



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년07월24일
(11) 등록번호 10-1539005
(24) 등록일자 2015년07월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01J 5/48 (2006.01) G01J 5/60 (2006.01)
H05H 1/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0142326
(22) 출원일자 2013년11월21일
심사청구일자 2013년11월21일
(65) 공개번호 10-2015-0058946
(43) 공개일자 2015년05월29일

(56) 선행기술조사문헌
JP06243991 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌
기술이전 희망 : 기술양도, 실시권허여, 기술지도

(73) 특허권자
한국과학기술원
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)

(72) 발명자
최원호
대전광역시 유성구 가정로 65, 102동 903호 (신성동, 대림두레아파트)

박상후
대전광역시 유성구 대학로 291, 세종관 5103호 (어은동)

김기중
대전광역시 유성구 원내로 52, 307동 501호 (원내동, 샘물타운아파트)

(74) 대리인
특허법인충정

전체 청구항 수 : 총 3 항

심사관 : 김창주

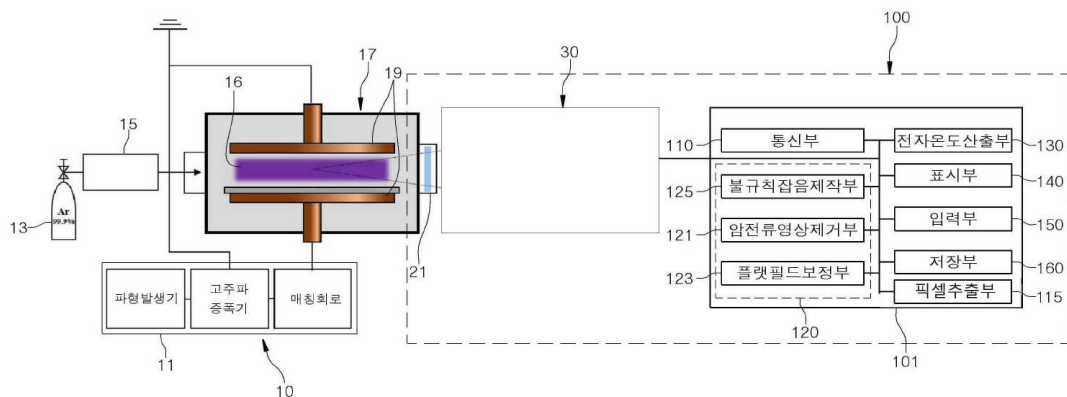
(54) 발명의 명칭 이미지센서를 이용한 플라즈마 전자온도 측정장치 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 플라즈마의 전자와 중성원자의 상호작용에 의해 발생하는 중성 제동복사(neutral bremsstrahlung) 방출광을 이미지 센서로 측정하여 플라즈마의 전자온도의 2차원 측정을 수행할 수 있도록 하는 이미지 센서를 이용한 플라즈마 전자온도 측정장치 및 그 방법에 관한 것으로,

(뒷면에 계속)

대표도



상기 플라즈마 전자온도 측정장치는, 두 개 이상의 서로 다른 파장의 플라즈마 광 중 어느 하나의 파장의 플라즈마광을 투과시키는 광학필터부와 상기 광학필터부를 투과한 특정 파장의 플라즈마광을 촬영하는 이미지센서를 구비하여 선택된 파장별 플라즈마 영상을 각각 촬영하는 촬영부;와, 상기 촬영부로부터 상기 각각의 파장별로 촬영된 각각의 플라즈마 영상의 로우(raw) 데이터를 수신하여, 상기 광학필터부의 투과 파장에 대응하는 색의 픽셀들을 각각 추출한 후, 동일 픽셀에서의 각각의 파장별 광강도의 비를 구하는 것에 의해 전자온도분포를 산출하는 전자온도측정기;를 포함하여 구성되어,

전자여기온도가 아닌 전자온도를 기사광선 파장 영역을 감지하는 이미센서를 이용하여 저비용으로 신속하고 정확하게 측정할 수 있도록 한다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 PJ009221022013
 부처명 농림축산식품부
 연구관리전문기관 농촌진흥청
 연구사업명 농식품 위해요소 안전관리 및 평가체계 구축사업
 연구과제명 저온 플라즈마를 활용한 신선육의 식중독균 제어
 기여율 1/2
 주관기관 국립축산과학원
 연구기간 2013.02.01 ~ 2013.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 EN1323-1
 부처명 교육부
 연구관리전문기관 기초기술연구회
 연구사업명 인재양성 및 학연산 네트워크 활성화 사업
 연구과제명 대기압 플라즈마의 바이오 의학 응용을 위한 기반연구
 기여율 1/2
 주관기관 국가핵융합연구소
 연구기간 2013.03.01 ~ 2015.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

두 개 이상의 파장을 선택하여 각각의 파장에 대응하는 필터를 구비한 광학필터부를 적용하여 두 개 이상의 파장 영역에서 대기압 플라즈마 광을 촬영하는 플라즈마 촬영과정;

서로 다른 파장별로 촬영된 각각의 플라즈마 영상의 로우데이터에서 상기 각각의 필터에 대응하는 색을 가지는 픽셀들을 추출하는 픽셀추출과정;

암전류영상제거부에 의해 암실에서 촬영된 영상 데이터를 이용하여 촬상소자의 전류 노이즈에 의한 암전류 영상을 제거하는 암전류영상제거과정;

불규칙잡음제거부에 의해 다수의 촬영된 플라즈마 영상데이터의 각각의 픽셀값의 평균 값으로 대체하는 것에 의해 불규칙 잡음을 제거하는 불규칙잡음제거과정;

플랫필드보정부에 의해 균일한 면광원 영상을 이용하여 촬상소자배열의 영역별 촬상신호를 균일하게 보정하는 플랫필드보정과정;

추출된 픽셀 중 동일 픽셀에서 서로 다른 각각의 파장에 대응하는 색의 광세기의 비를 연산하여 전자온도를 산출하는 전자온도산출과정;을 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 이미지센서를 이용한 플라즈마 전자온도 측정방법.

청구항 10

청구항 9에 있어서, 상기 두 개 이상의 파장은,

제동복사 연속스펙트럼만이 존재하는 파장영역에서 선택되는 것을 특징으로 하는 이미지센서를 이용한 플라즈마 전자온도 측정방법.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

상기 제동복사 연속스펙트럼만이 존재하는 파장영역은 가시광선의 파장영역인 것을 특징으로 하는 이미지센서를 이용한 플라즈마 전자온도 측정방법.

청구항 12

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 이미지센서를 이용한 플라즈마의 전자온도 측정에 관한 것으로, 좀더 상세하게는 플라즈마 내에서 전자와 중성원자의 상호작용에 의해 발생하는 중성 제동복사(neutral bremsstrahlung) 방출광을 이미지 센서로 측정하여 플라즈마의 전자온도의 2차원 측정을 수행할 수 있도록 하는 이미지 센서를 이용한 플라즈마 전자온도 측정장치 및 그 방법에 관한 것이다

배경 기술

[0002]

기존의 저압 플라즈마에 비해 여러 가지 장점을 가지는 중간압력 플라즈마(moderate pressure plasma) 및 대기압 플라즈마는 수년 전부터 많은 관심을 받고 있으며, 'Heesoo Jung et al., Nanoscale 5, 7825 (2013)', '[2] Hyun Jung Lee et al., Food Microbiology 28, 1468 (2011)' 및 Bomi Gweon et al., Appl. Phys. Lett. 96, 101501 (2010).' 등과 같이, 플라즈마 진단을 통한 기초적인 연구뿐만 아니라 생/의학 응용, 정수, 표면처리 등과 같은 여러 응용분야에 대한 연구도 많이 진행되고 있다.

