



등록특허 10-2251273



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년05월14일
(11) 등록번호 10-2251273
(24) 등록일자 2021년05월06일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 6/35 (2006.01) *B81B 3/00* (2006.01)
G01S 17/89 (2020.01) *G01S 7/481* (2006.01)
G02B 26/00 (2020.01) *G02B 6/12* (2006.01)
H04J 14/02 (2006.01)

- (52) CPC특허분류
G02B 6/3548 (2013.01)
B81B 3/0083 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-7017638
- (22) 출원일자(국제) 2017년12월16일
심사청구일자 2019년06월19일
- (85) 번역문제출일자 2019년06월19일
- (65) 공개번호 10-2019-0084311
- (43) 공개일자 2019년07월16일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2017/000095
- (87) 국제공개번호 WO 2018/111316
국제공개일자 2018년06월21일

- (30) 우선권주장
62/498,158 2016년12월16일 미국(US)

(뒷면에 계속)

- (56) 선행기술조사문현
JP2002517875 A*
KR1020150104137 A*
US20060091305 A1
KR1020080106899 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문현

전체 청구항 수 : 총 16 항

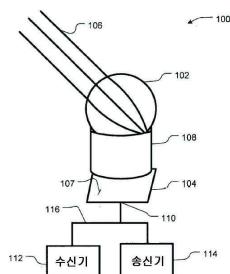
심사관 : 송병준

(54) 발명의 명칭 전 고체 광학 송/수신 단말기

(57) 요 약

전 고체 광학 송/수신 단말기는 기계 컴포넌트들, 이미터들/콜렉터들의 위상 어레이 또는 다수의 위상 시프터 없이 광빔을 조정하기 위한 바이너리 광학 스위치들을 포함한다. 렌즈는 이미터들/콜렉터들의 표면 어레이를 자유 공간에 광학적으로 결합하여 각각의 이미터/콜렉터에 자유 공간에서 각각의 방향을 제공한다. 이미터들/콜렉터들

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1

은 또한 "H 트리" 또는 다른 분기된 광학 도파관 네트워크를 통해 공통 입/출력 포트에, 그리고 거기로부터 수신기 및/또는 송신기에 결합된다. 바이너리 광학 스위치들은 광학 도파관 네트워크의 광학 접속점들에 배치된다. 온 스위치들은 공통 입/출력 포트와 하나 이상의 선택된 이미터/콜렉터들 사이에서 광학 도파관 네트워크를 통해 광학 신호를 통과시킴으로써 자유 공간 방향(들)을 선택한다. 바이너리 광학 스위치들 중 비교적 작은 서브세트 만이 임의의 주어진 시간에 동시에 동작되어 급전될 필요가 있다.

(52) CPC특허분류

G01S 17/89 (2013.01)

G01S 7/4814 (2013.01)

G01S 7/4816 (2013.01)

G01S 7/4817 (2013.01)

G02B 26/007 (2013.01)

G02B 6/3526 (2013.01)

G02B 6/3534 (2013.01)

G02B 6/354 (2013.01)

G02B 6/355 (2013.01)

(30) 우선권주장

62/450,855 2017년01월26일 미국(US)

62/516,602 2017년06월07일 미국(US)

명세서

청구범위

청구항 1

광학 송/수신 단말기로서, 상기 단말기는:

시야를 갖는 렌즈;

평면 표면에 배치된 복수의 바이너리 광학 스위치를 가지는 평면 Nx1 광학 스위치 네트워크로서, 상기 Nx1 광학 스위치 네트워크는 공통 입/출력 포트 및 N개의 다른 포트를 포함하며, 상기 N개의 다른 포트는 상기 렌즈에 광학적으로 결합되어, 상기 N개의 다른 포트는 상기 렌즈 시야의 고유한 부분에 광학적으로 결합되고,

각각의 상기 복수의 바이너리 광학 스위치는 적어도 2개의 모드를 가지며, 상기 적어도 2개의 모드 중 제1 모드는 적어도 약 25%의 결합 효율로 상기 바이너리 광학 스위치 및 상기 평면 표면 너머의 자유 공간 사이의 광학적 결합을 가능하게 하고, 상기 적어도 2개의 모드 중 제2 모드는 최대 약 5%의 결합 효율로 상기 바이너리 광학 스위치 및 상기 자유 공간 사이의 광학적 결합을 가능하게 하는, 평면 Nx1 광학 스위치 네트워크; 및

상기 평면 Nx1 광학 스위치 네트워크의 상기 공통 입/출력 포트에 광학적으로 결합된 광학 송신기 및/또는 광학 수신기를 포함하는, 광학 송/수신 단말기.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 N개의 다른 포트는 직사각형 어레이로 배열되는, 광학 송/수신 단말기.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 N개의 다른 포트는 상기 평면 표면상에 배치되는, 광학 송/수신 단말기.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 Nx1 광학 스위치 네트워크는 포토닉 칩을 포함하는, 광학 송/수신 단말기.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 N개의 다른 포트는 광학 커플러를 포함하는, 광학 송/수신 단말기.

청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서, 복수의 광섬유를 더 포함하고, 상기 N개의 다른 포트의 각 포트는 상기 복수의 광섬유 중 적어도 하나의 광섬유를 통해 상기 렌즈에 각각 광학적으로 결합되는, 광학 송/수신 단말기.

청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 평면 Nx1 광학 스위치 네트워크는:

복수의 광학 접속점에서 교차하는 복수의 광학 도파관으로서, 상기 복수의 광학 도파관 및 상기 복수의 광학 접속점은 루트(root) 및 복수의 리프(leaf)를 갖는 분기된 광학 도파관 네트워크에 배열되고, 상기 루트는 상기 공통 입/출력 포트에 결합되고, 상기 복수의 리프의 각 리프는 상기 N개의 다른 포트의 각각의 포트에 결합되는, 복수의 광학 도파관을 포함하고; 그리고

상기 복수의 바이너리 광학 스위치의 각각의 하나의 바이너리 광학 스위치는 상기 복수의 광학 접속점의 각 광학 접속점에 배치되는, 광학 송/수신 단말기.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 분기된 광학 도파관 네트워크는 H 트리를 포함하는, 광학 송/수신 단말기.

청구항 9

제7항에 있어서, 상기 평면 Nx1 광학 스위치 네트워크는 포토닉 칩을 포함하는, 광학 송/수신 단말기.

청구항 10

제7항에 있어서,

복수의 행 및 복수의 열을 갖는 행 및 열 어드레싱 행렬을 더 포함하고;

상기 복수의 바이너리 광학 스위치의 각 바이너리 광학 스위치는:

상기 복수의 행 중의 행에 결합되고;

상기 복수의 열 중의 열에 결합되고;

상기 복수의 행 중의 상기 행 및 상기 복수의 열 중의 상기 열 양자에 존재하는 신호들에 응답하여 작동하도록 구성되는, 광학 송/수신 단말기.

청구항 11

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 평면 Nx1 광학 스위치 네트워크는 x-y 평면에 위치하고; 상기 광학 송/수신 단말기는:

상기 렌즈에 기계적으로 결합되고, 상기 x-y 평면에 평행한 평면에서 상기 평면 Nx1 광학 스위치 네트워크에 대해 상기 렌즈를 시프팅하도록 구성된 x-y 스테이지

를 더 포함하는, 광학 송/수신 단말기.

청구항 12

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 렌즈는 x-y 평면에 위치하고; 상기 광학 송/수신 단말기는:

상기 평면 Nx1 광학 스위치 네트워크에 기계적으로 결합되고, 상기 x-y 평면에 평행한 평면에서 상기 렌즈에 대해 상기 평면 Nx1 광학 스위치 네트워크를 시프팅하도록 구성된 x-y 스테이지

를 더 포함하는, 광학 송/수신 단말기.

청구항 13

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 렌즈 및 상기 평면 Nx1 광학 스위치 네트워크에 기계적으로 결합되고, 평면에서 상기 평면 Nx1 광학 스위치 네트워크와 함께 상기 렌즈를 시프팅하도록 구성된 x-y 스테이지를 더 포함하는, 광학 송/수신 단말기.

청구항 14

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 평면 Nx1 광학 스위치 네트워크는 x-y 평면에 위치하고; 상기 광학 송/수신 단말기는:

상기 렌즈와 상기 평면 Nx1 광학 스위치 네트워크 사이에 광학적으로 배치된 중간 옵틱; 및

상기 중간 옵틱에 기계적으로 결합되고, 상기 x-y 평면에 평행한 평면에서 상기 중간 옵틱을 시프팅하도록 구성된 x-y 스테이지

를 더 포함하는, 광학 송/수신 단말기.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 중간 옵틱은 렌즈릿 어레이를 포함하는, 광학 송/수신 단말기.

청구항 16

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 평면 Nx1 광학 스위치 네트워크는 x-y 평면에 위치하고;

상기 렌즈는 적어도 제1 렌즈릿 어레이 및 상기 제1 렌즈릿 어레이에 평행한 제2 렌즈릿 어레이를 포함하고; 상기 광학 송/수신 단말기는:

상기 렌즈와 상기 평면 Nx1 광학 스위치 네트워크 사이에 광학적으로 배치된 제3 렌즈릿 어레이; 및

상기 렌즈에 기계적으로 결합되고, 상기 x-y 평면에 평행한 평면에서 상기 렌즈를 시프팅하도록 구성된 x-y 스테이지

를 더 포함하는, 광학 송/수신 단말기.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원들에 대한 상호 참조

본 출원은 "전 고체 광학 송/수신 단말기(All-solid state optical transmit/receive terminal)"라는 명칭으로 2016년 12월 16일자로 출원된 미국 특허 출원 제62/498,158호, "라이트 필드 생성 방법 및 장치(Method and Apparatus for Light Field Generation)"라는 명칭으로 2017년 1월 26일자로 출원된 미국 특허 출원 제62/450,855호, 및 "도파관 안팎으로 광을 선택적으로 결합하기 위한 통합 MEMS 스위치들(Integrated MEMS Switches for Selectively Coupling Light In and Out of a Waveguide)"이라는 명칭으로 2017년 6월 7일자로 출원된 미국 특허 출원 제62/516,602호의 이익을 주장하며, 이들 각각의 전체 내용은 모든 목적을 위해 본 명세서에 참조로서 통합된다.

[0003] 기술 분야

[0004] 본 발명은 광학 스위치 네트워크들에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 광 방향 및 거리 측정(light direction and ranging: LiDAR) 및 레이저 통신 시스템들에서와 같이 광학 신호들이 송신 또는 수신되는 방향들을 제어하는 데 사용되는 광학 스위치 네트워크들에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 많은 광학 시스템은 (사람에게 보이거나 보이지 않는) 시준된 광빔을 높은 정밀도로 제어될 수 있는 방향으로 방출하거나 수신할 필요가 있다. 예를 들어, 그러한 광빔들은 광 방향 및 거리 측정(LiDAR) 시스템들에서 사용되며, 종종 이러한 빔들은 타겟을 찾거나 추적하도록 조종되거나 스위핑되어야 한다. 유사하게, 레이저 통신 시스템들은 때때로, 예를 들어 2개의 단말기 사이에 송수신선이 직결된(line-of-sight) 통신 채널을 초기에 확립하기 위해 또는 단말기들 중 하나 또는 양자가 이동하는 경우에 광빔을 조종할 필요가 있다.

[0006] 미국 특허 공개 공보 제2007/0229994호에 예시된 바와 같이, 종래 기술의 LiDAR 및 레이저 통신 단말기들은 망원경들을 사용하여, 짐벌을 사용하여 망원경 전체를 향하게 하거나, 망원경의 정면에 이동 가능한 조종 미러를 배치하고, 미러를 사용하여 빔을 재지향시킨다. 그러나, 이러한 접근법은 크고 부피가 큰 이동 시스템들을 필요로 하며, 크기, 질량, 전력 및 신뢰성 면에서 불이익을 수반한다.

[0007] 다른 전통적인 빔 조종 방법들은 광학 위상 어레이들(optical phased arrays)을 수반하며, 이러한 어레이들에서는 다수의 안테나가 서로 밀접하게 배열되고 가간섭적으로(coherently) 동작하는데, 즉 개별 이미터들(emitters)의 위상들은 전체 어레이가 조화롭게 동작하게 하기 위해 주의 깊게 제어된다. 근거리 장에서의 신호들은 건설적으로 그리고 파괴적으로 간섭하여 원하는 방향들에서 널(null)들 및 보강된 신호들을 생성한다. 그러나, 위상 어레이들은 많은 수의 이미터 및 관련된 광학 위상 조정기들(optical phase adjusters)을 필요로 한다.

[0008] 명목상 광학 위상 어레이에는 반파장 간격들, 즉 약 $0.5 \mu\text{m}$ 의 간격으로 배치된 이미터들을 갖는다. 장거리 레이저 통신과 같은 응용들의 경우, 필요한 총 개구 크기는 5cm 정도일 수 있다. 따라서, $10^4 \times 10^4$ 이미터들 및 위상 시프터들의 어레이가 필요할 것이다. 현재 입증된 바와 같이, 위상 시프터들은 동작을 위해 약 1mW의 전력을 필요로 한다. 따라서, 그러한 어레이의 총 전력 소비는 비실용적으로 많은 양의 전력인 10^5W 에 접근할 수 있다.

