



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년02월15일
 (11) 등록번호 10-1233879
 (24) 등록일자 2013년02월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G02B 5/30 (2006.01) G02B 1/08 (2006.01)
 G02F 1/01 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2012-7016368(분할)
 (22) 출원일자(국제) 2005년01월14일
 심사청구일자 2012년06월22일
 (85) 번역문제출일자 2012년06월22일
 (65) 공개번호 10-2012-0088864
 (43) 공개일자 2012년08월08일
 (62) 원출원 특허 10-2012-7001214
 원출원일자(국제) 2005년01월14일
 심사청구일자 2012년01월16일
 (86) 국제출원번호 PCT/EP2005/000320
 (87) 국제공개번호 WO 2005/069081
 국제공개일자 2005년07월28일
 (30) 우선권주장
 60/537,327 2004년01월16일 미국(US)
 (56) 선행기술조사문헌
 GB0856621 A
 US3630598 A
 US5867315 A

(73) 특허권자
 칼 짜이스 에스엠티 게엠베하
 독일 오버코헨 73447 루돌프-에버-슈트라세 2
 (72) 발명자
 피올카, 다미안
 독일 오버코헨 73446 헤켄로젠베그 36
 테구엔테, 마르쿠스
 독일 아룬 73432 라이비그 스트라세 2
 (74) 대리인
 한양특허법인

전체 청구항 수 : 총 7 항

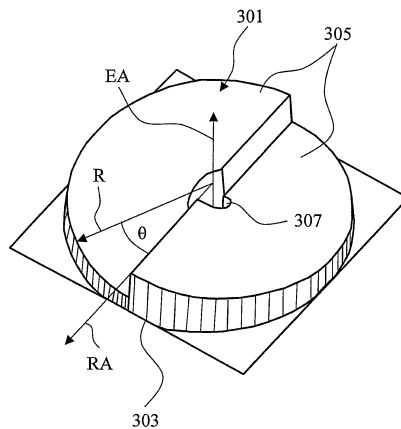
심사관 : 정수환

(54) 발명의 명칭 **편광변조 광학소자**

(57) 요약

광활성 물질로 구성되는 편광변조 광학소자(1)가 광축의 방향에서 측정되었을 때 두께가 광학소자 전 영역에서 변화하는 두께프로파일을 갖는다. 편광변조 광학소자(1)는 제1 선형편광 광선의 진동면과 제2 선형편광 광선의 진동면이 각각 제1 회전각 및 제2 회전각 만큼 회전되고, 제1 회전각과 제2 회전각이 상이하다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

광축과 광선의 전파방향에 의하여 주어지는 우선방향을 포함하는 광학시스템에 있어서, 이 광학시스템이 좌표계의 좌표로 묘사되는 온도보상형 편광변조 광학소자를 포함하고, 좌표계의 한 우선좌표가 광축에 평행하거나 상기 우선방향에 평행하며, 온도보상형 편광변조 광학소자가 제1 및 제2 편광변조 광학소자를 포함하고, 제1, 또는 제2, 또는 제1 및 제2 편광변조 광학소자가 고체, 또는 액체, 또는 고체 및 액체 광활성 물질을 포함하고 광유효두께의 프로파일을 포함하며, 광유효두께가 좌표계의 우선좌표와 상이한 적어도 하나의 좌표의 함수로서 변화하며, 부가적으로 제1 및 제2 편광변조 광학소자가 고체, 또는 액체, 또는 고체 및 액체 광활성 물질을 포함하고, 광유효두께가 좌표계의 우선좌표와 상이한 적어도 하나의 좌표의 함수로서 일정하며, 제1 및 제2 편광변조 광학소자가 부호가 반대인 비회전을 갖는 광활성 물질을 포함하거나, 제1 편광변조 광학소자가 제2 편광변조 광학소자의 광활성 물질에 대하여 부호가 반대인 비회전을 갖는 광활성 물질을 포함함을 특징으로 하는 광학시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 제1 및 제2 편광변조 광학소자가 광선의 전파방향으로 제1 및 제2 두께를 갖는 평판이고 이들 평판이 시계방향 및 반시계방향 비회전을 갖는 광활성 석영으로 만들어짐을 특징으로 하는 광학시스템.

청구항 3

제2항에 있어서, 제1 및 제2 두께의 차이의 절대값이 작은 평판의 두께 보다 작음을 특징으로 하는 광학시스템.

청구항 4

제1항 내지 제3항의 어느 한 항에 있어서, 적어도 하나의 편광변조 광학소자가 편광변조 광학소자를 통하여 전파되는 광선의 방향에 대하여 평행한 자계성분을 갖는 자계에 영향을 받는 광활성 또는 비광활성 물질을 포함함을 특징으로 하는 광학시스템.

청구항 5

복사광원, 구조화된 마스크를 조명하기 위한 조명시스템과, 마스크 구조의 이미지를 감광기재에 투영하기 위한 프로젝션 대물렌즈를 포함하고, 청구항 제1항 내지 제3항의 어느 한 항에 따른 광학시스템을 포함함을 특징으로 하는 프로젝션 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서, 공기와는 굴절률이 다른 이머전 매체가 기재와 이러한 기재에 가장 근접한 광학소자 사이에 존재함을 특징으로 하는 프로젝션 시스템.

청구항 7

미세구조의 반도체 구성요소를 제조하는 방법에 있어서, 이 방법이 청구항 제5항에 따른 프로젝션 시스템을 이용하는 단계를 포함함을 특징으로 하는 미세구조 반도체 구성요소의 제조방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 광선의 편광이 이루어질 수 있도록 하는 광학소자에 관한 것이다. 광학소자는 두께 프로파일을 갖는 형태이고 광축을 갖는 광활성 크리스털로 구성된다.

배경기술

[0002] 마이크로리소그래피(microlithography)의 분야에서 보다 선명한 해상도를 갖는 구조를 얻기 위한 계속적인 노력에 있어서는 실질적으로 3가지 도출개념의 병렬연구가 이루어졌다. 그 첫째는 초고개구수의 프로젝션 대물렌즈

를 제공하는 것이다. 둘째는 예를 들어 248 nm, 193 nm 또는 157 nm 와 같은 단파장을 꾸준히 추구하는 경향이 다. 끝으로, 최종광학소자인 프로젝션 대물렌즈와 감광기재 사이의 공간에 고굴절률의 이머전 매체(immersion medium)를 주입하여 해상도를 증가시키는 개념이다. 후자의 기술을 이머전 리소그래피(immersion lithography)라 한다.

[0003] 한정된 편광의 광으로 조명되는 광학시스템에 있어서, 프레넬등식에 따른 전계벡터의 s- 및 p-성분은 상이한 굴절률을 갖는 두 매체의 경계면에서 각각 상이한 반사도 및 굴절도의 영향을 받는다. 본문에서 그리고 이후부터, 광선의 입사평면에 대하여 평행하게 진동하는 편광성분을 p-성분이라 하고, 광선의 입사평면에 대하여 수직으로 진동하는 편광성분을 s-성분이라 한다. p-성분에 비하여 s-성분에서 일어나는 상이한 반사도 및 굴절도는 이미지화과정에 현저히 불리한 효과를 보이도록 한다.

[0004] 이러한 문제점은 광학시스템의 동공면에서 각 선형 편광된 광선의 전계벡터의 진동면이 광축에 대하여 대략 방사상 방향으로 향하는 편광의 특정분포를 통하여 방지할 수 있다. 이후부터 이러한 종류의 편광분포를 방사상 편광이라 한다. 만약 상기 언급된 정의에 따라서 방사상으로 편광된 광선속(光線束)이 대물렌즈의 계면에서 상이한 굴절률의 두 매체 사이의 경계면에서 만나는 경우, 전계벡터의 p-성분만이 존재하여 이미지품질에서 상기 언급된 불리한 효과가 현저히 감소된다.

[0005] 또한 상기 언급된 개념에 유사하게 시스템 동공면에서 각 선형 편광광선의 전계벡터의 진동면이 광축으로부터 시작되는 반경에 수직인 방향으로 배치된 편광분포를 선택할 수 있다. 이후부터 이러한 형태의 편광분포를 접선 방향 편광이라 할 것이다. 만약 이러한 정의에 따라서 접선방향으로 편광된 광선속이 상이한 굴절률의 두 매체 사이의 경계면과 만나는 경우, 전계벡터의 s-성분만이 존재할 것이므로 앞의 경우와 같이 계면에서 이루어지는 반사 및 굴절은 균일할 것이다.

[0006] 편광상태에 대한 현저한 역효과는 굴절률에서의 차이와 프로젝션 대물렌즈로부터 이머전 매체까지 그리고 이머전 매체로부터 코팅된 감광기재까지의 각 경계면에서 크게 경사진 입사각에 기초하는 것으로 예상되기 때문에 특히 이머전 리소그래피의 상기 언급된 개념을 실제에 적용할 때 동공면에서 접선방향 또는 방사상 방향 편광의 조명이 이루어지도록 하는 것이 매우 중요하다.

[0007] 미국특허 제6,191,880호에는 거의 방사상 방향의 편광을 발생하는 광학장치가 기술되어 있다. 이 장치는 무엇보다도 각 우선방향으로 선형편광된 광선이 래스터장치를 통과할 때 진동면이 광축으로부터 시작하는 반경의 방향으로 회전되도록 배향되는 반과 플레이트의 래스터를 포함한다. 그러나, 래스터장치가 다수의 배향된 반과 플레이트를 조합하여 구성되므로 제조비용이 많이 든다. 더욱이, 편광방향의 변화는 직경이 전형적으로 10-20 mm 정도인 각 반과 플레이트의 영역내에서 일정하기 이루어져 이러한 계면을 통하여 연속적인 방사상 방향 편광이 이루어질 수 없다.

[0008] 두께가 일정치 않은 결정질 석영의 복굴절소자가 광학시스템에서 한정된 편광상태의 국부적인 수차를 보상하기 위하여 특허문헌 DE 198 07 120 A1에서 제안되었다. 그러나, 이러한 형태의 복굴절소자에서 두께의 변화는 편광의 국부적으로 상이한 상태가 유도되도록 한다. 특히, 일반적으로, 편광의 선형상태는 이러한 형태의 장치에서 유지되지 않는다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 따라서, 본 발명의 목적은 강도의 손실이 최소이면서 각 광선의 진동면 방향의 제1분포를 갖는 선형편광된 광선으로부터 광학소자가 각 광선의 진동면 방향의 제2분포를 갖는 선형편광 광선을 발생하도록 광선의 편광에 영향을 주는 편광변조 광학소자를 제공하는데 있다.

[0010] 본 발명의 다른 목적은 진동면의 제2분포(편광분포)의 열적 안정성에 관한 편광변조 광학소자의 개선된 특성을 갖는 광학시스템을 제공하고, 광선이 이들 소자를 통과한 후에 편광분포에 대한 광학시스템의 부가적인 광학소자의 영향을 최소화하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기 언급된 목적을 달성하기 위하여, 편광변조 광학소자는 광활성 크리스털로 구성되고 본 발명에 따라서 광축에 수직인 방향으로 변화하는 두께프로파일을 갖도록 형성되는 것으로 제안된다. 더욱이, 청구항 57, 64, 65, 70 및 75에 기재된 광학시스템은 본 발명의 목적에 부합된다. 본 발명에 따른 광학시스템의 부가적인 우선실시

형태가 종속항에 기재되어 있다.

[0012] 본 발명에 따른 편광변조 광학소자는 제1선형편광 광선의 진동면과 제2선형편광 광선의 진동면이 각각 제1회전 각도와 이러한 제1회전각도와 상이한 제2회전각도 만큼 회전되는 효과를 갖는다. 본 발명에 따라서, 편광변조 광학소자는 광활성 물질로 제조된다.

[0013] 이후 본 발명 개념의 다른 유리한 개선점이 설명된다.

[0014] 선형편광 광선으로부터 최소강도손실을 갖는 선형편광 광선의 임의선택분포를 발생하기 위하여, 광축을 갖는 광활성 크리스털이 편광변조 광학소자의 원재료로서 사용된다. 등방성의 축으로 불리는 크리스털의 광축은 광축의 방향에 관련하여 광전과속도가 단 하나인 특성에 의하여 정의된다. 환언컨데, 광축의 방향으로 이동하는 광선은 선형복굴절의 영향을 받지 않는다. 편광변조 광학소자는 크리스털의 광축에 대하여 수직인 방향으로 변화하는 두께프로파일을 갖는다. 본 발명에서 "선형편광"이라는 용어는 각 광선이 선형으로 편광되거나 각 전계벡터의 진동면은 상이한 방향으로 향할 수 있는 편광분포의 의미와 함께 사용된다.

[0015] 만약 선형편광 광선이 크리스털의 광축을 따라 편광변조 광학소자를 통과하는 경우, 전계벡터의 진동면은 크리스털 내부를 통과한 거리에 비례하는 각도 만큼 회전된다. 회전방향, 즉, 진동면이 시계방향 또는 반시계방향으로 회전되는 회전방향은 예를 들어 우선회 석영 또는 좌선회 석영과 같은 크리스털 물질에 따라서 달라진다. 편광면은 광선의 편광 및 전파의 각 방향에 대하여 평행하다. 임의선택분포의 회전각도를 얻기 위하여, 만약, 두께프로파일이 제1선형편광 광선의 진동면과 제2선형편광 광선의 진동면이 각각 제1 및 제2회전각도 만큼 회전되도록 설계되고 제1회전각도가 제2회전각도와 상이한 경우 유리하다. 각 부위에서 소자를 특정 두께로 정형함으로써, 진동면에 대한 임의선택 회전각도를 얻을 수 있다.

[0016] 특히 석영, TeO₂ 및 AgGaS₂ 와 같은 여러 광활성 물질이 방사과장에 따라 적합하게 사용될 수 있는 것이 확인되었다.