[0003]

일반적인 제동복사 방출의 이론을 살펴보면, 일반적으로 불완전 전리된 플라즈마(weakly-ionized plasma)에서는 전자-이온의 상호작용에 의한 제동복사 방출광보다 중성원자와 전자간의 작용에 의한 연속 방출광이 자외선 및 가시광 영역에서 큰 비중을 차지한다. 중성 제동복사 방사도는 'K. T. A. L. Burm, Plasma Sources Sci. Technol. 13, 387 (2004)'와 'M. M. Popović et al., Fizika 6 29 (1974).'에 언급된 바와 같이, [수학식 1] 내지 [수학식 3]으로 나타낼 수 있다.

[0004]

[수학식 1]

$$\epsilon_{ea} = \sqrt{\frac{2}{m_e} \frac{n_a n_e}{\lambda^2} \frac{hc}{4\pi}} \int_{hv}^{\infty} Q_{ea}(\lambda, E) \sqrt{E} f(E) dE$$

[0005]

[0006]

[수학식 2]

$$Q_{ea}(\lambda, E) = \frac{8}{3\pi} \alpha \frac{E}{m_e c^2} \left(1 - \frac{hv}{2E}\right) \sqrt{1 - \frac{hv}{E}} Q_{ea}^{mom}(E)$$

[0007]

[0008] [수학식 3]

[0009]
$$Q_{ea}^{mom}(E) = 8.05e^{-28.024E} + 0.99E^{1.743}e^{-0.136E} \text{ [Å}^2\text{]}$$

[0010] 상기 [수학식 1] 내지 [수학식3]에서, [수학식 1]은 중성제동복사 방사도, [수학식 2]는 제동복사 단면적이며, [수학식 3]은 운동량 단면적을 나타내는 식이고, $h\nu$, v , E , c , n_a , λ , T_e 는 각각 광자의 에너지, 입사 전자의 속도, 전자의 초기 에너지, 빛의 속도, 중성원자 밀도, 빛의 파장, 전자온도를 나타낸다.

[0011] [수학식 1]과 같이, 방사도는 전자밀도 및 중성원자 밀도에 비례하며 전자온도에 대한 함수로 나타난다. 제동복사 단면적(cross section)($Q_{ea}(\lambda, E)$)은 [수학식 2]와 같이 운동량 단면적(momentum cross section)(Q_{ea}^{mom})에 비례하며 실험적으로 얻어진 아르곤 원자의 운동량 단면적은 [수학식 3]에 표현된 것과 같이 초기 전자의 에너지값에 의해 결정된다. 여기서, 수학식 3은 아르곤 가스의 원자의 운동량 단면적을 나타내는 식으로, 헬륨 가스 등 다른 가스가 사용되는 경우, 사용되는 가스에 따라 가변된다. 이때 전자의 에너지는 Maxwellian distribution를 이루고 있다는 가정을 하는데, 이는 입자간의 충분히 많은 충돌이 일어나는 중간 압력이나 그 이상의 높은 압력(high pressure)에서는 적합하다 할 수 있다.

[0012] 도 1은 각각의 표시된 전자온도에서 계산되어 400nm 파장에서 정규화된 파장별 방사도이다.

[0013] 결론적으로 방출되는 빛의 파장 및 초기전자의 에너지와 전자온도에 의해 방사도 값이 결정되기 때문에 파장에 따른 방사도의 비(ratio), 즉, 도 1과 같이, 분광분포(spectral distribution)가 전자온도에 따라 다르게 나타난다.

[0014] 거의 모든 플라즈마 응용 연구의 결과들은 플라즈마가 가지고 있는 기본적인 특성에 따라서 좌우되고 나타나므로 예전부터 플라즈마 진단은 필수적으로 진행되어 왔고, 현재까지도 플라즈마 연구에 있어서 중요한 부분을 차지하고 있다. 일반적으로 이온, 전자, 중성종 및 라디칼 등에 의해 여러 화학적 반응 및 물리적 반응들이 일어나는 플라즈마 내에서 모든 반응은 전자로부터 시작되기 때문에 전자의 밀도와 온도가 아주 중요한 역할을 한다. 이러한 이유로 랑뮤어(Langmuir) 탐침법, 컷오프(cutoff) 탐침법과 같은 침투식 기법 및 톰슨 산란(Thomson scattering), 밀리미터 웨이브, 마이크로 웨이브 간섭계과 같은 비침투식 방법으로 여러 가지 다양한 측정 방법들이 제시되어 있다.

[0015] 이러한 측정방법들의 예로 일본특허공개공보 2003-315159호의 '방사선측정장치'가 개시되어 있다. 일본특허공개공보 2003-315159호의 '방사선 측정장치'는 특정 광학필터를 이용하여 측정되는 전자가 여기 상태 (excited states)에서 기저 상태 (ground states)로 돌아오면서 발생하는 원자라인의 방출광을 바탕으로 전자의 여기온도 (T_{exc} , excitation temperature)를 계산하는 기술이 개시하고 있다. 그러나, 광학 필터의 특성을 고려하지 않아 필터를 지나는 빛의 입사각에 따라 정확하지 않은 (전혀 다른) 결과를 도출할 가능성이 크며, 유한한 원자의 에너지 레벨에 따라 선택할 수 있는 빛의 파장이 유한하며 제한적인 문제점을 가진다. 또한 근본적으로 전자의 여기온도와 전자온도는 다른 값이다.

[0016] 또한, 종래기술의 진단 방식으로는 저압 또는 대기압 플라즈마에 적용하기에 많은 제한이 존재하며, 진단이 가능하다 해도 아주 복잡하고 비싼 장비들이 필요하거나 혹은 여러 가지 가정이나 복잡한 평형모델이 수반되어야 하는 경우가 많다.

[0017] 따라서 좀 더 정확하고 간단한 진단 방법의 제시가 필요하며, 저렴하고 보급화된 장비를 이용한 측정장치 및 방법의 제시가 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0018] 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 이미지센서와 광학필터를 이용하여 증성 제동복사 방출광 기반의 플라즈마 전자온도의 2차원 측정을 저비용으로 높은 신광뢰성을 가지고 수행할 수 있도록 하는 이미지센서를 이용한 플라즈마 전자온도 측정장치 및 그 방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0019] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 이미지센서를 이용한 플라즈마 전자온도 측정장치는, 두 개 이상의 서로 다른 파장의 플라즈마 광 중 어느 하나의 파장의 플라즈마광을 투과시키는 광학필터부와 상기 광학필터부를 투과한 특정 파장의 플라즈마광을 촬영하는 이미지센서를 구비하여 선택된 파장별 플라즈마 영상을 각각 촬영하는 촬영부;와, 상기 촬영부로부터 상기 각각의 파장별로 촬영된 각각의 플라즈마 영상의 로우(raw) 데이터를 수신하여, 상기 광학필터부의 투과 파장에 대응하는 색의 픽셀들을 각각 추출한 후, 동일 픽셀에서의 각각의 파장별 광강도의 비를 구하는 것에 의해 전자온도분포를 산출하는 전자온도측정기;를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0020] 상기 광학필터부는, 하나 이상의 필드스토퍼를 포함하는 필드스토퍼부;와, 상기 필드스토퍼의 광경로 하류 측에 위치하여 상기 선택된 파장의 빛을 투과시키는 광학필터;의 배열로 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0021] 상기 광학필터는, 선택된 파장의 빛을 투과하기 위한 광학밀도를 가지는 것을 특징으로 한다.

[0022] 상기 필드스토퍼부는 상기 광학필터로 입사되는 선택된 파장의 빛을 평행광으로 변환하기 위한 렌즈 배열을 더 포함하여 구성될 수 있다.

