



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년08월14일
(11) 등록번호 10-1768050
(24) 등록일자 2017년08월08일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01J 3/28 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G01J 3/28 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2016-7018868(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2011년12월28일
심사청구일자 2016년11월21일
- (85) 번역문제출일자 2016년07월13일
- (65) 공개번호 10-2016-0086990
- (43) 공개일자 2016년07월20일
- (62) 원출원 특허 10-2014-7018155
원출원일자(국제) 2011년12월28일
심사청구일자 2014년09월11일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2011/006588
- (87) 국제공개번호 WO 2013/097874
국제공개일자 2013년07월04일
- (56) 선행기술조사문헌
US20110102802 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 10 항

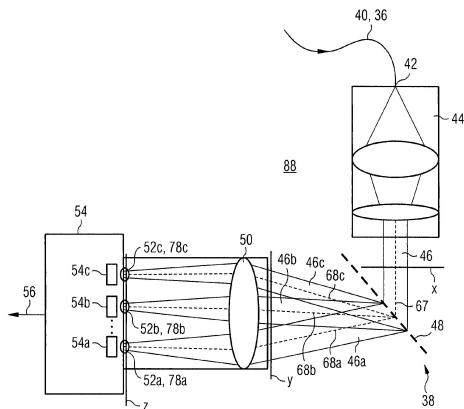
심사관 : 김창주

(54) 발명의 명칭 스펙트럼 분석을 위한 분광 기기 및 방법

(57) 요 약

본 발명의 분광 기기(38)는, 제1 광학 요소(48)에 입사되는 다색 광선을 공간 스펙트럼으로 분할하는 제1 광학 요소(48)와, 분할 광선(46a, 46b, 46c)의 여러 스펙트럼 영역(B₁, B₂, B₃)을 상이한 공간 영역(52a, 52b, 52c)으로 보내도록 구성된 대물렌즈(50)와, 그리고 대물렌즈(50)의 하류에 분할 광선(46a, 46b, 46c)의 광로 내에 위치하는, 복수의 감광소자(54a, 54b, 54c)를 갖는 센서(54)를 포함한다. 감광소자(54a, 54b, 54c)는, 각 감광소자(54a, 54b, 54c)가 광선(46)의 스펙트럼 부분(A₁, A₂, A₃)의 강도를 기록하도록 분할 광선(46a, 46b, 46c)의 광로 내에 배치되며, 스펙트럼 부분(A₁, A₂, A₃)들의 중앙값(Mk₁, Mk₂, Mk₃)은 k 공간(k는 파수를 의미함) 내에서 상호 간에 등거리에 위치한다.

대 표 도



(72) 발명자

마쏘우 올레

독일 90427 뉘른베르크 슈타이나체 슈트라쎄 9

비스베 헤닝

독일 38376 쉬플링겐부르크 암 린덴플라츠 3

보글러 클라우스

독일 90542 엑켄탈/에스체나우 괴테슈트라쎄 13

명세서

청구범위

청구항 1

분광 기기(38)에 있어서,

입사된 다색 광선(46)을 공간 스펙트럼으로 분할하도록 구성되는 제1 광학 요소(48) — 상기 제1 광학 요소(48)로 입사되는 광선(46)에 대한 상기 제1 광학 요소(48)로부터 발생하는 광선(46a, 46c)의 회절각(Θ)이 파수(k)에 비선형적으로 의존하는 경우, 상기 제1 광학 요소(48)는 각도 분산($d\Theta/dk$)을 나타냄 —;

분할된 광선(46a, 46b, 46c)의 여러 스펙트럼 영역들(B_1, B_2, B_3)을 상이한 공간 영역들(52a, 52b, 52c)로 보내도록 구성되는 대물렌즈(50) — 상기 대물렌즈(50)는 상기 제1 광학 요소(48)가 상기 대물렌즈(50)의 입사 동공의 중심에 위치하도록 상기 제1 광학 요소(48)와 관련하여 배치되고, 상기 대물렌즈(50)는 k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치한 여러 스펙트럼 영역들(B_1, B_2, B_3)의 중앙값들(Mk_1, Mk_2, Mk_3)을, 구성 공간 내에서 중심들이 서로 간에 등거리에 위치한 상이한 초점들(78a, 78b, 78c)에 결상되도록 상기 제1 광학 요소에 의해 분할된 광선(46a, 46b, 46c)을 보내도록 구성됨 —; 및

상기 분할된 광선(46a, 46b, 46c)의 광로 내에서 상기 대물렌즈(50)를 통과한 후에 위치하는, 복수의 감광 센서 엘리먼트들(54a, 54b, 54c)을 갖는 센서(54)를 포함하며,

상기 센서 엘리먼트들(54a, 54b, 54c)은 상기 분할된 광선(46a, 46b, 46c)의 광로 내에 배치되며, 각 센서 엘리먼트(54a, 54b, 54c)는 광선(46)의 스펙트럼 부분(A_1, A_2, A_3)의 강도를 기록하도록 구성되며, 스펙트럼 부분들(A_1, A_2, A_3)의 중앙값들(Mk_1, Mk_2, Mk_3)은 상기 k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치하며, k 는 파수를 나타내는,

분광 기기(38).

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 대물렌즈(50)는 횡방향 색 영상화 특성들을 보이는,

분광 기기(38).

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 대물렌즈(50)는, 대물렌즈(50)의 광축(80)이 위치한 평면(82) 위에서 상기 분할된 광선(46a, 46b, 46c)이 상기 대물렌즈(50)를 통과하도록, 상기 제1 광학 요소(48)와 관련하여 배치되는,

분광 기기(38).

청구항 4

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 대물렌즈(50)는, 상기 k 공간에서의 광선(46)의 전체 스펙트럼(66)의 중앙값(Mk_2)을 나타내는 분할된 광선(46b)의 파동열(wave train)의 전파 방향(k_2)에 대해서 상기 대물렌즈(50)의 광축(80)이 기울어지도록 상기 제1 광학 요소(48)와 관련하여 배치되는,

분광 기기(38).

청구항 5

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 대물렌즈(50)는, 피사체 측에서 상기 제1 광학 요소(48)로부터 출사되는 분할된 광선(46)의 시준(collimate)된 광 다발(46a, 46b, 46c)을 상기 대물렌즈(50)를 통과한 후의 영상 측 상의 초점(78a, 78b, 78c)에 결상하도록 구성되며, 상기 대물렌즈(50)의 광축(80)으로부터 초점(78a, 78b, 78c)의 횡방향 간격(Da, Dc)은, 상기 대물렌즈(50)의 광축(80)에 대해서 광 다발(46a, 46c)이 상기 대물렌즈(50)에 입사되는 입사 각도(δ_1, δ_3)가 증가함에 따라 선형적으로 증가하는,

분광 기기(38).

청구항 6

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 센서의 센서 엘리먼트들의 감광면들의 중심들은 서로 등거리에 배치되는,

분광 기기(38).

청구항 7

분광 기기(38)로서,

입사된 다색 광선(46)을 공간 스펙트럼으로 분할하도록 구성되는 제1 광학 요소(48) – 상기 제1 광학 요소(48)로 입사되는 광선(46)에 대해 상기 제1 광학 요소(48)로부터 발생하는 광선(46a, 46c)의 회절각(Θ)이 파수(k)에 비선형적으로 의존하는 경우, 상기 제1 광학 요소(48)는 각도 분산($d\Theta/dk$)을 나타냄 –;

분할된 광선(46a, 46b, 46c)의 여러 스펙트럼 영역들(B₁, B₂, B₃)을 상이한 공간 영역들(52a, 52b, 52c)로 보내도록 구성되는 대물렌즈(50) – k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치한 여러 스펙트럼 영역들(B₁, B₂, B₃)의 중앙값들(Mk₁, Mk₂, Mk₃)을, 구성 공간 내에서 중심들이 서로 간에 비(non)-등거리에 위치한 상이한 초점들(78a, 78b, 78c)에 결상되도록, 상기 대물렌즈(50)는 상기 제1 광학 요소(48)에 의해 분할된 광선(46a, 46b, 46c)이 상기 대물렌즈(50)에 의해 보내지는 영상화 특성들을 보임 –; 및

상기 분할된 광선(46a, 46b, 46c)의 광로 내에서 상기 대물렌즈(50)를 통과한 후에 위치하는 복수의 감광 센서 엘리먼트들(54a, 54b, 54c)을 갖는 센서(54)를 포함하며,

상기 센서 엘리먼트들(54a, 54b, 54c)은 상기 분할된 광선(46a, 46b, 46c)의 광로 내에 배치되며, 각 센서 엘리먼트(54a, 54b, 54c)는 광선(46)의 스펙트럼 부분(A₁, A₂, A₃)의 강도를 기록하도록 구성되며, 스펙트럼 부분들(A₁, A₂, A₃)의 중앙값들(Mk₁, Mk₂, Mk₃)은 상기 k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치하며, k는 파수를 나타내고,

상기 센서(54)의 센서 엘리먼트들(54a, 54b, 54c)의 감광면들의 중심들은, 상기 대물렌즈(50)가 상기 k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치한 영상 측 상의 여러 스펙트럼 영역들(B₁, B₂, B₃)의 중앙값들(Mk₁, Mk₂, Mk₃)을 결상하는 초점(78a, 78b, 78c)의 중심들에 따라 공간적으로 배치되는,

분광 기기(38).

청구항 8

광간섭 단층 촬영(OCT) 시스템(10)에 있어서,

제 1 항 또는 제 2 항에 따른 분광 기기(38),

간섭성 다색 광(16)을 제공하도록 구성되는 광원(14), 및

상기 간섭성 다색 광(16)을 기준 분지(24) 및 시료 분지(28)로 커플링하고, 상기 기준 분지(24)와 상기 시료 분지(28)로부터 후방 산란된 광(22, 26)을 중첩하여서 다색 광선(36)을 형성하고, 스펙트럼 분석의 목적으로 상기 다색 광선(36)을 상기 분광 기기(38)에 커플링하도록 구성되는 광 분할기(18)를 포함하는,

광간섭 단층 촬영 시스템(10).

