



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

(45) 공고일자 2012년02월14일  
(11) 등록번호 10-1111961  
(24) 등록일자 2012년01월27일

(51) Int. Cl.  
G02B 9/34 (2006.01) G02B 11/22 (2006.01)  
G01N 21/25 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2009-0132175  
(22) 출원일자 2009년12월28일  
심사청구일자 2009년12월28일  
(65) 공개번호 10-2011-0075667  
(43) 공개일자 2011년07월06일  
(56) 선행기술조사문헌  
JP06213795 A  
JP10104073 A  
KR100921961 B1  
KR100236232 B1

(73) 특허권자  
한국기초과학지원연구원  
대전광역시 유성구 과학로 169-148 (어은동)  
(72) 발명자  
오승태  
대전광역시 유성구 전민동 세종아파트 104동 602호  
고원하  
대전광역시 유성구 어은동 한빛아파트108동 1204호  
이종하  
대전광역시 유성구 신성동  
대림두레아파트110-1103  
(74) 대리인  
공인복

전체 청구항 수 : 총 15 항

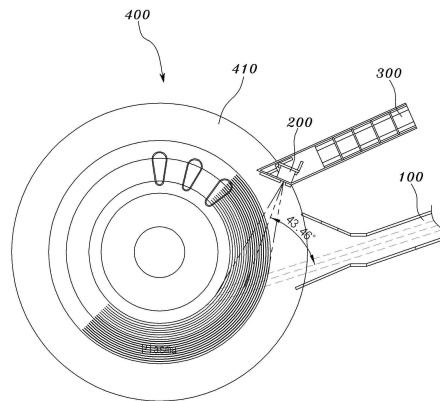
심사관 : 경천수

**(54) C E S 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템**

**(57) 요약**

본 발명은 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템에 관한 것으로, CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템에 있어서, 중성자빔 소스에서 출력된 중성자빔이 플라즈마에 입사된 후 상호작용으로 인해 반사된 빛을 입사받는 볼록면을 가지는 제 1렌즈, 상기 제 1렌즈 후면에 구비되는 오목면을 가지는 제 2렌즈, 상기 제 2렌즈 후면에 구비되는 볼록면을 가지는 제 3렌즈, 상기 제 3렌즈 후면에 구비되는 볼록면을 가지는 제 4렌즈, 상기 제 4렌즈 후면에 구비되는 미러 및 상기 미러에서 반사된 빛을 입사받기 위해 다수의 광파이버가 구비된 상면을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다. 이와 같이 구성되는 본 발명은 기울어진 중성자 빔 라인으로부터 발산되는 가시광선을 효과적으로 포집할 수 있는 이점이 있다.

**대표도 - 도1**



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템에 있어서,

중성자빔 소스에서 출력된 중성자빔이 플라즈마에 입사된 후 상호작용으로 인해 반사된 빛을 입사받는 볼록면을 가지는 제 1렌즈;

상기 제 1렌즈 후면에 구비되는 오목면을 가지는 제 2렌즈;

상기 제 2렌즈 후면에 구비되는 볼록면을 가지는 제 3렌즈;

상기 제 3렌즈 후면에 구비되는 볼록면을 가지는 제 4렌즈;

상기 제 4렌즈 후면에 구비되는 미러; 및

상기 미러에서 반사된 빛을 입사받기 위해 다수의 광파이버가 구비된 상면;을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템.

### 청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 제 1렌즈는,

전면이 120.77 ~ 130.77mm의 곡률을 가지며, 후면은 1127.8 ~ 1137.8mm의 곡률을 가지는 것을 특징으로 하는 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템.

### 청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 제 2렌즈는,

전면이 -266.8 ~ -276.8mm의 곡률을 가지며, 후면은 137.5 ~ 147.5mm의 곡률을 가지는 것을 특징으로 하는 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템.

### 청구항 4

제 1항에 있어서, 상기 제 3렌즈는,

전면이 370.11 ~ 380.11mm의 곡률을 가지며, 후면은 -288.34 ~ 298.33mm의 곡률을 가지는 것을 특징으로 하는 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템.

