



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년10월07일
(11) 등록번호 10-2714924
(24) 등록일자 2024년10월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 1/115 (2015.01) G02B 27/01 (2006.01)
G02B 5/18 (2006.01) G02B 6/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02B 1/115 (2013.01)
G02B 27/0172 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-7036734(분할)
(22) 출원일자(국제) 2018년12월10일
심사청구일자 2023년10월25일
(85) 번역문제출일자 2023년10월25일
(65) 공개번호 10-2023-0152180
(43) 공개일자 2023년11월02일
(62) 원출원 특허 10-2020-7019685
원출원일자(국제) 2018년12월10일
심사청구일자 2021년12월08일
(86) 국제출원번호 PCT/US2018/064686
(87) 국제공개번호 WO 2019/113570
국제공개일자 2019년06월13일
(30) 우선권주장
62/596,904 2017년12월10일 미국(US)
62/751,240 2018년10월26일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20170293141 A1
US20140022819 A1
US20120307362 A1
KR1020060059992 A

(73) 특허권자
매직 립, 인코포레이티드
미국 플로리다 플랜타타운 웨스트 선라이즈 블러
마드 7500 (우: 33322)
(72) 발명자
페로즈, 크리스토프
미국 94131 캘리포니아 샌프란시스코 세사르 차베
즈 스트리트 3983 아파트먼트 2
메서, 케빈
미국 33301 플로리다 포트로더데일 사우스이스트
2 스트리트 1438 아파트먼트 1438
(74) 대리인
특허법인(유)남아이피그룹, 특허법인 남앤남

전체 청구항 수 : 총 22 항

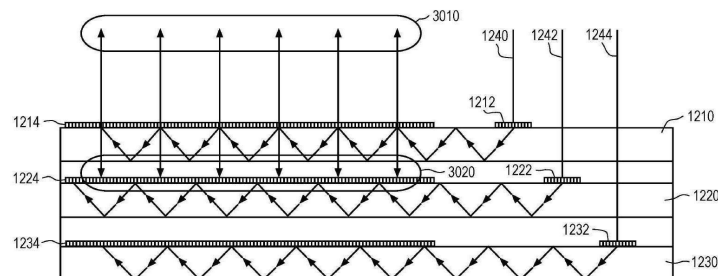
심사관 : 남배인

(54) 발명의 명칭 광학 도파관들 상의 반사-방지 코팅들

(57) 요약

반사-방지 도파관 조립체는 제1 굴절률을 갖는 도파관 기관, 도파관의 제1 표면 상에 배치된 복수의 회절 광학
엘리먼트들, 및 도파관의 제2 표면 상에 배치된 반사-방지 코팅을 포함한다. 반사-방지 코팅은 바람직하게는,
광의 적어도 97 %가 투과되도록, 광이 인가되는 표면을 통한 도파관 내로의 광의 흡수를 증가시킨다. 반사-방지
(뒷면에 계속)

대표도



코팅은, 제1 굴절률 및 허수 굴절률이 1×10^{-3} 미만이지만 바람직하게는 5×10^{-4} 미만인 상이한 굴절률들을 갖는 4개의 재료 층들로 구성된다.

(52) CPC특허분류

G02B 6/005 (2013.01)

G02B 6/0076 (2013.01)

G02B 2005/1804 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

반사-방지 도파관으로서,

제1 굴절률을 갖는 평면형 도파관 기관;

상기 도파관의 제1 표면 상에 배치된 복수의 회절 광학 엘리먼트들; 및

상기 도파관의 제2 표면 상에 배치된 반사-방지 코팅을 포함하고, 상기 도파관은 평면형이고 그리고 제1 방향으로 상기 복수의 회절 광학 엘리먼트들과 상기 반사-방지 코팅 사이에서 내부 전반사에 의해 광을 전파하고, 상기 제1 방향에 직교하는 제2 방향으로 광을 아웃커플링하도록 구성되고, 상기 내부 전반사에 의해 전파되는 광은 s 편광 컴포넌트(polarization component) 및 p 편광 컴포넌트를 포함하고, 상기 반사-방지 코팅은, 상기 s 컴포넌트의 입사각이 상기 광의 선택된 컬러에 대해 상기 도파관을 통한 상기 p 컴포넌트의 입사각과 동일하도록 상기 2개의 컴포넌트들 사이의 위상 지연(phase retardation)을 감소시키도록 구성되는,

반사-방지 도파관.

청구항 2

제1 항에 있어서,

반사-방지 코팅은 위상 지연(phase retardation)을 갖지 않고, 편광 상태 또는 크기의 어떠한 변화 없이, 출력에 위상 시프트만을 부여(impart)하는,

반사-방지 도파관.

청구항 3

삭제

청구항 4

제2 항에 있어서,

선택된 컬러는 제1 파장의 광을 갖고, 위상 지연 감소는 상기 제1 파장에 대해 그리고 상기 제1 파장과 상이한 제2 파장에 대해 동일한,

반사-방지 도파관.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 반사-방지 코팅은 상기 제2 표면으로부터의 반사를 감소시키고 그리고 상기 제2 표면을 통한 상기 도파관으로의 광의 투과를 증가시키는,

반사-방지 도파관.

청구항 6

제5 항에 있어서,

상기 광의 적어도 97 %가 상기 제2 표면을 통해 투과되는,

반사-방지 도파관.

청구항 7

제1 항에 있어서,
상기 도파관 기판은 유리이고, 상기 반사-방지 코팅은 MgF_2 의 층을 포함하는,
반사-방지 도파관.

청구항 8

제7 항에 있어서,
상기 MgF_2 의 층은 75 내지 125 nm의 두께를 갖는,
반사-방지 도파관.

청구항 9

제7 항에 있어서,
상기 반사-방지 코팅은 SiO_2 의 층을 포함하는,
반사-방지 도파관.

청구항 10

제8 항에 있어서,
상기 MgF_2 의 층은 상기 제2 표면에 바로 인접하게 배치되는,
반사-방지 도파관.

청구항 11

제10 항에 있어서,
상기 MgF_2 의 층 상에 SiO_2 의 층이 배치되는,
반사-방지 도파관.

청구항 12

제11 항에 있어서,
상기 반사-방지 코팅의 누적 굴절률은 5×10^{-4} 미만의 허수 굴절률 컴포넌트 값(imaginary refractive index component value)을 갖는,
반사-방지 도파관.

청구항 13

제11 항에 있어서,
상기 반사-방지 코팅의 누적 굴절률은 5×10^{-4} 내지 1×10^{-3} 의 허수 굴절률 컴포넌트 값을 갖는,
반사-방지 도파관.

청구항 14

제1 항에 있어서,
상기 반사-방지 코팅은 제1 재료와 제2 재료 사이에서 교번하는 8개 미만의 층들을 포함하는,
반사-방지 도파관.

청구항 15

제14 항에 있어서,
상기 반사-방지 코팅은 4개의 층들로 구성되는,
반사-방지 도파관.

청구항 16

제14 항에 있어서,
상기 제1 재료는 상기 제2 재료보다 더 높은 굴절률을 갖는,
반사-방지 도파관.

청구항 17

제14 항에 있어서,
상기 제1 재료는 TiO_2 인,
반사-방지 도파관.

청구항 18

제14 항에 있어서,
 TiO_2 의 각각의 층은 2보다 더 큰 굴절률을 갖는,
반사-방지 도파관.

청구항 19

제14 항에 있어서,
상기 제2 재료는 SiO_2 인,
반사-방지 도파관.

청구항 20

제19 항에 있어서,
 SiO_2 의 각각의 층은 1.45 내지 1.58의 굴절률을 갖는,
반사-방지 도파관.

청구항 21

제20 항에 있어서,
상기 반사-방지 코팅의 누적 굴절률은 5×10^{-4} 미만의 허수 굴절률 컴포넌트 값(imaginary refractive index component value)을 갖는,
반사-방지 도파관.

청구항 22

제20 항에 있어서,
상기 반사-방지 코팅의 누적 굴절률은 5×10^{-4} 내지 1×10^{-3} 의 허수 굴절률 컴포넌트 값을 갖는,
반사-방지 도파관.

청구항 23

제1 항에 있어서,

상기 반사-방지 코팅의 누적 굴절률은 5×10^{-4} 미만의 허수 굴절률 컴포넌트 값을 갖는,
반사-방지 도파관.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 2017년 12월 10일에 출원된 미국 가특허 출원 제62/596,904호 및 2018년 10월 26일에 출원된 미국 가특허 출원 제62/751,240호를 우선권으로 주장하고, 상기 출원들 각각의 전체 내용들은 인용에 의해 본원에 통합된다.

배경 기술

[0002] 윈도우들 또는 광발전 디바이스들(예컨대, 태양 에너지 패널들)과 같은 기관들의 표면 처리들은 적층되는 반사-방지 재료의 코팅으로부터 이익을 얻는다. 유리에 충돌하는 광으로부터의 눈부심 감소, 에너지 비용들에 대한 자연광의 개선된 유지, 또는 광발전 셀에 충돌하는 광의 흡수 증가는, 반사-방지 코팅들이 사용되는 방법 중 일부이다. 종래의 반사-방지 코팅들은, 기관 표면의 법선에 대해 실질적으로 직교하는 광 경로들에 대한 이익들을 제공하지만, 일반적으로 기관에 대해 완전히 외부로 광의 발생을 미연에 방지하는(anticipate) 이러한 자유 공간 광에 대한 반사-방지를 최대화하는 것에 관련된다. 종래의 코팅들은 또한 투과물들을 증가시키려고 한다. 특정 광학 매체들은 자유 공간 발생 이외의 광 경로들을 조작하고, 이러한 매체들의 성능을 최적화하기 위한 반사-방지 코팅들이 필요로 된다.