[0017] 본 발명의 우선실시형태에서, 편광변조 광학소자는 크리스털의 광축과 동일한 방향으로 배향된 소자축선을 갖는다. 소자축선에 관하여, 광학소자의 두께프로파일은 방위각 θ 만의 함수이며, 방위각 θ 는 소자축선에 직각으로 교차하는 기준축선에 대하여 측정된다. 이러한 설계에 따른 두께프로파일에 있어서, 광학소자의 두께는 소자축선에 직각으로 교차하는 반경을 따라 일정하고 기준축선에 대하여 방위각 θ 을 형성한다.

[0018] 본 발명의 다른 우선실시형태에서, 소자축선으로부터 일정한 거리 r 에서 두께프로파일 $d(r, \theta)$ 의 방위각 부분 $d(r=\text{일정}, \theta)$ 는 방위각 θ 의 선형함수이다. 이상적인 경우에 있어서, 이러한 방위각 부분은 방위각 $\theta=0$ 에서

$$|m| = \frac{180^\circ}{\alpha\pi r}$$

불연속이다. 소자축선으로부터 일정한 거리 r 에서 선형함수 $d(r=\text{일정}, \theta)$ 는 기울기 m 를 가지며, 여기에서 α 는 광활성 크리스털의 비회전을 나타낸다. $\theta=0$ 인 경우 불연속부분에서, 두께에는 $360^\circ / \alpha$ 의 양만큼 가파른 스텝이 존재한다. 불연속부분에서 이러한 스텝은 수 도의 방위각범위에 분포될 수 있다. 그러나, 이는 전이범위에서 적합치 않은 편광분포를 보이는 결과를 갖는다.

[0019] 본 발명의 다른 우선실시형태에서, 소자축선으로부터 일정한 거리 r 에서 두께프로파일 $d(r, \theta)$ 의 방위각 부분 $d(r=\text{일정}, \theta)$ 는 동일한 기울기 m 을 갖는 방위각 θ 의 선형함수이나, 이상적인 경우에 있어서는 각각 방위각 $\theta=0$ 및 $\theta=180^\circ$ 에서 두개의 불연속부분을 갖는다. 각 불연속부분에서는 두께에 $360^\circ / \alpha$ 의 양만큼 가파른 스텝이 존재한다. 또한 불연속부분에서 두개의 가파른 스텝은 수 도의 방위각범위상에 분포될 수 있다. 그러나, 이는 전이범위에서 적합치 않은 편광분포를 보이는 결과를 갖는다.

[0020] 본 발명의 다른 우선실시형태에서, 소자축선으로부터 일정한 거리 r 에서 그리고 $10^\circ < \theta < 170^\circ$ 의 제1방위각 범위에서 두께프로파일 $d(r, \theta)$ 의 방위각 부분 $d(r=\text{일정}, \theta)$ 는 제1기울기 m 을 갖는 방위각 θ 의 선형함수이나, $190^\circ < \theta < 350^\circ$ 의 제2방위각 범위에서, 방위각 부분은 제2기울기 n 을 갖는 방위각 θ 의 선형함수이다. 기울기 m 과 n 은 절대값이 동일하나 부호가 반대이다. 소자축선으로부터 거리 r 에서 기울기 m 과 n 의 크기는

$$|m| = |n| = \frac{180^\circ}{\alpha\pi r}$$

이다. 이러한 구성에서, $\theta=0$ 및 $\theta=180^\circ$ 를 포함하는 모든 방위각에 대한 두께프로파일은 두께에서 가파른 변화없는 연속함수이다.

[0021] 본 발명의 다른 우선실시형태에서, 편광변조 광학소자는 두께가 상이한 다수의 평행평면부로 나누어지거나 적어도 두개의 평행평면부로 구성된다. 이들 부분은 예를 들어 원의 섹터인 부채꼴의 형태로 구성될 수 있으나 이들

은 육각형, 정사각형, 직사각형 또는 사다리꼴의 형태를 가질 수 있다.

- [0022] 본 발명의 다른 우선실시형태에서, 한쌍의 제1 평행평면부는 상기 편광변조 광학소자의 소자중심축선의 양측에 배열되고 한쌍의 제2 평행평면부는 상기 소자축선의 양측에 배열되고 상기 제1 평행평면부에 대하여 상기 소자축선의 둘레에 주연방향으로 배치되며, 상기 각 제1부분은 상기 각 제2부분의 두께와 다른 두께를 갖는다.
- [0023] 본 발명의 다른 우선실시형태에서, 편광변조 광학소자를 통과하는 선형편광 광선의 진동면은 적어도 하나의 상기 제1 평행평면부내에서는 제1회전각 β_1 만큼, 그리고 적어도 하나의 상기 제2 평행평면부내에서는 제2회전각 β_2 만큼 회전하며, β_1 과 β_2 는 대략 식 $|\beta_2 - \beta_1| = (2n+1) \cdot 90^\circ$ 를 따르며, 여기에서 n 은 정수이다.
- [0024] 우선실시형태에서, β_1 과 β_2 는 식 $\beta_1 = 90^\circ + p \cdot 180^\circ$ (여기에서 p 는 정수이다)과 식 $\beta_2 = q \cdot 180^\circ$ (여기에서 q는 0을 제외한 정수이다)를 따른다. 이후 상세히 설명되는 바와 같이, 편광변조 광학소자의 이러한 실시형태는 이동하는 편광광선의 편광에 영향을 주도록 유리하게 이용되어 진출광선이 진입광선에 따라서 대략 접선방향 또는 대략 방사상 방향으로 편광된 편광분포를 갖도록 한다.
- [0025] 한쌍의 제2 평행평면부는 특히 약 90° 만큼 상기 쌍의 제1 평행평면부에 대하여 상기 소자축선의 둘레에 주연방향으로 배치될 수 있다.
- [0026] 본 발명의 다른 우선실시형태에서, 상기 쌍의 제1 평행평면부와 상기 쌍의 제2 평행평면부는 상기 편광변조 광학소자의 중앙개방부 또는 중앙암흑부의 양측에 배열된다.
- [0027] 상기 제1 및 제2쌍의 인접부분은 상기 편광변조 광학소자로 진입하는 선형편광 광선에 대하여 불투명한 영역에 의하여 서로 간격을 두고 배치될 수 있다. 상기 제1 및 제2그룹의 상기 부분은 특히 취부구조물에 의하여 함께 고정될 수 있다. 상기 취부구조물은 상기 편광변조 광학소자에 진입하는 선형편광 광선에 대하여 불투명할 수 있다. 취부구조물은 실질적으로 스포크-휠(spoke-wheel)의 형태를 가질 수 있다.
- [0028] 본 발명의 다른 우선실시형태에서, 편광변조 광학소자는 이동하는 선형편광 광선의 진동면이 제1회전각 β_1 만큼 회전된 제1그룹의 평행평면부와, 이동하는 선형편광 광선의 진동면이 제2회전각 β_2 만큼 회전된 제2그룹의 평행평면부로 구성되고, β_1 과 β_2 는 식 $|\beta_2 - \beta_1| = (2n+1) \cdot 90^\circ$ 를 따르며, 여기에서 n 은 정수이다.
- [0029] 본 발명의 다른 우선실시형태에서, β_1 과 β_2 는 식 $\beta_1 = 90^\circ + p \cdot 180^\circ$ (여기에서 p 는 정수이다)과 식 $\beta_2 = q \cdot 180^\circ$ (여기에서 q는 0을 제외한 정수이다)를 따른다.
- [0030] 본 발명의 다른 우선실시형태에서, 편광변조 광학소자의 두께프로파일은 두께에 가파른 변화없는 연속표면윤곽을 가지므로, 임의선택 편광분포를 얻을 수 있고 그 두께프로파일은 위치의 연속함수로 나타낼 수 있다.
- [0031] 광학소자의 적합한 기계적인 안정성을 확보하기 위하여, 편광변조 광학소자의 최소두께 d_{\min} 는 소자 직경 D 의 0.002 배가 되도록 하는 것이 중요하다.
- [0032] 만약 광학소자에 사용된 광활성 물질이 결정질 석영의 경우와 같이 복굴절특성을 갖는 경우, 복굴절은 전파방향이 크리스털 광축의 방향으로부터 벗어나는 광선을 고려하여야 할 것이다. 크리스털의 내부에서 $90^\circ / \alpha$ 의 이동거리는 선형편광이 90° 만큼 회전되도록 한다. 만약 복굴절이 회전효과에 부가하여 존재하는 경우, 90° 회전은 광선의 전계벡터에 대하여 빠른 축선(fast axis)과 느린 축선(slow axis) 사이의 교환과 같게 될 것이다. 이와 같이, 전체적인 복굴절의 보상은 크리스털 내에서 이동된 거리가 $180^\circ / \alpha$ 의 정수배와 같은 경우 입사각이 작은 광선에 대하여 제공된다. 기계적인 안정성을 확보하는 한편 동시에 복굴절을 최소화하기 위한 상기 언급된 조건에 부합하기 위하여, 편광변조 광학소자가 최소두께 $d_{\min} = N \cdot \frac{90^\circ}{\alpha}$ (여기에서 N 은 양의 정수이다)를 갖도록 설계되는 경우 특히 유리하다.
- [0033] 제조의 관점에서부터, 중앙통공 또는 중앙암흑부를 갖는 광학소자를 제공하는 것이 특히 유리하다.
- [0034] 크리스털 광축에 정확히 평행하지 않게 전파되는 광선의 경우, 회전각도가 벗어날 것이다. 아울러, 복굴절형상이 효과를 보일 것이다. 따라서, 크리스털광축에 대하여 각도범위내에서 다수의 광선으로 이루어진 입사광선속의 최대입사각이 100 mrad 이하인 경우, 좋기로는 70 mrad 이하인 경우, 더욱 좋기로는 45 mrad 이하인 경우 특히 유리하다.

- [0035] 편광상태에서 보다 다양한 제어가 이루어질 수 있도록 하기 위하여, 광학장치는 적어도 하나의 다른 편광변조 광학소자가 광로내에 배치될 수 있도록 하는 장치를 구비하는 것이 유리하다. 이러한 다른 편광변조 광학소자는 상기 언급된 특징을 갖는 부가적인 소자가 될 수 있다. 그러나, 이는 광활성 물질의 평행평면 플레이트 또는 복굴절의 각 빠른 축선과 느린 축선이 상대측에 대하여 45° 회전된 두 반과장 플레이트의 장치로서 구성될 수 있다.
- [0036] 광학장치에 배치될 수 있는 다른 편광변조 광학소자는 특히 이러한 광학소자가 선형편광 광선의 진동면을 90° 회전시킬 수 있도록 설계될 수 있다. 이는 특히 광학장치내의 제1 편광변조 광학소자가 접선방향 편광이 이루어질 수 있도록 하는 경우 유리하다. 90° - 회전체를 삽입함으로써 접선방향 편광은 방사상 방향의 편광으로 전환될 수 있다.
- [0037] 광학장치의 다른 실시형태에서, 다른 편광변조 광학소자를 180°의 방위각 범위에 일치하는 하프-스페이스에 대하여 반과장 플레이트로서 작용하는 평행평면 플레이트로서 구성하는 것이 유리할 수 있다. 이러한 구성은 편광변조 광학소자가 방위각 θ 만으로 변화하는 두께프로파일(r =일정, θ)을 가지고 $10^\circ < \theta < 170^\circ$ 의 제1방위각 범위에서 두께프로파일(r =일정, θ)이 제1기울기 m 을 갖는 방위각 θ 의 선형함수인 반면에 $190^\circ < \theta < 350^\circ$ 의 제2방위각 범위에서는 두께프로파일이 제2기울기 n 을 갖는 방위각 θ 의 선형함수인 경우 특히 흥미로운 것이다. 여기에서 기울기 m 과 n 은 절대값이 동일하나 부호가 반대이다.
- [0038] 특히 편광변조 광학소자의 경사면에서 이루어지는 굴절은 근본적으로 축선에 평행한 광선이 편광변조 광학소자를 통과한 후에 이러한 광선의 방향으로 벗어나도록 할 수 있다. 편광변조 광학소자에 의하여 원인이 되는 이러한 형태의 파면의 편향을 보상하기 위하여, 광학시스템의 광로내에 비광활성 물질의 보상플레이트를 배치하는 것이 유리하며, 이러한 보상플레이트의 두께프로파일은 이러한 보상플레이트가 실질적으로 편광변조 광학소자에 의하여 원인이 된 전달광선의 각도편향을 보상할 수 있도록 설계된다. 또한, 편광변조 광학소자의 윤곽면을 커버하는 이머전 유체가 동일한 목적으로 사용될 수 있다.

발명의 효과

- [0039] 이상으로 설명된 편광변조 광학소자와 이들이 구비된 광학장치는 마이크로리소그래피 분야의 프로젝션 시스템에 유리하게 사용된다. 특히, 이러한 종류의 편광변조 광학소자와 이들을 구비한 광학시스템은 상기 언급된 이머전 기술이 사용된 프로젝션 시스템, 즉, 공기와 다른 굴절률을 갖는 이머전 매체가 기재에 가장 근접한 광학소자와 기재 사이의 공간에 존재하는 프로젝션 시스템에 적합하다.
- [0040] 본 발명은 첨부된 도면을 참조하여 보다 상세히 설명될 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0041] 도 1은 두께프로파일을 갖는 편광변조 광학소자를 보인 설명도.
- 도 2는 선형편광된 광선이 광활성 크리스탈의 광축을 따라 전파할 때 진동면이 회전되는 것을 설명하는 설명도.
- 도 3은 편광변조 광학소자의 제1실시형태를 보인 사시도.
- 도 4a는 편광변조 광학소자의 제2실시형태를 설명하는 개략설명도.
- 도 4b는 도 4a에서 보인 편광변조 광학소자의 실시형태에서 방위각의 함수로서 두께프로파일을 보인 설명도.
- 도 4c는 편광변조 광학소자의 다른 실시형태에서 방위각의 함수로서 두께프로파일을 보인 설명도.
- 도 4d는 도 3에서 보인 편광변조 광학소자의 실시형태에서 방위각의 함수로서 두께프로파일을 보인 설명도.
- 도 4e는 편광변조 광학소자의 다른 실시형태에서 방위각의 함수로서 두께프로파일을 보인 설명도.
- 도 4f는 편광변조 광학소자의 다른 실시형태를 보인 설명도.
- 도 5는 도 3 또는 도 4d에 따른 두께프로파일을 갖는 편광변조 광학소자를 통과하기 전과 통과한 후에 광선속의 편광분포를 보인 설명도.
- 도 6은 도 3에 따른 두께프로파일을 갖는 편광변조 광학소자와 다른 편광변조 광학소자를 갖는 광학장치를 통과하기 전과 통과한 후에 광선속의 편광분포를 보인 설명도.
- 도 7a는 도 4e에 따른 두께프로파일을 갖는 편광변조 광학소자와 일측 반부분이 반과 플레이트로서 구성된 평행

평면 플레이트를 갖는 광학장치를 통과하기 전과 통과한 후에 광선속의 편광분포를 보인 설명도.