발명의 내용

- [0009] 본 발명의 일 실시예는 광학 송/수신 단말기를 제공한다. 광학 송/수신 단말기는 렌즈 및 광학 스위치 네트워크를 포함한다. 렌즈는 시야(field of view)를 갖는다. 광학 스위치 네트워크는 평면(planar) Nx1 광학 스위치 네트워크이다. 광학 스위치 네트워크는 공통 입/출력 포트 및 N개의 다른 포트를 갖는다. N개의 다른 포트는 렌즈에 광학적으로 결합되어, N개의 다른 포트 중 각각의 포트는 렌즈 시야의 고유한 부분(unique portion)에 광학적으로 결합된다. 광학 송/수신 단말기는 또한 광학 스위치 네트워크의 공통 입/출력 포트에 광학적으로 결합되는 광학 송신기 및/또는 광학 수신기를 포함한다.
- [0010] N개의 다른 포트는 직사각형 어레이로 배열될 수 있다.
- [0011] N개의 다른 포트는 평면 표면(planar surface)상에 배치될 수 있다.
- [0012] 광학 스위치 네트워크는 포토닉 칩(photonic chip)을 포함하거나 포토닉 칩 상에 제조될 수 있다.
- [0013] N개의 다른 포트 중 각각의 포트는 광학 커플러를 포함할 수 있다.
- [0014] 광학 송/수신 단말기는 또한 복수의 광섬유를 포함할 수 있다. N개의 다른 포트 중 각각의 포트는 복수의 광섬유 중 적어도 하나의 광섬유를 통해 렌즈에 각각 광학적으로 결합될 수 있다.
- [0015] 광학 스위치 네트워크는 복수의 광학 도파관을 포함할 수 있다. 복수의 광학 도파관은 복수의 광학 접속점(optical junctions)에서 교차할 수 있다. 복수의 광학 도파관 및 복수의 광학 접속점은 분기된 광학 도파관 네트워크에 배열될 수 있다. 분기된 광학 도파관 네트워크는 루트(root) 및 복수의 리프(leaf)를 가질 수 있다. 루트는 공통 입/출력 포트에 결합될 수 있다. 복수의 리프 중 각각의 리프는 N개의 다른 포트 중 각각의 포트에 결합될 수 있다. 광학 스위치 네트워크는 또한 복수의 바이너리 광학 스위치를 포함할 수 있다. 복수의 바이너리 광학 스위치 중 각각의 하나의 바이너리 광학 스위치는 복수의 광학 접속점 중 각각의 광학 접속점에 배치될 수 있다.
- [0016] 분기된 광학 도파관 네트워크는 H 트리를 포함할 수 있다.
- [0017] 광학 스위치 네트워크는 포토닉 칩을 포함하거나 포토닉 칩 상에 제조될 수 있다.
- [0018] 광학 송/수신 단말기는 또한 행 및 열 어드레싱 행렬(row-and-column addressing matrix)을 포함할 수 있다. 행 및 열 어드레싱 행렬은 복수의 행 및 복수의 열을 가질 수 있다. 복수의 바이너리 광학 스위치 중 각각의 바이너리 광학 스위치는 복수의 행 중의 행에 결합될 수 있다. 복수의 바이너리 광학 스위치 중 각각의 바이너리 광학 스위치는 복수의 열 중의 열에 결합될 수 있다. 복수의 바이너리 광학 스위치 중 각각의 바이너리 광학 스위치는 복수의 행 중의 행 및 복수의 열 중의 열 양자에 존재하는 신호들에 응답하여 작동하도록 구성될 수 있다.
- [0019] 광학 스위치 네트워크는 x-y 평면에 위치할 수 있다. 광학 송/수신 단말기는 x-y 스테이지를 포함할 수 있다. x-y 스테이지는 렌즈에 기계적으로 결합될 수 있다. x-y 스테이지는 x-y 평면에 평행한 평면에서 광학 스위치 네트워크에 대해 렌즈를 시프팅하도록 구성될 수 있다.
- [0020] 렌즈는 x-y 평면에 위치할 수 있다. 광학 송/수신 단말기는 x-y 스테이지를 포함할 수 있다. x-y 스테이지는 광학 스위치 네트워크에 기계적으로 결합될 수 있다. x-y 스테이지는 x-y 평면에 평행한 평면에서 렌즈에 대해 광학 스위치 네트워크를 시프팅하도록 구성될 수 있다.
- [0021] 광학 송/수신 단말기는 x-y 스테이지를 포함할 수 있다. x-y 스테이지는 렌즈 및 광학 스위치 네트워크에 기계적으로 결합될 수 있다. x-y 스테이지는 평면에서 광학 스위치 네트워크와 함께 렌즈를 시프팅하도록 구성될 수 있다.
- [0022] 광학 스위치 네트워크는 x-y 평면에 위치할 수 있다. 광학 송/수신 단말기는 렌즈와 광학 스위치 네트워크 사이에 광학적으로 배치된 중간 옵틱(intermediate optic)을 포함할 수 있다. 광학 송/수신 단말기는 또한 x-y 스테이지를 포함할 수 있다. x-y 스테이지는 중간 옵틱에 기계적으로 결합될 수 있다. x-y 스테이지는 x-y 평면에 평행한 평면에서 중간 옵틱을 시프팅하도록 구성될 수 있다.
- [0023] 중간 옵틱은 렌즈릿 어레이(lenslet array)를 포함할 수 있다.
- [0024] 광학 스위치 네트워크는 x-y 평면에 위치할 수 있다. 렌즈는 적어도 제1 렌즈릿 어레이 및 제1 렌즈릿 어레이에 평행한 제2 렌즈릿 어레이를 포함할 수 있다. 광학 송/수신 단말기는 렌즈와 광학 스위치 네트워크 사이에 광학

적으로 배치된 제3 렌즈릿 어레이를 포함할 수 있다. 광학 송/수신 단말기는 x-y 스테이지를 포함할 수 있다. x-y 스테이지는 렌즈에 기계적으로 결합될 수 있다. x-y 스테이지는 x-y 평면에 평행한 평면에서 렌즈를 시프팅하도록 구성될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0025]

본 발명은 도면들과 관련하여 특정 실시예들의 다음의 상세한 설명을 참조함으로써 더욱 완전하게 이해될 것이다. 도면들에서:

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른, 전 고체 광학 송/수신 단말기(all-solid state optical transmit/receive terminal)의 개략도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른, 도 1의 전 고체 광학 송/수신 단말기의 광학 스위치 네트워크의 표면 상의 복수의 포트를 도시하는 개략도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른, 도 1 및 2의 광학 스위치 네트워크에서의 광학 도파관들의 "H 트리" 배열을 도시하는 개략도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른, 도 1-3의 광학 스위치 네트워크의 마하-젠테 간섭계(Mach-Zender interferometer)로 구현된 바이너리 광학 스위치를 도시하는 개략도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른, 광학 스위치 네트워크의 표면 상에서 도 2의 복수의 포트 중의 하나의 포트를 어드레싱하기 위한 하나의 가능한 수단, 즉 행/열 어드레싱 행렬을 도시하는 개략도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른, 광학 스위치 네트워크의 표면 상에서 도 2의 복수의 포트 중의 하나의 포트를 어드레싱하기 위한 다른 가능한 수단, 즉 다른 행/열 어드레싱 행렬을 도시하는 개략도이다.

도 7, 8 및 9는 본 발명의 각각의 실시예에 따른, 하이브리드 대략/정밀 위치결정 배열들(hybrid coarse/fine positioning arrangements)을 도시하는 개략도들이다.

도 10은 본 발명의 다른 실시예에 따른, 도 2의 포트들과 같은 복수의 포트 사이에 배치된 렌즈 어레이, 및 광학 송/수신 단말기를 광학적으로 스캐닝하기 위한 포커싱 옵틱을 개략적으로 도시한다.

도 11은 본 발명의 다른 실시예에 따른, 수차(aberration)를 방지하는 것과 같이 성능을 개선하는 데 사용되는, 도 10의 단일 렌즈 어레이 및 포커싱 옵틱이 아닌 일련의 렌즈 어레이를 개략적으로 도시한다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른, 도 3의 광학 스위치 네트워크를 대체할 수 있는 다른 광학 스위치 네트워크를 도시하는 개략도이다.

도 13은 종래 기술에 따른 석(Seok)으로부터의 도면의 주석 달린 재현이다.

도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른, 도 12의 광학 스위치 네트워크의 바이너리 광학 스위치의 개략 평면도이다.

도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른, 오프(OFF) 위치에서의 도 14의 바이너리 광학 스위치의 개략 측면도이고, 도 16은 온(ON) 위치에서의 도 14 및 15의 바이너리 광학 스위치의 개략 측면도이다.

도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른, 대표적인 치수들을 나타내는 온 위치에서의 도 14-16의 바이너리 광학 스위치의 다른 개략 측면도이다.

도 18 및 19는 본 발명의 일 실시예에 따른, 병진 가능 광학 격자(translatable optical grating)를 온 위치로 그리고 오프 위치로 선택적으로 병진시키도록 구성된 정전기 MEMS 구조물을 도시하는 오프 위치에서의 도 14-17의 광학 스위치의 각각의 개략 사시도 및 측면도이다.

도 20은 본 발명의 일 실시예에 따른, 온 위치에서의 도 14-19의 광학 스위치의 개략 사시 측면도이다.

도 21 및 22는 본 발명의 일 실시예에 따른, 온 위치 및 오프 위치 각각에서의 도 14-20의 광학 스위치 내의 z-x 로케이션에 대한 컴퓨터 모델링된 E-장 강도(E-field strength)의 결과들을 나타내는 그래프들을 포함한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026]

본 발명의 실시예들에 따르면, 전 고체 광학 송신 및 수신 단말기를 위한 방법들 및 장치들이 개시된다. 이러한

단말기는 광빔을 조종하기 위한 기계 컴포넌트, 또는 다수의 위상 시프터를 수반하는 이미터들/콜렉터들의 위상 어레이를 필요로 하지 않는다. 대신, 단말기는 광학 스위치들을 사용하여 광빔을 조종한다. 그러나, 광학 스위치들 중 비교적 작은 서브세트만이 주어진 시간에 동작되어 급전될 필요가 있다. 따라서, 단말기는 종래 기술과 관련된 기계적인 문제, 이미터 밀도 문제 및 고전력 문제를 극복한다.

[0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른, 전 고체 광학 송/수신 단말기(100)의 개략도이다. 렌즈(102)가 광학 스위치 네트워크(104)(본 명세서에서 "광학 도파관 네트워크"라고도 함)에 광학적으로 결합되어, 광선들(106)로 표현되는 입사 광선들이 광학 스위치 네트워크(104)의 표면(107) 상에 포커싱된다. 이와 달리, 광학 스위치 네트워크(104)의 표면(107)에서 방출된 광학 신호들은 렌즈에 광학적으로 결합되고, 이에 따라 광선들(106)로서 공간에 투영된다. 광은 사람이 볼 수 있거나 적외선(IR) 광처럼 보이지 않을 수 있다. 표면(107)은 평면 표면 또는 비평면 표면(non-planar surface)일 수 있다.

[0028] 렌즈(102)는 바람직하게 광시야 렌즈(wide field-of-view lens)이다. 렌즈(102)는 예를 들어 그레디언트 인텍스(GRIN) 렌즈, 어안 렌즈 또는 모노센트릭 렌즈(monocentric lens)일 수 있다. 적합한 모노센트릭 렌즈는 Distant Focus Corporation, PO Box 7857, Champaign, IL 61826-7857로부터 입수 가능하다. 렌즈가 평면 포커싱된 이미지(planar focused image)를 생성하는 경우, 렌즈(102) 및 광학 스위치 네트워크(104)는 공기 또는 진공에 의해 광학적으로 결합될 수 있다. 그러나, 렌즈가 만곡된 포커싱된 이미지를 생성하는 경우, 렌즈(102)를 광학 스위치 네트워크(104)에 광학적으로 결합하기 위해 광섬유들(108)의 다발이 사용될 수 있다. 광섬유들(108)의 다발 중 각각의 광섬유의 하나의 단부는 렌즈(102)의 표면 상에서 끝날 수 있고, 광섬유의 다른 하나의 단부는 광학 스위치 네트워크(104)의 표면(170) 상에서 끝날 수 있다. 렌즈(102)의 표면 상에서 끝나는 광섬유들(108)의 단부들은 연마된 단부들을 가질 수 있어서, 렌즈(102)의 곡률과 매칭되는 만곡된 표면들을 형성할 수 있다.

[0029] 도 2는 도 1의 광학 스위치 네트워크(104)의 표면(107) 상의 포트들(202, 204, 206, 208, 210)로 표현된 복수의 N개의 포트(200)를 나타내는 개략도이다. 복수의 포트(200)는 직사각형 어레이로 배열된 것으로 도시된다. 그러나, 포트들(200)은 임의의 적절한 배열로 배열될 수 있다. 광섬유들(108)(도 1)이 렌즈(102)를 광학 스위치 네트워크(104)에 결합하는 데 사용되는 경우, 하나 이상의 광섬유(108)가 각각의 포트(202-210)에서 끝날 수 있다. 광섬유들(108)은 렌즈(102)에 의해 투영되는 이미지가 복수의 포트(200) 내의 대응하는 로케이션들에 매핑되도록 배열되어야 한다. 따라서, 각각의 포트(202-210)는 렌즈(102)의 시야의 고유한 부분에 대응한다.

[0030] 도 1을 다시 참조하면, 광학 스위치 네트워크(104)는 또한 단일 공통 입/출력 포트(110)를 갖는다. 광학 스위치 네트워크(104)는 표면(107) 상의 N개의 포트(202-210)(도 2) 중 하나 이상을 공통 입/출력 포트(110)에 선택적으로 광학적으로 결합하도록 구성된다. 따라서, 일 모드에서, 광학 스위치 네트워크(104)는 Nx1 스위치로서 동작한다. 즉, N개의 포트(202-210) 중 하나는 공통 입/출력 포트(110)에 결합된다. 선택적으로, 다른 모드들에서, 광학 스위치 네트워크(104)는 복수의 Nx1 스위치로서 동작한다. 즉, 복수의 N개의 포트(202-210)는 공통 입/출력 포트(110)에 동시에 결합된다.