발명의 내용

[0003] 본 발명의 실시예들은 일반적으로 광학 도파관들에서의 반사-방지 코팅들을 위한 층들의 특정 재료들 및 두께들에 관한 것이다. 더 구체적으로, 본원에 설명된 실시예들 및 기법들은, TIR(total internal reflection)을 위한 광 전파를 가능하게 하고, 동시에 직교 각도들에서의 광 반사 또는 다른 자유 공간 광을 최소화해야 하는 반사-방지 코팅들에 관한 것이다. 본원에 설명된 실시예들은 광의 완전한 투과를 추구하는 것과 는 거리가 멀다.

[0004] 일부 실시예는 반사-방지 도파관에 관한 것이다. 상기 반사-방지 도파관은 대향하는 제1 표면 및 제2 표면과 제1 굴절률을 갖는 제1 평면형 도파관 기관; 상기 제1 평면형 도파관 기관으로부터 뷰어를 향하는 제1 방향으로 그리고 상기 뷰어로부터 멀어지는 상기 제1 평면형 도파관 기관으로의 제2 방향으로 광을 회절시키기 위한, 상기 제1 평면형 도파관의 상기 제1 표면 상에 배치된 복수의 회절 광학 엘리먼트들; 상기 제1 평면형 도파관 기관의 상기 제2 표면 상에 배치된 반사-방지 코팅 - 상기 반사-방지 코팅이 상기 제1 평면형 도파관 기관의 상기 제2 표면을 통한 투과를 증가시키면서 상기 반사-방지 코팅을 통과하여 상기 제2 방향으로 굴절되는 광이 상기 제1 평면형 도파관 기관을 떠남 -; 및 대향하는 제1 표면 및 제2 표면과 상기 제1 굴절률을 갖는 제2 평면형 도파관 기관 - 상기 반사-방지 코팅은 상기 제2 평면형 도파관 기관으로의 상기 제1 평면형 도파관 기관의 상기 제2 표면으로부터의 광의 반사를 감소시키고 그리고 상기 제2 평면형 도파관 기관으로의 상기 제1 평면형 도파관 기관의 상기 제2 표면을 통한 광의 투과를 증가시킴 -을 포함한다.

[0005] 일부 실시예들은 유리와 같은, 제1 굴절률을 갖는 도파관 기관에 관한 것이다. 기관은 평면형 또는 원통형(예컨대, 광섬유)일 수 있다. 평면형 기관들에 대해, 격자와 같은 복수의 회절 광학 엘리먼트들이 제1 표면 상에 배치되고, 반사-방지 코팅이 반대 표면 상에 배치된다. 원통형 도파관들에 대해, 반사-방지 코팅이 외부 표면에 도포된다.

[0006] 일부 실시예들에서, 도파관은 광을 수신하고 광을 내부 전반사에 의해 축을 따라 전파시키도록 구성된다. 평면형 도파관들에서, 광은 이러한 축을 따라 제1 방향으로 이동하고, 광이 그의 대응하는 표면의 회절 광학 엘리먼트로부터 반사될 때, 광을 실질적으로 직교 방향으로 아웃커플링한다. 원통형 도파관들에서, 광은 도파관들의 길이에 실질적으로 평행한 축을 따라 도파관을 따라 반사되고, 원위 단부에서 아웃커플링된다.

[0007] 이러한 실시예들의 반사-방지 코팅은 수신된 광의 s 편광 상태와 p 편광 상태 사이에서 위상 지연을 최

소화하도록 구성되어, 광의 각각의 편광 컴포넌트에 대한 TIR에 의한 바운스의 각도가 실질적으로 유사하다.

[0008] [0007] 일부 실시예들에서, 반사-방지 코팅은 75 내지 125 나노미터(nm)의 두께를 갖는 불화 마그네슘(MgF₂)의 단일 층이다. 일부 실시예들에서, 실리카(SiO₂)의 층이 외부 층으로서 코팅에 도포된다.

[0009] [0008] 일부 실시예들에서, 반사-방지 코팅은 5×10^{-4} 미만의 허수 굴절률 값(k)(대안적으로 본원에서 흡수 계수로 지칭됨)을 갖는다. 일부 실시예들에서, 완전한 코팅의 k 값은, 코팅을 포함하는 층들의 수와 관계없이, 5×10^{-4} 내지 1×10^{-3} 이다. 일부 실시예들에서, 코팅은 단일 재료의 층이다. 일부 실시예들에서, 코팅은 2개의 재료들 사이에서 교번하며, 하나의 재료는 제2 재료보다 비교적 더 높은 굴절률을 갖는다. 일부 실시예들에서, 총 8개 미만의 층들이 활용된다.

[0010] [0009] 일부 실시예들에서, 2보다 더 큰 굴절률을 갖는 티타니아(TiO₂)가 코팅 층 재료로서 활용되고; 일부 실시예들에서, 1.45 내지 1.58의 굴절률을 갖는 SiO₂가 티타니아와 교번하여 층을 이룬다.

[0011] [0010] 이들 재료들 및 층 선택들은 광학 도파관에 의해 출력되는 광의 효율을 최적화하고, 이러한 도파관에 의해 출력되는 이미지들의 줄무늬들(striations)과 같은 광학 결함들을 감소시키기 위해 위상 지연을 최소화하고, 종래의 층들의 노동 및 재료 비용을 최소화한다.

도면의 간단한 설명

[0012] [0011] 도 1은, 반사된 광을 최소화하고 도파관으로의 광 흡수를 최대화하기 위한 반사-방지 코팅의 기능과 관련하여 이해되는 반사-방지 코팅을 도시한 평면도이다.

[0012] 도 2는 일부 실시예들에 따른, 내부 전반사에 의해 도파관을 통해 전파되는 복수의 빔들을 아웃커플링하는 평면형 도파관을 도시한 평면도이다.

[0013] 도 3은 일부 실시예들에 따른, 복수의 빔들을 광 번들들로서 아웃커플링하는 다중-도파관 스택을 도시한 평면도이다.

[0014] 도 4는 일부 실시예들에 따른, 3개의 회절 광학 엘리먼트 구역들을 갖는 평면형 도파관의 정면도이다.

[0015] 도 5는 일부 실시예들에 따른, 직교 동공 확장기의 스펠에 걸쳐 광을 회절시키는 직교 동공 확장기를 도시한 정면도이다.

[0016] 도 6a는 일부 실시예들에 따른 도파관을 통한 복수의 광 바운스들을 도시한 평면도이다.

[0017] 도 6b는 일부 실시예들에 따른, 내부 전반사를 지원하도록 구성된 도파관을 통해 투과되는 에너지의 간접계 네트워크의 정면도이다.

[0018] 도 7은 일부 실시예들에 따른 반사-방지 코팅에서 층들의 함수로써 위상 지연 관계를 예시하는 그래프이다.

[0019] 도 8a는 상이한 n 값들의 반사-방지 코팅 층들을 갖는 기관들 상의 청색(455 nm) 광에 대한 접안렌즈 설계의 캡처된 이미지들을 도시한다.

[0020] 도 8b는 상이한 n 값들의 반사-방지 코팅 층들을 갖는 기관들 상의 청색(455 nm) 광에 대한 접안렌즈 설계의 시뮬레이팅된 이미지들을 도시한다.

[0021] 도 8c는 상이한 n 값들의 반사-방지 코팅 층들을 갖는 기관들 상의 적색(625 nm) 광에 대한 접안렌즈 설계의 캡처된 이미지들을 도시한다.

[0022] 도 8d는 상이한 n 값들의 반사-방지 코팅 층들을 갖는 기관들 상의 적색(625 nm) 광에 대한 접안렌즈 설계의 시뮬레이팅된 이미지들을 도시한다.

[0023] 도 9a-9d는 일부 실시예들에 따른 반사-방지 코팅 층들의 수 및 반사-방지 코팅의 k 값의 함수로써 도파관에 의해 출력된 광 에너지의 효율 감소를 예시하는 그래프들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] [0024] 반사방지 코팅들은 일반적으로 상이한 굴절률들을 갖는 재료의 층들에 걸쳐 이위상 반사들(out-of-

phase reflections)을 생성하도록 구성된다. 종래에, 단일 층 반사-방지 코팅들은 코팅된 기관의 굴절률의 제곱근과 동일한 굴절률(n)을 추구하며, 반사-방지 코팅에 의해 타겟팅된 광의 파장(λ)의 1/4과 동일한 두께(t)를 갖는다.

수학식 1

$$n_{\text{coating}} = \sqrt{n_{\text{substrate}}}$$

수학식 2

$$t = \lambda_{\text{target light}} / (4 \cdot n_{\text{coating}})$$

[0025] 도 1은 반사-방지를 도시하는데, 여기서 광 L(100)은 매체(110)에 충돌하여 광 R(101)을 반사시키면서 동시에 매체(120)로 투과하여 광 R(101)에 보강 간섭(constructive interference)을 초래하는 광 R(103)을 반사시키고, 나머지 광 L(105)은 매체(103)로 투과한다. 투과된 광 L(105)의 총량을 개선하기 위한 많은 변형들이 알려져있다. 예컨대, 단일 코팅으로 다수의 파장들의 투과를 개선하기 위한 광대역 반사-방지는 부가적인 빛/또는 가변 두께 층들로 달성된다.

