



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년01월29일

(11) 등록번호 10-2070528

(24) 등록일자 2020년01월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 7/182 (2006.01) G02B 26/10 (2006.01)

(52) CPC특허분류
G02B 7/1821 (2013.01)
G02B 26/105 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-7008341

(22) 출원일자(국제) 2016년08월24일

심사청구일자 2018년03월23일

(85) 번역문제출일자 2018년03월23일

(65) 공개번호 10-2018-0034697

(43) 공개일자 2018년04월04일

(86) 국제출원번호 PCT/US2016/048499

(87) 국제공개번호 WO 2017/035283

국제공개일자 2017년03월02일

(30) 우선권주장

62/209,290 2015년08월24일 미국(US)

(뒷면에 계속)

(56) 선행기술조사문헌

KR100777910 B1

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 19 항

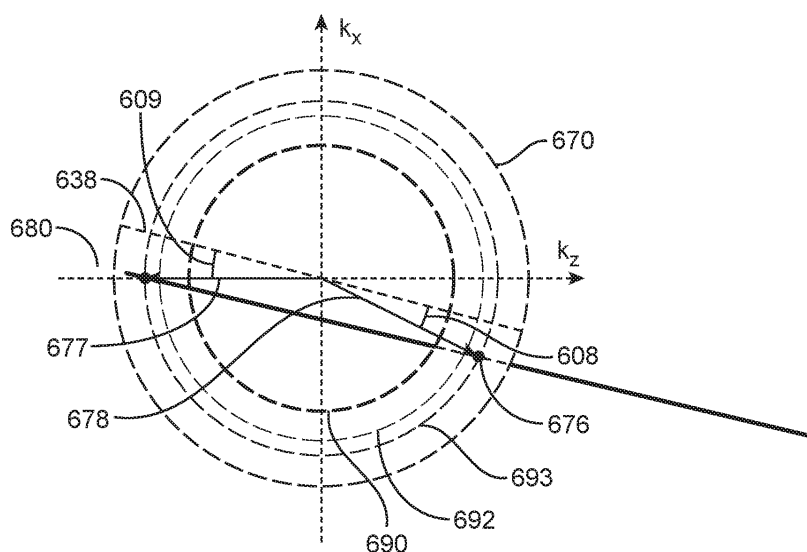
심사관 : 김희진

(54) 발명의 명칭 스큐 미러, 사용 방법 및 제조 방법

(57) 요약

표면 범선으로 제한될 필요가 없는 반사 축을 갖는, 스큐 미러로 지칭되는 광학 반사형 디바이스가 기술된다. 스큐 미러들의 예들은, 비교적 넓은 범위의 파장들을 가로질러 실질적으로 일정한 반사 축들에 대해 광을 반사시키도록 구성된다. 일부 예들에서, 스큐 미러는 비교적 넓은 범위의 입사각들을 가로질러 실질적으로 일정한 반사 축들을 갖는다. 스큐 미러들의 예시적인 제조 및 사용 방법들이 또한 개시된다. 스큐 미러들은 격자 구조를 포함하는데, 격자 구조는 일부 예들에서 홀로그래를 포함한다.

대표도 - 도6d



- (72) 발명자
어네스, 아담
 미국 80027 콜로라도주 루이스빌 페즌트 런 338
스클로타우, 프리소
 미국 80540 콜로라도주 라이언스 수 로드 104
- (56) 선행기술조사문헌
 KR1019990067888 A
 KR1020010022006 A
 KR1020080064357 A
 An experimental study on the validity of diffraction theories, Appl Phys B (2012) 108:89-96*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌
- (30) 우선권주장
 62/318,917 2016년04월06일 미국(US)
 15/174,938 2016년06월06일 미국(US)
-

명세서

청구범위

청구항 1

장치로서,

격자 매체(grating medium) 내에 존재하는 격자 구조를 포함하고,

상기 격자 구조는 제1 입사광을 반사시키도록 구성되고, 상기 제1 입사광은 특정 부위에서 상기 격자 매체 상에 입사되고, 제1 파장 및 상기 격자 매체의 표면 법선에 대한 제1 내부 입사각을 갖고,

상기 제1 입사광은 상기 격자 구조 내의 제1 격자에 의해 제1 반사된 광으로서 주로 반사되고, 상기 제1 반사된 광은 상기 제1 파장 및 상기 표면 법선에 대한 제1 내부 반사각을 갖고,

상기 제1 입사광 및 상기 제1 반사된 광은 상기 표면 법선에 대한 제1 반사 축 각도를 갖는 제1 반사 축에 의해 이등분되고,

상기 격자 구조 내의 제2 격자는 제2 입사광을 반사시키도록 추가로 구성되고, 상기 제2 입사광은 상기 특정 부위에서 상기 격자 매체 상에 입사되고 제2 파장 및 상기 표면 법선에 대한 제2 내부 입사각을 갖고,

상기 제2 입사광은 상기 제2 격자에 의해 제2 반사된 광으로서 주로 반사되고, 상기 제2 반사된 광은 상기 제2 파장 및 상기 표면 법선에 대한 제2 내부 반사각을 갖고,

상기 제2 입사광 및 상기 제2 반사된 광은 상기 표면 법선에 대한 제2 반사 축 각도를 갖는 제2 반사 축에 의해 이등분되고,

상기 제1 및 제2 반사 축 각도들은 상기 표면 법선에 대해 각각 영이 아니고(non-zero),

상기 제1 파장은 상기 제2 파장과 상이한, 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 반사 축 각도는 상기 제2 반사 축 각도와 0.25도 이하로 상이한, 장치.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 제1 파장은 상기 제2 파장과 적어도 0.005의 파장 분율만큼 상이한, 장치.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 제1 입사광은 상기 제1 반사 축으로부터 적어도 1.0도 오프셋되어 있는, 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 격자 구조는 다수의 체적 홀로그램들을 포함하고,

상기 다수의 체적 홀로그램들 각각은 상기 다수의 체적 홀로그램들 중 적어도 하나의 다른 체적 홀로그램과 공간적으로 오버랩되고,

상기 격자 매체는 적어도 70 μm 두께인, 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 다수의 체적 홀로그램들은 적어도 9개의 홀로그램들을 포함하고, 상기 다수의 체적 홀로그램들 각각은 상기 다수의 체적 홀로그램들 중 다른 체적 홀로그램들 모두와 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩되는, 장치.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 적어도 9개의 홀로그램들에 대한 인접 $|\Delta K_G|$ 는 미터당 1.0×10^4 내지 1.0×10^6 라디안(rad/m)으로 존재하는 평균 값을 갖는, 장치.

청구항 8

제4항에 있어서,

상기 격자 구조는 적어도 9개의 체적 홀로그램들을 포함하고,

상기 적어도 9개의 체적 홀로그램들 각각은 상기 적어도 9개의 체적 홀로그램들 중 적어도 하나의 다른 체적 홀로그램과 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩되고,

상기 격자 매체는 적어도 200 μm 두께인, 장치.

청구항 9

장치로서,

격자 매체 내에 존재하는 격자 구조를 포함하고,

상기 격자 구조는 제1 홀로그램 세트, 제2 홀로그램 세트, 및 제3 홀로그램 세트를 포함하는데, 이들은 각각은 복수의 체적 홀로그램들을 포함하고,

상기 제1 홀로그램 세트는 상기 격자 매체의 표면 법선에 대한 제1 평균 반사 축 각도를 갖는 실질적으로 일정한 제1 반사 축에 대해 제1 파장의 입사광을 반사시키도록 구성되고,

상기 제2 홀로그램 세트는 상기 표면 법선에 대한 제2 평균 반사 축 각도를 갖는 제2 반사 축에 대해 제2 파장의 입사광을 반사시키도록 구성되고,

상기 제3 홀로그램 세트는 상기 표면 법선에 대한 제3 평균 반사 축 각도를 갖는 제3 반사 축에 대해 제3 파장의 입사광을 반사시키도록 구성되고,

상기 제1, 제2, 및 제3 평균 반사 축 각도들 각각은 영이 아니고;

상기 제1, 제2, 및 제3 홀로그램 세트들 각각은 적어도 4개의 체적 홀로그램을 포함하고;

상기 제1, 제2, 및 제3 홀로그램 세트들 각각 내에서, 상기 복수의 체적 홀로그램들 각각은 그 세트 내의 상기 복수의 체적 홀로그램들 중 적어도 하나의 다른 체적 홀로그램과 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩되는, 장치.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 격자 매체는 적어도 200 μm 의 두께인, 장치.

청구항 11

제9항에 있어서, 상기 격자 매체는 적어도 70 μm 의 두께인, 장치.

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 제1 파장의 입사광, 상기 제2 파장의 입사광, 및 상기 제3 파장의 입사광 각각은, 적어도 4.0도의 범위에 걸쳐 있는 다수의 내부 입사각들로 상기 격자 매체 상에 입사되는, 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 제1, 제2, 및 제3 홀로그램 세트들 각각 내에서, 상기 복수의 체적 홀로그램들 각각은 그 세트 내의 상기 복수의 체적 홀로그램들 중 다른 모든 체적 홀로그램들과 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩되는, 장치.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 제1 파장은 청색 파장을 포함하고, 상기 제2 파장은 녹색 파장을 포함하고, 상기 제3 파장은 적색 파장을 포함하는, 장치.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 제1, 제2, 및 제3 홀로그램 세트들 각각에 대한 인접 $|\Delta K_G|$ 는 1.0×10^4 내지 1.0×10^6 rad/m로 존재하는 평균 값을 갖는, 장치.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 제1, 제2, 및 제3 홀로그램 세트들 각각에 대한 상기 인접 $|\Delta K_G|$ 는 8.0×10^4 rad/m 초과인 평균 값을 갖는, 장치.

청구항 17

제16항에 있어서, 상기 제1, 제2, 및 제3 홀로그램 세트들 각각은 적어도 5개의 홀로그램들을 포함하는, 장치.

청구항 18

장치의 사용 방법으로서,

상기 장치에서 광을 투영하는 단계를 포함하고,

상기 장치는 격자 구조가 내부에 존재하는 격자 매체를 포함하고,

상기 광은 제1 입사광을 포함하고, 상기 제1 입사광은 특정 부위에서 상기 격자 매체 상에 입사되고 제1 파장 및 격자 매체 표면 법선에 대한 제1 내부 입사각을 갖고,

상기 제1 입사광은 상기 격자 구조의 제1 격자에 의해 제1 반사된 광으로서 주로 반사되고, 상기 제1 반사된 광은 상기 제1 파장 및 상기 표면 법선에 대한 제1 내부 반사각을 갖고,

상기 제1 입사광 및 상기 제1 반사된 광은 상기 표면 법선에 대한 제1 반사 축 각도를 갖는 제1 반사 축에 의해 이등분되고,

상기 광은 제2 입사광을 추가로 포함하고, 상기 제2 입사광은 상기 특정 부위에서 상기 격자 매체 상에 입사되고 제2 파장 및 상기 표면 법선에 대한 제2 내부 입사각을 갖고,

상기 제2 입사광은 상기 격자 구조의 제2 격자에 의해 제2 반사된 광으로서 주로 반사되고, 상기 제2 반사된 광은 상기 제2 파장 및 상기 표면 법선에 대한 제2 내부 반사각을 갖고,

상기 제2 입사광 및 상기 제2 반사된 광은 상기 표면 법선에 대한 제2 반사 축 각도를 갖는 제2 반사 축에 의해 이등분되고,

상기 제1 내부 입사각은 상기 제2 내부 입사각과 동일하고,

상기 제1 반사 축 각도는 상기 표면 법선과 상이하고,

상기 제1 파장은 상기 제2 파장과 상이한, 방법.

청구항 19

제18항에 있어서, 상기 제1 반사 축 각도는 상기 제2 반사 축과 0.25도 이하로 상이한, 방법.

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

발명의 설명

기술 분야

삭제

배경 기술

[0003] 종래의 유전체 미러는, 유전율(electric permittivity)이 서로 상이한 재료들의 층들로 표면(전형적으로 유리)을 코팅함으로써 제조된다. 재료들의 층들은 전형적으로, 층 경계들로부터의 프레넬 반사들이 구조적으로 보강되어 큰 순 반사율(net reflectivity)을 생성하도록 배열된다. 이러한 조건이 비교적 넓은 특정 범위의 파장들 및 입사각들에 걸쳐 획득되는 것을 보장함으로써 광대역 유전체 미러들이 설계될 수 있다. 그러나, 층들이 표면 상에 침착되기 때문에, 유전체 미러의 반사 축은 반드시 표면 법선과 일치해야 하는데, 즉, 반사 축은 미러 표면에 수직이다. 반사 축에 대한 이러한 제약조건 때문에, 유전체 미러가 일부 목적에 전적으로 부적절하다. 또한, 유리 유전체 미러들은 비교적 무거운 경향이 있어, 그들이 비교적 경량의 반사형 컴포넌트를 요구하는 응용들에 부적당(suboptimal)하거나 또는 부적절하게 한다.

[0004] 역으로, 종래의 격자(grating) 구조들은, 격자 구조가 존재하는 매체의 표면 법선과는 상이한 반사 축에 대해 광을 반사시킬 수 있다. 그러나, 주어진 입사각에 대해, 종래의 격자 구조들에 대한 반사각들은 전형적으로 입사광의 파장에 따라 함께 변한다. 그에 따라서, 종래의 격자 구조를 사용하여 광을 반사시키는 것은, 반사 축들이 표면 법선과 일치해야 하는 유전체 미러들에 고유한 제약조건을 피한다. 그러나, 일정한 반사 축이 요구되는 경우, 종래의 격자 구조는 전형적으로 주어진 입사각에 대해 단일 파장 또는 매우 좁은 범위의 파장들로 제한된다. 유사하게, 종래의 격자 구조는 일정한 반사 축에 대해 특정 파장의 광을 반사시키기 위해 단일 입사각 또는 매우 좁은 범위의 입사각들로 제한된다. 따라서, 종래의 격자 구조는 임의의 상당한 범위의 파장들 또는 각도들의 입사광에 걸쳐 일정한 반사 축을 갖지 않는다.

[0005] 따라서, 주어진 입사각에 대한 그 반사각이 다수의 파장들에서 실질적으로 일정하고, 표면 법선으로 제약되지 않는 반사 축에 대해 광을 반사시키는 비교적 단순한 디바이스에 대한 요건들은, 반사형 격자 구조들 또는 유전체 미러들 중 어느 하나를 포함하는 현재 입수가 가능한 반사형 디바이스들에 의해 충족되지 않는다. 그러므로, 그러한 반사형 디바이스에 대한 필요성이 존재하고, 그러한 필요성은 헤드 마운트 디스플레이 디바이스들에서 극심할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0006] 당업자는, 도면들이 주로 예시 목적을 위한 것이고 본 명세서에 기술되는 본 발명의 주제의 범주를 제한하는 것으로 의도되지 않는다는 것을 이해할 것이다. 도면은 반드시 축척대로 도시되지는 않고; 일부 경우에, 본 명세서에 개시되는 본 발명의 주제의 다양한 태양들은, 상이한 특징들의 이해를 용이하게 하기 위해 도면들에서 과장되거나 또는 확대되어 도시될 수 있다. 도면들에서, 유사한 도면 부호들은 일반적으로 유사한 특징부들(예컨대, 기능적으로 유사하고/하거나 구조적으로 유사한 요소들)을 지칭한다.

도 1a는 격자 매체에 기록된 홀로그램의 단면도이다.

도 1b는 단일 정현파 홀로그램의 k-공간 표현의 단면도이다.

도 2a는 단일 정현파 홀로그램의 k-공간 표현의 단면도이다.

도 2b는 단일 정현파 홀로그램의 k-공간 표현의 단면도이다.

도 3은 실시예에 따른, 실제 공간에서 스큐 미러(skew mirror)의 반사 특성들을 예시하는 실공간 단면도이다.

- 도 4a는 실시예에 따른 스큐 미러의 k-공간 표현의 단면도이다.
- 도 4b는 실시예에 따른 스큐 미러의 k-공간 표현의 단면도이다.
- 도 5a는 실시예에 따른 스큐 미러의 k-공간 표현의 단면도이다.
- 도 5b는 실시예에 따른 스큐 미러의 k-공간 표현의 단면도이다.
- 도 6a는 실시예에 따른 스큐 미러의 반사 특성들을 예시하는 단면도이다.
- 도 6b는 실시예에 따른 스큐 미러의 k-공간 표현의 단면도이다.
- 도 6c는 실시예에 따른 스큐 미러의 k-공간 표현의 단면도이다.
- 도 6d는 실시예에 따른 스큐 미러의 k-공간 표현의 단면도이다.
- 도 7a는 실시예에 따른 스큐 미러의 k-공간 표현의 단면도이다.
- 도 7b는 실시예에 따른 스큐 미러의 k-공간 표현의 단면도이다.
- 도 8a는 실시예에 따른 스큐 미러의 반사 특성들을 예시하는 단면도이다.
- 도 8b는 실시예에 따른 스큐 미러의 반사 특성들을 예시하는 단면도이다.
- 도 8c는 실시예에 따른 스큐 미러의 반사 특성들을 예시하는 단면도이다.
- 도 9a는 실시예에 따른 스큐 미러의 반사 특성들을 예시하는 단면도이다.
- 도 9b는 실시예에 따른 스큐 미러의 반사 특성들을 예시하는 단면도이다.
- 도 10a는 실시예에 따른 스큐 미러의 k-공간 표현의 단면도이다.
- 도 10b는 실시예에 따른 스큐 미러의 반사 특성들을 예시하는 단면도이다.
- 도 11a는 실시예에 따른 스큐 미러의 반사 특성들을 예시하는 단면도이다.
- 도 11b는 실시예에 따른 스큐 미러의 반사 특성들을 예시하는 단면도이다.
- 도 12a는 실시예에 따른 스큐 미러의 반사 특성들을 예시하는 단면도이다.
- 도 12b는 실시예에 따른 스큐 미러의 반사 특성들을 예시하는 단면도이다.
- 도 13은 실시예에 따른, 스큐 미러를 제조하기 위한 시스템의 단면도이다.
- 도 14는 실시예에 따른, 스큐 미러를 제조하는 방법을 예시하는 단면도이다.
- 도 15는 실시예에 따른 스큐 미러의 반사 특성들을 예시하는 평면도이다.
- 도 16a는 실시예에 따른, 스큐 미러를 제조하기 위한 시스템을 예시하는 단면도이다.
- 도 16b는 실시예에 따른, 스큐 미러를 제조하기 위한 시스템을 예시하는 단면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0007] 본 발명의 실시예들은, 체적 홀로그램 또는 다른 격자 구조가 내부에 존재하는 격자 매체를 포함하는 반사형 디바이스를 포함한다. 격자 매체는, 그 내부에 존재하는 격자 구조에 의하여, 그것이 반사 축으로 지칭되는 축에 대해 광을 회절시키게 하는 물리적 특성들을 갖고, 회절각(이후로, 반사각으로 지칭됨)은 주어진 입사각에서 격자 매체 상에 입사되는 광의 다수의 파장들에 대해 1° 미만으로 변한다. 일부 실시예들에서, 상기 현상은 다수의 입사각들에 대해 관찰된다.
- [0008] 유사하게, 실시예들은 전형적으로 주어진 파장의 입사광에 대한 입사각들의 범위를 가로질러 실질적으로 일정한 반사 축들을 갖고(즉, 반사 축들은 1.0° 미만으로 변하는 반사 축 각도들을 가짐), 이러한 현상은 다양한 파장들의 입사광에서 관찰될 수 있다. 일부 실시예들에서, 반사 축들은 다수의 입사각들의 세트 및 다수의 파장들의 세트의 모든 조합에 대해 실질적으로 일정하게 유지된다.
- [0009] 일부 실시예들에서, 격자 구조는 기록 빔들로 지칭되는 다수의 광 빔들 사이의 간섭에 의해 생성되는 홀로그램을 포함한다. 전형적으로, 격자 구조는 다수의 홀로그램들을 포함하지만, 반드시 그러한 것은 아니다. 다수의

홀로그램들은, 다수의 홀로그램들 사이에서 변하는 각도들(즉, 멀티플렉싱된 각도)로 격자 매체 상에 입사되는 기록 빔들을 사용하여 그리고/또는 다수의 홀로그램들 사이에서 변하는 파장들(즉, 멀티플렉싱된 파장)을 가진 기록 빔들을 사용하여 기록될 수 있다. 일부 실시예들에서, 격자 구조는, 홀로그램이 기록되고 있는 동안 격자 매체 상의 그 입사각들이 변하고/하거나, 홀로그램이 기록되고 있는 동안 그 파장들이 변하는 2개의 기록 빔들을 사용하여 기록되는 홀로그램을 포함한다. 실시예들은, 반사 축이 격자 매체의 표면 법선과 적어도 1.0도만큼; 또는 적어도 2.0도만큼; 또는 적어도 4.0도만큼; 또는 적어도 9.0도만큼 상이한 디바이스를 추가로 포함한다.

[0010] 홀로그래피에 대한 k-공간 형식론

[0011] k-공간 형식론은 홀로그래피 기록 및 회절을 분석하기 위한 방법이다. k-공간에서, 전파하는 광파들 및 홀로그램들은, 실제 공간에서의 그들의 분포들의 3차원 푸리에 변환들에 의해 표현된다. 예를 들어, 무한 시준된 단색 참조 빔이 실제 공간 및 k-공간에서 수학식(1)에 의해 표현될 수 있고,

$$E_r(\vec{r}) = A_r \exp(i \vec{k}_r \cdot \vec{r}) \xrightarrow{\mathcal{F}} E_r(\vec{k}) = A_r \delta(\vec{k} - \vec{k}_r), \quad (1)$$

[0013] 여기서 $E_r(\vec{r})$ 는 모든 $\vec{r} = \{x, y, z\}$ 3D 공간 벡터 위치들에서의 광학 스칼라(scalar) 필드 분포이고, 그 변형 $E_r(\vec{k})$ 는 모든 $\vec{k} = \{k_x, k_y, k_z\}$ 3D 공간 주파수 벡터들에서의 광학 스칼라 필드 분포이다. A_r 은 필드의 스칼라 복소 진폭이고; \vec{k}_r 는, 그 길이가 광파들의 공간 주파수를 나타내고 그 방향이 전파 방향을 나타내는 파수 벡터(wave vector)이다. 일부 실시예들에서, 모든 빔들은 동일한 파장의 광으로 구성되고, 따라서 모든 광학 파수 벡터들은 동일한 길이를 가져야 하는데, 즉, $|\vec{k}_r| = k_n$. 따라서, 모든 광학 전파 벡터들은 반경 $k_n = 2\pi n_0 / \lambda$ 의 구(sphere) 상에 놓여야 하는데, 여기서 n_0 는 홀로그램의 평균 굴절률("벌크 굴절률")이고, λ 는 광의 진공 파장이다. 이 구조가 k-구(k-sphere)로서 공지되어 있다. 다른 실시예들에서, 다수의 파장들의 광은, 상이한 k-구들 상에 놓이는, 상이한 길이들의 파수 벡터들의 중첩으로 분해될 수 있다.

[0014] 다른 중요한 k-공간 분포는 홀로그램들 자체의 그것이다. 체적 위상 홀로그램들은 통상 격자 매체 내의 굴절률의 공간적 변경들로 이루어진다. 전형적으로 $\Delta n(\vec{r})$ 로 나타내는 굴절률 공간적 변경들은, 굴절률 변조 패턴들로 지칭될 수 있는데, 이들의 k-공간 분포들은 전형적으로 $\Delta n(\vec{k})$ 로 나타낸다. 제1 기록 빔과 제2 기록 빔 사이의 간섭에 의해 생성되는 굴절률 변조 패턴은, 수학식(2)에 나타낸 바와 같이, 기록 간섭 패턴의 공간적 세기에 전형적으로 비례하고,

$$\Delta n(\vec{r}) \propto |E_1(\vec{r}) + E_2(\vec{r})|^2 = |E_1(\vec{r})|^2 + |E_2(\vec{r})|^2 + E_1^*(\vec{r})E_2(\vec{r}) + E_1(\vec{r})E_2^*(\vec{r}), \quad (2)$$

[0016] 여기서 $E_1(\vec{r})$ 는 신호 제1 기록 빔 필드의 공간적 분포이고, $E_2(\vec{r})$ 는 제2 기록 빔 필드의 공간적 분포이다.

단항 연산자 $*$ 는 복소 켤레(complex conjugation)를 나타낸다. 수학식(2)에서의 최종 항 $E_1(\vec{r})E_2^*(\vec{r})$ 는 입사되는 제2 기록 빔을 회절된 제1 기록 빔에 맵핑시킨다. 따라서, 우리는 수학식(3)을 쓸 수 있고,

$$E_1(\vec{r})E_2^*(\vec{r}) \xrightarrow{\mathcal{F}} E_1(\vec{k}) \otimes E_2(\vec{k}), \quad (3)$$

[0018] 여기서 \otimes 는 3D 교차 상관(cross correlation) 연산자이다. 즉, 공간 도메인에서의 하나의 광학 필드와 다른 광학 필드의 복소 켤레의 곱(product)은 주파수 도메인에서의 그들 각각의 푸리에 변환의 교차 상관이 된다.

[0019] 도 1a는 제2 기록 빔(115) 및 제1 기록 빔(114)을 사용하여 격자 매체(110)에 홀로그램(105)을 기록하는 실제 공간 표현을 예시한다. 격자 매체는 전형적으로 간섭 패턴들을 홀로그램들로서 기록하도록 구성되는 기록 층을 포함한다. 도 1a는 기록 층 이외의 격자 매체 컴포넌트들, 예컨대 기록 층에 대한 기판 또는 보호 층으로서의

역할을 할 수 있는 추가 층을 생략한다. 제2 기록 빔(115) 및 제1 기록 빔(114)은 반대 방향으로 전파하고 있다. 제2 기록 빔(115) 및 제1 기록 빔(114) 각각은 전형적으로 서로 동일한 파장을 갖는 평면파 빔들이고, 제1 기록 빔(114)은 전형적으로 어떠한 인코딩된 정보도 포함하지 않으며, 이는 제2 기록 빔에도 또한 존재하지 않는다. 따라서, 신호 빔 및 참조 빔으로 지칭될 수 있는 제1 및 제2 기록 빔들은 전형적으로, 그들이 기록 매체(110) 상에 입사되는 각도들 이외에는 서로 실질적으로 동일하다.

[0020] 도 1b는 제1 및 제2 기록 빔들, 및 홀로그래프의 k-공간 표현을 예시한다. 도 1a 및 도 1b에 예시된 홀로그래프는, 기록 매체(110)에 기록되고, 반대 방향으로 전파하는 제1 기록 빔(114) 및 제2 기록 빔(115)에 의해 생성되는 단순한 브래그(Bragg) 반사 홀로그래프이다. 도 1a는 제2 기록 빔(115) 및 제1 기록 빔(114)이 격자 매체(110)의 반대편 측부들에 충돌하는 것을 도시한다. 제2 기록 빔(115) 및 제1 기록 빔(114) 각각에 대한 모든 $\vec{r} = \{x, y, z\}$ 3D 공간 벡터 위치들에서의 광학 스칼라 필드 분포들은 각각 $E_2(\vec{r})$ 및 $E_1(\vec{r})$ 로서 표현될 수 있다. 기록 빔들(114, 115)은, 격자 매체(110) 내에 홀로그래프(105)으로서 기록되는 평면 간섭 프린지(fringe)들을 형성한다. 홀로그래프(105)은 정현파 굴절률 변조 패턴을 포함하고, $\Delta n(\vec{r})$ 로서 표현될 수 있다. 반대 방향으로 전파하는 구성에서, 기록된 평면 간섭 프린지들은, 홀로그래프를 기록하는 데 사용되는 광의 (내부) 파장의 그것의 정확히 절반인 간격을 갖는다.

[0021] 도 1b는 도 1a에 의해 실제 공간에 예시된 상황의 k-공간 표현을 도시한다. 기록 빔들은, 기록 k-구(170)의 반대편 측부들 상에 놓이는 포인트형(point-like) k-공간 분포들에 의해 도 1b에 표현되어 있다. 도 1b에 예시된 바와 같이, 제2 기록 빔은 k-공간 분포(162)를 갖고, 제1 기록 빔은 k-공간 분포(163)를 갖는다. 제2 기록 빔 k-공간 분포(162)는 $E_2(\vec{k})$ 로서 표현될 수 있고, 제1 기록 빔 k-공간 분포(163)는 $E_1(\vec{k})$ 로서 표현될 수 있다. 제2 기록 빔 k-공간 분포(162) 및 제1 기록 빔 k-공간 분포(163) 각각은 "포인트형"이다. 제2 기록 빔 파수 벡터(164) 및 제1 기록 빔 파수 벡터(165)는 각각 원점으로부터 제2 기록 빔 k-공간 분포(162) 및 제1 기록 빔 k-공간 분포(163)로 연장되는 것으로 도시되어 있다. 제2 기록 빔 파수 벡터(164)는 $E_2(\vec{k})$ 로서 표현될 수 있고, 제1 기록 빔 파수 벡터(165)는 $E_1(\vec{k})$ 로서 표현될 수 있다. 홀로그래프 자체는 2개의 켈레 측파대(sideband) k-공간 분포들(168)에 의해 도 1b에 표현되어 있는데, 이들 각각은 $\Delta n(\vec{k})$ 로서 표현될 수 있고 $\Delta n(\vec{k})$ k-공간 분포로 지칭될 수 있다. 2개의 $\Delta n(\vec{k})$ k-공간 분포들(168)은 작은 유한 크기를 갖지만, 그들이 전형적으로 도 1b의 다른 특징부들, 또는 그들의 원점까지의 거리보다 몇 자릿수 더 작다는 의미에서 "포인트형"이다. 예를 들어, 격자 매체(110)의 두께가 굴절률 1.5에서 200 μ 이고 기록 빔들이 532 nm의 파장을 갖는 경우, 분포들(168)은 각각 미터당 3.14×10^4 라디안(rad/m)의 널 대 널(null-to-null) 크기를 갖는 k_z 치수를 따른 싱크 함수(sinc function)와 유사하다. 그러나, 그들의 원점으로부터의 거리가 3.56×10^7 rad/m인데, 이는 1000배나 더 크다. 달리 특정되지 않는 한, 모든 인용된 파장들은 진공 파장들을 지칭한다.

[0022] 전형적으로, 홀로그래프는 실제 공간에서 실수 값인 굴절률 분포를 구성한다. 홀로그래프의 2개의 $\Delta n(\vec{k})$ k-공간 분포들(168)의 위치들은 각각 교차 상관 연산들 $E_2(\vec{k}) \otimes E_1(\vec{k})$ 및 $E_1(\vec{k}) \otimes E_2(\vec{k})$ 로부터 수학적으로, 또는 벡터 차들 $\vec{K}_{G+} = \vec{k}_1 - \vec{k}_2$ 및 $\vec{K}_{G-} = \vec{k}_2 - \vec{k}_1$ 로부터 기하학적으로 결정될 수 있는데, 여기서 \vec{K}_{G+} 및 \vec{K}_{G-} 는 각각의 홀로그래프 $\Delta n(\vec{k})$ k-공간 분포들로부터 원점까지의 격자 벡터들(개별적으로 도시하지 않음)이다. \vec{K}_{G+} 및 \vec{K}_{G-} 격자 벡터들 둘 모두를 포함하는, \vec{K}_G 로서 표현될 수 있는 격자 벡터(169)가, 제2 기록 빔 k-공간 분포(162)와 제1 기록 빔 k-공간 분포(163) 사이에서 연장되는 이중 화살표(169)로서 도 1b에 도시되어 있다. 관례상, 파수 벡터들은 소문자 "k"에 의해 표현되고, 격자 벡터들은 대문자 "K"에 의해 표현된다는 것에 유의한다.

[0023] 일단 기록되면, 홀로그래프는 회절된 빔을 생성하기 위해 프로브 빔에 의해 조명될 수 있다. 본 발명의 목적을 위해, 회절된 빔은 프로브 빔의 반사로 간주될 수 있는데, 이는 입사광 빔으로 지칭될 수 있다. 프로브 빔 및 그의 반사된 빔은 반사 측에 의해 각도적으로 이등분된다(즉, 반사 측에 대한 프로브 빔의 입사각은 반사 측에 대한 반사된 빔의 반사각과 동일한 크기를 갖는다). 회절 프로세스는 기록 프로세스의 그것들과 유사하게 k-공

간에서의 수학적 및 기하학적 연산들의 세트에 의해 표현될 수 있다. 약한 회절 한계에서, 회절된 빔의 회절된 광 분포는 수학적(4)에 의해 주어지고,

$$E_d(\vec{k}) \propto \Delta n(\vec{k}) * E_p(\vec{k}) \Big|_{|\vec{k}|=k_n}, \quad (4)$$

여기서 $E_d(\vec{k})$ 및 $E_p(\vec{k})$ 는 각각 회절된 빔 및 프로브 빔의 k-공간 분포들이고; "*"는 3D 컨벌루션(convolution)

연산자이다. 표기법 " $\Big|_{|\vec{k}|=k_n}$ "는, 전술한 수학적식, $|\vec{k}|=k_n$, 즉, 결과가 k-구 상에 놓이는 경우에만 평가됨을 나

타낸다. 컨벌루션 $\Delta n(\vec{k}) * E_p(\vec{k})$ 는 편광 밀도 분포를 나타내고, 프로브 빔에 의해 유도된 격자 매체의 비균 질 전기 쌍극자 모멘트들의 거시적인 합계 $E_p(\vec{k})$ 에 비례한다.

전형적으로, 프로브 빔이 기록용으로 사용되는 기록 빔들 중 하나의 기록 빔과 유사할 때, 컨벌루션의 효과는 기록 동안 교차 상관을 반전시키는 것이고, 회절된 빔은 홀로그래프를 기록하는 데 사용되는 다른 기록 빔과 실질 적으로 유사할 것이다. 프로브 빔이 기록용으로 사용되는 기록 빔들과는 상이한 k-공간 분포를 가질 때, 홀로 그램은 홀로그래프를 기록하는 데 사용되는 빔들과는 실질적으로 상이한 회절된 빔을 생성할 수 있다. 또한, 기 록 빔들은 전형적으로 상호 간섭성(mutually coherent)이지만, 프로브 빔(및 회절된 빔)은 그렇게 제약되지 않 는다는 것에 유의한다. 다파장 프로브 빔은, 각각이 상이한 k-구 반경으로 수학적(4)을 따르는, 단일-파장 빔 들의 중첩으로서 분석될 수 있다.

도 2a 및 도 2b는, 도 1a 및 도 1b에 도시된 홀로그래프를 조명함으로써 생성되는, 브래그-매칭된 재구성 및 브래 그-미스매칭된 재구성의 경우들을 각각 예시한다. 브래그-매칭된 경우 및 브래그-미스매칭된 경우 둘 모두에서, 홀로그래프는, 홀로그래프를 기록하는 데 사용되는 기록 빔들보다 더 짧은 파장을 갖는 프로브 빔으로 조 명된다. 보다 짧은 파장은 보다 긴 파수 벡터에 대응한다. 따라서, 프로브 k-구(172)는 기록 k-구(170)의 반 경보다 더 큰 반경을 갖는다. 프로브 k-구(172) 및 기록 k-구(170) 둘 모두가 도 2a 및 도 2b에 나타나 있다.

도 2a는, 프로브 빔이, 포인트형이고 프로브 빔 k-구(172) 상에 놓이는 회절된 빔 k-공간 분포(175)($E_d(\vec{k})$ 로서 표현됨)를 생성하도록 설계되는 경우를 도시한다. 회절된 빔 k-공간 분포(175)는 수학적 (4)의 컨벌루션에 따 라 생성된다. 프로브 빔은, 또한 포인트형인 k-공간 분포(176)($E_p(\vec{k})$ 로서 표현됨)를 갖는다. 이 경우에, 프 로브 빔 파장이, 홀로그래프를 기록하는 데 사용되는 기록 빔들의 파장과 상이하더라도, 프로브 빔은 홀로그래프에 "브래그-매칭"되는 것으로 칭해지고, 홀로그래프는 현저한 회절을 생성할 수 있다. 도 2a에 도시된 바와 같이,

컨벌루션 연산은 또한 벡터 합 $\vec{k}_d = \vec{k}_p + \vec{K}_{G+}$ 에 의해 기하학적으로 표현될 수 있는데, 여기서 \vec{k}_d 는 회절된 빔 파수 벡터(177)를 나타내고, \vec{k}_p 는 프로브 빔 파수 벡터(178)를 나타내고, \vec{K}_{G+} 는 측파대 격자 벡터(179)를 나타낸다.

