



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년11월03일
 (11) 등록번호 10-1456307
 (24) 등록일자 2014년10월23일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G02B 6/12 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2009-7000468
- (22) 출원일자(국제) 2007년06월11일
 심사청구일자 2012년06월05일
- (85) 번역문제출일자 2009년01월09일
- (65) 공개번호 10-2009-0032071
- (43) 공개일자 2009년03월31일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2007/013692
- (87) 국제공개번호 WO 2007/146233
 국제공개일자 2007년12월21일
- (30) 우선권주장
 11/810,591 2007년06월06일 미국(US)
 (뒷면에 계속)
- (56) 선행기술조사문헌
 US06393185 B1*
 WO2003048845 A2*
 US6753992 B2
 JP2002541516 A
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌
- (73) 특허권자
 씨스코 테크놀로지, 인코포레이티드
 미국, 캘리포니아 95134-1706, 산호세, 웨스트 타스만 드라이브 170
- (72) 발명자
 몽고메리, 로버트, 케이츠
 미국, 펜실베니아 18040, 이스턴, 810 호웨 스트리트
 기론, 마가렛
 미국, 펜실베니아 18103, 알렌타운, 1875 웨어우드 로드
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인
 허용록

전체 청구항 수 : 총 20 항

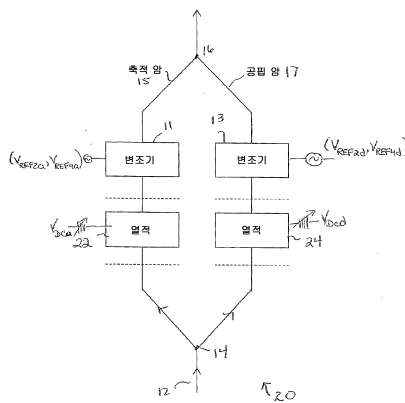
심사관 : 송병준

(54) 발명의 명칭 **실리콘 변조기 오프셋 튜닝 장치**

(57) 요약

실리콘-기반 광학 변조기 구조(20)는 상기 구조의 연관된 부분의 굴절율을 변화시키고 그에 따라 장치 성능의 원치 않는 변동들을 처리하기 위해 교정하는 조정들을 제공하기 위한 하나 또는 그 이상의 분리된 지역적인 가열 엘리먼트들(22/24)을 포함한다. 가열은 예를 들어 실리콘-기반 레지스터들, 규소화합물 레지스터들, 정방향-바이어스된 PN 접합들, 및 그와 유사한 것과 같은 열-광학 장치들에 의해 제공되며, 이러한 구조들 중 어떤 것은 실리콘-기반 광학 변조기와 용이하게 결합될 수 있다. 이러한 구조들 중 어떤 것으로의 DC 전압의 인가는 열을 생성할 것이며, 상기 열은 도파관 영역 내부로 전달된다. 도파관 영역의 지역적인 온도 증가는, 차례로, 상기 영역에 있는 도파관의 굴절율을 증가시킬 것이다. 상기 인가된 DC 전압에 대한 제어는 상기 굴절율을 제어하는 결과를 낳는다.

대표도 - 도3



(72) 발명자

고토스칼, 프라카쉬

미국, 펜실베니아 18104, 알렌타운, 6749 윈더미어
코트

모신스키스, 파울리우스, 민다우개스

미국, 펜실베니아 18955, 리치랜드타운, 1545 그루
벨스빌 로드

파텔, 비플쿠마

미국, 펜실베니아 18031, 브레이니그스빌, 8916 그
레디 드라이브

샤스트리, 칼펜두

미국, 펜실베니아 18069, 오레필드, 5529 윌로우
웨이

웹스터, 마크

미국, 펜실베니아 18018, 베틀레햄, 2층, 101 웨스
트 마켓 스트리트

(30) 우선권주장

60/813,913 2006년06월15일 미국(US)

60/928,386 2007년05월09일 미국(US)

특허청구의 범위

청구항 1

실리콘 기판, 매립된 산화층, 및 서브 마이크론 두께 실리콘 표면층을 포함하는 SOI(silicon-on-insulator) 기반 구조에 형성된 실리콘-기반 광학 변조 장치에 있어서, 상기 실리콘-기반 광학 변조 장치는,

입력되는 광파 신호의 전파를 지원하기 위해 상기 서브 마이크론 두께의 실리콘 표면층에 형성된 광 도파관;

전기적 교류(AC) 변조 신호를 상기 광 도파관으로 안내하고 상기 전파하는 광파 신호의 특성들을 조정하기 위해 상기 광 도파관을 따라 배치되며, 도핑된 실리콘층을 포함하는, 변조 엘리먼트; 및

상기 광 도파관을 따라 배치되고, 온도 변화의 작용으로 상기 도파관의 굴절율을 조정하도록 상기 광 도파관 내부로 전달되는 열을 생성하기 위해 인가된 직류(DC) 전압에 응답하는 열-광학(thermo-optic) 엘리먼트를 포함하고,

상기 변조 엘리먼트의 도핑된 실리콘층은, 상기 서브 마이크론 두께 실리콘 표면층의 대향적으로 도핑된 부분과 중첩되는 구성으로 배치되는

실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 변조 엘리먼트 및 상기 열-광학 엘리먼트들은 상기 광 도파관의 물리적으로 분리된 부분들을 따라 배치되는

실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 변조 엘리먼트 및 상기 열-광학 엘리먼트는 그들 사이에 배치된 전기적 절연(electrical isolation)을 가지고 상기 광 도파관의 실질적으로 동일한 영역을 따라 배치되는

실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 전기적 절연은 도핑되지 않은 실리콘 영역들을 포함하는

실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 전기적 절연은 상기 변조 엘리먼트와 상기 열-광학 엘리먼트 사이에 배치된 상대적으로 얇은 유전 층을 포함하는

실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 상대적으로 얇은 유전 층은 100옹스트롬(angstrom,A)보다 작은 두께를 포함하는

실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 7

제5항에 있어서,
 상기 상대적으로 얇은 유전 층은 실리콘 이산화물(silicon dioxide)을 포함하는
 실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 8

제5항에 있어서,
 상기 상대적으로 얇은 유전 층은 실리콘 질화물(silicon nitride)을 포함하는
 실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 9

