047] 세번째 정방향 구간에 있어서, 수평 편광 상태의 빔이 PBS(221)로 입사하고 투과되어 반사 거울(223)로 진행한 후 반사 거울에서 반사되어 다시 PBS로 입사되어 투과하며, 토카막 내부의 제2 영역으로 광집속되어, 배경 산란만을 발생시키게 된다. 이때, 제2 집광계는 제2 영역에 대한 배경 산란 잡음 신호만으로 구성된 제3-1 집광 신호를 측정한다.
- [0048] 세번째 역방향 구간에 있어서, 토카막의 제2 영역을 통과한 수직 편광 상태의 빔은 다시 토카막 내부의 제1 영역에 집속되어 배경 산란만을 발생시킨 후 제2 반과장판으로 입사하고 수평 편광 상태의 빔이 90도 회전하여 수직 편광 상태의 빔으로 바뀌어 PBS로 입사된다. 이때, 제1 집광계에 의해 제1 영역에 대한 배경 산란 잡음 신호만으로 구성된 제3-2 집광 신호를 측정한다.
- [0049] 네번째 정방향 구간에 있어서, 수직 편광 상태의 빔이 PBS로 입사되어 토카막 내부의 제2 영역으로 집속되어 톰슨 산란을 발생시킨다. 이때, 제2 집광계에 의해 제2 영역에 대한 배경 산란 잡음 신호와 톰슨 산란 신호가 혼합된 제4-1 집광 신호를 측정한다.
- [0050] 네번째 역방향 구간에 있어서, 수직 편광 상태의 빔이 토카막 내부의 제1 영역으로 집속되어, 톰슨 산란을 발생시킨다. 이때 제1 집광계에 의해 제1 영역에 대한 배경 산란 잡음 신호와 톰슨 산란 신호가 혼합된 제4-2 집광 신호를 측정한다.
- [0051] 상기 제어부는 제1 및 제2 집광계로부터 배경 산란 잡음 신호와 톰슨 산란 신호가 혼합된 제1-1, 제1-2, 제4-1 및 제4-2 집광 신호들을 제공받고, 배경 산란 잡음 신호만으로 구성된 제2-1, 제2-2, 제3-2 및 제3-2 집광 신호들을 제공받게 되며, 이들 집광 신호들을 이용하여 톰슨 산란 신호만을 정확하게 측정할 수 있게 된다. 상기 제어부는 각 집광 신호들을 합한 후 평균값을 구하여 사용함으로써, 토카막의 위치에 따른 오차를 최소화시킬 수 있다.
- [0052] 전술한 바와 같이, 본 발명에 따른 톰슨 산란을 이용한 플라즈마 진단 시스템은 톰슨 산란 신호를 정확하게 측정할 수 있게 된다.
- [0053] 한편, 본 발명에 따른 플라즈마 진단 시스템은 토카막(Tokamak) 방식의 핵융합로에 적용될 수 있으며, 이 경우 상기 광학계는 토카막 내부로 레이저 빔 펄스를 집속시키며, 상기 집광계는 상기 토카막 내의 산란된 빛 신호들을 집광하며, 상기 제어부는 토카막 내의 톰슨 산란 신호를 측정하게 된다.
- [0054] 이상에서 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예를 중심으로 설명하였으나, 이는 단지 예시일 뿐 본 발명을 한정하는 것이 아니며, 본 발명이 속하는 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성을 벗어나지 않는 범위에서 이상에 예시되지 않은 여러 가지의 변형과 응용이 가능함을 알 수 있을 것이다. 그리고, 이러한

변형과 응용에 관계된 차이점들은 첨부된 청구 범위에서 규정하는 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

