(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0000743
(43) 공개일자 2021년01월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01J 3/02 (2006.01) *G01J 3/12* (2006.01)
G01J 3/26 (2006.01) *G01J 3/28* (2006.01)
G02B 5/28 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01J 3/0229 (2013.01)
G01J 3/0259 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-7037231(분할)
(22) 출원일자(국제) 2015년01월29일
심사청구일자 2020년12월23일
(62) 원출원 특허 10-2016-7022476
원출원일자(국제) 2015년01월29일
심사청구일자 2019년11월28일
(85) 번역문제출일자 2020년12월23일
(86) 국제출원번호 PCT/US2015/013415
(87) 국제공개번호 WO 2015/116756
국제공개일자 2015년08월06일
(30) 우선권주장
61/934,547 2014년01월31일 미국(US)

(71) 출원인
비아비 솔루션즈 아이엔씨.
미국 캘리포니아주 95002 새너제이 6층 6001 아메리카 센터 드라이브
(72) 발명자
후루스카, 커티스, 알.
미국 95425 캘리포니아 클로버데일 그레이프 게이블 웨이 102
캐칭, 벤자민, 에프.
미국 95404 캘리포니아 산타 로사 테라 린다 드라이브 3038
스미스, 파울라
미국 95403 캘리포니아 산타 로사 산티아고 드라이브 3149
(74) 대리인
특허법인 남앤남

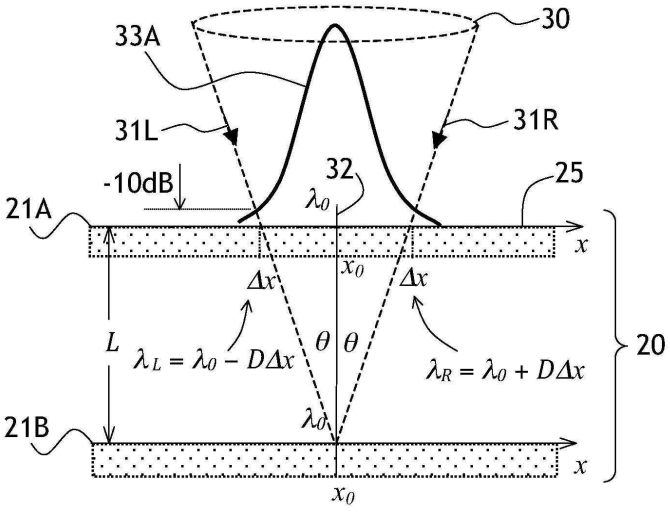
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 **광학 필터 및 분광계**

(57) 요 약

상류 필터가 하류 필터에 대한 공간 필터로서 기능하도록 서로로부터 고정 거리에 스택되는 2개의 측면적 가변 밴드패스 필터들을 포함하는 광학 필터가 개시된다. 이것은 하류 필터에 충돌하는 경우 상류 필터에 의해 송신되는 경사 빔이 측면적으로 배치되기 때문에 발생한다. 측면적 배치는 상류 필터 및 하류 필터로의 경사 빔의 충돌 위치들에서의 송신 패스밴드들이 오버랩하지 않는 경우 경사 빔의 억제를 야기한다.

대 표 도 - 도3



(52) CPC특허분류
G01J 3/0262 (2013.01)
G01J 3/26 (2013.01)
G01J 3/2803 (2013.01)
G02B 5/285 (2013.01)
G01J 2003/1213 (2013.01)
G01J 2003/1234 (2013.01)
G01J 2003/2813 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

광학 필터로서,

상기 광학 필터의 매체 상에 증착되는 제 1 박막 웨지 간섭 코팅(thin film wedged interference coating); 및

상기 광학 필터의 상기 매체 상에 증착되는 제 2 박막 웨지 간섭 코팅을 포함하고,

상기 제 1 박막 웨지 간섭 코팅은 상기 매체의 제 1 측면(side) 상에 증착되고 그리고 상기 제 2 박막 웨지 간섭 코팅은 광 빔의 광학 경로에 대하여 상기 매체의 반대쪽(opposite) 제 2 측면 상에 증착되거나, 또는

상기 매체는 상기 제 1 박막 웨지 간섭 코팅 및 상기 제 2 박막 웨지 간섭 코팅 사이에 위치되고,

상기 매체는 단일 공통 기판인, 광학 필터.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 박막 웨지 간섭 코팅은, 상류(upstream) 박막 웨지 간섭 코팅인, 광학 필터.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 광학 필터는 상류 필터 및 하류 필터를 포함하고,

상기 상류 필터는 상기 제 1 박막 웨지 간섭 코팅을 포함하고,

상기 하류 필터는 상기 제 2 박막 웨지 간섭 코팅을 포함하는, 광학 필터.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 매체는 상기 제 1 박막 웨지 간섭 코팅 및 상기 제 2 박막 웨지 간섭 코팅 사이에서 굴절 인덱스 n을 갖는 투명 매체인, 광학 필터.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 박막 웨지 간섭 코팅 및 상기 제 2 박막 웨지 간섭 코팅 사이의 거리 L는 변화하는, 광학 필터.

청구항 6

광학 필터로서,

상기 광학 필터의 기판 상에 증착되는 제 1 웨지 간섭 코팅(wedged interference coating); 및

상기 광학 필터의 상기 기판 상에 증착되는 제 2 웨지 간섭 코팅을 포함하고,

상기 제 1 웨지 간섭 코팅은 상기 기판의 제 1 측면 상에 증착되고 그리고 상기 제 2 웨지 간섭 코팅은 상기 기판의 반대쪽 제 2 측면 상에 증착되고,

상기 기판은 단일 공통 기판인, 광학 필터.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 광학 필터는 상류 필터 및 하류 필터를 포함하고,

상기 상류 필터는 상기 제 1 웨지 간섭 코팅을 포함하고,

상기 하류 필터는 상기 제 2 웨지 간섭 코팅을 포함하는, 광학 필터.

청구항 8

제 6 항에 있어서,

상기 제 1 웨지 간섭 코팅 및 상기 제 2 웨지 간섭 코팅 사이에 공간이 존재하는, 광학 필터.

청구항 9

제 6 항에 있어서,

광학 경로에 배치되는 어퍼처(aperture)를 더 포함하는, 광학 필터.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 어퍼처의 폭은 변화하는, 광학 필터.

청구항 11

방법으로서,

광학 빔을 필터링하는 단계를 포함하고,

상기 광학 빔은 광학 필터를 사용하여 필터링되고,

상기 광학 필터는,

상기 광학 필터의 기판 상에 증착되는 제 1 박막 웨지 간섭 코팅; 및

상기 광학 필터의 상기 기판 상에 증착되는 제 2 박막 웨지 간섭 코팅을 포함하고,

상기 제 1 박막 웨지 간섭 코팅은 상기 기판의 제 1 측면 상에 증착되고 그리고 상기 제 2 박막 웨지 간섭 코팅은 광 빔의 광학 경로에 대하여 상기 기판의 반대쪽 제 2 측면 상에 증착되거나, 또는

상기 기판는 상기 제 1 박막 웨지 간섭 코팅 및 상기 제 2 박막 웨지 간섭 코팅 사이에 위치되고,

상기 기판은 단일 공통 기판인, 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 기판은 상기 제 1 박막 웨지 간섭 코팅 및 상기 제 2 박막 웨지 간섭 코팅 사이에서 굴절 인덱스 n을 갖는 투명 매체를 포함하는, 방법.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 박막 웨지 간섭 코팅 및 상기 제 2 박막 웨지 간섭 코팅 사이에 공간이 존재하는, 방법.

청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 광학 필터는 상기 광학 경로에 배치되는 어퍼처를 더 포함하는, 방법.

청구항 15

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 박막 웨지 간섭 코팅 및 상기 제 2 박막 웨지 간섭 코팅 사이의 거리 L는 변화하는, 방법.

청구항 16

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 박막 웨지 간섭 코팅은, 상류 박막 웨지 간섭 코팅인, 방법.

청구항 17

제 11 항에 있어서,

상기 광학 필터는 상류 필터 및 하류 필터를 포함하고,

상기 상류 필터는 상기 제 1 박막 웨지 간섭 코팅을 포함하고,

상기 하류 필터는 상기 제 2 박막 웨지 간섭 코팅을 포함하는, 방법.

청구항 18

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 박막 웨지 간섭 코팅은 상기 제 2 박막 웨지 간섭 코팅에 대해 일정 각도로 배치되는, 광학 필터.

청구항 19

제 1 항에 있어서,

상기 광학 경로에 배치되는 어퍼처를 더 포함하는, 광학 필터.

청구항 20

제 11 항에 있어서,

상기 광학 필터는 상류 필터 및 하류 필터를 포함하고,

상기 상류 필터는 서브-파장 격자(sub-wavelength grating)를 포함하고,

상기 하류 필터는 다이크로익 폴리머(dichroic polymer)를 포함하는, 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] [0001] 본 개시 내용은 광학 컴포넌트들에 관한 것으로, 특히, 광학 필터들 및 분광계들에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] [0002] 광학 필터는 유입 광의 스펙트럼 밴드 또는 스펙트럼 컴포넌트를 선택하는데 사용된다. 하이 패스 필터는, 예를 들어, 필터의 에지 파장보다 긴 파장들에서 광을 선택한다. 반대로, 로우 패스 필터는 에지 파장보다 짧은 파장들에서 광을 선택한다. 밴드패스 필터는 별개의 타입의 필터이고, 이는 필터의 대역폭 내에서 필터의 중심 파장에 근접한 파장들에서 광을 선택한다. 튜닝가능한 밴드패스 필터는 광학 필터이고, 이 광학 필터의 중심 파장은 조정 또는 튜닝될 수 있다.

[0003] [0003] 분광계는 유입 광의 광학 스펙트럼을 측정한다. 스캐닝-타입 분광계는 하나 또는 그 초과의 튜닝가능한 밴드패스 필터들을 사용하여 유입 광의 상이한 스펙트럼 컴포넌트들을 선택할 수 있다. 스캐닝-타입 분광계는 광학 스펙트럼을 획득하도록 튜닝가능한 밴드패스 필터의 중심 파장을 스캐닝함으로써 동작한다. 대안적으로, 다색화기(polychromator)-타입 분광계는 광학 스펙트럼의 병렬 검출을 위한 검출기 어레이에 광학적으로 커플링된 파장-분산 엘리먼트를 사용한다. 그러나, 종래의 광학 필터들 및 분광계들은 전형적으로 크고 부피가 커서, 휴대용 디바이스들 및 애플리케이션들에서 그것들을 사용하는 것을 어렵게 한다.

[0004] [0004] 위의 내용을 고려하면, 광학 필터들 및 분광계들에 대한 현재 해결책들 및 기술들과 연관된 중요한 문제들 및 단점들이 존재할 수 있다는 것이 이해될 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) US6,700,690 B1

(특허문헌 0002) US2010/0208348 A1

발명의 내용

[0006] [0005] 본 개시 내용에 따라, 2개 또는 그 초과의 측면적(laterally) 가변 밴드패스 필터들은 충돌(impinging) 빔 콜리메이션에 대한 요건들을 감소시키기 위해서, 또는 심지어, 테이퍼링된(tapered) 광 파이프 또는 또 다른 광 콜리메이팅 엘리먼트의 필요성을 완전하게 경감시키기 위해서 서로로부터 고정 거리에 스택될 수 있다. 2개의 측면적 가변 밴드패스 필터들이 함께 스택되는 경우, 상류 필터는 하류 필터에 대한 공간 필터로서 기능할 수 있다. 이것은 하류 필터에 충돌하는 경우 상류 필터에 의해 송신되는 경사 빔이 측면적으로 배치되기 때문에 발생한다. 상류 및 하류 필터들 상의 빔 충돌 위치들이 오버랩하지 않는 경우 상류 및 하류 필터들의 송신 파장들이 오버랩하지 않을 수 있어서 경사 빔들의 억제를 초래하기 때문에, 측면적 배치는 경사 빔의 억제를 초래할 수 있다. 이 효과에 기인하여, 상류 필터를 스트라이크(strike)하는 유입 빔의 콜리메이션의 정도에 대한 광학 필터의 스펙트럼 선택성의 의존도는 줄어들 수 있다.

[0007] [0006] 본 개시 내용의 양상에 따라, 상류 측면적 가변 밴드패스 광학 필터 및 하류 측면적 가변 밴드패스 광학 필터를 포함하는 광학 필터가 제공된다. 하류 측면적 가변 밴드패스 광학 필터는 상류 가변 밴드패스 광학 필터의 하류에 순차적으로 배치되고, 광학 빔의 광학 경로를 따라 거리 L만큼 분리된다. 상류 측면적 가변 밴드패스 광학 필터 및 하류 측면적 가변 밴드패스 광학 필터는 각각 광학 경로에 대해 횡단적인(transversal) 공통적 제 1 방향을 따라 상호 조정되는 방식으로 점차적으로 변화하는 밴드패스 중심 파장을 가진다. 광학 빔의 콜리메이션의 정도에 대한 광학 필터의 스펙트럼 선택성의 의존도는 광학 빔의 콜리메이션의 정도에 대한 하류 측면적 가변 밴드패스 광학 필터의 스펙트럼 선택성의 대응하는 의존도보다 적다.

[0008] [0007] 하나의 예시적 실시예에서, the 중심 파장들 of the 상류 필터 및 하류 필터의 중심 파장들은 제 1 방향에서 단색적으로(monotonically), 예를 들어, 선형적으로 또는 비-선형적으로 증가한다. 상류 필터 및 하류 필터의 중심 파장들은 제 1 방향을 따라 x-좌표에 대한 밴드패스 중심 파장의 실질적으로 동일한 의존도를 가질 수 있지만, 반드시 그러할 필요는 없다.

