



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년08월22일
 (11) 등록번호 10-1432508
 (24) 등록일자 2014년08월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G02B 6/35 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2012-0107283
 (22) 출원일자 2012년09월26일
 심사청구일자 2012년09월26일
 (65) 공개번호 10-2014-0042007
 (43) 공개일자 2014년04월07일
 (56) 선행기술조사문헌
 JP2000111961 A*
 US20040264845 A1*
 KR101129223 B1
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 한국과학기술원
 대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)
 (72) 발명자
 박효훈
 강원도 평창군 대관령면 올림픽로 294, 105동 104호
 김종훈
 대전광역시 유성구 문지동 KAIST 기숙사 121호
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
 특허법인 동천

전체 청구항 수 : 총 18 항

심사관 : 송병준

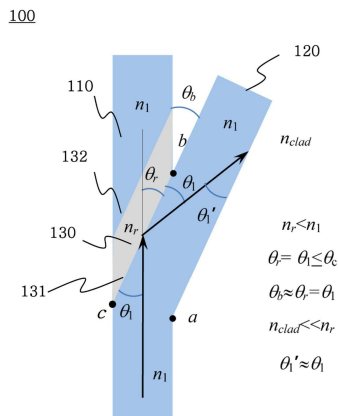
(54) 발명의 명칭 **반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치**

(57) 요약

본 발명의 바람직한 실시예의 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치에 따르면, 반사기의 굴절률이 도파로 보다 낮거나 높을 경우에 대해, 반사기의 경계면에서 반사뿐만 아니라 굴절까지 이용하여 광의 경로를 제어할 수 있는 광 스위치를 제공할 수 있다.

본 발명의 바람직한 실시예의 반사를 이용한 광 스위치는, 빛이 입사하고, 직선 형태인 주 도파로; 상기 주 도파로로부터 일정한 각도인 가지 각도를 이루며 분기된 형태인 가지 도파로; 및 신호의 인가에 의해 굴절률이 변화하는 반사기;를 포함하되, 상기 주 도파로 및 상기 가지 도파로의 굴절률인 제 1 굴절률 보다, 상기 반사기의 굴절률인 제 2 굴절률이 작도록 제어하고, 상기 주 도파로로부터 상기 반사기의 상기 주 도파로와 접하는 제 1 계면으로 빛이 입사하여, 상기 반사기 외부로 반사하는 것에 의해 상기 가지 도파로로 빛을 유도하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도3a



(72) 발명자

한영탁

대전 서구 청사서로 65, 102동 1201호 (월평동, 한아름아파트)

조무희

대전 유성구 봉산로 39, 201동 1207호 (송강동, 송강마을2단지)

이태우

대전광역시 중구 계룡로 923번지 하우스토리 101-2803

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345182217
부처명	교육과학기술부
연구사업명	글로벌프론티어사업
연구과제명	데이터 전송 나노소자
기여율	1/1
주관기관	한국과학기술원
연구기간	2012.09.01 ~ 2013.08.31

특허청구의 범위

청구항 1

빛이 입사하고, 직선 형태인 주 도파로;

상기 주 도파로로부터 일정한 각도인 가지 각도를 이루며 분기된 형태인 가지 도파로; 및

신호를 인가하면, 전기 광학 효과(electro-optic effect), 광 흡수 효과(electroabsorption effect) 또는 캐리어 도핑 효과(carrier-doping effect) 중 적어도 하나의 효과에 의해 굴절률이 변화하는 반사기;를 포함하되,

상기 주 도파로 및 상기 가지 도파로의 굴절률인 제 1 굴절률 보다 상기 반사기의 굴절률인 제 2 굴절률이 작도록 제어하는 것에 의해, 상기 주 도파로로부터 상기 반사기의 상기 주 도파로와 접하는 제 1 계면으로 빛이 입사한 후 상기 반사기 외부로 전반사됨으로써 상기 가지 도파로로 빛을 유도하되,

빛의 입사각으로부터 상기 전반사의 임계각이 20도 이내인 것을 특징으로 하는 반사를 이용한 광 스위치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 반사기의 제 1 계면은, 상기 주 도파로와 상기 가지 도파로가 만나서 이루는 제 1 꼭짓점 및 제 2 꼭짓점 중, 상부에 위치한 상기 제 1 꼭짓점과 만나거나, 상기 제 1 꼭짓점과 상기 제 2 꼭짓점 사이에 위치하는 것을 특징으로 하는 반사를 이용한 광 스위치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 가지 각도는, 상기 주 도파로와 상기 제 1 계면이 이루는 제 1 반사기 각도 보다 크거나 같은 값인 것을 특징으로 하는 반사를 이용한 광 스위치.

청구항 4

빛이 입사하고, 직선 형태인 주 도파로;

상기 주 도파로로부터 일정한 각도인 가지 각도를 이루며 분기된 형태인 가지 도파로; 및

신호의 인가에 의해 굴절률이 변화하는 반사기;를 포함하되,

상기 주 도파로 및 상기 가지 도파로의 굴절률인 제 1 굴절률 보다 상기 반사기의 굴절률인 제 2 굴절률이 크도록 제어하는 것에 의해, 상기 반사기의 상기 주 도파로와 접하는 제 1 계면으로부터 굴절에 의해 상기 반사기 내부로 입사한 후 상기 반사기의 상기 주 도파로와 접하는 제 2 계면으로 빛이 입사하여 상기 반사기 내부에서 반사됨으로써, 상기 가지 도파로로 빛을 유도하는 것을 특징으로 하는 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 제 2 계면으로 입사한 빛이 상기 제 2 계면과 이루는 각도는, 상기 제 1 굴절률을 상기 제 2 굴절률을 나눈 후 코사인의 역함수를 취한 값과 동일하거나 작은 것을 특징으로 하는 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 제 1 계면과 상기 제 2 계면은 모두, 상기 주 도파로와 상기 가지 도파로가 만나서 이루는 제 1 꼭짓점과 제 2 꼭짓점과 만나거나, 상기 제 1 꼭짓점과 상기 제 2 꼭짓점 사이를 지나는 것을 특징으로 하는 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.

청구항 7

제 4 항에 있어서,

상기 제 1 계면의 일단과 상기 제 2 계면의 일단을 연결한 면 중 하나인 상기 반사기의 제 3 계면이, 상기 주 도파로의 세로 방향의 두 개의 면 중 상기 가지 도파로와 접하는 하나의 면과 접하거나 상기 가지 도파로 내부에 위치하는 것을 특징으로 하는 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 제 3 계면은, 상기 주 도파로와 상기 가지 도파로가 만나서 이루는 제 1 꼭짓점과 제 2 꼭짓점 사이에 위치하는 것을 특징으로 하는 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.

청구항 9

제 4 항에 있어서,

상기 가지 각도는, 상기 주 도파로와 상기 제 2 계면이 이루는 제 2 반사기 각도 보다 크거나 같은 값인 것을 특징으로 하는 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.

청구항 10

제 4 항에 있어서,

상기 제 1 계면과 상기 제 2 계면은 평행한 것을 특징으로 하는 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.

청구항 11

제 4 항에 있어서,

상기 제 1 계면으로 입사한 빛이 상기 제 1 계면과 이루는 각도는, 상기 제 2 계면으로 입사한 빛이 상기 제 2 계면과 이루는 각도보다 큰 것을 특징으로 하는 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.

청구항 12

제 4 항에 있어서,

상기 제 1 계면으로 입사한 빛이 상기 제 1 계면과 이루는 각도는, 직각인 것을 특징으로 하는 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.

청구항 13

빛이 입사하고, 직선 형태인 주 도파로;

상기 주 도파로로부터 일정한 각도인 가지 각도를 이루되, 상기 주 도파로와 이격된 형태인 가지 도파로; 및 신호의 인가에 의해 굴절률이 변화하는 반사기;를 포함하되,

상기 주 도파로와 상기 가지 도파로는, 상기 반사기에 의해 연결되되,

상기 주 도파로 및 상기 가지 도파로의 굴절률인 제 1 굴절률 보다 상기 반사기의 굴절률인 제 2 굴절률이 크도록 제어하는 것에 의해, 상기 가지 도파로로 빛을 유도하는 것을 특징으로 하는 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.

청구항 14

삭제

청구항 15

제 13 항에 있어서,

상기 주 도파로로부터 상기 반사기의 상기 주 도파로와 접하는 제 1 계면으로부터 굴절에 의해 상기 반사기 내부로 입사한 후, 상기 반사기의 상기 주 도파로와 접하는 제 2 계면으로 빛이 입사하여 상기 반사기 내부에서 반사되는 것에 의해, 상기 가지 도파로로 빛을 유도하는 것을 특징으로 하는 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 주 도파로와 상기 제 2 계면이 이루는 제 2 반사기 각도는, 상기 가지 각도 보다 큰 것을 특징으로 하는 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.

