



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0074129
(43) 공개일자 2020년06월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 5/30 (2006.01) G02B 27/01 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02B 5/3083 (2013.01)
G02B 27/0172 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-7011763
(22) 출원일자(국제) 2018년10월19일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2020년04월23일
(86) 국제출원번호 PCT/IB2018/058168
(87) 국제공개번호 WO 2019/082039
국제공개일자 2019년05월02일
(30) 우선권주장
62/576,772 2017년10월25일 미국(US)

(71) 출원인
쓰리엠 이노베이티브 프로퍼티즈 컴파니
미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 피.오.박스 33427 쓰리엠 센터
(72) 발명자
윤 즈성
미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 포스트 오피스 박스 33427 쓰리엠 센터
스타이너 마이클 엘
미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 포스트 오피스 박스 33427 쓰리엠 센터
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
양영준, 조윤성, 김영

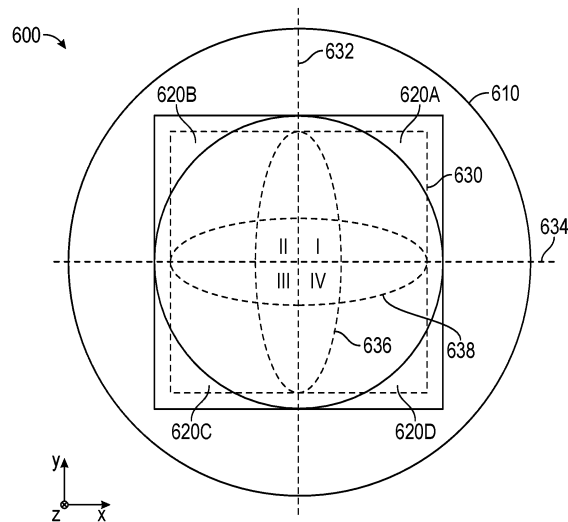
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 광학 지연기 세그먼트

(57) 요약

광학 요소는 약 400 nm 내지 약 1000 nm의 범위 내의 사전결정된 파장의 광을 수신하도록 구성되는 광학 표면을 포함한다. 광학 표면은 반시계 방향으로 순차적으로 번호가 부여되는 4개의 직교 사분면을 한정하는 수직축 및 수평축에 의해 한정된다. 광학 표면의 제1 종방향 섹션은 수직축 상에 중심설정되고, 광학 표면의 제2 종방향 섹션은 수평축 상에 중심설정된다. 제1 종방향 섹션 및 제2 종방향 섹션 각각은 광학 표면의 반대편 에지들을 가로질러 연장되고, 실질적으로 수직인 입사광에 대해 동일한 실질적으로 균일한 지연을 갖는다. 광학 요소는 4개의 이산 지연기 섹션을 포함한다. 각각의 지연기 섹션은 광학 표면의 각각의 직교 사분면 상에 배치되고, 0보다 큰, 광학 표면의 실질적으로 균일한 지연과의 지연 차이를 갖는다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G02B 2027/0118 (2013.01)

G02B 2027/012 (2013.01)

G02B 2027/0178 (2013.01)

(72) 발명자

이터 조 에이

미국 55113 미네소타주 로즈빌 브레너 애비뉴 1960

웡 티모시 엘

미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 포스트 오피스 박스 33427 쓰리엠 센터

베노이트 질스 제이

미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 포스트 오피스 박스 33427 쓰리엠 센터

레 존 디

미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 포스트 오피스 박스 33427 쓰리엠 센터

맥도웰 에린 에이

미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 포스트 오피스 박스 33427 쓰리엠 센터

켄트 수잔 엘

미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 포스트 오피스 박스 33427 쓰리엠 센터

명세서

청구범위

청구항 1

광학 요소로서,

약 400 nm 내지 약 1000 nm의 범위 내의 사전결정된 파장(λ)의 광을 수신하도록 구성되는 광학 표면 - 광학 표면은 반시계 방향으로 순차적으로 번호가 부여되는 4개의 직교 사분면(Cartesian quadrant)을 한정하는 수직축 및 수평축에 의해 한정됨 -;

수직축 상에 실질적으로 중심설정되는 제1 종방향 섹션;

수평축 상에 실질적으로 중심설정되는 제2 종방향 섹션 - 제1 종방향 섹션 및 제2 종방향 섹션 각각은 광학 표면의 반대편 에지들을 가로질러 연장되고, 실질적으로 수직인 입사광에 대해 동일한 실질적으로 균일한 지연(δ)을 가짐 -; 및

4개의 이산 지연기 섹션 - 각각의 지연기 섹션은 광학 표면의 각각의 직교 사분면 상에 배치됨 - 을 포함하고, 각각의 이산 지연기 섹션은 0보다 큰, δ 와의 지연 차이(θ)를 갖는 광학 요소.

청구항 2

제1항에 있어서, θ 는 약 0.2λ 미만인 광학 요소.

청구항 3

제1항에 있어서, 제1 이산 지연기 섹션 및 제3 이산 지연기 섹션은 δ 보다 큰 지연 차이($\theta+$)를 갖고, 제2 이산 지연기 섹션 및 제4 이산 지연기 섹션은 δ 보다 작은 지연 차이($\theta-$)를 갖는 광학 요소.

청구항 4

제1항에 있어서, 제1 종방향 섹션 및 제2 종방향 섹션 각각은 동일한 균일한 광학 두께(Λ)를 갖고, 각각의 이산 지연기 섹션은 0보다 큰, Λ 와 광학 두께 차이(ϵ)를 갖는 광학 요소.

청구항 5

제1항에 있어서, 광학 렌즈 상에 배치되는 지연기를 추가로 포함하고, 광학 표면은 지연기의 주 표면의 일부분인 광학 요소.

청구항 6

광을 투과시키기 위한 광학 시스템으로서,

적어도 하나의 주 표면을 갖는 하나 이상의 광학 렌즈;

하나 이상의 광학 렌즈의 제1 주 표면 상에 배치되고 그에 순응하는 반사 편광기 - 반사 편광기는 약 400 nm 내지 약 1000 nm의 범위 내의 사전결정된 파장에서 제1 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 반사하고, 직교하는 제2 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 투과시킴 -;

하나 이상의 광학 렌즈의 제2 주 표면 상에 배치되고 그에 순응하는 부분 반사기 - 부분 반사기는 사전결정된 파장에서 적어도 30%의 평균 광학 반사율을 갖고, 부분 반사기 및 반사 편광기는 그들 사이에 절첩된 광학 공동(folded optical cavity)을 한정함 -;

절첩된 광학 공동 내측에 배치되는 제1 지연기 층;

절첩된 광학 공동 외측에 배치되는 제2 지연기 층; 및

제1항의 광학 요소를 포함하는 제3 지연기 층을 포함하는 광학 시스템.

청구항 7

광학 시스템으로서,

적어도 하나의 주 표면을 갖는 하나 이상의 광학 렌즈;

하나 이상의 광학 렌즈의 제1 주 표면 상에 배치되고 그에 순응하는 반사 편광기 - 반사 편광기는 약 400 nm 내지 약 1000 nm의 범위 내의 사전결정된 파장에서 제1 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 반사하고, 직교하는 제2 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 투과시킴 -;

하나 이상의 광학 렌즈의 제2 주 표면 상에 배치되고 그에 순응하는 부분 반사기 - 부분 반사기는 사전결정된 파장에서 적어도 30%의 평균 광학 반사율을 갖고, 부분 반사기 및 반사 편광기는 그들 사이에 절첩된 광학 공동을 한정함 -;

절첩된 광학 공동 내측에 배치되고 사전결정된 파장에서 실질적으로 균일한 지연을 갖는 제1 지연기 층;

절첩된 광학 공동 외측에 배치되고 사전결정된 파장에서 실질적으로 균일한 지연을 갖는 제2 지연기 층; 및

절첩된 광학 공동 외측에 배치되고 사전결정된 파장에서 실질적으로 불균일한 지연을 갖는 제3 지연기 층을 포함하고,

따라서, 이미지가 광학 시스템의 입력 단부에서 수신되고 광학 시스템의 출력 단부에서 검출될 때, 광학 시스템의 출력 단부에서의 이미지는 제3 지연기 층을 갖지 않는 비교 광학 시스템의 출력 단부에서 검출된 이미지보다 적어도 5% 더 작은 최대 콘트라스트 변화를 갖는 광학 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서, 하나 이상의 광학 렌즈의 적어도 하나의 주 표면은 만곡된 표면인 광학 시스템.

청구항 9

관찰자에게 물체를 표시하기 위한 광학 시스템으로서,

적어도 하나의 만곡된 주 표면을 갖는 하나 이상의 광학 렌즈;

하나 이상의 광학 렌즈의 제1 주 표면 상에 배치되고 그에 순응하는 반사 편광기 - 반사 편광기는 약 400 nm 내지 약 1000 nm의 범위 내의 사전결정된 파장에서 제1 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 반사하고, 직교 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 투과시킴 -;

하나 이상의 광학 렌즈의 상이한 제2 주 표면 상에 배치되고 그에 순응하는 부분 반사기 - 부분 반사기는 사전결정된 파장에서 적어도 30%의 평균 광학 반사율을 갖고, 부분 반사기 및 반사 편광기는 그들 사이에 절첩된 광학 공동을 한정함 -;

절첩된 광학 공동 내측에 배치되고 사전결정된 파장에서 실질적으로 균일한 지연을 갖는 제1 지연기 층;

절첩된 광학 공동 외측에 배치되고 사전결정된 파장에서 실질적으로 균일한 지연을 갖는 제2 지연기 층; 및

절첩된 광학 공동 외측에 배치되고 사전결정된 파장에서 실질적으로 불균일한 지연을 갖는 제3 지연기 층을 포함하고,

따라서, 사전결정된 파장에서 디스플레이로부터 방출된 이미지 광선이 반사 편광기에 첫 번째로 입사할 때, 이미지 광선은 제1 반사율(ρ)로 실질적으로 반사되고, 이미지 광선이 반사 편광기에 두 번째로 입사할 때, 이미지 광선은 제1 투과율(τ)로 실질적으로 투과되며, 제3 지연기 층은 제1 반사율을 증가시키는 광학 시스템.

청구항 10

광학 시스템으로서,

적어도 하나의 주 표면을 갖는 하나 이상의 광학 렌즈;

하나 이상의 광학 렌즈의 제1 주 표면 상에 배치되고 그에 순응하는 반사 편광기 - 반사 편광기는 약 400 nm 내지 약 1000 nm의 범위 내의 사전결정된 파장에서 제1 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 반사하고, 직교하는 제2 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 투과시킴 -;

하나 이상의 광학 렌즈의 제2 주 표면 상에 배치되고 그에 순응하는 부분 반사기 - 부분 반사기는 사전결정된 파장에서 적어도 30%의 평균 광학 반사율을 갖고, 부분 반사기 및 반사 편광기는 그들 사이에 절첩된 광학 공동을 한정함 -;

절첩된 광학 공동 내측에 배치되고 사전결정된 파장에서 균일한 지연을 갖는 제1 지연기 층;

절첩된 광학 공동 외측에 배치되고 사전결정된 파장에서 균일한 지연을 갖는 제2 지연기 층; 및

절첩된 광학 공동 외측에 배치되고 사전결정된 파장에서 불균일한 지연을 갖는 제3 지연기 층을 포함하고,

따라서, 제1 편광된 상태를 갖는 균일하게 편광된 명시야(bright field) 이미지가 광학 시스템에 입사하고 반사 편광기 및 부분 반사기 각각에서 적어도 한 번의 반사를 겪은 후에 광학 시스템을 빠져나갈 때, 출사 이미지는 출사 개구부(exit aperture)를 충전하고, 개구부를 충전하는 이미지는 제1 편광 상태를 갖는 제1 이미지 성분을 가지며, 제1 이미지 성분의 최대 세기는 제3 지연기 층을 갖지 않는 비교 광학 시스템보다 적어도 10% 더 작은 광학 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 광학 요소에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 복수의 세그먼트를 갖는 광학 지연기에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 광학 시스템은 반사 편광기, 부분 반사기, 및 위상 지연기를 이용할 수 있다. 그러한 광학 시스템은 헤드-마운티드 디스플레이(head-mounted display)에 유용하다.

발명의 내용

[0003] 본 발명의 일부 태양에서, 광학 요소가 제공된다. 광학 요소는 약 400 nm 내지 약 1000 nm의 범위 내의 사전결정된 파장의 광을 수신하도록 구성되는 광학 표면을 포함한다. 광학 표면은 반시계 방향으로 순차적으로 번호가 부여되는 4개의 직교 사분면(Cartesian quadrant)을 한정하는 수직축 및 수평축에 의해 한정된다. 광학 표면의 제1 종방향 섹션은 수직축 상에 중심설정되고, 광학 표면의 제2 종방향 섹션은 수평축 상에 중심설정된다. 제1 종방향 섹션 및 제2 종방향 섹션 각각은 광학 표면의 반대편 에지들을 가로질러 연장되고, 실질적으로 수직인 입사광에 대해 동일한 실질적으로 균일한 지연(retardance)을 갖는다. 광학 요소는 4개의 이산(discrete) 지연기 섹션을 포함한다. 각각의 지연기 섹션은 광학 표면의 각각의 직교 사분면 상에 배치되고, 0보다 큰, 광학 표면의 실질적으로 균일한 지연과의 지연 차이를 갖는다.

[0004] 본 발명의 일부 태양에서, 전술된 광학 요소는 광학 시스템 내에 포함된다. 광학 시스템은 하나 이상의 광학 렌즈, 반사 편광기, 부분 반사기, 제1 지연기 층, 제2 지연기 층, 및 제3 지연기 층을 포함한다. 하나 이상의 광학 렌즈는 적어도 하나의 주 표면을 갖는다. 반사 편광기는 하나 이상의 광학 렌즈의 제1 주 표면 상에 배치되고 그에 순응한다. 부분 반사기와 반사 편광기는 그들 사이에 절첩된 광학 공동(folded optical cavity)을 한정한다. 반사 편광기는 약 400 nm 내지 약 1000 nm의 범위 내의 사전결정된 파장에서 제1 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 반사하고, 직교하는 제2 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 투과시킨다. 부분 반사기는 하나 이상의 광학 렌즈의 제2 주 표면 상에 배치되고 그에 순응한다. 부분 반사기는 사전결정된 파장에서 적어도 30%의 평균 광학 반사율을 갖는다. 제1 지연기 층은 절첩된 광학 공동 내에 배치되는 한편, 제2 지연기 층 및 제3 지연기 층은 절첩된 광학 공동 외측에 배치된다. 제3 지연기 층은 전술된 광학 요소를 포함한다.

[0005] 본 발명의 일부 태양에서, 광학 시스템은 하나 이상의 광학 렌즈, 반사 편광기, 부분 반사기, 제1 지연기 층, 제2 지연기 층, 및 제3 지연기 층을 포함한다. 하나 이상의 광학 렌즈는 적어도 하나의 주 표면을 갖는다. 반사 편광기는 하나 이상의 광학 렌즈의 제1 주 표면 상에 배치되고 그에 순응한다. 부분 반사기와 반사 편광기는 그들 사이에 절첩된 광학 공동을 한정한다. 반사 편광기는 약 400 nm 내지 약 1000 nm의 범위 내의 사전결정된 파장에서 제1 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 반사하고, 직교하는 제2 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 투과시킨다. 부분 반사기는 하나 이상의 광학 렌즈의 제2 주 표면 상에 배치되고 그에 순응한다. 부분 반사기는 사전결정된 파장에서 적어도 30%의 평균 광학 반사율을 갖는다. 제1 지연기 층은 절첩된 광학 공동 내에 배치되는 한편, 제2 지연기 층 및 제3 지연기 층은 절첩된 광학 공동 외측에 배치된다. 제1 지연기 층 및 제2 지연기 층은 사전결정된 파장에서 실질적으로 균일한 지연을 갖는 한편, 제3 지연기 층은 사전결정된 파장

에서 실질적으로 불균일한 지연을 갖는다.