[0031] 단말기(100)는 또한 포토다이오드와 같은 적절한 광학 수신기(112) 및/또는 레이저와 같은 적절한 송신기(114)를 포함한다. LiDAR 시스템 또는 양방향 통신 시스템은 송신기(114) 및 수신기(112)를 모두 포함한다. 그러나, 단방향 통신 시스템은 송신기(114) 또는 수신기(112)만을 포함할 필요가 있고, 스타 트래커(star tracker)는 수신기(112)만을 포함할 필요가 있다. 수신기(112) 및/또는 송신기(114)는 광섬유들, 미러들 및/또는 스플리터들/컴바이너들과 같은 광학 커플링(116)에 의해 표현되는 적절한 광학 커플링들에 의해 공통 입/출력 포트(110)에 광학적으로 결합된다.

[0032] 따라서, 송신기(114)로부터의 광학 신호는 광학 커플링(116)을 통해 광학 스위치 네트워크(104)로 라우팅될 수 있고, 거기서 N개의 포트(202-210) 중 선택된 하나 이상의 포트로 스위칭될 수 있다. 일단 광학 스위치(107)의 표면(107)으로부터 방출되면, 광학 신호는 예를 들어 선택된 포트(들)(202-210)에서 끝나는 광섬유(들)(108)를 통해 렌즈(102)로, 이어서 렌즈(102)에 의해 공간으로 전달된다. 광학 신호가 렌즈(102)에 의해 투영되는 공간에서의 방향은 어느 포트(들)(202-210)가 선택되는지에 의존한다. 이와 달리, 렌즈(102)에 의해 수신된 광학 신호, 예컨대 LiDAR 시스템에서의 복귀 신호는 광학 스위치 네트워크(104)에 의해 수신기(112)로 라우팅된다. 광학 신호가 렌즈(102)에 의해 수신되는 공간에서의 방향은 어느 포트(202-210)가 선택되는지에 의존한다.

[0033] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른, 광학 스위치 네트워크(104)를 도시하는 개략도이다. 도 3의 우측은 공통 입/출력 포트(110)를 근원으로 하는 광학 도파관들의 "H 트리" 배열(분기된 광학 도파관 네트워크)을 나타낸다. 도 3의 좌측은 확대된 우측의 일부를 나타낸다. 포트들(202-210)은 도 3에 도시된다.

- [0034] 바이너리 광학 스위치가 바이너리 광학 스위치들(300, 302, 304, 306, 308, 310)에 의해 예시된 바와 같이 H 트리의 2개의 광학 도파관의 각각의 접속점(junction)에 배치된다. 바이너리 광학 스위치가 2개의 광학 경로 중 어느 하나를 따라 광학 신호를 라우팅한다. 따라서, 바이너리 광학 스위치들(300-308)은 H 트리를 통해 이동하는 광학 신호에 대한 라우트를 결정한다. 일부 실시예들에서, 바이너리 광학 스위치는 2개의 광학 경로 중 최대 하나를 따라 광학 신호를 라우팅한다. 예를 들어, 광학 신호가 공통 입/출력 포트(110)에 들어가는 경우, 바이너리 광학 스위치들(300-308)은 광학 신호를 N개의 포트(202-210) 중 하나로 라우팅한다. 도 3에 도시된 예에서, 광학 신호는 포트(202)로 라우팅된다.
- [0035] 일부 실시예들에서, 각각의 바이너리 광학 스위치는 마하-젠테 간섭계로 구현된다. 이러한 바이너리 광학 스위치(400)의 일례가 도 4에 개략적으로 도시된다. 입력(402)에서의 광은 2개의 경로(404, 406) 사이에서 분할된다. 위상 시프터(408 및/또는 410)가 경로들(404, 406) 중 하나 또는 양자에서 선택적으로 인레이블되며, 이어서 광은 2x2 커플러(412)에 의해 재결합된다. 2개의 경로(404, 406)에서의 광의 상대적 위상들은 광이 2x2 커플러(412)의 제1 출력(414) 또는 제2 출력(416) 또는 양 출력(414, 416)에 결합되는지를 결정한다. 위상 시프터들(408, 410)은 전기 광학 또는 열 광학 효과들을 사용하여, MEMS 디바이스 또는 임의의 다른 적절한 위상 시프터에 의해 구현될 수 있다.
- [0036] 대안으로, 바이너리 광학 스위치들(300-310)은 링 공진기들, 마이크로 전기기계 시스템(MEMS: microelectromechanical systems) 디바이스들, 예로서 MEMS 미리들, 또는 임의의 다른 적절한 바이너리 광학 스위치로 구현될 수 있다.
- [0037] 광학 스위치 네트워크(104)는 H 트리 패턴으로 배열된 바이너리 광학 스위치들(300-310)의 내포된 어레이(nested array)를 포함한다. 어레이의 내포 특성은 바이너리 광학 스위치들(300-310)의 L개의 층이 2^L 개의 가능한 포트(200) 중에서 선택하는 데 사용될 수 있음을 의미한다. 따라서, 활성 바이너리 광학 스위치들의 수는 N 대신에 $\log_2(N)$ 이고, 여기서 N은 포트들(200)(가능한 빔 방향들)의 수이다.
- [0038] 도 3에서 알 수 있는 바와 같이, H 트리 내의 리프(leaf)들의 수, 즉 포트들(200)의 수에 비해 상대적으로 적은 수의 바이너리 광학 스위치들(300-310)이 공통 입/출력 포트(110)로부터 선택된 포트(202)로 광학 신호를 라우팅하도록 동작하는 것이, 즉 온 상태가 되는 것이 필요하다. 예를 들어, 도 3의 좌측에서, 6개의 스위치, 즉 3개의 좌/우 바이너리 광학 스위치(300, 304, 308) 및 3개의 상/하 바이너리 광학 스위치(302, 306, 310)는 64개의 가능한 포트(200) 중 임의의 포트의 선택을 가능하게 한다. 대부분의 실시예들에서, 주어진 레벨의 하나의 스위치만이 한 번에 동작한다. 따라서, 이러한 적은 수의 스위치는 필적하는 광학 위상 어레이 내의 위상 시프터들보다 훨씬 더 적은 에너지를 소비한다. 또한, 바이너리 광학 스위치들(300-310)은 2-레벨(bi-level) 상태로 동작하는 것만이 필요한 반면에, 위상 어레이들은 조종을 위해 위상 시프터들의 임의적인 제어를 필요로 한다. 더구나, 이를 실시예는 광대역 광에 적합하여, 광 분할 다중화를 사용하여 한 번에 다수의 채널이 송신 및/또는 수신되는 것을 가능하게 한다.
- [0039] 광학 스위치 네트워크(104)는 광학 도파관들의 H 트리 배열을 포함하는 것으로 설명되지만, 바이너리 광학 스위치들의 내포된 어레이를 제공하는 임의의 적절한 분기된 광학 도파관 네트워크가 사용될 수 있다. 예를 들어, 다른 프랙탈 배열들(fractal arrangements)은 물론, 논-프랙탈(non-fractal) 배열들도 사용될 수 있다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 프랙탈은 상이한 스케일들에 걸쳐 자기 유사하다(self-similar)는 것을 의미한다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 프랙탈 패턴은 무한히 복잡하지는 않다.
- [0040] 바이너리 광학 스위치들의 어드레싱
- [0041] 바이너리 광학 스위치들(300-310)은 도 5에 개략적으로 도시된 바와 같이 행 및 열 어드레싱 행렬(500)과 같은 임의의 적절한 배열에 의해 어드레싱 및/또는 작동될 수 있다. 각각의 바이너리 광학 스위치(300-310)는 바이너리 광학 스위치가 전기적으로 결합되는 각각의 2-입력 AND 게이트에 의해 작동될 수 있다. AND 게이트들은 바이너리 광학 스위치들(300-310)의 패턴과 정합되는 패턴으로 배열될 수 있다. AND 게이트들(502, 504, 506, 508, 510, 512)에 의해 표현되는 도 5의 AND 게이트들은 도 3의 바이너리 광학 스위치들(300-310)과 정합된다. AND 게이트(502)는 바이너리 광학 스위치(300)와 정합되고, AND 게이트(504)는 바이너리 광학 스위치(302)와 정합되고, 기타 등등이다.
- [0042] 각각의 AND 게이트는 행 와이어들(514, 516, 518) 및 열 와이어들(520, 522, 524)로 표현되는 대응하는 행 와이어와 대응하는 열 와이어의 교차점에 배치된다. 각각의 AND 게이트의 하나의 입력은 AND 게이트의 대응하는 행 와이어에 전기적으로 결합되고, AND 게이트의 다른 하나의 입력은 AND 게이트의 대응하는 열 와이어에 전기적으로

로 결합된다. 따라서, 하나의 행 상의 논리 "1"(참) 신호 및 하나의 열 상의 논리 "1"(참) 신호는 AND 게이트들 중 하나를 고유하게 인에이블하고, 인에이블된 AND 게이트는 각각의 바이너리 광학 스위치를 작동시킨다.

[0043] 일단 작동되면, 바이너리 광학 스위치는 미리 결정된 양의 시간 동안 작동 상태로 유지될 수 있다. 선택적으로 또는 대안으로, 일단 작동되면, 바이너리 광학 스위치는 바이너리 광학 스위치가 리셋 신호를 수신할 때까지 작동 상태로 유지될 수 있다. 리셋 라인(도시되지 않음)은 모든 작동된 바이너리 광학 스위치들(300-310)을 동시에 리셋하는 것을 용이하게 하기 위해 모든 바이너리 광학 스위치들(300-310)로 연장될 수 있다. 바이너리 광학 스위치들을 리셋하는 것은 아래에서 더 상세히 설명된다.

[0044] 행 및 열 어드레싱 행렬(500)은 공통 입/출력 포트(110)와 N개의 포트(200) 중 선택된 포트 사이에 H 트리를 통해 원하는 광학 경로를 따라 위치하는 바이너리 광학 스위치들(300-310) 중 선택된 것들을 순차적으로 작동시키는 데 사용될 수 있다. 즉, H 트리를 통해 원하는 광학 경로를 따라 위치하는 모든 선택된 바이너리 광학 스위치들(300-310)이 작동될 때까지, 행 및 열 어드레싱 행렬(500)은 바이너리 광학 스위치들(300-310) 중 제1 바이너리 광학 스위치를 작동시키는 데 사용될 수 있고, 그 다음에 제1 바이너리 광학 스위치가 리셋되기 전에, 행 및 열 어드레싱 행렬(500)은 바이너리 광학 스위치들(300-310) 중 제2(상이한) 바이너리 광학 스위치를 작동하는 데 사용될 수 있고, 기타 등등일 수 있다.

[0045] 각각의 작동된 바이너리 광학 스위치는 광을 지향시킬 방향에 관한 명령을 수신할 필요가 있다. 이 목적을 위해, 각각의 바이너리 광학 스위치(300-310)는 또한 추가의 유사한 행 및 열 어드레싱 행렬들(도시되지 않음)에 결합될 수 있거나, 행 및 열 행렬(500)은 시간 다중화된 방식으로 추가 행렬들의 역할을 할 수 있다. 추가의 유사한 행 및 열 어드레스 행렬은 공통 입/출력 포트(110)로부터 선택된 포트(202)로 광학 신호를 라우팅하기 위해 하나의 방향으로, 예로서 "좌측"으로 광을 지향시키는 각각의 작동된 바이너리 광학 스위치로 신호들을 송신하는 데 사용될 수 있다. 이 "좌측" 신호를 수신하지 않는 작동된 바이너리 광학 스위치들은 그들이 반대 방향, 예로서 "우측"으로 광을 지향시킨다고 안전하게 가정할 수 있다.

[0046] 작동된 바이너리 광학 스위치들이 그들 각각의 명령된 방향들로 스위칭할 시간을 가진 후에, 공통 입/출력 포트(110)는 선택된 포트(202)와 광학적으로 통신할 것이고, 수신기(112) 및/또는 송신기(114)는 동작할 수 있다. 수신기(112) 및/또는 송신기(114)는 고정된 기간 동안 또는 광선들(106)의 상이한 방향이 필요할 때까지 동작할 수 있다.

[0047] 송신 및/또는 수신이 완료된 후에, 또는 미리 결정된 기간 후 또는 광선들(106)의 상이한 방향이 필요할 때와 같이 광학 스위치 네트워크(104)를 통한 상이한 광 경로가 필요할 때, 바이너리 광학 스위치들(300-310)은 리셋된다. 언급된 바와 같이, 바이너리 광학 스위치들은 광학 스위치 네트워크(104)를 통해 원하는 광학 경로를 확립하고 광학 신호를 송신 및/또는 수신하는 데 필요한 모든 바이너리 광학 스위치들을 작동시키기에 충분한 양의 시간과 같은 미리 결정된 양의 시간 동안 작동 상태로 유지될 수 있다. 선택적으로 또는 대안으로, 작동된 바이너리 광학 스위치들은 전술한 리셋 신호에 의해 리셋될 수 있다.

[0048] 다른 적절한 그러한 행 및 열 어드레싱 행렬(600)이 도 6에 개략적으로 도시되지만, 단순화를 위해, 행렬(600)은 정사각형 행렬로 도시된다. 행렬(600)의 행들은 행들(602, 604, 606)로 예시되고, 행렬(600)의 열들은 열들(608, 610, 612)로 예시된다. 제1 행(602) 내의 트랜지스터들(614, 616, 618)로 표현된 각각의 트랜지스터는 제1 행(602)을 열들(608-612)에 선택적으로 전기적으로 결합한다. 전압이 제1 행(602)에 인가됨으로써, 제1 행(602)에서 전류가 흐를 수 있게 된다. 따라서, 둘레 원으로 표시된 바와 같이 온 상태인 트랜지스터(618)와 같은 제1 행 트랜지스터는 굽은 화살표(620)로 표시된 바와 같이 전류를 선택된 열, 이 경우에는 열(612)로 지향시킨다.

