



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년12월10일
(11) 등록번호 10-2740950
(24) 등록일자 2024년12월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 6/122 (2006.01) G02B 6/136 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02B 6/122 (2013.01)
G02B 6/136 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0008677
(22) 출원일자 2022년01월20일
심사청구일자 2022년01월20일
(65) 공개번호 10-2023-0112429
(43) 공개일자 2023년07월27일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020050093764 A*
US20210278708 A1*
US20070253659 A1
US20080050082 A1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한양대학교 에리카산학협력단
경기도 안산시 상록구 한양대학로 55
(72) 발명자
김영현
경기도 안산시 상록구 한양대학로 55, 제2과학기술관 502-1호
안성의
경기도 안산시 상록구 한양대학로 55, 제2과학기술관 5층 505호
(74) 대리인
박상열, 최내윤

전체 청구항 수 : 총 13 항

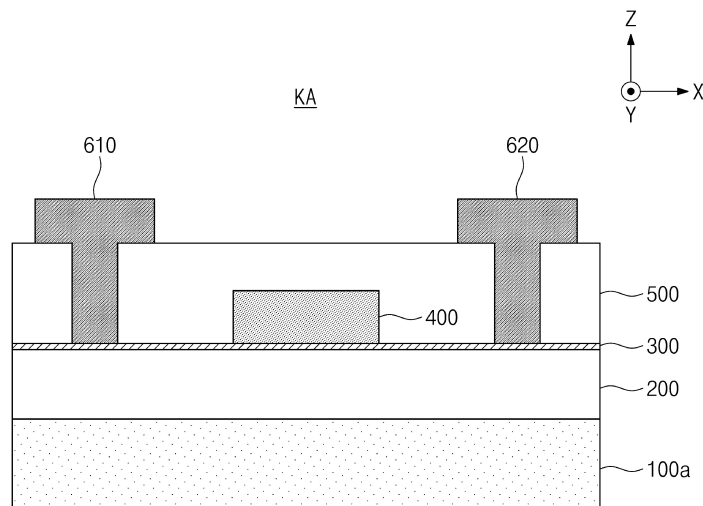
심사관 : 송병준

(54) 발명의 명칭 KTN(KTaNbO₃)이 사용된 광 위상 이동기 및 그 제조 방법

(57) 요약

광 위상 이동기가 제공된다. 상기 광 위상 이동기는, 실리콘 기판, 상기 실리콘 기판 상에 배치된 클래드층, 상기 클래드층 상에 배치된 중간막, 상기 중간막 상에 배치된 KTN(KTaNbO₃) 도파로, 상기 KTN 도파로를 덮도록 상기 중간막 상에 배치된 보호막, 및 상기 KTN 도파로를 사이에 두고 상기 중간막 상에 서로 이격되어 배치되는 제1 전극과 제2 전극을 포함하되, 상기 클래드층 내에는, 상기 중간막을 사이에 두고 상기 KTN 도파로와 이격된 실리콘(Si) 도파로가 배치된 것을 포함할 수 있다.

대표도 - 도7



(52) CPC특허분류

G02B 2006/12061 (2013.01)

G02B 2006/12097 (2013.01)

G02B 2006/12142 (2013.01)

G02B 2006/12176 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2111091912
과제번호	2021R1G1A1091912
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	생애 첫 연구 (이공분야기초연구사업 / 생애 첫 연구사업)
연구과제명	Si 집적광학기반의 고성능 KTN 광위상이동기의 수치계산 및 성능 최적화
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한양대학교 에리카 산학협력단
연구기간	2021.09.01 ~ 2022.08.31

명세서

청구범위

청구항 1

실리콘 기관;

상기 실리콘 기관 상에 배치된 클래드층;

상기 클래드층 상에 배치된 중간막;

상기 중간막 상에 배치된 KTN(KTaNbO₃) 도파로;

상기 KTN 도파로를 덮도록 상기 중간막 상에 배치된 보호막; 및

상기 KTN 도파로를 사이에 두고 상기 중간막 상에 서로 이격되어 배치되는 제1 전극과 제2 전극을 포함하고,

상기 클래드층 내에는, 상기 중간막을 사이에 두고 상기 KTN 도파로와 이격된 실리콘 도파로가 배치된 것을 포함하고,

상기 실리콘 기관, 상기 실리콘 도파로, 및 상기 KTN 도파로는 모두 제1 방향으로 연장되되,

상기 실리콘 도파로는 상기 제1 방향을 따라 면적이 변화되는 것을 포함하는 광 위상 이동기.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 광 위상 이동기에 전압이 인가되는 경우 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 전기장이 형성되고,

상기 전기장에 의해 상기 KTN 도파로의 굴절률이 변화되며,

상기 굴절률 변화에 의해 상기 KTN 도파로를 통과하는 빛의 위상이 제어되는 것을 포함하는 광 위상 이동기.

청구항 3

삭제

청구항 4

실리콘 기관;

상기 실리콘 기관 상에 배치된 클래드층;

상기 클래드층 상에 배치된 중간막;

상기 중간막 상에 배치된 KTN(KTaNbO₃) 도파로;

상기 KTN 도파로를 덮도록 상기 중간막 상에 배치된 보호막; 및

상기 KTN 도파로를 사이에 두고 상기 중간막 상에 서로 이격되어 배치되는 제1 전극과 제2 전극을 포함하고,

상기 클래드층 내에는, 상기 중간막을 사이에 두고 상기 KTN 도파로와 이격된 실리콘 도파로가 배치된 것을 포함하고,

상기 실리콘 기관, 상기 실리콘 도파로, 및 상기 KTN 도파로는 모두 제1 방향으로 연장되되,

상기 실리콘 도파로는 상기 제1 방향을 따라 면적이 점차적으로 좁아지거나 또는 점차적으로 넓어지도록 변화되는 것을 포함하는 광 위상 이동기.

청구항 5

제4 항에 있어서,

상기 광 위상 이동기는 광변조기의 옵티컬 인풋(Optical Input)과 인접한 제1 전이 영역, 옵티컬 아웃풋(Optical Output)과 인접한 제2 전이 영역, 및 상기 제1 전이 영역과 상기 제2 전이 영역 사이의 KTN 영역을 포함하되,

상기 제1 전이 영역 및 상기 제2 전이 영역 내 상기 실리콘 도파로의 면적은, 상기 KTN 영역 내 상기 실리콘 도파로의 면적보다 넓은 것을 포함하는 광 위상 이동기.

청구항 6

제5 항에 있어서,

상기 KTN 영역에는, 상기 클래드층 내 상기 실리콘 도파로가 없는 것을 포함하는 광 위상 이동기.

청구항 7

제5 항에 있어서,

상기 제1 전이 영역은, 상기 옵티컬 인풋과 인접한 제1-1 전이 영역 및 상기 KTN 영역과 인접한 제1-2 전이 영역을 포함하되,

상기 제1-1 전이 영역 내 상기 실리콘 도파로의 면적은, 상기 제1-2 전이 영역 내 상기 실리콘 도파로의 면적보다 넓은 것을 포함하는 광 위상 이동기.

청구항 8

제5 항에 있어서,

상기 제2 전이 영역은, 상기 옵티컬 아웃풋과 인접한 제2-1 전이 영역 및 상기 KTN 영역과 인접한 제2-2 전이 영역을 포함하되,

상기 제2-1 전이 영역 내 상기 실리콘 도파로의 면적은, 상기 제2-2 전이 영역 내 상기 실리콘 도파로의 면적보다 넓은 것을 포함하는 광 위상 이동기.

청구항 9

실리콘 기판;

상기 실리콘 기판 상에 배치된 클래드층;

상기 클래드층 상에 배치된 중간막;

상기 중간막 상에 배치된 KTN(KTaNbO₃) 도파로;

상기 KTN 도파로를 덮도록 상기 중간막 상에 배치된 보호막; 및

상기 KTN 도파로를 사이에 두고 상기 중간막 상에 서로 이격되어 배치되는 제1 전극과 제2 전극을 포함하고,

상기 클래드층 내에는, 상기 중간막을 사이에 두고 상기 KTN 도파로와 이격된 실리콘 도파로가 배치된 것을 포함하고,

상기 제1 전극 및 상기 제2 전극은 상기 보호막을 두께 방향으로 관통하고 상기 KTN 도파로와 이격되도록 배치

되되,

상기 제1 전극은 상기 KTN 도파로의 일측과 인접하도록 배치되고 상기 제2 전극은 상기 KTN 도파로의 타측과 인접하도록 배치되는 것을 포함하는 광 위상 이동기.

청구항 10

제9 항에 있어서,

TE(Transverse Electric) 모드와 TM(Transverse Magnetic) 모드 중 TE(transverse electric) 모드로 동작되는 것을 포함하는 광 위상 이동기.

청구항 11

실리콘 기판, 상기 실리콘 기판 상에 배치된 클래드층, 상기 클래드층 상에 배치된 중간막, 및 상기 중간막과 접촉되도록 상기 클래드층 내에 배치된 실리콘(Si) 도파로를 포함하는 기판 구조체를 준비하는 단계;

폭 방향을 따라 커팅 라인이 형성된 KTN(KTaNbO_3) 기판을 준비하는 단계;

상기 중간막과 접촉되도록, 상기 기판 구조체와 KTN 기판을 접합하는 단계;

상기 KTN 기판의 상기 커팅 라인 하부 영역을 제거하여, 상기 기판 구조체 상에 상기 커팅 라인 상부 영역으로 이루어진 KTN 박막을 잔존시키는 단계;

상기 중간막의 중앙부를 제외한 영역이 노출되도록 상기 KTN 박막을 식각하여, 상기 중간막을 사이에 두고 상기 실리콘 도파로와 이격되는 KTN 도파로를 형성하는 단계;

상기 중간막 상에 상기 KTN 도파로를 덮는 보호막을 형성하는 단계;

상기 보호막을 관통하되 상기 KTN 도파로를 사이에 두고 서로 이격되도록 제1 전극 및 제2 전극을 형성하는 단계를 포함하는 광 위상 이동기의 제조 방법.

청구항 12

제11 항에 있어서,

상기 커팅 라인이 형성된 KTN 기판을 준비하는 단계는,

KTN 기판을 준비하는 단계;

상기 KTN 기판 상에 하드마스크를 증착하는 단계; 및

하드마스크가 증착된 상기 KTN 기판 내에 이온을 주입하는 단계를 포함하는 광 위상 이동기의 제조 방법.

청구항 13

제11 항에 있어서,

상기 실리콘 도파로는 길이 방향을 따라 면적이 점차적으로 작아진 후 다시 점차적으로 증가하도록 형성된 것을 포함하는 광 위상 이동기의 제조 방법.

청구항 14

KTN(KTaNbO_3) 도파로;

상기 KTN 도파로 상에 배치된 비정질 실리콘 도파로;

상기 KTN 도파로 상에 배치되고 상기 비정질 실리콘 도파로의 일측과 이격되도록 배치되는 제1 전극; 및

상기 KTN 도파로 상에 배치되고 상기 비정질 실리콘 도파로의 타측과 이격되도록 배치되는 제2 전극을 포함하되,

상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 형성된 전기장에 의해 상기 KTN 도파로의 굴절률이 변화되고, 상기 굴절률 변화에 의해 상기 KTN 도파로를 통과하는 빛의 위상이 제어되는 것을 포함하는 광 위상 이동기.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 광 위상 이동기 및 그 제조 방법에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 KTN(KTaNbO_3)이 사용된 광 위상 이동기 및 그 제조 방법에 관련된 것이다.

배경 기술

[0002] 도 1은 종래의 마하-젠더 광변조기의 평면도이고, 도 2는 종래의 링변조기의 평면도이다. 도 1 및 도 2를 참조하여 광 위상 이동기에 대해 설명된다.

[0003] 마하-젠더 광변조기는 마하-젠더 간섭계를 이용한다. 마하-젠더 간섭계는 단일 근원에서 두 도파관으로 빛을 쪼개고, 서로 다른 도파관을 거쳐 도출되는 빔 사이의 위상차를 결정하는데 사용되는 장치이다. 마하-젠더 광변조기는 빛이 나누어지는 두 팔에 광 위상 이동기(10)를 포함한다.

[0004] 한편, 링변조기는 링의 공진현상을 이용한 광변조기로서, 일반적으로 스스로 루프되는 광학 도파관으로 구성된다. 구체적으로, 링변조기는 광경로의 길이가 정확히 특정 파장과 일치할 때 공진이 발생하고, 빛이 도파관을 지나가면서 공진을 통해 특정한 파장의 빛만 링 모양의 광 위상 이동기(10)를 지나게 된다.

[0005] 상술된 바와 같이, 광 위상 이동기(Optical phase shifter)는 광변조기에 사용되는 것으로서, 물질의 굴절률 변화에 의해 빛의 위상을 제어하는 기능을 갖는다. 전기광학 효과 기반의 광 위상 이동기로서 종래에는 lithium niobate(LiNbO_3 , LN)와 barium titanate(BaTiO_3 , BTO)가 사용되었지만, LN 및 BTO는 전기광학 효과가 낮다는 단점이 있다. 이에 따라, 전기광학 효과가 향상된 광 위상 이동기에 대한 다양한 연구들이 이루어지고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 일 기술적 과제는, KTN(KTaNbO_3)이 사용된 광 위상 이동기 및 그 제조 방법을 제공하는 데 있다.

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 기술적 과제는, 실리콘 기반의 공정으로 KTN이 적용된 광 위상 이동기 및 그 제조 방법을 제공하는 데 있다.

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 또 다른 기술적 과제는, 빛 위상 제어 효율이 향상된 광 위상 이동기 및 그 제조 방법을 제공하는 데 있다.