### 청구항 5

제 1항에 있어서, 상기 제 4렌즈는,

전면이 441.31 ~ 451.31mm의 곡률을 가지며, 후면은 -399.98 ~ -409.98mm의 곡률을 가지는 것을 특징으로 하는 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템.

### 청구항 6

제 1항에 있어서, 상기 상면은,

403.17 ~ 413.17mm의 곡률을 가지는 것을 특징으로 하는 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템.

**청구항 7**

삭제

**청구항 8**

삭제

**청구항 9**

제 1항에 있어서, 상기 제 1렌즈와 제 2렌즈는,  
27.37 ~ 37.37mm의 간격으로 배치되는 것을 특징으로 하는 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템.

**청구항 10**

제 1항에 있어서, 상기 제 2렌즈와 제 3렌즈는,  
2 ~ 12mm의 간격으로 배치되는 것을 특징으로 하는 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템.

**청구항 11**

제 1항에 있어서, 상기 제 3렌즈와 제 4렌즈는,  
8.04 ~ 18.03mm의 간격으로 배치되는 것을 특징으로 하는 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템.

**청구항 12**

제 1항에 있어서, 상기 제 4렌즈와 미러는,  
10 ~ 20mm의 간격으로 배치되는 것을 특징으로 하는 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템.

**청구항 13**

제 1항에 있어서, 상기 미러와 상면은,  
55 ~ 65mm의 간격으로 배치되는 것을 특징으로 하는 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템.

**청구항 14**

제 1항, 제 2항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제 1렌즈는,  
1.654548 ~ 1.669719의 굴절율을 가지는 것을 특징으로 하는 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템.

**청구항 15**

제 1항, 제 3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제 2렌즈는,  
1.604138 ~ 1.616678의 굴절율을 가지는 것을 특징으로 하는 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템.

**청구항 16**

제 1항, 제 4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제 3렌즈는,

1.692221 ~ 1.719689의 굴절율을 가지는 것을 특징으로 하는 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템.

**청구항 17**

제 1항, 제 5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제 4렌즈는,

1.689558 ~ 1.704756의 굴절율을 가지는 것을 특징으로 하는 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템.

**명세서**

**발명의 상세한 설명**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템을 위한 것으로, 핵융합장치의 플라즈마 진단을 위해 플라즈마 정보를 검출하기 위한 렌즈 시스템에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] CES(charge exchange spectroscopy)는 핵융합장치의 진단장치로, neutral beam과 핵융합장치 내 plasma의 상호작용(interaction)을 통해 나오는 빛을 관측하여 NBI의 경로상의 정보를 추출하는 방법이다.

[0003] Neutral Beam의 경로상에서 plasma의 상호작용으로 반사되는 빛을 포집하여 광섬유를 통해 Spectrometer에 전송한다.

[0004] 대한민국에서 개발되고 있는 핵융합로인 "KSTAR"의 경우 Neutral Beam 이 카메라로부터 2m 정도 거리에 있으며, 플라즈마와 Neutral Beam 이 전하교환 상태를 관찰하는 line of sight의 화각이 20도 정도이다.

[0005] 결정적으로 Neutral Beam line이 46.54 도의 경사를 가지고 있으며, 일반적인 광학 카메라 렌즈로는 이 틀어진 물체에 대해 균일하게 상을 맺을 수가 없다.

[0006] 따라서, 핵융합로에서 생성된 플라즈마 정보 추출을 위하여 CES(charge exchange spectroscopy)방식을 이용한 기울어진 Neutral Beam으로부터 발산되는 가시광선을 효과적으로 포집할 수 있는 렌즈 시스템 개발이 필요한 실정이다.

**발명의 내용**

**해결 하고자하는 과제**

[0007] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명은 핵융합 장치에서 플라즈마 진단방식인 전하교환분광분석(Charge Exchange Spectroscopy, CES)방법을 위한 렌즈 시스템을 제공하고자 하는데 그 목적이 있다.

