



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년03월09일
(11) 등록번호 10-1836613
(24) 등록일자 2018년03월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02F 1/025 (2006.01) G02B 6/293 (2006.01)
H01Q 3/26 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02F 1/025 (2013.01)
G02B 6/29304 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0043727
(22) 출원일자 2016년04월08일
심사청구일자 2016년04월08일
(65) 공개번호 10-2017-0115903
(43) 공개일자 2017년10월18일
(56) 선행기술조사문헌
US20140192394 A1*
KR101561368 B1*
US20120183251 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국과학기술원
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)
(72) 발명자
박효훈
대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원)
김중훈
대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원)
박지환
대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원)
(74) 대리인
양성보

전체 청구항 수 : 총 2 항

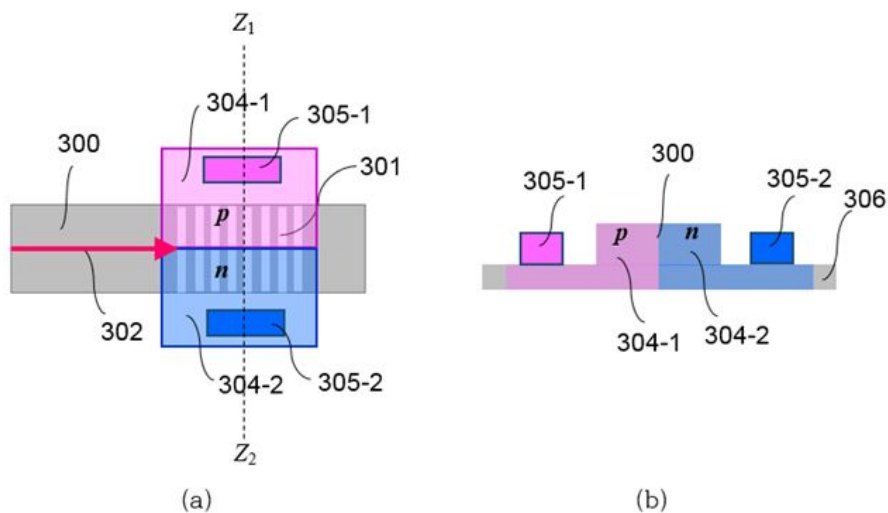
심사관 : 박정근

(54) 발명의 명칭 광파가 공간으로 방사되는 방사각을 조절하는 광 발산기

(57) 요약

광 위상 배열 안테나에서 이용되는 광 발산기는 반도체 소재를 이용한 도파로 코어와 도파로 클래드를 포함한 광 도파로; 및 상기 광 도파로의 일방향으로 입사되는 입력 광파의 산란을 이용하여 출력 광파를 공간으로 방사하는 격자를 포함하고, 상기 광 발산기는 상기 공간으로 방사되는 출력 광파의 방사각을 조절하기 위하여 상기 격자의 유효 굴절률을 변화시킨다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류
H01Q 3/2676 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	N04140260
부처명	미래창조과학부, 산업통상자원부, 방위사업청
연구관리전문기관	민군협력센터
연구사업명	민군협력사업
연구과제명	라이다용 2-D Nano- photonic phased array 기반 전기식위상제어 빔포밍 광소자 연구
기여율	1/1
주관기관	한국과학기술원
연구기간	2014.12.18 ~ 2017.12.17

명세서

청구범위

청구항 1

광 위상 배열 안테나에서 이용되는 광 발산기에 있어서,
반도체 소재를 이용한 도파로 코어와 도파로 클래드를 포함한 광 도파로; 및
상기 광 도파로의 일방향으로 입사되는 입력 광파의 산란을 이용하여 출력 광파를 공간으로 방사하는 격자
를 포함하고,
상기 광 발산기는
상기 공간으로 방사되는 출력 광파의 방사각을 조절하기 위하여, 상기 입력 광파의 중심 파장, 상기 격자의 주기 및 상기 도파로 클래드의 굴절률을 기초로 상기 격자의 유효 굴절률을 변화시키고,
상기 격자의 유효 굴절률을 변화시키기 위해, electro-optic 효과 또는 thermo-optic 효과 중 어느 하나의 효과를 이용하여,
상기 격자 내 또는 인근에 p-n 접합 또는 p-i-n 접합 중 어느 하나의 구조를 형성하여, 상기 p-n 접합 구조에서는 역전압을 인가하고 상기 p-i-n 접합 구조에서는 순전압을 인가함으로써, electro-optic 효과를 이용하거나,
상기 격자 내 또는 인근에 p-n 접합 구조를 형성하여, 상기 p-n 접합 구조에 역전압을 인가함으로써, 파괴 전압 이상의 전압에 따른 파괴전류로 Joule 열을 발생시켜 상기 격자의 온도를 상승시키는 thermo-optic 효과를 이용하는, 광 발산기.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 격자는
상기 입력 광파의 산란이 발생되도록 상기 광 도파로 상부 또는 하부에 주기적으로 형성되고,
상기 광 발산기는
상기 출력 광파의 방사 범위가 상기 격자의 종방향으로 넓어지도록 상기 방사각을 조절하는, 광 발산기.

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 아래의 실시예들은 광파(light wave)를 공간(free space)으로 방사하는 광 발산기에 관한 것으로, 보다 상세하게는 광파가 방사되는 방사각을 조절하는 광 발산기에 대한 기술이다. 제안되는 광 발산기는 격자의 종방향 방사각을 변조할 수 있는 격자 구조를 이용함으로써, 설계된다.