[0009] 본 발명이 해결하고자 하는 또 다른 기술적 과제는, 광변조기의 광 변조 효율을 향상시킬 수 있는 광 위상 이동기 및 그 제조 방법을 제공하는 데 있다.

[0010] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는 상술된 것에 제한되지 않는다.

과제의 해결 수단

[0011] 상술된 기술적 과제들을 해결하기 위해 본 발명은 광 위상 이동기를 제공한다.

[0012] 일 실시 예에 따르면, 상기 광 위상 이동기는 실리콘 기판, 상기 실리콘 기판 상에 배치된 클래드층, 상기 클래

드층 상에 배치된 중간막, 상기 중간막 상에 배치된 KTN(KTaNbO_3) 도파로, 상기 KTN 도파로를 덮도록 상기 중간막 상에 배치된 보호막, 및 상기 KTN 도파로를 사이에 두고 상기 중간막 상에 서로 이격되어 배치되는 제1 전극과 제2 전극을 포함하되, 상기 클래드층 내에는, 상기 중간막을 사이에 두고 상기 KTN 도파로와 이격되도록 실리콘(Si) 도파로가 배치된 것을 포함할 수 있다.

- [0013] 일 실시 예에 따르면, 상기 광 위상 이동기에 전압이 인가되는 경우 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 전기장이 형성되고, 상기 전기장에 의해 상기 KTN 도파로의 굴절률이 변화되며, 상기 굴절률 변화에 의해 상기 KTN 도파로를 통과하는 빛의 위상이 제어되는 것을 포함할 수 있다.
- [0014] 일 실시 예에 따르면, 상기 실리콘 기판, 상기 실리콘 도파로, 및 상기 KTN 도파로는 모두 제1 방향으로 연장되되, 상기 실리콘 도파로는 상기 제1 방향을 따라 면적이 변화되는 것을 포함할 수 있다.
- [0015] 일 실시 예에 따르면, 상기 실리콘 도파로는 상기 제1 방향을 따라 면적이 점차적으로 작아진 후 다시 점차적으로 증가하도록 변화되는 것을 포함할 수 있다.
- [0016] 일 실시 예에 따르면, 상기 광 위상 이동기는 광변조기의 옵티컬 인풋(Optical Input)과 인접한 제1 전이 영역, 옵티컬 아웃풋(Optical Output)과 인접한 제2 전이 영역, 및 상기 제1 전이 영역과 상기 제2 전이 영역 사이의 KTN 영역을 포함하되, 상기 제1 전이 영역 및 상기 제2 전이 영역 내 상기 실리콘 도파로의 면적은, 상기 KTN 영역 내 상기 실리콘 도파로의 면적보다 넓은 것을 포함할 수 있다.
- [0017] 일 실시 예에 따르면, 상기 KTN 영역에는, 상기 클래드층 내 상기 실리콘 도파로가 없는 것을 포함할 수 있다.
- [0018] 일 실시 예에 따르면, 상기 제1 전이 영역은, 상기 옵티컬 인풋과 인접한 제1-1 전이 영역 및 상기 KTN 영역과 인접한 제1-2 전이 영역을 포함하되, 상기 제1-1 전이 영역 내 상기 실리콘 도파로의 면적은, 상기 제1-2 전이 영역 내 상기 실리콘 도파로의 면적보다 넓은 것을 포함할 수 있다.
- [0019] 일 실시 예에 따르면, 상기 제2 전이 영역은, 상기 옵티컬 아웃풋과 인접한 제2-1 전이 영역 및 상기 KTN 영역과 인접한 제2-2 전이 영역을 포함하되, 상기 제2-1 전이 영역 내 상기 실리콘 도파로의 면적은, 상기 제2-2 전이 영역 내 상기 실리콘 도파로의 면적보다 넓은 것을 포함할 수 있다.
- [0020] 일 실시 예에 따르면, 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극은 상기 보호막을 두께 방향으로 관통하고 상기 KTN 도파로와 이격되도록 배치되되, 상기 제1 전극은 상기 KTN 도파로의 일측과 인접하도록 배치되고 상기 제2 전극은 상기 KTN 도파로의 타측과 인접하도록 배치되는 것을 포함할 수 있다.
- [0021] 일 실시 예에 따르면, 상기 광 위상 이동기는 TE(Transverse Electric) 모드와 TM(Transverse Magnetic) 모드 중 TE(transverse electric) 모드로 동작되는 것을 포함할 수 있다.
- [0023] 다른 실시 예에 따르면, 상기 광 위상 이동기는 KTN(KTaNbO_3) 도파로, 상기 KTN 도파로 상에 배치된 비정질 실리콘 도파로, 상기 KTN 도파로 상에 배치되고 상기 비정질 실리콘 도파로의 일측과 이격되도록 배치되는 제1 전극, 및 상기 KTN 도파로 상에 배치되고 상기 비정질 실리콘 도파로의 타측과 이격되도록 배치되는 제2 전극을 포함하되, 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 형성된 전기장에 의해 상기 KTN 도파로의 굴절률이 변화되고, 상기 굴절률 변화에 의해 상기 KTN 도파로를 통과하는 빛의 위상이 제어되는 것을 포함할 수 있다.
- [0025] 상술된 기술적 과제들을 해결하기 위해 본 발명은 광 위상 이동기의 제조 방법을 제공한다.
- [0026] 일 실시 예에 따르면, 상기 광 위상 이동기의 제조 방법은 실리콘 기판, 상기 실리콘 기판 상에 배치된 클래드층, 상기 클래드층 상에 배치된 중간막, 및 상기 중간막과 접촉되도록 상기 클래드층 내에 배치된 실리콘 도파로를 포함하는 기판 구조체를 준비하는 단계, 폭 방향을 따라 커팅 라인이 형성된 KTN(KTaNbO_3) 기판을 준비하는 단계, 상기 중간막과 접촉되도록, 상기 기판 구조체와 KTN 기판을 접합하는 단계, 상기 KTN 기판의 상기 커팅 라인 하부 영역을 제거하여, 상기 기판 구조체 상에 상기 커팅 라인 상부 영역으로 이루어진 KTN 박막을 잔존시키는 단계, 상기 중간막의 중앙부를 제외한 영역이 노출되도록 상기 KTN 박막을 식각하여, 상기 중간막을 사이에 두고 상기 실리콘 도파로와 이격되는 KTN 도파로를 형성하는 단계, 상기 중간막 상에 상기 KTN 도파로를 덮는 보호막을 형성하는 단계, 상기 보호막을 관통하되 상기 KTN 도파로를 사이에 두고 서로 이격되도록 제1 전극 및 제2 전극을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0027] 일 실시 예에 따르면, 상기 커팅 라인이 형성된 KTN 기판을 준비하는 단계는, KTN 기판을 준비하는 단계, 상기 KTN 기판 상에 하드마스크를 증착하는 단계, 및 하드마스크가 증착된 상기 KTN 기판 내에 이온을 주입하는 단계

를 포함할 수 있다.

[0028] 일 실시 예에 따르면, 상기 실리콘 도파로는 길이 방향을 따라 면적이 점차적으로 작아진 후 다시 점차적으로 증가하도록 형성된 것을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0029] 본 발명의 실시 예에 따른 광 위상 이동기는 실리콘 기판, 상기 실리콘 기판 상에 배치된 클래드층, 상기 클래드층 상에 배치된 중간막, 상기 중간막 상에 배치된 KTN(KTaNbO_3) 도파로, 상기 KTN 도파로를 덮도록 상기 중간막 상에 배치된 보호막, 및 상기 KTN 도파로를 사이에 두고 상기 중간막 상에 서로 이격되어 배치되는 제1 전극과 제2 전극을 포함하되, 상기 클래드층 내에는, 상기 중간막을 사이에 두고 상기 KTN 도파로와 이격되도록 실리콘 도파로가 배치된 것을 포함할 수 있다. 또한, 상기 실리콘 도파로는 상기 실리콘 도파로가 연장되는 제1 방향을 따라 면적이 점차적으로 작아진 후 다시 점차적으로 증가하도록 변화될 수 있다. 이에 따라, 상기 광 위상 이동기를 통한 빛의 위상 제어 효율이 향상될 수 있다.

[0030] 또한, 상기 광 위상 이동기는 lithium niobate(LiNbO_3 , LN)이나 barium titanate(BaTiO_3 , BTO)이 사용된 종래의 광 위상 이동기와 비교하여 전기광학 계수가 큰 KTN(KTaNbO_3)이 사용됨으로, 광변조기의 변조 효율을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1은 종래의 마하-젠더 광변조기의 평면도이다.
 도 2는 종래의 링변조기의 평면도이다.
 도 3은 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기를 포함하는 광변조기의 평면도이다.
 도 4는 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 평면도이다.
 도 5는 제1-1 및 제2-1 전이 영역 내 광 위상 이동기의 단면도이다.
 도 6은 제1-2 및 제2-2 전이 영역 내 광 위상 이동기의 단면도이다.
 도 7은 KTN 영역 내 광 위상 이동기의 단면도이다.
 도 8은 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 제조 방법 중 S110 단계 및 S120 단계를 설명하기 위한 도면이다.
 도 9는 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 제조 방법 중 S130 단계를 설명하기 위한 도면이다.
 도 10은 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 제조 방법 중 S140 단계를 설명하기 위한 도면이다.
 도 11은 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 제조 방법 중 S150 단계를 설명하기 위한 도면이다.
 도 12는 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 제조 방법 중 S160 단계를 설명하기 위한 도면이다.
 도 13은 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 제조 방법 중 S170 단계를 설명하기 위한 도면이다.
 도 14는 본 발명의 제2 실시 예에 따른 광 위상 이동기를 설명하기 위한 도면이다.
 도 15는 본 발명의 제2 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 제조 공정을 설명하기 위한 도면이다.
 도 16은 본 발명의 제3 실시 예에 따른 광 위상 이동기를 설명하기 위한 도면이다.
 도 17은 본 발명의 제3 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 제조 공정을 설명하기 위한 도면이다.
 도 18 및 도 19는 본 발명의 실험 예 2에 따른 광 위상 이동기의 광학모드 계산 결과를 나타내는 도면이다.
 도 20 및 도 21은 본 발명의 실험 예 3에 따른 광 위상 이동기의 광학모드 계산 결과를 나타내는 도면이다.
 도 22 및 도 23은 본 발명의 실험 예 1에 따른 광 위상 이동기의 광학모드 계산 결과를 나타내는 도면이다.
 도 24는 본 발명의 실험 예에 따른 광변조 소자를 설명하기 위한 도면이다.
 도 25는 본 발명의 비교 예 2에 따른 광변조기가 포함하는 광 위상 이동기의 실험값과 이론 모델을 검증한 결과

를 설명하기 위한 도면이다.

도 26은 본 발명의 실험 예 및 비교 예들에 따른 광변조기가 포함하는 광 위상 이동기의 전압에 따른 광출력 그래프이다.

도 27은 본 발명의 실험 예 및 비교 예들에 따른 광변조기가 포함하는 광 위상 이동기의 성능을 비교하는 그래프이다.

도 28은 본 발명의 실험 예에 따른 광변조기가 포함하는 광 위상 이동기의 성능 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0032] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예를 상세히 설명할 것이다. 그러나 본 발명의 기술적 사상은 여기서 설명되는 실시 예에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시 예는 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다.
- [0033] 본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소 상에 있다고 언급되는 경우에 그것은 다른 구성요소 상에 직접 형성될 수 있거나 또는 그들 사이에 제 3의 구성요소가 개재될 수도 있다는 것을 의미한다. 또한, 도면들에 있어서, 막 및 영역들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다.
- [0034] 또한, 본 명세서의 다양한 실시 예들에서 제1, 제2, 제3 등의 용어가 다양한 구성요소들을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 구성요소들이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 구성요소를 다른 구성요소와 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 따라서, 어느 한 실시 예에 제 1 구성요소로 언급된 것이 다른 실시 예에서는 제 2 구성요소로 언급될 수도 있다. 여기에 설명되고 예시되는 각 실시 예는 그것의 상보적인 실시 예도 포함한다. 또한, 본 명세서에서 '및/또는'은 전후에 나열한 구성요소들 중 적어도 하나를 포함하는 의미로 사용되었다.
- [0035] 명세서에서 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다. 또한, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 배제하는 것으로 이해되어서는 안 된다. 또한, 본 명세서에서 "연결"은 복수의 구성요소들 간접적으로 연결하는 것, 및 직접적으로 연결하는 것을 모두 포함하는 의미로 사용된다.
- [0036] 또한, 하기에서 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 것이다.
- [0038] 도 3은 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기를 포함하는 광변조기의 평면도이고, 도 4는 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 평면도이고, 도 5는 제1-1 및 제2-1 전이 영역 내 광 위상 이동기의 단면도이고, 도 6은 제1-2 및 제2-2 전이 영역 내 광 위상 이동기의 단면도이고, 도 7은 KTN 영역 내 광 위상 이동기의 단면도이다. 도 5 내지 도 7의 단면도는, 도 3에 도시된 바와 같이 T-T' 방향의 단면을 나타낸다.
- [0039] 도 3에서 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기를 포함하는 광변조기로서 마하-젠더 광변조기를 도시하였지만, 상기 광 위상 이동기는 링변조기에도 적용될 수 있다. 이 밖에도, 상기 광 위상 이동기는 다양한 광변조기에 적용될 수 있다. 상기 광 위상 이동기가 적용될 수 있는 광변조기의 종류는 제한되지 않는다.
- [0040] 도 3 내지 도 7을 참조하면, 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기(10)는 실리콘 기판(100a), 실리콘 도파로(100b), 클래드층(200), 중간막(300), KTN 도파로(400), 보호막(500), 제1 전극(610), 및 제2 전극(620)을 포함할 수 있다. 이하, 각 구성에 대해 설명된다.
- [0041] 상기 실리콘 기판(100a)는 광변조기의 베이스 도파로를 구성할 수 있다. 즉, 본 발명의 실시 예에 따른 광 위상 이동기(10)는 광변조기의 베이스 도파로를 구성하는 실리콘 도파로를 통해 제조될 수 있다.
- [0042] 상기 클래드층(200)은 상기 실리콘 기판(100a) 상에 배치될 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 클래드층(200)은 실리콘 산화물(SiO₂)을 포함할 수 있다. 상기 클래드층(200) 내에는 실리콘 도파로(100b)가 배치될 수 있다. 구체적으로, 상기 실리콘 도파로(100b)는 후술되는 중간막(300)을 사이에 두고 후술되는 KTN 도파로(400)와 이격되도록 배치될 수 있다.
- [0043] 상기 중간막(300)은 상기 클래드층(200) 상에 배치될 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 중간막(300)은 표면

조도가 낮은 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 중간막(300)은 알루미늄 산화물(Al_2O_3)을 포함할 수 있다.