**과제 해결수단**

[0008] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템에 있어서, 중성자빔 소스에서 출력된 중성자빔이 플라즈마에 입사된 후 상호작용으로 인해 반사된 빛을 입사받는 볼록면을 가지는 제 1 렌즈, 상기 제 1렌즈 후면에 구비되는 오목면을 가지는 제 2렌즈, 상기 제 2렌즈 후면에 구비되는 볼록면을 가지는 제 3렌즈, 상기 제 3렌즈 후면에 구비되는 볼록면을 가지는 제 4렌즈, 상기 제 4렌즈 후면에 구비되는 미러 및 상기 미러에서 반사된 빛을 입사받기 위해 다수의 광파이버가 구비된 상면을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0009] 또한, 상기 제 1렌즈는, 전면이 120.77 ~ 130.77mm의 곡률을 가지며, 후면은 1127.8 ~ 1137.8mm의 곡률을 가지

는 것을 특징으로 한다.

- [0010] 또한, 상기 제 2렌즈는, 전면이 -266.8 ~ -276.8mm의 곡률을 가지며, 후면은 137.5 ~ 147.5mm의 곡률을 가지는 것을 특징으로 한다.
- [0011] 또한, 상기 제 3렌즈는, 전면이 370.11 ~ 380.11mm의 곡률을 가지며, 후면은 -288.34 ~ 298.33mm의 곡률을 가지는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 또한, 상기 제 4렌즈는, 전면이 441.31 ~ 451.31mm의 곡률을 가지며, 후면은 -399.98 ~ -409.98mm의 곡률을 가지는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 또한, 상기 상면은, 403.17 ~ 413.17mm의 곡률을 가지는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 또한, 상기 미러는, 소정각도를 가지고 구비되는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 또한, 상기 상면은, 7.5 내지 10도의 기울기를 가지고 구비되는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 또한, 상기 제 1렌즈와 제 2렌즈는, 27.37 ~ 37.37mm의 간격으로 배치되는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 또한, 상기 제 2렌즈와 제 3렌즈는, 2 ~ 12mm의 간격으로 배치되는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 또한, 상기 제 3렌즈와 제 4렌즈는, 8.04 ~ 18.03mm의 간격으로 배치되는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 또한, 상기 제 4렌즈와 미러는, 10 ~ 20mm의 간격으로 배치되는 것을 특징으로 한다.
- [0020] 또한, 상기 미러와 상면은, 55 ~ 65mm의 간격으로 배치되는 것을 특징으로 한다.
- [0021] 또한, 상기 제 1렌즈는, 1.654548 ~ 1.669719의 굴절율을 가지는 것을 특징으로 한다.
- [0022] 또한, 상기 제 2렌즈는, 1.604138 ~ 1.616678의 굴절율을 가지는 것을 특징으로 한다.
- [0023] 또한, 상기 제 3렌즈는, 1.692221 ~ 1.719689의 굴절율을 가지는 것을 특징으로 한다.
- [0024] 또한, 상기 제 4렌즈는, 1.689558 ~ 1.704756의 굴절율을 가지는 것을 특징으로 한다.

**효과**

- [0025] 상기와 같이 구성되고 작용되는 본 발명은 플라즈마 진단방식인 CES의 기울어진 Neutral Beam으로부터 발산되는 가시광선을 효과적으로 포집하여 분광계에 전송함에 따라 보다 정확한 플라즈마 진단을 달성할 수 있고, 균일하게 상을 맺어 카메라에서 획득할 수 있는 효과가 있다.

**발명의 실시를 위한 구체적인 내용**

- [0026] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템의 바람직한 실시예를 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0027] 도 1은 본 발명에 따른 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템의 개략적인 구성도, 도 2는 본 발명에 따른 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템의 렌즈를 상세히 나타낸 구성도, 도 3은 본 발명에 따른 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템에서 중심과 최상, 최하에서 출발한 빛들의 상면에서의 spot 크기별 에너지 집중도를 나타낸 그래프이다.
- [0028] 본 발명에 따른 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템은, CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템에 있어서, 중성자빔 소스에서 출력된 중성자빔이 플라즈마에 입사된 후 상호작용으로 인해 반사된 빛을 입사받는 볼록면을 가지는 제 1렌즈(210), 상기 제 1렌즈 후면에 구비되는 오목면을 가지는 제 2렌즈(220), 상기 제 2렌즈 후면에 구비되는 볼록면을 가지는 제 3렌즈(230), 상기 제 3렌즈 후면에 구비되는 볼록면을 가지는 제 4렌즈(240), 상기 제 4렌즈 후면에 구비되는 미러(250) 및 상기 미러에서 반사된 빛을 입사받기 위해 다수의 광파이버가 구비된 상면(270)을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0029] 핵융합 장치(400)는 도 1에 도시된 바와 같이 진공용기(410)의 내부로 플라즈마를 형성하며, 상기 진공용기의

외벽면으로 형성된 포트를 통해 다양한 구조물이 설치된다.