[0026] 도 1에 도시된 코팅 어레이먼트가 자유 공간 광을 위해 의도된 대로 작동할 수 있지만, 일부 광학 시스템들은 도파관 기술을 사용하고; 증강 또는 혼합 현실 시스템은 특히 출사 동공 확장기 시스템들에서 이 기술을 최대화하여, 소스로부터 광을 전달하고 TIR에 의해 도파관을 통해 해당 광을 전파하고 이어서 사용자의 눈을 향해 아웃커플링한다.

[0027] 도 2는 이러한 시스템의 단순화된 버전을 도시한다. 하나의 도파관이 예시되지만, 함께 적층된 다른 도파관들(도 3을 참조하여 아래에 추가로 설명됨)이 유사하게 기능할 수 있다는 것이 인지될 것이다. 광(400)은 도파관(1182)의 입력 표면(1382)에서 도파관(1182)으로 주입되고 TIR에 의해 도파관(1182) 내에서 전파된다. 입력 표면(1382)은, TIR을 지원하는 각도들에서 광(400)을 도파관(1382) 내로 회절시키기 위한 회절 광학 엘리먼트들에 의해 형성된 인커플링 격자일 수 있다. 광(400)이 아웃커플링 회절 광학 엘리먼트들(1282)에 충돌하는 지점들에서, 샘플링된 부분들은 복수의 출사 빔들(402)로서 도파관에서 출사된다.

[0028] 각각의 출사 빔은 광(400)의 샘플링된 빔렛(beamlet)이며, 임의의 하나의 샘플링된 빔렛이 뷰어의 눈(4)에 의해 보일 가능성을 증가시킨다. 따라서, 도파관(1182)이 자신의 스펠에 걸쳐 복수의 출사 빔들을 생성하기 위해 TIR을 유지하는 것이 중요하고, 그렇지 않다면 출사 빔들(402)은 분배되지 않을 것이고, 결과적인 출사 동공(들)은 눈(4)의 특정 포지션들에서만 볼 수 있을 것이고, 시스템의 적용 가능성 및 유연성을 제한한다.

[0029] 도 2는 단일 도파관 시스템을 도시하지만, 당업자는, 단일 도파관(1182)이 광(400)의 샘플링된 부분들을 전달(impart)하는 경우, 유사한 기능들을 수행하는 부가적인 도파관이 다중-컬러 컴포넌트 이미지들 또는 깊이 지각과 같은 풍부한 광 효과들을 생성하기 위해 부가적인 샘플링된 부분들을 전달할 수 있음을 인지할 것이다. 도 3은 TIR에 의해 광을 전파하는 3개의 도파관들(1210, 1220 및 1230)을 갖는 이러한 다중층 시스템을 예시한다. 각각의 광 경로(1240, 1242 및 1244)가 위치들(1212, 1222 및 1232)에서 각각 인커플링되고, 도파관(1210, 1220 및 1230) 상에 배치된 개개의 아웃커플링 회절 광학 엘리먼트(1214, 1224 또는 1234)(경로들(1222 및 1232)로부터의 아웃커플링된 광은 도시되지 않음)에 충돌하기 때문에, 개개의 아웃커플링 회절 광학 엘리먼트는 복수의 빔렛들을 2개의 방향들로 회절시키는데, 하나의 방향은 광 번들(3010)에 의해 표시되는 뷰어(도 2의 눈(4)에서와 같이)를 향하고, 하나의 방향은 광 번들(3020)에 의해 표시되는 뷰어로부터 멀어지는 방향이다.

[0030] 광 번들(3020)은, 광 번들(3020)이 후속 도파관(1220)으로부터 반사되는 경우, 바람직하지 않은 효과들, 이를테면, 광 번들(3010)과의 간섭, 반사로부터 야기될 수 있는 임의의 각도의 변화로 인한 블러링의 증가 등을 발생시킬 수 있다. 여기서, 도파관의 아웃커플링 회절 광학 엘리먼트로부터 도파관의 반대 표면에 도포된 반사-방지 코팅은 이들 효과들을 감소시키는 데 유리할 것이다. 그러나, 투과를 증가시키려고 시도하는 종래의 코팅은 일반적으로, 광 경로들(1240, 1242 및 1244)이 TIR에 의해 도파관들(1210, 1220 및 1230)을 가로질러 진행함에 따라 광 경로들(1240, 1242 및 1244)을 저하시킬 것이다. 이러한 저하는 아웃커플링에서 균일

성 문제들(uniformity complications)을 도입하고, 열악한 이미지 품질을 발생시킨다.

[0022] [0031] 동공 확장기 기술을 사용하는 도파관 광학 시스템들은 이러한 문제를 악화시킨다. 이를테면, 도 2에 도시된 동공 확장기 시스템에서, 광은 실질적으로 수직 방향뿐만 아니라 출사 빔 경로에 직교하는 방향으로 분배된다. 도 4는 도파관(3704) 상에 배치된 OPE(orthogonal pupil expander)(3706)를 도시한다. 도 4는 또한 도 2에 도시된 아웃커플링 회절 광학 엘리먼트들(1282)과 유사한 TIR 광의 프로그레시브 출사 빔들을 아웃커플링하기 위한 EPE(exit pupil expander)(3708) 및 도 2의 입력 표면(1382)과 유사한 ICG(incoupling grating)(3702)를 도시한다. 도 4의 도파관 시스템에서, 광은 인커플링 격자를 통해 도파관에 인커플링되고, 직교 동공 확장기를 향해 회절된다.

[0023] [0032] 도 5는 직교 동공 확장기에 걸친 광 샘플링을 도시한다. 도 4의 인커플링 격자로부터의 광(4410B)은, 광의 샘플들을 제1 방향으로 회절시키고 그 동일한 광의 샘플(4430B)을 제2 방향으로 회절시키는 격자(4420B), 이를테면, 일련의 회절 광학 엘리먼트들과 만나고(encounter), 회절되는 특정 방향들은 회절 광학 엘리먼트의 특정 기하학적 구조들의 함수이다.

[0024] [0033] 도 6a는 이 광 경로의 단면도를 도시하고, 하나의 도파관은 하나의 표면 상에 격자(662), 및 반대 표면 상에 반사-방지 코팅(664)을 포함한다. 광이 도파관을 통해 TIR에 의해 전파됨에 따라, 광은 직교 동공 확장기 및 직교 동공 확장기 반대의 표면에 대해 교번으로 반사된다. 당업자는, 유사한 기능이 도파관의 출사 동공 확장기 구역에서 발생한다는 것을 인지할 것이다. 도 3을 참조하여 광 번들(3020)에 의해 설명된 반사들을 감소시키기 위해, 반사-방지 코팅이 이 반대 표면에 도포된다. 도 6b에 도시된 유닛 셀 간섭계(unit cell interferometer)와 같은 누적 광 간섭계는 이러한 상호작용으로부터 도출될 수 있다. 도 6b에서, 직교 동공 확장기와 각각의 상호작용은 광을 2개의 경로들, 즉, 반사-방지 코팅 측에 대한 반사 및 직교 동공 확장기에 대한 각각의 연속적인 반사로 샘플링할 것이다. 직교 동공 확장기 측 또는 반사-방지 측으로부터의 각각의 반사는 광에 편광 변화들을 추가로 도입하여, 각각의 연속적인 바운스가 편광 상태를 교란(perturb)시키고, 각각의 출력 노드에서 에너지를 변화시킬 수 있다.

[0025] [0034] 편광을 구성성분 s 및 p 상태들로 분해함으로써, 결과적인 전계(E)는 광의 진폭(A) 및 위상(ϕ)의 함수이며, 각각의 s 및 p 경로에 대해 다음과 같이 묘사된다.

수학식 3

[0026]
$$E_{i,s} = A_{i,s} e^{j\phi_{i,s}}$$

수학식 4

[0027]
$$E_{i,p} = A_{i,p} e^{j\phi_{i,p}}$$

[0028] 여기서 i는 입력에서 변수 값을 나타낸다.

[0029] [0035] 각각의 상호작용(도 6b의 출력 노드에서 광의 경로와 상관관계를 갖는, 아래의 방향성 화살표로 표시됨)은 수학식 3 및 수학식 4의 s 및 p 엘리먼트들의 에너지를 곱한 2 x 2 행렬로 설명될 수 있다. 그러한 경우에 다음과 같다.

수학식 5

[0030]
$$\begin{bmatrix} E_{o,s\downarrow} \\ E_{o,p\downarrow} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\eta_{s\downarrow s\leftarrow}} e^{j\phi_{s\downarrow s\leftarrow}} & \sqrt{\eta_{s\downarrow p\leftarrow}} e^{j\phi_{s\downarrow p\leftarrow}} \\ \sqrt{\eta_{p\downarrow s\leftarrow}} e^{j\phi_{p\downarrow s\leftarrow}} & \sqrt{\eta_{p\downarrow p\leftarrow}} e^{j\phi_{p\downarrow p\leftarrow}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{i,s\leftarrow} \\ E_{i,p\leftarrow} \end{bmatrix} = OPE_{\downarrow\leftarrow} \begin{bmatrix} E_{i,s\leftarrow} \\ E_{i,p\leftarrow} \end{bmatrix}$$

[0031] 여기서 좌측 및 하향은 도 6b의 출력 노드(662)에서와 같이 좌측 및 아래로 회절되는 광을 나타내고, 여기서 η

는 전이(transition)의 회절 효율성이고 ϕ 는 전이의 위상 시프트이다.