- [0044] 상기 중간막(300) 상에 KTN($KTaNbO_3$) 도파로(400), 및 보호막(500)이 배치될 수 있다. 구체적으로, 상기 KTN 도파로(400)는 상기 중간막(300)의 중앙부 상에 배치되고, 상기 보호막(500)은 상기 KTN 도파로(400)를 덮도록 상기 중간막(300) 상에 배치될 수 있다.
- [0045] 상기 제1 전극(610) 및 상기 제2 전극(620)은 상기 보호막(500)을 두께 방향으로 관통하도록 배치될 수 있다. 또한, 상기 제1 전극(610) 및 상기 제2 전극(620)은 상기 KTN 도파로(400)와 이격되도록 배치되되, 상기 제1 전극(610)은 상기 KTN 도파로(400)의 일측과 인접하도록 배치되고, 상기 제2 전극(620)은 상기 KTN 도파로(400)의 타측과 인접하도록 배치될 수 있다.
- [0046] 상기 광 위상 이동기(10)에 전압이 인가되는 경우 상기 제1 전극(610)과 상기 제2 전극(620) 사이에 전기장이 형성될 수 있다. 이에 따라, 상기 전기장에 의해 상기 KTN 도파로(400)의 굴절률이 변화되고, 상기 굴절률 변화에 의해 상기 KTN 도파로(400)를 통과하는 빛의 위상이 제어될 수 있다.
- [0047] 상기 광 위상 이동기(10)는 상기 실리콘 도파로(100b)의 면적이 변화되도록 구성될 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 실리콘 도파로(100b)는 제1 방향으로 연장되되, 상기 제1 방향을 따라 면적이 변화될 수 있다. 예를 들어, 상기 실리콘 도파로(100b)는 상기 제1 방향을 따라 면적이 점차적으로 작아진 후 다시 점차적으로 증가하도록 변화될 수 있다. 상기 제1 방향은, 도 3 내지 도 7에 도시된 Y축 방향일 수 있다.
- [0048] 보다 구체적으로, 상기 광 위상 이동기(10)는 광변조기의 옵티컬 인풋(Optical Input, IP)과 인접한 제1 전이 영역(IA), 옵티컬 아웃풋(Optical Output, OP)과 인접한 제2 전이 영역(OA), 및 상기 제1 전이 영역(IA)과 상기 제2 전이 영역(OA) 사이의 KTN 영역(KA)을 포함할 수 있다.
- [0049] 또한, 상기 제1 전이 영역(IA)은 상기 옵티컬 인풋(IP)과 인접한 제1-1 전이 영역(IA_1) 및 상기 KTN 영역(KA)과 인접한 제1-2 전이 영역(IA_2)을 포함할 수 있다. 상기 제2 전이 영역(OA)은 상기 옵티컬 아웃풋(OP)과 인접한 제2-1 전이 영역(OA_1) 및 상기 KTN 영역(KA)과 인접한 제2-2 전이 영역(OA_2)을 포함할 수 있다.
- [0050] 상기 제1-1 전이 영역(IA_1) 내 상기 실리콘 도파로(100b)의 면적(A_1)은 상기 제1-2 전이 영역(IA_2) 내 상기 실리콘 도파로(100b)의 면적(A_2)보다 넓을 수 있다. 상기 제2-1 전이 영역(OA_1) 내 상기 실리콘 도파로(100b)의 면적(A_1)은 상기 제2-2 전이 영역(OA_2) 내 상기 실리콘 도파로(100b)의 면적(A_2)보다 넓을 수 있다.
- [0051] 상기 제1 전이 영역(IA) 및 상기 제2 전이 영역(OA)과 달리, 상기 KTN 영역(KA)에는 상기 클래드층(200) 내 상기 실리콘 도파로(100b)가 없을 수 있다.
- [0052] 상술된 바와 같이, 상기 실리콘 도파로(100b)의 면적이 변화되도록 구성됨에 따라, 상기 광 위상 이동기(10)를 통과하는 빛이 상기 KTN 도파로(400)에 집중될 수 있다. 이에 따라, 상기 광 위상 이동기(10)의 위상 제어 효과가 향상될 수 있다.
- [0053] 이와 달리, 상기 실리콘 도파로(100b)의 면적이 일정하도록 구성되는 경우, 상기 광 위상 이동기(10)를 통과하는 빛이 상기 KTN 도파로(400)와 상기 실리콘 도파로(100b)에 분산될 수 있다. 이에 따라, 상기 광 위상 이동기(10)의 위상 제어 효과가 감소되는 문제점이 발생할 수 있다.
- [0054] 또한, KTN 영역(KA)뿐만 아니라 상기 제1 전이 영역(IA) 및 상기 제2 전이 영역(OA)에도 상기 실리콘 도파로(100b)가 없는 경우, 광변조기의 베이스 도파로를 이루는 상기 실리콘 기판(100a)를 따라 이동하던 빛이 갑작스럽게 상기 KTN 도파로(400)로 이동됨으로써 도파로의 급격한 변화로 인한 다양한 문제점들이 발생할 수 있다.
- [0055] 상기 광 위상 이동기(10)는 상기 KTN 도파로(400)과 빛이 더 많은 상호작용을 함으로써 소자의 성능을 향상시킬 수 있다. 또한, 상기 KTN 도파로(400)에 속박되지 않고 퍼지는 빛의 양이 적을수록 소자의 성능을 향상시킬 수 있다. 이에 따라, 상기 광 위상 이동기(10)는 빛이 상기 KTN 도파로(400)뿐만 아니라 양옆으로 퍼지는 TE(Transverse Electric) 모드와 상기 KTN 도파로(400)뿐만 아니라 위아래로 퍼지는 TM(Transverse Magnetic) 모드 중 TE 모드로 동작됨으로써 소자의 성능이 향상될 수 있다. 또한, 빛의 파장이 길어질수록 퍼지는 정도가 증가함으로, 상기 광 위상 이동기(10)는 짧은 파장의 빛을 사용함으로써 소자의 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0056] 결과적으로, 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기(10)는 실리콘 기판(100a), 상기 실리콘 기판(100a) 상에 배치된 클래드층(200), 상기 클래드층(200) 상에 배치된 중간막(300), 상기 중간막(300) 상에 배치된

KTN(KTaNbO_3) 도파로(400), 상기 KTN 도파로(400)를 덮도록 상기 중간막(300) 상에 배치된 보호막(500), 및 상기 KTN 도파로(400)를 사이에 두고 상기 중간막(300) 상에 서로 이격되어 배치되는 제1 전극(610)과 제2 전극(620)을 포함하되, 상기 클래드층(200) 내에는, 상기 중간막(300)을 사이에 두고 상기 KTN 도파로(400)와 이격되도록 실리콘 도파로(100b)가 배치된 것을 포함할 수 있다. 또한, 상기 실리콘 도파로(100b)는 상기 실리콘 도파로(100b)가 연장되는 제1 방향(Y축 방향)을 따라 면적이 점차적으로 작아진 후 다시 점차적으로 증가하도록 변화될 수 있다. 이에 따라, 상기 광 위상 이동기(10)를 통한 빛의 위상 제어 효율이 향상될 수 있다.

[0057] 또한, 상기 광 위상 이동기(10)는 lithium niobate(LiNbO_3 , LN)이나 barium titanate(BaTiO_3 , BTO)이 사용된 종래의 광 위상 이동기와 비교하여 전기광학 계수가 큰 KTN(KTaNbO_3)이 사용됨으로, 광변조기의 변조 효율을 향상시킬 수 있다.

[0058] 도 8은 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 제조 방법 중 S110 단계 및 S120 단계를 설명하기 위한 도면이고, 도 9는 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 제조 방법 중 S130 단계를 설명하기 위한 도면이고, 도 10은 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 제조 방법 중 S140 단계를 설명하기 위한 도면이고, 도 11은 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 제조 방법 중 S150 단계를 설명하기 위한 도면이고, 도 12는 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 제조 방법 중 S160 단계를 설명하기 위한 도면이고, 도 13은 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 제조 방법 중 S170 단계를 설명하기 위한 도면이다.

[0059] 도 8을 참조하면, 기판 구조체(S)가 준비될 수 있다(S110). 일 실시 예에 따르면, 상기 기판 구조체(S)는 실리콘 기판(100a), 상기 실리콘 기판(100a) 상에 배치된 클래드층(200), 상기 클래드층(200) 상에 배치된 중간막(300), 및 상기 클래드층(200) 내에 배치된 실리콘 도파로(100b)를 포함할 수 있다. 상기 실리콘 도파로(100b)는 상기 중간막(300)과 접촉되도록 형성될 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 실리콘 도파로(100b)는 길이 방향(Y축 방향)을 따라 면적이 점차적으로 작아진 후 다시 점차적으로 증가하도록 형성될 수 있다.

[0060] 커팅 라인(CL)이 형성된 KTN(KTaNbO_3) 기판(KS)이 준비될 수 있다(S120). 일 실시 예에 따르면, 커팅 라인(CL)이 형성된 상기 KTN 기판(KS)을 준비하는 단계는, KTN 기판을 준비하는 단계(S121), 상기 KTN 기판 상에 하드마스크(M)를 증착하는 단계(S122), 및 하드마스크(M)가 증착된 상기 KTN 기판 내에 이온을 주입하는 단계(S123)를 포함할 수 있다. 상기 KTN 기판 내에 이온이 주입됨에 따라 상기 KTN 기판 내에는 커팅 라인(CL)이 형성될 수 있다. 상기 커팅 라인(CL)이 형성된 후, 상기 하드마스크(M)는 제거될 수 있다. 상기 하드마스크(M)는 상기 KTN 기판 내에 주입되는 이온에 의한 상기 KTN 기판의 표면 거칠기 저하 문제를 감소시킬 수 있다. 상기 KTN 기판(KS)내 상기 커팅 라인(CL)의 상부 영역은 제1 영역(KS_1)으로 정의되고, 상기 커팅 라인(CL)의 하부 영역은 제2 영역(KS_2)으로 정의될 수 있다.

[0061] 도 9를 참조하면, 상기 중간막(300)과 접촉되도록 상기 기판 구조체(S)와 상기 KTN 기판(KS)이 접합될 수 있다(S130). 보다 구체적으로, 상기 KTN 기판(KS)의 상기 제1 영역(K_1)이 상기 중간막(300)과 접촉되도록 상기 기판 구조체(S)와 상기 KTN 기판(KS)이 접합될 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 중간막(300)으로서 표면 조도가 낮은 물질(예를 들어, Al_2O_3)을 사용함으로써, 상기 기판 구조체(S)와 상기 KTN 기판(KS)의 접합력을 향상시킬 수 있다.

[0062] 도 10을 참조하면, 상기 KTN 기판(KS)의 상기 커팅 라인(CL) 하부 영역(제2 영역, KS_2)을 제거하여, 상기 기판 구조체(S) 상에 상기 커팅 라인(CL) 상부 영역(제1 영역, KS_1)으로 이루어진 KTN 박막(KP)을 잔존시킬 수 있다(S140). 일 실시 예에 따르면, 상기 커팅 라인(CL) 하부 영역(제2 영역, KS_2)은 어닐링 공정(Annealing)을 통해 제거될 수 있다.

[0063] 즉, 스마트 컷(smart cut) 방법을 통해, 상기 기판 구조체(S) 상에 상기 KTN 박막(KP)이 형성될 수 있다. KTN의 경우 실리콘(Si)과 비교하여 격자 구조 및 격자 상수가 현저히 다르므로, 실리콘(Si) 상에 박막을 형성하기 어려운 문제점이 있다. 하지만, 상술된 바와 같은 스마트 컷 방법을 사용할 경우, 실리콘(Si) 상에 KTN 박막을 용이하게 형성할 수 있다.

[0064] 도 11을 참조하면, 상기 KTN 박막(KP)을 식각하여 KTN 도파로(400)를 형성할 수 있다(S150). 보다 구체적으로, 상기 중간막(300)의 중앙부를 제외한 영역이 노출되도록 상기 KTN 박막(KP)을 식각할 수 있다. 이에 따라, 상기

중간막(300)을 사이에 두고 상기 실리콘 도파로(100b)와 이격되는 KTN 도파로(400)가 형성될 수 있다.