도 7b는 일측 반부분이 반과 플레이트로서 구성된 평행평면 플레이트의 평면도.

도 8은 편광변조 광학소자를 갖는 마이크로리소그래피 프로젝션 시스템을 보인 설명도.

도 9는 온도 및/또는 온도프로파일을 조절함으로써 편광변조 광학소자로서 사용되는 광활성 물질의 평행평면 플레이트를 보인 설명도.

도 10은 광활성 물질의 평행 플레이트와 복굴절 물질로 구성된 플레이트의 조합을 보인 설명도.

도 11은 광학시스템에 적용하기 위한 온도보상형 편광변조 광학소자를 보인 설명도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0042] 도 1은 광활성 물질의 편광변조 광학소자(1)를 보인 것이다. 이러한 목적을 위하여 특히 적합한 것은 적어도 하나의 크리스털 광축을 가지고 사용된 광선의 파장에 대하여 투명한 광활성 크리스털이다. 예를 들어, TeO₂는 1000 nm 이하로부터 300 nm 까지의 파장범위를 가지며 AgGaS₂는 500 nm 로부터 480 nm까지의 파장범위를 가지고 석영은 800 nm 이하로부터 193 nm 까지의 파장범위를 갖는다. 편광변조 광학소자(1)는 소자의 축선이 크리스털 광축과 평행하게 배치되도록 설계된다. 선택된 편광분포를 얻기 위하여, 광학소자(1)는 소자축선 EA에 수직인 방향으로 변화하고 또한 예를 들어 소자축선 EA로부터 고정거리의 방위각 θ (도 3 참조)에서 광학소자의 두께변화로 구성되는 두께프로파일(소자축선 EA에 평행하게 측정됨)을 갖도록 설계된다.

[0043] 도 2는 광활성 크리스털, 특히 이러한 크리스털로 구성된 편광변조 광학소자의 기능을 상세히 설명하기 위하여 제시된 것이다.

[0044] 광활성 크리스털은 크리스털 구조의 본질인 적어도 하나의 광축 OA를 갖는다. 선형편광된 광선이 이러한 광축 OA를 따라 이동할 때, 전계벡터(206)의 진동면은 크리스털(202)의 내부에서 광선이 이동한 거리 d 에 비례하는 크기의 각도 β 만큼 회전된다. 거리 d 와 회전각도 사이의 비율이 비회전 α 이다. 이러한 비회전은 물질-비량(material-specific quantity)이며 크리스털을 통하여 전파되는 광선의 파장에 따라서 달라진다. 예를 들어 석영의 경우, 180 nm 의 파장에서 비회전은 21.6°C 의 온도에서 약 $\alpha=(325.2 \pm 0.5)^\circ / \text{mm}$ 이고, 193 nm 에서는 $\alpha=323.1^\circ / \text{mm}$ 으로 측정되었다.

[0045] 본 발명에 있어서는 비회전의 온도중속성이 고려되는 조명시스템 및/또는 예를 들어 마이크로리소그래피에 사용되는 프로젝션장치의 프로젝션 광학시스템의 대물렌즈에 광활성 물질을 적용하는 것이 중요하다. 어느 주어진 파장에서 비회전 α 의 온도중속성은 $\alpha(T)=\alpha_0(T_0)+\gamma*(T-T_0)$ 으로 주어진 양호한 제1선형근사식에 대한 것이다 (여기에서 γ 는 비회전 α 의 선형온도계수이다). 이와 같은 경우 $\alpha(T)$ 는 온도 T 에서 광활성계수 또는 비회전이며 α_0 는 기준온도 T₀ 에서의 비회전이다. 광활성 석영물질의 경우 193 nm 의 파장과 실온에서 값 γ 은 $\gamma=2.36 \text{ mrad}/(\text{mm} * \text{K})$ 이다.

[0046] 다시 도 2에서, 특히, 광축 OA를 따라서 크리스털(202)의 내부를 전파하는 광선은 선형 복굴절의 영향을 받지 않는다. 이와 같이, 선형편광 광선이 광축 OA를 따라서 광활성 크리스털(202)을 이동할 때, 그 편광상태는 크리스털(202)의 내부에서 광선이 이동한 거리 d 에 따라 달라지는 전계벡터(206)의 진동면의 공간배향의 변화를 제외하고는 동일하게 유지된다.

[0047] 광활성 크리스털의 이러한 특성에 기초하여, 위치에 따라서 달라지는 두께프로파일을 갖는 도 1의 편광변조 광학소자(1)를 설계함으로써 인의선택된 선형편광분포를 얻을 수 있다. 두께프로파일은 평행한 선형편광 광선의 편광방향이 광선이 광학소자를 통과하는 위치에 따라 변화하는 각도 만큼 회전되는 효과를 갖도록 설계된다.

[0048] 일반적으로, 편광변조 광학소자의 두께 $d = d(x,y)$ 의 변화에 부가하여, 비회전 α 자체는 α 가 $\alpha(x,y,z)$ 또는 $\alpha(r, \theta, z)$ 가 되는 변조소자내의 위치에 따라 달라질 수 있으며, 여기에서, x, y 또는 r, θ 는 편광변조 광학소자의 소자축선 EA(또는 광축 OA)에 수직인 평면의 데카르트좌표 또는 극좌표이며, 예를 들어 도 1에서 보인 바와 같이, z 는 소자축선 EA를 따르는 축선이다. 물론 r, θ , ϕ 등과 같은 구면좌표에서의 설명도 가능하다. 비회전 α 의 변화를 고려하여, 일반적으로 편광변조 광학소자는 z-방향에서 α 의 중속성이 없는 경우 $D(x,y)=d(x,y)*\alpha(x,y)$ 로 정의되는 "광유효두께 D"의 변화프로파일로 구성된다. α 가 z-방향(광축 또는 소자축선 EA, 또는 광학시스템에서 우선방향 또는 광학시스템의 광축에 평행한 방향을 따라)에 따라 달라지는 경우, D 는 편광변조 광학소자를 따라 적분 $D(x,y)=\int \alpha(x,y,z) dz(x,y)$ 에 의하여 계산되어야 한다. 일반적으로, 편광변

조 광학소자가 광학시스템을 통한 광선의 전파에 의하여 한정되는 광축 또는 우선방향을 갖는 광학시스템에 사용되는 경우, 광유효두께 D 는 편광변조 광학소자내에서 광선의 광로를 따른 비회전 α 을 적분함으로서 계산된다. 이러한 일반적인 관점에서 본 발명은 광학시스템을 통하여 전파되는 광선의 방향에 의하여 주어지는 광축 또는 우선방향을 포함하는 광학시스템에 관한 것이다. 또한 광학시스템은 좌표계의 좌표에 의하여 설명되는 편광변조 광학소자로 구성되고, 좌표계에서 하나의 우선좌표는 광학시스템의 광축에 평행하거나 우선방향에 평행하다. 예를 들어, 상기의 경우에 있어서 이러한 우선방향은 우선좌표인 z-좌표이었다. 아울러 편광변조 광학소자는 광활성 물질로 구성되고 또한 상기 정의된 광유효두께 D 를 갖는 바, 광유효두께 D 는 적어도 편광변조 광학소자를 설명하는 좌표계의 우선좌표와는 상이한 하나의 좌표의 함수로서 변화한다. 상기 예에서, 광유효두께 D 는 z-좌표(우선좌표)와는 상이한 적어도 x- 또는 y-좌표의 함수로서 변화한다. 광활성 물질의 광유효두께를 변화시키는 다른 방법도 있다. 그 하나가 적당한 물질의 선택에 의하여, 또는 광활성 물질에 불균일온도분포가 일어나도록 함에 의하여, 또는 광활성 물질의 구조적인 두께의 변화에 의하여 비회전을 변화시키는 것이다. 또한 상기 언급된 각 방법들의 조합으로 광활성 물질의 광유효두께를 변화시킬 수 있다.

[0049] 도 3은 접선방향 편광을 얻는데 특히 적합한 편광변조 광학소자(301)의 실시형태를 보인 것이다. 상세한 것은 도 4d와 도 5에서 설명될 것이다. 도 3에서 보인 실시형태는 이후 본문에서 특별한 의미로 사용될 여러 기술적인 용어를 소개하기 위한 것이다.

[0050] 편광변조 광학소자(301)는 베이스면(303)과 반대면(305)을 갖는 원통형의 형상을 갖는다. 베이스면(303)은 평면상의 원형면으로 되어 있다. 소자축선 EA 는 평면상 원형면에 대하여 수직으로 연장되어 있다. 반대면(305)은 주어진 두께프로파일을 따라 소자축선 EA 에 대하여 윤곽형상을 갖는다. 광활성 크리스털의 광축은 소자축선 EA 에 평행하게 연장된다. 베이스면에 연장된 기준축선 RA 소자축선에 직각으로 교차하고 방위각 θ 이 측정되는 기준이 된다. 도 3에서 보인 특별한 구성에서, 편광변조 광학소자(301)의 두께는 소자축선 EA 에 대하여 수직이고 기준축선 RA 에 대하여 각 θ 의 방향으로 향하는 반경 R 을 따라 일정하다. 이와 같이, 도 3의 실시형태에서 보인 두께프로파일은 방위각 θ 에 의해서만 달라지며 $d=d(\theta)$ 으로 주어진다. 광학소자(301)는 소자축선 Ea에 동축상인 선택적인 중심공(307)을 갖는다. 편광변조 광학소자의 다른 우선실시형태에서 두께는 반경 R 에 따라서 달라져 두께프로파일은 $d=d(R, \theta)$ 가 된다. 다른 일반화된 실시형태에서 도 3에서 보인 두께프로파일은 상기 언급된 바와 같이 편광변조 광학소자의 구조적인 두께 d 를 보이지 않으나, 프로파일은 사용된 좌표계에 따라서 광유효두께 $D=D(R, \theta)=D(x, y)$ 로 나타낸다. 이와 같은 경우 또한 예를 들어 $\alpha = \alpha(x, y) = \alpha(R, \theta)$ 또는 $\alpha = \alpha(x, y, z) = \alpha(R, \theta, z)$ 와 같은 비회전의 어느 프로파일은 통과하는 광선의 편광면의 방향변화에 유효한 편광변조 광학소자의 프로파일로 간주된다.

[0051] 아울러, 편광변조 광학소자(301)은 평면상의 베이스면(303)으로 구성될 필요는 없다. 일반적으로 이러한 면은 예를 들어 도 3에서 부호 305로 보인 면과 유사하거나 동일한 윤곽형상의 면을 포함할 수 있다. 이러한 경우, 이는 광축 또는 소자축선에 수직인 평면상의 면에 대하여 윤곽면(303)(305)을 설명하는 것이 유리하다.

[0052] 도 4a는 편광변조 광학소자(401)의 다른 실시형태를 보인 것이다. 이 실시형태에서 편광변조 광학소자(401)의 중심을 지나는 소자축선 EA 는 도면의 평면에 대하여 수직으로 연장되고 크리스털의 광축은 소자축선에 평행하게 연장된다. 도 3의 실시형태와 같이, 편광변조 광학소자(401)는 선택적인 중심공(407)을 갖는다. 편광변조 광학소자(401)는 각각의 두께가 상이한 원의 섹터인 부채꼴 형상인 다수의 평행평면부(409)로 나누어진다. 평행평면부(409)의 형상이 상이한 다른 실시형태도 있을 수 있다. 예를 들어 이들은 육각형, 정사각형, 직사각형 또는 사다리꼴 형상의 래스터소자로서 구성될 수 있다.

[0053] 도 3에 관련하여 설명한 바와 같이, 도 4에 따른 실시형태는 상이한 두께의 섹터가 상이한 광유효두께 D 로서 이해되어야 한다는 점이 수정될 수 있다. 이와 같은 경우에 있어서, 비회전 α 는 섹터 마다 다를 수 있다. 이러한 실시형태를 제작하기 위하여, 편광변조 광학소자는 예를 들어 가장 간단한 경우 비회전 α 를 제로로 변화시키는 비광활성 물질에 의하여 섹터(409)가 적어도 부분적으로 교체된 도 4a에서 보인 바와 같은 형상을 가질 수 있다. 또한 다른 실시형태에서, 섹터(409)는 광활성 또는 비광활성 액체로 채워지는 큐벳(cuvettes) 또는 셀로 대체될 수 있다. 이와 같은 경우 편광변조 광학소자는 광활성 또는 비광활성 부분으로 구성될 수 있다. 만약 섹터(409)가 부분적으로만 큐벳으로 대체되거나 적어도 하나의 큐벳이 편광변조 광학소자(401)에 사용되는 경우, 예를 들어 광활성 크리스털과 예를 들어 하나의 소자(401)내에 수용된 광활성 또는 비광활성 액체의 조합도 가능하다. 본 발명에 따른 이러한 광학시스템은 광활성 또는 비광활성 액체 및/또는 광활성 크리스털로 구성되는 편광변조 광학소자로 구성될 수 있다. 더욱이, 본 발명에 따른 광학시스템의 편광변조 광학소자는 시계방향 및 반시계방향 광활성 물질로 구성된다. 이들 물질은 고체상 또는 액체상의 광활성 물질일 수 있다. 큐벳의 액체를 이용하는 것은 액체의 교환, 또는 액체내 광활성 물질의 농축으로 편광변화의 크기가 용이하게 조절될 수 있는

있음을 갖는다. 또한 비회전 α 의 온도계수 γ 에 의한 비회전 α 의 열적변화는 예를 들어 큐벳내에서 온도가 일정하거나 온도가 사전에 정의된 값 T 를 가져 비회전이 $\alpha(T) = \alpha_0(T_0) + \gamma * (T - T_0)$ 의 값을 가질 것이므로 광활성 액체의 온도제어를 통하여 제어될 수 있다. 또한, 액체내에서 어떠한 온도분포의 형성은 제어수단에 의하여 제어되는 적당한 가열 및/또는 냉각수단에 의하여 이루어질 수 있다.