[0009] [0008] 본 개시 내용에 따라, 하류 측면적 가변 밴드패스 광학 필터의 광학 경로 하류에 배치되는 상기 광학 필터 및 광학 센서를 포함하는 광학 분광계가 추가로 제공된다. 광학 센서는 광검출기 어레이(photodetector array)를 포함할 수 있다. 하류 측면적 가변 밴드패스 광학 필터는 더 양호한 스펙트럼 선택성을 위해서, 광검출기 어레이와 접촉할 수 있다.

[0010] [0009] 본 개시 내용의 또 다른 양상에 따라, 광학 경로를 따라 전파되는 광학 빔의 스펙트럼을 획득하기 위한 방법이 추가로 제공되고, 방법은: 상류 측면적 가변 밴드패스 광학 필터 및 하류 측면적 가변 밴드패스 광학 필터를 포함하는 광학 필터를 통해 광학 빔을 필터링하는 단계 – 하류 측면적 가변 밴드패스 광학 필터는 상류 가변 밴드패스 광학 필터의 하류에 순차적으로 배치되고, 광학 빔의 광학 경로를 따라 거리 L만큼 분리되고, 상류 측면적 가변 밴드패스 광학 필터 및 하류 측면적 가변 밴드패스 광학 필터는 각각 광학 경로에 대해 횡단적인 공통적 제 1 방향을 따라 상호 조정되는 방식으로 점차적으로 변화하는 밴드패스 중심 파장을 가지고, 광학 빔의 콜리메이션의 정도에 대한 광학 필터의 스펙트럼 선택성의 의존도는 광학 빔의 콜리메이션의 정도에 대한 하류 측면적 가변 밴드패스 광학 필터의 스펙트럼 선택성의 대응하는 의존도보다 적음 – ; 및 하류 필터의 하류에서 제 1 방향을 따르는 광학 전력 분포를 검출하는 단계를 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0011] [0010] 이제, 예시적 실시예들이 도면들과 함께 설명될 것이다.

[0011] 도 1a는 종래의 선형적(linearly) 가변 필터를 예시한다.

[0012] 도 1b는 도 1a의 선형적 가변 필터에 기초하는 종래의 광학 분광계를 예시한다.

[0013] 도 2a는 한 쌍의 측면적 가변 밴드패스 필터들을 포함하는, 본 개시 내용에 따른 광학 필터를 예시한다.

[0014] 도 2b는 도 2a의 측면적 가변 밴드패스 필터들의 중심 파장 의존도들을 예시한다.

[0015] 도 2c는 광학 필터에 의해 공간 필터링의 원리를 예시하는, 도 2a의 광학 필터의 개략적 측면뷰이다.

[0016] 도 3은 광학 필터의 수광각(acceptance angle)을 도시하는 측단면뷰 내의 도 2a의 광학 필터를 예시한다.

[0017] 도 4a - 도 4e는 도 2a 및 도 3의 광학 필터들의 다양한 실시예들의 개략적 측면뷰들을 예시한다.

[0018] 도 5a - 도 5c는 본 개시 내용의 광학 필터들의 다양한 실시예들의 3차원 뷰들을 예시한다.

[0019] 도 6a는 도 2a, 도 3, 도 4a 내지 도 4e, 또는 도 5a 내지 도 5c의 광학 필터들 및 광검출기 어레이를 포함하는 분광계의 개략적 측단면뷰를 예시한다.

[0020] 도 6b는 도 2a, 도 3, 도 4d 또는 도 5a 내지 도 5c의 광학 필터들을 포함하는 밀폐형(sealed) 분광계의 개략적 측단면뷰를 예시한다.

[0021] 도 7a 내지 도 7d는 광검출기 어레이 상의 하류 필터의 실장(mounting) 구성들을 도시하는, 도 6a의 분광계의 다양한 실시예들의 부분적 측단면뷰들을 예시한다.

[0022] 도 8a는 경사진(tilted) 2D(two-dimensional) 검출기 어레이를 가지는 분광계 실시예의 평면뷰를 예시한다.

[0023] 도 8b는 도 8a의 2D 검출기 어레이의 픽셀들의 상이한 행들 상의 광학 전력 밀도 분포를 예시한다.

[0024] 도 8c는 본 개시 내용의 멀티-스펙트럼 분광계 실시예의 분해뷰(exploded view)를 예시한다.

[0025] 도 9a 및 도 9b는 도 2a, 도 3 및 도 4b의 광학 필터들의 광학 광선-추적 모델의 3차원 및 측면뷰들을 각각 예시한다.

[0026] 도 10은 상류 필터와 하류 필터 사이의 상이한 어퍼처수(numerical apertures) 및 거리들에서의 도 9a, 도 9b의 광학 광선-추적 모델의 시뮬레이팅된 광학 전력 분포들의 중첩뷰(superimposed view)를 예시한다.

[0027] 도 11a, 도 11b 및 도 11c는 1.0㎛, 1.3㎛ 및 1.6㎛의 파장들에서 시뮬레이팅된 검출된 광학 스펙트럼들을 각각 예시한다.

[0028] 도 12는 도 2a, 도 3a-도 3b 및 도 4b의 시뮬레이팅된 광학 필터들의 분해력(resolving power)을 도시하는 시뮬레이팅된 듀얼-라인 광학 스펙트럼을 예시한다.

[0029] 도 13은 테이퍼링된 광 파이프 콜리메이터 및 선형 가변 필터를 가지는 시뮬레이팅된 분광계의 멀티-파장 스펙트럼과 비교하여 도시되는 도 2a의 광학 필터를 가지는 시뮬레이팅된 분광계의 멀티-파장 스펙트럼을 예시한다.

[0030] 도 14는 필터-간 거리 L의 상이한 값들에서 도 2a의 광학 필터를 가지는 분광계를 통해 획득되는 멀티-파장 광원의 시뮬레이팅된 스펙트럼들을 예시한다.

[0031] 도 15a 및 도 15b는 도 6a의 분광계의 평면뷰(도 15b)를 예시한다.

[0032] 도 16은 도 15a 및 도 15b의 분광계를 통해 측정되는 단색 스펙트럼들을 예시한다.

[0033] 도 17은 도 15a, 도 15b의 분광계를 통해 측정되고 표준 MicroNIR™ 분광계를 통해 측정되는 도핑된 유리 샘플의 송신 스펙트럼과 비교되는 도핑된 유리 샘플의 광학 송신 스펙트럼들을 예시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] [0034] 본 교시 내용들은 다양한 실시예들 및 예들과 함께 설명되지만, 본 교시 내용들이 이러한 실시예들에 제한되는 것이 의도되는 것은 아니다. 이에 반해, 본 교시 내용들은 당업자들에 의해 인식될 바와 같이, 다양한 대안들 및 등가물들을 포함한다.

[0013] [0035] 위에서 논의된 바와 같이, 종래의 광학 필터들 및 분광계들은 크고 부피가 커서, 이는 휴대용 광-감지 디바이스들 및 애플리케이션들에서 그들의 적용성을 제한한다. 선형적 가변 필터들은 파장 분리 기능을 제공하기 위해서 분광계들에서 사용된다. 도 1a를 참조하면, 종래의 선형적 가변 필터(10)는 상부(11), 중간(12) 및

하부(13) 백색 광 빔들을 포함하는 백색 광을 통해 조명될 수 있다. 상부(11), 중간(12) 및 하부(13) 광빔들은 각각의 상부(11A), 중간(12A) 및 하부(13A) 위치들에서 선형적 가변 필터(10)를 스트라이크할 수 있다. 선형적 가변 필터(10)는 X-축(18)을 따라 선형적으로 변화하는 패스밴드의 중심 파장을 가질 수 있다. 예를 들어, 필터(10)는 상부 위치(11A)에서의 단파장 피크(11B); 중간 위치(12A)에서의 중간 파장 피크(12B); 및 하부 위치(13A)에서의 장파장 피크(13B)를 통과시킬 수 있다.

[0014] [0036] 도 1a를 추가로 참조하여 도 1b를 참조하면, 종래의 분광계(19)는 선형적 가변 필터(10), 선형적 가변 필터(10)의 상류에 배치되는 테이퍼링된 광 파이프(14) 및 선형적 가변 필터(10)의 하류에 배치되는 광검출기들의 선형 어레이(15)를 포함할 수 있다. 동작 중에, 넌-콜리메이팅된(non-collimated) 유입 광(16)은 부분적으로 콜리메이팅된 광 빔(17)을 생성하기 위해서 광 파이프(14)에 의해 컨디셔닝될 수 있다. 선형적 가변 필터(10)는 도 1a를 참조하여 위에서 설명되는 바와 같은 상이한 파장들에서 광을 송신할 수 있다. 테이퍼링된 광 파이프(14)는 유입 광(16)의 입체각을 감소시킬 수 있으며, 그에 의해, 선형적 가변 필터(10)의 스펙트럼 선택성을 향상시킬 수 있다. 광검출기들의 선형 어레이(15)는 상이한 파장들에서 광의 광학 전력 레벨들을 검출할 수 있으며, 그에 의해, 유입 광(16)의 광학 스펙트럼(도시되지 않음)을 획득할 수 있다.

[0015] [0037] 따라서, 분광계(19)의 크기를 감소시키는 것이 바람직할 수 있다. 테이퍼링된 광 파이프(14)는 종종 분광계(19)의 가장 큰 엘리먼트일 수 있다. 테이퍼링된 광 파이프(14)와 같은 콜리메이팅 엘리먼트는, 그것 없이는 선형적 가변 필터의 스펙트럼 선형성이 저하되기 때문에, 필요할 수 있다. 이것은 선형적 가변 필터(10)가 유전체 박막들(thin dielectric films)의 스택을 포함하기 때문에 발생할 수 있다. 박막 필터들의 파장-선택적 특성들은 일반적으로 유입 광의 입사각에 의존할 수 있는데, 이는 박막 필터들의 스펙트럼 선택성 및 파장 정확성을 저하시킬 수 있다.

[0016] [0038] 도 2a 및 도 2b를 참조하면, 광학 필터(20)(도 2a)는 아래에서 설명되는 바와 같이 제공될 수 있다. 예를 들어, 광학 필터(20)는 광학 빔(23)의 광학 경로(22)에서 거리 L만큼 분리되는 순차적으로 배치되는 상류(21A) 및 하류(21B) 측면적 가변 밴드패스 광학 필터들을 포함할 수 있다. 도 2b에 도시되는 바와 같이, 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들 각각은 X-축들에 의해 표현되는 공통 제 1 방향(25)을 따라 상호 조정되는 방식으로 변화하는 밴드패스 중심 파장(λ_T)을 가질 수 있다. 제 1 방향(25)은 광학 경로(22)에 대해 횡단적일 수 있다. 비-제한적 예로서, 도 2a의 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들 둘 다의 밴드패스 중심 파장(λ_T)은 도 2b에 도시되는 바와 같은 각각의 단색적, 선형적 의존도들(24A, 24B)을 가질 수 있다. X-좌표 상의 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들 각각의 중심 파장 의존도들($\lambda_{1T}(x)$ 및 $\lambda_{2T}(x)$)은 서로에 대해 동일하거나 또는 시프트될 수 있는데, 일정한 경우, 예를 들어, $\lambda_{2T}(x) = \lambda_{1T}(x + x_0)$이거나; 또는 스케일링되는 경우, 예를 들어, $\lambda_{2T}(x) = c\lambda_{1T}(x)$이며, 여기서, c는 상수이고, 예를 들어, 0.9 < c <1.1이다. 다시 말해서, "조정되는 방식"이라는 용어는 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들 각각의 그리고 중심 파장 의존도들($\lambda_{1T}(x)$ 및 $\lambda_{2T}(x)$) 사이의 미리 결정된 기능적 관계를 정의한다.

[0017] [0039] 광학 필터(20)의 구성은 광학 빔(23)의 콜리메이션의 정도에 대한 광학 필터(20)의 스펙트럼 선택성의 의존도가 광학 빔(23)의 콜리메이션의 정도에 대한 하류 필터(21B)의 스펙트럼 선택성의 대응하는 의존도에 비해 줄어드는 것을 가능하게 할 수 있다. 광학 필터(20)의 이러한 성능 향상은 도 2c를 참조함으로써 이해될 수 있는 공간 필터링 효과로부터 발생할 수 있다. 파장(λ_0)에서의 단색 광에서, 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들은 X-축들을 따라 위치들에 대응하는 "개구들"(26)을 가지는 슬릿(slit)들에 의해 대략 표현될 수 있으며, 여기서, 중심 파장(λ_T)= λ_0이다. 다시 말해서, "개구들"(26) 밖의 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들은 본질적으로 파장(λ_0)에서의 단색 광에 대해 불투명할 수 있다. "개구들"(26)은 필터-간 거리 L에 의존하는 수광콘(acceptance cone) 또는 입체각(27)(2θ)을 정의한다. 입체각(27) 밖의 임의의 광선들은 차단될 수 있어서, 따라서, 하류 필터(21B)의 스펙트럼 선택성을 향상시킬 수 있다.