[0023] 상기 전자온도측정기는, 상기 촬영부로부터 상기 각각의 파장별로 촬영된 각각의 플라즈마 영상 로우(raw) 데이터를 수신하여, 상기 광학필터부의 투과 파장에 대응하는 색의 픽셀들을 각각 추출하는 픽셀추출부;와, 다수의 촬영된 플라즈마 영상데이터의 각각의 픽셀값의 평균 값으로 대체하는 것에 의해 불규칙 잡음을 제거하는 불규칙잡음제거부;와, 암실에서 촬영된 영상 데이터를 이용하여 촬상소자의 전류 노이즈에 의한 암전류 영상을 제거하는 암전류영상제거부;와, 균일 면광원 영상을 이용하여 촬상소자배열의 영역별 촬상신호를 균일하게 보정하는 플랫폼보정부; 중 하나 이상을 포함하는 보정부;와, 상기 픽셀추출부에서 추출된 픽셀들 중 동일한 픽셀의 서로 다른 파장의 광세기의 비를 산출하여 2차원 전자온도 분포 데이터를 생성하는 전자온도산출부;를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0024] 상기 촬영부의 이미지센서는 CCD (charge-coupled device) 센서, CMOS (complementary metal oxide semiconductor) 센서 등의 광감지 센서로 구성될 수 있다.

[0025] 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 이미지센서를 이용한 플라즈마 전자온도 측정방법은, 두 개 이상의 파장을 선택하여 각각의 파장에 대응하는 필터를 구비한 광학필터부를 적용하여 두 개 이상의 파장 영역에서 대기압 플라즈마 광을 촬영하는 플라즈마 촬영과정;과, 상기 서로 다른 파장별로 촬영된 각각의 플라즈마 영상의 로우데이터에서 상기 각각의 필터에 대응하는 색을 가지는 픽셀들을 추출하는 픽셀추출과정;과, 상기 추출된 픽셀 중 동일 픽셀에서 상기 서로 다른 각각의 파장에 대응하는 색의 광세기의 비를 연산하여 전자온도를 산출하는 전자온도산출과정;을 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0026] 또한, 상기 이미지센서를 이용한 플라즈마 전자온도 측정방법은, 불규칙잡음제거부에 의해 다수의 촬영된 플라

즈마 영상데이터의 각각의 픽셀값의 평균 값으로 대체하는 것에 의해 불규칙 잡음을 제거하는 불규칙잡음제거과정;과, 암전류영상제거부에 의해 암실에서 촬영된 영상 데이터를 이용하여 촬상소자의 전류 노이즈에 의한 암전류 영상을 제거하는 암전류영상제거과정;과, 플랫폼필드보정부에 의해 균일한 면광원 영상을 이용하여 촬상소자배열의 영역별 촬상신호를 균일하게 보정하는 플랫폼필드보정과정; 중 하나 이상의 보정을 포함하는 보정과정;을 더 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0027] 본 발명의 전자온도 측정장치 및 방법에서 상기 두 개 이상의 서로 다른 파장은, 제동복사 연속스펙트럼만이 존재하는 파장영역에서 선택되는 것을 특징으로 한다.

[0028] 상기 제동복사 연속스펙트럼만이 존재하는 파장영역은 상기 촬영부가 가시광선을 촬영하는 이미지센서를 구비한 경우에는 가시광선의 파장영역이 되고, 상기 촬영부가 적외선 또는 자외선 영역을 촬영하는 이미지센서를 구비한 경우에는 적외선 또는 자외선 영역으로 선택되는 이미지 센서에 따라 달라질 수 있다.

발명의 효과

[0029] 상술한 본원 발명은 특정 파장의 방출광을 좀 더 정확하게 측정하는 추가장치를 제시하고, 간소하고 저가의 계측장비를 이용하여 전자의 여기온도가 아닌 전자들의 평균 에너지인 전자온도 (T_e , electron temperature)를 높은 해상도로 측정할 수 있도록 하며, 연속 스펙트럼을 사용하기 때문에 파장의 선택범위가 넓어 2개의 필터 이상을 사용할 수 있도록 하여 플라즈마 전자온도를 더욱 정확하게 측정할 수 있도록 하는 효과를 제공한다.

[0030] 또한, 상술한 본원 발명은, 일반적인 이미지 센서를 이용하여 플라즈마의 전자온도를 측정할 수 있도록 하는 것에 의해, 플라즈마 전자온도 측정장치의 제작 비용을 절감하고, 플라즈마 전자온도 측정과정에 드는 비용을 절감시키는 효과를 제공한다.

[0031]