제1항에 있어서,
 상기 열-광학 엘리먼트는 저항-기반(resistive-based) 열-광학 엘리먼트를 포함하는
 실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,
 상기 저항-기반 열-광학 엘리먼트는 연관된 DC 전압 원과의 연결을 위해 한 쌍의 공간적으로 분리된 콘택트 영
 역들을 포함하는 적어도 하나의 도핑된 실리콘 레지스터(resistor)를 포함하는
 실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 11

제10항에 있어서,
 상기 적어도 하나의 도핑된 실리콘 레지스터는 상기 광 도파관 영역의 반대 측들에 형성되어 분리된 DC 전압 원
 들에 의해 제어되는 한 쌍의 도핑된 실리콘 레지스터들을 포함하는
 실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 12

제9항에 있어서,
 상기 저항-기반 열-광학 엘리먼트는 연관된 DC 전압 원과의 연결을 위해 한 쌍의 공간적으로 분리된 콘택트 영
 역들을 포함하는 규소화합물(silicide) 레지스터를 포함하는
 실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 13

제1항에 있어서,
 상기 열-광학 엘리먼트는 정방향-바이어스된 PN 접합 장치를 포함하는
 실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 14

제1항에 있어서,
 상기 실리콘-기반 광학 변조 장치는 축적 도파관 암(accumulation waveguiding arm) 및 공핍 도파관 암
 (depletion waveguiding arm)을 포함하는 간섭계(interferometer)를 포함하고, 상기 축적 도파관 암과 연관된
 축적 변조 엘리먼트(accumulation modulating element) 및 축적 열-광학 엘리먼트(accumulation thermo-optic

element)와 상기 공핍 도파관 압과 연관된 공핍 변조 엘리먼트(depletion modulating element) 및 공핍 열-광학 엘리먼트(depletion thermo-optic element)를 가지는

실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 축적 도파관 압의 변조 엘리먼트에 인가되는 상기 전기적인 AC 변조 신호는 상기 공핍 도파관 압의 변조 엘리먼트에 인가되는 상기 전기적인 AC 변조 신호와 독립적인

실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 16

제14항에 있어서,

상기 축적 도파관 압의 열-광학 엘리먼트에 인가되는 상기 DC 전압은 상기 공핍 도파관 압의 열-광학 엘리먼트에 인가되는 상기 DC 전압과 독립적인

실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 17

제1항에 있어서,

상기 실리콘-기반 광학 변조 장치는, SISCAP(silicon-insulator-silicon capacitive)광-전자(opto-electronic) 변조 장치를 포함하는

실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 18

제1항에 있어서,

상기 실리콘-기반 광학 변조 장치는, PN-기반 광-전자 변조 장치를 포함하는

실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 19

제1항에 있어서,

상기 실리콘-기반 광학 변조 장치는, 링 공진기(ring resonator) 변조 장치를 포함하는

실리콘-기반 광학 변조 장치.

청구항 20

제1항에 있어서,

상기 실리콘-기반 광학 변조 장치는, 전기-흡수(electro-absorption) 변조 장치를 포함하는

실리콘-기반 광학 변조 장치.

명세서

기술분야

[0001] 본 출원은 2006년 6월 15일에 출원된 미국 가출원 번호 60/813,913 및 2007년 5월 9일에 출원된 미국 가출원 번호 60/928,386의 우선권을 주장한다.

[0002] 본 발명은 변조 특성들(위상 및 진폭) 및 열-광학 조정 기술들(thermo-optic adjustment techniques)을 이용하는 SOI-기반 광학 변조기에서의 오프셋(offset)에 대한 독립적인 제어를 제공하는 장치에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 오랫동안, 외부 광학 변조기(external optical modulator)들은 리튬 니오브산염(lithium niobate)과 같은 전기-광학(electro-optic) 물질로 만들어져왔다. 광학 도파관들은 각 도파관 암(arm)의 표면상에 배치된 금속 콘택트 영역들과 함께 상기 전기-광학 물질 내부에 형성된다. 금속 콘택트로의 전압 인가는 상기 콘택트 아래의 상기 도파관 영역의 굴절율을 조정할 것이다. 두개의 암(arm)들 사이에서 π 위상 시프트를 발생시키는 전압을 인가함에 의해, 비선형(디지털) 마하-젠더(Mach-Zehnder) 변조기가 형성된다. 특히, 광학 신호가 상기 도파관 안으로 입력되면, 상기 전기 신호 입력은 상기 콘택트들에 인가된다(상기한 바와 같이 적절한 전압 레벨들을 이용하여). 상기 광학 신호는 출력 광학 신호를 생성하기 위해 암들을 따라 전파함에 의해 위상 조절된다. 유사한 결과가 선형(아날로그) 광학 출력 신호에서도 가능하다.
- [0004] 이러한 타입의 외부 변조기가 매우 유용한 것으로 입증되었지만, 다양한 실리콘-기반 플랫폼들에서 다양한 광학 컴포넌트들, 서브시스템들 및 시스템들을 형성하고자 하는 요구들이 증가하고 있다. 동일한 실리콘 기반 상에 광학 컴포넌트들을 가지는 그러한 시스템들(예를 들어, 전기-광학 변조기를 위한 입력 전기 데이터 구동 회로(input electrical data drive circuit))과 연관된 다양한 전자 컴포넌트들을 집적하는 것도 요구된다. 분명히, 그러한 상황에서 리튬 니오브산염-기반 광학 장치들의 사용은 필수적이다. 다양한 다른 종래의 전기-광학 장치들은 실리콘 기반과 직접적으로 호환되지 않는 물질(III-V 화합물들과 같은)과 유사하다.
- [0005] 2005년 1월 18일 출원된 본 출원의 양수인으로 지정된 R.K. Montgomery 등의 미국 특허 6,845,198에 개시된 바와 같이, 실리콘-기반 플랫폼에서 광학 변조를 제공할 수 있는 능력의 상당한 진보가 만들어졌다. 도 1은 (예를 들어) 상기 R.K. Montgomery 등의 특허에 개시된 바와 같은 실리콘-기반 변조기의 일 실시예인 장치를 나타낸다. 이 경우, SOI-기반 광학 변조기(1)는 도핑된 실리콘 층(2)(일반적으로, 폴리실리콘(poly silicon))을 포함하며, 실리콘 층(2)은 서브-마이크론 두께의 표면 층(4)(당해 기술 분야에는 SOI 층으로 종종 언급됨)의 반대로-도핑된 부분과 중첩되도록 배치된다. SOI 층(4)는 실리콘 기판(6) 및 매립된 산화물(buried oxide) 층(7)을 더 포함하는 종래의 SOI 구조(5)의 표면 층으로 나타난다. 중요하게는, 비교적 얇은 유전 층(8)(예를 들어 실리콘 이산화물(silicon dioxide), 실리콘 질화물(silicon nitride) 또는 그와 유사한 것과 같은)이 SIO 층(4)과 도핑된 실리콘 층(2) 사이의 중첩된 영역을 따라 배치된다. 실리콘 층(2), 유전 층(8) 및 SOI 층(4)에 의해 정의되는 상기 중첩된 영역은 광학 변조기(1)의 '활성 영역(active region)'을 정의한다. SOI 층(4)에 인가된 전압(V_{REF4}) 및/또는 도핑된 실리콘 층(2)에 인가된 전압(V_{REF2})의 작용으로, 자유 캐리어들이 유전 층(8)의 한 측 상에 축적되어 공핍될 것이다. 자유 캐리어 농도의 변조는 상기 활성 영역에서의 유효 굴절율을 변화시키며, 그에 따라 상기 활성 영역에 의해 정의되는 도파관을 따라 전파하는 광학 신호의 위상 변조를 이끌어낸다(상기 광학 신호는 페이퍼에 수직인 방향인 y-축을 따라 전파한다).
- [0006] R.K. Montgomery 등에 의해 개발된 타입의 광학 변조기들에 대한 과제 중 남아있는 부분은 주변 조건들(온도와 같은), 장치 노화 및 그와 유사한 것에서의 프로세스 변동들, 변화들을 조절/수정(adjust/correct)하기 위하여 조정/튠(modify/tune)을 할 수 있는 능력과 관련된 것이다.