- [0006] 본 발명의 일부 태양에서, 전술된 광학 시스템은 이미지가 광학 시스템의 입력 단부에서 수신되고 광학 시스템의 출력 단부에서 검출될 때, 광학 시스템의 출력 단부에서의 이미지가 제3 지연기 층을 갖지 않는 비교 광학 시스템의 출력 단부에서 검출된 이미지보다 적어도 5% 더 작은 최대 콘트라스트 변화를 갖도록 구성된다.
- [0007] 본 발명의 일부 태양에서, 전술된 광학 시스템은 제1 편광된 상태를 갖는 균일하게 편광된 명시야(bright field) 이미지가 광학 시스템에 입사하고 반사 편광기 및 부분 반사기 각각에서 적어도 한 번의 반사를 겪은 후에 광학 시스템을 빠져나갈 때, 출사 이미지가 출사 개구부(exit aperture)를 충전하도록 구성되며, 이때 개구부를 충전하는 이미지는 제1 편광 상태를 갖는 제1 이미지 성분을 가지며, 여기에서 제1 이미지 성분의 최대 세기는 제3 지연기 층을 갖지 않는 비교 광학 시스템보다 적어도 10% 더 작다.
- [0008] 본 발명의 일부 태양에서, 전술된 광학 시스템은 제1 편광된 상태를 갖는 균일하게 편광된 명시야 이미지가 광학 시스템에 입사하고 반사 편광기 및 부분 반사기 각각에서 적어도 한 번의 반사를 겪은 후에 광학 시스템을 빠져나갈 때, 출사 이미지가 출사 개구부를 충전하도록 구성되며, 이때 개구부를 충전하는 이미지는 제1 편광 상태를 갖는 제1 이미지 성분을 가지며, 여기에서 제1 이미지 성분의 최대 세기는 제3 지연기 층을 갖지 않는 비교 광학 시스템보다 적어도 10% 더 작다.
- [0009] 본 발명의 하나 이상의 실시 형태의 상세 사항이 첨부 도면 및 아래의 설명에서 기술된다. 본 발명의 다른 특징, 목적 및 이점이 설명 및 도면으로부터, 그리고 청구범위로부터 명백할 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0010] 도면에서의 동일한 도면 부호는 동일한 요소를 지시한다. 점선은 선택적 또는 기능적 구성요소를 나타내는 반면, 파선은 보이지 않는 구성요소를 나타낸다.
- 도 1은 광을 투과시키기 위한 광학 시스템의 개략적인 단면도이다.
- 도 2는 이산 지연기 세그먼트들을 포함하는 광학 요소의 개략적인 평면도이다.
- 도 3a 내지 도 3d는 다양한 형상을 갖는 이산 지연기 세그먼트들의 개략적인 정면도이다.
- 도 4a는 이산 지연기 섹션들을 포함하는 광학 시스템에서의 암시야(dark field)에 대한 명시야의 휘도의 비 대 이산 지연기 섹션들의 지연의 선도이다.
- 도 4b는 이산 지연기 섹션들을 포함하는 광학 시스템에서의 광 누출 대 이산 지연기 섹션들의 지연의 선도이다.
- 도 4c는 이산 지연기 섹션들을 포함하는 광학 시스템의 출력(power)의 변화 대 이산 지연기 섹션들의 지연의 선도이다.
- 도 5a는 이산 지연기 섹션들을 포함하지 않는 광학 시스템으로부터의 암시야 이미지의 휘도의 등고선 선도(contour plot)이다.
- 도 5b는 이산 지연기 섹션들을 포함하는 광학 시스템으로부터의 암시야 이미지의 휘도의 등고선 선도이다.
- 도 5c는 이산 지연기 섹션들을 포함하지 않는 광학 시스템으로부터의 명시야 이미지의 휘도의 등고선 선도이다.
- 도 5d는 이산 지연기 섹션들을 포함하는 광학 시스템으로부터의 명시야 이미지의 휘도의 등고선 선도이다.
- 도 6은 광을 투과시키기 위한 모의(simulated) 광학 시스템의 개략적인 단면도이다.
- 도 7a는 광을 투과시키기 위한 모의 광학 시스템의 개략적인 단면도이다.
- 도 7b는 1/4 파장 지연기 상에 이산 지연기 세그먼트들을 포함하는 모의 광학 요소의 개략적인 정면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 본 발명의 원리에 따르면, 광학 시스템은 광학 디스플레이에서 콘트라스트를 개선하기 위한 광학 요소를 포함할 수 있다. 광학 요소는 사전결정된 파장의 광을 수신하도록 구성되는 광학 표면을 포함한다. 광학 요소는 균일한 지연의 광학 표면의 부분들 및 상이한 지연의 광학 표면의 부분들을 포함한다. 광학 요소는 광학 표면의 반대편 에지들을 가로질러 연장되는 제1 종방향 섹션 및 제2 종방향 섹션을 포함하고, 실질적으로 수직인 입사광에 대해 동일한 실질적으로 균일한 지연을 갖는다. 광학 요소는, 광학 표면 상에 각각 배치되는 그리고 0보다

큰, 종방향 섹션의 실질적으로 균일한 지연과의 지연 차이를 갖는 4개의 이산 지연기 섹션을 포함한다.

[0012] 전술된 광학 요소는 광학 시스템의 콘트라스트를 개선하기 위해 광학 시스템에 사용될 수 있다. 광학 시스템은, 각각이 하나 이상의 광학 렌즈의 적어도 하나의 주 표면 또는 다른 층 상에 배치되는, 반사 편광기 층, 부분 반사기 층, 제1 지연기 층, 제2 지연기 층, 및 제3 지연기 층을 포함할 수 있다. 부분 반사기와 반사 편광기는 그들 사이에 절첩된 광학 공동을 한정한다. 반사 편광기는 사전결정된 파장에서 제1 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 반사하고, 직교하는 제2 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 투과시킨다. 부분 반사기는 사전결정된 파장에서 적어도 30%의 평균 광학 반사율을 갖는다. 제1 지연기 층은 절첩된 광학 공동 내에 배치되는 한편, 제2 지연기 층 및 제3 지연기 층은 절첩된 광학 공동 외측에 배치된다. 제3 지연기 층은 전술된 광학 요소를 포함한다.

[0013] 본 발명에 따르면, 불균일한 지연을 갖는 광학 요소가 일부 광학 시스템에 존재하는 다양한 광학 결함을 보정하여 그에 따라서 개선된 광학 성능을 제공하는 데 사용될 수 있다. 파장판 및 반사 편광기와 같은 광학 시스템 내의 편광 구성요소는, 예를 들어 편광 구성요소의 제조 변동 또는 사각(oblique angle)으로 편광 구성요소에 입사하는 광에 대한 편광 구성요소의 거동 변동을 통해, 광학 시스템에서 오차 및 오정렬을 야기할 수 있다. 예를 들어, 표준 1/4 파장 지연기를 사용하는 광학 시스템에서, 반사 편광기의 국소 차단 상태와 반사 편광기에 첫 번째로 입사하는 광선의 편광 상태 사이에 그리고/또는 반사 편광기의 국소 통과 상태와 반사 편광기에 두 번째로 입사하는 광선의 편광 상태 사이에 오정렬이 있을 수 있다. 그러한 오정렬은, 예를 들어, 반사 편광기가 만족된 형상으로 형성될 때 반사 편광기의 국소 통과 축 및 차단 축의 시프트로 인해 발생할 수 있다. 다른 예로서, 디스플레이와 같은 광원이 실질적으로 시준되지 않는 광을 생성하는 광학 시스템에서, 높은 입사각의 광선이 하나 이상의 1/4 파장 지연기의 표면으로부터 부분적으로 흡수되거나 투과될 수 있어서, 콘트라스트가 감소되게 할 수 있다.

[0014] 본 발명에 따르면, 불균일한 지연을 갖는 광학 요소는 광학 시스템으로 들어가는 광을 지연시킬 수 있어서, 광학 시스템을 통해 전파되고 광학 시스템의 출구와 연관된 편광 구성요소의 표면 상에 입사하는 광선이 편광을 위한 원하는 편광 상태와 더 근사하게 매칭될 수 있게 할 수 있다. 예를 들어, 광축을 따라 이동하는 광선이 반사 편광기의 표면에 수직으로 입사할 때 실질적으로 차단되거나 투과될 수 있지만, 반사 편광기의 표면에 비스듬히 입사하는 광선은 차단 상태에 대해 반사 편광기를 통해 부분적으로 투과되고 통과 상태에 대해 반사 편광기 층으로부터 부분적으로 반사될 수 있으며, 이는 광학 시스템의 콘트라스트를 감소시킬 수 있다. 공간적으로 변화하는 불균일한 지연을 사용하여 광 누출을 보상하도록 구성되는 광학 요소를 포함함으로써, 광학 시스템의 콘트라스트가 증가될 수 있다. 광학 요소는 간단한 제조 기술을 사용하여 제조될 수 있다. 예를 들어, 1/4 파장 지연기와 같은 이산 지연기 섹션들이 광학 표면에 접착되어, 보상을 필요로 하는 광선과 연관된 광학 표면의 공간적 위치에서 불균일한 지연을 생성할 수 있다. 다른 예로서, 광학 요소는 기존의 광학 시스템에 추가될 수 있는 별개의 구성요소일 수 있어서, 광학 시스템이 상이한 광학 요소들로, 예를 들어 특정 시야를 갖는 특정 광원으로 재구성가능하게 될 수 있다.

[0015] 도 1은 광을 투과시키기 위한 광학 시스템(1000)의 개략적인 단면도이다. 광학 시스템(1000)은 광학 렌즈(210, 410, 310, 510, 610), 반사 편광기 층(220)(또한 "반사 편광기"로 지칭됨), 부분 반사기 층(320)(또한 "부분 반사기"로 지칭됨), 제1 지연기 층(420), 제2 지연기 층(520), 및 제3 지연기 층(620)(또한 각각 "제1 지연기", "제2 지연기", 및 "제3 지연기"로 지칭됨)을 포함한다.

[0016] 도 1의 예에서, 물체(100)는 편광 상태(140)를 갖는 광선(136)을 방출한다. 제3 지연기 층(620)을 통과한 후에, 광선(136)은 편광 상태(141)를 갖고; 이어서, 제2 지연기 층(520) 및 부분 반사기 층(320)을 통과한 후에, 광선(136)은 편광 상태(142)를 가지며; 이어서, 제1 지연기 층(420)을 통과한 후에, 광선(136)은 반사 편광기 층(220)에 첫 번째로 입사할 때 편광 상태(143)를 갖고; 이어서, 제1 지연기 층(420)을 다시 통과하고 부분 반사기 층(320)으로부터 반사된 후에, 광선(136)은 편광 상태(144)를 가지며; 이어서, 광선(136)은 제1 지연기 층(420)을 통해 편광 상태(145)로 다시 통과하고, 반사 편광기 층(220)에 두 번째로 입사한다. 도 1은 또한 광선(138)을 개략적으로 예시한다. 광선(138)은 광축(121)을 따라 전파되고, 원점(522)에서 지연기 층(520)을 통과하며, 원점(422)에서 지연기 층(420)을 통과하고, 원점(221)에서 반사 편광기(220)를 통과한다. 편광 상태(140, 143)는 도 1에 도시된 x-y-z 좌표계를 참조하여, x-방향으로 편광된 전기장을 갖는 것으로 도 1에 개략적으로 도시되어 있다. 그러나, 이들 편광 상태 중 어느 하나 또는 둘 모두는 x-방향을 따라 선형 편광된 상태 이외의 어떤 상태일 수 있다. 예를 들어, 편광 상태(141)가 선형 편광되는 경우, 편광 상태(143)는 지연기 층(420, 520, 620)의 지연에 따라 타원 편광될 수 있다.

