



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl. (11) 공개번호 10-2007-0029942
G02B 27/10 (2006.01) (43) 공개일자 2007년03월15일

(21) 출원번호 10-2005-0084596
(22) 출원일자 2005년09월12일
심사청구일자 2005년09월12일

(71) 출원인 한국과학기술원
대전 유성구 구성동 373-1

(72) 발명자 권대갑
대전 유성구 어은동 한빛아파트 126동 703호
이승우
대구 수성구 수성동3가 198-13
송인천
서울 강남구 개포동 656 12/3 시영아파트 19동 512호
전병선
대전 유성구 궁동 458-13 성우빌라 301호

(74) 대리인 손은진

전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 거울을 이용한 광선 분리 방법 및 이를 이용한 광학 장치

(57) 요약

본 발명은, 빛을 반사시키는 반사부 및 빛을 투과시키는 투과부로 구성된 평면 거울을 입사 광선에 대하여 소정의 각도로 기울여서 사용하여, 평면 거울의 입사 광선 중 반사부로 입사한 광선은 반사되고 투과부로 입사한 광선은 투과되어, 한 개의 입사 광선을 두 개의 광선으로 분리하는 것을 특징으로 하는 거울을 이용한 광선 분리 방법 및 이러한 방법을 이용하는 광학 장치를 제공한다. 본 발명에 의한 광선 분리 방법 및 광학 장치는 기존의 광선 분리 방법 및 장치에 비하면, 거울의 반사 특성을 이용하기 때문에 파장에 독립적으로 넓은 파장대에서 사용 가능하고, 구조가 간단하여 낮은 단가에서 사용 가능하며 광학 장치를 소형화시킬 수 있으며, 아포다이제이션 효과에 의하여 광학 장치의 분해능을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

대표도

도 6

특허청구의 범위

청구항 1.

빛을 반사시키는 반사부 및 빛을 투과시키는 투과부로 구성된 평면 거울을 입사 광선에 대하여 소정의 각도로 기울여서 사용하여, 상기 평면 거울의 상기 입사 광선 중 상기 반사부로 입사한 광선은 반사되고 상기 투과부로 입사한 광선은 투과되어, 한 개의 입사 광선을 두 개의 광선으로 분리하는 것을 특징으로 하는 거울을 이용한 광선 분리 방법.

청구항 2.

제 1 항에 있어서, 상기 반사부는 상기 평면 거울의 중심부이고 상기 투과부는 상기 평면 거울의 주변부인 것을 특징으로 하는 거울을 이용한 광선 분리 방법.

청구항 3.

제 2 항에 있어서, 상기 평면 거울이 상기 입사 광선에 대하여 상기 소정의 각도 θ 로 기울어졌을 때, 상기 평면 거울 및 상기 반사부는 단축의 길이에 대한 장축의 길이의 비가 $1 / \cos\theta$ 인 타원이며, 상기 입사 광선의 경로에 수직인 면에 투영하였을 때 상기 평면 거울 및 상기 반사부는 원으로 투영되는 것을 특징으로 하는 거울을 이용한 광선 분리 방법.

청구항 4.

제 1 항에 있어서, 상기 반사부는 상기 평면 거울의 주변부이고 상기 투과부는 상기 평면 거울의 중심부인 것을 특징으로 하는 거울을 이용한 광선 분리 방법.

청구항 5.

제 4 항에 있어서, 상기 평면 거울이 상기 입사 광선에 대하여 상기 소정의 각도 θ 로 기울어졌을 때, 상기 평면 거울 및 상기 투과부는 단축의 길이에 대한 장축의 길이의 비가 $1 / \cos\theta$ 인 타원이며, 상기 입사 광선의 경로에 수직인 면에 투영하였을 때 상기 평면 거울 및 상기 투과부는 원으로 투영되는 것을 특징으로 하는 거울을 이용한 광선 분리 방법.

청구항 6.

제 3 항 또는 제 5 항에 있어서, 상기 소정의 각도는 45° 이고, 상기 단축의 길이에 대한 장축의 길이의 비는 $\sqrt{2}$ 인 것을 특징으로 하는 거울을 이용한 광선 분리 방법.

청구항 7.

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 반사부는 반사 코팅 박막이 코팅된 유리이고 상기 투과부는 반사 코팅 박막이 코팅되지 않은 유리인 것을 특징으로 하는 거울을 이용한 광선 분리 방법.

청구항 8.

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 반사부는 반사 코팅 박막이 코팅된 유리이고 상기 투과부는 빈 공간인 것을 특징으로 하는 거울을 이용한 광선 분리 방법.

청구항 9.

광원을 포함하는 조명 장치;

광선을 반사시키기 위한 반사부와 광선을 투과시키기 위한 투과부로 구성되어 있는 평면 거울을 포함하며, 상기 평면 거울은 상기 조명 장치에서 방출되는 조명 광선에 대하여 소정의 각도로 기울어진 것을 특징으로 하는 광선 분리 장치;

볼록렌즈 또는 오목 거울을 포함하는 집광 장치;

관측 대상을 고정하기 위한 시편; 및

관측 대상으로부터의 광선을 검출하기 위한 검출 장치;를 포함하며,

상기 조명 장치에서부터의 상기 조명 광선은 상기 광선 분리 장치에서 두 개 광선으로 분리되고, 상기 조명 광선으로부터 분리된 두 개 광선 중 하나는 상기 집광 장치로 진행하며 상기 집광 장치에 의하여 상기 시편에 초점이 맺히면서 상기 시편을 조명하고, 상기 시편에서부터의 반사 또는 형광 광선은 상기 집광 장치를 통과하여 상기 광선 분리 장치에서 두 개 광선으로 분리되고, 상기 반사 또는 형광 광선으로부터 분리된 두 개 광선 중 하나는 상기 검출 장치로 진행되는 것을 특징으로 하는 광학 장치.

청구항 10.

제 9 항에 있어서, 상기 반사부는 상기 평면 거울의 중심부이고 상기 투과부는 상기 평면 거울의 주변부인 것을 특징으로 하는 광학 장치.

청구항 11.

제 10 항에 있어서, 상기 평면 거울이 상기 입사 광선에 대하여 상기 소정의 각도 θ 로 기울어졌을 때, 상기 평면 거울 및 상기 반사부는 단축의 길이에 대한 장축의 길이의 비가 $1 / \cos\theta$ 인 타원이며, 상기 입사 광선의 경로에 수직인 면에 투영하였을 때 상기 평면 거울 및 상기 반사부는 원으로 투영되는 것을 특징으로 하는 광학 장치.

청구항 12.

제 9 항에 있어서, 상기 반사부는 상기 평면 거울의 주변부이고 상기 투과부는 상기 평면 거울의 중심부인 것을 특징으로 하는 광학 장치.

청구항 13.