발명의 상세한 설명

- [0007] 종래 기술에서 남아있는 과제는 변조 특성들(위상 및 진폭) 및 장치의 광학적 특성들에 대한 열 조정들을 제공함에 의한 SOI-기반 광학 변조기에서의 오프셋(바이어스)에 대한 독립적인 제어를 제공하는 장치에 관한 본 발명에 의해 해결된다.
- [0008] 본 발명에 따르면, 종래 기술과 유사한 방식으로, 자유 캐리어의 움직임이 SOI-기반 광학 변조기의 위상 및 흡수 보상 요구들을 실현하기 위해 사용된다. 추가적으로, 열-광학 효과는 반대 부호 위상 시프트 효과(opposite sign phase shift effect)를 실현하기 위해 사용된다. 광 도파관 영역 내부에서의 지역적인 가열이, 본 발명에 따르면, 변조 영역의 응답을 조정하기 위해 이용된다.
- [0009] 지역적인 가열이 상대적으로 작은 장치 구조들뿐 아니라 제조에서도 상대적으로 용이한 방법으로 이전에-사용된 SISCAP 변조기 구조(또는 어떤 다른 실리콘-기반 광-전기 변조 장치)와 함께 집적될 수 있다는 것이 본 발명의 일 면이다. 가열은, 예를 들어, 실리콘-기반 레지스터(resistor)들, 규소화합물(silicide) 레지스터들, 정방향-바이어스된 PN 접합들, 및 그와 유사한 것에 의해 제공될 수 있으며, 여기서 이러한 구조들 중 어떤 것은 R.K. Montgomery 등에 의해 알려진 것과 같은 SISCAP 광학 변조기와 쉽게 결합될 수 있다. 이러한 구조들 중 어떤 것에 DC 전압을 인가하는 것은 도파관 영역의 지역적인 온도를 증가시키며, 상기 어구 "DC 전압"은 사실상 실질적

으로 DC인 신호들을 포함하는 것으로 정의된다. 상기 가열은 하나의, 연속적인 영역을 따라 가해질 수 있으며 또는, 반대로, 도파관 영역의 분리된 구역들을 따라 가해질 수도 있다.

[0010] 본 발명의 일실시예에서 자유 캐리어 변조 및 열 튜닝(thermal tuning)은 상기 도파관의 물리적으로 이중인 부분들을 따라 달성되어 AC 변조 신호와 DC 가열 신호 사이의 전기적인 상호 작용을 위한 전위(potential)를 감소시킨다. 또 다른 실시예에서는, 인접한 열-광학 엘리먼트 및 변조 엘리먼트들 사이의 전기적으로 절연된 물질을 결합시킴으로서 상기 도파관의 필요한 물리적 길이가 절약될 수 있다.

[0011] 본 발명의 또 다른 실시예들 그리고 양상들이 이하의 설명들 및 첨부된 도면들을 참조함에 의해 명백하게 될 것이다.

실시예

[0020] SOI-기반 광학 변조기에 대한 자유 캐리어의 변조 및 열적 오프셋 제어의 이용을 설명하기 이전에, 더욱 더 상세히 종래 기술의 변조기의 동작에 대한 이해를 제공하는 것이 도움이 될 것이다. 도 2는 종래 기술인 마하 쥘러 간섭계(Mach Zehnder interferometer, 10)에 대한 일예를 간략하게 나타내는 블록도로서, 상기설계의 각각의 암들(arms), 축적 암(accumulation arm, 15) 및 공핍 암(depletion arm, 17)으로 지칭된, 을 나타내며, 여기서 간섭계(10)는 도 1과 관련하여 상기에서 언급된 종래 기술 구조에 기반한다. 간섭계(10)의 각 암은 자유-캐리어-기반 위상 변조기 장치를 포함하며, 이는 AC 변조 신호들이 인가된 SOI 층(4) 및 도핑된 실리콘 층(2)에 의해 상기에서 설명된 방식으로 제어된다. 각 암에 인가되는 신호들은, 도 2에 도시된 축적 암(15)을 제어하기 위해 사용되는 신호들(V_{REF2a} 및 V_{REF4a}), 그리고 공핍 암(17)을 제어하기 위해 사용되는 신호들(V_{REF2d} 및 V_{REF4d})과 같이 독립적으로 동작한다. 일실시예에서, SOI 층(4)은 p-타입 도펀트(dopant)들을 포함하도록 제조되며, 여기서 도핑된 실리콘 층(2)은 필연적으로 n-타입 도펀트들을 포함하게 된다. 바람직하게는, 도핑 프로파일(doping profile)은 활성 영역에서의 도펀트 농도가 V_{REF} 영역들로의 콘택트의 영역에서 보다 작도록 제어되며, 상기 V_{REF} 콘택트 영역들은 규소화합물(silicide) 영역들을 포함할 수 있다.