청구항 9

스펙트럼 분석 방법으로서,

제1 광학 요소(48)로 입사되는 다색 광선(46)을 공간 스펙트럼으로 분할하는 단계 – 상기 제1 광학 요소(48)로 입사되는 광선(46)에 대한 상기 제1 광학 요소(48)로부터 발생하는 광선(46a, 46c)의 회절각(Θ)이 파수(k)에 비선형적으로 의존하는 경우, 상기 제1 광학 요소(48)는 각도 분산($d\Theta/dk$)을 나타냄 –,

분할된 광선(46a, 46b, 46c)의 복수의 스펙트럼 영역들(B_1, B_2, B_3)을, 대물렌즈(50)를 이용하여 복수의 상이한 공간 영역들(52a, 52b, 52c)로 보내는 단계 – 상기 대물렌즈(50)는 상기 제1 광학 요소(48)가 상기 대물렌즈(50)의 입사 동공의 중심에 위치하도록 상기 제1 광학 요소(48)와 관련하여 배치되고, 상기 대물렌즈(50)는 k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치한 여러 스펙트럼 영역들(B_1, B_2, B_3)의 중앙값들(Mk_1, Mk_2, Mk_3)을, 구성 공간 내에서 중심들이 서로 간에 등거리에 위치한 상이한 초점들(78a, 78b, 78c)에 결상되도록 상기 제1 광학 요소에 의해 분할된 광선(46a, 46b, 46c)을 보내도록 구성됨 –, 및

상기 광선(46a, 46b, 46c)의 광로 내에서 상기 대물렌즈(50)를 통과한 후에 위치하며, 복수의 감광 센서 엘리먼트들(54a, 54b, 54c)을 갖는 센서(54)를 이용하여 하나 또는 그 초과의 분할된 광선(46a, 46b, 46c)의 강도들을 기록하는 단계를 포함하며, 각 센서 엘리먼트(54a, 54b, 54c)는 광선(46)의 스펙트럼 부분(A_1, A_2, A_3)의 강도를 기록하도록 구성되고, 상기 스펙트럼 부분들(A_1, A_2, A_3)의 중앙값들(Mk_1, Mk_2, Mk_3)은 상기 k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치하며, k는 파수를 나타내는,

스펙트럼 분석 방법.

청구항 10

스펙트럼 분석 방법으로서,

제1 광학 요소(48)로 입사된 다색 광선(46)을 공간 스펙트럼으로 분할하는 단계 – 상기 제1 광학 요소(48)로 입사되는 광선(46)에 대해 상기 제1 광학 요소(48)로부터 발생하는 광선(46a, 46c)의 회절각(Θ)이 파수(k)에 비선형적으로 의존하는 경우, 상기 제1 광학 요소(48)는 각도 분산($d\Theta/dk$)을 나타냄 –;

대물렌즈(50)를 이용하여 분할된 광선(46a, 46b, 46c)의 복수의 스펙트럼 영역들을 복수의 상이한 공간 영역들(52a, 52b, 52c)로 보내는 단계 – k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치한 여러 스펙트럼 영역들(B_1, B_2, B_3)의 중앙값들(Mk_1, Mk_2, Mk_3)을, 구성 공간 내에서 중심들이 서로 간에 비(non)-등거리에 위치한 상이한 초점들(78a, 78b, 78c)에 결상되도록, 상기 대물렌즈(50)는 상기 제1 광학 요소(48)에 의해 분할된 광선(46a, 46b, 46c)이 대물렌즈(50)에 의해 보내지는 영상화 특성들을 보임 –; 및

상기 광선(46a, 46b, 46c)의 광로 내에서 상기 대물렌즈(50)를 통과한 후에 위치하는 복수의 감광 센서 엘리먼트들(54a, 54b, 54c)을 갖는 센서(54)를 이용하여 분할된 광선(46a, 46b, 46c)의 하나 이상의 강도들을 기록하는 단계를 포함하고,

각 센서 엘리먼트(54a, 54b, 54c)는 상기 광선(46)의 스펙트럼 부분(A_1, A_2, A_3)의 강도를 기록하도록 구성되며, 상기 스펙트럼 부분들(A_1, A_2, A_3)의 중앙값들(Mk_1, Mk_2, Mk_3)은 상기 k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치하며, k는 파수를 나타내고,

상기 센서(54)의 센서 엘리먼트들(54a, 54b, 54c)의 감광면들의 중심들은, 상기 대물렌즈(50)가 상기 k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치한 영상 측상의 여러 스펙트럼 영역들(B_1, B_2, B_3)의 중앙값들(Mk_1, Mk_2, Mk_3)을 결상하는 초점(78a, 78b, 78c)의 중심들에 따라 공간적으로 배치되는,

스펙트럼 분석 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 분광 기기(특히 분광 기기용 영상화 시스템), 광간섭 단층 촬영 시스템, 및 스펙트럼 분석 방법에 관

한 것이다.

배경기술

광간섭 단층 촬영(optical coherence tomography)(약칭 OCT)은 시료의 2차원 및 3차원(약칭 2D 및 3D) 구조를 검사하는 역할을 한다. 이른바 스펙트럼 영역의 OCT(spectrum-domain OCT)(약칭 SC OCT) 또는 이른바 주파수 영역의 OCT(frequency-domain OCT)(약칭 FD OCT)에 있어서는, 광대역 스펙트럼의 광선(즉, 다색광)을 스펙트럼 분석한다. 이를 위해 분광 기기를 작동시킨다. 광선을 분광 기기에 연결시키고 분광 기기 내에서 스펙트럼을 분할하여서, 수 개의 감광소자로 이루어진 센서를 이용하여 스펙트럼 강도 분포 I를 기록한다. 이 스펙트럼 강도 분포 I로부터, 시료의 공간적 구조를 유추할 수 있고, 시료의 1차원(약칭 1D) 단층영상(이른바, A스캔(A-scan))을 결정할 수 있다.

A스캔을 결정하기 위해, 스펙트럼 강도 분포 I는, 파수(wavenumber) k 에 대한 분포이어야 한다 - 즉, $I = I(k)$. 여기서 일어나는 주기성(이른바, 변조 주파수)은 시료의 공간적 구조에 관한 정보를 직접적으로 알려 준다. 변조 주파수는, 스펙트럼 강도 분포의 강도 값이 여러 파수 k (이들 파수는 고정된 파수 범위 Δk (또는 그 배수)만큼씩 서로 차이가 남)에 대해서 가용적일 경우에, 스펙트럼 강도 분포로부터 용이하게 확정될 수 있다. 이로써, 파수 k 에 대해서 선형적으로 스펙트럼의 영상화(imaging)를 할 수 있게 된다.

그러나, 스펙트럼 강도 분포 측정을 위한 통상적인 분광 기기에서는 일반적으로, 스펙트럼이 센서 상에 영상화될 때에 여러 파장(wavelength) λ (이들 파장은 고정된 파장 범위 $\Delta \lambda$ (또는 그 배수)만큼씩 서로 차이가 남)별로 기록된다. 즉, 스펙트럼 강도 분포는 파장 λ 에 대해서 선형으로 샘플링된다. 파장 λ 와 파수 k 는 $k=2\pi/\lambda$ 에 따라 서로 비선형적인 관계를 갖기 때문에, 스펙트럼은 k 에 대해서 비선형 형태로 사용가능하다. 변조 주파수의 결정을 위해, k 에 대해서 선형인 스펙트럼 $I(k)$ 는, 적절한 데이터 처리를 행하여서, λ 에 대해서 선형인 스펙트럼 $I(\lambda)$ 로부터 확정하여야 한다. 이 절차를 리샘플링(re-sampling)이라고 한다. 리샘플링은 특정의 컴퓨팅 시간을 필요로 하는바, 이는, 특히 많은 양의 데이터를 스펙트럼 강도 분포에 대해서 확정할 경우에 OCT 신호의 신속한 표시를 어렵게 한다. 또한, 리샘플링은 일반적으로, 측정 심도에 있어서의 감도 저하(즉, 신호대잡음비의 품질 손상. 이를 SNR 저하, SNR 타협, 또는 감도 저하라 부름)를 수반한다.

광간섭 단층 촬영에 관한, 특히, 광간섭 단층 촬영에 관련된 스펙트럼 분석에 관한 보다 자세한 정보는 다음과 같은 간행물에서 얻을 수 있다.

W. Drexler, J.G. Fujimoto: Optical Coherence Tomography: Technology and Applications(광간섭 단층 촬영: 기술 및 응용), Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York 2010;

V.M. Gelikonov, G.V. Gelikonov, P.A. Shilyagin: Linear-Wavenumber Spectrometer for High-Speed Spectral-Domain Optical Coherence Tomography(고속 스펙트럼 영역 광간섭 단층 촬영을 위한 선형 파수 분광계), Optics and Spectroscopy, 106, 459-465, 2009;

V.M. Gelikonov, G.V. Gelikonov, P.A. Shilyagin: Linear wave-number spectrometer for spectral domain optical coherence tomography(스펙트럼 영역 광간섭 단층 촬영을 위한 선형 파수 분광계), Proc. SPIE 6847, 68470N, 2008;

Z. Hu, A.M. Rollins: Fourier domain optical coherence tomography with a linear-in-wavenumber spectrometer(선형 파수 분광계가 포함된 푸리에 영역 광간섭 단층 촬영), Optics Letters, 32, 3525-3527, 2007.

발명의 내용

본 발명의 실시예들의 목적은 분석 기기, 특히, 분석 기기용 영상화 시스템, 광간섭 단층 촬영 시스템, 및 고화질의 단층 영상의 신속한 확정을 가능케 하는 스펙트럼 분석 방법을 특정하는 것이다.

유리한 실시예에 따르면, 분광 기기는, 입사된 다색 광선(polychromatic beam of light)을 공간 스펙트럼으로 분할하는 제1 광학 요소(optical component)와, 분할된 광선(이하, 분할 광선)의 여러 스펙트럼 영역(spectrum region)을 상이한 공간 영역으로 보내는 대물렌즈(objective)와, 대물렌즈의 하류에, 분할 광선의 광로 내에 위치하는, 복수의 감광소자를 갖는 센서를 포함한다. 이들 감광소자는, 각 감광소자가 광선의 스펙트럼 부분의 강도를 기록하도록 분할 광선의 광로 내에 배치되며, 스펙트럼 부분(spectrum sector)들의 중앙값(median)은 k 공간(k 는 파수(wavenumber)를 의미함) 내에서 상호 간에 등거리에 위치한다. 다른 말로 말하자면, 다색 광선의 스

스펙트럼은, 제1 광학 요소 및 대물렌즈를 통과한 후에, 파수 k 에 대해서 선형적으로 센서 상에 영상화된다.

결론적으로, 분광 기기는 자체적으로 파수 k 에 대해서 선형인 스펙트럼 강도 분포(spectral intensity distribution)를 출력한다. 따라서 분광 기기에서 출력 된 원시 데이터를 나중에 다시 리샘플링 할 필요가 없다. 결과적으로 본 발명의 분광 기기는 OCT 단층 영상의 추출에 필요한 시간을 줄일 수 있다. 또한 리샘플링으로 인한 측정 심도에 대한 감도의 손실을 회피 및/또는 억제할 수 있다.

제1 광학 요소는 회절 요소의 형태를 취할 수 있다. 구체적으로, 회절 요소는 회절 격자(diffraction grating), 투과 격자(transmission grating), 반사 격자(reflection grating), 체적 격자(volume grating), 릴리프 격자(relief grating), 진폭 격자(amplitude grating), 홀로그래픽 격자(holographic grating), 및/또는 프레넬 존 플레이트(Fresnel zone plate)의 형태를 취할 수 있다. 회절 요소의 회절 중심은, 특히, 슬릿(slit), 홈(groove), 칸막이(slat), 랜드(land), 및/또는 프레넬 존(Fresnel zone)으로 구성된다. 제1 광학 요소의 회절 중심은 상호 간에 등거리로 배치되지 않을 수 있다. 특히, 상호 간에 회절 중심 간격이 약간씩 다를 수 있다. 특히, 제1 광학 요소의 회절 중심들의 상호 간의 배치 및/또는 제1 광학 구성 요소의 입사 광선에 대한 배치는, 제1 광학 요소로부터 출사되는 광선의, 제1 광학 요소로 입사되는 광선에 대한 회절 각도 Θ 가 파수 k 에 선형적으로 의존하는 경우에, 제1 광학 요소가 각도 분산(angular dispersion) $d\Theta/dk$ 를 나타내도록 이루어진다. 회절이 문제시되는 경우에 있어서 이하에서는 1차 회절에 대해서만 논하기로 한다. 회절 중심은 약간씩 다른 격자 상수를 나타낼 수 있다.