청구항 17

빛이 입사하고, 직선 형태인 주 도파로;

상기 주 도파로로부터 일정한 각도인 가지 각도를 이루며 분기된 형태인 가지 도파로; 및

신호의 인가에 의해 굴절률이 변화하는 반사기;를 포함하되,

상기 주 도파로 및 상기 가지 도파로의 굴절률인 제 1 굴절률 보다, 상기 반사기의 굴절률인 제 2 굴절률이 작도록 제어하는 것에 의해, 상기 반사기의 상기 주 도파로와 접하는 제 1 계면으로부터 상기 반사기 내부로 굴절에 의해 입사하여 상기 가지 도파로로 빛을 유도하는 것을 특징으로 하는 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.

청구항 18

빛이 입사하고, 직선 형태인 주 도파로;

상기 주 도파로로부터 일정한 각도인 가지 각도를 이루며 분기된 형태인 가지 도파로; 및

신호의 인가에 의해 굴절률이 변화하는 반사기;를 포함하되,

상기 주 도파로 및 상기 가지 도파로의 굴절률인 제 1 굴절률 보다, 상기 반사기의 굴절률인 제 2 굴절률이 크도록 제어하는 것에 의해, 상기 반사기의 상기 주 도파로와 접하는 제 1 계면으로부터 상기 반사기 내부로 굴절에 의해 입사하여 상기 가지 도파로로 빛을 유도하는 것을 특징으로 하는 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 주 도파로로부터 입사한 빛이 상기 제 1 계면에서 상기 반사기 내부로 굴절하는 각도가 상기 제 1 계면에서 입사각 보다 커지게 되는 점을 이용하여, 상기 가지 도파로는 상기 제 1 계면의 경사진 방향과 반대 측면에 위치하는 것을 특징으로 하는 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 반사기의 굴절률 변화를 이용하여 빛의 경로를 변경할 수 있는 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 국내 공개 특허 공보 제10-2010-0066834호(이하 ‘종래 발명’)에 개시된 광 스위칭 구조에서는 작은 각도의 반사를 제어하여, 광신호의 경로를 스위칭하는 구조가 제안되어 있다. 다만, 종래 발명에서는, 빛을 반사시키는 반사기에서 포괄적인 빛의 반사만 고려되었을 뿐이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 본 발명은 전술한 바와 같은 기술적 과제를 해결하는 데 목적이 있는 발명으로서, 반사기의 굴절률이 도파로 보

다 낮거나 높을 경우에 대해, 반사기의 경계면에서 반사뿐만 아니라 굴절까지 이용하여 광의 경로를 제어할 수 있는 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치를 제공하는 것에 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0004] 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 반사를 이용한 광 스위치는, 빛이 입사하고, 직선 형태인 주 도파로; 상기 주 도파로로부터 일정한 각도인 가지 각도를 이루며 분기된 형태인 가지 도파로; 및 신호의 인가에 의해 굴절률이 변화하는 반사기;를 포함하되, 상기 주 도파로 및 상기 가지 도파로의 굴절률인 제 1 굴절률 보다, 상기 반사기의 굴절률인 제 2 굴절률이 작도록 제어하고, 상기 주 도파로로부터 상기 반사기의 상기 주 도파로와 접하는 제 1 계면으로 빛이 입사하여, 상기 반사기 외부로 반사하는 것에 의해 상기 가지 도파로로 빛을 유도하는 것을 특징으로 한다.

[0005] 본 발명의 바람직한 다른 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치는, 빛이 입사하고, 직선 형태인 주 도파로; 상기 주 도파로로부터 일정한 각도인 가지 각도를 이루며 분기된 형태인 가지 도파로; 및 신호의 인가에 의해 굴절률이 변화하는 반사기;를 포함하되, 상기 주 도파로 및 상기 가지 도파로의 굴절률인 제 1 굴절률 보다, 상기 반사기의 굴절률인 제 2 굴절률이 크도록 제어하고, 상기 반사기의 상기 주 도파로와 접하는 제 1 계면으로부터 굴절에 의해 상기 반사기 내부로 입사한 후, 상기 반사기의 상기 주 도파로와 접하는 제 2 계면으로 빛이 입사하여 상기 반사기 내부에서 반사되는 것에 의해, 상기 가지 도파로로 빛을 유도하는 것을 특징으로 한다.

[0006] 본 발명의 바람직한 또 다른 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치는, 빛이 입사하고, 직선 형태인 주 도파로; 상기 주 도파로로부터 일정한 각도인 가지 각도를 이루되, 상기 주 도파로와 이격된 형태인 가지 도파로; 및 신호의 인가에 의해 굴절률이 변화하는 반사기;를 포함하되, 상기 주 도파로와 상기 가지 도파로는, 상기 반사기에 의해 연결되는 것을 특징으로 한다.

[0007] 본 발명의 바람직한 또 다른 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치는, 빛이 입사하고, 직선 형태인 주 도파로; 상기 주 도파로로부터 일정한 각도인 가지 각도를 이루며 분기된 형태인 가지 도파로; 및 신호의 인가에 의해 굴절률이 변화하는 반사기;를 포함하되, 상기 주 도파로 및 상기 가지 도파로의 굴절률인 제 1 굴절률 보다, 상기 반사기의 굴절률인 제 2 굴절률이 작도록 제어하고, 상기 반사기의 상기 주 도파로와 접하는 제 1 계면으로부터 상기 반사기 내부로 굴절에 의해 입사하여, 상기 가지 도파로로 빛을 유도하는 것을 특징으로 한다.

[0008] 본 발명의 바람직한 또 다른 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치는, 빛이 입사하고, 직선 형태인 주 도파로; 상기 주 도파로로부터 일정한 각도인 가지 각도를 이루며 분기된 형태인 가지 도파로; 및 신호의 인가에 의해 굴절률이 변화하는 반사기;를 포함하되, 상기 주 도파로 및 상기 가지 도파로의 굴절률인 제 1 굴절률 보다, 상기 반사기의 굴절률인 제 2 굴절률이 크도록 제어하고, 상기 반사기의 상기 주 도파로와 접하는 제 1 계면으로부터 상기 반사기 내부로 굴절에 의해 입사하여, 상기 가지 도파로로 빛을 유도하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0009] 본 발명의 바람직한 실시예의 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치에 따르면, 반사기의 굴절률이 도파로 보다 낮거나 높을 경우에 대해, 반사기의 경계면에서 반사뿐만 아니라 굴절까지 이용하여 광의 경로를 제어할 수 있는 광 스위치를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1a 내지 도 1c는, 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 입사할 경우의 빛의 반사 또는 굴절의 양상 설명도.

- 도 2는, 굴절률이 작은 매질에서 큰 매질로 빛이 입사할 경우의 빛의 반사 또는 굴절의 양상 설명도.
- 도 3a는 본 발명의 바람직한 제 1 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.
- 도 3b는 본 발명의 바람직한 제 2 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.
- 도 3c는 본 발명의 바람직한 제 3 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.
- 도 4a는 본 발명의 바람직한 제 4 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.
- 도 4b는 본 발명의 바람직한 제 5 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.
- 도 4c는 본 발명의 바람직한 제 6 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.
- 도 4d는 본 발명의 바람직한 제 7 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.
- 도 4e는 본 발명의 바람직한 제 8 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.
- 도 4f는 본 발명의 바람직한 제 9 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.
- 도 5a는 본 발명의 바람직한 제 10 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.
- 도 5b는 본 발명의 바람직한 제 11 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 이하, 첨부된 도면을 참조하면서 본 발명의 실시예들에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치에 대해 상세히 설명하기로 한다.
- [0012] 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.
- [0013] 굴절률 차이가 있는 계면에 빛의 입사는 내부 입사와 외부 입사로 나누어진다. 내부 입사는 굴절률이 높은 매질(n_1)에서 낮은 매질(n_2)로 입사되는 경우이며, 외부 입사는 굴절률이 낮은 매질(n_2)에서 높은 매질(n_1)로 입사되는 경우이다.
- [0014] 먼저, 도 1a 내지 도 1c는 굴절률이 큰 매질(medium)에서 작은 매질로 빛이 입사할 경우, 즉, 내부 입사(internal incident)의 경우에 빛이 반사 또는 굴절되는 양상을 나타낸다. 도 1a는 빛의 입사각이 전반사(total internal reflection)가 일어날 수 있는 임계각(critical angle) 보다 작은 경우, 도 1b는 임계각과 같은 경우, 및 도 1c는 임계각 보다 작을 경우를 각각 나타낸다.
- [0015] 내부 입사의 경우에, 반사를 위한 임계각(critical angle, θ_c)은 다음의 [수학식 1]에 의해 주어진다.