도 2a는 홀로그래프에 의한 프로브 빔의 미러형(mirror-like) 회절(이는 반사로 지칭될 수 있음)의 k-공간 표현을 도시하는데, 여기서 k_z 축과 관련한 프로브 빔 입사각은 k_z 축과 관련한 회절된 빔 반사각과 동일하다. 도 2b는

브래그-미스매칭된 경우의 k-공간 표현을 도시하고, $\Delta n(\vec{k}) * E_p(\vec{k})$ 로서 표현될 수 있는 k-공간 편광 밀도 분 포(180)는 프로브 k-구(172) 상에 놓이지 않고, 따라서 프로브 빔의 현저한 회절이 발생하지 않는다. 도 2b에 예시된 브래그-미스매칭된 경우의 이러한 회절되지 않은 k-공간 분포(180)는 도 2a에 예시된 브래그-매칭된 경 우의 회절된 빔 k-공간 분포(175)와 다소 유사하지만, k-공간 분포(180)는, 프로브 빔의 현저한 회절이 발생하 지 않기 때문에 회절된 빔 k-공간 분포로 지칭되지 않아야 한다.

브래그-매칭된 경우와 브래그-미스매칭된 경우를 비교하면, 홀로그래프는, 생성한다고 하더라도, 주어진 프로브 파장에 대한 매우 작은 범위의 입력 각도들에 걸친 미러형 회절만을 생성할 것이라는 것이 분명하다. 당업자들 은, 이러한 범위가, 홀로그래프를 파변조함으로써, 또는 매우 얇은 기록 층을 사용함으로써 다소 연장될 수 있지

만; 이러한 단계들이 여전히 보다 넓은 범위의 파장들 및 각도들에 걸쳐 미리형 거동으로 이어질 수는 없다는 것을 인식할 것이다. 이러한 단계들은 또한 바람직하지 않은 색채 분산으로 이어질 수 있다.

[0031] **k-공간에서의 스큐 미러 실시예**

[0032] 도 1a, 도 1b, 도 2a 및 도 2b는 단일 정현파 격자(sinusoidal grating)에 의해 구성되는 반사 홀로그래프를 나타낸다. 예시된 바와 같이, 이러한 홀로그래프는 좁은 대역의 파장들 및 입사각들에서 미리형 반사율을 나타낸다. 그러한 홀로그래프의 특정 특성들은 코겔닉(Kogelnik)의 주지된 결합과 이론의 적용에 의해 결정될 수 있다. 역으로, 본 발명의 실시예들은, 다수의 격자들을 포함하는 보다 복잡한 격자 구조를 생성함으로써 비교적 넓은 범위의 파장들 및 각도들을 가로질러 신규한 미리형 반사율을 나타낸다.

[0033] 도 3은 단일 정현파 격자의 브래그 선택도를 예시하는 기하형상을 도시한다. 격자 매체(310)는, 단일 파장 λ_0 의 입사광(324)을, 주 반사된 광(327)으로서 반사시키는 두께 d 의 단일 정현파 격자를 포함한다. 브래그-매칭된 조건에서, 입사광(324)은 각도 θ_i 에서 충돌하고, 각도 θ_r 에서 반사된 광(327)으로서 반사되는데, 두 각도들 모두는 z 축과 관련하여 측정되었다. 입사광(324) 및 반사된 광(327)은 또한 반사 축(338)을 정의하는데, 이 반사 축에 대한 입사각 크기 θ_i' 및 반사각 크기 θ_r' 는 동일하다. 따라서, 반사 축(338)은 입사광(324) 및 반사된 광(327)의 각도 이등분선이다.

[0034] 당업자에게 공지되어 있는 바와 같이, 도 3의 정현파 격자는 각도 및 파장 브래그 선택도 둘 모두를 나타낼 것이다. 입사광(324)이 브래그-매칭된 각도가 아닌 각도 $\theta_i + \Delta\theta_B$ 에서 충돌하는 경우, 회절 효율은 브래그-매칭된 회절 효율과 비교하여 감소될 수 있다. 정현파 격자의 선택도는, 수학식(5)에 의해 주어지는 그의 각도 브래그 선택도 $\Delta\theta_B$ 에 의해 특징지어질 수 있다:

$$\Delta\theta_B = \frac{\lambda \cos \theta_r}{n_0 d \sin(\theta_i - \theta_r)}. \quad (5)$$

[0035]

[0036] 당업자들은, 약하게 회절하는 정현파 격자에서, 각도 $\theta_i + \Delta\theta_B$ 가 각도 회절 효율 플롯에서의 제1 널을 나타냄을 인식할 것이다. 따라서, 양 $\Delta\theta_B$ 는, 입사각이 브래그-매칭된 각도 θ_i 로부터 $\Delta\theta_B$ 의 몇몇 배보다 더 많이 벗어날 때 회절이 크게 감소될 수 있다는 점에서 정현파 격자의 각도 폭을 나타내는 것으로 칭해질 수 있다. 유사하게, 약하게 회절하는 정현파 격자의 경우, 당업자는 그 입사각이 $\Delta\theta_B$ 의 몇몇 배보다 더 많이 변하는 단색 입사광에 대해 반사 축이 상당히 변할 것으로 예상할 것이다.

[0037] 역으로, 본 발명에 따른 스큐 미러들은, 그 입사각이 $\Delta\theta_B$ 의 여러 배로 변하는 입사광에 대해 비교적 안정적인 회절 및 실질적으로 일정한 반사 축들을 나타낸다. 일부 스큐 미러 실시예들은 $20 \times \Delta\theta_B$ 의 입사광 입사각들의 범위를 가로질러 실질적으로 일정한 반사 축들을 나타낸다. 실시예들에서, $20 \times \Delta\theta_B$ 의 입사광 입사각들의 범위를 가로지르는 반사 축 각도들은 0.250도 미만만큼; 또는 0.10도 미만만큼; 또는 0.025도 미만만큼 변화한다.

[0038] 유사하게, 정현파 격자는, 수학식(6)에 의해 주어지는 그의 파장 브래그 선택도 $\Delta\lambda_B$ 에 의해 특징지어질 수 있다:

$$\Delta\lambda_B = \frac{\lambda_0^2 \cos \theta_r}{2n_0^2 d \sin^2(\theta_i - \theta_r)}. \quad (6)$$

[0039]

[0040] 당업자들은, 약하게 회절하는 정현파 격자에서, 파장 $\lambda_0 + \Delta\lambda_B$ 가 파장 회절 효율 플롯에서의 제1 널을 나타냄을 인식할 것이다. 따라서, 양 $\Delta\lambda_B$ 는, 입사 파장이 브래그-매칭된 파장 λ_0 으로부터 $\Delta\lambda_B$ 의 몇몇 배보다 더 많이 벗어날 때 어떠한 현저한 회절도 발생하지 않을 것이라는 점에서 정현파 격자의 파장 폭을 나타내는 것으로 칭해질 수 있다. 당업자들은 또한, 수학식(5) 및 수학식(6)이 각각 각도만의 변화 및 파장만의 변화에 적용되고 각도 및 파장 둘 모두를 동시에 변경하는 것이 다른 브래그-매칭된 조건을 초래할 수 있다는 것을 인식할 것

이다.

- [0041] 격자는 또한 그의 회절된 각도 응답에 의해 특징지어질 수 있다. 정현과 격자의 경우, 회절된 각도 응답은 수학적식(7)에 의해 표현될 수 있다:

$$\Delta\theta_r \cos\theta_r = -\Delta\theta_i \cos\theta_i. \quad (7)$$

[0042]

- [0043] 회절된 각도 응답은, 입사각의 작은 변화들 $\Delta\theta_i$ 에 응답하는, 반사각의 변화 $\Delta\theta_r$ 을 표현한다. 반대로, 실제 미러는 수학적식(8)에 의해 표현되는 각도 응답을 갖는다:

$$\Delta\theta_r = -\Delta\theta_i. \quad (8)$$

[0044]

- [0045] 수학적식(7)에 의해 실질적으로 특징지어지는 회절된 각도 응답을 갖는 디바이스는 격자형(grating-like) 반사 거동을 나타낸다고 칭해질 수 있는 반면, 수학적식(8)에 의해 실질적으로 특징지어지는 회절된 각도 응답을 갖는 디바이스는 미러형 반사 거동을 나타낸다고 칭해질 수 있다. 격자형 반사 거동을 나타내는 디바이스는 또한, 반사 축이 디바이스 표면에 수직이 아닌 한, 입사각에 따라 변하는 반사 축을 반드시 나타낼 것인데, 이 경우에 $\cos\theta_r = \cos\theta_i$ 이다. 따라서, 표면 법선으로 제약되지 않는 반사 축에 대해 광을 반사시키고 파장 브래그 선택도의 배수들에 걸쳐 있는 파장들에서 일정한 각도 브래그 선택도의 배수들에 걸쳐 있는 입사각들에 대한 반사각을 갖는 비교적 단순한 디바이스에 대한 요건들이, 단일 정현과 격자에 의해 충족되지 않을 수 있다.

- [0046] 도 3은 반사형 구성의 디바이스 기하형상을 예시한다. 당업자들은, 전술한 분석이 또한 투과형 구성들의 디바이스 기하형상들, 및 하나 또는 둘 모두의 빔들이 디바이스 내의 내부 전반사에 의해 안내되는 디바이스 기하형상들에도 적용된다는 것을 인식할 것이다.

- [0047] 도 4a 및 도 4b는 실시예에 따른 k-공간에서의 스큐 미러의 동작을 예시한다. 도 4a는, 실시예에 따른 다파장 미러형 회절을 생성하도록 구성되고 격자 매체에 기록된 홀로그램에 대한 2개의 $\Delta n(\vec{k})$ k-공간 분포들(488)을 도시한다. 도 4a 및 도 4b의 적색 k-구(490), 녹색 k-구(492), 및 청색 k-구(493)는, 각각, 가시광 스펙트럼의 적색, 녹색, 및 청색 영역들에 존재하는 광의 파장들에 대응하는 k-구들을 나타낸다.

- [0048] 단일 정현과 격자를 구성하는 (그리고 그에 따라서 "포인트형"으로서 특징지어질 수 있는) 2개의 $\Delta n(\vec{k})$ k-공간 분포들 대신에, 도 4a에 도시된 $\Delta n(\vec{k})$ k-공간 분포들(488)은 k-공간에서 실질적으로 직선을 따라 위치되고, 그에 따라서 "라인 세그먼트형(line segment-like)"으로서 특징지어질 수 있다. 일부 실시예들에서, 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ k-공간 분포들은 k-공간에서의 실질적으로 직선의 연속 변조된 서브세그먼트들을 포함한다. 일부 실시예들에서, 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ k-공간 분포들은 실질적으로, k-공간에서의 실질적으로 직선을 따라 위치된 포인트형 분포들로 이루어진다. 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ k-공간 분포들(488)은 원점에 대해 대칭적으로 위치되고, 그에 따라서 실제 공간에서의 실수 값 굴절률 분포($\Delta n(\vec{r})$ 로서 표현됨)의 켈레 측파대들로서 실현될 수 있다. 일부 실시예들에서, 변조는 흡수형 및/또는 발광형 컴포넌트들을 포함할 수 있고, 그에 따라서 k-공간에서의 켈레 대칭을 나타내지 않을 수 있다. 분포의 복소 진폭은 균일할 수 있거나, 또는 그것은 본 발명의 실시예들에 따른 실질적으로 다파장 미러형 회절을 여전히 나타내면서 진폭 및/또는 위상이 다를 수 있다. 실시예에서, 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ k-공간 분포들은 실질적으로 k_z 축을 따라 위치되는데, 이는 관례상 격자 매체의 두께 방향이다.

- [0049] 도 4b는 홀로그램의 다파장 미러형 반사 특성을 예시한다. 포인트형 k-공간 분포(476)($E_p(\vec{k})$ 로서 표현됨)를 갖는 시준된 프로브 빔에 의한 홀로그램의 조명은, 수학적식(4)에 따른 k-공간 편광 밀도 분포(480)($\Delta n(\vec{k}) * E_p(\vec{k})$ 로서 표현됨)를 생성한다. 프로브 빔 k-공간 분포(476)가 포인트형이기 때문에, 편광 밀도 분포(480)는 원점으로부터 프로브 빔 파수 벡터(478)(\vec{k}_p)의 선단(tip)까지의 $\Delta n(\vec{k})$ k-공간 분포(488)의 단순한 병진과 유사하다.

이어서, 또한, 수학식(4)에 따르면, 프로브 빔 k -공간 분포(476)($E_p(\vec{k})$)의 k -구(492)와 교차하는 k -공간 편광 밀도 분포(480)($\Delta n(\vec{k}) * E_p(\vec{k})$)의 일부만이 회절에 기여한다. 이것은 회절된 빔을 구성하는 회절된 빔 k -공간 분포(475)($E_s(\vec{k})$)를 생성한다. $\Delta n(\vec{k})$ k -공간 분포(488)가 k_z 축에 평행한 라인 세그먼트와 유사하기 때문에, 반사각(482)(θ_r)의 크기가 입사각(481)(θ_i)의 크기와 실질적으로 동일하여서, 홀로그래피 미러형 거동을 나타내도록 된다는 것이 분명하다. 더욱이, 이러한 특성은 전형적으로, 어느 경우든 임의의 회절을 생성하는 임의의 입사각 및 파장에 대해, 그리고 회절을 생성하는 프로브 빔들의 임의의 중첩에 대해 유지된다는 것이 또한 분명하다. k -공간 편광 분포 $\Delta n(\vec{k}) * E_p(\vec{k})$ 는 k_x 축에 대해 (또는 3D인 경우에 k_x , k_y 평면에 대해) 미러-대칭을 갖는 단일 지점에서 프로브 k -구와 교차할 것이다. 따라서, 도 4a의 홀로그래피는 비교적 넓은 범위의 파장들 및 각도들에서 미러형 거동을 나타내도록 구성되고, 그에 따라 광대역 홀로그래픽 미러를 구성한다.

[0050] 실시예들은 전형적으로, 도 4a에 도시된 바와 같이, 원점 근처의 $\Delta n(\vec{k})$ k -공간 분포(488)에서의 갭을 나타내지 만, 반드시 그러한 것은 아니다. 갭의 존재는 매우 높은 $\Delta \theta$ (즉, 입사 및 반사 둘 모두의 지표각들)에서의 성능을 제한할 수 있다.

[0051] 실시예에 따르면, 스큐 미러 $\Delta n(\vec{k})$ k -공간 분포는 k_x , k_y , 및 k_z 축들과 관련하여 임의의 각도로 회전될 수 있다. 일부 실시예들에서, $\Delta n(\vec{k})$ k -공간 분포는 실제 공간에서 관련 반사 표면에 수직이 아니다. 다시 말하면, 스큐 미러 실시예의 반사 축은 표면 법선과 일치하도록 제약되지 않는다.

[0052] 도 5a 및 도 5b는 k -공간에서의 스큐 미러를 예시한다. 도 5a 및 도 5b는, 모든 분포들 및 벡터들이 원점에 대해 대략 45° 만큼 회전되었는 것 이외에는, 각각 도 4a 및 도 4b와 동일하다. 도 4b의 논의에 이어서, 도 5b의 스큐 미러가 또한 회절을 생성하는 모든 프로브 빔 파장들 및 각도들에 대해 미러형 회절을 생성한다는 것이 분명하다. 회절은 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ k -공간 분포(488)에 의해 정의되는 반사 축(461)과 관련하여 미러형이고, 즉, 반사 축(461)과 관련한 입사각(481) 크기는 반사 축(461)과 관련한 반사각(482) 크기와 동일하다. 도 5b는 하나의 그러한 경우를 예시한다.

[0053] 도 6a는 실제 공간에서의 스큐 미러의 동작을 예시한다. 스큐 미러(610)는, 스큐 미러 표면(612)에 수직인 z 축과 관련하여 측정된 각도 -13° 에서의 반사 축(638)에 의해 특징지어진다. 스큐 미러(610)는 z 축과 관련하여 측정된 내부 입사각 -26° 를 갖는 입사광(624)으로 조명된다. 주 반사된 광(627)이, z 축과 관련하여 측정된 내부 반사각 180° 로 반사된다.

[0054] 도 6b는 k -공간에서 도 6a의 스큐 미러(610)를 예시한다. 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ k -공간 분포(688)는 원점을 통과하고, 반사 축(638)의 그것과 동일하게, z 축과 관련하여 -13° 의 각도를 갖는다. 기록 k -구(670)는 405 nm의 기입 파장에 대응하는 k -구이다. 도 6b 및 도 6d의 적색 k -구(690), 녹색 k -구(692), 및 청색 k -구(693)는, 각각, 가시광 스펙트럼의 적색, 녹색, 및 청색 영역들에 존재하는 광의 파장들에 대응하는 k -구들을 나타낸다.

[0055] 도 6c는 실시예에 따른 기록 k -구(670)와 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ k -공간 분포(688) 사이의 좌측 교차점을 도시하는 도 6b의 고도로 확대된 부분을 예시한다. 이 도면에서, 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ k -공간 분포(688)는 다수의 이산 홀로그래프들을 포함하는 것으로 볼 수 있다. 다수의 이산 홀로그래프들(605) 각각은, k_z 방향에서의 홀로그래프의 제1 널 대 제1 널 간격을 디마킹(demarking)하는 수평선에 의해 표현된다. 일부 실시예들에서, 이산 홀로그래프들의 간격은 도 6c에 예시된 것보다 더 높거나 더 낮을 수 있다. 일부 실시예들에서, 간격은 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ k -공간 분포(688)에서의 갭들을 생성하도록 하기에 충분할 정도로 낮을 수 있다. 갭들을 갖는 일부 실시예들에서, 광대역 조명의 사용은 반사된 광에 대한 갭들의 임의의 효과를 실질적으로 가릴 수 있다. 일부 실시예들에서, 이러한 접근법은 순 회절 효율 증가를 야기할 수 있다. 다른 실시예들에서, 이산 홀로그래프들의 간격은 연속 분포에 근사하거나 그에 상당하도록 할 정도로 밀집할 수 있다.

- [0056] 도 6d는 k-공간에서의 도 6a의 스큐 미러에 의한 청색 입사광의 반사를 예시한다. 프로브 빔 파수 벡터(678)를 갖는 입사광이, z 축과 관련하여 측정된 -26° 의 내부 입사각으로 충돌한다. 프로브 빔 파수 벡터(678)의 선단은 청색 k-구(693) 상에 놓여서, 포인트형 프로브 빔 k-공간 분포(676)($E_p(\vec{k})$)의 위치를 나타낸다. 편광 밀도 분포(680)는 컨벌루션 $\Delta n(\vec{k}) * E_p(\vec{k})$ 에 의해 주어지는데, 이는 프로브 빔 파수 벡터(678)의 선단으로 병진되는 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ k-공간 분포(688)(도 6c에서 보여짐)와 유사하다. 회절된 빔 파수 벡터(677)를 갖는 주 반사된 광이, 청색 k-구(693)에서 편광 밀도 분포(680)를 평가함으로써 수학적(4)으로부터 결정된다. 회절된 빔 파수 벡터(677)를 갖는 주 반사된 광이, z 축과 관련하여 측정된 내부 전파 각도 180° 로 반사된다.
- [0057] 당업자들은, k-공간에서의 스큐 미러 특성들을 기술할 때 여기서 전형적으로 사용되는 용어 프로브 빔이, 실제 공간에서의 스큐 미러 반사 특성들을 기술할 때 여기서 전형적으로 사용되는 용어 입사광과 유사하다는 것을 인식할 것이다. 유사하게, k-공간에서의 스큐 미러 특성들을 기술할 때 여기서 전형적으로 사용되는 용어 회절된 빔은, 실제 공간에서의 스큐 미러 특성들을 기술할 때 여기서 전형적으로 사용되는 용어 주 반사된 광과 유사하다. 따라서, 실제 공간에서의 스큐 미러의 반사 특성들을 기술할 때, 입사광이 홀로그램(또는 다른 격자 구조)에 의해 주 반사된 광으로서 반사된다고 진술하는 것이 전형적이지만, 프로브 빔이 홀로그램에 의해 회절되어 회절된 빔을 생성한다고 진술하는 것은 본질적으로 동일한 것을 말한다. 유사하게, k-공간에서의 스큐 미러의 반사 특성들을 기술할 때, 프로브 빔이 홀로그램(또는 다른 격자 구조)에 의해 회절되어 회절된 빔을 생성한다고 진술하는 것이 전형적이지만, 입사광이 격자 구조에 의해 반사되어 주 반사된 광을 생성한다고 진술하는 것은 본 발명의 실시예들의 맥락에서 동일한 의미를 갖는다.
- [0058] 도 6d에 도시된 바와 같이, 프로브 빔 파수 벡터(678) 및 회절된 빔 파수 벡터(677)는 반드시, 라인 세그먼트형 편광 밀도 분포(680)를 밀변(base)으로서 갖는 실질적으로 이등변 삼각형의 변(leg)들을 형성한다. 이 삼각형의 등각들은 반드시 입사각(608) 및 반사각(609)과 합동인데, 둘 모두는 반사 축(638)과 관련하여 측정된 것이다. 따라서, 스큐 미러(610)는 반사 축(638)에 대해 실질적으로 미러형 방식으로 광을 반사시킨다.
- [0059] 도 6d의 이등변 삼각형 구조는 $\Delta n(\vec{k})$ k-공간 분포(688)가 도 6c에 도시된 바와 같이, 원점을 통과하는 라인의 세그먼트와 실질적으로 유사할 때마다 얻어진다. 따라서, 편광 밀도 분포(680)는 이등변 삼각형의 직선 밀변과 실질적으로 유사하여, 회절되는 임의의 길이의 임의의 입사되는 내부 파수 벡터들에 대해 반사 축(638)에 대한 미러형 반사로 이어진다. 일부 실시예들에서, 격자 매체의 분산은 스넬의 법칙(Snell's law)에 따라 외부 매체에서 상이한 방향으로 굴절하도록 동일한 방향이지만 상이한 길이들의 내부 파수 벡터들을 야기할 수 있다. 유사하게, 분산은 내부 격자 매체에서 상이한 방향으로 굴절하도록 동일한 방향 및 상이한 길이들의 외부 파수 벡터들을 야기할 수 있다. 따라서, 스큐 미러에서의 분산의 영향들을 최소화하는 것이 바람직한 경우, 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ k-공간 분포(688)에 곡선을 부여하거나, 또는
- [0060] 원점을 통과하는 라인으로부터 달리 벗어나는 것이 바람직할 수 있다. 그러한 접근법은 일부 메트릭에 따른 외부 굴절을 수반하는 반사들에서의 순 각도 분산을 감소시킬 수 있다. 유용한 격자 매체의 분산은 전형적으로 매우 낮기 때문에, 원점을 통과하는 직선으로부터의 편차는 작을 수 있다.
- [0061] 도 7a는 k-공간에서의 도 6a의 스큐 미러에 의한 녹색 입사광의 반사를 예시한다. 파수 벡터(778A)를 갖는 입사광이, z 축과 관련하여 측정된 내부 전파 각도 -35° 로 충돌한다. 파수 벡터(777A)를 갖는 주 반사된 광이, z 축과 관련하여 측정된 내부 전파 각도 -171° 로 반사된다. 입사각(708A) 및 반사각(709A)의 크기들은 둘 모두 반사 축(638)과 관련하여 측정된 22° 와 실질적으로 동일하여, 이에 따라 반사 축(638)에 대한 미러형 반사를 구성한다. 편광 밀도 분포(780A)가 또한 도 7a에 예시되어 있다.
- [0062] 도 7b는 k-공간에서의 도 10a의 스큐 미러에 의한 적색 입사광의 반사를 예시한다. 프로브 빔 파수 벡터(778B)를 갖는 입사광이, z 축과 관련하여 측정된 내부 전파 각도 -35° 로 충돌한다. 회절된 빔 파수 벡터(777B)를 갖는 주 반사된 광이, z 축과 관련하여 측정된 내부 전파 각도 -171° 로 반사된다. 입사각(708B) 및 반사각(709B)의 크기들은 둘 모두 반사 축(638)과 관련하여 측정된 22° 와 실질적으로 동일하여, 이에 따라 반사 축(638)에 대한 미러형 반사를 구성한다. 편광 밀도 분포(780B)가 또한 도 7b에 예시되어 있다.

- [0063] 도 7a 및 도 7b는, 스큐 미러의 무색 반사 특성을 예시하는, 동일한 입사각 및 반사각에서의 녹색 광 및 적색 광의 반사를 도시한다. 당업자들은, 도 6a 내지 도 6d 및 도 7a 및 도 7b의 기하학적 구조들이 구체적으로 예시되지 않은 각도들 및 파장들을 포함하는, 반사를 생성하는 모든 각도/파장 조합들에서 미러형 반사를 생성할 것임을 인식할 것이다.
- [0064] **스큐 미러 광학 특성들**
- [0065] 스큐 미러의 실시예들이 내부 전파 각도들과 관련하여 미러형 반사를 달성하여, 관련 경계들에서 스넬의 법칙을 사용하여 외부 각도들이 결정되어야 한다. 이 때문에, 스큐 미러는 외부 파면들에 수차들, 분산, 및/또는 필드 왜곡을 도입할 수 있다. 일부 실시예들에서, 수차들, 분산, 및/또는 필드 왜곡들은 보상 광학계들의 사용에 의해 완화될 수 있다. 일부 실시예들에서, 보상 광학계들은 대칭 관계의 다른 스큐 미러를 포함할 수 있다.
- [0066] 비교적 얇은 스큐 미러는 얇은 축 상으로의 빔의 투영에 비례하여, 반사된 빔에서의 낮아진 각도 분해능을 도입할 수 있다. 일부 경우에, 이러한 효과를 완화시키기 위해 기록 층의 두께를 증가시키는 것이 유리할 수 있다.
- [0067] **스큐 미러 반사율**
- [0068] 스큐 미러의 실시예들은 완전 또는 부분 반사형일 수 있다. 스큐 미러의 실시예들은 비교적 넓은 파장 대역폭 및 각도 범위에 걸쳐 높은 반사율을 달성하기 위해 비교적 높은 동적 범위의 기록 매체를 요구할 수 있다. 실시예에서, 405 nm에서의 105° 내지 650 nm에서의 20°에 이르기까지 걸쳐 있는 각도 범위를 갖는 스큐 미러는 200 μ m 기록 층에서의 183개의 개별 홀로그래프들을 요구할 수 있다. 이러한 구성은, 0.03의 최대 굴절률 변조를 갖는 최신의 감광성 기록 매체를 사용하여 대략 7.5%의 반사율을 갖는다. 일부 실시예들에서, 기록 매체 두께를 증가시키는 것은, 회절 선택도가 또한 두께에 따라 증가하기 때문에 증가된 반사율로 이어지지 않을 수 있다.
- [0069] **스큐 미러 응용**
- [0070] 진술한 설명은 내부 파장들 및 전파 각도들에 관한 것이지만, 하나의 경우에는 z 방향에서의 두께를 갖는 슬래브형(slab-like) 홀로그래프를 설명하였다. 많은 다른 구성들이 본 발명의 범주 내에서 가능하다. 제한을 암시하지 않고서, 몇 가지 예시적인 실시예들이 여기서 예시된다.
- [0071] 도 8a는, 격자 매체 내의 격자 구조(805)를 포함하고, 반사 축(861) - 입사광이 이 반사 축에 대해 대칭적으로 굴절됨 - 을 포함하는 스큐 윈도우로 치칭되는 실시예를 예시한다. 스큐 윈도우는 스큐 미러의 투과형 유사체이다. 도 8b는, 스큐 미러를 사용하여 외부 광을 도파관(894)의 안에 또는 밖에 결합시키는, 스큐 커플러(skew coupler) 실시예를 도시한다. 투과형 스큐 커플러들이 또한 가능하다. 도 8c는, 광학 경로를 절첩하고/하거나 이미지를 반전시킬 수 있는, 스큐 프리즘(skew prism) 실시예를 도시한다.
- [0072] 도 9a는 2개의 스큐 커플러들을 갖는 슬래브 도파관(994)에 의해 형성되는 동공 중계 실시예를 예시하는데, 스큐 커플러들 각각은 격자 매체의 표면 법선과는 상이한 반사 축(961)을 갖는 격자 매체(910)를 포함한다. 이러한 디바이스가 균일한 1:1 맵핑으로 입력 광선 대 출력 광선을 중계하도록 구성되기 때문에, 그것은 도파관(994)을 통해 눈 또는 다른 센서로 무한으로 이미지를 송신할 수 있다. 그러한 구성은 다른 응용들 중에서도, 헤드 마운트 디스플레이(HMD)들에 유용할 수 있다. 반전 방향에서, 그것은 아마도 눈 추적의 목적을 위해, 눈의 이미지를 중계할 수 있다. 도 9b는, 큰 어두운 빔을 작은 밝은 빔으로, 그리고/또는 그 반대로 변환시킬 수 있는, 집광기/확산기로서 사용되는 스큐 미러(900)를 도시한다.
- [0073] 도 10a 및 도 10b는 스큐 미러의 각도 필터 실시예를 예시한다. 도 10a에서, $\Delta n(k)$ k-공간(1088) 분포는 도 8a에 예시된 분포와 비교하여 더 높은 저주파수 컷오프(즉, 더 큰 중심 갭)로 나타나 있다. 결과적으로, 스큐 미러는 E_k 에서의 높은 θ 각도 성분들을 투과시키면서, 협대역 입사 빔 E_{inc} 의 낮은 θ (즉, 거의 수직인 입사) 각도 성분들만을 반사된 빔 E_r 내로 반사시킬 것이다. 당업자는 본 발명의 실시예에 따른 라인 세그먼트형 $\Delta n(k)$ 분포의 진폭 및/또는 위상을 변조시킴으로써 임의의 원형 대칭 전달 함수가 그렇게 실현될 수 있다는 것을 용이하게 인식할 것이다. 스큐 미러들에 의해, 그리고 하나 이상의 매체들에 기록된 다수의 스큐 미러들을 수반하는 구성들에서 각도 필터링이 또한 달성될 수 있다. 이러한 구성들은 원형 대칭인 것으로 제약되지 않을 수 있고, 일정 수준의 무색 동작을 달성할 수 있다.
- [0074] **제1 실시예 스큐 미러**

- [0075] 제1 실시예 스큐 미러의 본 발명의 태양들은, 표면 법선에 대해 집합적으로 +13.73도의 평균 반사 축 각도를 갖는 반사 축들에 대해 532 nm의 파장을 갖는 입사광 및 513 nm의 파장을 갖는 입사광을 반사시키도록 구성되는 미러를 포함한다. 추가의 본 발명의 태양에서, -4.660 내지 +1.933도의 범위에 있는 내부 입사각들에서 스큐 미러 상에 입사되는 532 nm 광에 대한 평균 반사 축 각도(+13.759도)는, 532 nm 입사광과 동일한 입사각들에서 스큐 미러 상에 입사되는 513 nm 광에 대한 평균 반사 축 각도(+13.693도)와 0.066도만큼만 상이하다. 따라서, 반사 축들은, -4.660도 내지 +1.993도의 (표면 법선에 대한) 내부 입사각들을 얻는 조건에서, 532 nm 내지 513 nm 파장 범위에 대해 실질적으로 일정하다.
- [0076] 제1 실시예 스큐 미러(1100)는 도 11a 및 도 11b에 예시되어 있다. 제1 실시예 스큐 미러(1100)는 격자 매체(1110) 내에 존재하는 격자 구조(1105)(도 11a 및 도 11b에서 대각선 해치 선들에 의해 도시됨)를 포함한다. 명확화를 위해, 대각선 해치 선들은, 광, 축들, 및 각도들을 나타내는 도면 부호들에 근접한 격자 매체(1110) 내의 영역에서 생략되어 있다. 그러나, 당업자들은 격자 구조(1105)가 전형적으로 전술된 영역을 차지한다는 것을 인식할 것이다. 제1 실시예의 격자 구조(1105)는, 격자 매체(1110) 내에서 서로 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩되는 다수의 홀로그램들을 포함한다.
- [0077] 다수의 홀로그램들은 격자 매체 내부 체적 내에 기록되고, 그에 따라서 격자 매체 표면(1112) 아래로 연장된다. 따라서, 그들은 때때로 체적 홀로그램들로 지칭된다. 제1 실시예의 다수의 홀로그램들은, 405 nm의 파장을 갖는 기록 빔들로 기록되는, 48개의 체적 홀로그램들을 포함한다. 48개의 체적 홀로그램들 각각은 전형적으로, 격자 매체(1110) 내의 48개의 체적 홀로그램들 중 다른 체적 홀로그램들 모두와 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩된다. 일부 실시예들에서, 다수의 홀로그램들 각각은 다수의 홀로그램들 중 다른 홀로그램 중의 적어도 하나 - 그러나 전부는 아님 - 와 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩된다. 제1 실시예 스큐 미러의 48개의 홀로그램들을 기록하는 것이, 스큐 미러를 제조하는 제1 방법에서 후술된다. 일부 실시예들에서, 격자 구조는, 1 내지 48개의 홀로그램들; 또는 4 내지 25개의 홀로그램들; 또는 적어도 5개의 홀로그램들; 또는 적어도 9개의 홀로그램들; 또는 적어도 11개의 홀로그램들; 또는 적어도 24개의 홀로그램들을 포함한다.
- [0078] 제1 실시예 격자 매체(1110)는, Akonia Holographics, LLC(미국 콜로라도주 롱몬트 소재)로부터 입수가능한 AK174-200으로 명명된, 독점적인 감광성 중합체 광학 기록 매체이다. 제1 실시예의 AK174-200 기록 매체는 대략 200 μm 두께이고, 405 nm 광에 대해 대략 1.50의 굴절률, 및 대략 18의 M/#을 갖는다. AK174-200 매체와 같은 광학 기록 매체들은, 격자 구조들이 광학 수단에 의해 기록될 수 있는 격자 매체의 일 유형이다. 격자 매체들은 전형적으로 적어도 70 μm 두께 내지 대략 1.2 mm 두께이지만, 반드시 그러한 것은 아니다. AK174-200 매체는 전형적으로 체적 홀로그램들을 기록하는 결과로서 비교적 작은 수축(통상적으로 약 0.1% 내지 0.2%)을 겪는다. 격자 매체들의 변형예들은 광굴절 결정(photorefractive crystal)들, 중크롬산 젤라틴, 광열 굴절 유리, 및 분산된 할로젠화는 입자들을 함유하는 필름을 포함하지만, 이들로 제한되지 않는다.
- [0079] 제1 실시예 스큐 미러(1100)의 변형예들은 유리 커버 또는 유리 기판(도 11a 및 도 11b에 도시되지 않음)과 같은 추가 층을 포함할 수 있다. 추가 층은 오염, 수분, 산소, 반응성 화학 종들, 손상 등으로부터 격자 매체를 보호하는 역할을 할 수 있다. 추가 층은 전형적으로 격자 매체(1110)에 매칭되는 굴절률을 갖는다. 추가 층에 대한 굴절률이 통상적으로 격자 매체의 굴절률에 매우 가깝기 때문에, 추가 층과 격자 매체의 계면에서의 광의 굴절은 때때로 무시될 수 있다. 제1 실시예의 경우, 추가 층 및 격자 매체 둘 모두에 대한 굴절률들은 405 nm의 파장을 갖는 광에 대해 대략 1.5이다. 명확화를 위해, 추가 층은 도 11a 및 도 11b에 도시되어 있지 않다.
- [0080] 도 11a에 도시된 바와 같이, 제1 실시예의 격자 구조(1105)는 제1 반사 축(1138)(파선으로 도시됨)에 대해, 제1 입사광(1124A, 1124B)을 반사시키도록 구성되는 물리적 특성을 갖는다. 제1 입사광은 532 nm의 제1 파장을 갖고, 특정 부위(1117)에서 격자 매체(1110) 상에 입사된다. 제1 반사 축(1138)은 격자 매체의 표면 법선(1122)과 +13.759도의 제1 반사 축 각도(1135)(표면 법선에 대한 내부 각도)만큼 상이한데, 여기서 제1 입사광은, -4.660도(제1 입사광(1124A)으로서 도시됨) 내지 +1.933도(제1 입사광(1124B)으로서 도시됨)의, 표면 법선에 대한 제1 내부 입사각(1125A, 1125B)을 가지며, 이는 6.593도의 범위를 생성한다. 제1 입사광에 대한 제1 내부 입사각들은, 표 1에 나타난 바와 같이, -4.660도 내지 +1.933도에서, 약 0.067도의 각도 간격들로 이격된 100개의 상이한 내부 각도들을 포함한다. 제1 실시예 스큐 미러의 일부 변형예들에서, 제1 입사광에 대한 제1 내부 입사각들은, -4.660도 내지 +1.933도에서, 약 0.67도의 각도 간격들로 이격된 10개의 상이한 내부 각도들을 포함한다. 본 명세서 및 첨부된 청구범위 전체에 걸쳐, 식별된 각도들 및 각도 값들은, 명백히 달리 나타내지 않는 한, 표면 법선에 대한 내부 각도들을 지칭한다.
- [0081] 도 11a에 도시된 바와 같이, 표면 법선에 대한 -4.660도의 제1 내부 입사각(1125A)을 갖는 제1

입사광(1124A)은, 격자 구조(1105)에 의해 표면 법선에 대한 +32.267도의 제1 내부 반사각(1126A)을 갖는 제1 반사된 광(1127A)으로서 반사된다. 표면 법선에 대한 +1.933도의 제1 내부 입사각(1125B)을 갖는 제1 입사광(1124B)은, +25.668도의 제1 내부 반사각(1126B)을 갖는 제1 반사된 광(1127B)으로서 반사된다. 제1 반사된 광(1127A, 1127B)은 제1 파장을 갖는데, 즉, 제1 실시예에서 제1 반사된 광은 532 nm의 파장을 갖는다. 제1 실시예 스큐 미러에 대한 제1 입사광 각도들, 제1 반사된 광 각도들, 및 제1 반사 축 각도들이 표 1에 나타나 있다.