배경 기술

[0002] 광 위상 배열 안테나는 무인자동차, 로봇 등에서 영상 스캐닝을 위해 광 빔을 주사하는 광원으로 사용될 수 있다. 다양한 분야에서 응용을 위한 광 위상 배열 안테나의 바람직한 성능은 크기가 작고, 광 빔 발산 효율이 높고, 선명한 빔을 형성하고, 빔 스캐닝 범위가 넓어야 한다. 이러한 여러 가지 요구 성능 중에서 소형화를 달성하기 위해서는 반도체 소재를 기반으로 하는 광 위상 배열 안테나 구성이 필요하다. 또한, 광 빔의 발산 효율, 선명도, 그리고 스캐닝의 성능들은 광파를 발산하는 광 발산기의 구조에 크게 의존되므로, 아래의 실시예들에서는 광 발산기에 대한 구체적인 구조를 반도체 소재를 기반으로 제안하고자 한다.

[0003] 여기서, 반도체 소재에는 실리콘, 화합물 소재 반도체뿐만 아니라 이들 소재의 광 소자 제작에 사용되는 실리콘산화물, 실리콘 질화물 등의 절연체(dielectric) 소재와 금속 박막 소재들을 포함한다.

[0004] 나노포토닉스 기반의 광 위상 배열 안테나에 대한 종래의 발명(US Patent Application 2014/0192394 A1) 및 본 연구실의 종전의 발명(PCT/KR2015/012199)을 통하여 반도체 실리콘 소재를 기반으로 하는 격자구조의 위상제어 안테나 구조들이 제안된 바 있다.

[0005] 종래의 발명에서 격자구조의 광 발산기는 격자의 주기, 입력 광의 파장에 의해 격자로부터 방사되는 출력 광파의 종방향 방사방향은 특정 방향으로 제한이 된다. 이로 인하여 위상정합 빔의 종방향 스캐닝 범위는 좁은 범위로 제한된다.

[0006] 구체적으로, MxN 2차원(2D) 위상배열 안테나 구조에서(예컨대, US Patent Application 2014/0192394 A1)는 방사방향을 종방향으로 연속적으로 변화시키기 위해서 행렬(matrix) 배치된 2D 위상배열의 열방향(column), 즉, 종방향으로 위상변화가 제공되어야 한다. 하지만, 2차원(2D) 위상배열에서는 열방향의 위상제어 기능을 얻기 위해 2D 배열의 복잡한 구조가 요구되는 문제점 및 여러 가지 기능을 갖는 구성 소자들이 각 발산기 단위마다 집적됨으로 인해 공간적인 제약에 의해 위상배열로 얻을 수 있는 종방향 스캐닝 범위가 10° 이내로 좁아지는 문제점이 있다.

[0007] 또한, 1xM 1차원(1D) 광 발산기 어레이와 같은 구조에서는 입사 파장을 변조시켜야만 종방향 방사방향을 능동적으로 변화시킬 수 있다. 하지만, 입사파장의 변조 기능을 제공하기 위해서는 넓은 범위의 파장변조 가능한 광원을 사용해야 하는 문제점이 있다.

[0008] 구체적으로, 본 연구실의 종전의 발명(PCT/KR2015/012199)에서 제안된 1xM형 기본 위상배열 안테나 구조는 도 1과 같다. 도 1에서 위상 배열 안테나를 구성하는 주요 소자들은 크게 광원(100)(light source), 광 파워 분배기(101-1, 101-2)(power distributor), 위상 제어기(102)(phase controller), 광 발산기(104)(radiator)로 구성되어 있다. 이들 구성 소자들 각각은 광 도파로(106)로 연결되어 있다. 예를 들어, 위상 제어기(102)와 광 발산기(104)는 광 도파로(106)로 서로 연결되어 있으며, 이 연결 도파로는 밀집도가 높아 도파로 간의 커플링(coupling)이 발생할 수 있어 그 배치가 중요하므로, 위상 공급선(103)(phase-feeding line)으로 구분되어 있다.

[0009] 도 1의 위상 배열에서는 광 발산기(104)의 길이방향으로 충분한 공간을 확보하기 위하여 1xM 발산기 어레이(105) 밖에 광 파워 분배기(101-1, 101-2), 위상 제어기(102), 위상 공급선(103) 들을 배치한 특징을 갖고 있다. 이 때, 1xM 발산기 어레이에서는 횡방향 위상변화만으로는 수직방향, 즉, 위도(latitude)방향의 스캐닝은 이루어지지 않는다. 이로 인해, 종래의 발명(PCT/KR2015/012199)은 1xM 발산기 어레이 N 개를 상하로 독립적으로 배치하고, 각 1xM 발산기 어레이에서 종방향 방사각도를 각기 다른 각도로 담당케 함으로써 2차원(2D) 공간의 빔 스캐닝 기능을 부여하는 구조를 제안하였다. 이러한 방식은 1xM 발산기 어레이 N 개를 상하로 배치해야 하는 문제를 안고 있다.