도면의 간단한 설명

- [0032] 도 1은 각각의 표시된 전자온도에서 계산되어 400nm 파장에서 정규화된 파장별 방사도,
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따르는 전자온도측정장치(100)의 개략적인 구성도,
- 도 3은 촬영부(30)의 일 실시예로서의 렌즈배열열과 필드스토퍼(field stopper) 및 광학필터를 구비한 촬영부(30a) 구성을 나타내는 도면,
- 도 4는 촬영부(30)의 다른 실시예로서의 필드스토퍼배열과 광학필터 및 디지털 카메라(C)로 구성되는 촬영부(30b)의 구성을 나타내는 도면,
- 도 5는 본 발명의 전자온도 측정방법의 처리과정을 나타내는 도면,
- 도 6은 본 발명의 전자온도 측정의 실시예를 도식화한 도면,
- 도 7은 도 6의 실시예의 처리과정 중 전자온도 측정을 위한 플라즈마 광 필터링을 위한 두 개의 파장 선택을 도식화한 도면,
- 도 8은 암전류영상제거과정(S30)을 나타내는 도면,
- 도 9는 본 발명의 전자온도 측정방법의 처리과정 중 플랫폼필드보정과정(S40))을 나타내는 도면,
- 도 10은 전자온도측정장치(100)와 분광기를 이용하여 측정한 플라즈마 생성을 위한 인가 전력(Power)대비 검출된 광세기의 비교 그래프,
- 도 11은 전자온도 측정에서 515nm와 632.8nm 필터를 사용하여 얻어진 대기압 아르곤 축전결합방식의 플라즈마 광을 각각의 파장에서 촬영한 방출광의 비율의 추가적인 처리를 거치지 않은 순수 전자온도 측정결과와, 픽셀들의 평균값을 취해 평활화된 결과를 나타내는 도면,
- 도 12는 본 발명의 전자온도 측정장치(100)에 의한 515nm와 632.8nm 두 파장의 방사도 비율에 따른 전자온도 값을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0033] 이하, 본원 발명의 대기압 아르곤 가스를 적용한 축전결합방식의 플라즈마 발생 장치를 이용한 전자온도 측정 장치 및 방법의 실시예를 나타내는 첨부 도면을 참조하여 본원 발명을 더욱 상세히 설명한다.
- [0034] 도 2는 본 발명의 실시예에 따르는 전자온도측정장치(100)의 개략적인 구성도이고, 도 3은 평행광 생성을 위한 렌즈(2a, 2b) 배열과 과도한 입사각을 가지는 광을 차폐하기 위한 필드스토퍼(field stopper) 및 광학필터를 구비한 도 2의 촬영부(30)의 일 실시예의 촬영부(30a)의 구성을 나타내는 도면이며, 도 4는 평행광 생성을 위해 과도한 입사각을 가지는 광을 차폐하기 위해 한 필드스토퍼배열과 광학필터 및 디지털 카메라(C)로 구성되는 도 2의 촬영부(30)의 다른 실시예로서의 촬영부(30b)를 나타내는 도면이다.
- [0035] 도 2에서 플라즈마 장치는 과형발생기와 고주파증폭기와 임피던스 정합을 위한 매칭 회로를 구비하여 13.56MHz의 고주파 전원을 공급하는 전원부(11), 플라즈마 가스로 아르곤가스를 공급하는 가스챔버(13), 유량계(15) 및 하나는 접지되고 다른 하나는 고주파 전원이 인가되며 수냉식이고 지름이 60mm인 한 쌍의 전극(19)이 3mm 간격으로 고정 구비된 반응챔버(17)를 포함하는 축전결합방전 방식의 플라즈마장치(10)를 예로 도시하였다.
- [0036] 상기 전자온도측정장치(100)는, 플라즈마를 촬영하는 촬영부(30)와 촬영부(30)에 의해 촬영된 플라즈마 영상의 로우(Raw) 데이터를 이용하여 전자온도를 측정하는 전자온도측정기(101)로 구성된다.
- [0037] 상기 촬영부(30)는 서로 다른 파장의 광원을 촬영할 수 있는 광학필터를 구비한다. 이는 제동복사 연속스펙트럼만 존재하는 파장 영역에서 두 개 이상의 서로 다른 파장의 빛을 투과시켜 촬상하도록 구성된다. 이때, 플라즈마 광은 가능한 수직으로 광학필터(4, 도 3 및 도 4 참조)로 입사되는 경우 가장 정확한 전자온도 측정을 가능하게 한다. 따라서, 상기 촬영부(30)는 플라즈마 광을 광학필터(4)에 대하여 수직으로 입사되도록 평행광으로 형성하기 위한 렌즈 및 필드스토퍼 배열 구조와 광학필터(4)를 포함하여 구성된다.
- [0038] 상기 구성의 촬영부(30)의 구성 중 광학필터의 역할이 매우 중요하다, 따라서, 보다 정확한 필터의 사용이 요구되는데, 요구사항은 다음과 같다. 먼저 본 발명에 적용되는 광학필터(4)는 간섭 필터(interference filter)로, 입사광의 입사각은 항상 90도를 유지하는 것이 바람직하다. 간섭 필터(Interference filter)는 유전물질(dielectric material)의 복층으로 이루어져 있기 때문에 만약 기울어진 상태로 빛이 입사한다면 투과되는 투과율의 중심파장은 낮은 파장쪽으로 항상 이동된다. 이에 따라 515nm 필터를 이용할 경우 515nm에 해당하는 빛만 투과돼야 하지만 만약 80도의 입사각을 갖게 되면 515nm의 빛이 아닌 다른 파장의 빛이 투과하게 된다. 이에 따라, 노이즈로 작용하는 선택되지 않은 파장의 플라즈마 광이 촬영되는 것을 방지하기 위하여 촬영부(30) 내에서 광학필터(4)로 입사되는 플라즈마 광은 거의 평행광을 이루도록 제어하는 것이 필요하다.
- [0039] 일반적으로, 플라즈마의 국소지점에서 발생하는 방출광은 모든 방향으로 발생되기 때문에 필터에 입사하는 빛의 입사각도 제 각각이다. 이에 입사광의 입사각을 90도에 근접하도록 유지하는 것이 중요하다. 그렇기 때문에 광학필터와 함께 렌즈와 필드스토퍼(field stopper)로 이루어진 광학계가 추가적으로 사용되어야 정확히 특정 파장의 빛을 측정할 수 있게 된다.
- [0040] 이러한 요구사항에 따른 촬영부(30)의 실시예로 도 3 및 도 4의 촬영부(30a, 30b)를 예로 도시하였다.
- [0041] 도 2의 촬영부(30)의 일 실시예로서의 도 3의 촬영부(30a)는, 제 1 광학필터부(F1)와 이미지센서(5)로 구성된다.
- [0042] 상기 제 1 광학필터부(F1)는 반응챔버(17)의 석영창(21)을 통과한 다양한 방향의 플라즈마 광(7)을 집속하는 평면볼록렌즈 형의 제1렌즈(2a)와, 제1 렌즈(2a)를 통과한 광 중 집속되지 않은 광을 차폐하고 집속된 광만을 투과시키는 조리개 또는 슬릿 등의 좁은 구멍을 가지는 필드스토퍼(field stopper)(3)와, 필드스토퍼(3)를 통과하면서 확산되는 플라즈마 광을 평행광으로 변환하는 평면볼록렌즈 형의 제2렌즈(2b)와, 특정 파장의 플라즈마 광을 투과시키는 광학필터(4)를 포함하여 구성된다.
- [0043] 상기 이미지센서(5)는 CCD 또는 COMS 광감지센서 배열로 구성되는 이미지 센서로서, 광학필터(4)를 통과한 특정 파장의 플라즈마 광을 촬상하여 특정 파장의 플라즈마 광 영상 이미지 신호를 출력하도록 구성된다. 상기 이미

지센서(5)에 의해 촬영된 플라즈마 영상의 로우(Raw) 데이터는 도 2의 전자온도측정기(101)로 입력된다.

- [0044] 상술한 구성의 도 3의 촬영부(30a)는 광축에 각도가 크게 다르지 않은 평행광 및 평행광 유사 광만이 필드스토퍼(3)를 통과하게 되어, 광학필터(4)로 입사되는 플라즈마 광은 대부분 광학필터(4)에 수직에 근접하게 입사된다.
- [0045] 도 2의 촬영부(30)의 다른 실시예로서의 도 4의 촬영부(30b)는 제 2 광학필터부(F2)와 렌즈(6)와 이미지센서(5)를 포함하는 디지털 카메라(C)로 구성된다.
- [0046] 상기 제 2 광학필터부(F2)는 플라즈마 반응챔버(17)로부터 조사되는 플라즈마 광 중 광학필터(4)면의 수직 방향에서 일정 각도 범위 내의 플라즈마 광만을 통과시키는 제 1 필드스토퍼(3a)와 제 1 필드스토퍼(3a)를 통과한 플라즈마 광 중 특정 파장의 빛만을 통과시키는 광학필터(4)와 광학필터(4)를 통과한 특정 파장의 플라즈마 광 중에 포함되는 특정 입사각을 벗어나는 플라즈마 광을 2차로 차폐하는 제 2 필드스토퍼(3b)를 포함하여 구성된다.
- [0047] 즉, 도 2의 촬영부(30)에서 광학필터부는 도 3 및 도 4와 같이, 플라즈마 광이 광학필터(4) 또는 이미지센서(5)에 가능한 수직방향으로 입사되도록 평행광을 형성하도록 하는 다양한 구조를 가질 수 있다. 그리고 도 2의 촬영부(30)에서 플라즈마 영상을 생성하는 광감지부로서의 이미지센서(5)는 도 3과 같이 CCD 또는 CMOS 센서 배열을 가지는 단일이미지센서 또는 도 4와 같이, 디지털 카메라(C) 등으로 플라즈마 영상의 로우 데이터를 얻을 수 있도록 하는 다양한 구조를 가질 수 있다.
- [0048] 광학필터(4)의 광학밀도 (optical density, O.D.)가 높을수록 본 발명에서 제시하는 측정의 정확도는 높아진다. 상기 광학밀도는 선택된 투과파장 외의 다른 파장의 빛을 얼마나 잘 차단하는가에 대한 수치이며 로그수로 나타낸다. 상기 광학밀도가 높은 수록 선택된 파장을 포함하는 투과파장 영역이 좁아지고, 이외의 파장 영역의 빛은 차폐되어, 특정 파장에 대한 광학밀도가 높은 수록 선택된 파장 이외의 파장영역이 더욱 차폐된다. 따라서 플라즈마에서 발생하는 연속적인 방출광 중 선택된 파장에 따라 적절한 광학밀도를 갖는 필터가 선택되어야 한다. 그렇지 않으면 투과파장 이외의 파장의 빛이 약하게 같이 측정되기 때문에 정확하지 않은 전자온도가 측정된다.
- [0049] 보통 광학필터의 가장자리는 수분이나 이물질로부터 보호하여 수명을 늘리기 위해 잘려져(scribed) 에폭시로 봉해진 상태로 제공된다. 이에 따라 필터를 이용할 때 필터의 클리어 어퍼처(clear aperture)를 통해서 측정하는 것이 가장 정확한 측정을 수행할 수 있게 된다. 또한 제조 불량으로 인한 필터 표면의 편평도(flatness) 혹은 기울어짐(wedge)에 의해 전혀 다른 측정결과가 얻어질 수 있기 때문에 유의해야 한다.
- [0050] 다시, 도 2를 참조하면 상기 전자온도측정기(101)는 촬영부(30, 30a, 30b)에서 촬영된 선택된 서로 다른 파장별로 촬영된 플라즈마 영상의 로우 데이터를 입력받아서 선택된 파장에 대응하는 색을 가지는 픽셀들을 추출한 후, 보정을 수행한다. 이후 보정이 수행된 동일 픽셀의 서로 다른 파장의 광세기의 비를 구하여 2차원 전자온도 분포를 산출한다.
- [0051] 이를 위해 상기 전자온도측정기(101)는 촬영부(30, 30a, 30b)로부터 플라즈마 영상의 로우 데이터를 입력받는 통신부(110), 입력된 플라즈마 영상의 로우 데이터에서 각각의 파장에 대응하는 색값을 가지는 픽셀을 추출하는 픽셀추출부(115), 픽셀추출부에서 추출된 서로 다른 파장대의 픽셀들의 플라즈마 영상의 로우 데이터에 대한 보정을 수행하는 암전류영상제거부(121)와 플랫폼보정부(123)와 불규칙잡음제거부(125)를 포함하는 보정부(120), 보정부(120)에 의해 보정된 플라즈마 영상의 각 픽셀에 대응하는 서로 다른 파장에서의 광세기 비를 연산하는 것에 의해 2차원 전자온도를 산출하는 전자온도산출부(130), 제어명령의 입력 또는 외부 기록매체에 의한 영상 로우 데이터 등의 데이터 입력을 위한 입력부(150), 측정결과를 표시하는 표시부(140) 및 플라즈마 영상의 보정을 위한 보정정보와 촬영된 플라즈마 영상 데이터 및 연산처리 결과를 저장하는 저장부(160) 등을 포함하여 구성된다.
- [0052] 상기 암전류영상제거부(121)는 암실에서 측정된 영상에서 각각의 픽셀별로 발생하는 색강도 정보를 저장한 후, 플라즈마 영상에서 각각의 픽셀에서의 암전류에 의한 광세기 변화를 보정하는 암전류제거(dark frame subtraction) 기능을 수행한다.
- [0053] 상기 플랫폼보정부(flat field correction part)(123)는 각 픽셀마다의 민감도, 비네팅(Vignetting) 현상,