수학식 1

[0016]
$$\theta_c = \cos^{-1}(n_2/n_1)$$

[0017] 여기서, $n_1 > n_2$ 이다.

[0018] 빛의 입사각(θ_1)이 임계각(θ_c) 보다 큰 경우에($\theta_1 > \theta_c$), 도 1a와 같이, 내부 반사(internal reflection)와 내부 굴절(internal refraction)이 모두 일어날 수 있다. 이 경우에 굴절각(θ_2)은 입사각(θ_1)보다 작게 된다

($\theta_2 < \theta_1$). 입사각이 임계각을 넘어서면, 하기의 [표 1]과 같이 빛이 굴절되어 계면을 투과하는 투과율(transmittance)이 높아서 대부분의 빛은 굴절이 된다.

표 1

[0019]

TE mode						
θ_1	$(n_1 - n_2)/n_1, (n_1 > n_2)$					
	0.0152		0.0038		0.0014	
	$\theta_c = 10^\circ$		$\theta_c = 5^\circ$		$\theta_c = 3^\circ$	
	반사율	투과율	반사율	투과율	반사율	투과율
3°	1	0	1	0	1	0
4°	1	0	1	0	0.042	0.958 ($\theta_2 = 2.6^\circ$)
5°	1	0	1	0	0.012	0.988 ($\theta_2 = 4.0^\circ$)
10°	1	0	0.005	0.995 ($\theta_2 = 8.7^\circ$)	0.001	0.999 ($\theta_2 = 9.5^\circ$)
15°	0.022	0.978 ($\theta_2 = 11.2^\circ$)	0.001	1.000 ($\theta_2 = 14.2^\circ$)	0.000	1.000 ($\theta_2 = 14.7^\circ$)

[0020]

일례로 $(n_1 - n_2)/n_1 = 0.0014$ 인 경우에, 임계각 $\theta_c = 3^\circ$ 인데, 입사각 $\theta_1 = 4^\circ$ 만 되어도 투과율은 0.958이 나 되어 대부분의 빛이 굴절됨을 알 수 있다. [표 1]에서 투과는 TE(transverse mode) 모드에 대해 고전적인 광학의 이론식으로 간단히 계산한 것이다. 투과율은 [수학식 2]와 같이 정의된다.

수학식 2

[0021]

$$T = I_t / I_i = |E_t|^2 / |E_i|^2$$

[0022]

여기서, I는 빛의 세기(intensity), E는 전기장(electric field)을 나타내며, 아래 첨자 t는 굴절로 투과한 것을 나타내며 i는 입사한 것을 나타낸다.

[0023]

입사각이 임계각과 같게 되면($\theta_1 = \theta_c$), 굴절되는 빛은 계면을 따라 향하게 되고($\theta_2 = 0$), 반사되는 빛은 입사각과 대칭적으로 같게 된다. 이 경우에 일부의 빛이 굴절되어 n_2 매질로 빠져나가지는 못하게 되므로, 전반사(total reflection)의 임계 상태가 될 수 있다.

[0024]

입사각이 임계각보다 작게 되면($\theta_1 < \theta_c$), 도 1c와 같이, 빛은 모두 내부 반사되어 전내부반사(total internal reflection)가 일어난다.

[0025]

도 2는 굴절률이 작은 매질에서 큰 매질로 빛이 입사할 경우, 즉, 외부 입사(external incident)의 경우에 빛이 반사 또는 굴절되는 양상을 나타낸다.

[0026]

도 2로부터 알 수 있는 바와 같이, 외부 입사의 경우($n_1 < n_2$)에는, 모든 입사각에서 외부 반사(external reflection)와 외부 굴절(external refraction)이 모두 일어날 수 있다. 이 경우에 굴절각은 입사각 보다 작게 된다($\theta_2 < \theta_1$). 굴절률 차이가 작고 입사각이 작을 경우에, 하기의 [표 2]와 같이, 대부분의 빛은 외부 굴절이 된다. 일례로 $(n_1 - n_2)/n_1 = -0.0014$ 인 경우에 작은 입사각 $\theta_1 = 3^\circ$ 에도 투과율이 0.970이나 되어 대부분의 빛이 굴절됨을 알 수 있다. $(n_1 - n_2)/n_1 = -0.0152$ 인 경우에, 입사각 $\theta_1 = 3^\circ$ 에서도 투과율이 0.692이 되어 절반 이상의 빛이 굴절됨을 알 수 있다.

표 2

[0027]

TE mode						
θ_1	$(n_1 - n_2)/n_1, (n_1 < n_2)$					
	-0.0152		-0.0038		-0.0014	
	반사율	투과율	반사율	투과율	반사율	투과율
3°	0.308	0.692 ($\theta_2=10.4^\circ$)	0.103	0.897 ($\theta_2=5.8^\circ$)	0.030	0.970 ($\theta_2=4.3^\circ$)
4°	0.211	0.789 ($\theta_2=10.7^\circ$)	0.053	0.947 ($\theta_2=6.4^\circ$)	0.013	0.987 ($\theta_2=5.0^\circ$)
5°	0.147	0.853 ($\theta_2=11.1^\circ$)	0.030	0.970 ($\theta_2=7.6^\circ$)	0.006	0.994 ($\theta_2=5.8^\circ$)
10°	0.030	0.970 ($\theta_2=14.1^\circ$)	0.003	0.997 ($\theta_2=11.2^\circ$)	0.000	1.000 ($\theta_2=10.4^\circ$)
15°	0.009	0.991 ($\theta_2=17.9^\circ$)	0.001	0.999 ($\theta_2=15.8^\circ$)	0.000	1.000 ($\theta_2=15.3^\circ$)

[0028]

상술한 바와 같은 경향을 종합하면, 작은 굴절률 차이에서 입사각이 작으면, 대부분의 빛을 반사 또는 굴절의 하나의 방향으로 보낼 수 있다. 이를 이용하여, 본 발명의 실시예들과 같이 다양한 구조로 광 경로를 스위칭할 수 있다.

[0029]

먼저, 도 3a는 본 발명의 바람직한 제 1 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치(100)를 나타낸다.

[0030]

도 3a로부터 알 수 있는 바와 같이, 본 발명의 바람직한 제 1 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치(100)는, 빛이 입사하고 직선 형태인 주 도파로(main waveguide, 110), 주 도파로(110)로부터 일정한 각도인 가지 각도(θ_b)를 이루며 분기된 형태인 가지 도파로(branch waveguide, 120) 및 신호의 인가에 의해 굴절률이 변화하는 반사기(reflector, 130)를 포함한다.

[0031]

또한, 본 발명의 제 1 실시예의 광 스위치(100)에서는, 주 도파로(110) 및 가지 도파로(120)의 굴절률인 제 1 굴절률(n_1)보다, 반사기(130)의 굴절률인 제 2 굴절률(n_r)이 작도록 제어할 필요가 있다. 아울러, 본 발명의 제 1 실시예의 광 스위치(100)는, 주 도파로(110)로부터 반사기(130)가 주 도파로(110)와 접하는 제 1 계면(도 3a에서 점 b와 점 c를 연결한 선, 131)으로 빛이 입사하여, 반사기(130) 외부로 반사하는 것에 의해 가지 도파로(120)로 빛을 유도하는 것을 특징으로 한다.

[0032]

또한, 본 발명의 제 1 실시예의 광 스위치(100)는, 주 도파로(110)와 제 1 계면(131)이 이루는 제 1 반사기 각도(θ_r)는, 제 1 계면(131)과 반사기(130) 외부로 반사되는 빛이 이루는 각도(θ_1)와 동일한 값인 것을 특징으로 한다. 아울러, 반사기(130)의 제 1 계면(131)은, 주 도파로(110)와 가지 도파로(120)가 만나서 이루는 제 1 꼭짓점(b) 및 제 2 꼭짓점(a) 중, 상부에 위치한 제 1 꼭짓점(b)과 만날 수 있다. 아울러, 가지 각도(θ_b)는 제 1 반사기 각도(θ_r)와 거의 같은 값 또는 동일한 값인 것이 바람직하다.