[0010] 따라서, 아래의 실시예들은 종방향 위상변조나 변조가능 광원을 사용할 필요 없이, 종방향 발산각을 직접 변조할 수 있는 광 발산기 구조를 제안한다. 특히, 1xM형 1D 위상배열 안테나 또는 종방향으로 위상배열에 독립성을 갖는 (1xM)xN형 위상배열 안테나의 특정 파장에서는 종방향 방사각에 대한 능동적인 제어가 불가능하기 때문에, 아래의 실시예들에 의해 제안되는 방사각 변조 가능한 발산기 구조는 상술한 두 가지 유형의 위상 배열 안테나에서 매우 유용하게 적용될 수 있다,

[0011] 이에, 아래의 실시예들은 격자 내에 또는 인근에 p형 또는 n형 도핑 영역을 형성하여 전압 인가 또는 전류 주입 시 electro-optic 효과 또는 thermo-optic 효과에 의한 굴절률의 변화를 이용함으로써, 변조 가능한 격자구조에서 방사각도를 격자의 종방향으로 조절하는 기술을 제안한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 일실시예들은 종방향 발산각 변조 가능한 광 발산기를 적용함으로써, 1xM 1D 어레이 하나만으로도 횡방향과 종방향에 모두 포함하는 2D 스캐닝 기능을 달성하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0013] 일실시예에 따르면, 광 위상 배열 안테나에서 이용되는 광 발산기는 반도체 소재를 이용한 도파로 코어와 도파로 클래드를 포함한 광 도파로; 및 상기 광 도파로의 일방향으로 입사되는 입력 광파의 산란을 이용하여 출력 광파를 공간으로 방사하는 격자를 포함하고, 상기 광 발산기는 상기 공간으로 방사되는 출력 광파의 방사각을 조절하기 위하여 상기 격자의 유효 굴절률을 변화시킨다.

[0014] 상기 격자는 상기 입력 광파의 산란이 발생되도록 상기 광 도파로 상부 또는 하부에 주기적으로 형성되고, 상기 광 발산기는 상기 출력 광파의 방사 범위가 상기 격자의 종방향으로 넓어지도록 상기 방사각을 조절할 수 있다.

[0015] 상기 광 발산기는 상기 격자의 주위에 전압인가 또는 전류주입을 통한 electro-optic 효과 또는 상기 전류주입을 통한 thermo-optic 효과 중 어느 하나의 효과를 이용하여 상기 격자의 유효 굴절률을 변화시킬 수 있다.

[0016] 상기 광 발산기는 상기 전압인가 또는 상기 전류주입을 통한 electro-optic 효과를 이용하기 위하여 상기 격자 내 또는 인근에 p-n 접합 또는 p-i-n 접합 중 어느 하나의 구조를 형성할 수 있다.

[0017] 상기 광 발산기는 상기 전류주입을 통한 thermo-optic 효과를 이용하기 위하여, 상기 격자 내 또는 인근에 p형 또는 n형 중 어느 하나의 형으로 도핑한 영역을 형성하고, 상기 도핑된 영역에 전류를 주입하여 발생하는 Joule 열로 상기 격자의 온도를 상승시킬 수 있다.

[0018] 상기 광 발산기는 상기 전류주입을 통한 thermo-optic 효과를 이용하기 위하여, 상기 격자 내 또는 인근에 p-n 접합을 형성하고, 상기 p-n 접합에 전류를 주입하여 발생하는 Joule 열로 상기 격자의 온도를 상승시킬 수 있다.

[0019] 상기 광 발산기는 상기 전류주입을 통한 thermo-optic 효과를 이용하기 위하여, 상기 격자 내 또는 인근에 형성된 p-n 접합에 역전압을 인가하고, 파괴전압 이상의 전압에 따른 파괴전류로 상기 격자의 온도를 상승시킬 수 있다.

[0020] 상기 광 발산기는 상기 격자의 주위에 배치되는 전극을 통하여 상기 전압인가를 수행할 수 있다.

발명의 효과

[0021] 일실시예들은 종방향 발산각 변조 가능한 광 발산기를 적용함으로써, 1xM 1D 어레이 하나만으로도 횡방향과 종방향에 모두 포함하는 2D 스캐닝 기능을 달성할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 종전의 발명에서 제안한 광 위상배열 안테나를 구성하는 주요 소자들을 나타내는 개략도이다.

도 2는 일실시예에 따른 광 발산기의 기본구조를 나타낸 개략도이다.

도 3은 일실시예에 따른 electro-optic 효과에 의해 변조 가능한 격자구조를 갖는 광 발산기의 구조로서, p-n 접합으로 구성된 광 발산기의 구조를 나타낸 도면이다.

도 4는 일실시예에 따른 electro-optic 효과에 의해 변조 가능한 격자구조를 갖는 광 발산기의 구조로서, p-i-n 접합으로 구성된 광 발산기의 구조를 나타낸 도면이다.

도 5는 일실시예에 따른 thermo-optic 효과에 의해 변조 가능한 격자구조를 갖는 광 발산기의 구조로서, p 또는 n 도핑 영역으로 구성된 광 발산기의 구조를 나타낸 도면이다.

도 6은 일실시예에 따른 thermo-optic 효과에 의해 변조 가능한 격자구조를 갖는 광 발산기의 구조로서, p-n 접합으로 구성된 광 발산기의 구조를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 이하, 첨부된 도면을 참조하면서 본 발명의 실시예들에 따른 격자구조 발산기에 대해 상세히 설명하기로 한다. 본 발명의 하기의 실시예들은 본 발명을 구체화하기 위한 것일 뿐 본 발명의 권리 범위를 제한하거나 한정하는 것이 아님은 물론이다. 본 발명의 상세한 설명 및 실시예들로부터 본 발명이 속하는 기술 분야의 전문가가 용이하게 유추할 수 있는 것은 본 발명의 권리 범위에 속하는 것으로 해석된다.