제 12 항에 있어서, 상기 평면 거울이 상기 입사 광선에 대하여 상기 소정의 각도 θ 로 기울어졌을 때, 상기 평면 거울 및 상기 투과부는 단축의 길이에 대한 장축의 길이의 비가 $1 / \cos\theta$ 인 타원이며, 상기 입사 광선의 경로에 수직인 면에 투영하였을 때 상기 평면 거울 및 상기 반사부는 원으로 투영되는 것을 특징으로 하는 광학 장치.

청구항 14.

제 11 항 또는 제 13 항에 있어서, 상기 소정의 각도는 45° 이고, 상기 단축의 길이에 대한 장축의 길이의 비는 $\sqrt{2}$ 인 것을 특징으로 하는 광학 장치.

청구항 15.

제 9 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조명 장치는 상기 광선 분리 장치, 상기 집광 장치 및 상기 시편과 일직선 위에 위치하고, 상기 검출 장치는 상기 시편으로부터의 상기 반사 또는 형광 광선 중 상기 광선 분리 장치에 반사된 광선의 경로에 위치하여, 상기 조명 장치로부터의 광선은 상기 광선 분리 장치의 상기 투과부를 투과한 뒤 상기 집광 장치를 통과하여 상기 시편으로 진행하며, 상기 시편으로부터 반사 또는 형광 광선은 상기 집광 장치를 통과한 뒤 상기 광선 분리 장치의 상기 반사부에 반사하여 상기 검출 장치로 진행하는 것을 특징으로 하는 광학 장치.

청구항 16.

제 9 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 검출 장치는 상기 광선 분리 장치, 상기 집광 장치 및 상기 시편과 일직선 위에 위치하고, 상기 조명 장치는 상기 조명 장치로부터의 상기 조명 광선 중 상기 광선 분리 장치에 반사된 광선이 상기 시편으로 향하도록 위치하여, 상기 조명 장치로부터의 광선은 상기 광선 분리 장치의 상기 반사부에 반사한 뒤 상기 집광 장치를 통과하여 상기 시편으로 진행하며, 상기 시편으로부터 반사 또는 형광 광선은 상기 집광 장치를 통과한 뒤 상기 광선 분리 장치의 상기 투과부를 투과하여 상기 검출 장치로 진행하는 것을 특징으로 하는 광학 장치.

청구항 17.

제 9 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 반사부는 반사 코팅 박막이 코팅된 유리이고 상기 투과부는 반사 코팅 박막이 코팅되지 않은 유리인 것을 특징으로 하는 광학 장치.

청구항 18.

제 9 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 반사부는 반사 코팅 박막이 코팅된 유리이고 상기 투과부는 빈 공간인 것을 특징으로 하는 광학 장치.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 거울을 이용한 광선 분리 방법 및 이를 이용한 광학 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 일반 반사/형광 현미경, 공초점 현미경, 픽업 시스템 등과 같이 조명 광선과 검출 광선을 분리해야 하는 광학 시스템에서 거울을 이용하여 광선을 분리하는 방법 및 이를 이용한 광학 장치에 관한 것이다.

광선 분리기(beam splitter)는 하나의 광선을 두 개의 광선으로 분리하는 역할을 한다. 도 1은 광선 분리기의 역할을 설명한다. 도 1에서 도시되는 바와 같이, 광선 분리기(100)는 광선이 진행하는 경로에 광선 분리기를 설치하여 입사하는 하나의 광선(실선)을 두 방향으로 진행하는 광선(파선 및 점선)으로 분리한다. 이러한 광선 분리기는 간섭기, 현미경, 카메라 등의 광학계에 주로 사용된다.

기존의 광선 분리기로는 큐브형 광선 분리기, 반도금 거울 광선 분리기 및 색 선별 거울 광선 분리기 등이 사용되었다.

도 2는 기존에 가장 많이 사용되는 큐브형 광선 분리기(110)의 개념도이다. 큐브형 광선 분리기(110)는 두 개의 이등변 직각 삼각형 프리즘(112 및 114)을 캐나다 발삼과 같은 수지(116)로 접합하여 만들어진 것이다. 입사 광선(실선)은 제 1 프리즘(112)으로 입사되며, 제 1 프리즘(112)과 제 2 프리즘(114)의 경계면의 수지(116)에서 특정 파장의 광선의 일부(파선)는 투과하고 나머지 일부(점선)는 반사한다. 큐브형 광선 분리기(110)는 수지(116)의 두께에 따라 사용 가능한 파장이 한정되며 효율이 정해진다. 그러므로 이는 형광 현미경과 같이 넓은 파장대의 광선이 사용되는 광학 시스템에서 적용에 한계가 있다.

도 3은 다른 형태의 광선 분리기인 반도금 거울(half-silvered mirror) 광선 분리기(120)의 개념도이다. 반도금 거울 광선 분리기(120)는 평면 유리(122) 위에 얇은 금속 막(124)을 코팅하여 제작된다. 금속 막(124)은 수십 개 분자 두께로 이루어져 있으며, 특정 파장에서 45°로 입사한 광선(실선)의 일부는 금속 막을 투과하고(파선) 다른 일부는 금속 막에 반사된다(점선). 반도금 거울 광선 분리기(120)는 금속 막(124)의 두께에 따라 사용 가능한 파장이 한정되며 효율이 정해진다. 그러므로 이는 형광 현미경과 같이 넓은 파장대의 광선이 사용되는 광학 시스템에서 적용에 한계가 있다.

도 4는 또 다른 형태의 광선 분리기인 색 선별(chromatic) 광선 분리기(130)의 개념도이다. 색 선별 거울은 평면 유리(132) 위에 다층 박막(134)을 코팅하여 제작된다. 서로 다른 2개 이상의 파장대의 광선(실선)이 45°로 입사할 때, 박막(134) 내에서 간섭 효과에 의해 특정 파장의 광선은 반사하고(점선) 다른 파장의 광선은 투과한다(파선). 색 선별 광선 분리기(130)는 파장에 따라 반사와 투과가 결정되는 특성상 사용하는 광선의 파장에 따라서 교체를 하여야 하며, 사용하는 다층 박막(134)의 코팅에 따라 효율에 차이가 생긴다.

상기한 바와 같이 기존의 광선 분리기는 파장에 따라 투과 및 반사 특성이 변화하여 넓은 파장대에서 사용하는데 한계가 있으며, 구조가 간단하지 않은 문제가 있다.

한편, Stefan W. Hell et al.의 “Annular aperture two-photon excitation microscopy”, Optical communications, pp. 20-24, 1995에서 공초점 현미경에서 아포다이제이션(apodization) 효과(또는 테이퍼링(tapering) 효과)에 의하여 현미경의 분해능이 향상되는 것이 개시되었다. 이 경우, 아포다이제이션 효과를 위하여 대물렌즈 앞에 대물렌즈 직경의 85%인 지름을 가지는 원형 스탑(stop)을 설치하여 환형의 구경으로 광선을 통과시켜 분해능의 향상을 유도하였다.