[표 1]

제 1 실시예 스큐 미러에 대한, 제 1 입사광, 제 1 반사된 광, 및 제 1 반사 축의 각도들;
파장 = 532 nm; AK174-200 기록 매체; N = 100

제 1 내부 반사각 (표면 법선에 대한 각도, 도 단위)	제 1 반사 축 각도 (표면 법선에 대한 내부 각도, 도 단위)	제 1 내부 입사각 (표면 법선에 대한 각도, 도 단위)	제 1 입사광의 반사각 (반사 축에 대한 외부 각도, 도 단위)	제 1 반사된 광의 반사각 (반사 축에 대한 외부 각도, 도 단위)	제 1 입사광의 입사각 (표면 법선에 대한 외부 각도, 도 단위)	제 1 반사된 광의 반사각 (표면 법선에 대한 외부 각도, 도 단위)	제 1 반사 축 각도 (표면 법선에 대한 외부 각도, 도 단위)
25.668	13.800	1.933	-11.867	11.867	2.900	40.521	21.711
25.680	13.773	1.866	-11.907	11.907	2.800	40.542	21.671
25.691	13.746	1.800	-11.946	11.946	2.701	40.563	21.632
25.814	13.774	1.733	-12.041	12.041	2.600	40.782	21.691
25.938	13.803	1.667	-12.136	12.136	2.501	41.003	21.752
26.005	13.802	1.600	-12.202	12.202	2.400	41.122	21.761
25.904	13.719	1.533	-12.185	12.185	2.300	40.942	21.621
25.971	13.719	1.466	-12.252	12.252	2.200	41.062	21.631
26.094	13.747	1.400	-12.347	12.347	2.101	41.283	21.692
26.216	13.775	1.333	-12.442	12.442	2.000	41.502	21.751
26.339	13.803	1.267	-12.536	12.536	1.901	41.723	21.812
26.350	13.775	1.200	-12.575	12.575	1.800	41.742	21.771
26.472	13.803	1.134	-12.669	12.669	1.701	41.963	21.832
26.538	13.802	1.067	-12.736	12.736	1.600	42.082	21.841
26.660	13.830	1.001	-12.830	12.830	1.501	42.303	21.902
26.780	13.857	0.933	-12.924	12.924	1.399	42.521	21.960
26.738	13.802	0.867	-12.935	12.935	1.301	42.443	21.872
26.803	13.801	0.800	-13.001	13.001	1.200	42.561	21.881
26.923	13.829	0.734	-13.095	13.095	1.101	42.781	21.941
26.989	13.828	0.667	-13.161	13.161	1.000	42.901	21.951
26.946	13.773	0.601	-13.173	13.173	0.901	42.822	21.862
27.066	13.800	0.533	-13.266	13.266	0.800	43.041	21.921
26.913	13.690	0.467	-13.223	13.223	0.701	42.762	21.732
27.088	13.744	0.400	-13.344	13.344	0.600	43.081	21.841
27.263	13.798	0.334	-13.464	13.464	0.501	43.402	21.952
27.436	13.852	0.267	-13.585	13.585	0.400	43.721	22.061
27.230	13.715	0.201	-13.515	13.515	0.301	43.342	21.822
27.241	13.687	0.133	-13.554	13.554	0.200	43.361	21.781
27.416	13.742	0.067	-13.674	13.674	0.101	43.683	21.892
27.589	13.794	0.000	-13.794	13.794	0.000	44.002	22.001
27.600	13.766	-0.067	-13.833	13.833	-0.100	44.022	21.961
27.664	13.766	-0.133	-13.899	13.899	-0.200	44.142	21.971
27.837	13.818	-0.200	-14.018	14.018	-0.300	44.462	22.081

27.955	13.844	-0.267	-14.111	14.111	-0.400	44.682	22.141
28.074	13.870	-0.333	-14.203	14.203	-0.499	44.903	22.202
28.030	13.815	-0.401	-14.215	14.215	-0.601	44.822	22.111
28.042	13.788	-0.467	-14.254	14.254	-0.700	44.844	22.072
28.106	13.786	-0.533	-14.320	14.320	-0.800	44.964	22.082
28.224	13.812	-0.600	-14.412	14.412	-0.900	45.184	22.142
28.288	13.811	-0.667	-14.477	14.477	-1.000	45.304	22.152
28.298	13.783	-0.733	-14.516	14.516	-1.100	45.324	22.112
28.362	13.781	-0.800	-14.581	14.581	-1.200	45.444	22.122
28.427	13.781	-0.866	-14.646	14.646	-1.299	45.566	22.134
28.437	13.752	-0.933	-14.685	14.685	-1.400	45.585	22.093
28.607	13.804	-0.999	-14.803	14.803	-1.499	45.906	22.204
28.670	13.802	-1.067	-14.868	14.868	-1.600	46.026	22.213
28.734	13.800	-1.133	-14.933	14.933	-1.700	46.146	22.223
28.797	13.798	-1.200	-14.998	14.998	-1.800	46.266	22.233
28.808	13.771	-1.266	-15.037	15.037	-1.899	46.287	22.194
28.923	13.795	-1.333	-15.128	15.128	-2.000	46.506	22.253
28.829	13.715	-1.399	-15.114	15.114	-2.099	46.327	22.114
28.996	13.765	-1.466	-15.231	15.231	-2.200	46.646	22.223
29.007	13.737	-1.532	-15.270	15.270	-2.299	46.667	22.184
29.069	13.735	-1.600	-15.335	15.335	-2.400	46.786	22.193
29.028	13.681	-1.666	-15.347	15.347	-2.499	46.707	22.104
29.142	13.705	-1.733	-15.438	15.438	-2.600	46.926	22.163
29.309	13.755	-1.799	-15.554	15.554	-2.699	47.247	22.274
29.475	13.804	-1.866	-15.670	15.670	-2.800	47.566	22.383
29.330	13.699	-1.932	-15.631	15.631	-2.899	47.287	22.194
29.392	13.696	-1.999	-15.696	15.696	-3.000	47.406	22.203
29.558	13.746	-2.065	-15.812	15.812	-3.099	47.727	22.314
29.670	13.769	-2.133	-15.902	15.902	-3.200	47.946	22.373
29.630	13.716	-2.199	-15.914	15.914	-3.299	47.867	22.284
29.640	13.687	-2.266	-15.953	15.953	-3.400	47.886	22.243
29.752	13.710	-2.333	-16.043	16.043	-3.500	48.106	22.303
29.916	13.759	-2.399	-16.158	16.158	-3.600	48.426	22.413
29.825	13.680	-2.465	-16.145	16.145	-3.699	48.247	22.274
29.988	13.728	-2.532	-16.260	16.260	-3.800	48.566	22.383
30.151	13.776	-2.598	-16.374	16.374	-3.899	48.887	22.494
30.160	13.747	-2.665	-16.413	16.413	-4.000	48.906	22.453
30.170	13.719	-2.732	-16.451	16.451	-4.100	48.926	22.413
30.332	13.767	-2.799	-16.565	16.565	-4.200	49.246	22.523
30.394	13.765	-2.865	-16.629	16.629	-4.299	49.368	22.535
30.302	13.685	-2.932	-16.617	16.617	-4.400	49.187	22.394
30.363	13.683	-2.998	-16.681	16.681	-4.499	49.308	22.405
30.474	13.704	-3.065	-16.769	16.769	-4.600	49.527	22.464
30.634	13.752	-3.131	-16.883	16.883	-4.699	49.848	22.575
30.694	13.748	-3.198	-16.946	16.946	-4.800	49.967	22.584
30.654	13.695	-3.264	-16.959	16.959	-4.899	49.888	22.495
30.814	13.741	-3.331	-17.072	17.072	-5.000	50.208	22.604
30.874	13.738	-3.397	-17.135	17.135	-5.099	50.329	22.615

[0084]

30.834	13.685	-3.464	-17.149	17.149	-5.200	50.248	22.524
30.894	13.682	-3.530	-17.212	17.212	-5.299	50.369	22.535
31.051	13.727	-3.597	-17.324	17.324	-5.400	50.688	22.644
31.160	13.749	-3.663	-17.411	17.411	-5.499	50.909	22.705
31.169	13.720	-3.730	-17.450	17.450	-5.600	50.928	22.664
31.180	13.692	-3.796	-17.488	17.488	-5.699	50.949	22.625
31.336	13.736	-3.863	-17.599	17.599	-5.800	51.268	22.734
31.443	13.757	-3.929	-17.686	17.686	-5.899	51.488	22.795
31.549	13.777	-3.996	-17.772	17.772	-6.000	51.706	22.853
31.704	13.821	-4.062	-17.883	17.883	-6.099	52.027	22.964
31.713	13.792	-4.129	-17.921	17.921	-6.200	52.046	22.923
31.723	13.764	-4.195	-17.959	17.959	-6.299	52.067	22.884
31.636	13.687	-4.262	-17.949	17.949	-6.400	51.886	22.743
31.695	13.684	-4.327	-18.011	18.011	-6.499	52.007	22.754
31.848	13.727	-4.395	-18.121	18.121	-6.600	52.326	22.863
31.858	13.699	-4.460	-18.159	18.159	-6.699	52.347	22.824
31.963	13.718	-4.527	-18.245	18.245	-6.800	52.566	22.883
32.116	13.762	-4.593	-18.355	18.355	-6.899	52.888	22.995
32.267	13.804	-4.660	-18.464	18.464	-7.000	53.207	23.104
<hr/>							
평균 =	13.759					평균 =	22.234
표준 편차							
=	0.047						

[0085]

[0086]

입사광과 그의 반사는 반사 축에 의해 이등분되어서, 반사 축에 대한 입사광의 내부 입사각이 반사 축에 대한 반사된 광의 내부 반사각과 동일한 크기를 갖도록 된다. 따라서, 입사광과 그의 반사가 반사 축에 대해 좌우 대칭을 나타낸다고 말할 수 있다.

[0087]

도 11b에 도시된 바와 같이, 제1 실시예의 격자 구조(1105)는 제2 반사 축(1139)에 대해, 제2 입사광(1130A, 1130B)을 반사시키도록 추가로 구성된다. 제2 입사광은 513 nm의 제2 파장을 갖고, 특정 부위(1117)에서 격자 매체(1110) 상에 입사된다. 특정 부위(1117)는, 제1 입사광 및 제2 입사광 둘 모두가 비추는 격자 매체 표면(1112)의 영역을 포함한다. 제2 반사 축(1139)은 격자 매체의 표면 법선(1122)과 +13.693도의 표면 법선에 대한 제2 반사 축 각도(1136)(내부 각도)만큼 상이한데, 여기서 제2 입사광은, -4.660도 내지 +1.933도의, 표면 법선에 대한 제2 내부 입사각을 갖는다. 제2 내부 입사각은, -4.660도 내지 +1.933도에서, 대략 0.067도의 각도 간격들로 이격된 100개의 상이한 내부 각도들을 포함한다. 제1 실시예 스큐 미러의 일부 변형예들에서, 제2 입사광에 대한 제2 내부 입사각들은, -4.660도 내지 +1.933도에서, 약 0.67도의 각도 간격들로 이격된 10개의 상이한 내부 각도들을 포함한다.

[0088]

도 11b에 도시된 바와 같이, 표면 법선에 대한 -4.660도의 제2 내부 입사각(1128A)을 갖는 제2 입사광(1130A)은, 격자 구조(1105)에 의해 표면 법선에 대한 +32.075도의 제2 내부 반사각(1133A)을 갖는 제2 반사된 광(1133A)으로서 반사된다. 표면 법선에 대한 +1.933도의 제2 내부 입사각(1128B)을 갖는 제2 입사광(1130B)은, +25.273도의 제2 내부 반사각(1129B)을 갖는 제2 반사된 광(1133B)으로서 반사된다. 제2 반사된 광(1133A, 1133B)은 제2 파장을 갖는데, 즉, 제1 실시예에서 제2 반사된 광은 513 nm의 파장을 갖는다. 제1 실시예 스큐 미러에 대한 제2 입사광 각도들, 제2 반사된 광 각도들, 및 제2 반사 축 각도들이 표 2에 나타나 있다.

[0089]

[표 2]

제 1 실시예 스크 미러에 대한, 제 2 입사광, 제 2 반사된 광, 및 제 2 반사 축의 각도들; 파장 = 513 nm; AK174-200 기록 매체; N = 100

제 2 내부 반사각 (표면 법선에 대한 각도, 도 단위)	제 2 반사 축 각도 (표면 법선에 대한 내부 각도, 도 단위)	제 2 내부 입사각 (표면 법선에 대한 각도, 도 단위)	제 2 입사광의 입사각 (반사 축에 대한 외부 각도, 도 단위)	제 2 반사된 광의 반사각 (반사 축에 대한 외부 각도, 도 단위)	제 2 입사광의 입사각 (표면 법선에 대한 외부 각도, 도 단위)	제 2 반사된 광의 반사각 (표면 법선에 대한 외부 각도, 도 단위)	제 2 반사 축 각도 (표면 법선에 대한 외부 각도, 도 단위)
25.273	13.603	1.933	-11.670	11.670	2.900	39.821	21.361
25.341	13.604	1.866	-11.737	11.737	2.800	39.942	21.371
25.466	13.633	1.800	-11.833	11.833	2.701	40.163	21.432
25.645	13.689	1.733	-11.956	11.956	2.600	40.481	21.541
25.769	13.718	1.667	-12.051	12.051	2.501	40.702	21.602
25.780	13.690	1.600	-12.090	12.090	2.400	40.721	21.561
25.959	13.746	1.533	-12.213	12.213	2.300	41.041	21.671
25.915	13.691	1.466	-12.224	12.224	2.200	40.961	21.581
25.982	13.691	1.400	-12.291	12.291	2.100	41.081	21.591
26.160	13.746	1.333	-12.413	12.413	2.000	41.400	21.700
26.171	13.719	1.267	-12.452	12.452	1.900	41.420	21.660
26.181	13.691	1.200	-12.491	12.491	1.800	41.439	21.620
26.249	13.691	1.134	-12.557	12.557	1.701	41.560	21.631
26.259	13.663	1.067	-12.596	12.596	1.600	41.579	21.590
26.438	13.719	1.001	-12.718	12.718	1.501	41.900	21.701
26.448	13.691	0.933	-12.757	12.757	1.400	41.919	21.660
26.515	13.691	0.867	-12.824	12.824	1.301	42.040	21.671
26.636	13.718	0.800	-12.918	12.918	1.200	42.259	21.730
26.592	13.663	0.734	-12.929	12.929	1.101	42.180	21.641
26.769	13.718	0.667	-13.051	13.051	1.000	42.500	21.750
26.780	13.690	0.601	-13.090	13.090	0.901	42.520	21.711
26.845	13.689	0.533	-13.156	13.156	0.800	42.639	21.720
26.912	13.690	0.467	-13.222	13.222	0.701	42.760	21.731
26.977	13.689	0.400	-13.289	13.289	0.600	42.879	21.740
26.989	13.661	0.334	-13.327	13.327	0.501	42.900	21.701
27.108	13.687	0.266	-13.421	13.421	0.399	43.118	21.759
27.229	13.715	0.201	-13.514	13.514	0.301	43.340	21.821
27.240	13.686	0.133	-13.553	13.553	0.200	43.359	21.780
27.360	13.714	0.067	-13.646	13.646	0.101	43.580	21.841
27.425	13.713	0.000	-13.713	13.713	0.000	43.700	21.850
27.490	13.712	-0.066	-13.778	13.778	-0.099	43.820	21.861
27.555	13.711	-0.133	-13.844	13.844	-0.200	43.939	21.870

[0090]

27.565	13.683	-0.200	-13.883	13.883	-0.300	43.959	21.830
27.630	13.682	-0.267	-13.949	13.949	-0.400	44.079	21.840
27.750	13.709	-0.333	-14.041	14.041	-0.499	44.300	21.901
27.760	13.680	-0.400	-14.080	14.080	-0.600	44.319	21.860
27.825	13.680	-0.466	-14.146	14.146	-0.699	44.440	21.871
27.889	13.678	-0.533	-14.211	14.211	-0.800	44.559	21.880
28.007	13.703	-0.600	-14.303	14.303	-0.900	44.778	21.939
28.017	13.675	-0.667	-14.342	14.342	-1.000	44.798	21.899
28.135	13.701	-0.733	-14.434	14.434	-1.100	45.018	21.959
28.253	13.726	-0.800	-14.526	14.526	-1.200	45.238	22.019
28.264	13.699	-0.866	-14.565	14.565	-1.299	45.259	21.980
28.274	13.670	-0.933	-14.604	14.604	-1.400	45.278	21.939
28.338	13.669	-0.999	-14.669	14.669	-1.499	45.399	21.950
28.455	13.694	-1.067	-14.761	14.761	-1.600	45.619	22.010
28.572	13.719	-1.133	-14.852	14.852	-1.700	45.839	22.070
28.635	13.718	-1.200	-14.917	14.917	-1.800	45.959	22.080
28.646	13.690	-1.267	-14.956	14.956	-1.900	45.979	22.040
28.709	13.688	-1.333	-15.021	15.021	-2.000	46.099	22.050
28.720	13.660	-1.399	-15.060	15.060	-2.099	46.120	22.011
28.835	13.684	-1.466	-15.151	15.151	-2.200	46.339	22.070
28.899	13.683	-1.532	-15.216	15.216	-2.299	46.460	22.081
29.013	13.707	-1.600	-15.307	15.307	-2.400	46.679	22.140
29.024	13.679	-1.666	-15.345	15.345	-2.499	46.700	22.101
29.087	13.677	-1.733	-15.410	15.410	-2.600	46.819	22.110
29.150	13.675	-1.799	-15.474	15.474	-2.699	46.940	22.121
29.264	13.699	-1.866	-15.565	15.565	-2.800	47.159	22.180
29.326	13.697	-1.932	-15.629	15.629	-2.899	47.280	22.191
29.388	13.694	-1.999	-15.694	15.694	-3.000	47.399	22.200
29.502	13.718	-2.065	-15.784	15.784	-3.099	47.620	22.261
29.667	13.767	-2.133	-15.900	15.900	-3.200	47.939	22.370
29.678	13.739	-2.199	-15.938	15.938	-3.299	47.960	22.331
29.790	13.762	-2.266	-16.028	16.028	-3.400	48.180	22.390
29.647	13.657	-2.333	-15.990	15.990	-3.500	47.900	22.200
29.760	13.680	-2.399	-16.079	16.079	-3.600	48.120	22.260
29.822	13.678	-2.465	-16.143	16.143	-3.699	48.241	22.271
29.882	13.675	-2.532	-16.207	16.207	-3.800	48.360	22.280
29.944	13.672	-2.599	-16.271	16.271	-3.900	48.480	22.290
30.056	13.695	-2.665	-16.361	16.361	-4.000	48.700	22.350
30.066	13.667	-2.732	-16.399	16.399	-4.100	48.721	22.311
30.229	13.715	-2.799	-16.514	16.514	-4.200	49.041	22.421
30.290	13.713	-2.865	-16.577	16.577	-4.299	49.162	22.432
30.349	13.709	-2.932	-16.641	16.641	-4.400	49.280	22.440
30.360	13.681	-2.998	-16.679	16.679	-4.499	49.301	22.401
30.420	13.677	-3.065	-16.742	16.742	-4.600	49.420	22.410
30.531	13.700	-3.131	-16.831	16.831	-4.699	49.641	22.471
30.590	13.696	-3.198	-16.894	16.894	-4.800	49.760	22.480
30.651	13.694	-3.264	-16.957	16.957	-4.899	49.881	22.491
30.710	13.690	-3.331	-17.021	17.021	-5.000	50.000	22.500

[0091]

30.820	13.712	-3.397	-17.109	17.109	-5.099	50.221	22.561
30.830	13.683	-3.464	-17.147	17.147	-5.200	50.240	22.520
30.939	13.705	-3.530	-17.235	17.235	-5.299	50.461	22.581
30.949	13.676	-3.597	-17.273	17.273	-5.400	50.480	22.540
31.009	13.673	-3.663	-17.336	17.336	-5.499	50.602	22.552
31.068	13.669	-3.730	-17.399	17.399	-5.600	50.721	22.561
31.225	13.714	-3.797	-17.511	17.511	-5.700	51.041	22.671
31.284	13.710	-3.863	-17.573	17.573	-5.800	51.161	22.681
31.293	13.682	-3.929	-17.611	17.611	-5.900	51.181	22.641
31.352	13.678	-3.996	-17.674	17.674	-6.000	51.302	22.651
31.460	13.699	-4.062	-17.761	17.761	-6.099	51.522	22.712
31.517	13.694	-4.129	-17.823	17.823	-6.200	51.641	22.721
31.528	13.667	-4.195	-17.861	17.861	-6.299	51.662	22.682
31.682	13.710	-4.262	-17.972	17.972	-6.400	51.981	22.791
31.692	13.682	-4.327	-18.010	18.010	-6.499	52.002	22.752
31.798	13.701	-4.395	-18.096	18.096	-6.600	52.221	22.811
31.904	13.722	-4.460	-18.182	18.182	-6.699	52.442	22.872
31.913	13.693	-4.527	-18.220	18.220	-6.800	52.461	22.831
31.970	13.689	-4.593	-18.282	18.282	-6.899	52.582	22.842
32.075	13.707	-4.660	-18.368	18.368	-7.000	52.801	22.901
<hr/>							
평균 =	13.693					평균 =	22.110
표준 편차 =	0.025						

[0092]

[0093]

제1 파장(λ_1 = 532 nm)은 제2 파장(λ_2 = 513 nm)과 19 nm만큼 상이한데, 이는

$$WF = |\lambda_1 - \lambda_2| / [(\lambda_1 + \lambda_2) / 2]$$

로서 정의되는, 파장 분율(WF)로 지칭되는 값에 의해 표현될 수 있다. 따라서, 여기서 다수의 파장들은 532 nm의 제1 파장 및 513 nm의 제2 파장, $WF = 0.036$ 을 포함한다. 유사하게, 여기서 다수의 파장들은 390 nm 이하 내지 적어도 700 nm, $WF \geq 0.57$ 의 연속 스펙트럼으로 이루어진다. 실시예들은, $WF \geq 0.005$; $WF \geq 0.010$; $WF \geq 0.030$; $WF \geq 0.10$; $WF \geq 0.250$; $WF \geq 1.0$; 또는 $WF \geq 2.0$ 인 변형예들을 포함하지만, 이들로 제한되지 않는다. 이러한 범위의 제1 파장(λ_1) 및 제2 파장(λ_2)에 의해 정의되는 파장 분율(WF)은, λ_1 과 λ_2 사이의 파장들의 연속 스펙트럼을 포함할 수 있지만, 반드시 그러한 것은 아니다.

[0094]

제2 반사 축 각도(1136)는 제1 반사 축 각도(1135)와 0.066도만큼 상이하다. 따라서, 제2 반사 축은 제1 반사 축과 실질적으로 일치하고, 이는 제2 반사 축 각도(1136)가 제1 반사 축 각도(1135)와 1.0도 이하로 상이하다는 것을 의미한다. 소정 범위의 파장들을 가로지르는(이 경우에, 0.039의 WF를 가로지르는) 반사 축 각도들 사이의 그러한 작은 차이는, 격자 구조가 비분산성 미러로서 작용한다는 것을 의미한다. 일부 응용들의 경우, 반사 축 각도들 사이의 차이는 $WF = 0.030$ 에 대해 0.250도 이하이어야 한다. 유사하게, 일부 다른 응용들의 경우, 반사 축 각도들 사이의 차이는 $WF = 0.030$ 에 대해 0.10도 이하와 동일해야 한다.

[0095]

제1 반사 축에 대해, 제1 입사광의 내부 입사각들은 -11.867도 내지 -18.464도의 범위이다. 제2 반사 축에 대해, 제2 입사광의 내부 입사각들은 -11.670도 내지 -18.368도의 범위이다. 따라서, 제1 입사광 및 제2 입사광 각각이 제1 반사 축으로부터 적어도 11.670도 오프셋되어 있다고 말할 수 있다. 실시예들에서, 입사광은 그의 반사 축으로부터 적어도 1.0도의 내부 각도만큼; 적어도 2.0도만큼; 적어도 5.0도만큼; 또는 적어도 9.0도만큼 오프셋되어 있을 수 있다. 입사광의 반사 축으로부터 오프셋되어 있는 입사광을 반사시키도록 구성된 스큐 미러 또는 다른 반사형 디바이스가 일부 응용들에서 유리할 수 있다. 예를 들어, 헤드 마운트 디스플레이에서, 사용자의 눈을 향해 이미지를 반사시키지만 이미지를 다시 그의 공급원을 향해 재귀반사(retroreflect)시키지 않는 것이 유리할 수 있다. 사용자의 눈을 향하는 그러한 반사는 전형적으로, 입사광이 그의 반사 축으로부터 적어도 5.0도의 내부 각도만큼, 그리고 보다 전형적으로는 적어도 9.0도만큼 오프셋되어 있을 것을 요구한다. 유사하게, 내부 전반사를 이용하는 디바이스는 전형적으로, 입사광이 그의 반사 축으로부터 오프셋되어 있을 것을 요구한다.

[0096]

입사광 및 그의 반사에 대해 표면 법선에 대한 제1 실시예 외부 각도들이 또한 도 11a 및 도 11b에 예시되어 있다. 도 11a에서 알 수 있는 바와 같이, 제1 입사광(1124A, 1124B)에 대해 표면 법선에 대한 외부 각도들은, -7.000도의 제1 입사광 외부 각도(1113A) 내지 +2.900도의 제1 입사광 외부 각도(1113B)의 범위이다. 도 11b에서 알 수 있는 바와 같이, 제2 입사광(1130A, 1130B)에 대해 표면 법선에 대한 외부 각도들은, -7.000도의 제2 입사광 외부 각도(1115A) 내지 +2.900도의 제2 입사광 외부 각도(1115B)의 범위이다. 제1 반사된 광 외부 각도들(1114A, 1114B) 및 제2 반사된 광 외부 각도들(1116A, 1116B)이 또한 각각 도 11a 및 도 11b에 예시되어

있다. 외부 각도들은 공기 중에 존재하는 스큐 미러로 측정되는데, 이때 스큐 미러/공기 경계에서 굴절이 발생한다. 입사각들 및 반사각들, 및 반사 축 각도들이 표 1 및 표 2에 정리되어 있다.

[0097] 제1 실시예의 물리적 특성들은, 실질적으로 일정한 반사 축들에 대해, 다른 파장들을 갖는 광을 반사시키고, 다른 각도들에서 격자 매체 상에 입사되는 광을 반사시키는 것을 가능하게 한다. 예를 들어, 제1 실시예 격자 구조의 반사 특성들은, +13.726도의 평균 반사 축 각도를 갖는 반사 축들에 대해 520.4 nm의 파장을 갖는 광을 반사시키는 것을 가능하게 하는데, 여기서 반사 축 각도들은 -6.862도 내지 +13.726도 범위의 입사각들 및 그 사이(20.588도의 범위)의 모든 각도들에 대해 0.10도 이하로 변한다. 그의 반사 특성들의 다른 예에서, 제1 실시예는 (+13.726°의 평균 반사 축 각도를 갖는) 반사 축들에 대해 입사광을 반사시키도록 구성되는데, 여기서 반사 축 각도들은 503 nm 및 537 nm의 파장들(503 nm 내지 537 nm의 파장들의 연속 스펙트럼을 포함하는, 34 nm, $WF = 0.065$ 의 범위)에 대해 0.20도 이하로 변하고, 입사각(표면 법선에 대한 내부 각도)은 -1.174도이다.

[0098] 명확화를 위해, 도 11a 및 도 11b에서의 광은, 격자 구조(1105)의 중심에 근접하게 존재하는 지점에서 반사되는 것으로 예시되어 있다. 그러나, 당업자들은, 광이 전형적으로 특정 지점에서보다는 오히려 격자 구조 전체에 걸쳐 반사된다는 것을 인식한다.

[0099] 일부 실시예들에서, 제1 입사광 및 제2 입사광은 각각 532 nm 및 513 nm 이외의 파장들을 갖는다. 유사하게, 실시예들은, 표면 법선과 일치할 수 있거나 또는 표면 법선과 상이할 수 있는 제1 및 제2 반사 축들을 포함한다.

[0100] 제2 실시예 스큐 미러

[0101] 제2 실시예 스큐 미러의 본 발명의 태양들은, 표면 법선에 대해 집합적으로 +14.62도의 평균 반사 축 각도를 갖는 반사 축들에 대해 532 nm의 파장을 갖는 입사광 및 513 nm의 파장을 갖는 입사광을 반사시키도록 구성되는 미러를 포함한다. 추가의 본 발명의 태양에서, -9.281도 내지 -2.665도의 범위에 있는 내부 입사각들에서 스큐 미러 상에 입사되는 532 nm 광에 대한 평균 반사 축 각도(+14.618도)는, 532 nm 입사광과 동일한 입사각들에서 스큐 미러 상에 입사되는 513 nm 광에 대한 평균 반사 축 각도(+14.617도)와 0.001도 미만으로 상이하다. 따라서, 반사 축들은, -9.281도 내지 -2.665도의 (표면 법선에 대한) 내부 입사각들을 얻는 조건에서, 532 nm 내지 513 nm 파장 범위에 대해 실질적으로 일정하다.

[0102] 제2 실시예 스큐 미러(1200)는 도 12a 및 도 12b에 예시되어 있다. 제2 실시예 스큐 미러(1200)는 격자 매체(1210) 내에 존재하는 격자 구조(1205)(도 12a 및 도 12b에서 대각선 해치 선들에 의해 도시됨)를 포함한다. 명확화를 위해, 대각선 해치 선들은, 광, 축들, 및 각도들을 나타내는 도면 부호들에 근접한 격자 매체(1210) 내의 영역에서 생략되어 있다. 그러나, 당업자들은 격자 구조(1205)가 전형적으로 전술된 영역을 차지한다는 것을 인식할 것이다. 제2 실시예의 격자 구조(1205)는, 격자 매체(1210) 내에서 서로 적어도 부분적으로 오버랩되는 다수의 홀로그램들을 포함한다. 제2 실시예의 다수의 홀로그램들은, 405 nm의 파장을 갖는 기록 빔들로 기록되는, 49개의 체적 홀로그램들을 포함한다. 49개의 체적 홀로그램들은 격자 매체(1210) 내에서 서로 오버랩되고, 기록 빔 내부 입사각들이 매체 수축을 고려하기 위해 조정되는 것 이외에는, 제1 실시예 스큐 미러와 유사한 방식으로 기록된다. 제2 실시예 스큐 미러의 49개의 홀로그램들을 기록하는 것이, 스큐 미러를 제조하는 제2 방법에서 후술된다.

[0103] 제2 실시예 격자 매체(1210)는, Akonia Holographics, LLC(미국 콜로라도주 롱몬트 소재)로부터 입수가능한 AK233-200으로 명명된, 독점적인 감광성 중합체 광학 기록 매체이다. 제2 실시예의 AK233-200 기록 매체는 대략 200 μm 두께이고, 405 nm의 파장을 갖는 광에 대해 대략 1.50의 굴절률, 및 대략 24의 M/#을 갖는다. AK233-200 매체는 전형적으로 체적 홀로그램들을 기록하는 결과로서 약 0.50% 수축된다.

[0104] 제2 실시예 스큐 미러(1200)의 변형예들은 유리 커버 또는 유리 기판(도 12a 및 도 12b에 도시되지 않음)과 같은 추가 층을 포함할 수 있다. 추가 층은 전형적으로 격자 매체에 매칭되는 굴절률을 갖고, 굴절률 매칭 유체의 박막이 격자 매체(1210)와 추가 층 사이에 존재할 수 있다.

[0105] 도 12a에 도시된 바와 같이, 제2 실시예의 격자 구조(1205)는 제1 반사 축(1238)(파선으로 도시됨)에 대해, 제1 입사광(1224A, 1224B)을 반사시키도록 구성되는 물리적 특성을 갖는다. 제1 입사광은 532 nm의 제1 파장을 갖고, 특정 부위(1217)에서 격자 매체(1210) 상에 입사된다. 제1 반사 축(1238)은 격자 매체의 표면 법선(1222)과 +14.618도의 표면 법선에 대한 제1 반사 축 각도(1235)(내부 각도)만큼 상이한데, 여기서 제1 입사광은, -9.281도 및 -2.665도를 포함하여, -9.281도 내지 -2.665도(6.616도의 범위)로 존재하는, 표면 법선에 대한 제1 내부 입사각(1225A, 1225B)을 갖는다. 제1 내부 입사각은, -9.281도 내지 -2.665도에서, 대략 0.066도의 각

도 간격들로 이격된 101개의 상이한 내부 각도들을 포함한다. 제2 실시예 스큐 미러의 일부 변형예들에서, 제1 입사광에 대한 제1 내부 입사각들은, -9.281도 내지 -2.665도에서, 약 0.66도의 각도 간격들로 이격된 10개의 상이한 내부 각도들을 포함한다.

[0106]

도 12a에 도시된 바와 같이, 표면 법선에 대한 -9.281도의 제1 내부 입사각(1225A)을 갖는 제1 입사광(1224A)은, 격자 구조(1205)에 의해 표면 법선에 대한 +38.610도의 제1 내부 반사각(1226A)을 갖는 제1 반사된 광(1227A)으로서 반사된다. 표면 법선에 대한 -2.665도의 제1 내부 입사각(1225B)을 갖는 제1 입사광(1224B)은, +31.836도의 제1 내부 반사각(1226B)을 갖는 제1 반사된 광(1227B)으로서 반사된다. 제1 반사된 광(1224A, 1224B)은 제1 파장을 갖는데, 즉, 제2 실시예에서 제1 반사된 광은 532 nm의 파장을 갖는다. 제2 실시예 스큐 미러에 대한 제1 입사광 각도들, 제1 반사된 광 각도들, 및 제1 반사 축 각도들이 표 3에 나타나 있다.