[0021] 동작 시, 광학 신호(I_{in})는 입력 도파관(12)(바람직하게는 SOI 층(4) 내부에 형성된)을 따라 이동하여 광학 스플리터(14)(또한 바람직하게는 SOI 층(4) 내부에 형성된)로 들어간다. 광학 스플리터(14)는 파워에서의 안정된 50/50 스플릿(split)이 변조기(10)의 각 암(15, 17)에 주어지도록, 신호에 존재하는 광학 파워를 간단하게 반으로 나눌 수 있다(그러나, 어떤 다른 원하는 파워 스플릿이 사용될 수도 있다). 광학 스플리터(14)로부터의 제1 출력, $I_{in,a}$ 로 표시된, 은 그 후에 광학 입력 신호로서 변조기(10)의 축적 암(15)에 인가된다. 유사하게, 광학 스플리터(14)로부터의 제2 출력, $I_{in,d}$ 로 표시된, 은 그 후에 입력 신호로서 변조기(10)의 공핍 암(17)에 인가된다. 각 암의 활성 영역들(11 및 13) 각각을 제어하는 V_{REF2a} , V_{REF4a} , V_{REF2d} 및 V_{REF4d} 의 값들에 의해 변조된 후, 상기 변조된 출력 신호들은 변조된 광학 출력 신호(I_{out})를 형성하기 위해 광학 합성기(optical combiner, 16)에서 결합된다.

[0022] 상기한 바와 같이, 그러한 SOI-기반의 전기-광학 변조기의 성능에 영향을 줄 수 있는 제조 및 환경 팩터들이 존재한다. 표준 실리콘 집적 회로 제조 기술들에서의 프로세스 변동들(process variations)로부터 기인하여, 간섭계의 각 암에서의 변동들을 보상하기 위한 요구가 존재한다. 이러한 변동들은 물질적인 결함들 및 굴절을 변동들 뿐 아니라 도파관 폭, 두께, 및 인접한 도파관들 사이의 공간과 같은 다른 소오스들의 값에 영향을 미칠 수 있다. 무엇보다, 변화된 특징들(etched features)이 전파 특성들을 변동시켜, 최적의 파워 스플리팅(power splitting)에서의 편차를 발생시킬 수 있다. 진폭의 변동들은 방사 손실들에서의 분산(scattering) 및 변동(variation)의 결과로서 발생할 수 있다. 실제로, 도파관 측벽의 거칠기(roughness)/두께의 변동들의 결과로서, 각 암에서의 위상 시프트 및 흡수 특성들에서의 차이들이 있을 수 있다. 상기 변조기의 동작은 또한 주변 온도, 습도, 장치 노화 및 그와 유사한 것과 같은 환경적인 팩터들에 의해 영향받을 수도 있다. 본 발명의 장치는 존재할 수 있는 변동들을 극복하기 위해 독립적인 자유 캐리어들의 변조 및 열적 튜닝 제어를 가함에 의해(장치의 수명을 넘어 변조기의 동작을 조절하기 위한 진행 중인 수단들을 제공할 뿐 아니라) 이러한 문제들을 처리하도록 제안된다.

[0023] 도 3은 본 발명에 따른 원치 않는 진폭 및 위상의 오프셋을 보상하기 위한 독립적인 열적 튜닝을 제공하도록, 본 발명에 따라 형성되는 SOI-기반의 전기-광학 변조기(20)의 일예에 대한 간략화된 도면을 포함한다. 도 3에 도시된 특정 실시예에서, 상기 변조기의 광학적 특성들의 독립적인 열적 조정(thermal adjustment)/튜닝을 제공하기 위해, 열-광학 엘리먼트들(thermo-optic elements, 22 및 24)은 축적 암(15) 및 공핍 암(17) 각각을 따라

배치된다. 온도의 작용($dn/dT=1.86 \times 10^{-4}/^{\circ}K$)으로 굴절율이 증가함에 의해 실리콘의 열-광학 효과가 실현되는 만큼, 상기 변조기의 바이어스 포인트를 제어하여 원치 않는 변동들을 오프셋하기 위해 상기 변조기의 하나 또는 둘 모두의 압들을 따라 유도된 온도 변화들이 사용될 수 있다. 도 3에 도시된 바와 같은 특정 실시예에서, 열-광학 엘리먼트들(22 및 24)은 물리적으로 상기 변조기의 영역들(활성 영역들(11 및 13)으로 표시된)로부터 분리될 수 있도록 상기 도파관 압들을 따라 배치된다. 열-광학 엘리먼트들(22 및 24)이 하나의 유닛들로 나타내 어지나, 상기 도파관 영역을 따라 분리된 열-광학 엘리먼트들에 의해 분할된 가열이 인가될 수 있다.

[0024] 상기한 바와 같이, 열-광학 엘리먼트들(22 및 24)은 두개의 서로 다른 타입들의 열 생성기: 저항성 엘리먼트들 (예를 들어 실리콘-기반 레지스터들 또는 규소화합물-기반 레지스터들과 같은) 또는 PN 접합 엘리먼트들(정방향-바이어스된 PN 접합들과 같은)들을 포함할 수 있다. 또 다른 경우, 상기 엘리먼트들은 DC 전압의 인가에 의해 제어되어 상기 구조를 통해 전파하는 가열을 발생시켜 상기 장치의 도파관 영역으로 들어가며, 여기서 상기 인 가되는 전압의 크기는 상기 물질에 의해 경험되는 온도의 증가에 직접적으로 비례한다(상기 용어 "DC"는 여기서 는 극히 낮은 주파수의 신호들을 포함하는 "실질적으로 DC"인 신호들로 정의된다). 열-광학 엘리먼트들(22, 24)에 인가되는 상기 DC 전압들의 값은 도 3에 표시된 축적 압 열-광학 엘리먼트(22)에 인가되는 전압 V_{Dca} 와 공 펌 압 열-광학 엘리먼트(24)에 인가되는 전압 V_{Dcd} 과 같이 서로 독립적으로 제어된다. 도파관 영역 내부의 온도 변화는 유효 굴절율을 변화시켜 그를 통해 지나가는 광학 신호에 의해 경험되는 위상 시프트를 조정할 것이다. 열-광학 엘리먼트들(22 및 24)에 인가되는 분리된 전압들(V_{Dca} 및 V_{Dcd})은 의도한 바와 같이 상기 변조 장치의 변 화하는 동작 조건들에 맞추도록 조정될 수 있다는 것은 이해될 것이다. 또한, 도면들에는 도시되지 않았으나, 변조기(20)로부터의 출력 신호(또는 어떤 다른 적당한 광학 신호)는 엘리먼트(22 및/또는 24)에 인가되는 전압 의 크기를 맞추기 위해 사용되는 피드백 루프(feedback loop) 안에서 감시될 수 있다는 것도 이해될 것이다.