[0032] [0036] 부가적으로, AR 코팅으로부터의 각각의 바운스는 2 x 2 행렬로 설명될 수 있다. 평면형 코팅에서, 이 행렬의 비대각선(off-diagonal) 엘리먼트들은 0이고, 평면형 코팅에서 층들이 평행하다는 사실로 인해, 대각선 엘리먼트들의 크기(magnitude)는 1이어야 한다. AR 코팅으로부터 어떠한 회절도 없기 때문에, 이들 행렬들 중 단지 2개의 행렬들: $AR_{\downarrow\downarrow}$ 및 $AR_{\leftarrow\leftarrow}$ 이 존재한다.

수학식 6

[0033]
$$AR_{\downarrow\downarrow} = \begin{bmatrix} e^{j\theta_{s\downarrow s\downarrow}} & 0 \\ 0 & e^{j\theta_{p\downarrow p\downarrow}} \end{bmatrix}$$

수학식 7

[0034]
$$AR_{\leftarrow\leftarrow} = \begin{bmatrix} e^{j\theta_{s\leftarrow s\leftarrow}} & 0 \\ 0 & e^{j\theta_{p\leftarrow p\leftarrow}} \end{bmatrix}$$

[0035] [0037] 출력 노드가 하방으로(출사 동공 확장기를 향해) 전파되도록 하는 전계 상태는 이제 전계 입력 상태에 관련될 수 있다.

수학식 8

[0036]
$$\begin{bmatrix} E_{o,s\downarrow} \\ E_{o,p\downarrow} \end{bmatrix} = (OPE_{\downarrow\downarrow} AR_{\downarrow\downarrow} OPE_{\downarrow\leftarrow} AR_{\leftarrow\leftarrow} OPE_{\leftarrow\leftarrow} + OPE_{\downarrow\leftarrow} AR_{\leftarrow\leftarrow} OPE_{\leftarrow\downarrow} AR_{\downarrow\downarrow} OPE_{\downarrow\leftarrow}) \begin{bmatrix} E_{i,s} \\ E_{i,p} \end{bmatrix}$$

[0037] [0038] 그러나, 위상 지연(각각의 바운스에서의 s 및 p 광 경로들 각각의 위상 시프트들 간의 차이)이 0이면, 이는 ($\theta_s = \theta_p$)가 되도록 단순화될 수 있다. 이 경우에, 반사-방지 코팅은 더 이상 에너지 출력에 영향을 미치지 않는다. 다시 말해서, 수학식 6 및 수학식 7은 각각 다음과 같이 교체될 수 있다.

수학식 9

[0038]
$$AR_{\downarrow\downarrow} = e^{j\theta_{\downarrow\downarrow}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

수학식 10

[0039]
$$AR_{\leftarrow\leftarrow} = e^{j\theta_{\leftarrow\leftarrow}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0040] 그리고 출력은 다음과 같이 단순화된다.

수학식 11

[0041]
$$\begin{bmatrix} E_{o,s\downarrow} \\ E_{o,p\downarrow} \end{bmatrix} = e^{j\theta_{\downarrow\downarrow}} e^{j\theta_{\leftarrow\leftarrow}} (OPE_{\downarrow\downarrow} OPE_{\downarrow\leftarrow} OPE_{\leftarrow\leftarrow} + OPE_{\downarrow\leftarrow} OPE_{\leftarrow\downarrow} OPE_{\downarrow\leftarrow}) \begin{bmatrix} E_{i,s} \\ E_{i,p} \end{bmatrix}$$

[0042] [0039] 따라서, AR 코팅이 어떠한 위상 지연도 갖지 않으면, 이는, 편광 상태 또는 크기의 어떠한 변화 없이,

출력에 위상 시프트만을 부여한다. AR 코팅이 위상 지연을 갖는 경우에, 이는 출력 편광 상태 및 크기를 변경하고 부정적인 광학 효과들을 도입시킬 것이다. 이는, TIR 도파관 디스플레이 디바이스 상에 사용되는 반사-방지 코팅의 층들의 수를 결정할 때 중요하다. 도 7은 다양한 입사각들에서 TIR 광에 대한 위상 지연을 도시한다. 도 8a는 상이한 n 값들의 반사-방지 코팅 층들을 갖는 기관들 상의 청색(455 nm) 광에 대한 접안렌즈 설계의 캡처된 이미지들을 도시한다. 도 8b는 상이한 n 값들의 반사-방지 코팅 층들을 갖는 기관들 상의 청색(455 nm) 광에 대한 접안렌즈 설계의 시뮬레이팅된 이미지들을 도시한다. 도 8c는 상이한 n 값들의 반사-방지 코팅 층들을 갖는 기관들 상의 적색(625 nm) 광에 대한 접안렌즈 설계의 캡처된 이미지들을 도시한다. 도 8d는 상이한 n 값들의 반사-방지 코팅 층들을 갖는 기관들 상의 적색(625 nm) 광에 대한 접안렌즈 설계의 시뮬레이팅된 이미지들을 도시한다. 위상 차이의 큰 변동은 출사 빔들에 영향을 미치며, 도 8a-8d에 도시된 "줄무늬들" 또는 균일성 붕괴들(uniformity disruptions)로 관찰 가능하다. 4 층 반사-방지 코팅이 가장 균일한 것으로 밝혀졌고, 따라서 도 7 및 8a-8d에 표시된 다른 코팅들에 비해 선호된다. 반사-방지 층들의 수를 조정하는 효과들이 각각의 파장에 걸쳐 일관되는데, 즉, 도 8a-8d가 특정 파장들의 광에 대한 접안렌즈를 도시하지만, 그 효과는 도시되지 않은 다른 파장들(이를테면, 녹색)에 대해 유사하다는 것이 인지될 것이다.

[0043] [0040] 그럼에도 불구하고, 도파관내(intra-waveguide) 반사들을 유지하면서 이러한 악화를 최소화하고 도파관간(inter-waveguide) 반사들의 양을 감소시키기 위해, 본 발명의 실시예들은 최적화된 반사-방지 코팅에 관한 것이다. 이러한 최적화는 반사-방지 재료의 굴절률과, 코팅에 도포된 층들의 수 및 두께를 밸런싱한다. 이것은 θ_s 를 실질적으로 θ_p 와 동일하게 함으로써 위상 지연 효과들을 최소화할 것이다.

[0044] [0041] 일부 실시예들에서, 반사-방지 코팅은, 증강 또는 혼합 또는 가상 현실 디바이스의 접안렌즈를 구성하는 도파관 스택 내의 도파관 기관의 일측에 도포된다. 바람직하게는, 코팅된 측은 뷰어의 눈이 배치된 것으로 예상되는 반대 측 상에 있지만, 뷰어의 눈과 동일한 측 상의 코팅된 측은 유사하게 기능할 수 있다. 일부 실시예들에서, 격자는 코팅된 측으로서 도파관의 반대 표면에 적용된다. 반사-방지 코팅은 바람직하게는, 반사-방지 코팅이 도포된 표면으로부터의 반사를 감소시키고 도포된 표면을 통한 투과를 증가시킨다. 반사-방지 코팅은 바람직하게는 광의 투과를 적어도 97 %로 증가시킨다.

[0045] [0042] 반사방지 코팅은 적어도 하나의 층을 포함하지만, 바람직한 실시예들에서 8개 미만이며, 비교적 높은 굴절률 및 비교적 낮은 굴절률의 2개의 교번하는 구성요소 재료들의 층들을 교번한다. 일부 실시예들에서, 구성요소 층들 중 하나는 티타니아(TiO_2)이다. 일부 실시예들에서, 구성요소 층들 중 하나는 실리카(SiO_2)이다.

[0046] [0043] 당업자는 SiN , ZrO_2 , ZnO_2 , Ta_2O_5 또는 NB_2O_5 와 같은 다른 후보 재료들 또는 가시 파장 범위에서 낮은 흡수율을 갖는 다른 금속 산화물들을 인지할 것이다. TiO_2 및 SiO_2 와 같은 이러한 재료들은 반사-방지를 위한 광 발전 또는 유리 처리에 해당 재료들이 사용되는 것으로 당분야에 잘 알려져있다.

[0047] [0044] 일부 실시예들에서, SiO_2 는, 도파관 세정, 프로세싱 또는 패터닝에 따르는 임의의 습식 화학(황산, 과산화수소 등)에 대한 보호 층으로서 다중층 코팅의 최종(즉, 최상부) 층이다.