- [0065] 도 12 및 도 13을 참조하면, 상기 중간막(300) 상에 상기 KTN 도파로(400)를 덮는 보호막(500)이 형성될 수 있다. 이후, 상기 보호막(500)을 관통하되 상기 KTN 도파로(400)를 사이에 두고 서로 이격되도록 제1 전극(610) 및 제2 전극(620)이 형성될 수 있다. 이에 따라, 상기 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기가 제조될 수 있다.
- [0067] 이상, 본 발명의 제1 실시 예에 따른 광 위상 이동기 및 그 제조 방법이 설명되었다. 이하, 본 발명의 제2 실시 예에 따른 광 위상 이동기 및 그 제조 방법이 설명된다.
- [0068] 도 14는 본 발명의 제2 실시 예에 따른 광 위상 이동기를 설명하기 위한 도면이다.
- [0069] 도 14를 참조하면, 본 발명의 제2 실시 예에 따른 광 위상 이동기는 KTN(KTaNbO_3) 도파로(KW), 상기 KTN 도파로(KW) 상에 배치된 비정질(amorphous) 실리콘 도파로(SW), 상기 KTN 도파로(KW) 상에 배치되고 상기 비정질 실리콘 도파로(SW)의 일측과 이격되도록 배치되는 제1 전극(M_1), 및 상기 KTN 도파로(KW) 상에 배치되고 상기 비정질 실리콘 도파로(SW)의 타측과 이격되도록 배치되는 제2 전극(M_2)을 포함할 수 있다.
- [0070] 상기 제2 실시 예에 따른 광 위상 이동기는 상기 제1 전극(M_1)과 상기 제2 전극(M_2) 사이에 형성된 전기장에 의해 상기 KTN 도파로(KW)의 굴절률이 변화되고, 상기 굴절률 변화에 의해 상기 KTN 도파로(KW)를 통과하는 빛의 위상이 제어될 수 있다.
- [0071] 상기 제2 실시 예에 따른 광 위상 이동기는 빛이 상기 KTN 도파로(KW)뿐만 아니라 양옆으로 퍼지는 TE(Transverse Electric) 모드와 상기 KTN 도파로(KW)뿐만 아니라 위아래로 퍼지는 TM(Transverse Magnetic) 모드 중 TM 모드로 동작됨으로써 소자의 성능이 향상될 수 있다. 또한, 상기 광 위상 이동기(10)는 긴 파장의 빛을 사용함으로써 소자의 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0072] 도 15는 본 발명의 제2 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 제조 공정을 설명하기 위한 도면이다.
- [0073] 도 15를 참조하면, KTN 도파로(KW) 상에 비정질 실리콘막(SW)을 형성한 후, 상기 비정질 실리콘막(SW) 상에 절연막(IS)을 형성할 수 있다(S210). 일 실시 예에 따르면, 상기 절연막(IS)은 실리콘 산화물(SiO_2)을 포함할 수 있다. 또한, 상기 절연막(IS)은 습식 산화를 통해 형성될 수 있다.
- [0074] 상기 절연막(IS)의 중앙부 상에 포토레지스트(PR)가 배치될 수 있다(S220). 이후, 상기 포토레지스트(PR)를 통해 상기 절연막(IS) 및 상기 비정질 실리콘막(SW)이 식각될 수 있다(S230). 이에 따라, 상기 KTN 도파로(KW)의 중앙부를 제외한 영역이 노출될 수 있다. 식각된 상기 비정질 실리콘막(SW)은 비정질 실리콘 도파로(SW)로 정의될 수 있다. 상기 비정질 실리콘 도파로(SW)는 450 nm의 폭과 400 nm의 높이를 갖도록 형성될 수 있다.
- [0075] 노출된 상기 KTN 도파로(KW) 상에 제1 전극(M_1) 및 제2 전극(M_2)을 형성할 수 있다(S240). 최종적으로 리프트 오프(lift-off) 공정을 하고, 상기 비정질 실리콘 도파로(SW) 상에 잔존된 상기 절연막(IS)을 제거할 수 있다. 이에 따라, 상기 제2 실시 예에 따른 광 위상 이동기가 제조될 수 있다.
- [0077] 이상, 본 발명의 제2 실시 예에 따른 광 위상 이동기 및 그 제조 방법이 설명되었다. 이하, 본 발명의 제3 실시 예에 따른 광 위상 이동기 및 그 제조 방법이 설명된다.
- [0078] 도 16은 본 발명의 제3 실시 예에 따른 광 위상 이동기를 설명하기 위한 도면이다.
- [0079] 도 16을 참조하면, 본 발명의 제3 실시 예에 따른 광 위상 이동기는 베이스 실리콘 도파로(SW_1), 상기 베이스 실리콘 도파로(SW_1) 상에 배치된 클래드층(IB), 상기 클래드층(IB) 상에 배치된 KTN(KTaNbO_3) 도파로(KW), 상기 KTN 도파로(KW) 상에 배치된 비정질(amorphous) 실리콘 도파로(SW_2), 상기 KTN 도파로(KW) 상에 배치되고 상기 비정질 실리콘 도파로(SW_2)의 일측과 이격되도록 배치되는 제1 전극(M_1), 및 상기 KTN 도파로(KW) 상에 배치되고 상기 비정질 실리콘 도파로(SW)의 타측과 이격되도록 배치되는 제2 전극(M_2)을 포함할 수 있다.
- [0080] 상기 제3 실시 예에 따른 광 위상 이동기는 상기 제1 전극(M_1)과 상기 제2 전극(M_2) 사이에 형성된 전기장에 의해 상기 KTN 도파로(KW)의 굴절률이 변화되고, 상기 굴절률 변화에 의해 상기 KTN 도파로(KW)를 통과하는 빛의 위상이 제어될 수 있다.
- [0081] 상기 제3 실시 예에 따른 광 위상 이동기는 빛이 상기 KTN 도파로(KW)뿐만 아니라 양옆으로 퍼지는

TE(Transverse Electric) 모드와 상기 KTN 도파로(KW)뿐만 아니라 위아래로 퍼지는 TM(Transverse Magnetic) 모드 중 TM 모드로 동작됨으로써 소자의 성능이 향상될 수 있다. 또한, 상기 광 위상 이동기(10)는 긴 파장의 빛을 사용함으로써 소자의 성능을 향상시킬 수 있다.

[0082] 도 17은 본 발명의 제3 실시 예에 따른 광 위상 이동기의 제조 공정을 설명하기 위한 도면이다.

[0083] 도 17을 참조하면, 베이스 실리콘 도파로(SW₁) 상에 클래드층(IB)이 형성된 구조체를 준비한 후, 상기 클래드층(IB) 상에 KTN(KW) 도파로를 형성할 수 있다(S310). 일 실시 예에 따르면, 상기 KTN 도파로(KW)는 스마트 컷(smart cut) 방식으로 형성될 수 있다. 이와 달리, 다른 실시 예에 따르면, 상기 KTN 도파로(KW)는 에피택셜(epitaxial) 성장을 통해 형성될 수 있다.

[0084] 상기 KTN 도파로(KW)상에 비정질 실리콘막(SW₂)이 형성될 수 있다(S320). 일 실시 예에 따르면, 상기 비정질 실리콘막(SW₂)는 400 nm의 두께로 형성될 수 있다.

[0085] 상기 비정질 실리콘막(SW₂)의 중앙부 상에 포토레지스트(PR)가 배치될 수 있다(S330). 이후, 상기 포토레지스트(PR)를 통해 상기 비정질 실리콘막(SW₂)이 식각될 수 있다(S340). 이에 따라, 상기 KTN 도파로(KW)의 중앙부를 제외한 영역이 노출될 수 있다. 식각된 상기 비정질 실리콘막(SW₂) 비정질 실리콘 도파로(SW₂)로 정의될 수 있다. 상기 비정질 실리콘 도파로(SW₂)는 450 nm의 폭을 갖도록 형성될 수 있다.

[0086] 노출된 상기 KTN 도파로(KW) 상에 제1 전극(M₁) 및 제2 전극(M₂)을 형성하고 리프트 오프(lift-off) 공정을 수행할 수 있다(S350). 이에 따라, 상기 제3 실시 예에 따른 광 위상 이동기가 제조될 수 있다.

[0088] 이상, 본 발명의 실시 예들에 따른 광 위상 이동기 및 그 제조 방법이 설명되었다. 이하, 본 발명의 실시 예들에 따른 광 위상 이동기의 구체적인 실험 예 및 특성 평가 결과가 설명된다.

[0089] 실험 예 1에 따른 광 위상 이동기 제조

[0090] SOI 기판에 Si 광도파관 등 수동 광소자를 제작한 후 KTN 기판과의 bonding을 위한 중간막을 증착했다. KTN 기판 상에 하드마스크를 증착한 후 이온 주입 공정을 진행하여 커팅 라인을 형성하였다.

[0091] 커팅 라인이 형성된 KTN 기판을 뒤집어 SOI 위에 접합하고, 어닐링(Annealing) 공정을 통해 KTN 기판 하부 영역을 제거하였다. 이에 따라, SOI 기판 위에 KTN 기판 상부 영역으로 이루어진 KTN 박막을 잔존시켰다. 이후, 건식 식각을 이용하여 KTN 도파관을 형성하고, 보호막 및 전극을 형성하였다.

[0092] 최종적으로, 도 3 내지 도 7을 참조하여 설명된 구조를 갖는 광 위상 이동기를 제조하였다.

[0094] 실험 예 2에 따른 광 위상 이동기 제조

[0095] KTN 기판 위에 비정질 실리콘을 400 nm 두께로 증착한 후, 습식산화를 통해 SiO₂를 형성했다. 림(Rib) 부분의 폭을 450 nm로 형성하기 위한 PR 코팅을 하고 PR을 패터닝 했다. 리소그래피(Lithography) 공정을 진행한 후 에칭(etching)하며, PR strip 했다. 전극 형성을 위해 PR 코팅 및 패터닝을 하고 전극을 증착시켰다. 그 후 리프트 오프(lift-off) 공정을 수행하였다.

[0096] 최종적으로, 도 14를 참조하여 설명된 구조를 갖는 광 위상 이동기를 준비했다.

[0098] 실험 예 3에 따른 광 위상 이동기 제조

[0099] BOX/Si 기판(SOI) 위에 스마트 컷(smart cut) 방식 또는 에피택셜(epitaxial) 성장 방식을 이용하여 KTN 박막을 형성했다. KTN 박막 상에 비정질 실리콘을 400 nm 두께로 증착했다. Rib 부분의 폭을 450 nm로 형성하기 위한 PR 코팅을 하고 PR을 패터닝 했다. 리소그래피(Lithography) 공정을 진행한 후 에칭(etching)하며, PR strip 했다. 전극 형성을 위해 PR 코팅 및 패터닝을 하고 전극을 증착시켰다. 그 후 리프트 오프(lift-off) 공정을 수행하였다.

[0100] 최종적으로, 도 16을 참조하여 설명된 구조를 갖는 광 위상 이동기를 준비했다.

[0102] 도 18 및 도 19는 본 발명의 실험 예 2에 따른 광 위상 이동기의 광학모드 계산 결과를 나타내는 도면이다.

[0103] 도 18 및 도 19를 참조하면, 상기 실험 예 2에 따른 광 위상 이동기를 준비한 후 파장에 따른 광학모드 계산 결과를 나타낸다. 구체적으로, 도 18 및 도 19의 (a)는 TE(Transverse Electric) 모드의 결과를 나타내고 도 18

및 도 19의 (b)는 TM(Transverse Magnetic) 모드의 결과를 나타낸다. 또한, 도 18은 1.3 μm 파장에서의 결과를 나타내고, 도 19는 1.55 μm 파장에서의 결과를 나타낸다.

[0104] 도 18 및 도 19에서 확인할 수 있듯이 상기 실험 예 2에 따른 광 위상 이동기의 경우 광도파로의 릿(Rib) 부분에 빛이 속박되는 것을 볼 수 있다. TE 모드의 경우 빛이 릿(Rib) 부분뿐만 아니라 릿(Rib)의 양 옆쪽으로도 퍼지며, TM 모드의 경우 빛이 릿(Rib) 부분뿐만 아니라 릿(Rib)의 위아래로도 퍼진다. 또한, 빛의 파장이 길어질수록 그 퍼지는 정도가 크다. KTN 도파로와 빛이 더 많은 상호작용을 함으로써 소자의 성능을 향상시킬 수 있다. 이에 따라, 상기 실험 예 2에 따른 광 위상 이동기는 TE 모드보다는 TM 모드를 사용함으로써 소자의 성능을 향상시킬 수 있고, 파장이 짧은 빛보다는 파장이 긴 빛을 사용함으로써 소자의 성능을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

[0105] 도 20 및 도 21은 본 발명의 실험 예 3에 따른 광 위상 이동기의 광학모드 계산 결과를 나타내는 도면이다.

[0106] 도 20 및 도 21을 참조하면, 상기 실험 예 3에 따른 광 위상 이동기를 준비한 후 파장에 따른 광학모드 계산 결과를 나타낸다. 구체적으로, 도 20 및 도 21의 (a)는 TE(Transverse Electric) 모드의 결과를 나타내고 도 20 및 도 21의 (b)는 TM(Transverse Magnetic) 모드의 결과를 나타낸다. 또한, 도 20은 1.3 μm 파장에서의 결과를 나타내고, 도 21은 1.55 μm 파장에서의 결과를 나타낸다.

[0107] 도 20 및 도 21에서 확인할 수 있듯이 TE 모드의 경우 빛이 릿(Rib) 부분에 가장 많이 속박되어 있으며, 그 외에 릿(Rib)의 양 옆으로도 빛이 퍼진 것을 확인할 수 있다. TM 모드의 경우 빛이 릿(Rib)과 인접한 KTN 박막에 가장 많이 속박되어 있으며, 그 외에 릿(Rib) 부분을 포함한 상하 부분에도 빛이 퍼진 것을 확인할 수 있다. 또한, 빛의 파장이 길어질수록 그 퍼지는 정도가 커짐을 알 수 있다. KTN 도파로와 빛이 더 많은 상호작용을 함으로써 소자의 성능을 향상시킬 수 있다. 이에 따라, 상기 실험 예 3에 따른 광 위상 이동기는 TE 모드보다는 TM 모드를 사용함으로써 소자의 성능을 향상시킬 수 있고, 파장이 짧은 빛보다는 파장이 긴 빛을 사용함으로써 소자의 성능을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

[0108] 도 22 및 도 23은 본 발명의 실험 예 1에 따른 광 위상 이동기의 광학모드 계산 결과를 나타내는 도면이다.