[0025] 도 4는 이러한 특정 실시예에서 SISCAP 열적 엘리먼트들의 형성을 통해 가열하기 위하여 사용되는 장치를 나타 내는 열-광학 엘리먼트(22)의 일예에 대한 단면 실측도이다. 도 4에 도시된 장치는 상기한 바와 같이 SOI 층(4) 내부에 집적된 제1 SISCAP 열적 엘리먼트(26)를 포함하는 한 쌍의 SISCAP 열적 엘리먼트들을 포함한다. 이러한 구조의 도파관 부분(도 4에서 점선에 의해 도시된 바와 같은) 내부에서 원치 않는 자유 캐리어의 상호 영향을 최소화하기 위해, 바람직하게는 폴리실리콘 층(2) 및 SOI 층(4)은 중앙 영역 안에서는 도핑되지 않는다(또는 약 하게 도핑된다). 그에 따라, 도 4에 도시된 구조는 "도핑되지 않은(undoped)", 이의 정의는 약하게 도핑된 (lightly doped) 것을 포함하는 것으로 의도되는, 것으로 표시된 폴리실리콘 층(2) 및 SOI 층(4) 모두의 도파관 부분들을 가진다.

[0026] 도 4를 다시 참조하면, 제1 SISCAP 열적 엘리먼트(26)는 SOI 층(4)의 도핑된 영역(27)(도파관 영역으로부터 제 거된)을 포함하는 것으로 나타난다. 도핑된 영역(27)은 한 쌍의 콘택트 영역들(28 및 30)을 더 포함하며, 여기 서 영역들(28 및 30) 사이의 DC 전압(V_{Dca2}) 인가는 영역(27)을 따르는 전류 흐름을 발생시켜 SOI 층(4)에서의 열적 변화들을 유도한다. 도핑된 영역(27)로부터 상기 도파관 영역 안으로의 열 전달 방향은 도 4에서 복선으로 그려진 화살표에 의해 표시된다.

[0027] 분리된 열적 엘리먼트(32)는 폴리실리콘 층(4)의 공간적으로 떨어진 도핑된 영역(33) 내부에서 유사하게 형성될 수 있으며, 상기 열적 엘리먼트(32) 또한 도 4에 도시되어 있다. 열적 엘리먼트(32)는 도핑된 영역(33)을 따라 도시된 바와 같이 배열된 한 쌍의 콘택트들(34 및 36)을 포함한다. 다시, 콘택트들(34 및 36) 사이의 DC 전압 (V_{Dca1}) 인가는 전류의 흐름 및 상기 장치의 지역적인 가열을 발생시키며, 상기 도파관 영역으로의 열 전달은 도 4에서 복선으로 그려진 화살표에 의해 표시된다. 본 발명의 지침에 따르면, 하나의 열적 엘리먼트(이 경우, 엘 리먼트(26) 또는 엘리먼트(32) 중 하나) 또는 한 쌍의 열적 엘리먼트들(엘리먼트들(26 및 32) 둘 모두)이 도 3 에 도시된 바와 같은 열-광학 엘리먼트(22)로 정의된 영역의 내부에 "열적 가열(thermal heating)"을 제공하기 위해 사용될 수 있다. 또한, 분리된 열적 엘리먼트들(26 및 32)에 인가되는 DC 전압들은 서로 다르며, 원하는 양의 가열을 제공하기 위해 분리되어 제어될 수 있다. 즉, 인가되는 전압 V_{Dca1} 은 인가되는 전압 V_{Dca2} 와 다른(조 정될 수 있는) 값을 가질 수 있으며, V_{Dca2} 의 값은 또한 원하는 가열 수치를 제공하기 위해 분리되어 조정될 수 있다.

[0028] 도 4에 도시된 바와 같은 장치 구조는 규소화합물 물질이 콘택트 부분들(28, 30)(및/또는 콘택트들(34, 36))과 아래에 있는 실리콘 물질 사이에 위치하도록 하는 방법으로 변경될 수 있다. 그러한 '규소화합물 레지스터'의 사용은 인가되는 전압의 작용으로 보다 넓은 온도 범위를 위해 제공하는 것으로 여겨질 수 있다. 저항-기반의

열 생성 엘리먼트로서 실리콘 또는 규소화합물의 사용은 설계 선택(design choice)인 것으로 여겨질 수 있다. 더 나아가, 이러한 저항-기반 열적 가열 엘리먼트는 SISCAP 구조, 횡측 PN 접합 구조, 리브 도파관 구조(ribbed waveguide structure), 등을 포함하나 그에 제한되지 않는 알려진 또는 개발된 SOI-기반 전기-광학 변조기 구조들 또는 링 공진기(ring resonator) 변조기들 및 전기-흡수(electro-absorption) 변조기들을 포함하나 그에 한정되지 않는 다른 변조기 구조들 중 어떤 것과 함께 사용될 수 있다. 실제로, 그 것은 실리콘 물질의 내재적인 특성들이며, SOI-기반 변조기 설계에 대한 열적 조정(thermal adjustment)들의 다양한 타입들을 제공하기 위해 본 발명에 유익하게 채용된 잘 알려진 CMOS 프로세싱 기술들이다.