이러한 스탑은 공초점 현미경에서만 아니라 다른 광학 장치에서도 분해능의 향상을 유도할 것으로 보인다. 그러나, 스탑을 설치하여 아포다이제이션 효과에 의하여 분해능의 향상을 유도하는 경우, 기존의 부품에 스탑을 추가하여 그 구조가 복잡해지며 광학계를 소형으로 구성하는 것에 어려움이 생길 수 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명의 목적은 기존의 광선 분리기가 사용하는 파장에 따라 영향을 받는 것을 극복하여 파장에 독립적이며, 기존의 광선 분리기에 비하여 구조가 간단한 거울을 이용한 광선 분리 방법 및 장치를 제공하는 것이며, 또한 동시에 아포다이제이션 효과에 의하여 광학적 분해능을 향상시킬 수 있는 거울을 이용한 광선 분리 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

발명의 구성

전술한 본 발명의 목적을 달성하기 위하여 본 발명은, 빛을 반사시키는 반사부 및 빛을 투과시키는 투과부로 구성된 평면 거울을 입사 광선에 대하여 소정의 각도로 기울여서 사용하여, 평면 거울의 상기 입사 광선 중 반사부로 입사한 광선은 반사되고 투과부로 입사한 광선은 투과되어, 한 개의 입사 광선을 두 개의 광선으로 분리하는 것을 특징으로 하는 거울을 이용한 광선 분리 방법을 제공한다.

이러한 경우, 반사부는 평면 거울의 중심부이고 투과부는 평면 거울의 주변부이거나, 반사부는 평면 거울의 주변부이고 투과부는 평면 거울의 중심부인 것이 가능하다. 이러한 경우, 평면 거울이 입사 광선에 대하여 소정의 각도 θ 로 기울어졌을 때, 평면 거울 및 반사부 또는 투과부는 단축에 대한 장축의 길이의 비가 $1 / \cos\theta$ 인 타원이며, 입사 광선의 경로에 수직인 면에 투영하였을 때 평면 거울 및 반사부 또는 투과부는 원으로 투영되는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, 상기 소정의 각도는 45°이고, 상기 단축의 길이에 대한 장축의 길이는 $\sqrt{2}$ 이다.

전술한 반사부는 반사 코팅 박막이 코팅된 유리로, 그리고 투과부는 반사 코팅 박막이 코팅되지 않은 유리 또는 빈 공간으로 구성될 수 있다.

또한 본 발명은, 광원을 포함하는 조명 장치; 광선을 반사시키기 위한 반사부와 광선을 투과시키기 위한 투과부로 구성되어 있는 평면 거울을 포함하며, 평면 거울은 조명 장치에서 방출되는 조명 광선에 대하여 소정의 각도로 기울어진 것을 특징으로 하는 광선 분리 장치; 볼록렌즈 또는 오목 거울을 포함하는 집광 장치; 관측 대상을 고정하기 위한 시편; 및 관측 대상으로부터의 광선을 검출하기 위한 검출 장치;를 포함하며, 조명 장치에서부터의 조명 광선은 광선 분리 장치에서 두 개 광선으로 분리되고, 조명 광선으로부터 분리된 두 개 광선 중 하나는 집광 장치로 진행하며 집광 장치에 의하여 시편에 초

점이 맺히면서 시편을 조명하고, 시편에서부터의 반사 또는 형광 광선은 집광 장치를 통과하여 광선 분리 장치에서 두 개 광선으로 분리되고, 반사 또는 형광 광선으로부터 분리된 두 개 광선 중 하나는 검출 장치로 진행되는 것을 특징으로 하는 광학 장치를 제공한다.

이러한 경우, 반사부는 평면 거울의 중심부이고 투과부는 평면 거울의 주변부이거나, 반사부는 평면 거울의 주변부이고 투과부는 평면 거울의 중심부인 것이 가능하다. 이러한 경우, 평면 거울이 입사 광선에 대하여 소정의 각도 θ 로 기울어졌을 때, 평면 거울 및 반사부 또는 투과부는 단축에 대한 장축의 길이의 비가 $1 / \cos\theta$ 인 타원이며, 입사 광선의 경로에 수직인 면에 투영하였을 때 평면 거울 및 반사부 또는 투과부는 원으로 투영되는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, 상기 소정의 각도는 45° 이고, 상기 단축의 길이에 대한 장축의 길이는 $\sqrt{2}$ 이다.

이러한 경우, 조명 장치는 광선 분리 장치, 집광 장치 및 시편과 일직선 위에 위치하고 검출 장치는 시편으로부터의 반사 또는 형광 광선 중 광선 분리 장치에 반사된 광선의 경로에 위치하거나, 검출 장치는 광선 분리 장치, 집광 장치 및 시편과 일직선 위에 위치하고, 조명 장치는 조명 장치로부터의 조명 광선 중 광선 분리 장치에 반사된 광선이 시편으로 향하도록 위치하도록 광학 장치를 구성할 수 있다.

이하에서 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세하게 설명한다.

[제 1 실시예]

도 5는 본 발명의 제 1 실시예에서 사용되는 광선 분리 거울(10)을 도시한다.

거울(10)은 평면 거울이며, 입사 광선 및 후술할 투과 광선 및 반사 광선의 특성에 따라 그 형태 및 입사 광선에 대한 기울기를 조정할 수 있다. 본 실시예에서는 입사 광선이 원형이고 투과 광선 및 반사 광선이 수직으로 분리되는 경우를 예를 들어 설명한다. 입사 광선이 반경이 'a'인 원형인 경우, 평면 거울(10)이 입사 광선에 대하여 각도 θ 가 기울어졌을 때, 평면 거울(10)은 단축의 길이(r_b)는 'a'이고 장축의 길이(r_a)는 'a / $\cos\theta$ '인 타원이어야 한다.

일 예로서 평면 거울(10)이 입사 광선에 대하여 45° 기울어진 예가 도 6에서 도시된다. 평면 거울(10)은 장축의 길이(r_a)와 단축의 길이(r_b)의 비가 $\sqrt{2} : 1$ 인 타원 모양이다. 도 6에서 도시되는 바와 같이, 평면 거울(10)은 평면 거울(10)로의 입사 광선에 대하여 45° 기울어지게 설치된다. 그러므로 평면 거울(10)이 입사 광선에 수직인 면에 투영되었을 때, 단축의 길이(r_b)는 변하지 아니하고 장축의 길이(r_a)는 $\cos 45^\circ \quad r_a = 1/\sqrt{2} \quad r_a = r_b$ 로 작아지게 되어, 타원 거울(10)은 반지름이 단축의 길이(r_b)와 같은 원으로 투영된다. 여기에서, 타원 거울(10)이 투영된 원의 반지름(r_b)는 입사 광선의 구경과 같다.

평면 거울(10)의 중심부는 유리에 코팅 박막(16)으로 코팅이 되어 있는 코팅 부분(12)이며, 상기 평면 거울의 주변부는 유리에 코팅 박막(16)으로 코팅이 되어 있지 않은 비-코팅 부분(14)이다. 상기 코팅 박막(16)은 입사 광선의 파장에 관계없이 전반사를 할 수 있는 통상적인 거울 코팅 물질을 사용할 수 있다.