[0054] 본 발명에 따른 광학시스템은 제1선형편광 광선 및 제2선형편광 광선의 각 진동면을 유리하게 수정한다. 이들 광선은 광학시스템을 통하여 전파하고 광학시스템을 통하여 전파되는 광선의 적어도 일부가 된다. 또한 광선은 상이한 진로를 따라 편광변조 광학소자를 통과하고 각각 상이한 제1 및 제2회전각으로 회전된다. 일반적으로 본 발명에 따른 광학시스템의 편광변조 광학소자는 제1선형편광분포를 가지고 상기 편광변조 광학소자에 진입하는 광선속을 상기 편광변조 광학소자로부터 진출하는 광선속으로 변형시킨다. 진출하는 광선속은 제2선형편광분포를 가지며 이러한 제2선형편광분포는 제1선형편광분포와 상이하다.

[0055] 도 4b는 도 4a로 보인 바와 같은 섹터로 나누어진 편광변조 광학소자(401)에 대한 방위각 부분 $d(r=\text{일정}, \theta)$ 를 따른 두께프로파일을 보인 것이다. 본문에 사용된 방위각 부분이라는 용어는 도 4a에서 표시된 원(411)을 따라 두께프로파일 $d(\theta, r)$ 을 횡단하는 부분, 즉, 일정한 반경 r 에서 $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$ 의 방위각 범위에 연장된 부분을 의미한다. 일반적으로 프로파일은 원(411)을 따라 광유효두께 $D = D(\theta)$ 를 보이고 있다.

[0056] 섹터형 부분으로 나누어진 편광변조 광학소자(401)의 방위각 부분은 각 단이 두께 d 의 차이 또는 인접한 섹터요소 사이의 광유효두께 D 에 일치하는 성형(星形) 프로파일을 갖는다. 프로파일은 예를 들어 최대두께 d_{\max} 와 최소두께 d_{\min} 를 갖는다. 선형편광 광선의 진동면의 회전각범위에 대하여 $0 \leq \beta \leq 360^\circ$ 의 범위를 커버하기 위하여, d_{\max} 와 d_{\min} 사이에 $360^\circ / \alpha$ 의 차이가 있어야 한다. 프로파일의 각 단의 높이는 섹터요소의 수 n 에 따라 달라지며 $360^\circ / (n \cdot \alpha)$ 의 크기를 갖는다. 방위각 $\theta=0^\circ$ 에서, 프로파일은 편광변조 광학소자(401)의 두께가 d_{\min} 으로부터 d_{\max} 로 변화하는 불연속부분을 갖는다. 광학소자의 다른 실시형태는 예를 들어 $\theta=0^\circ$ 과 $\theta=180^\circ$ 에서 두께의 두 불연속부분을 갖는다.

[0057] 다른 실시형태에서 프로파일은 예를 들어 최대광유효두께 D_{\max} 와 최소광유효두께 D_{\min} 를 가지며 구조적인 두께 d 는 예를 들어 일정하여 소자(401)의 각 섹터요소(409)의 비회전 α 의 변화를 보인다. 선형편광 광선의 진동면의 회전각범위에 대하여 $0 \leq \beta \leq 360^\circ$ 의 범위를 커버하기 위하여, α_{\max} 와 α_{\min} 사이에 $360^\circ / d$ 의 차이가 있어야 한다. 프로파일의 각 단의 비회전의 변화는 섹터요소(409)의 수 n 에 따라 달라지며 $360^\circ / (n \cdot d)$ 의 크기를 갖는다. 방위각 $\theta=0^\circ$ 에서, 프로파일은 D_{\min} 으로부터 D_{\max} 로 변화하는 광유효두께에 관련한 불연속부분을 갖는다. 이러한 실시형태에서 편광변조 광학소자(401)의 구조적인 두께 d 에서는 불연속부분이 없는 것이 유리하다 할 것이다. 또한 방위각 부분이 광유효두께의 두 불연속부분을 갖는 광유효두께의 두께프로파일은 예를 들어 $\theta=0^\circ$ 과 $\theta=180^\circ$ 에서 용이하게 실현될 수 있다. $\Delta \alpha = 360^\circ / (n \cdot d)$ 의 비회전의 한정된 크기변화가 이루어질 수 있도록 하기 위하여(만약 n 개의 섹터요소 409가 소자 401를 형성하는 경우), 각 섹터요소(409)는 요구된 비회전 α 를 갖는 광활성 액체로 채워진 큐벳 또는 셀로 구성되는 것이 좋다. 예를 들어, m -번째 섹터요소에 대하여, 비회전은 $\alpha(m) = \alpha_{\min} + m * 360^\circ / (n \cdot d)$ 이고, 여기에서, $0 \leq m \leq n$ 이다. 예를 들어 요구된 비회전은 액체의 광활성 물질을 농축하거나 액체물질 자체를 교환함으로써 조절될 수 있다.

[0058] 다른 실시형태에서, 편광변조 광학소자(401)의 섹터요소(409)는 고체의 광활성 물질(결정질 석영과 같은 물질)과 광활성 물질로 채워진 셀 또는 큐벳의 성분으로 구성될 수 있으며, 이들 성분은 광전파방향에서 각각 전후로 배치된다. 또한 큐벳 자체는 결정질 석영과 같은 광활성 물질로 구성될 수 있다.

[0059] 이상으로 설명된 편광변조 광학소자는 선형편광 입사광선을 선형편광 광선의 진동면이 각 섹터요소의 두께(또는 광유효두께)에 따른 각도 만큼 회전된 선형편광분포로 전환시킨다. 그러나, 편광방향이 회전되는 각도는 각 섹터요소에 대하여 일정하다. 이와 같이, 각 전개벡터의 진동면의 방향에 대한 분포함수는 단지 어떠한 이산값만을 갖는다.

[0060] 선형편광의 연속분포는 방위각 부분을 따라 연속하여 변화하는 두께(광유효두께)프로파일을 갖는 광학소자에 의하여 얻을 수 있다.

[0061] 연속변화 두께프로파일의 예가 도 4c에 도시되어 있다. 이 실시형태에서 방위각 부분(411)은 $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$ 의 방위각 범위에서 기울기 $m = -180^\circ / (\alpha \cdot \pi)$ 로 두께(일반적으로 광유효두께)의 선형감소를 보인다. 여기에서, 기울기는 스크류의 기울기로 정의된다. 또한 기울기는 $m = -180^\circ / (\alpha \cdot \pi \cdot r)$ 로 정의될 수 있다. 여기에서 r 은 소

자축선 EA 에 중심을 둔 원의 반경이다. 이와 같은 경우, 기울기는 예를 들어 만약 편광변조 광학소자(301)가 주어진 일정한 스크류-기울기(스크류의 리드)를 갖는 경우 소자축선의 거리에 따라 달라진다.

- [0062] 본문에서 기호 α 는 광활성 크리스털의 비회전을 나타낸다. 도 4b에서 보인 선행 실시형태의 경우와 같이, 도 4c의 두께프로파일은 마찬가지로 방위각 $\theta=0^\circ$ 에서 불연속부분을 가지며, 편광변조 광학소자(401)의 두께는 약 $360^\circ / \alpha$ 의 양 만큼 d_{\min} 으로부터 d_{\max} 로 변화한다.
- [0063] 도 4d에서 보인 편광변조 광학소자의 다른 실시형태는 선행편광의 연속분포, 특히 접선방향 편광을 얻는데 적합한 두께프로파일(일반적으로 광유효두께프로파일)을 갖는다. 이러한 두께프로파일은 도 3에서 보인 실시형태와 일치하며, 여기에서 각 θ 는 반시계방향에서 측정된다. 이 실시형태에서 방위각 부분(411)은 각각 $0 < \theta < 180^\circ$ 및 $180^\circ < \theta < 360^\circ$ 의 두 범위에서 기울기 $m=-180^\circ / (\alpha \cdot \pi)$ 를 갖는 방위각 θ 의 선형함수이다. 두께프로파일은 $\theta=0^\circ$ 및 $\theta=180^\circ$ 에서 불연속부분을 가지며, 두께는 $180^\circ / \alpha$ 의 양 만큼 d_{\min} 으로부터 d_{\max} 로 급격히 상승한다.
- [0064] 도 4 e는 편광변조 광학소자(401)의 다른 실시형태에 대한 방위각 부분을 따른 두께프로파일(일반적으로 광유효 두께프로파일)을 보이고 있다. 이와 같은 경우 방위각 부분은 $0 < \theta < 360^\circ$ 에서 제1 기울기 θ 를 가지고 $180^\circ < \theta < 360^\circ$ 에서 제2 기울기 n 을 갖는 방위각 θ 의 선형함수이다. 기울기 m 과 n 은 절대값이 같으나 부호가 반대이다. 소자축선으로부터 거리 r 에서 m 과 n 에 대한 각 양은 $m = -180^\circ / (\alpha \cdot \pi \cdot r)$ 및 $n = 180^\circ / (\alpha \cdot \pi \cdot r)$ 이다. 최소두께 d_{\min} 으로부터 최대두께 d_{\max} 사이의 차이가 다시 약 $180^\circ / \alpha$ 인 경우, 즉, 도 4d의 실시형태와 동일한 경우, 두 방위각 범위에서 기울기에 대하여 반대부호를 이용하는 개념은 불연속성의 발생을 피할 수 있도록 한다.
- [0065] 아울러 어떠한 특별한 경우에 있어서 시계방향 및 반시계방향의 광활성 물질이 편광변조 광학소자에 조합될 수 있다 할 것이다.
- [0066] 방위각 부분을 따라 두께프로파일의 기울기가 작은 반경으로 크게 증가하므로, 제작의 관점에서 원형의 편광변조 광학소자의 중심축선의 둘레에서 중심부에 중심공(407) 또는 중심압축부를 제공하는 것이 유리하다.
- [0067] 또한 기계적인 안정성의 이유로 소자직경의 2/1000 이상의 최소두께 d_{\min} 를 갖는 편광변조 광학소자를 설계하는 것이 필요하다. 특히, $d_{\min} = N \cdot 90^\circ / \alpha$ 의 최소두께를 이용하는 것이 유리하다. 여기에서 N 은 양의 정수이다. 이러한 설계의 선택은 광축에 대하여 경사각으로 편광변조 광학소자를 통과하는 입사광선속의 광선에 대한 복굴절의 효과를 최소화하도록 한다.
- [0068] 도 4f는 다른 실시형태의 편광변조 광학소자(421)를 개략적으로 보인 것이다. 도 4a에서 보인 바와 같이, 편광변조 광학소자(421)의 중심을 지나는 소자축선 EA는 도면의 평면에 대하여 수직으로 연장되고, 크리스털 광축은 소자축선에 평행하게 연장된다. 그러나, 편광변조 광학소자(301)(401)가 결정질 석영과 같은 결정질 물질의 경우와 같이 단일체로 구성되는 도 3 및 도 4a의 실시형태와는 다르게, 편광변조 광학소자(421)는 예를 들어 금속으로 만들어지고 그 형상이 4개의 방사상 스포크(428)를 갖는 원형판(427)으로 묘사된 취부장치(426)에 의하여 함께 고정되는 광활성 크리스털 물질의 4개의 섹터형 부분(422)(423)(424)(425)으로 구성된다. 이러한 취부장치는 편광변조 광학소자로 입사되는 광선에 대하여 불투명한 것이 좋으며, 이로써 각 섹터형 부분(422)(423)(424)(425)을 분리하는 스페이서로서 작용토록 하는 것이 좋다. 물론, 도 4f에서 보인 본 발명의 실시형태는 취부장치(426)의 어느 특정 형상 및 면적으로 제한하고자 하는 것은 아니며 이러한 취부장치는 생략될 수도 있다.
- [0069] 도 4f에서 보이지 않은 다른 실시형태에 따라서, 편광변조 광학소자로 입사되는 입사광선은 예를 들어 회절구조물 또는 다른 적당한 광학구성요소에 의하여 섹터형 부분으로 선택적으로 향할 수 있다.
- [0070] 섹터형 부분(422)(424)은 이들 부분(422)(424)이 축선에 평행하고 선행편광된 광선의 진동면을 $90^\circ + p \cdot 180^\circ$ 만큼 회전시킬 수 있도록 선택된 제1 두께 d_1 를 갖는다. 여기에서 p 는 정수를 나타낸다. 섹터형 부분(423)(425)은 이들 부분(423)(425)이 축선에 평행하고 선행편광된 광선의 진동면을 $q \cdot 180^\circ$ 만큼 회전시킬 수 있도록 선택된 제2 두께 d_2 를 갖는다. 여기에서 q 는 영이 아닌 정수를 나타낸다. 이와 같이, y-방향으로 선행 편광된 축선에 평행한 광선속이 편광변조 광학소자(421)로 진입할 때, 섹터형 부분(423)(425)을 통과하는 광선은 이들의 진동면이 변화하지 않고 편광변조 광학소자(421)로부터 진출하는 반면에, 섹터형 부분(422)(424)을 통과하는 광선은 이들의 진동면이 x-방향으로 회전되어 편광변조 광학소자(421)로부터 진출될 것이다. 편광변조 광학소자(421)를 통과함으로써, 진출하는 광선은 섹터형 부분(422)(423)(424)(425)의 중심선(429)(430)에서 정

확히 접선을 이루고 편광변조 광학소자(421)의 나머지부분에 대하여 접선방향 편광분포와 비슷한 편광분포를 갖는다.

