



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년09월30일  
(11) 등록번호 10-2712416  
(24) 등록일자 2024년09월26일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G02B 27/00 (2020.01) G02B 5/30 (2022.01)
- (52) CPC특허분류  
G02B 27/005 (2013.01)  
G02B 5/3025 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2020-7014400
- (22) 출원일자(국제) 2018년10월23일  
심사청구일자 2021년09월16일
- (85) 번역문제출일자 2020년05월20일
- (65) 공개번호 10-2020-0074181
- (43) 공개일자 2020년06월24일
- (86) 국제출원번호 PCT/IB2018/058260
- (87) 국제공개번호 WO 2019/082080  
국제공개일자 2019년05월02일
- (30) 우선권주장  
62/578,057 2017년10월27일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌  
KR1020170063803 A  
KR1020130034576 A  
JP2006145884 A

- (73) 특허권자  
쓰리엠 이노베이티브 프로퍼티즈 컴파니  
미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 피.오.박스 33427 쓰리엠 센터
- (72) 발명자  
윙 티모시 엘  
미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 포스트 오피스 박스 33427 쓰리엠 센터
- (74) 대리인  
유미특허법인

전체 청구항 수 : 총 10 항

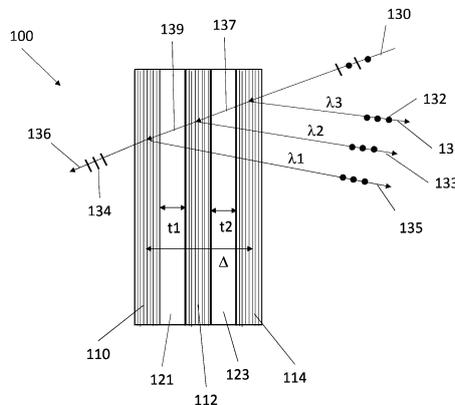
심사관 : 박정욱

(54) 발명의 명칭 광학 시스템

(57) 요약

반사 편광기를 포함하는 광학 시스템이 기술된다. 반사 편광기는 제1 및 제2 반사 구역들을 포함하여, 반사 편광기에 실질적으로 수직으로 입사하는 광에 대해, 제1 구역이 제1 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키고 상이한 비-중첩 제2 파장 범위 내의 광을 실질적으로 투과시키며, 제2 구역이 제2 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키고 제1 파장 범위 내의 광을 실질적으로 투과시키도록 한다. 제1 및 제2 반사 구역들은 거리(d)만큼 분리된 대응하는 제1 및 제2 중간점들을 갖는 제1 및 제2 두께들을 갖는다. 일부 실시 형태에서, 제1 및 제2 반사 구역들이 바로 인접하도록 d를 감소시킬 때 야기되는 제1 파장 범위로부터 제2 파장 범위까지의 광학 이미징 시스템의 종방향 색수차가 거리(h)이고, 여기서  $0.3h < d < 0.7h$ 이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류  
*G02B 5/3041* (2013.01)

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

관찰자에게 이미지를 표시하기 위한 광학 시스템으로서,

만곡된 제1 주 표면(major surface)을 포함하는 제1 광학 렌즈;

제1 광학 렌즈의 만곡된 제1 주 표면 상에 배치되어 이에 정합하고, 제1, 제2 및 제3 색상 광들 각각에 대해 30% 이상의 평균 광학 반사율(average optical reflectance)을 갖는 부분 반사기;

만곡된 제1 주 표면을 포함하는 제2 광학 렌즈;

제2 광학 렌즈의 만곡된 제1 주 표면 상에 배치되어 이에 정합하는 일체형 반사 편광기

를 포함하며,

일체형 반사 편광기는,

제1 편광 상태를 갖는 제1 색상 광을 반사시키고, 직교하는 제2 편광 상태를 갖는 제1 색상 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태들 각각에 대한 제2 및 제3 색상 광들을 투과시키도록 구성되는 제1 복수의 순차적으로 배열된 간섭 층들;

총 제1 두께를 갖는 하나 이상의 제1 비-간섭 층들에 의해 제1 복수의 간섭 층들로부터 분리되는 제2 복수의 순차적으로 배열된 간섭 층들 - 제2 복수의 간섭 층들은 제1 편광 상태를 갖는 제2 색상 광을 반사시키고, 제2 편광 상태를 갖는 제2 색상 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태들 각각에 대한 제1 및 제3 색상 광들을 투과시키도록 구성됨 -; 및

총 제2 두께를 갖는 하나 이상의 제2 비-간섭 층들에 의해 제2 복수의 간섭 층들로부터 분리되는 제3 복수의 순차적으로 배열된 간섭 층들 - 제3 복수의 간섭 층들은 제1 편광 상태를 갖는 제3 색상 광을 반사시키고, 제2 편광 상태를 갖는 제3 색상 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태들 각각에 대해 제1 및 제2 색상 광들을 투과시키도록 구성됨 -

을 포함하며,

제1, 제2 및 제3 복수의 간섭 층들 내의 각각의 간섭 층은 주로 광 간섭에 의해 광을 반사 또는 투과시키고, 각각의 제1 및 제2 비-간섭 층은 주로 광 간섭에 의해 광을 반사 또는 투과시키지 않으며, 제2 복수의 간섭 층들은 제1 및 제2 두께들 각각을 10%만큼 변화시키는 것이 광학 시스템의 색수차(chromatic aberration)의 크기를 20% 이상만큼 증가시키도록 제1 복수의 간섭 층들과 제3 복수의 간섭 층들 사이에 배치되는, 광학 시스템.

**청구항 2**

제1항에 있어서, 제1 색상 광은 적색이고, 제2 색상 광은 녹색이며, 제3 색상 광은 청색인, 광학 시스템.

**청구항 3**

제1항 또는 제2항에 있어서, 반사 편광기는 반대편의 제1 및 제2 주 표면들을 포함하고, 제2 주 표면은 관찰자에 대면하며, 광학 시스템은 제1 색상 광으로부터 제2 색상 광까지의 제1 종방향 색수차(d1)를 가져, 제1 주 표면이 관찰자에 대면하도록 반사 편광기를 역전시키는 것이 광학 시스템이 제1 색상 광으로부터 제3 색상 광까지의 제2 종방향 색수차(d2)를 갖게 하도록 하고,  $d2 > d1$ 인, 광학 시스템.

**청구항 4**

관찰자에게 이미지를 표시하기 위한 광학 이미징 시스템으로서,

제1 및 제2 반사 구역들을 포함하는 반사 편광기를 포함하여, 반사 편광기에 실질적으로 수직으로 입사되는 광에 대해, 제1 구역이 제1 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키고 상이한 비-중첩 제2 파장 범위 내의 광을 실질적으로 투과시키며, 제2 구역이 제2 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키고 제1 파장 범위 내의 광을

실질적으로 투과시키도록 하고,

제1 및 제2 반사 구역들은 거리(d)만큼 분리된 대응하는 제1 및 제2 중간점들을 갖는 제1 및 제2 두께들을 가져, 제1 및 제2 반사 구역들이 바로 인접하도록 d를 감소시킬 때 야기되는, 제1 파장 범위로부터 제2 파장 범위까지의 광학 이미징 시스템의 종방향 색수차가 거리(h)이도록 하며,  $0.3h \leq d \leq 0.7h$ 인, 광학 이미징 시스템.

**청구항 5**

제4항에 있어서, 반사 편광기는 제1 반사 구역과 제2 반사 구역 사이에 배치된 제3 반사 구역을 추가로 포함하여, 반사 편광기에 실질적으로 수직으로 입사하는 광에 대해, 제3 구역이 제1 파장 범위와 제2 파장 범위 사이에 있고 이들 파장 범위와 중첩하지 않는 제3 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키도록 하는, 광학 이미징 시스템.

**청구항 6**

제4항 또는 제5항에 있어서, 반사 편광기는 반대편의 제1 및 제2 주 표면들을 포함하고, 제2 주 표면은 관찰자에 대면하며, 광학 이미징 시스템은 제1 파장 범위 내의 광으로부터 제2 파장 범위 내의 광까지의 제1 종방향 색수차(d1)를 가져, 제1 주 표면이 관찰자에 대면하도록 반사 편광기를 역전시키는 것이 광학 이미징 시스템이 제1 파장 범위 내의 광으로부터 제2 파장 범위 내의 광까지의 제2 종방향 색수차(d2)를 갖게 하도록 하고,  $d2 > d1$ 인, 광학 이미징 시스템.

**청구항 7**

관찰자에게 물체의 이미지를 표시하기 위한 광학 이미징 시스템으로서,

반대편의 제1 및 제2 주 표면들을 포함하는 반사 편광기를 포함하고, 제1 주 표면은 물체에 대면하며, 광학 이미징 시스템은 제1 색상 파장으로부터 제2 색상 파장까지의 제1 종방향 색수차(d1)를 가져, 제2 주 표면이 물체에 대면하도록 반사 편광기를 역전시키는 것이 광학 이미징 시스템이 제1 색상 파장으로부터 제2 색상 파장까지의 제2 종방향 색수차(d2)를 갖게 하도록 하고,  $d2 > d1$ 인, 광학 이미징 시스템.

**청구항 8**

제7항에 있어서, 반사 편광기는,

제1 편광 상태에 대한 제1 색상 파장을 갖는 광을 반사시키고, 직교하는 제2 편광 상태에 대한 제1 색상 파장을 갖는 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태들 각각에 대한 제2 색상 파장을 갖는 광을 투과시키도록 구성되는 제1 복수의 간섭 층들; 및

제1 편광 상태에 대한 제2 색상 파장을 갖는 광을 반사시키고, 제2 편광 상태에 대한 제2 색상 파장을 갖는 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태들 각각에 대한 제1 색상 파장을 갖는 광을 투과시키도록 구성되는 제2 복수의 간섭 층들

을 포함하고,

제1 및 제2 복수의 간섭 층들은 각자의 제1 및 제2 중간점들을 가져, 제1 중간점과 제2 중간점 사이의 거리를 10%만큼 변화시키는 것이 제1 종방향 색수차를 20% 이상만큼 증가시키도록 하는, 광학 이미징 시스템.

**청구항 9**

관찰자에게 물체의 이미지를 표시하기 위한 광학 이미징 시스템으로서,

물체에 대면하는 제1 주 표면, 및 적어도 400 내지 600 nm로 연장되는 미리 결정된 파장 범위에서 주로 광 간섭에 의해 광을 반사 및 투과시키고 모두 50개 이상이 되는 복수의 중합체 간섭 층들을 포함하는 반사 편광기를 포함하여, 제1 주 표면이 물체로부터 멀리 대면하도록 반사 편광기를 역전시키는 것이 미리 결정된 파장 범위에서의 광학 이미징 시스템의 종방향 색수차를 20% 이상만큼 증가시키도록 하는, 광학 이미징 시스템.

**청구항 10**

제9항에 있어서, 반사 편광기는 제1 및 제2 반사 구역들을 포함하여, 반사 편광기에 실질적으로 수직으로 입사

되는 광에 대해, 제1 구역이 미리 결정된 파장 범위 내의 제1 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키고 미리 결정된 파장 범위 내의 상이한 비-중첩 제2 파장 범위 내의 광을 실질적으로 투과시키며, 제2 구역이 제2 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키고 제1 파장 범위 내의 광을 실질적으로 투과시키도록 하고,

제1 및 제2 반사 구역들은 거리(d)만큼 분리된 대응하는 제1 및 제2 중간점들을 갖는 제1 및 제2 두께들을 가져, 제1 및 제2 반사 구역들이 바로 인접하도록 d를 감소시킬 때 야기되는, 제1 파장 범위로부터 제2 파장 범위까지의 광학 이미징 시스템의 종방향 색수차가 거리(h)이도록 하며,  $0.3h \leq d \leq 0.7h$ 인, 광학 이미징 시스템.

**청구항 11**

삭제

**청구항 12**

삭제

**청구항 13**

삭제

**청구항 14**

삭제

**청구항 15**

삭제

**발명의 설명**

**배경 기술**

[0001] 광학 시스템은 광학 수차(optical aberration)를 나타낼 수 있다. 색수차(chromatic aberration)는 광의 축방향 또는 종방향(longitudinal) 초점이 파장에 따라 변하는 광학 수차이다. 종방향 색상(때때로 축방향 색상 또는 초점 시프트(focal shift)로 불림)에서, 상이한 파장들에 대해 초점 평면 위치의 차이가 있다.

**발명의 내용**

[0002] 본 발명의 일부 태양에서, 관찰자에게 이미지를 표시하기 위한 광학 시스템이 제공된다. 광학 시스템은 만곡된 제1 주 표면(major surface)을 포함하는 제1 광학 렌즈; 제1 광학 렌즈의 만곡된 제1 주 표면 상에 배치되어 이에 정합하고, 제1, 제2 및 제3 색상 광들 각각에 대해 30% 이상의 평균 광학 반사율(average optical reflectance)을 갖는 부분 반사기; 만곡된 제1 주 표면을 포함하는 제2 광학 렌즈; 제2 광학 렌즈의 만곡된 제1 주 표면 상에 배치되어 이에 정합하는 일체형 반사 편광기를 포함한다. 일체형 반사 편광기는 제1 편광 상태를 갖는 제1 색상 광을 반사시키고, 직교하는 제2 편광 상태를 갖는 제1 색상 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태들 각각에 대한 제2 및 제3 색상 광들을 투과시키도록 구성되는 제1 복수의 순차적으로 배열된 간섭 층들; 총 제1 두께를 갖는 하나 이상의 제1 비-간섭 층들에 의해 제1 복수의 간섭 층들로부터 분리되는 제2 복수의 순차적으로 배열된 간섭 층들 - 제2 복수의 간섭 층들은 제1 편광 상태를 갖는 제2 색상 광을 반사시키고, 제2 편광 상태를 갖는 제2 색상 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태들 각각에 대한 제1 및 제3 색상 광들을 투과시키도록 구성됨 -; 및 총 제2 두께를 갖는 하나 이상의 제2 비-간섭 층들에 의해 제2 복수의 간섭 층들로부터 분리되는 제3 복수의 순차적으로 배열된 간섭 층들 - 제3 복수의 간섭 층들은 제1 편광 상태를 갖는 제3 색상 광을 반사시키고, 제2 편광 상태를 갖는 제3 색상 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태들 각각에 대해 제1 및 제2 색상 광들을 투과시키도록 구성됨 - 을 포함한다. 제1, 제2 및 제3 복수의 간섭 층들 내의 각각의 간섭 층은 주로 광 간섭에 의해 광을 반사 또는 투과시킨다. 각각의 제1 및 제2 비-간섭 층은 주로 광 간섭에 의해 광을 반사 또는 투과시키지 않는다. 복수의 제2 간섭 층들은 제1 및 제3 복수의 간섭 층들 사이에 배치된다. 제1 및 제2 두께들 각각을 10%만큼 변화시키는 것은 광학 시스템의 색수차의 크기를 20% 이상만큼 증가시킨다.