[0109] 도 22 및 도 23을 참조하면, 상기 실험 예 1에 따른 광 위상 이동기를 준비한 후 파장에 따른 광학모드 계산 결과를 나타낸다. 구체적으로, 도 22 및 도 23의 (a)는 TE(Transverse Electric) 모드의 결과를 나타내고 도 22 및 도 23의 (b)는 TM(Transverse Magnetic) 모드의 결과를 나타낸다. 또한, 도 22는 1.3 μm 파장에서의 결과를 나타내고, 도 23은 1.55 μm 파장에서의 결과를 나타낸다.

[0110] 도 22 및 도 23에서 확인할 수 있듯이, TE 모드의 경우 빛이 릿(Rib) 부분에 가장 많이 속박되어 있으며, 그 외에 릿(Rib)의 양 옆으로도 빛이 퍼진 것을 확인할 수 있다. TM 모드의 경우 빛이 릿(Rib)의 상하 부분에 가장 많이 속박되어 있는 것을 확인할 수 있다. 또한, 빛의 파장이 길어질수록 그 퍼지는 정도가 큰 것을 알 수 있다. TE 모드의 경우, 빛의 파장이 짧아질수록 속박되는 정도가 큰 것을 알 수 있다.

[0111] KTN 도파로와 빛이 더 많은 상호작용을 함으로써 소자의 성능을 향상시킬 수 있다. 또한, KTN 도파로에 빛이 속박되지 않고 다른 곳으로 빛이 퍼진다는 것은 그만큼 손실되는 양이 커진다는 것을 의미하므로, 빛이 퍼지는 정도가 작은 소자가 성능이 좋다. 이에 따라, 상기 실험 예 1에 따른 광 위상 이동기는 TM 모드보다는 TE 모드를 사용함으로써 소자의 성능을 향상시킬 수 있고, 파장이 긴 빛보다는 파장이 짧은 빛을 사용함으로써 소자의 성능을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

[0112] 도 24는 본 발명의 실험 예에 따른 광변조 소자를 설명하기 위한 도면이다.

[0113] 도 24를 참조하면, KTN 도파로의 성능을 알아보기 위하여, KTN 도파로가 사용된 마하-젠더 광변조기를 준비하였다. 전극의 길이는 3 mm이고 전극 간 거리는 10 μm 이다. 또한, 사용된 빛 파장은 1550 nm이며 외부 전기장은 X 축 방향으로 인가하였다.

[0114] 또한, lithium niobate(LiNbO₃, LN) 및 barium titanate(BaTiO₃, BTO) 도파로가 사용된 광변조기 또한 준비하였다. LN 도파로가 사용된 광변조기는 비교 예 1에 따른 광변조기로 정의되고, BTO 도파로가 사용된 광변조기는 비교 예 2에 따른 광변조기로 정의된다.

[0115] 상기 실험 예 및 비교 예들에 따른 광변조기에 대한 전기광학 계수가 아래의 <표 1>을 통해 정리된다.

표 1

EO coefficient	Pockels, r_{s1} (out of plane) [pm/V]	Pockels, r_{eff} (in plane)	Kerr, s [$10^{-18} \text{ m}^2/\text{V}^2$]
비교 예 1 (LN)	-	214.93	-
비교 예 2 (BTO)	1640	1429	2290
실험 예 (KTN)	8000	5903	22000

Pockel 효과의 경우 전기장에 선형 비례하여 굴절률이 변화하는 효과이며, Kerr 효과의 경우 전기장의 제곱에 비례하여 굴절률이 변화하는 효과이다. KTN의 분극 방향이 기판에 수직인 경우가 out of plane으로 정의되고, 기판과 평행한 경우가 in plane)으로 정의된다. <표 1>에서 전기광학 계수를 비교하면 비교 예 1에 따른 광변조기(LN)가 가장 적으며, 비교 예 2에 따른 광변조기(BTO), 및 실험 예에 따른 광변조기(KTN) 순으로 값이 크다. 실험 예에 따른 광변조기(KTN)의 전기광학 계수가 현저히 크기 때문에 비교 예들에 따른 광변조기(LN, BTO) 보다 고성능의 광 위상 이동기가 구현될 수 있음을 알 수 있다.

도 25는 본 발명의 비교 예 2에 따른 광변조기가 포함하는 광 위상 이동기의 실험값과 이론 모델을 검증한 결과를 설명하기 위한 도면이다.

도 25를 참조하면, 도 24를 참조하여 설명된 모델을 통해 상기 비교 예 2에 따른 광 위상 이동기의 실험값과 이론 모델을 검증하였다. 도 25에서 확인할 수 있듯이, 보고된 BTO 광 위상 이동기의 실험값과 이론 모델의 결과가 유하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이에 따라, 해당 모델을 신뢰할 수 있음을 알 수 있다.

도 26은 본 발명의 실험 예 및 비교 예들에 따른 광변조기가 포함하는 광 위상 이동기의 전압에 따른 광출력 그래프이다.

도 26을 참조하면, 상기 실험 예에 따른 광 위상 이동기(KTN), 비교 예 1에 따른 광 위상 이동기(LN), 및 비교 예 2에 따른 광 위상 이동기(BTO)를 준비한 후, 각각에 대해 전압을 인가하였을 때 나오는 광출력을 나타낸다. 도 26에서 확인할 수 있듯이, 비교 예 1(LN), 비교 예 2(BTO), 및 실험 예(KTN) 순으로 더 작은 인가 전압으로 광출력을 1에서 0 또는 0에서 1로 바꿀 수 있음을 알 수 있다.

도 27은 본 발명의 실험 예 및 비교 예들에 따른 광변조기가 포함하는 광 위상 이동기의 성능을 비교하는 그래프이다.

도 27을 참조하면, 상기 실험 예에 따른 광 위상 이동기(KTN), 비교 예 1에 따른 광 위상 이동기(LN), 및 비교 예 2에 따른 광 위상 이동기(BTO)를 준비한 후, 각각에 대해 전압에 따른 $V\pi L\pi$ 를 계산하였다. $V\pi L\pi$ 는 광변조 효율로서 180도 위상 변화에 필요한 전압과 광 위상 이동기 길이의 곱으로 정의되며, 값이 낮을수록 낮은 전압과 작은 길이로 구현 가능함으로 좋은 효율을 의미한다. 도 27에서 확인할 수 있듯이, 상기 실험 예에 따른 광 위상 이동기(KTN)는 비교 예 1 및 비교 예 2에 따른 광 위상 이동기(LN, BTO)보다 낮은 $V\pi L\pi$ 값을 갖는 것을 알 수 있다.

도 28은 본 발명의 실험 예에 따른 광변조기가 포함하는 광 위상 이동기의 성능 그래프이다.

도 28을 참조하면, 상기 실험 예에 따른 광 위상 이동기에 대해 전압에 따른 $V\pi L\pi$ 값을 확대하여 나타낸다. 도 28에서 확인할 수 있듯이, Pockels(in plane), Pockels(out of plane), 및 Kerr 효과 순으로 전기광학 효과가 크게 나타나며 그만큼 광 변조 효율도 좋게 나타나는 것을 알 수 있다. 상기 실험 예에 따른 광 위상 이동기는 광 변조 효율이 0.05 Vcm 이하로 고성능을 갖는 것을 알 수 있다.

이상, 본 발명을 바람직한 실시 예를 사용하여 상세히 설명하였으나, 본 발명의 범위는 특정 실시 예에 한정되는 것은 아니며, 첨부된 특허청구범위에 의하여 해석되어야 할 것이다. 또한, 이 기술분야에서 통상의 지식을 습득한 자라면, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않으면서도 많은 수정과 변형이 가능함을 이해하여야 할 것이다.