[0071] x-방향으로 선형편광된 축선에 평행한 광선속이 편광변조 광학소자(421)로 입사될 때, 섹터형 부분(423)(425)을 통과하는 광선은 이들의 진동면이 변화하지 않고 편광변조 광학소자(421)로부터 진출하는 반면에, 섹터형 부분(422)(424)을 통과하는 광선은 이들의 진동면이 y-방향으로 회전되어 편광변조 광학소자(421)로부터 진출할 것이다. 편광변조 광학소자(421)를 통과함으로써, 진출하는 광선은 섹터형 부분(422)(423)(424)(425)의 중심선(429)(430)에서 정확히 방사상 방향으로 향하고 편광변조 광학소자(421)의 나머지부분에 대하여 방사상 방향 편광분포와 비슷한 편광분포를 갖는다.

[0072] 물론 도 4f에서 보인 본 발명의 실시형태는 도 4f에서 예시적으로 보인 섹터형 부분의 형상과 면적 그리고 그 수에 제한을 두지 않으며 다수 또는 소수의 섹터형 부분(422)(423)(424)(425)과 함께 다른 적당한 형성(예를 들어 어떠한 제한없이 사다리꼴 형상, 직사각형, 정사각형, 육각형 또는 원형일 수 있다)이 이용될 수 있다. 더욱이, 섹터형 부분(422)(423)(424)(425)에 의하여 제공된 회전각 β_1 및 β_2 (즉, 섹터형 부분 422, 423, 424, 425의 해당 두께)는 예를 들어 x- 또는 y- 방향으로 필히 정렬될 필요가 없는 편광면을 갖는 입사광이 사용되는 관련장치를 고려하기 위하여 식 $|\beta_2 - \beta_1| = (2n+1) \cdot 90^\circ$ 에 거의 따르도록 보다 일반적으로 선택될 수 있다. 도 4f에 관련하여 설명된 바와 같은 실시형태에서, 편광분포를 접선방향 편광에 유사하게 할 수도 있다.

[0073] 193 nm 의 파장을 갖는 선형편광 광선으로부터 접선방향 편광분포와 각 광선의 전계벡터의 진동면의 균일한 방향을 얻기 위하여, 예를 들어 도 3과 도 4d에 따른 구조를 갖는 결정질 석영의 편광변조 광학소자를 이용할 수 있다. 193 nm 의 파장을 갖는 광선에 대한 석영의 비회전 α 은 180 nm 의 파장에서 측정되었을 때 $(325.2 \pm 0.5)^\circ / \text{mm}$ 의 범위, 보다 정확하게는 21.6°C 에서 $321.1^\circ / \text{mm}$ 이다. 광활성의 강도와 효과는 100 mrad 까지의 작은 입사각도범위내에서 거의 일정하다. 예를 들어 한 실시형태는 다음의 설명에 따라 설계될 수 있다. 만약 결정질 석영이 사용되는 경우, 거의 $90^\circ / \alpha$ 에 일치하는 276.75 μm 의 양이 최소두께 d_{\min} 에 대하여 선택된다. 또한, 최소두께 d_{\min} 는 이러한 양의 정수배일 수 있다. 소자직경은 110 mm 이고, 광활성 부분의 직경은 이 보다 약간 작은 예를 들어 105 mm 이다. 베이스면은 도 3에서 보인 바와 같은 평면상의 면으로 구성된다. 반대면은 도 4d에 따른 두께프로파일 $d(r, \theta)$ 을 갖는다. 두께프로파일은 다음의 수학적관계식으로 정의된다.

[0074] $0 \leq \theta \leq 180^\circ$ 이고 $r > \frac{10.5}{2} \text{ mm}$ 일 때,

[0075]
$$D(r, \theta) = 276.75 + \frac{180^\circ - \theta}{180^\circ} \cdot 553.51 \mu\text{m}$$

[0076] $180^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$ 이고 $r > \frac{10.5}{2} \text{ mm}$ 일 때,

[0077]
$$D(r, \theta) = 276.75 + \frac{360^\circ - \theta}{180^\circ} \cdot 553.51 \mu\text{m}$$

[0078] $r \leq \frac{10.5}{2} \text{ mm}$ 일 때, $D(r, \theta) = 0$

[0079] 상기 언급된 데이터는 예시적으로 $(325.2 \pm 0.5)^\circ / \text{mm}$ 의 비회전 α 에 기초하고 있다. 만약 비회전 α 가 $321.1^\circ / \text{mm}$ 으로 바뀌는 경우, 193 nm의 값과 21.6°C 의 온도에서 두께프로파일은 다음과 같이 변화될 것이다.

[0080] $0 \leq \theta \leq 180^\circ$ 이고 $r > \frac{10.5}{2} \text{ mm}$ 일 때,

[0081]
$$D(r, \theta) = 278.6 + \frac{180^\circ - \theta}{180^\circ} \cdot 557 \mu\text{m}$$

[0082] $180^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$ 이고 $r > \frac{10.5}{2} \text{ mm}$ 일 때,

[0083]
$$D(r, \theta) = 278.6 + \frac{360^\circ - \theta}{180^\circ} \cdot 557 \mu\text{m}$$

[0084] $r \leq \frac{10.5}{2} \text{ mm}$ 일 때, $D(r, \theta) = 0$

[0085] 이러한 실시형태에 따른 편광변조 광학소자는 직경이 10.5, 즉 최대구경의 1/10인 중심공을 갖는다. 불연속부분을 보이는 최대두께와 최소두께는 주어진 제1의 예에 대하여 각각 830.26 μm 및 276.75 μm 이다.

[0086] 이상으로 설명한 실시형태는 로봇연마공정으로 생산될 수 있다. 특히, 연마후에 무봉합선으로 접합되는 두개의 췌기형 또는 나선형 하프-플레이트로 편광변조 광학소자를 제작하는 것이 유리하다. 만약 광학소자가 하프-플레이트로 제작되는 경우, 시계방향 결정질 및 반시계방향 결정질 석영(R-석영 및 L-석영)과 같은 하나의 시계방향 및 하나의 반시계방향 광활성 물질을 용이하게 이용할 수 있는 부가적인 잇점이 있다.

[0087] 도 5는 도 3 및 도 4d에 따른 두께프로파일을 갖는 편광변조 광학소자(501)가 균일하게 배향된 선형편광분포(517)를 갖는 진입광선속(513)의 편광분포가 진출광선속(515)의 접선방향 편광분포(519)로 전환되는 것을 개략적으로 보인 것이다, 이는 다음과 같이 예상될 수 있다. 최소두께의 위치, 예를 들어 $\theta = 180^\circ$ 에서 편광변조 광학소자를 통과하는 진입광선속(513)의 선형편광 광선은 광활성 크리스털내에서 $90^\circ / a$ 의 거리를 커버한다. 이는 전계벡터의 진동면이 90° 회전되도록 한다. 다른 한편으로, $\theta = 45^\circ$ 인 위치에서 편광변조 광학소자(501)를 통과하는 선형편광 광선은 광활성 크리스털내에서 $135^\circ / a$ 의 거리를 커버하므로서 이러한 광선의 전계벡터의 진동면이 135° 회전되도록 한다. 진입하는 광선속(513)의 각 광선에 대하여서 유사한 결과를 얻을 수 있다.

[0088] 도 6은 다른 편광변조 광학소자(621)와 조합하여 도 3 및 도 4d에 따른 두께프로파일을 갖는 편광변조 광학소자(601)가 균일하게 배향된 선형편광분포(617)를 갖는 진입광선속(613)의 편광분포가 진출광선속(615)의 접선방향 편광분포로 전환되는 것을 개략적으로 보인 것이다, 도 5에서 설명되는 바와 같이, 편광변조 광학소자(601)는 접선방향 편광분포를 발생한다. 접선방향분포는 광선속의 각 선형편광 광선의 각 진동면의 90° -회전에 의하여 방사상 방향의 편광분포로 전환될 수 있다. 도 6에 따른 광학장치를 이용하여 이러한 전환이 이루어질 수 있는 여러가지 다른 방법이 있을 수 있다. 그 하나의 개념은 광로에 다른 편광변조 광학소자(621)로서 광활성 크리스털의 평행평면판을 배열하는 것으로, 이러한 평행평면판의 두께는 약 $90^\circ / a_p$ 이며, a_p 는 광활성 크리스털의 비회전을 나타낸다. 편광변조 광학소자(601)의 경우와 같이, 평행평면판의 크리스털 광축은 소자축선에 평행하게 연장된다. 다른 개념으로서, 다른 편광변조 광학소자(621)가 두개의 반과 플레이트로 조립되는 90° -회전체로서 구성될 수 있다. 90° -회전체는 복굴절형 크리스털 물질의 두개의 반과 플레이트로 구성된다. 각 플레이트는 고굴절률의 방향에 연관된 느린 축선과, 이러한 느린 축선에 수직이고 저굴절률의 방향에 연관된 빠른 축선을 갖는다. 두 반과 플레이트는 상대측에 대하여 회전되어 이들의 각 빠른 축선과 느린 축선은 상대측으로부터 45° 의 각도에 설정된다.

[0089] 물론 방사상 편광분포를 얻기 위한 다른 실시형태도 본 발명의 범위내에 속할 수 있다. 예를 들어, 다른 편광변조 광학소자(621)가 편광변조 광학소자(601)에 연결될 수 있다. 접선방향 편광으로부터 방사상 방향 편광으로 고속전환이 이루어질 수 있도록 하기 위하여, 다른 편광변조 광학소자(621)가 광로에 배치되고 다시 제거되거나 또는 다른 소자로 대체될 수 있도록 하는 교환장치를 제공할 수 있다.

[0090] 또한 접선방향 편광분포는 도 4e에 따른 두께프로파일을 갖는 편광변조 광학소자에 의하여 발생될 수 있다. 이러한 본 발명의 실시형태에서 두께프로파일은 불연속부분을 가지지 않는다. 도 7a에서 보인 바와 같이, 진입하는 광선속(713)의 균일하게 배향된 편광분포(717)가 먼저 편광변조 광학소자(701)에 의하여 진출하는 광선속(715)의 선형편광분포로 변환된다. 도 4e에서 보인 두께프로파일의 방위각 범위 $0 \leq \theta \leq 180^\circ$ 에서 편광변조 광학소자(701)를 통과하는 진입광선속(713)의 반이 전환되어 진출하는 광선속의 반이 접선방향 편광분포를 갖는다. 그러나, 다른 반은 접선방향이 아닌 다른 편광분포(727)를 갖는다. 다른 편광변조 광학소자는 편광변조 광학소자(701)로부터 진출하는 광선속(715)의 편광분포(727)를 완전히 접선방향 편광분포(719)로 전환시키기 위하여 광로내에 있어야 한다. 이와 같은 경우 다른 편광변조 광학소자는 제1반부분(729)과 제2반부분(731)을 갖는 평행한 평판(725)으로서 구성된다. 평판(725)의 평면도가 도 7b에 도시되어 있다. 제1반부분(729)은 광선의

편광상태에 영향을 주지 않는 등방성 물질로 구성되는 반면에, 제2반부분(731)은 반파 플레이트로 구성된다. 도 7a의 광학장치에서 평판(725)은 평행평면판에 대한 편광변조 광학소자(701)의 기준축선 RA의 투영부분 RA'이 제 1반부분(729)과 제2반부분(731)사이의 분리라인을 따라 실질적으로 연장되게 배향된다. 반파 플레이트의 복굴절의 느린 축선 LA는 이러한 분리라인에 대하여 수직이다. 또한 접선방향 편광은 만약 편광변조 광학소자가 결정질 석영의 두 반부분 썬기형 또는 나선형 요소로 구성되고 일축 요소의 광활성이 시계방향이고 타축 요소의 광활성이 반시계방향인 경우 도 4e에서 주어진 바와 같은 두께프로파일을 갖는 편광변조 광학소자에 의하여 얻을 수 있다. 이와 같은 경우, 도 7a에서 보인 바와 같이 부가적인 평판(725)은 필요로 하지 않는다. 이러한 실시형태에서 각 썬기형 소자는 일정한 스크류-기울기를 갖는 것이 좋으나 기울기는 도 4e의 프로파일에서 보인 바와 같이 상이한 방향을 갖는다. 더욱이, 구조적인 두께 d의 기울기는 동일한 절대값을 가질 필요가 없으며, 광유효두께의 기울기 D가 동일한 절대값을 갖는다면 충분하다. 이와 같은 경우, 비회전 α 는 편광변조 광학소자를 구성하는 두개의 썬기형 소자에 대한 절대값이 상이하하다.