산업상 이용가능성

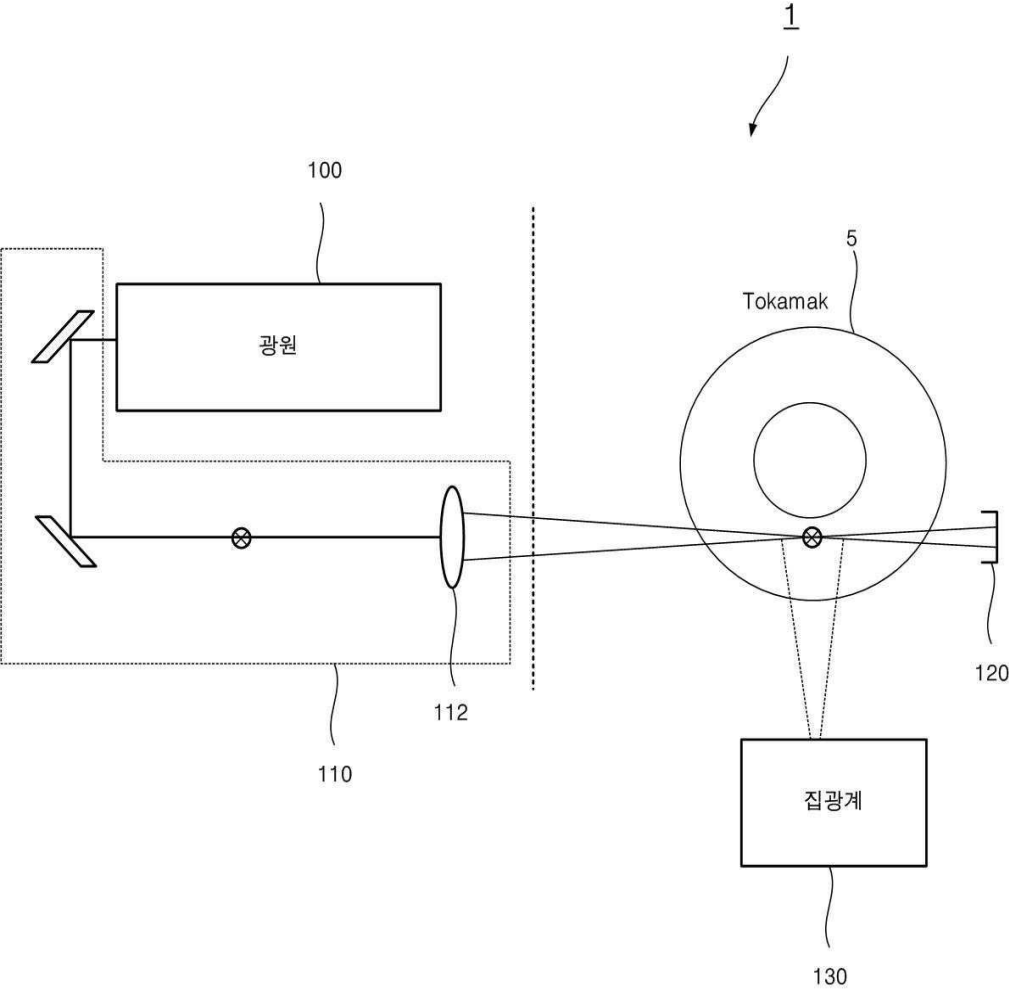
[0055] 본 발명에 따른 플라즈마 진단 시스템은 플라즈마의 온도 및 밀도의 측정이 필요한 장치에 다양하게 사용될 수 있으며, 특히 토카막 방식의 핵융합로 내부의 플라즈마의 상태를 진단하기 위하여 사용될 수 있다.