제1 광학 요소는 분산 요소의 형태를 취할 수 있다. 분산 요소는 쇄기형 구조 및/또는 프리즘, 특히, 분산 프리즘 및/또는 반사 프리즘의 형태를 취할 수 있다. 프리즘의 기하학적 형상(예를 들어, 굴절 각도 α), 재료(예를 들어, 글라스), 및/또는 재료의 광학적 특성(예를 들어, 굴절률 $n(k)$ 및/또는 분산 dn/dk)의 선정 및/또는 입사 광선에 대한 프리즘의 배치는, 제1 광학 요소로부터 출사되는 광선의, 제1 광학 요소로 입사되는 광선에 대한 편향 각도 Θ 가 파수 k 에 선형적으로 의존하는 경우에, 제1 광학 요소가 각도 분산 $d\Theta/dk$ 를 나타내도록 이루어질 수 있다.

제1 광학 요소는 격자 프리즘(이른바, grism)의 형태를 취할 수 있다. 격자 프리즘은 분산 요소(예를 들어, 프리즘)와 회절 요소(예를 들어, 회절 격자)로 구성된 모듈형 유닛의 형태를 취할 수 있다. 모듈형 유닛은 분산 요소 및 회절 요소가 서로에 대해 조정할 수 없게 배치되도록 설계되어 있을 수 있다. 이를 위해 복수의 회절 중심이 (예를 들어, 적절한 코팅, 증착, 엔보싱, 스코어링(scoring) 등의 형태로) 프리즘 표면 상에 도포되어 있을 수 있다. 프리즘의 기하학적 형상(예를 들어, 굴절 각도 α), 재료(예를 들어, 글라스), 및/또는 재료의 광학적 특성(예를 들어, 굴절률 $n(k)$ 및/또는 분산 dn/dk)의 선정, 및/또는 프리즘에 적용되는 회절 격자의 회절 중심의 상호간의 배치, 및/또는 입사 광선에 대한 격자 프리즘의 배치는, 제1 광학 요소로부터 출사되는 광선의, 제1 광학 요소로 입사되는 광선에 대한 편향 각도 Θ 가 파수 k 에 선형적으로 의존하는 경우에, 격자 프리즘의 격자의 격자 각도 분산 및 격자 프리즘의 프리즘의 프리즘 각도 분산이 결합된 각도 분산 $d\Theta/dk$ 에 따라 격자 프리즘이 광선을 분할할 수 있도록 이루어질 수 있다.

대물렌즈는, 대물렌즈를 통과한 후에 대물렌즈의 광축으로부터의 횡방향 간격이, 대물렌즈의 광축에 대해서 광다발이 대물렌즈에 입사되는 입사 각도가 증가할수록 이에 따라 선형적으로 증가하도록, 피사체 측에서 제1 광학 요소로부터 출사되는 분할 광선의 시준된 광다발을 영상 측의 초점에 결상하는 특성을 갖는다.

대물렌즈는 회전 대칭으로 설계할 수 있다. 특히, 대물렌즈는 그 광학적 축(광축)에 대해 원통 대칭형으로 설계 할 수 있다. 대물렌즈는, 특히, 플랫필드 스캔 렌즈(flat-field scanning lens), f - Θ 대물렌즈, 또는 텔레센트릭(telecentric) f - Θ 대물렌즈, 특히 영상 측에서 텔레센트릭 형태인 f - Θ 대물렌즈의 형태를 취한다. 대물렌즈는 이 대물렌즈의 외부에 위치하는 입사 동공(entrance pupil)을 포함할 수 있다. 대물렌즈는, 제1 광학 요소(뿐만 아니라 제1 광학 요소로부터 분할 광선이 출사되는 제1 광학 요소 상의 지점도 또한)가 대물렌즈의 입사 동공의 중심에 위치하도록, 제1 광학 요소에 상대적으로 배치될 수 있다.

이와 달리 또는 이에 덧붙여, 대물렌즈는 왜곡 포함된 그리고/또는 횡방향의 색 영상화 특성(distortion-burdened and/or lateral chromatic imaging property)을 나타낸다. 대물렌즈는, 제1 광학 요소에 의해 분할된 광선을, 여러 스펙트럼 영역의 중앙값들(median)(k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치함)이 상이한 초점들(그 중심들은 구성 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치함)에 결상되게끔 보내도록 구성될 수 있다.

이를 위해, 대물렌즈 내에 굴절 요소로서 사용되는 글라스, 특히, 그 재질 및/또는 형상을 적절하게 선정함으로써, 대물렌즈는, 괴장에 의존하여 비선형 함수를 따르는 결과를 낳는 축외 간격형성(extra-axial spacing)인,

상기 왜곡 포함된 그리고/또는 횡방향의 색 영상화 특성을 가질 수 있다. 특히, 이 효과는, 여러 스펙트럼 부분의 중앙값(k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치함)을 상이한 초점들(이들의 중심은 구성 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치함)에 결상되도록 대물렌즈의 위치(position) 및/또는 배향(orientation)을, 제1 광학 요소에 의해 분할된 광선의 광로에 대하여 조절함으로써 활용된다.

상기 '횡방향'이란 대물렌즈의 광축에 수직으로 배향된 축을 따른다는 것을 의미한다. '색'은 파장 λ 에 의존한다는 것을 의미한다. '축외'란 광축에 대해서 소실점이 없는 간격을 갖는 횡 방향을 의미한다.

대물렌즈는, 대물렌즈의 광축이 위치하고 있는 평면 위에 상당히 또는 완전히 떨어져 있는 대물렌즈를 광선이 통과하도록, 제1 광학 요소에 상대적으로 배치될 수 있다. 이에 덧붙여 또는 이와 달리, 대물렌즈는, k 공간에서의 다색 광선의 전체 스펙트럼(66)의 중앙값을 나타내는 분할 광선의 파동열(wave train)의 전파 방향에 대해서 대물렌즈의 광축이 기울어지도록 제1 광학 요소에 상대적으로 배치되어 있을 수 있다.

분광 기기는 분산 요소 및/또는 회절 요소 형태의 제2 광학 요소를 포함할 수 있는데, 이는, 대물렌즈와 결합되어, 대물렌즈 및 제2 광학 요소가 서로 조절할 수 없도록 배치되는 모듈형 유닛을 구성할 수 있다. 특히, 제2 광학 요소는 대물렌즈의 부속물의 형태를 취할 수 있다. 제2 광학 요소는 광로 내에서 대물렌즈의 상류에 배치될 수 있다. 또는 이와 달리 제2 광학 요소는 광로 내에서 대물렌즈의 하류에 배치될 수 있다.

분광 기기의 제1 광학 요소, 대물렌즈, 센서, 감광소자들, 상술한 모듈형 유닛 중의 하나, 및/또는 다른 모든 구성요소는, 분광 기기의 기저판(base plate) 상에 구성되어서, 여기에 구비된 조정 수단(예컨대, 레일, 슬라이딩 테이블, 봉 연결 기구, 거울 지지대, 평행이동 스테이지, 또는 회전 스테이지 등)을 이용하여 위치 조절을 할 수 있도록 구성된다. 특히, 제1 광학 요소, 대물렌즈, 센서, 감광소자들, 및/또는 모듈형 유닛의 상호 위치 및/또는 배향을 상호 간에, 특히, 수동으로 조절가능하다. 반면에, 모듈형 유닛의 구성요소들은, 이들의 상대 위치 및/또는 배향을 조절할 수 없도록 사전에 확고하게 고정 연결되어 있다.

센서의 감광소자들의 중심은 서로 등거리에 배치될 수 있다. 또는 이와 달리, 센서의 감광소자들의 감광면들의 중심은, 광선의 여러 스펙트럼 영역들의 중앙값들(k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치함)이 대물렌즈에 의해서 영상 측에서 결상되는 초점들 또는 초점들의 중심에 따라 공간에 배치될 수 있다. 특히, 센서는, 감광소자의 감광면의 중심이 직선상에 위치하는 CCD 라인센서 또는 CMOS 라인센서의 형태를 취할 수 있다. 감광소자의 감광면은 동일한 크기로 설계될 수도 있고 다른 크기로 설계될 수도 있다.

분광 기기를 포함하는 영상화 시스템은 상술한 제1 광학 요소 중 하나, 상술한 대물렌즈 중 하나, 및/또는 상술한 모듈형 유닛 중 하나를 포함한다.

광간섭 단층 촬영을 위한 시스템은 상기 설명한 분광 기기들 중 하나를 포함한다. 이 시스템은 추가적으로, 사용가능한 간섭성 다색 광을 방출하는 광원과, 간섭성 다색 광을 기준 분지(reference arm) 및 시료 분지(specimen arm)로 연결시키고, 기준 분지와 시료 분지로부터 후방 산란된 광을 중첩하여서 다색 광선을 형성하고, 스펙트럼 분석을 위하여 이 다색 광선을 분광 기기에 연결시키도록 구성된 광 분할기를 포함한다.

스펙트럼 분석 방법은,

- 제1 광학 요소로 입사되는 다색 광선을 공간 스펙트럼으로 분할하는 단계,
- 분할된 광선의 복수의 스펙트럼 영역을, 대물렌즈를 이용하여, 복수의 상이한 공간 영역으로 보내는 단계,
- 대물렌즈의 하류에, 분할 광선의 광로 내에 위치하는, 복수의 감광소자를 갖는 센서를 이용하여, 하나 이상의 분할 광선의 강도를 기록하는 단계를 포함한다. 여기서 각 감광소자는 광선의 스펙트럼 부분의 강도를 기록하며, 스펙트럼 부분들의 중앙값은 k 공간(k 는 파수를 의미함) 내에서 상호 간에 등거리에 위치한다.

본 명세서에서 설명한 스펙트럼 분석을 위한 방법 또는 개별적 단계의 범위 내에서, 이 방법 또는 방법의 개별 단계는 적절히 구성된 장치에 의해서 실행될 수 있다. 이상의 설명은 방법상의 단계를 실행하는 장치의 동작 형태에 대해서도 적용된다. 이러한 범위 내에서, 본 명세서의 장치의 기능 및 방법의 기능은 동등하다. 특히, 본 방법 또는 방법의 개별적 단계는, 본 발명에 따른 적절한 프로그램이 실행되는 컴퓨터에 의해서 실현될 수 있다.

도면의 간단한 설명

이하에서 본 발명을 아래의 첨부 도면에 기초하여 보다 상세히 설명한다.

도 1은 일 실시예에 따른 광간섭 단층 촬영 시스템의 개략도이다.

도 2는 분광 기기의 개략도를 도시한다.