[0091] 도 8은 광원유니트(835), 조명시스템(839), 초소형구조가 실린 마스크(853), 프로젝션 대물렌즈(855)와, 프로젝션 대물렌즈에 노출되는 기재(859)를 포함하는 마이크로리소그래피 프로젝션 시스템(833)을 개략적으로 보인 것이다. 광원유니트(835)는 DUV-레이저 또는 VUV-레이저, 예를 들어 192 nm 용 ArF 레이저, 157 nm 용 F₂ 레이저, 126 nm 용 Ar₂ 레이저 또는 109 nm 용 Ne₂ 레이저와, 평행광선속을 발생하는 빔정형 광학시스템을 포함한다. 광선속의 광선은 각 광선의 전개벡터의 진동면이 균일한 방향으로 향하는 선형편광분포를 갖는다. 조명시스템(839)의 기본구성은 특허문헌 DE 195 29 563(US 6,258,433)에 기술되어 있다. 평행한 광선속은 발산-증가 광학소자(837)에 이른다. 발산-증가 광학소자로서 예를 들어 회전 또는 굴절 래스터소자의 구성을 갖는 래스터 플레이트가 사용될 수 있다. 각 래스터소자는 각도분포가 래스터소자의 크기와 초점길이에 의하여 결정되는 광선속을 발생한다. 래스터 플레이트는 광로의 하류측을 따라 대물렌즈(840)의 대물측 평면에 또는 이에 인접하여 배치된다. 대물렌즈(840)는 평행한 광선속을 발생하는 가변직경형의 줌 대물렌즈이다. 방향전환 반사경(841)은 평행한 광선속이 액시콘(axicon)(즉, 회전대칭형 프리즘장치)(843)을 수용하는 광학유니트(842)측으로 향하도록 한다. 줌 대물렌즈(840)는 액시콘(843)과 함께 액시콘 요소의 줌과 위치의 설정에 따라서 동공면(845)에 상이한 조명프로파일을 발생한다. 예를 들어 도 3에서 보인 종류의 편광변조 광학소자(801)는 동공면(845)에 배치된다. 광로에서 편광변조 광학소자(801)의 다음에는 편광변조 광학소자에 의하여 이러한 편광변조 광학소자를 통과하는 광선에 나타나는 각도편차를 보상하기 위하여 설계된 두께프로파일을 갖는 보상플레이트(847)가 배치된다. 광학유니트(842)의 다음에는 레티클-마스킹 시스템(REMA)(849)이 배치된다. REMA 대물렌즈(851)은 레티클-마스킹 시스템(849)의 이미지를 구조담지마스크(레티클)(853)로 투영함으로써 레티클(853)의 조명영역이 한정된다. 프로젝션 대물렌즈(855)는 구조담지마스크(853)의 이미지를 감광기재(859)에 투영한다. 프로젝션 대물렌즈의 최종 광학소자(857)과 감광기재(859) 사이의 공간에는 공기와는 다른 굴절률을 갖는 이머전 액체(861)이 수용되어 있다.

[0092] 본 발명의 부가적인 잇점은 본 발명에 따른 편광변조 광학소자 또는 광학시스템이 편광분포를 조절하고 도 8에서 보인 바와 같은 마이크로리소그래피 프로젝션 시스템에서 편광분포의 온도보상을 위하여 사용될 수 있다는 점이다. 일부의 분야에서, 진보된 마이크로리소그래피 프로젝션 시스템은 레티클(853)에서 약 5° 또는 그 이상의 정확도, 일부의 경우는 1° 이상의 정확도를 갖는 사전에 한정된 편광분포를 요구한다.

[0093] 레티클에서 편광분포는 예를 들어 텐션유도 복굴절 또는 각 광학소자의 온도의 한정되지 않거나 제어되지 않은 변화에 의하여 영향을 받으므로, 편광분포는 시간에 따라 예상치 않게 또는 제어불가능하게 변화할 수 있다. 이러한 변화를 보정하기 위하여 편광변조 광학소자의 비회전 α 의 온도종속성이 편광각도의 크기를 제어하기 위하여 사용될 수 있다. 본 발명의 실시형태에 따른 광학시스템은 이러한 광학시스템을 통하여 전파되는 광선의 편광분포를 제어하기 위한 편광제어시스템으로 구성되는 것이 좋다. 중요한 편광분포는 광학시스템에서 사전에 한정된 위치에 놓인다. 편광제어시스템은 사전에 한정된 위치에서 광선의 편광분포에 영향을 주는 편광변조 광학소자의 온도 및/또는 온도분포를 수정하기 위하여 적어도 하나의 가열 또는 냉각장치를 포함한다. 여기에서 편광변조 광학소자는 가변 또는 불변의 광유효두께를 가질 수 있다.

[0094] 불변 광유효두께의 경우에 있어서 광학시스템은 이러한 광학시스템을 통하여 전파되는 광선의 방향에 의하여 주어지는 광축 또는 우선방향을 포함한다. 부가적으로 광학시스템은 좌표계의 좌표에 의하여 기술되는 편광변조 광학소자를 포함하며, 여기에서 좌표계의 한 우선좌표는 광축에 평행하거나 상기 우선방향에 평행하다. 편광변조 광학소자는 고체 및/또는 액체 광활성 물질로 구성되며, 광유효두께는 좌표계의 우선좌표와는 상이한 적어도 하나의 좌표의 함수로서 일정하다. 또한 광학시스템은 이러한 광학시스템의 우선위치에서 광선(광학시스템을 통하여 전파되는 광선)의 편광분포를 제어하기 위한 편광제어시스템을 포함하며, 편광제어시스템은 사전에 한정된

위치에서 광선의 편광분포에 영향을 주는 편광변조 광학소자의 온도 및/또는 온도분포를 수정하기 위하여 적어도 하나의 가열 또는 냉각장치를 포함한다.

[0095] 예를 들어, 만약 편광변조 광학소자(예를 들어 본 발명에 따른 광학시스템에 사용되는 편광변조 광학소자)가 평판으로 구성되거나 평판으로서 형성된 합성(결정질)석영으로 제작되는 경우, 10 mm 두께의 이러한 평판은 $\gamma = 2.36 \text{ mrad}/(\text{mm}\cdot\text{K})$ 인 비회전 α 의 선형온도계수 γ 에 의하여 $23.6 \text{ mrad}/^\circ\text{C}$ 또는 $1.35^\circ/\text{K}$ 에 상당하는 $23.6 \text{ mrad}/\text{K}$ 의 편광변화를 보일 것이다. 이들 데이터는 193 nm의 파장에 대한 것이다. 도 9에서 개략적으로 보인 이러한 실시형태에서, 평판(901)의 광축 OA는 광학시스템에서 광선의 전파방향(화살표 950으로 보임)에 평행하거나 거의 평행하게 향한다. 거의 평행하다는 의미는 평판(901)의 광축 OA와 광학시스템을 통하여 전파되는 광선의 방향 사이의 각도가 200 mrad 이하, 좋기로는 100 mrad 이하, 더욱 좋기로는 50 mrad 이하임을 나타내는 것이다. 평판(901)의 온도를 제어하는 것은 편광의 변화를 제어하는 결과를 보일 것이다. 만약 예를 들어 평판의 온도가 $20^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 의 범위로 제어되는 경우, 편광각도는 이러한 평판(901)이 석영으로 되어 있을 때 약 $\pm 13.5^\circ$ 범위에서 제어가능하게 변화될 수 있다. 이러한 고감도는 온도제어에 의한 편광분포의 제어가 이루어질 수 있도록 한다. 이와 같은 경우에 있어서 약 0.1 mm 로부터 20 mm 까지의 두께 d 를 갖는 평판이라 하여도 평판(901)의 온도를 제어함으로써 편광분포를 제어가능하게 조절할 수 있는 편광변조 광학소자(901)가 될 수 있을 것이다. 좋기로는 합성(결정질)석영의 경우 평판(901)의 두께는 $n \cdot 278.5 \mu\text{m}$ (여기에서 n 은 정수이다)이며, 이는 $n=1$ 인 경우 적어도 90° , $n=2$ 인 경우 180° 그리고 일반적으로 약 21.6°C 에서 파장이 193 nm 인 경우 $n \cdot 90^\circ$ 의 편광면의 회전이 이루어진다. 편광면의 회전이 90° 인 경우 합성석영은 두께가 적어도 $278.5 \mu\text{m}$ 이어야 하고 180° 의 경우에는 적어도 $557.1 \mu\text{m}$ 이어야 하며, 270° 의 경우 두께는 $835.5 \mu\text{m}$ 이어야 하고 편광회전이 360° 인 경우 두께는 1.114 mm 이어야 한다. 두께의 제조공차는 약 $\pm 2 \mu\text{m}$ 이다. \circ 와 같이 제조공차는 평행판을 통과하는 광선의 편광면 각도가 약 21.6°C 및 193 nm 에서 약 $\pm 0.64^\circ$ 가 되어 부정확성을 보인다. 이러한 부정확성에 대하여, 평판(또는 편광변조 광학소자)의 온도파동에 의한 부가적인 부정확성이 고려되어야 하며, 이는 $\gamma = 2.36 \text{ mrad}/(\text{mm}\cdot\text{K}) = 0.15^\circ/(\text{mm}\cdot\text{K})$ 인 비회전 α 의 선형온도계수 γ 에 의하여 주어진다.

[0096] 평판(901)의 온도제어는 평판(901)의 온도를 측정하기 위한(편광변조 광학소자의 온도 및/또는 온도분포를 나타내거나 이에 일치하는 온도센서값을 제공하기 위한) 적어도 하나의 온도센서(902)(903), 적외선복사(906)를 통하여 평판을 가열하기 위하여 적외선 히터로 구성되는 적어도 하나의 히터(904)(905)와, 적어도 하나의 히터(904)(905)를 제어하기 위한 제어회로(910)를 갖는 온도감지장치를 이용하여 폐쇄루프형 또는 개방루프형 제어에 의하여 수행된다. 온도감지장치의 예로서, 프로젝션 광학장치를 갖는 적외선감응형 CCD-소자가 사용될 수 있으며, 프로젝션 광학장치는 평판(901)의 적어도 일부를 CCD-소자에 이미지를 투영하여 평판(901)의 관측부의 온도프로파일이 CCD-소자 신호의 분석을 통하여 측정될 수 있도록 한다. 제어회로(910)는 컴퓨터 시스템(915)으로 구성되거나 마이크로리소그래피 프로젝션 시스템(833)(도 8 참조)의 컴퓨터 또는 제어시스템(915)에 연결될 수 있다. 온도제어형 평판(901)의 우선실시형태에서, 두께는 온도 $T = (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) / 2 + T_{\text{min}}$ 에서 $n \cdot 90^\circ$ (여기에서 n 은 정수이다)의 편광회전이 이루어질 수 있도록 선택되며, 여기에서 T_{max} 와 T_{min} 는 평판(901)(또는 일반적으로 편광변조 광학소자)의 최대 및 최소온도이다. 히터 또는 히팅 시스템(또는 펠티어 소자와 같은 냉각장치)가 마이크로리소그래피 프로젝션 시스템(833)의 광로가 아닌 위치, 또는 본 발명의 실시형태에 따른 광학시스템을 통하여 전파되는 광선의 광로가 아닌 위치에 배치되는 것이 좋다. 본 발명에 따른 편광제어시스템을 갖는 광학시스템은 편광변조 광학소자와 광학시스템의 사전에 한정된 위치 사이에 배치된 적어도 하나의 부가적인 광학소자를 가지고 광선이 편광변조 광학소자로부터 사전에 한정된 위치로 전파될 때 적어도 하나의 부가적인 광학소자에 접촉하는 시스템에 사용되는 것이 좋다. 부가적인 광학소자는 렌즈, 프리즘, 반사경, 굴절 또는 회절광학소자 또는 선형 복굴절 물질로 구성된 광학소자로 구성되는 것이 좋다. 이와 같이 본 발명에 따른 광학시스템은 마이크로리소그래피 프로젝션 시스템(833)의 일부를 구성할 수 있다.

[0097] 다른 우선실시형태에서, 편광변조 광학소자(901)(도 9에서 보인 바와 같은 평판)의 온도는 사전에 한정된 온도 프로파일에 일치한다. 예를 들어, 이러한 온도프로파일은 광학소자(901)을 가로질러 형성된 방사상 분포를 얻기 위하여 이미 언급된 바와 같이 제어회로에 의하여 제어되는 방식으로 광학소자(901)를 가열하는 다수의 적외선 히터(904)(905)를 이용하여 얻을 수 있다. 이러한 실시형태에서 또한 다수의 온도센서(902)(903)가 제어회로(910)에 사용될 수 있다. 이러한 실시형태에 있어서 마이크로리소그래피 프로젝션 시스템(833)의 계면 또는 동공면에서 편광상태는 국부적으로 조절될 수 있다.

[0098] 또한 부가적으로 히터 또는 히팅 시스템(904)(905)은 하나 이상의 펠티어소자(907)(908)로 대체되거나 이들이

보충될 수 있다. 펠티어소자는 제어회로(910)에 연결되어 개방 및/또는 폐쇄루프제어에 의한 제어가 가능도록 할 수 있다. 펠티어소자의 잇점은 편광변조 광학소자(901)의 제어냉각이 이루어질 수 있도록 하는 것이다. 광학소자(901)를 동시에 가열 및 냉각하는 것은 편광변조 광학소자(901)에서 온도분포가 복잡해지도록 하여 예를 들어 광학소자(901)를 통과한 후에 마이크로리소그래피 프로젝션 시스템(833)을 통하여 전파되는 광선(950)의 편광분포가 복잡해 지도록 하며, 상기 언급된 것 이외의 다른 가열 및 냉각수단이 편광변조 광학소자(901)의 요구된 온도프로파일 또는 요구된 온도를 얻기 위하여 사용될 수 있다.

[0099] 마이크로리소그래피 프로젝션 시스템(833)(도 8 참조)의 조명시스템에 편광변조 광학소자(901)로서 평판(901)을 적용하는 경우 이는 동공면(845) 또는 광원유니트(835)와 상기 언급된 동공면(845) 사이의 위치에 배치되는 것이 좋다. 이들 위치에 평판(901)을 배치하는 것은 평판을 통과하고 또는 마이크로리소그래피 프로젝션장치를 통과하는 광선의 입사각도가 약 6° (100 mrad) 이하로 작은 것이 잇점이다. 이들 작은 입사각도에서, 평행판(901)에 의한 선형복굴절의 영향이 매우 작아 광선이 평판(901)에 진입하기 전 선형편광된 경우에도 평판(901)을 통과한 후 광선의 편광이 무시할 수 있는 타원부분을 갖는 거의 직선형이 되게 매우 작다.