[0107]

[표 3]

제2 실시예 스큐 미러에 대한, 제1 입사광, 제1 반사된 광, 및 제1 반사 축의 각도들; 파장 = 532 nm; AK233-200 기록 매체; N = 101

제1 내부 반사각 (표면 법선에 대한 각도, 도 단위)	제1 반사 축 각도 (표면 법선에 대한 내부 각도, 도 단위)	제1 내부 입사각 (표면 법선에 대한 각도, 도 단위)	제1 입사광의 입사각 (반사 축에 대한 외부 각도, 도 단위)	제1 반사된 광의 반사각 (반사 축에 대한 외부 각도, 도 단위)	제1 입사광의 입사각 (표면 법선에 대한 외부 각도, 도 단위)	제1 반사된 광의 반사각 (표면 법선에 대한 외부 각도, 도 단위)	제1 반사 축 각도 (표면 법선에 대한 외부 각도, 도 단위)
31.836	14.585	-2.665	-17.250	17.250	-4.000	52.300	24.150
31.941	14.604	-2.732	-17.336	17.336	-4.100	52.520	24.210
31.998	14.600	-2.799	-17.398	17.398	-4.200	52.640	24.220
32.103	14.619	-2.865	-17.484	17.484	-4.299	52.861	24.281
32.160	14.614	-2.932	-17.546	17.546	-4.400	52.980	24.290
32.217	14.610	-2.998	-17.607	17.607	-4.499	53.101	24.301
32.321	14.628	-3.065	-17.693	17.693	-4.600	53.320	24.360
32.378	14.623	-3.131	-17.754	17.754	-4.699	53.441	24.371
32.433	14.618	-3.198	-17.816	17.816	-4.800	53.560	24.380
32.490	14.613	-3.264	-17.877	17.877	-4.899	53.681	24.391
32.546	14.607	-3.331	-17.938	17.938	-5.000	53.800	24.400
32.602	14.603	-3.397	-18.000	18.000	-5.099	53.921	24.411
32.704	14.620	-3.464	-18.084	18.084	-5.200	54.140	24.470
32.760	14.615	-3.530	-18.145	18.145	-5.299	54.261	24.481
32.815	14.609	-3.597	-18.206	18.206	-5.400	54.380	24.490
32.871	14.604	-3.664	-18.267	18.267	-5.500	54.500	24.500
32.926	14.598	-3.730	-18.328	18.328	-5.600	54.620	24.510
33.027	14.616	-3.796	-18.412	18.412	-5.699	54.841	24.571
33.082	14.609	-3.863	-18.472	18.472	-5.800	54.960	24.580
33.137	14.604	-3.929	-18.533	18.533	-5.899	55.081	24.591
33.191	14.598	-3.996	-18.594	18.594	-6.000	55.200	24.600
33.291	14.615	-4.062	-18.677	18.677	-6.099	55.421	24.661
33.345	14.608	-4.129	-18.737	18.737	-6.200	55.540	24.670
33.400	14.603	-4.195	-18.797	18.797	-6.299	55.661	24.681
33.498	14.618	-4.262	-18.880	18.880	-6.400	55.880	24.740
33.552	14.612	-4.327	-18.940	18.940	-6.499	56.001	24.751
33.605	14.605	-4.395	-19.000	19.000	-6.600	56.120	24.760
33.659	14.600	-4.460	-19.060	19.060	-6.699	56.241	24.771
33.757	14.615	-4.527	-19.142	19.142	-6.800	56.460	24.830
33.810	14.608	-4.593	-19.201	19.201	-6.899	56.580	24.841
33.862	14.601	-4.660	-19.261	19.261	-7.000	56.699	24.850
33.916	14.595	-4.726	-19.321	19.321	-7.099	56.820	24.861

[0108]

34.012	14.609	-4.793	-19.402	19.402	-7.200	57.039	24.920
34.064	14.603	-4.859	-19.462	19.462	-7.299	57.160	24.931
34.116	14.595	-4.926	-19.521	19.521	-7.400	57.279	24.940
34.169	14.588	-4.992	-19.580	19.580	-7.500	57.399	24.950
34.264	14.603	-5.058	-19.661	19.661	-7.600	57.619	25.010
34.316	14.596	-5.124	-19.720	19.720	-7.699	57.740	25.021
34.368	14.588	-5.191	-19.779	19.779	-7.800	57.860	25.030
34.462	14.602	-5.257	-19.860	19.860	-7.900	58.080	25.090
34.513	14.595	-5.324	-19.918	19.918	-8.000	58.199	25.100
34.606	14.608	-5.390	-19.998	19.998	-8.100	58.419	25.160
34.699	14.622	-5.456	-20.078	20.078	-8.200	58.639	25.220
34.750	14.614	-5.522	-20.136	20.136	-8.299	58.760	25.231
34.842	14.626	-5.589	-20.216	20.216	-8.401	58.978	25.289
34.893	14.619	-5.655	-20.274	20.274	-8.500	59.100	25.300
34.943	14.611	-5.721	-20.332	20.332	-8.600	59.220	25.310
35.035	14.624	-5.787	-20.411	20.411	-8.699	59.441	25.371
35.084	14.615	-5.854	-20.469	20.469	-8.800	59.560	25.380
35.134	14.607	-5.919	-20.527	20.527	-8.899	59.681	25.391
35.224	14.619	-5.986	-20.605	20.605	-9.000	59.900	25.450
35.273	14.611	-6.052	-20.662	20.662	-9.099	60.021	25.461
35.321	14.601	-6.119	-20.720	20.720	-9.200	60.140	25.470
35.411	14.613	-6.184	-20.798	20.798	-9.299	60.361	25.531
35.459	14.604	-6.251	-20.855	20.855	-9.400	60.479	25.540
35.548	14.616	-6.316	-20.932	20.932	-9.499	60.700	25.601
35.595	14.606	-6.383	-20.989	20.989	-9.600	60.819	25.610
35.683	14.617	-6.449	-21.066	21.066	-9.699	61.040	25.671
35.731	14.608	-6.516	-21.123	21.123	-9.800	61.159	25.680
35.817	14.618	-6.582	-21.200	21.200	-9.900	61.379	25.740
35.865	14.608	-6.648	-21.256	21.256	-10.000	61.499	25.750
35.951	14.618	-6.714	-21.332	21.332	-10.100	61.719	25.810
35.997	14.609	-6.780	-21.389	21.389	-10.200	61.839	25.820
36.083	14.619	-6.845	-21.464	21.464	-10.299	62.060	25.881
36.168	14.628	-6.912	-21.540	21.540	-10.400	62.279	25.940
36.214	14.618	-6.977	-21.596	21.596	-10.499	62.400	25.951
36.298	14.627	-7.044	-21.671	21.671	-10.600	62.619	26.010
36.343	14.617	-7.110	-21.726	21.726	-10.699	62.739	26.020
36.426	14.625	-7.176	-21.801	21.801	-10.800	62.958	26.079
36.471	14.615	-7.242	-21.856	21.856	-10.899	63.079	26.090
36.553	14.623	-7.308	-21.931	21.931	-11.000	63.298	26.149
36.635	14.631	-7.373	-22.004	22.004	-11.099	63.519	26.210
36.679	14.620	-7.440	-22.060	22.060	-11.200	63.638	26.219
36.761	14.628	-7.505	-22.133	22.133	-11.299	63.859	26.280
36.804	14.616	-7.572	-22.188	22.188	-11.400	63.978	26.289
36.885	14.624	-7.637	-22.261	22.261	-11.499	64.199	26.350
36.964	14.630	-7.704	-22.334	22.334	-11.600	64.418	26.409
37.007	14.619	-7.769	-22.388	22.388	-11.699	64.539	26.420
37.086	14.625	-7.836	-22.461	22.461	-11.800	64.758	26.479
37.164	14.631	-7.901	-22.533	22.533	-11.900	64.978	26.539

37.241	14.637	-7.967	-22.604	22.604	-12.000	65.198	26.599
37.284	14.625	-8.033	-22.658	22.658	-12.100	65.318	26.609
37.360	14.630	-8.099	-22.729	22.729	-12.200	65.537	26.669
37.436	14.636	-8.165	-22.800	22.800	-12.300	65.757	26.729
37.512	14.640	-8.231	-22.871	22.871	-12.400	65.977	26.789
37.553	14.629	-8.296	-22.924	22.924	-12.499	66.098	26.800
37.627	14.633	-8.362	-22.995	22.995	-12.600	66.317	26.859
37.702	14.637	-8.427	-23.064	23.064	-12.699	66.538	26.920
37.774	14.640	-8.494	-23.134	23.134	-12.800	66.756	26.978
37.848	14.645	-8.559	-23.203	23.203	-12.899	66.978	27.040
37.920	14.648	-8.625	-23.273	23.273	-13.000	67.197	27.099
37.960	14.635	-8.690	-23.325	23.325	-13.099	67.318	27.110
38.031	14.637	-8.756	-23.394	23.394	-13.200	67.537	27.169
38.102	14.640	-8.822	-23.462	23.462	-13.300	67.757	27.229
38.172	14.642	-8.888	-23.530	23.530	-13.400	67.977	27.289
38.242	14.644	-8.953	-23.597	23.597	-13.499	68.197	27.349
38.310	14.645	-9.019	-23.664	23.664	-13.600	68.415	27.408
38.379	14.647	-9.084	-23.731	23.731	-13.699	68.636	27.469
38.446	14.648	-9.150	-23.798	23.798	-13.800	68.855	27.528
38.514	14.649	-9.215	-23.864	23.864	-13.899	69.076	27.589
38.610	14.664	-9.281	-23.946	23.946	-14.000	69.395	27.698

평균 =	14.618				평균 =	25.594	
표준 편차 =	0.016						

[0110]

[0111]

도 12b에 도시된 바와 같이, 제2 실시예의 격자 구조(1205)는 제2 반사 축(1239)에 대해 제2 입사광(1230A, 1230B)을 반사시키도록 추가로 구성된다. 제2 입사광은 513 nm의 제2 파장을 갖고, 따라서 제2 파장은 제1 파장과 19nm, 또는 0.036의 파장 분율(WF)만큼 상이하다. 제2 입사광은 특정 부위(1217)에서 격자 매체(1210) 상에 입사된다. 제2 실시예의 특정 부위(1217)는, 제1 입사광 및 제2 입사광 둘 모두가 비추는 격자 매체 표면(1212)의 영역을 포함한다. 제2 반사 축(1239)은 격자 매체의 표면 법선(1222)과 +14.617도의 표면 법선에 대한 제2 반사 축 각도(1236)(내부 각도)만큼 상이한데, 여기서 제2 입사광은, -9.281도 내지 -2.665도의 범위에 걸쳐 있는, 표면 법선에 대한 제2 내부 입사각(1228A, 1228B)을 갖는다. 제2 입사광의 제2 내부 입사각은, -9.281도 내지 -2.665도에서, 대략 0.066도의 각도 간격들로 이격된 101개의 상이한 내부 각도들을 포함한다. 제2 실시예 스큐 미러의 일부 변형예들에서, 제2 입사광에 대한 제2 내부 입사각들은, -9.281도 내지 -2.665도에서, 약 0.66도의 각도 간격들로 이격된 10개의 상이한 내부 각도들을 포함한다.

[0112]

도 12b에 도시된 바와 같이, 표면 법선에 대한 -9.281도의 제2 내부 입사각(1228A)을 갖는 제2 입사광(1230A)은, 격자 구조(1205)에 의해 표면 법선에 대한 +38.598도의 제2 내부 반사각(1229A)을 갖는 제2 반사된 광(1233A)으로서 반사된다. 표면 법선에 대한 -2.655도의 제2 내부 입사각(1228B)을 갖는 제2 입사광(1230B)은, +31.836도의 제2 내부 반사각(1229B)을 갖는 제2 반사된 광(1233B)으로서 반사된다. 제2 반사된 광(1233A, 1233B)은 제2 파장을 갖는데, 즉, 제2 실시예에서 제2 반사된 광은 513 nm의 파장을 갖는다. 제2 실시예 스큐 미러(1200)에 대한 제2 입사광 각도들, 제2 반사된 광 각도들, 및 제2 반사 축 각도들이 표 4에 나타나 있다.

[0113]

[표 4]

제 2 실시예 스큐 미러에 대한, 제 2 입사광, 제 2 반사된 광, 및 제 2 반사 축의 각도들; 파장 = 513 nm; AK233-200 기록 매체; N = 101

제 2 내부 반사각 (표면 법선에 대한 각도, 도 단위)	제 2 반사 축 각도 (표면 법선에 대한 내부 각도, 도 단위)	제 2 내부 입사각 (표면 법선에 대한 각도, 도 단위)	제 2 입사광의 입사각 (반사 축에 대한 외부 각도, 도 단위)	제 2 반사된 광의 반사각 (표면 법선에 대한 외부 각도, 도 단위)	제 2 입사광의 입사각 (표면 법선에 대한 외부 각도, 도 단위)	제 2 반사된 광의 반사각 (표면 법선에 대한 외부 각도, 도 단위)	제 2 반사 축 각도 (표면 법선에 대한 외부 각도, 도 단위)
31.836	14.585	-2.665	-17.250	17.250	-4.000	52.300	24.150
31.941	14.604	-2.732	-17.336	17.336	-4.100	52.520	24.210
32.022	14.612	-2.799	-17.410	17.410	-4.200	52.690	24.245
32.080	14.608	-2.865	-17.472	17.472	-4.299	52.811	24.256
32.160	14.614	-2.932	-17.546	17.546	-4.400	52.980	24.290
32.240	14.621	-2.998	-17.619	17.619	-4.499	53.150	24.326
32.297	14.616	-3.065	-17.681	17.681	-4.600	53.270	24.335
32.378	14.623	-3.131	-17.754	17.754	-4.699	53.441	24.371
32.434	14.618	-3.198	-17.816	17.816	-4.800	53.561	24.381
32.514	14.625	-3.264	-17.889	17.889	-4.899	53.732	24.417
32.570	14.619	-3.331	-17.950	17.950	-5.000	53.851	24.426
32.626	14.615	-3.397	-18.011	18.011	-5.099	53.972	24.437
32.705	14.620	-3.464	-18.084	18.084	-5.200	54.141	24.471
32.737	14.604	-3.530	-18.134	18.134	-5.299	54.212	24.457
32.816	14.610	-3.597	-18.207	18.207	-5.400	54.382	24.491
32.872	14.605	-3.663	-18.267	18.267	-5.500	54.503	24.502
32.950	14.610	-3.730	-18.340	18.340	-5.600	54.672	24.536
33.006	14.605	-3.796	-18.401	18.401	-5.699	54.794	24.548
33.060	14.598	-3.863	-18.461	18.461	-5.800	54.912	24.556
33.137	14.604	-3.929	-18.533	18.533	-5.899	55.082	24.592
33.215	14.609	-3.996	-18.605	18.605	-6.000	55.252	24.626
33.292	14.615	-4.062	-18.677	18.677	-6.099	55.423	24.662
33.346	14.608	-4.129	-18.737	18.737	-6.200	55.541	24.671
33.423	14.614	-4.195	-18.809	18.809	-6.299	55.713	24.707
33.477	14.608	-4.262	-18.869	18.869	-6.400	55.833	24.717
33.554	14.613	-4.327	-18.941	18.941	-6.499	56.004	24.753
33.607	14.606	-4.395	-19.001	19.001	-6.600	56.123	24.762
33.683	14.611	-4.460	-19.072	19.072	-6.699	56.294	24.798
33.758	14.615	-4.527	-19.143	19.143	-6.800	56.463	24.832
33.812	14.609	-4.593	-19.202	19.202	-6.899	56.584	24.843
33.886	14.613	-4.660	-19.273	19.273	-7.000	56.752	24.876
33.939	14.607	-4.726	-19.333	19.333	-7.099	56.874	24.888

[0114]

33.992	14.599	-4.793	-19.392	19.392	-7.200	56.994	24.897
34.067	14.604	-4.859	-19.463	19.463	-7.299	57.165	24.933
34.141	14.608	-4.926	-19.533	19.533	-7.400	57.335	24.968
34.192	14.600	-4.992	-19.592	19.592	-7.500	57.454	24.977
34.266	14.604	-5.058	-19.662	19.662	-7.600	57.624	25.012
34.318	14.597	-5.124	-19.721	19.721	-7.699	57.745	25.023
34.391	14.600	-5.191	-19.791	19.791	-7.800	57.915	25.058
34.443	14.593	-5.257	-19.850	19.850	-7.900	58.036	25.068
34.258	14.467	-5.324	-19.791	19.791	-8.000	57.606	24.803
34.418	14.514	-5.390	-19.904	19.904	-8.100	57.977	24.939
34.576	14.560	-5.456	-20.016	20.016	-8.200	58.348	25.074
34.733	14.606	-5.522	-20.127	20.127	-8.299	58.719	25.210
34.846	14.629	-5.589	-20.217	20.217	-8.401	58.988	25.294
34.897	14.621	-5.654	-20.276	20.276	-8.500	59.109	25.305
34.967	14.623	-5.721	-20.344	20.344	-8.600	59.279	25.340
35.018	14.615	-5.787	-20.402	20.402	-8.699	59.400	25.351
35.108	14.627	-5.854	-20.481	20.481	-8.800	59.618	25.409
35.137	14.609	-5.919	-20.528	20.528	-8.899	59.690	25.396
35.207	14.610	-5.986	-20.596	20.596	-9.000	59.859	25.430
35.277	14.612	-6.052	-20.664	20.664	-9.099	60.030	25.466
35.345	14.613	-6.119	-20.732	20.732	-9.200	60.198	25.499
35.414	14.615	-6.184	-20.799	20.799	-9.299	60.368	25.535
35.482	14.615	-6.251	-20.866	20.866	-9.400	60.536	25.568
35.551	14.617	-6.316	-20.934	20.934	-9.499	60.708	25.605
35.618	14.617	-6.383	-21.001	21.001	-9.600	60.876	25.638
35.666	14.608	-6.449	-21.058	21.058	-9.699	60.996	25.649
35.753	14.619	-6.516	-21.134	21.134	-9.800	61.216	25.708
35.820	14.619	-6.582	-21.201	21.201	-9.900	61.385	25.743
35.887	14.619	-6.648	-21.267	21.267	-10.000	61.555	25.778
35.954	14.620	-6.713	-21.334	21.334	-10.100	61.727	25.814
36.020	14.620	-6.780	-21.400	21.400	-10.200	61.897	25.849
36.067	14.611	-6.845	-21.456	21.456	-10.299	62.017	25.859
36.170	14.629	-6.912	-21.541	21.541	-10.400	62.286	25.943
36.217	14.620	-6.977	-21.597	21.597	-10.499	62.407	25.954
36.282	14.619	-7.044	-21.663	21.663	-10.600	62.577	25.989
36.365	14.628	-7.110	-21.737	21.737	-10.699	62.798	26.050
36.429	14.627	-7.176	-21.803	21.803	-10.800	62.967	26.084
36.475	14.617	-7.242	-21.858	21.858	-10.899	63.089	26.095
36.557	14.625	-7.308	-21.933	21.933	-11.000	63.309	26.155
36.621	14.624	-7.373	-21.997	21.997	-11.099	63.480	26.191
36.665	14.612	-7.440	-22.053	22.053	-11.200	63.599	26.200
36.746	14.620	-7.505	-22.126	22.126	-11.299	63.819	26.260
36.826	14.627	-7.572	-22.199	22.199	-11.400	64.037	26.319
36.888	14.626	-7.637	-22.263	22.263	-11.499	64.209	26.355
36.950	14.623	-7.704	-22.327	22.327	-11.600	64.379	26.390
37.029	14.630	-7.769	-22.399	22.399	-11.699	64.600	26.451
37.107	14.636	-7.836	-22.472	22.472	-11.800	64.819	26.510
37.185	14.642	-7.901	-22.543	22.543	-11.900	65.039	26.570

[0115]

37.228	14.630	-7.967	-22.598	22.598	-12.000	65.159	26.580
37.305	14.636	-8.033	-22.669	22.669	-12.100	65.380	26.640
37.364	14.633	-8.099	-22.731	22.731	-12.200	65.549	26.675
37.440	14.638	-8.165	-22.803	22.803	-12.300	65.770	26.735
37.499	14.634	-8.231	-22.865	22.865	-12.400	65.940	26.770
37.557	14.631	-8.296	-22.926	22.926	-12.499	66.111	26.806
37.632	14.635	-8.362	-22.997	22.997	-12.600	66.330	26.865
37.706	14.639	-8.427	-23.067	23.067	-12.699	66.551	26.926
37.779	14.643	-8.494	-23.136	23.136	-12.800	66.770	26.985
37.852	14.647	-8.559	-23.206	23.206	-12.899	66.991	27.046
37.908	14.641	-8.625	-23.266	23.266	-13.000	67.159	27.080
37.980	14.645	-8.690	-23.335	23.335	-13.099	67.380	27.141
38.051	14.647	-8.756	-23.404	23.404	-13.200	67.599	27.200
38.121	14.650	-8.822	-23.472	23.472	-13.300	67.819	27.260
38.176	14.644	-8.888	-23.532	23.532	-13.400	67.989	27.295
38.245	14.646	-8.953	-23.599	23.599	-13.499	68.208	27.355
38.314	14.647	-9.019	-23.666	23.666	-13.600	68.427	27.414
38.398	14.657	-9.084	-23.741	23.741	-13.699	68.697	27.499
38.465	14.657	-9.150	-23.808	23.808	-13.800	68.916	27.558
38.517	14.651	-9.215	-23.866	23.866	-13.899	69.087	27.594
38.598	14.658	-9.281	-23.940	23.940	-14.000	69.355	27.678
-----				-----			
평균 =	14.617				평균 =	25.593	
표준 편차 =	0.025						

[0116]

[0117] 명확화를 위해, 도 12a 및 도 12b에서의 광은, 격자 구조(1205)의 중심에 근접하게 존재하는 지점에서 반사되는 것으로 예시되어 있다. 그러나, 당업자들은, 광이 전형적으로 특정 지점에서보다는 오히려 격자 구조 전체에 걸쳐 반사된다는 것을 인식한다.

[0118] 제2 실시예에서, 제2 반사 축 각도는 제1 반사 축 각도와 $WF = 0.036$ 을 가로질러 대략 0.0005 도만큼 상이하다. 이러한 매우 낮은 수준의 변화는 반사각들을 측정하는 데 사용되는 계측장비의 정밀도의 수준에 접근할 수 있다. 따라서, 본 발명의 목적을 위해, 제2 반사 축은 제1 반사 축과 상이하지 않다고 말할 수 있다. 일부 응용들의 경우, 반사 축 각도들 사이의 차이는 0.025 도 이하이어야 한다. 일부 다른 응용들의 경우, 반사 축 각도들 사이의 차이는 $WF \geq 0.036$ 을 가로질러 0.010 도 이하이어야 한다. 제2 실시예 스큐 미러는 이러한 요건들을 충족한다. 스튜던트의 t-테스트(Student's t-test)(양측 검정)는, 제1 반사 축 각도와 제2 반사 축 각도 간의 차이가 없음을 나타낸다(그룹당 $N = 101$; $P = 0.873$). 또한, 0.001 도 이하의 차이는, 스큐 미러 반사각들을 측정하는 데 사용되는 계측장비의 정밀도가 문제시된다. 따라서, 본 발명의 목적을 위해, 제2 반사 축이 제1 반사 축과 0.001 도 이하만큼 상이한 경우, 제2 반사 축은 제1 반사 축과 상이하지 않다고 말할 수 있다.

[0119] 제2 실시예 스큐 미러의 경우, 제1 반사 축에 대한 제1 입사광의 입사각들은 -17.250 도 내지 -23.946 도로 다양하다. 제2 반사 축에 대한 제2 입사광의 입사각들은 -17.250 도 내지 -23.940 도로 다양하다. 따라서, 제1 입사광 및 제2 입사광 각각이 제1 반사 축으로부터 적어도 17.20 도 오프셋되어 있다고 말할 수 있다. 제2 실시예 스큐 미러의 경우, 입사광 및 그의 반사에 대해, 반사 축에 대한 입사각들 및 반사각들이 각각 표 3 및 표 4에 정리되어 있다.

[0120] 입사광 및 그의 반사에 대해 표면 법선에 대한 제2 실시예 외부 각도들이 또한 도 12a 및 도 12b에 예시되어 있다. 도 12a에서 알 수 있는 바와 같이, 제1 입사광(1224A, 1224B)에 대해 표면 법선에 대한 외부 각도들은, -14.000 도의 제1 입사광 외부 각도(1213A) 내지 -4.000 도의 제1 입사광 외부 각도(1213B)의 범위이다. 도 12a에서 알 수 있는 바와 같이, 제2 입사광(1230A, 1230B)에 대해 표면 법선에 대한 외부 각도들은, -14.000 도의 제2 입사광 외부 각도(1215A) 내지 -4.000 도의 제2 입사광 외부 각도(1215B)의 범위이다. 제1 반사된 광 외부 각도들(1214A, 1214B) 및 제2 반사된 광 외부 각도들(1216A, 1216B)이 또한 각각 도 12a 및 도 12b에 예시되어 있다.

[0121] 당업자들은, 입사광 및 그의 반사가 전형적으로 반전되어서, 이전에 반사각이었던 것이 입사각이 되도록 될 수 있고, 그 반대로도 가능하다는 것을 인식할 것이다. 그러나, 본 발명의 목적을 위해, 입사각들의 범위의 언급 또는 설명은, 반사 축의 일 측부 또는 다른 측부 - 그러나 둘 모두는 아님 - 로 배향되는 입사광, 또는 재귀반사된 입사광의 경우에, 반사 축에 대한 0의 입사각을 지칭한다. 따라서, 입사각들의 범위는 반사 축들과 관련하여 양 및 음인 각도들을 포함하지 않는다. 여기서 예시되고 기술되는 바와 같이, 그들 각각의 반사 축들에 대한 입사각들은 음(즉, 시계 방향으로)이다. 그러나, 이러한 관례는 편의상 그리고 단순함을 위해 사용되고,

스큐 미러가 반사 축의 일 측부에 존재하는 입사광만을 반사시킬 수 있음을 교시하거나, 제안하거나, 또는 암시하는 것을 의미하지는 않는다.

[0122] 제3 실시예 스큐 미러

[0123] 제3 실시예 스큐 미러는 격자 매체 내에 존재하는 격자 구조를 포함하고, 격자 구조는 격자 매체 내에서 서로 오버랩되는 21개의 체적 홀로그램들을 포함한다.

[0124] 제3 실시예 격자 매체는, Covestro AG(구 Bayer MaterialScience AG)(독일 레버쿠젠 소재)로부터 입수가 가능한, BAYFOL® HX TP 광중합체 필름으로 명명된, 상업적인 감광성 중합체 광학 기록 매체이다. 제3 실시예의 BAYFOL® HX TP 기록 매체는 대략 70 μm 두께이고, 전형적으로 체적 홀로그램들을 기록하는 결과로서 약 1.0% 수축된다. 따라서, 제3 실시예 격자 매체에 체적 홀로그램들을 기록할 때 수축 보상이 전형적으로 채용된다. 수축 보상은 제3 실시예 스큐 미러를 제조하는 방법에서 후술된다.

[0125] 제3 실시예 스큐 미러의 변형예들은 유리 커버 또는 유리 기관과 같은 추가 층을 포함할 수 있다. 추가 층은 전형적으로 격자 매체에 매칭되는 굴절률을 갖고, 굴절률 매칭 유체의 박막이 제3 실시예 격자 매체와 추가 층 사이에 존재할 수 있다.

[0126] 제3 실시예의 격자 구조는 제1 반사 축에 대해 제1 입사광을 반사시키도록 구성되는 물리적 특성을 갖는다. 제1 입사광은 532 nm의 제1 파장을 갖고, 특정 부위에서 격자 매체 상에 입사된다. 제1 반사 축은 격자 매체의 표면 법선과 +9.419도의 표면 법선에 대한 제1 반사 축 각도(내부 각도)만큼 상이한데, 여기서 제1 입사광은, -6.251도 및 +0.334도를 포함하여, -6.251도 내지 +0.334도(6.585도의 범위)로 존재하는, 표면 법선에 대한 내부 각도를 갖는다. 제1 입사광의 내부 각도는 대략 6.59도의 범위에 걸쳐 있는 다수의 각도들을 포함하고, 다수의 각도들은, -6.251도 내지 +0.334도에서, 대략 0.067도의 각도 간격들로 이격된 100개의 상이한 내부 각도들을 포함한다.

[0127] 표면 법선에 대한 -6.251도의 내부 각도를 갖는 제3 실시예 제1 입사광은, 격자 구조에 의해 표면 법선에 대한 +25.027도의 내부 각도를 갖는 제1 반사된 광으로서 반사된다. 표면 법선에 대한 +0.334도의 내부 각도를 갖는 제1 입사광은, +18.487도의 내부 각도를 갖는 제1 반사된 광으로서 반사된다. 제1 반사된 광은 제1 파장을 갖는데, 즉, 제3 실시예에서 제1 반사된 광은 532 nm의 파장을 갖는다.

[0128] 제3 실시예의 격자 구조는 제2 반사 축에 대해 제2 입사광을 반사시키도록 추가로 구성된다. 제2 입사광은 513 nm의 제2 파장을 갖고, 따라서 제2 파장은 제1 파장과 19nm, 또는 0.036의 파장 분율(WF)만큼 상이하다. 제2 입사광은 특정 부위에서 격자 매체 상에 입사된다. 제2 반사 축은 격자 매체의 표면 법선과 +9.400도의 표면 법선에 대한 제2 반사 축 각도(내부 각도)만큼 상이한데, 여기서 제2 입사광은, -6.251도 내지 +0.334도의 범위에 걸쳐 있는, 표면 법선에 대한 내부 각도를 갖는다. 제2 입사광의 내부 각도는, -6.251도 내지 +0.334도에서, 대략 0.067도의 각도 간격들로 이격된 100개의 상이한 내부 각도들을 포함한다.

[0129] 표면 법선에 대한 -6.251도의 내부 각도를 갖는 제3 실시예 제2 입사광은, 격자 구조에 의해 표면 법선에 대한 +24.967도의 내부 각도를 갖는 제2 반사된 광으로서 반사된다. 표면 법선에 대한 +0.334도의 내부 각도를 갖는 제2 입사광은, +18.425도의 내부 각도를 갖는 제2 반사된 광으로서 반사된다. 제2 반사된 광은 제2 파장을 갖는데, 즉, 제3 실시예에서 제2 반사된 광은 513 nm의 파장을 갖는다. 제3 실시예의 제2 반사 축은 제1 반사 축과 실질적으로 일치한다.

[0130] 표 5는 제1, 제2, 및 제3 실시예 스큐 미러들의 반사 특성들을 요약한다.

[0131] [표 5]

$\lambda = 532 \text{ nm}$ 및 $\lambda = 513 \text{ nm}$ 에서의 반사 축 각도들 사이의 차이

	제 1 실시예 스큐 미러 (AK174-200 기록 매체) N = 100 개의 측정치들	제 2 실시예 스큐 미러 (AK233-200 기록 매체) N = 101 개의 측정치들	제 3 실시예 스큐 미러 (BAYFOL® HX 기록 매체) N = 100 개의 측정치들
$\lambda = 532 \text{ nm}$ 에서의 평균 반사 축 내부 각도*	13.693°	14.617°	9.400°
$\lambda = 513 \text{ nm}$ 에서의 평균 반사 축 내부 각도*	13.759°	14.618°	9.419°
$\lambda = 532 \text{ nm}$ 및 $\lambda =$ 513nm에서의 반사 축 내부 각도들 사이의 차이**	0.066°	0.0005°	0.018°
입사광 내부 각도들 ***	-4.660° 내지 +1.933° (범위 = 6.593°)	-9.281° 내지 -2.665° (범위 = 6.616°)	-6.251° 내지 +0.334° (범위 = 6.585°)
$\lambda = 532 \text{ nm}$ 에서의 평균 반사 축 외부 각도*	22.234°	25.594°	14.720°
$\lambda = 513 \text{ nm}$ 에서의 평균 반사 축 외부 각도*	22.110°	25.593°	14.690°
$\lambda = 532 \text{ nm}$ 및 $\lambda =$ 513nm에서의 반사 축 외부 각도들 사이의 차이**	0.124°	0.0005°	0.030°
입사광 외부 각도들 ***	-7.000° 내지 2.900°	-14.000° 내지 -4.000°	-9.400° 내지 +0.501°

* 평균 각도들은 표면 법선에 대한 것이고, N 개의 입사광 입사각들에서의 N 개의 측정치들의 평균들이고;
입사광 및 반사된 광 둘 모두는 특정된 파장(λ)을 갖는다.

** $\lambda = 532 \text{ nm}$ 및 $\lambda = 513 \text{ nm}$ 에서의 평균 반사 축 각도들 사이의 차이들은 절대값들이고, 따라서 음수들을
제외한다.

*** 표면 법선에 대한, 입사광 입사각들.

[0132]

[0133]

반사 축이 일정하게 유지되는 입사각들의 범위는 $\Delta \Theta_B$ 에 관하여 표현될 수 있다. 하기 표 6에 나타난 바와
같이, 제1 실시예 스큐 미러에 대한 반사 축 각도는, 서로 $WF \geq 0.036$ 만큼 상이한 다수의 파장들에서, $\geq 20 \times$
 $\Delta \Theta_B$ 의 입사각들의 범위를 갖는 입사광에 대해 0.015도 미만으로 변한다. 제2 실시예 스큐 미러의 경우, 반사
축 각도는, 서로 $WF \geq 0.036$ 만큼 상이한 다수의 파장들에서, $\geq 20 \times \Delta \Theta_B$ 의 입사각들의 범위를 갖는 입사광에
대해 0.020도 미만으로 변한다.

[0134] [표 6]

대략 20 x Δθ_B의 입사각 범위를 가로지르는 반사 측 각도들의 변화

스큐 미러 실시예	λ *	반사 측 각도들의 차이 **	입사광 각도 범위 ***	Δθ _B [†]
제 1 실시예 스큐 미러 (AK174-200 기록 매체)	532 nm	0.012°	-3.198° 내지 +0.400° (3.598° = 20.3 x Δθ _B)	0.177°
	513 nm	0.012°	-3.198° 내지 +0.400° (3.598° = 21.0 x Δθ _B)	0.171°
제 2 실시예 스큐 미러 (AK233-200 기록 매체)	532 nm	0.019°	-7.242° 내지 -4.726° (2.516° = 20.0 x Δθ _B)	0.126°
	513 nm	0.016°	-7.242° 내지 -4.726° (2.516° = 20.6 x Δθ _B)	0.122°

* 입사광 및 반사된 광 둘 모두의 파장.

** 대략 20 x Δθ_B의 입사각의 변화를 갖는 입사광에 대한 반사 측 각도들(표면 법선에 대한 내부 각도)의 차이.

*** 20 x Δθ_B와 대략 동일한 입사광 입사각들(표면 법선에 대한 내부 각도)의 범위 - 이에 대한 반사 측 각도들의 차이가 이 표에서 보고됨.

† Δθ_B는 이 표에서 보고되는 입사광 각도 범위의 중간점에서의 입사광 입사각에 대해 계산된다.

[0135]

[0136] 스큐 미러를 제조하는 방법

[0137]

스큐 미러를 제조하기 위한 예시적인 시스템(1350)이 도 13에 예시되어 있다. 예시적인 시스템(1350)은 제1 미러(1352A)와 제2 미러(1352B) 사이에 배치된 격자 매체(1310)를 포함한다. 제1 및 제2 미러들은, 제1 기록 빔(1354) 및 제2 기록 빔(1355)이 서로 교차하고 간섭하여 격자 매체(1310) 내에 홀로그램(1305)으로서 기록되는 간섭 패턴을 형성하도록 기록 빔들을 지향시키기 위해 배열된다. 홀로그램(1305)은 격자 구조의 일례이다.

[0138]

기록 빔들은 홀로그래픽 업계의 당업자들에 의해 때때로 사용되는 관례에 따라 참조 빔 및 신호 빔으로 지칭될 수 있다. 그러나, 제1 및 제2 기록 빔들 각각은 전형적으로 (그들이 격자 매체 상에 입사되는 각도들 이외에는) 서로 동일한 단색 시준된 평면파 빔들이다. 또한, 소위 신호 빔은 전형적으로 그 내부에 어떠한 인코딩된 데이터도 포함하지 않으며, 이는 소위 참조 빔에도 또한 존재하지 않는다. 따라서, 하나의 기록 빔을 신호 빔으로서 그리고 다른 하나의 기록 빔을 참조 빔으로서 지정하는 것은 임의적일 수 있는데, 이때 "신호" 및 "참조"의 지정은, 하나의 기록 빔이 다른 하나의 기록 빔에 존재하지 않는 인코딩된 데이터를 포함하는 것을 나타내기보다는 오히려, 2개의 기록 빔 사이를 구별하는 역할을 한다.