도 3a 내지 도 3e는 다양한 스펙트럼 영역의 중앙값의 분포를 개략적으로 보여준다

도 4a와 도 4b는 파수 k 에 대해서 비선형이고 파장 λ 에 대해서 선형인 스펙트럼을 도시한다.

도 5a 및 도 5b는 파수 k 에 대해서 선형이고 파장 λ 에 대해서 비선형인 스펙트럼을 도시한다.

도 6은 제1 실시예에 따른 분광 기기의 개략도이다.

도 7은 제2 실시예에 따른 분광 기기의 개략도이다.

도 8은 제3 실시예에 따른 분광 기기의 개략도이다.

도 9는 제4 실시예에 따른 분광 기기의 개략도이다.

도 10a 및 도 10b는 각각 제5 및 제6 실시예에 따른 분광 기기의 개략도이다.

도 11은 제7 실시예에 따른 분광 기기의 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

광간섭 단층 촬영 시스템(10)을 도 1에 개략적으로 도시한다. 이 시스템(10)은 예시적 사례로서, 인간의 눈 형태로 표시한 피사체(12)를 검사하는 역할을 한다. 광간섭 단층 촬영은 SD OCT 또는 FD OCT를 기반으로 한 것이다.

이 시스템(10)은 간섭성의 다색 광선(16)을 출사하는 광원(14)을 포함한다. 광원(14)은 주파수 공간에 있어서 광대역인 간섭성 광의 스펙트럼을 출사한다. 광원(14)으로부터 출사되는 광선은 광 분할기(18)로 향한다. 광 분할기(18)는 간섭계(20)의 구성요소이며, 입사된 광선(16)의 출력광을 소정의 분할 비율로, 예컨대 50:50으로 분할한다. 한쪽 광 다발(22)은 기준 분지(24)로 진행하고, 다른 쪽 광 다발(26)은 시료 분지(28)로 진행한다.

기준 분지(24)로 분기되는 광 다발(22)은 거울(30)에 조사되어서 동일 선상에서 다시 광 분할기(18) 쪽으로 반사된다. 결상 광학계(32)와 가제어 스캔부(34)가 시료 분지(28)에 구비된다. 가제어 스캔부(34)는 광 분할기(18)로부터 들어오는 광 다발(26)을 결상 광학계(32)를 통해 피사체(12)로 보내도록 설정되어 있다. 이와 관련하여, 광 분할기(18)로부터 나온 광 다발(26)이 결상 광학계(32)로 들어가는 입사각은 스캔부(34)를 이용하여 조정된다. 도 1에 나타낸 예에서, 스캔부(34)는 이러한 목적을 위해 회전 가능하게 지지되는 거울들로서 설계되었다. 거울들의 회전축은 서로 수직이 될 수 있다. 거울들의 회전 각도는, 예컨대 갈바노미터(galvanometer)의 원리에 따라 동작하는 요소에 의해서 정해진다. 결상 광학계(32)는 광 다발(26)을 피사체(12) 상에 또는 피사체 내에 초점을 맞추어 결상한다.

피사체(12)로부터 시료 분지(28)로 후방 산란된 광 다발(26)은 기준 분지(24)의 거울(30)에서 반사된 광 다발(22)과 동일 선상에서 중첩되어서 다색 광선(36)을 형성한다. 기준 분지(24)와 시료 분지(28)에서의 광로 길이는 거의 동일하기 때문에, 광선(36)은 기준 분지(24)와 시료 분지(28)에서 후방 산란된 광 다발(22) 및 광 다발(26) 간에 간섭성을 띤다. 분광 기기 또는 분광계(38)는 다색 광선(36)의 스펙트럼 강도 분포를 기록한다.

간섭계(20)는, 도 1에 나타낸 자유 공간에서의 구성 대신에, 부분적으로 또는 전체적으로 광섬유 요소로써도 구현할 수 있다. 특히, 광 분할기(18)는 광섬유로 된 광 분할기의 형태를 취할 수 있고 광선(16, 22, 26, 36)을 광섬유를 통해서 보낼 수 있다.

분광 기기(38)는 도 2에서 더 상세히 나타낸다. 도 2에서 볼 수 있듯, 광 분할기(18)로부터 나온 광선(36)은 광섬유(40)의 도움으로 분광 기기(38)에 연결된다. 광섬유는, 광섬유 연결기(42)를 거쳐서 시준기(collimator)(44)에서 종결된다. 시준기(44)는 수 개의 렌즈를 포함할 수 있고, 광섬유(40)로부터 분산되어 방출된 광선(36)을 모아서, 시준된 다색 광선(46)을 형성하여 제1 광학 요소(48)로 보낸다. 시준기(44)와 제1 광학 요소(48) 사이의 컴팩트한 구조 설계를 위해서, 광선(46)의 광로 내에 추가적인 편향 거울(도시하지 않았음)을 설치할 수 있는데, 이는, 시준된 광선(46)을 제1 광학 요소(48)로 보내도록 설정되어 있다.

제1 광학 요소(48)는, 이 제1 광학 요소(48)에 조사되는 다색 광선(46)을, 그 스펙트럼 성분으로 공간 분할하도록 설정되어 있다. 도면에는 예시적으로, 다색 광선(46)의 여러 스펙트럼 영역의 세 개의 시준된 광선(46a, 46b, 46c)을 도시하고 있다. 대물렌즈(50)가 이들 광선(46a, 46b, 46c)을 모아서 상이한 공간 영역(52a, 52b,

52c)으로 보낸다. 대물렌즈(50)는 여러 개의 렌즈로 구성될 수 있다. 이 대물렌즈(50)의 모든 굴절면의 상류에는, 분할 광선(46a, 46b, 46c)의 광로 내에 위치하는 입사 동공(도시하지 않았음)이 있다. 대물렌즈(50)는, 제1 광학 요소(48)에서 분할 광선(46a, 46b, 46c)이 나오는 지점이 대물렌즈(50)의 입사 동공의 중심에 위치하도록 설치될 수 있다.

대물렌즈(50) 하류의 분할 광선(46a, 46b, 46c)의 광로에는 복수의 감광소자(54a, 54b, 54c)를 갖는 센서(54)가 위치한다. 여기에 도시된 예에서, 센서(54)는, 복수의 화소(예를 들면 4096 픽셀)를 갖는 CMOS 카메라 또는 CCD 카메라(또는 라인 카메라)의 형태를 취한다. 감광소자(54a, 54b, 54c)는 결과적으로 카메라(54)의 개별 픽셀들을 나타낸다. 감광소자(54a, 54b, 54c)는, 이를 각 감광소자(54a, 54b, 54c)가 광선(46a, 46b, 46c)의 스펙트럼의 상이한 스펙트럼 부분(sector)(A₁, A₂, A₃)의 강도를 기록할 수 있도록 분할 광선(46a, 46b, 46c)의 광로에 배치된다. 각 감광소자(54a, 54b, 54c)에 의해 기록되는 강도 값들의 총합은 출력 신호(56)의 형태로 스펙트럼 강도 분포를 출력한다.

분광 기기(38)에서 생성된 출력 신호(56)는 제어 장치(60)에 전송된다(도 1 참조). 제어 장치(60)는 기록된 스펙트럼 강도 분포에 기초하여, 피사체(12)의 단층영상을 확정한다. 제어 장치(60)는 1D, 2D, 및/또는 3D 단층영상의 추출을 가능케 하도록 스캔부(34)를 제어한다. 확정된 단층영상은 표시부(62) 상에 표시되며 메모리(64)에 기록될 수 있다.

시준된 다색 광선(46)은 거의 평행하게 전파되는 매우 많은 수의 파동열(wave train)로 구성된다. 파동열의 경우에는, 단순화를 위해서 고조파 평면파인 것으로 가정할 수 있다. 광선(46)의 각 파동열은 정확하게 하나인 파동 벡터 \mathbf{k} 에 의해 특징지어진다. 파동 벡터 \mathbf{k} 의 방향/배향은 파동열의 전파 방향을 나타낸다. 벡터 \mathbf{k} 의 크기 k (파수 k 라고 함)는 파동열 내의 두 파면의 공간 간격의 척도이다. 파동열의 공간 주기성은 파장 λ 에 반영된다. 즉, $\lambda = (2\pi)/k$ 이다.

광선(46)의 스펙트럼(66)을 도 3a에 개략적으로 나타낸다. k 공간(k -space)에서의 스펙트럼(66)이 세 개의 스펙트럼 영역(region) B₁, B₂, B₃로 구성되어 있는 것을 예로 들고 있다. ' k 공간'에 있어서의 직선 또는 축은, 파수 k 가 크기 순으로 선형적으로 배열된다는 것을 이해하여야 한다. 각 스펙트럼 영역 B₁, B₂, B₃은 중앙값 Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 로써 특징지어진다. 그러나, 이와 달리 이하의 구현에서는(예를 들어, 4096 픽셀을 사용하는 경우) 또한, 각각 대응하는 중앙값을 갖는 상이한 스펙트럼 영역을 정의할 수 있다. 이하에서, 중앙값 Mk_2 는 동시에, k 공간의 전체 스펙트럼(66)의 중앙값을 나타낸다.

k 공간에서의 중앙값 Mk_i ($i=1, 2, 3$)는 다음과 같이 결정된다. 스펙트럼 영역 B_i(또는, 스펙트럼 부분 A_i) 내의 파수 $k_1 \sim k_{n_i}$ (n_i 는 영역 B_i(부분 A_i) 내의 파수의 개수임)가 수학적 순열로서 크기순으로 배열되는 경우에, 홀수 n_i 인 경우의 중앙값 Mk_i 는 ($n_i+1/2$)번째 자리에서의 값을 의미하고 짝수 n_i 의 경우에는 $n_i/2$ 번째 및 ($n_i/2+1$)번째 자리에서의 값을 의미한다. 스펙트럼 영역 B_i(부분 A_i) 내에서 나타나는 파수 $k_1 \sim k_{n_i}$ 의 연속적 또는 준연속적인 분포에 있어서는, 이와 달리, 중앙값은 k_1 및 k_{n_i} 로부터 도출된 평균 값을 구성될 수 있다. 여기서, k_1 은 스펙트럼 영역 B_i(부분 A_i) 내에서 나타나는 가장 작은 파수를 나타내며 k_{n_i} 는 가장 큰 파수를 나타낸다. 이상의 사항은 λ 공간에서의 중앙값의 결정에도 적용된다.

광선(46)이 제1 광학 요소(48)에 조사되기 전에, 중앙값 Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 에 상응하는 파수 k_1 , k_2 , k_3 로 특징지어지는 파동열은 동일한 광로 67(도 2에서 점선으로 나타내었음)을 따라 이동한다. 이 광로(67)의 방향은 파동 벡터 \mathbf{k}_1 , \mathbf{k}_2 , \mathbf{k}_3 의 방향으로부터 결정된다. 따라서, 세 개의 파동열은 모두 도 2에 표시한 직선 x를 통과한다. 이 직선은 광선(46)과 동일한 위치 x1=x2=x3에서 교차한다(도 3b 참조).