[0100] 본 발명의 다른 실시형태에서, 본 발명에 따른 편광변조 광학소자(901) 또는 편광시스템을 통과하는 광선의 편광상태가 측정된다. 이를 위하여, 편광제어시스템은 광학시스템의 사전에 결정된 위치에서 광선의 편광 또는 편광분포를 나타내거나 이에 일치하는 편광값을 제공하는 편광측정장치로 구성된다. 또한, 제어회로가 개방루프형 또는 폐쇄루프형 제어에 의하여 온도센서값 또는 편광값에 따라 적어도 하나의 가열 또는 냉각장치를 제어한다. 측정된 편광상태는 요구된 상태와 비교되며, 측정된 상태가 허용값을 크게 벗어나는 경우 평판(901)과 같은 편광변조 광학소자의 온도 및/또는 온도분포는 측정된 편광상태와 요구된 편광상태 사이의 차이가 작도록 변화되고 가능하다면 이러한 차이는 허용값내에 있도록 작은 것이 좋다. 도 9에서, 편광상태는 편광측정장치(960)에 따라 현장에서 측정되거나 별도로 특별히 측정된다. 편광측정장치는 측정된 편광측정값에 따라 가열장치(904)(905) 및/또는 (907)(908)가 제어가능하게 가열 또는 냉각되어 측정된 편광상태와 요구된 편광상태가 작아질 수 있도록 제어회로(910)에 연결될 수 있다. 이러한 제어는 개방루프 또는 폐쇄루프형 제어방식으로 수행된다.

[0101] 편광변조 광학소자로서 사용되거나 이러한 소자의 일부인 평판(901)은 특히 통과하는 광선속의 편광상태 반향을 보정하는데 적합하다.

[0102] 본 발명의 다른 실시형태에서, 편광변조 광학소자로서 사용되는 평판(901)(광활성 물질로 구성된다)은 선형복굴절 물질로 구성된 평판(971)과 조합된다. 이와 같은 본 발명의 실시형태에 있어서는 통과하는 광선속(950)의 방향과 위상이 영향을 받아 예를 들어 평판(901)(971)을 통과한 후 평면편광된 광선속이 타원형으로 편광된다. 이러한 실시형태에서, 적어도 하나의 평판(901)(971)은 도 9에 관련하여 설명된 바와 같이 그 온도 및/또는 온도분포에 대하여 제어된다. 또한, 이들 평판(901)(971)이 배치되는 순서는 광선속이 먼저 선형복굴절 물질로 구성된 평판(971)을 통과하고 이어서 광활성 물질로 구성된 평판(901)을 통과하거나 그 반대가 되도록 달라질 수 있다. 이들 평판은 시스템의 광축 OA 를 따라 연속하여 배열되는 것이 좋다. 또한 선형복굴절 물질로 구성된 하나 이상의 평판 및/또는 광활성 물질로 구성된 하나 이상의 평판이 통과하는 광선속의 편광상태를 조절하기 위하여 사용될 수 있다. 또한, 평판(917) 또는 (901)은 광활성 물질을 수용하는 액체셀 또는 큐벳으로 대체될 수 있다. 또한 선형복굴절 물질로 구성된 평판(917)과 광활성 물질로 구성된 평판(901)은 이들 평판 사이에 적어도 하나의 다른 광학소자(981)가 배치될 수 있도록 배열될 수 있다. 이러한 소자(981)는 예를 들어 렌즈, 회전 또는 굴절광학소자, 반사경 또는 부가적인 평판일 수 있다.

[0103] 본 발명의 부가적인 실시형태에서, 편광변조 광학소자, 일반적으로 편광광학소자는 상기 소자의 온도파동에 의한 편광변조 광학소자에 의하여 발생된 편광분포의 부정확성을 줄이기 위한 온도보상형이며, 합성석영물질의 경우 상기 소자는 석영에 대하여 비회전 α 의 선형온도계수 γ 에 의하여 주어진다(이는 이미 언급된 바와 같이 $\gamma=2.36 \text{ mrad}/(\text{mm}\cdot\text{K})=0.15^\circ /(\text{mm}\cdot\text{K})$ 이다). 온도보상은 합성석영의 경우 시계방향 광활성을 갖는 하나의 석영물질과 반시계방향 광활성을 갖는 하나의 석영물질(R-석영과 L-석영)이 존재한다는 사실을 이용한다. 이들 시계방향 및 반시계방향 광활성은 각 비회전 α 에 관하여 크기가 거의 동일하다. 비회전의 차이는 0.3% 이하이다. 합성석영이 시계방향(R-석영) 또는 반시계방향(L-석영)의 광활성을 갖는 것은 합성석영의 제조공정에 사용된 시드-크리스탈(seed-crystal)에 따라서 달라진다.

[0104] R- 및 L-석영은 도 11에서 보인 바와 같이 열 또는 온도보상형 편광변조 광학소자(911)를 얻기 위하여 조합될 수 있다. 편광상태의 변화에 관하여 이러한 온도보상형 편광변조 광학소자(911)는 두께 d 를 갖는 합성석영의 평판과 동일한 것이다. 예를 들어, 두 평판(921)(931)이 온도보상형 편광변조 광학소자(911)를 포함하는 광학시스

템을 통하여 전파되는 광선의 방향(950)에서 전후로 배치된다. 이들 평판은 일측 평판(931)이 두께 d_R 을 갖는 R-석영이고 타측 평판(921)이 두께 d_L 을 갖는 L-석영이며, $|d_R - d_L| = d$ 가 되도록 구성된다. 만약 대부분의 경우 광학소자의 기계적인 안정성에 의한 조건으로서 얇은 두께 d_R 와 d_L ($\min(d_R, d_L)$)가 d 또는 $\min(d_R, d_L) > d$ 보다 두꺼운 경우, 편광상태의 온도중속성은 부분적으로 보상되는 바, 이는 R-석영 및 L-석영 평판의 시스템 온도중속성이 $\gamma = 2.36 \text{ mrad}/(\text{mm}\cdot\text{K}) = 0.15^\circ /(\text{mm}\cdot\text{K})$ 보다 작음을 의미하며, 여기에서 d 는 두 평판의 두께차이 $d = d_R - d_L$ 의 절대값이다. 다음의 예는 이러한 효과를 보인 것이다. 예를 들어 $d_R = 557.1 \mu\text{m}$ 의 두께를 갖는 R-석영 평판(931)(입사편광평면에 비하여 진출편광평면의 180° 시계방향 변화를 보임)이 $d_R = 557.1 \mu\text{m} + 287.5 \mu\text{m}$ 의 두께를 갖는 L-석영 평판(932)(입사편광평면에 비하여 진출편광평면의 270° 반시계방향 변화를 보임)에 조합된다. 이로써 광선이 두 평판(921)(931)을 통과한 후 편광평면의 90° 반시계방향 변화가 이루어지는 바, 이는 L-석영 평판만이 사용되는 경우 편광평면의 270° 시계방향 변화에 해당한다. 이와 같은 경우 온도보상은 완전히 이루어지지 않고, 대신에 양 평판이 사용되는 경우 $d_R = 557.1 \mu\text{m} + 287.5 \mu\text{m}$ 의 L-석영 평판이 사용되는 경우의 $0.13^\circ /\text{K}$ 에 비하여 약 $0.04^\circ /\text{K}$ 의 값으로 감소된다. 이는 비록 온도가 10°C 씩 변화하는 경우 편광평면의 변화가 1° 이하로 작을 것이므로 온도중속성이 현저히 감소되는 것이다.

[0105] 일반적으로 예를 들어 도 3과 도 4a에 관련하여 언급된 바와 같은 소자와 같이 R- 또는 L-석영으로 만들어진 구조의 편광변조 광학소자는 각 다른 석영 타입(L- 또는 R-석영)의 평판과 조합되어 이러한 조합된 시스템(911)이 편광변화에 관한 감소된 온도중속성을 갖게 될 것이다. 평판 대신에 각 다른 석영 타입으로 된 광학소자가 사용될 수 있으며 도 11에서 보인 평판(921)(931)은 본문에 언급되고 부호가 반대인 비회전을 가지며 시계방향 및 반시계방향의 편광상태 변화를 보이는 편광변조 광학소자를 구성할 수 있다.

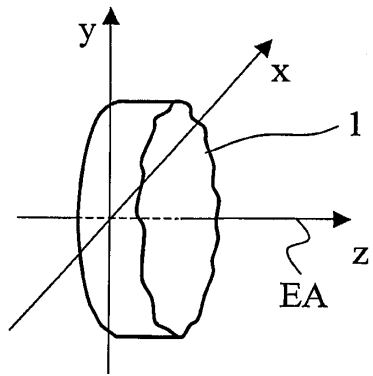
[0106] 온도보상형 편광변조 광학소자(911)의 상기 예를 일반화하기 위하여, 본 발명은 또한 광축 OA 또는 전파되는 광선의 방향에 의하여 주어지는 우선방향(950)을 갖는 광학시스템에 관련하고 있다. 온도보상형 편광변조 광학소자(911)로 구성되는 광학시스템은 좌표계의 좌표에 의하여 설명되고, 여기에서 좌표계의 한 우선좌표는 광축 OA에 평행하거나 우선방향(950)에 평행하다. 온도보상형 편광변조 광학소자(911)는 제1 편광변조 광학소자(921) 및 제2 편광변조 광학소자(931)으로 구성된다. 제1 및/또는 제2 편광변조 광학소자는 고체 및/또는 액체 광활성 물질로 구성되고 광유효두께의 프로파일을 가지며, 여기에서 광유효두께는 좌표계의 우선좌표와는 상이한 적어도 하나의 좌표의 함수로서 변화한다. 또한 제1 편광변조 광학소자(921) 및 제2 편광변조 광학소자(931)는 고체 및/또는 액체 광활성 물질로 구성되고 광유효두께가 좌표계의 우선좌표와는 상이한 적어도 하나의 좌표의 함수로서 일정하다. 부가적인 특징으로서, 제1 및 제2 편광변조 광학소자(921)(931)는 부호가 반대인 비회전을 갖는 광활성 물질로 구성되거나, 제1 편광변조 광학소자가 제2 편광변조 광학소자의 광활성 물질에 대하여 부호가 반대인 비회전을 갖는 광활성 물질로 구성된다. 평판의 경우에 있어서, 제1 및 제2 평판의 제1 및 제2 두께 차이의 절대값은 작은 평판의 두께 보다 작다.

[0107] 본 발명의 부가적인 실시형태에서, 편광변조 광학소자는 자계에 영향을 받는 광활성 및/또는 비광활성의 물질성분으로 구성되며 이러한 자계성분은 편광변조 광학소자를 통한 광선의 전파방향을 따라 나타난다. 광활성 물질 성분은 상기 언급된 바와 같이 구성될 수 있다. 그러나, 광활성 물질과 관련하여 상기 언급된 바와 같은 동일하거나 유사한 구조의 비광활성 물질이 사용될 수 있다. 또한 자계의 적용은 페러데이효과에 의한 광활성 및 비광활성 물질을 통과하는 광선의 편광상태를 변화시킬 것이며, 편광상태는 자계에 의하여 제어될 수 있다.

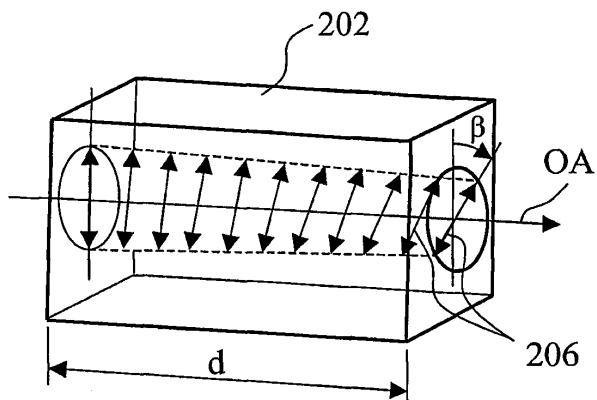
[0108] 이상으로, 본 발명에 따른 편광변조 광학소자 또는 광학시스템에 대한 여러 실시형태가 설명되었다. 본 발명에 있어서는 본 발명에 따른 편광변조 광학소자 또는 광학시스템의 부가적인 실시형태를 상기 언급된 각 실시형태의 특징 및/특성을 교환 및/또는 조합하여 얻을 수 있을 것이다.