[0139]

일부 실시예들에서, 기록 빔들은 서로 상이한 폭들을 가질 수 있거나, 또는 그들은 동일할 수 있다. 기록 빔들은 각각 서로 동일한 세기를 가질 수 있거나, 또는 세기가 빔들 사이에서 상이할 수 있다. 격자 매체(1310)는 전형적으로 제1 프리즘(1359A)과 제2 프리즘(1359B) 사이의 제자리에, 프리즘들 및 격자 매체 둘 모두에 굴절률 매칭된 유체를 사용하여 고정된다. 스큐 축(1361)은 표면 법선(1322)에 대한 스큐 각도(1364)로 존재한다. 제1 및 제2 기록 빔들(1354, 1355)은 각각, 표면 법선(1322)에 대한 제1 기록 빔 내부 각도(1356) 및 제2 기록 빔 내부 각도(1357)로 존재한다. 빔 차이 각도(α)(1358)는 제1 및 제2 기록 빔들(1354, 1355)의 서로에 대한 각도이다. 실시예들에서, α는 0 내지 180도의 범위로 존재한다. 각각의 홀로그램에 대한 스큐 각도(1364)는 수학적(9)에 따라 계산될 수 있고,

[0140]

$$\theta_{\text{skew}} = (\theta_{R1} + \theta_{R2} - 180^\circ)/2 \quad (9)$$

[0141]

여기서 θ_{skew} 는 스큐 각도, 즉, 표면 법선에 대한 스큐 축의 내부 각도이고;

[0142]

θ_{R1} 은 표면 법선에 대한 제1 기록 빔 내부 각도이고;

[0143]

θ_{R2} 는 표면 법선에 대한 제2 기록 빔 내부 각도이다.

[0144]

도 13에서 알 수 있는 바와 같이, 제1 및 제2 기록 빔들(1354, 1355)은 스큐 축(1361)에 대해 대칭적이어서, 스큐 축에 대한 제1 기록 빔 내부 각도(1366) + 스큐 축에 대한 제2 기록 빔 내부 각도(1367)가 180도와 동일하도록 된다. 스큐 축에 대한 제1 및 제2 기록 빔들의 내부 각도들(1366, 1367)은, 각각 제1 및 제2 기록 빔 내부

각도들(1356, 1357), 및 스큐 각도(1364)로부터 용이하게 계산된다.

- [0145] 제1 및 제2 기록 빔들 각각은 전형적으로 레이저 광원으로부터 비롯되는 시준된 평면파 빔들이다. 평면파 빔들은 각각의 기록 빔에 대한 다수의 광선 묘사들을 사용하여 예시될 수 있다. 그러나, 명확화를 위해, 도 13에서는, 제1 및 제2 기록 빔들이 각각의 기록 빔에 대한 단일 광선 묘사를 사용하여 예시되어 있다.
- [0146] 예를 들어, 제1 기록 빔(1354)이 제1 프리즘(1359A)의 공기/프리즘 경계와 교차하고 제2 기록 빔(1355)이 제2 프리즘(1359B)의 공기/프리즘 경계와 교차하는, 공기/프리즘 경계들에서의 굴절은, 도 13에서 엄격하게 정량적으로보다는 오히려 상징적으로 도시되어 있다. 프리즘들이 전형적으로 격자 매체(1310)에 굴절을 매칭되기 때문에, 프리즘/격자 매체 경계에서의 굴절은 통상적으로 무시될 수 있다. 실시예들에서, 격자 매체 및 프리즘들은 각각 대략 1.50의 굴절률을 갖는다.
- [0147] (홀로그램들의 집합에 대한 평균 스큐 각도를 포함하는) 홀로그램에 대한 스큐 각도는, 반사 축 각도와 실질적으로 동일할 수 있고, 이는 스큐 각도 또는 평균 스큐 각도가 반사 축 각도의 1.0도 이내에 있음을 의미한다. 당업자들은, 스큐 각도 및 반사 축 각도가 이론적으로 동일할 수 있다는 것을 인식할 것이다. 그러나, 시스템 정밀도 및 정확도의 제한들, 홀로그램들을 기록하는 동안 발생하는 기록 매체의 수축, 및 오차의 다른 공급원들로 인해, 기록 빔 각도들에 기초하여 측정되거나 추정되는 바와 같은 스큐 각도 또는 평균 스큐 각도는, 스큐 미러에 의해 반사되는 광의 반사각들 및 입사각들에 의해 측정되는 바와 같은 반사 축 각도와 완벽하게 매칭되지 않을 수 있다. 그럼에도 불구하고, 매체 수축 및 시스템 결함들이 스큐 각도 및 반사 축 각도를 추정하는 데에 있어서 오차들에 기여하더라도, 기록 빔 각도들에 기초하여 결정되는 스큐 각도는, 입사광 및 그의 반사의 각도들에 기초하여 결정되는 반사 축 각도의 1.0도 이내일 수 있다. 스큐 축/반사 축은 일반적으로, 스큐 미러의 제조를 언급할 때(예를 들어, 스큐 미러 격자 매체에 홀로그램을 기록하는 것을 기술할 때) 스큐 축으로, 그리고 스큐 미러의 광 반사 특성들을 언급할 때 반사 축으로 불린다.
- [0148] 제1 및 제2 기록 빔들(1354, 1355)이 격자 매체 상에 입사되는 각도들은, 제1 및 제2 빔 미러들(1352A, 1352B) 각각을 회전시킴으로써 조정된다. 회전 화살표들(1353)에 의해 나타낸, 빔 미러들의 회전은, 입사각들을 조정할 뿐만 아니라, 격자 매체(1310) 내에서 기록 빔들이 서로 간섭하는 위치를 변경시킬 것이다. 따라서, 빔 미러들이 입사각들을 조정하기 위해 회전될 때, 격자 매체(1310) 및 프리즘들(1359A, 1359B)은, 이전에 기록된 홀로그램들과 격자 매체 내의 대략 동일한 위치에 새로운 홀로그램들을 기록하기 위해 병진 이동된다. 격자 매체(1310)의 병진은 병진 화살표(1360)에 의해 나타나 있다.
- [0149] 예시적인 시스템(1350)의 변형예에서, 가변 파장 레이저가 제1 및 제2 기록 빔들의 파장을 가변시키는 데 사용된다. 제1 및 제2 기록 빔들의 입사각들은 제1 및 제2 기록 빔들의 파장이 변경되는 동안 일정하게 유지될 수 있지만, 반드시 그러한 것은 아니다.
- [0150] 스큐 미러를 제조하는 제1 방법
- [0151] 스큐 미러를 제조하는 제1 방법이 도 14에 예시되어 있다. 제1 방법의 스큐 미러는 제1 실시예 스큐 미러(1100)이며, 이는 또한 도 11a 및 도 11b에 예시되어 있고, 이들의 반사 특성들은 전술되어 있다. 제1 방법은 전형적으로 도 13에 예시되고 전술된 예시적인 시스템(1350)과 같은 스큐 미러를 제조하기 위한 시스템을 이용한다. 그러나, 명확화를 위해, 도 14에서는 제1 및 제2 프리즘들이 생략되어 있고, 기록 빔들은 공기/격자 매체 경계들 또는 공기/프리즘 경계들에서의 굴절을 나타내지 않고서 예시되어 있다. 그러나, 당업자들은, 굴절이 전형적으로 공기/프리즘 경계(또는 굴절을 매칭된 프리즘들이 사용되지 않는 경우, 공기/격자 매체 경계)에서 발생하고, 기술된 내부 각도들을 달성하기 위한 시스템 또는 방법을 설계할 때 고려되어야 한다는 것을 인식할 것이다.
- [0152] 제1 기록 빔(1154) 및 제2 기록 빔(1155)이 제1 실시예 격자 매체(1110)에서 지향되는데, 여기서 기록 빔들은 서로 간섭하여 간섭 패턴을 생성하고, 간섭 패턴은 격자 매체(1110) 내에 체적 홀로그램으로서 기록된다. 기록 빔들은 전형적으로, 외부 공동, 파장 가변 다이오드 레이저(tunable diode laser)로부터의 405 nm 광 빔을 2개의 별개의 빔들로 분할함으로써 생성된다. 광 빔은 편광 빔 스플리터를 사용하여 분할되고, 2개의 별개의 빔들 중 하나의 빔의 극성을 p-편광으로부터 s-편광으로 변경하여, 2개의 별개의 빔들 둘 모두가 s-편광되도록 하기 위해 1/2 파장판이 사용된다. s-편광 빔들 중 하나는 제1 기록 빔(1154)이 되고, s-편광 빔들 중 다른 하나는 제2 기록 빔(1155)이 된다. 제1 및 제2 기록 빔들 각각은 405 nm의 파장을 갖는 시준된 평면파 빔이다.
- [0153] 제1 실시예 스큐 미러는, 그것이 기록 빔 파장과는 실질적으로 상이한 파장, 및 특히 그보다 상당히 더 긴 파장의 광을 반사시키게 하는 반사 특성들을 갖는 것으로부터 이익을 얻는다. 제1 실시예 홀로그램들이 405 nm 파

장 기록 빔들로 기록되는 AK174-200 격자 매체는, 200 μm 두께의 매체에 대해 대략 0.07 흡광도 단위들로 405 nm 광을 흡수한다. 역으로, AK174-200 격자 매체는 425 nm 초과와 가시광 파장의 광에 대해 무시해도 될 정도의 흡광도를 갖는다(200 μm 당 0.002 미만의 흡광도 단위들에서 보수적으로 추정됨; 무시해도 될 정도의 흡광도는 전형적으로 0과 구별하기 어렵다). 따라서, AK174-200 격자 매체는, 제1 실시예 스큐 미러가 반사시키도록 구성되는 녹색 광(예를 들어, 503 nm 내지 537 nm의 범위)보다 적어도 35배 더 강하게 (405 nm에서의) 기록 빔 광을 흡수한다.

[0154] 제1 실시예 스큐 미러(1100)의 격자 구조(1105)는 격자 매체(1110)에 48개의 체적 홀로그램들을 기록함으로써 생성된다. 48개의 홀로그램들 각각은 그 자신의 고유한 제1 기록 빔 내부 각도(1156) 및 그 자신의 고유한 제2 기록 빔 내부 각도(1157)로 기록된다. 제1 기록 빔 내부 각도(1156)는 격자 매체(1110)의 표면 법선(1122)에 대한 제1 기록 빔(1154)의 내부 각도이고, 제2 기록 빔 내부 각도(1157)는 표면 법선(1122)에 대한 제2 기록 빔(1155)의 내부 각도이다. 빔 차이 각도(α)(1158)는 제1 및 제2 기록 빔들(1154, 1155)의 서로에 대한 각도이다.

[0155] 제1 실시예 스큐 미러에 대한 제1 및 제2 기록 빔들 각각은 대략 3 mW/cm²의 방사조도를 갖는다. 전형적으로, 48개의 홀로그램들 중 제1 홀로그램이 35 mJ/cm²의 에너지 선량으로 기록되고, 선량은 각각의 후속 홀로그램에 대해 약 1.5%만큼 증가된다. 48개의 홀로그램들 모두를 기록하기 위한 총 에너지 선량은 전형적으로 약 2.5 J/cm²이다. 여기에 기술된 방사조도 및 에너지 선량들은 단지 예시적이다. 스큐 미러들 및 스큐 미러들을 제조하는 방법들의 다른 실시예들은 상이한 수준의 방사조도 및 에너지 선량을 사용할 수 있다.

[0156] 제1 홀로그램은 +53.218도의 제1 기록 빔 내부 각도(1156) 및 +154.234도의 제2 기록 빔 내부 각도(1157)를 사용하여 기록되며, 이는 101.016도의 빔 차이 각도(α)(1158)를 생성한다. 48개의 홀로그램들 각각에 대한 스큐 축(1161)은 표면 법선(1122)에 대한 +13.726도의 스큐 각도(1164)를 갖고, 따라서, 48개의 홀로그램들에 대한 평균 스큐 각도가 또한 +13.726도이다. 각각의 홀로그램에 대한 스큐 각도는 상기 수학적식(9)에 따라 계산된다. 격자 구조의 각각의 후속 홀로그램에 대해, 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들(1156, 1157)은 전형적으로, 서로 크기가 대략 동일하지만 반대인 부호들을 갖는 양들만큼 변경되며, 이는 스큐 축에 대해 제1 및 제2 기록 빔들의 대칭을 유지한다.

[0157] 예를 들어, 제2 홀로그램에 대해, 제1 기록 빔 내부 각도는 +0.091도만큼 변경되고, 제2 기록 빔 내부 각도는 -0.091도만큼 조정되어서, 제1 기록 빔 내부 각도(1156)는 +53.309도가 되고 제2 기록 빔 내부 각도는 +154.143도가 되고; $\alpha = 100.834$ 도이도록 된다. 하나의 홀로그램으로부터 다음 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화들의 크기들은, 제1 홀로그램으로부터 제2 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화들의 경우 0.091도로부터, 제47 홀로그램으로부터 제48 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화들의 경우 0.084도까지, 48개의 체적 홀로그램들을 가로질러 약간 변한다(즉, 하나의 홀로그램으로부터 다음 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화가 변한다). 그러나, 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들의 각각의 변화에 대해, 변화의 크기는 동일하고 부호는 제1 및 제2 빔 각도들 각각에 대해 반대이다. 제1 실시예 격자 구조(1105)의 마지막(제48) 홀로그램에 대한 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들(1156, 1157)은 각각 +57.332도 및 +150.120도이고, $\alpha = 92.788$ 도이다. 일부 실시예들에서, 제1 기록 빔 내부 각도의 변화의 크기는 제2 기록 빔 내부 각도의 변화의 크기와 아주 약간 상이할 수 있으며, 이는 시스템 부정확성, 스넬 효과들, 분산, 또는 홀로그램들을 기록하는 것으로부터 야기되는 격자 매체의 수축을 보상할 수 있다.

[0158] 격자 매체(1110)의 위치는, 하나의 홀로그램과 다음 홀로그램을 기록하는 사이에 (병진 화살표(1160)에 의해 나타낸 바와 같이) 조정되어서, 48개의 홀로그램들 각각의 적어도 일부가, 48개의 홀로그램들 중 다른 홀로그램들 모두의 적어도 일부와 공유되는 격자 매체 내의 공통 공간에 기록되도록 된다. 따라서, 48개의 홀로그램들 각각은 격자 매체 내의 48개의 홀로그램들 중 다른 홀로그램들 모두와 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩된다.

[0159] 제1 기록 빔 내부 각도(1156)는 +53.218 내지 +57.332도의 범위이고(4.114도의 범위), 제2 기록 빔 내부 각도(1157)는 +154.234 내지 +150.120도의 범위이다(4.114도의 범위). 도 14에서 알 수 있는 바와 같이, 제1 방법의 각각의 홀로그램에 대해, 제1 및 제2 기록 빔들(1154, 1155)은 스큐 축(1161)에 대해 대칭적이어서, 스큐 축에 대한 제1 기록 빔의 내부 각도(1166)(제1 홀로그램의 경우 +38.492도) + 스큐 축에 대한 제2 기록 빔의 내부 각도(1167)(제1 홀로그램의 경우 +141.508도)는 180도와 동일하도록 된다($38.492^\circ + 141.508^\circ = 180^\circ$). 스큐 축에 대한 제1 및 제2 기록 빔들의 내부 각도들(1166, 1167)은, 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들(1156, 1157) 각각, 및 스큐 각도(1164)로부터 용이하게 계산된다. 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들(이들은 격자 매체의 표면 법선에 대한 내부 각도들로서 정의됨) 및 제1 및 제2 기록 빔들의 스큐 축에 대한 내부 각도들이 표 7

에 열거되어 있다. 48개의 체적 홀로그램들을 기록한 후에, AK174-200 기록 매체는 당업자들에게 익숙한 프로세스에 의해 광 경화된다. [더 자세한 내용이 필요하다면 여기로]

[0160] 빔 차이 각도(α)는 수학식(10) 및 수학식(11)에 따라 K_G 를 계산하는 데 사용될 수 있다.

$$K_G \equiv |\vec{K}_G| = \sqrt{2k^2(1 - \cos \alpha)} \quad (10)$$

$$k \equiv |\vec{k}_1| = |\vec{k}_2| = \frac{2\pi n}{\lambda} \quad (11)$$

[0161] 여기서, \vec{K}_G 는 홀로그램에 대한 k-공간에서의 격자 벡터이고, \vec{K}_{G+} 및 \vec{K}_{G-} 둘 모두를 포함하고;

[0163] \vec{k}_1 , \vec{k}_2 는 홀로그램을 기록하기 위해 사용되는, 제1 및 제2 기록 빔들 각각에 대한 k-공간에서의 파수 벡터들이고;

[0164] α 는 전술된 바와 같은 빔 차이 각도이고;

[0165] λ 는 제1 및 제2 기록 빔들의 광의 진공 파장이고;

[0166] n 은 홀로그램의 평균 굴절률(홀로그램이 기록되는 격자 매체의 굴절률이 근사치로서 사용되는, "벌크 굴절률"로 지칭됨)이다.

[0167] \vec{K}_{G+} 및 \vec{K}_{G-} 의 보다 상세한 설명은 상기에서 제목이 홀로그래피에 대한 k-공간 형식론인 본 명세서의 섹션에서 발견된다.

[0168] 제1 실시예 스큐 미러에 대해 사용되는 AK174-200 격자 매체의 경우, n 은 405 nm의 광에 대해 1.50으로 추정된다. 제1 실시예 스큐 미러를 제조하기 위해 홀로그램들을 기록하는 데 사용되는 제1 및 제2 기록 빔들의 파장은 $405 \text{ nm} = 405 \times 10^{-9} \text{ m}$ 이다. 따라서, AK174-200 격자 매체에서 제1 및 제2 기록 빔들에 대해 $k = \text{미터당 } 2.327 \times 10^7 \text{ 라디안(rad/m)}$ 이다. 제1 실시예 스큐 미러의 홀로그램들에 대한 K_G 는, 제1 홀로그램에 대한 $3.592 \times 10^7 \text{ rad/m}$ 내지 제48 홀로그램에 대한 $3.370 \times 10^7 \text{ rad/m}$ 의 범위이다.

[0169] 임의의 2개의 홀로그램들 사이의 격자 벡터들의 차이의 절대값 $|\Delta K_G|$ 은, 홀로그램 "간격"(즉, 임의의 2개의 홀로그램들에 대한 격자 벡터들이 k-공간에서 서로 얼마나 가까운지)을 설명하기 위한 유용한 메트릭일 수 있다. 각각의 제1 실시예 홀로그램 및 그의 인접한 홀로그램(들)에 대한 $|\Delta K_G|$ 는 비교적 일정하며, 이때 48개의 홀로그램들 모두에 대한 평균 값이 $4.715 \times 10^4 \text{ rad/m}$ 이고 변동 계수는 0.11%이다. 각각의 홀로그램에 대한 인접한 홀로그램(들)은, 각각의 홀로그램에 대한 K_G 와 비교하여 다음으로 가장 높은 또는 다음으로 가장 낮은 K_G 를 갖는 홀로그램 또는 홀로그램들로 이루어진다. 각각의 제1 실시예 홀로그램 및 그의 인접한 홀로그램(들)에 대한 $|\Delta K_G|$ 는, 4.70×10^4 내지 $4.73 \times 10^4 \text{ rad/m}$ 미만의 범위에 존재한다. 제1 홀로그램과 제48 홀로그램 사이의 $|\Delta K_G|$ 는 $2.22 \times 10^6 \text{ rad/m}$ 이다.

[0170] 스큐 미러 실시예들에서, 하나의 홀로그램과 인접한 홀로그램 사이의 $|\Delta K_G|$ (이는 인접 $|\Delta K_G|$ 로 지칭될 수 있음)는, 다수의 홀로그램들에 대한 평균 값을 갖는데, 그 평균 값은 전형적으로 5.0×10^3 내지 $1.0 \times 10^7 \text{ rad/m}$ 의 범위, 보다 전형적으로는 1.0×10^4 내지 $5 \times 10^6 \text{ rad/m}$ 의 범위, 및 보다 더 전형적으로는 1.0×10^4 내지 $1.0 \times 10^6 \text{ rad/m}$ 의 범위에 존재하지만, 반드시 그러한 것은 아니다. 일부 실시예들에서, 다수의 홀로그램들에 대한 평균 인접 $|\Delta K_G|$ 는 8.0×10^4 내지 $5.0 \times 10^6 \text{ rad/m}$ 의 범위에 존재하고, 1.0×10^5 내지 $1.0 \times 10^6 \text{ rad/m}$ 의 범위에 존재할 수도 있다.

[0171] 일부 실시예들에서, 다수의 홀로그램들에 대한 평균 인접 $|\Delta K_G|$ 는 스큐 미러 성능에 강하게 영향을 미친다. 홀로그램들의 세트에 대한 비교적 작은 평균 인접 $|\Delta K_G|$ 는, 비교적 높은 스큐 미러 이미지 충실도(fidelity)에

대응할 수 있다. 그러나, 홀로그램들의 세트에 대한 인접 $|\Delta K_G|$ 가 비교적 작은 경우, 그 세트 내의 홀로그램들의 총 개수는 홀로그램 세트에 대한 주어진 $|\Delta K_G|$ 범위에 걸쳐 있기 위해 더 크다. 또한, 격자 매체들에 대한 기록 용량이 전형적으로 동적 범위(통상적으로 $M/\#$ 으로서 표현됨)에 의해 제한되는 것을 고려하면, 세트 내에 더 많은 홀로그램들을 기록하는 것은 통상적으로, 그 세트 내의 각각의 홀로그램이 보다 약함(즉, 매체 내에 보다 희미하게 기록되어 있음)을 의미한다. 따라서, 홀로그램 세트에 대한 비교적 작은 인접 $|\Delta K_G|$ 를 갖는 것(이는 보다 많은 홀로그램들을 요구하며, 다른 것들은 동일함)과, 그 세트에 대한 보다 큰 인접 $|\Delta K_G|$ 를 갖는 것 - 이는 보다 적은 기록을 가능하게 하지만, 보다 강한 홀로그램들을 가능하게 함 - 사이에 갈등이 존재한다. 보다 적고 보다 강한 홀로그램들은 전형적으로 스큐 미러에 의해 보다 강한 반사율을 야기한다. 더욱이, 비교적 광대역 조명원들(예컨대, 레이저들 대신에 LED)의 사용은, 보다 큰 평균 인접 $|\Delta K_G|$ 를 갖는 스큐 미러에서의 이미지 충실도 손실을 감소시킬 수 있다. 일부 실시예들에서, 다수의 홀로그램들에 대한 평균 인접 $|\Delta K_G|$ 가 $5.0 \times 10^3 \text{ rad/m}$ 내지 $1.0 \times 10^7 \text{ rad/m}$ 의 범위에 존재하는 스윗 스팟(sweet spot)이 존재한다. 평균 인접 $|\Delta K_G|$ 가 스윗 스팟 내에 존재하는 스큐 미러들의 실시예들은 전형적으로 이미지 충실도와 반사율의 바람직한 균형을 나타낸다.

[0172] 제1 실시예 스큐 미러의 48개의 홀로그램들 각각에 대한 α , K_G , 및 $|\Delta K_G|$ 에 대한 값들이 표 7에서 발견될 수 있다.

[0173] [표 7]

스큐 미러를 제조하는 제1 방법에 대한 기록 빔 각도들; 표면 법선에 대한 스큐 각도 = 13.726°								
#	제1 기록 빔 각도 (표면 법선에 대한 내부 각도, 도 단위)	제2 기록 빔 각도	스큐 축에 대한 제1 기록 빔의 내부 각도 (도)	스큐 축에 대한 제2 기록 빔의 내부 각도 (도)	이진 홀로그램과 의 각도 차이의 크기 (도)	α (도)	K_G ($\times 10^7$ rad/m)	홀로그램 과 그의 앞에 인접한 홀로그램 사이의 $ \Delta K_G $ ($\times 10^4$ rad/m)
1	53.218	154.234	39.492	140.508		101.016	3.592	
2	53.309	154.143	39.583	140.417	0.091	100.833	3.587	4.709
3	53.400	154.052	39.674	140.326	0.091	100.652	3.582	4.704
4	53.491	153.961	39.765	140.235	0.091	100.470	3.578	4.713
5	53.581	153.871	39.855	140.145	0.091	100.289	3.573	4.708
6	53.672	153.780	39.946	140.054	0.090	100.109	3.568	4.709
7	53.762	153.690	40.036	139.964	0.090	99.928	3.563	4.704
8	53.852	153.600	40.126	139.874	0.090	99.748	3.559	4.713
9	53.942	153.510	40.216	139.784	0.090	99.568	3.554	4.707
10	54.031	153.421	40.305	139.695	0.090	99.389	3.549	4.709
11	54.121	153.331	40.395	139.605	0.090	99.210	3.545	4.710
12	54.210	153.242	40.484	139.516	0.089	99.031	3.540	4.712
13	54.300	153.152	40.574	139.426	0.089	98.853	3.535	4.713
14	54.389	153.063	40.663	139.337	0.089	98.674	3.530	4.707
15	54.478	152.974	40.752	139.248	0.089	98.496	3.526	4.715
16	54.567	152.885	40.841	139.159	0.089	98.319	3.521	4.710
17	54.655	152.797	40.929	139.071	0.089	98.142	3.516	4.711
18	54.744	152.708	41.018	138.982	0.089	97.965	3.512	4.719
19	54.832	152.620	41.106	138.894	0.088	97.788	3.507	4.712
20	54.920	152.532	41.194	138.806	0.088	97.612	3.502	4.713
21	55.008	152.444	41.282	138.718	0.088	97.436	3.497	4.714
22	55.096	152.356	41.370	138.630	0.088	97.260	3.493	4.715
23	55.184	152.268	41.458	138.542	0.088	97.085	3.488	4.708
24	55.271	152.181	41.545	138.455	0.088	96.909	3.483	4.716
25	55.359	152.093	41.633	138.367	0.087	96.734	3.479	4.717
26	55.446	152.006	41.720	138.280	0.087	96.560	3.474	4.717
27	55.533	151.919	41.807	138.193	0.087	96.386	3.469	4.710
28	55.620	151.832	41.894	138.106	0.087	96.211	3.464	4.718
29	55.707	151.745	41.981	138.019	0.087	96.038	3.460	4.718
30	55.794	151.658	42.068	137.932	0.087	95.864	3.455	4.718
31	55.881	151.571	42.155	137.845	0.087	95.691	3.450	4.718
32	55.967	151.485	42.241	137.759	0.086	95.518	3.446	4.711
33	56.053	151.399	42.327	137.673	0.086	95.346	3.441	4.719
34	56.139	151.313	42.413	137.587	0.086	95.173	3.436	4.719
35	56.225	151.227	42.499	137.501	0.086	95.001	3.431	4.718
36	56.311	151.141	42.585	137.415	0.086	94.829	3.427	4.718
37	56.397	151.055	42.671	137.329	0.086	94.658	3.422	4.718
38	56.483	150.969	42.757	137.243	0.086	94.486	3.417	4.718
39	56.568	150.884	42.842	137.158	0.086	94.315	3.413	4.725
40	56.654	150.798	42.928	137.072	0.085	94.145	3.408	4.717
41	56.739	150.713	43.013	136.987	0.085	93.974	3.403	4.717
42	56.824	150.628	43.098	136.902	0.085	93.804	3.398	4.724
43	56.909	150.543	43.183	136.817	0.085	93.634	3.394	4.723
44	56.994	150.458	43.268	136.732	0.085	93.464	3.389	4.715
45	57.079	150.373	43.353	136.647	0.085	93.295	3.384	4.722
46	57.163	150.289	43.437	136.563	0.085	93.126	3.380	4.721
47	57.248	150.204	43.522	136.478	0.085	92.956	3.375	4.728
48	57.332	150.120	43.606	136.394	0.084	92.788	3.370	4.719
평균								4.715
표준편차								0.0054
%CV								0.11

[0174]

[0175]

스큐 미러를 제조하는 제1 방법의 변형예에서, 전술된 바와 같이 스큐 축에 대해 제1 및 제2 기록 빔들의 대칭을 유지하면서 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들을 계속해서 그리고 동기식으로 조정함으로써 홀로그램이 생성된다. 따라서, 제1 기록 빔이 +53.218도의 제1 기록 빔 내부 각도 내지 +57.332도의 제1 기록 빔 각도로 스캐닝되는 동안 단일 홀로그램이 기록된다. 동시에, 제2 기록 빔은 +154.234도 내지 +150.120도의 제2 기록 빔 내부 각도로 스캐닝된다. 따라서, 단일 홀로그램이 기록되고 있는 동안, α 는 101.016도 내지 92.788도로 다양하고, K_G 는 3.592×10^7 rad/m 내지 3.370×10^7 rad/m로 다양하다. 기록 빔 각도들이 변화함에 따라 비교적 넓은 공간을 가로질러 스미어링(smearing)되기보다는 오히려, 단일 홀로그램이 격자 매체 내의 비교적 콤팩트한 공간에 기록되도록 단일 홀로그램이 기록되고 있는 동안 격자 매체의 위치가 조정된다. 따라서, 단일 홀로그램은, 고유한 제1 기록 빔 및 제2 기록 빔 내부 각도들의 48개의 세트들로 기록되는 48개의 이산 홀로그램들과 매우 유사한 반사 특성들을 나타내고, 단일 홀로그램을 기록하기 위한 총 에너지 선량은 전형적으로 48개의 홀로그램들에 대해서와 대략 동일하다(2.5 J/cm^2).

- [0176] 스큐 미러를 제조하는 제2 방법
- [0177] 스큐 미러를 제조하는 제2 방법이 후술된다. 제2 방법에 의해 제조되는 스큐 미러는 제2 실시예 스큐 미러(1200)이며, 이는 또한 도 12a 및 도 12b에 예시되어 있고, 이들의 반사 특성들은 전술되어 있다.
- [0178] 제2 방법은, 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들이 제1 방법에 의한 것과는 상이하다는 것 이외에는, 제1 방법과 동일하며, 이는 제1 실시예의 스큐 미러 반사 특성들과는 상이한 제2 실시예 스큐 미러 반사 특성들을 제공한다. 본 예에서, 제2 방법은 제1 방법의 격자 매체(AK174-200)와는 상이한 격자 매체(AK233-200)를 사용하여 수행된다. 제1 실시예와 같이, 제2 실시예 스큐 미러는, 그것이 기록 빔 파장과는 실질적으로 상이한 파장, 및 특히 그보다 상당히 더 긴 파장의 광을 반사시키게 하는 반사 특성들을 갖는 것으로부터 이익을 얻는다.
- [0179] 제2 실시예 스큐 미러(1200)의 격자 구조(1205)는 격자 매체(1210)에 49개의 체적 홀로그램들을 기록함으로써 생성된다. 제2 방법의 49개의 홀로그램들 각각은 그 자신의 고유한 제1 기록 빔 내부 각도 및 그 자신의 고유한 제2 기록 빔 내부 각도로 기록된다. 제1 기록 빔 내부 각도는 격자 매체의 표면 법선에 대한 제1 기록 빔의 내부 각도이고, 제2 기록 빔 내부 각도는 표면 법선에 대한 제2 기록 빔의 내부 각도이다. 제1 실시예 스큐 미러에 대한 제1 및 제2 기록 빔들 각각은 대략 3 mW/cm^2 의 방사조도를 갖는다. 전형적으로, 49개의 홀로그램들 중 제1 홀로그램이 35 mJ/cm^2 의 에너지 선량으로 기록되고, 선량은 각각의 후속 홀로그램에 대해 약 1.5%만큼 증가된다. 49개의 홀로그램들 모두를 기록하기 위한 총 선량은 전형적으로 약 2.5 J/cm^2 이다.
- [0180] 제2 방법에 따르면, $+55.913^\circ$ 의 제1 기록 빔 내부 각도 및 $+153.323^\circ$ 의 제2 기록 빔 내부 각도를 사용하여 제1 홀로그램이 기록된다. 따라서, α 는 97.410° 이다. 49개의 홀로그램들 각각에 대한 스큐 축은 표면 법선에 대한 $+14.618^\circ$ 의 스큐 각도를 갖는다. 각각의 홀로그램에 대한 스큐 각도는 상기 수식(9)에 따라 계산된다. 격자 구조의 각각의 후속 홀로그램에 대해, 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들은 전형적으로, 서로 크기가 대략 동일하지만 반대인 부호들을 갖는 양들만큼 변경되며, 이는 스큐 축에 대해 제1 및 제2 기록 빔들의 대칭을 유지한다.
- [0181] 예를 들어, 제2 방법에 따른 제2 홀로그램을 기록하기 위해, 제1 기록 빔 내부 각도는 $+0.095^\circ$ 만큼 변경되고, 제2 기록 빔 내부 각도는 -0.095° 만큼 조정되어서, 제1 기록 빔 내부 각도는 $+56.008^\circ$ 가 되고 제2 기록 빔 내부 각도는 $+153.228^\circ$ 가 되고; $\alpha = 97.220^\circ$ 이도록 된다. 하나의 홀로그램으로부터 다음 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화들의 크기들은 전형적으로, 제1 홀로그램으로부터 제2 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화들의 경우 0.095° 의 크기로부터, 제48 홀로그램으로부터 제49 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화들의 경우 0.087° 의 크기까지, 49개의 체적 홀로그램들을 가로질러 약간 변한다(즉, 하나의 홀로그램으로부터 다음 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화가 변한다). 그러나, 변화의 크기는 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들 각각에 대해 동일하고, 변화의 부호는 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들 각각에 대해 반대이다. 제2 실시예 격자 구조의 마지막(제49) 홀로그램에 대한 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들은 각각 $+60.252^\circ$ 및 $+148.984^\circ$ 이고, $\alpha = 88.732^\circ$ 이다. 일부 실시예들에서, 제1 기록 빔 내부 각도의 변화의 크기는, 시스템 부정확성, 스넬 효과들, 분산, 또는 홀로그램들을 기록하는 것으로부터 야기되는 격자 매체의 수축과 같은 인자들을 보상하기 위해 제2 기록 빔 내부 각도의 변화의 크기와 아주 약간 상이할 수 있다.
- [0182] 격자 매체의 위치는, 하나의 홀로그램과 다음 홀로그램을 기록하는 사이에 조정되어서, 49개의 홀로그램들 각각의 적어도 일부가, 49개의 홀로그램들 중 다른 홀로그램들 모두의 적어도 일부와 공유되는 공통 공간에 기록되도록 된다. 따라서, 49개의 홀로그램들 각각은 격자 매체 내의 49개의 홀로그램들 중 다른 홀로그램들 모두와 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩된다.
- [0183] 따라서, 제2 방법에 따르면, 제1 기록 빔 내부 각도들은 $+55.913^\circ$ 내지 $+60.252^\circ$ 의 범위이고(4.339° 의 범위), 제2 기록 빔 내부 각도들은 $+153.323^\circ$ 내지 $+148.984^\circ$ 의 범위이다(4.339° 의 범위). 제1 방법에서와 같이, 제2 방법의 각각의 홀로그램에 대해, 제1 및 제2 기록 빔들은 스큐 축에 대해 대칭적이어서, 스큐 축에 대한 제1 기록 빔의 내부 각도(제1 홀로그램의 경우 $+41.295^\circ$) + 스큐 축에 대한 제2 기록 빔의 내부 각도(제1 홀로그램의 경우 $+138.705^\circ$) = 180° ($41.295^\circ + 138.705^\circ = 180^\circ$)이도록 된다. 스큐 축에 대한 제1 및 제2 기록 빔들의 내부 각도들은, 표면 법선에 대한 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들 각각, 및 스큐 각도로부터 용이하게 계산된다. 스큐 미러를 제조하는 제2 방법의 경우, 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들(이들은 격자 매체의 표면 법선에 대한 내부 각도들로서 정의됨) 및 제1 및 제2 기록 빔들의 스큐 축에 대한 내부 각도들이 표 8에 열거되어 있다. 49개의 체적 홀로그램들을 기록한 후에, AK233-200 기록 매체는 당업자들에게 익숙한 프로세스에 의해 광 경화된다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 광 경화는, 실질적으로 모든 광개시제, 광활성 단량체, 또는 다른 광활성 화합물질이 소비될 때까지, 발광 다이오드로부터의 근자외선 균일한 간섭성 광에 대한 노출을 포함한

다.