제1 광학 요소(48)를 통과한 후, 스펙트럼(66)은 공간에서 분할된다(예를 들어, 특정 각도로 분산됨). 제1 광학 요소(48)는 파수 k 에 따라 파동 벡터 \mathbf{k}_1 , \mathbf{k}_2 , \mathbf{k}_3 의 배향을 바꾸지만, 그 크기(즉, 각자의 파수 k_1 , k_2 , k_3)는 변화시키지 않는다. 이는, 중앙값 Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 에 대응하는 파동열이 도 2에 점선으로 나타낸 상이한 광로 68a, 68b, 68c를 따라 이동한다는 것을 의미한다. 광로 68a, 68b, 68c의 방향은 파동 벡터 \mathbf{k}_1 , \mathbf{k}_2 , \mathbf{k}_3 의 각 방향으로부터 결정된다. 따라서, 세 개의 파동열은 도 2에 표시한 직선 y를 통과한다. 이 직선은 광로 68a, 68b, 68c와 상이한 위치 y₁, y₂, y₃에서 교차한다(도 3c 참조).

광로 68a, 68b, 68c는 또한, 대물렌즈(50)에 의해서 더욱 경로에서 영향을 받으며/보내지며 특히, 편향된다. 이로써, 중앙값 Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 에 대응하는 파동열이 도 2에 나타낸 직선 z 를 통과한다. 이 직선은 대물렌즈(50)에 의해 보내지는 광로 68a, 68b, 68c와 상이한 위치 z_1 , z_2 , z_3 에서 교차한다(도 3d 참조).

광로 68a, 68b, 68c를 따른 파동열이 감광소자(54a, 54b, 54c) 상에 도달됨에 의해서 스펙트럼(66)이 센서(54) 상에 영상화된다. 감광소자(54a, 54b, 54c)는 각각, 스펙트럼 영역 B_1 , B_2 , B_3 또는 (보다 일반적으로는) 스펙트럼 영역 B_1 , B_2 , B_3 의 부분 A_1 , A_2 , A_3 중 하나를 기록한다(도 3e 참조). 스펙트럼 영역 B_1 , B_2 , B_3 의 중앙값 Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 는 스펙트럼 부분 A_1 , A_2 , A_3 의 중앙값 Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 와 일치하지만, 이들이 반드시 일치하는 것은 아님을 유의해야 한다.

통상적인 분광 기기(38)에서는, 센서(54)의 감광소자(54a, 54b, 54c)가 스펙트럼 부분 A_1 , A_2 , A_3 (λ 공간에서의 그 중앙값 $M\lambda_1$, $M\lambda_2$, $M\lambda_3$ 는 서로 동일한 거리에 위치하거나 k 공간 내에서 적어도 비선형적으로 위치함)를 기록하도록, 각 감광소자(54a, 54b, 54c)는 분할 광선(46, 46a, 46b, 46c)의 광로 내에 배치된다.

이러한 상황에 대해서 도 4a와 도 4b에 보다 정확하게 그래프로서 표시하였다. 세로축은 감광소자(54a, 54b, 54c)의 연속 번호(여기 나타낸 예에서는 1에서부터 시작하여 끝까지(예컨대, 4096))를 나타낸다. 도 4a의 가로축은 감광소자(54a, 54b, 54c)에 기록되는 상이한 스펙트럼 부분 A_1 , A_2 , A_3 의 중앙값 $M\lambda_1$, $M\lambda_2$, $M\lambda_3$ 의 파장 λ 를 나타낸다(단위는 μm 임). 도 4a에 표시된 곡선 70은 파장 λ 에 대해서 대략 직선으로 진행됨을 나타낸다(비교를 위해, 직선 71을 함께 표시해 놓았음). 스펙트럼(66)은 그에 따라 λ 에 대해서 거의 선형으로 센서(54) 상에 영상화된다.

한편, 이것은 통상적인 분광 기기(38)의 경우에 다색 광선(46)의 스펙트럼(66)이 파수 k 에 대해서 비선형적으로 센서(54)에 영상화된다는 것을 나타내는데, 그 이유는, 파수 k 및 파장 λ 간의 비선형적 관계 $k=2\pi/\lambda$ 때문이다. 이는, 도 4a의 데이터로부터 상기 공식을 이용하여 계산한 도 4b에 대해서 명확해진다. 도 4b에서 가로축은 감광소자(54a, 54b, 54c)에 기록되는 상이한 스펙트럼 부분 A_1 , A_2 , A_3 의 중앙값 Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 의 파수 k 를 $1/\mu\text{m}$ 단위로 나타낸다(비교를 위해서, 직선 71을 추가로 표시해 놓았다).

본 발명에 따른 분광 기기(38)의 경우, 센서(54)의 감광소자(54a, 54b, 54c)는, 이들 감광소자(54a, 54b, 54c)에 기록되는 광선(46)의 스펙트럼(66)의 스펙트럼 부분 A_1 , A_2 , A_3 의 중앙값 Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 가 k 공간에서 서로 등거리에 위치하도록, 분할 광선(46a, 46b, 46c)의 광로에 배치된다.

이러한 상황을 또한 도 5b에 나타내었다. 여기서도 세로축은 1~4096의 감광소자(54a, 54b, 54c)의 연속 번호를 나타낸다. 가로축은 감광소자(54a, 54b, 54c)에 기록된 상이한 스펙트럼 부분 A_1 , A_2 , A_3 의 중앙값 Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 의 파수 k 를 $1/\mu\text{m}$ 단위로 나타낸다. 예시적으로 표시한 $6.9/\mu\text{m}$ 내지 $9.3/\mu\text{m}$ 의 범위 내에서, 곡선 72는 파수 k 에 대해서 선형으로 진행됨을 보여준다. 다색 광선(46)의 스펙트럼(66)은 이에 따라 파수 k 에 대해서 센서(54)에 선형으로 영상화된다. 도 5a는 도 5b로부터의 결과를 파장 λ 에 대해서 계산한 것으로 비선형 진행을 보여준다(비교를 위해서, 직선 71을 추가로 표시해 놓았다).

도 6 내지 도 11에 본 발명에 따른 분광 기기(38)의 다양한 실시예들을 도시하였다. 단지 보다 명확하게 하기 위한 목적으로, 이들 사례 중 일부에서, 광선 46b는 생략하고 광선 46a와 46c의 두 광선만을 표시하고 있다. 광선 46a(46b 또는 46c)는, 스펙트럼 영역 B_1 (B_2 또는 B_3)의 중앙값 Mk_1 (Mk_2 또는 Mk_3)에 해당하는 파수 k_1 (k_2 또는 k_3)에 의해 특징지어지는 파동열을 나타낸다. 여기서 $Mk_1 < Mk_2 < Mk_3$ 이다.

도 6에 나타낸 제1 실시예에서, 제1 광학 요소(48)는 회절 격자의 형태를 취한다. 회절 격자(48)의 회절 중심의 상호 간의 배치와, 입사 광선(46)에 대한 회절 격자(48)의 배향은, 제1 광학 요소(48)로부터 출사되는 광선(46a, 46c)의, 제1 광학 요소(48)로 입사되는 광선(46)에 대한 회절 각도 Θ 가 파수 k 에 선형적으로 의존하는 경우(즉, $d\Theta/dk=상수$)에 제1 광학 요소(48)가 각도 분산 $d\Theta/dk$ 를 나타내도록 이루어진다. 따라서 $\Theta_1/k_1=\Theta_3/k_3$ 이 된다. 여기서 Θ_1 은 광선 46a를 편향시키는 회절각이고, Θ_3 은 광선 46c를 편향시키는 회절각이다.

도 7에 나타낸 제2 실시예에서, 제1 광학 요소(48)는 격자 프리즘의 형태를 취하며, 프리즘(74)과 이 프리즘(74)의 입사면(77a) 상에 설치되어 있는 복수의 회절 중심을 갖는 회절 격자(76)를 포함한다. 또는 이와 다르게, 회절 격자(76)가 프리즘(74)의 출사면(77b) 상에 설치되어 있을 수도 있다. 프리즘(74)의 굴절 각도

a , 재료, 및 재료 굴절률 $n(k)$ 의 선정과, 회절 격자(76)의 회절 중심의 상호 간의 배치와, 그리고 격자 프리즘(48)의 입사 광선(46)에 대한 배향은, 격자 프리즘(48)에서 출사되는 광선(46a, 46c)의, 격자 프리즘(48)으로 입사되는 광선(46)에 대한 회절 각도 Θ 가 파수 k 에 선형적으로 의존하는 경우(즉, $d\Theta/dk=상수$)에, 프리즘(76)의 프리즘 각도 분산 및 격자(74)의 격자 각도 분산이 결합된 각도 분산 $d\Theta/dk$ 에 따라 격자 프리즘(48)이 광선(46)을 분할하도록 이루어졌다. 따라서 여기서도 $\Theta_1/k_1=\Theta_3/k_3$ 이 된다. 여기서 Θ_1 은 광선 46a을 편향시키는 회절각이고, Θ_3 은 광선 46c를 편향시키는 회절각이다.

도 6과 도 7에 도시된 제1 및 제2 실시예의 대물렌즈(50)는 피사체 측에서 제1 광학 요소(48)로부터 출사되는 분할 광선(46)의 실질적 시준된 광 다발(46a 또는 46c)을 영상 측에 있는 초점(78a, 78c)에 결상하는 특성을 갖는데, 이때에 초점(78a, 78c)의 횡간격 Da , Dc 는, 대물렌즈(50)를 통과한 후에, 입사각 δ_1 , δ_3 가 증가할수록 이에 따라 선형적으로 대물렌즈(50)의 광축(80)으로부터 증가한다. 여기서 δ_1 , δ_3 는 광축(80)에 대해서 광 다발(46a 또는 46c)이 대물렌즈(50)에 입사되는 각도이다. 이를 위해 대물렌즈는 예컨대 $f-\Theta$ 렌즈의 형태를 취한다.

도 8, 도 9, 도 10a, 도 10b 및 도 11에 제3, 제4, 제5, 제6, 및 제7 실시예를 나타내었다. 이들 실시예에서 제1 광학 요소(48)는, 예를 들어, 통상적인 분산 프리즘의 형태, 또는 회절 중심들이 서로 간에 공간에서 등거리에 배치된 통상적인 회절 격자의 형태를 취한다. 제1 광학 요소(48)는, 제1 광학 요소(48)로부터 출사되는 광선(46a, 46c)의, 제1 광학 요소(48)로 입사되는 광선(46)에 대한 회절 각도 Θ 가 파수 k 에 비선형적으로 의존하는 경우에(즉, $d\Theta/dk \neq$ 상수), 각도 분산 $d\Theta/dk$ 를 나타낸다.

제3, 제4, 제5 및 제6 실시예에서, 대물렌즈(50)는, 제1 광학 요소(48)에 의해 분할된 광선(46a, 46b, 46c)을, 여러 스펙트럼 영역 B_1 , B_2 , B_3 의 중앙값 Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 (k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치함)이 상이한 초점 78a, 78b, 78c(이들의 중심은 구성 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치함)에 결상되도록 보내는 영상화 특성을 갖는다(도 9, 10a, 10b 참조). 따라서 대물렌즈(50)는 광선(46a, 46b, 46c)을 도 2의 직선 z 의 위치 z_1 , z_2 , z_3 로 보낸다. 이 직선 z 는 공간에서 등거리에 위치하는, 대물렌즈(50)가 보낸 분할 광선(46a, 46b, 46c)의 광로와 교차한다(도 3d 참조). 이를 위해 대물렌즈(50)는, 광선(46a, 46b, 46c)이 그 파수 k 에 의존하여 전파되는 특성을 갖는다.