[0003] 본 발명의 일부 태양에서, 관찰자에게 이미지를 표시하기 위한 광학 이미징 시스템이 제공된다. 광학 이미징

시스템은 반사 편광기를 포함하고, 반사 편광기는 제1 및 제2 반사 구역들을 포함하여, 반사 편광기에 실질적으로 수직으로 입사하는 광에 대해, 제1 구역이 제1 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키고 상이한 비-중첩 제2 파장 범위 내의 광을 실질적으로 투과시키며, 제2 구역이 제2 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키고 제1 파장 범위 내의 광을 실질적으로 투과시키도록 한다. 제1 및 제2 반사 구역들은 거리(d)만큼 분리된 대응하는 제1 및 제2 중간점들을 갖는 제1 및 제2 두께들을 가져, 제1 및 제2 반사 구역들이 바로 인접하도록 d를 감소시킬 때 야기되는 제1 파장 범위로부터 제2 파장 범위까지의 광학 이미징 시스템의 종방향 색수차가 거리(h)이도록 하고,  $0.3h \leq d \leq 0.7h$ 이다.

[0004] 본 발명의 일부 태양에서, 관찰자에게 물체의 이미지를 표시하기 위한 광학 이미징 시스템이 제공된다. 광학 이미징 시스템은 반대편의 제1 및 제2 주 표면들을 갖는 반사 편광기를 포함하며, 여기서 제1 주 표면은 물체에 대면한다. 광학 이미징 시스템은 제1 색상 파장으로부터 제2 색상 파장까지의 제1 종방향 색수차(d1)를 가져, 제2 주 표면이 물체와 대면하도록 반사 편광기를 역전시키는 것이 제1 색상 파장으로부터 제2 색상 파장까지의 제2 종방향 색수차(d2)를 갖는 광학 이미징 시스템을 초래하도록 하며, 여기서 d2는 d1보다 크다.

[0005] 본 발명의 일부 태양에서, 관찰자에게 물체의 이미지를 표시하기 위한 광학 이미징 시스템이 제공된다. 광학 이미징 시스템은, 물체에 대면하는 제1 주 표면, 및 적어도 400 내지 600 nm로 연장되는 미리 결정된 파장 범위에서 주로 광 간섭에 의해 광을 반사 및 투과시키고 모두 50개 이상이 되는 복수의 중합체 간섭 층들을 포함하는 반사 편광기를 포함한다. 제1 주 표면이 물체로부터 멀리 대면하도록 반사 편광기를 역전시키는 것은 미리 결정된 파장 범위에서의 광학 이미징 시스템의 종방향 색수차를 20% 이상만큼 증가시킨다.

**도면의 간단한 설명**

- [0006] 도 1은 반사 편광기의 개략 단면도.
- 도 2는 복수의 간섭 층의 개략 단면도.
- 도 3 및 도 4는 비-간섭 층들의 개략 단면도.
- 도 5a 및 도 5b는 광학 시스템들의 개략 단면도.
- 도 6a 내지 도 7b는 반사 편광기들의 개략 단면도.
- 도 8 내지 도 10은 광학 시스템들의 개략 단면도.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0007] 하기 설명에서, 본 명세서의 일부를 형성하고 다양한 실시 형태가 예시로서 도시되어 있는 첨부 도면을 참조한다. 도면은 반드시 축척대로 그려진 것은 아니다. 다른 실시 형태가 고려되며 본 발명의 범주 또는 사상으로부터 벗어남이 없이 이루어질 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 따라서, 하기의 상세한 설명은 제한적 의미로 해석되어서는 안 된다.

[0008] 본 발명의 일부 실시 형태에 따르면, 반사 편광기를 포함하는 광학 시스템에서, 시스템 내의 잔류 종방향 색상이 적합한 다층 반사 편광기의 선택으로부터 기인하는 색 광로 길이차(chromatic optical path length difference)에 의해 상쇄될 수 있는 것으로 밝혀졌다. 적합한 반사 편광기의 선택은, 예를 들어 적색 파장을 반사하는 반사 편광기의 간섭 층들의 세트와 청색 파장을 반사하는 반사 편광기의 간섭 층들의 세트 사이의 적절한 분리를 선택하는 것을 포함할 수 있다. 간섭 층들의 세트들 사이의 적절한 분리는, 원하는 분리를 달성하도록 반사 편광기의 층 두께 프로파일을 변경함으로써 그리고/또는 간섭 층의 세트들을 이격시키도록 이들 사이에 비-간섭 층들을 포함함으로써 달성될 수 있다. 본 발명의 광학 시스템들은 전형적으로 접힌 광로를 제공한다. 접합식 광학계 시스템이 예를 들어 미국 특허 제9,557,568호(오우더커크(Ouderkerk) 등)에 기술되어 있다.

[0009] 도 1은 제1 복수의 순차적으로 배열된 간섭 층(110), 제2 복수의 순차적으로 배열된 간섭 층(112), 및 제3 복수의 순차적으로 배열된 간섭 층(114)을 포함하는 반사 편광기(100)의 개략도이다. 제2 복수의 간섭 층(112)은 총 제1 두께(t1)를 갖는 하나 이상의 제1 비-간섭 층(121)에 의해 제1 복수의 간섭 층(110)으로부터 분리된다. 제3 복수의 간섭 층(114)은 총 제2 두께(t2)를 갖는 하나 이상의 제2 비-간섭 층(123)에 의해 제2 복수의 간섭 층(112)으로부터 분리된다. 제1 및 제3 복수의 간섭 층(110, 114)들의 중간점들 사이의 거리(Δ)가 예시되어 있다. 제1 복수의 간섭 층(110)은 제1 편광 상태(132)를 갖는 제1 색상(예컨대, 적색) 광을 반사시키고, 직교하는 제2 편광 상태(134)를 갖는 제1 색상 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태(132, 134)들 각각에 대한 제2 색상(예컨대, 녹색) 광 및 제3 색상(예컨대, 청색) 광을 투과시키도록 구성된다. 제2 복수의 간섭 층(112)은

제1 편광 상태(132)를 갖는 제2 색상 광을 반사시키고, 제2 편광 상태(134)를 갖는 제2 색상 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태(132, 134)들 각각에 대한 제1 및 제3 색상 광들을 투과시키도록 구성된다. 제3 복수의 간섭 층(114)은 제1 편광 상태(132)를 갖는 제3 색상 광을 반사시키고, 제2 편광 상태(134)를 갖는 제3 색상 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태(132, 134)들 각각에 대한 제1 및 제2 색상 광들을 투과시키도록 구성된다. 일부 실시 형태에서, 제1, 제2 및 제3 복수의 간섭 층(110, 112, 114) 내의 각각의 간섭 층은 200 nm 미만의 두께를 갖는다. 일부 실시 형태에서, t1 및 t2 각각은 1 마이크로미터 초과이다.

[0010] 일부 실시 형태에서, 제1 색상 광은 적색 범위(예컨대, 600 nm 초과 700 nm 이하, 또는 625 nm 내지 675 nm) 내의 파장( $\lambda_1$ )을 갖는다. 일부 실시 형태에서, 제2 색상 광은 녹색 범위(예컨대, 600 nm 내지 700 nm, 또는 625 nm 내지 675 nm) 내의 파장( $\lambda_2$ )을 갖는다. 일부 실시 형태에서, 제3 색상 광은 청색 범위(예컨대, 400 nm 이상 500 nm 미만, 또는 425 nm 내지 475 nm) 내의 파장( $\lambda_3$ )을 갖는다. 일부 실시 형태에서, 반사 편광기(100)를 포함하는 광학 시스템은 적어도 3개의 상이한 색상을 갖는 서브픽셀들을 갖는 픽셀화된(pixelated) 디스플레이를 포함한다. 제1, 제2 및 제3 색상 광들은 3개의 상이한 유색 서브픽셀로부터의 광들일 수 있다.

[0011] 광(130)은 제1, 제2 및 제3 색상 광들을 포함하고, 제1 및 제2 편광 상태(132, 134)들을 포함한다. 광(130)의 일부분이 광(131)으로서 제3 복수의 간섭 층(114)에 의해 반사되고, 광(130)의 일부분이 광(137)으로서 제3 복수의 간섭 층(114)을 통해 투과된다. 광(131)은 제3 색상 파장( $\lambda_3$ ) 및 제1 편광 상태(132)를 갖는다. 광(137)은 제2 편광 상태(134)를 갖는 제3 색상 광을 포함하고, 제1 및 제2 편광 상태(132, 134)들 각각에 대한 제1 및 제2 색상 광들을 포함한다. 광(137)의 일부분이 광(133)으로서 제2 복수의 간섭 층(112)에 의해 반사되고, 광(137)의 일부분이 광(139)으로서 제2 복수의 간섭 층(112)을 통해 투과된다. 광(133)은 제3 복수의 간섭 층(114)을 통해 투과되고, 제2 색상 파장( $\lambda_2$ ) 및 제1 편광 상태(132)를 갖는다. 광(139)은 제1 편광 상태(132)를 갖는 제1 색상 광을 포함하고, 제2 편광 상태(134)에 대한 제1, 제2 및 제3 색상 광들을 포함한다. 광(139)의 일부분이 광(135)으로서 제1 복수의 간섭 층(110)에 의해 반사되고, 광(139)의 일부분이 광(136)으로서 제1 복수의 간섭 층(110)을 통해 투과된다. 광(135)은 제2 및 제3 복수의 간섭 층(112, 114)들을 통해 투과되고, 제3 색상 파장( $\lambda_3$ ) 및 제1 편광 상태(132)를 갖는다. 광(136)은 제2 편광 상태(134)를 갖는 제1, 제2 및 제3 색상 광들을 포함한다.

[0012] 도 2는 제1, 제2 및 제3 복수의 간섭 층(110, 112, 114)들 중 임의의 하나에 대응할 수 있는 복수의 간섭 층(210)의 개략 단면도이다. 복수의 간섭 층(210)은 주로 광학 간섭에 의해 광을 반사 및 투과시키는 교번하는 제1 및 제2 중합체 층(241, 242)들을 포함한다. 일부 실시 형태에서, 제1 및 제2 중합체 층(241, 242)들 각각은 약 200 nm 미만의 두께를 갖는다. 일부 실시 형태에서, 중합체 층(241, 242)들의 두께는 원하는 파장 범위에서 반사를 생성하기 위해 복수의 간섭 층(210)의 두께를 가로질러 (예컨대, 단조적으로) 변한다. 일부 실시 형태에서, 일체로 형성된 광학 스택(optical stack)은 복수의 간섭 층(210)을 포함하고, 선택적으로 복수의 간섭 층(210)의 일면 또는 양면 상에 비-간섭 층을 포함한다. 비-간섭 층(들)은 예를 들어 스킨 층(들) 또는 보호 경계 층(들)일 수 있다.

[0013] 본 명세서에 사용되는 바와 같이, 제2 요소와 "일체로 형성된" 제1 요소는 제1 및 제2 요소들이 별개로 제조되고 나서 후속적으로 결합되기보다는 함께 제조되는 것을 의미한다. "일체로 형성된"은 제1 요소를 제조하고 뒤이어 제1 요소 상에 제2 요소를 제조하는 것을 포함한다. 복수의 층을 포함하는 반사 편광기는, 층들이 별개로 제조되고 나서 후속적으로 결합되기보다는 함께 제조되는 경우(예컨대, 용융물 스트림들로서 조합되고 나서 냉각 롤 상으로 캐스팅되어, 층들 각각을 갖는 캐스트 필름을 형성하고 나서 캐스트 필름을 배향시킴), 일체로 형성된다. 일체로 형성된 반사 편광기는 또한 일체형 반사 편광기로 지칭될 수 있다.

[0014] 본 발명의 반사 편광기(100) 및 다른 반사 편광기는, 예를 들어 미국 특허 제5,882,774호(존자(Jonza) 등) 및 미국 특허 제6,609,795호(웨버(Weber) 등)에 기술된 것들과 같은 종래의 다층 필름 가공 기술을 사용하여 제조될 수 있다. 제조 방법은 (a) 완성된 필름에 사용될 제1 및 제2 중합체 층들에 대응하는 수지의 적어도 제1 및 제2 스트림들을 제공하는 단계; (b) (i) 제1 및 제2 유동 채널들을 포함하는 구배 플레이트 - 여기서, 제1 유동 채널은 유동 채널을 따라 제1 위치로부터 제2 위치로 변화하는 단면적을 가짐 -, (ii) 제1 유동 채널과 유체 연통하는 제1 복수의 도관들 및 제2 유동 채널과 유체 연통하는 제2 복수의 도관들을 구비한 피더 튜브 플레이트(feeder tube plate) - 각각의 도관은 그 자신의 각자의 슬롯 다이(slot die)에 공급하고, 각각의 도관은 제1 단부와 제2 단부를 가지며, 도관들의 제1 단부는 유동 채널들과 유체 연통하고, 도관들의 제2 단부는 슬롯 다이와 유체 연통함 -, 및 (iii) 선택적으로, 상기 도관들에 근접 위치된 축방향 로드 히터(axial rod heater)를 포함하는 것과 같은, 적합한 피드블록을 사용하여 제1 및 제2 스트림들을 복수의 층들로 분할하는 단계; (c) 복합 스트림을 압출 다이에 통과시켜 각각의 층이 인접한 층들의 주 표면에 대체로 평행한 다층 웨브를 형성하는 단

계; 및 (d) 때로는 캐스팅 휠 또는 캐스팅 드럼으로 지칭되는 냉각 롤 상에 다층 웹을 캐스팅하여, 캐스팅된 다층 필름을 형성하는 단계를 포함할 수 있다. 이러한 캐스팅된 필름은 완성된 필름과 동일한 수의 층을 가질 수 있지만, 캐스팅된 필름의 층은 전형적으로 완성된 필름의 층보다 훨씬 더 두껍다.