[0018] [0040] 도 2a의 광학 필터(20)의 동작은 측단면뷰에서 광학 필터(20)를 도시하는 도 3을 참조함으로써 추가로 설명될 수 있다. 도 3에서, 제 1 방향(25)은 수평적일 수 있고, 중심 파장(λ_T)은 상류(21A) 및 하류(21B) 광학 필터들 둘 다에 대해, 좌측으로부터 우측으로 증가할 수 있다. 도 3의 예에서, 상류(21A) 및 하류(21B) 필

터들의 밴드패스 중심 파장들(λ_T)은 x-좌표에 선형적으로 의존할 수 있다:

[0019] [0041] $$\lambda_T = \lambda_0 + D\Delta x \qquad (1)$$

[0020] [0042] 여기서, λ_0는 레퍼런스 포인트(x_0)에서의 레퍼런스 밴드패스 중심 파장을 표현하고, D는 측면적 가변 필터의 "슬로프"라고 칭해지는 비례 계수를 표현하고, Δx는 레퍼런스 포인트(x_0)로부터의 오프셋을 표현한다. 슬로프(D)는 도 2b에서의 선형적 의존도들(24A 및 24B)의 슬로프들에 대응할 수 있으며, 이들은 서로에 대해 동일할 수 있지만, 반드시 그러할 필요는 없다. 선형적 의존도들(24A 및 24B)의 동일한 슬로프로부터의 이탈들은 일부 애플리케이션들에서 유리할 수 있다.

[0021] [0043] 도 3의 예에서, 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들은, 하류 필터(21B)의 레퍼런스 밴드패스 중심 파장(λ_0)에 대응하는 레퍼런스 포인트(x_0)가 상류 필터(21A)의 레퍼런스 밴드패스 중심 파장(λ_0)에 대응하는 레퍼런스 포인트(x_0) 바로 아래에 배치되도록, 서로에 대해 정렬될 수 있다. 상류 필터(21A)는 하류 필터(21B)에 대한 수광각(30)을 정의하는 하류 필터(21B)에 대한 공간 필터로서 기능할 수 있다. 수광각(30)은 레퍼런스 파장(λ_0)에서 좌측(31L) 및 우측(31R) 주변 광선들에 의해 제한될 수 있으며, 이들 각각은 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들에 대한 법선(normal)(32)과의 각(θ)으로 전파되고, 동일한 레퍼런스 포인트(x_0)에서 하류 필터(21B)를 스트라이크한다. 수광각(30)은 다음과 같이 상류 필터(21A)의 패스밴드(33)로부터 유도될 수 있다.

[0022] [0044] 도 3에 도시되는 기하학 구조에서, 좌측 주변 광선(31L)은 위치($x_0 - \Delta x$)에서 상류 필터(21A)를 스트라이크할 수 있다. 그 위치에서의 송신 파장(λ_L)은 수식 (1) 즉, $\lambda_L = \lambda_0 - D\Delta x$에 따를 수 있다. 좌측 주변 광선(31L)이 레퍼런스 파장(λ_0)에 있기 때문에, 좌측 주변 광선(31L)은 상류 필터(21A)의 패스밴드(33A)의 폭에 따라 감쇠될 수 있고; 이 예를 위해서, 예를 들어, 10dB 대역폭은 $2D\Delta x$로 취해질 수 있다. 따라서, 좌측 주변 광선(31L)은 10dB만큼 감쇠될 수 있다. 유사하게, 우측 주변 광선(31R)은 위치($x_0 + \Delta x$)에서 상류 필터(21A)를 스트라이크할 수 있다. 그 위치에서의 송신 파장(λ_R)은, 수식 (1), 즉, $\lambda_R = \lambda_0 + D\Delta x$에 따를 수 있다. 우측 주변 광선(31R)은 또한, 10dB만큼 감쇠될 수 있다. 수광각(30) 내의 레퍼런스 파장(λ_0)에서의 모든 광선들은 10dB보다 작은 값만큼 감쇠될 수 있고, 수광각(30) 밖의 레퍼런스 파장(λ_0)에서의 모든 광선들은 10dB보다 큰 값만큼 감쇠될 수 있다. 다시 말해서, 상류 필터(21A)는 공간 필터로서 기능할 수 있어서, 하류 필터(21B)에 의해 개별 파장들에서 분리될 유입 광의 NA(numerical aperture)를 효과적으로 제한할 수 있다. 이것은 광학 빔(23)의 콜리메이션의 도에 대한 단일 하류 필터(21B)의 스펙트럼 선택성의 대응하는 의존도에 비해 광학 필터(20)의 스펙트럼 선택성의 의존도의 감소를 초래할 수 있다. 다시 말해서, 상류 필터(21A)가 광학 필터(20)에 부재하였으면, 광학 필터(20)의 스펙트럼 선택성은 광학 빔(23)의 콜리메이션의 정도에 훨씬 더 의존하였을 것이다. 전형적으로, 광학 빔(23)은 광학 빔(23)이 콜리메이팅되지 않도록 샘플(도시되지 않음)의 스캐터링 또는 발광으로부터 발생할 수 있다. 상류 필터(21A)의 부재 시 광학 빔(23)의 콜리메이션의 결여는 테이퍼링된 광 파이프와 같은 전용 콜리메이팅 엘리먼트가 사용되지 않는 한 전체 스펙트럼 선택성의 악화(worsening)를 초래할 것이다. 본원에서, "스펙트럼 선택성"이라는 용어는 패스밴드 폭, 미광 제거(stray light rejection), 밴드-내 그리고 밴드-외 차단 등과 같은 이러한 파라미터들을 포함할 수 있다.

[0023] [0045] 작은 각들 θ에 대해, 하나는

[0024] [0046] $$\theta \approx \Delta x / L \qquad (2)$$, 또는

[0025] [0047] $$L \approx \Delta x / \theta \qquad (3)$$을 기록할 수 있다.

[0026] [0048] 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들 사이의 공간이 굴절 인덱스 n을 가지는 투명한 매체로 채워지는 경우,

수식 (3)은

[0027] [0048] $$L/n \approx \Delta x/\theta \qquad (4)$$ 가 된다.

[0028] [0050] 수식 (4)는 필터-간 거리 L 사이의 대략적 관계, 필터-간 갭의 굴절 인덱스 n, 상류 필터(21A)의 대역폭과 관련된 제 1 방향(25)에 따른 측면 거리 Δx, 및 결과적인 수광 반각(acceptance half-angle)(θ)을 정의할 수 있다. 더 정확한 관계는 0이 아닌 입사각에 기인한 파장 오프셋을 고려할 수 있으며, 이는 전형적으로 밴드패스 중심 파장(λ_T)의 (즉, 더 짧은 파장으로의) 블루 시프트(blue shift)를 초래한다. 예를 들어, 포지션($x_0 + \Delta x$)에서의 상류 필터(21A)를 스트라이크하는 레퍼런스 파장(λ_0)에서의 우측 주변 광선(31R)은 각(θ)만큼 경사질 수 있으며, 이는 더 짧은 파장들로의 상류 필터(21A)의 송신 특성을 시프트한다. 이 파장 의존도가 설명될 것이면, 패스밴드(33A)의 숄더들(shoulders)은 좌측으로, 즉, 더 짧은 파장들로 시프트할 수 있다:

[0029] [0051] $$\lambda_1 \approx [(\lambda_0 + D\Delta x)(n_{eff}^2 - \theta^2)^{1/2}]/n_{eff} \qquad (5)$$

[0030] [0052] 여기서, n_{eff}는 상류 필터(21A)의 유효 굴절 인덱스를 표현한다.

[0031] [0053] 도 2b에서는 상류(21A) 및 하류(21B) 측면적 가변 밴드패스 필터들이 상기 수식 (1)에 의해 정의되는 바와 같이 선형적 가변 밴드패스 중심 파장들(λ_T)을 가지지만, 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들의 중심 파장들(λ_T)은 제 1 방향(25)에서 단색적 비-선형적으로, 예를 들어, 포물선으로(parabolically) 또는 기하급수적으로(exponentially) 증가 또는 감소할 수 있다. 상류(21A) 및 하류(21B) 측면적 가변 필터들의 제 1 방향(25)을 따르는 x-좌표에 대한 밴드패스 중심 파장(λ_T)의 의존도는 광학 필터(20)의 수광각 및/또는 파장 응답의 트위킹(tweaking) 또는 변화(varying)를 가능하게 하기 위해서 동일할 수 있거나 또는 상이할 수 있다. 하나의 실시예에서, 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들의 밴드패스 중심 파장들(λ_T)은, 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들의 동일한 밴드패스 중심 파장(λ_T)에 대응하는 라인 커넥팅 포지션들이 하류 필터(21B)에 대한 법선(32)과 45도보다 작은 각을 형성하도록, 서로에 대해 정렬될 수 있다. 법선(32)과의 0이 아닌 각들에 있어서, 수광콘(30)은 기울어지게 나타날 수 있다. 따라서, 제 1 방향(25)에서 서로에 대해 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들을 오프셋함으로써 수광콘(30)을 변화시키는 것이 가능할 수 있다. 게다가, 각은 제 1 방향(x-축)(25)을 따라 변화할 수 있다.

[0032] [0054] 더 양호한 전체 스루풋에 대해, 하류 필터(21B)의 대역폭에 대응하는, 제 1 방향(25)을 따라 대응하는 측면 거리 Δx_2보다 큰 상류 필터(21A)의 대역폭에 대응하는 제 1 방향(25)을 따라 측면 거리(Δx_1)를 가지는 것이 바람직할 수 있다. 하나의 실시예에서, 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들 각각은 대응하는 밴드패스 중심 파장(λ_T)의 10%보다 크지 않은 3dB 패스밴드를 가질 수 있다.

[0033] [0055] 상류(21A) 및/또는 하류(21B) 필터들은 2개, 3개 또는 그 초과의 상이한 재료들을 포함하는 박막 레이어 스택을 포함할 수 있는데, 예를 들어, 하이-인덱스 및/또는 흡수 레이어들이 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들 각각의 전체 두께를 감소시키는데 사용될 수 있다. 게다가, 상류(21A) 및/또는 하류(21B) 필터들은, 회절 격자들, 예를 들어, 서브-파장 격자들, 다이크로익 폴리머들 등을 포함할 수 있다.

[0034] [0056] 도 4a를 참조하면, 광학 필터(40A)의 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들은 연속적으로 접합(join)되는 각각의 기판들(42A 및 42B) 상에 증착되는 박막 웨지 간섭 코팅들(41A 및 41B)을 포함할 수 있다. 기판들(42A 및 42B)은 상류(41A) 및 하류(41B) 박막 웨지 간섭 코팅들 사이의 굴절 인덱스 n을 가지는 투명한 매체로서 기능할 수 있다. 도 4b를 참조하면, 단일 공통 기판(42)은 광학 필터(40B)에서 사용될 수 있고, 상류(41A) 및 하류(41B) 박막 웨지 간섭 코팅들은 공통 기판(42)의 반대 면들 상에 배치된다. 공통 기판(42)은 광학 필터(40C)의 상류(41A) 및 하류(41B) 박막 웨지 간섭 코팅들(필터들)이 서로에 대해 특정 각으로 배치되도록 도 4c에 도시되는 바와 같이 웨지될 수 있다. 이러한 경우, 거리 L은 제 1 방향(25)을 따라 변화할 수 있다. 거리 L 변화는 상류(41A) 및 하류(41B) 필터들 사이의 스펙트럼 슬로프 미스매치뿐만 아니라, 상류(41A) 및 하류(41B) 필터들

사이의 스펙트럼 라인폭 차가 관리되도록 도울 수 있다. 그 목적을 위해서, 굴절 인덱스 **n**은 또한 일정하거나 또는 변화하는 거리 **L**에서 제 1 방향(25)을 따라 변화할 수 있다.

[0035] [0057] 도 4d는 상류(41A) 및 하류(41B) 박막 웨지 간섭 코팅들이 떨어져 이격된 관계에서 배치되는 서로 대면하고 있을 수 있는 광학 필터(40D)의 또 다른 구성을 예시한다. 도 4e의 광학 필터(40E)는 둘 다가 동일한 방향, 예를 들어, 이 경우, 광학 빔(23)을 향하는 박막 웨지 간섭 코팅들(41A 및 41B)을 포함하는 또 다른 실시예를 예시한다.

[0036] [0058] 도 2a 및 도 4a 내지 도 4c를 추가로 참조하는 수식 (4)를 다시 참조하면, 값 **L/n**은 전형적으로 0.2㎜보다 클 수 있다. 하나의 실시예에서, 값 **L/n**은 15㎜보다 작을 수 있는데, 예를 들어, 0.2㎜ 내지 15㎜일 수 있다. 거리 **L**은 실제 박막 코팅들, 예를 들어, 도 4a 내지 도 4c에서의 41A 및 41B 사이의 거리에 대응할 수 있으며, 기판들(42, 42A 및/또는 42B)이 박막 코팅들(41A 및 41B) 사이의 광학 경로(22)에 있는 경우, 이 기판들의 두께들을 포함할 수 있다는 것이 인식되어야 한다. 비-제한적 예시로서, 도 4b의 광학 필터(40B)에서, **L**은 기판(42)의 두께를 표현할 수 있고, **n**은 기판(42)의 굴절 인덱스를 표현할 수 있다.

[0037] [0059] 이제, 도 5a를 참조하면, 광학 필터(50A)는 도 2a의 광학 필터(20)와 유사할 수 있으며, 도 4a 내지 도 4e의 광학 필터들(40A 내지 40E)과 유사할 수 있다. 그러나, 도 5a의 광학 필터(50A)는 광학 경로(22)에 배치되는 어퍼처(51A)를 더 포함할 수 있다. 어퍼처(51A)는 제 1 방향(25)에서 변화하는 폭 **d**를 가질 수 있다. 어퍼처(51A)의 변화하는 폭 **d**의 하나의 기능은 광학 필터(50A) 상에서의 광학 에너지 충돌의 양을 조정하는 것일 수 있고, 이는 상류(21A)/하류(21B) 필터들의 출력 송신의 크기의 파장 의존도, 및/또는 광검출기 어레이(도시되지 않음)의 스펙트럼 응답을 보상하는데 사용될 수 있다.