도 8 및 도 9에 제3 및 제4 실시예를 나타낸다. 이들 경우에, 대물렌즈(50) 내에 사용되는 굴절 요소로서 글라스를 적절히 선택함으로써 대물렌즈(50)는 횡방향 색 영상화 특성을 갖는다. 이 횡방향 색 영상화 특성은, 광장에 의존하여 비선형 함수를 따르게 되는 축외 간격형성이다. 이 효과는, 여러 스펙트럼 영역 B_1 , B_2 , B_3 의 중앙값 Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 (k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치함)를 상이한 초점 78a, 78b, 78c(이들의 중심은 구성 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치함)에 결상되게끔 대물렌즈(50)가 분할 광선(46a, 46b, 46c)을 보내도록 대물렌즈(50)의 위치 및/또는 배향을 분할 광선(46a, 46b, 46c)의 광로에 대하여 조절함으로써 활용된다. 이 조절은 대물렌즈(50)의 중심을 이동시키고 및/또는 기울임으로써 시행된다.

도 8의 제3 실시예에서는, 대물렌즈(50)의 중심이 이동한 것을 볼 수 있다. 대물렌즈(50)의 광축(80)이 위치한 평면(82)에서 상당히 떨어져 있는 위쪽으로 분할 광선(46a, 46c)이 대물렌즈(50)를 통과하도록, 제1 광학 요소(48)에 상대적으로 배치되어 있다.

도 9의 제4 실시예에서는 대물렌즈(50)의 기울어짐을 볼 수 있다. 대물렌즈(50)는, k 공간에서의 다색 광선(46)의 스펙트럼(66)의 중앙값 Mk_2 를 나타내는 분할 광선(46b)의 파동열의 전파 방향 \mathbf{k}_2 에 대해서 대물렌즈(50)의 광축(80)이 기울어지도록 제1 광학 요소(48)에 상대적으로 배치되어 있다. 도 9에서, 광축(80)과 전파 방향 \mathbf{k}_2 사이의 각도 ε_2 는 결과적으로 0과 다르게 된다.

도 10a와 10b는 각각 제5 및 제6 실시예를 나타낸다. 이들 경우에, 분광 기기(38)는 프리즘 형태의 제2 광학 요소(82')를 포함하는데, 이는, 대물렌즈(50)와 결합되어서 모듈형 유닛(84)를 구성한다. 여기서 대물렌즈(50) 및 제2 광학 요소(82')는 서로 간에 조정불가하도록 배치된다. 또는 이와 다르게, 제2 광학 요소(82')는 쇄기형 광학 요소의 형태를 취할 수도 있다. 제2 광학 요소(82')와 대물렌즈는 서로 조합되어서, 광선(46)의 스펙트럼(66)의 여러 스펙트럼 영역 B_1 , B_2 , B_3 의 중앙값 Mk_1 , Mk_2 , Mk_3 (k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치함)가 모듈형 유닛(84)를 통과하면서 상이한 초점 78a, 78b, 78c(이들의 중심은 구성 공간 내에서 서로 간에 등거리에

위치함)에 결상되게끔 분할 광선(46a, 46b, 46c)을 보내는 특성을 갖는다.

도 10a에는, 제 2 광학 요소(82')가 광선(46a, 46b, 46c)의 광로에서 대물렌즈(50)의 상류에 배치된다. 이 경우 제2 광학 요소(82')는 대물렌즈의 부속물의 형태를 취한다. 반면, 도 10b에는, 제2 광학 요소(82')가 광선(46a, 46b, 46c)의 광로에서 대물렌즈(50)의 하류에 배치된다.

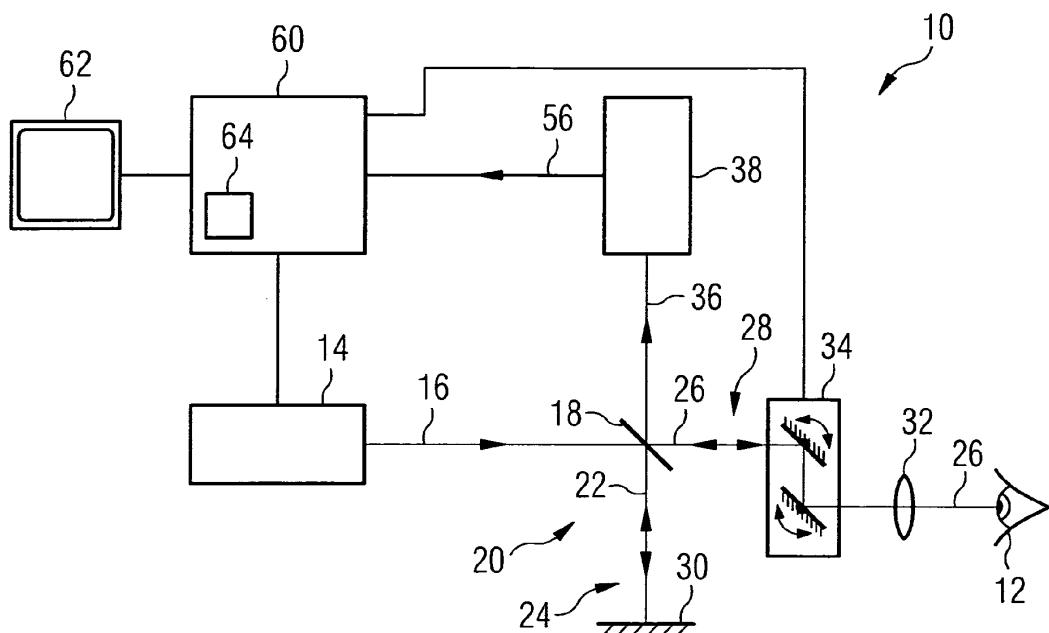
분광 기기(38)의 제1 광학 요소(48), 대물렌즈(50), 센서(54), 감광소자들(54a, 54b, 54c), 모듈형 유닛(84), 및/또는 다른 모든 구성요소(40, 42, 44)는, 분광 기기(38)의 기저판(88) 상에 구성되어서, 여기에 구비된 조정 수단(86)(예컨대, 레일, 슬라이딩 테이블, 봉 연결 기구, 거울 지지대, 평행이동 스테이지, 또는 회전 스테이지 등)을 이용하여 위치 조절을 할 수 있도록 구성된다. 특히, 제1 광학 요소(48), 대물렌즈(50), 센서(54), 감광소자들(54a, 54b, 54c), 및/또는 모듈형 유닛(84)의 상호 위치 및/또는 배향을 상호 간에 조절가능, 특히 수동으로 조절 가능하다. 반면에, 모듈형 유닛(48, 84)의 구성품 74 및 78 또는 50 및 82'는 각각, 이들의 상대 위치 및/또는 배향을 조절할 수 없도록 사전에 확고하게 고정 연결되어 있다.

도 6 내지 도 10b에 도시된 제1 내지 제6 실시예에서 센서(54)의 감광소자(54a, 54b, 54c)의 감광면은 동일한 크기로 설계된다. 또한 감광면의 중심은 이 구성 공간 내에서 상호 간에 등거리에 배치된다.

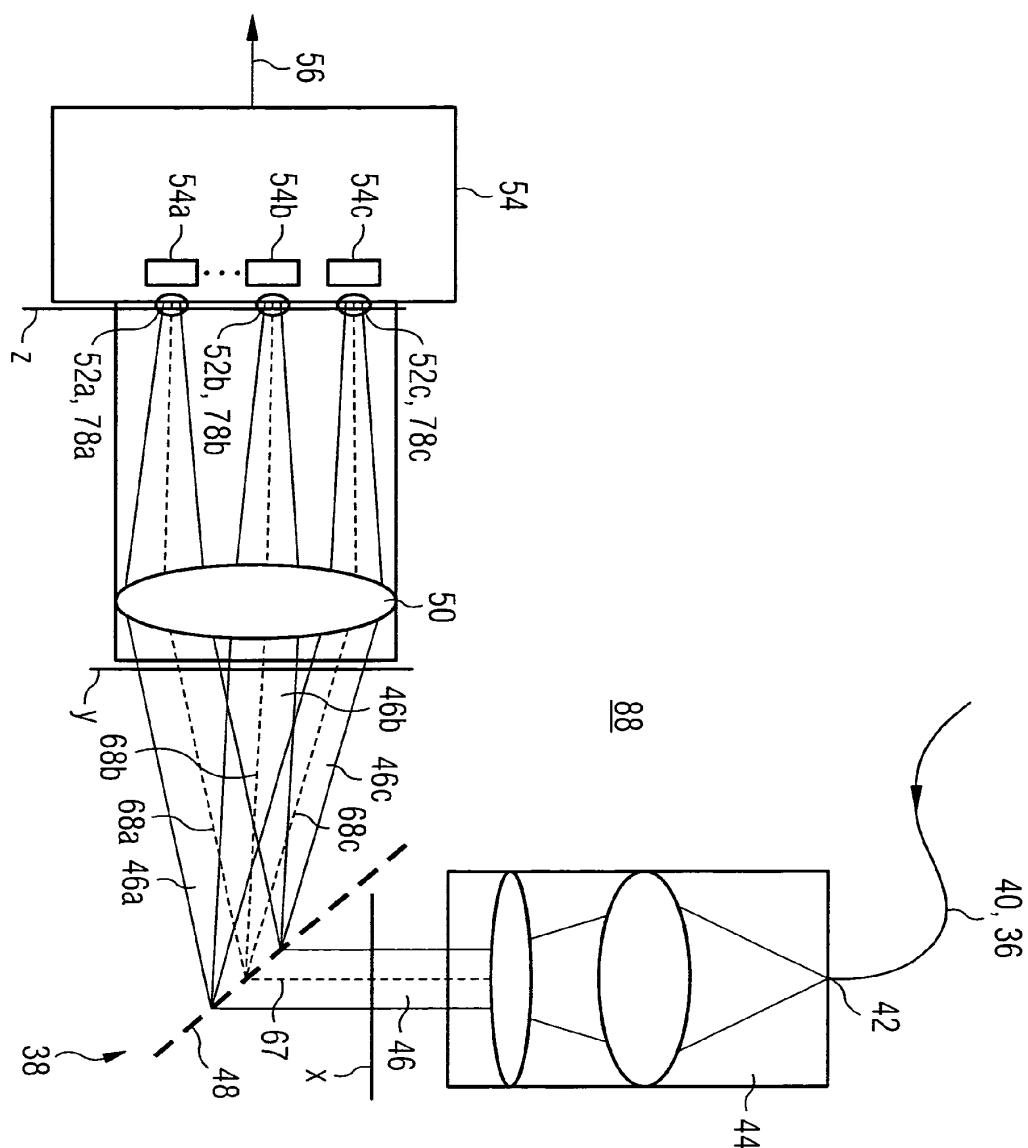
도 11에는 분광 기기(38)의 제7 실시예가 도시되어 있다. 이 경우 대물렌즈(50)는 통상적인 대물렌즈의 형태를 취한다. 대물렌즈(50)는, k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치한 여러 스펙트럼 영역 B₁, B₂, B₃의 중앙값 M_{k1}, M_{k2}, M_{k3}를 구성 공간 내에서 그 중심이 서로 간에 부등거리에 위치한 상이한 초점 78a, 78b, 78c에 결상되게 대물렌즈(50)가 제1 광학 요소(48)에 의해 분할된 분할 광선(46a, 46b, 46c)을 보내도록 하는 영상화 특성을 갖는다. 한편, 본 실시예에서는, 센서(54)의 감광소자(54a, 54b, 54c)의 감광면의 중심들은, k 공간 내에서 서로 간에 등거리에 위치한 여러 스펙트럼 영역 B₁, B₂, B₃의 중앙값 M_{k1}, M_{k2}, M_{k3}를 대물렌즈(50)가 영상 측에 결상하는 초점(78a, 78b, 78c)에 따라 배열된다. 이와 관련하여, 감광소자(54a, 54b, 54c)들의 감광면들의 중심들은 구성 공간 내에서 서로에 대해 부등거리에 위치한다. 감광소자(54a, 54b, 54c)들의 감광면들의 크기는 가변적이다.