[0048] [0045] 재료의 굴절률(n)은 2개의 엘리먼트들, 즉, 공지된 굴절률 및 흡수 계수(k)(또는 재료를 통한 광의 감쇠와 관련된 허수 굴절률)로 구성되어, $n = n + ik$ 가 된다. 상이한 재료들은 매우 다양한 결과들을 생성할 수 있는 상이한 흡수 계수들을 갖고, 이는, 코팅에 대한 순(net) k 값을 생성하기 위해 다수의 재료들이 함께 적층할 때 특히 가변적이다. 예컨대, 잘 알려진 반사-방지 재료인 티타니아, 및 질화 규소(SiN)는 정상적인 입사에 대해 유사한 반사율 스펙트럼들을 갖지만 약간 상이한 k 값들을 갖는다. 이들은 수직/직교 광 방향들에서 무시될 수 있지만, TIR을 지원하는 각도들에서, 표면에서의 광의 모든 각각의 바운스는 2개의 재료들 사이와 비교하여 약간 상이한 흡수로 감쇠된다. TIR 시스템에서 복수의 바운스들에 걸쳐 광을 조작하는 코팅의 흡수 계수의 이러한 약간의 차이의 누적 효과는 전체 이미지 품질, 특히, 균일성 및 효율성에 크게 영향을 줄 수 있다.

[0049] [0046] 다양한 재료들의 가변 흡수 계수들(k)의 재료들에 의한 에너지 출력률을 사용하여, 광 손실은, 출력의 퍼센티지로서 도 9a-9d에 도시된다. 도 9a는, 증가하는 층들 및 증가하는 k 값들의 함수로써 EPE에 의한 광 출력의 에너지의 손실을 도시한다. 도시된 바와 같이, 5 %의 예시적인 EPE 효율성의 경우, 대부분의 단일 층 반사-방지 코팅들은, 순 k 값이 대략 5×10^{-4} 미만일 때, 광학 도파관과 같은 TIR 시스템에서 이러한 효율성을 보존한다. 각각의 부가적인 층 또는 순 k 값의 증가는 EPE에서 에너지 출력의 효율성을 기하급수적으로 감소시킨다. 도 9b 및 9c에 도시된 바와 같이 감소의 정도가 변하지만, 재료 또는 층들의 수에 관계없이, 이것은 사실이다.

- [0050] [0047] 도 9d는, 당분야에 알려진 반사-방지에 대한 임의의 이익들에도 불구하고, 증가된 층들이 증가된 손실을 통해 시스템 성능에 해롭다는 것을 입증하는 EPE 효율성 도면을 도시한다.
- [0051] [0048] 일부 실시예들에서, 8개 미만의 층들을 갖는 반사-방지 코팅들이 활용된다. 일부 실시예들에서, MgF_2 코팅과 같은 단일 층만이 활용된다.
- [0052] [0049] 수학적 식 1에 따라, 타겟 굴절률은 간단한 수학에 의해 해결될 수 있지만, 특정 k 값의 누적 효과는 그렇게 쉽게 도출되지 않으며, 교번하는 층 코팅에서 누적 타겟 n 도 그렇게 간단하지 않을 수 있다. 예컨대, 티타니아와 같은 종래의 반사-방지 코팅 재료가 유리 기판에 도포되었다면, 수학적 식 1은 충족되지 않을 것이다. 우리는 일반적으로 1.5 내지 1.6의 굴절률을 갖고, 따라서 유리 상의 반사-방지 코팅은 1.22 내지 1.27의 굴절률을 가져야 한다. 본 발명의 일부 실시예들에서, MgF_2 의 반사-방지 코팅이 유리 기판에 도포된다(MgF_2 의 굴절률은 1.38이다).
- [0053] [0050] 도 3을 참조하면, 각각의 도파관이 특정 파장의 광을 전파하게 구성되도록 다수의 도파관들이 사용될 수 있다. 각각의 도파관에 대한 반사-방지 코팅에 대한 별개의 두께는 그 도파관의 구성된 파장에 기반하여 생성될 수 있다. 예컨대, 녹색 광(대략 520nm)을 전파하도록 구성된 유리 상의 MgF_2 코팅에서, 94nm의 두께가 요구된다. 대안적으로, 일반적으로 가시 스펙트럼을 반사시키기 위해 단일 적층 코팅들에 대해 75 nm 내지 125 nm의 임의의 도파관에 대한 (제조 애플리케이션 복잡성을 줄이기 위한) 공통 두께가 도포될 수 있고, 선택된 정확한 두께가 수학적 식 2에 의해 지시된 특정 파장의 광에 대해 더 이로울 것이라는 것이 이해된다.
- [0054] [0051] 본 문헌 전반에 걸친, "일 실시예", "특정 실시예들", "실시예" 또는 유사한 용어에 대한 참조는, 실시예와 관련하여 설명된 특정한 피처, 구조, 또는 특성이 적어도 하나의 실시예에 포함되는 것을 의미한다. 따라서, 본 명세서 전반에 걸친 다양한 위치들에서 이러한 문구들의 출현들이 모두 반드시 동일한 실시예를 지칭하는 것은 아니다. 또한, 특정한 특징들, 구조들 또는 특성들은 제한없이 하나 이상의 실시예들에서 임의의 적합한 방식으로 결합될 수 있다.
- [0055] [0052] 본원에 도시된 세부사항들은 단지 예이며 본 발명의 바람직한 실시예들에 대한 예시적인 논의를 목적으로 하며, 본 발명의 다양한 실시예들의 원리들 및 개념적 양상들의 가장 유용하고 용이하게 이해되는 것으로 여겨지는 것을 제공하기 위해 제공된다. 이와 관련하여, 본 발명의 기본적인 이해를 위해 필요한 것보다 더 상세하게 본 발명의 구조적 세부사항들을 보여주려는 어떠한 시도도 없으며, 본 발명의 몇몇의 형태들이 실제로 구현될 수 있는 방법을 당업자들에게 명백하게 하는 도면들 및/또는 예들에 대해 설명이 이루어진다.
- [0056] [0053] 본원에 사용된 바와 같이 그리고 달리 표시되지 않는 한, 단수 형태의 용어들은 "하나", "적어도 하나" 또는 "하나 이상"을 의미하도록 취해진다. 맥락이 달리 명확하게 요구하지 않는 한, 본원에 사용된 단수 형태의 용어들은 복수를 포함할 것이며, 복수의 용어들은 단수를 포함할 것이다.
- [0057] [0054] 맥락이 달리 명확하게 요구하지 않는 한, 상세한 설명 및 청구항들 전반에 걸쳐, "포함하다(comprise)", "포함하는(comprising)" 등의 단어들은 배타적인 또는 철저한 의미와 대조적으로, 포괄적인 의미로 해석되는데; 즉 "포함(그러나 이에 제한되지 않음)하는"의 의미로 해석된다. 본원에 사용된 "또는"이라는 용어는 포괄적인 것으로 해석되거나 어느 하나 또는 임의의 조합을 의미한다. 따라서, "A, B 또는 C"는 다음과 같이 A; B; C; A 및 B; A 및 C; B 및 C; A, B 및 C 중 어느 하나를 의미한다. 이러한 정의에 대한 예외는, 엘리먼트들, 기능들, 단계들 또는 동작들의 조합이 어떻게 해서든 본질적으로 상호 배타적일 때만 발생할 것이다.
- [0058] [0055] 단수 또는 복수의 수를 사용하는 단어들은 또한 복수 및 단수의 수를 각각 포함한다. 부가적으로, "본원에서", "위에서", 및 "아래에서"이라는 단어들과 이와 유사한 의미의 단어들은, 본 개시내용에서 사용될 때, 본 개시내용의 임의의 특정 부분들이 아니라, 전체로서 본 개시내용을 지칭할 것이다.
- [0059] [0056] 본 개시내용의 실시예들의 설명은 예시 및 설명을 제공하지만, 포괄적이거나 또는 개시된 정확한 형태로 본 개시내용을 제한하도록 의도되지 않는다. 본 개시내용의 특정한 실시예들 및 예들이 예시의 목적들을 위해 본원에서 설명되지만, 당업자들이 인식할 바와 같이, 다양한 등가의 수정들이 본 개시내용의 범위 내에서 가능하다. 이러한 수정들은 개시된 실시예들에 도시된 치수들 및/또는 재료들의 변화들을 포함할 수 있지만, 이에 제한되지 않는다.
- [0060] [0057] 본원에 언급된 참조들 모두는 인용에 의해 본원에 포함된다. 본 개시내용의 또 다른 실시예들을 제공하기 위해 위의 참조들의 시스템들, 기능들 및 개념들을 사용하기 위해, 필요한 경우, 본 개시내용의 양상들이