여러 수차 등의 보정을 수행하는 기능을 수행한다.

- [0054] 상기 불규칙잡음제거부(125)는 이미지센서(5)의 잡음에 의한 불규칙잡음을 줄이는 보정을 수행하는 구성으로, 불규칙잡음을 줄이기 위해 50회 등의 다수 촬영을 수행한 후 해당 촬영 영상의 픽셀들의 값을 평균하여 보정하는 것에 의해 불규칙잡음(random noise)을 제거한다.
- [0055] 이때 암전류영상제거, 플랫폼드보정, 불규칙잡음제거를 위한 각각의 보정정보들은 상술한 바와 같이 저장부(160)에 저장된다.
- [0056] 상술한 전자온도측정기(101)의 각 구성 중 픽셀추출부(115), 암전류영상제거부(121)와 플랫폼드 보정부(123)와 불규칙잡음제거부(125)를 포함하는 보정부(120), 전자온도산출부(130)는 각각 독립된 하드웨어장치로 구성되거나 컴퓨터에서 실행되는 프로그램 코드 모듈들로 구현될 수 있으며, 프로그램으로 구현되는 경우 상기 전자온도측정기(101)는 촬영부(30)와 통신을 수행하고 전자온도측정 및 보정을 위한 프로그램이 설치되는 컴퓨터 장치에 설치되는 것에 의해 구현될 수 있다.
- [0057] 상술한 구성의 전자온도측정장치(100)는, 촬영부(30)를 이용하여 광학필터부(F1, F2)에 의해 제동복사 연속스펙트럼만 존재하는 파장 영역에서 두 개 이상의 파장을 선택한 후 각각의 파장별로 플라즈마 광을 촬영한다. 이때 선택된 두 개 이상의 파장에서의 플라즈마 광의 촬영은 광학필터를 교체하거나, 선택된 파장 각각에 대응하는 광학필터가 장착된 촬영부(30) 전체를 교체하여 촬영하는 등 다양한 방법으로 수행될 수 있다. 이 후 전자온도측정기(101)는 촬영부(30)로부터 각각의 선택된 파장에 대응하는 플라즈마 광 영상 이미지의 로우 데이터를 입력받아서, 각각의 파장에 대응하는 색을 가지는 픽셀들을 추출한다. 각 픽셀별로 서로 다른 파장 각각에 대응하는 색깔들의 광세기 비를 연산하여 산출하는 것에 의해 고가의 장비를 구비함이 없이, 일반적인 CCD, CMOS 등의 광감지센서를 구비한 촬영부(30)를 이용한 플라즈마의 전자온도를 손쉽게 정확하게 측정할 수 있게 된다.
- [0058] 도 5는 본 발명의 전자온도 측정방법의 처리과정을 나타내는 도면이다.
- [0059] 도 5에 도시된 바와 같이, 본원 발명의 전자온도 측정방법은 플라즈마 촬영과정(S10), 픽셀추출과정(S20), 암전류영상제거과정(S30)과 플랫폼드보정과정(S40)과 불규칙잡음제거과정(S50)을 포함하는 보정과정과, 전자온도를 산출하는 전자온도산출과정(S60)을 포함하여 이루어진다.
- [0060] 상기 플라즈마촬영과정(S10)은 촬영부(30)에 의해 수행되는 과정으로, 제동복사 연속스펙트럼만 존재하는 파장 영역에서 선택된 두 개 이상의 파장을 각각 통과시키는 광학필터(4)가 구비된 광학필터부(F1, F2)를 가지는 각각의 촬영부(30)를 통해 선택된 파장별로 플라즈마 광을 촬영한다. 각각의 파장별로 촬영된 플라즈마 영상의 로우 데이터는 전자온도측정기(101)로 전송되어 저장부(60)에 저장된다. 이와 같이 두 개 이상의 파장을 선택하는 이유는, 광섬유와 분광기를 이용하여 측정된 결과는 국지적 정보일 뿐 전자온도의 2차원 분포에 대한 정보를 제공하지 못한다. 따라서 2차원 공간적 광분포를 통해 전자온도의 분포를 측정하기 위해서는 대기압 아르곤 축전 결합방전에서 발생하는 빛을 중심파장이 515nm, 632.8 nm인 광학 대역필터와 DSLR 카메라 등의 디지털 카메라(C) 또는 이미지센서(5)를 이용하여 빛의 세기를 측정하여 비를 구하는 것과 같이 두 개의 이상의 파장에서 플라즈마 광을 촬영하고 동일 픽셀에서 얻어진 각각의 파장에 대응하는 색의 광 세기의 비를 구하는 것에 의해 2차원 전자온도 분포를 구할 수 있기 때문이다.
- [0061] 상기 픽셀추출과정(S20)은 픽셀추출부(115)에 의해 수행되는 과정으로, 상기 저장부에 저장된 각각의 파장별로 촬영된 플라즈마 영상 로우 데이터에서 각각의 파장에 대응하는 색의 픽셀을 추출한다.
- [0062] 상기 암전류영상제거과정(S30)은 암전류영상제거부(121)에 의해 수행되는 보정과정으로, 촬영부(30)를 이용하여 암실에서 촬영한 영상 로우 데이터를 저장부에 저장한 후, 차후 플라즈마 광 촬영 시 각각의 파장별로 촬영된 플라즈마 영상의 로우 데이터 또는 상기 추출된 픽셀별 신호에서 암전류에 의한 영상 신호 값을 감산하여 암전류에 의한 노이즈 영상을 제거한다.
- [0063] 상기 플랫폼드보정과정(S40)은 플랫폼드보정부(123)에 의해 수행되는 과정으로, 민감도, 비네팅(Vignetting) 현상, 수차 보정 등을 위하여 균일한 면광원을 촬영한 영상 신호의 세기 변화를 픽셀별로 검출한 후 이를 균일하게 하는 보정값들을 픽셀별로 산출하여 저장한 후, 플라즈마 영상의 로우 데이터 또는 상기 추출된 픽셀별 신호