코팅 부분(12)은 또한 장축의 길이(r_{a1})와 단축의 길이(r_{b1})의 비가 $\sqrt{2} : 1$ 인 타원이며, 평면 거울(10)이 입사 광선에 수직인 면에 투영되었을 때, 반지름이 단축의 길이(r_{b1})와 같은 원으로 투영된다. 평면 거울(10)로의 입사 광선 중 코팅 부분(12)으로 입사한 광선은 코팅 부분(12)에서 입사 광선에 대하여 수직으로 반사되며, 비-코팅 부분(14)으로 입사한 광선은 비-코팅 부분(14)을 투과하여 통과한다. 그러므로 도 6에서 도시되는 바와 같이 반지름이 r_b 인 원형의 입사 광선이 평면 거울(10)로 입사하는 경우, 상기 입사 광선은 코팅 부분(12)에서 반사한 반지름이 r_{b1} 인 원형의 반사 광선과 비-코팅 부분(14)을 통과한 원형의 투과 광선으로 분리된다. 입사 광선이 위치에 따라 광량이 일정한 평면파인 경우, 반사 광선과 투과 광선의 광량의 비는 수학식 1과 같다.

$$e^2 : 1 - e^2, e \equiv \left(\frac{r_{b1}}{r_b} \right)$$

수학식 1로부터 e 값이 0.7071일 때 반사 광선과 투과 광선의 광량은 같아지며, 0.7071보다 크면 반사 광선의 광량이 투과 광선의 광량보다 크며, 0.7071보다 작으면 반사 광선의 광량이 투과 광선의 광량보다 작아지게 된다.

이상에서 설명한 바와 같이 입사 광선은 두 개의 광선으로 분리가 가능하며, 파장에 상관없이 전반사하는 코팅 재질로 코팅된 거울을 사용하기 때문에, 반사 광선 및 투과 광선의 광량은 코팅 면적에 따라 결정된다.

전술한 예에서는 중심부는 코팅된 유리이고 주변부는 코팅되지 않은 유리로 구성된 광선 분리 거울에 대하여 기술하였다. 그러나, 입사 광선의 구경에 비하여 작은 구경을 가지는 반사 물질이 코팅된 유리, 즉 거울을 사용하는 것도 가능하다. 이러한 경우 중심부에 위치한 거울은 광선을 반사시키는 전술한 코팅 부분(12)과 같이 작용하고, 주변부의 빈 공간은 광선을 투과시키는 전술한 비-코팅 부분(14)과 같이 작용하는 것이 명백할 것이다.

전술한 광선 분리 방법의 예에서는 입사 광선이 원형이고, 반사 광선은 입사 광선에 대하여 수직으로 반사되는 경우에 대하여 기술하였다. 그러나, 입사 광선이 사각형, 타원 등의 다른 형태로 입사하는 것도 가능하며, 또한 투과 광선 또는 반사 광선이 사각형, 타원 등의 다른 형태로 광선 분리 거울을 통과하는 것도 가능하다. 그리고, 광선 분리 거울이 입사 광선에 대하여 45°가 아닌 소정의 각도로 기울어져, 광선 분리 거울로부터의 반사 광선이 입사 광선에 대하여 수직이 아닌 다른 각도로 방출되는 것도 가능하다. 거울의 형태와 기울기는 사용 목적에 따라 조정될 것이다.

도 7은 전술한 거울을 사용하는 광학 장치의 일 예이다. 광학 장치는 광선 분리 장치(10)(전술한 광선 분리 거울), 조명 장치(20), 집광 장치(30), 시편(40) 및 검출 장치(50)로 구성된다. 이러한 광학 장치는 반사 또는 형광 현미경, 공초점 현미경 및 픽업 시스템 등에서 사용된다.

조명 장치(20)는 시편(40)을 조명하기 위한 광원을 포함한다. 광원은 넓은 파장의 빛을 방출하는 전구, 특정 파장의 빛만을 방출하는 레이저 등 다양한 장치가 사용 가능하다.

집광 장치(30)는 평행하게 입사하는 광선을 초점으로 모으거나 한 점으로부터 입사하는 광선을 평행하게 투과시키기 위한 볼록렌즈 또는 오목 거울이 사용된다.

시편(40)은 관측 대상을 고정하기 위한 장치이다.

검출 장치(50)는 시편(40) 상의 관측 대상이 조명 장치(20)로부터의 광선을 반사하거나 형광한 빛을 검출하기 위한 장치이다. 검출 장치(50)에는 직접 눈으로 관측하기 위한 접안렌즈 또는 데이터 파일로 영상을 저장하기 위한 CCD, 광전검출기 등의 장치 등이 사용될 수 있다. 또는 공초점 현미경에서는 바늘 구멍(pin hole)을 더 포함할 수 있다.

도 7에서, 조명 장치(20)에서 방출되는 조명 광선은 광선 분리 장치(10)로 진행된다. 광선 분리 장치(10)로 입사한 조명 광선 중 중심부로 입사한 광선은 반사되며, 주변부로 입사한 광선은 투과된다. 도 7에서, 반사된 광선은 사용되지 아니하며 투과된 광선, 즉 중심부가 제거된 환형 광선만이 집광 장치(30)로 진행된다. 집광 장치(30)로 진행된 조명 광선은 집광 장치(30)에 의하여 시편(40)에 초점이 맺히게 된다. 그리하여 시편(40)에 있는 관측 대상은 조명을 받으면, 조명 광선을 반사하거나 조명 광선에 의하여 여기된 후 관측 대상의 에너지 준위에 해당하는 조명 광선의 파장보다 장파장의 광선을 방출한다. 이렇게 시편(40) 상의 관측 대상으로부터 반사 또는 형광된 광선은 다시 집광 장치(30)로 진행된다. 집광 장치(30)로 진행된 반사/형광 광선은 광선 진행 장치(30)에서 평행파가 된다. 집광 장치(30)를 통과한 반사/형광 광선은 다시 광선 분리 장치(10)로 진행된다. 광선 분리 장치(10)로 입사한 반사/형광 광선 중 주변부로 입사한 광선은 광선 분리 장치(10)를 투과해서 조명 장치(20)로 진행하여 사용되지 않고, 중심부로 입사한 광선은 광선 분리 장치(10)에 반사되어 검출 장치(50)로 진행되어 시편(40) 상의 관측 대상의 영상을 관측하게 된다.

이러한 장치에서 조명 광선의 중심부가 제거된 환형의 광선만이 광선 분리 장치(10)를 통과하여 시편(40)을 조명하기 때문에 아포다이제이션 효과가 생기게 된다.