[0015] 냉각 후에, 다층 웹은 거의-완성된 다층 광학 필름을 생성하기 위해 재가열 및 연신 또는 신장될 수 있다. 연신 또는 신장은 2가지 목표를 달성하는데, 즉 그것은 층들을 그들의 원하는 최종 두께 프로파일로 박화하고, 그것은 층들 중 적어도 일부가 복굴절성이 되도록 층들을 배향시킨다. 배향 또는 신장은 (예컨대, 텐터 (tenter)를 통해) 웹-횡단 방향(cross-web direction)을 따라, (예컨대, 길이 배향기(length orienter)를 통해) 웹-하류 방향(down-web direction)을 따라, 또는, 동시에든지 또는 순차적으로든지 간에, 이들의 임의의 조합으로 달성될 수 있다. 하나의 방향만을 따라 신장되는 경우, 신장은 "비구속"되거나(여기서 필름은 신장 방향에 수직인 평면내 방향으로 치수적으로 이완되도록 허용됨) "구속"될 수 있다(여기서 필름은 구속되며 이에 따라 신장 방향에 수직인 평면내 방향으로 치수적으로 이완되도록 허용되지 않음). 구속되지 않은 신장은 미국 특허 출원 공개 제2010/0254002호(메릴(Merrill) 등)에 기술된 바와 같이 실질적으로 단축 배향된 다층 광학 필름을 제공하기 위해 이용될 수 있다. 대안적으로, 필름은 배치 공정(batch process)으로 신장될 수 있다. 어떤 경우에도, 후속적인 또는 동시적인 연신 감소, 응력 또는 변형 평형, 열 고정(heat setting), 및 다른 처리 작업이 또한 필름에 적용될 수 있다.

[0016] 반사 편광기는, 수직 입사시 미리 결정된 파장에서 제1 편광 상태를 갖는 광의 60% 이상이 반사 편광기로부터 반사되는 경우, 미리 결정된 파장 범위에서 제1 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 반사시키는 것으로 칭해질 수 있다. 일부 실시 형태에서, 제1 편광 상태 및 미리 결정된 파장을 갖는, 수직 입사에서의 광의 70 퍼센트 이상, 또는 80 퍼센트 이상이 반사 편광기로부터 반사된다. 반사 편광기는, 미리 결정된 파장 범위 내에서 제2 편광 상태를 갖는 수직 입사 광의 60% 이상이 편광기를 통해 투과되는 경우, 미리 결정된 파장 범위에서 제2 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 투과시키는 것으로 칭해질 수 있다. 일부 실시 형태에서, 미리 결정된 파장 범위에서 제2 편광 상태를 갖는 수직 입사 광의 70% 이상 또는 80% 이상이 반사 편광기를 통해 투과된다.

[0017] 비-간섭 층은 주로 광학 간섭에 의해 광을 반사 및 투과시키지 않으며, 전형적으로 광학적으로 두껍다(즉, 400 nm 내지 700 nm와 같은 미리 결정된 파장 범위 내의 파장보다 실질적으로 더 큰 두께를 가짐). 광학 스택의 비-간섭 층은 광학 필름의 외부 층일 수 있거나, 예를 들어 하나 이상의 제1 비-간섭 층(121 또는 123) 내의 층일 수 있다. 일부 실시 형태에서, 비-간섭 층, 또는 하나 초과와 비-간섭 층의 스택은 약 1 마이크로미터 초과, 또는 약 2 마이크로미터 초과, 또는 미리 결정된 파장 범위 내의 최대 파장의 약 2배 초과, 또는 미리 결정된 파장 범위 내의 최대 파장의 약 3배 초과와 두께(예컨대, t1 또는 t2)를 갖는다.

[0018] 도 3은 예를 들어 하나 이상의 비-간섭 층(121 또는 123)에 대응할 수 있는 하나 이상의 비-간섭 층(321)의 개략 단면도이다. 예시된 실시 형태에서, 하나 이상의 비-간섭 층(321)은 제1 및 제2 비-간섭 층(345, 347)들을 포함한다. 다른 실시 형태에서, 하나의 비-간섭 층만이 포함되거나, 3개 이상의 비-간섭 층이 포함된다. 제1 및 제2 비-간섭 층(345, 347)들은 예를 들어 인접한 광학 스택들의 스킨 층들일 수 있다.

[0019] 도 4는 예를 들어 하나 이상의 비-간섭 층(121 또는 123)에 대응할 수 있는 하나 이상의 비-간섭 층(421)의 개략 단면도이다. 하나 이상의 비-간섭 층(421)은 제1 및 제2 외측 비-간섭 층(445, 447)들 및 내측 스페이서 비-간섭 층(449)을 포함한다. 제1 및 제2 외측 간섭 층(445, 447)들은 예를 들어 인접한 광학 스택들의 스킨 층들일 수 있고, 내측 스페이서 비-간섭 층(449)이 포함되어 하나 이상의 비-간섭 층(421)의 전체 두께(예컨대, t1 또는 t2에 대응함)를 증가시킬 수 있다.

[0020] 대안적으로 또는 추가적으로, 제1 및 제3 복수의 간섭 층(110, 114)들 사이의 중심간 거리( $\Delta$ )는 바로 인접한 간섭 층들 사이의 굴절률 차이 및 간섭 층들의 층 두께의 선택에 의해 조절될 수 있다. 바로 인접한 간섭 층들의 쌍들은, 인접한 층들 사이의 굴절률 차이에 따른 반사도(reflectivity)를 가지고서 쌍의 총 광학 두께(굴절률 x 물리적 두께)의 2배의 파장을 갖는 광을 반사시킨다. 비교적 큰 굴절률 차이를 이용하는 것은 원하는 파장 범위에 걸쳐 원하는 반사도를 달성하는 데 비교적 더 적은 간섭 층들이 이용되게 하며, 이는 제1 및 제3 복수의 간섭 층(110, 114)들 사이의 더 작은 중심간 분리를 초래할 수 있다. 유사하게, 비교적 더 많은 간섭 층이 사용될 때 원하는 파장 범위에 걸쳐 원하는 반사도를 달성하는 데 비교적 작은 굴절률 차이가 이용될 수 있고, 이는 제1 및 제3 복수의 간섭 층(110, 114)들 사이의 더 큰 중심간 분리를 초래할 수 있다.

[0021] 일부 실시 형태에서, 광학 시스템은 반사 편광기를 포함하고, 반사 편광기가 일부 특정 방식으로 변경될 때 일부 특정 방식으로 변화하는 색수차(예컨대, 종방향 색수차)를 갖는다.

- [0022] 도 5a는 미리 결정된 파장 범위 내의 파장을 갖는 시준된(collimated) 입력 광(552)을 수광하는 광학 시스템(550)의 개략도이다. 광학 시스템은 입력 광(552)의 각각의 파장을 제1 및 제2 지점(554, 556)들 사이의 광학 시스템(550)의 광축(optical axis)(555) 상의 일 지점에 초점을 맞춘다. 예를 들어, 제1 파장을 갖는 제1 광선(553)이 제1 지점(554)에 초점이 맞춰지고, 제2 파장을 갖는 제2 광선(557)이 제2 지점(556)에 초점이 맞춰진다. 일부 실시 형태에서, 제1 및 제2 파장들 중 하나는 미리 결정된 파장 범위 내의 최단 파장이고, 제1 및 제2 파장들 중 다른 하나는 미리 결정된 파장 범위 내의 최장 파장이다. 제1 및 제2 지점(554, 556)들 사이의 거리(d1)는 광학 시스템(550)의 종방향 색수차(축방향 색수차로서 또한 알려짐)이다. 광학 시스템(550)은 본 명세서의 다른 곳에서 추가로 기술되는 바와 같이 반사 편광기(도 5에 예시되지 않음)를 포함한다.
- [0023] 도 5b는 광학 시스템(550)과 다른 점에서 동등하지만 광학 시스템(550)의 반사 편광기가 본 명세서의 다른 곳에서 추가로 기술된 바와 같이 수정된(예컨대, 간섭 층들 사이의 거리를 변화시키거나 반사 편광기를 역전시킴) 광학 시스템(550b)의 개략도이다. 광학 시스템(550b)은 d2의 종방향 색수차를 갖는다. 거리(d2)는 반사 편광기를 수정할 때 야기되는 광학 시스템의 종방향 색수차로 지칭될 수 있고, 또한 h로 나타내어질 수 있다.
- [0024] 일부 실시 형태에서, 종방향 색수차(d1, d2)들은 특정 파장들에 대해 특정된다. 예를 들어, 일부 실시 형태에서, d1 및 d2는 제1 색상 파장으로부터 제2 색상 파장까지의 종방향 색수차들로서 기술될 수 있다. 일부 실시 형태에서, 종방향 색수차(d1, d2)들은 특정 파장 범위들에 대해 특정된다. 예를 들어, 일부 실시 형태에서, d1 및 d2는 제1 파장 범위로부터 제2 파장 범위까지의 종방향 색수차들로서 기술될 수 있다. 이 경우에, 종방향 색수차(d1, d2)들은 특정 범위들 내의 파장들에 대한 최대 종방향 색수차를 지칭한다. 예를 들어, 도 5a에서, 광선(553) 및 광선(557)은 각각 제1 및 제2 파장 범위들 내의 파장들을 가질 수 있으며, 이는 최대 d1을 초래한다. 유사하게, 도 5b에서, 대응하는 광선은 최대 d2를 초래하는, 각자의 제1 및 제2 파장 범위들 내의 파장들을 가질 수 있다. 이는 종종, 종방향 색수차가 파장의 단조 함수여서, 특정 파장 범위에 대한 종방향 색수차가 특정 파장 범위 내에서 최대 파장에서의 종방향 색수차와 최단 파장에서의 종방향 색수차 사이의 차이의 절대 값이도록 하는 경우이다.
- [0025] 일부 실시 형태에서, d2는 d1 초과이거나, d2는 d1의 1.2배 이상(즉, d2는 d1로부터 20% 이상만큼 증가될 수 있음), 또는 d1의 1.5배 이상, 또는 d1의 1.75배 이상, 또는 d1의 2배 이상, 또는 d1의 2.5배 이상, 또는 d1의 3배 이상, 또는 d1의 3.5배 이상, 또는 d1의 4배 이상이다.
- [0026] 일부 실시 형태에서, 도 5a의 반사 편광기는 반사 편광기(100)이고, 위에서 언급된 반사 편광기에 대한 수정은 제1 및 제2 분리 거리(t1, t2)들을 10%만큼 변화시키는 것이다. 일부 실시 형태에서, 제1 및 제2 분리 거리들 둘 모두는 10%만큼 증가된다. 일부 실시 형태에서, 제1 및 제2 이격 거리들 둘 모두는 10%만큼 감소된다. 일부 실시 형태에서, 이는 광학 시스템의 색수차(예컨대, 종방향 색수차)의 크기를 20% 이상, 또는 30% 이상, 또는 40% 이상, 또는 50% 이상 증가시킨다. 일부 실시 형태에서, 반사 편광기는 각자의 제1 및 제2 중간점들을 갖는 제1 및 제2 복수의 간섭 층을 포함하고, 위에서 언급된 반사 편광기에 대한 수정은 제1 및 제2 중간점들 사이의 거리를 10%만큼 변화시키는 것(일부 실시 형태에서 증가시키는 것이고, 일부 실시 형태에서 감소시키는 것)이다. 예를 들어, 여기에 언급되는 제1 및 제2 복수의 간섭 층들은 도 1에 도시된 제1 및 제3 복수의 간섭 층(110, 114)들에 대응할 수 있고, 제1 및 제2 중간점들 사이의 거리는 도 1에 도시된 거리( $\Delta$ )에 대응할 수 있다. 다른 예로서, 여기에 언급되는 제1 및 제2 복수의 간섭 층들은 도 6a에 도시된 제1 및 제2 반사 구역(643, 644)들에 대응할 수 있고, 제1 및 제2 중간점들 사이의 거리는 도 6a에 도시된 거리(d)에 대응할 수 있다. 일부 실시 형태에서, 이는 광학 시스템의 종방향 색수차의 크기를 20% 이상, 또는 30% 이상, 또는 40% 이상, 또는 50% 이상 증가시킨다.
- [0027] 일부 실시 형태에서, 위에서 언급된 반사 편광기에 대한 수정은 제1 및 제2 반사 구역들 사이의 거리를(예컨대, 제1 및 제2 반사 구역들이 바로 인접할 때까지 거리를 감소시킴으로써 또는 10%만큼) 변화시키는 것이다. 도 6a는 그러한 제1 및 제2 반사 구역(643, 644)들을 갖는 반사 편광기(600)의 개략도이다. 일부 실시 형태에서, 제1 및 제2 반사 구역(643, 644)들은, 반사 편광기에 실질적으로 수직으로 입사하는 광에 대해, 제1 반사 구역(643)이 제1 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키고 상이한 비-중첩 제2 파장 범위 내의 광을 실질적으로 투과시키며, 제2 반사 구역(644)이 제2 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키고 제1 파장 범위 내의 광을 실질적으로 투과시키도록 되어 있다. 예를 들어, 제1 반사 구역(643)은 제1 복수의 간섭 층(110)에 대응할 수 있고, 제1 파장 범위는 제1 색상 광(파장( $\lambda_1$ ))의 파장 범위에 대응할 수 있다. 유사하게, 예를 들어, 제2 반사 구역(644)은 제3 복수의 간섭 층(114)에 대응할 수 있고, 제2 파장 범위는 제3 색상 광(파장( $\lambda_3$ ))의 파장 범위에 대응할 수 있다. 제1 및 제2 반사 구역(643, 644)들 사이의 영역은 추가의 반사 구역(예컨대, 제2 복수의 간섭 층(112)에 대응하는 제3 반사 구역)을 포함할 수 있고/있거나 하나 이상의 비-간섭 층(예컨대, 비-

간섭 층(들)(121 및/또는 123))을 포함할 수 있다. 일부 실시 형태에서, 제1 및 제2 반사 구역들 및 임의의 추가의 반사 구역들은 제1 편광 상태를 갖는 대응하는 파장 범위 내의 광을 반사시키고, 직교하는 제2 편광 상태를 갖는 광에 대한 파장 범위들 각각 내의 광을 투과시킨다.

[0028] 제1 및 제2 반사 구역(643, 644)들은 거리(d)만큼 분리된 대응하는 제1 및 제2 중간점(663, 664)(두께 방향을 따라 중간에 있는 지점)들을 갖는 제1 및 제2 두께(w1, w2)들을 갖는다.

[0029] 도 6b는 제1 및 제2 반사 구역(643, 644)들이 바로 인접하도록 반사 편광기(600)의 거리(d)를 감소시키는 것에 기인한 반사 편광기(600b)의 개략도이다.