[표 8]

스큐 미러를 제조하는 제 2 방법에 대한 기록 빔 각도들; 표면 법선에 대한 스큐 각도 = 14.618°								
#	제 1 기록 빔 각도 (표면 법선에 대한 내부 각도, 도 단위)	제 2 기록 빔 각도	스큐 축에 대한 제 1 기록 빔의 내부 각도 (도)	스큐 축에 대한 제 2 기록 빔의 내부 각도 (도)	이진 홀로그램과 의 각도 차이의 크기 (도)	α (도)	K_G ($\times 10^7$ rad/m)	ΔK_G ($\times 10^4$ rad/m)
1	55.913	153.323	41.295	138.705		97.410	3.497	
2	56.008	153.228	41.390	138.610	0.095	97.220	3.492	5.098
3	56.102	153.134	41.484	138.516	0.094	97.032	3.487	5.053
4	56.196	153.040	41.578	138.422	0.094	96.844	3.482	5.063
5	56.290	152.946	41.672	138.328	0.094	96.656	3.477	5.072
6	56.384	152.852	41.766	138.234	0.094	96.468	3.471	5.081
7	56.477	152.759	41.859	138.141	0.093	96.282	3.466	5.037
8	56.571	152.665	41.953	138.047	0.094	96.094	3.461	5.100
9	56.664	152.572	42.046	137.954	0.093	95.908	3.456	5.055
10	56.757	152.479	42.139	137.861	0.093	95.722	3.451	5.064
11	56.849	152.387	42.231	137.769	0.092	95.538	3.446	5.019
12	56.942	152.294	42.324	137.676	0.093	95.352	3.441	5.082
13	57.034	152.202	42.416	137.584	0.092	95.168	3.436	5.036
14	57.127	152.109	42.509	137.491	0.093	94.982	3.431	5.100
15	57.219	152.017	42.601	137.399	0.092	94.798	3.426	5.054
16	57.311	151.925	42.693	137.307	0.092	94.614	3.421	5.063
17	57.402	151.834	42.784	137.216	0.091	94.432	3.416	5.017
18	57.494	151.742	42.876	137.124	0.092	94.248	3.411	5.081
19	57.585	151.651	42.967	137.033	0.091	94.066	3.406	5.034
20	57.676	151.560	43.058	136.942	0.091	93.884	3.401	5.043
21	57.767	151.469	43.149	136.851	0.091	93.702	3.396	5.051
22	57.858	151.378	43.240	136.760	0.091	93.520	3.391	5.060
23	57.949	151.287	43.331	136.669	0.091	93.338	3.385	5.068
24	58.040	151.196	43.422	136.578	0.091	93.156	3.380	5.077
25	58.130	151.106	43.512	136.488	0.090	92.976	3.375	5.029
26	58.220	151.016	43.602	136.398	0.090	92.796	3.370	5.038
27	58.310	150.926	43.692	136.308	0.090	92.616	3.365	5.046
28	58.400	150.836	43.782	136.218	0.090	92.436	3.360	5.054
29	58.490	150.746	43.872	136.128	0.090	92.256	3.355	5.063
30	58.579	150.657	43.961	136.039	0.089	92.078	3.350	5.015
31	58.669	150.567	44.051	135.949	0.090	91.898	3.345	5.079
32	58.758	150.478	44.140	135.860	0.089	91.720	3.340	5.031
33	58.847	150.389	44.229	135.771	0.089	91.542	3.335	5.039
34	58.936	150.300	44.318	135.682	0.089	91.364	3.330	5.047
35	59.025	150.211	44.407	135.593	0.089	91.186	3.325	5.055
36	59.113	150.123	44.495	135.505	0.088	91.010	3.320	5.006
37	59.202	150.034	44.584	135.416	0.089	90.832	3.315	5.071
38	59.290	149.946	44.672	135.328	0.088	90.656	3.310	5.022
39	59.378	149.858	44.760	135.240	0.088	90.480	3.305	5.030
40	59.466	149.770	44.848	135.152	0.088	90.304	3.300	5.037
41	59.554	149.682	44.936	135.064	0.088	90.128	3.295	5.045
42	59.642	149.594	45.024	134.976	0.088	89.952	3.290	5.053
43	59.730	149.506	45.112	134.888	0.088	89.776	3.285	5.061
44	59.817	149.419	45.199	134.801	0.087	89.602	3.280	5.011
45	59.904	149.332	45.286	134.714	0.087	89.428	3.275	5.018
46	59.991	149.245	45.373	134.627	0.087	89.254	3.270	5.026
47	60.078	149.158	45.460	134.540	0.087	89.080	3.264	5.033
48	60.165	149.071	45.547	134.453	0.087	88.906	3.259	5.041
49	60.252	148.984	45.634	134.366	0.087	88.732	3.254	5.048

								평균 5.050
								표준편차 0.0235
								%CV 0.47

제2 실시예 스큐 미러에 대해 사용되는 AK233-200 격자 매체의 경우, n 은 405 nm의 광에 대해 1.50으로 추정된 다. 제2 실시예 스큐 미러를 제조하기 위해 홀로그램들을 기록하는 데 사용되는 제1 및 제2 기록 빔들의 파장은 405 nm = 405×10^{-9} m이다. 따라서, AK233-200 격자 매체에서 제1 및 제2 기록 빔들에 대해 $k = 2.327 \times 10^7$ rad/m이다. 제2 실시예 스큐 미러의 홀로그램들에 대한 K_G 는, 제1 홀로그램에 대한 3.497×10^7 rad/m 내지 제49 홀로그램에 대한 3.254×10^7 rad/m의 범위이다.

제2 실시예 홀로그램들에 대한 인접 $|\Delta K_G|$ 는 비교적 일정하며, 이때 49개의 홀로그램들 모두에 대한 평균 값이 5.050×10^4 rad/m이고 변동 계수는 0.47%이다. 각각의 제2 실시예 홀로그램에 대한 인접 $|\Delta K_G|$ 는, $5.01 \times$

10^4 내지 5.10×10^4 rad/m의 범위에 존재한다. 제1 홀로그램과 제49 홀로그램 사이의 $|\Delta K_G|$ 는 2.42×10^6 rad/m이다.

[0188] 스큐 미러를 제조하는 제2 방법의 변형예에서, 전술된 바와 같이 스큐 축에 대해 제1 및 제2 기록 빔들의 대칭을 유지하면서 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들을 계속해서 그리고 동기식으로 조정함으로써 홀로그램이 생성된다. 따라서, 제1 기록 빔이 +55.913도의 제1 기록 빔 내부 각도 내지 +60.252도의 제1 기록 빔 각도로 스캐닝되는 동안 단일 홀로그램이 기록된다. 동시에, 제2 기록 빔은 +153.323도 내지 +148.984도의 제2 기록 빔 내부 각도로 스캐닝된다. 따라서, 단일 홀로그램은 고유한 제1 기록 빔 및 제2 기록 빔 내부 각도들의 49개의 세트들로 기록되는 49개의 이산 홀로그램들과 동일하다. 단일 홀로그램을 기록하기 위한 총 에너지 선량은 전형적으로 단일 홀로그램에 대해 2.5 J/cm²이다.

[0189] 스큐 미러를 제조하는 제3 방법

[0190] 스큐 미러를 제조하는 제3 방법이 후술된다. 제1 방법과 같이, 제3 방법은 전형적으로 도 13에 예시되고 전술된 예시적인 시스템(1350)과 같은 스큐 미러를 제조하기 위한 시스템을 이용한다.

[0191] 제3 방법에 따르면, 격자 매체에 홀로그램들의 3개의 세트들을 기록함으로써 격자 구조가 생성된다. 제1 홀로그램 세트는 21개의 홀로그램들을 포함하고, 제2 홀로그램 세트는 19개의 홀로그램들을 포함하고, 제3 홀로그램 세트는 16개의 홀로그램들을 포함하여, 총 56개의 홀로그램들이다. 일부 실시예들에서, 제1, 제2, 및 제3 홀로그램 세트들 각각은 적어도 6개의 홀로그램들, 또는 적어도 9개의 홀로그램들을 포함한다. 제1 홀로그램 세트 내의 다수의 홀로그램들 각각은 전형적으로, 제1 홀로그램 세트 내의 다수의 홀로그램들 중 적어도 하나의 다른 홀로그램과 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩되고, 제1 홀로그램 세트 내의 다수의 홀로그램들 중 적어도 하나의 홀로그램은 제2 홀로그램 세트 내의 홀로그램들 중 적어도 하나의 홀로그램과 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩될 수 있다. 일부 실시예들에서, 제1 홀로그램 세트 내의 다수의 홀로그램들 각각은 제1 홀로그램 세트 내의 다수의 홀로그램들 중 다른 홀로그램들 모두와 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩된다.

[0192] 유사하게, 제2 홀로그램 세트 내의 다수의 홀로그램들 각각은 전형적으로, 제2 홀로그램 세트 내의 다수의 홀로그램들 중 적어도 하나의 다른 홀로그램과 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩되고, 제2 홀로그램 세트 내의 다수의 홀로그램들 중 적어도 하나의 홀로그램은 제1 홀로그램 세트 또는 제3 홀로그램 세트 내의 홀로그램들 중 적어도 하나의 홀로그램과 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩될 수 있다. 일부 실시예들에서, 제2 홀로그램 세트 내의 다수의 홀로그램들 각각은 제2 홀로그램 세트 내의 다수의 홀로그램들 중 다른 홀로그램들 모두와 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩된다.

[0193] 유사하게, 제3 홀로그램 세트 내의 다수의 홀로그램들 각각은 전형적으로, 제3 홀로그램 세트 내의 다수의 홀로그램들 중 적어도 하나의 다른 홀로그램과 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩되고, 제3 홀로그램 세트 내의 다수의 홀로그램들 중 적어도 하나의 홀로그램은 제2 홀로그램 세트 내의 홀로그램들 중 적어도 하나의 홀로그램과 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩될 수 있다. 일부 실시예들에서, 제3 홀로그램 세트 내의 다수의 홀로그램들 각각은 제3 홀로그램 세트 내의 다수의 홀로그램들 중 다른 홀로그램들 모두와 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩된다. 일부 실시예들에서, 제1, 제2, 및 제3 홀로그램 세트들의 모든 홀로그램들은 서로 적어도 부분적으로 공간적으로 오버랩된다.

[0194] 56개의 전체 홀로그램들 각각은 제1 및 제2 기록 빔들을 사용하여 기록되며, 이들 기록 빔들 각각은 그 자신의 고유한 제1 기록 빔 내부 각도 및 그 자신의 고유한 제2 기록 빔 내부 각도로 격자 매체 상에 입사된다. 일부 실시예들에서, 모든 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도가 고유한 것은 아니다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 서로 동일한 기록 빔 내부 각도들을 갖는 다수의 홀로그램들이 서로 상이한 스큐 미러에서의 위치들에 기입될 수 있다. 제1 기록 빔 내부 각도는 격자 매체의 표면 법선에 대한 제1 기록 빔의 내부 각도이고, 제2 기록 빔 내부 각도는 표면 법선에 대한 제2 기록 빔의 내부 각도이다. 제1 실시예 스큐 미러에 대한 제1 및 제2 기록 빔들 각각은 대략 3 mW/cm²의 방사조도를 갖는 단색 시준된 광 빔이다. 전형적으로, 56개의 홀로그램들 중 제1 홀로그램이 35 mJ/cm²의 에너지 선량으로 기록되고, 선량은 각각의 후속 홀로그램에 대해 약 0.9%만큼 증가된다. 56개의 홀로그램들 모두를 기록하기 위한 총 선량은 전형적으로 약 2.5 J/cm²이다.

[0195] 제3 방법의 제1 홀로그램 세트는 +43.519도의 제1 기록 빔 내부 각도 및 +163.882도의 제2 기록 빔 내부 각도를 사용하여 기록되는 제1 홀로그램을 포함하며, 이는 120.363도의 빔 차이 각도(α)를 생성한다. 제1 홀로그램의 제1 및 제2 기록 빔들은 13.700도의 스큐 각도를 갖는 스큐 축에 대해 대칭적이다. 제1 홀로그램 세트의 각각의 후속 홀로그램에 대해, 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들은 전형적으로, 서로 크기가 대략 동일하지만 반대인

부호들을 갖는 양들만큼 변경된다. 예를 들어, 제1 홀로그램 세트의 제2 홀로그램을 기록하기 위해, 제1 기록 빔 내부 각도는 +0.351도만큼 변경되고, 제2 기록 빔 내부 각도는 -0.355도만큼 조정되어서, 제1 기록 빔 내부 각도는 +43.870도가 되고 제2 기록 빔 내부 각도는 +163.527도가 되도록 된다($\alpha = 119.657^\circ$). 제2 홀로그램의 제1 및 제2 기록 빔들은 13.699도의 스큐 각도를 갖는 스큐 축에 대해 대칭적이다. 하나의 홀로그램으로부터 다음 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화들의 크기들은 전형적으로, 제1 홀로그램으로부터 제2 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화들의 경우 대략 0.353도의 크기로부터, 제20 홀로그램으로부터 제21 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화들의 경우 대략 0.299도의 크기까지, 제1 홀로그램 세트의 21개의 체적 홀로그램들을 가로질러 약간 변한다(즉, 하나의 홀로그램으로부터 다음 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화가 변한다). 그러나, 변화의 크기는 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들 각각에 대해 대략 동일하고, 변화의 부호는 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들 각각에 대해 반대이다. 제1 홀로그램 세트의 마지막(제21) 홀로그램에 대한 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들은 각각 +49.960도 및 +157.379도이고, $\alpha = 107.419^\circ$ 이다. 제21 홀로그램의 제1 및 제2 기록 빔들은 13.670도의 스큐 각도를 갖는 스큐 축에 대해 대칭적이다.

[0196] 제3 방법에 따르면, 제1 홀로그램 세트의 제1 기록 빔 내부 각도는 +43.519 내지 +49.960도의 범위이고(6.441도의 범위), 제1 홀로그램 세트의 제2 기록 빔 내부 각도는 +163.882 내지 +157.379도의 범위이다(6.503도의 범위). 제1 홀로그램 세트의 각각의 홀로그램에 대해, 제1 기록 빔 및 그 각각의 제2 기록 빔은 스큐 축에 대해 대칭적이다. 따라서, 스큐 축에 대한 제1 기록 빔의 내부 각도(제1 홀로그램의 경우 +29.819도) + 스큐 축에 대한 제2 기록 빔의 내부 각도(제1 홀로그램의 경우 +150.182도)는 180.0도와 동일하다($29.818^\circ + 150.182 = 180.0^\circ$). 스큐 축에 대한 제1 및 제2 기록 빔들의 내부 각도들은, 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들 각각, 및 스큐 각도로부터 용이하게 계산된다. 제1 홀로그램 세트의 모든 홀로그램들에 대한 평균 스큐 각도는 13.685도이고, 제1 세트의 모든 스큐 각도들은 평균의 0.015도 이내이다. 스큐 미러를 제조하는 제3 방법의 제1 홀로그램 세트에 대해, 격자 매체의 표면 법선에 대한 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들 및 스큐 축에 대한 내부 각도들이 표 9에 열거되어 있다.

[0197] 많은 스큐 미러 응용들에 대해, 홀로그램들의 세트에 대한 모든 스큐 각도들은 적절한 반사 성능을 달성하기 위해, 그 세트 내의 모든 홀로그램들에 대한 평균 스큐 각도의 2.0도 이내이다. 일부 스큐 미러 응용들에서, 홀로그램들의 세트에 대한 모든 스큐 각도들은 적절한 반사 성능을 달성하기 위해, 홀로그램 세트 평균 스큐 각도의 1.0도 이내이다. 보다 요구가 많은 응용들에 대해, 홀로그램들의 세트의 모든 스큐 각도들은 적절한 반사 성능을 달성하기 위해, 홀로그램 세트 평균 스큐 각도의 0.5도 이내이다. 보다 더 요구가 많은 응용들에 대해, 홀로그램들의 세트의 모든 스큐 각도들은 적절한 반사 성능을 달성하기 위해, 홀로그램 세트 평균 스큐 각도의 0.10도 이내이다. 특히 요구가 많은 응용들에 대해, 홀로그램들의 세트에서의 모든 스큐 각도들은 홀로그램 세트 평균 스큐 각도의 0.01도 이내이다.

[0198] 제1 홀로그램 세트의 홀로그램들에 대한 K_g 는, AK283 감광성 격자 매체 및 405 nm 광에 대한 $n = 1.538$ 에 기초하여, 제1 홀로그램에 대한 4.140×10^7 rad/m 내지 제21 홀로그램에 대한 3.846×10^7 rad/m의 범위이며, 이는 $k = 2.386 \times 10^7$ rad/m를 생성한다. 제3 방법은 500 μm 의 두께를 갖는 AK283 격자 매체를 사용하여 실시될 수 있지만, 반드시 그러한 것은 아니다. 제1 홀로그램 세트의 각각의 홀로그램에 대한 인접 $|\Delta K_g|$ 는 1.469×10^5 rad/m이다. 제1 홀로그램과 제21 홀로그램 사이의 $|\Delta K_g|$ 는 2.939×10^6 rad/m이다. 제3 방법의 제1 홀로그램 세트의 21개의 홀로그램들 각각에 대한 α , K_g , 및 $|\Delta K_g|$ 에 대한 값들이 표 9에서 발견될 수 있다.

[0199] 제3 방법의 제2 홀로그램 세트는 +53.704도의 제1 기록 빔 내부 각도 및 +153.696도의 제2 기록 빔 내부 각도를 사용하여 기록되는 제1 홀로그램을 포함하며, 이는 $\alpha = 99.992^\circ$ 를 생성한다. 제1 홀로그램의 제1 및 제2 기록 빔들은 13.700도의 스큐 각도를 갖는 스큐 축에 대해 대칭적이다. 제2 홀로그램 세트의 제2 홀로그램을 기록하기 위해, 제1 기록 빔 내부 각도는 +0.272도만큼 변경되고, 제2 기록 빔 내부 각도는 -0.275도만큼 조정되어서, 제1 기록 빔 내부 각도는 +53.976도가 되고 제2 기록 빔 내부 각도는 +153.421도가 되도록 된다($\alpha = 99.445^\circ$). 제2 홀로그램의 제1 및 제2 기록 빔들은 13.699도의 스큐 각도를 갖는 스큐 축에 대해 대칭적이다. 하나의 홀로그램으로부터 다음 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화들의 크기들은 전형적으로, 제1 홀로그램으로부터 제2 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화들의 경우 대략 0.274도의 크기로부터, 제18 홀로그램으로부터 제19 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화들의 경우 0.252도의 크기까지, 제2 홀로그램 세트의 19개의 체적 홀로그램들을 가로질러 약간 변한다(즉, 하나의 홀로그램으로부터 다음 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화가 변한다). 그러나, 변화의 크기는 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들 각각에 대해 대략

동일하고, 변화의 부호는 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들 각각에 대해 반대이다. 제2 홀로그램 세트의 마지막(제19) 홀로그램에 대한 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들은 각각 +58.393도 및 +148.957도이고, $\alpha = 90.564$ 도이다. 제19 홀로그램의 제1 및 제2 기록 빔들은 13.675도의 스큐 각도를 갖는 스큐 축에 대해 대칭적이다.

[0200] 제2 홀로그램 세트의 홀로그램들에 대한 K_G 는, 제1 홀로그램에 대한 3.655×10^7 내지 제19 홀로그램에 대한 3.391×10^7 의 범위이다($n = 1.538$; $k = 2.386 \times 10^7$). 제2 홀로그램 세트의 각각의 홀로그램에 대한 인접 $|\Delta K_G|$ 는 1.469×10^5 이다. 제1 홀로그램과 제19 홀로그램 사이의 $|\Delta K_G|$ 는 2.645×10^6 이다. 제3 방법의 제2 홀로그램 세트의 19개의 홀로그램들 각각에 대한 α , K_G , 및 $|\Delta K_G|$ 에 대한 값들이 표 9에서 발견될 수 있다.

[0201] 제3 방법에 따르면, 제2 홀로그램 세트의 제1 기록 빔 내부 각도는 +53.704 내지 +58.393도의 범위이고(4.689도의 범위), 제2 홀로그램 세트의 제2 기록 빔 내부 각도는 +153.696 내지 +148.597도의 범위이다(4.736도의 범위). 제2 홀로그램 세트의 각각의 홀로그램에 대해, 제1 기록 빔 및 그 각각의 제2 기록 빔은 스큐 축에 대해 대칭적이다. 따라서, 스큐 축에 대한 제1 기록 빔의 내부 각도(제1 홀로그램의 경우 +40.004도) + 스큐 축에 대한 제2 기록 빔의 내부 각도(제1 홀로그램의 경우 +139.996도)는 180.0도와 동일하다($40.004^\circ + 139.996 = 180.0^\circ$). 스큐 축에 대한 제1 및 제2 기록 빔들의 내부 각도들은, 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들 각각, 및 스큐 각도로부터 용이하게 계산된다. 제2 홀로그램 세트의 모든 홀로그램들에 대한 평균 스큐 각도는 13.688도이고, 제1 세트의 모든 스큐 각도들은 평균의 0.013도 이내이다. 스큐 미러를 제조하는 제3 방법의 제2 홀로그램 세트에 대해, 격자 매체의 표면 법선에 대한 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들 및 스큐 축에 대한 내부 각도들이 표 9에 열거되어 있다.

[0202] 제3 방법의 제3 홀로그램 세트는 +63.696도의 제1 기록 빔 내부 각도 및 +143.704도의 제2 기록 빔 내부 각도를 사용하여 기록되는 제1 홀로그램을 포함하며, 이는 $\alpha = 80.008$ 도를 생성한다. 제1 홀로그램의 제1 및 제2 기록 빔들은 13.700도의 스큐 각도를 갖는 스큐 축에 대해 대칭적이다. 제3 홀로그램 세트의 제2 홀로그램을 기록하기 위해, 제1 기록 빔 내부 각도는 +0.229도만큼 변경되고, 제2 기록 빔 내부 각도는 -0.231도만큼 조정되어서, 제1 기록 빔 내부 각도는 +63.925도가 되고 제2 기록 빔 내부 각도는 +143.473도가 되도록 된다($\alpha = 79.548$ 도). 제1 홀로그램의 제1 및 제2 기록 빔들은 13.699도의 스큐 각도를 갖는 스큐 축에 대해 대칭적이다. 하나의 홀로그램으로부터 다음 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화들의 크기들은 전형적으로, 제1 홀로그램으로부터 제2 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화들의 경우 대략 0.230도의 크기로부터, 제18 홀로그램으로부터 제19 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화들의 경우 대략 0.219도의 크기까지, 제3 홀로그램 세트의 16개의 체적 홀로그램들을 가로질러 약간 변한다(즉, 하나의 홀로그램으로부터 다음 홀로그램으로의 기록 빔 내부 각도들의 변화가 변한다). 그러나, 변화의 크기는 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들 각각에 대해 대략 동일하고, 변화의 부호는 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들 각각에 대해 반대이다. 제3 홀로그램 세트의 마지막(제16) 홀로그램에 대한 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들은 각각 +67.051도 및 +140.313도이고, $\alpha = 73.262$ 도이다. 제16 홀로그램의 제1 및 제2 기록 빔들은 13.682도의 스큐 각도를 갖는 스큐 축에 대해 대칭적이다.

[0203] 제3 홀로그램 세트의 홀로그램들에 대한 K_G 는, 제1 홀로그램에 대한 3.068×10^7 내지 제16 홀로그램에 대한 2.847×10^7 의 범위이다($n = 1.538$; $k = 2.386 \times 10^7$). 제3 홀로그램 세트의 각각의 홀로그램에 대한 인접 $|\Delta K_G|$ 는 1.469×10^5 이다. 제1 홀로그램과 제16 홀로그램 사이의 $|\Delta K_G|$ 는 2.204×10^6 이다. 제3 방법의 제3 홀로그램 세트의 16개의 홀로그램들 각각에 대한 α , K_G , 및 $|\Delta K_G|$ 에 대한 값들이 표 9에서 발견될 수 있다.

[0204] 제3 방법에 따르면, 제3 홀로그램 세트의 제1 기록 빔 내부 각도는 +63.696 내지 +67.051도의 범위이고(3.355도의 범위), 제3 홀로그램 세트의 제2 기록 빔 내부 각도는 +143.704 내지 +140.313도의 범위이다(3.391도의 범위). 제3 홀로그램 세트의 각각의 홀로그램에 대해, 제1 기록 빔 및 그 각각의 제2 기록 빔은 스큐 축에 대해 대칭적이다. 따라서, 스큐 축에 대한 제1 기록 빔의 내부 각도(제1 홀로그램의 경우 +49.996도) + 스큐 축에 대한 제2 기록 빔의 내부 각도(제1 홀로그램의 경우 +130.004도)는 180.0도와 동일하다($49.996^\circ + 130.004 = 180.0^\circ$). 스큐 축에 대한 제1 및 제2 기록 빔들의 내부 각도들은, 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들 각각, 및 스큐 각도로부터 용이하게 계산된다. 제3 홀로그램 세트의 모든 홀로그램들에 대한 평균 스큐 각도는 13.691도이고, 제1 세트의 모든 스큐 각도들은 평균의 0.009도 이내이다. 스큐 미러를 제조하는 제3 방법의 제3 홀로그램 세트에 대해, 격자 매체의 표면 법선에 대한 제1 및 제2 기록 빔 내부 각도들 및 스큐 축에 대한 내

부 각도들이 표 9에 열거되어 있다.

[표 9]

스큐 미러를 제조하는 제 3 방법에 대한 기독 빔 각도들 및 관련 데이터							
#	제 1 기독 빔 각도 (표면 법선에 대한 내부 각도, 도 단위)	제 2 기독 빔 각도 스큐 각도(표면 법선에 대한 내부 각도, 도 단위)	스큐 각도(표면 법선에 대한 내부 각도, 도 단위)	스큐 축에 대한 제 1 기독 빔의 내부 각도(도)	스큐 축에 대한 제 2 기독 빔의 내부 각도(도)	이진 홀로그래프의 각도 차이 크기 α (도)	K_0 (x10 ⁷ rad/m)
홀로그래프들의 제 1 세트							
1	43.519	163.882	13.700	29.819	150.182		120.363
2	43.870	163.527	13.699	30.171	149.829	0.354	119.657
3	44.218	163.177	13.697	30.521	149.479	0.351	118.959
4	44.562	162.830	13.696	30.866	149.134	0.347	118.268
5	44.903	162.486	13.695	31.208	148.792	0.344	117.583
6	45.240	162.146	13.693	31.547	148.453	0.340	116.906
7	45.574	161.809	13.692	31.883	148.117	0.337	116.235
8	45.905	161.475	13.690	32.215	147.785	0.334	115.570
9	46.233	161.144	13.689	32.545	147.455	0.331	114.911
10	46.558	160.816	13.687	32.871	147.129	0.328	114.258
11	46.880	160.491	13.686	33.195	146.805	0.325	113.611
12	47.200	160.169	13.684	33.515	146.485	0.322	112.969
13	47.516	159.849	13.683	33.834	146.166	0.320	112.333
14	47.830	159.532	13.681	34.149	145.851	0.317	111.702
15	48.142	159.218	13.680	34.462	145.538	0.314	111.076
16	48.451	158.905	13.678	34.773	145.227	0.312	110.455
17	48.757	158.596	13.676	35.081	144.919	0.310	109.838
18	49.061	158.288	13.675	35.387	144.613	0.307	109.227
19	49.363	157.983	13.673	35.690	144.310	0.305	108.620
20	49.663	157.680	13.672	35.991	144.009	0.303	108.017
21	49.960	157.379	13.670	36.290	143.710	0.301	107.419
평균 스큐 각도 =			13.685				
홀로그래프들의 제 2 세트							
1	53.704	153.696	13.700	40.004	139.996		99.992
2	53.976	153.421	13.699	40.278	139.722	0.275	99.445
3	54.247	153.148	13.698	40.550	139.450	0.273	98.900
4	54.517	152.876	13.696	40.820	139.180	0.272	98.359
5	54.785	152.605	13.695	41.090	138.910	0.270	97.821
6	55.051	152.336	13.694	41.357	138.643	0.269	97.286
7	55.316	152.069	13.692	41.624	138.377	0.268	96.753
8	55.579	151.803	13.691	41.888	138.112	0.266	96.223
9	55.842	151.538	13.690	42.152	137.848	0.265	95.696
10	56.102	151.274	13.688	42.414	137.586	0.264	95.172
11	56.362	151.012	13.687	42.675	137.325	0.262	94.650
12	56.620	150.751	13.685	42.935	137.065	0.261	94.131
13	56.877	150.491	13.684	43.193	136.807	0.260	93.614
14	57.133	150.232	13.683	43.450	136.550	0.259	93.100
15	57.387	149.975	13.681	43.706	136.294	0.257	92.588
16	57.640	149.719	13.680	43.961	136.039	0.256	92.079
17	57.892	149.464	13.678	44.214	135.786	0.255	91.571
18	58.143	149.210	13.677	44.467	135.533	0.254	91.067
19	58.393	148.957	13.675	44.718	135.282	0.253	90.564
평균 스큐 각도 =			13.688				
홀로그래프들의 제 3 세트							
1	63.696	143.704	13.700	49.996	130.004		80.008
2	63.925	143.473	13.699	50.226	129.774	0.231	79.548
3	64.153	143.243	13.698	50.455	129.545	0.230	79.090
4	64.380	143.013	13.697	50.683	129.317	0.230	78.633
5	64.607	142.785	13.696	50.911	129.089	0.229	78.178
6	64.833	142.556	13.694	51.138	128.862	0.228	77.724
7	65.058	142.329	13.693	51.364	128.636	0.227	77.272
8	65.282	142.102	13.692	51.590	128.410	0.227	76.821
9	65.506	141.877	13.691	51.815	128.186	0.226	76.371
10	65.728	141.651	13.690	52.039	127.961	0.225	75.923
11	65.951	141.427	13.689	52.262	127.738	0.225	75.476
12	66.172	141.203	13.687	52.485	127.515	0.224	75.031
13	66.393	140.979	13.686	52.707	127.293	0.223	74.586
14	66.613	140.757	13.685	52.928	127.072	0.223	74.144
15	66.832	140.534	13.683	53.149	126.851	0.222	73.702
16	67.051	140.313	13.682	53.369	126.631	0.222	73.262
평균 스큐 각도 =			13.691				

다색 스큐 미러 실시예

스큐 미러를 제조하는 제3 방법에 의해 제조된 스큐 미러는 다색 스큐 미러로 지칭될 수 있는데, 이는 그의 격자 매체가 실질적으로 일정한 반사 축들에 대해 청색, 녹색, 및 적색 광을 반사시키도록 구성되기 때문이다. 제1 홀로그래프 세트는, 격자 매체의 표면 법선과 적어도 2.0도만큼 상이한 실질적으로 일정한 제1 반사 축들에 대해 가시광 스펙트럼의 청색 영역에 존재하는 입사광을 반사시키도록 구성된다. 본 발명의 목적을 위해, 가시광 스펙트럼의 청색 영역의 입사광은 405 nm 내지 492 nm 범위의 파장을 갖는다. 제1 홀로그래프 세트는 보다 구체적으로, +13.685도의 평균 반사 축 각도를 갖는 실질적으로 일정한 제1 반사 축들에 대해 463 nm의 파장을 갖는 청색 입사광을 반사시키도록 구성되는데, 여기서 (i) 청색 입사광은 +8.615도 내지 -8.606도의 범위인 (표면 법선에 대한) 내부 입사각들을 갖고, (ii) 내부 입사각들은 적어도 21개의 상이한 입사각들을 포함하며, 이들

각각은 적어도 21개의 상이한 입사각들 중 다른 입사각들 모두로부터 0.52도 이상 분리되어 있다. 일부 실시예들에서, 청색 입사광의 내부 입사각들은 적어도 4개의 상이한 입사각들을 포함하며, 이들 각각은 적어도 4개의 상이한 입사각들 중 다른 입사각들 모두로부터 1.0도 이상 분리되어 있다.

[0209] 입사광은 각각 +18.785도 내지 +35.946도의 범위의 (표면 법선에 대한) 내부 반사각으로 반사되고, 반사된 광은 입사광과 동일한 파장을 갖는다. 당업자들은, 입사광 및 그의 반사가 상호교환가능하여, 463 nm 입사광이 +18.785도 내지 +35.946도의 범위인 내부 입사각들을 갖는 경우, 그것이 실질적으로 일정한 반사 축들에 대해 각각 +8.615도 내지 -8.606도의 범위인 내부 반사각들로 반사되도록 된다고 인식한다.

[0210] 제2 홀로그래프 세트는, 격자 매체의 표면 법선과 적어도 2.0도만큼 상이한 실질적으로 일정한 제2 반사 축들에 대해 가시광 스펙트럼의 녹색 영역에 존재하는 입사광을 반사시키도록 구성된다. 본 발명의 목적을 위해, 가시광 스펙트럼의 녹색 영역의 입사광은 493 nm 내지 577 nm 범위의 파장을 갖는다. 제2 홀로그래프 세트는 보다 구체적으로, +13.688도의 평균 반사 축 각도를 갖는 실질적으로 일정한 제2 반사 축들에 대해 522 nm의 파장을 갖는 녹색 입사광을 반사시키도록 구성되는데, 여기서 (i) 녹색 입사광은 +7.813도 내지 -8.993도의 범위인 (표면 법선에 대한) 내부 입사각들을 갖고, (ii) 내부 입사각들은 적어도 19개의 상이한 입사각들을 포함하며, 이들 각각은 적어도 19개의 상이한 입사각들 중 다른 입사각들 모두로부터 0.60도 이상 분리되어 있다. 일부 실시예들에서, 녹색 입사광의 내부 입사각들은 적어도 4개의 상이한 입사각들을 포함하며, 이들 각각은 적어도 4개의 상이한 입사각들 중 다른 입사각들 모두로부터 1.2도 이상 분리되어 있다.

[0211] 녹색 입사광은 각각 +19.587도 내지 +36.342도의 범위의 내부 반사각들로 반사되고, 반사된 광은 입사광과 동일한 파장을 갖는다. 당업자들은, 입사광 및 그의 반사가 상호교환가능하여, 522 nm 입사광이 +19.587도 내지 +36.342도의 범위인 내부 입사각을 갖는 경우, 그것이 실질적으로 일정한 반사 축들에 대해 각각 +7.813도 내지 -8.993도의 범위인 내부 반사각으로 반사되도록 된다고 인식한다.

[0212] 제3 홀로그래프 세트는, 격자 매체의 표면 법선과 적어도 2.0도만큼 상이한 실질적으로 일정한 제3 반사 축들에 대해 가시광 스펙트럼의 적색 영역에 존재하는 입사광을 반사시키도록 구성된다. 본 발명의 목적을 위해, 가시광 스펙트럼의 적색 영역의 입사광은 610 nm 내지 780 nm 범위의 파장을 갖는다. 제3 홀로그래프 세트는 보다 구체적으로, +13.691도의 평균 반사 축 각도를 갖는 실질적으로 일정한 제3 반사 축들에 대해 622 nm의 파장을 갖는 적색 입사광을 반사시키도록 구성되는데, 여기서 (i) 적색 입사광은 +10.370도 내지 -8.391도의 범위인 (표면 법선에 대한) 내부 입사각들을 갖고, (ii) 내부 입사각들은 적어도 16개의 상이한 입사각들을 포함하며, 이들 각각은 적어도 16개의 상이한 입사각들 중 다른 입사각들로부터 0.74도 이상 분리되어 있다. 일부 실시예들에서, 적색 입사광의 내부 입사각들은 적어도 4개의 상이한 입사각들을 포함하며, 이들 각각은 적어도 4개의 상이한 입사각들 중 다른 입사각들 모두로부터 1.5도 이상 분리되어 있다.

[0213] 적색 입사광은 각각 +17.030도 내지 +35.791도의 범위의 내부 반사각들로 반사되고, 반사된 광은 입사광과 동일한 파장을 갖는다. 당업자들은, 적색 입사광 및 그의 반사가 상호교환가능하여, 622 nm 입사광이 +17.030도 내지 +35.791도의 범위인 내부 입사각을 갖는 경우, 그것이 실질적으로 일정한 반사 축들에 대해 각각 +10.370도 내지 -8.391도의 범위인 내부 반사각들로 반사되도록 된다고 인식한다.

[0214] 전술된 바와 같이, 제1 홀로그래프 세트는 +13.7도의 평균 반사 축 각도를 갖는 실질적으로 일정한 반사 축들에 대해 463 nm의 파장을 갖는 청색 입사광을 반사시키도록 구성되는데, 여기서 463 nm 광은, 표면 법선에 대해 -8.6도 내지 +8.6도의 범위인 다수의 내부 각도들로 격자 매체 상에 입사된다. 제2 홀로그래프 세트는 +13.7도의 평균 반사 축 각도를 갖는 실질적으로 일정한 반사 축들에 대해 522 nm의 파장을 갖는 녹색 입사광을 반사시키도록 구성되는데, 여기서 522 nm 광은, 표면 법선에 대해 -9.0도 내지 +7.8도의 범위인 다수의 내부 입사각들로 격자 매체 상에 입사된다. 제3 홀로그래프 세트는 +13.7도의 평균 반사 축 각도를 갖는 실질적으로 일정한 반사 축들에 대해 622 nm의 파장을 갖는 적색 입사광을 반사시키도록 구성되는데, 여기서 622 nm 광은, 표면 법선에 대해 -8.4도 내지 +10.4도의 범위인 다수의 내부 각도들로 격자 매체 상에 입사된다.