[0033]

구체적으로 도 3a의 본 발명의 제 1 실시예의 광 스위치(100)의 동작에 대해 설명하기로 한다. 입사된 빛은 반사기(130)의 제 1 계면(131)에서 내부 반사가 일어날 수 있으며, 반사기(130)의 제 1 계면(131)의 각도(θ_r)를

제 1 계면(131)에서의 임계각 ($\theta_c = \cos^{-1}(n_r/n_1)$), 보다 작게 만들 경우($\theta_r \leq \theta_c$), 입사각($\theta_1 = \theta_r$)은 임계각(θ_c) 보다 작게 되므로 내부 전반사를 얻을 수 있다. 내부 전반사가 일어난 빛은 가지 도파로(120)로 들어가게 된다. 반사기(130)의 굴절률을 주 도파로(110, 120)의 굴절률과 거의 같도록 제어하면($n_r \sim n_1$), 반사를 겪지 않고 반사기(130) 부분을 통과하여 주 도파로(110)로 직진하게 된다. 여기서 빛이 반사기(130) 부분을 통과하여 주 도파로(110)로 직진하는 상태를 ‘통과 상태(pass state)’로 표현하고, 빛이 반사기

(130)에서 반사되어 가지 도파로(120)로 유도되는 상태를 ‘반사 상태(reflection state)’로 표현한다. 이와 같이, 반사기(130)의 굴절률을 적절히 제어하여, 이들 ‘통과 상태’와 ‘반사 상태’의 두 가지 상태로 전환시킴으로써 광 경로를 스위칭(path switching)시킬 수 있고, 주 도파로(110)와 가지 도파로(120) 중 하나의 도파로를 지나가는 광신호의 세기를 디지털 신호로 변조(modulation)시킬 수도 있다.

[0034] 도 3a의 제 1 실시예에서는, 가지 도파로(120)로 들어온 빛은 가지 도파로(120)의 우측 계면에 $\theta_1' \sim \theta_1$ 의 각도로 부딪치게 되는데, 가지 도파로(120)의 계면에서 굴절률 차이($n_{clad} - n_1$)는 반사기(130)의 제 1 계면(131)에서의 굴절률 차이($n_r - n_1$)보다 크므로, 가지 도파로(120) 계면에서는 내부 전반사의 조건을 만족할 수 있어 가지 도파로(120) 내로 빛을 유도(guide)할 수 있다. 여기서 n_{clad} 는 가지 도파로(120)를 둘러싸고 있는 클래드(clad)의 굴절률이다. 다만, 도 3a의 제 1 실시예의 광 스위치(100)에서는, 가지 도파로(120)의 계면에서 $\theta_1' \sim \theta_1$ 의 각도로 부딪침으로써 빛의 산란에 의한 손실이 발생될 수 있다.

[0035] 가지 도파로(220) 계면에서 빛의 산란을 줄일 수 있는 보다 바람직한 실시예로 도 3b와 같은, 제 2 실시예의 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치(200)를 제안한다.

[0036] 도 3b로부터 알 수 있는 바와 같이, 본 발명의 제 2 실시예의 광 스위치(200)는, 주 도파로(210)와 가지 도파로(220)가 이루는 가지 각도(θ_b)를 반사기 계면(231)의 각도인 제 1 반사기 각도(θ_r)의 두 배 가까이로 하였다. $\theta_b \sim 2\theta_r$ 로 할 경우에는 반사된 빛이 가지 도파로(220)와 같은 방향으로 진행되므로, 가지 도파로(220) 내에서 빛의 산란을 줄일 수 있다.

[0037] 즉, 본 발명의 제 2 실시예의 광 스위치(200)는, 가지 각도(θ_b)가 제 1 반사기 각도(θ_r)보다 큰 것을 특징으로 한다.

[0038] 도 3c는 본 발명의 바람직한 제 3 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치(300)를 나타낸다.

[0039] 도 3c의 본 발명의 바람직한 제 3 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치(300)에서는, 가지 각도(θ_b)를 제 1 반사기 각도(θ_r)의 두 배보다 크게 하더라도($\theta_b > 2\theta_r$), 가지 도파로(320) 내로 빛을 유도하는 것이 가능하다.

[0040] $\theta_b > 2\theta_r$ 인 경우에 반사기 계면(331)에서 내부 반사된 빛은 도 3c와 같이, 가지 도파로(320)의 좌측 계면에 θ_1'' 의 각도로 부딪치게 된다. 이 θ_1'' 가 가지 도파로(320) 계면에서의 임계각 $\theta_{wc} = \cos^{-1}(n_{clad}/n_1)$ 보다 작으면($\theta_1'' < \theta_{wc}$), 가지 도파로(320) 내에서 전반사에 의한 유도가 가능하다. 예로서 주 도파로(310) 또는 가지 도파로(320)에 실리콘(silicon) 재료를 사용하고($n_1 \sim 3.5$), 클래드가 SiO₂ 공기($n_{clad} \sim 1.5$)인 경우에 가지 도파로(320) 계면의 임계각은 $\sim 64^\circ$ 가 되어, 이론적으로는 매우 큰 각도로의 경로 변경이 가능하다. 따라서, 작은 각도의 내부 반사를 이용할 경우에 가지 각도(θ_b)를 제 1 반사기 각도(θ_r)보다 훨씬 크게 만들 수 있는 특징이 있다.

[0041] 도 4a 내지 도 4f는, 반사기의 굴절률(n_r)이 주위 도파로의 굴절률(n_1)보다 큰 반사기를 사용하여 광 경로 변경을 구현한 실시예들이다. 즉, 도 4a 내지 도 4f와 같이 $n_r > n_1$ 인 경우에는 반사기(430, 530, 630, 730, 830, 930)의 제 1 계면(431, 531, 631, 731, 831, 931)에서 외부 굴절이 일어나며, 입사각이 작으면, [표 2]에서 나타낸 바와 같이, 대부분의 빛은 굴절되어 반사기(430, 530, 630, 730, 830, 930) 안으로 들어가게 된다.

- [0042] 먼저, 도 4a는 본 발명의 바람직한 제 4 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치(400)를 나타낸다.
- [0043] 도 4a로부터 알 수 있는 바와 같이, 본 발명의 제 4 실시예의 광 스위치(400)는, 빛이 입사하고 직선 형태인 주 도파로(410), 주 도파로(410)로부터 일정 각도인 가지 각도(θ_b)를 이루며 분기된 형태인 가지 도파로(420) 및 신호의 인가에 의해 굴절률이 변화하는 반사기(430)를 포함하는 점에서는 제 1 실시예 내지 제 3 실시예의 광 스위치(100, 200, 300)와 동일하다.
- [0044] 다만, 도 4a의 제 4 실시예의 광 스위치(400)는 다음과 같은 특징을 가지고 있다. 즉, 주 도파로(410) 및 가지 도파로(420)의 굴절률인 제 1 굴절률(n_1) 보다 반사기(430)의 굴절률인 제 2 굴절률(n_r)이 크도록 제어하고, 반사기(430)의 주 도파로(410)와 접하는 제 1 계면(431)으로부터 굴절에 의해 반사기(430) 내부로 입사한 후, 반사기(430)의 주 도파로(410)와 접하는 제 2 계면(432)으로 빛이 입사하여 반사기(430) 내부에서 반사되는 것에 의해, 가지 도파로(420)로 빛을 유도하게 된다.
- [0045] 또한, 본 발명의 제 4 실시예의 광 스위치(400)에서, 제 2 계면(432)으로 입사하는 빛이 제 2 계면(432)과 이루는 각도(θ_2')가 제 2 계면(432)의 임계각 θ_{c2} 보다 작으면, 반사기(430) 내부에서 전반사가 이루어지게 된다. 아울러, 본 발명의 제 4 실시예의 광 스위치(400)는, 제 1 계면(431)과 제 2 계면(432)은 모두, 주 도파로(410)와 가지 도파로(420)가 만나서 이루는 제 1 꼭짓점(b)과 제 2 꼭짓점(a)과 만나거나, 제 1 꼭짓점(b)과 제 2 꼭짓점(a) 사이를 지나는 것을 특징으로 한다.
- [0046] 즉, 본 발명의 제 4 실시예의 광 스위치(400)는, 반사기(430)의 제 1 계면(431)에서 외부 굴절한 빛을 제 2 계면(432)에서 내부 반사를 시켜, 가지 도파로(420)로 들어가게 하는 구조이다. 제 2 계면(432)에서 입사각 θ_2' 이 전반사 조건($\theta_{c2} = \cos^{-1}(n_1/n_r)$, ($\theta_2' \leq \theta_{c2}$))을 만족하면, 전반사에 의해 가지 도파로(420)로 빛을 유도할 수 있다. 가지 도파로(420)의 구경 너비 a-b를 반사기(430)의 구경 너비 c-d와 같거나 크게 하면, 제 2 계면(432)에서 전반사된 빛은 높은 효율로 가지 도파로(420)로 유도할 수 있다. 이 구조에서도 아래쪽 a-c 간격을 크게 하면, 반사기(430)의 제 1 계면(431)에서 일부 반사된 빛을 가지 도파로(420) 안으로 유도할 수 있어, 가지 도파로(420)로 들어가는 빛의 양을 더 높일 수 있다.
- [0047] 도 4b는 본 발명의 바람직한 제 5 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치(500)를 나타낸다. 도 4b의 제 5 실시예의 광 스위치(500)는, 제 4 실시예의 광 스위치(400)와 다른 점은 동일하지만, 제 1 계면(531)의 일단과 제 2 계면(532)의 일단을 연결한 면 중 하나인 반사기(530)의 제 3 계면(533)이, 주 도파로(510)의 세로 방향의 두 개의 면 중 가지 도파로(520)와 접하는 하나의 면과 접하는 것을 특징으로 한다.
- [0048] 즉, 본 발명의 제 5 실시예의 광 스위치(500)는, 반사기(530)의 형태를 단순화하기 위하여 반사기(530)의 구경 c-d를 주 도파로(510)의 계면 방향에 맞춰 사선으로 만든 구조이다. 제 1 반사기 각도(θ_r), 가지 각도(θ_b), 반사기(530)의 구경 너비 c-d, 가지 도파로(520)의 구경 너비 a-b를 적절히 조절하여, 반사기(530)의 제 1 계면(531)에서 반사 또는 굴절되는 빛이나, 제 2 계면(532)에서 반사되는 빛을 가지 도파로(520)로 최대한 보낼 수 있는 조건을 찾을 수 있다.
- [0049] 도 4c는 본 발명의 바람직한 제 6 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치(600)를 나타낸다. 본 발명의 제 5 실시예의 광 스위치(500) 구조에서는 반사기(530)의 구경 c-d가 예리한 각도로 빛나가 있어 이 계면(533)에서 빛의 굴절각이 민감하게 변하고, 또한 반사도 일어나 다시 주 도파로(510)로 들어가는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 막기 위해, 도 4c와 같이 반사기(630)의 구경 c-d를 둔한 각도로 만들 수도 있다.
- [0050] 도 4d는 본 발명의 바람직한 제 7 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치(700)를 나타낸다. 도 4d의 본 발명의 제 7 실시예의 광 스위치(700)는, 제 5 실시예의 광 스위치(500)와 다른 점은 동일하지만, 제 5 실시예의 광 스위치(500)는 가지 각도(θ_b)가 주 도파로(510)와 제 2 계면(532)과 이루는 제 2 반사기 각도(θ_r')