[0024] 도 2는 일실시예에 따른 광 발산기의 기본구조를 나타낸 개략도이다. 구체적으로, 도 2의 (a)는 광 발산기를 나타낸 종단면도이고, (b)는 광 발산기를 나타낸 평면도이다.

[0025] 도 2를 참조하면, 격자(201)는 일반적으로 광 도파로 코어(200)의 끝 부분에 위치하며, 광 도파로 코어(200)의 상부 또는 하부에 형성된다. 그러나 격자(201)는 광 도파로 코어(200) 부분에 한하지 않고, 코어(200)의 주위에도 형성할 수 있다. 도파로는 일반적인 반도체 또는 절연체 소재가 사용될 수 있으며, rib형, channel형 등의 도파로 구조로 제작 될 수 있다. 이 때, 도면에는 주요 설계변수를 제시하기 위하여, channel형 광 도파로를 예로 들어 도파로의 코어 부분만 도시되었고, 광 도파로 코어(200)의 상부에 형성된 격자(201)가 도시되어 있다.

[0026] 입력 광파(202)가 광 도파로 코어(200)를 통하여 입력되면, 격자(201) 부분에서 산란(scattering)이 일어나 외부 공간으로 비교적 넓은 범위에 걸쳐 펼쳐진 회절패턴의 출력 광파(203)가 방사(radiation)된다. 이 때, 격자 구조로부터 방사되는 출력 광파(203)의 원거리장의 방사각은 회절(diffraction) 원리에 의하여 수학식 1을 활용하여 설계될 수 있다.

[0027] <수학식 1>

[0028]
$$\lambda_0 / \Lambda_g = n_{\text{eff}} - n_c \sin \Theta$$

[0029] 수학식 1에서, λ_0 는 입력 광파(202)의 자유공간에서 중심 파장, Λ_g 는 격자(201)의 주기, n_{eff} 는 격자(201)를 포함하는 광 도파로(코어와 클래드를 포함한 전체 도파로)의 유효 굴절률(effective index), n_c 는 격자(201)가 형성된 광 도파로 코어(200) 위를 덮고 있는 클래드(clad)의 굴절률, 그리고 θ 는 주기적인 격자(201)로부터 산란된 광파의 회절로 형성된 회절패턴 중에서 빛의 세기가 가장 큰 중심에 해당되는 방사 각도(예컨대, 격자(201) 표면의 법선(normal)방향으로부터의 각도)를 나타낸다.

[0030] 여기서, 유효 굴절률 n_{eff} 는 광 도파로의 소재와 광파의 파장에 따른 굴절률(refractive index)을 기반으로 하여 광 도파로의 구조에 따라 정해진다. 또한, 클래드의 굴절률은 격자가 자유공간에 노출되어 있을 경우에는 $n_c = 1$ 로 나타낼 수 있다. 이러한 수식은 고전적인 회절원리에 기반을 두고 있으나, 격자(201)의 주기, 광 도파로 코어(200)의 너비와 두께 등의 기하학적인 규모가 회절한계(diffraction limit) 이하인 경우, 즉, 입력 광파(202)의 파장의 절반($\lambda_0/2$)에 가깝거나 이보다 작을 경우에는 고전적인 회절원리로서는 제대로 묘사하기 어려운 점이 있다. 그러나, 파장과 굴절률에 따라 방사 각도에 대한 개략적인 의존성은 수학식 1을 통하여 예상될 수 있다. 따라서, 일실시예들은 수학식 1에서 유효 굴절률 n_{eff} 을 전기적으로 변화시킴으로써 방사각 θ 를 제어할 수 있는 발산각 구조를 제안한다.