[0049] 각각의 열에서, 각각의 트랜지스터는 대응하는 바이너리 광학 스위치들(도 6에 도시되지 않음)에 열을 결합한다. 둘레 원으로 표시된 바와 같이, 온 상태인 트랜지스터(622)와 같은 급전된 열(612) 내의 트랜지스터는 그의 대응하는 바이너리 광학 스위치에 전기적으로 결합되어 전류를 지향시킴으로써 바이너리 광학 스위치를 활성화한다.

[0050] 대안으로, 어드레싱을 용이하게 하기 위해, 여분의 트랜지스터들을 턴온하는 데 사용된 여분의 전력을 제외하고, 디바이스 동작에 영향을 미치지 않고, 트랜지스터들의 전체 행(502-506)이 동시에 턴온될 수 있다. 트랜지스터들은 직접 또는 예를 들어 시프트 연산자를 사용하여 활성화할 수 있다.

[0051] 도 1을 다시 참조하면, 렌즈(102)는 전 고체 광학 송/수신 단말기(100)의 위상 시프트 요소들의 수, 따라서 전력 소비로부터 개구의 크기를 분리(decoupling)함으로써 매우 큰 유효 개구 면적(effective aperture area)을

가능하게 한다. 2차원 또는 3차원 공간에서 빔의 출력을 제어하기 위해 플레이너 칩(planer chip) 내의 광학 스위치 네트워크 내에서 바이너리 광학 스위치들을 사용하는 것은 본 개시의 새로운 양태를 나타낸다. 유사하게, 그러한 칩 밖으로 빔을 지향시키기 위해 렌즈(102)를 사용하는 것은 본 개시의 새로운 양태를 나타낸다.

[0052] 대략 및 정밀 하이브리드(Coarse and Fine Hybrid)

[0053] 일부 응용들은 큰 시야에 걸친 광빔의 매우 정밀한 위치결정을 요구한다. 각각의 방향에서의 50만분의 1부분(one part in half a million)의 위치결정의 요구들은 전례가 없는 것은 아니다. 전술한 바와 같은 실시예에 다른 위치결정 방식(positioning scheme)을 추가하는 하이브리드 접근법은 그러한 큰 동적 범위를 달성할 수 있다. 하이브리드 접근법은 큰 시야에 걸친 정밀 위치결정의 문제를 2개의 개별적인 문제: 하나의 대략 위치결정 제어의 문제 및 다른 하나의 정밀 위치결정 제어의 문제로 분리한다.

[0054] 일 실시예에서, 대략 위치결정 제어는 광학 송/수신 단말기(100)를 사용하여, 즉 전술한 바와 같은 광학 스위치 네트워크를 사용하여 달성될 수 있으며, 정밀 제어는 도 7에 개략적으로 도시된 바와 같이 광학 스위치 네트워크(104)에 대해 렌즈(102)를 물리적으로 시프팅함으로써 또는 도 17에 개략적으로 도시된 바와 같이 렌즈(102)에 대해 광학 스위치 네트워크(104)를 물리적으로 시프팅함으로써 달성될 수 있다. 예를 들어, 도 7에 도시된 바와 같이, 렌즈(102)는 x-y 스테이지(700) 상에 장착될 수 있거나, 도 17에 도시된 바와 같이, 광학 스위치 네트워크(104)는 x-y 스테이지(800) 상에 장착될 수 있다. 대안으로, 도 9에 개략적으로 도시된 바와 같이, 대략 제어는 예를 들어 x-y 스테이지(900)에 의해 렌즈(102)를 광학 스위치 네트워크(104)와 함께 물리적으로 시프팅 함으로써 달성될 수 있고, 광학 송/수신 단말기(100) 내의 광학 스위치 네트워크는 정밀하고 빠른 빔 이동을 달성하는 데 사용될 수 있다.

[0055] 대안으로, 도 10에 개략적으로 도시된 바와 같이, 렌즈릿 어레이(lenslet array)와 같은 중간 옵틱(intermediate optic, 1000)이 렌즈(102)와 광학 스위치 네트워크(104)의 포트들(200) 사이에 광학적으로 배치될 수 있으며, 중간 옵틱(1000)은 예를 들어 x-y 스테이지(도시되지 않음)에 의해 물리적으로 시프팅될 수 있다. 렌즈릿 어레이는 포트들(200) 중 각각의 포트에 대해 하나의 렌즈릿을 포함할 수 있다. 렌즈릿 어레이의 렌즈릿(1002)으로 표현되는 각각의 렌즈릿은 그의 시프팅되지 않은 위치에서 포트들(200) 중 포트(1004)로 표현되는 대응하는 포트의 중심에 정합되어야 한다.

[0056] 예를 들어 화살표(1006)로 표시된 바와 같이, 중간 옵틱(1000)을 시프팅하는 것은 화살표(1008)로 표시된 바와 같이 포트(1004)와 렌즈(102) 사이에서 광빔을 시프팅하며, 이는 화살표(1010)로 표시된 바와 같이 렌즈(102)에 의해 방출 또는 수신되는 광빔을 자유 공간으로 또는 자유 공간으로부터 시프팅한다. 중간 옵틱(1000)은 스캐닝되어, 예를 들어 래스터 스캔(raster scan)을 수행하기 위해 광선들(106)을 스캐닝할 수 있다.

[0057] 중간 옵틱(1000)으로서 사용되는 렌즈릿들의 단일 어레이는 전환 각도(diversion angle)에서 제한될 수 있고 수차들을 도입할 수 있다. 도 11에 개략적으로 도시된 렌즈릿 어레이들(1100, 1102, 1104)에 의해 예시된 여러 개의 렌즈릿 어레이가 이러한 문제들을 극복하기 위해 광학 스위치 네트워크(104)를 따라 직렬로 배치될 수 있다. 이 경우, 렌즈(102)는 광학 스위치 네트워크(104)로부터 광학적으로 가장 멀리 배치된 렌즈릿 어레이들(1102, 1104)과 같은 하나 이상의 렌즈릿 어레이로 대체될 수 있다. 렌즈릿 어레이들(1100-1102) 중 2개 이상은 광선들(106)을 시프팅 또는 스캐닝하기 위해 예를 들어 각각의 x-y 스테이지(도시되지 않음)에 의해 개별적으로 물리적으로 시프팅될 수 있다. 도 11에 도시된 실시예에서, 마지막 2개의 렌즈릿 어레이(1102, 1104)는 예로서 단일 x-y 스테이지에 의해 함께 시프팅된다.

[0058] 대안으로, 중간 옵틱(1000)은, 예로서 x-y 스테이지에 의해 시프팅 가능하고, 그의 시프팅 범위 전체에서 광학 스위치 네트워크(104)의 모든 포트들(200)과 렌즈(102) 사이의 전체 장을 광학적으로 포괄할 만큼 충분히 큰 단일 대형 렌즈(도시되지 않음)를 포함할 수 있다.

[0059] 다수의 빔

[0060] 전술한 실시예들에서, 바이너리 광학 스위치들(300-310)은 광을 하나의 경로 또는 다른 경로를 따라 완전히 지향시킨다. 다른 실시예들에서, 일부 또는 모든 바이너리 광학 스위치들은 H 트리를 통해 하나 초과의 경로 사이에서 광을 균등하게 또는 임의로 분할함으로써, 다수의 빔(106)을 동시에 상이한 방향들로 지향시키는 것을 가능하게 한다. 이를 달성하기 위해, 각각의 레벨의 다수의 스위치가 어드레싱될 필요가 있을 수 있으므로, 본 명세서에 설명된 바이너리 광학 스위치들 및 어드레싱 방식에 적절한 변경들이 이루어진다.

[0061] 도파관 안팎으로 광을 선택적으로 결합하기 위한 통합 MEMS 스위치들

- [0062] 바이너리 광학 스위치들(300-310)이 제조될 수 있는 밀도들에 대한 제한들은 송/수신 단말기(100)의 공간 해상도(spatial resolution), 즉 가능한 송신 또는 수신 빔 위치들의 밀도를 제한할 수 있다. 도 12는 본 발명의 다른 실시예에 따른, 광학 스위치 네트워크(104)(도 1)를 대체할 수 있는 광학 스위치 네트워크(1200)를 도시하는 개략도이다. 광학 스위치 네트워크(1200)는 전술한 광학 스위치 네트워크(104)보다 높은 스위치 밀도들을 제공할 수 있다. 이 실시예에서, 광학 스위치 네트워크는 광빔을 조종하기 위해 MEMS 기반 바이너리 광학 스위치들을 사용한다.
- [0063] MEMS 기반 바이너리 광학 스위치들은 H 트리 기반 바이너리 광학 스위치들(300-310)보다 훨씬 더 작을 수 있다. 결과적으로, MEMS 기반 바이너리 광학 스위치들은 종래 기술에서보다 더 높은 밀도로 제조 또는 팩킹될 수 있어서, 송/수신 단말기의 더 높은 공간 해상도, 즉 가능한 송/수신 빔 위치들의 더 높은 밀도를 제공할 수 있다. 전 고체 광학 송/수신 단말기(100)에서와 같이, MEMS 기반 스위치들의 비교적 작은 서브세트가 임의의 주어진 시간에서 동작되어 급전될 필요가 있다. 따라서, 광학 스위치 네트워크(1200)를 포함하는 단말기는 종래 기술과 관련된 기계적 문제, 스위치 밀도 문제, 이미터 밀도 문제 및 고전력 문제를 극복한다.
- [0064] 광학 스위치 네트워크(1200)는 공통 입/출력 포트(1202)를 포함한다. 양방향 화살표(1204)로 표시된 바와 같이, 광은 공통 입/출력 포트(1202)에 들어가고/가거나 나올 수 있다. 공통 입/출력 포트(1202)는 제1 광학 도파관(1206)에 광학적으로 결합된다. 광학 스위치 네트워크(1200)는 또한 광학 도파관들(1208, 1210, 1212, 1214, 1216)로 표현되는 복수의 제2 광학 도파관을 포함한다. 각각의 제2 광학 도파관(1208-1216)은 제1 바이너리 광학 스위치들(1218, 1220, 1222, 1224, 1226)로 표현되는 각각의 제1 바이너리 광학 스위치를 통해 제1 광학 도파관(1206)에 광학적으로 결합된다.
- [0065] 일부 실시예들에서, 각각의 제1 바이너리 광학 스위치(1218-1226)는 단일 극 이중 드로우(SPDT: single-pole, double-throw) 스위치로서 동작한다. 따라서, 광이 공통 입/출력 포트(1202)에 들어간다고 가정하면, 제1 바이너리 광학 스위치(1218)는 선택적으로 광이 제1 광학 도파관(1206)을 계속 따를 수 있게 하거나 광을 제2 광학 도파관(1208)으로 전환하지만, 이를 양자를 행하지는 않는다. 따라서, 집합적으로, 제1 바이너리 광학 스위치들(1218-1226)은 광이 어느 제2 광학 도파관(1208-1216)으로 전환될지를 제어한다. 유사하게, 집합적으로, 제1 바이너리 광학 스위치들(1218-1226)은 수신 모드에서 광이 어느 제2 광학 도파관(1208-1216)으로부터 제1 광학 도파관(1206)으로, 거기서 공통 입/출력 포트(1202)로 라우팅될지를 제어한다. 5개의 제2 광학 도파관(1208-1216) 및 5개의 제1 바이너리 광학 스위치(1218-1226)가 도시되지만, 임의의 적절한 수의 제2 도파관 및 제1 바이너리 광학 스위치가 포함될 수 있다.
- [0066] 제2 바이너리 광학 스위치들(1228, 1230, 1232, 1234, 1236, 1238, 1240, 1242)로 표현되는 각각의 복수의 제2 바이너리 광학 스위치는 각각의 제2 광학 도파관(1208-1216)에 광학적으로 결합된다. 예를 들어, 제2 바이너리 광학 스위치들(1228-1232)은 제2 광학 도파관(1208)에 광학적으로 결합된다. 각각의 제2 바이너리 광학 스위치(1228-1242)는 각각의 제2 광학 도파관(1208, 1210, 1212, 1214 또는 1216)을 자유 공간에 선택적으로 광학적으로 결합할 수 있다. 제2 바이너리 광학 스위치들(1228-1242)은 제2 광학 도파관들(1208-1216)과 N개의 포트(202-210)(도 2) 사이에 결합될 수 있거나, 각각의 제2 바이너리 광학 스위치(1228-1242)는 N개의 포트(202-210) 중 하나의 포트의 일부 또는 전부를 형성할 수 있다.
- [0067] 일부 실시예들에서, 각각의 제2 바이너리 광학 스위치(1228-1242)는 단일 극 다중 드로우(SPDT) 스위치로서 동작한다. 따라서, 광이 공통 입/출력 포트(1202)에 들어가고, 파선(1244)으로 표시된 바와 같이 제1 바이너리 광학 스위치(1222)에 의해 제2 광학 도파관(1212)으로 라우팅된다고 가정하면, 제2 바이너리 광학 스위치(1238)는 선택적으로 광이 제2 광학 도파관(1212)을 계속 따를 수 있게 하거나, 양방향 화살표(1246)으로 표시된 바와 같이 광을 제2 광학 도파관(1212) 밖으로 전환한다. 양방향 화살표(1246)는 도면의 평면 밖으로 연장된다. 따라서, 집합적으로, 제2 바이너리 광학 스위치들(1228-1242)은 광이 N개의 포트(202-210) 중 어느 포트로 전환될지를 제어한다. 유사하게, 집합적으로, 제2 바이너리 광학 스위치들(1228-1242)은 수신 모드에서 광이 N개의 포트(202-210) 중 어느 포트로부터 제1 광학 도파관(1206)으로, 거기서 공통 입/출력 포트(1202)로 라우팅될지를 제어한다.
- [0068] 14개의 제2 바이너리 광학 스위치가 각각의 제2 광학 도파관(1208-1216)에 결합되는 것으로 도시되지만, 임의 수의 제2 바이너리 광학 스위치가 포함될 수 있다. 모든 제2 광학 도파관들(1208-1216)은 제2 바이너리 광학 스위치들(1228-1242)의 수와 동일한 수를 가질 필요가 없다.
- [0069] 각각의 제1 및 제2 바이너리 광학 스위치(1218-1226 및 1228-1242)는 바이너리, 즉 정확하게 2개의 위치 또는 상태를 갖는 온-오프 또는 다른 스위치이다. 따라서, 제1 및 제2 바이너리 광학 스위치들(1218-1226 및 1228-

1242)는, 예를 들어 파선(1244)으로 예시된 바와 같이 공통 입/출력 포트(1202)와 N개의 포트(202-210)의 선택된 포트 사이에서 스위치 어레이(1200)를 통해 이동하는 광학 신호에 대한 광학 라우트를 결정한다.