평면파(조명 광선)가 집광 장치(30)에 의하여 시편(40)에 초점이 맺히게 될 때, 실제로는 초점면(시편(40))에서 상은 점이 아니라 일정한 크기를 가지게 된다. 초점면에서 밝기($I(r)$) 분포 함수(점 확산 함수, point spread function(PSF))는 구경(즉 집광 장치(30))에서 아포다이제이션 함수($A(r')$)를 푸리에 변환하여 얻을 수 있다. PSF를 극좌표계로 표현하면 수학식 2와 같이 주어진다.

$$I(r) = |h(r)|^2$$

$$h(r) \propto \int_{-\infty}^{\infty} A(r') J_0\left(\frac{2\pi r r'}{\lambda f}\right) 2\pi r r' dr'$$

수학식 2에서 r 은 시편(40) 면에서 광선의 중심으로부터의 거리이고, r' 는 집광 장치(30) 면에서 광선의 중심으로부터의 거리이다. λ 는 광선의 파장이며, f 는 집광 장치의 초점 거리이다. J_0 는 0차 베셀 함수이다.

비교예로서 아포다이제이션 효과가 없는 경우, 즉 집광 장치(30)의 원형의 구경 내에 일정한 광선이 입사하는 경우 또는 광선 분리 장치(10)에 입사하는 광선이 모두 투과하는 경우($0 \leq r' \leq r_b$ 일 때 $A(r') = 1$ 이고 $r' > r_b$ 일 때 $A(r') = 0$ 인 경우)에 광도($I(r)$)의 분포는 수학식 2로부터 수학식 3으로 유도된다.

$$I(v) \propto \left[\frac{2J_1(v)}{v} \right]^2$$

$$v = \frac{2\pi}{\lambda f} r$$

수학식 3에서 v 는 시편(40)에서 광선에서부터의 거리(r)를 파장 및 초점 거리로 정규화한 거리이고, J_1 은 1차 베셀 함수이다. 수학식 3은 도 8에서 실선($e \equiv r_{b1}/r_b = 0$)으로 도시된다. 도 8에서 가로축은 정규화된 거리(v)이며, 세로축은 ($v = 0$)에서 광도가 1로 정규화된 광도($I(v)/I(0)$)이다.

본 실시예에서 e 값이 0과 1 사이의 값을 가지는 경우, $A(r')$ 은 $r_b \times e (= r_{b1}) \leq r' \leq r_b$ 일 때 1이고 다른 구간에서는 0인 분포를 가진다. e 값이 0.5인 경우와 0.9인 경우에 대하여 수학식 2의 푸리에 변환을 통하여 $I(k)/I(0)$ 의 분포를 구하고 도 8에서 각각 파선과 점선으로 도시하였다. 도 8에서 도시되는 바와 같이, e 값이 증가함에 따라 주빔(main beam)의 폭이 작아지므로 분해능이 향상되는 것을 볼 수 있다. 다만, e 값이 증가함에 따라 조명 장치(20)에서 방출되는 전체 조명 광량에 대한 시편(40)에 입사되는 조명 광량의 비($(1 - e^2)$ 에 비례)가 줄어들며, 사이드 로브(side lobe)의 상대적인 강도가 증가(도 8 참조)하는 단점이 있으므로, 적절한 e 값을 사용하는 것이 바람직하다.

한편, 도 7에서와는 다르게 광선 분리 장치(10)에서 반사된 빛을 이용하여 시편(40)을 조명하는 것도 가능하다. 이러한 경우, 조명 장치(20)에서 방출된 광선 중 광선 분리 장치(10)의 중앙부에서 반사된 광선이 집광 장치(30)를 통과하여 시편(40)을 조명하고, 시편(40)에서 반사/형광된 광선은 집광 장치(30)를 통과하여 광선 분리 장치(10)의 주변부를 통과하여 검출 장치(50)로 진행한다.

이러한 경우에는 집광 장치(30)에 입사하는 광선의 구경이 r_b 에서 r_{b1} 으로 작아진 효과가 있으므로 시편(40)에서 초점면에 맺힌 광선의 크기가 증가하게 된다. 그러나, 시편(40)에서 반사/형광된 빛은 광선 분리 장치(10)의 주변부만 통과하여 검출 장치로 진행하므로, 결국 검출 장치에서 얻는 영상의 분해능은 향상된다.

전술한 광학 장치의 예에서는 조명 광선 및 반사/형광 광선이 원형이고, 광선 분리 장치에서의 반사 광선은 광선 분리 장치로의 입사 광선에 대하여 수직으로 반사되는 경우에 대하여 기술하였다. 그러나, 광선 분리 장치로의 입사 광선이 사각형, 타원 등의 다른 형태로 광선 분리 장치로 입사하는 것도 가능하며, 또한 투과 광선 또는 반사 광선이 사각형, 타원 등의 다

른 형태로 광선 분리 장치를 통과하는 것도 가능하다. 그리고, 광선 분리 거울이 입사 광선에 대하여 45°가 아닌 소정의 각도로 기울어져, 광선 분리 거울로부터의 반사 광선이 입사 광선에 대하여 수직이 아닌 다른 각도로 방출되는 것도 가능하다. 거울의 형태와 기울기는 본 발명에 의한 광선 분리 방법을 사용하는 광학 장치의 설계 변수에 따라 조정될 것이다.

[제 2 실시예]

도 9는 본 발명의 제 2 실시예에서 사용되는 광선 분리 거울(10)을 도시한다.

거울(10)은 평면 거울이며, 입사 광선 및 후술할 투과 광선 및 반사 광선의 특성에 따라 그 형태 및 입사 광선에 대한 기울기를 조절할 수 있다. 본 실시예에서는 제1 실시예에서와 같이 입사 광선이 원형이고 투과 광선 및 반사 광선이 수직으로 분리되는 경우를 예를 들어 설명한다. 입사 광선이 반경이 'a'인 원형인 경우, 평면 거울(10)이 입사 광선에 대하여 각도 θ 가 기울어졌을 때, 평면 거울(10)은 단축의 길이(r_b)는 'a'이고 장축의 길이(r_a)는 'a / cos θ '인 타원이어야 한다.

일 예로서 평면 거울(10)이 입사 광선에 대하여 45° 기울어진 예가 도 10에서 도시된다. 거울(10)은 장축의 길이(r_a)와 단

축의 길이(r_b)의 비가 $\sqrt{2} : 1$ 인 타원 모양인 평면 거울이다. 도 10에서 도시되는 바와 같이, 평면 거울(10)은 평면 거울(10)로의 입사 광선에 대하여 45° 기울어지게 설치된다. 그러므로 평면 거울(10)이 입사 광선에 수직인 면에 투영되었을

때, 단축의 길이(r_b)는 변하지 아니하고 장축의 길이(r_a)는 $\cos 45^\circ \quad r_a = 1/\sqrt{2} \quad r_a = r_b$ 로 작아지게 되어, 타원 거울(10)은 반지름이 단축의 길이(r_b)와 같은 원으로 투영된다.