부호의 설명

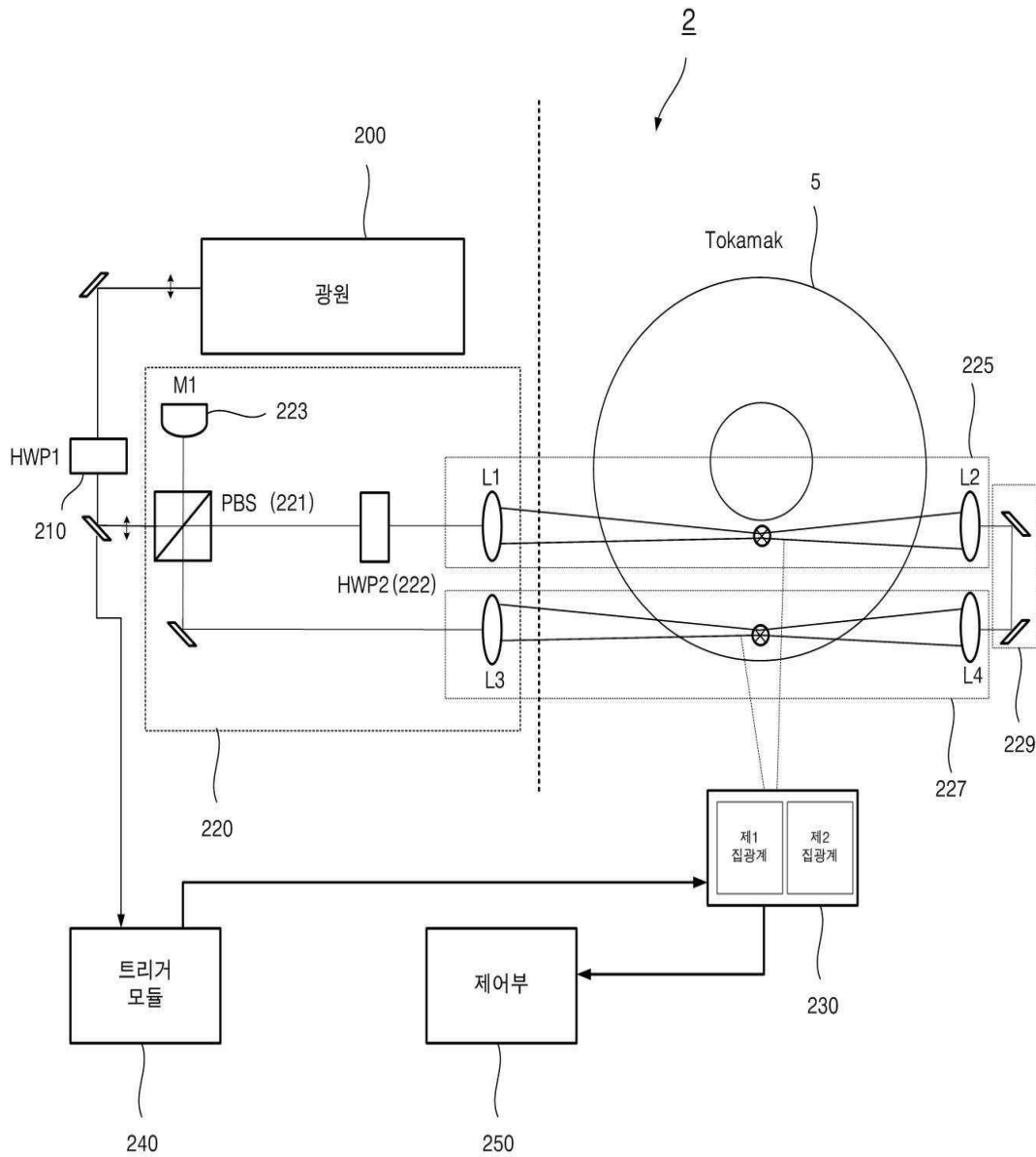
[0056] 1, 2 : 플라즈마 진단 시스템
 5 : 핵융합로의 토카막
 100, 200 : 광원
 210 : 제1 반파장판(HWP1)
 220 : 광학계
 230 : 집광계
 240 : 트리거 모듈
 250 : 제어부
 225 : 제1 광집속부
 227 : 제2 광집속부
 229 : 광경로 변경부
 221 : 편광 빔 스플리터(PBS)
 222 : 제2 반파장판(HWP2)
 223 : 반사 거울(M1)

도면

도면1



도면2



도면3