[0030] 일부 실시 형태에서, 반사 편광기(600)를 포함하는 광학 이미징 시스템은 제1 및 제2 반사 구역들이 바로 인접하도록 d를 감소시킬 때 야기되는 제1 파장 범위로부터 제2 파장 범위까지의 종방향 색수차가 거리(h)(여기서,  $0.3h \leq d \leq 0.7h$ , 또는  $0.35h \leq d \leq 0.65h$ , 또는  $0.4h \leq d \leq 0.6h$ )이다. 예를 들어, 실시예에서 모델링된 광학 시스템에서, 약 486 nm로부터 약 656 nm까지의 종방향 색수차는 제1 및 제2 반사 구역들 사이의 분리가 0으로 감소되었을 때 약 82 마이크로미터였다. 이 경우에, 반사 편광기는 약 243 nm의 총 광학 두께를 갖는 바로 인접한 간섭 층들의 제1 쌍으로 이루어진 제1 반사 구역으로부터의 486 nm 파장을 반사시킬 수 있고, 반사 편광기는 약 328 nm의 총 광학 두께를 갖는 바로 인접한 간섭 층들의 제2 쌍으로 이루어진 제2 반사 구역으로부터의 656 nm 파장을 반사시킬 수 있다. 제1 및 제2 쌍들의 중간점들 사이의 간격(d)을 40 마이크로미터로부터 쌍들이 바로 인접할 때까지 변경시키는 것은, 제1 및 제2 쌍들의 두께가 40 마이크로미터와 비교하여 작기 때문에, d를 40 마이크로미터로부터 0으로 감소시킴으로써 근사화될 수 있다. 종방향 색수차는 d가 40 마이크로미터였을 때 약 24 마이크로미터였고, d를 0으로 감소시킬 때 약 82 마이크로미터였다. 이 경우에,  $d = 40$  마이크로미터 및  $h \approx 82$  마이크로미터, 따라서  $d \approx 0.49h$ .

[0031] 일부 실시 형태에서, 위에서 언급된 반사 편광기에 대한 수정은 반사 편광기를 역전시키는 것이다. 반사 편광기를 역전시키는 것은, 반사 편광기의 형상을 변경되지 않은 상태로 유지하면서, 층 순서를 (예컨대, 1로부터 N까지를 N부터 1까지로) 역전시키고 (인접한 층들 사이의 계면들이 동일한 계면을 유지하도록 그리고 하나의 최외측 주 표면이 다른 최외측 주 표면과 교환되도록) 층 배향을 역전시키는 것으로 기술될 수 있다. 이는 도 7a 및 도 7b에 예시되어 있다. 도 7a는 물체(777)에 대면하는 제1 주 표면(708) 및 제2 주 표면(709)을 갖는 반사 편광기(700)의 개략도이다. 물체(777)는, 예를 들어 관찰자에게 물체의 이미지를 표시하기 위한 광학 이미징 시스템에 반사 편광기(700)가 사용될 때, 이미저(imager)에 의해 표시될 수 있다. 예시의 용이함을 위해 4개의 층(701, 702, 703, 704)을 갖는 반사 편광기(700)가 개략적으로 도시되어 있지만, 전형적으로 50개 이상의 층(예컨대, 50 내지 1200개의 간섭 층, 또는 100 내지 1000개의 간섭 층)을 포함할 것이다. 도 7b는 제2 주 표면(709)이 물체(777)에 대면하도록 반사 편광기(700)를 역전시키는 것에 기인한 반사 편광기(700b)의 개략도이다.

[0032] 일부 실시 형태에서, 광학 시스템은 관찰자에게 물체의 이미지를 표시하기 위한 광학 이미징 시스템이고, 반사 편광기는 반대편의 제1 및 제2 주 표면들을 가지고, 이때 제1 주 표면은 물체에 대면한다. 일부 실시 형태에서, 광학 이미징 시스템은 제1 색상 파장으로부터 제2 색상 파장까지의 제1 종방향 색수차(d1)를 가져, 제2 주 표면이 물체에 대면하도록 반사 편광기를 역전시키는 것이 제1 색상 파장으로부터 제2 색상 파장까지의 제2 종방향 색수차(d2)를 갖는 광학 이미징 시스템을 초래하도록 하며, 여기서  $d2 > d1$ 이다. 일부 실시 형태에서, d2는 d1의 1.2배 이상, 또는 d1의 1.5배 이상, 또는 d1의 1.75배 이상, 또는 d1의 2배 이상, 또는 d1의 2.5배 이상, 또는 d1의 3배 이상, 또는 d1의 3.5배 이상, 또는 d1의 4배 이상, 또는 d1의 4.5배 이상, 또는 d1의 5배 이상이다. 일부 실시 형태에서, 관찰자에게 물체의 이미지를 표시하기 위한 광학 이미징 시스템은 물체에 대면하는 제1 주 표면, 및 적어도 400 내지 600 nm로 연장되는 미리 결정된 파장 범위에서 주로 광 간섭에 의해 광을 반사 및 투과시키고 모두 50개 이상이 되는 복수의 중합체 간섭 층을 갖는 반사 편광기를 포함하여, 제1 주 표면이 물체로부터 멀리 대면하도록 반사 편광기를 역전시키는 것이 미리 결정된 파장 범위에서의 광학 이미징 시스템의 종방향 색수차를 20% 이상, 또는 50% 이상, 또는 75% 이상, 또는 100% 이상, 또는 150% 이상, 또는 200% 이상, 또는 250% 이상, 또는 300% 이상, 또는 350% 이상, 또는 400% 이상만큼 증가시키도록 한다. 예를 들어, 실시예의 광학 시스템은 약 24 마이크로미터의 d1 및 약 141 마이크로미터의 d2를 가져, d2가 d1의 약 5.9배가 되게 하거나, 동등하게 d2가 d1로부터 약  $490\%((141 \mu\text{m} - 24 \mu\text{m})/24 \mu\text{m} * 100\%)$ 만큼 증가되게 하였다.

[0033] 도 8은 반대편의 제1 및 제2 주 표면(11, 12)들을 갖는 제1 광학 렌즈(10); 제1 광학 렌즈(10)의 제1 주 표면(11) 상에 배치되고 이에 정합하는 부분 반사기(30); 반대편의 제1 및 제2 주 표면(21, 22)들을 갖는 제2 광학 렌즈(20); 및 제2 광학 렌즈(20)의 제1 주 표면(21) 상에 배치되고 이에 정합하는 반사 편광기(40)를 포함하는

광학 시스템(850)의 개략도이다. 일부 실시 형태에서, 제1 광학 렌즈(10)의 제1 주 표면(11)은 만족된다. 일부 실시 형태에서, 제2 광학 렌즈(20)의 제1 주 표면(21)은 만족된다. 예를 들어, 제1 주 표면(11) 및/또는 제1 주 표면(21)은 6 mm 내지 1000 mm 범위 내에서 2개의 직교 방향 각각으로의 곡률 반경을 갖는 적어도 하나의 위치를 가질 수 있다. 예시된 실시 형태에서, 지연기(50)가 제1 광학 렌즈(10)의 제2 주 표면(12) 상에 배치된다. 다른 실시 형태에서, 지연기(50)는 제1 렌즈와 제2 렌즈 사이의 별개의 지연기 판으로서 포함되거나, 그렇지 않으면 부분 반사기(30)와 반사 편광기(40) 사이의 일부 위치에 포함된다.

[0034] 부분 반사기(30)는 미리 결정된 파장 범위에서 30% 이상의 평균 광학 반사율을 가질 수 있다. 일부 실시 형태에서, 미리 결정된 파장 범위는 약 550 nm의 파장을 포함할 수 있는데, 예컨대 파장 587.6 nm를 포함할 수 있다. 미리 결정된 파장 범위는 일부 실시 형태에서 약 400 nm로부터 약 600 nm까지 또는 약 700 nm까지 연장될 수 있다. 예를 들어, 미리 결정된 파장 범위는 청색 원색 파장, 녹색 원색 파장, 및 적색 원색 파장을 포함할 수 있다. 미리 결정된 파장 범위는 광학 시스템이 작동하도록 설계되는 임의의 파장 범위일 수 있다. 일부 실시 형태에서, 미리 결정된 파장 범위는 다른 파장 범위를 포함한다. 예를 들어, 적외선(예컨대, 근적외선(약 700 nm 내지 약 2500 nm)) 및/또는 자외선(예컨대, 근자외선(약 300 nm 내지 약 400 nm)) 파장뿐만 아니라 가시광(400 nm 내지 700 nm) 파장이 미리 결정된 파장 범위에 포함될 수 있다. 일부 실시 형태에서, 부분 반사기(30)는 제1 색상(예컨대, 적색) 광, 제2 색상(예컨대, 녹색) 광 및 제3 색상(예컨대, 청색) 광 각각에 대해 30% 이상의 평균 광학 반사율을 갖는다.

[0035] 본 발명의 광학 시스템들 중 임의의 것에 사용되는 부분 반사기는 임의의 적합한 부분 반사기일 수 있다. 예를 들어, 부분 반사기는 투명 기재(substrate)(예컨대, 이후에 렌즈에 접촉될 수 있는 필름; 또는 기재는 렌즈일 수 있음) 상에 금속(예컨대, 은 또는 알루미늄)의 얇은 층을 코팅함으로써 구성될 수 있다. 부분 반사기는 또한 예를 들어 렌즈 기재의 표면 상에 박막 유전체 코팅을 침착시킴으로써, 또는 표면 상에 금속과 유전체 코팅들의 조합을 침착시킴으로써 형성될 수 있다. 일부 실시 형태에서, 부분 반사기는, 각각 20% 내지 80%의 범위에 있거나, 각각 30% 내지 70%의 범위에 있거나, 각각 40% 내지 60%의 범위에 있거나, 각각 45% 내지 55%의 범위에 있는 미리 결정된 파장 범위 내에서 또는 미리 결정된 파장에서 평균 광학 반사율 및 평균 광학 투과율을 갖는다. 부분 반사기는, 예를 들어 하프 미러(half mirror)일 수 있다. 미리 결정된 파장 범위 내의 평균 광학 반사율 및 평균 광학 투과율은, 달리 지시되지 않는 한, 수직 입사에서 결정된, 미리 결정된 파장 범위에 걸친 그리고 각각 광학 반사율 및 광학 투과율의 편광에 걸친 비-가중(unweighted) 평균을 지칭한다. 미리 결정된 파장에서의 평균 광학 반사율 및 평균 광학 투과율은, 달리 지시되지 않는 한, 수직 입사에서 결정된, 각각 광학 반사율 및 광학 투과율의 편광에 걸친 비-가중 평균을 지칭한다. 일부 실시 형태에서, 부분 반사기는 반사 편광기일 수 있거나, 편광 의존성 반사도를 가질 수 있다. 그러나, 수직 입사 광학 반사율 및 광학 투과율이 입사 광의 편광 상태와 독립적이거나 실질적으로 독립적인 것이 전형적으로 바람직하다. 그러한 편광 독립성은, 예를 들어 실질적으로 등방성인 금속 층 및/또는 유전체 층을 사용하여 얻어질 수 있다.

[0036] 지연기(50)는 미리 결정된 파장 범위 내의 적어도 하나의 파장에 대한 1/4-파장 지연기(quarter-wave retarder)일 수 있다. 대안적으로, 지연기(50)는 예를 들어 미리 결정된 파장 범위 내에서 파장의 5/4 또는 9/4의 지연을 가질 수 있다. 본 발명의 광학 시스템에 사용되는 지연기(들)(예컨대, 지연기(50))는 필름 또는 코팅, 또는 필름과 코팅의 조합일 수 있다. 적합한 필름은 예를 들어 메도우라크 옵틱스(Meadowlark Optics)(미국 콜로라도주 프레데릭 소재)로부터 입수가 가능한 것과 같은 복굴절 중합체 필름 지연기를 포함한다. 지연기 층을 형성하기 위한 적합한 코팅은, 미국 특허 출원 공개 제2002/0180916호(샤트(Schadt) 등), 제2003/028048호(세르카위(Cherkaoui) 등), 제2005/0072959호(모이아(Moia) 등) 및 제2006/0197068호(샤트 등), 및 미국 특허 제 6,300,991호(샤트 등)에서 기술된 선형 광중합성 중합체(linear photopolymerizable polymer, LLP) 재료 및 액정 중합체(liquid crystal polymer, LCP) 재료를 포함한다. 적합한 LPP 재료는 ROP-131 EXP 306 LPP를 포함하고, 적합한 LCP 재료는 ROF-5185 EXP 410 LCP를 포함하며, 이들 둘 모두는 로릭 테크놀로지스 엘티디.(Rolic Technologies Ltd.)(스위스 알슈빌 소재)로부터 입수가 가능하다.

[0037] 광학 시스템(850)은 부분 반사기(30) 및 반사 편광기(40)가 접힌 광로를 제공하기 때문에 접힘식 광학계 시스템으로서 기술될 수 있다. 미국 특허 제9,557,568호(오우더커크 등)에 기술된 바와 같이, 접힘식 광학계 시스템은 이미지 기록기가 도 8의 제1 광학 렌즈(10)의 우측으로 위치되는 카메라로서 사용될 수 있거나, 디스플레이 패널이 제1 광학 렌즈(10)의 우측으로 위치되는 디스플레이 시스템으로서 사용될 수 있다.

[0038] 도 9는 광학 시스템(850)의 제2 광학 렌즈(20)의 제2 주 표면(22) 상에 입사하는 제2 편광 상태를 갖는 시준된 광(52)을 갖는 광학 시스템(850)의 개략도이다. 시준된 광(52)은 광학 시스템(850)의 색수차를 결정하는 데 사용될 수 있다. 시준된 광(52)은 예를 들어 시준 광학 렌즈 및 선형 편광기를 사용하여 준비될 수 있다. 일부

실시 형태에서, 광학 시스템(850)은 개구를 내부에 갖는 동공(pupil)을 추가로 포함한다. 일부 실시 형태에서, 광학 시스템(850)은 디스플레이 응용에 사용되고, 동공은 출사동(exit pupil)이다. 일부 실시 형태에서, 광학 시스템(850)은 예를 들어 카메라 응용에 사용되고, 동공은 입사동(entrance pupil)이다. 광학 시스템(850)이 디스플레이 또는 카메라 시스템에 사용되는지 여부에 관계없이, 광학 시스템(850)의 종방향 색수차는 도 9에 개략적으로 예시된 바와 같이 결정될 수 있다. 광학 시스템(850)이 디스플레이 응용에 사용될 때, 도 9의 광학 시스템(850)에 입사하는 시준된 광(52)의 직경은 디스플레이 응용에 사용되는 바와 같이 광학 시스템(850)의 출사동의 직경과 일치하도록 제한될 수 있다.

[0039] 시준된 광(52)은 제2 편광 상태를 갖는 광학 시스템(850)에 입사하고, 반사 편광기(40) 및 지연기(50)를 통해 투과되며, 이어서 부분 반사기(30)로부터 반사되고 지연기(50)를 통해 투과되며, 이어서 반사 편광기(40)로부터 반사되고 지연기(50) 및 부분 반사기(30)를 통해 초점(54)까지 투과된다. 광학 시스템(850)의 색수차는 도 7a 및 도 7b에 개략적으로 예시된 바와 같이 상이한 파장들을 갖는 시준된 광(52)을 사용하여 결정될 수 있다.