[0030] 여기서 하나의 포트를 통해 플라즈마와의 상호작용을 발생하는 빛을 포집하여 플라즈마를 진단하기 위해 중성자 빔 라인의 일측으로 중성자 빔 소스(100)가 구비되고 중성자 빔을 플라즈마로 조사한다.

[0031] CES(charge exchange spectroscopy ; 300)는 핵융합장치의 진단장치로써, 전하교환분광분석 방법을 통해 플라즈마를 진단한다. 상기 CES(300)는 중성자 빔 소스에서 출력된 중성자 빔이 플라즈마에 조사되면 상호작용에 의해 발산되는 가시광선을 포집하여 광섬유를 통해 분광계에 전송한다. 상기 CES를 좀 더 구체적으로 설명하자면, 중성빔의 중성원자(수소 또는 중수소)와 플라즈마내의 불순물(주로 탄소)의 전하교환에서 나오는 스펙트럼선을 분석하여 이온온도와 이온회전속도를 측정하는 장치이다. 빔라인은 토카막의 플라즈마 중심부(CORE)를 가열하기 위해서 core의 접선방향으로 입사하고, CES 측정장치는 플라즈마 edge의 공간해상도를 높이기 위해서 빔라인과 46.54도 기울어져 있다. 중성빔을 이용한 CES 방법은 외부로부터 고속의 중성 입자를 빔의 형태로 플라즈마 내부로 강제적으로 입사시켜 수소 또는 중수소 이온의 전하교환 반응으로 중성 원자가 되며, 완전히 이온화된 원자번호가 작은 불순물 이온은 전하교환 반응을 통해 전자를 얻어서 수소 유사이온이 된다. 특정 위치에서 이들 수소원자나 수소 유사이온으로부터 방출된 스펙트럼을 측정한다.

[0032] CES 진단은 플라즈마 이온온도를 알기 위하여 불순물 이온온도와 불순물 이온의 회전 속도, 밀도 등의 측정을 목적으로 한다. 이온온도는 방출된 스펙트럼의 Doppler 폭(broadening)에 의해서 결정되고, 회전 속도(rotation velocity)는 스펙트럼의 shift 정도를 측정함으로써 추정된다. 불순물 밀도는 스펙트럼의 세기(intensity)로부터 결정될 수 있다.

[0033] 렌즈부(200)는 상기 중성자 빔과 플라즈마의 상호작용으로 발생하는 빛을 분광계에 전달하기 위한 광학렌즈의 구성으로써, 본 발명의 주요 기술적 요지는 4개의 구면 렌즈(210 ~ 240)와 1개의 미러(250) 및 하나의 구면 상면(260)으로 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0034] 중성자 빔에 의해서 플라즈마로부터 발산되는 빛에서부터 순서대로 제 1렌즈(210), 제 2렌즈(220), 제 3렌즈(230) 및 제 4렌즈(240)가 순차적으로 구비되며, 그 뒤에 소정각을 가지고 입사된 빛을 반사시키는 미러(250)와 미러에서 반사된 빛은 광섬유가 구비된 구면 상면으로 입사된다.

[0035] 상기 각 렌즈의 구면형태는 제 1렌즈부터 볼록, 오목, 볼록, 볼록 형태로 나타낸다. 각 렌즈의 상세한 특성을 아래 표 1에 기재하였다.

[0036] 본 발명에 다른 가장 바람직한 실시예로 상기 렌즈부의 제 1렌즈 내지 제 4렌즈는 각각 Hoya사의 BACED5, Schott사의 SF15, Schott사의 Sk2, 및 Hoya사의 LAC13모델의 렌즈를 적용하는 것이 바람직하다.