- [0031] 도 3은 일실시예에 따른 electro-optic 효과에 의해 변조 가능한 격자구조를 갖는 광 발산기의 구조로서, p-n 접합으로 구성된 광 발산기의 구조를 나타낸 도면이다. 구체적으로, 도 3의 (a)는 평면도이고, (b)는 $Z_1 - Z_2$ 선을 지나는 횡단면도이다.
- [0032] 도 4는 일실시예에 따른 electro-optic 효과에 의해 변조 가능한 격자구조를 갖는 광 발산기의 구조로서, p-i-n 접합으로 구성된 광 발산기의 구조를 나타낸 도면이다. 구체적으로, 도 4의 (a)는 평면도이고, (b)는 $Z_1 - Z_2$ 선을 지나는 횡단면도이다.
- [0033] p-n 접합 구조를 이용하는 도 3을 참조하면, (a)와 같이, p형 도핑 영역(304-1)과 n형 도핑 영역(304-2)이 광 도파로 코어(300) 내의 격자(301) 부분 또는 인근에 형성된다. 또한, 광 도파로 코어(300) 인근의 p형 도핑 영역(304-1)과 n형 도핑 영역(304-2)에 전극(305-1, 305-2)이 형성된다.
- [0034] 이와 같은 광 도파로 코어(300)에 입력 광파(302)가 입사되는 상태에서 두 전극들(305-1, 305-2) 사이에 전압 또는 전류가 인가되면, 도핑 영역(304-1, 304-2)에 캐리어(carrier) 농도, 즉, 전자(electron) 또는 홀(hole)의 농도가 증가하여 electro-optic 효과, 구체적으로 free carrier plasma dispersion(FCPD) 효과에 의하여 도핑된 영역의 굴절률이 변화하게 된다. 이 굴절률 변화로 인하여 도핑 영역의 격자(301)로부터 방사되는 출력 광파(203)의 방사각 θ 가 달라질 수 있다. Electro-optic 효과와 free carrier plasma dispersion(FCPD) 효과는 반도체의 광학에서 널리 알려진 효과이므로, 상세한 설명은 생략한다.
- [0035] p-i-n 접합 구조를 이용하는 도 4를 참조하면, (a)와 같이, p형 도핑 영역(404-1), i형 영역(404-3)과 n형 도핑 영역(404-2)이 광 도파로 코어(400) 내의 격자(401) 부분 또는 인근에 형성된다. 또한, 격자(401) 부분 인근의 p형 도핑 영역(404-1)과 n형 도핑 영역(404-2)에 전극(405-1, 405-2)이 형성된다.
- [0036] 두 전극들(405-1, 405-2) 사이에 전압 또는 전류가 인가되면, 도 3을 참조하여 설명한 바와 같은 원리로 electro-optic 효과, 즉, FCPD 효과에 의하여 도핑된 영역의 굴절률이 변화하게 되고, 이 굴절률 변화로 인하여 도핑 영역의 격자 (401)로부터 방사되는 출력 광파(203)의 방사각 θ 가 달라질 수 있다.
- [0037] 전압 또는 전류 인가에서 굴절률 변화를 보다 효과적으로 얻을 수 있는 바람직한 방법은 도 3의 p-n 접합 구조에서는 캐리어가 추출될 수 있도록 역전압(reverse bias)을 인가하며, 도 4의 p-i-n 접합 구조에서는 캐리어가 주입될 수 있도록 순전압(forward bias)을 인가하는 것이다.
- [0038] 이 때, 도핑된 영역의 격자(401)로부터 방사되는 출력 광파(203)의 방사각 θ 은 전극(405-1, 405-2)에 인가되는 전압의 값이 적절히 조절되어 제어될 수 있다.
- [0039] 도 5는 일실시예에 따른 thermo-optic 효과에 의해 변조 가능한 격자구조를 갖는 광 발산기의 구조로서, p 또는 n 도핑 영역으로 구성된 광 발산기의 구조를 나타낸 도면이다. 구체적으로, 도 5의 (a)는 평면도이고, (b)는 $Z_1 - Z_2$ 선을 지나는 횡단면도이다.
- [0040] 도 6은 일실시예에 따른 thermo-optic 효과에 의해 변조 가능한 격자구조를 갖는 광 발산기의 구조로서, p-n 접합으로 구성된 광 발산기의 구조를 나타낸 도면이다. 구체적으로, 도 6의 (a)는 평면도이고, (b)는 $Z_1 - Z_2$ 선을 지나는 횡단면도이다.
- [0041] p형 또는 n형으로 도핑된 영역으로 구성된 광 발산기를 나타낸 도 5를 참조하면, (a)와 같이, p형과 n형 중 어느 하나의 형으로 도핑된 영역(504)이 광 도파로 코어(500) 내의 격자(501) 부분 또는 인근에 형성된다. 또한, 광 도파로 코어(500)의 양쪽 인근의 p형 또는 n형으로 도핑 영역(504)에는 전극(505-1, 505-2)이 형성된다.
- [0042] 이와 같이 p형 또는 n형으로 도핑 영역(504)을 형성하는 목적은 주위 보다 저항을 낮게 하여, 전류 주입 시 도핑된 영역으로 전류가 집중적으로 흐르도록 유도하기 위함이다. 따라서, 광 도파로 코어(500)에 입력 광파(502)가 입사되는 상태에서 두 전극들(505-1, 305-2) 사이에 전류가 인가되면, 전류에 의한 Joule 열이 발생되어 온도가 상승하게 된다. 도핑된 영역(504-1, 504-2) 부분의 온도가 상승하면 thermo-optic 효과에 의하여 격자(501) 부분의 유효 굴절률이 변화하게 된다.