- [0017] 광학 시스템(1000)의 구성요소는 광학 렌즈(210, 310, 410, 510, 610)의 하나 이상의 주 표면 상에 배치될 수 있다. 다른 실시 형태에서, 반사 편광기 층(220), 부분 반사기 층(320), 및 지연기 층(420, 520, 620) 중 하나 이상이 도 1에 예시된 실시 형태에 도시된 것과 상이한 주 표면 상에 배치된다. 예를 들어, 반사 편광기 층(220), 부분 반사기 층(320), 및 지연기 층(420, 520, 620) 중 임의의 하나 이상이 각각의 렌즈의 반대편 주 표면 상에 배치될 수 있다. 다른 예로서, 이들 층 중 하나 이상의 층이 이들 층 중 다른 하나의 층 상에 배치될 수 있다. 광학 렌즈(210)는 반대편 제1 및 제2 주 표면들(212, 214)을 갖고, 광학 렌즈(310)는 반대편 제1 및 제2 주 표면들(312, 314)을 가지며, 광학 렌즈(410)는 반대편 제1 및 제2 주 표면들(412, 414)을 갖고, 광학 렌즈(510)는 반대편 제1 및 제2 주 표면들(512, 514)을 가지며, 광학 렌즈(610)는 반대편 제1 및 제2 주 표면들(612, 614)을 갖는다.
- [0018] 광학 렌즈(210, 310, 410, 510, 610)는, 예를 들어, 아크릴 또는 유리와 같은 임의의 적합한 렌즈 재료로부터 제조될 수 있다. 일부 실시 형태에서, 광학 렌즈는 인서트 성형 공정(insert molding process)으로 형성된다. 예를 들어, 반사 편광기 층(220)이 원하는 형상으로 형성될 수 있고, 이어서, 광학 렌즈가 반사 편광기 층(220) 상에 인서트 성형될 수 있다. 임의의 유형의 적합한 렌즈(들)가 사용될 수 있다. 일부 실시 형태에서, 광학 시스템의 렌즈들 중 하나 이상은 평면-볼록 렌즈(plano-convex lens), 평면-오목 렌즈(plano-concave lens), 양면 볼록 렌즈(biconvex lens), 양면 오목 렌즈(biconcave lens), 정 메니스커스 렌즈(positive meniscus lens), 부 메니스커스 렌즈(negative meniscus lens), 가변 굴절률 렌즈(variable refractive index lens)(예컨대, 굴절률 분포형 렌즈(refractive index gradient lens)), 및 프레넬 렌즈(Fresnel lens) 중 하나이다. 추가의 광학 렌즈가 포함될 수 있고, 광학 렌즈(들)의 하나의 배열에 대해 기술된 속성들 중 많은 것이 광학 렌즈(들)의 다른 배열에 적용된다는 것이 이해될 것이다.
- [0019] 광학 시스템(1000)은 광축(121)을 갖는다. 광학 시스템, 디스플레이 시스템, 또는 광학 시스템 내의 광학 렌즈 또는 광학 요소의 광축은, 광축을 따라 전파되는 광선이 최소 굴절도로 렌즈(들) 및/또는 광학 요소(들)를 통과하여, 광축에 가깝지만 광축과 상이한 축들을 따라 전파되는 광이 더 큰 굴절도를 겪도록 하는 시스템, 렌즈, 또는 광학 요소의 중심 부근의 축으로 이해될 수 있다. 일부 실시 형태에서, 하나 이상의 광학 렌즈(210, 310, 410, 510, 610) 각각은 하나 이상의 광학 렌즈(210, 310, 410, 510, 610) 각각의 정점을 통해 광축(121) 상에 중심설정된다. 광축(121)을 따른 광선은, 표면에 입사하는 광선과 표면을 통해 투과되는 광선 사이의 각도가 광학 시스템의 임의의 주 표면에서 15도 이하이도록, 굴절되거나 실질적으로 굴절됨이 없이 광학 렌즈(들) 및/또는 광학 요소(들)를 통과할 수 있다.
- [0020] 일부 실시 형태에서, 광학 시스템(1000)은 물체(100)를 관찰자(110)에게 표시한다. 물체(100)는, 예를 들어, 디스플레이 또는 디스플레이 상의 이미지일 수 있다. 적합한 디스플레이는, 예를 들어, 액정 디스플레이(LCD) 및 유기 발광 다이오드(OLED) 디스플레이를 포함한다. 대안적으로, 물체(100)는 관찰자(110)의 환경 내의 물체와 같은 디스플레이 이외의 어떤 물체일 수 있다. 물체(100)가 디스플레이인 실시 형태에서, 디스플레이와 함께 광학 시스템(1000)은 디스플레이 시스템으로 지칭될 수 있거나, 또는 대안적으로, 광학 시스템(1000)은 디스플레이를 포함하는 것으로 기술될 수 있다. 일부 실시 형태에서, 물체(100)는 편광된 광 출력을 생성하는 디스플레이 패널이다. 일부 실시 형태에서, 광이 지연기 층(620)에 입사할 때 편광 상태(140)를 갖도록 물체(100)로부터의 광을 편광시키는 예비-편광기(pre-polarizer)가 제공된다. 일부 실시 형태에서, 물체(100)는 주변 광을 광학 시스템(1000)을 향해 반사시킴으로써 광(136)을 방출하는 관찰자(110)의 환경 내의 물체이다.
- [0021] 광학 시스템(1000)은 반사 편광기 층(220)을 포함한다. 도 1의 예에서, 반사 편광기 층(220)은 광학 렌즈(210)의 주 표면(214) 상에 배치되고 그에 순응하지만; 다른 실시 형태에서, 반사 편광기 층(220)은 광학 시스템(1000)의 다른 주 표면 상에 배치될 수 있다.
- [0022] 반사 편광기 층(220)은 사전결정된 파장 또는 사전결정된 파장 범위에서 제1 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 반사하고, 직교하는 제2 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 투과시키도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 반사 편광기 층(220)은, 사전결정된 파장에서 또는 사전결정된 파장 범위에서 제1 편광 상태를 갖는 광의 적어도 60%가 편광기로부터 반사되는 경우 사전결정된 파장에서 또는 사전결정된 파장 범위에서 제1 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 반사한다고 말할 수 있다. 반사 편광기 층(220)은, 사전결정된 파장에서 또는 사전결정된 파장 범위에서 제2 편광 상태를 갖는 광의 적어도 60%가 반사 편광기를 통해 투과되는 경우 사전결정된 파장에서 또는 사전결정된 파장 범위에서 제2 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 투과시킨다고 말할 수 있다.
- [0023] 사전결정된 파장 범위는 광학 시스템 또는 디스플레이 시스템이 그에 걸쳐 동작하도록 설계되는 파장 범위일 수 있다. 사전결정된 파장은 약 400 nm 내지 약 1000 nm의 범위 내에 있을 수 있다. 예를 들어, 사전결정된 파장

범위는 가시 범위(400 nm 내지 700 nm)일 수 있다. 다른 예로서, 사전결정된 파장 범위는 하나 이상의 가시 파장 범위를 포함할 수 있다. 예를 들어, 사전결정된 파장 범위는 하나 초과와 좁은 파장 범위의 합집합(union) (예컨대, 디스플레이 패널의 발광 색에 대응하는 분리된 적색, 녹색 및 청색 파장 범위들의 합집합)일 수 있다. 그러한 파장 범위는 본 명세서에 참고로 포함되는 미국 특허 출원 공개 제2017/0068100호(Ouderkirk 등)에 추가로 기재되어 있다. 일부 실시 형태에서, 사전결정된 파장 범위는 다른 파장 범위(예컨대, 적외선(예컨대, 근적외선(약 700 nm 내지 약 2500 nm)), 또는 자외선(예컨대, 근자외선(약 300 nm 내지 약 400 nm)))뿐만 아니라 가시 파장 범위를 포함한다. 일부 예에서, 사전결정된 파장은 광학 시스템의 콘트라스트 비가 개선되는 파장일 수 있다. 예를 들어, 지연기 층(420, 520, 620)의 지연은 파장과 관련될 수 있어서, 지연기 층들(420, 520, 및 /또는 620) 중 임의의 것에 대한 지연의 선택이 콘트라스트를 개선하게 할 수 있다.

[0024] 본 명세서에 기술된 광학 시스템들 중 임의의 것에 사용되는 반사 편광기들 중 임의의 것은 제1 선형 편광 상태를 갖는 광을 반사하고 제1 선형 편광 상태에 직교하는 제2 선형 편광 상태를 갖는 광을 투과시키도록 구성될 수 있는 선형 반사 편광기일 수 있다. 적합한 반사 편광기는, 예를 들어, 중합체 다층 광학 필름 및 와이어-그리드 편광기를 포함한다. 본 발명의 광학 시스템들 중 임의의 것에 사용되는 반사 편광기들 중 임의의 것은 열성형된 중합체 다층 광학 필름일 수 있는 성형된(예컨대, 열성형된) 반사 편광기일 수 있다. 중합체 다층 광학 필름은 복수의 교번하는 제1 중합체 층 및 제2 중합체 층을 포함할 수 있다. 적합한 중합체 다층 반사 편광기는, 예를 들어, 미국 특허 제5,882,774호(Jonza 등), 및 미국 특허 제6,609,795호(Weber 등)에 기재되어 있다. 반사 편광기를 복합 곡선으로 형성하는 방법은 이전에 본 명세서에 참고로 포함된 미국 특허 출원 공개 제2017/0068100호(Ouderkirk 등), 및 2016년 9월 2일자로 출원되고 본 발명과 모순되지 않는 정도로 본 명세서에 참고로 포함되는 PCT 출원 제US2016/050024호(Ouderkirk 등)에 기재되어 있다.

[0025] 반사 편광기 층(220)은 중합체 다층 반사 편광기일 수 있고, 정점에서 실질적으로 일축 배향되는 적어도 하나의 층을 가질 수 있다. 일부 실시 형태에서, 반사 편광기 층(220)은 또한 적어도 하나의 층을 포함하는데, 적어도 하나의 층은, 광축으로부터 떨어진 적어도 하나의 층 상의 적어도 하나의 제1 위치에서 실질적으로 광학적으로 이축성이고, 광축으로부터 떨어진 적어도 하나의 제2 위치에서 실질적으로 광학적으로 일축성이다. 중합체 다층 광학 필름이 반사 편광기 층(220)을 제공하도록 성형(예컨대, 열성형)될 수 있다. 광학 필름은 초기에, y-방향을 따라 차단축과 일축 배향되는 적어도 하나의 층을 가질 수 있다. 성형 동안, 광학 필름은 공구의 형상에 순응하도록 연신된다. 광학 필름은 원하는 형상이 2개의 직교 축을 중심으로 만곡되기 때문에 연신된다. 이와 대조적으로, 광학 필름은 단지 하나의 축을 중심으로 만곡된 형상에 순응하기 위해 연신될 필요가 없을 것이다. 성형 공정은 광학 필름을 제1 위치에서 실질적으로 일축 배향된 상태로 남길 수 있지만(필름이 성형 동안 이러한 위치에서 배향 방향을 따라 연신되기 때문에), 광학 필름이 성형될 때 광학 필름의 연신으로 인해 제2 위치에서 이축 배향을 유발할 수 있다.

[0026] 광학 시스템(1000)은 부분 반사기 층(320)을 포함할 수 있다. 도 1의 예에서, 부분 반사기 층(320)은 광학 렌즈(310)의 주 표면(314) 상에 배치되고 그에 순응하지만; 다른 예에서, 부분 반사기 층(320)은 광학 시스템(1000) 내의 다른 주 표면 상에 배치될 수 있다.

[0027] 부분 반사기 층(320)은 광학 시스템(1000)에 대한 임의의 적합한 반사율을 가질 수 있다. 일부 실시 형태에서, 부분 반사기 층(320)은 각각 30% 내지 70%의 범위 내에 있는, 사전결정된 파장에서의 또는 사전결정된 파장 범위에서의 평균 광학 반사율 및 평균 광학 투과율을 갖는다. 예를 들어, 부분 반사기 층(320)은 하프 미러(half mirror)일 수 있다. 사전결정된 파장 범위에서의 평균 광학 반사율 및 평균 광학 투과율은 각각, 달리 지시되지 않는 한 수직 입사에서 결정되는, 광학 반사율 및 광학 투과율의 사전결정된 파장 범위에 걸친 그리고 편광에 대한 비가중 평균을 지칭한다. 사전결정된 파장에서의 평균 광학 반사율 및 평균 광학 투과율은 각각, 달리 지시되지 않는 한 수직 입사에서 결정되는, 광학 반사율 및 광학 투과율의 편광에 대한 비가중 평균을 지칭한다.

[0028] 부분 반사기 층(320)은 임의의 적합한 부분 반사기일 수 있다. 예를 들어, 부분 반사기 층(320)은 투명 기재(예컨대, 후속하여 렌즈에 접착될 수 있는 필름, 또는 기재가 렌즈일 수 있음) 상에 금속(예컨대, 은 또는 알루미늄)의 얇은 층을 코팅함으로써 구성될 수 있다. 부분 반사기 층(320)은, 또한, 예를 들어, 렌즈 기재의 표면 상에 박막 유전체 코팅을 침착시킴으로써, 또는 표면 상에 금속 코팅과 유전체 코팅의 조합을 침착시킴으로써 형성될 수 있다. 일부 실시 형태에서, 부분 반사기 층(320)은 반사 편광기일 수 있거나, 편광 의존적 반사율을 가질 수 있다. 일부 예에서, 부분 반사기 층(320)은 유전체 부분 반사기 층이다.

[0029] 반사 편광기 층(220) 및 부분 반사기 층(320)은 절첩된 광학 공동(700)을 한정할 수 있다. 절첩된 광학 공동

(700)은, 반사 편광기 층(220) 또는 부분 반사기 층(320) 중 어느 하나에서 제1 편광 상태의 광을 수신하고, 반사 편광기 층(220) 및 부분 반사기 층(320) 각각의 표면에서 광을 반사하며, 광이 수신되었던 반사 편광기 층(220) 또는 부분 반사기 층(320) 중 다른 하나로부터 제1 편광 상태의 광을 투과시키도록 구성될 수 있다. 반사 편광기 층(220) 및 부분 반사기 층(320) 둘 모두로부터 광을 반사함으로써, 광 경로가 제1 방향으로 압축(즉, "절첩")되거나 반대 제2 방향으로 압축되지 않을 수 있고, 절첩된 광학 공동(700)의 크기가 감소될 수 있다. 일부 예에서, 절첩된 광학 공동은 반전될 수 있어서, 관찰자 및 물체(100)에 대한 반사 편광기 층(220) 및 부분 반사기 층(320)의 상대 위치가 도 1의 예시적인 광학 시스템(1000)으로부터 반전되게 할 수 있다.

[0030] 일부 예에서, 광학 시스템(1000)의 표면은 추가의 반사-방지 층을 포함할 수 있다. 예를 들어, 반사-방지 층은 광학 렌즈(210)의 제1 지연기 층(420), 제2 지연기 층(520), 및 제2 주 표면(212) 중 하나 상에 배치될 수 있다. 다른 예로서, 제1 지연기 층(420) 또는 제2 지연기 층(520) 중 어느 하나가 도 1에 도시된 것과 같은 독립형 광학 요소인 경우, 각각의 지연기 층의 표면 및 각각의 광학 렌즈(410 또는 510)의 제2 주 표면이 반사-방지 코팅으로 코팅될 수 있다.

[0031] 광학 시스템(1000)은 제1 지연기 층(420), 제2 지연기 층(520), 및 제3 지연기 층(620)(집합적으로 "지연기 층(420, 520, 620)"으로 지칭됨)을 포함할 수 있다. 도 1의 예에서, 제1 지연기 층(420)은 절첩된 광학 공동(700) 내의 광학 렌즈(410)의 주 표면(414) 상에 배치되고 그에 순응하며; 제2 지연기 층(520)은 절첩된 광학 공동(700) 외측의 광학 렌즈(510)의 주 표면(514) 상에 배치되고 그에 순응하며; 제3 지연기 층(620)은 절첩된 광학 공동(700) 외측의 광학 렌즈(610)의 주 표면(614) 상에 배치되고 그에 순응한다. 그러나, 다른 예에서, 지연기 층들(420, 520, 620) 중 임의의 것이 광학 시스템(1000) 내의 다른 주 표면 상에 배치될 수 있다. 예를 들어, 제1 지연기 층(420)은 주 표면(214) 반대편의 반사 편광기 층(220) 상에 배치될 수 있고/있거나, 제2 지연기 층(520) 및 제3 지연기 층(620)은 주 표면(314) 반대편의 부분 반사기 층(320) 상에 배치될 수 있다.

[0032] 일부 실시 형태에서, 지연기 층들(420, 520, 620) 중 임의의 것이 만곡된 주 표면 상에 배치될 수 있다. 일부 실시 형태에서, 만곡된 주 표면은 하나의 축을 중심으로 만곡되거나, 2개의 직교 축을 중심으로 만곡된다. 일부 실시 형태에서, 지연기 층들(420, 520, 620) 중 임의의 것은 실질적으로 평면형의 것일 수 있다. 실질적으로 평면형의 층은 그 층이 공칭적으로는 평면형이지만, 예를 들어 통상적인 제조 변화로 인해 어느 정도의 곡률을 가질 수 있거나, (예컨대, 디스플레이 패널에 있는) 이미지 표면으로부터 광학 시스템의 정지 표면까지의 거리의 적어도 10배의 곡률 반경을 가질 수 있음을 의미하는 것으로 이해될 수 있다. 일부 실시 형태에서, 제3 지연기 층(620)은 디스플레이 패널 상에, 또는 광출력(optical power)을 갖지 않는 평면형 기재 상에 배치된다.

[0033] 일부 경우에, 지연기 층들(420, 520, 620) 중 임의의 것은, 예를 들어, 다수의 층이 상이한 진상축(fast axis) 및 지상축(slow axis)을 갖는 다수의 적층된 지연기 층을 포함할 수 있다. 이러한 경우에, 지연기 층의 유효 지연 및 유효 진상축과 지상축은, 지연기에 입사하는 편광된 광 및 지연기를 통해 투과되는 편광된 광에 대해, 입사광의 편광 상태를 투과된 광의 편광 상태로 변환시킬 종래의 단일 층 지연기의 지연 및 진상축과 지상축 배향으로서 정의될 수 있다. 그러한 지연기 층의 지연은 이러한 유효 지연을 지칭한다. 단일 층을 갖는 지연기의 경우, 유효 광학 진상축과 지상축은 단일 층의 광학 진상축과 지상축이며, 유효 지연은 단일 층의 지연이다. 각각의 층이 지연기의 유효 진상축과 지상축에 평행하거나 그에 대해 90도만큼 회전된 진상축과 지상축을 갖는 다수의 층을 갖는 지연기 층의 경우, 수직 입사광에 대한 유효 지연은, 각각의 진상축과 지상축이 지연기의 유효 진상축과 지상축에 평행한 층들의 지연의 합에서 각각의 진상축과 지상축이 지연기의 유효 진상축과 지상축에 대해 90도만큼 회전된 층들의 지연의 합을 뺀 것이다.