[0070] 각각의 제1 바이너리 광학 스위치(1218-1226)는 임의의 적절한 광학 스위치에 의해 구현될 수 있다. 일부 실시예들에서, 각각의 제1 바이너리 광학 스위치(1218-1226)는 한 쌍의 MEMS 작동 단열 광학 커플러에 의해 구현된다. 이러한 스위치 셸은 Tae Joon Seok, et al., "수직 단열 커플러들을 구비한 대규모 광대역 디지털 실리콘 포토닉 스위치들(Large-scale broadband digital silicon photonic switches with vertical adiabatic couplers)," Optica, Vol. 3, No. 1, pp. 64-70, January, 2016, ("Seok") 및 Tae Joon Seok, et al., "수직 단열 커플러들을 구비한 대규모 광대역 디지털 실리콘 포토닉 스위치들:보충자료(Large-scale broadband digital silicon photonic switches with vertical adiabatic couplers: supplemental material)," ("Seok supplement")에 설명되어 있으며, 따라서 그 전체 내용은 모든 목적을 위해 본 명세서에 참조로서 통합된다. 각각의 제1 바이너리 광학 스위치(1218-1226)는 2개의 광학 도파관을 사용하여 구현될 수 있다. 그러나, Seok에 설명된 것과는 달리, 2개의 도파관은 교차할 필요는 없지만, 스위치의 원리는 유사하다. 한 쌍의 MEMS 작동 단열 커플러를 포함하는 스위칭 요소는 2개의 광학 도파관 사이에 광학적으로 배치될 수 있다. 예를 들어, Seok의 도 1(본 출원에서, 주석과 함께 도 13으로 재현됨)을 참조한다.

[0071] 오프 상태(도 13c)에서, 단열 커플러들(1300, 1302)에 의해 예시된 단열 커플러들은 광학 도파관들(1306, 1308)에 의해 예시된 광학 도파관들로부터 약 $1\mu\text{m}$ 위와 같이 충분히 멀리 위치하며(1304), 따라서 광은 다른 도파관(1308)에 대하여 감지할 수 있게 결합하지 않고, ("통과(Through)"로 표시된 바와 같이) 도파관들 중 하나(1306)를 따라 계속 전파된다. 그러나, 온 상태(도 13d)에서, 단열 커플러들(1300 및 1302)은 MEMS 정전기 캡-폐쇄 액추에이터들에 의해 도파관들(1306, 1308)을 향해 물리적으로 이동하며, 따라서 광은 ("드롭(Drop)"으로 표시된 바와 같이) 도파관들 중 하나(1306)로부터 단열 커플러들 중 하나(1300)로 그리고 다른 단열 커플러(1302)와 다른 도파관(1308) 사이에 효율적으로 결합된다.

[0072] 대안으로, 각각의 제1 바이너리 광학 스위치(1218-1226)(도 12)는 도 4와 관련하여 전술한 바와 같이, 예를 들어 열 위상 시프터들을 갖는 표준 마하-젠더 간섭계 타입 스위치를 사용하여 구현될 수 있다.

[0073] 설명된 바와 같이, 광학 스위치 네트워크(104)의 표면(107)(도 1)은 N개의 포트(202-210)를 갖고, 렌즈(102)는 입사 광선들(106)을 N개의 포트(202-210) 상에 포커싱하고/하거나, 렌즈(102)는 N개의 포트(202-210) 중 임의의 서브세트를 통해 방출된 광학 신호들을 공간으로 투영한다. 광학 격자들은 양방향 화살표(1246)(도 12)로 표시된 바와 같이 제2 광학 도파관들(1208-1216)의 평면으로부터 광을 방출하거나 평면으로부터의 광을 제2 광학 도파관들(1208-1216)에 결합하기 위한 효율적인 디바이스들이다. 광학 격자는 상이한 제2 굴절률(refractive index)을 갖는 영역들이 산재된, 제1 굴절률을 갖는 복수의 영역을 규정하는 공간적으로 주기적인 구조물이다. 공간 주기(spatial period)는 관심 있는 과장에 기초하여 선택된다. 일부 예들에서, 주기적인 그루브들이 재료내에 규정된다. 다른 예들에서, 상이한 굴절률들을 갖는 2개의 상이한 재료가 교대된다. 설명의 간략화를 위해, 용어 "그루브(groove)"는 본 명세서에서 실제 그루브, 즉 보이드(void) 또는 광학 격자의 2개의 교대 재료 중 하나를 나타내는 데 사용된다.

[0074] 이러한 광학 격자들은 표면(107)(도 1)에 또는 그 근처에 배치될 수 있다. 각각의 제2 바이너리 광학 스위치(1228-1242)(도 12)는 이러한 광학 격자를 포함할 수 있다. 특히, 각각의 제2 바이너리 광학 스위치(1228-1242)는 물리적으로 병진 가능한 광학 격자, 즉, 적어도 2개의 위치 사이에서 물리적으로 병진하도록 구성된 광학 격자에 의해 구현될 수 있다. 제1("온") 위치에서, 광학 격자는 제2 광학 도파관들(1208-1216) 중 하나에 충분히 근접하여, 관심 과장에서 적어도 약 25%의 결합 효율로 제2 광학 도파관과 광학적으로 결합한다. 제2 ("오프") 위치에서, 광학 격자는 제2 광학 도파관으로부터 충분히 멀리 떨어져, 관심 과장에서 최대 약 5%, 바람직하게는 1% 미만의 결합 효율로 제2 광학 도파관과 광학적으로 결합한다. 도 12는 1244에 확대된 제2 바이너리 광학 스위치(1228-1242) 중 3개를 도시한다.

[0075] 각각의 제2 바이너리 광학 스위치(1228-1242)는 병진 가능 광학 격자를 온 위치로 그리고 오프 위치로 선택적으로 병진시키도록 구성된 MEMS 구조물을 포함할 수 있다. 도 14는 제2 바이너리 광학 스위치들(1228-1242) 중 하나의 바이너리 광학 스위치(1400)의 개략 평면도이다. 바이너리 광학 스위치(1400)는 병진 가능 격자(1402)를 포함한다. 병진 가능 격자(1402)는 복수의 평행한 또는 거의 평행한 주기적인 그루브를 규정한다. 그루브들은 벽들(1404, 1406, 1408)로 표현된 벽들에 의해 분리된다. 언급된 바와 같이, 그루브들 및 벽들은 상이한 굴절률들을 갖는 각각의 재료로 구현될 수 있다. 벽들(1404-1408)은 종래의 반도체 제조 기술을 사용하여 실리콘, 실리콘 질화물 또는 다른 적절한 재료로 제조될 수 있다. 그루브들은 보이드들이거나, 벽들(1404-1408)과 다른

적절한 재료로 제조될 수 있다. 병진 가능 격자(1402)가 6개의 벽(1404-1408)을 갖는 것으로 도시되지만, 임의의 적절한 수의 벽 및/또는 그루브가 사용될 수 있다. 병진 가능 격자(1402)는 제2 광학 도파관들(1208-1216)(도 12) 중 하나인 제2 광학 도파관(1410) 위에 배치된다.

[0076] 도 15는 오프 위치에서의 바이너리 광학 스위치(1400)의 개략 측면도이다. 오프 위치에서, 병진 가능 광학 격자(1402)는 최대 약 5%, 바람직하게는 1% 미만, 그리고 일부 실시예들에서는 0.1% 미만의 결합 효율로 제2 광학 도파관(1410)과 광학적으로 결합하기에 충분한 제2 광학 도파관(1410)으로부터의 거리(1500)에 배치된다. 일부 실시예들에서, 거리(1500)는 약 $1\mu\text{m}$ (1,000nm)이다. 일부 실시예들에서, 거리(1500)는 약 800nm일 수 있다. 일부 실시예들에서, 거리(1500)는 약 250nm일 수 있다. 오프 위치에서, 제2 광학 도파관(1410) 내의 대부분 또는 실질적으로 모든 광(1502)은 화살표(1504)로 표시된 바와 같이 제2 광학 도파관(1410)을 계속 따른다. 유사하게, 자유 공간으로부터의 매우 적은 광이 광학 격자(1402)를 통해 제2 광학 도파관(1410)에 결합되거나, 실질적으로 어떠한 광도 결합되지 않는다.

[0077] 제2 광학 도파관(1410)은 실리콘 또는 실리콘 질화물 웨이퍼와 같은 적절한 반도체 웨이퍼 상에 종래의 반도체 제조 기술을 이용하여 제조될 수 있다. 제2 광학 도파관(1410)은 적절한 산화물 또는 다른 패시베이션 층(1506) 상에 제조될 수 있다.

[0078] 도 16은 온(ON) 위치에서의 바이너리 광학 스위치(1400)의 개략 측면도이다. 온 위치에서, 병진 가능 광학 격자(1402)는 적어도 약 25%의 결합 효율로 제2 광학 도파관(1410)과 광학적으로 결합하기에 충분한 제2 광학 도파관(1410)으로부터의 거리(1600)에 배치된다. 일부 실시예들에서, 거리(1600)는 약 10-50nm이다. 온 위치에서, 제2 광학 도파관(1410) 내의 많은, 대부분의 또는 실질적으로 모든 광(1502)은 화살표(1602)로 표시된 바와 같이 병진 가능 광학 격자(1402)에 의해 자유 공간으로 방출된다. 유사하게, 자유 공간으로부터의 적절한 모드의 많은, 대부분의 또는 실질적으로 모든 광이 광학 격자(1402)를 통해 제2 광학 도파관(1410)에 결합된다.

[0079] 도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른, 대표적인 치수들을 나타내는 온 위치에서의 바이너리 광학 스위치(1400)의 다른 개략 측면도이다. 병진 가능 격자(1402)는 제2 광학 도파관(1410)으로부터 약 20nm의 거리(D)에 배치된다. 제2 광학 도파관(1410)은 산화물 기판(1506) 상의 약 150nm 두께(T)의 실리콘이다. 입력 광빔(1502)은 약 $2.5\mu\text{m}$ 반경을 갖는 가우스 광빔(Gaussian)이다. 병진 가능 격자(1402)는 약 50nm 두께(H)이다. 병진 가능 격자(1402)는 약 580nm의 그루브 주기(Λ)를 갖는다. 이 분야의 통상의 기술자에게 공지된 바와 같이, 다른 광 파장들에 대한 그루브 주기(Λ)를 변경하는 것과 같은 적절한 수정들이 이루어질 수 있다.

[0080] 도 14-16과 관련하여 논의된 바와 같이, 각각의 제2 광학 스위치(1228-1242)는 병진 가능 광학 격자(1402)를 온 위치 및 오프 위치로 선택적으로 병진시키도록 구성된 MEMS 구조물을 포함할 수 있다. 도 18 및 19는 병진 가능 광학 격자(1400)를 온 위치 및 오프 위치로 선택적으로 병진시키도록 구성된 정전기 MEMS 구조물(1800)을 도시하는, 오프 위치에서의 광학 스위치(1400)의 각각의 개략 사시도 및 측면도이다. 도 20은 온 위치에서의 광학 스위치(1400)의 개략 사시 측면도이다. 병진 가능 광학 격자(1402)는 파선 타원(1802) 내에 도시된다.

[0081] 병진 가능 광학 격자(1402)는 브리지(1804)의 일부이다. 브리지(1804)는 기판(1506)으로부터 이격되어 그 위에 배치된다. 기판(1506)은 매립 산화물 층(1900)(도 19 및 20)을 포함할 수 있다. 브리지(1804)는 각각의 교각(1808, 1810)에 의해 지지된다. 제2 광학 도파관(1410)은 병진 가능 광학 격자(1402) 아래에 기판(1506) 내에 또는 위에 배치된다.

[0082] 브리지(1804)는 2개의 제1 정전기 작동 전극(1812, 1814)을 포함한다. 2개의 대응하는 제2 정전기 작동 전극(1816, 1818)은 2개의 제1 작동 전극(1812, 1814)이 각각 2개의 제2 작동 전극(1816, 1818) 위에 정합되도록 기판(1506) 상에 배치된다. 브리지(1804)는 또한 2개의 굴곡부(flexures)(1820, 1822)를 포함한다.