- [0043] 따라서, 이 유효 굴절률 변화로 인하여 도핑된 영역 내의 격자(501)로부터 방사되는 출력 광파(203)의 방사각 θ 가 달라질 수 있다. Thermo-optic 효과는 반도체의 광학에서 널리 알려진 효과이므로, 상세한 설명은 생략한다.
- [0044] 도 5에 도시된 광 발산기의 구조에서는 두 전극들(505-1, 505-2) 사이에 전류 주입의 방향을 어느 쪽으로 하든지 상관이 없다. 다시 말하면, 전극 505-1에는 상대적으로 + 전압을 인가하고 505-2에는 상대적으로 - 전압을 인가하여, 전류를 전극(505-1)에서 전극(505-2)으로 향하게 인가하여도 되고; + 전압과 - 전압을 그 반대로 인가하여 전류를 전극(505-2)에서 전극(505-1)으로 향하게 인가하여도 된다. Joule 열에 의한 온도 상승은 전류가 클수록 커지므로, 유효 굴절률의 변화, 즉, 방사각 θ 의 제어는 전류의 세기로 조절한다.
- [0045] p-n 접합 구조를 이용하는 도 6을 참조하면, (a)와 같이, p형 도핑 영역(604-1)과 n형 도핑 영역(604-2)이 광 도파로 코어(600) 내의 격자(601) 부분 또는 인근에 형성된다. 또한, 광 도파로 코어(600) 인근의 p형 도핑 영역(604-1)과 n형 도핑 영역(604-2)에 전극(605-1, 605-2)이 형성된다.
- [0046] 여기서, p형 도핑 영역(604-1)과 n형 도핑 영역(604-2)의 두 가지 도핑 영역이 접합되어도, 이들 도핑 영역이 주위 보다 저항이 낮아 전류를 집중적으로 흐르게 될 수 있다. 따라서, 광 도파로 코어(600)에 광파(602)가 입력되는 상태에서 두 전극들(605-1, 605-2) 사이에 전류가 인가되면, 전류에 의한 Joule 열이 발생되어 도핑된 영역(604-1, 604-2) 부분의 온도가 상승하게 된다. 도핑된 영역(604-1, 604-2) 부분의 온도가 상승하면 thermo-optic 효과에 의하여 굴절률이 변화하게 된다. 이 굴절률 변화로 인하여 도핑 영역 내의 격자(601)로부터 방사되는 출력 광파(203)의 방사각 θ 가 달라질 수 있다.
- [0047] 도 6에 도시된 광 발산기의 구조에서는 두 전극들(605-1, 605-2) 사이에 전압 인가의 방향에 따라 온도 상승의 정도가 달라질 수 있다. 두 전극들(605-1, 605-2) 사이에 순방향의 전압이 인가되는 경우에는 전압이 0에서부터 연속적으로 상승함에 따라 전류도 0에서부터 연속적으로 상승하게 된다. 따라서 유효 굴절률도 연속적으로 변화될 수 있다.
- [0048] 이에 비하여, 두 전극들(605-1, 605-2) 사이에 역방향의 전압이 인가되는 경우에는 파괴전압(breakdown voltage)에 이르기 전까지는 전류가 적고 그 변화도 작다가 파괴전압을 넘어서면 전류가 급작스럽게 증가될 수 있다. 따라서 도핑영역(604-1, 604-2)의 온도 상승과 thermo-optic 효과에 의한 유효 굴절률 변화도 파괴전압 이상에서 효과적으로 나타날 수 있다.
- [0049] 실리콘 소재의 격자 커플러(grating coupler)에 대한 연구결과(Jong-Hun Kim et al., IEEE Photo. Tech. Lett, vol. 27, no. 21, p.2034, Nov. 1, 2015)에 의하면, 역전압 하의 파괴 상태에서 전류 대비 굴절률 변화로 나타낸 변조효율은 동일한 p-n 접합 구조에서 순전압 하에서 변조효율 보다 높다. 따라서 일실시예들은 p-n 접합 구조를 이용하는 격자 구조 광 발산기에서 변조 효율을 고려하면, 순전압을 인가하는 것 보다는 역전압을 인가하여 파괴 상태를 이용하는 것이 더 바람직할 수 있다. 순전압 또는 역전압의 어느 경우라도, Joule 열에 의한 온도 상승은 전류가 클수록 커지므로, 도 6의 광 발산기의 구조에서는 유효 굴절률의 변화, 즉, 방사각 θ 의 제어는 전극들(605-1, 605-2) 사이에 주입되는 전류의 세기 또는 전극들(605-1, 605-2) 사이에 인가되는 절대 전압의 크기로 조절될 수 있다.
- [0050] 상술한 바와 같은 실시예들은 본 발명을 구체화하기 위한 것일 뿐이며, 세부구조에서 다양한 조정이 가능하다. 예를 들어, 도 3 및 6에서 격자가 형성된 광 도파로 코어(301, 601)의 가운데에 p-n 접합이 위치한 경우로 설명되었으나, 이에 제한되거나 한정되지 않고, p-n 접합은 광 도파로 코어 내의 어느 한쪽 측면에 치우치게 하거나 광 도파로 코어 밖의 어느 한쪽에 위치할 수도 있다.
- [0051] 마찬가지로, 도 4에서 격자가 형성된 광 도파로 코어(401) 측면 끝에 p-i 접합과 i-p 접합 각각이 위치한 경우로 설명되었으나, 이에 제한되거나 한정되지 않고, p-i 접합과 i-p 접합 각각은 광 도파로 코어 내의 어느 한쪽에 위치하게 하거나 광 도파로 코어 밖의 어느 한쪽에 위치할 수도 있다.
- [0052] 또한, 도 3 내지 6에서 전극(305-1, 305-2, 405-1, 405-2, 505-1, 505-2, 605-1, 605-2)이 p형 또는 n형 도핑 영역 위에 형성되는 경우로 설명되었으나, 이에 제한되거나 한정되지 않고, 전극(305-1, 305-2, 405-1, 405-2, 505-1, 505-2, 605-1, 605-2)은 전기적 저항을 줄이려는 의도로, 격자 부분(301, 401, 501, 601)의 p형 또는 n형 도핑 농도보다 더 높은 농도의 p+형 또는 n+형 도핑 영역 위에 형성될 수도 있다.
- [0053] 또한, 도 3 내지 6에서 전극(305-1, 305-2, 405-1, 405-2, 505-1, 505-2, 605-1, 605-2)이 격자가 형성된 광

도파로 코어 (301, 401, 501, 601)의 측면 인근 부분에 위치하는 경우로 설명되었으나, 이에 제한되거나 한정되지 않고, 전극(305-1, 305-2, 405-1, 405-2, 505-1, 505-2, 605-1, 605-2)은 적절한 전압 인가, 전류 주입 어레이 배치를 위하여 광 도파로 코어의 측면에서 벗어난 위치에 배치될 수도 있다.