[0038] [0060] 보상 필터는 필터의 스펙트럼 응답 및/또는 광검출기(도시되지 않음)의 스펙트럼 응답의 더 정확한 제어를 위해서 이용될 수 있다. 도 5b를 참조하면, 광학 필터(50B)는 도 2a의 광학 필터(20)와 유사할 수 있으며, 도 4a 내지 도 4e의 광학 필터들(40A 내지 40E)과 유사할 수 있다. 스펙트럼 응답 평탄화 필터(51B)는 광학 필터(50B)의 스펙트럼 응답을 평탄화하기 위해서 광학 필터(50B)의 광학 경로(22)에 배치될 수 있다. 스펙트럼 평탄화 필터(50B)가 상류 필터(21A) 상에 배치되는 것으로 도 5b에 도시되지만, 스펙트럼 평탄화 필터(50B)는 하류 필터(21B) 상에 그리고/또는 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들 사이의 광학 경로(22)에 배치될 수 있다.

[0039] [0061] 이제, 도 5c를 참조하면, 광학 필터(50C)는 도 2a의 광학 필터(20)와 유사할 수 있으며, 도 4a 내지 도 4e의 광학 필터들(40A 내지 40E)과 유사할 수 있다. 그러나, 도 5c의 광학 필터(50C)는 광학 경로(22)에서 추가 필터(21C)를 더 포함할 수 있다. 추가 필터(21C)는 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들의 밴드패스 중심 파장들을 통해 조정되는 방식으로 변화하는 밴드패스 중심 파장을 가질 수 있다. 추가 필터(21C)는 또한, 하이 패스 또는 로우 패스 측면적 가변 필터, 분산적 엘리먼트, 이를테면, 회절 격자, 스펙트럼으로의 코팅 및/또는 측면적 가변 흡수 등을 포함할 수 있다. 추가 필터(21C)의 기능은 유입 광의 입력 어퍼처수를 추가로 정의하는 것 및/또는 광학 필터(20)의 분해력을 추가로 향상시키는 것일 수 있다. 3개 초과의 측면적 가변 밴드패스 필터들(21A, 21B, ..., 21N) – N은 임의의 정수를 표현함 – 은 광학 필터(50C)에서 사용될 수 있다.

[0040] [0062] 도 2a를 추가로 참조하는 도 6a를 참조하면, 광학 분광계(60A)(도 6a)는 도 2a의 광학 필터(20) 및 하류 필터(21B)의 광학 경로(22) 하류에 배치되는 광검출기 어레이(61)를 포함할 수 있다. 광검출기 어레이(61)는 예를 들어, 광원(69)에 의해 발광되는 광학 빔(23)의 개별 스펙트럼 컴포넌트들의 광학 전력 레벨들을 검출하기 위해서 제 1 방향(25)을 따라 배치되는 픽셀들(62)을 가질 수 있다. 넓은 의미에서, "광원"이라는 용어는, 예를 들어, 흡수 측정들을 위한 실제 광원, 형광성 또는 스캐터링 샘플 등을 지칭할 수 있다. 예를 들어, 발광성 및/또는 스캐터링 샘플로부터 발생하는(originate) 광 빔(23)은 일반적으로 수렴(converging) 또는 발산(diverging) 광선들을 포함할 수 있다. 본원에서, "발산"이라는 용어는 광학 빔(23)을 포함하는 광선들이 동일한 단일 포인트로부터 발생한다는 것을 요구하지 않을 수 있다. 유사하게, "수렴"이라는 용어는 광학 빔(23)을 포함하는 광선들이 단일 포인트로 수렴하도록 요구하지 않을 수 있다. 도 2c 및 도 3을 참조하여 위에서 설명된 바와 같이, 상류(21A) 및 하류(21B) 밴드패스 측면적 가변 광학 필터들을 포함하는 광학 필터(20)의 듀얼-필터 구조는 광학 빔(23)의 콜리메이션의 정도에 대한 광학 분광계(60A)의 스펙트럼 선택성의 의존도의 감소를 초래할 수 있다. 다시 말해서, 상류 필터(21A)없이 단지 하류 필터(21B)만이 사용되었으면, 광학 분광계의 스펙트럼 선택성은 광학 빔(23)의 콜리메이션의 정도에 훨씬 더 의존할 수 있어서, 스펙트럼 선택성의 전반적 악화를 초래한다.

[0041] [0063] 광검출기 어레이(61)는 하류 필터(21B)와 직접 접촉할 수 있다. 광검출기 어레이(61)는 캡슐화(63)를 형성하도록 포팅(potting) 재료로 채워질 수 있다. 캡슐화(63)의 하나의 기능은 광학 필터(20)의 하류 필터

(21B)의 클리어 어퍼처(64)를 가리지(obscure) 않으면서 광검출기 어레이(61)의 전자적 그리고/또는 열적 절연을 제공하는 것일 수 있다. 캡슐화(63)의 또 다른 기능은 충격, 습도 등으로부터 상류(21A) 및 하류(21B)의 에지들을 보호하는 것일 수 있다.

[0042] [0064] 도 2a 및 도 6a를 추가로 참조하는 도 6b를 참조하면, 광학 분광계(60B)(도 6b)는 도 2a의 광학 필터(20) 및 하류 필터(21B)의 광학 경로(22) 하류에 배치되는 광검출기 어레이(61)를 포함할 수 있다. 광학 분광계(60B)는 광학 빔(23)을 입력하기 위한, 광학 경로(22)에 배치되는 윈도우(67)를 가지는 인클로저(66)를 더 포함할 수 있다. 도시되는 실시예에서, 윈도우(67)는 상류 필터(21A)를 포함할 수 있고, 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들은 갭(65), 예를 들어, 에어 갭에 의해 분리된다. 하류 필터(21B)는 광검출기 어레이(61) 바로 위에 실장될 수 있다. 하나의 실시예에서, 작은 갭 – 예를 들어, 2㎜보다 작음 – 은 하류 필터(21B)와 광검출기 어레이(61) 사이에 존재할 수 있다.

[0043] [0065] 갭(65)은 광검출기 어레이(61)가 인클로저(66)로부터 열적으로 커플링해제되게 할 수 있고, 이는 결국 선택적 열전 쿨러(68)에 의해 광검출기 어레이(61)의 딥 쿨링을 가능하게 한다. 인클로저(66)는 더 양호한 신뢰성 및 환경적 안정성을 위해서 불활성 가스로 채워지고 그리고/또는 용봉될(hermetically sealed) 수 있다. 포커싱 엘리먼트(도시되지 않음)는 광검출기 어레이(61) 상에 광학 빔(23)을 포커싱하기 위해서 하류 필터(21B)와 광검출기 어레이(61) 사이의 광학 경로(22)에 제공될 수 있다. 광검출기 어레이(61) 이외의 센서가 사용될 수 있다. 비-제한적 예로서, 광검출기는 제 1 방향(25)에서 광학 필터(20)와 관련하여 변경될 수 있다.

[0044] [0066] 하류 필터(21B)의 실장 옵션들은 광검출기 어레이(61) 바로 위에 하류 필터(21B)의 박막 구조를 증착하는 것을 포함할 수 있다. 비-제한적 예로서, 도 7a 및 도 7b에서, 하류 필터(21B)는 광검출기 어레이(61)의 픽셀면(pixel side)(61A) 상에 증착될 수 있다. 일부 실시예들에서, 하류 필터(21B)는 2개의 차단 필터 섹션들(71) 및 2개의 차단 필터 섹션들(71) 사이의 밴드패스 필터 섹션(72)을 포함하는 웨지 박막 필터일 수 있다.

[0045] [0067] 구체적으로 도 7b에서, 광-흡수 마스크(73)는 미광으로부터 개별 픽셀들(62)을 보호하기 위해서 개별 픽셀들(62) 사이에 배치될 수 있다. 도 7c에서, 대안적 실장 옵션이 예시된다: 하류 필터(21B)가 광검출기 어레이(61)의 후면(61B) 상에 배치될 수 있다. 물론, 이 실장 옵션은 광검출기 어레이(61)의 기판(61C)이 광학 빔(23)에 투명하도록 요구할 수 있다. 유리하게, 후면-실장(back-mounting)은 드라이버 회로 칩(74)이 광검출기 어레이(61)의 픽셀면(61A)에 본딩된 플립-칩이 되게 할 수 있다. 도 7d를 참조하면, 하류 필터(21B)는, 예를 들어, 그루브들(76)로 주입되는 흑색 충전 재료(75)를 제공함으로써, 예를 들어, 복수의 병렬 그루브들(76)을 에칭함으로써 세그먼트화될 수 있고, 이것의 포지션은 광-흡수 마스크(73)의 바들(77)을 통해 조정될 수 있다.

[0046] [0068] 도 6a 및 도 6b를 추가로 참조하는 도 8a를 참조하면, 분광계(80A)는 부분적 평면뷰에 도시된다. 분광계(80A)는 분광계들(도 6a의 60A 및 도 6b의 60B)과 유사할 수 있다. 그러나, 분광계(도 8a의 80A)는 복수의 개별 광검출기 픽셀들(82)을 가지는 2D(two-dimensional) 광검출기 어레이(88)를 포함할 수 있다. 2D 광검출기 어레이(88)는, 단색 조명 시 스펙트럼 라인(83)이 2D 광검출기 어레이(88)의 픽셀들(82)의 행들(84)에 대해 각 α로 광검출기 어레이(31) 상에 형성되도록, 광학 필터(20)의 픽셀들(82)의 행들(84)에 관하여 예각 α만큼 회전 또는 클럭킹(clock)될 수 있다. 도 8a를 추가로 참조하는 도 8b를 참조하면, 각 α만큼의 회전 또는 클럭킹은 2D 광검출기 어레이(88)의 픽셀들(82)의 상이한 행들(84) 상의 광학 전력 밀도 분포들(85)이 서로로부터 오프셋되게 할 수 있다. 이러한 방식으로, 하나의 스펙트럼 대신에, 복수의 오프셋 스펙트럼들이 획득될 수 있고, 스펙트럼 분해능 및 파장 정확성이 증가하는 것을 가능하게 한다. 신호 대 잡음비는 또한, 예를 들어, 개별 광학 전력 밀도 분포들(85)을 디콘볼루팅(deconvoluting) 및 평균화함으로써 개선될 수 있다.

[0047] [0069] 이제, 도 8c를 참조하면, 분광계(80C)는 도 8a의 분광계(80A)의 변형일 수 있다. 도 8c의 분광계(80C)는 또한, 2D 광검출기 어레이(88)를 포함할 수 있다. 도 8c에서, 2D 광검출기 어레이(88)는 도 8a에 도시되는 바와 같이 기울어질 수 있거나 또는 기울어지지 않을 수 있다. 도 8c의 분광계(80C)는, 즉, 광학 빔(23)의 광학 경로(22)에 횡단적인 제 1 방향(25)을 따라 상호 조정되는 방식으로 점차적으로 변화하는 밴드패스 중심 파장들을 가지는 도 2a의 광학 필터(20)의 대응하는 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들과 유사한 상류(81A) 및 하류(81B) 필터들을 더 포함할 수 있다. 도 8c에서, 상류(81A) 및 하류(81B) 필터들 각각은 제 1 방향(25)과 수직인 제 2 방향(87)에서 나란히 배열되는 복수의 세그먼트들(89A-1, 89A-2, 89A-3(상류 필터(81A))... 및 89B-1, 89B-2, 89B-3(하류 필터(81B))를 포함할 수 있다. 상류 필터(81A)의 각각의 세그먼트(89A-1, 89A-2, 89A-3...)는 전용 파장 구역에서의 동작을 위해서 하류 필터(81B)의 세그먼트들(89B-1, 89B-2, 89B-3) 중 하나에 대응한다. 비-제한적 예로서, 제 1 쌍의 세그먼트들(89A-1 및 89B-1)은 1000nm 내지 1200nm의 파장 범위에서의 동작들을 위해서 구성될 수 있고, 제 2 쌍의 세그먼트들(89A-2 및 89B-2)은 1200nm 내지 1400nm의 파장 범

위에서의 동작을 위해서 구성될 수 있고, 제 3 쌍의 세그먼트들(89A-3 및 89B-3)은 1400nm 내지 1600nm의 파장 범위에서의 동작을 위해서 구성될 수 있는 식이다. 파장 범위들은 인접할 필요가 없을 수 있다. 예를 들어, 다수의 세그먼트들은 가시 파장들 또는 근 IR(infrared), 중 IR, UV(ultraviolet) 및 심지어 연질 X-광선과 같은 다른 파장 구역들에 대해 제공될 수 있다. 따라서, 분광계(80C)는 멀티-스펙트럼 감지 및/또는 멀티-스펙트럼 이미징 애플리케이션들에 적합할 수 있다. 이 멀티-스펙트럼 감지/이미징 애플리케이션들은 당업자들에 의해 인식되는 바와 같이, 적합한 기판 및 코팅 재료들을 요구할 수 있다.