[0215] 따라서, 다색 스큐 미러의 반사 특성들은 그것이 13.7도의 평균 반사 축 각도를 갖는 실질적으로 일정한 반사 축들에 대해 청색, 녹색, 및 적색 입사광을 반사시킬 수 있게 하는데, 여기서 청색, 녹색, 및 적색 입사광은 표면 법선에 대해 -8.4도 내지 +7.8도의 범위(16.2도의 범위)인 내부 입사각들로 미리 상에 입사된다. 실시예들에서, 스큐 미러의 반사 특성들은 그것이 실질적으로 일정한 반사 축들에 대해 청색, 녹색, 및 적색 입사광을 반사시킬 수 있게 하는데, 여기서 청색, 녹색, 및 적색 입사광은 적어도 4.0도, 또는 적어도 8.0도의 범위에 걸쳐 있는 다수의 내부 입사각들로 격자 매체 상에 입사된다.

[0216] 스큐 미러를 제조하는 다과장 방법

[0217] 스큐 미러를 제조하는 다과장 방법에서, 6개의 체적 홀로그램들이 AK233-200 격자 매체에 기록되며, 이때 6개의 홀로그램들 각각은 그 자신의 고유한 제1 및 제2 기록 빔 내부 입사각들을 사용하여 기록된다. 추가로, 6개의 체적 홀로그램들 각각에 대해, 제1 및 제2 기록 빔들의 파장들은 가변 파장 레이저를 사용하여, 403 nm 내지 408 nm로 계속해서 그리고 동기식으로 조정된다. 제1 및 제2 기록 빔들의 파장들은 6개의 체적 홀로그램들 각각을 기록하는 동안 서로 동일하게 유지된다. 다과장 방법에 따라 6개의 체적 홀로그램들을 기록할 시에 전달되는 총 에너지 선량은 전형적으로 2.5 J/cm^2 이지만, 반드시 그러한 것은 아니고, 스큐 미러를 제조하는 다과장 방법에 대한 제1 및 제2 기록 빔 내부 입사각들이 아래의 표 10에 제공되어 있다. 다과장 방법에 의해 제조된 스큐 미러는 전술된 제2 실시예 스큐 미러의 반사 특성들과 동일한 반사 특성들을 갖는다.

[0218] [표 10]

스큐 미러를 제조하는 다과장 방법에 대한 기록 빔 각도들

홀로그램	제 1 기록 빔 입사각*	제 2 기록 빔 입사각*
1	56.235°	153.001°
2	57.033°	152.203°
3	57.813°	151.423°
4	58.568°	150.668°
5	59.303°	149.933°
6	60.018°	149.218°

[0219] * 격자 매체 표면 법선에 대한 내부 각도

[0220] 다른 스큐 미러 실시예

[0221] 스큐 미러의 실시예들은 체적 유전체 매체, 예컨대 감광성 기록 매체를 포함하는 격자 매체에서 창출될 수 있다. 스큐 미러 실시예들은 본 명세서에 기술되는 바와 같이 공간 유전체 변조 스펙트럼을 제약함으로써 형성될 수 있다. 일 실시예에서, 유전체 변조는 감광성 기록 매체에 2개 이상의 간섭성 광 빔들의 간섭 패턴을 기록함으로써 홀로그래픽적으로 달성된다. 다른 실시예들에서, 유전체 변조는 다른 수단에 의해 달성될 수 있다.

[0222] 도 15는, "나르시스트의 미러(narcissist's mirror)"가, 교차하는 반사 축들(1561)을 가진 여러 개의 스큐 미러들(1500)을 포함하는 다른 스큐 미러 실시예를 예시한다. 나르시스트는 수렴 지점에 앉아서 그 자신의 여러 이미지들을 볼 수 있다.

[0223] 스큐 미러 제조

[0224] 스큐 미러들은 실시예에 따라 홀로그래픽적으로 기록될 수 있다. 스큐 미러들은 실시예들에 따라 홀로그래픽적으로 기록되거나 또는 비-홀로그래픽 수단에 의해 제조될 수 있다.

[0225] 홀로그래픽 기록

[0226] 도 16a 및 도 16b는 스큐 미러들을 기록하기 위한 추가적인 방법들을 예시한다. 도 16a에서, 실질적으로 시준된 기록 빔들이 원하는 $\Delta n(\vec{k})$ 분포를 생성하기 위해 격자 매체를 조명하는 데 사용된다. 도 16a에 예시된 일 실시예에서, 파장 λ 의 제1 기록 빔(1654A) 및 제2 기록 빔(1655A)으로 이루어진 기록 빔 쌍이, 원하는 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ 분포의 제1 포인트형 서브세트, 예컨대, 최고 공간 주파수 성분들($\Delta n(\vec{k})$ 의 외부 선단들)을 기록하기 위해 격자 매체(1610)를 조명한다. 이어서, 기록 장치의 입사각들 θ_1 및 θ_2 는, 또한 파장 λ 로 있는 다른 제1 기록 빔(1654B) 및 다른 제2 기록 빔(1655B)으로 이루어진 기록 빔들의 다른 세트를 생성하도록 조정된다. 다른 제1 및 제2 기록 빔들(1654B, 1655B)은 원하는 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ 분포의 제2 포인트형 서브세트

를 기록하기 위해 매체를 조명한다. 이러한 프로세스는, 전체 원하는 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ 분포가 기록될 때까지, 또 다른 제1 기록 빔(1654C) 및 또 다른 제2 기록 빔(1655C) 등...으로 이루어진 기록 빔들의 또 다른 세트 등을 사용하여 반복된다.

[0227] 일부 실시예들에서, 이러한 기록은 하나의 연속 노출에서 이루어질 수 있고, θ_r 및 θ_s 는 원하는 분포를 생성하기 위해 계속해서 그리고 동기식으로 조정된다. 다른 실시예들에서, θ_r 및 θ_s 가 노출 동안 고정되고 노출들 사이에서만 변경되는 별개의 이산 노출들이 사용된다. 또 다른 실시예들은 이러한 방법들을 조합할 수 있다. 일부 실시예들에서, $\Delta n(\vec{k})$ 의 성분은 임의의 순서로 기입될 수 있다. 일부 실시예들에서, 세기는 공간적 회절 효율 프로파일을 제어하기 위해 하나 또는 둘 모두의 빔들을 가로질러 변경될 수 있다. 일부 실시예들에서, 위상 제어 요소(예컨대, 압전 액추에이터 상에 장착된 미러)가, 각각의 노출의 위상을 제어하기 위해 하나 또는 둘 모두의 빔 경로들 내에 삽입될 수 있다. 일부 실시예들에서, 하나 초과의 스큐 미러 또는 광대역 스큐 미러가 동일한 매체 내에 기록될 수 있다.

[0228] 이산 노출들의 경우에, 노출들의 수 및 각도 밀도는 매끄러운 연속 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ 분포를 생성하기에 충분하다. 당업자는 코젤닉의 이론을 이용하여 이산 노출에 의해 생성된 각각의 홀로그래ムの 각도 선택도를 용이하게 계산할 것이다. 일 실시예에서, 노출들은 이러한 각도 선택도의 함수에 대응하는 각도 증분들로, 예컨대 회절 효율 피크들의 전폭 1/4 최대치(full-width-quarter-maximum, FWQM)의 각도 간격으로 이루어진다. 다른 실시예들에서, 각도 노출 밀도는 매끄러운 최종 분포를 보장하기 위해 이보다 더 미세할 수 있다.

[0229] 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ 분포에 걸치는 데 필요한 FWQM 피크들의 개수는 그 분포를 형성하기 위해 요구되는 홀로그래ム들과 동등한 개수(M)로서 간주될 수 있다. 따라서, 생성된 스큐 미러의 최대 가능한 회절 효율은 $\eta = (M / M_{\#})^2$ 에 의해 추정될 수 있는데, 여기서 η 는 회절 효율이고, $M_{\#}$ 은 기록 매체의 동적 범위를 특징짓는 재료 파라미터이다. 당업자는, 각각의 개별 노출의 기하형상 또는 이웃 노출들의 오버랩에 따라 이러한 추정치를 어떻게 정제할지를 용이하게 결정할 것이다.

[0230] 도 16b는, 격자 매체(1610) 표면에서의 굴절로 인해 달리 액세스가능하지 않은 내부 빔 각도들을 생성하기 위해 제1 프리즘(1659A) 및 제2 프리즘(1659B)이 통합되는 실시예를 예시한다. 이러한 방법은 전형적으로, 예를 들어 도 12b의 스큐 커풀러를 제조하는 데 사용된다. 당업자는, 원하는 분포를 달성하기 위해 도 13a 및 도 13b의 구성들을 어떻게 변형시킬지를 용이하게 인지할 것이다.

[0231] 일부 실시예들에서, 단일 기록 파장 λ 가 전체 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ 분포를 기입하기 위해 선택될 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 405 nm 레이저 공급원만을 사용하여 모든 가시광 파장들을 가로질러 동작하는 스큐 미러를 기입하는 것이 가능하다. 이것은, 단순함의 이점뿐만 아니라, 단일 파장에서만 충분한 기록 매체 감도를 요구하는 이점을 갖는다. 일부 실시예들에서, 하나 초과의 기록 파장이 사용된다. 또 다른 경우에, 연속 가변 파장 광원이 사용된다. 하나의 그러한 실시예에서, 기록 각도들 θ_r 및 θ_s 는 일정하게 유지되고, 대신에, 기록 파장이 전체 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ 분포, 또는 그의 서브세트를 생성하기 위해 변경된다.

[0232] 다른 제조 방법

[0233] 스큐 미러를 제조하기 위한 다른 방법들이 본 발명의 범위 내에 있다. 일 실시예에서, 예를 들어, 매우 두꺼운 유전체 층 구조가 종래의 광학 코팅 수단을 사용하여 형성된다. 그 구조는, 전형적으로 종래의 광대역 반사 코팅 설계의 반복에 의해, 서브층들 내에 광대역 반사율을 생성하도록 설계된다. 이어서, 그 두꺼운 구조는 연삭되고 연마되어 코팅 층들에 대한 경사각으로 표면을 생성한다. 생성된 구조는 전형적으로, 연마된 표면보다는 오히려 코팅 층들의 법선에 의해 실질적으로 정의되는 반사 축과 관련하여 미러형 거동을 나타내고, 그에 따라서 스큐 미러를 구성한다. 일부 실시예들에서, 원자적으로 정밀한 제조 방법들은, 외부 표면들과 무관하게 원자 단위로(atom-by-atom) 유전체 구조들을 구성함으로써 스큐 미러들의 제조를 가능하게 한다.

[0234] 평평하지 않은 미러

[0235] 스큐 미러들은 다음의 2개의 의미들에서 평평하지 않다고 말할 수 있다: 1) 기록 매체의 물리적 형상이 평평하지 않을 때; 그리고 2) 홀로그래픽 프린지들이 평면이 아닐 때.

[0236] 비-슬래브형 미러

- [0237] 스큐 미러들, 광대역 미러들, 및 홀로그래픽 미러들의 예들을 포함하는, 본 발명에 따른 미러들의 실시예들은, 형상이 슬래브형이 아닌 매체에 기록된 홀로그램들을 포함한다. 일례에서, 일 실시예에서는, 기록 층이 균일한 두께로, 그러나 만족된 표면 상에 캐스팅된다. 다른 예에서, 불균일한 기록 층(예컨대, 켜기 형상)이 이용된다. 또 다른 예에서, 임의의 형상(예컨대, 구형)이 성형된다. 이러한 비-슬래브형 미러의 경우에, "스큐 미러"라고 명명하는 것이 적절한지 여부는 관련 표면(들)의 기하형상에 의존한다. 비-슬래브형 홀로그래픽 미러들은 전형적으로 광대역 미러형 특성들을 나타낸다.
- [0238] **평면이 아닌 홀로그래픽 프린지를 갖는 미러**
- [0239] 일부 실시예들에서, 광학 도수(optical power) 또는 다른 의도적인 수차들을 반사에 도입하는 것이 바람직하다. 이것은, 종래의 포물선형 미러에서 발생하는 바와 같이, 반사 축의 방향을 국부적으로 가변시켜서, 예를 들어, 평면과 입사 빔이 반사되어 구면과 반사된 빔을 형성하도록 함으로써 스큐 미러의 실시예로 달성될 수 있다. 그러한 스큐 미러는, 예를 들어, 도 13의 제조 방법에서의 하나의 수렴 빔 및 하나의 발산 빔을 사용함으로써, 그리고 입사각 대신에 파장을 변경시키면서 기록함으로써 제조될 수 있다. 그러한 미러는 또한, 평평하지 않은 표면 상에 침착된 유전체 층들을 연마함으로써, 또는 개선된 원자적으로 정밀한 제조 방법들을 이용함으로써 제조될 수 있다.
- [0240] **다른 제조 실시예**
- [0241] 일부 홀로그래픽 기록 시스템 실시예들은 미러들, 렌즈들 및 프리즘들을 통합하여, 격자 매체의 병진이, 격자 매체 내의 대략 동일한 위치에서, 가변 기록 빔 내부 각도들로 다수의 홀로그램들을 기록할 필요가 없는 방식으로 제1 및 제2 기록 빔들을 격자 매체로 지향시킨다.
- [0242] 일부 실시예들에서, 커플링 프리즘에 더하여 프리즘이 스큐 미러를 제조하는 데 사용될 수 있다. 일부 실시예들에서, 다양한 커플링 프리즘들 및 평평한 유리 조각들이 사용될 수 있다. 일부 실시예들에서, 다수의 파장들 λ_N 의 다수의 빔들 $E_{r,N}$ 및 $E_{s,N}$ 이 사용될 수 있다. 일부 실시예들에서, 다수의 이산 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ 분포들을 제조하기 위해 다수의 파장들이 사용될 수 있다. 일부 실시예들에서, 연속될 수 있거나 또는 가깝게 이격된 섹션들을 포함할 수 있는 라인 세그먼트형 $\Delta n(\vec{k})$ 분포를 제조하기 위해 다수의 파장들이 사용될 수 있다. 일부 실시예들에서, 신호 빔 및/또는 참조 빔의 입사각은 샘플 재료의 수축을 보상하기 위해 조정될 수 있다. 일부 실시예들에서, 샘플은 샘플 재료의 수축을 보상하기 위해 회전될 수 있다. 일부 실시예들에서, 파장은 샘플 재료의 수축을 보상하기 위해 변경될 수 있다.
- [0243] **대안적인 실시예 및 변형예**
- [0244] 첨부 도면에 예시되고/되거나 전술된 다양한 실시예들 및 그 변형예들은 단지 예시적인 것이며, 본 발명의 범주를 제한하는 것으로 의도되지 않는다. 본 발명의 이점이 제공되면 당업자에게 자명해질 본 발명의 여러가지 다른 변형예가 고려됨을 알아야 한다. 첨부된 청구범위에 기초하여 이해되는 본 발명의 모든 변형예들은 본 발명의 범주 내에 포함되도록 의도되고 고려된다.
- [0245] **용어**
- [0246] 이 섹션에서 따옴표(" ")로 표시되는 용어 및 문구는, 문맥에서 명백히 달리 나타내지 않는 한, 청구범위를 포함하여, 본 문서 전체에 걸쳐서 이들에 적용되는 이 용어 섹션에서 이들에 기인한 의미를 갖도록 의도된다. 추가로, 적용가능한 경우, 언급된 정의는, 단어 또는 문구의 경우와 무관하게, 정의된 단어 또는 문구의 단수 및 복수 변이에 적용된다.
- [0247] 본 명세서에서 "일 실시예", "실시예", "다른 실시예", "바람직한 실시예", "대안적인 실시예", "일 변형예", "변형예" 및 유사한 문구에 대한 참조는, 그 실시예 또는 변형예와 관련하여 기술되는 특정한 특징, 구조 또는 특성이 적어도 본 발명의 실시예 또는 변형예에 포함됨을 의미한다. 명세서의 여러 곳에 사용되는 "일 실시예에서", "일 변형예에서"의 문구 또는 유사한 문구는 반드시 동일한 실시예 또는 동일한 변형예를 언급하도록 의도되지는 않는다.
- [0248] 본 명세서 및 첨부된 청구범위에서 사용되는 용어 "대략적으로"는 소정의 값의 플러스 또는 마이너스 10%를 지칭한다.
- [0249] 본 명세서 및 첨부된 청구범위에서 사용되는 용어 "약"은 소정의 값의 플러스 또는 마이너스 20%를 지칭한다.

- [0250] 본 명세서 및 첨부된 청구범위에서 사용되는 용어 "일반적으로"는 대체로 또는 대부분을 의미한다.
- [0251] 반사된 광과 관련하여 본 명세서 및 첨부된 청구범위에서 사용되는 용어 "주로"는, 격자 구조에 의해 반사되는 광을 지칭한다. 인용된 각도로 주로 반사되는 광은, 임의의 다른 각도로 반사되는 것(표면 반사들을 제외함)보다 더 많은 광을 포함한다. 인용된 반사 축에 대해 주로 반사되는 광은, 임의의 다른 반사 축에 대해 반사되는 것(표면 반사들을 제외함)보다 더 많은 반사된 광을 포함한다. 주로 반사된 광을 고려할 때 디바이스 표면에 의해 반사되는 광은 포함되지 않는다.
- [0252] 본 명세서 및 첨부된 청구범위에서 사용되는 용어 "반사 축"은, 입사 광선의 반사된 광선에 대한 입사 광선의 각도를 이등분하는 축을 지칭한다. 입사 광선, 반사 축, 및 반사된 광선은 모두, 입사 평면으로 지칭될 수 있는 하나의 공통 평면 내에 존재한다. 스큐 미러에 대한 입사 평면은 표면 법선과 일치할 필요가 없지만, 그러할 수 있다. 반사 축에 대한 입사 광선의 입사각의 크기는 반사 축에 대한 반사된 광선의 반사각의 크기와 동일하다. "반사 축"의 기술한 정의를 위해, 각도들은 내부 각도들이다. 종래의 유전체 미러 및 금속 미러의 경우, 반사 축은 표면 법선과 일치하며, 즉, 반사 축은 입사 평면인 바와 같은 미러 표면에 수직이다. 역으로, 본 발명에 따른 스큐 미러들의 실시예들은 표면 법선과는 상이한 반사 축을 가질 수 있거나, 또는 표면 법선과 일치하는 반사 축을 가질 수 있다. 스큐 미러의 반사 축이 표면 법선과 일치하는지 여부는, 스큐 미러의 입사 평면이 표면 법선과 일치하는지 여부에 독립적이다. 입사각들 및 반사각들은, 통상적으로, 평균 값을 생성하는데 전형적으로 사용되는 다수의 측정치들(일반적으로 3개 이상의 측정치들)에 의해 경험적으로 결정되지만, 반드시 그러한 것은 아니다.
- [0253] 용어 "반사" 및 유사한 용어들은 본 발명에서 "회절"이 대체로 적절한 용어로 고려될 수 있는 일부 경우에 사용된다. 이러한 "반사"의 사용은 스큐 미러들에 의해 나타내지는 미러형 특성들과 일치하고, 잠재적으로 용어를 혼동하는 것의 방식을 돕는다. 예를 들어, 격자 구조가 입사광을 "반사"시키도록 구성된다고 칭해지는 경우, 종래의 숙련자는 격자 구조가 입사광을 "회절"시키도록 구성된다고 말하는 것을 선호할 수 있는데, 이는 격자 구조들이 일반적으로 회절에 의해 광에 작용한다고 생각되기 때문이다. 그러나, 용어 "회절"의 그러한 사용은 "입사광이 실질적으로 일정한 반사 축들에 대해 회절된다"와 같은 표현들을 생성할 것인데, 이는 혼동을 일으킬 수 있다. 따라서, 입사광이 격자 구조에 의해 "반사"된다고 칭해지는 경우, 당업자는, 본 발명의 이점을 고려하여, 격자 구조가 사실상 회절 메커니즘에 의해 광을 "반사"시키고 있음을 인식할 것이다. 종래의 유전체 미러들이 일반적으로, 그러한 반사에서 회절이 작용하는 주된 역할에도 불구하고 광을 "반사"시킨다고 칭해지기 때문에, "반사"의 그러한 사용은 광학계에서 선례가 없는 것은 아니다. 따라서, 당업자들은, 대부분의 "반사"가 회절의 특성들을 포함하고, 스큐 미러 또는 그의 컴포넌트들에 의한 "반사"가 또한 회절을 포함한다는 것을 인식한다.
- [0254] 본 명세서 및 첨부된 청구범위에 사용되는 용어 "각도 간격" 및 "각도 간격들"은, 입사각들의 인용된 범위 내에서 스큐 미러 상에 입사되는 다수의 광 빔들 사이의 각도 간격을 지칭한다.
- [0255] 본 명세서 및 첨부된 청구범위에 사용되는 용어들 "홀로그램" 및 "홀로그래픽 격자"는, 다수의 교차하는 광 빔들 사이의 간섭에 의해 생성되는 간섭 패턴의 기록을 지칭한다. 홀로그램 또는 홀로그래픽 격자가 격자 구조의 일레이다.
- [0256] 다양한 본 발명의 실시예가 본 명세서에서 기술되고 예시되었지만, 당업자는 그 기능을 수행하고 그리고/또는 결과 및/또는 본 명세서에서 기술된 이점 중 하나 이상을 획득하기 위한 다양한 다른 수단 및/또는 구조를 용이하게 고안할 것이고, 이러한 변형예 및/또는 수정예 각각은 본 명세서에서 기술되는 본 발명의 실시예의 범주 내인 것으로 간주된다. 보다 일반적으로, 당업자는, 본 명세서에서 기술된 모든 파라미터, 치수, 재료 및 구성이 예시적인 것으로 의도되고, 실제 파라미터, 치수, 재료 및/또는 구성은 본 발명의 교시 내용이 사용되는 특정 응용 또는 응용들에 의존할 것임을 용이하게 인식할 것이다. 당업자는, 본 명세서에서 기술된 특정한 본 발명의 실시예에 대해 통상적인 것을 넘지 않는 실험을 사용하여 많은 등가물을 인식할 것이거나 확인할 수 있다. 따라서, 기술된 실시예는 오직 예시의 방식으로 제시되며, 첨부된 청구범위 및 이에 대한 등가물의 범주 내에서, 본 발명의 실시예는 구체적으로 기술되고 청구된 것 이외에 달리 실시될 수 있음을 이해해야 한다. 본 발명의 창작적 실시예는 본 명세서에서 기술된 각각의 개별적인 특징, 시스템, 물품, 재료, 키트(kit) 및/또는 방법으로 의도된다. 또한, 둘 이상의 이러한 특징, 시스템, 물품, 재료, 키트 및/또는 방법의 임의의 조합은, 이러한 특징, 시스템, 물품, 재료, 키트 및/또는 방법이 상호 모순되지 않는다면, 본 발명의 창작적 범주 내에 포함된다.
- [0257] 기술된 실시예는 임의의 다양한 방법으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 본 명세서에서 개시된 기술을 설계 및

수행하는 실시예는 하드웨어, 소프트웨어 또는 이들의 조합을 사용하여 구현될 수 있다. 소프트웨어로 구현되는 경우, 소프트웨어 코드는, 단일 컴퓨터에 제공되든 또는 다수의 컴퓨터 사이에 분산되든지 간에, 임의의 적절한 프로세서 또는 프로세서의 집합물 상에서 실행될 수 있다.

- [0258] 추가로, 컴퓨터는 임의의 다수의 형태, 예를 들어, 랙-장착된(rack-mounted) 컴퓨터, 데스크톱 컴퓨터, 랩톱 컴퓨터 또는 태블릿 컴퓨터로 구현될 수 있음을 인식해야 한다. 추가적으로, 컴퓨터는 일반적으로 컴퓨터로 간주되는 디바이스가 아니라, 개인 휴대 정보 단말(PDA), 스마트 폰 또는 임의의 다른 적절한 휴대용 또는 고정식 전자 디바이스를 포함하는 적절한 프로세싱 능력을 가진 디바이스 내에 매립될 수 있다.
- [0259] 또한, 컴퓨터는 하나 이상의 입력 및 출력 디바이스를 가질 수 있다. 이러한 디바이스는, 무엇보다도, 사용자 인터페이스를 제시하기 위해 사용될 수 있다. 사용자 인터페이스를 제공하기 위해 사용될 수 있는 출력 디바이스의 예는, 출력의 시각적 제시를 위한 프린터 또는 디스플레이 스크린, 및 출력의 청각적 제시를 위한 스피커 또는 다른 음향 생성 디바이스를 포함한다. 사용자 인터페이스를 위해 사용될 수 있는 입력 디바이스의 예는 키보드, 및 포인팅 디바이스, 예를 들어, 마우스, 터치 패드 및 디지털화 태블릿을 포함한다. 다른 예로, 컴퓨터는 음성 인식을 통해 또는 다른 청각적 포맷으로 입력 정보를 수신할 수 있다.
- [0260] 이러한 컴퓨터는, 로컬 영역 네트워크 또는 광역 네트워크, 예를 들어, 기업 네트워크 및 지능형 네트워크(IN) 또는 인터넷을 포함하는 임의의 적절한 형태의 하나 이상의 네트워크에 의해 상호접속될 수 있다. 이러한 네트워크는 임의의 적절한 기술에 기초할 수 있고, 임의의 적절한 프로토콜에 따라 동작할 수 있고, 무선 네트워크, 유선 네트워크 또는 광섬유 네트워크를 포함할 수 있다.
- [0261] 본 명세서에 개요가 서술된 (예를 들어, 앞서 개시된 커플링 구조 및 회절 광학 요소를 설계 및 수행하는) 다양한 방법 또는 프로세스는, 다양한 운영 체제 또는 플랫폼 중 임의의 것을 이용하는 하나 이상의 프로세서 상에서 실행가능한 소프트웨어로 코딩될 수 있다. 추가적으로, 이러한 소프트웨어는 다수의 적절한 프로그래밍 언어 및/또는 프로그래밍 또는 스크립팅(scripting) 툴(tool) 중 임의의 것을 사용하여 기입될 수 있고, 프레임워크 또는 가상 머신 상에서 실행되는 실행가능한 기계 언어 코드 또는 중간적 코드로 컴파일링될 수 있다.
- [0262] 이와 관련하여, 다양한 본 발명의 개념은, 하나 이상의 컴퓨터 또는 다른 프로세서 상에서 실행되는 경우 앞서 논의된 방법의 다양한 실시예를 구현하는 방법을 수행하는 하나 이상의 프로그램으로 인코딩된 컴퓨터 판독가능 저장 매체(또는 다수의 컴퓨터 판독가능 저장 매체)(예를 들어, 컴퓨터 메모리, 하나 이상의 플로피 디스크, 콤팩트 디스크, 광학 디스크, 자기 테이프, 플래시 메모리, 필드 프로그래밍가능 게이트 어레이 또는 다른 반도체 디바이스의 회로 구성, 또는 다른 비일시적 매체 또는 유형적(tangible) 컴퓨터 저장 매체)로 구현될 수 있다. 컴퓨터 판독가능 매체 또는 매체들은 운반가능할 수 있어서, 그에 저장된 프로그램 또는 프로그램들은, 앞서 논의된 본 발명의 다양한 태양들을 구현하도록 하나 이상의 상이한 컴퓨터 또는 다른 프로세서 상으로 로딩될 수 있다.
- [0263] 용어 "프로그램" 또는 "소프트웨어"는 본 명세서에서, 앞서 논의된 실시예의 다양한 태양들을 구현하도록 컴퓨터 또는 다른 프로세서를 프로그래밍하기 위해 이용될 수 있는 임의의 유형의 컴퓨터 코드 또는 컴퓨터 실행가능 명령어의 세트를 지칭하는 일반적 의미로 사용된다. 추가적으로, 일 태양에 따르면, 실행되는 경우 본 발명의 방법을 수행하는 하나 이상의 컴퓨터 프로그램은 단일 컴퓨터 또는 프로세서 상에 존재할 필요가 없고, 본 발명의 다양한 태양들을 구현하기 위한 다수의 상이한 컴퓨터 또는 프로세서 사이에 모듈 방식으로 분산될 수 있음을 인식해야 한다.
- [0264] 컴퓨터 실행가능 명령어는, 하나 이상의 컴퓨터 또는 다른 디바이스에 의해 실행되는 프로그램 모듈과 같은 많은 형태일 수 있다. 일반적으로, 프로그램 모듈은, 특정 작업을 수행하거나 특정한 추상적 데이터 유형을 구현하는 루틴, 프로그램, 오브젝트, 컴포넌트, 데이터 구조 등을 포함한다. 통상적으로, 프로그램 모듈의 기능은 다양한 실시예에서 원하는 대로 결합 또는 분산될 수 있다.
- [0265] 또한, 데이터 구조는 임의의 적절한 형태로 컴퓨터 판독가능 매체에 저장될 수 있다. 예시의 단순화를 위해, 데이터 구조는, 데이터 구조의 위치를 통해 관련되는 필드를 갖는 것으로 도시될 수 있다. 이러한 관계는, 필드 사이의 관계를 전달하는 컴퓨터 판독가능 매체에서의 위치들을 필드에 대한 저장소에 할당함으로써 마찬가지로 달성될 수 있다. 그러나, 데이터 구조의 필드들 내의 정보 사이의 관계를 설정하기 위해, 포인터, 태그 또는 데이터 요소 사이의 관계를 설정하는 다른 메커니즘의 사용을 통하는 것을 포함한, 임의의 적절한 메커니즘이 사용될 수 있다.
- [0266] 또한, 다양한 본 발명의 개념은 하나 이상의 방법으로 구현될 수 있고, 그 중의 일례가 제공되었다. 방법의 일

부로서 수행되는 동작은 임의의 적절한 방식으로 순서화될 수 있다. 따라서, 예시적인 실시예에서 순차적인 동작으로 도시된 경우에도, 일부 동작을 동시에 수행하는 것을 포함할 수 있는, 예시된 것과 상이한 순서로 동작이 수행되는 실시예가 구성될 수 있다.

[0267] 본 명세서에서 정의되고 사용되는 모든 정의는 사전적 정의, 참조로 통합된 문헌에서의 정의 및/또는 정의된 용어의 통상적 의미에 대한 제어로 이해되어야 한다.

[0268] 본 명세서 및 청구범위에서 사용된 부정관사 "a" 및 "an"은 명시적으로 반대로 표시되지 않는 한 "적어도 하나"를 의미하는 것으로 이해되어야 한다.

[0269] 본 명세서에서 명세서 및 청구범위에서 사용된 문구 "및/또는"은, 그렇게 결합된 요소, 즉, 일부 경우에는 결합적으로 존재하고 다른 경우에는 분리적으로 존재하는 요소 중 "하나 또는 둘 모두"를 의미하는 것으로 이해되어야 한다. "및/또는"으로 나열된 다수의 요소는 동일한 방식으로, 즉, 그렇게 결합된 요소 중 "하나 이상"으로 해석되어야 한다. "및/또는" 구에 의해 구체적으로 식별된 요소 이외의 다른 요소는, 그러한 요소와 관련되는 것이 구체적으로 식별되든 관련되지 않는 것으로 구체적으로 식별되든지 간에 임의선택적으로 존재할 수 있다. 따라서, 비제한적인 예로서, "포함하는"과 같은 확장가능(open-ended) 언어와 함께 사용되는 경우 "A 및/또는 B"에 대한 참조는, 일 실시예에서는 오직 A(임의선택적으로 B 이외의 다른 요소를 포함함); 다른 실시예에서는 오직 B(임의선택적으로 A 이외의 다른 요소를 포함함); 또 다른 실시예에서는 A 및 B 둘 모두(임의선택적으로 다른 요소를 포함함) 등을 지칭할 수 있다.

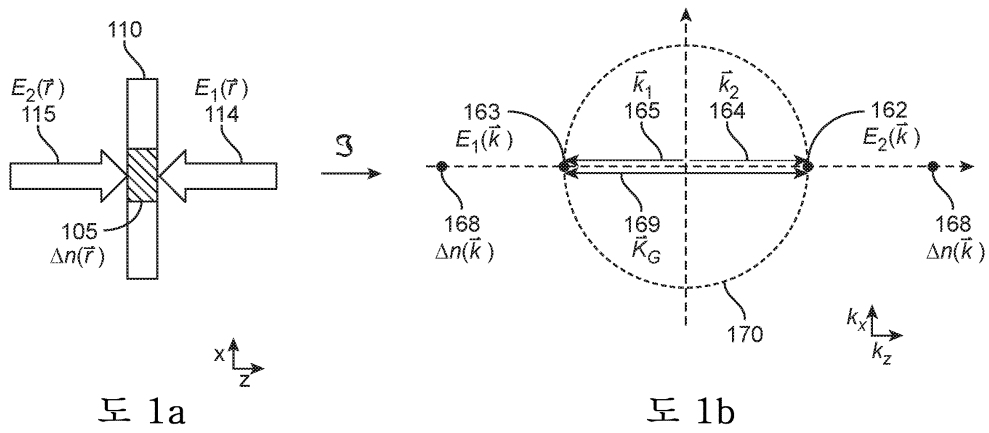
[0270] 본 명세서에서 명세서 및 청구범위에서 사용되는 바와 같이, "또는"은 앞서 정의된 "및/또는"과 동일한 의미를 갖는 것으로 이해되어야 한다. 예를 들어, 리스트 내의 항목을 분리하는 경우, "또는" 또는 "및/또는"은 포괄적인 것으로, 즉, 적어도 하나의 포함 뿐만 아니라 다수의 요소 또는 요소들의 리스트 중 하나보다 많이, 그리고 임의선택적으로 추가적인 나열되지 않은 항목들의 포함으로 해석될 것이다. 오직 반대로 명시적으로 나타낸 용어, 예를 들어, "~중 오직 하나" 또는 "~중 정확히 하나" 또는 청구범위에서 사용되는 경우 "~로 이루어진"은, 다수의 요소 또는 요소의 리스트 중 정확히 하나의 요소의 포함을 지칭할 것이다. 일반적으로, 본 명세서에서 사용되는 용어 "또는"은 오직, "어느 하나", "~중 하나", "~중 오직 하나" 또는 "~중 정확히 하나"와 같은 배타성 용어로 선행되는 경우의 배타적 대안을 나타내는 것으로 해석될 것이다(즉, 하나 또는 다른 하나, 그러나 둘 모두는 아님). "~로 본질적으로 이루어진"은, 청구범위에서 사용되는 경우 특허법 분야에서 사용되는 바와 같은 그의 통상적인 의미를 가질 것이다.

[0271] 본 명세서에서 명세서 및 청구범위에서 사용되는 바와 같이, 하나 이상의 요소들의 리스트에 대한 참조에서 문구 "적어도 하나"는, 요소들의 리스트 내에 구체적으로 나열된 각각의 및 모든 요소 중 적어도 하나를 반드시 포함하는 것 및 요소들의 리스트 내의 요소들의 임의의 조합을 배제하는 것이 아니라, 그 요소들의 리스트 내의 요소들 중 임의의 하나 이상으로부터 선택되는 적어도 하나의 요소를 의미하는 것으로 이해되어야 한다. 이러한 정의는 또한, 문구 "적어도 하나"가 지칭하는 요소들의 리스트 내에서 구체적으로 식별된 요소 이외의 요소가, 그러한 요소와 관련되는 것이 구체적으로 식별되든 관련되지 않는 것으로 구체적으로 식별되든지 간에 임의선택적으로 존재할 수 있도록 허용한다. 따라서, 비제한적인 예로, "A 및 B 중 적어도 하나"(또는 등가적으로, "A 또는 B 중 적어도 하나", 또는 등가적으로 "A 및/또는 B 중 적어도 하나")는, 일 실시예에서는, 적어도 하나 - 임의선택적으로 하나보다 많이 포함 - 의 A, 및 B 없음(및 임의선택적으로 B 이외의 요소를 포함함); 다른 실시예에서는, 적어도 하나 - 임의선택적으로 하나보다 많이 포함 - 의 B, 및 A 없음(및 임의선택적으로 A 이외의 요소를 포함함); 또 다른 실시예에서는, 적어도 하나 - 임의선택적으로 하나보다 많이 포함 - 의 A 및 적어도 하나 - 임의선택적으로 하나보다 많이 포함 - 의 B(및 임의선택적으로 다른 요소를 포함함) 등을 지칭할 수 있다.