[0034] 광학 시스템(1000)에 사용되는 지연기 층(들)은 필름 또는 코팅 또는 필름과 코팅의 조합일 수 있다. 적합한 필름은, 예를 들어, 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(Schadt 등), 제2003/028048호(Cherkaoui 등), 제2005/0072959호(Moia 등) 및 제2006/0197068호(Schadt 등)와 미국 특허 제6,300,991호(Schadt 등)에 기재된 선형 광중합성 중합체(LPP) 재료 및 액정 중합체(LCP) 재료를 포함한다. 적합한 LPP 재료는 ROP-131 EXP 306 LPP를 포함하고, 적합한 LCP 재료는 ROF-5185 EXP 410 LCP를 포함하며, 이들 둘 모두는 ROLIC Technologies Ltd.(스위스 알슈빌 소재)로부터 입수가 가능하다.

[0035] 제1 지연기 층(420) 및 제2 지연기 층(520)은 각각 사전결정된 파장, 예를 들어 반사 편광기 층(220)의 맥락에서 논의된 사전결정된 파장에서 실질적으로 균일한 지연을 가질 수 있다. 지연기 층 또는 지연기 층 세그먼트는 지연기 층에서의 지연의 변화가 지연기에 걸친 지연의 최대 차이보다 실질적으로 더 작은 경우 실질적으로 균일한 지연을 갖는 것으로 기술될 수 있다. 예를 들어, 실질적으로 균일한 지연을 갖는 지연기는 지연의 최대

차이가 20% 이하임을 의미하는 것으로 이해될 수 있다.

- [0036] 일부 예에서, 제1 지연기 층(420) 및 제2 지연기 층(520) 각각은 실질적으로 1/4 파장 지연기일 수 있다. 특정 파장에서 실질적으로 1/4 파장 지연기로 기술되는 지연기 층은, 지연기 층이 지연기 층의 표면적의 적어도 80%에 대해 수직으로 입사하는 비편광된 광에 대해 특정 파장의 1/4의 5% 내의 지연을 가짐을 의미하는 것으로 이해될 수 있다. 지연기 층은 제1 파장에서 실질적으로 1/4 파장 지연기일 수 있고, 상이한 제2 파장에서 1/4 파장과는 실질적으로 상이한 지연을 가질 수 있다. 제2 파장에서 1/4 파장과는 실질적으로 상이한 지연은 지연이 제2 파장의 1/4의 5% 내에 있지 않음을 의미하는 것으로 이해될 수 있다. 1/4 파장 지연기는 공간적으로 균일한 배향을 가질 수 있다.
- [0037] 일부 예에서, 지연기 층(420, 520)은 실질적으로 균일한 광학 두께를 갖는다. 예를 들어, 지연기 층(420, 520)은 실질적으로 동일한 지연을 제공하도록 동일한 재료로부터 구성될 수 있다. 일부 예에서, 지연기 층(520)은 지연기 층(420)과는 상이한 물리적 두께를 갖는다. 상이한 물리적 두께들을 이용하는 것은 지연기 층 각각이 대략 1/4 파장 지연을 갖기 위해 상이한 재료들이 상이한 지연기 층들에 사용될 때 바람직할 수 있다.
- [0038] 제3 지연기 층(620)은 불균일한 지연을 가질 수 있다. 지연기 층은 지연기 층의 지연의 변화가 전술된 균일한 지연과 같은 균일한 지연을 나타내는 지연의 최대 차이보다 큰 경우 실질적으로 불균일한 지연을 갖는 것으로 기술될 수 있다. 예를 들어, 실질적으로 불균일한 지연을 갖는 지연기 층은 지연기 층에서의 지연의 최대 차이가 20% 초과임을 의미하는 것으로 이해될 수 있다.
- [0039] 일부 예에서, 제3 지연기 층(620)은 제3 지연기 층(620)에서 불균일한 지연을 생성하기 위해 이산 지연기 섹션들을 포함할 수 있다. 제3 지연기 층(620)이 전체적으로 불균일한 지연을 가질 수 있지만, 각각의 이산 지연기 섹션은 이산 지연기 섹션에 걸쳐 균일한 지연을 가질 수 있다. 도 2는 이산 지연기 섹션들을 포함하는, 도 1의 제3 지연기 층(620)과 같은 광학 요소(600)의 개략적인 정면도이다.
- [0040] 광학 요소(600)는 반사 편광기 층(220)의 맥락에서 기술된 사전결정된 파장과 같은 사전결정된 파장의 광을 수신하도록 구성되는 광학 표면(630)을 포함한다. 광학 표면(630)은 광학 렌즈, 파장판 등과 같은 광학 요소의 다양한 표면을 포함할 수 있다. 일부 예에서, 광학 표면(630)은 광학 요소의 전체 표면으로 연장될 수 있는 한편, 다른 예에서, 광학 표면(630)은 이미지와 연관된 광을 수신하는 광학 요소의 주 표면의 부분과 같은 광학 요소의 일부분으로 제한될 수 있다. 일부 예에서, 사전결정된 파장은 약 400 nm 내지 약 1000 nm의 범위 내에 있을 수 있다. 광학 표면(630)은 수직축(632) 및 수평축(634)에 의해 한정될 수 있다. 수직축(632) 및 수평축(634)은 4개의 직교 사분면(I, II, III, IV)을 한정할 수 있다. 도 2의 예에서, 직교 사분면은 반시계 방향으로 순차적으로 번호가 부여된다.
- [0041] 광학 표면(630)은 수직축(632) 상에 실질적으로 중심설정되는 제1 종방향 섹션(636) 및 수평축(634) 상에 실질적으로 중심설정되는 제2 종방향 섹션(638)을 포함할 수 있다. 제1 종방향 섹션(636) 및 제2 종방향 섹션(638)은 각각 광학 표면의 반대편 예지들을 가로질러 연장될 수 있다. 제1 종방향 섹션(636) 및 제2 종방향 섹션(638)은 보상을 필요로 하지 않을 수 있는 광선을 수신하도록 구성되는 광학 요소(600)의 일부분을 나타낼 수 있다. 예를 들어, 제1 종방향 섹션(636), 제2 종방향 섹션(638), 또는 둘 모두에 입사하는 광선은 그가 광학 시스템(1000) 내에서의 오정렬에 의해 실질적으로 영향을 받지 않도록 광학 시스템(1000)을 통해 전파될 수 있다.
- [0042] 제1 종방향 섹션(636) 및 제2 종방향 섹션(638)은 실질적으로 수직인 입사광에 대해 동일한 실질적으로 균일한 지연(δ)을 가질 수 있다. 실질적으로 균일한 지연은, 제1 및 제2 종방향 섹션들(636, 638) 각각에서의 지연의 최대 변화(그 영역에서의 최대 지연 빼기 최소 지연)가 각각의 종방향 섹션에서의 지연의 최대 변화의 10% 이하일 수 있음을 의미하는 것으로 이해될 수 있다. 광학 표면(630)이 광학 렌즈의 표면인 예에서, 실질적으로 균일한 지연은 0일 수 있다. 광학 표면(630)이 제2 지연기 층(520)과 같은 1/4 파장 지연기의 표면인 예에서, 실질적으로 균일한 지연은 제2 지연기 층(520)의 1/4 파장 지연일 수 있다. 일부 예에서, 제1 및 제2 종방향 섹션들(636, 638)은 광학 표면(630)의 표면적의 적어도 10%를 덮는다.
- [0043] 제3 지연기 층(620)은 복수의 이산 지연기 섹션을 포함할 수 있다. 이산 지연기 섹션은 광학 표면(630)의 이산 섹션을 덮는 지연기 섹션일 수 있다. 일부 예에서, 복수의 이산 지연기 섹션은 물리적으로 이산될 수 있어서, 2개의 지연기 섹션이 물리적으로 접촉하지 않게 한다. 일부 예에서, 복수의 이산 지연기 섹션들 중 2개 이상이 물리적으로 접촉하거나 결합될 수 있지만, 광학 표면(630)의 이산 부분들을 덮을 수 있다.
- [0044] 도 2의 예에서, 제3 지연기 층(620)은 제1 지연기 섹션(620A), 제2 지연기 섹션(620B), 제3 지연기 섹션

(620C), 및 제4 지연기 섹션(620D)을 포함하는, 4개의 이산 지연기 섹션을 포함한다. 각각의 이산 지연기 섹션(620A, 620B, 620C, 620D)은 광학 표면(630)의 각각의 직교 사분면(I, II, III, IV) 상에 배치될 수 있다.

[0045] 각각의 이산 지연기 섹션은 0보다 큰, 제1 및 제2 종방향 섹션들(626, 628)의 실질적으로 균일한 지연(δ)과의 지연 차이(θ)를 가질 수 있다. 일부 예에서, 각각의 이산 지연기 섹션(620A, 620B, 620C, 620D)은 제1 및 제2 종방향 섹션들(626, 628)의 실질적으로 균일한 지연과의 실질적으로 균일한 지연 차이를 갖는다. 예를 들어, 각각의 이산 지연기 섹션(620A, 620B, 620C, 620D)은 제1 및 제2 종방향 섹션들(626, 628)의 지연과의 약 0.2λ 의 지연 차이를 가질 수 있다.

[0046] 일부 예에서, 이산 지연기 섹션들의 지연 차이는 고스트 이미지(ghost image), 콘트라스트 비, 광 누출, 출력 등을 포함하지만 이에 제한되지 않는 다수의 인자에 따라 선택될 수 있다. 예를 들어, 도 4a 내지 도 4c에 알 수 있는 바와 같이, 콘트라스트 및 암시야 광 누출은 이산 지연기 섹션들의 지연 차이가 증가함에 따라 증가할 수 있지만, 명시야에 대한 출력은 감소할 수 있다. 특정 응용의 경우, 광 누출의 감소 및 콘트라스트의 증가는, 예를 들어 명시야 밝기의 감소와 균형을 이룰 수 있다. 일부 예에서, 지연 차이는 약 0.2λ 미만이다. 예를 들어, 0.2λ 는 유리하게는 충분한 출력 및/또는 밝기를 유지시키면서 개선된 콘트라스트와 연관될 수 있다. 일부 예에서, 지연 차이는 약 0.1λ 미만일 수 있다. 예를 들어, 0.1λ 는 유리하게는 작은 시야를 갖는 절첩된 광학 시스템(folded optical system)에 대한 개선된 콘트라스트와 연관될 수 있다.

[0047] 지연 차이(θ)는 양의 지연 차이($\theta+$) 또는 음의 지연 차이($\theta-$)일 수 있다. 이산 지연기 섹션이 양의 지연 차이를 포함하는지 또는 음의 지연 차이를 포함하는지는 광학 시스템(1000)을 통한 광의 원하는 편광 상태에 의존할 수 있다. 예를 들어, 제3 지연기 층(620)의 특정한 이산 지연기 섹션은 시계 방향 타원 편광이 요구되는 경우 양의 지연 차이를 가질 수 있고, 반시계 방향 타원 편광이 요구되는 경우 음의 지연 차이를 가질 수 있다. 일부 예에서, 제3 지연기 층(620)의 2개의 이산 지연기 섹션은 제1 및 제2 종방향 섹션들(636, 638)의 지연(δ)과의 양의 지연 차이($\theta+$)를 가질 수 있고, 제3 지연기 층(620)의 2개의 다른 이산 지연기 섹션은 제1 및 제2 종방향 섹션들(636, 638)의 지연(δ)과의 음의 지연 차이($\theta-$)를 가질 수 있다. 예를 들어, 제1 및 제3 이산 지연기 섹션들(620A, 620C)은 제1 및 제2 종방향 섹션들(636, 638)의 지연과의 $+0.2\lambda$ 의 지연 차이를 가질 수 있고, 제2 및 제4 이산 지연기 섹션들(620B, 620D)은 제1 및 제2 종방향 섹션들(636, 638)의 지연과의 -0.2λ 의 지연 차이를 가질 수 있거나, 또는 그 반대일 수 있다.

[0048] 지연은 특정한 이산 지연기 섹션(620A, 620B, 620C, 620D), 또는 종방향 섹션(636, 638)에 대한 평균 지연을 의미할 수 있다는 것이 이해될 것이다. 예를 들어, 특정 파장에 대해, 제1 및 제2 종방향 섹션들(636, 638)은 δ 와 실질적으로 동일한 평균 지연을 가질 수 있는 한편, 각각의 이산 지연기 섹션(620A, 620B, 620C, 620D)은 예를 들어 제2 및 제4 이산 지연기 섹션들(620B, 620D)에 대해, $\theta+$ 와 실질적으로 동일한 평균 지연, 또는 예를 들어 제1 및 제3 이산 지연기 섹션들(620A, 620C)에 대해, $\theta-$ 와 실질적으로 동일한 평균 지연을 가질 수 있다.

[0049] 제3 지연기 층(620)의 지연은 광학 두께와 상관될 수 있다. 특정 유효 광학 진상축 또는 지상축에 대한 지연기 층의 광학 두께는 특정 유효 광학 진상축 또는 지상축을 따른 층의 굴절률에 층의 두께를 곱한 것의 지연기의 각각의 층에 걸친 합을 지칭한다. 일부 예에서, 제1 및 제2 종방향 섹션들(636, 638) 각각은 동일한 실질적으로 균일한 광학 두께(Λ)를 갖는다. 일부 예에서, 이산 지연기 섹션 각각은 0보다 큰, 제1 및 제2 종방향 섹션들(636, 638)의 실질적으로 균일한 광학 두께(Λ)와의 광학 두께 차이(ε)를 갖는다. 일부 예에서, 제3 지연기 층(620)의 2개의 이산 지연기 섹션은 제1 및 제2 종방향 섹션들(636, 638)의 광학 두께(Λ)와의 양의 광학 두께 차이($\varepsilon+$)를 가질 수 있고, 제3 지연기 층(620)의 2개의 다른 이산 지연기 섹션은 제1 및 제2 종방향 섹션들(636, 638)의 광학 두께(Λ)와의 음의 광학 두께 차이($\varepsilon-$)를 가질 수 있다.

[0050] 이산 지연기 섹션들(620A, 620B, 620C, 620D)의 상대 크기는 광축에 직교하는 평면으로부터의 평면도에서 결정되는 바와 같은 광학 표면(630)의 표면적의 관점에서 기술될 수 있다. 일부 실시 형태에서, 평면도에서, 광학 표면(630)은 면적 A 를 가져서, 이산 지연기 섹션들(620A, 620B, 620C, 620D)이 약 $A/10$ 내지 약 $2A/3$ 의 범위 내의 조합 면적을 갖고, 이산 지연기 섹션들(620A, 620B, 620C, 620D) 각각이 약 $A/40$ 내지 약 $A/6$ 의 범위 내의 면적을 갖게 한다. 일부 예에서, 각각의 이산 지연기 섹션(620A, 620B, 620C, 620D)은 광학 표면(630)의 각각의 직교 사분면(I, II, III, IV)의 표면적의 적어도 20%를 덮는다. 일부 예에서, 이산 지연기 섹션들(620A, 620B, 620C, 620D)의 표면 커버리지(surface coverage)는 디스플레이(880)의 시야와 관련될 수 있어서, 시야가 증가함에 따라, 이산 지연기 섹션들(620A, 620B, 620C, 620D) 각각의 표면 커버리지가 증가하게 한다.