[0054] 또한, 도 3의 (b), 도 4의 (b), 도 5의 (b) 및 도 6의 (b)에서는 rib형 도파로 구조를 예로 들어 광 도파로 코어(300, 400, 500, 600) 측면에 도파로의 rib 부분(광 도파로 하부층의 일부)(306, 406, 506, 606)에 전극이 형성되는 경우로 설명되었으나, 이에 제한되거나 한정되지 않고, 전극은 strip(channel)형, embedded strip형, ridge형(예컨대, “Fundamentals of Photonics,” B. E. A. Saleh and M. C. Teich, 2nd Edition, p.310) 등의 다양한 유형의 광 도파로를 기반으로 하여, 격자 부분의 인근에 전압 인가와 전류 주입이 수행될 수 있는 다양한 구조 및 위치로 형성될 수도 있다.

[0055] 이상의 실시예들에서 사용된 기호가 나타내는 바는 다음과 같다.

[0056] X: 격자의 종방향

[0057] Z: 격자의 횡방향

[0058] Y: 격자의 법선방향 (Normal 방향)

[0059] λ_0 : 자유공간에서 입력 광파의 파장

[0060] Λ_g : 격자의 주기

[0061] M: 어레이 내의 광 발산기 개수

[0062] θ : 단위 격자의 종방향 방사 각도 (법선으로부터 각도)

[0063] n_{eff} : 격자가 형성된 광 도파로의 유효 굴절률 (effective index)

[0064] n_c : 격자가 형성된 광 도파로 위를 덮고 있는 클래드 (clad)의 굴절률

[0065] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0066] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

[0067] 100: 광원 (Light source)

101-1, 101-2: 1 대 N 광파워 분배기 (1:N power distributor)

102: 위상 제어기 (Phase controller)

103: 위상 공급선 (Phase-feeding line)

104: 발산기 (Radiator)

105: 1xM 발산기 어레이 (1xM radiator array)

106, 200, 300, 400, 500, 600: 광 도파로 코어 (Waveguide core)

201, 301, 401, 501, 601: 격자 (Grating)

202, 302, 402, 502, 602: 입력 광파 (Light wave)

203: 격자에서 방사되는 회절패턴의 출력 광파

304-1, 404-1, 604-1: p형 도핑 영역

304-2, 404-2, 604-2: n형 도핑 영역

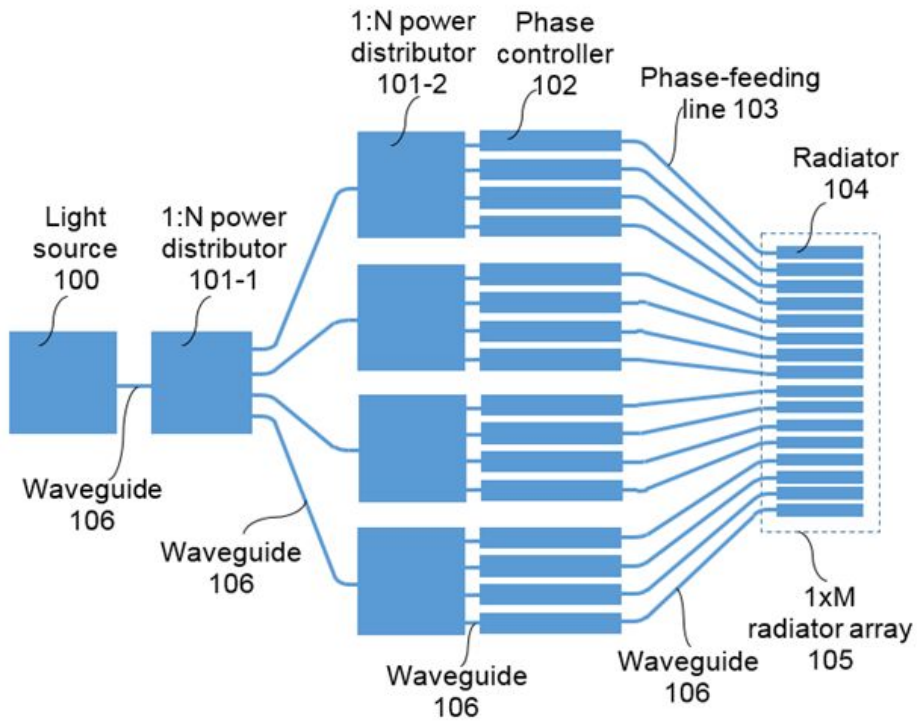
504: p형 또는 n형 도핑 영역

305-1, 305-2, 405-1, 405-2, 505-1, 505-2, 605-1, 605-2: 전극 (Electrode)

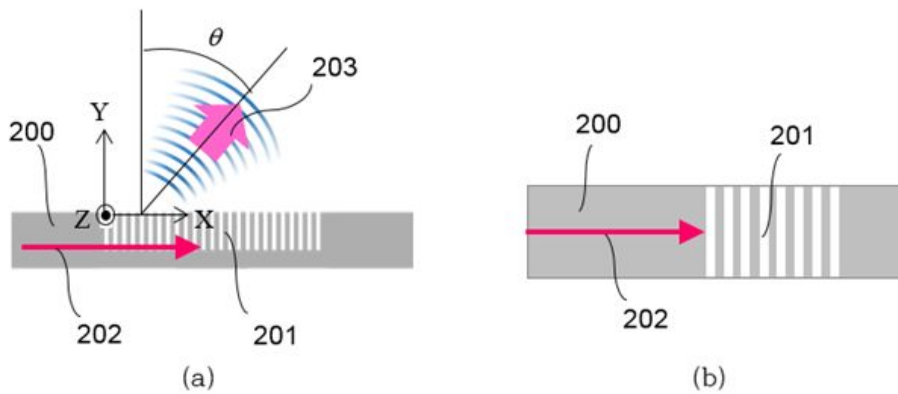
306, 406, 506, 606: 광 도파로의 rib 부분 또는 광 도파로의 clad 층