평면 거울(10)의 주변부는 유리에 코팅 박막(16')으로 코팅이 되어 있는 코팅 부분(12')이며, 상기 평면 거울의 중심부는 유리에 코팅 박막(16')으로 코팅이 되어 있지 않은 비-코팅 부분(14')이다. 상기 코팅 박막(16')은 제 1 실시예에서와 같이 입사 광선의 파장에 관계없이 전반사를 할 수 있는 통상적인 거울 코팅 물질을 사용할 수 있다.

비-코팅 부분(12')은 또한 장축의 길이(r_{a2})와 단축의 길이(r_{b2})의 비가 $\sqrt{2} : 1$ 인 타원이며, 평면 거울(10)이 입사 광선에 수직인 면에 투영되었을 때, 반지름이 단축의 길이(r_{b2})와 같은 원으로 투영된다. 평면 거울(10)로의 입사 광선 중 코팅 부분(12')으로 입사한 광선은 코팅 부분(12')에서 입사 광선에 대하여 수직으로 반사되며, 비-코팅 부분(14')으로 입사한 광선은 비-코팅 부분(14')을 투과하여 통과한다. 그러므로 도 10에서 도시되는 바와 같이 반지름이 r_b 인 원형의 입사 광선이 평면 거울(10)로 입사하는 경우, 상기 입사 광선은 비-코팅 부분(14')을 투과한 반지름이 r_{b2} 인 원형의 반사 광선과 코팅 부분(12')을 통과한 환형의 반사 광선으로 분리된다. 입사 광선이 위치에 따라 광량이 일정한 평면파인 경우, 반사 광선과 투과 광선의 광량의 비는 수학식 4와 같다.

$$1 - e^2 : e^2, \quad e \equiv \left(\frac{r_{b2}}{r_b} \right)$$

수학식 1로부터 e값이 0.7071일 때 반사 광선과 투과 광선의 광량은 같아지며, 0.7071보다 크면 반사 광선의 광량이 투과 광선의 광량보다 작고, 0.7071보다 작으면 반사 광선의 광량이 투과 광선의 광량보다 커지게 된다.

이상에서 설명한 바와 같이 입사 광선은 두 개의 광선으로 분리가 가능하며, 파장에 상관없이 전반사하는 코팅 재질로 코팅한 거울을 사용하기 때문에, 반사 광선 및 투과 광선의 광량은 코팅 면적에 따라 결정된다.

전술한 예에서는 주변부는 코팅된 유리이고 중심부는 코팅되지 않은 유리로 구성된 광선 분리 거울에 대하여 기술하였다. 그러나, 중심부가 제거된 거울을 사용하는 것도 가능하다. 이러한 경우 중심부가 제거된 거울은 광선을 반사시키는 전술한 코팅 부분(12')과 같이 작용하고, 중심부의 빈 공간은 광선을 투과시키는 전술한 비-코팅 부분(14')과 같이 작용하는 것이 명백할 것이다.

도 11은 전술한 거울을 사용하는 광학 장치의 일 예이다. 도 11은 도 7과 유사하며 다만 중심부가 코팅 부분이고 주변부가 비-코팅 부분이 광선 분리 장치(10) 대신에 중심부가 비-코팅 부분이고 주변부가 코팅 부분인 광선 분리 장치(10')를 사용한 것이 다르다. 도 11에서 도 7과 같은 부호에 대하여는 설명이 생략된다.

도 11에서, 조명 장치(20)에서 방출되는 조명 광선은 광선 분리 장치(10')로 진행된다. 광선 분리 장치(10')로 입사한 조명 광선 중 주변부로 입사한 광선은 반사되며, 중심부로 입사한 광선은 투과된다. 도 11에서, 반사된 광선은 사용되지 아니하며 투과된 광선, 즉 구경이 작아진 광선만이 집광 장치(30)로 진행된다. 집광 장치(30)로 진행한 조명 광선은 집광 장치(30)에 의하여 시편(40)에 초점이 맺히게 된다. 그리하여 시편(40)에 있는 관측 대상은 조명을 받으면, 조명 광선을 반사하거나 조명 광선에 의하여 여기된 후 관측 대상의 에너지 준위에 해당하는 조명 광선의 파장보다 장파장의 광선을 방출한다. 이렇게 시편(40) 상의 관측 대상으로부터 반사 또는 형광된 광선은 다시 집광 장치(30)로 진행된다. 집광 장치(30)로 진행한 반사/형광 광선은 광선 진행 장치(30)에서 평행파가 된다. 집광 장치(30)를 통과한 반사/형광 광선은 다시 광선 분리 장치(10')로 진행된다. 광선 분리 장치(10')로 입사한 반사/형광 광선 중 중심부로 입사한 광선은 광선 분리 장치(10')를 투과해서 조명 장치(20)로 진행하여 사용되지 않고, 주변부로 입사한 광선은 광선 분리 장치(10')에 반사되어 검출 장치(50)로 진행되어 시편(40) 상의 관측 대상의 영상을 관측하게 된다.

이러한 경우, 시편(40)을 조명하는 광선은 제 1 실시예에서 광선 분리기(10)에서 반사된 광선과 같다. 즉 집광 장치(30)로 입사하는 광선의 구경이 r_b 에서 r_{b2} 로 작아진 효과가 있으므로 시편(40)에서 초점면에 맺힌 광선의 크기는 증가하게 된다. 그러나, 시편(40)에서 반사/형광된 빛은 광선 분리 장치(10')의 주변부만 통과하여 검출 장치로 진행하므로, 결국 검출 장치에서 얻는 영상의 분해능은 향상된다.

한편, 도 11에서와는 다르게 광선 분리 장치(10')에서 반사된 빛을 사용하여 시편(40)을 조명하는 것도 가능하다. 이러한 경우, 조명 장치(20)에서 방출된 광선 중 광선 분리 장치(10')의 주변부에서 반사된 광선이 집광 장치(30)를 통과하여 시편(40)을 조명하고, 시편(40)에서 반사/형광된 광선은 집광 장치(30)를 통과하여 광선 분리 장치(10')의 중심부를 투과하여 검출 장치로 진행된다.

이러한 경우, 시편(40)을 조명하는 광선은 제 1 실시예에서 광선 분리 장치(10)를 투과한 광선과 같다. 즉 중심부가 제거된 환형의 광선만이 광선 분리 장치(10')를 통과하여 시편(40)을 조명하게 된다. 제 1 실시예에서 전술된 바와 같이, 이러한 경우에 아포다이제이션 효과에 의하여 시편(40)에 맺히는 상의 점 퍼짐 함수는 도 8에서 도시된 바와 같다. 그러므로 시편(40)을 조명하는 광선의 분해능은 향상되는 것을 볼 수 있다.