[0037] 아래 표 1은 제 1렌즈 내지 제 4렌즈와 미러 및 상면의 가장 바람직한 일실시예를 나타낸 구성표이다.

[0038] <표 1> 각 렌즈와 미러, 상면의 일 실시예

렌즈정보	면정보	구면형태	곡률 [mm]	두께 [mm]	재질	
Lens1	전면	Sphere	120.77 ~ 130.77	13.28	BACED5_Hoya	
	후면	Sphere	1127.8 ~ 1137.8			
	간격					27.37 ~ 37.37
Lens2	전면	Sphere	-266.8 ~ -276.8	20	SF15_SCHOTT	
	후면	Sphere	137.5 ~ 147.5			
	간격					2 ~ 12
Lens3	전면	Sphere	370.11 ~ 380.11	13.04	Sk2_SCHOTT	
	후면	Sphere	-288.34 ~ 298.33			
	간격					8.04 ~ 18.03

Lens4	전면	Sphere	441.31 ~ 451.31	40.61	LAC13_Hoya	
	후면	Sphere	-399.98 ~ -409.98			
	간격				10 ~ 20	air
mirror	surface	평면		15	Bk7	
간격				55 ~ 65	air	
image plane	surface	Sphere	403.17 ~ 413.17			

- [0040] 상술한 바와 같이 구성되는 렌즈의 역할을 좀 더 상세히 설명하면, 제 1, 2, 3렌즈는 화각으로 들어온 빛을 수렴시키는 역할을 하고, 제 4렌즈는 수렴된 빛을 상의 위치에 정확하게 전달하는 역할을 한다.
- [0041] 다시 말해, 제1 렌즈는 빔을 주로 수렴시키는 역할을 수행하고, 제 2렌즈와 제 3렌즈는 빔의 위상을 보상하여 제 4렌즈부에 파면이 보상된 빔을 전달하는 역할을 한다. 제 4렌즈는 주어진 상면에 빛을 맺히도록 하는 것이 주 기능으로 제 4렌즈는 확대하여 원하는 상면에 이미지가 형성될 수 있도록 하는 기능을 한다.
- [0042] 또한, 본 발명에서는 주로 나타나는 파장별(wavelength[nm])에 따라 각 렌즈별 굴절율을 가진다. 주 파장은 656.20, 529.05, 468.60이며, 이에 따른 각각 렌즈의 굴절율은 다음과 같다.
- [0043] 각 파장별 제 1렌즈는, 1.654548, 1.662999, 1.669719이며, 제 2렌즈는, 1.604138, 1.611162, 1.616678이고, 제 3렌즈는, 1.692221, 1.707134, 1.719689이며, 제 4렌즈는, 1.689558, 1.698087, 1.704756이다. 즉, 제 1렌즈는 1.654548 ~ 1.669719, 제 2렌즈는 1.604138 ~ 1.616678, 제 3렌즈는 1.692221 ~ 1.719689, 제 4렌즈는 1.689558 ~ 1.704756이다.
- [0044] 한편, 본 발명의 바람직한 실시예로 상기 상면(270)이 오목 상면으로써 582mm의 곡률을 가짐으로써 이것은 광섬유 배열을 용이하게 하고, 8.2도의 기울기를 가짐으로써 대상물의 기울기에 의한 상의 왜곡을 최소화하도록 하였다.
- [0045] 도 3은 중심과 최상, 최하에서 출발한 빛들이 상면에서의 spot 크기별 에너지 집중도를 보여주는 것이다. 대략 130um에서 모든 빛들의 에너지가 100% 포집되는 것으로 나타나고 있다.
- [0046] 이와 같이 구성되는 본 발명은 플라즈마와 중성자 빔의 상호작용으로부터 발산되는 가시광선을 효과적으로 포집할 수 있는 장점이 있다.
- [0047] 이상, 본 발명의 원리를 예시하기 위한 바람직한 실시예와 관련하여 설명하고 도시하였지만, 본 발명은 그와 같이 도시되고 설명된 그대로의 구성 및 작용으로 한정되는 것이 아니다.
- [0048] 오히려, 첨부된 청구범위의 사상 및 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대한 다수의 변경 및 수정이 가능함을 당업자들은 잘 이해할 수 있을 것이다. 따라서 그러한 모든 적절한 변경 및 수정과 균등물들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