[0040] 도 10은 광학 시스템(850)을 포함하고, 제1 광학 렌즈(10)에 인접하게 이에 대면하여 배치되는 이미저(55)를 추가로 포함하는 광학 시스템(1050)의 개략도이다. 이미저(55)는 제1 광학 렌즈(10)에 입사하는 이미지(15)를 방출한다. 광학 이미징 시스템으로 지칭될 수 있는 광학 시스템(1050)은 이미지(15)를 관찰자(16)에게 표시한다. 출사동(60)이 제2 광학 렌즈(20)에 인접하게 이에 대면하여 배치되고, 개구(61)를 내부에 한정한다. 제1 광학 렌즈(10)에 입사하는 이미지(15)는 출사동(60) 내의 개구(61)를 통해 광학 시스템(1050)을 빠져나간다. 광학 시스템(1050)은 제1 선형 흡수 편광기(80), 제2 지연기(90), 및 제2 선형 흡수 편광기(88)를 추가로 포함한다. 제1 광학 렌즈(10)는 제2 광학 렌즈(20)와 제2 지연기(90) 사이에 배치된다. 제2 지연기(90)(예컨대, 제2 1/4-파장 지연기)는 제1 광학 렌즈(10)와 제1 선형 흡수 편광기(80) 사이에 배치된다. 제2 광학 렌즈(20)는 제2 선형 흡수 편광기(88)와 반사 편광기(40) 사이에 배치된다.

[0041] 일부 실시 형태에서, 제2 지연기(90) 및/또는 제1 선형 흡수 편광기(80)는 생략될 수 있거나 이미저(55) 내로 통합될 수 있다. 일부 실시 형태에서, 제2 선형 흡수 편광기(88)는 생략되거나, 예를 들어 제2 광학 렌즈(20)의 제2 주 표면 상에 배치된다.

[0042] 광학 시스템(1050)은, 광축(155)을 따라 전파되는 광선이 실질적으로 굴절됨이 없이 제1 및 제2 광학 렌즈(10, 20)들, 부분 반사기(30), 반사 편광기(40), 및 지연기(50)를 통과하도록 구성된다. 일부 구성에서, 제1 및 제2 광학 렌즈(10, 20)들, 부분 반사기(30), 반사 편광기(40), 및 지연기(50) 중 적어도 하나는 회전 대칭이다. 일부 구성에서, 제1 및 제2 광학 렌즈(10, 20)들, 부분 반사기(30), 반사 편광기(40), 및 지연기(50) 중 적어도 하나는 비-회전 대칭이다. 일부 구성에서, 제1 및 제2 광학 렌즈(10, 20)들, 부분 반사기(30), 반사 편광기(40), 및 지연기(50) 중 적어도 하나는 적어도 하나의 대칭 평면을 갖는다.

[0043] 광학 시스템 또는 디스플레이 시스템 또는 광학 시스템 내의 광학 렌즈 또는 광학 요소의 광축은 시스템 또는 렌즈 또는 광학 요소의 중심 부근의 축으로서 이해될 수 있는데, 여기서 광축을 따라 전파되는 광선은 낮은 또는 최소의 굴절 정도를 가지고 렌즈 및/또는 광학 요소(들)를 통과하여, 광축과 상이한 축들을 따라 전파되는 광이 더 큰 굴절 정도를 겪도록 한다. 일부 실시 형태에서, 렌즈들 각각은 렌즈들 각각의 정점(apex)을 통과하는 광축 상에 중심이 놓인다. 광축을 따른 광선은 굴절됨이 없이 또는 실질적으로 굴절됨이 없이 렌즈들 및/또는 광학 요소(들)를 통과할 수 있다. "실질적으로 굴절됨이 없이"는 표면에 입사하는 광선과 표면을 통해 투과되는 광선 사이의 각도가 15도 이하임을 의미한다. 일부 실시 형태에서, 입사 광선과 투과된 광선 사이의 각도는 10도 미만, 또는 5도 미만, 또는 3도 미만, 또는 2도 미만이다. 일부 실시 형태에서, 광학 시스템의 광축은, 축을 따라 전파되는 광선이 실질적으로 굴절됨이 없이 광학 렌즈들, 부분 반사기, 반사 편광기 및 지연기 층(들)을 통과하도록 하는 축이다. 일부 실시 형태에서, 축을 따라 전파되는 광선은 광학 시스템의 임의의 주 표면에서 10도 초과, 또는 5도 초과, 또는 3도 초과, 또는 2도 초과만큼 굴절됨이 없이 광학 렌즈들, 부분 반사기, 반사 편광기 및 지연기 층(들)을 통과한다.

[0044] 광학 시스템(850)의 제1 및 제2 광학 렌즈(10, 20)들은 유리 또는 플라스틱과 같은 임의의 적합한 재료로 제조될 수 있다. 제1 광학 렌즈(10)는 붕규산염 BK7 유리, 란탄 크라운(lanthanum crown) LAK34, 란탄 플린트(flint) LAF7 유리, 플린트 F2 유리, 고밀도(dense) 플린트 SF2, 란탄 고밀도 플린트 LASF45, 및 플루오로포스페이트 FPL51 및 플루오로포스페이트 FPL55 유리 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 제2 광학 렌즈(20)는 플라스틱으로 제조될 수 있고, 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA), 폴리스티렌, 폴리비닐 알코올, 및 폴리카르보네이트 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 일부 실시 형태에서, 제1 광학 렌즈(10)는 모놀리식(monolithic) 유리 요소이다. 일부 실시 형태에서, 제2 광학 렌즈(20)는 모놀리식 플라스틱 요소이다.

- [0045] 일부 실시 형태에서, 이미지(55)는 액정 디스플레이 패널 또는 유기 발광 다이오드(OLED) 디스플레이 패널이다.
- [0046] "약" 및 "실질적으로"와 같은 용어들은 이들이 본 명세서에 사용되고 기술된 맥락에서 당업자에 의해 이해될 것이다. 특징부 크기, 양 및 물리적 특성을 표현하는 양에 적용되는 바와 같은 "약"의 사용은, 그것이 본 명세서에서 사용되고 기술된 맥락에서 당업자에게 달리 명백하지 않다면, "약"은 명시된 값의 5% 이내를 의미하는 것으로 이해될 것이다. 명시된 값이 "약"으로서 주어진 양은 정확하게 그러한 명시된 값일 수 있다. 예를 들어, 본 명세서에서 사용되고 기술된 맥락에서 당업자에게 달리 명백하지 않다면, 약 1의 값을 갖는 양은 그 양이 0.95 내지 1.05의 값을 갖고, 그 값이 1일 수 있음을 의미한다. "실질적으로 수직인"의 사용이 그것이 본 명세서에서 사용되고 기술된 맥락에서 당업자에게 달리 명백하지 않다면, "실질적으로 수직인"은 수직의 30도 이내를 의미할 것이다. "실질적으로 수직인"으로 기술된 방향들은, 일부 실시 형태에서, 수직의 20도 이내, 또는 10도 이내일 수 있거나, 수직이거나 공칭상 수직일 수 있다.
- [0047] 하기는 본 발명의 예시적인 실시 형태들의 목록이다.
- [0048] 실시 형태 1은 관찰자에게 이미지를 표시하기 위한 광학 시스템으로서,
- [0049] 만곡된 제1 주 표면을 포함하는 제1 광학 렌즈;
- [0050] 제1 광학 렌즈의 만곡된 제1 주 표면 상에 배치되어 이에 정합하고, 제1, 제2 및 제3 색상 광들 각각에 대해 30% 이상의 평균 광학 반사율을 갖는 부분 반사기;
- [0051] 만곡된 제1 주 표면을 포함하는 제2 광학 렌즈;
- [0052] 제2 광학 렌즈의 만곡된 제1 주 표면 상에 배치되어 이에 정합하는 일체형 반사 편광기
- [0053] 를 포함하며,
- [0054] 일체형 반사 편광기는,
- [0055] 제1 편광 상태를 갖는 제1 색상 광을 반사시키고, 직교하는 제2 편광 상태를 갖는 제1 색상 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태들 각각에 대한 제2 및 제3 색상 광들을 투과시키도록 구성되는 제1 복수의 순차적으로 배열된 간섭 층들;
- [0056] 총 제1 두께를 갖는 하나 이상의 제1 비-간섭 층들에 의해 제1 복수의 간섭 층들로부터 분리되는 제2 복수의 순차적으로 배열된 간섭 층들 - 제2 복수의 간섭 층들은 제1 편광 상태를 갖는 제2 색상 광을 반사시키고, 제2 편광 상태를 갖는 제2 색상 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태들 각각에 대한 제1 및 제3 색상 광들을 투과시키도록 구성됨 -; 및
- [0057] 총 제2 두께를 갖는 하나 이상의 제2 비-간섭 층들에 의해 제2 복수의 간섭 층들로부터 분리되는 제3 복수의 순차적으로 배열된 간섭 층들 - 제3 복수의 간섭 층들은 제1 편광 상태를 갖는 제3 색상 광을 반사시키고, 제2 편광 상태를 갖는 제3 색상 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태들 각각에 대해 제1 및 제2 색상 광들을 투과시키도록 구성됨 -
- [0058] 을 포함하며,
- [0059] 제1, 제2 및 제3 복수의 간섭 층들 내의 각각의 간섭 층은 주로 광 간섭에 의해 광을 반사 또는 투과시키고, 각각의 제1 및 제2 비-간섭 층은 주로 광 간섭에 의해 광을 반사 또는 투과시키지 않으며, 제2 복수의 간섭 층들은 제1 및 제2 두께들 각각을 10%만큼 변화시키는 것이 광학 시스템의 색수차(chromatic aberration)의 크기를 20% 이상만큼 증가시키도록 제1 복수의 간섭 층들과 제3 복수의 간섭 층들 사이에 배치되는, 광학 시스템이다.
- [0060] 실시 형태 2는 실시 형태 1의 광학 시스템으로서, 제1 색상 광은 적색이고, 제2 색상 광은 녹색이며, 제3 색상 광은 청색인, 광학 시스템이다.
- [0061] 실시 형태 3은 실시 형태 1 또는 실시 형태 2의 광학 시스템으로서, 제1, 제2 및 제3 복수의 간섭 층들 내의 각각의 간섭 층은 200 nm 미만의 두께를 갖는, 광학 시스템이다.
- [0062] 실시 형태 4는 실시 형태 1 내지 실시 형태 3 중 어느 한 실시 형태의 광학 시스템으로서, 각각의 제1 및 제2 비-간섭 층은 1 마이크로미터 초과와 두께를 갖는, 광학 시스템이다.
- [0063] 실시 형태 5는 실시 형태 1 내지 실시 형태 4 중 어느 한 실시 형태의 광학 시스템으로서, 제1 및 제2 두께들 각각을 10%만큼 변화시키는 것은 제1 및 제2 두께들 각각을 10%만큼 증가시키는 것을 포함하는, 광학 시스템이

다.

- [0064] 실시 형태 6은 실시 형태 1 내지 실시 형태 4 중 어느 한 실시 형태의 광학 시스템으로서, 제1 및 제2 두께들 각각을 10%만큼 변화시키는 것은 제1 및 제2 두께들 각각을 10%만큼 감소시키는 것을 포함하는, 광학 시스템이다.
- [0065] 실시 형태 7은 실시 형태 1 내지 실시 형태 6 중 어느 한 실시 형태의 광학 시스템으로서, 제1 및 제2 두께들 각각을 10%만큼 변화시키는 것은 광학 시스템의 색수차의 크기를 30%이상만큼 증가시키는, 광학 시스템이다.
- [0066] 실시 형태 8은 실시 형태 1 내지 실시 형태 6 중 어느 한 실시 형태의 광학 시스템으로서, 제1 및 제2 두께들 각각을 10%만큼 변화시키는 것은 광학 시스템의 색수차의 크기를 40%이상만큼 증가시키는, 광학 시스템이다.
- [0067] 실시 형태 9는 실시 형태 1 내지 실시 형태 6 중 어느 한 실시 형태의 광학 시스템으로서, 제1 및 제2 두께들 각각을 10%만큼 변화시키는 것은 광학 시스템의 색수차의 크기를 50%이상만큼 증가시키는, 광학 시스템이다.
- [0068] 실시 형태 10은 실시 형태 1 내지 실시 형태 9 중 어느 한 실시 형태의 광학 시스템으로서, 색수차는 종방향 색수차인, 광학 시스템이다.
- [0069] 실시 형태 11은 실시 형태 1 내지 실시 형태 10 중 어느 한 실시 형태의 광학 시스템으로서, 반사 편광기는 반대편의 제1 및 제2 주 표면들을 포함하고, 제2 주 표면은 관찰자에 대면하며, 광학 시스템은 제1 색상 광으로부터 제2 색상 광까지의 제1 종방향 색수차( $d_1$ )를 가져, 제1 주 표면이 관찰자에 대면하도록 반사 편광기를 역전시키는 것이 광학 시스템이 제1 색상 광으로부터 제3 색상 광까지의 제2 종방향 색수차( $d_2$ )를 갖게 하도록 하고,  $d_2 > d_1$ 인, 광학 시스템이다.
- [0070] 실시 형태 12는 실시 형태 1 내지 실시 형태 11 중 어느 한 실시 형태의 광학 시스템으로서, 부분 반사기와 반사 편광기 사이에 배치된 지연기를 추가로 포함하는, 광학 시스템이다.
- [0071] 실시 형태 13은 관찰자에게 이미지를 표시하기 위한 광학 이미징 시스템으로서, 제1 및 제2 반사 구역들을 포함하는 반사 편광기를 포함하여, 반사 편광기에 실질적으로 수직으로 입사되는 광에 대해, 제1 구역이 제1 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키고 상이한 비-중첩 제2 파장 범위 내의 광을 실질적으로 투과시키며, 제2 구역이 제2 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키고 제1 파장 범위 내의 광을 실질적으로 투과시키도록 하고, 제1 및 제2 반사 구역들은 거리( $d$ )만큼 분리된 대응하는 제1 및 제2 중간점들을 갖는 제1 및 제2 두께들을 가져, 제1 및 제2 반사 구역들이 바로 인접하도록  $d$ 를 감소시킬 때 야기되는, 제1 파장 범위로부터 제2 파장 범위까지의 광학 이미징 시스템의 종방향 색수차가 거리( $h$ )이도록 하며,  $0.3h \leq d \leq 0.7h$ 인, 광학 이미징 시스템이다.
- [0072] 실시 형태 14는 실시 형태 13의 광학 이미징 시스템으로서, 반사 편광기는 제1 반사 구역과 제2 반사 구역 사이에 배치된 제3 반사 구역을 추가로 포함하여, 반사 편광기에 실질적으로 수직으로 입사하는 광에 대해, 제3 구역이 제1 파장 범위와 제2 파장 범위 사이에 있고 이들 파장 범위와 중첩하지 않는 제3 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키도록 하는, 광학 이미징 시스템이다.
- [0073] 실시 형태 15는 실시 형태 13 또는 실시 형태 14의 광학 이미징 시스템으로서, 만곡된 제1 주 표면을 포함하는 제1 광학 렌즈;
- [0074] 제1 광학 렌즈의 만곡된 제1 주 표면 상에 배치되어 이에 정합하고 제1 및 제2 파장 범위들 각각에 대해 30% 이상의 평균 광학 반사율을 갖는 부분 반사기; 및
- [0075] 만곡된 제1 주 표면을 포함하는 제2 광학 렌즈
- [0076] 를 추가로 포함하고,
- [0077] 반사 편광기는 제2 광학 렌즈의 만곡된 제1 주 표면 상에 배치되어 이에 정합하는, 광학 이미징 시스템이다.
- [0078] 실시 형태 16은 실시 형태 15의 광학 이미징 시스템으로서, 부분 반사기와 반사 편광기 사이에 배치된 지연기를 추가로 포함하는, 광학 이미징 시스템이다.
- [0079] 실시 형태 17은 실시 형태 13 내지 실시 형태 16 중 어느 한 실시 형태의 광학 이미징 시스템으로서,  $d$ 를 10%만큼 변화시키는 것은 종방향 색수차의 크기를 20% 이상만큼 증가시키는, 광학 이미징 시스템이다.
- [0080] 실시 형태 18은 실시 형태 13 내지 실시 형태 17 중 어느 한 실시 형태의 광학 이미징 시스템으로서, 반사 편광기는 반대편의 제1 및 제2 주 표면들을 포함하고, 제2 주 표면은 관찰자에 대면하며, 광학 시스템은 제1 파장