와 동일한 값을 가지는 반면, 제 7 실시예의 광 스위치(700)는 가지 각도(θ_b)가 주 도파로(710)와 제 2 계면(732)과 이루는 제 2 반사기 각도(θ_r') 보다 큰 것을 특징으로 한다. 이러한 구조가 가능한 이유는, 도 3c에서 설명한 원리와 같이, 가지 도파로(720)의 임계각(θ_{wc})이 반사기(730)의 임계각(θ_c')보다 일반적으로 크기 때문이다($\theta_{wc} \gg \theta_c'$). 따라서, 가지 도파로(720)의 각도(θ_b)가 크더라도, 반사기(730)의 제 2 계면(732)에서 반사한 빛은 일단 가지 도파로(720)로 들어오면, $\theta_2'' < \theta_{wc}$ 인 조건을 만족하는 빛은 내부 전반사에 의해 가지 도파로(720)로 전파될 수 있다. 가지 도파로(720)의 각도(θ_b 는), $\theta_2'' < \theta_{wc}$ 을 만족하는 범위까지 크게 할 수 있다.

- [0051] 도 4e는 본 발명의 바람직한 제 8 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치(800)를 나타낸다.
- [0052] 도 4e로부터 알 수 있는 바와 같이 본 발명의 바람직한 제 8 실시예의 광 스위치(800)는, 빛이 입사하고 직선 형태인 주 도파로(810), 주 도파로(810)로부터 일정한 각도인 가지 각도(θ_b)를 이루되 주 도파로(810)와 이격된 형태인 가지 도파로(820) 및 신호의 인가에 의해 굴절률이 변화하는 반사기(830)를 포함한다. 즉, 본 발명의 제 8 실시예의 광 스위치(800)는, 주 도파로(810)와 가지 도파로(820)가, 반사기(830)에 의해 연결되는 것을 특징으로 한다.
- [0053] 다만, 주 도파로(810) 및 가지 도파로(820)의 굴절률인 제 1 굴절률(n_1) 보다, 반사기(830)의 굴절률인 제 2 굴절률(n_r)이 크도록 제어하는 것은 본 발명의 제 4 실시예 내지 제 7 실시예의 광 스위치(400, 500, 600, 700)와 동일하다.
- [0054] 구체적으로, 본 발명의 바람직한 제 8 실시예의 광 스위치(800)는, 반사기(830)의 주 도파로(810)와 접하는 제 1 계면(831)으로부터 굴절에 의해 반사기(830) 내부로 빛이 입사한 후, 반사기(830)의 주 도파로(810)와 접하는 제 2 계면(832)으로 빛이 입사하여 반사기(830) 내부에서 반사되는 것에 의해, 가지 도파로(820)로 빛을 유도한다. 아울러, 주 도파로(810)와 제 2 계면(832)이 이루는 제 2 반사기 각도(θ_r')는, 가지 각도(θ_b) 보다 큰 것을 특징으로 한다.
- [0055] 즉, 가지 각도(θ_b)가 작으면, 반사기(830)의 굴절률 변화가 없을 때($n_r \sim n_1$), 주 도파로(810)와 가지 도파로(820) 간의 커플링(coupling)이 커지게 되어 직진하는 빛의 일부가 가지 도파로(820)로 새어 나가는 문제가 발생될 수 있다. 이 문제를 줄이기 위한 바람직한 방법으로 가지 도파로(820)와 주 도파로(810) 사이에 간격을 두고, 즉, 점 d와 점 e 사이를 띄워두고, 그 사이를 반사기(830)의 각도에 가까운 각도의 도파로(820)로 이어주는 구조가 본 발명의 제 8 실시예의 광 스위치(800)이다.
- [0056] 외부 굴절을 이용하는 본 발명의 제 4 실시예 내지 제 8 실시예의 광 스위치(400, 500, 600, 700, 800)는, 모두 반사기(430, 530, 630, 730, 830)의 제 1 계면(431, 531, 631, 731, 831)에서 외부 굴절을 겪게 되고, 제 2 계면(432, 532, 632, 732, 832)에서 입사각이 제 1 계면(431, 531, 631, 731, 831)의 입사각보다 커지게 된다($\theta_2' < \theta_1$). 이로 인하여 제 2 계면(432, 532, 632, 732, 832)에서 내부 전반사를 얻어내기 위해서는, 제 1 실시예 내지 제 3 실시예와 같이 제 1 계면(131, 231, 331)에서 내부 전반사를 이용하는 구조보다, 반사기(430, 530, 630, 730, 830)의 각도를 더 작게 만들어 줘야 하는 약점이 있다.
- [0057] 상술한 문제점을 해결하기 위하여, 도 4f의 본 발명의 제 9 실시예의 광 스위치(900)를 제안하고자 한다. 본 발명의 제 9 실시예의 광 스위치(900)와 같이, 반사기(930)의 제 1 계면 g-h(931)을 주 도파로(910)에 수직 또는 큰 각도로 만들어 줌으로써 입사각(θ_1)을 크게 만들어 준다. 즉, 제 1 계면(931)에서 입사각(θ_1)을 직각에 가깝도록 크게 하면, 빛은 거의 직진으로 진행하고 투과율(transmittance)도 1에 가깝게 높일 수 있다. 따라서, $n_r > n_1$ 인 반사기(930)를 사용하는 경우에는 반사기(930)의 제 2 계면(932)은 작은 각도로 만들고, 제 1 계면(931)은 큰 각도로 만들어 주는 것이 바람직한 구조이다.
- [0058] 즉, 본 발명의 제 9 실시예의 광 스위치(900)는, 제 1 계면(931)으로 입사한 빛이 제 1 계면(931)과 이루는 각

도(θ_1)는, 제 2 계면(832)으로 입사한 빛이 제 2 계면(932)과 이루는 각도보다 큰 것을 특징으로 한다. 더욱 바람직하게는, 제 1 계면(931)으로 입사한 빛이 제 1 계면(931)과 이루는 각도(θ_1)는, 직각인 것을 특징으로 한다.

[0059] 도 5a는 본 발명의 바람직한 제 10 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치(1000)를 나타낸다.