부호의 설명

10: 광 위상 이동기

100a: 실리콘 기판

100b: 실리콘 도파로

200: 클래드층

300: 중간막

400: KTN 도파로

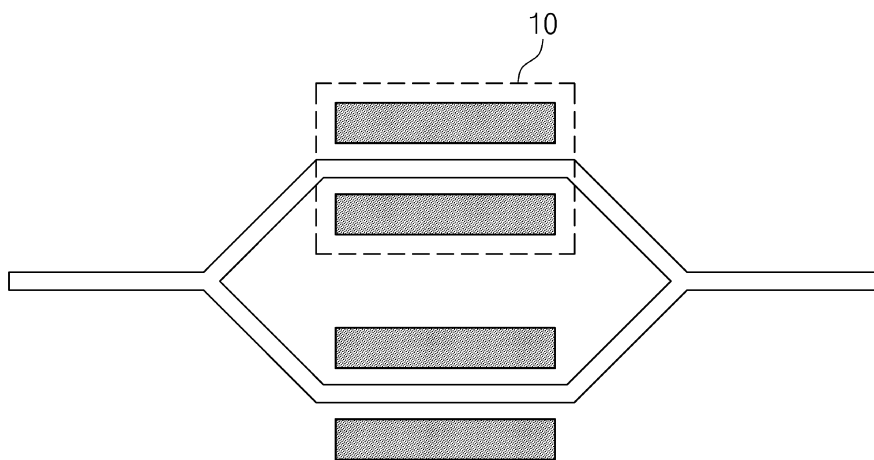
500: 보호막

610: 제1 전극

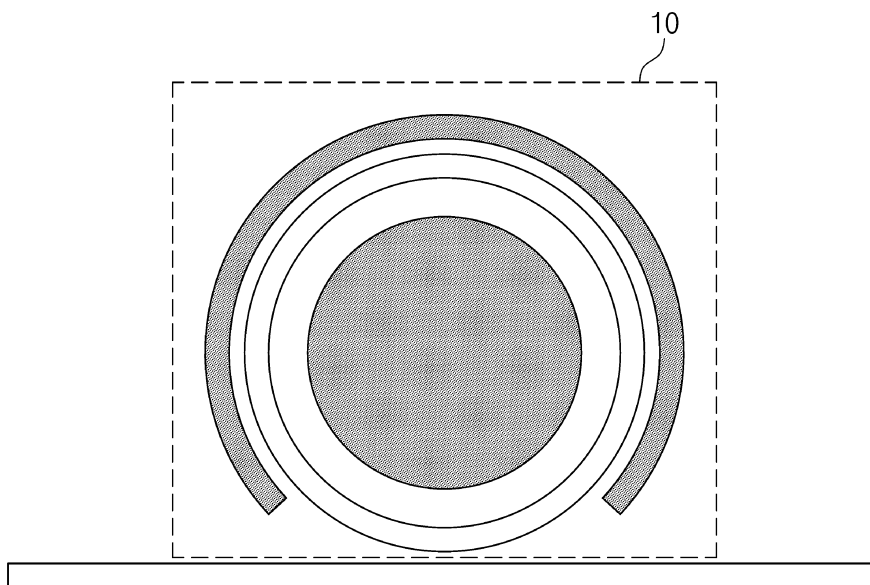
620: 제2 전극

도면

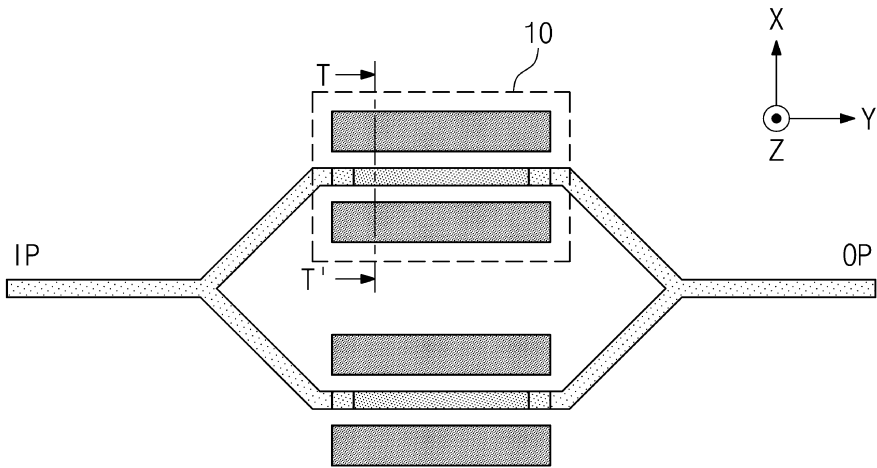
도면1



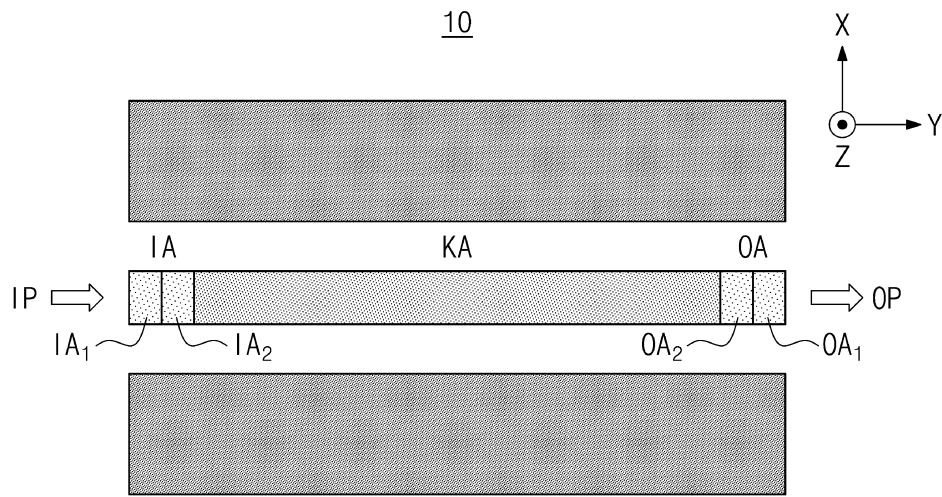
도면2



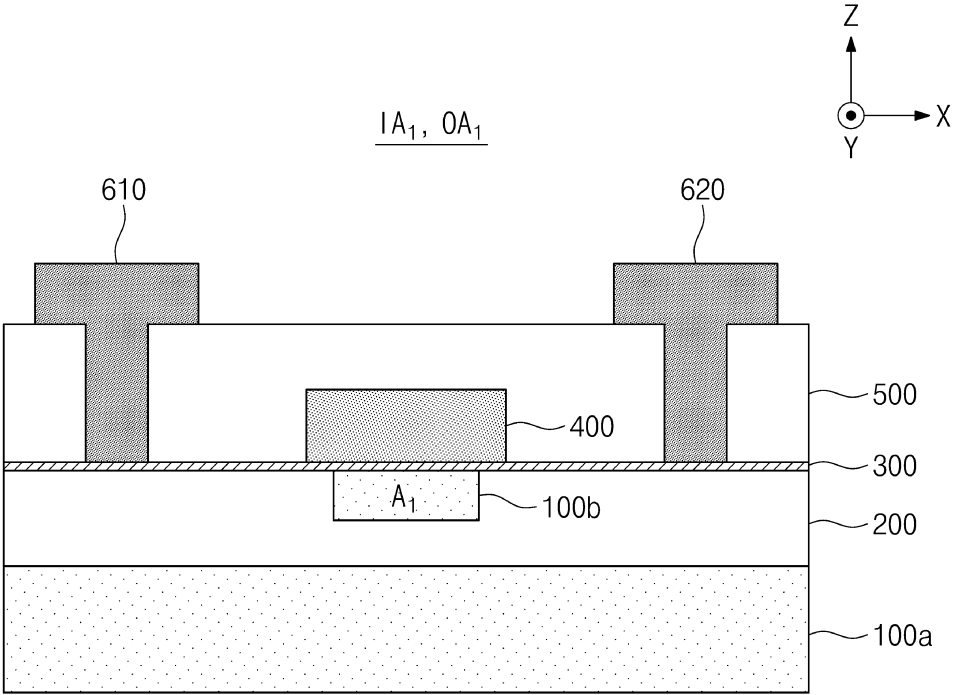
도면3



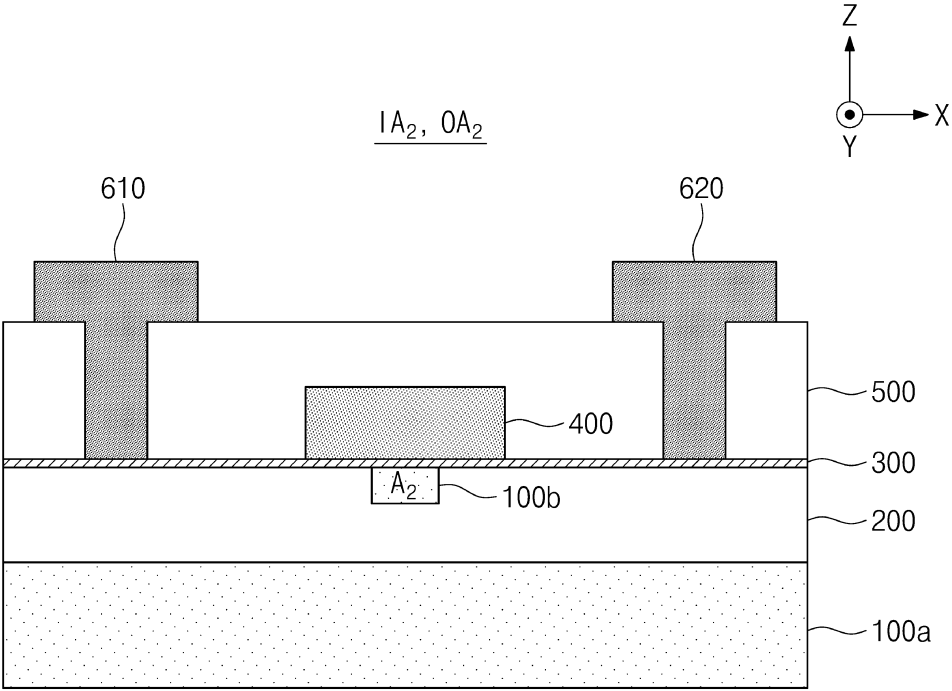
도면4



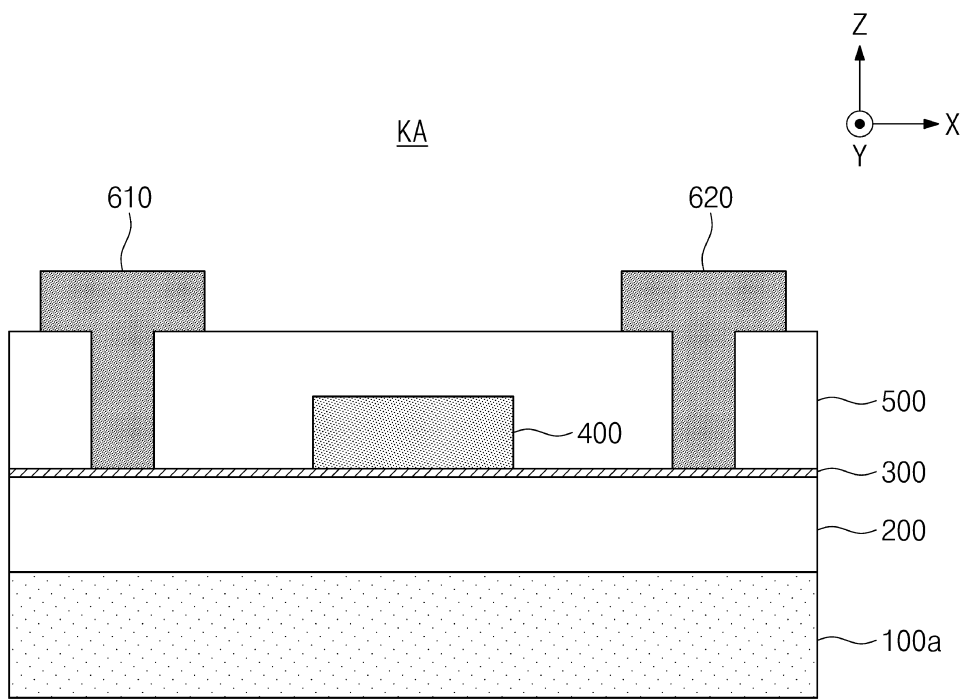
도면5



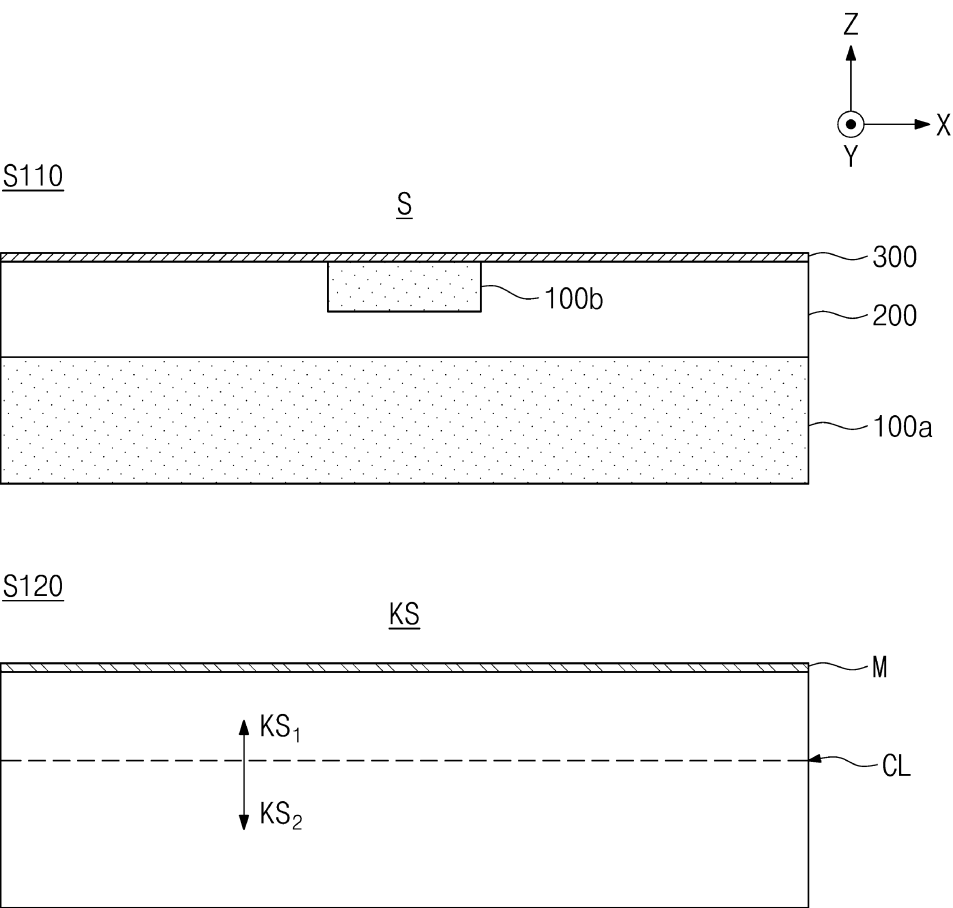