범위 내의 광으로부터 제2 파장 범위 내의 광까지의 제1 종방향 색수차( $d_1$ )를 가져, 제1 주 표면이 관찰자에 대면하도록 반사 편광기를 역전시키는 것이 광학 시스템이 제1 파장 범위 내의 광으로부터 제2 파장 범위 내의 광까지의 제2 종방향 색수차( $d_2$ )를 갖게 하도록 하고,  $d_2 > d_1$ 인, 광학 이미징 시스템이다.

- [0081] 실시 형태 19는 실시 형태 13 내지 실시 형태 18 중 어느 한 실시 형태의 광학 이미징 시스템으로서,  $0.35h \leq d \leq 0.65h$ 인, 광학 이미징 시스템이다.
- [0082] 실시 형태 20은 실시 형태 13 내지 실시 형태 18 중 어느 한 실시 형태의 광학 이미징 시스템으로서,  $0.4h \leq d \leq 0.6h$ 인, 광학 이미징 시스템이다.
- [0083] 실시 형태 21은 관찰자에게 물체의 이미지를 표시하기 위한 광학 이미징 시스템으로서, 반대편의 제1 및 제2 주 표면들을 포함하는 반사 편광기를 포함하고, 제1 주 표면은 물체에 대면하며, 광학 이미징 시스템은 제1 색상 파장으로부터 제2 색상 파장까지의 제1 종방향 색수차( $d_1$ )를 가져, 제2 주 표면이 물체에 대면하도록 반사 편광기를 역전시키는 것이 광학 이미징 시스템이 제1 색상 파장으로부터 제2 색상 파장까지의 제2 종방향 색수차( $d_2$ )를 갖게 하도록 하고,  $d_2 > d_1$ 인, 광학 이미징 시스템이다.
- [0084] 실시 형태 22는 실시 형태 21의 광학 이미징 시스템으로서,  $d_2$ 는  $d_1$ 의 1.2배 이상, 또는  $d_1$ 의 1.5배 이상, 또는  $d_1$ 의 2배 이상, 또는  $d_1$ 의 2.5배 이상, 또는  $d_1$ 의 3배 이상, 또는  $d_1$ 의 3.5배 이상, 또는  $d_1$ 의 4배 이상인, 광학 이미징 시스템이다.
- [0085] 실시 형태 23은 실시 형태 21 또는 실시 형태 22의 광학 이미징 시스템으로서, 반사 편광기는,
- [0086] 제1 편광 상태에 대한 제1 색상 파장을 갖는 광을 반사시키고, 직교하는 제2 편광 상태에 대한 제1 색상 파장을 갖는 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태들 각각에 대한 제2 색상 파장을 갖는 광을 투과시키도록 구성되는 제1 복수의 간섭 층들; 및
- [0087] 제1 편광 상태에 대한 제2 색상 파장을 갖는 광을 반사시키고, 제2 편광 상태에 대한 제2 색상 파장을 갖는 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태들 각각에 대한 제1 색상 파장을 갖는 광을 투과시키도록 구성되는 제2 복수의 간섭 층들
- [0088] 을 포함하고,
- [0089] 제1 및 제2 복수의 간섭 층들은 각자의 제1 및 제2 중간점들을 가져, 제1 중간점과 제2 중간점 사이의 거리를 10%만큼 변화시키는 것이 제1 종방향 색수차를 20% 이상만큼 증가시키도록 하는, 광학 이미징 시스템이다.
- [0090] 실시 형태 24는 실시 형태 21 내지 실시 형태 23 중 어느 한 실시 형태의 광학 이미징 시스템으로서, 만족된 제1 주 표면을 포함하는 제1 광학 렌즈;
- [0091] 제1 광학 렌즈의 만족된 제1 주 표면 상에 배치되어 이에 정합하고 제1 및 제2 색상 파장들 각각에 대해 30% 이상의 평균 광학 반사율을 갖는 부분 반사기; 및
- [0092] 만족된 제1 주 표면을 포함하는 제2 광학 렌즈
- [0093] 를 추가로 포함하고,
- [0094] 반사 편광기는 제2 광학 렌즈의 만족된 제1 주 표면 상에 배치되어 이에 정합하는, 광학 이미징 시스템이다.
- [0095] 실시 형태 25는 실시 형태 21 내지 실시 형태 23 중 어느 한 실시 형태의 광학 이미징 시스템으로서, 부분 반사기와 반사 편광기 사이에 배치된 지연기를 추가로 포함하는, 광학 이미징 시스템이다.
- [0096] 실시 형태 26은 실시 형태 21 내지 실시 형태 25 중 어느 한 실시 형태의 광학 이미징 시스템으로서, 반사 편광기는 제1 및 제2 반사 구역들을 포함하여, 반사 편광기에 실질적으로 수직으로 입사되는 광에 대해, 제1 구역이 제1 색상 파장을 포함하는 제1 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키고 제2 색상 파장을 포함하는 상이한 비-중첩 제2 파장 범위 내의 광을 실질적으로 투과시키며, 제2 구역이 제2 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키고 제1 파장 범위 내의 광을 실질적으로 투과시키도록 하고, 제1 및 제2 반사 구역들은 거리( $d$ )만큼 분리된 대응하는 제1 및 제2 중간점들을 갖는 제1 및 제2 두께들을 가져, 제1 및 제2 반사 구역들이 바로 인접하도록  $d$ 를 감소시킬 때 야기되는, 제1 파장 범위로부터 제2 파장 범위까지의 광학 이미징 시스템의 종방향 색수차가 거리( $h$ )이도록 하며,  $0.3h \leq d \leq 0.7h$ 인, 광학 이미징 시스템이다.
- [0097] 실시 형태 27은 관찰자에게 물체의 이미지를 표시하기 위한 광학 이미징 시스템으로서, 물체에 대면하는 제1 주 표면, 및 적어도 400 내지 600 nm로 연장되는 미리 결정된 파장 범위에서 주로 광 간섭에 의해 광을 반사 및 투

과시시키고 모두 50개 이상이 되는 복수의 중합체 간섭 층들을 포함하는 반사 편광기를 포함하여, 제1 주 표면이 물체로부터 멀리 대면하도록 반사 편광기를 역전시키는 것이 미리 결정된 파장 범위에서의 광학 이미징 시스템의 종방향 색수차를 20% 이상만큼 증가시키도록 하는, 광학 이미징 시스템이다.

- [0098] 실시 형태 28은 실시 형태 27의 광학 이미징 시스템으로서, 제1 주 표면이 물체로부터 멀리 대면하도록 반사 편광기를 역전시키는 것은 미리 결정된 파장 범위에서의 광학 이미징 시스템의 종방향 색수차를 50% 이상만큼 증가시키는, 광학 이미징 시스템이다.
- [0099] 실시 형태 29는 실시 형태 27 또는 실시 형태 28의 광학 이미징 시스템으로서, 제1 주 표면이 물체로부터 멀리 대면하도록 반사 편광기를 역전시키는 것은 미리 결정된 파장 범위에서의 광학 이미징 시스템의 종방향 색수차를 100% 이상만큼 증가시키는, 광학 이미징 시스템이다.
- [0100] 실시 형태 30은 실시 형태 27 내지 실시 형태 29 중 어느 한 실시 형태의 광학 이미징 시스템으로서, 제1 주 표면이 물체로부터 멀리 대면하도록 반사 편광기를 역전시키는 것은 미리 결정된 파장 범위에서의 광학 이미징 시스템의 종방향 색수차를 150% 이상만큼 증가시키는, 광학 이미징 시스템이다.
- [0101] 실시 형태 31은 실시 형태 27 내지 실시 형태 30 중 어느 한 실시 형태의 광학 이미징 시스템으로서, 제1 주 표면이 물체로부터 멀리 대면하도록 반사 편광기를 역전시키는 것은 미리 결정된 파장 범위에서의 광학 이미징 시스템의 종방향 색수차를 200% 이상, 또는 250% 이상, 또는 300% 이상만큼 증가시키는, 광학 이미징 시스템이다.
- [0102] 실시 형태 32는 실시 형태 27 내지 실시 형태 31 중 어느 한 실시 형태의 광학 이미징 시스템으로서, 미리 결정된 파장 범위는 적어도 400 nm 내지 700 nm로 연장되는, 광학 이미징 시스템이다.
- [0103] 실시 형태 33은 실시 형태 27 내지 실시 형태 32 중 어느 한 실시 형태의 광학 이미징 시스템으로서, 반사 편광기는 제1 및 제2 반사 구역들을 포함하여, 반사 편광기에 실질적으로 수직으로 입사되는 광에 대해, 제1 구역이 미리 결정된 파장 범위 내의 제1 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키고 미리 결정된 파장 범위 내의 상이한 비-중첩 제2 파장 범위 내의 광을 실질적으로 투과시키며, 제2 구역이 제2 파장 범위 내의 광을 실질적으로 반사시키고 제1 파장 범위 내의 광을 실질적으로 투과시키도록 하고, 제1 및 제2 반사 구역들은 거리(d)만큼 분리된 대응하는 제1 및 제2 중간점들을 갖는 제1 및 제2 두께들을 가져, 제1 및 제2 반사 구역들이 바로 인접하도록 d를 감소시킬 때 야기되는, 제1 파장 범위로부터 제2 파장 범위까지의 광학 이미징 시스템의 종방향 색수차가 거리(h)이도록 하며,  $0.3h \leq d \leq 0.7h$ 인, 광학 이미징 시스템이다.
- [0104] 실시 형태 34는 실시 형태 27 내지 실시 형태 33 중 어느 한 실시 형태의 광학 이미징 시스템으로서, 반사 편광기는 일체로 형성되고,
- [0105] 제1 편광 상태를 갖는 제1 색상 광을 반사시키고, 직교하는 제2 편광 상태를 갖는 제1 색상 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태들 각각에 대한 제2 및 제3 색상 광들을 투과시키도록 구성되는, 제1 복수의 순차적으로 배열된 간섭 층들;
- [0106] 총 제1 두께를 갖는 하나 이상의 제1 비-간섭 층들에 의해 제1 복수의 간섭 층들로부터 분리되는 제2 복수의 순차적으로 배열된 간섭 층들 - 제2 복수의 간섭 층들은 제1 편광 상태를 갖는 제2 색상 광을 반사시키고, 제2 편광 상태를 갖는 제2 색상 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태들 각각에 대한 제1 및 제3 색상 광들을 투과시키도록 구성됨 -; 및
- [0107] 총 제2 두께를 갖는 하나 이상의 제2 비-간섭 층들에 의해 제2 복수의 간섭 층들로부터 분리되는 제3 복수의 순차적으로 배열된 간섭 층들 - 제3 복수의 간섭 층들은 제1 편광 상태를 갖는 제3 색상 광을 반사시키고, 제2 편광 상태를 갖는 제3 색상 광을 투과시키고, 제1 및 제2 편광 상태들 각각에 대해 제1 및 제2 색상 광들을 투과시키도록 구성됨 -
- [0108] 을 포함하며, 제1, 제2 및 제3 복수의 간섭 층들 내의 각각의 간섭 층은 주로 광 간섭에 의해 광을 반사 또는 투과시키고, 각각의 제1 및 제2 비-간섭 층은 주로 광 간섭에 의해 광을 반사 또는 투과시키지 않으며, 제2 복수의 간섭 층들은 제1 및 제2 두께들 각각을 10%만큼 변화시키는 것이 미리 결정된 파장 범위 내에서의 광학 이미징 시스템의 종방향 색수차를 20% 이상만큼 증가시키도록 제1 복수의 간섭 층들과 제3 복수의 간섭 층들 사이에 배치되는, 광학 이미징 시스템이다.
- [0109] 실시 형태 35는 실시 형태 27 내지 실시 형태 34 중 어느 한 실시 형태의 광학 이미징 시스템으로서, 만족된 제1 주 표면을 포함하는 제1 광학 렌즈;

[0110] 제1 광학 렌즈의 만곡된 제1 주 표면 상에 배치되어 이에 정합하고 미리 결정된 파장 범위에서 30% 이상의 평균 광학 반사율을 갖는 부분 반사기; 및

[0111] 만곡된 제1 주 표면을 포함하는 제2 광학 렌즈

[0112] 를 추가로 포함하고,

[0113] 반사 편광기는 제2 광학 렌즈의 만곡된 제1 주 표면 상에 배치되어 이에 정합하는, 광학 이미징 시스템이다.

[0114] 실시 형태 36은 실시 형태 35의 광학 이미징 시스템으로서, 부분 반사기와 반사 편광기 사이에 배치된 지연기를 추가로 포함하는, 광학 이미징 시스템이다.