[0048] [0070] 도 2a를 다시 참조하면, 광학 경로(22)를 따라 전파되는 광학 빔(23)의 스펙트럼을 획득하기 위한 방법은 거리 L만큼 분리되는 상류(21A) 및 하류(21B) 측면적 가변 밴드패스 광학 필터들을 가지는 광학 필터(20)를 통해 광학 빔(23)을 필터링하는 단계를 포함할 수 있다. 도 2b에 예시되는 바와 같이, 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들 각각은 광학 경로(22)에 횡단적인 공통 제 1 방향(25)을 따라 상호 조정되는 방식(예를 들어, 24A, 24B)으로 점차적으로 변화하는 밴드패스 중심 파장(λ_T)을 가질 수 있다. 상류(21A) 및 하류(21B) 필터들의 순차적 배치에 기인하여, 광학 빔(23)의 콜리메이션의 정도에 대한 광학 필터의 스펙트럼 선택성의 의존도, 이를테면, 대역폭, 대역-외 제거 등은 광학 빔(23)의 콜리메이션의 정도에 대해 단독으로 하류 필터(21B)의 스펙트럼 선택성의 대응하는 의존도보다 적을 수 있다.

[0049] [0071] 방법의 다음의 단계에서, 광학 전력 분포는 하류 필터(21B)의 하류에서 제 1 방향(25)을 따라 검출될 수 있다. 예를 들어, 도 6a, 도 6b 및 도 8a를 다시 참조하면, 광검출기 어레이(61)(도 6a, 6b) 또는 2D 광검출기 어레이(88)(도 8a)는 하류 필터(21B)의 하류에 배치될 수 있고, 광학 전력 분포는 광검출기 어레이들(61 또는 88)을 사용하여 검출될 수 있다. 도 6a 및 도 7a 내지 도 7c를 다시 참조하면, 하류 필터(21B)는 하류 필터(60A)의 클리어 어퍼처(64)를 가리지 않으면서 광검출기 어레이(61)를 절연하도록 포팅 재료로 채워질 수 있는 광검출기 어레이(61) 바로 위에 배치, 예를 들어, 증착될 수 있다.

[0050] [0072] 일부 실시예들에서, 광선-추적 시뮬레이션은 도 2a의 광학 필터(20A) 및 본 개시 내용의 유사한 필터들의 성능을 검증하도록 수행될 수 있다. 도 9a 및 도 9b를 참조하면, 광선-추적 모델(90)은 램버시안 광원(99), 직사각형 어퍼처(96), 상류 측면적 가변 밴드패스 필터(91A), 길이 L을 가지는 투명한 스페이서(92), 하류 측면적 가변 밴드패스 필터(91B) 및 광검출기(97)를 순서대로 포함할 수 있다. 광선-추적 모델(90)의 입력 파라미터들은 아래의 표 1에 요약된다. 예를 들어, 광선들(93)은 반복가능한 결과들을 획득하기 위해서 충분한 수로 추적되었다. 각각의 광선(93)은 미리 정의된 파장을 가졌으며, 미리 정의된 광학 전력을 전달하였다. 광학 전력 판독들은 도 2a에서 제 1 방향(25)에 대응하는 분산 방향(95)을 따라 정렬되는 광검출기(97)의 빈들에 누적되었다. 상수 파라미터들은 램버시안 광원(99)으로부터 3㎜의 어퍼처(96)로의 거리; 6.6㎜ x 0.25㎜의 광검출기(97)의 크기; 및 838과 동일한 광검출기(97)의 빈들의 수 또는 픽셀들을 포함하였다. 변화되는 파라미터들은 상류(91A) 및 하류(91B) 측면적 가변 밴드패스 필터들의 % 단위의 대역폭 및 F/# 단위의 NA, 및 투명한 스페이서(92)의 두께를 포함하였다. 램버시안 광원(99)은 0.95㎛; 1.05㎛; 1.15㎛; 1.25㎛; 1.35㎛; 1.45㎛; 1.55㎛; 및 1.65㎛의 8개의 파장들에서 광을 발광하였다.

[0051] [0073]

표 1

모델 #	산광기 치수들 (LxW mm)	산광기 상의 총 전력 (W)	산광기 상의 전력 밀도 (W/mm^2)	상류 필터 (91A)	하류 필터 (91B)	L (mm)	검출기 까지의 거리 (mm)
REF	3 x 2.5	100.00	13.33	TLP	TLP	20.0	0.07
1	10 x 1	133.33	13.33	1.4% LVF F/#3	.7% LVF F/#3	1.7	0.07
2	10 x 1	133.33	13.33	1.4% LVF F/#3	.7% LVF F/#3	1.0	0.07
3	10 x 1	133.33	13.33	1.4% LVF F/#5	.7% LVF F/#3	1.7	0.07
4	10 x 1	133.33	13.33	1.4% LVF F/#5	.7% LVF F/#3	1.0	0.07

[0052]

[0053] [0074] 도 10을 참조하면, 시뮬레이션 결과들은 도 9a, 도 9b의 광학 광선-추적 모델(90)의 광검출기(97)의 빈들에 누적되는 광학 전력 분포들의 형태로 제시된다. 상위 그래프(100)는 "레퍼런스 모델" – 광 콜리메이션에 대한 테이퍼링된 광 파이프를 가지는 시뮬레이팅된 상업적으로 이용가능한 MicroNIR™ 분광계 – 에 대응한다. 도면들(101 내지 104)은 위의 표 1의 레퍼런스 모델들 1 내지 4 각각에 대응한다.

[0054] [0075] 도 11a, 도 11b 및 도 11c를 참조하면, 더 상세한 스펙트럼 성능이 1.0㎛; 1.3㎛; 및 1.6㎛의 각각의 파장들에서 시뮬레이팅될 수 있다. 모델들 1 내지 4가 훨씬 더 양호한 파장 정확성 및 유사한 스펙트럼 선택성을 예시하였다는 것이 인식되어야 한다. 도 12를 참조하면, 모델들 1 및 3의 분해력은 0.12㎛ 분리에서의 1.3㎛에서 듀얼 스펙트럼 라인을 사용하여 설명된다. 도 10, 도 11a 내지 도 11c 및 도 12에 도시되는 결과들에서, 모델들 1 내지 4는 테이퍼링된 광 파이프 또는 또 다른 광 콜리메이팅 엘리먼트들을 가지지 않았지만, 모델들 1 내지 4는 수용가능한 스펙트럼 대역폭을 도시하였다는 것이 인식되어야 한다. 테이퍼링된 광 파이프가 레퍼런스 모델로부터 배제되는 경우, 레퍼런스 모델의 스펙트럼 선택성은 수용가능하게 낮아진다.

[0055] [0076] 아래의 표 2는 모델들 1-4의 획득된 시뮬레이팅된 성능을 요약한다.

[0056] [0077]

표 2

	전력			분해능		
모델 #	피크 방사 조도 @ λ= 1.0μm (W/m^2)	피크 방사 조도 @ λ= 1.3μm (W/m^2)	피크 방사 조도 @ λ= 1.6μm (W/m^2)	1.0μm 파장	1.3μm 파장	1.6μm 파장
REF	7.6	16.7	12.2	9	11	17
1	2.8	9.9	15.9	8	12	15
2	4.3	14.5	21.3	9	13	15
3	5.1	11	15.9	5	9	12
4	8.6	17.5	25.5	7	12	13

[0057]

[0058] [0078] 도 6a의 광학 필터(60A)의 성능은 시뮬레이션에 의해 검증될 수 있다. 어퍼처 부트, 테이퍼링된 광 파이프, InGaAs 다이오드 어레이를 포함하는 표준 MicroNIR™ 분광계의 성능은 또한, 레퍼런스를 제공하도록 시뮬레이팅되었다. 도 13을 참조하면, 표준 MicroNIR™ 분광계 성능은 0.1㎛만큼 분리되는 0.9㎛와 1.7㎛ 사이의 멀티-파장 신호의 점선 스펙트럼(131)에 의해 표현될 수 있다. 실선 스펙트럼(132)은 분광계(60A)의 시뮬레이

팅된 성능을 예시하고, 이는 광학을 형상화하는 임의의 콜리메이팅 또는 광이 없다. 스펙트럼 피크들 사이의 일부 미광은 코팅으로 간주되며, 이는 사용되는 파장 범위에 대해 최적화되지 않는다. 둘 다의 측정들에 대한 조명 조건들이 동일하였다.

[0059] [0079] 도 14를 참조하면, 멀티-파장 스펙트럼들(140A - 140G)은 0.2㎜ 내지 30㎜의 범위를 가지는 필터-간 거리 L의 상이한 값들에서 도 2a의 광학 필터(20)를 사용하여 시뮬레이션에 의해 획득되었다. 필터-간 거리 L이 증가함에 따라, 필터 스루풋은 감소되고, 미광(141)의 대역-외 제거가 개선된다는 것이 인식되어야 한다. 이것은, 필터-간 거리 L이 증가함에 따라 광학 필터(20)(도 2c, 도 3)의 수광콘(20)은 감소되기 때문에, 발생할 수 있다.

[0060] [0080] 도 15a를 참조하면, 분광계(150)는 윈도우(152)를 가지는 하우징(151)을 포함할 수 있다. 광학 필터(153)는 하류 측면적 가변 필터(도시되지 않음)로부터 물리적으로 2.08㎜ 이격되는 상류 측면적 가변 필터(도시되지 않음)를 포함할 수 있다. 상류 필터(도 15a에 도시되지 않음)는 1300㎚ 및 900㎚ 내지 1700㎚ 범위의 중심 파장의 1.3%의 패스밴드를 가질 수 있다. 광학 필터(153)의 상위에 있는 상류 필터는 2㎜의 폭, 8㎜의 길이 및 1.1㎜의 두께를 가질 수 있다. 하류 필터는 1300㎚ 및 900㎚ 내지 1700㎚ 범위의 중심 파장의 0.8%의 패스밴드를 가질 수 있다. 하류 필터는 1.4㎜의 폭, 7.4㎜의 길이 및 1.5㎜의 두께를 가질 수 있다. 표준 128-픽셀 검출기 어레이(도시되지 않음)는 하류 필터로부터 80 마이크로미터 떨어져 배치되었다. 전자 드라이버(154)는 검출기 어레이를 드라이버(driver)하는데 사용되었다.

[0061] [0081] 광학 필터(153) 및 전자 드라이버(154)는 또한, 실선들(155)로 상징적으로 도시되는 바와 같은 도 15a의 확대뷰인 도 15b에 도시될 수 있다. 도 15b에 도시되는 바와 같이, 5㎜의 길이를 가지는 스케일 바(156)가 사용될 수 있다.

[0062] [0082] 이제, 도 16을 참조하면, 발광 스펙트럼(161 및 162)은 도 15a 및 도 15b의 분광계(150)를 사용하여 획득되었다. 1064㎚ 및 1551㎚의 파장들에서의 2개의 레이저원들의 발광은, 차례로, 스위칭가능한 발광 파장을 가지는 램버시안 조명원을 생성하기 위해서 적분구로 지향되었다. 광검출기 어레이의 적분 시간들은 조정되어서, 둘 다의 스펙트럼들이 동일한 피크 진폭을 가졌는데, 그 이유는 각각의 레이저가 상이한 전력 출력 레벨들을 가졌기 때문이다. 어떠한 다른 스펙트럼 또는 공간 필터들도 이 측정들을 위해서 사용되지 않았다. 적분구는 25㎜ 포트를 가졌으며, 상류 필터로부터 35㎜ 떨어져 배치되었다. 둘 다의 스펙트럼들(161 및 162)에서, 파장 분해능은 광검출기 어레이의 픽셀 구조에 의해 제한될 수 있다. 1065㎚에서의 쓸모있는(instrumental) 3dB 대역폭은 $1.2\% \cdot 1065\text{nm} = 12.8\text{nm}$가 되는 것으로 추정될 수 있다. 1550㎚에서의 쓸모있는 3dB 대역폭은 $0.82\% \cdot 1550\text{nm} = 12.7\text{nm}$가 되는 것으로 추정될 수 있다.

[0063] [0083] 도 17을 참조하면, 송신 스펙트럼들(171 및 172)은 할로겐 램프의 전방에 배치되는 NIST 추적가능한 송신 레퍼런스(이러한 경우, 조류 도핑된 유리 레퍼런스 WCT2065-025)를 사용하여 획득되었다. 실선으로 도시되는 제 1 스펙트럼(171)은 도 15a 및 도 15b의 분광계(150)를 사용하여 획득되었다. 제 2 스펙트럼(172)(점선으로 도시됨)은 미국 California주 Milpitas시의 JDS Uniphase Corporation에 의해 제조되는 표준 MicroNIR1700 분광계를 사용하여 획득되었다.

[0064] [0084] 둘 다의 경우들에서, 어두운-상태 레퍼런스 스펙트럼들은 광원을 차단함으로써 수집되었다. 밝은-상태 레퍼런스 스펙트럼들은 광학 경로로부터의 도핑된 유리 레퍼런스를 제거함으로써 수집되었다. 제 1 스펙트럼(171)이 제 2 스펙트럼(172)과 밀접하게 상관된다는 것이 보여질 수 있다. 제 1 스펙트럼(171)은 도 15a 및 도 15b의 분광계(150)의 전방에 배치되는 1㎜ 폭 어퍼처를 통해 획득되었다. 어퍼처 없이, 분해능은 약간 감소되었지만, 통합(데이터 수집) 시간은 3배 감소되었다.

[0065] [0085] 앞의 명세서에서, 다양한 실시예들은 첨부한 도면들을 참조하여 설명되었다, 그러나, 다음의 청구항들에서 기술되는 바와 같은 본 개시 내용의 더 넓은 범위로부터 벗어나지 않고 그것에 대해 다양한 수정들 및 변화들이 이루어질 수 있다는 것 그리고 추가 실시예들이 구현될 수 있다는 것이 자명할 것이다. 따라서, 명세서 및 도면들은, 제한적 의미라기 보다는 예시적인 것으로 간주될 것이다.