[0083] 따라서, 전위(2000)가 도 20에 개략적으로 도시된 바와 같이 제1 및 제2 작동 전극들(1812-1814 및 1816-1818)에 걸쳐 인가되면, 결과적인 정전기력은 제1 작동 전극들(1812-1814) 및 병진 가능 광학 격자(1402)를 기판(1506)을 향해 밀어댐으로써, 병진 가능 광학 격자(1402)를 제2 광학 도파관(1410)의 적당한 거리 내에 있게 하여 광학 스위치(1400)를 턴온시킨다. 그러한 전위 및 결과적인 정전기력이 없으면, 굴곡부들(1820, 1822)은 병진 가능 광학 격자(1402)를 오프 위치로 복귀시킨다. 온 위치에서 병진 가능 광학 격자(1402)의 이동 거리를 제한하기 위해 보스(boss)(1902)(도 19)가 포함될 수 있다. MEMS 구조물(1800)의 다른 양태들은 Seok 및 Seok 보충물에 설명된 MEMS 구조물들과 유사하다.

[0084] 도 21 및 22는 각각 온 및 오프 위치에서의 광학 스위치(1400) 내의 z-x 로케이션에 대한 컴퓨터 모델링된 E-장 강도의 결과들을 나타내는 그래프들(2100, 2200)을 포함한다. 양 그래프에서, 제2 광학 도파관(1410)은 수직이

고, 광은 화살표(2102)로 표시된 바와 같이 제2 광학 도파관(1410)를 따라 이동한다. 도 21에서, 병진 가능 격자(1402)에 결합되어 스위치(1400)로부터 나오는 광은 화살표(2104)로 표시된다. 양 그래프(2100, 2200)에서, 광 파장은 $1.5\text{--}1.6\mu\text{m}$ 이고, E-장 세기는 컬러로 코딩된다(2106). 그래프(2100)(광학 스위치(1400) 온)에 대해, 병진 가능 격자(1402)는 제2 광학 도파관(1410)으로부터 20nm에 배치되는 반면, 그래프(2200)(광학 스위치(1400) 오프)에 대해, 병진 가능 격자(1402)는 제2 광학 도파관(1410)으로부터 250nm에 배치된다.

[0085] 도 12에서 알 수 있는 바와 같이, 공통 입/출력 포트(1202)로부터 선택된 포트(1238)로 광학 신호를 라우팅하기 위해 제1 및 제2 광학 스위치들(1218-1226 및 1228-1242) 중 각각 하나와 같이 비교적 적은 수가 작동되는 것이, 즉 ON 상태가 되는 것이 필요하다. 따라서, 이러한 적은 수의 스위치는 필적하는 광학 위상 어레이 내의 위상 시프터들보다 훨씬 적은 에너지를 소비한다. 또한, MEMS 기반 제1 및 제2 광학 스위치들(1218-1226 및 1228-1242)은 더 작을 수 있고, 따라서 H 트리의 위상 시프터들 또는 바이너리 광학 스위치들보다 더 조밀하게 제조되거나 팩킹될 수 있다.

[0086] 설명된 실시예들에서, 제1 및 제2 광학 스위치들(1218-1226 및 1228-1242)은 광을 하나의 경로 또는 다른 경로를 따라 완전히 지향시킨다. 다른 실시예들에서, 광학 스위치 네트워크(1200)(도 12)는 다수의 광학 스위치 네트워크로 분할되며, 각각은 독립적으로 동작하고, 각각은 N개의 포트(202-210) 중 중첩되지 않는 서브세트를 처리한다. 이것은 광학 송/수신 단말기(100)(도 1) 내에 다수의 광학 스위치(104)를 포함하는 것과 유사하다. 다수의 광학 스위치 네트워크(104) 또는 분할된 광학 스위치 네트워크(104)는 다수의 다양한 광선(106)을 처리할 수 있는데, 즉 각각의 광선(106)은 공간에서 상이한 방향으로 지향된다.

[0087] 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "광학 커플러"는 자유 공간에서 이동하는 광학 신호들과 광섬유 또는 고체 유리와 같은 도파관에서 이동하는 광학 신호들 사이의 광학 안테나 또는 다른 인터페이스 디바이스를 의미한다. 일부 실시예들에서, 도 2 및 12를 참조하여 논의된 포트들(200)은 광학 커플러들로 구현될 수 있다. 광학 도파관들이 원하는 자유 공간 전파 방향에 수직으로 연장되는 실시예들에서, 광학 커플러는 이러한 방향 변경을 용이하게 해야 한다. 광학 커플러들의 예들은 소형 격자들, 도파관들 내에 제조된 프리즘들 및 웨이퍼들 내에 에칭되고 미리들로 사용되는 작은 면들(facets)을 포함한다. 광학 안테나는 자유 전파 광학 방사선(free-propagating optical radiation)을 국지화된 에너지로 그리고 그 반대로 효율적으로 변환하도록 설계된 디바이스이다. 광학 안테나들은 Palash Bharadwaj, et al., "광학 안테나들(Optical Antennas)," *Advances in Optics and Photonics* 1.3(2009), pp. 438-483에 설명되어 있으며, 이에 따라 그 전체 내용은 모든 목적을 위해 본 명세서에 참조로서 통합된다.

[0088] 일부 실시예들에서, 광학 스위치 네트워크(104 또는 1200)는 실리콘 웨이퍼와 같은 포토닉 칩 상에 구현될 수 있다. "웨이퍼"는 실리콘 웨이퍼와 같은 제조된 기판을 의미한다. 예를 들어 지표면(surface of the earth)은 웨이퍼의 의미 내에 속하지 않는다. 포토닉 칩은 기판을 제공하며, 포토닉 칩은 기판의 두께 내에 광학 도파관들을 제공하도록 제조될 수 있다. 광학 도파관들은 관심 있는 파장에서 광학적으로 투명한 유리 또는 기타 재료로 제조될 수 있다. 광학 도파관들은 고체일 수 있거나, 기판의 두께 내의 구멍(bore)에 의해 정의되고, 부분적으로 비워지거나 공기 또는 건조 질소와 같은 가스로 채워진 중공과 같이 속이 빌 수 있다. 광학 도파관들은 도파관들의 광학 매질의 굴절률과 광학 도파관들을 둘러싸는 기판 또는 기타 재료의 굴절률의 차이에 의해 정의될 수 있다. 포토닉 칩은 종래의 CMOS 프로세스와 같은 종래의 반도체 제조 프로세스들을 사용하여 제조될 수 있다.

[0089] 광학 스위치 네트워크(104 또는 1200)의 동작이 요구되는 파장에 따라, 적절한 재료가 사용되어야 한다. 예를 들어, 수동 도파관들은 그의 CMOS 제조 프로세스들과의 호환성 및 높은 인덱스 콘트라스트(index contrast)로 인해 다양한 공지된 재료들, 바람직하게는 실리콘 질화물로 제조될 수 있다. 수동 도파관들의 대안 재료들은 도핑된 실리카 또는 폴리머들을 포함한다. 능동 재료들은 GaN, AlN 및 소정 폴리머들을 포함한다.

[0090] 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "광"은 약 100nm와 약 1mm 사이의 파장을 갖는 전자기 방사선을 의미한다.

[0091] 본 발명은 전술한 예시적인 실시예들을 통해 설명되지만, 예시된 실시예들에 대한 수정들 및 변경들이 본 명세서에 개시된 발명 개념들로부터 벗어나지 않고 이루어질 수 있다. 예를 들어, 치수들 및 재료들과 같은 특정 파라미터 값들이 본 발명의 범위 내에서 개시된 실시예들과 관련하여 설명될 수 있지만, 모든 파라미터들의 값들은 상이한 응용들에 적합하도록 넓은 범위에 걸쳐 변할 수 있다. 문맥상 달리 지시되지 않는 한, 또는 이 분야의 통상의 기술자가 이해하듯이, "약"과 같은 용어들은 $\pm 20\%$ 이내를 의미한다.

[0092] 청구범위를 포함하여 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 청구범위를 포함하여 아이템들의 리스트와 관련하여

사용되는 "및/또는"이라는 용어는 리스트 내의 아이템 중 하나 이상, 즉 리스트 내의 아이템 중 적어도 하나를 의미하지만, 리스트 내의 모든 아이템들일 필요는 없다. 청구 범위를 포함하여 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 아이템들의 리스트와 관련하여 사용되는 용어 "또는"은 리스트 내의 아이템 중 하나 이상, 즉 리스트 내의 아이템 중 적어도 하나를 의미하지만, 리스트 내의 모든 아이템들일 필요는 없다. "또는"은 "배타적 논리합"을 의미하지 않는다.

[0093] 청구 범위를 포함하여 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 동작 "또는" 다른 동작을 수행하도록 구성된 것으로 설명되는 요소는 동작들 중 하나만을 수행하도록 구성된 요소에 의해 충족된다. 즉, 요소는 그가 동작들 중 하나를 수행하는 하나의 모드에서 그리고 그가 다른 동작을 수행하는 다른 모드에서 동작하도록 구성될 필요는 없다. 요소는 동작들 중 하나 초과의 동작을 수행하도록 구성될 수 있지만 그럴 필요는 없다.

[0094] 실시예들의 양태들이 블록도들을 참조하여 설명될 수 있지만, 각각의 블록의 전부 또는 일부 또는 블록들의 조합의 기능들, 동작들, 결정들 등을 조합되거나, 개별 동작들로 분리되거나, 다른 순서들로 수행될 수 있다. 각각의 블록의 전부 또는 일부 또는 그 조합은 (소프트웨어와 같은) 컴퓨터 프로그램 명령어들, (조합 논리 (combinatorial logic), 주문형 집적 회로(ASIC), 필드 프로그래머블 게이트 어레이(FPGA), 프로세서 또는 기타 하드웨어와 같은) 하드웨어, 펌웨어 또는 이들의 조합으로서 구현될 수 있다. 예를 들어, 광을, 예로서 설명된 행 및 열 행렬을 통해 특정 방향으로 지향시키도록 활성화 및/또는 명령할 하나 이상의 바이너리 광학 스위치를 선택하는 것을 포함하여 송/수신 단말기(100)에 의해 광을 송신 또는 수신할 방향을 선택하는 것은, 메모리에 저장된 명령어들을 실행하는 프로세서에 의해 수행될 수 있다.

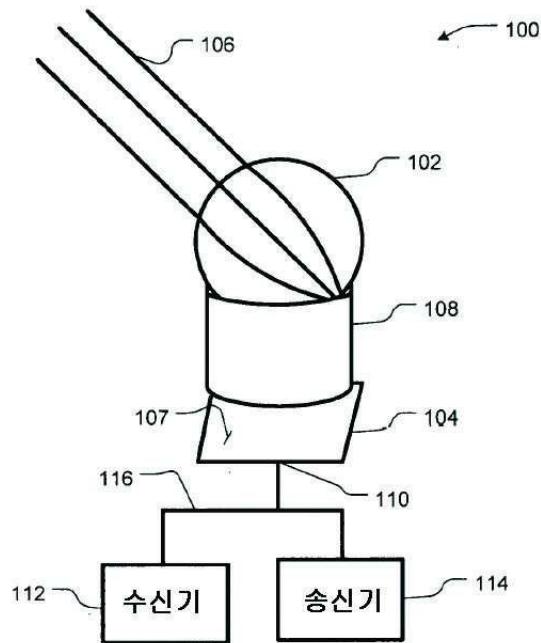
[0095] 실시예들 또는 그들의 부분들은 메모리에 저장된 명령어들을 실행하거나 그들에 의해 제어되는 하나 이상의 프로세서에 의해 구현될 수 있다. 각각의 프로세서는 적절하게, 중앙 처리 유닛(CPU), 그래픽 처리 유닛(GPU), 디지털 신호 프로세서(DSP)와 같은 범용 프로세서, 특수 목적 프로세서 등 또는 이들의 조합일 수 있다.

[0096] 메모리는 제어 소프트웨어 또는 다른 명령어들 및 데이터를 저장하기에 적합한 랜덤 액세스 메모리(RAM), 판독 전용 메모리(ROM), 플래시 메모리 또는 임의의 다른 메모리, 또는 이들의 조합일 수 있다. 본 발명의 기능들을 정의하는 명령어들은 유형적인 기입 불가 저장 매체(tangible non-writable storage media)(예를 들어, ROM과 같은 컴퓨터 내의 판독 전용 메모리 디바이스들, 또는 CD-ROM 또는 DVD 디스크들과 같은 컴퓨터 I/O 부착물에 의해 판독 가능한 디바이스들) 상에 영구적으로 저장된 정보, 유형적인 기입 가능 저장 매체(예를 들어, 플로피 디스크들, 이동식 플래시 메모리 및 하드 드라이브들) 상에 변경 가능하게 저장된 정보, 또는 유선 또는 무선 컴퓨터 네트워크들을 포함하는 통신 매체를 통해 컴퓨터로 운반된 정보를 포함하지만 이에 한정되지 않는 많은 형태로 프로세서에 전달될 수 있다. 또한, 실시예들은 다양한 예시적인 데이터 구조들과 관련하여 설명될 수 있지만, 시스템들은 다양한 데이터 구조들을 사용하여 구현될 수 있다.