도면6



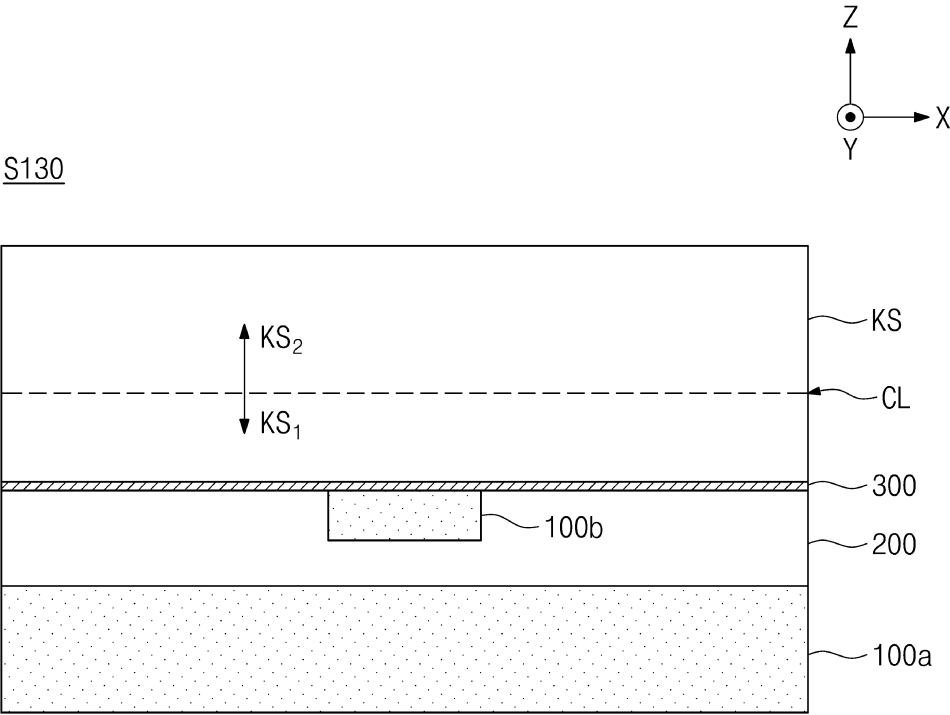
도면7



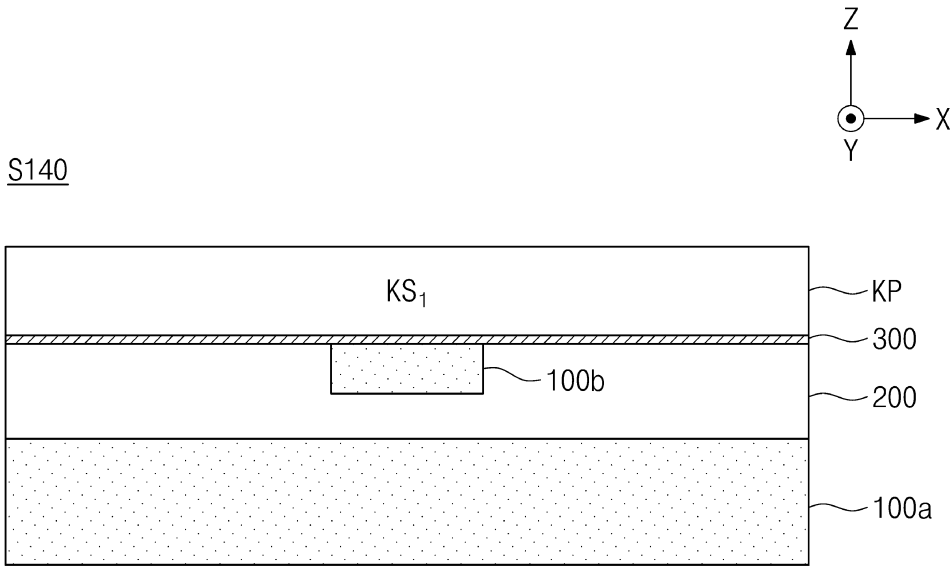
도면8



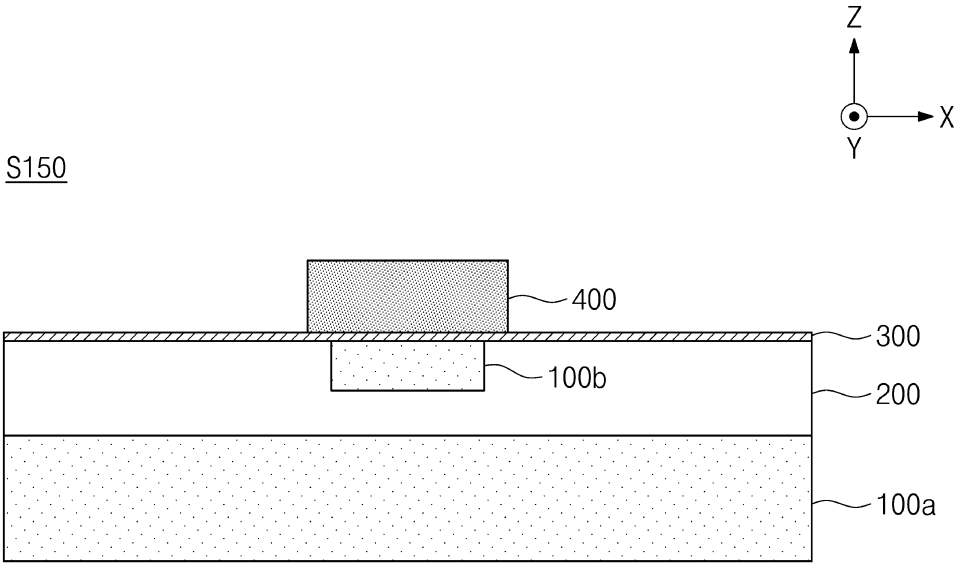
도면9



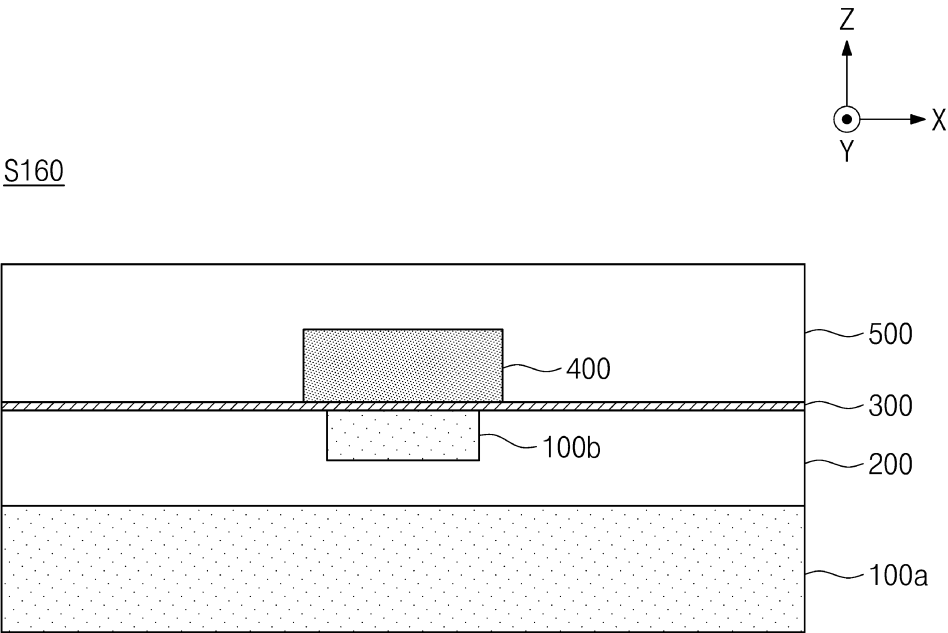
도면10



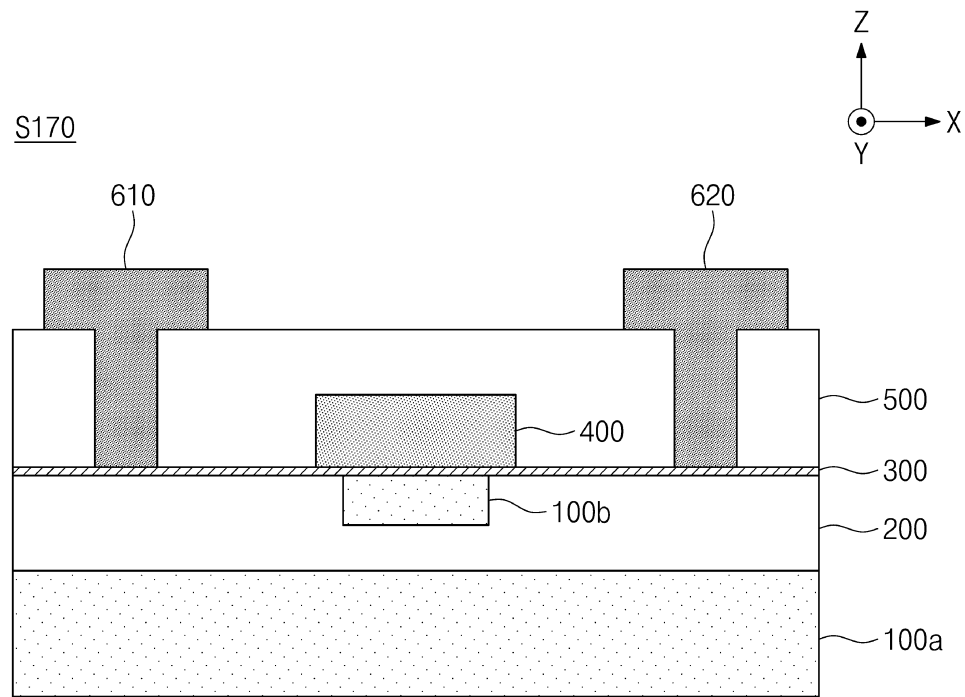
도면11



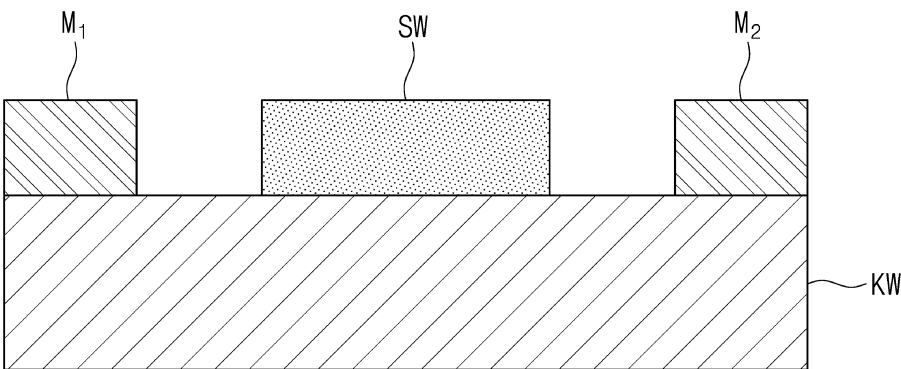
도면12



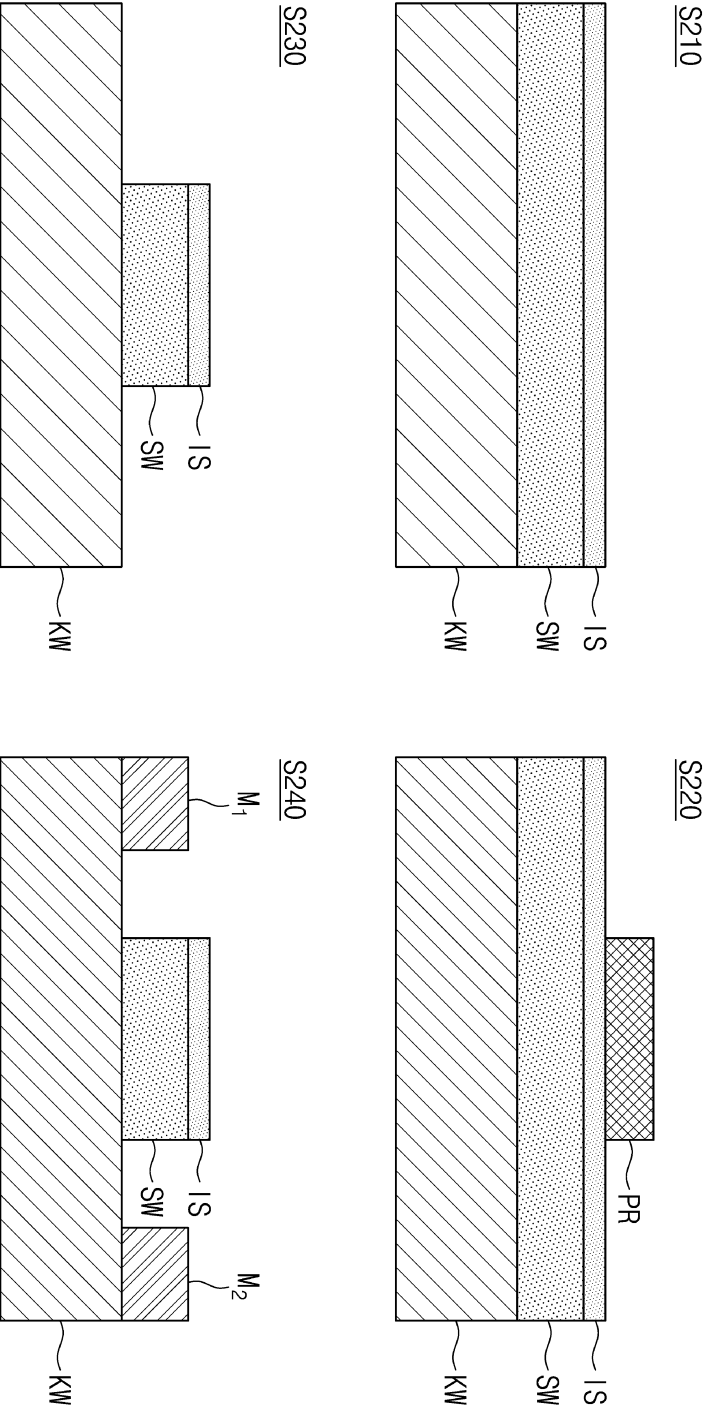
도면13



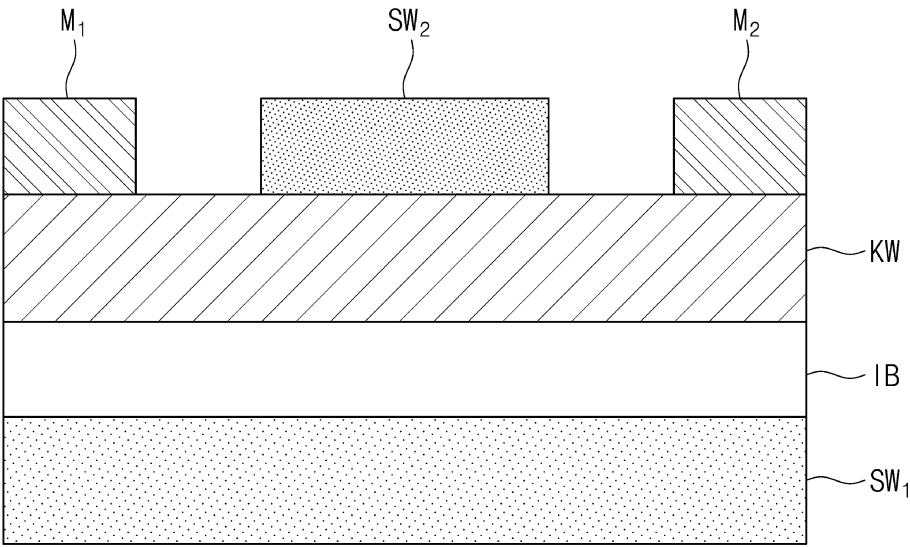
도면14



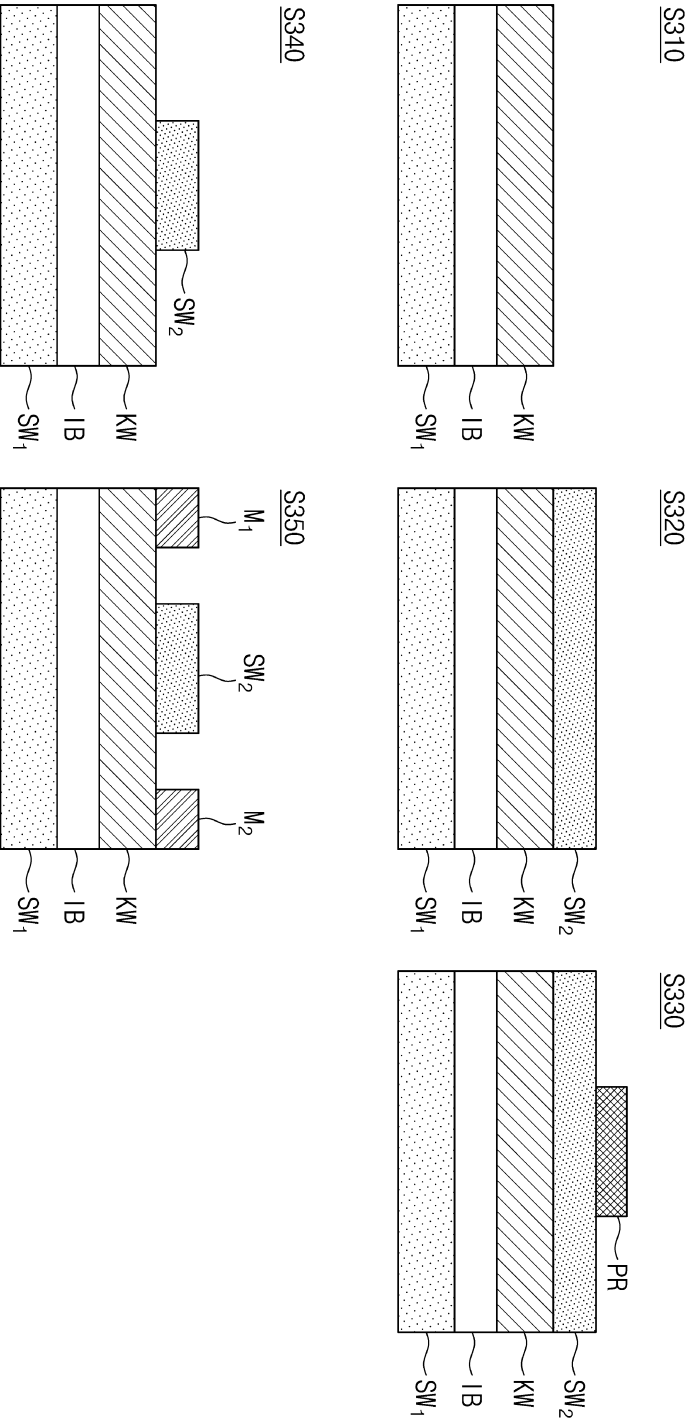
도면15



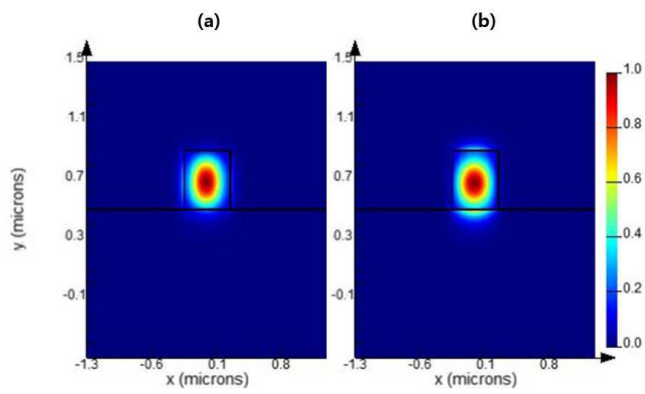