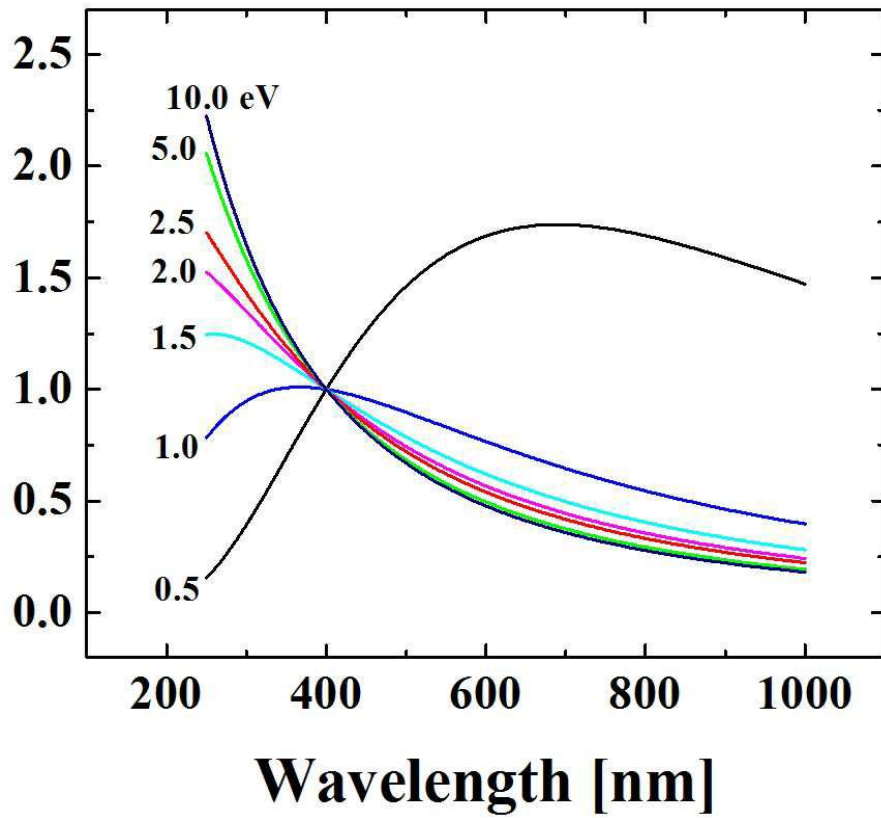
에서 면광원에 대한 픽셀별 반응도를 보정하여 주는 것에 의해 플랫폼 보정을 수행한다.

- [0064] 상기 불규칙잡음제거과정(S50)은 불규칙잡음제거부(125)에 의해 수행되는 과정으로, 이미지센서의 촬영 시마다 발생하는 광감지 신호의 불규칙성을 제거하기 위하여 동일한 영상을 다수 반복 수행하여 저장부에 촬영된 이미지들을 저장한 후, 각각의 픽셀별로 평균값을 산출하여 이미지를 보정하는 것에 의해 불규칙 잡음에 의한 잡음을 제거하는 보정을 수행한다. 상기 불규칙잡음제거과정(S50)은 플라즈마 촬영과정(S10)과 픽셀추출과정(S20)을 반복 수행한 후 픽셀별로 평균값을 적용하는 것에 의해 수행된다.
- [0065] 상기 전자온도산출과정(S60)은 전자온도산출부(130)에 의해 수행되는 과정으로, 보정과정까지 수행된 동일 픽셀에 대응하는 각 파장별 플라즈마 영상의 광세기의 비를 구하는 것에 의해 2차원 전자온도분포를 구하는 과정이다.
- [0066] 다음으로, 본원 발명에 의한 전자온도 측정과정의 실시예를 설명한다.
- [0067] 도 6 내지 도 12는 대기압 아르곤 가스 플라즈마를 제동복사 연속스펙트럼만 존재하는 파장 영역 중 515nm와 632.8nm의 두 개의 파장을 선택하여 해당 파장의 플라즈마 광만을 각각 촬영하여 전자온도를 측정하였다. 그리고 측정된 전자온도의 신뢰성을 확인하기 위하여 분광기에 의해 측정된 전자온도 값과 비교를 수행하여 전자온도 측정의 정확성을 확인한 실시예를 나타내는 도면이다.
- [0068] 각각의 도면을 상세히 설명하면, 도 6은 본 발명의 전자온도 측정의 실시예를 도식화한 도면이다. 도 7은 도 6의 실시예의 처리과정 중 전자온도 측정을 위한 플라즈마 광 필터링을 위한 두 개의 파장 선택을 도식화한 도면이다. 도 8은 암전류영상제거과정(S30)을 나타내는 도면이고, 도 9는 본 발명의 전자온도 측정방법의 처리과정 중 플랫폼 보정과정(S40))을 나타내는 도면이다. 도 10은 전자온도 측정장치(100)와 분광기를 이용하여 측정된 플라즈마 생성을 위한 인가 전력(Power)대비 검출된 광세기의 비교 그래프이고, 도 11은 전자온도 측정에서 515nm와 632.8nm 필터를 사용하여 얻어진 대기압 아르곤 축전결합방식의 각각의 파장에서의 방출광의 비율의 추가적인 처리를 거치지 않은 순수 전자온도 측정결과와, 픽셀들의 평균값을 취해 평활화된 결과를 나타내는 도면이다. 도 12는 본 발명의 전자온도 측정장치(100)에 의한 515nm와 632.8nm 두 파장의 방사도 비율에 따른 전자온도 분포를 나타내는 그래프이다.
- [0069] 실시예에서는 도 6에 도시된 바와 같이, 대기압 아르곤 가스의 축전결합방전에 의해 생성된 플라즈마 광을 515nm 투과 광학필터와 632.8nm 투과 광학필터를 적용하여 각각 촬영하였다. 이때 불규칙 잡음을 제거하기 위해 0.3초 노출시간으로 50번을 측정하여 평균하였다.
- [0070] 그리고 각각의 파장에서 측정된 플라즈마 영상의 로우 데이터에서 각각의 파장에 대응하는 파란색(Blue)과 붉은색(Red)을 가지는 픽셀을 각각 추출하였다. 색상으로 R, G, B가 사용되었으나, 상기 색은 마젠타(magenta)·옐로(yellow)·시안(cyan) 등의 색을 사용하는 것과 같이 다양한 방식의 색상 시스템이 적용될 수 있다.
- [0071] 이후, 암전류영상제거(dark subtraction)와 플랫폼보정(flat field correction) 및 불규칙잡음제거를 포함하는 보정을 수행하였다. 그리고 각각의 보정된 픽셀 이미지들로부터 동일 픽셀 내에서 서로 다른 파장에서 촬영된 플라즈마 광의 세기의 비를 연산하여 산출하는 것에 의해 2차원 전자온도 분포를 측정하였다.
- [0072] 이때, 플라즈마 반응챔버(17)의 한 쪽 포트를 통해 DSLR 카메라 등의 이미지센서를 포함하는 촬영부(30)를 이용하여 플라즈마 광을 촬영하여 전자온도(emissivity ratio)를 측정함과 동시에, 다른 한 쪽 포트를 통해 양면이 볼록한 렌즈(bi-convex lens), 광섬유와 분광기(Ocean Optics, MAYA2000 Pro)를 이용하여 전극의 정 중앙에 발생하는 플라즈마의 빛을 측정하였다.
- [0073] 상기 두 개의 선택된 파장은 도 7에서와 같이, 제동복사 연속스펙트럼만 존재하는 파장 영역에서 선택되었다. 측정에 사용하고자 하는 파장의 선택은 반드시 제동복사 연속 스펙트럼만 존재하는 파장 영역이어야 하며, 다른 원자나 분자, 혹은 또 다른 연속 스펙트럼이 섞이지 않은 파장영역을 선택해야 한다.
- [0074] 도 7은 분광기로 측정된 아르곤 축전결합방전(CCP: Capacitively coupled plasma) 방출광의 분포를 나타낸다. 자외선 영역에 OH(hydroxyl) 분자라인과 질소 분자들이 있으며, 680nm 이상에서 아르곤과 산소 원자에서 발생하는 빛의 세기가 크게 측정되었다. 반면에 가시광 영역인 400 - 650 nm에서는 다른 원자나 분자 스펙트럼이 나타나지 않아 순수 전자-원자의 작용에 의한 제동복사 방출광이 측정되는 것을 알 수 있다. 그렇기 때문에 이 영역에서 두 파장을 선택하는 것이 적절하며, 본 실시예에서는 상술한 바와 같이 515 nm 와 632.8nm에 파장을 선택하고 해당 파장의 광을 투과시키는 광학필터(광학 대역필터)를 사용하였다. 두 필터를 사용하여 측정된 플라즈