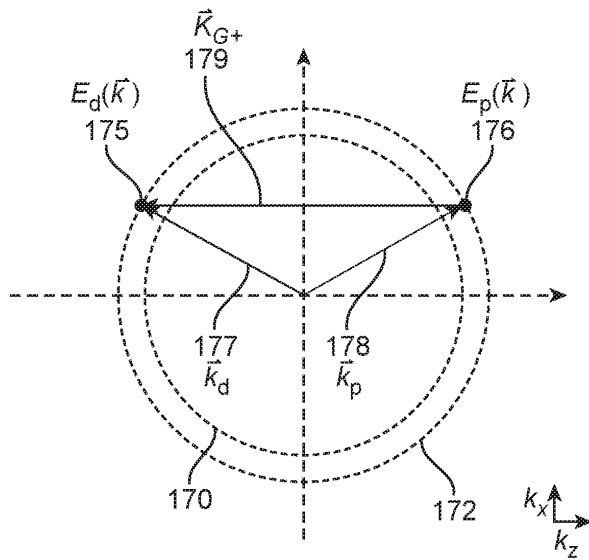
[0272] 상기 명세서에서 뿐만 아니라 청구범위에서, "포함하는(comprising)", "구비하는(including)", "지닌(carrying)", "갖는(having)", "포함한(containing)", "수반하는(involving)", "유지하는(holding)", "구성된(composed of)" 등과 같은 모든 전이 문구는 확장가능한 것으로, 즉, 포함하지만 그로 제한하는 것은 아닌 것을 의미하는 것으로 이해되어야 한다. 단지 전이 문구 "~로 이루어진" 및 "~로 본질적으로 이루어진"은, 미국 특허 상표청의 특허 심사 절차 매뉴얼, 섹션 221.03에 기재된 바와 같이, 각각 폐쇄형 또는 반-폐쇄형 전이 문구여야 할 것이다.

도면

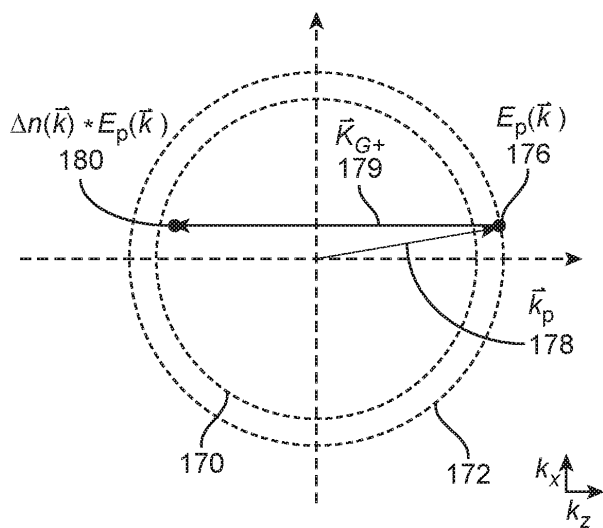
도면1



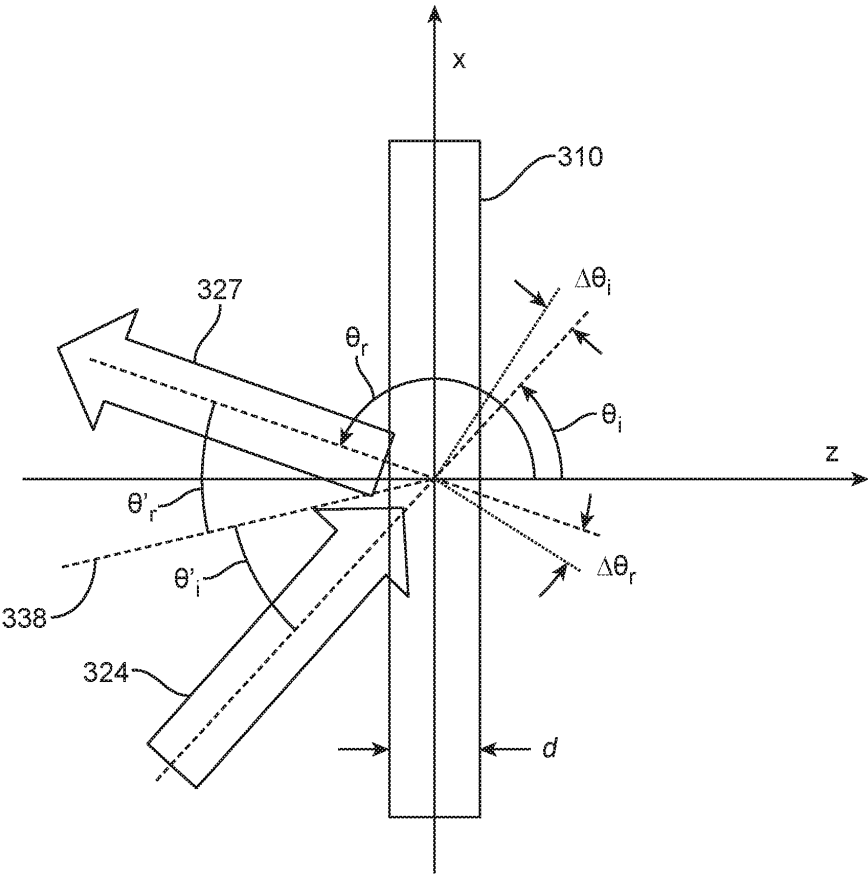
도면2a



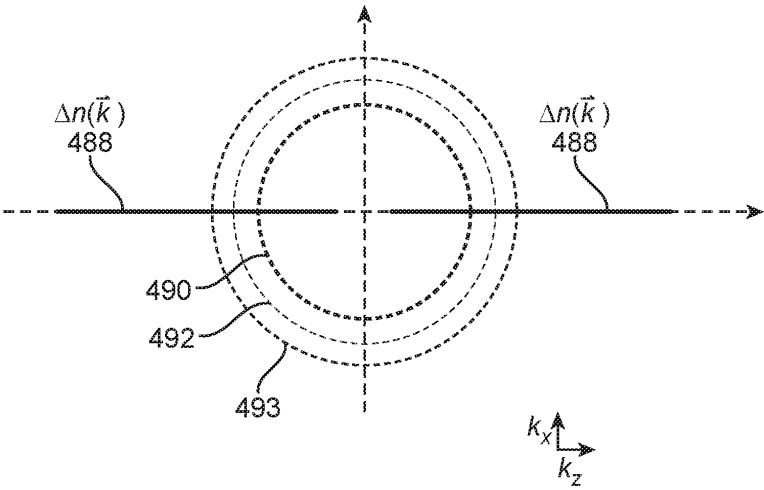
도면2b



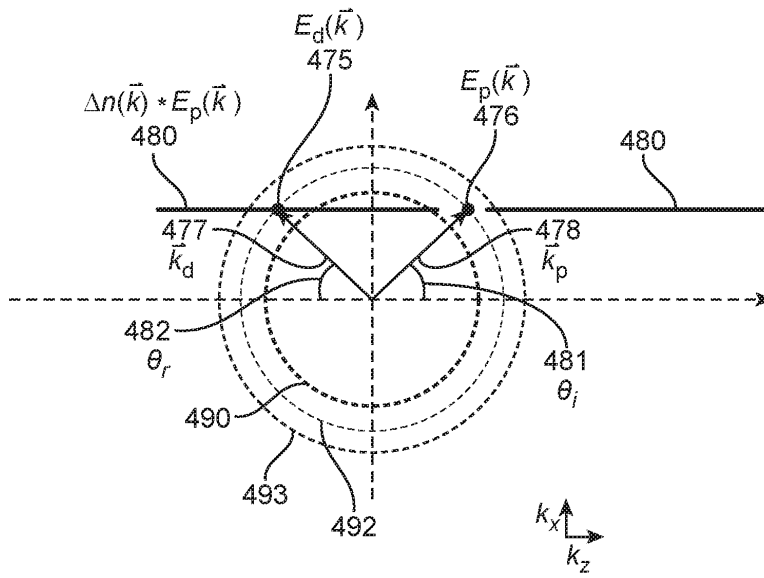
도면3



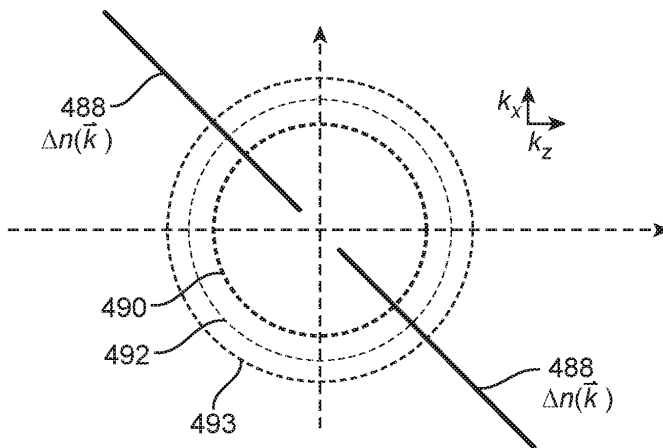
도면4a



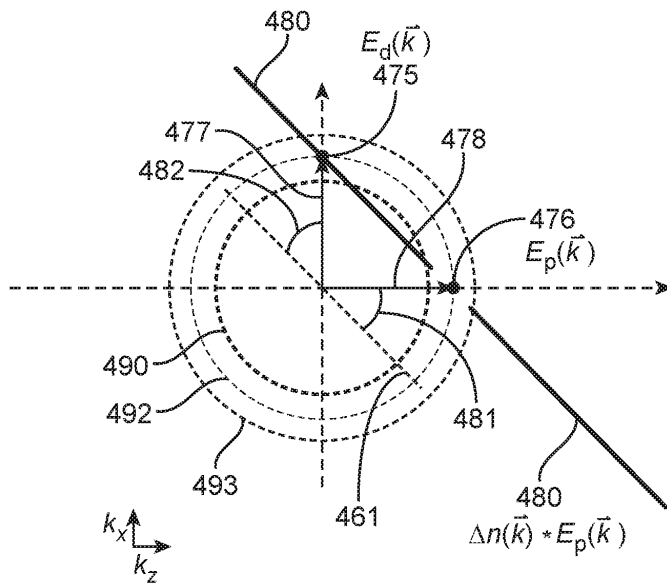
도면4b



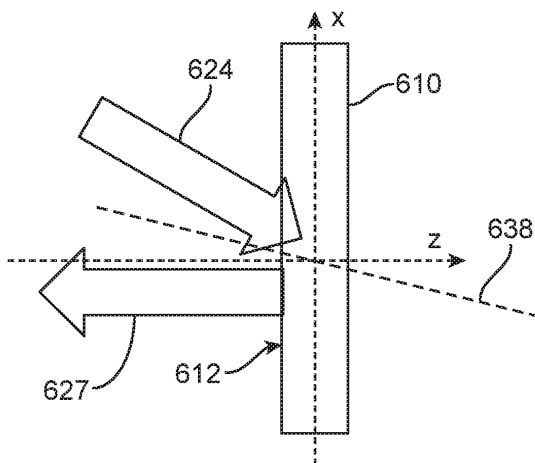
도면5a



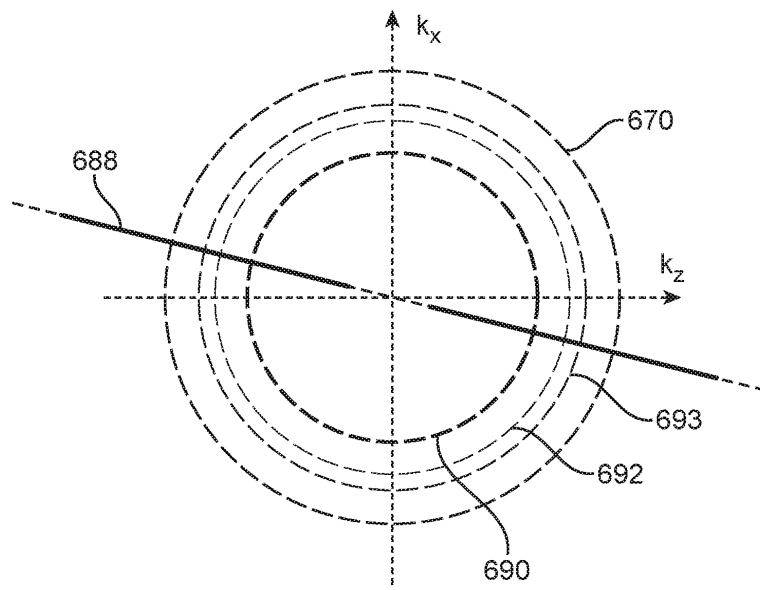
도면5b



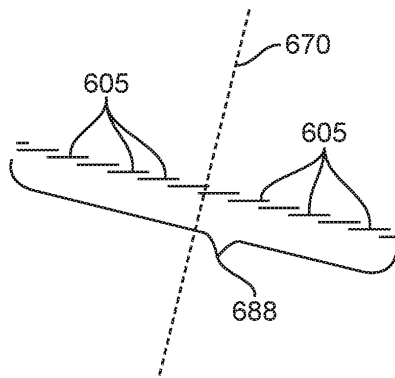
도면6a



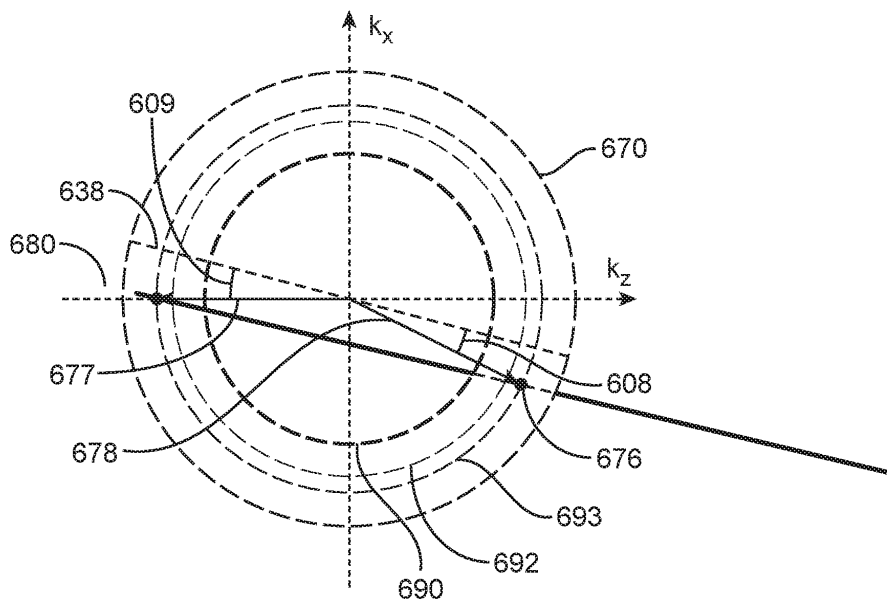
도면6b



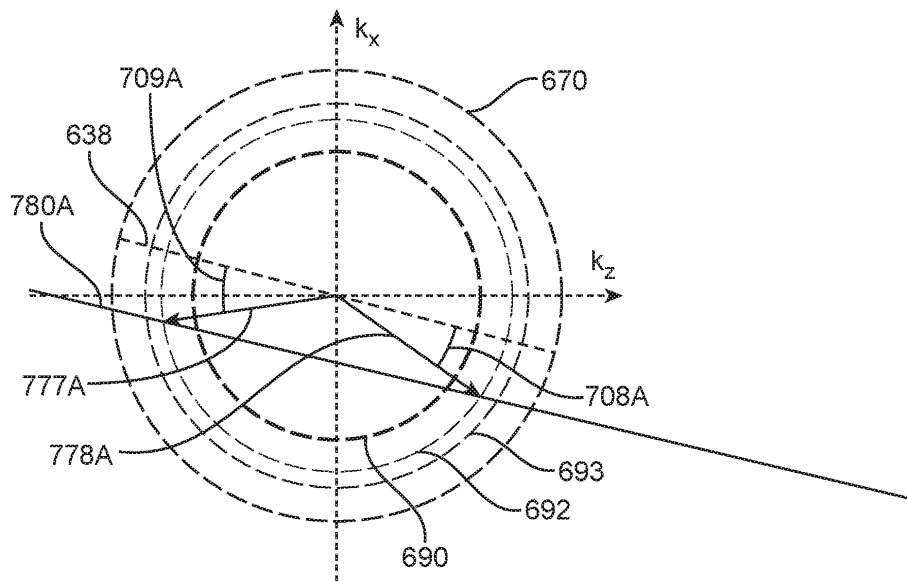
도면6c



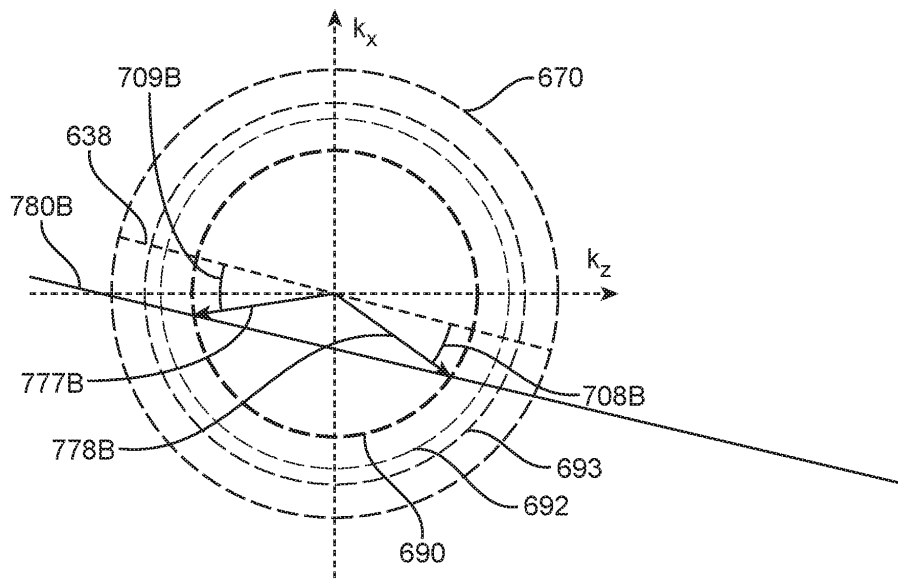
도면6d



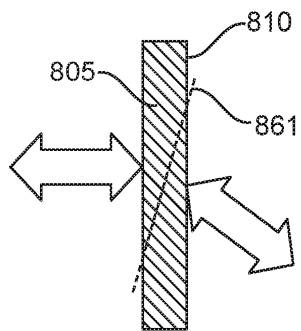
도면7a



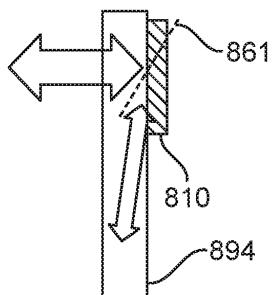
도면7b



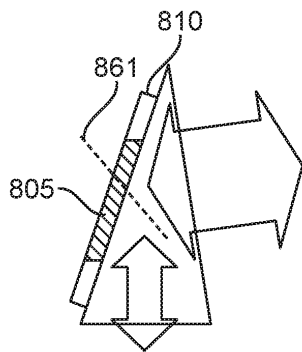
도면8a



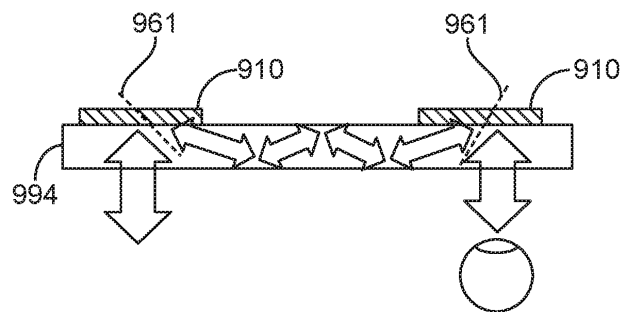
도면8b



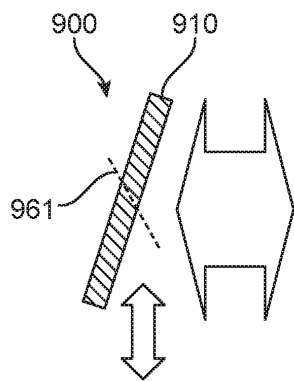
도면8c



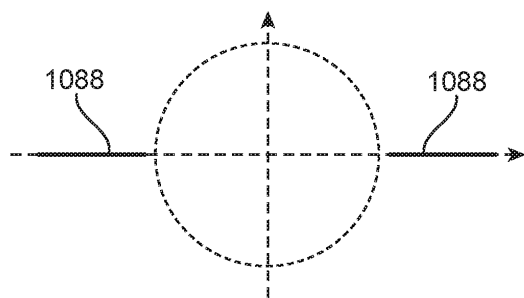
도면9a



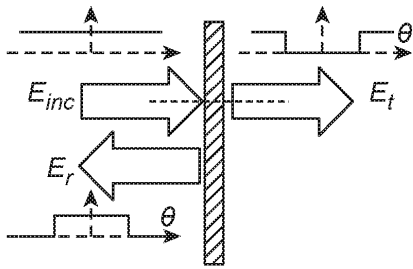
도면9b



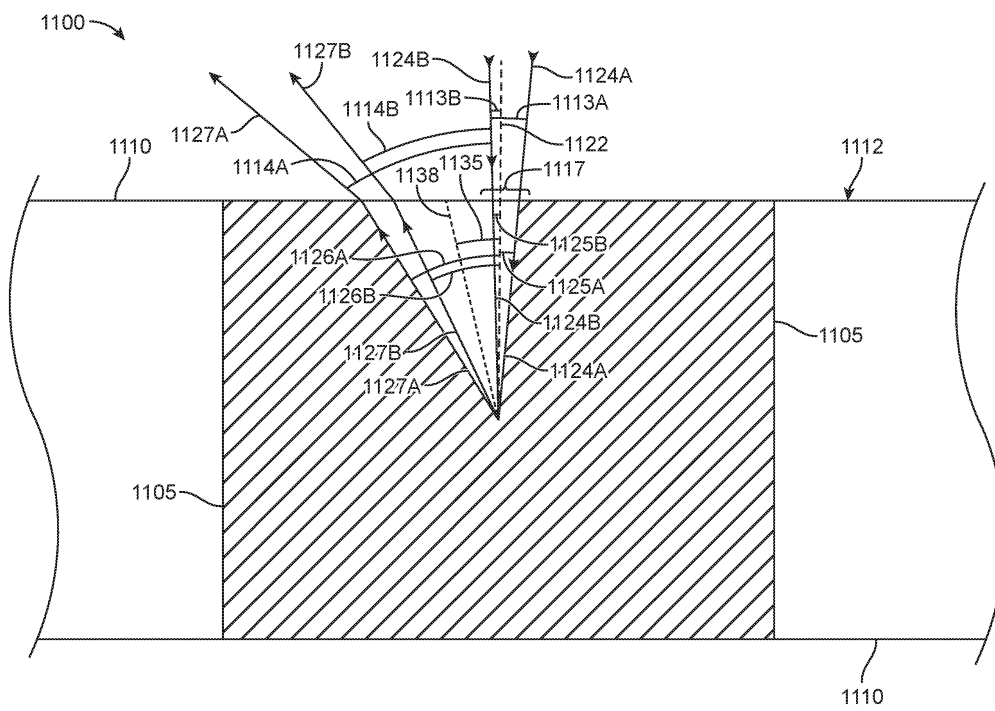
도면10a



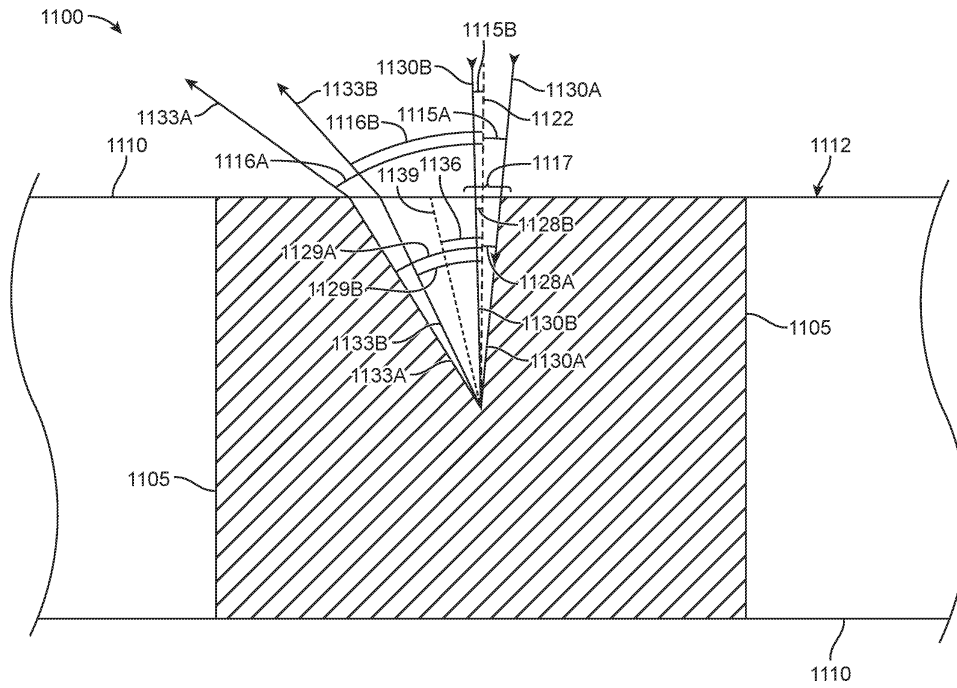
도면10b



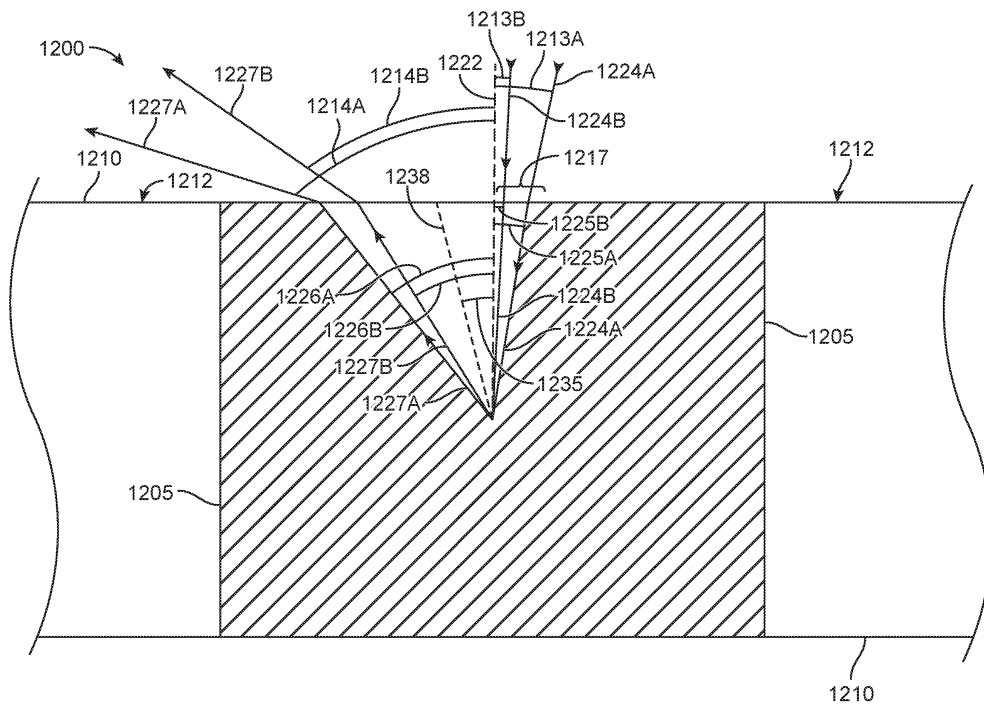
도면11a



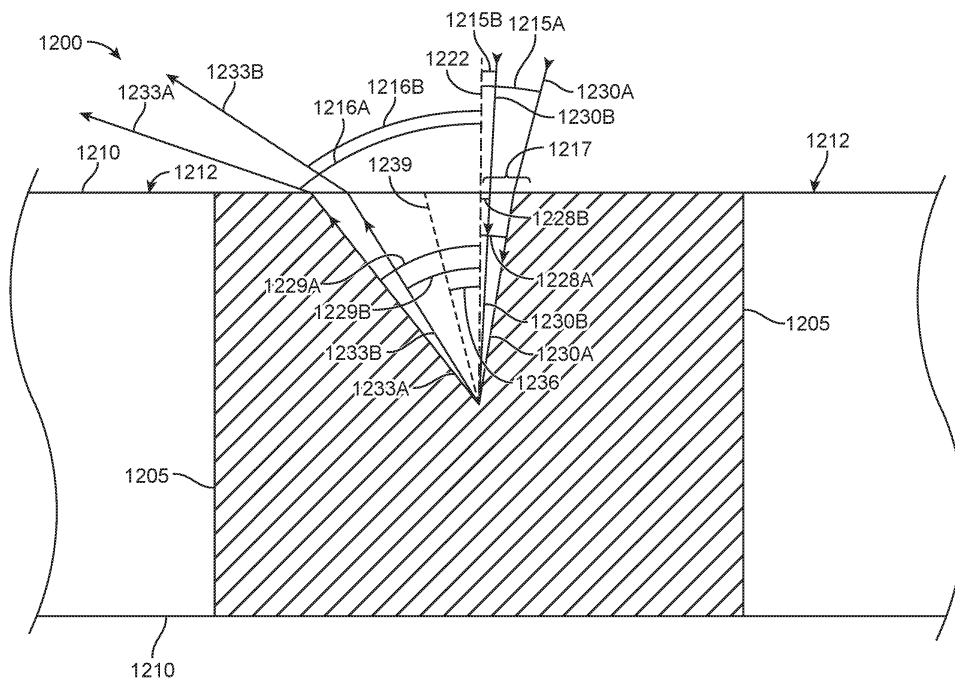
도면11b



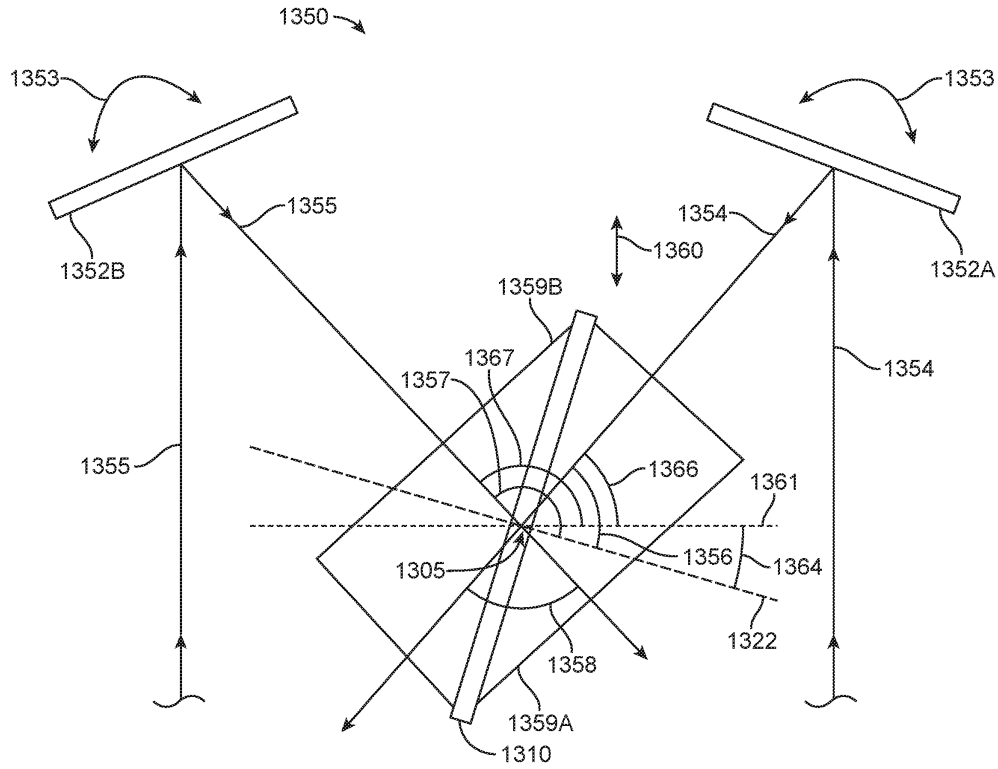
도면12a



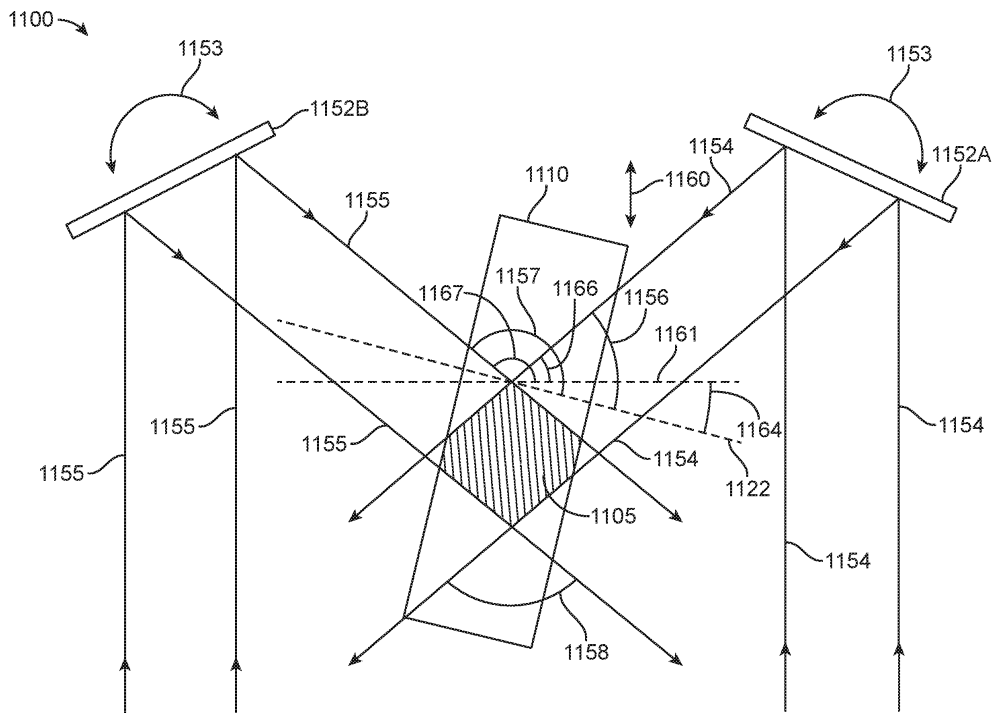
도면12b



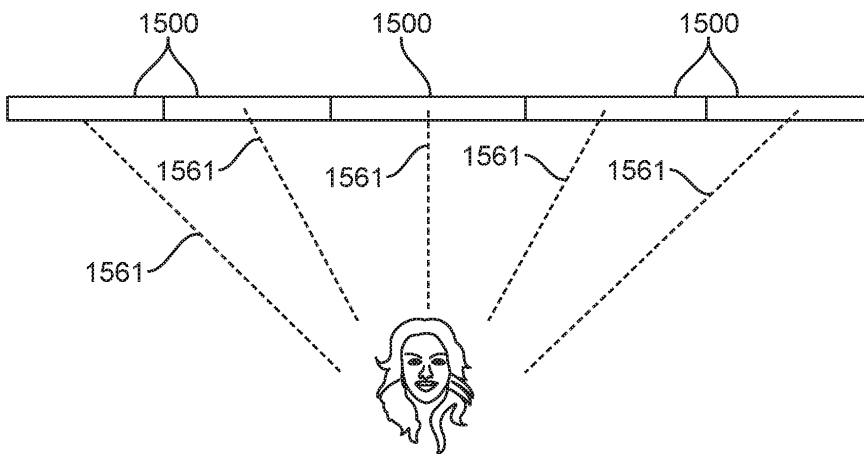
도면13



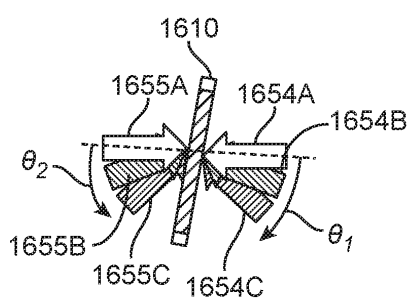
도면14



도면15



도면16a



도면16b