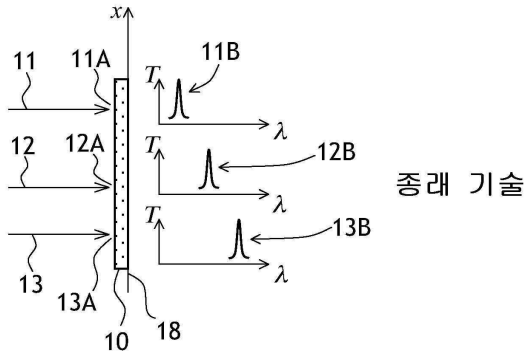
[0066] [0086] 이러한 점에서, 위에서 설명되는 바와 같은 본 개시 내용에 따른 광학 필터 및 분광계는 입력 데이터의 프로세싱 및 출력 데이터의 생성을 다소 수반할 수 있다는 점이 주목되어야 한다. 이러한 입력 데이터 프로세싱 및 출력 데이터 생성은 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현될 수 있다. 예를 들어, 특정 전자 컴포넌트들은 위의 설명된 바와 같은 본 개시 내용에 따라 광학 필터 및/또는 분광계를 제공하는 것과 연관된 기능들을 구현

하기 위한 프로세서, 모듈 또는 유사한 관련 회로에서 이용될 수 있다. 대안적으로, 명령들에 따라 동작하는 하나 또는 그 초과의 프로세서들은 위에서 설명되는 바와 같은 본 개시 내용과 연관된 기능들을 구현할 수 있다. 그런 경우라면, 그것은 이러한 명령들이 하나 또는 그 초과의 프로세서 판독가능한 저장 매체들(예를 들어, 자기 디스크 또는 다른 저장 매체) 상에 저장되거나, 또는 하나 또는 그 초과의 반송파들에서 구현되는 하나 또는 그 초과의 신호들을 통해 하나 또는 그 초과의 프로세서들에 송신될 수 있다는 본 개시 내용의 범위 내에 있다.

[0067] [0087] 본 개시 내용은 본원에서 설명되는 특정 실시예들에 의한 범위 내에 제한되지 않을 것이다. 실제로, 본원에서 설명되는 것들과 더불어, 다른 다양한 실시예들 및 수정들은 위의 설명 및 첨부한 도면들로부터 당업자들에게 명백해질 것이다. 따라서, 이러한 다른 실시예들 및 수정들은 본 개시 내용의 범위 내에 속하는 것으로 의도된다. 추가로, 본 개시 내용은 특정 목적을 위해서 특정 환경에서 특정 구현의 문맥으로 본원에서 설명되었지만, 당업자들은 많은 목적들을 위해서 많은 환경들에 그것의 유용성이 제한되지 않고, 본 개시 내용이 이들에서 유익하게 구현될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 따라서, 아래에서 기술되는 청구항들은 본원에서 설명되는 바와 같은 본 개시 내용의 전체 넓이 및 사상을 고려하여 해석되어야 한다.