전술한 광선 분리 방법 및 광학 장치의 예에서는 광선 분리 거울 또는 장치로의 입사 광선이 원형이고, 광선 분리 거울 또는 장치에서의 반사 광선은 광선 분리 장치로의 입사 광선에 대하여 수직으로 반사되는 경우에 대하여 기술하였다. 그러나, 광선 분리 거울 또는 장치로의 입사 광선이 사각형, 타원 등의 다른 형태로 광선 분리 거울 또는 장치로 입사하는 것도 가능하며, 또한 투과 광선 또는 반사 광선이 사각형, 타원 등의 다른 형태로 광선 분리 장치를 통과하는 것도 가능하다. 그리고, 광선 분리 거울이 입사 광선에 대하여 45°가 아닌 소정의 각도로 기울어져, 광선 분리 거울 또는 장치로부터의 반사 광선이 입사 광선에 대하여 수직이 아닌 다른 각도로 방출되는 것도 가능하다. 거울의 형태와 기울기는 본 발명에 의한 광선 분리 방법을 사용하는 광학 장치의 설계 변수에 따라 조정될 것이다.

발명의 효과

이러한 광선 분리 방법 및 광학 장치는 기존의 광선 분리 방법 및 장치에 비하면, 거울의 반사 특성을 이용하기 때문에 파장에 독립적으로 넓은 파장대에서 사용 가능하고, 구조가 간단하여 낮은 단가에서 사용 가능하며 광학 장치를 소형화시킬 수 있으며, 아포다이제이션 효과에 의하여 광학 장치의 분해능을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

이러한 본 발명에 의한 광선 분리 방법 및 광학 장치는 일반 반사 또는 형광 현미경, 공초점 현미경, 픽업 시스템에서 주로 사용 가능하다. 또한 본 발명에 의한 광선 분리 방법 및 광학 장치는 렌즈로 입사한 광선을 집안부와 활상부로의 경로로 나누는 카메라, 다른 경로로 입사한 복수의 광선의 간섭 효과를 이용하는 간섭계 등에서도 사용 가능할 것이다.

본 발명의 요지와 범위로부터 벗어남이 없이 다양한 수정이나 변형을 하는 것이 당업자에게 가능하다. 따라서 첨부된 특허 청구의 범위는 본 발명의 요지에서 속하는 이러한 수정이나 변형을 포함할 것이다.

도면의 간단한 설명

도 1은 광선 분리기의 역할을 설명하기 위한 개념도

도 2는 종래 기술인 큐브형 광선 분리기의 개념도

도 3은 종래 기술인 반도체 거울 광선 분리기의 개념도

도 4는 종래 기술인 색 선별 광선 분리기의 개념도

도 5는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 광선 분리 방법에 사용되는 거울의 평면도 및 측면도

도 6은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 광선 분리 방법을 도시하는 개념도

도 7은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 광선 분리 방법을 이용하는 장치를 사용하는 광학 장치의 개념도

도 8은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 광선 분리 방법을 이용하는 장치의 시편에 조명되는 광선의 점 확산 함수(PSF)를 도시하는 그래프

도 9는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 광선 분리 방법에 사용되는 거울의 평면도 및 측면도