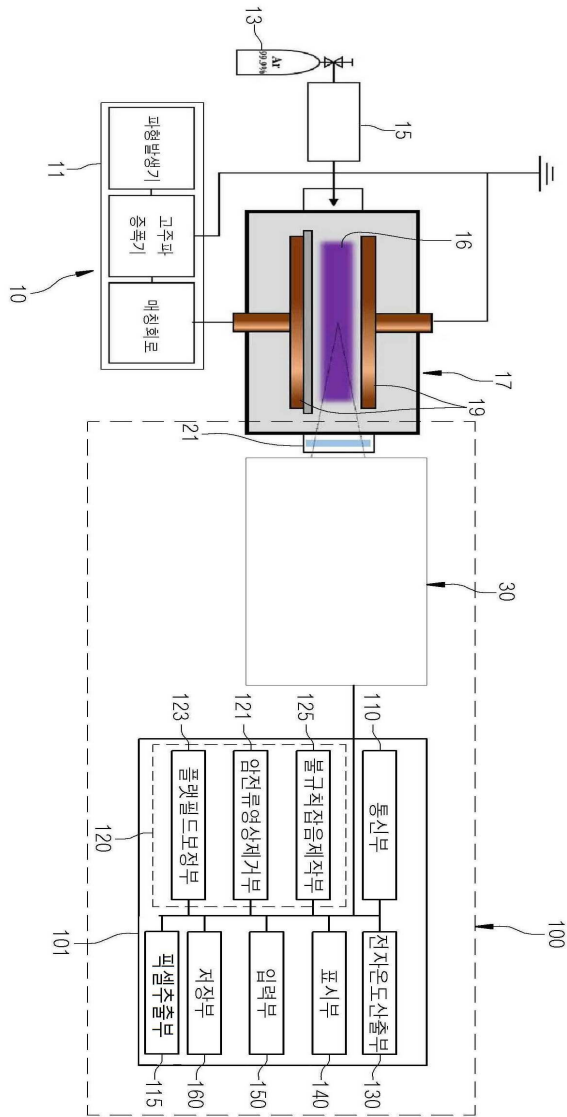
- 16: 플라즈마
- 17: 반응챔버
- 19: 전극
- 21: 석영창
- 100: 전자온도측정장치
- 30, 30a, 30b: 촬영부
- F1, F2: 광학필터부
- 2a, 2b: 렌즈
- 3: 필드스토퍼
- 4: 광학필터
- 5: 이미지센서
- 7: 플라즈마 광
- C: 디지털 카메라
- 101: 전자온도측정기