[0029] 도 5는 열-광학 엘리먼트(22)의 또 다른 예에 대한 단면도로, 이 경우 정방향-바이어스된 PN 접합 열적 장치(40)가 도파관 압(경우에 따라 축적 압 또는 공핍 압 중 어느 하나)의 제1 측을 따라 배치된다. 장치(40)는 N-도핑된 제1 영역(42) 및 P-도핑된 인접하는 제2 영역(44)을 가지고 SOI 층(4)의 일 부분 내부에 형성될 수 있다. 열-광학 엘리먼트(22) 내부의 도파관은 상기 장치 구조의 중앙의 본질적으로 도핑되지 않은 부분(46)을 따라 형성되고, 이 경우 게이트 유전체(8)에 의해 SOI 층(4)으로부터 분리된(본 특정 실시예에서) 리브 도파관(48)을 포함한다. 상기 언급한 바와 같이 게이트 유전체(8)는 상대적으로 얇은 층(100Å 또는 그 보다 낮은 차수의)이며, 실리콘 이산화물(silicon dioxide) 또는 실리콘 질화물(silicon nitride)과 같은 물질을 포함한다. 리브 도파관(48)은 예를 들어 폴리실리콘 또는 도핑된 폴리실리콘 물질을 포함할 수 있다.

[0030] 본 발명에 따르면, 원치않는 자유 캐리어의 움직임이 전파하는 광학 신호에 영향을 미치지 않도록 하기 위해, 영역들(42, 44)에 의해 생성된 PN 접합은 중앙의, 도핑되지 않은 부분(46)으로부터 소정 거리 이격되어 위치된다. 열 생성을 제공하기 위해, DC 전압 V_{DC1} 이 P 콘택트(45)와 N 콘택트(43) 사이에 인가되어, 정방향-바이어스된 PN 접합을 형성한다. 도 5에서 복선으로 그려진 화살표들에 의해 나타난 바와 같이, 상기 생성된 열은 그 후 상기 중앙 도파관 부분(46)을 향하게 된다.

[0031] 도 4와 관련하여 상기에서 설명된 저항성 장치들과 유사하게, 제2 PN-접합 열적 엘리먼트(50)가 도 5의 장치의 중앙 부분(46)의 반대 측 상에 형성될 수 있다. PN-접합 열적 엘리먼트(50)는 P-도핑된 영역(52) 및 인접하는 N-도핑된 영역(54)를 포함한다(다시, 영역들(52 및 54)는 중앙 부분(46)으로부터 소정 거리 이격되어 위치한다). DC 전압 V_{DC1} 이 그 후 P 콘택트(53)와 N 콘택트(55) 사이에 인가되면, 중앙 부분(46)을 향하는 열적 에너지를 생성한다.

[0032] 도 3에 도시된 바와 같은 본 발명의 실시예에서, 열적 부분의 동작이 변조에 영향을 미치지 아니하고 상기 변조기의 각 면들이 분리되어 독립적으로 제어되기 위해, 열-광학 엘리먼트들(22 및 24)은 서로 사이에 충분한 공간을 가지고 압들(25 및 17)을 따라 상기 장치의 실제 변조 부분(활성 영역들(11 및 13)으로 표시된)과 직렬로 배열된다. 명확하게는, 그러한 장치들은 상기 변조기를 위한 확장된 도파관 길이들의 사용을 요구한다. 그러한 경우들에 있어서, 특별하게 고속인 장치들, 상기 도파관 길이는 자유 캐리어의 움직임을 통해 변조를 생성하기 위하여 요구되는 최소값을 유지하도록 하는 것이 바람직하다.

[0033] 이러한 과제를 처리하는 본 발명의 또 다른 실시예는 도 6에 간략화된 블록도로 도시되어 있으며, 이는 활성 영역들(11 및 13) 각각에 인접하게 배치된 한 쌍의 열-광학 엘리먼트들(62 및 67)을 이용하는 전기-광학적 변조기(60)의 일예에 대한 도면이다. 결과적으로, 본 발명의 이러한 실시예는 상기 변조 장치의 전체 길이를 상당히 감소시킬 수 있으며, 반면에 여전히 자유 캐리어 변조에 대한 열적 조정을 제공한다(도 3에서 도 6까지의 경우와 비교하여). 엘리먼트들(62 및 67) (각각)로의 DC 전압들 V_{DCa} 및 V_{DCd} 의 인가가 활성 영역들(11 및 13)으로 인가되는 AC 신호들에 의해 제공되는 자유 캐리어 변조와 상호 간섭하는 것을 방지하기 위해, 추가적인 물리적 또는 전기적인 절연(isolation)(산화물/유전체/도핑되지 않은 영역들에 의하여)이 이하에서 언급되는 바와 같이 변조기 압들(15 및 17) 내부에 포함된다.

[0034] 상기 다양한 열 생성 장치들에서와 같이, 열-광학 엘리먼트들(62, 67)은 저항-기반 열 생성 엘리먼트들(예를 들어, 실리콘 레지스터들, 규소화합물 레지스터들), 또는 PN-접합 기반 열 생성 엘리먼트들 중 어느 하나를 포함할 수 있다. 부가적으로, 상기 열 생성은 상기 도파관 압들의 두 측들 모두(도 6에 도시된 바와 같이)에 가해지거나, 또는 단지 상기 변조기 구조의 각 압(또는 단지 하나의 압)의 한 측을 따라 가해질 수 있다.

[0035] 도 7은 (예를 들어) 축적 압(15)에 인가될 때 도 6에 개략적으로 도시된 바와 같은 구조 내부에 변조(modulating) 및 열적 조정(thermal adjustment)을 제공하기 위한 장치의 일예를 나타낸다. 이 경우, 열-광학 엘리먼트(62)는 폴리실리콘 층(2)을 따르는 V_{REF2a} 로의 전기적인 연결 외부에 배치되는 제1 부분(61)을 포함한다. 제2 부분(64)는 SOI 층(4)을 따르는 V_{REF4a} 로의 전기적인 연결 외부에 배치된다. 도 7에서 복선으로 그려진 화살

표들에 의해 나타난 바와 같이, 부분들(61 및 64) 각각으로의 V_{DCa1} 및 V_{DCa2} 의 인가는 도파관 영역의 방향으로 가열을 생성할 것이다. 유사한 구조가 공핍 암(13)을 따라 배치된 열-광학 엘리먼트(67)를 형성하기 위해 사용될 수 있다. 상기에서 상세히 설명한 바와 같이 엘리먼트들(62 및 67)이 저항성 열적 엘리먼트들 또는 PN-접합 기반 열적 엘리먼트들일 수 있다는 것은 주지될 것이다. 열적 가열을 위해 사용되는 DC 전압들과 신호 변조를 위해 사용되는 AC 전압들 사이의 전기적인 절연을 제공하기 위해, 한 쌍의 본질적으로 도핑되지 않은 영역들이 SOI 층(4) 및 각 전압 원을 위한 콘택트 영역들 사이의 폴리실리콘 층(2)에 형성된다. 도 7을 다시 참조하면, 열-광학 엘리먼트(62)와 관련된 절연은 변조 신호를 위해 열적 부분(61)과 V_{REF2a} 로의 콘택트 사이의 폴리실리콘 층(2)에 형성된 제1 미도핑(undoped) 영역(63)을 포함하는 것으로 나타난다. 유사하게, 제2 미도핑 영역(65)이 열적 부분(64)과 V_{REF4a} 로의 콘택트 사이의 SOI 층(4)에 형성된다.