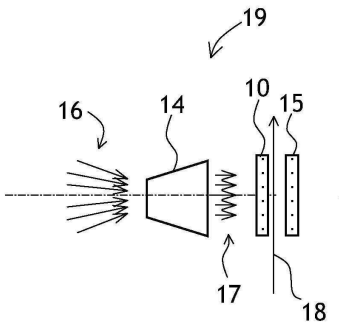
도면

도면1a



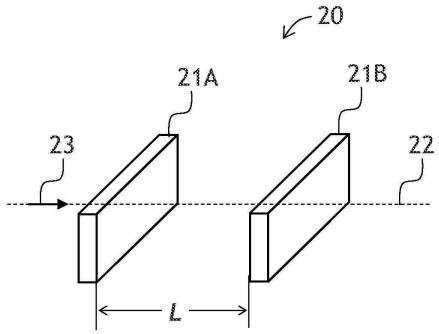
종래 기술

도면1b

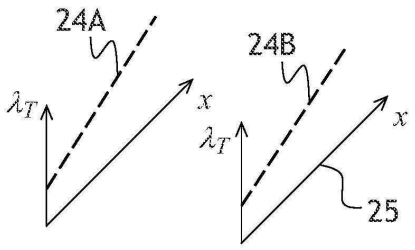


종래 기술

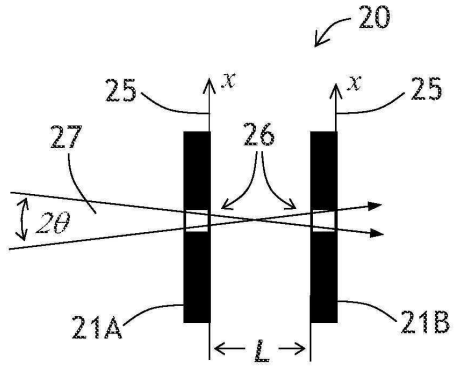
도면2a



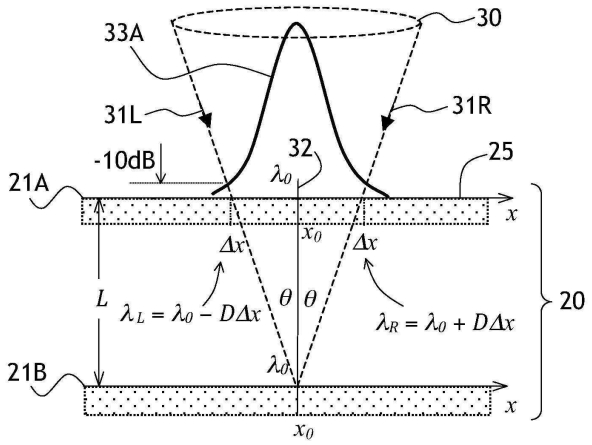
도면2b



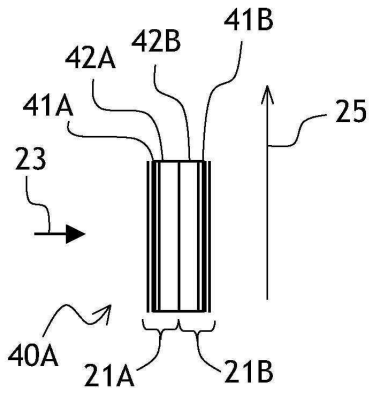
도면2c



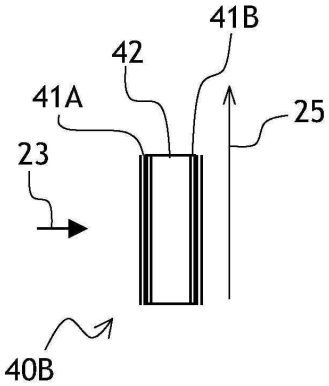
도면3



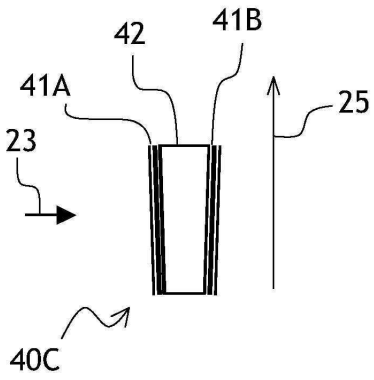
도면4a



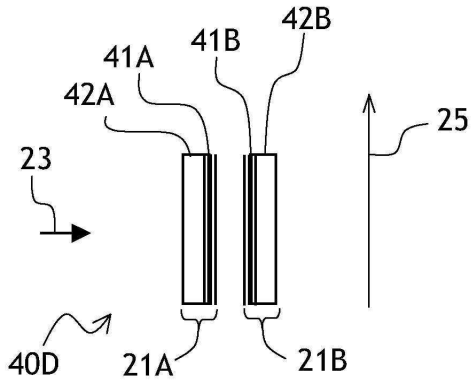
도면4b



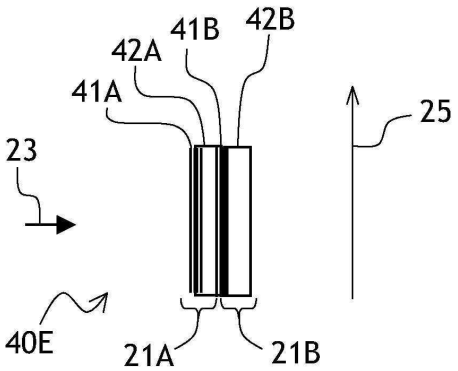
도면4c



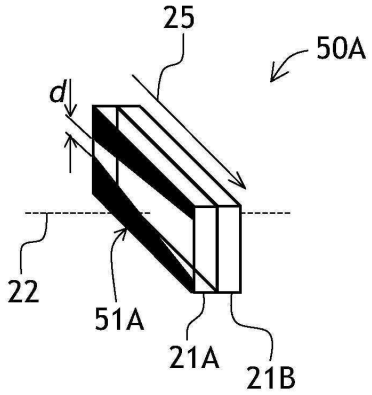
도면4d



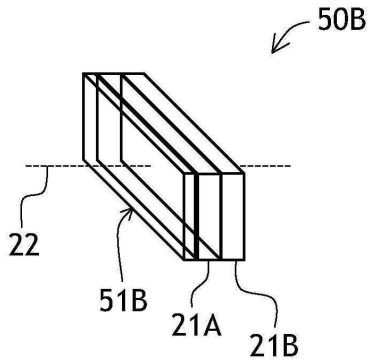
도면4e



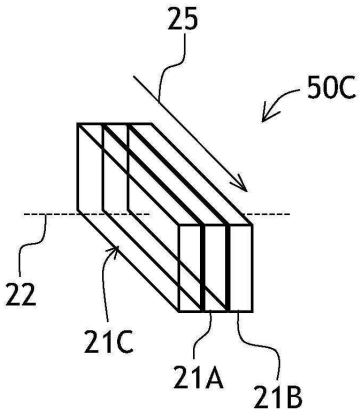
도면5a



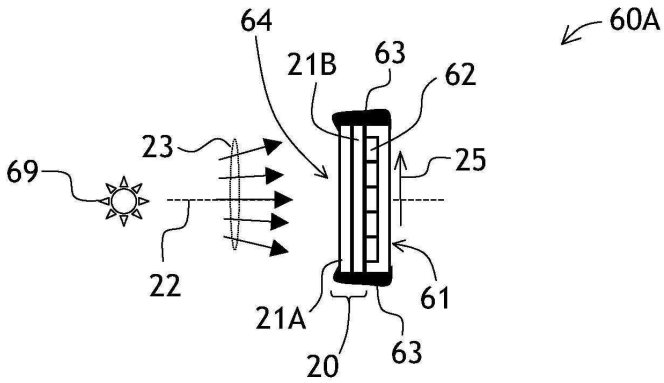
도면5b



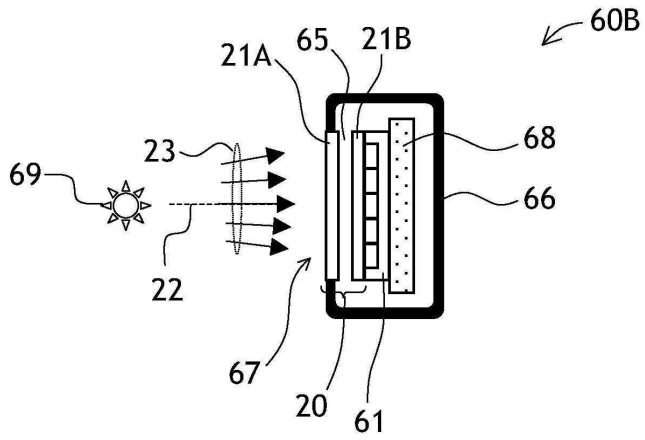
도면5c



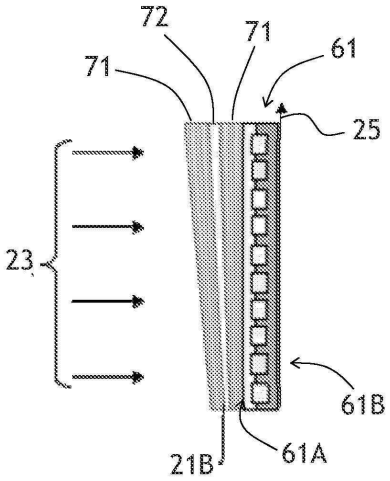
도면6a



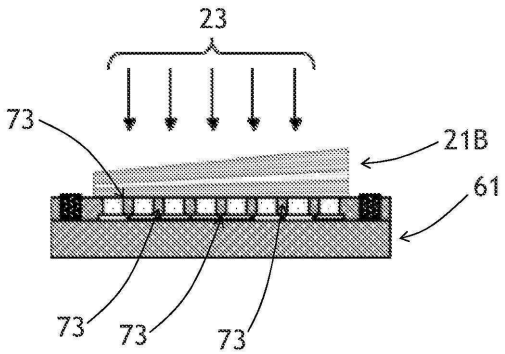
도면6b



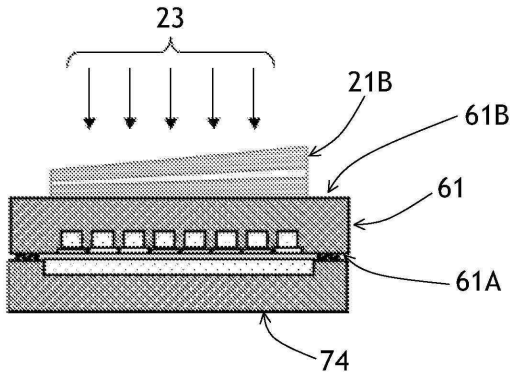
도면7a



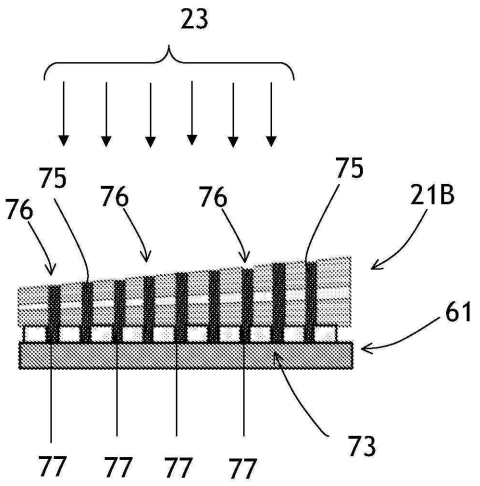
도면7b



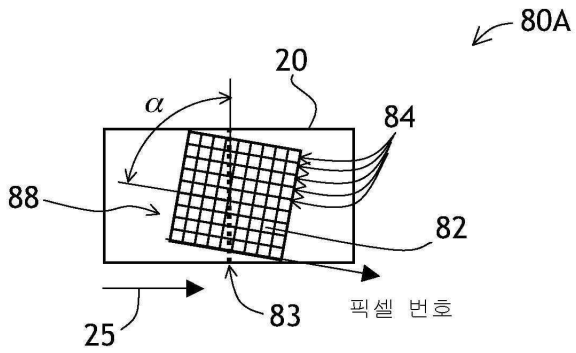
도면7c



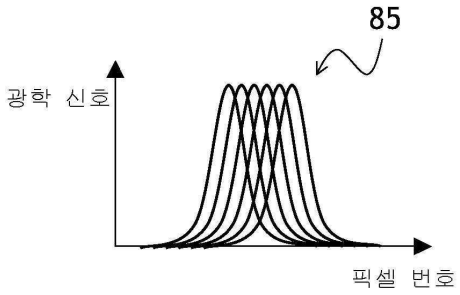
도면7d



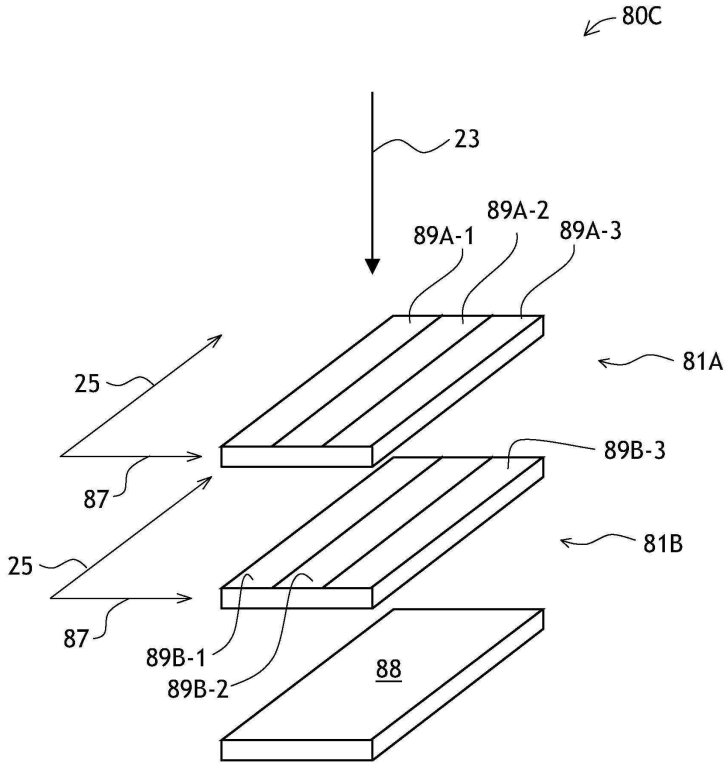
도면8a



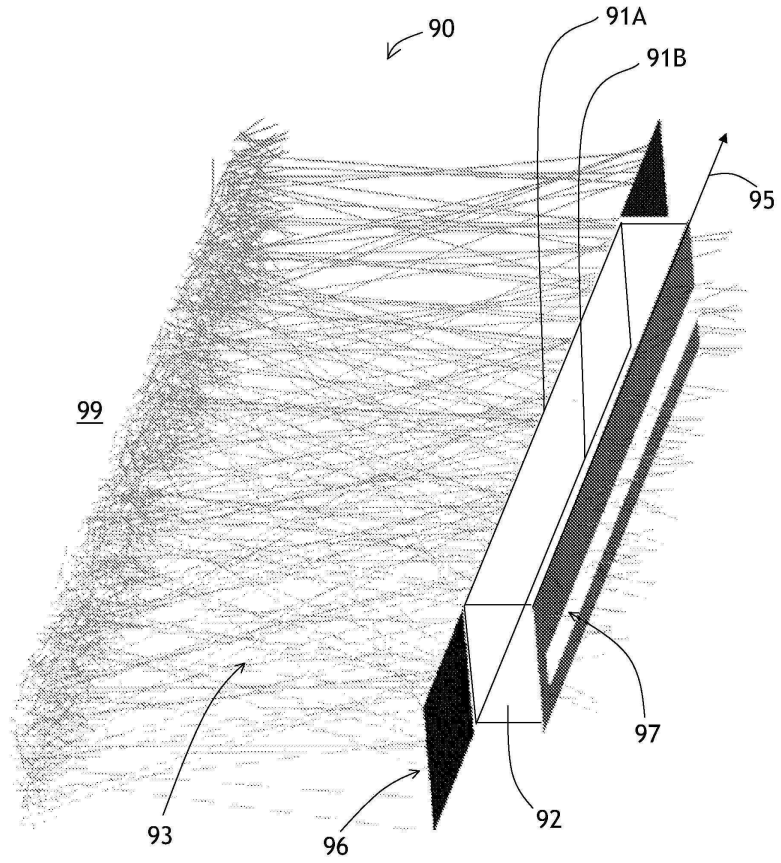
도면8b


85
광학 신호
픽셀 번호

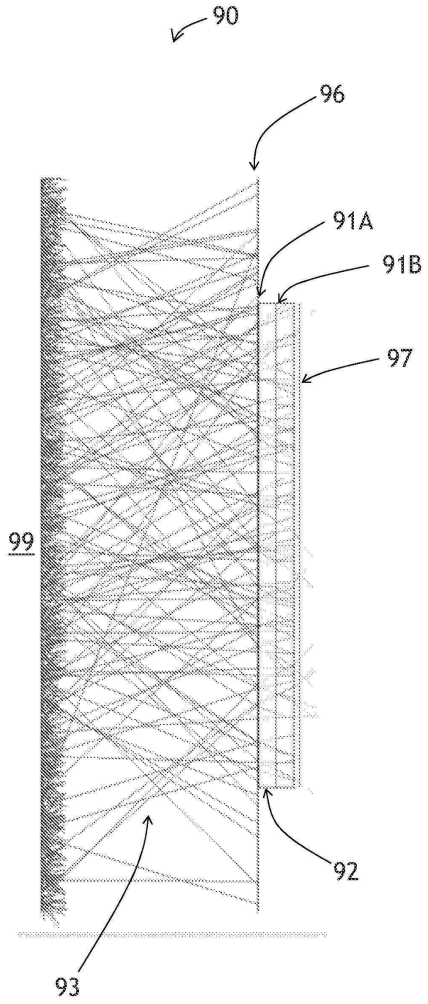
도면8c


80C
23
89A-1
89A-2
89A-3
81A
25
87
89B-3
81B
25
87
89B-1
89B-2
88

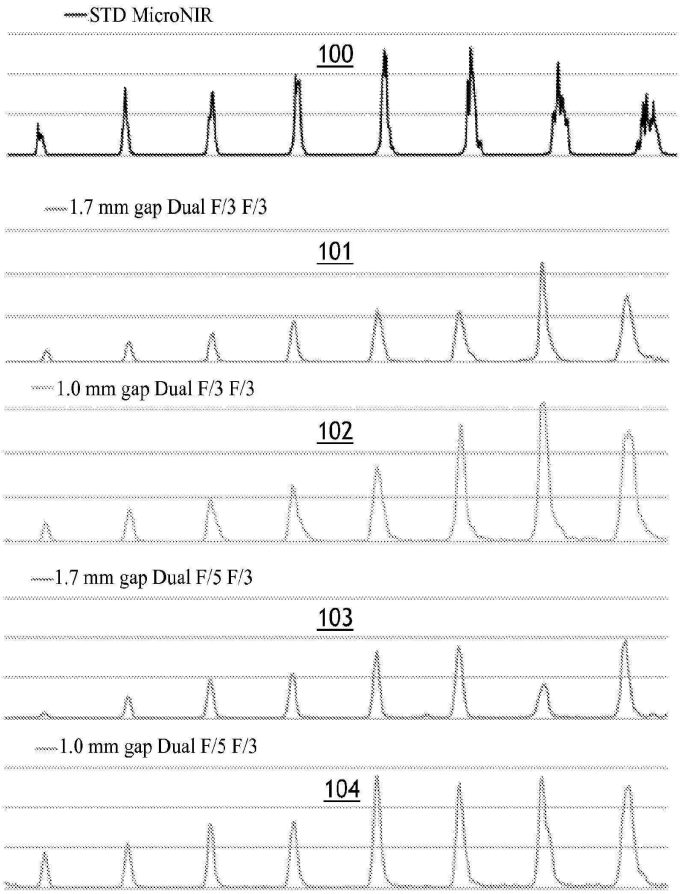
도면9a



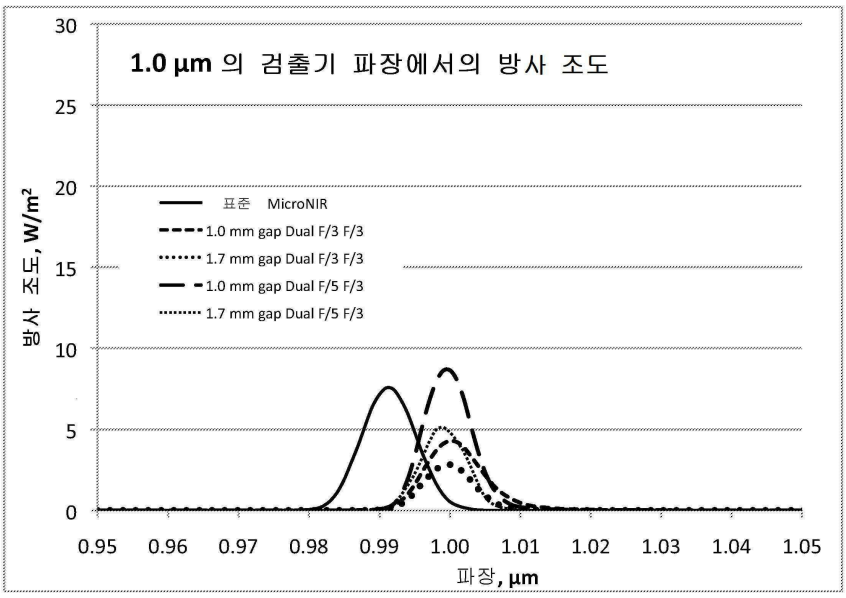
도면9b



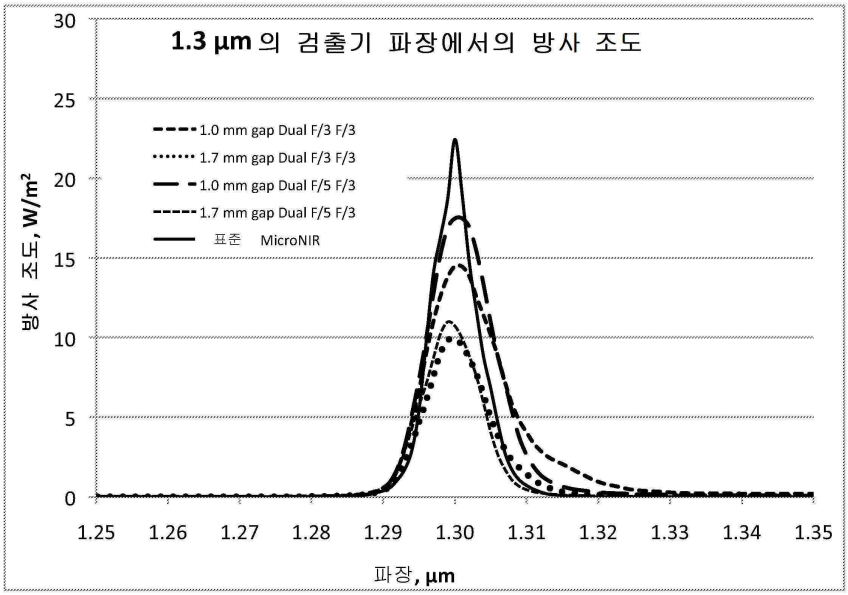
도면10


STD MicroNIR
100
1.7 mm gap Dual F/3 F/3
101
1.0 mm gap Dual F/3 F/3
102
1.7 mm gap Dual F/5 F/3
103
1.0 mm gap Dual F/5 F/3
104