도면

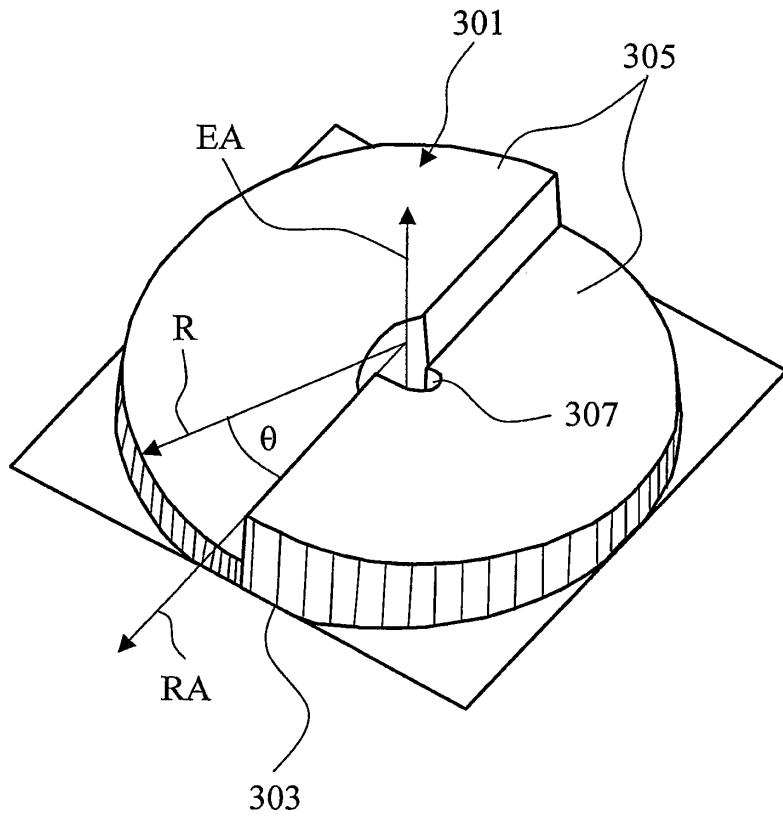
도면1



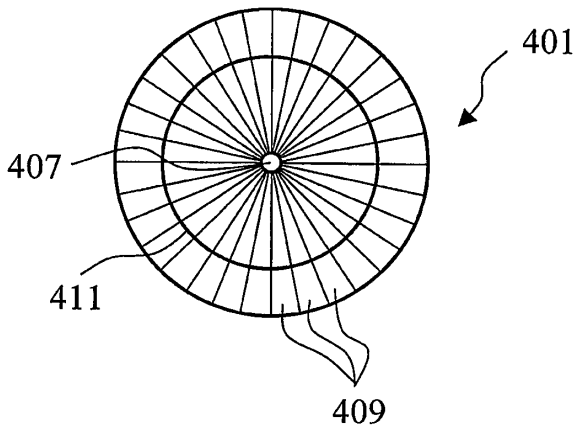
도면2



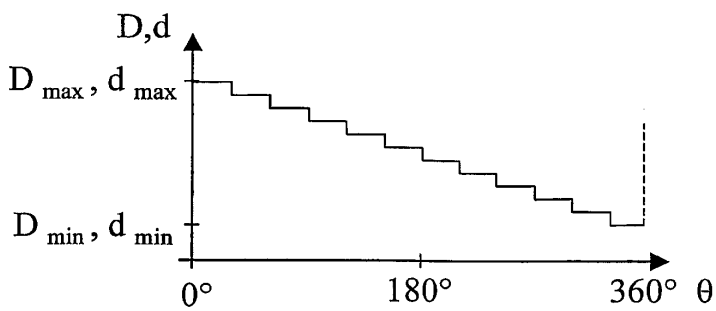
도면3



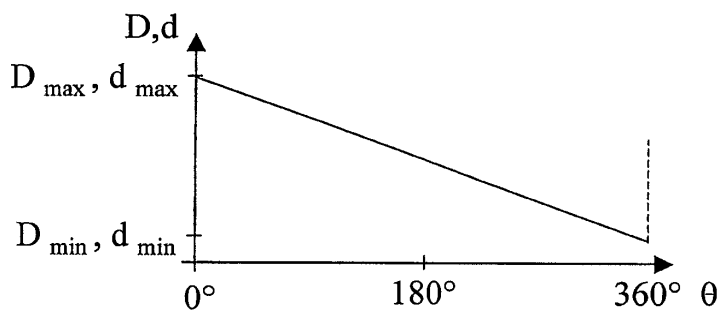
도면4a



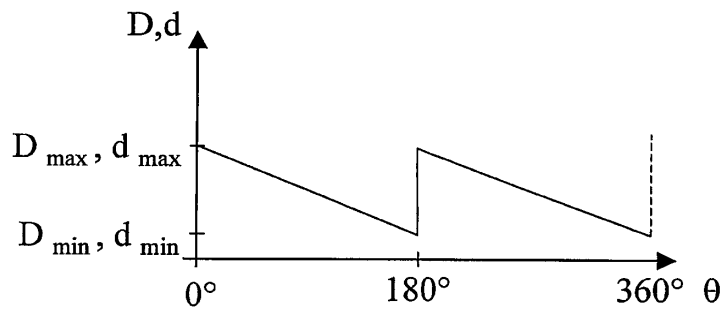
도면4b



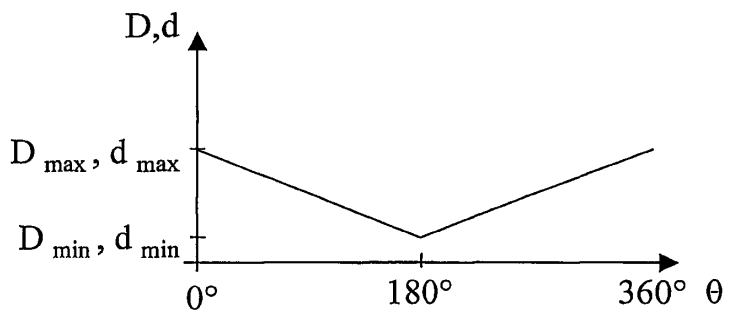
도면4c



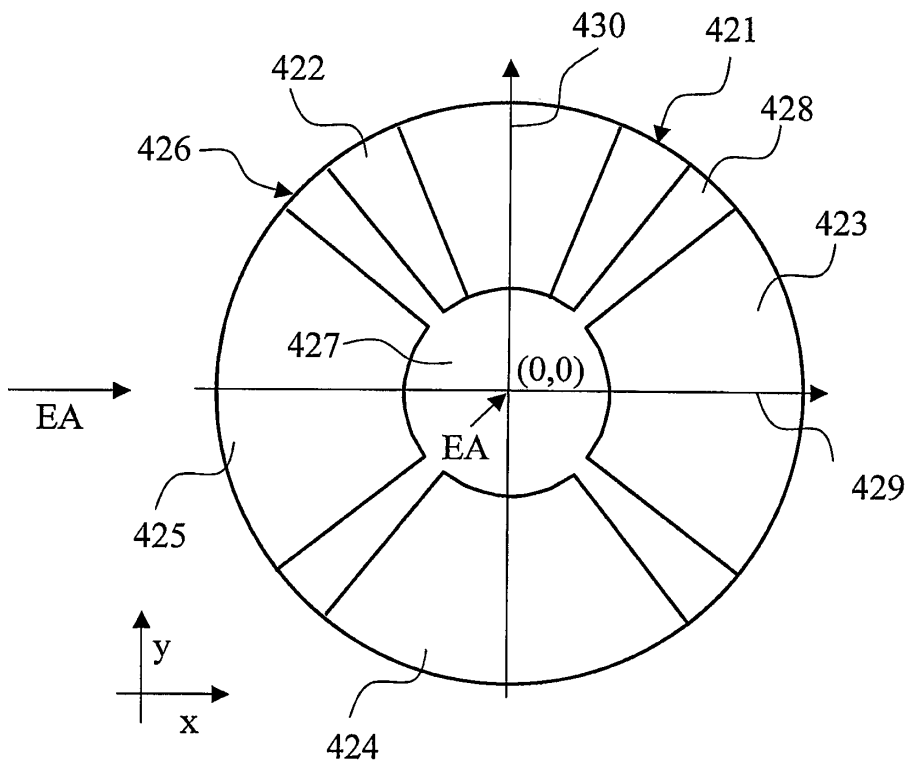
도면4d



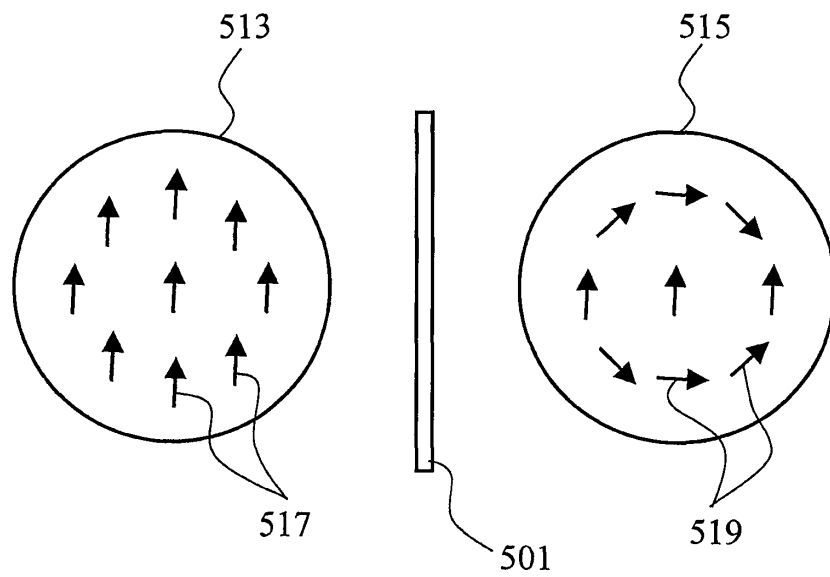
도면4e



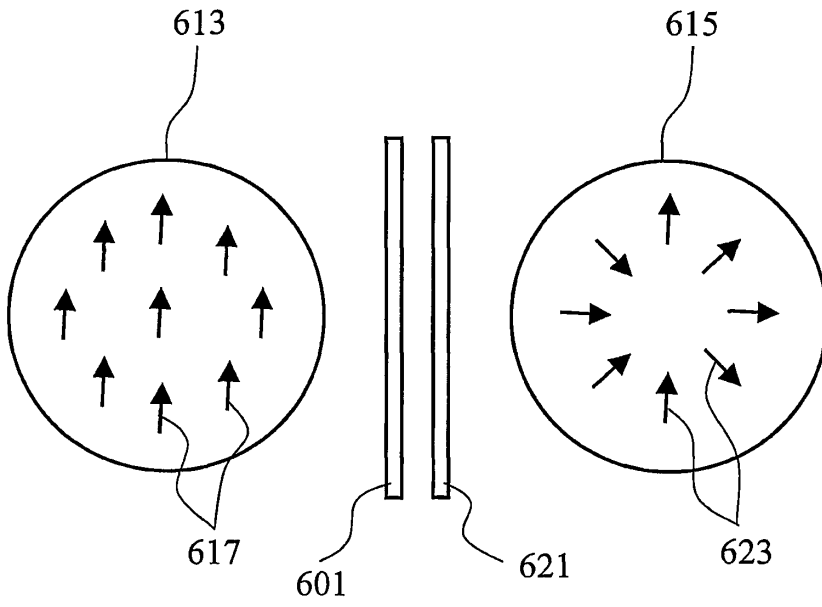
도면4f



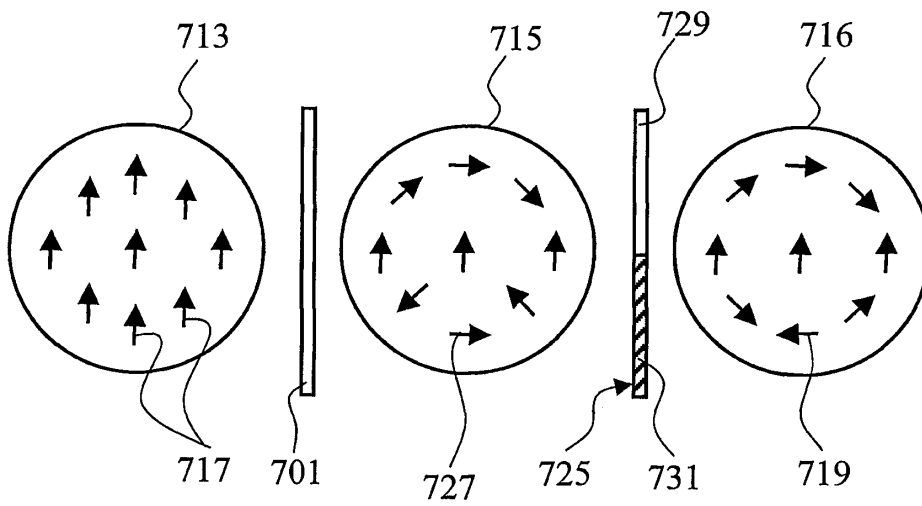
도면5



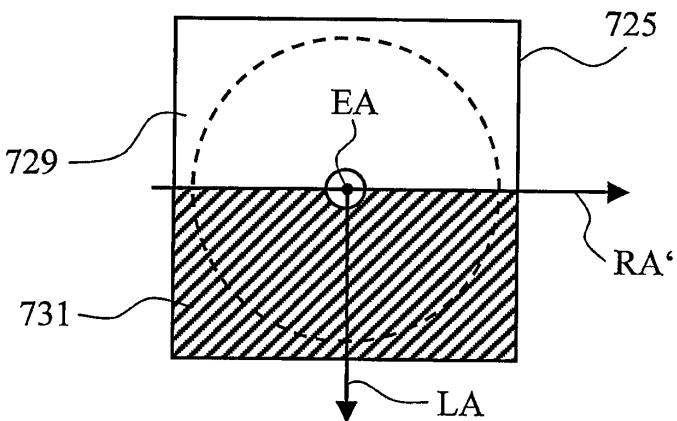
도면6



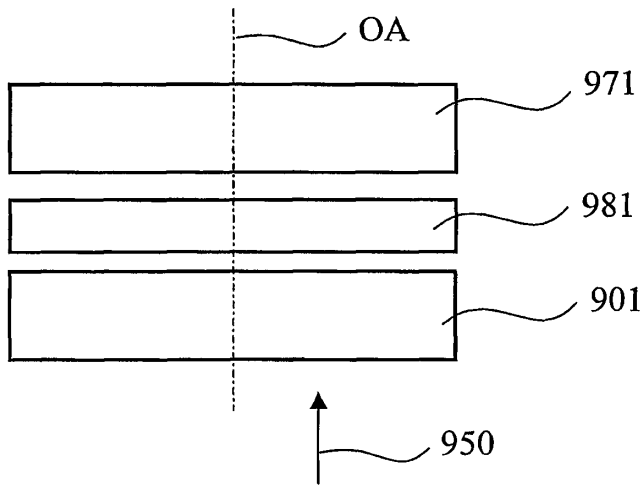
도면7a



도면7b



도면10



도면11