[0051] 제3 지연기 층(620)의 이산 지연기 섹션들은 다양한 형상을 가질 수 있다. 도 3a 내지 도 3d는 다양한 형상을 갖는 이산 지연기 세그먼트들의 개략적인 평면도이다. 도 3a는 직각 및 정사각형 변들을 포함하는 직각 삼각형

형상을 갖는 이산 지연기 섹션(622)을 예시한다. 이산 지연기 섹션(622)은, 예를 들어, 정사각형 이미지를 수신하는 광학 표면에 사용될 수 있다. 도 3b는 직각 및 직사각형 변들을 포함하는 직각 삼각형 형상을 갖는 이산 지연기 섹션(624)을 예시한다. 이산 지연기 섹션(624)은, 예를 들어, 광각 이미지를 수신하는 광학 표면에 사용될 수 있다. 도 3c는 직각, 정사각형 변들, 및 원형 빔변을 포함하는 사분원호 형상(circle quadrant shape)을 갖는 이산 지연기 섹션(626)을 예시한다. 이산 지연기 섹션(626)은, 예를 들어, 만곡된 광학 표면에 사용될 수 있다. 도 3d는 직각, 정사각형 변들, 및 오목한 빔변을 포함하는 반전된 사분원호 형상을 갖는 이산 지연기 섹션(628)을 예시한다. 사용될 수 있는 다른 형상은 원, 정사각형, 삼각형 등을 포함하지만, 이에 제한되지 않는다. 예를 들어, 도 7b에 예시된 바와 같이, 사분면보다는 오히려 전체 형상이 사용될 수 있다. 이산 지연기 섹션들(620A, 620B, 620C, 620D)의 형상을 선택하기 위해 사용될 수 있는 인자는 시야, 디스플레이(100)의 형상, 광의 입사각 등을 포함할 수 있지만, 이에 제한되지 않는다.

[0052] 일부 실시 형태에서, 이산 지연기 섹션들(620A, 620B, 620C, 620D)은 광학 표면(630)의 주연부를 실질적으로 덮도록 형상화될 수 있다. 이산 지연기 섹션들(620A, 620B, 620C, 620D)은, 이산 지연기 섹션들(620A, 620B, 620C, 620D)이 광학 표면(630)의 주연부의 적어도 50%를 덮는 경우 광학 표면(630) 주위의 주연부를 실질적으로 덮는다고 말할 수 있다. 예를 들어, 도 2의 예에서, 이산 지연기 섹션들(620A, 620B, 620C, 620D)은 광학 표면(630)의 주연부의 적어도 80%를 덮는 한편, 후술되는 도 7b의 예에서, 이산 지연기 섹션들(810A, 810B, 810C, 810D)은 제2 지연기 층(820)의 주연부의 약 70%를 덮는다.

[0053] 하나의 광학 시스템에 대해 기술된 광학 요소(600)의 특성들(예컨대, 이산 지연기 섹션들을 통한 불균일한 지연)이, 또한, 광학 시스템에 대응하지만 상이한 개수의 광학 렌즈를 갖거나 하나 이상의 광학 렌즈의 상이한 주 표면 상에 배치되는 다양한 층을 갖는 다른 광학 시스템에 적용된다는 것이 이해될 것이다. 제3 지연기 층(620)이 광학 요소(600)로서 광학 렌즈(610)의 광학 표면 상에 배치되는 것으로 기술되었지만, 제3 지연기 층(620)은 다양한 광학 표면 상에 배치될 수 있다. 예를 들어, 제3 지연기 층(620)은 제2 지연기 층(520)과 같은 지연기의 광학 표면 상에 배치될 수 있다. 일부 예에서, 제3 지연기 층(620)은 1/4 파장 지연기 상에 배치될 수 있어서, 제3 지연기 층(620) 및 1/4 파장 편광기가, 예를 들어, 절첩된 광학 공동(700)과 같은 절첩된 광학 공동과 함께 사용될 수 있게 할 수 있다.

[0054] 이산 지연기 섹션들(620A, 620B, 620C, 620D)은, 원자층 증착(atomic layer deposition), 적착, 및 광학 표면 상에 이산 지연기 섹션들을 형성할 수 있는 임의의 다른 기술을 포함하지만 이에 제한되지 않는 다양한 방법을 사용하여 광학 표면 상에 배치될 수 있다. 일부 예에서, 이산 지연기 섹션들은 광학 표면과 별도로 형성되고 광학 표면 상에 접착될 수 있다. 일부 예에서, 광학 요소(600)를 제조하기 위한 방법은, 광학 표면이 각각이 광학 표면(630)의 반대편 에지들을 가로질러 연장되고 실질적으로 수직인 입사광에 대해 동일한 실질적으로 균일한 지연(δ)을 갖는 제1 및 제2 종방향 섹션들(636, 638)을 포함하도록, 4개의 이산 지연기 섹션들(620A, 620B, 620C, 620D)을 광학 표면(630)에 결합시키는 단계를 포함한다. 예를 들어, 이산 지연기 섹션들은 지연 차이(θ)와 동일한 균일한 지연을 갖는 지연기 층으로서 형성되고 형상들로 처리될 수 있다. 이산 지연기 섹션들은 원하는 구성으로 광학 표면(630) 상에 위치될 수 있다. 예를 들어, 2개의 이산 지연기 섹션은 이러한 2개의 이산 지연기 섹션이 양의 지연 차이($\theta+$)를 갖도록 광학 표면(630)의 2개의 반대편 모서리들에 위치될 수 있는 한편, 2개의 다른 이산 지연기 섹션은 이러한 2개의 다른 이산 지연기 섹션이 음의 지연 차이($\theta-$)를 갖도록 광학 표면(630)의 2개의 다른 반대편 모서리들에 위치될 수 있다. 이산 지연기 섹션들은, 예를 들어 광학 접착제를 사용함으로써, 광학 표면(630)에 접착될 수 있다.

[0055] 광학 요소(600)는 콘트라스트를 개선하기 위해 도 1의 광학 시스템(1000)과 같은 광학 시스템에 사용될 수 있다. 예를 들어, 물체(100)는 광학 시스템(1000)의 입력 단부를 한정할 수 있고, 사용자(110)는 광학 시스템(1000)의 출력 단부를 한정할 수 있다. 광학 시스템(1000)의 입력 단부에서 수신된 이미지는 광학 시스템(1000)의 출력 단부에서 검출될 수 있다. 광학 시스템(1000)의 출력 단부에서 검출된 이미지는 콘트라스트 변화를 가질 수 있다. 예를 들어, 도 5b 및 도 5d에서, 이미지(784B, 784D)는, 각각, 콘트라스트 비를 함께 한정하는 휘도의 변화를 가지며, 여기에서 콘트라스트는 명시야 휘도/암시야 휘도로 정의된다. 이미지(784D)의 명시야 휘도는 상당히 균일할 수 있지만, 이미지(784B)의 암시야 휘도는 매우 불균일하여서, 콘트라스트 변화가 크게 한다.

[0056] 일부 예에서, 제3 지연기 층(620)은 이미지가 광학 시스템(1000)의 입력 단부에서 수신되고 광학 시스템(1000)의 출력 단부에서 검출될 때, 광학 시스템(1000)의 출력 단부에서의 이미지가 제3 지연기 층을 갖지 않는 비교 광학 시스템의 출력 단부에서 검출된 이미지보다 적어도 5% 더 작은 최대 콘트라스트 변화를 갖도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 도 5a 및 도 5c에서, 이미지(784A, 784C)는, 각각, 콘트라스트 비를 한정하는 휘도의 변화를

갖는다. 도 5a 내지 도 5d의 예에서 알 수 있는 바와 같이, 제3 지연기 층(620)과 같은 보상 지연기 층은 밝은 상태에 있는 이미지의 부분들에 대한 휘도를 감소시킬 수 있지만, 보상 지연기 층은 어두운 상태에 있는 이미지의 부분들의 휘도를 상당히 감소시킬 수 있어서, 콘트라스트 변화가 보상 지연기 층(810)이 없는 비교 광학 시스템보다 작게 할 수 있다.

[0057] 광학 요소(600)는 광학 시스템의 반사 편광기에 입사하는 광선의 반사율을 개선하기 위해, 도 1의 광학 시스템(1000)과 같은 광학 시스템에 사용될 수 있다. 예를 들어, 물체(100)로부터 방출된 광선(136)은 반사 편광기 층(220)에 첫 번째로 입사하고 제1 반사율(ρ)로 다시 실질적으로 반사될 수 있다. 광선(136)이 반사 편광기 층(220)에 두 번째로 입사할 때, 광선(136)은 제1 투과율(τ)로 실질적으로 투과될 수 있다.

[0058] 일부 예에서, 제3 지연기 층(620)은 사전결정된 과정에서 디스플레이로부터 방출된 이미지 광선이 반사 편광기에 첫 번째로 입사할 때, 이미지 광선이 제1 반사율(ρ)로 실질적으로 반사되고, 이미지 광선이 반사 편광기에 두 번째로 입사할 때, 이미지 광선이 제1 투과율(τ)로 실질적으로 투과되도록 구성될 수 있으며, 이때 제3 지연기 층은 제1 반사율을 증가시킨다. 전술된 바와 같이, 제3 지연기 층(620)은 광학 시스템에서 편광 상태의 위상 시프팅을 야기할 수 있는 오정렬을 보상할 수 있다. 제3 지연기 층(620)은 반사 편광기 층(220)에 첫 번째로 입사하는 광선이 반사 편광기 층(220)의 차단 상태와 더 정확하게 정렬될 수 있도록 광선을 위상 시프트시킬 수 있어서, 광선이 반사될 수 있고, 반사 편광기가 제3 지연기 층(620)을 갖지 않는 비교 광학 시스템보다 더 높은 반사율을 가질 수 있게 할 수 있다. 일부 예에서, 광학 시스템에 대한 제3 지연기 층(620)의 추가는 제1 투과율을 실질적으로 변화시키지 않는다. 예를 들어, 반사율은 증가할 수 있지만, 실질적으로 동일한 양의 광이 투과될 수 있다.

[0059] 광학 요소(600)는 광학 시스템에서 원하지 않는 출력 편광의 광의 누출을 감소시키기 위해, 도 1의 광학 시스템(1000)과 같은 광학 시스템에 사용될 수 있다. 광의 누출의 감소는 광학 시스템을 통해 처리된 이미지의 편광 성분의 최대 세기의 감소에 의해 나타내어질 수 있다. 일부 예에서, 제3 지연기 층(620)은 균일하게 편광된 명시야 이미지가 광학 시스템(1000)에 입사하고 반사 편광기 층(220) 및 부분 반사기 층(320) 각각에서 적어도 한번의 반사를 겪은 후에 광학 시스템(1000)을 빠져나갈 때, 출사 이미지 광이 출사 개구부를 충전할 수 있도록 구성될 수 있으며, 이때 개구부를 충전하는 이미지는 제1 편광 상태를 갖는 제1 이미지 성분을 갖고, 여기서 제1 이미지 성분의 최대 세기는 제3 지연기 층을 갖지 않는 비교 광학 시스템보다 적어도 10% 더 작다. 예를 들어, 도 4c는 도 7a의 보상 지연기 층(810)의 지연이 증가함에 따른 출력의 감소를 도시한다.

[0060] 실시예

[0061] 실시예 1: 절첩된 광학 시스템 시뮬레이션

[0062] 도 6은 광을 투과시키기 위한 모의 광학 시스템의 개략적인 단면도이다. 표면(720)은 발광 물체의 표면을 나타낼 수 있다. 광학 시스템을 통해 전파되는 광은 표면(730, 740, 750)을 통과하고, 표면(760)으로부터 반사되며, 표면(750)을 통과하고, 표면(740)으로부터 반사되며, 표면(750, 760)을 통과하고, 표면(770) 상에서 방출될 수 있다. 도 6의 광학 시스템은 아래의 표 1에 나타낸 바와 같이, 하기의 특성을 가질 수 있다:

[0063] [표 1]

표면	유형	반경(mm)	두께(T, mm)	유리	직경(D, mm)	코닉(conic)(mm)
710	표준	무한대	무한대	N/A	0	0
720	표준	무한대	23.82	N/A	10	0
730	만곡형	-36.79856	2.2	POLYCARB	42	0.0433
740	만곡형	-36.79856	10.5	N/A	44	0.0433
750	만곡형	-36.79856	2.2	E48R	54	0.0433
760	만곡형	-36.79856	1.3	N/A	56	0.0433
770	표준	무한대	N/A	N/A	53.43	0

[0064]

[0065] 실시예 2: 이산 지연기 세그먼트들을 갖는 절첩된 광학 시스템을 사용한 광 누출 보상 시뮬레이션

[0066] 도 7a는 광을 투과시키기 위한 모의 광학 시스템(800)의 개략적인 단면도이다. 광학 시스템(800)은 제2 1/4 파장 지연기 층(820), 부분 반사기 층(830), 제1 1/4 파장 지연기 층(840), 반사 편광기 층(850), 디스플레이(880), 및 예비-편광기(890)를 포함한다. 광학 시스템(800)은 후술될 바와 같이, 시험 구성에 따라 보상 지연기 층(810) 및/또는 흡수 편광기(860)를 선택적으로 포함할 수 있다. 디스플레이(880)는 이미지(874)를 형성하

기 위해 개구부(872)를 갖는 모의 눈(870)으로 광을 방출할 수 있다. 제1 1/4 파장 지연기 층(840), 제2 1/4 파장 지연기 층(820), 및 보상 지연기 층(810) 각각을 각각의 지연기 층에 걸쳐 실질적으로 균일한 지연을 갖고서 모델링하였다. 도 7a의 구성요소는 도 1의 유사한 구성요소에 대응할 수 있다. 예를 들어, 보상 지연기 층(810)은 제3 지연기 층(620)에 대응할 수 있고, 제2 1/4 파장 지연기 층(820)은 제2 지연기 층(520)에 대응할 수 있으며, 제1 1/4 파장 지연기 층(840)은 제1 지연기 층(420)에 대응할 수 있고, 부분 반사기 층(830)은 부분 반사기 층(320)에 대응할 수 있으며, 반사 편광기 층(850)은 반사 편광기 층(220)에 대응할 수 있고, 디스플레이(880) 및 예비-편광기(890)는 디스플레이(100)에 대응할 수 있다.

[0067] 흡수 편광기(860)는 이미지(874)에 대한 명시야 이미지 또는 이미지(874)에 대한 암시야 이미지를 생성하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 명시야 이미지 구성에서, 흡수 편광기(860)는 반사 편광기 층(850)으로부터 방출된 광의 편광 상태와 정렬될 수 있어서, 이미지(874)가 명시야 이미지가 된다. 대안적으로, 흡수 편광기는 광학 시스템(800)으로부터 제거될 수 있다. 암시야 이미지 구성에서, 흡수 편광기(860)는 반사 편광기 층(850)으로부터 방출된 광의 편광 상태로부터 대략 90°로 교차되거나 오정렬될 수 있어서, 이미지(874)가 암시야 이미지가 된다.

[0068] 보상 지연기 층(810)은, 보상된 또는 보상되지 않은 이미지를 각각 생성하는 보상된 또는 보상되지 않은 광학 시스템 각각에 대해 광학 시스템(800)에 포함되거나 그로부터 제거될 수 있다. 도 7b는 제2 1/4 파장 지연기 층(820)과 중첩되는 보상 지연기 층(810)의 개략적인 정면도이다. 보상 지연기 층(810)은 4개의 원형의 이산 지연기 섹션(810A, 810B, 810C, 810D)을 포함할 수 있다.