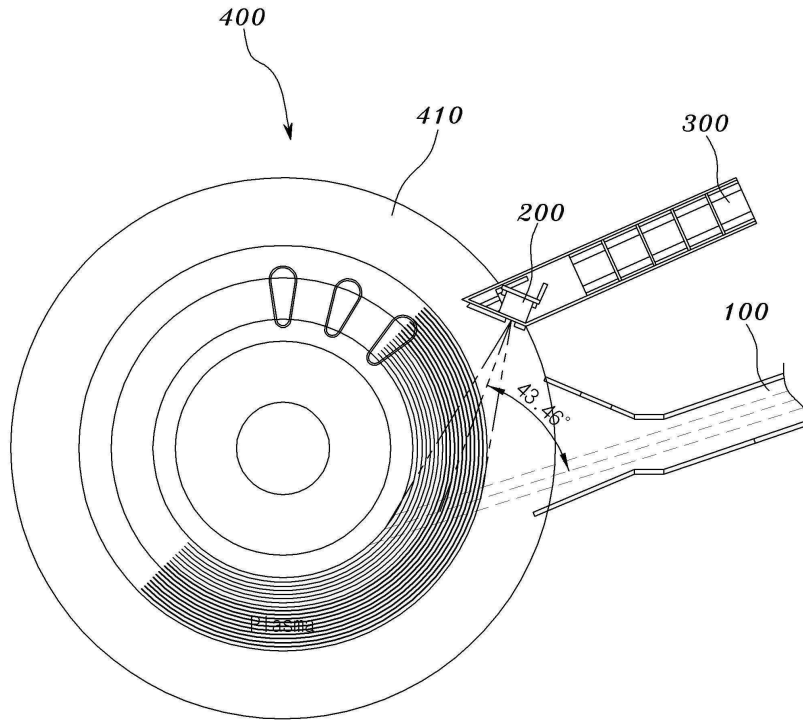
**도면의 간단한 설명**

- [0049] 도 1은 본 발명에 따른 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템의 개략적인 구성도,
- [0050] 도 2는 본 발명에 따른 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템의 렌즈를 상세히 나타낸 구성도,
- [0051] 도 3은 본 발명에 따른 CES 플라즈마 진단을 위한 렌즈 시스템에서 중심과 최상, 최하에서 출발한 빛들의 상면에서의 spot 크기별 에너지 집중도를 나타낸 그래프.
- [0052] <도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>
- [0053] 100 : 중성자 빔 소스                            200 : 렌즈부
- [0054] 210 : 제 1렌즈                                    220 : 제 2렌즈

- [0055]      230 : 제 3렌즈                              240 : 제 4렌즈
- [0056]      250 : 미러                                        260 : 오목상면
- [0057]      270 : 광섬유                                    300 : CES
- [0058]      400 : 핵융합 장치                              410 : 진공용기

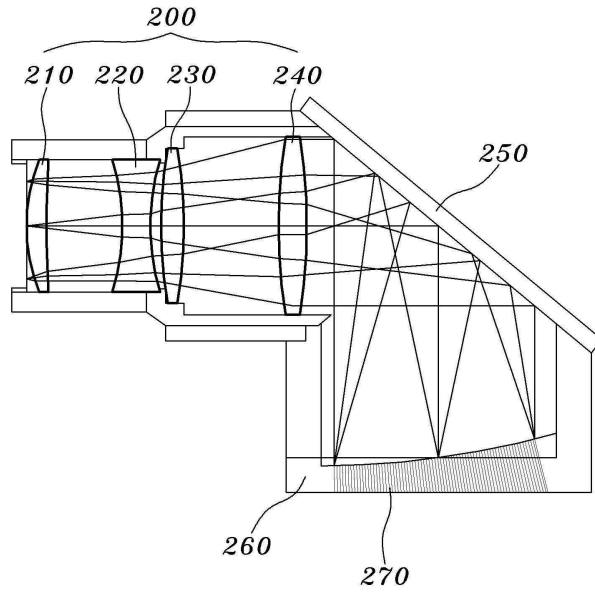
도면

도면1





도면2



도면3