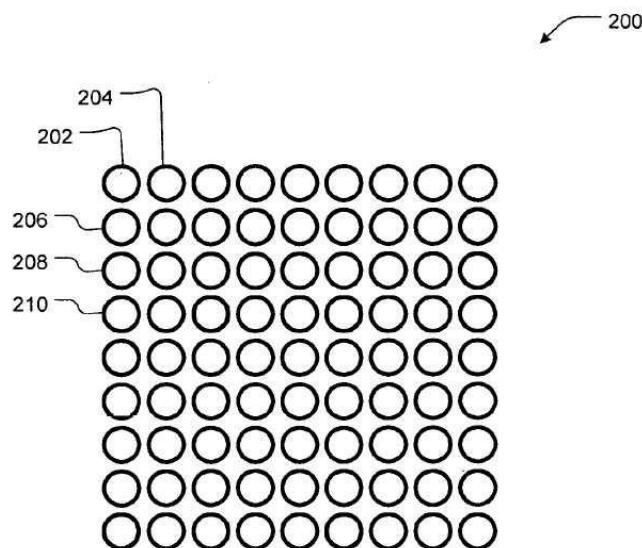
[0097] 개시된 양태들 또는 그들의 부분들은 위에서 열거되지 않고/않거나 명시적으로 청구되지 않은 방식들로 조합될 수 있다. 또한, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 명세서에 구체적으로 개시되지 않은 임의의 요소 없이도 적절하게 실시될 수 있다. 따라서, 본 발명은 개시된 실시예들에 한정되는 것으로 간주되지 않아야 한다.