[0036] V_{REF2a} 및 V_{REF4a} 와 연관된 콘택트들로부터 열적 부분들(61, 64)을 물리적으로 분리하는 것과 도핑되지 않은 영역들(63, 65)을 포함하는 것은 열적 조정들의 변조와의 상호 영향을 최소화하는데에는 유용하지만, 그러한 물리적인 분리에 대한 요구는 각 도파관 암에 인접한 더 큰 표면 영역들의 사용을 요구한다. 따라서, 상기 도파관 암들의 실제 길이는 도 3의 실시예와 대비하여 짧아졌으나, 상기 장치 자체의 각 암에 대해 요구되는 "폭(width)"의 증가는 다른 문제들을 일으킬 수도 있다.

[0037] 도 8은 도 7의 장치에 대한 또 다른 실시예를 나타내며, 이 특정 실시예에서 V_{REF2a} , V_{REF4a} 사이 및 V_{DCa1} , V_{DCa2} 사이의 전기적인 절연은 열적/DC 콘택트들이 상기 중앙 도파관 영역에 좀 더 물리적으로 근사하게 형성되도록 하기 위해 이용된다. 도시된 바와 같이, 제1 열적 부분(61)은 게이트 유전체(8)의 확장부(extension) 및 소자 분리(shallow trench isolation, 70) 영역을 사용함을 통해 V_{REF2a} 로부터 전기적으로 절연된다. 소자 분리(shallow trench isolation, 70)는 활성 장치 영역(active device region)의 종단(termination)으로부터 V_{REF2a} 콘택트가 폴리실리콘 층(2)을 덮도록 형성된 영역을 향하여 SOI 층(4)을 따라 형성된다. 제2 열적 부분(64)은 게이트 유전체(8)의 분리된 영역 및 SOI 층(4)의 도핑되지 않은(약하게 도핑된) 부분을 통해 V_{REF4a} 로부터 전기적으로 절연된다. 게이트 유전체(8)가 매우 얇다(예를 들어 100Å보다 작은)는 사실에 의해, 원하는 수치의 전기적인 절연을 여전히 제공하면서 열적 부분들(61, 64)에 의해 생성되는 열은 효과적으로 전달될 수 있다.

[0038] 다양한 다른 변경들이 상기-설명된 실시예들 중 어떤 것에 대해 본 발명의 사상 및 범위를 내를 벗어나지 않고 만들어질 수 있다는 것은 이해될 수 있다. 실제로, 상기에서 설명한 바와 같은 다양한 열적 조정 장치들은 또한 온도 작용으로 장치들의 광학 특성들의 조정을 제공하기 위해 다양한 다른 능동(active) 및 수동(passive) 광학 장치들과 함께 사용될 수 있다. 본 발명의 범위는, 그에 따라, 여기에 첨부되는 특허청구범위들에 의해서만 제한되는 것으로 여겨진다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 중첩된 구조의 활성 영역을 포함하는 SOI-기반 광학 변조기에 대한 종래 기술의 일예를 나타내는 사시도이다;

[0013] 도 2는 SOI-기반 간섭계(interferometer)에 대한 종래기술을 나타내는 도면이다;

[0014] 도 3은 본 발명에 따른 변조기의 각 도파관 암(arm)을 따라 변조 엘리먼트들 및 열-광학 엘리먼트들 모두를 포함하도록 형성된 SOI-기반 변조기에 대한 일예를 간략하게 나타내는 도면이다;

[0015] 도 4는 도 3의 장치에서 사용되기 위한 저항-기반 열적 엘리먼트(resistive-based thermal element)의 일예에 대한 단면 실측도이다;

[0016] 도 5는 도 3의 장치에서 사용되기 위한 PN-접합의 일예에 대한 단면 실측도이다;

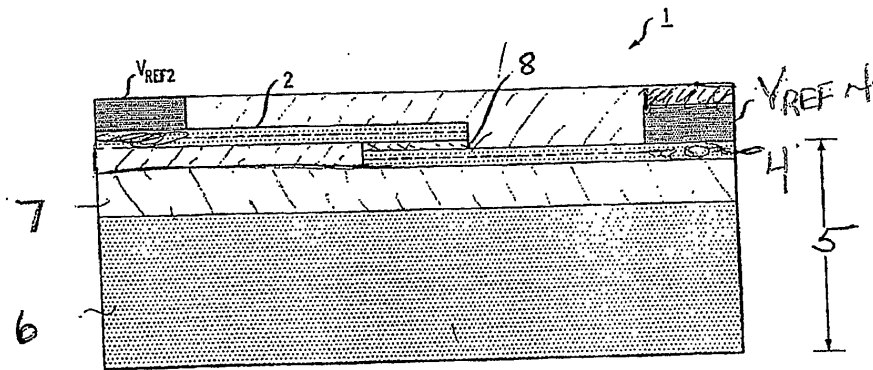
[0017] 도 6은 열-광학 엘리먼트들이 변조 엘리먼트들과 동일한 도파관 영역들을 따라 배치된 본 발명의 또 다른 변조기 구조를 간략하게 나타내는 도면이다;