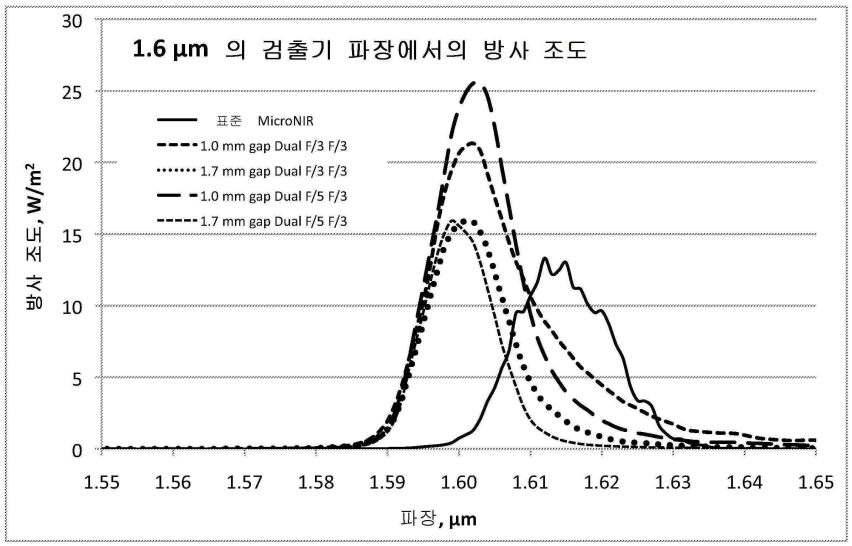
도면11a


1.0 µm 의 검출기 파장에서의 방사 조도
방사 조도, W/m²
30
25
20
15
10
5
0
표준 MicroNIR
1.0 mm gap Dual F/3 F/3
1.7 mm gap Dual F/3 F/3
1.0 mm gap Dual F/5 F/3
1.7 mm gap Dual F/5 F/3
0.95
0.96
0.97
0.98
0.99
1.00
1.01
1.02
1.03
1.04
1.05
파장, µm

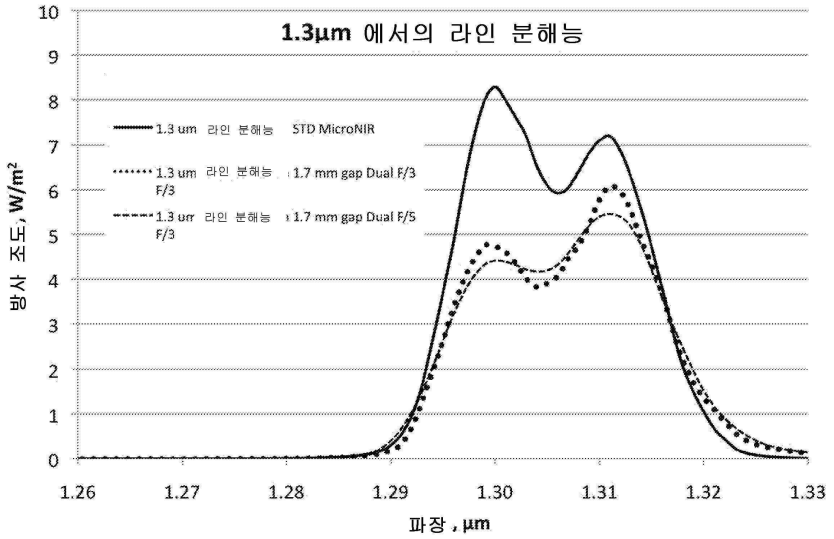
도면11b


1.3 μm 의 검출기 파장에서의 방사 조도
1.0 mm gap Dual F/3 F/3
1.7 mm gap Dual F/3 F/3
1.0 mm gap Dual F/5 F/3
1.7 mm gap Dual F/5 F/3
표준 MicroNIR
방사 조도, W/m²
파장, μm
30
25
20
15
10
5
0
1.25
1.26
1.27
1.28
1.29
1.30
1.31
1.32
1.33
1.34
1.35

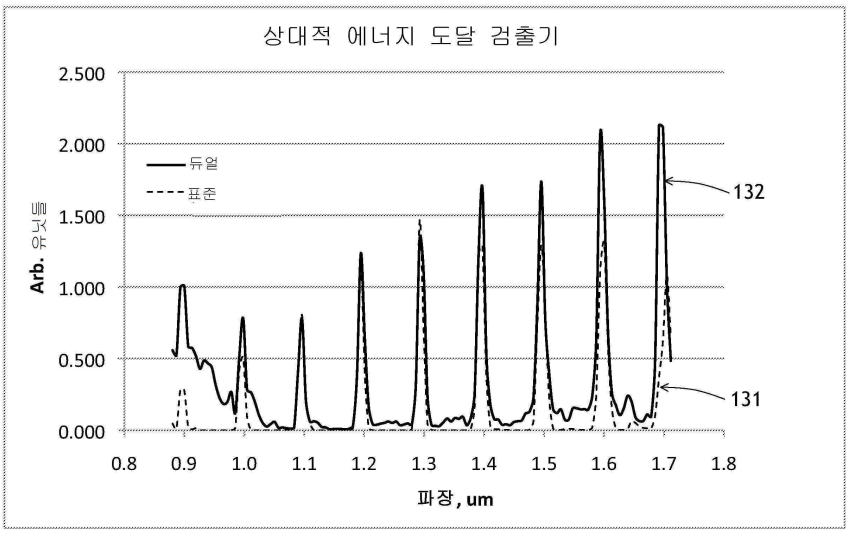
도면11c


1.6 μm 의 검출기 파장에서의 방사 조도
표준 MicroNIR
1.0 mm gap Dual F/3 F/3
1.7 mm gap Dual F/3 F/3
1.0 mm gap Dual F/5 F/3
1.7 mm gap Dual F/5 F/3
방사 조도, W/m²
파장, μm
30
25
20
15
10
5
0
1.55
1.56
1.57
1.58
1.59
1.60
1.61
1.62
1.63
1.64
1.65

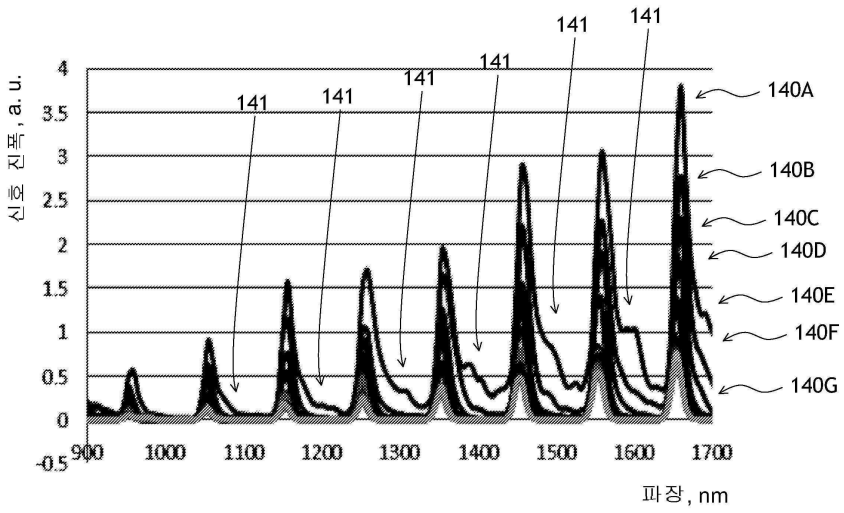
도면12



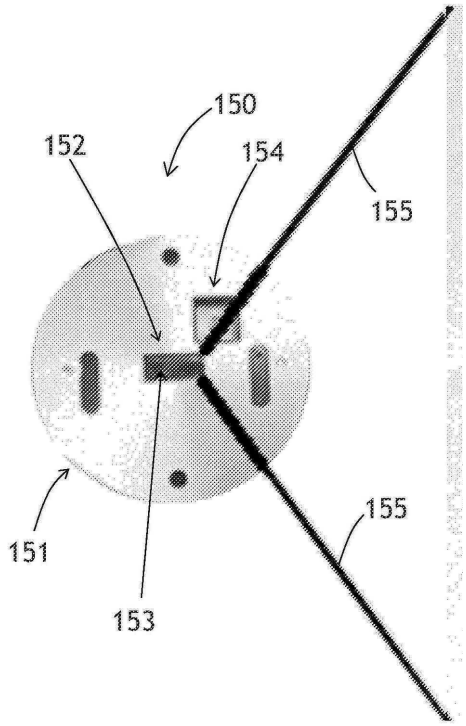
도면13



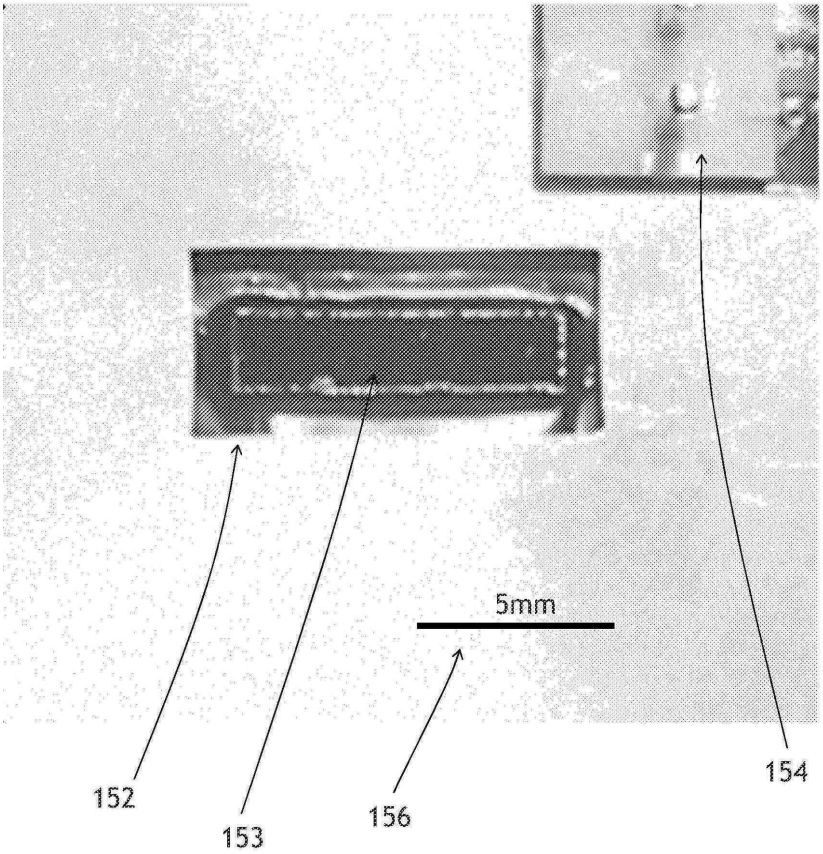
도면14



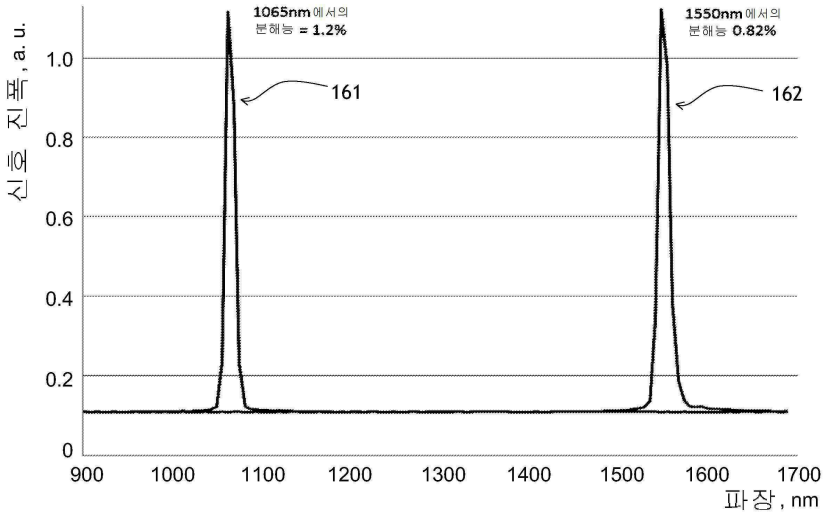
도면15a



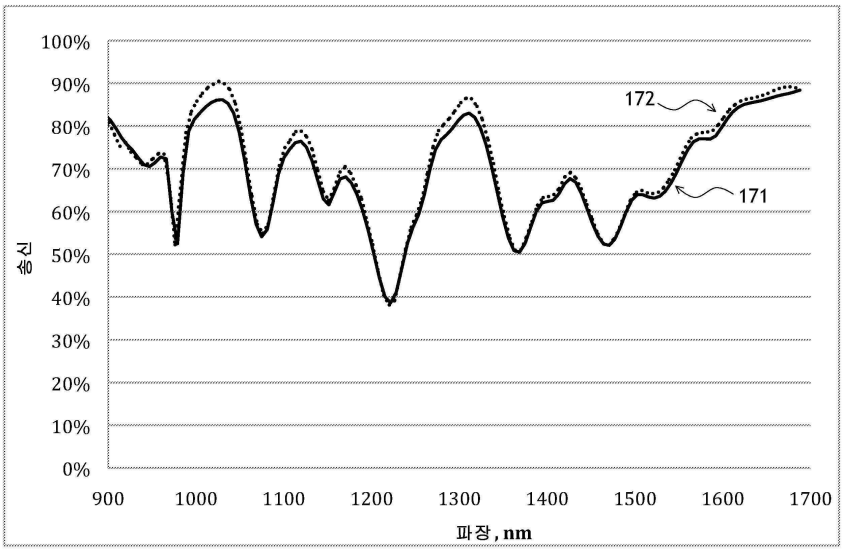
도면15b



도면16


1065nm 에서의
분해능 = 1.2%
1550nm 에서의
분해능 0.82%
161
162
신호 진폭, a. u.
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
파장, nm

도면17


100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
송신
172
171
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
파장, nm