도면

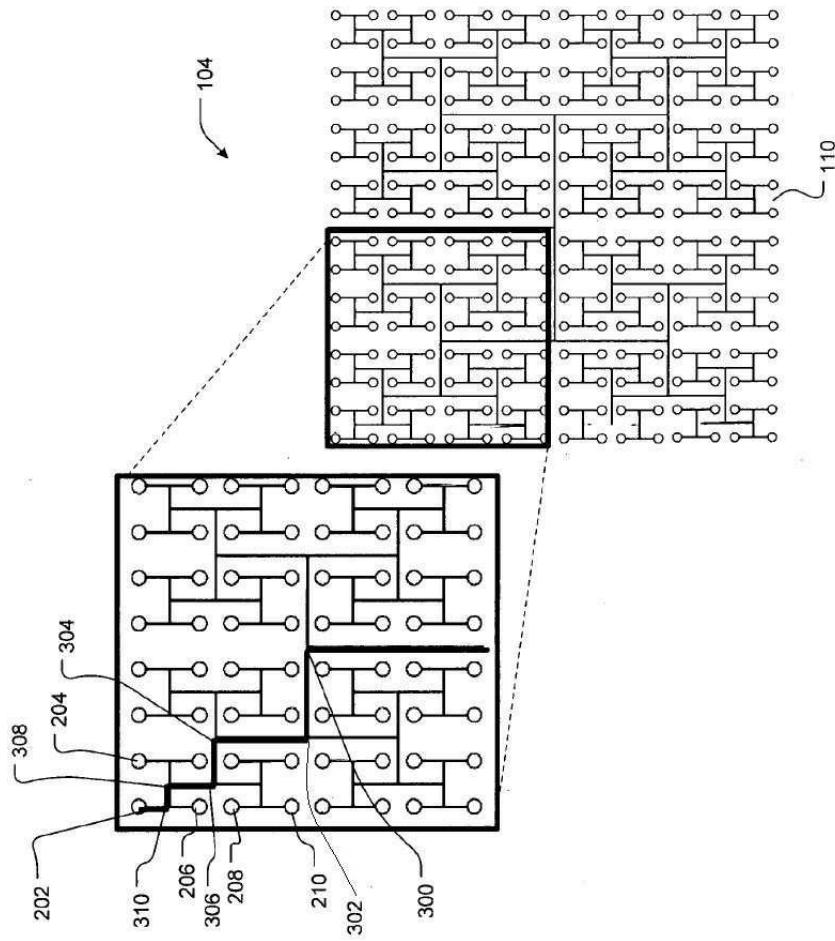
도면1



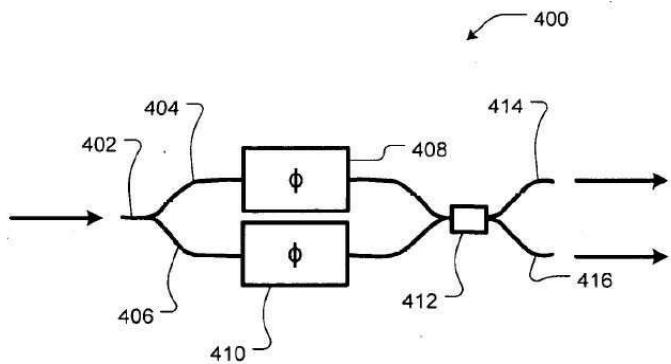
도면2



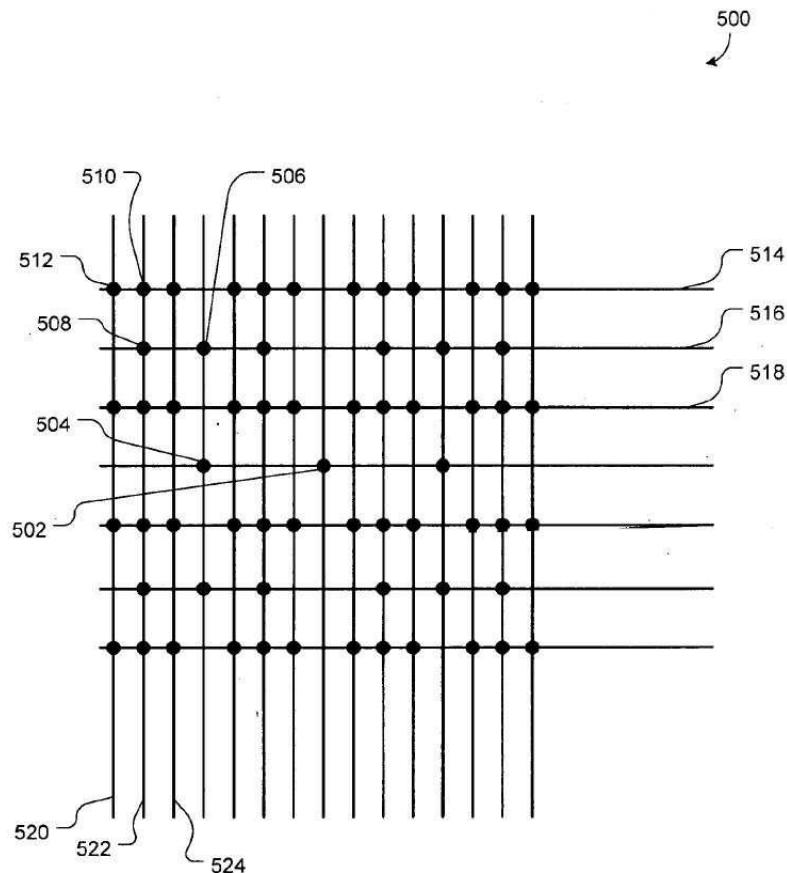
도면3



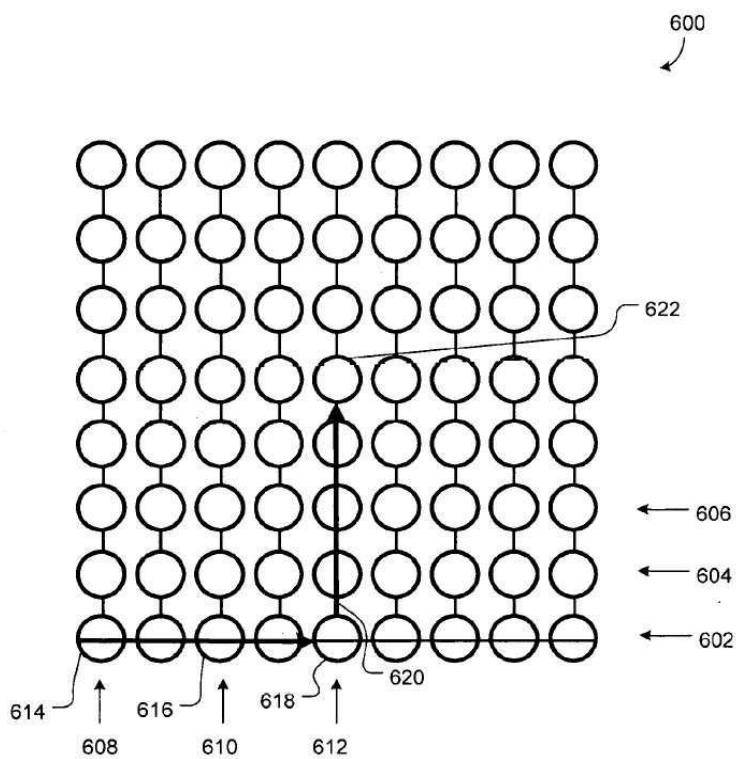
도면4



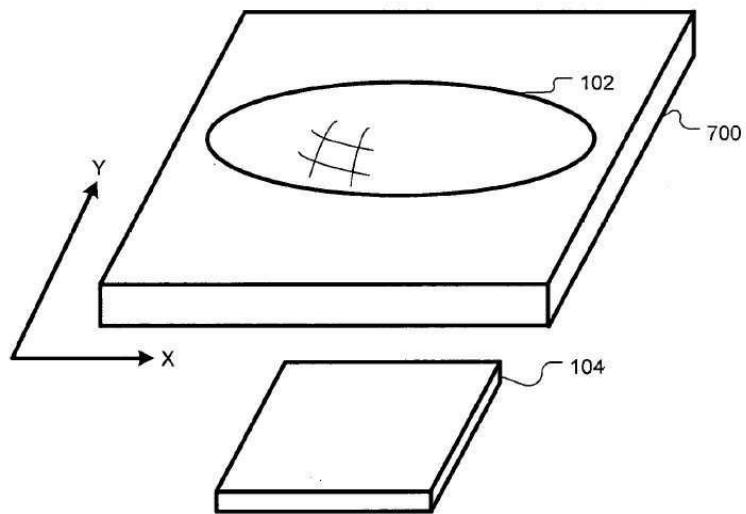
도면5



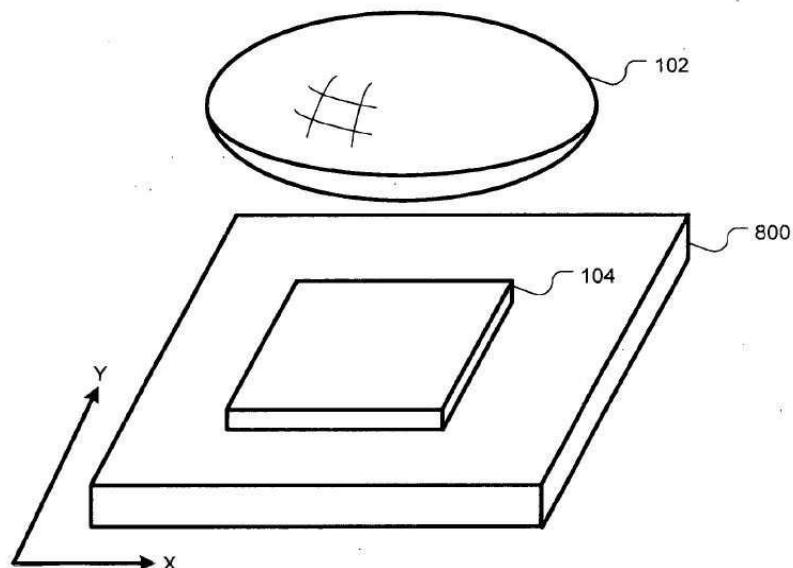
도면6



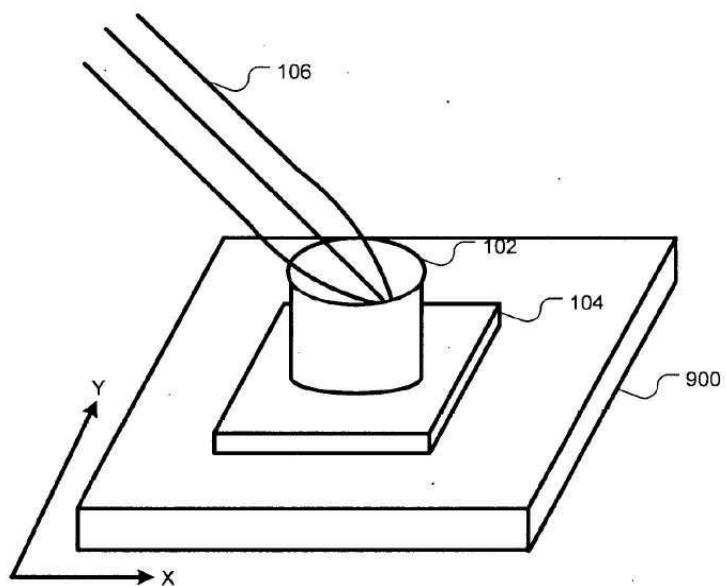
도면7



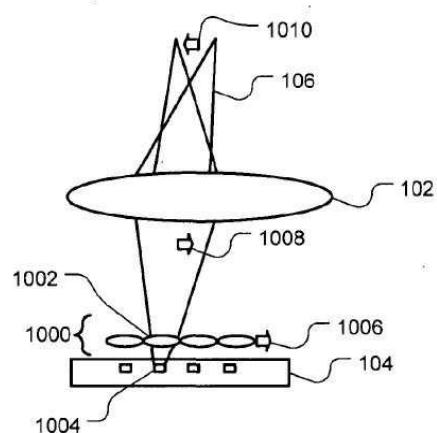
도면8



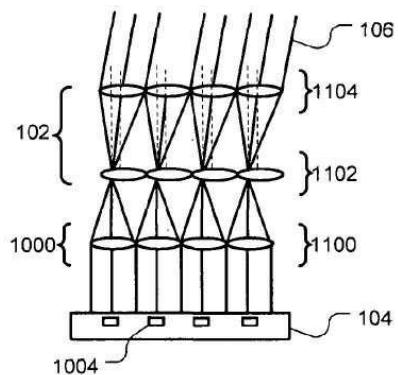
도면9



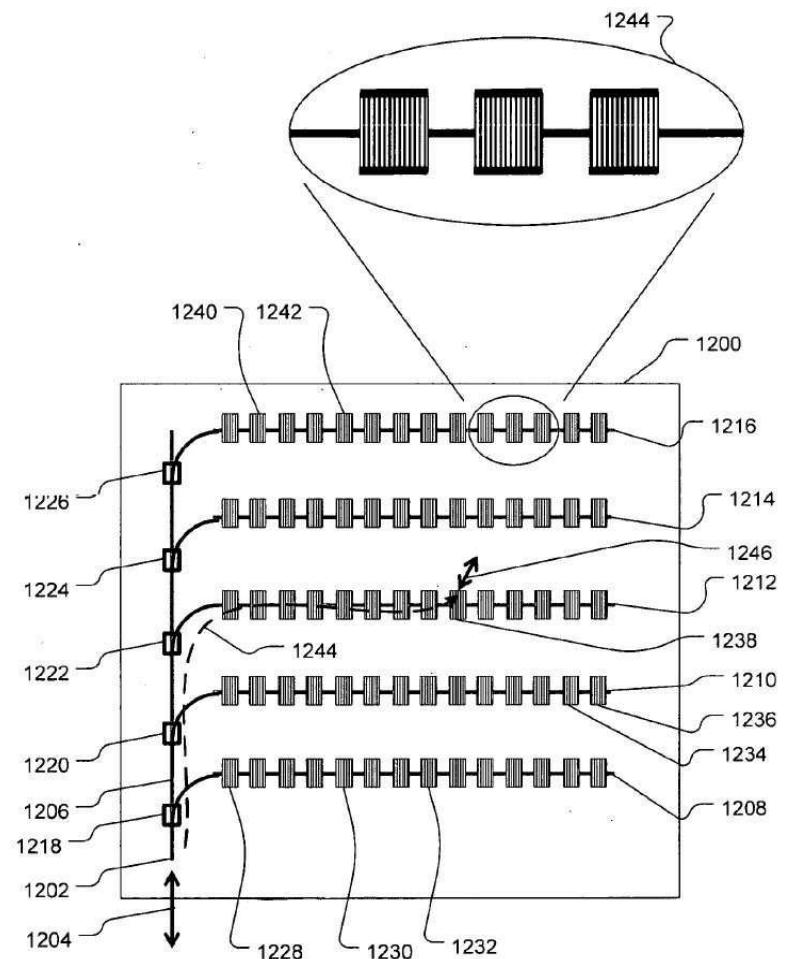
도면10



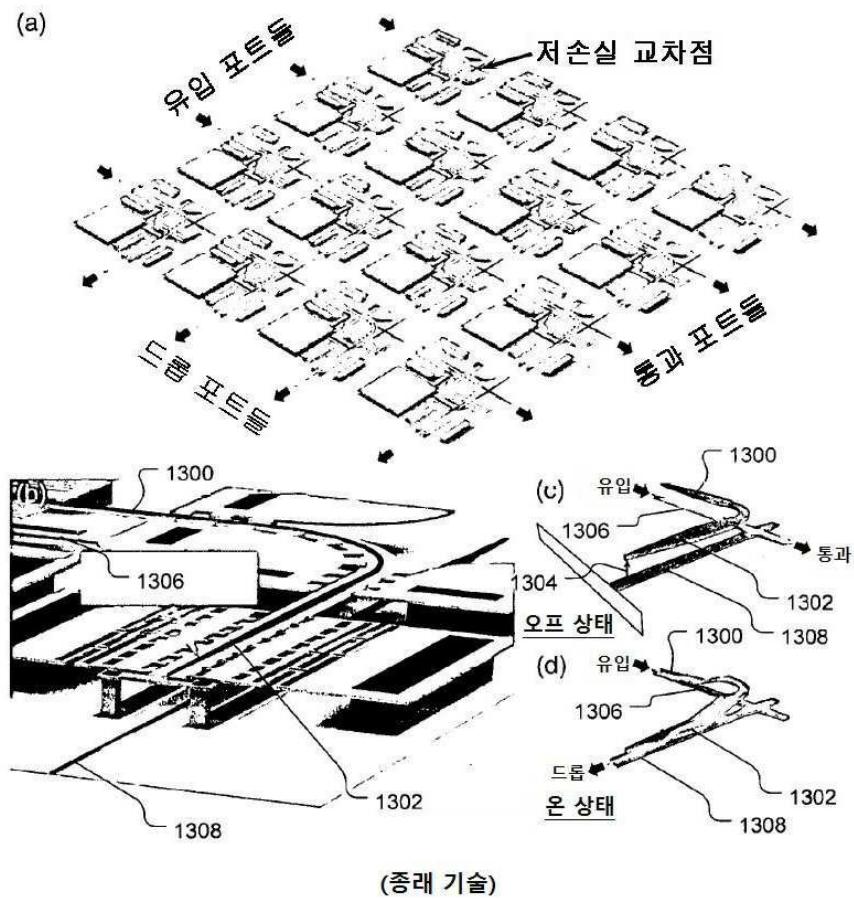
도면11



도면12

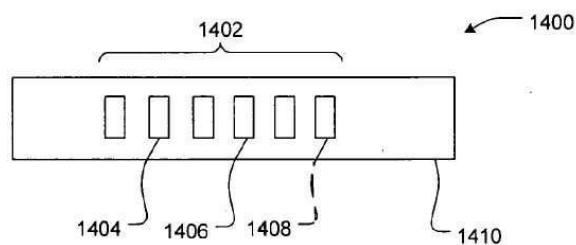


도면13

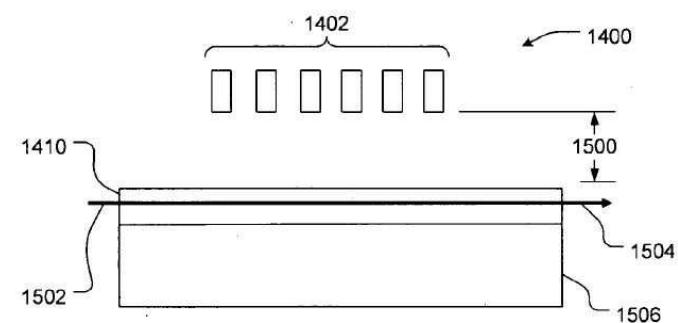


(종래 기술)

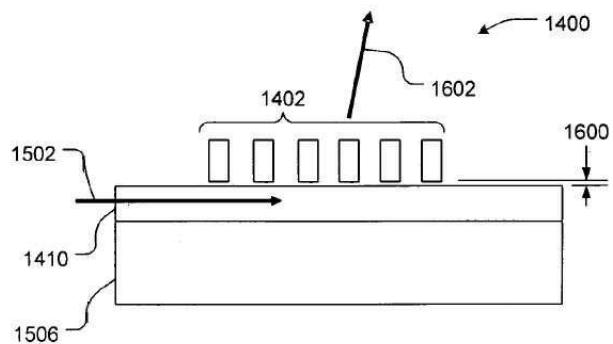
도면14



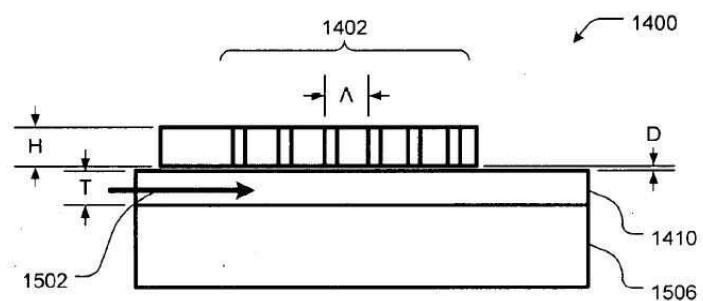
도면15



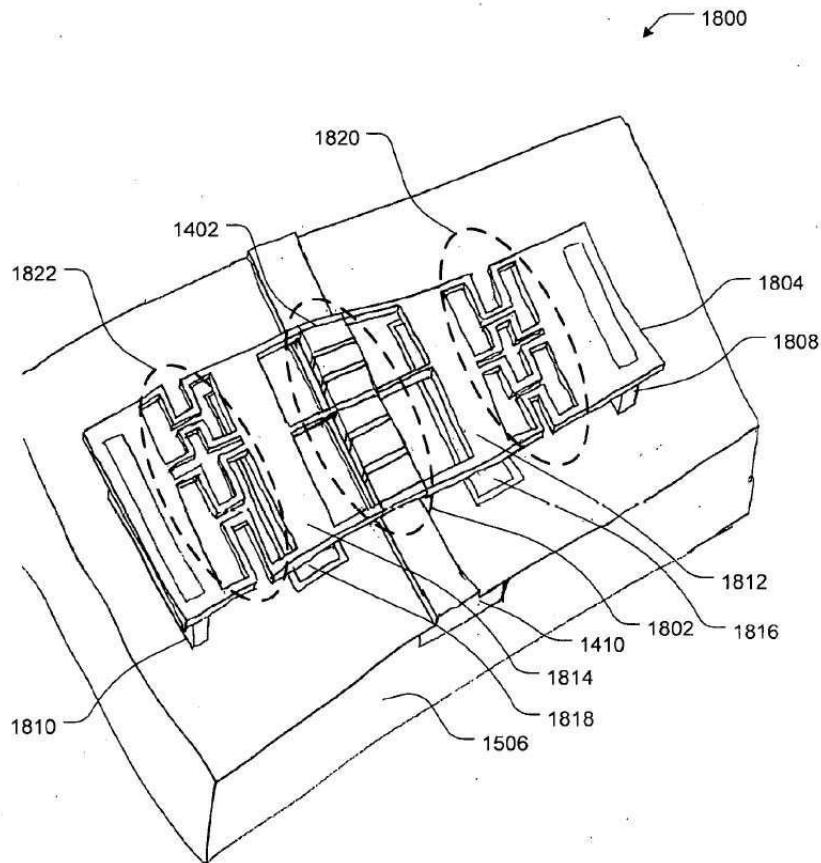
도면16



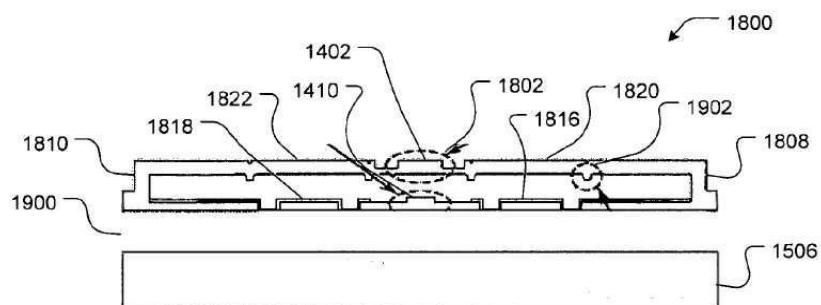
도면17



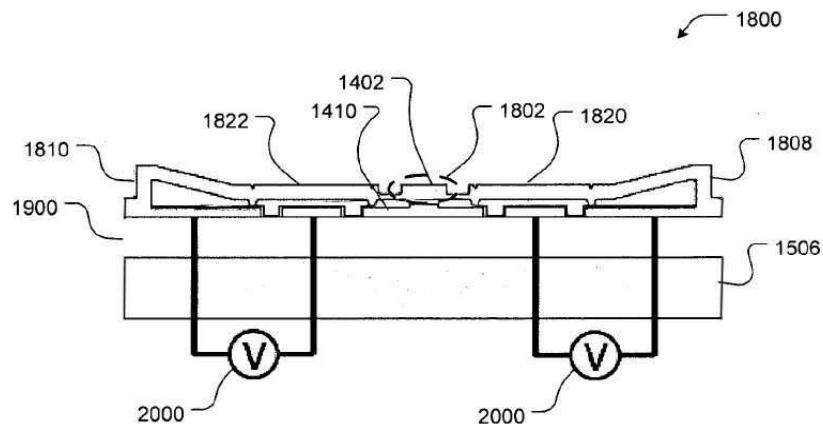
도면18



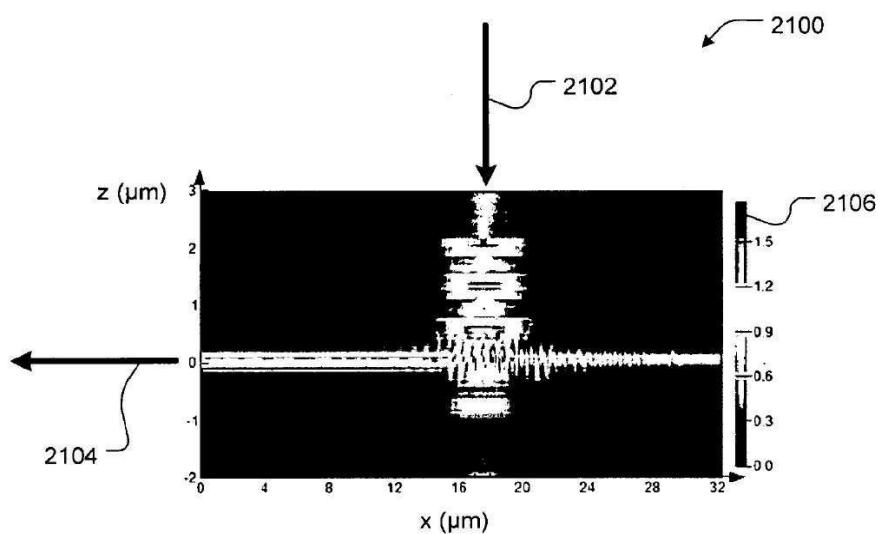
도면19



도면20



도면21



도면22