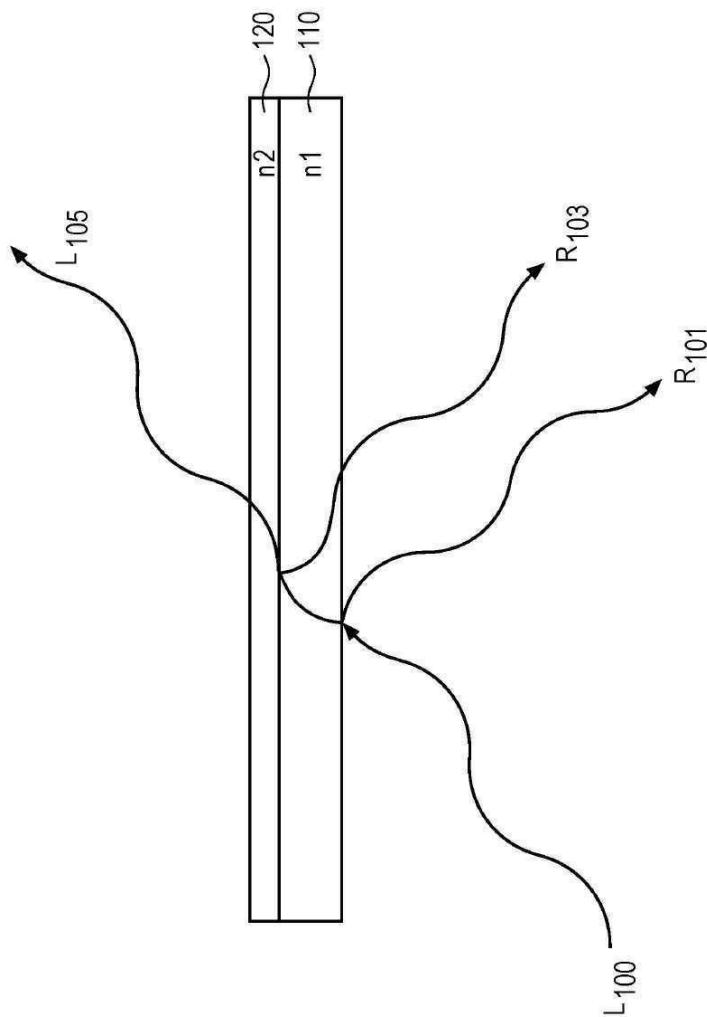
수정될 수 있다. 상세한 설명의 관점에서 본 개시내용에 대해 이들 및 다른 변화들이 행해질 수 있다.

[0061] [0058] 임의의 앞서 말한 실시예들의 특정 엘리먼트들은 다른 실시예들에서 엘리먼트들에 대해 결합되거나 대체될 수 있다. 또한, 본 개시내용의 특정 실시예들과 연관된 장점들이 이들 실시예의 맥락에서 설명되었지만, 다른 실시예들이 또한 이러한 장점들을 나타낼 수 있고, 모든 실시예들이 본 발명의 범위 내에 속하기 위해 이러한 장점들을 반드시 나타낼 필요는 없다.

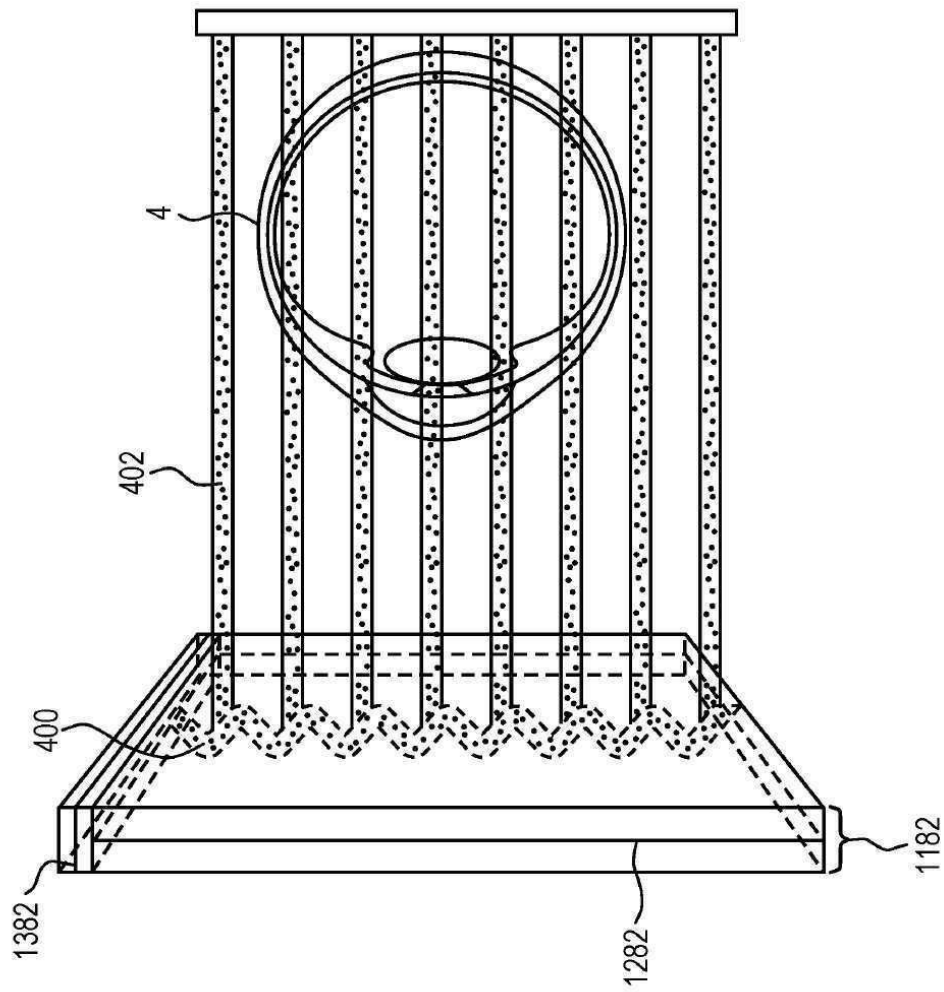
[0062] [0059] 따라서, 본 발명이 첨부된 청구항들의 사상 및 범위 내에서 수정 및 변형되어 실시될 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 설명은, 포괄적이거나 개시된 정확한 형태로 본 발명을 제한하도록 의도되지 않는다. 본 발명이 수정 및 변형되어 실시될 수 있고, 본 발명이 청구항들 및 그의 등가물들에 의해서만 제한된다는 것이 이해되어야 한다.