도 10은 본 발명의 제 2 실시예에 따른 광선 분리 방법을 도시하는 개념도

도 11은 본 발명의 제 2 실시예에 따른 광선 분리 방법을 이용하는 장치를 사용하는 광학 장치의 개념도

<도면의 부호의 설명>

10, 10' : 광선 분리 거울 12, 12' : 코팅 부분

14, 14' : 비-코팅 부분 16, 16' : 코팅 박막

20 : 조명 장치 30 : 집광 장치

40 : 시편 50 : 검출 장치

100 : 광선 분리기

110 : 큐브형 광선 분리기 112, 114 : 프리즘

116 : 수지

120 : 반도체 거울 광선 분리기 122 : 유리

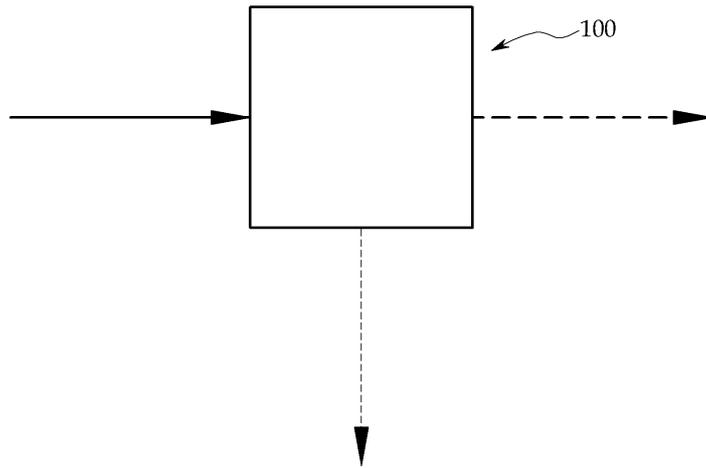
124 : 금속 박막

130 : 색 선별 광선 분리기 132 : 유리

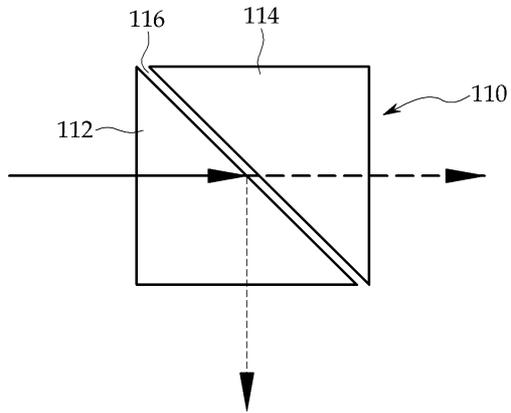
134 : 다층 박막

도면

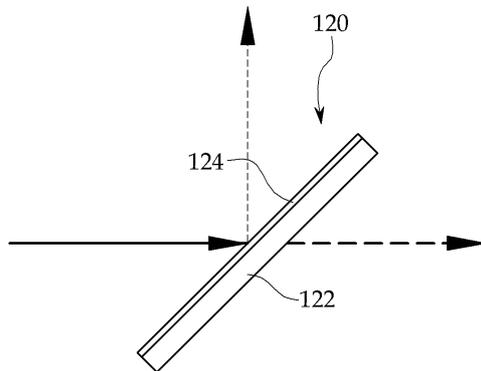
도면1



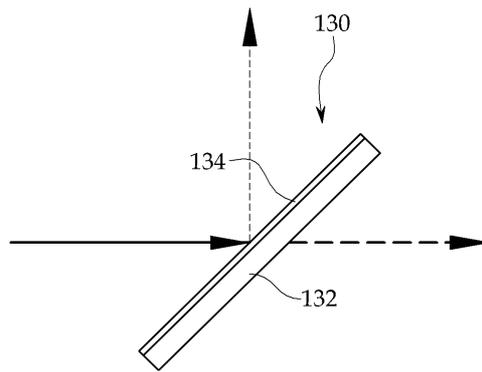
도면2



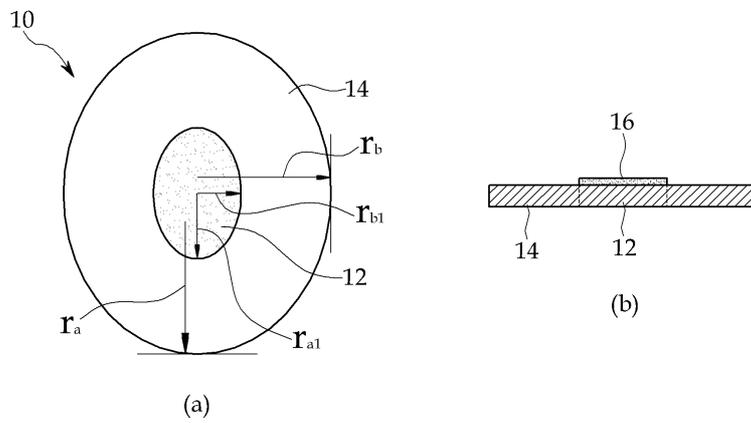
도면3



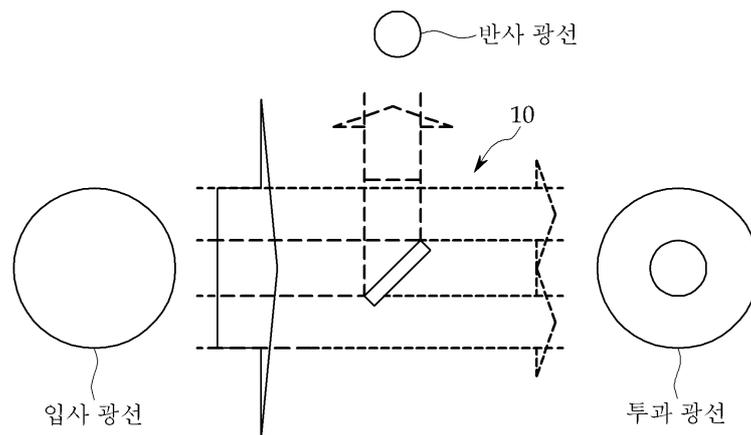
도면4



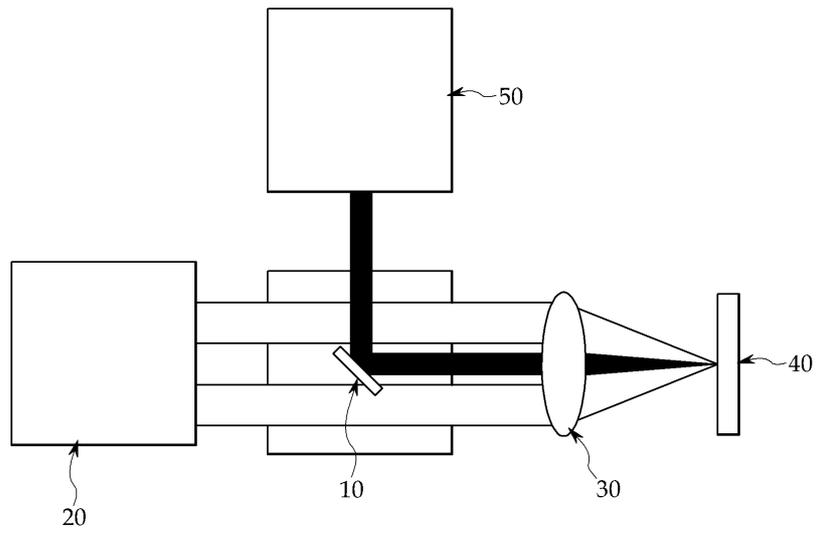
도면5



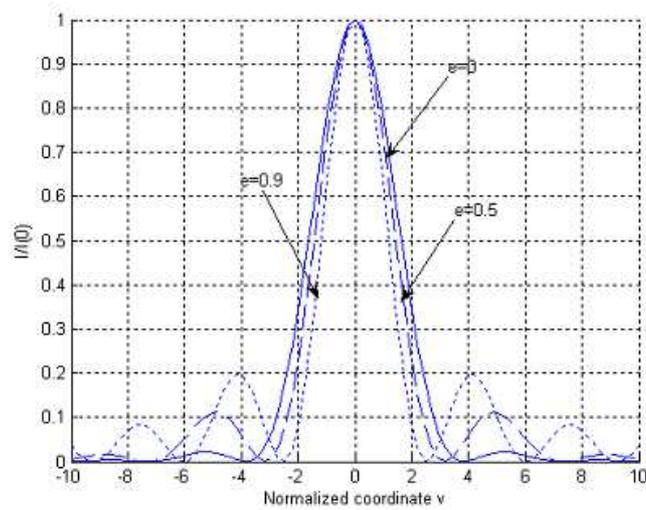
도면6



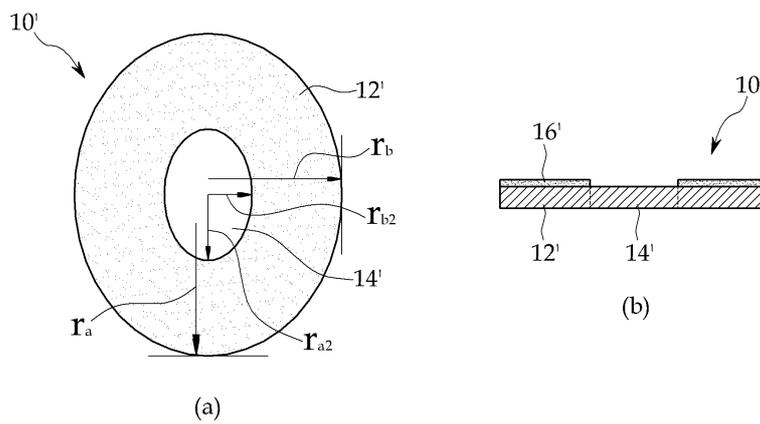
도면7



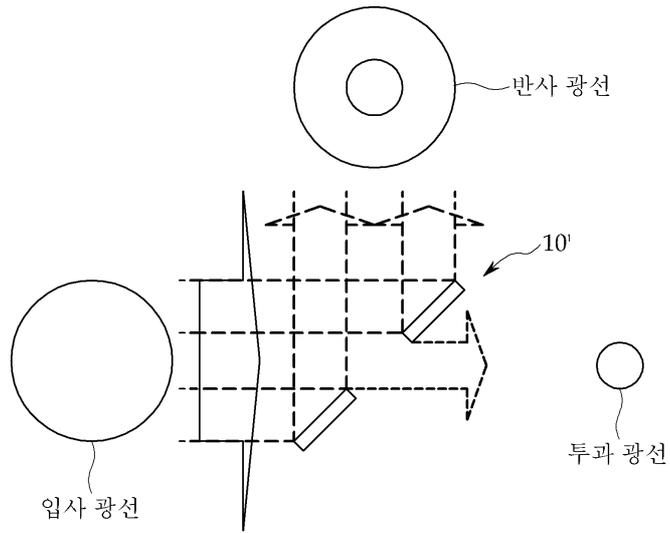
도면8



도면9



도면10



도면11