도면16



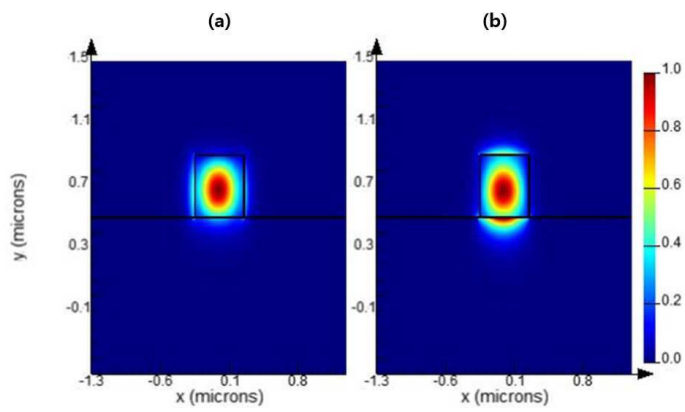
도면17



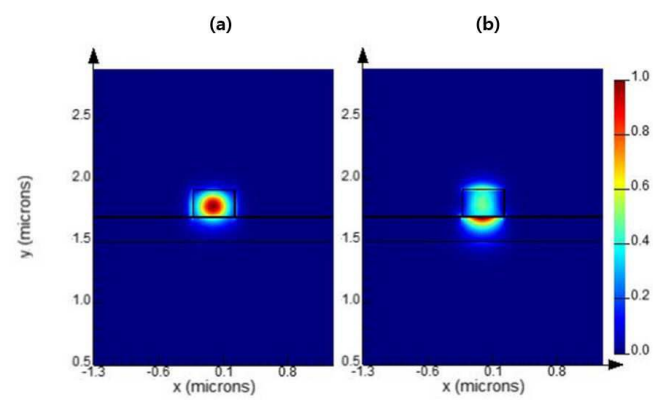
도면18



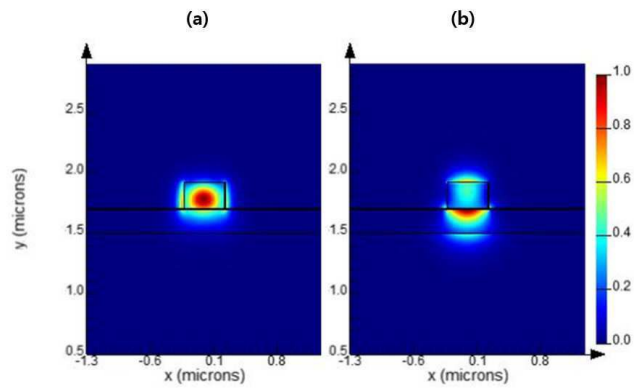
도면19



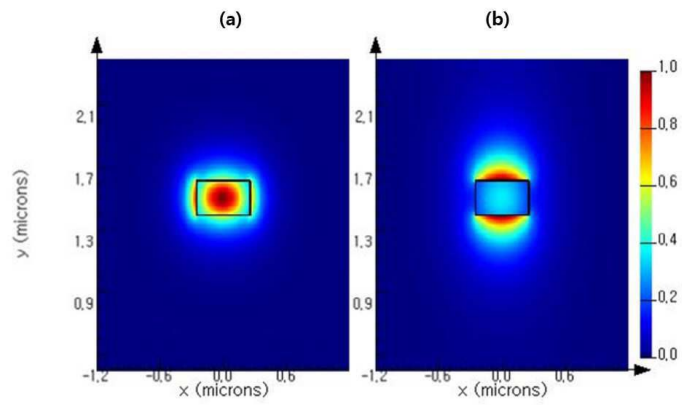
도면20



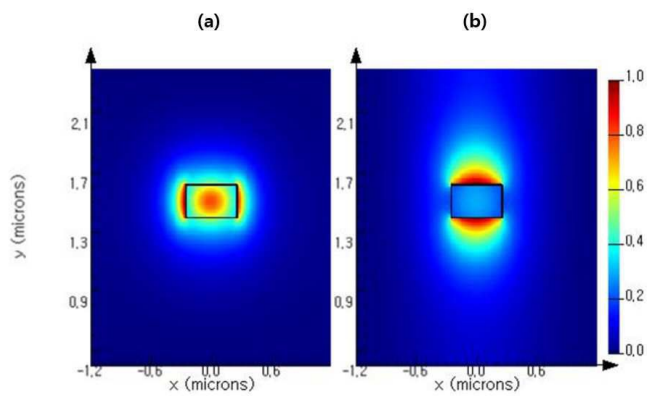
도면21



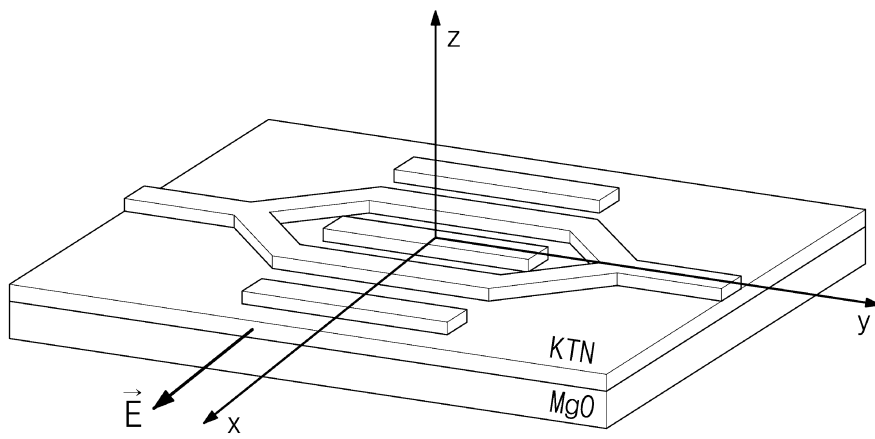
도면22



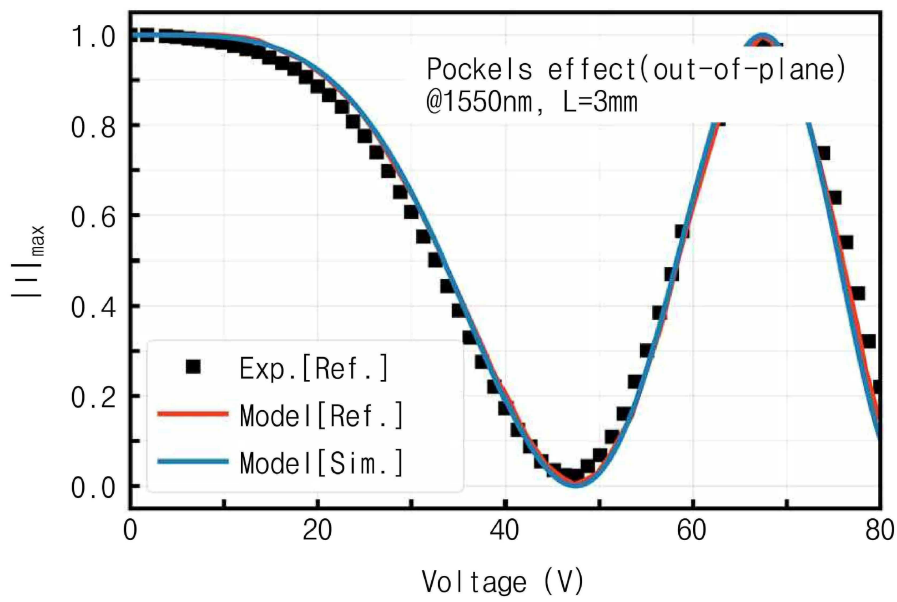
도면23



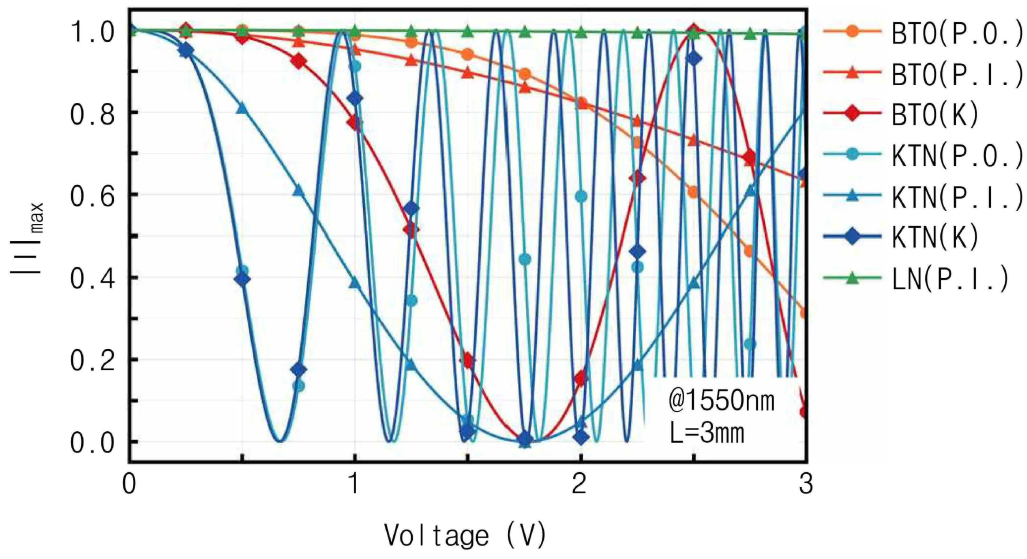
도면24



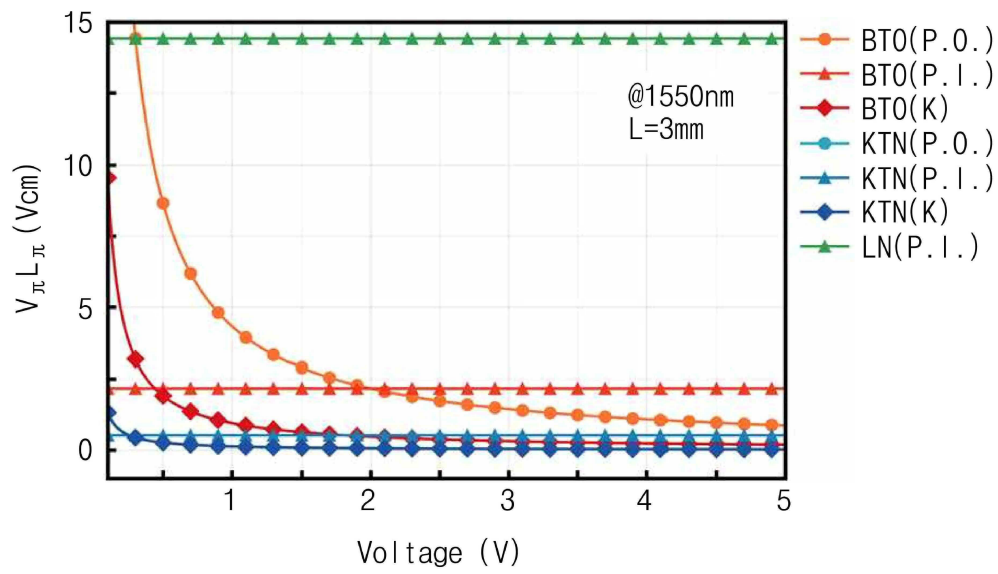
도면25



도면26



도면27



도면28