도면

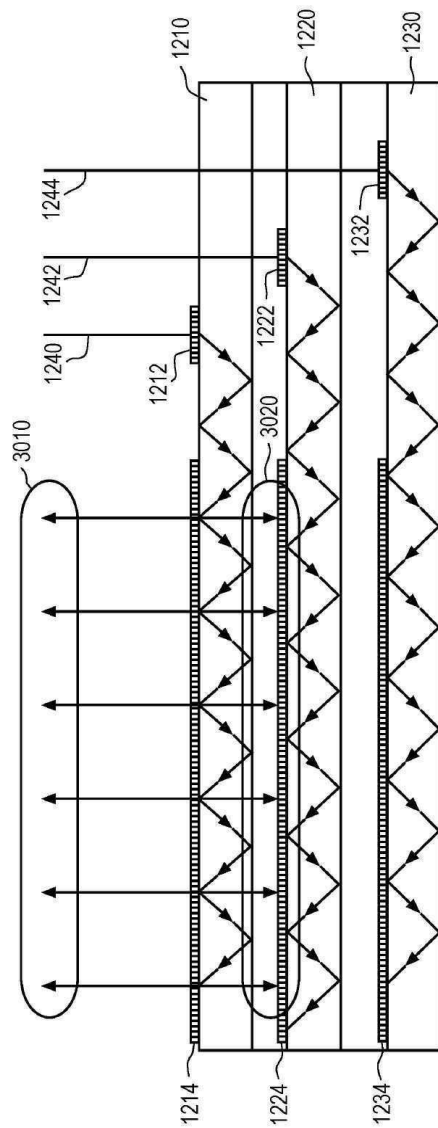
도면1



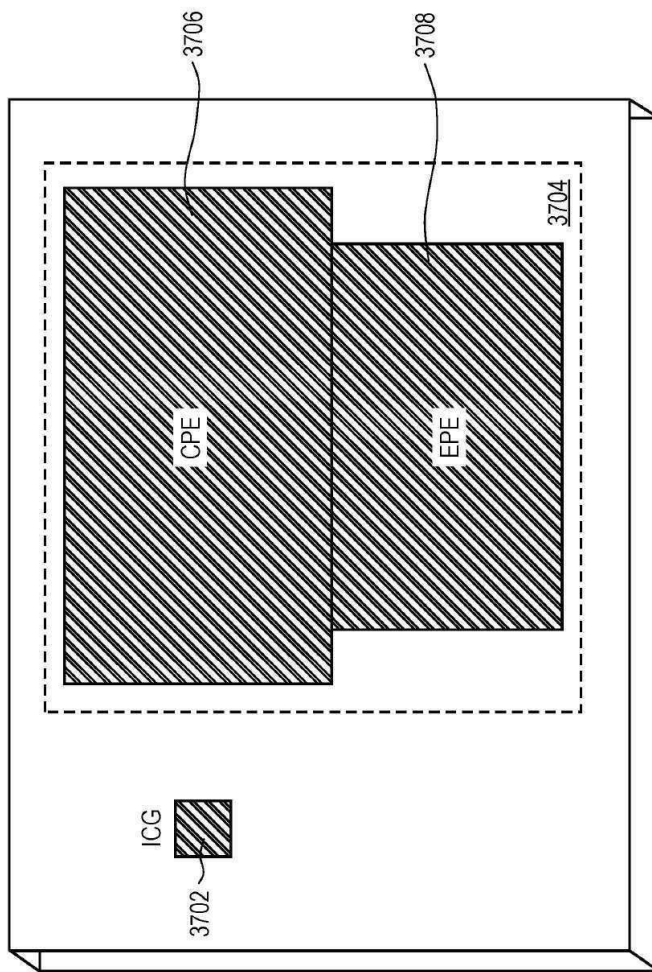
도면2



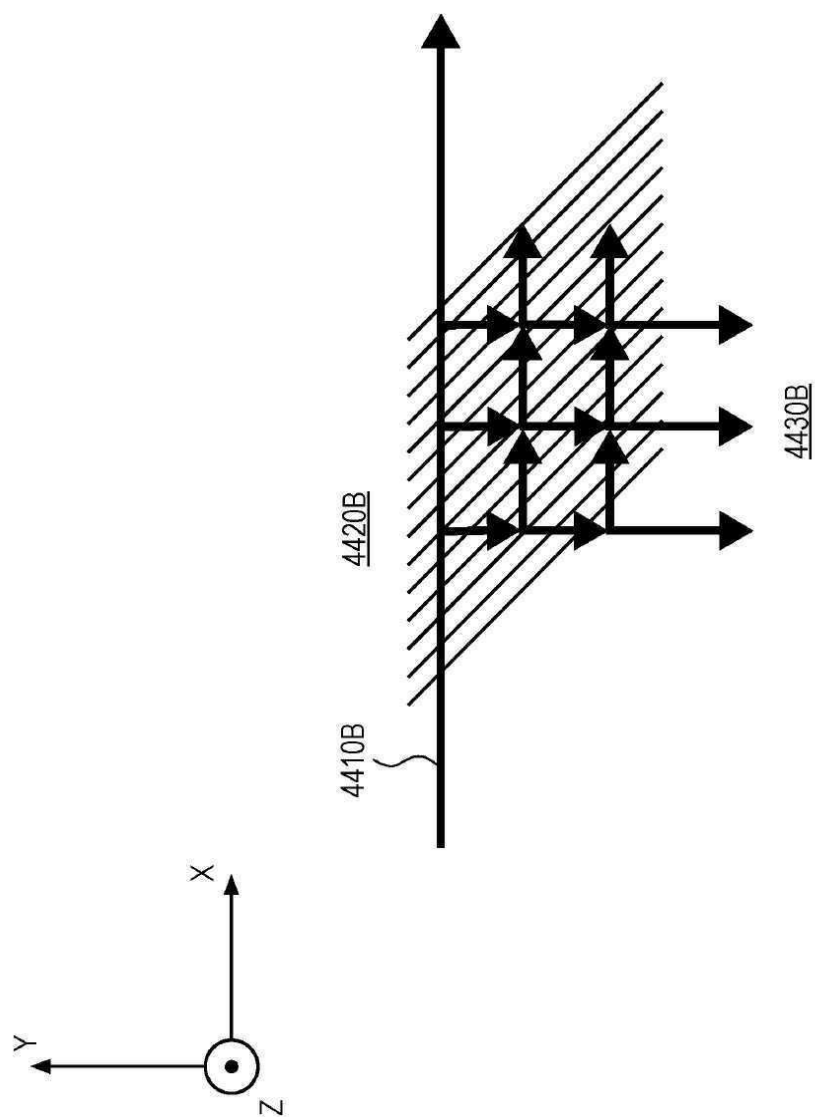
도면3



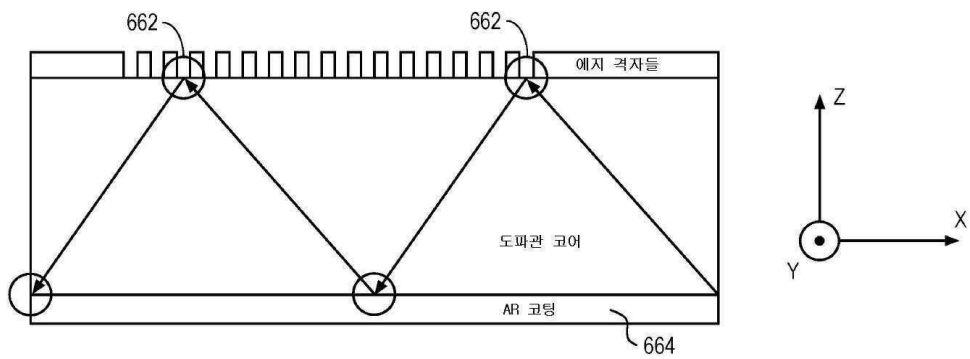
도면4



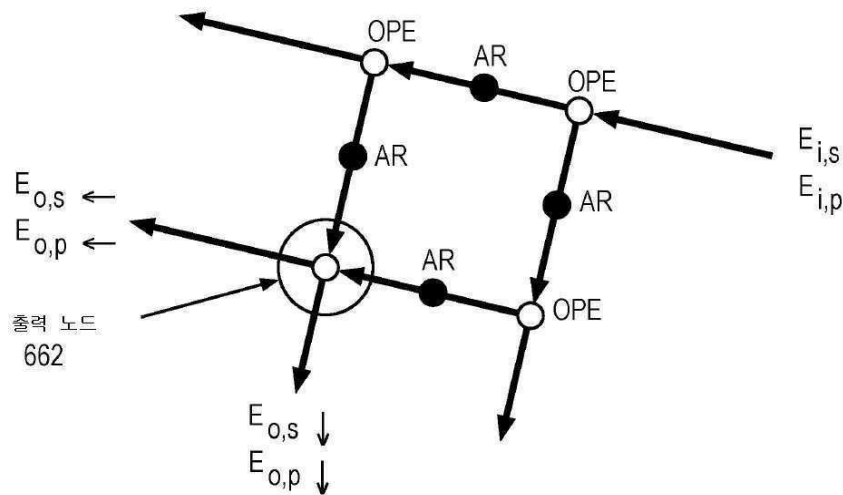
도면5



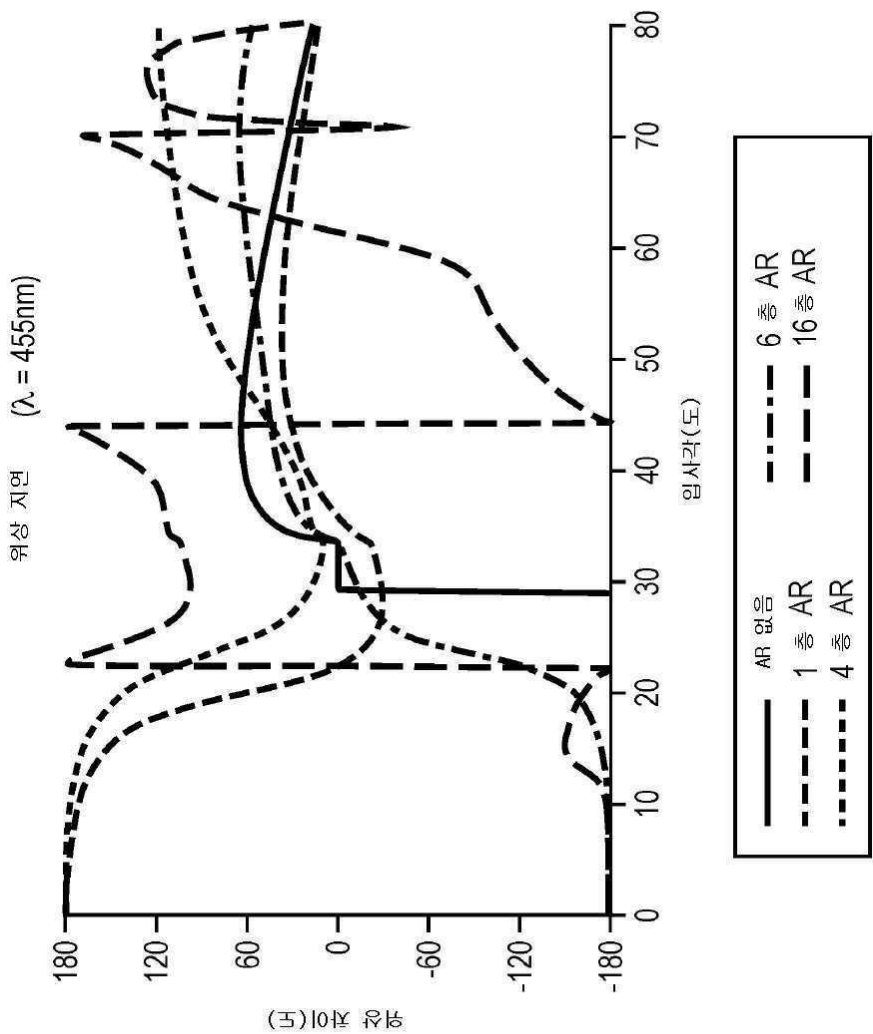
도면6a



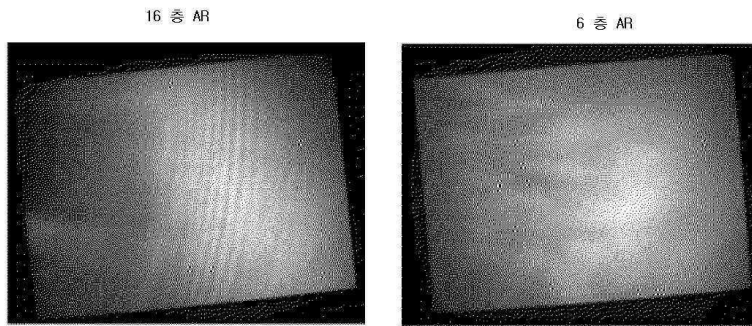