도면

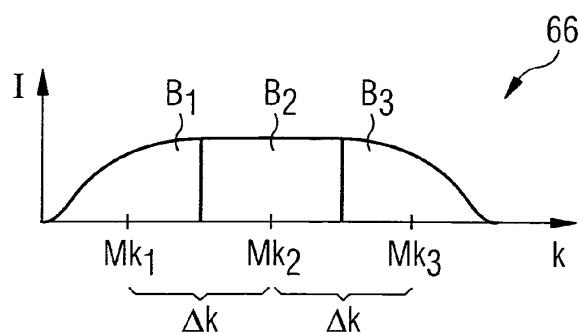
도면1



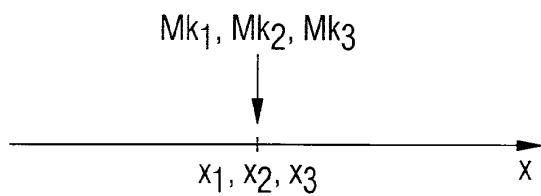
도면2



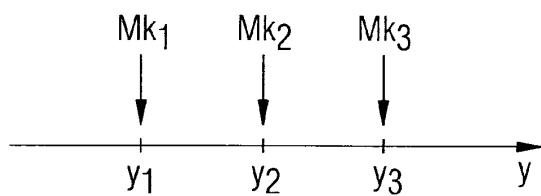
도면3a



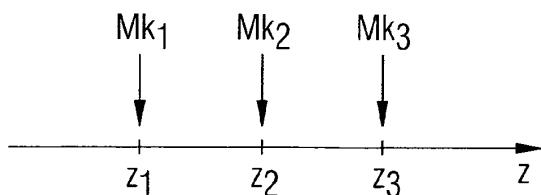
도면3b



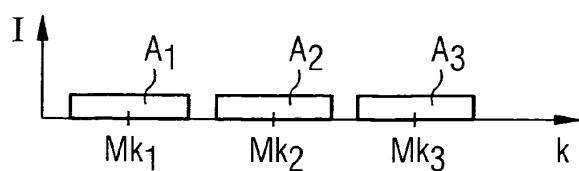
도면3c



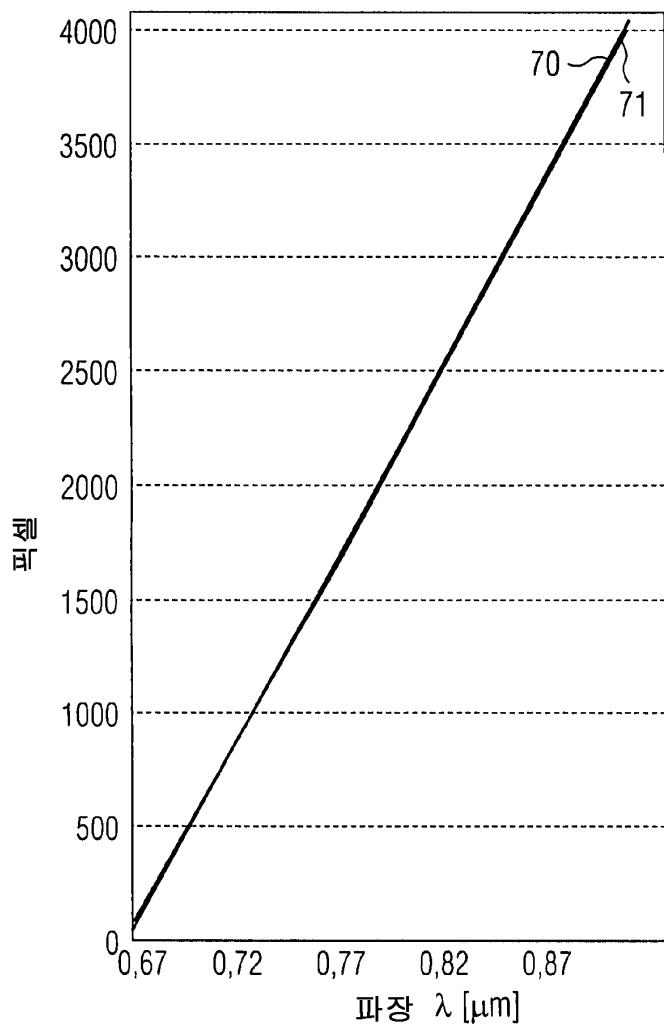
도면3d



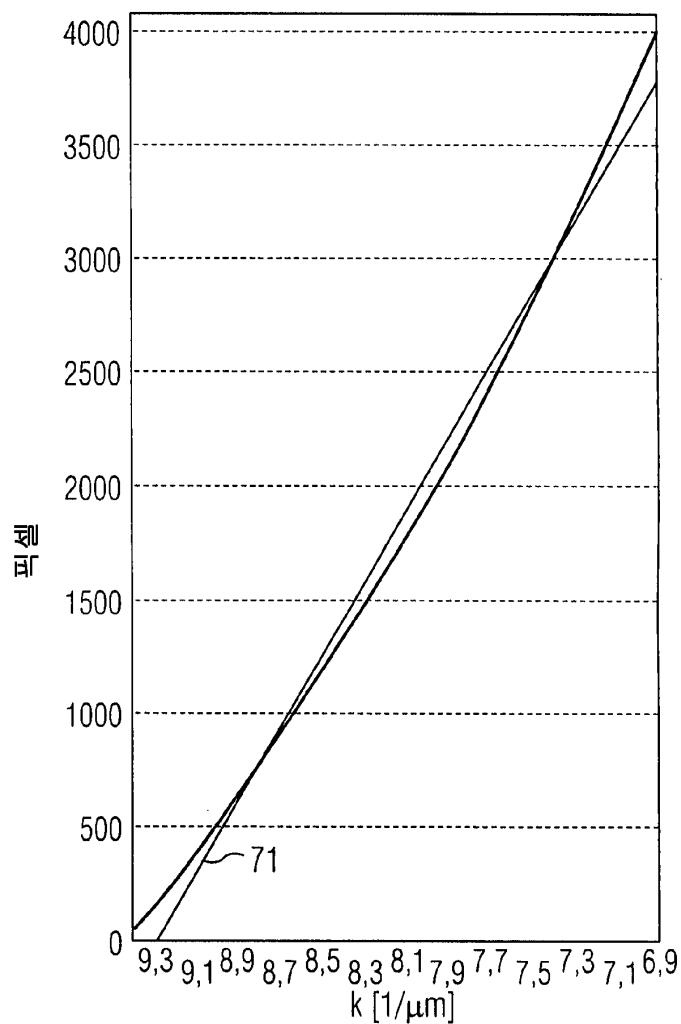
도면3e



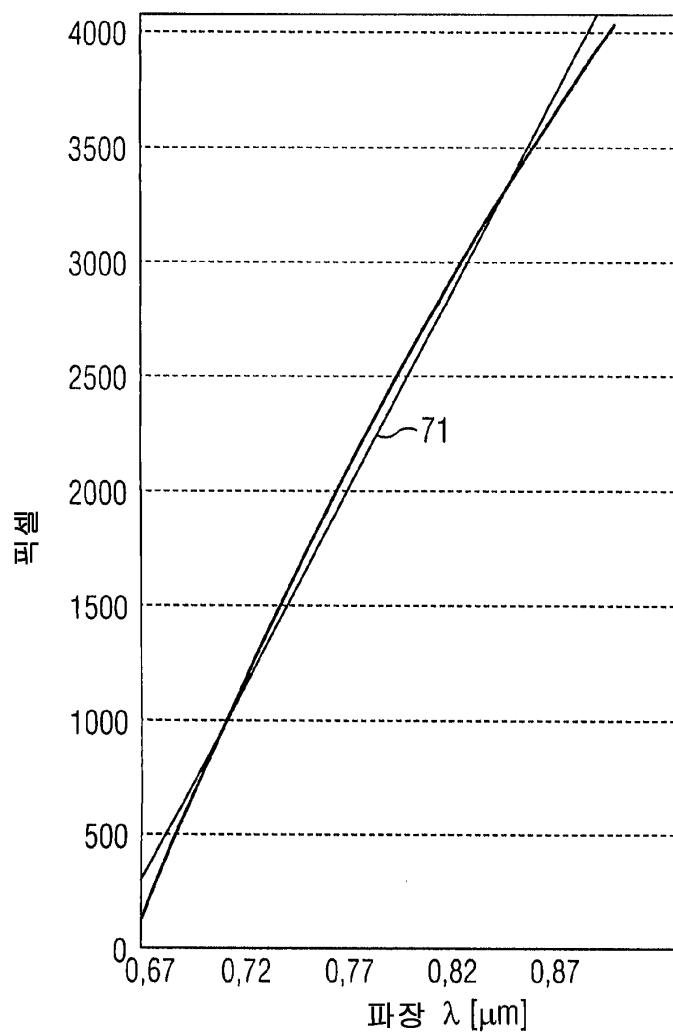