도면

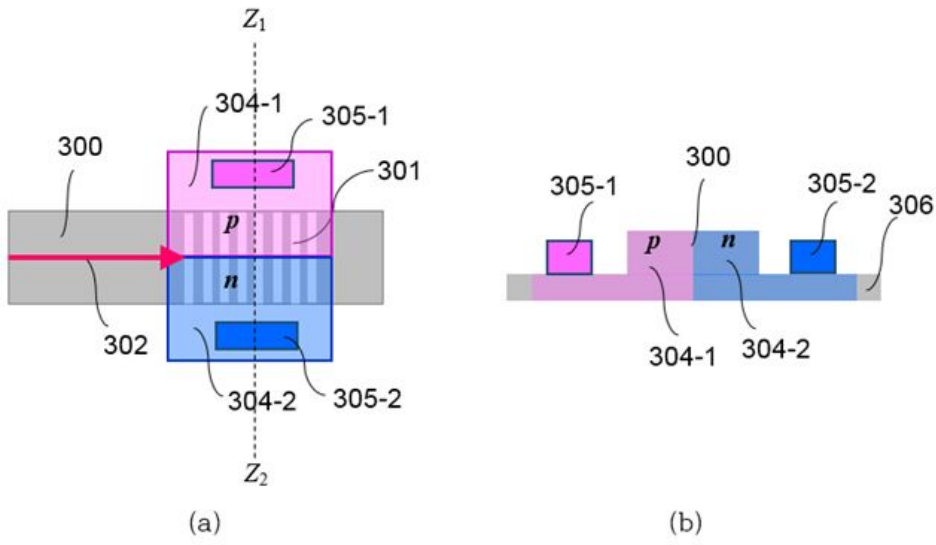
도면1



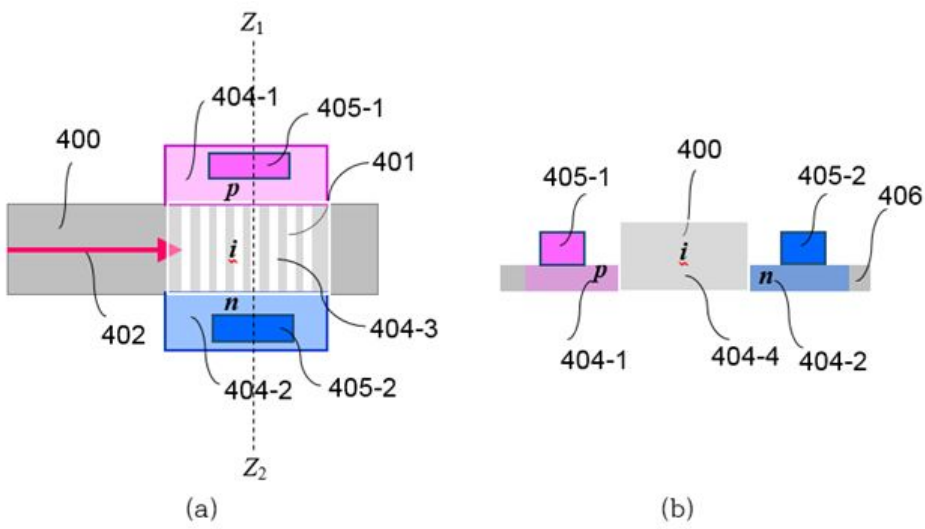
도면2



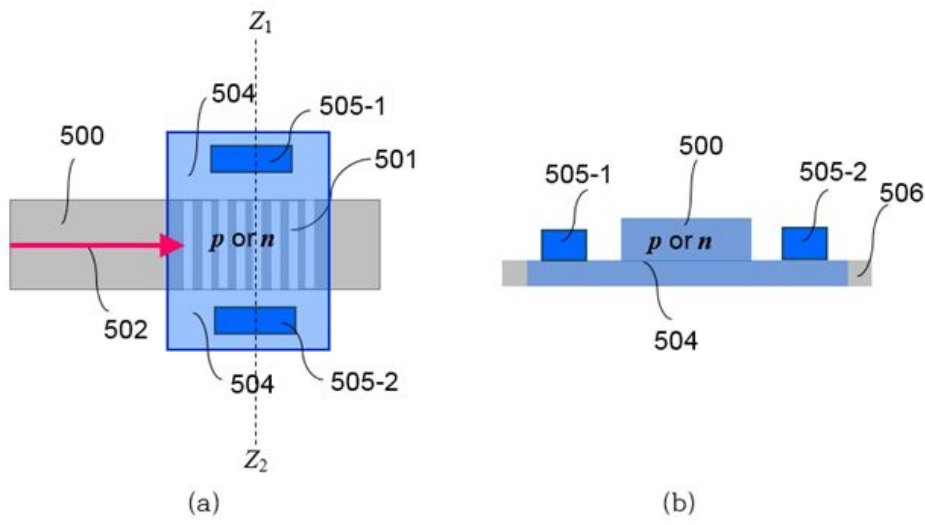
도면3



도면4



도면5



도면6