도면6b



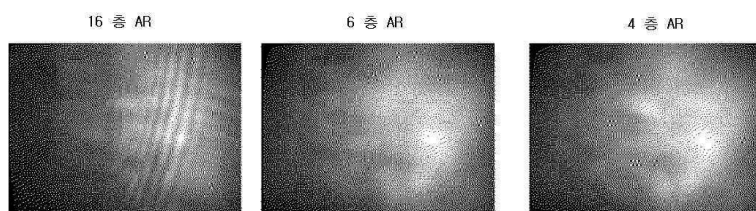
도면7



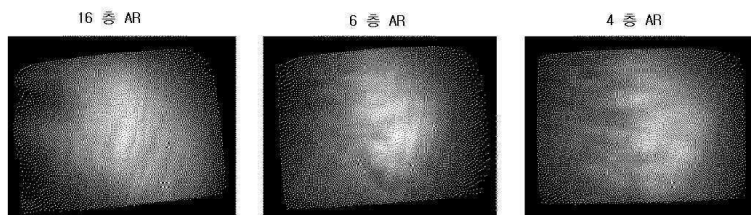
도면8a



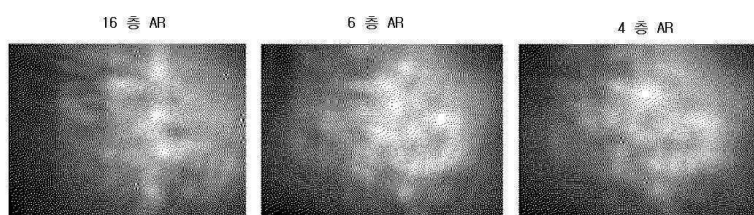
도면8b



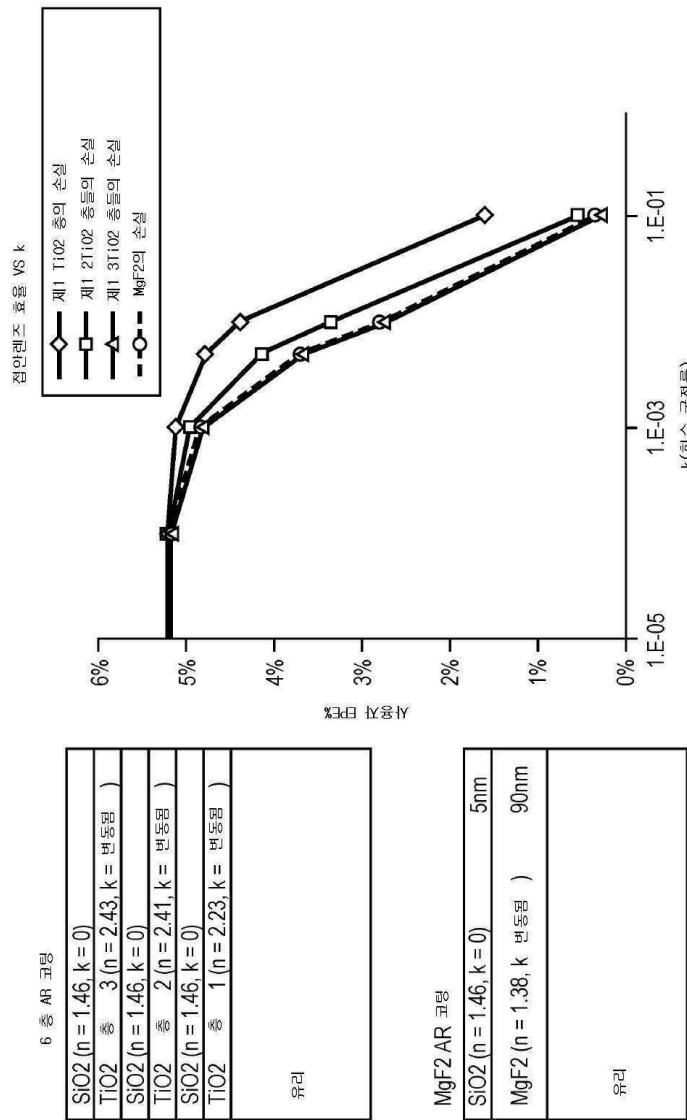
도면8c



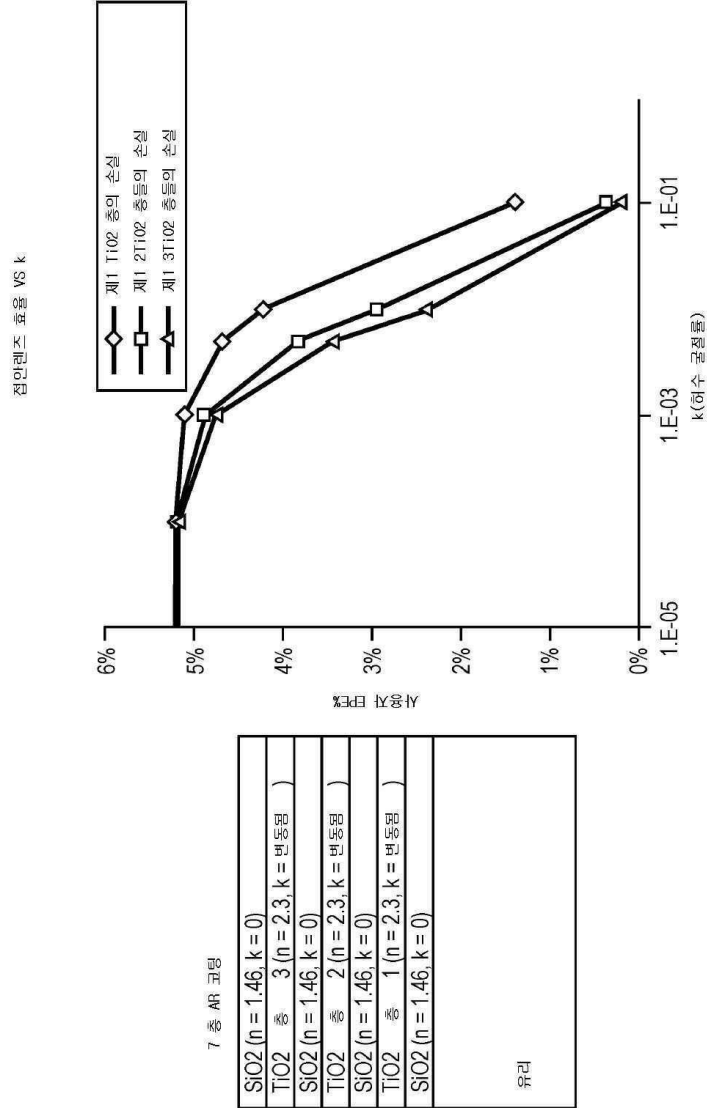
도면8d



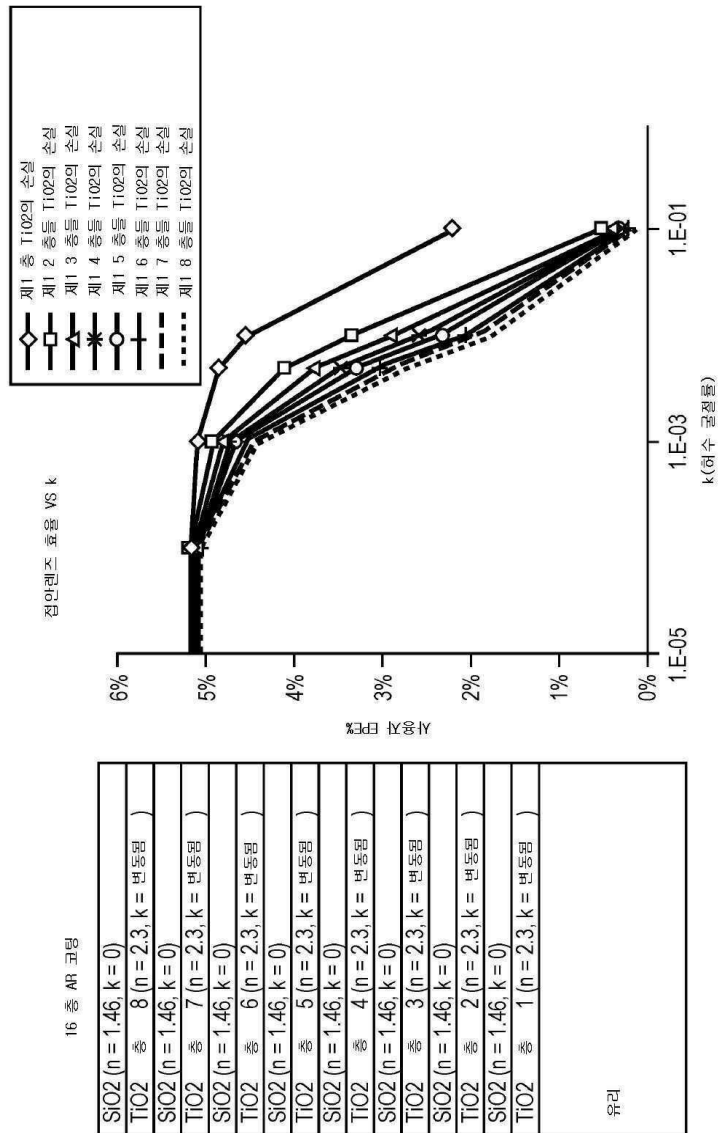
도면9a



도면9b



도면 9c



도면9d