[0115] **실시예**

[0116] 제맥스 옵티스튜디오(Zemax OpticStudio)(등록상표) 모델링 소프트웨어를 사용하여 광학 시스템(850)과 유사한 광학 시스템을 모델링하였다. 제2 광학 렌즈(20)의 제1 주 표면(21) 상의 40 마이크로미터 두께의 요소로서 반사 편광기를 모델링하였다. 제2 광학 렌즈(20)의 반대편의 최외측 주 표면에서 또는 제2 광학 렌즈(20)에 바로 인접한 주 표면에서 발생하는 것으로서 차단 편광 상태의 광의 반사를 모델링하였다. 제1 광학 렌즈(10)를 N-BK7 유리로서 모델링하였고, 제2 광학 렌즈(20)를 아크릴로서 모델링하였다. 제1 광학 렌즈(10)의 제1 주 표면(11)은 곡률 반경이 51.7 mm인 구형이었고, 제1 광학 렌즈(10)의 제2 주 표면(12)은 평탄하였다. 제1 광학 렌즈(10)는 제1 광학 렌즈(10)의 중심에서 7 mm의 두께를 가졌다. 제2 광학 렌즈(20)의 제1 및 제2 주 표면(21, 22)들은 심지어 수학적 식에 의해 기술되는 비구면 표면이었다:

[0117] [수학적 식 1]

$$z = \frac{cr^2}{1 + \left[1 - (1+k)c^2r^2\right]^{1/2}} + Er^4 + Fr^6 + Gr^8$$

[0118] 제1 주 표면(21)의 경우, 길이에 대해 mm를 사용하면,  $c = -1/(120.4)$ ,  $k = 0$ ,  $E = 2.5E-06$ 이고, F와 G는 0이었다. 제2 주 표면(22)의 경우, 길이에 대해 mm를 사용하면,  $c = 1/(231.3)$ ,  $k = 4.91$ ,  $E = -1.43E-05$ ,  $F = 2.11E-08$ , 및  $G = -9.33E-11$ . 제2 광학 렌즈(20)는 제2 광학 렌즈(20)의 중심에서 3.2 mm의 두께를 가졌다.

[0120] 부분 반사기에 대한 초점 평면의 위치(도 9에서, 이는 광축(155)을 따라 지점(54)으로부터 부분 반사기(30)까지의 거리임)는 파장의 함수로서 결정되었고, 3개의 파장에 대해 하기 표에 보고되어 있다.

파장 (nm)	최외측 표면에서의 반사에 대한 초점 평면 (mm)	최외측 표면의 40 마이크로미터 아래에서의 반사에 대한 초점 평면 (mm)
486.133	0.079771	0.021588
587.562	0.13706	0.078558
656.273	0.162253	0.103613

[0121] 최외측 표면에서 반사가 일어난 경우에 대해 약 486 내지 약 656 nm의 미리 결정된 파장 범위에 걸친 종방향 색수차는 0.162253 mm 내지 0.079771 mm = 0.082482 mm 또는 약 82.5 마이크로미터였다. 최외측 표면의 40 마이크로미터 아래에서 반사가 일어난 경우에 대해 미리 결정된 파장 범위에 걸친 종방향 색수차는 0.103613 mm - 0.021588 mm = 0.082025 mm 또는 약 82.0 마이크로미터였다.

[0123] 제맥스 소프트웨어를 사용하여 상기 표 내의 3개의 파장에 대해 스폿 다이어그램(spot diagram)을 또한 결정하였다. 스폿 다이어그램은 점 객체(point object)로부터 이미지 크기를 결정한다. 수차가 없는 경우, 점 객체는 이미지 점으로 수렴할 것이다. 수차는 스폿의 크기를 증가시킨다. 색수차는 일부 파장이 더 큰 스폿을 생성하게 할 수 있고, 따라서 전체 스폿 크기를 증가시킬 수 있다. 최외측 표면에서 반사가 일어난 경우에 대해, 제곱평균(root-mean-square)(RMS) 스폿 반경은 13.2 마이크로미터였고, 기하학적 스폿 반경은 21.9 마이크로미터였다. 최외측 표면의 40 마이크로미터 아래에서 반사가 일어난 경우에 대해, RMS 스폿 반경은 11.6 마이크로미터였고, 기하학적 스폿 반경은 29.7 마이크로미터였다.

[0124] 최외측 주 표면에서 약 486 nm의 파장을 갖는 광을 반사시키도록 구성되고 이러한 최외측 표면의 40 마이크로미터 아래의 표면에서 약 656 nm의 파장을 갖는 광을 반사시키도록 구성된 층들을 갖는 반사 편광기는 0.103613 mm - 0.07977 mm = 0.023842 mm 또는 약 23.8 마이크로미터의 종방향 색수차를 갖는다. 이 경우에, RMS 스폿 반경은 8.0 마이크로미터인 것으로 결정되었고, 기하학적 스폿 반경은 12.5 마이크로미터인 것으로 결정되었다.

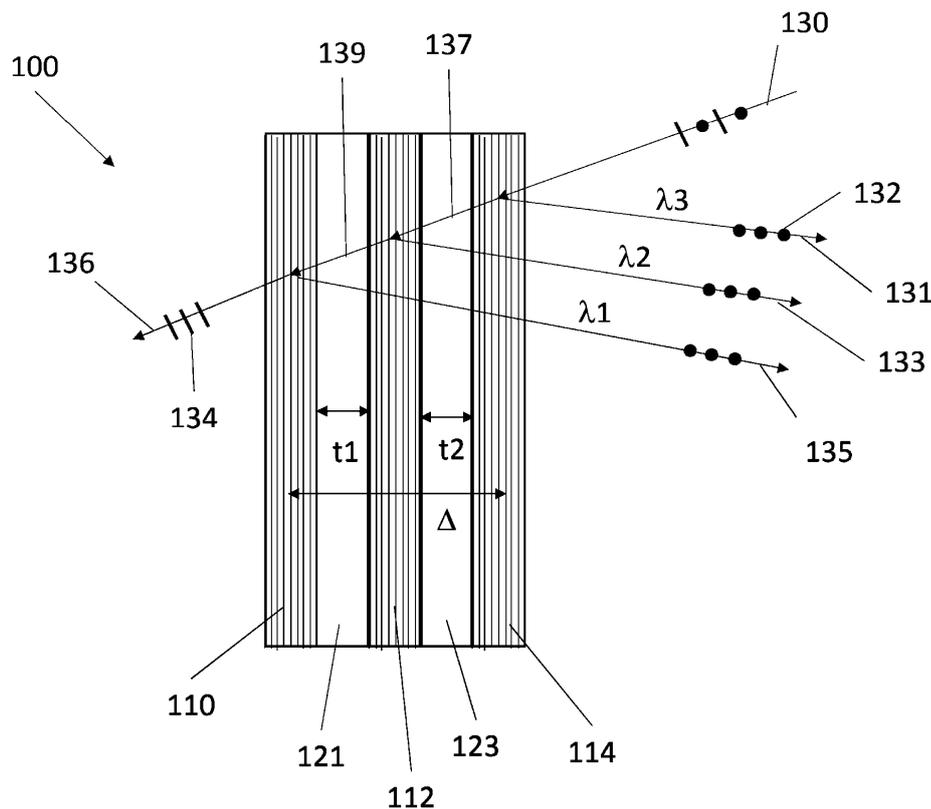
[0125] 약 656 nm의 파장이 최외측 주 표면에서 반사되고 약 486 nm의 파장이 이러한 최외측 표면의 40 마이크로미터 아래의 표면에서 반사되도록 반사 편광기를 역전시키는 것은 0.162253 - 0.021588 = 0.140665 mm 또는 약 141 마이크로미터의 종방향 색수차를 제공한다. 이 경우에, RMS 스폿 반경은 16.7 마이크로미터인 것으로 결정되었고, 기하학적 스폿 반경은 28.7 마이크로미터인 것으로 결정되었다.

[0126] 특허증을 위한 상기 출원에서의 모든 인용된 참고 문헌, 특허, 및 특허 출원은 전체적으로 일관된 방식으로 본 명세서에 참고로 포함된다. 본 출원과 포함되는 참고 문헌의 부분들 사이에 불일치 또는 모순이 있는 경우, 전술한 설명에서의 정보가 우선할 것이다.

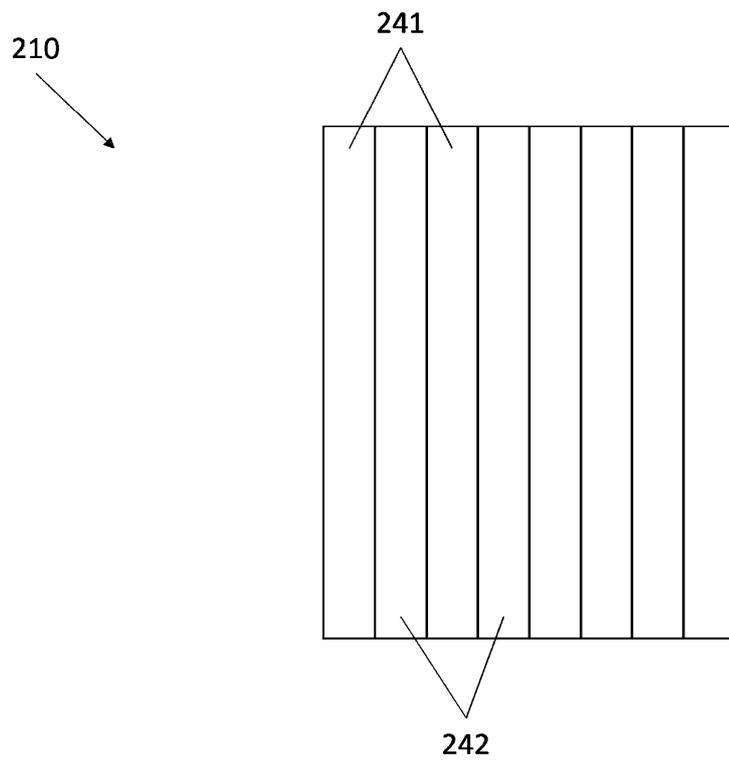
[0127] 도면 내의 요소에 대한 설명은 달리 지시되지 않는 한, 다른 도면 내의 대응하는 요소에 동등하게 적용되는 것으로 이해되어야 한다. 특정 실시 형태가 본 명세서에 예시되고 기술되어 있지만, 당업자는 본 발명의 범주로부터 벗어나지 않고서 다양한 대안 및/또는 등가의 구현예가 도시 및 기술된 특정 실시 형태를 대신할 수 있다는 것을 이해할 것이다. 본 출원은 본 명세서에 논의된 구체적인 실시 형태의 임의의 개조 또는 변형을 포함하도록 의도된다. 따라서, 본 발명은 오직 청구범위 및 이의 등가물에 의해서만 제한되는 것으로 의도된다.