도면

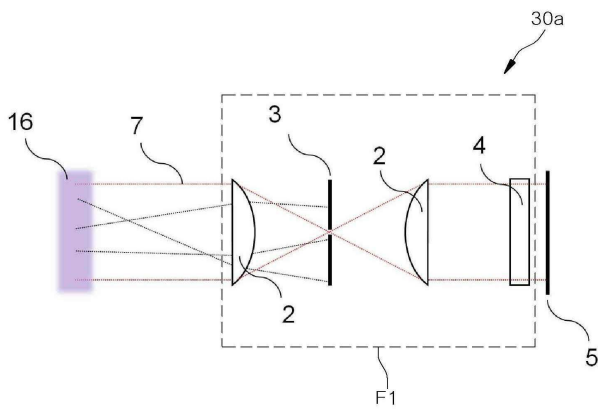
도면1



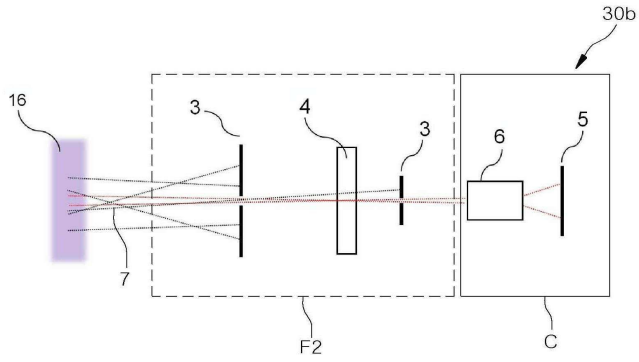
도면2



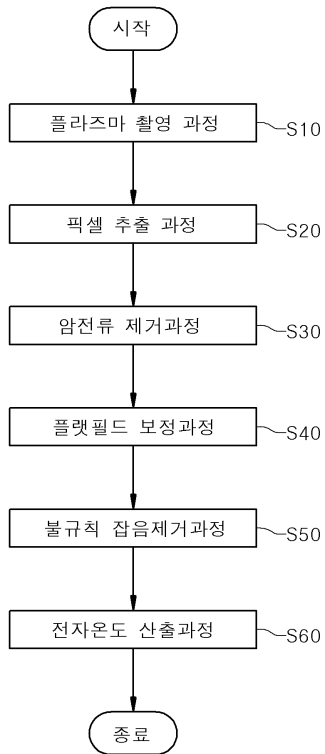
도면3



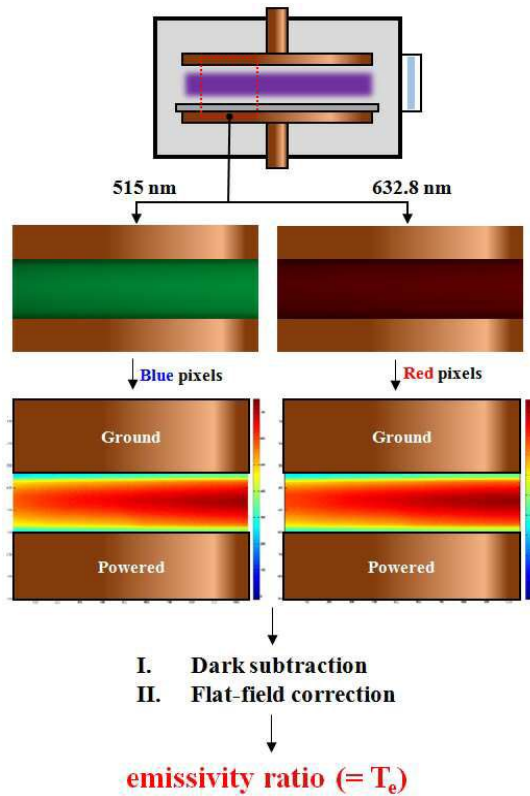
도면4



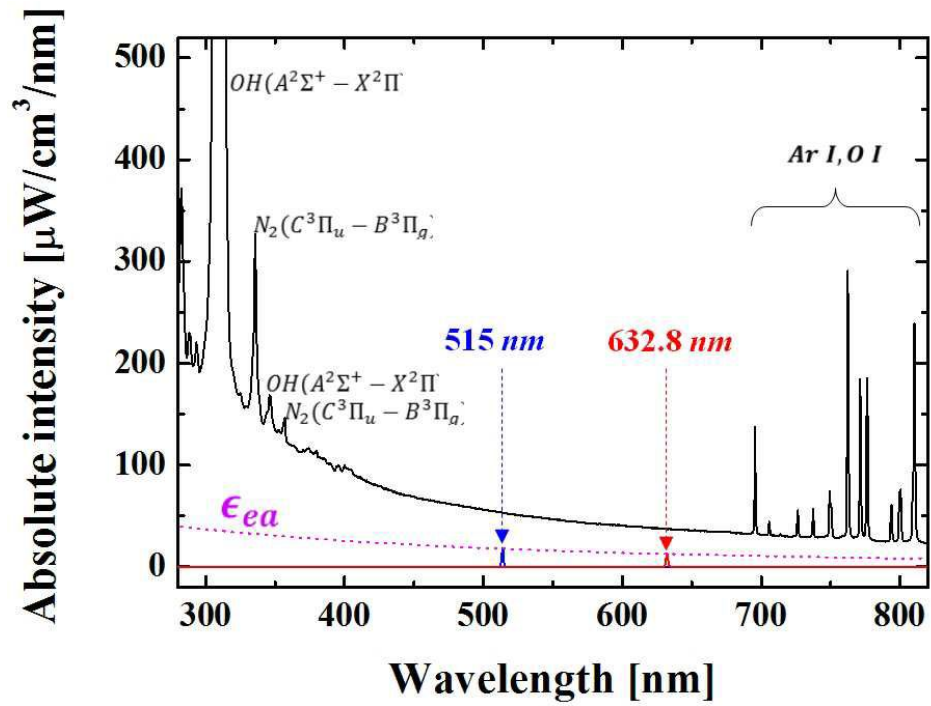
도면5



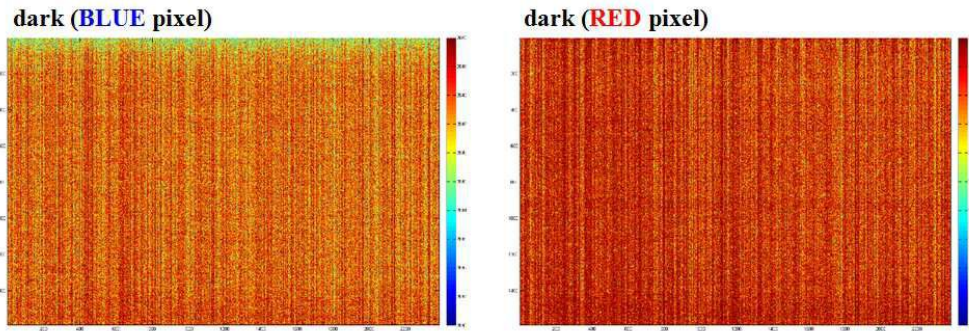
도면6



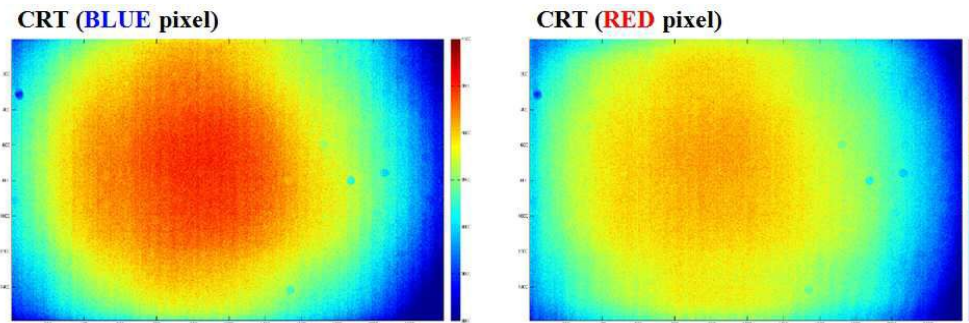
도면7



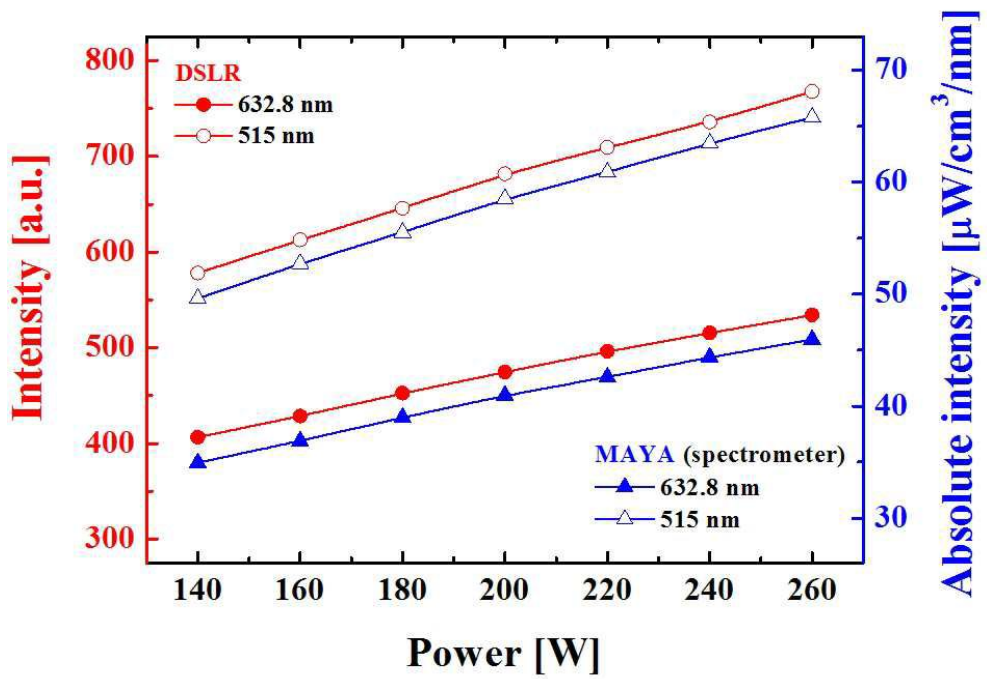
도면8



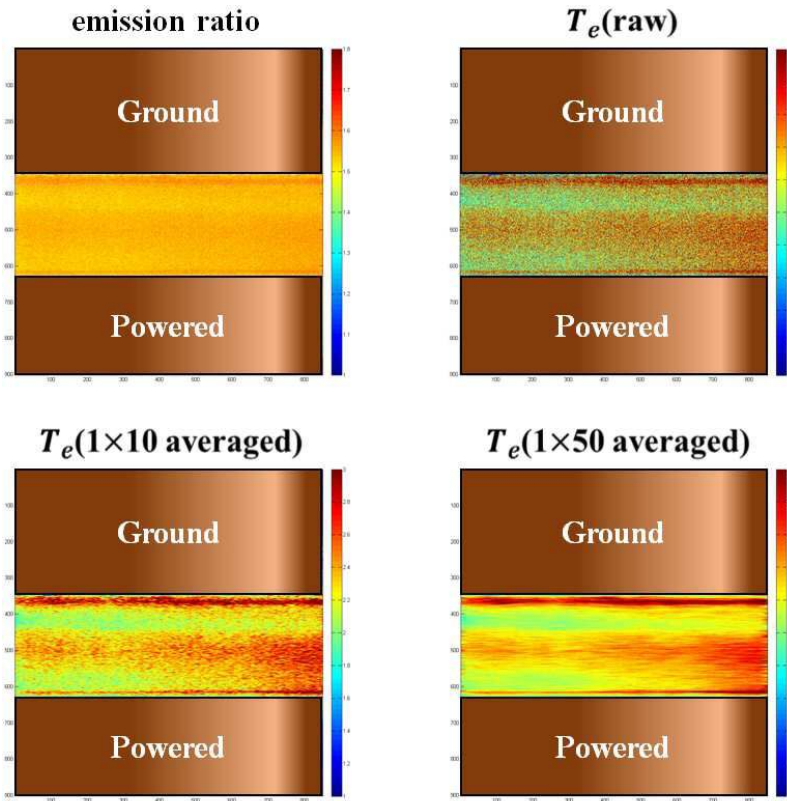
도면9



도면10



도면11



도면12