[0060] [표 1]과 [표 2]에 따르면, 작은 입사각에서 굴절이 일어날 경우에 내부 굴절이든 외부 굴절이든 관계없이 대부분의 빛이 투과된다. 이러한 특성을 이용하여, 본 발명의 제 10 실시예와 같이, 반사기(1030)의 제 1 계면(1031)에서 굴절된 빛을 가지 도파로(1020)로 바로 들어가기(1030)를 제공하고, 반사기(1030)의 제 1 계면(1031)에서 일어나는 내부 굴절을 이용하는 광 경로 변경 구조의 예시를 나타낸다. 제 1 반사기 각도(θ_r)가 임계각(θ_c) 보다 크게 되면($\theta_r \geq \theta_c$), [표 1]에서 보여준 바와 같이, 대부분의 빛은 제 1 계면(1031)에서 내부 굴절이 된다. 굴절각(θ_2)을 $\theta_2 < \theta_{2max}$ 가 되게 제 1 반사기 각도(θ_r)를 제공하면 반사기(1030)의 제 1 계면(1031)에서 굴절된 빛은 대부분 가지 도파로(1020)로 바로 들어갈 수 있다. 여기서, θ_{2max} 는 주 도파로(1010)의 중앙으로 진행하는 빛이 가지 도파로(1020)의 구경(aperture) a-b 안으로 들어갈 수 있는 최대 굴절각이다. 이 구조는 θ_2 가 θ_1 에 민감하여 $\theta_2 < \theta_{2max}$ 의 조건을 맞추기가 용이하지 않은 문제가 있다. 이 문제는 가지 도파로(1020)의 구경 너비 a-b와 반사기(1030)의 구경 너비 c-d를 넓게 하여 해결할 수 있다. 즉, a-b와 c-d가 넓어지면, θ_{2max} 가 커지고 가지 도파로(1020)로 들어갈 수 있는 θ_2 의 범위도 크게 할 수 있다. 또한, 가지 도파로(1020)와 반사기(1030)의 너비 차를 크게 하여, 아래쪽 a-c 간격을 크게 하면, 반사기(1030)의 제 1 계면(1031)에서 일부 반사된 빛을 가지 도파로(1020) 안으로 유도할 수 있어, 가지 도파로(1020)로 들어가는 빛의 양을 더 높일 수 있다. 이와 같이, 반사기(1030)의 구경 너비 c-d와 가지 도파로(1020)의 구경 너비 a-b의 간격을 적절히 조절하는 수단으로 가지 도파로(1020)로 들어가는 빛의 결합 효율을 조절할 수 있다.

[0061] 도 5b는 본 발명의 바람직한 제 11 실시예에 따른 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치(1100)를 나타낸다.

[0062] 도 5b의 제 11 실시예의 광 스위치(1100)는, 굴절률(n_r)이 주위(n_1) 보다 높은 반사기(1130)를 제공하고, 반사기(1130)의 제 1 계면(1131)에서 일어나는 외부 굴절을 이용하는 광 경로 변경 구조의 예시를 나타낸다. 외부 굴절의 경우에, [표 2]에서 보여준 바와 같이, 입사각이 아주 작지만 않으면 대부분의 빛은 제 1 계면(1131)에서 투과된다. 외부 굴절이 일어날 경우에, 입사각 θ_1 보다 굴절각 θ_2 가 더 커지므로($\theta_2 > \theta_1$), 가지 도파로(1120)는 주 도파로(1110)의 좌측에 배치한다. 이 점이 가지 도파로(1120)를 주 도파로(1110)의 우측에 배치하는, 도 5a의 내부 굴절($\theta_2 < \theta_1$)을 이용하는 경우와 크게 다른 점이다. 굴절된 빛을 가지 도파로(1120)로 충분히 유도하기 위해서는 반사기(1130)의 제 1 계면(1131)을 가지 도파로(1120)의 구경 너비 a-b 안에 들어가게 하고, 또한 굴절각 θ_2 가 θ_{2min} 보다 크게 하는 것($\theta_2 > \theta_{2min}$)이 바람직하다. 여기서 θ_{2min} 는 주 도파로(1110)의 중앙으로 진행하는 빛이 가지 도파로(1120)의 구경(aperture) a-b 안으로 들어갈 수 있는 최소 굴절각이다. 반사기(1130)의 제 2 계면(점 d가 놓이는 계면, 1132)의 위치와 각도는 이 제 2 계면(1132)에서 내부 굴절된 빛이 가지 도파로(1120)의 구경 너비 a-b 안에 들어갈 수 있게 적절히 설치한다.

[0063] 정리하자면, 본 발명의 바람직한 제 11 실시예의 광 스위치(1100)는, 빛이 입사하고 직선 형태인 주 도파로(1110), 주 도파로(1110)로부터 일정한 각도인 가지 각도를 이루며 분기된 형태인 가지 도파로(1120) 및 신호의 인가에 의해 굴절률이 변화하는 반사기(1130)를 포함한다. 바람직하게는 본 발명의 제 11 실시예에 따른 광 스위치는(1100), 주 도파로(1110) 및 가지 도파로(1120)의 굴절률인 제 1 굴절률(n_1) 보다 반사기(1130)의 굴절률인 제 2 굴절률(n_r)이 크도록 제어하고, 주 도파로(1110)로부터 반사기(1130)의 주 도파로(1110)와 접하는 제 1 계면(1131)으로부터 반사기(1130) 내부로 굴절에 의해 입사하여, 가지 도파로(1120)로 빛을 유도하는 것을 특징으로 한다. 구체적으로, 주 도파로(1110)로부터 입사한 빛이 제 1 계면(1131)과 이루는 각도(θ_1) 보다 제 1 계면(1131)과 반사기(1130) 내부로 굴절에 의해 입사한 빛이 이루는 각도(θ_2)가 더 커지므로, 가지 도파로(1120)의 위치는 반사기의 제 1 계면(1131)의 경사진 방향과 반대 측면에 위치하는 것이 바람직하다.

[0064] 참고로, 물질에서 굴절률 변화는 전기 광학 효과(electro-optic effect), 광 흡수 효과(electroabsorption effect), 전자(electron)와 홀(hole)의 플라즈마 분산(plasma dispersion)에 의한 캐리어 도핑 효과(carrier-doping effect), 열 광학 효과(thermo-optic effect), 음향 광학 효과(acousto-optic effect), 비선형 효과(nonlinear effect), 표면 플라즈몬 효과(surface plasmonic effect) 등의 다양한 효과로 얻을 수 있으나, 대부분의 물질에서는 이들 효과에 의한 굴절률의 변화가 0.01 이하로 매우 적다. 굴절률 변화 $(n_1 - n_2)/n_1$ 가 매우 적을 경우 임계각은 몇 도($^{\circ}$)로 작게 된다.

[0065] 일례로, 실리콘 반도체 소재의 경우에, p형 또는 n형 불순물이 도핑되면, 전자(electron)와 홀(hole)의 캐리어에 의해 굴절률이 진성(intrinsic) 상태보다 낮아진다. 그 효과는 억셉터(acceptor)와 도너(donor)의 농도가 5×10^{17} 내지 1×10^{20} 의 범위에서 이론적인 굴절률은 진성 상태의 실리콘(n_1 은 약 3.5)에 비해 5×10^{-4} 내지 1×10^{-1} 정도 낮게 된다. 즉, 도핑 상태의 굴절률과 진성 상태의 굴절률 차이는 $\Delta n = n_1 - n_2$ 이 -0.0005 내지 -0.1 범위에 들고, $(n_1 - n_2)/n_1$ 이 -0.00015 내지 -0.03 범위에 든다. 상술한 굴절률 범위에서 임계각은 1° 내지 15° 범위에 있다. 다른 소재에서도 전기장이나 도핑에 의한 굴절률 변화는 상술한 굴절률 변화 범위를 크게 넘어서지 않는다. 일반적으로 활용할 수 있는 소재에서도 전기장으로 얻을 수 있는 굴절률 변화 범위를 고려하면, 임계각은 20° 이내의 범위로 작게 된다. 따라서, 본 발명에서 작은 각의 반사라 함은 굴절률 변화로 현실적으로 전반사를 얻을 수 있는 20° 이내의 범위에서 반사를 의미한다. 본 발명은 상술한 범위의 작은 굴절률 변화로 상술한 범위의 작은 전반사 각도로 광 경로를 변경시킬 수 있는 원리를 이용한다.

[0066] 또한, 본 발명의 반사기는, 전기 광학 효과(electro-optic effect), 광 흡수 효과(electroabsorption effect), 전자(electron)와 홀(hole)의 플라즈마 분산(plasma dispersion)에 의한 캐리어 도핑 효과(carrier-doping effect), 열 광학 효과(thermo-optic effect), 음향 광학 효과(acousto-optic effect), 비선형 효과(nonlinear effect), 표면 플라즈몬 효과(surface plasmonic effect) 등에 의해 굴절률이 변화될 수 있는 물질로 구성될 수 있다.

[0067] 상술한 효과에 의한 반사기의 굴절률 변화는 일반적으로 전기장이나 전류 (또는 캐리어) 주입으로 이루어지므로, 이러한 경우를 예로 들면, 전기장이나 전류 (또는 캐리어)를 걸어줄 수 있는 전극을 도파로 근처에 설치하여 굴절률 제어 기능을 갖는 제어기를 이용하여, 반사기의 굴절률을 제어할 수 있다. 비선형 효과 또는 표면 플라즈몬 효과 등을 이용하면, 전기적이 아닌, 빛에 의해서도 굴절률이 변화될 수 있으므로, 빛을 제어 신호로 사용하는 반사기를 설치할 수도 있다. 이러한 전기 제어 신호 또는 광 제어 신호를 제어기에서 발생시켜 반사기로 보내 반사기의 굴절률을 변화시킨다.