**도면**

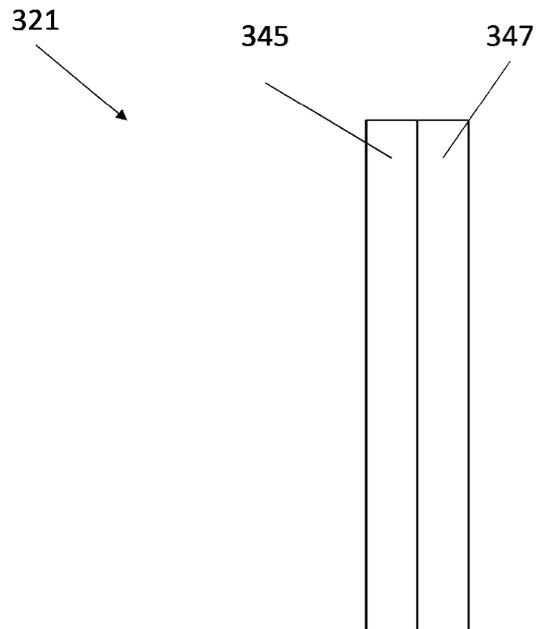
**도면1**



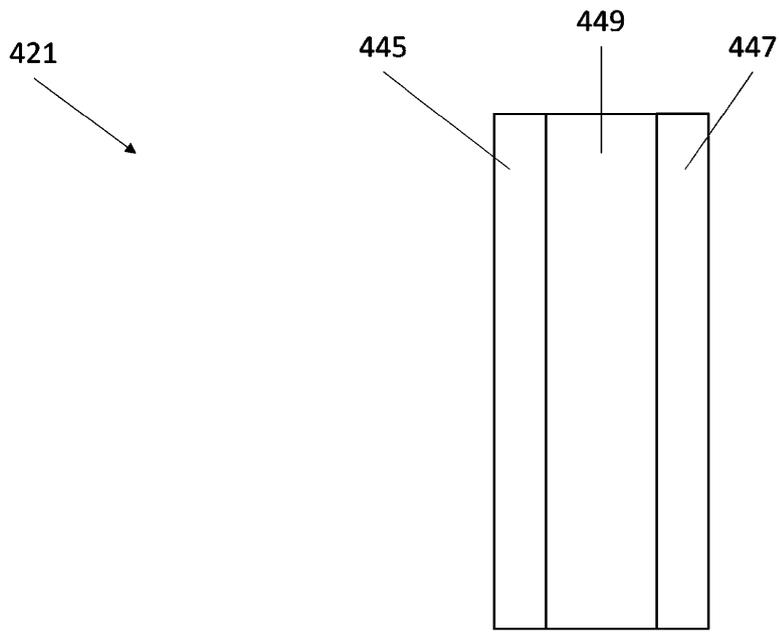
도면2



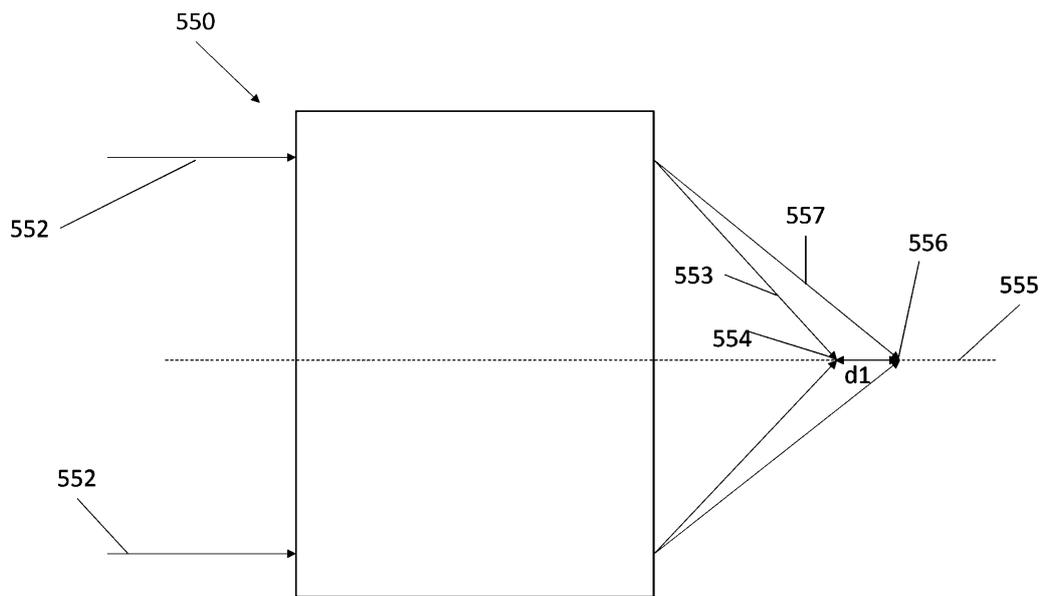
도면3



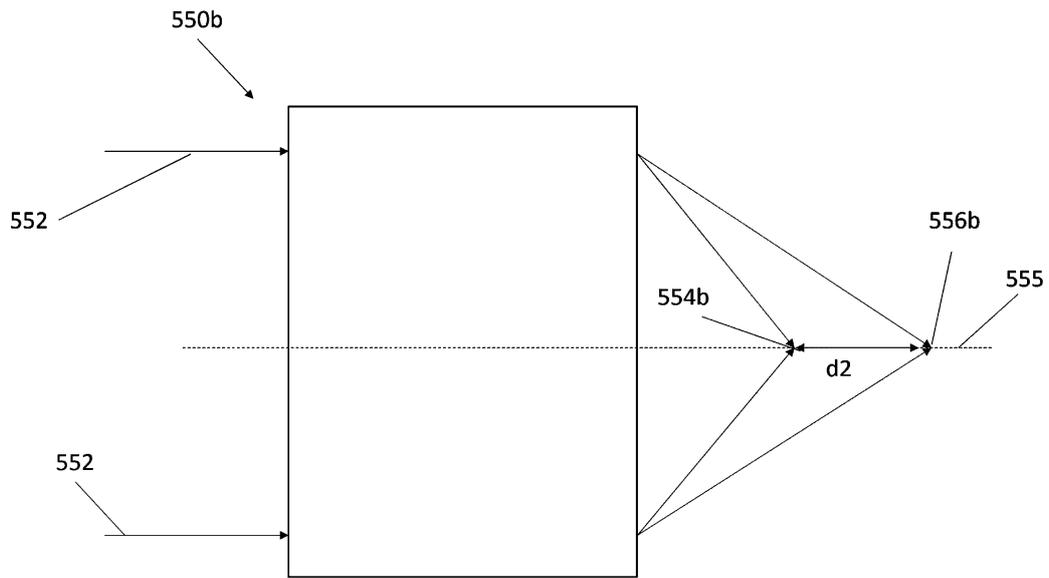
도면4



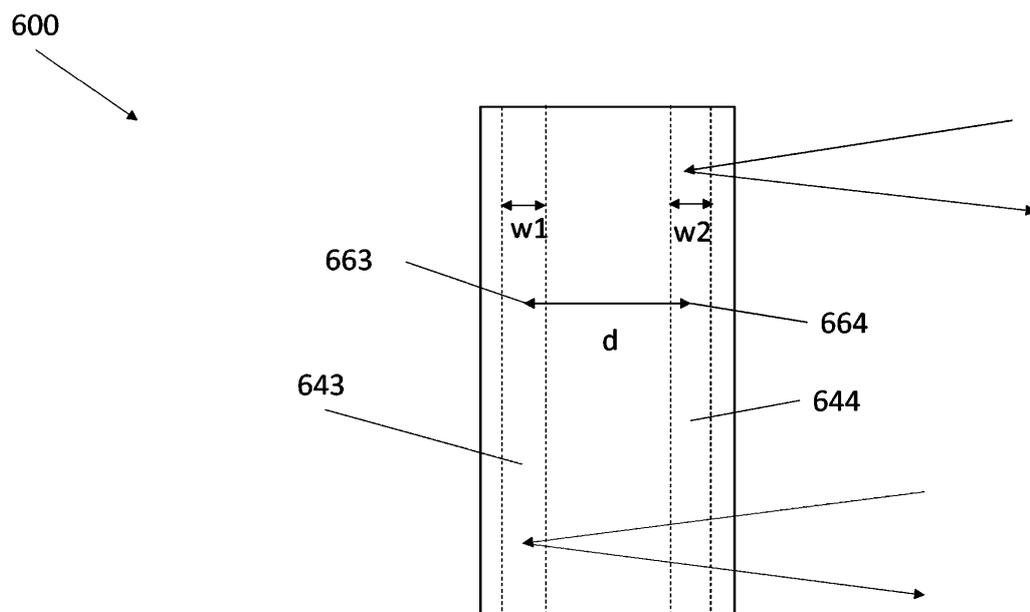
도면5a



도면5b

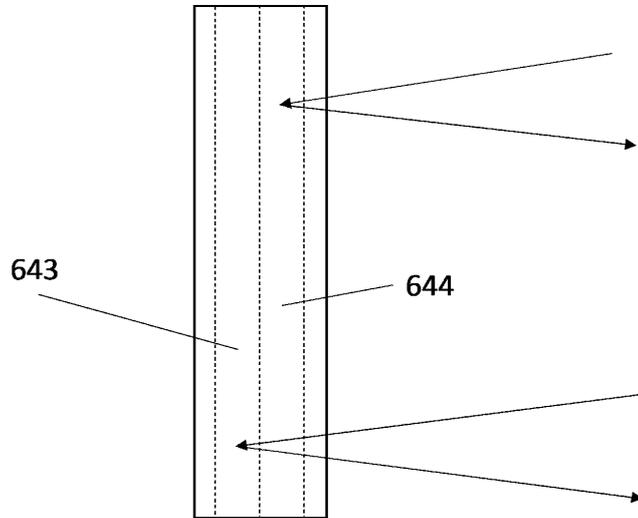


도면6a



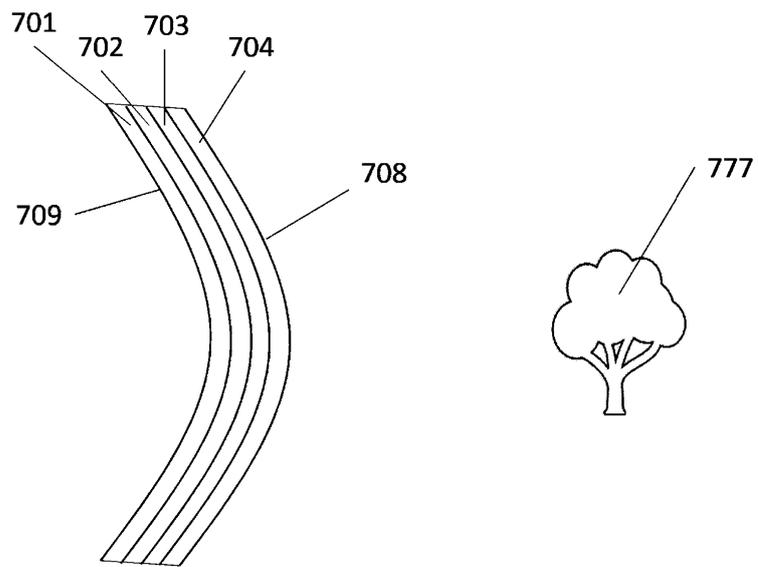
도면6b

600b

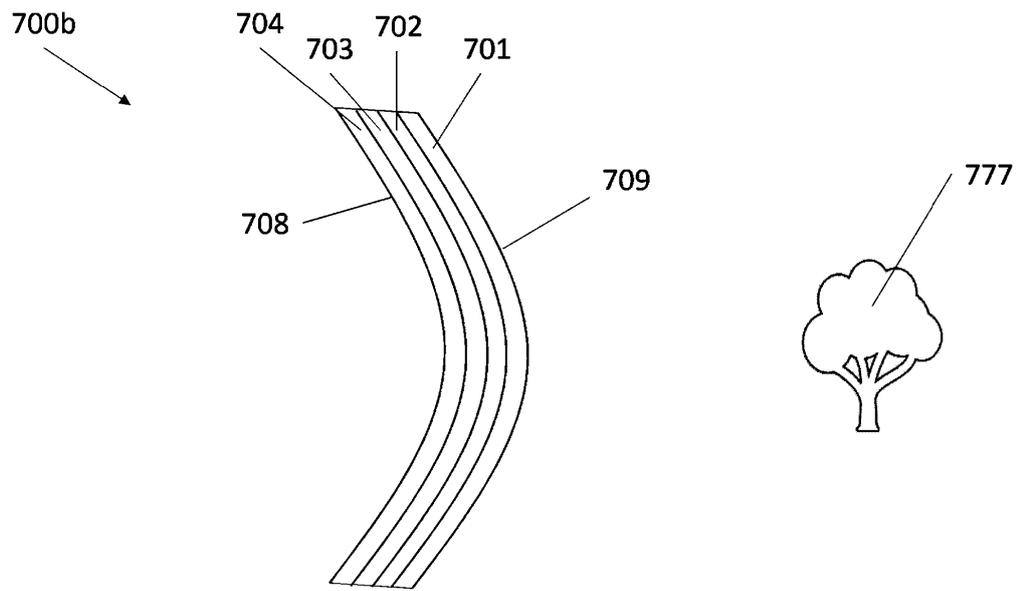


도면7a

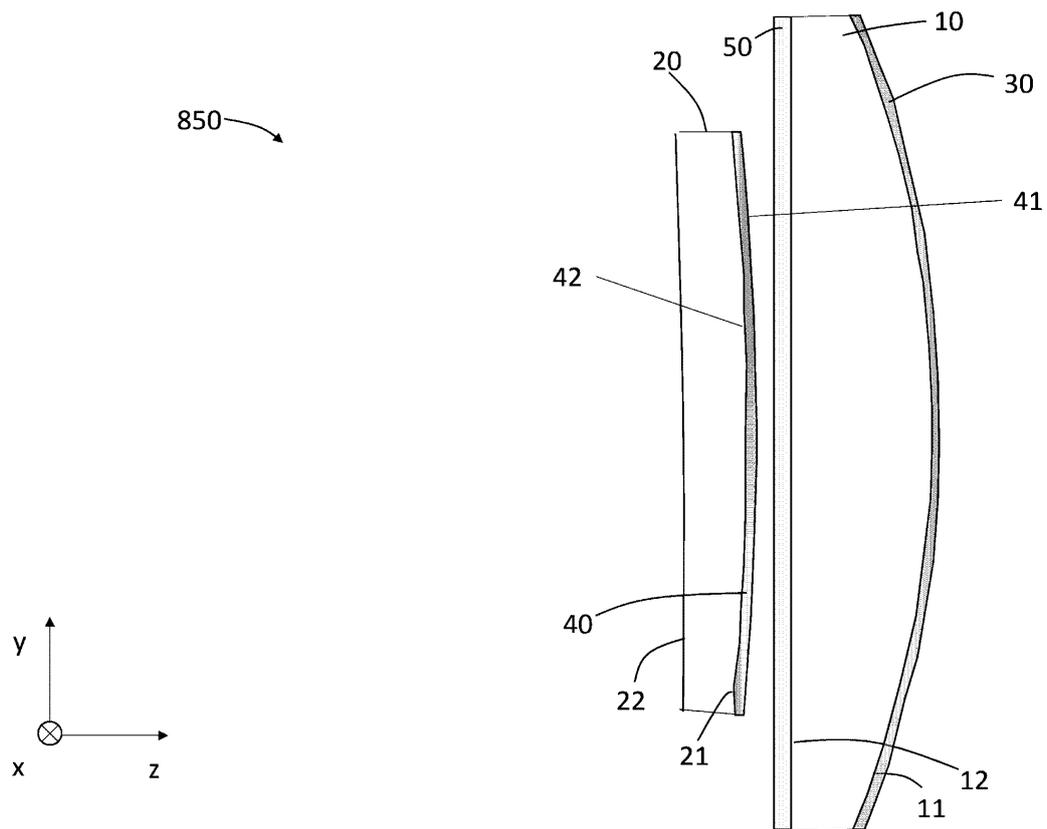
700



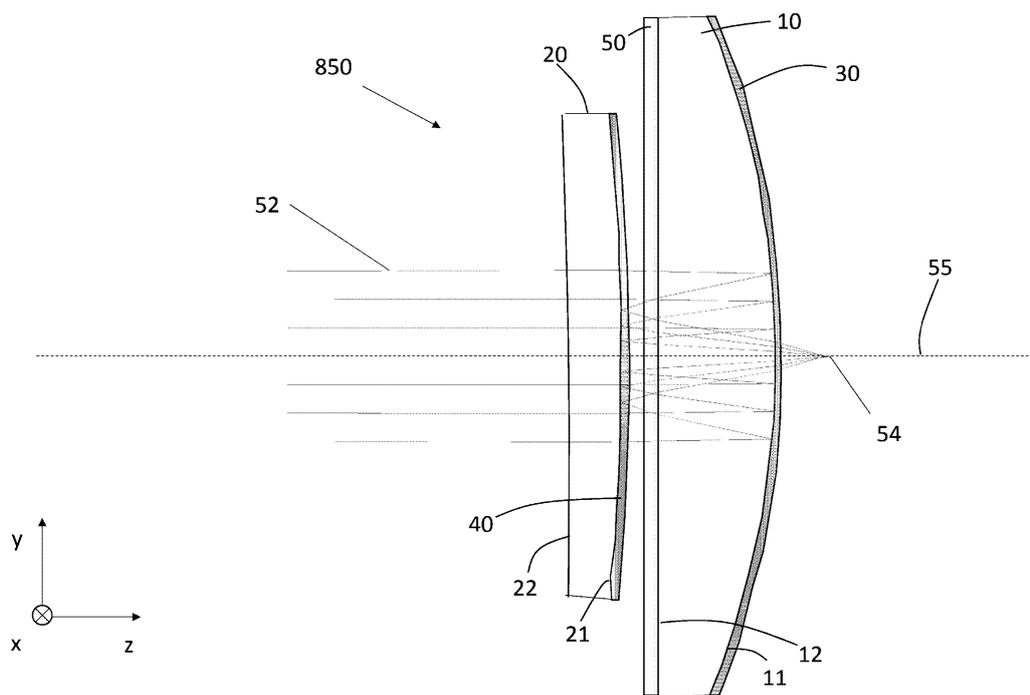
도면7b



도면8



도면9



도면10