[0069] 광학 시스템(800)을 하기의 4가지 층 구성에 대한 보상 지연기 층(810) 및 흡수 편광기(860)의 상이한 구성들에서 시험하였다: 보상되지 않은 암시야 이미지(874A)에 대한, 흡수 편광기(860)가 있고 보상 지연기 층(810)이 없는 구성; 보상된 암시야 이미지(874B)에 대한, 흡수 편광기(860)가 있고 보상 지연기 층(810)이 있는 구성; 보상되지 않은 명시야 이미지(874C)에 대한, 흡수 편광기(860)가 없고 보상 지연기 층(810)이 없는 구성; 및 보상된 명시야 이미지(874D)에 대한, 흡수 편광기(860)가 없고 보상 지연기 층(810)이 있는 구성. 보상 지연기 층(810)을 포함하는 각각의 구성에 대해, 보상 지연기 층(810)의 지연을 0으로부터 약 0.275λ까지 변화시켰다.

[0070] 실시예 2A: 흡수 편광기 있음; 보상 지연기 층 없음

[0071] 도 5a는 보상 지연기 층(810)을 포함하지 않고 흡수 편광기(860)를 포함하는 광학 시스템(800)으로부터의 보상되지 않은 암시야 이미지(874A)의 휘도의 등고선 선도이다. 보상되지 않은 암시야 이미지(874A)는 비교적 높은 휘도의 영역들을 포함한다. 예를 들어, 광의 더 높은 입사각과 연관되는 보상되지 않은 암시야 이미지(874)의 모서리는 최대 1.5×10^{-6} W/mm²의 휘도를 갖는 한편, 보상되지 않은 암시야 이미지(874A)의 중심 영역은 약 0 W/mm²의 휘도를 갖는다.

[0072] 실시예 2B: 흡수 편광기 있음; 보상 지연기 층 있음

[0073] 도 5b는 보상 지연기 층(810) 및 흡수 편광기(860)를 포함하는 광학 시스템(800)으로부터의 보상된 암시야 이미지(874B)의 휘도의 등고선 선도이다. 보상된 암시야 이미지(874B)는 도 5a의 보상되지 않은 암시야 이미지(874A)보다 상대적으로 더 낮은 휘도의 영역들을 포함한다. 예를 들어, 보상된 암시야 이미지(874B)의 모서리는 최대 5.5×10^{-7} W/mm²의 휘도를 갖는 한편, 보상된 암시야 이미지(874B)의 중심 영역은 약 0 W/mm²의 휘도를 갖는다.

[0074] 실시예 2C: 흡수 편광기 없음; 보상 지연기 층 없음

[0075] 도 5c는 보상 지연기 층(810) 또는 흡수 편광기(860)를 포함하지 않는 광학 시스템(800)으로부터의 보상되지 않은 명시야 이미지(874C)의 휘도의 등고선 선도이다. 보상되지 않은 명시야 이미지(874C)는 비교적 균일한 높은 휘도의 영역들을 포함한다. 예를 들어, 광의 더 높은 입사각과 연관되는 보상되지 않은 명시야 이미지(874)의 모서리는 최대 약 7×10^{-5} W/mm²의 휘도를 갖는 한편, 보상되지 않은 명시야 이미지(874C)의 중심 영역은 최대 약 1×10^{-4} W/mm²의 휘도를 갖는다.

[0076] 실시예 2D: 흡수 편광기 없음; 보상 지연기 층 있음

[0077] 도 5d는 보상 지연기 층(810)을 포함하고 흡수 편광기(860)를 포함하지 않는 광학 시스템(800)으로부터의 명시야 이미지의 휘도의 등고선 선도이다. 보상된 명시야 이미지(874D)는 도 5c의 보상되지 않은 명시야 이미지(874C)보다 휘도면에서 상대적으로 더 낮지만 보상 지연기 층(810)에 사용되는 지연 차이에서는 실질적으로 더

낮지 않은 영역들을 포함한다. 예를 들어, 광의 더 높은 입사각과 연관되는 보상된 명시야 이미지(874D)의 모서리는 최대 약 5×10^{-5} W/mm²의 휘도를 갖는 한편, 보상된 명시야 이미지(874D)의 중심 영역은 최대 약 1×10^{-4} W/mm²의 휘도를 갖는다.

- [0078] 광학 시스템(800)의 이미지의 보상된 콘트라스트를 결정하기 위해, 명시야 이미지(874D)의 휘도가 암시야 이미지(874B)의 휘도와 비교될 수 있다. 도 4a는 보상 지연기 층(810)을 포함하는 광학 시스템(800)에서의, 콘트라스트를 나타내는, 암시야(874D)에 대한 명시야 이미지(874B)의 휘도의 비 대 보상 지연기 층(810)의 이산 지연기 섹션들(810A, 810B, 810C, 810D)의 지연의 선도이다. 도 4a에서 알 수 있는 바와 같이, 보상 지연기 층(810)의 지연이 증가함에 따라 이미지(874)의 콘트라스트가 증가하였다.
- [0079] 어두운 상태에서의 광학 시스템(800)의 광 누출을 결정하기 위해, 암시야 이미지(874B)의 휘도가 보상 지연기 층(810)의 다양한 지연에서 평가될 수 있다. 도 4b는 보상 지연기 층(810)을 포함하는 광학 시스템(800)에서의 보상된 암시야 이미지(874B)의 광 누출 대 보상 지연기 층(810)의 이산 지연기 섹션들(810A, 810B, 810C, 810D)의 지연의 선도이다. 도 4b에서 알 수 있는 바와 같이, 보상 지연기 층(810)의 지연이 증가함에 따라 광 누출이 감소하였다.
- [0080] 밝은 상태에서의 광학 시스템(800)의 밝기를 결정하기 위해, 명시야 이미지(874D)의 휘도가 보상 지연기 층(810)의 다양한 지연에서 평가될 수 있다. 도 4c는 보상 지연기 층(810)을 포함하는 광학 시스템(800)에서의 보상된 명시야 이미지(874D)의 출력의 변화 대 보상 지연기 층(810)의 이산 지연기 섹션들(810A, 810B, 810C, 810D)의 지연의 선도이다. 도 4c에서 알 수 있는 바와 같이, 보상 지연기 층(810)의 지연이 증가함에 따라 출력이 점진적으로 감소하며, 이는, 예를 들어, 감소된 명시야 이미지 밝기와 더 높은 콘트라스트의 균형을 이루도록 보상 지연기 층(810)의 지연이 제어될 수 있음을 나타낸다.
- [0081] 다음은 본 발명의 실시 형태들의 리스트이다.
- [0082] 실시 형태 1은 광학 요소로서, 약 400 nm 내지 약 1000 nm의 범위 내의 사전결정된 파장(λ)의 광을 수신하도록 구성되는 광학 표면 - 광학 표면은 반시계 방향으로 순차적으로 번호가 부여되는 4개의 직교 사분면을 한정하는 수직축 및 수평축에 의해 한정됨 -; 수직축 상에 실질적으로 중심설정되는 제1 종방향 섹션; 수평축 상에 실질적으로 중심설정되는 제2 종방향 섹션 - 제1 종방향 섹션 및 제2 종방향 섹션 각각은 광학 표면의 반대편 에지들을 가로질러 연장되고, 실질적으로 수직인 입사광에 대해 동일한 실질적으로 균일한 지연(δ)을 가짐 -; 및 4개의 이산 지연기 섹션 - 각각의 지연기 섹션은 광학 표면의 각각의 직교 사분면 상에 배치됨 - 을 포함하고, 각각의 이산 지연기 섹션은 0보다 큰, δ 와의 지연 차이(θ)를 갖는 광학 요소이다.
- [0083] 실시 형태 2는 실시 형태 1의 광학 요소로서, θ 는 약 0.2λ 미만인 광학 요소이다.
- [0084] 실시 형태 3은 실시 형태 1 또는 실시 형태 2의 광학 요소로서, θ 는 약 0.1λ 미만인 광학 요소이다.
- [0085] 실시 형태 4는 실시 형태 1 내지 실시 형태 3 중 어느 한 실시 형태의 광학 요소로서, 각각의 이산 지연기 섹션은 δ 와의 실질적으로 균일한 지연 차이(θ)를 갖는 광학 요소이다.
- [0086] 실시 형태 5는 실시 형태 1 내지 실시 형태 4 중 어느 한 실시 형태의 광학 요소로서, 각각의 이산 지연기 섹션은 광학 표면의 각각의 직교 사분면의 표면적의 적어도 20%를 덮는 광학 요소이다.
- [0087] 실시 형태 6은 실시 형태 1 내지 실시 형태 5 중 어느 한 실시 형태의 광학 요소로서, 제1 이산 지연기 섹션 및 제3 이산 지연기 섹션은 δ 보다 큰 지연 차이($\theta+$)를 갖고, 제2 이산 지연기 섹션 및 제4 이산 지연기 섹션은 δ 보다 작은 지연 차이($\theta-$)를 갖는 광학 요소이다.
- [0088] 실시 형태 7은 실시 형태 1 내지 실시 형태 6 중 어느 한 실시 형태의 광학 요소로서, 제1 종방향 섹션 및 제2 종방향 섹션은 광학 표면의 표면적의 적어도 10%를 덮는 광학 요소이다.
- [0089] 실시 형태 8은 실시 형태 1 내지 실시 형태 7 중 어느 한 실시 형태의 광학 요소로서, 제1 종방향 섹션 및 제2 종방향 섹션 각각은 동일한 균일한 광학 두께(Λ)를 갖고, 각각의 이산 지연기 섹션은 0보다 큰, Λ 와의 광학 두께 차이(ϵ)를 갖는 광학 요소이다.
- [0090] 실시 형태 9는 실시 형태 8의 광학 요소로서, 제1 이산 지연기 섹션 및 제3 이산 지연기 섹션은 Λ 보다 큰 광학 두께 차이($\epsilon+$)를 갖고, 제2 이산 지연기 섹션 및 제4 이산 지연기 섹션은 Λ 보다 작은 지연 차이($\epsilon-$)를 갖는 광학 요소이다.

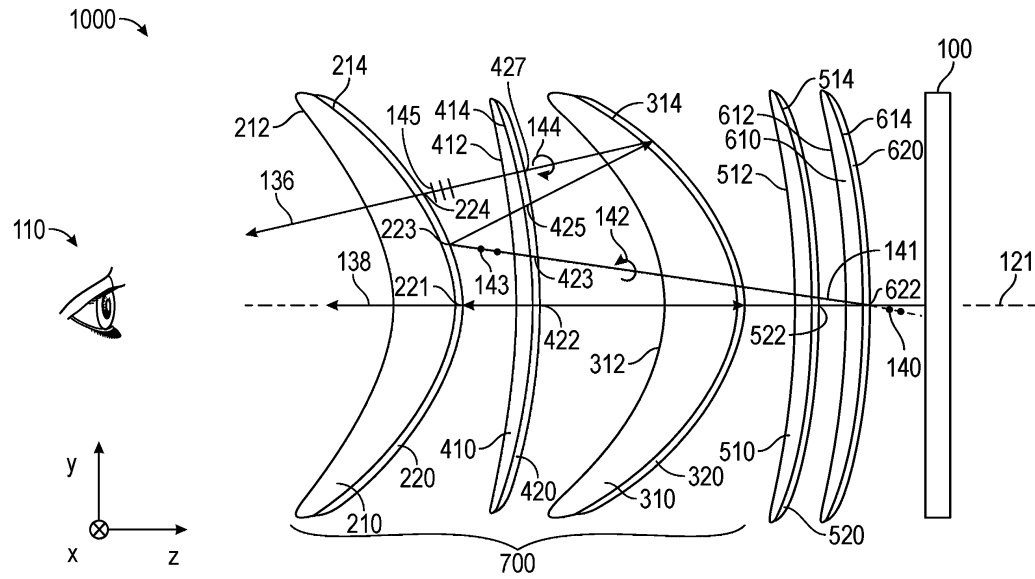
- [0091] 실시 형태 10은 실시 형태 1 내지 실시 형태 9 중 어느 한 실시 형태의 광학 요소로서, 각각의 이산 지연기 섹션은 직각 삼각형인 광학 요소이다.
- [0092] 실시 형태 11은 실시 형태 1 내지 실시 형태 10 중 어느 한 실시 형태의 광학 요소로서, 각각의 이산 지연기 섹션은 사분원호인 광학 요소이다.
- [0093] 실시 형태 12는 실시 형태 1 내지 실시 형태 11 중 어느 한 실시 형태의 광학 요소로서, 각각의 이산 지연기 섹션은 반전된 사분원호인 광학 요소이다.
- [0094] 실시 형태 13은 실시 형태 1 내지 실시 형태 12 중 어느 한 실시 형태의 광학 요소로서, 광학 렌즈 상에 배치되는 지연기를 추가로 포함하고, 광학 표면은 지연기의 주 표면의 일부분인 광학 요소이다.
- [0095] 실시 형태 14는 실시 형태 13의 광학 요소로서, 지연기는 1/4 파장 지연기인 광학 요소이다.
- [0096] 실시 형태 15는 실시 형태 1 내지 실시 형태 14 중 어느 한 실시 형태의 광학 요소로서, 광학 표면은 만곡된 표면인 광학 요소이다.
- [0097] 실시 형태 16은 광을 투과시키기 위한 광학 시스템으로서, 적어도 하나의 주 표면을 갖는 하나 이상의 광학 렌즈; 하나 이상의 광학 렌즈의 제1 주 표면 상에 배치되고 그에 순응하는 반사 편광기 - 반사 편광기는 약 400 nm 내지 약 1000 nm의 범위 내의 사전결정된 파장에서 제1 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 반사하고, 직교하는 제2 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 투과시킴 -; 하나 이상의 광학 렌즈의 제2 주 표면 상에 배치되고 그에 순응하는 부분 반사기 - 부분 반사기는 사전결정된 파장에서 적어도 30%의 평균 광학 반사율을 갖고, 부분 반사기 및 반사 편광기는 그들 사이에 절첩된 광학 공동을 한정함 -; 절첩된 광학 공동 내측에 배치되는 제1 지연기 층; 절첩된 광학 공동 외측에 배치되는 제2 지연기 층; 및 실시 형태 1 내지 실시 형태 13 중 어느 한 실시 형태의 광학 요소를 포함하는 제3 지연기 층을 포함하는 광학 시스템이다.
- [0098] 실시 형태 17은 실시 형태 16의 광학 시스템으로서, 제1 지연기 층 및 제2 지연기 층은 사전결정된 파장에서 실질적으로 균일한 지연을 갖는 광학 시스템이다.
- [0099] 실시 형태 18은 실시 형태 16 또는 실시 형태 17의 광학 시스템으로서, 제1 지연기 층 및 제2 지연기 층은 실질적으로 균일한 광학 두께를 갖는 광학 시스템이다.
- [0100] 실시 형태 19는 실시 형태 16 내지 실시 형태 18 중 어느 한 실시 형태의 광학 시스템으로서, 제1 지연기 층, 제2 지연기 층, 및 제3 지연기 층 중 단지 하나만이 반사방지 코팅을 포함하는 광학 시스템이다.
- [0101] 실시 형태 20은 실시 형태 16 내지 실시 형태 19 중 어느 한 실시 형태의 광학 시스템으로서, 하나 이상의 광학 렌즈의 적어도 하나의 주 표면은 만곡된 표면인 광학 시스템이다.
- [0102] 실시 형태 21은 광학 시스템으로서, 적어도 하나의 주 표면을 갖는 하나 이상의 광학 렌즈; 하나 이상의 광학 렌즈의 제1 주 표면 상에 배치되고 그에 순응하는 반사 편광기 - 반사 편광기는 약 400 nm 내지 약 1000 nm의 범위 내의 사전결정된 파장에서 제1 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 반사하고, 직교하는 제2 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 투과시킴 -; 하나 이상의 광학 렌즈의 제2 주 표면 상에 배치되고 그에 순응하는 부분 반사기 - 부분 반사기는 사전결정된 파장에서 적어도 30%의 평균 광학 반사율을 갖고, 부분 반사기 및 반사 편광기는 그들 사이에 절첩된 광학 공동을 한정함 -; 절첩된 광학 공동 내측에 배치되고 사전결정된 파장에서 실질적으로 균일한 지연을 갖는 제1 지연기 층; 절첩된 광학 공동 외측에 배치되고 사전결정된 파장에서 실질적으로 균일한 지연을 갖는 제2 지연기 층; 및 절첩된 광학 공동 외측에 배치되고 사전결정된 파장에서 실질적으로 불균일한 지연을 갖는 제3 지연기 층을 포함하고, 따라서, 이미지가 광학 시스템의 입력 단부에서 수신되고 광학 시스템의 출력 단부에서 검출될 때, 광학 시스템의 출력 단부에서의 이미지는 제3 지연기 층을 갖지 않는 비교 광학 시스템의 출력 단부에서 검출된 이미지보다 적어도 5% 더 작은 최대 콘트라스트 변화를 갖는 광학 시스템이다.
- [0103] 실시 형태 22는 실시 형태 21의 광학 시스템으로서, 제3 지연기 층은 실시 형태 1 내지 실시 형태 15 중 어느 한 실시 형태의 광학 요소를 포함하는 광학 시스템이다.
- [0104] 실시 형태 23은 실시 형태 21 또는 실시 형태 22의 광학 시스템으로서, 제1 지연기 층, 제2 지연기 층, 및 제3 지연기 층 중 단지 하나만이 반사방지 코팅을 포함하는 광학 시스템이다.
- [0105] 실시 형태 24는 실시 형태 21 내지 실시 형태 23 중 어느 한 실시 형태의 광학 시스템으로서, 하나 이상의 광학