[0018] 도 7은 도 6의 장치에서 사용되기 위한 열-광학 엘리먼트 및 연관된 변조 엘리먼트의 일예에 대한 단면도이다; 그리고

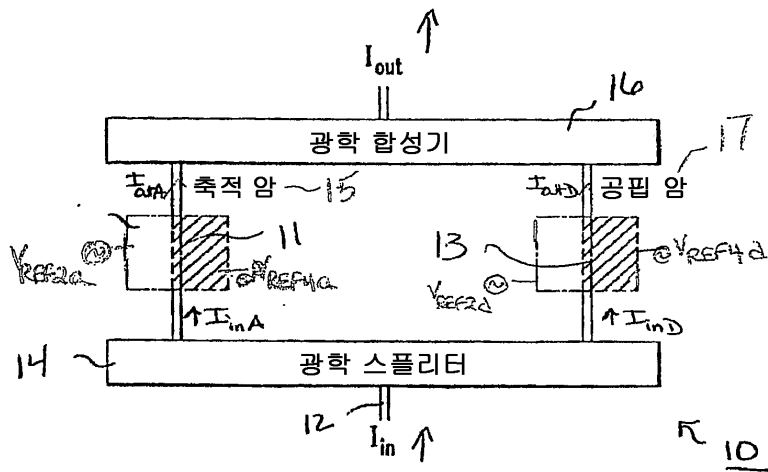
[0019] 도 8은 도 6의 장치에서 사용되기 위한 또 다른 열-광학 엘리먼트 및 연관된 변조 엘리먼트의 일예에 대한 단면도이다.

도면

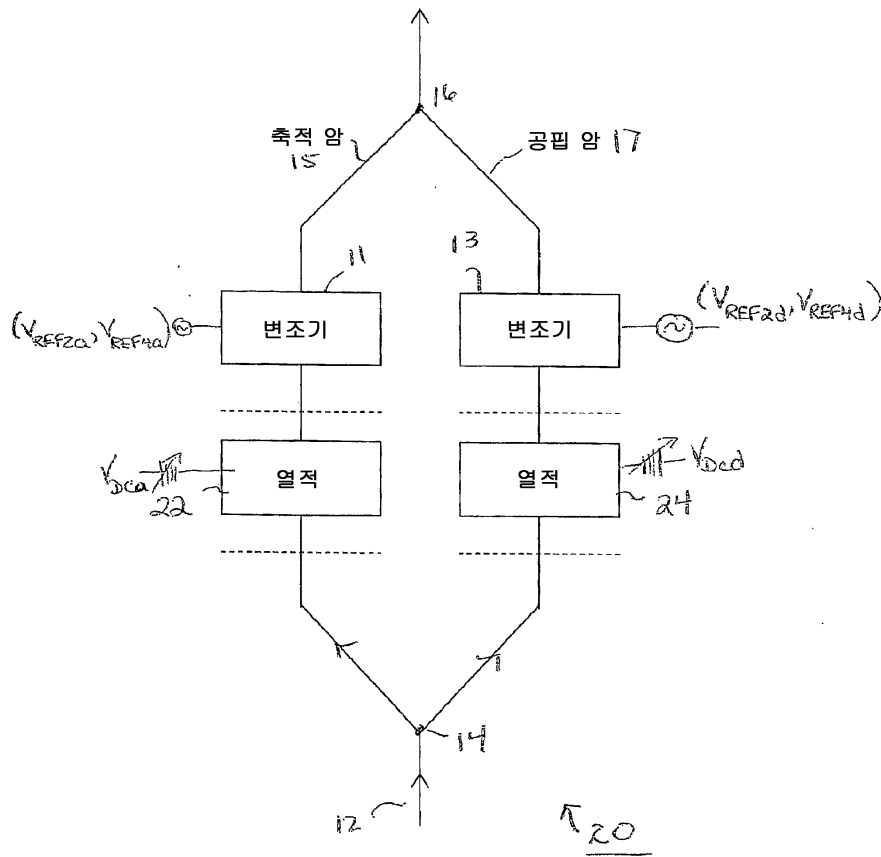
도면1



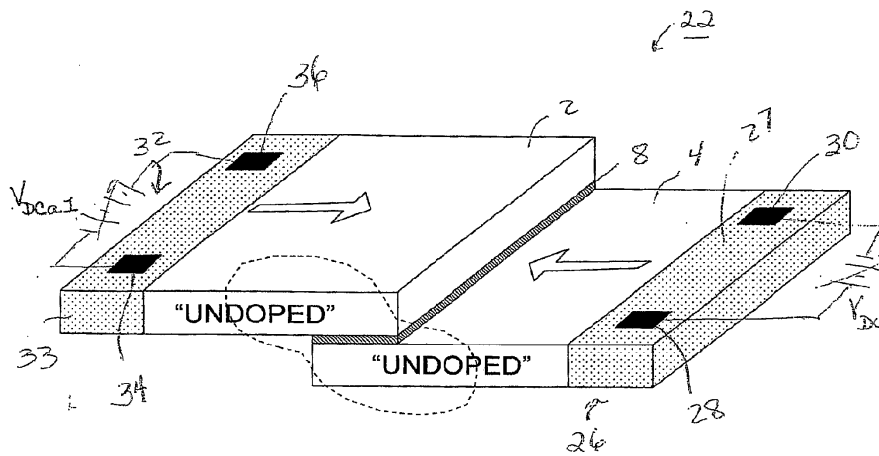
도면2



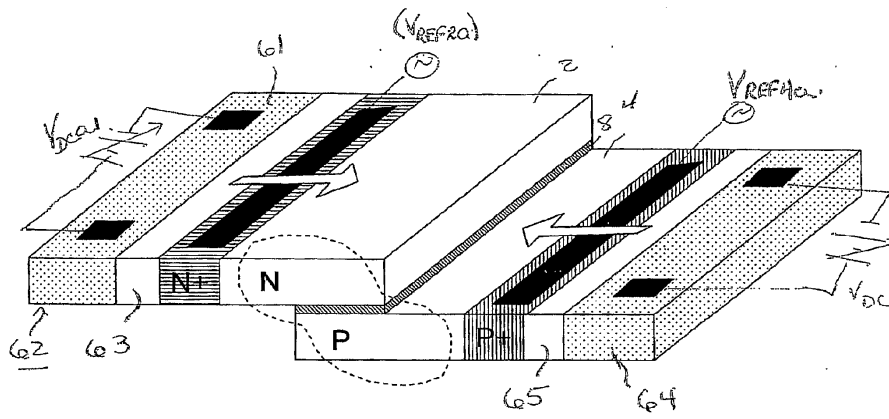
도면3



도면4



도면7



도면8