도면4a



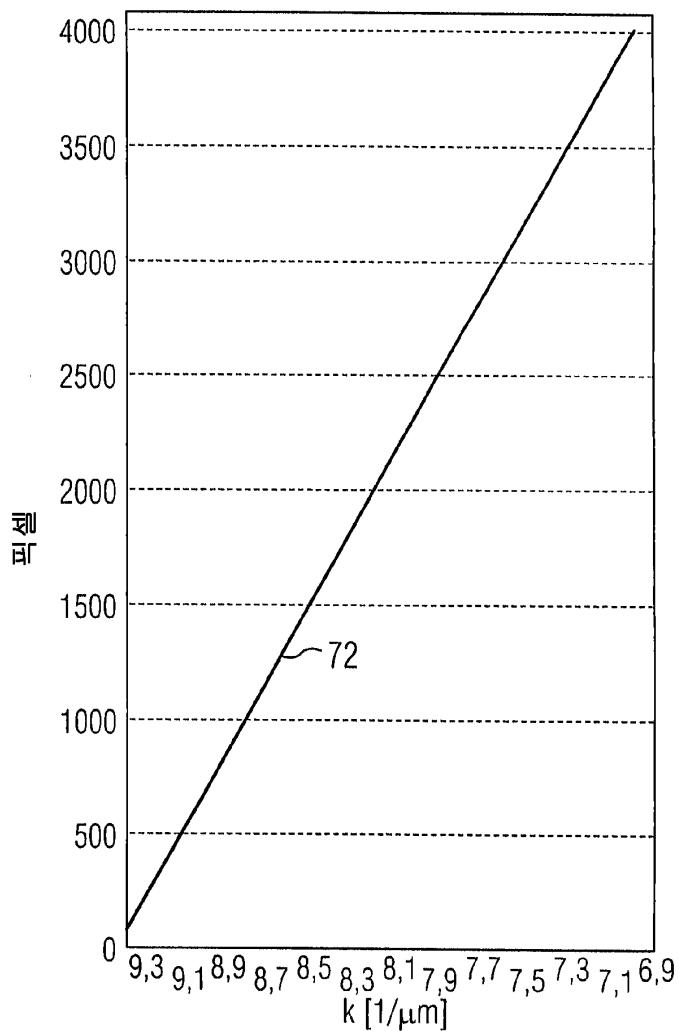
도면4b



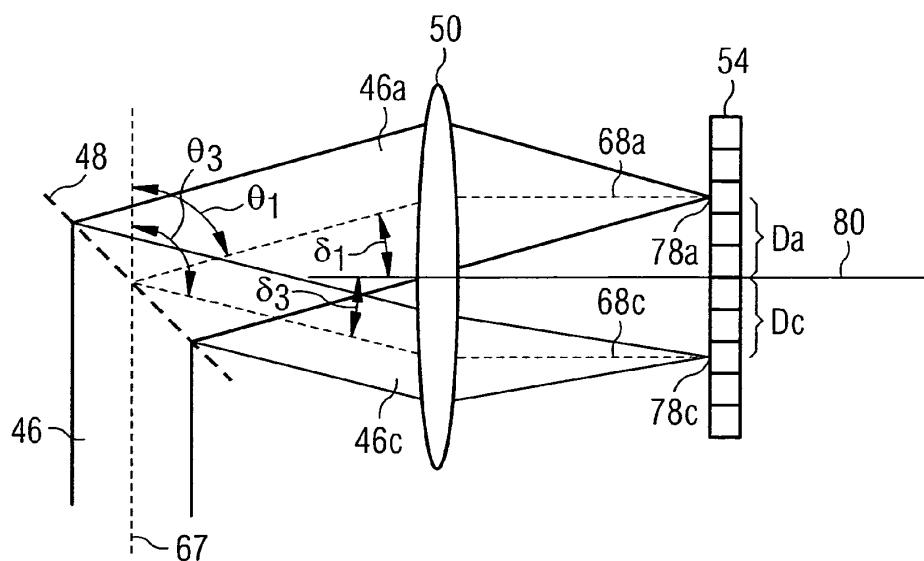
도면5a



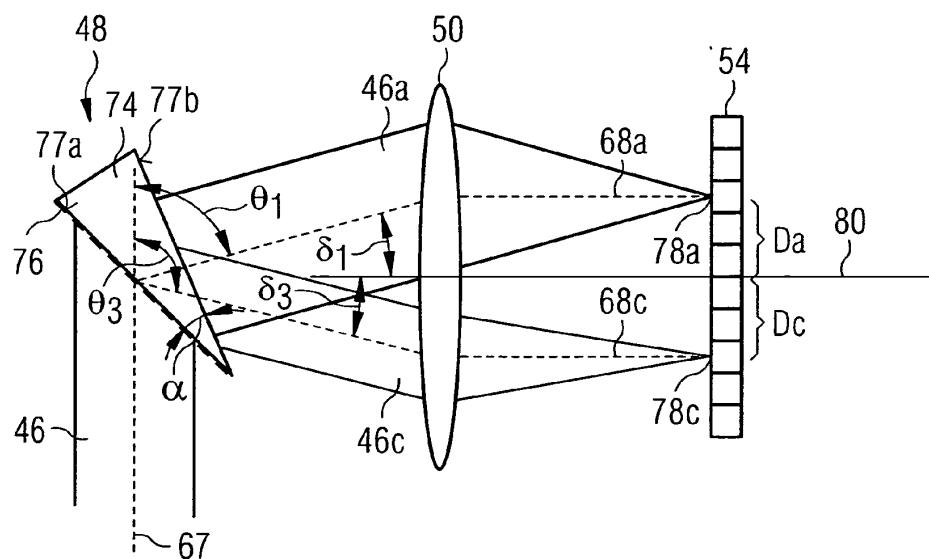
도면5b



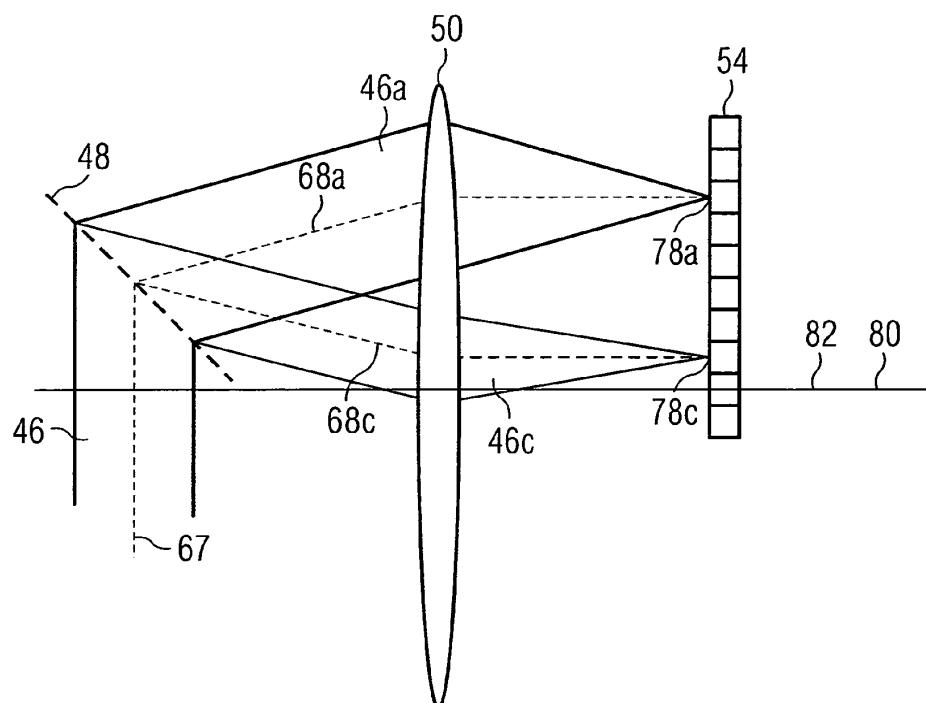
도면6



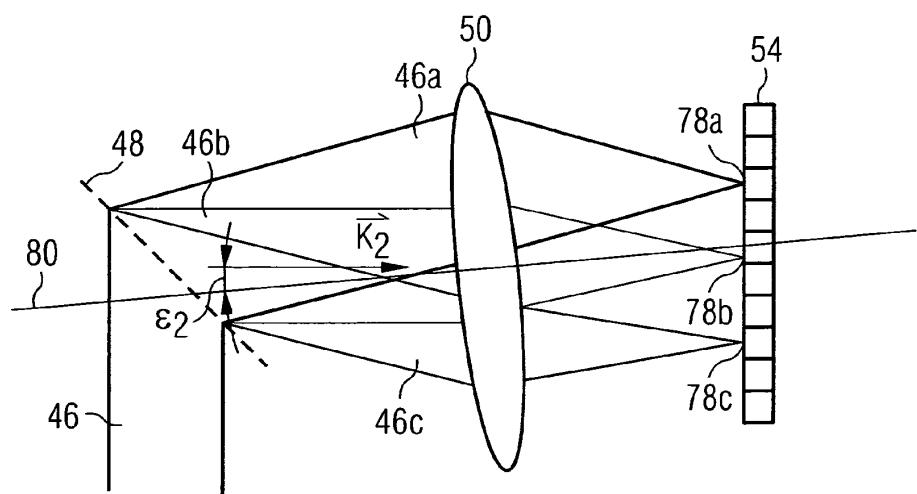
도면7



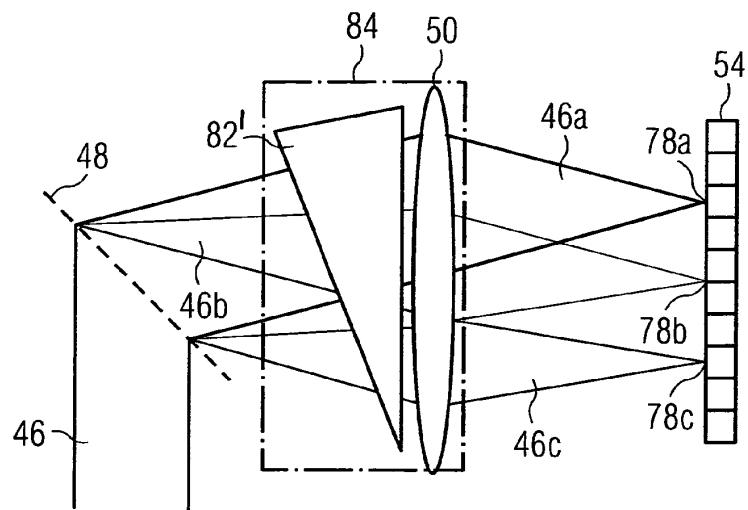
도면8



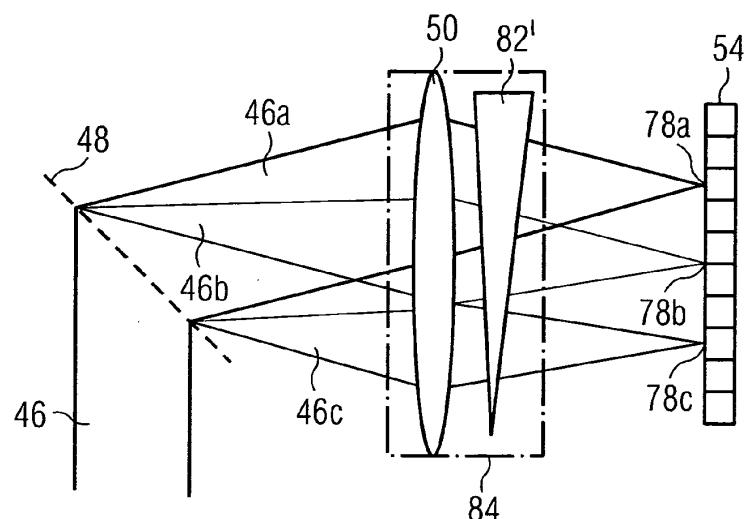
도면9



도면10a



도면10b



도면11