렌즈의 적어도 하나의 주 표면은 만곡된 표면인 광학 시스템이다.

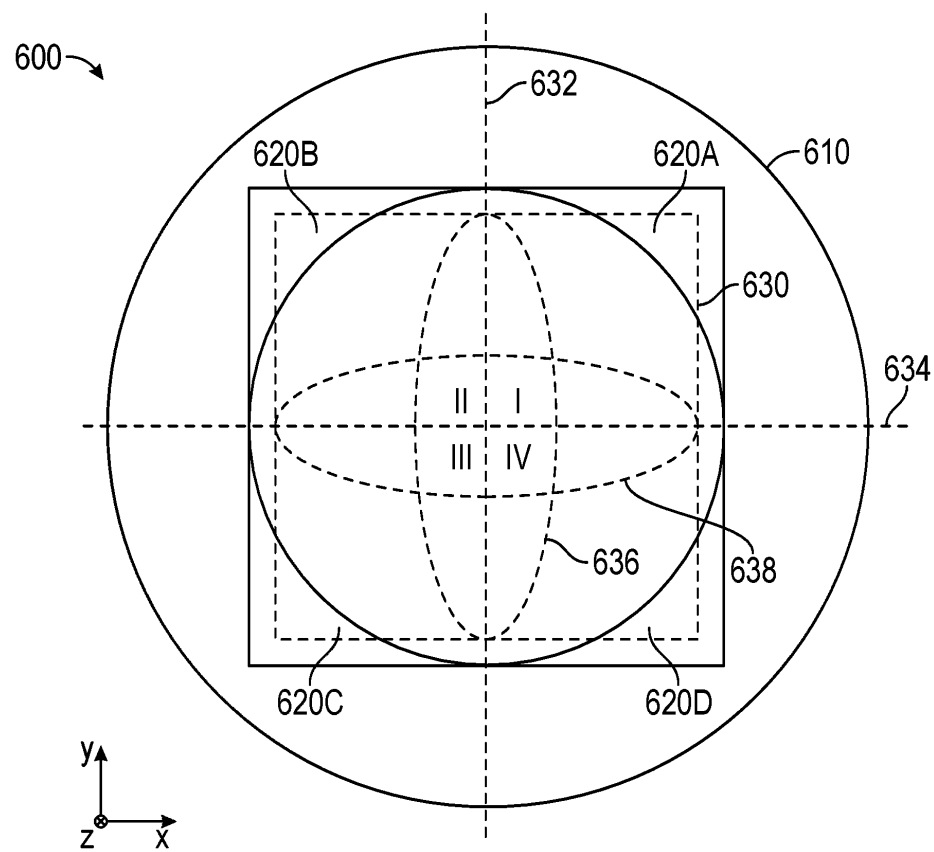
- [0106] 실시 형태 25는 관찰자에게 물체를 표시하기 위한 광학 시스템으로서, 적어도 하나의 만곡된 주 표면을 갖는 하나 이상의 광학 렌즈; 하나 이상의 광학 렌즈의 제1 주 표면 상에 배치되고 그에 순응하는 반사 편광기 - 반사 편광기는 약 400 nm 내지 약 1000 nm의 범위 내의 사전결정된 파장에서 제1 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 반사하고, 직교 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 투과시킴 -; 하나 이상의 광학 렌즈의 상이한 제2 주 표면 상에 배치되고 그에 순응하는 부분 반사기 - 부분 반사기는 사전결정된 파장에서 적어도 30%의 평균 광학 반사율을 갖고, 부분 반사기 및 반사 편광기는 그들 사이에 절첩된 광학 공동을 한정함 -; 절첩된 광학 공동 내측에 배치되고 사전결정된 파장에서 실질적으로 균일한 지연을 갖는 제1 지연기 층; 절첩된 광학 공동 외측에 배치되고 사전결정된 파장에서 실질적으로 균일한 지연을 갖는 제2 지연기 층; 및 절첩된 광학 공동 외측에 배치되고 사전결정된 파장에서 실질적으로 불균일한 지연을 갖는 제3 지연기 층을 포함하고, 따라서, 사전결정된 파장에서 디스플레이로부터 방출된 이미지 광선이 반사 편광기에 첫 번째로 입사할 때, 이미지 광선은 제1 반사율(ρ)로 실질적으로 반사되고, 이미지 광선이 반사 편광기에 두 번째로 입사할 때, 이미지 광선은 제1 투과율(τ)로 실질적으로 투과되며, 제3 지연기 층은 제1 반사율을 증가시키는 광학 시스템이다.
- [0107] 실시 형태 26은 실시 형태 25의 광학 시스템으로서, 제3 지연기 층은 제1 투과율을 변화시키지 않는 광학 시스템이다.
- [0108] 실시 형태 27은 실시 형태 25 또는 실시 형태 26의 광학 시스템으로서, 제3 지연기 층은 실시 형태 1 내지 실시 형태 15 중 어느 한 실시 형태의 광학 요소를 포함하는 광학 시스템이다.
- [0109] 실시 형태 28은 실시 형태 25 내지 실시 형태 27 중 어느 한 실시 형태의 광학 시스템으로서, 제1 지연기 층, 제2 지연기 층, 및 제3 지연기 층 중 단지 하나만이 반사방지 코팅을 포함하는 광학 시스템이다.
- [0110] 실시 형태 29는 실시 형태 25 내지 실시 형태 28 중 어느 한 실시 형태의 광학 시스템으로서, 하나 이상의 광학 렌즈의 적어도 하나의 주 표면은 만곡된 표면인 광학 시스템이다.
- [0111] 실시 형태 30은 광학 시스템으로서, 적어도 하나의 주 표면을 갖는 하나 이상의 광학 렌즈; 하나 이상의 광학 렌즈의 제1 주 표면 상에 배치되고 그에 순응하는 반사 편광기 - 반사 편광기는 약 400 nm 내지 약 1000 nm의 범위 내의 사전결정된 파장에서 제1 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 반사하고, 직교하는 제2 편광 상태를 갖는 광을 실질적으로 투과시킴 -; 하나 이상의 광학 렌즈의 제2 주 표면 상에 배치되고 그에 순응하는 부분 반사기 - 부분 반사기는 사전결정된 파장에서 적어도 30%의 평균 광학 반사율을 갖고, 부분 반사기 및 반사 편광기는 그들 사이에 절첩된 광학 공동을 한정함 -; 절첩된 광학 공동 내측에 배치되고 사전결정된 파장에서 균일한 지연을 갖는 제1 지연기 층; 절첩된 광학 공동 외측에 배치되고 사전결정된 파장에서 균일한 지연을 갖는 제2 지연기 층; 및 절첩된 광학 공동 외측에 배치되고 사전결정된 파장에서 불균일한 지연을 갖는 제3 지연기 층을 포함하고, 따라서, 제1 편광된 상태를 갖는 균일하게 편광된 명시야 이미지가 광학 시스템에 입사하고 반사 편광기 및 부분 반사기 각각에서 적어도 한 번의 반사를 겪은 후에 광학 시스템을 빠져나갈 때, 출사 이미지는 출사 개구부를 충전하고, 개구부를 충전하는 이미지는 제1 편광 상태를 갖는 제1 이미지 성분을 가지며, 제1 이미지 성분의 최대 세기는 제3 지연기 층을 갖지 않는 비교 광학 시스템보다 적어도 10% 더 작은 광학 시스템이다.
- [0112] 실시 형태 31은 실시 형태 30의 광학 시스템으로서, 제3 지연기 층은 실시 형태 1 내지 실시 형태 15 중 어느 한 실시 형태의 광학 요소를 포함하는 광학 시스템이다.
- [0113] 실시 형태 32는 실시 형태 30 또는 실시 형태 31의 광학 시스템으로서, 제1 지연기 층, 제2 지연기 층, 및 제3 지연기 층 중 단지 하나만이 반사방지 코팅을 포함하는 광학 시스템이다.
- [0114] 실시 형태 33은 실시 형태 30 내지 실시 형태 32 중 어느 한 실시 형태의 광학 시스템으로서, 하나 이상의 광학 렌즈의 적어도 하나의 주 표면은 만곡된 표면인 광학 시스템이다.
- [0115] 본 발명의 다양한 실시 형태가 기술되었다. 이들 및 다른 실시 형태는 하기 청구범위의 범주 내에 있다.