[0068] 상술한 바와 같이, 본 발명의 바람직한 실시예의 반사 또는 굴절을 이용한 광 스위치에 따르면, 반사기의 굴절률이 도파로 보다 낮거나 높을 경우에 대해, 반사기의 경계면에서 반사뿐 아니라 굴절까지 이용하여 광의 경로를 제어할 수 있는 광 스위치를 제공할 수 있음을 알 수 있다.

부호의 설명

- [0069] 100 : 본 발명의 제 1 실시예에 따른 광 스위치
- 200 : 본 발명의 제 2 실시예에 따른 광 스위치
- 300 : 본 발명의 제 3 실시예에 따른 광 스위치
- 400 : 본 발명의 제 4 실시예에 따른 광 스위치
- 500 : 본 발명의 제 5 실시예에 따른 광 스위치
- 600 : 본 발명의 제 6 실시예에 따른 광 스위치
- 700 : 본 발명의 제 7 실시예에 따른 광 스위치
- 800 : 본 발명의 제 8 실시예에 따른 광 스위치

900 : 본 발명의 제 8 실시예에 따른 광 스위치

1000 : 본 발명의 제 10 실시예에 따른 광 스위치

1100 : 본 발명의 제 11 실시예에 따른 광 스위치

110, 210, 310, 410, 510, 610, 710, 810, 910, 1010, 1110 : 주 도파로

120, 220, 320, 420, 520, 620, 720, 820, 920, 1020, 1120 : 가지 도파로

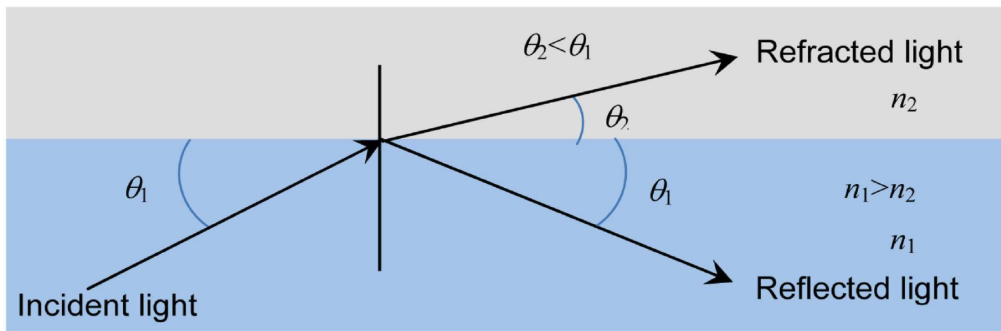
130, 230, 330, 430, 530, 630, 730, 830, 930, 1030, 1130 : 반사기

131, 231, 331, 431, 531, 631, 731, 831, 931, 1031, 1131 : 제 1 계면

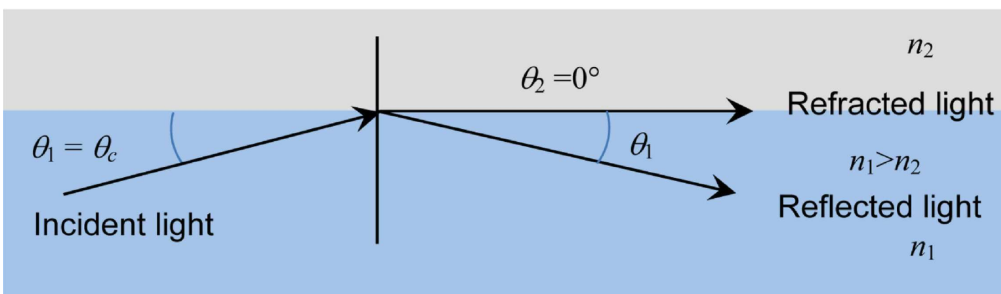
132, 232, 332, 432, 532, 632, 732, 832, 932, 1032, 1132 : 제 2 계면