도면

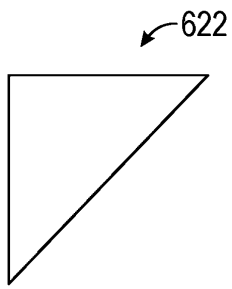
도면1



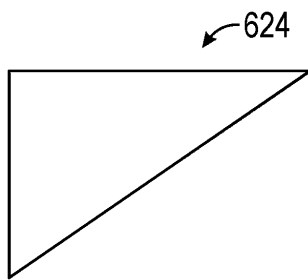
도면2



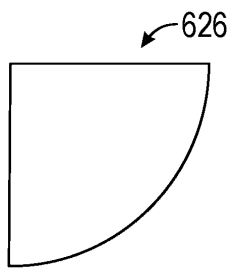
도면3a



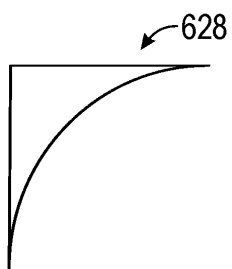
도면3b



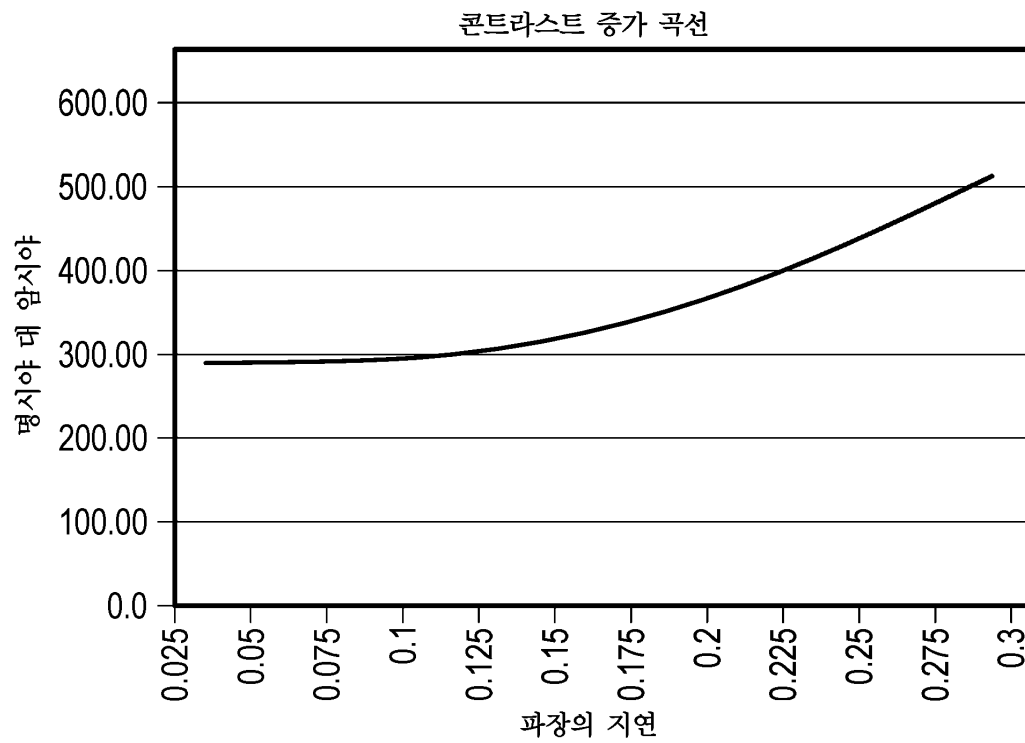
도면3c



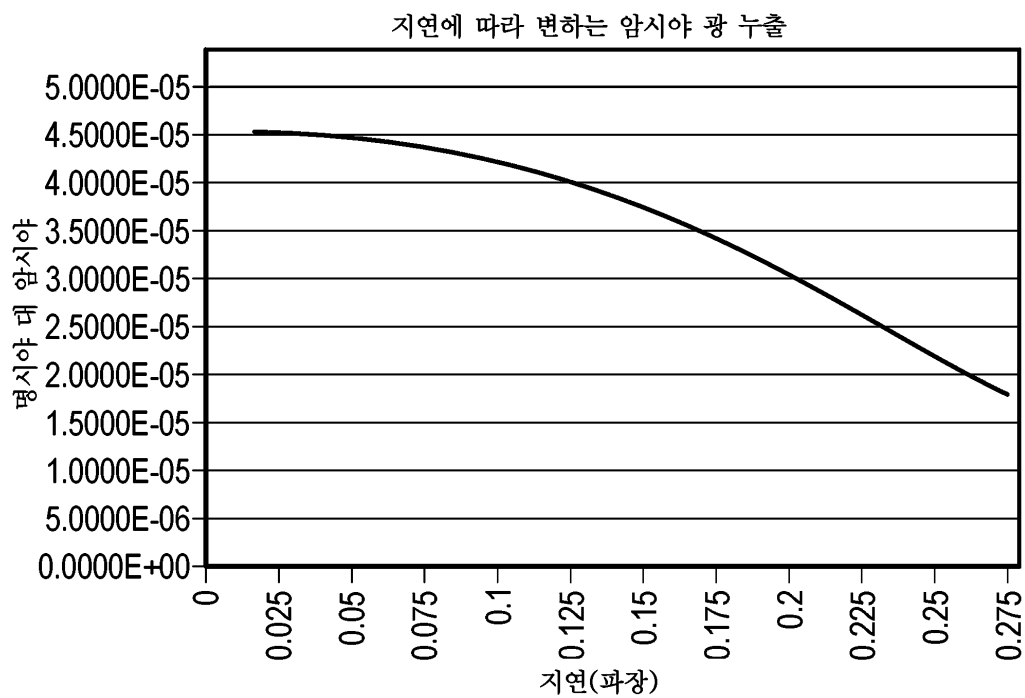
도면3d



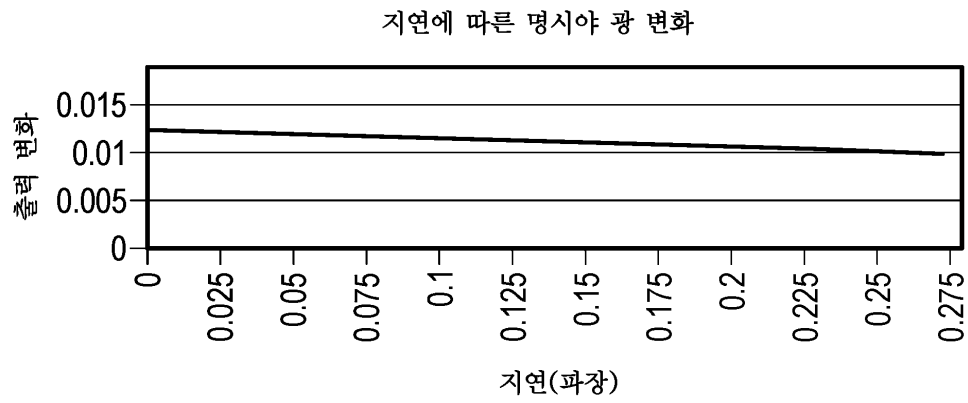
도면4a



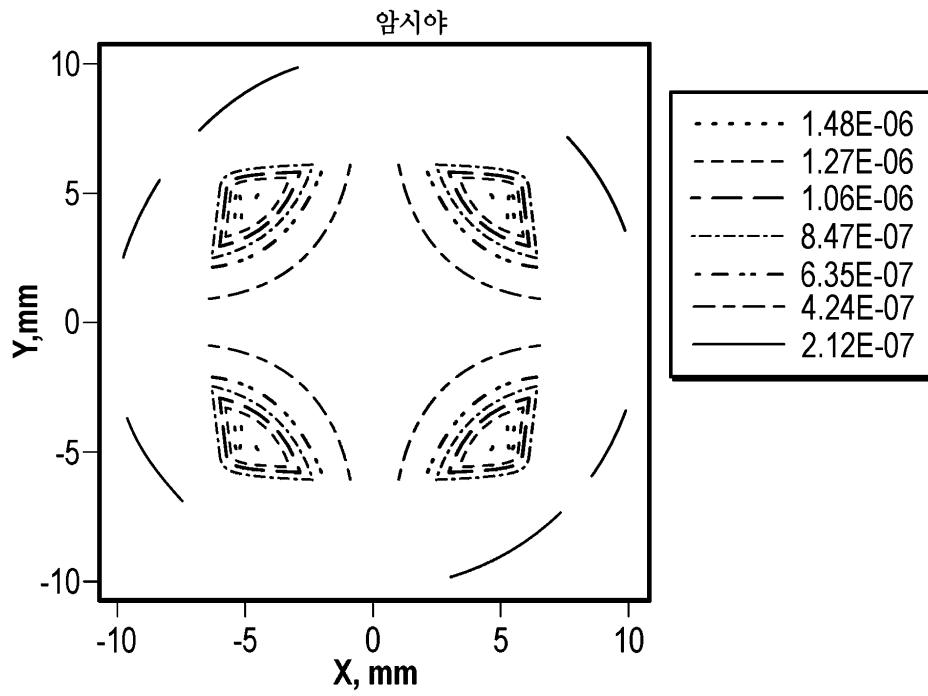
도면4b



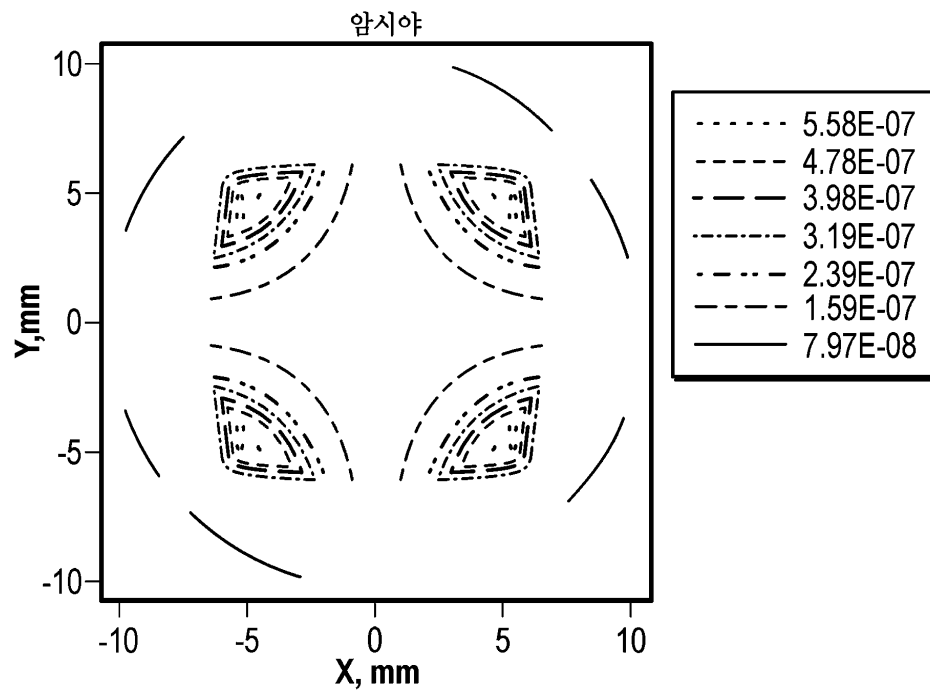
도면4c



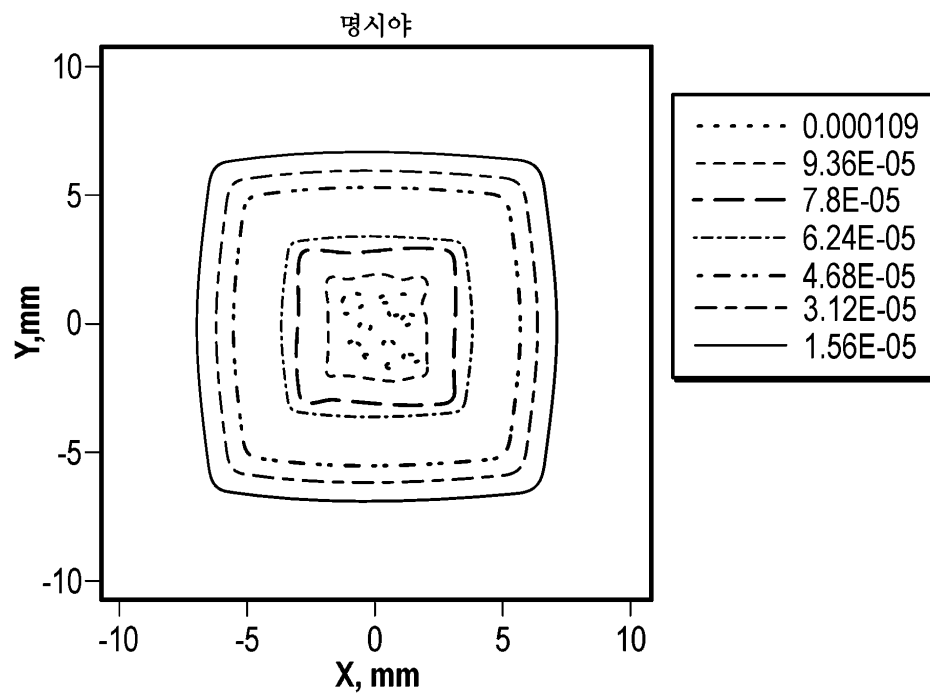
도면5a



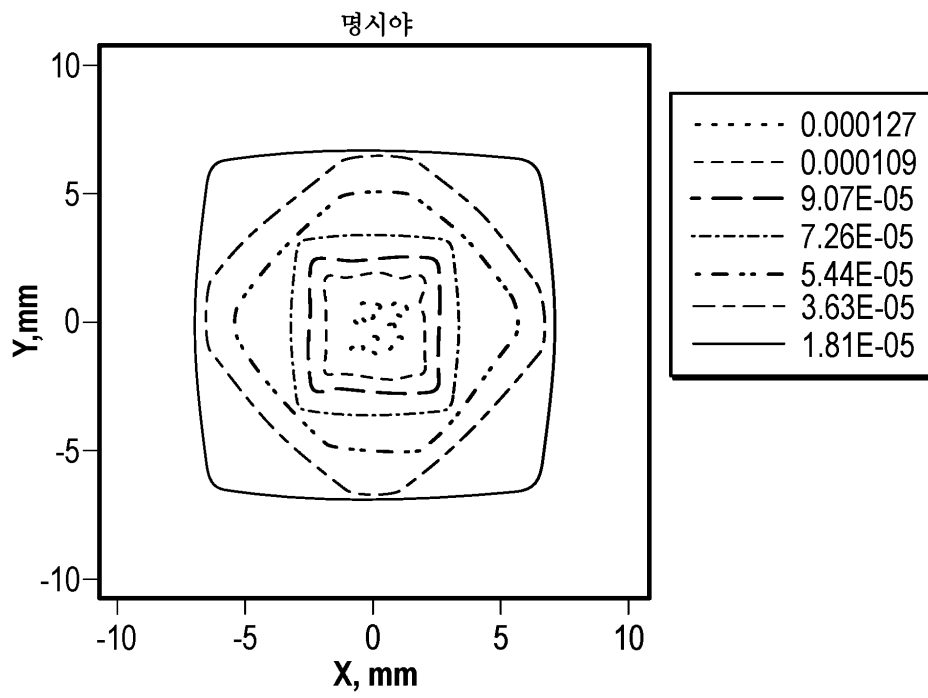
도면5b



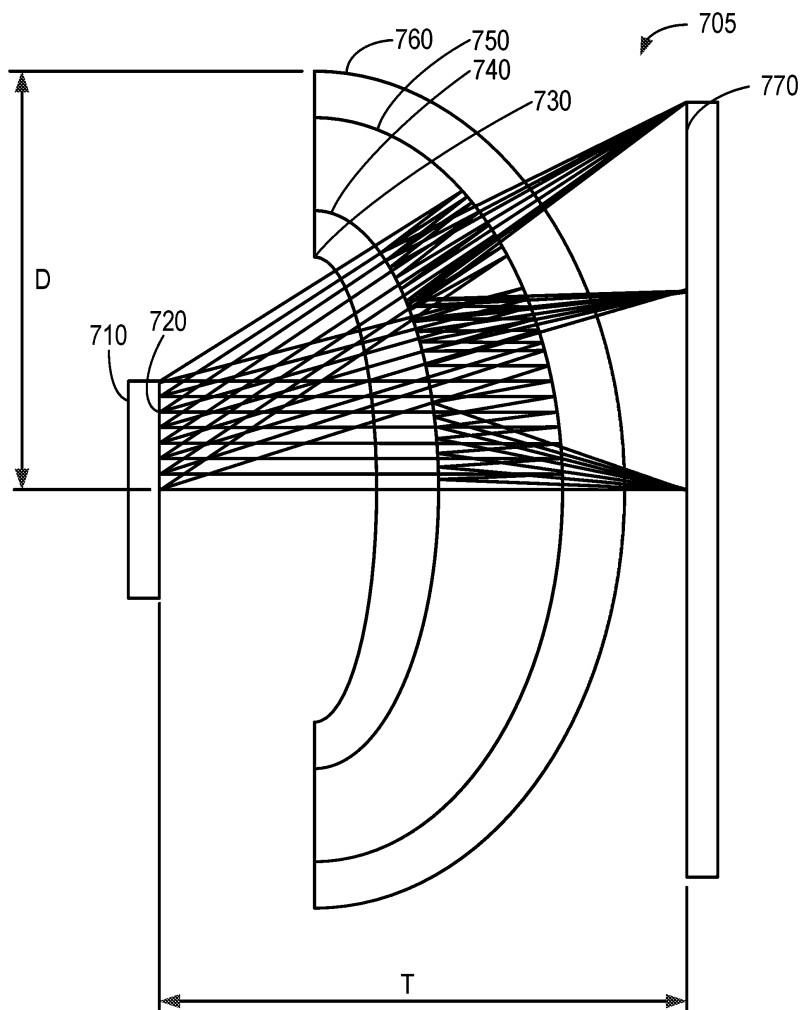
도면5c



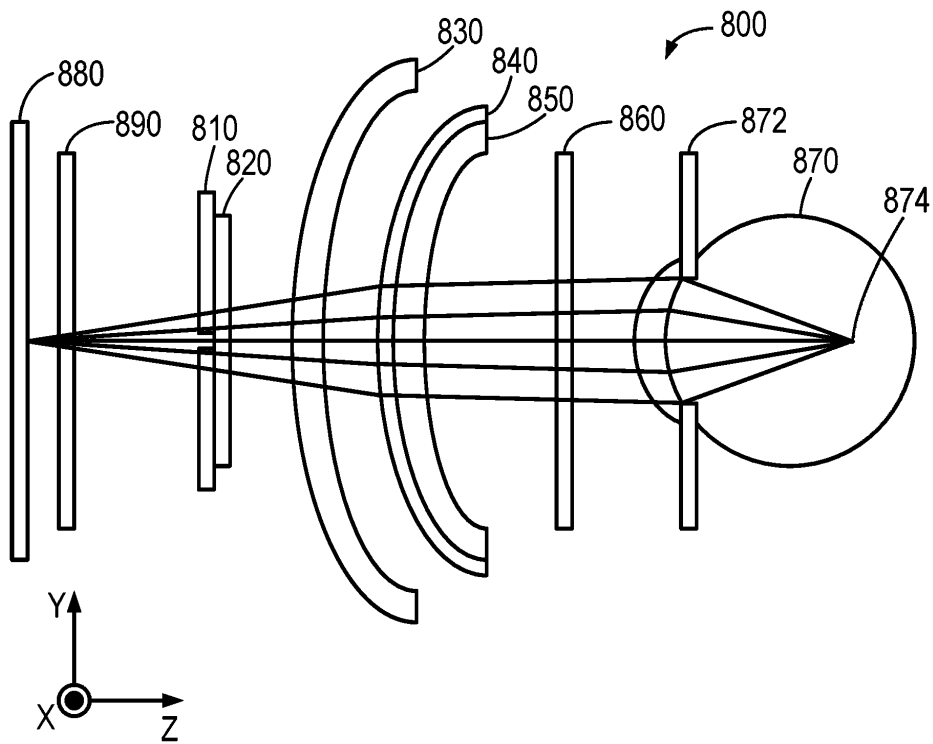
도면5d



도면6



도면7a



도면7b