도면

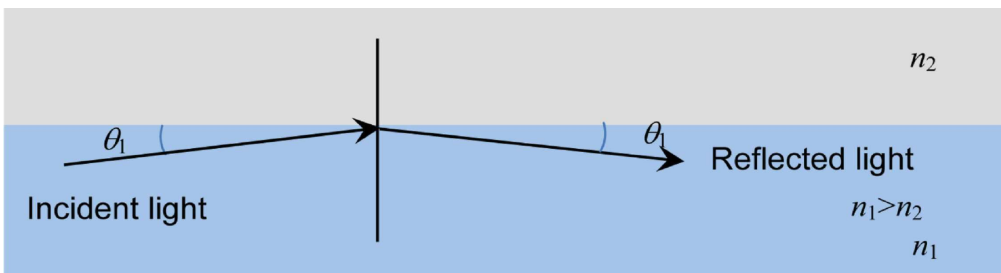
도면1a



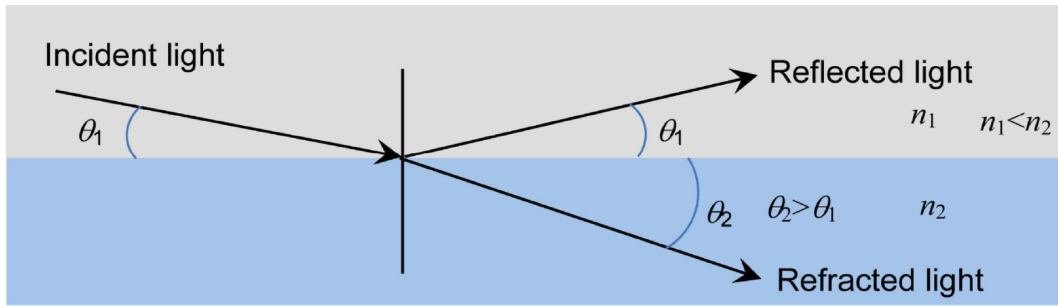
도면1b



도면1c

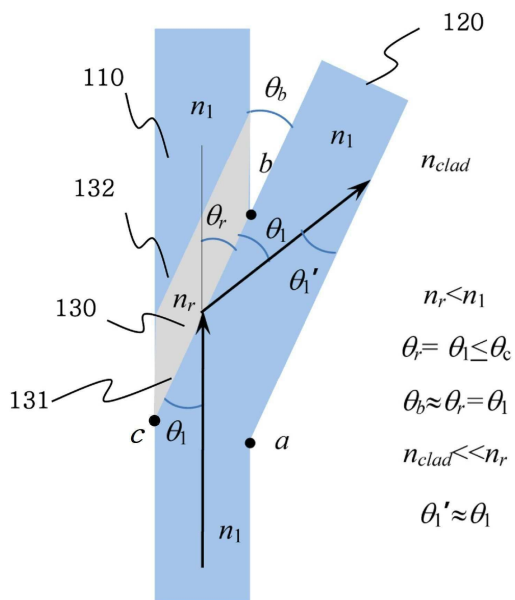


도면2



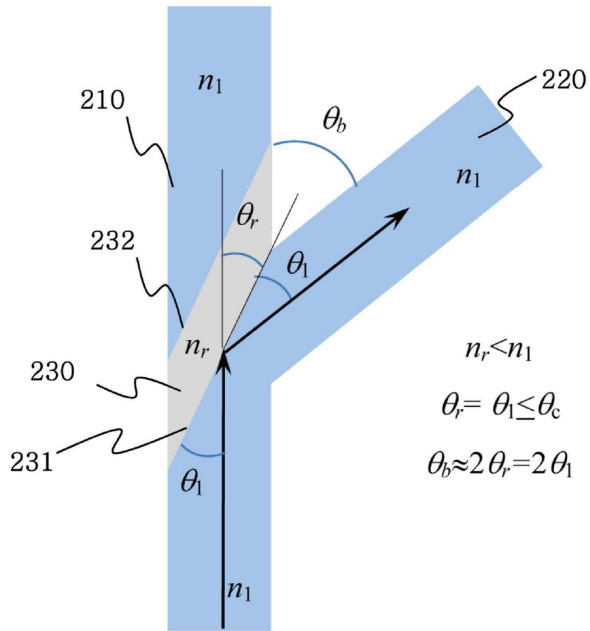
도면3a

100



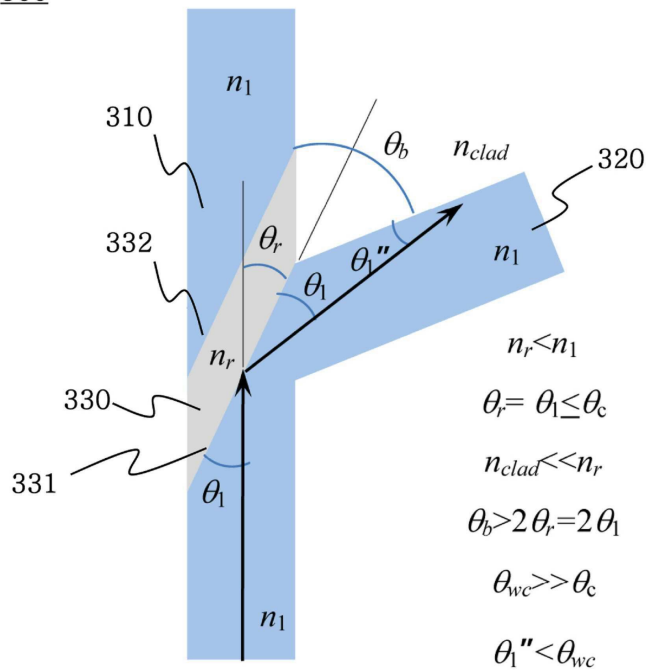
도면3b

200

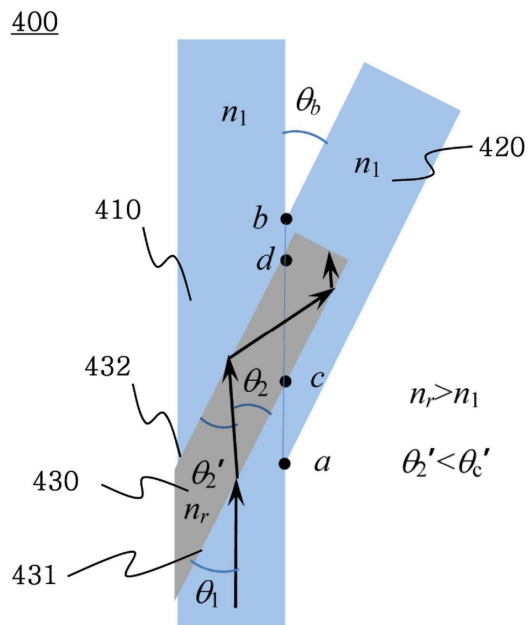


도면3c

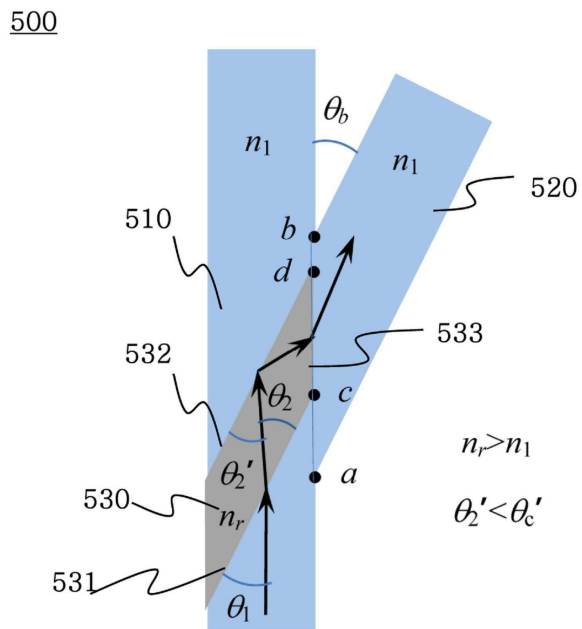
300



도면4a

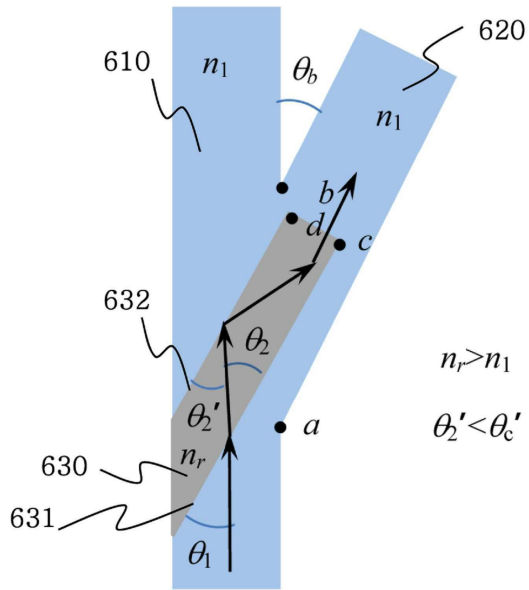


도면4b



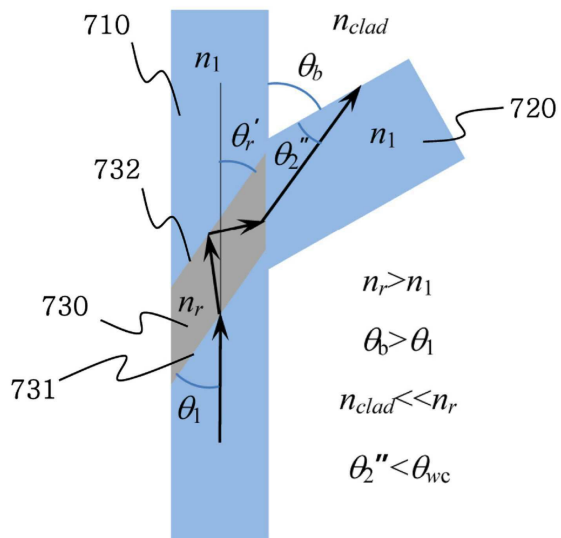
도면4c

600



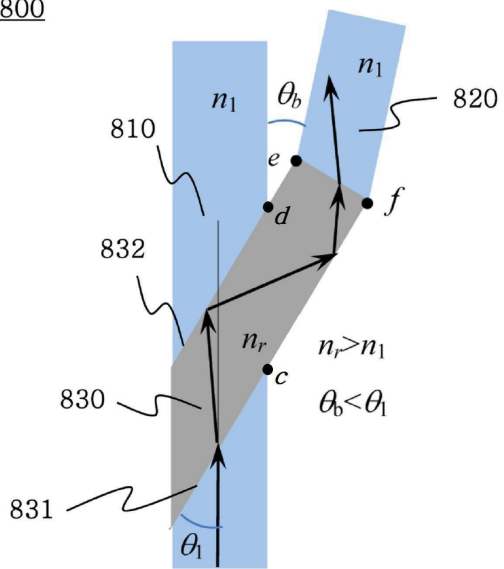
도면4d

700



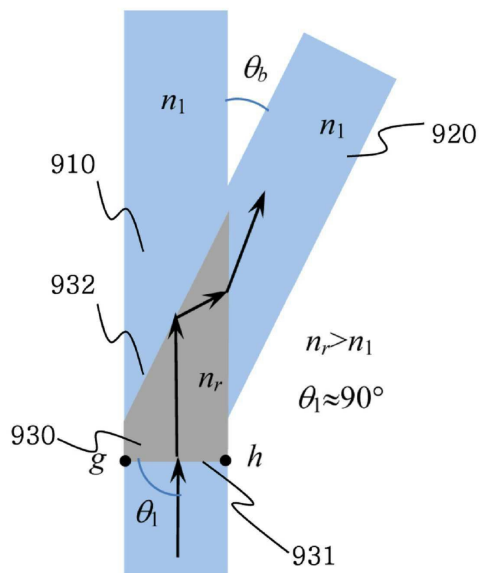
도면4e

800



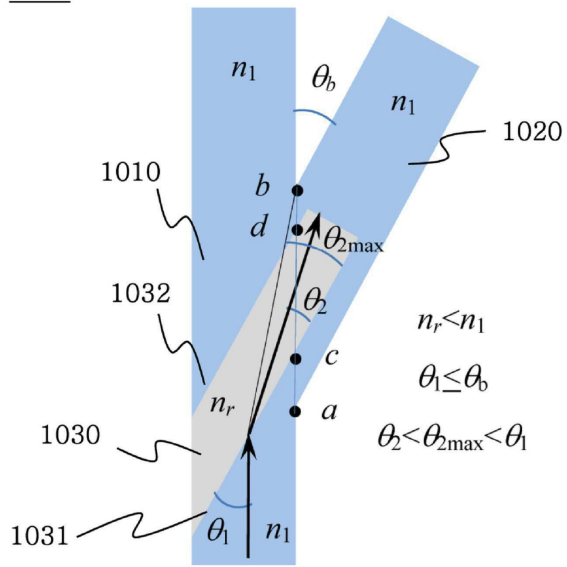
도면4f

900



도면5a

1000



도면5b

1100

