

**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>  
H01L 31/0352

(45) 공고일자 2004년12월30일

(11) 등록번호 10-0444638

(24) 등록일자 2004년08월06일

(21) 출원번호	10-1997-0708859	(65) 공개번호	10-1999-0022379
(22) 출원일자	1997년12월05일	(43) 공개일자	1999년03월25일
번역문제출일자	1997년12월05일		
(86) 국제출원번호	PCT/GB1996/001324	(87) 국제공개번호	WO 1996/39719
(86) 국제출원일자	1996년06월04일	(87) 국제공개일자	1996년12월12일
(81) 지정국	국내특허 : 아일랜드 오스트레일리아 바베이도스 불가리아 브라질 캐나다 중국 체코 에스토니아 그루지야 헝가리 이스라엘 아이슬란드 일본 북한 대한민국 스리랑카 라이베리아 리투아니아 마다가스카르 AP ARIPO특허 : 케냐 EA 유라시아특허 : 아르메니아 벨라루스 키르기즈 카자흐스탄 몰도바 EP 유럽특허 : 오스트리아 벨기에 스위스 독일 덴마크 스페인 프랑스 영국 그리스 이탈리아 룩셈부르크 모나코 네덜란드 포르투갈 스웨덴 오스트리아 스위스 독일 덴마크 스페인 핀란드 영국		

(30) 우선권주장 9511336.1 1995년06월05일 영국(GB)

(73) 특허권자 키네틱큐 리미티드

영국 에스더블유1 6피디 런던 버킹엄 게이트 85

(72) 발명자 칼린 로저 티모시

영국 우스터셔 더블유알14 3피에스 말번 세인트 앤드류스 로드 디펜스리서치  
에이전시

로빈스 데이비드 존

영국 우스터셔 더블유알14 3피에스 말번 세인트 앤드류스 로드 디펜스리서치  
에이전시

(74) 대리인 이병호

**심사관 : 김동업**

**(54) 반사 반도체 기판**

**명세서**

<1>

본 발명은 반도체 기판에 전자기 방사선용 반사기를 구현하는 방법에 관한 것으로, 이 기판 상에서 고품질의 에피택시(epitaxy)가 성장할 수 있는 반사기를 구현하는 방법에 관한 것이다. 이 반도체 기판은 레이저 에탈론(laser etalon), 적외선 광자 검출기 등의 용도로 중요한 전자기방사선용 공명 캐버티(cavity)를 제조하는 데 사용할 수 있다.

<2>

적외선 검출기는 일반 제품용으로도 중요하며 군용으로 중요하다. 방사선이 대기를 투과하는 경우, 유용한 파장 범위는 대기 흡수에 의해  $[3 \times 10^{-6} \text{ 내지 } 5 \times 10^{-6} \text{ m}]$  와  $[7.5 \times 10^{-6} \text{ 내지 } 14 \times 10^{-6} \text{ m}]$ 로 제한된다. 군용품의 경우, 장파장 범위는 CO<sub>2</sub> 레이저에 의한 성광을 방지하도록 고안된 필터에 의해 약  $[7.5 \times 10^{-6} \text{ 내지 } 9 \times 10^{-6} \text{ m}]$ 로 추가로 제한될 수 있다. 다수의 개별 검출 소자를 갖는 초점면 어레이(FPAs)가 이들 범위 모두에서 상을 형성하기 위하여 사용된다. 몇 가지 기술, 예를 들면, CdHgTe(CMT), Si 판독 회로에 하이브리드된 InSb 또는 모노리틱 어레이(monolithic array) 등이  $[3 \times 10^{-6} \text{ 내지 } 5 \times 10^{-6} \text{ m}]$  범위의 초점면 어레이(FPAs)에 유용하지만,  $[7.5 \times 10^{-6} \text{ 내지 } 14 \times 10^{-6} \text{ m}]$  범위에서는 별다른 진전이 없었다. CMT는 장파장 적외선(LWIR) 초점면 어레이(FPAs)에서 요구되는 균일성을 유지하면서 성장시키기에는 곤란하며, 또한 Si 판독 회로와의 저온 결합을 필요로 하므로 제조하는데 더욱 어려움이 있다. GaAs/AlGaAs를 사용하는 다중 양자 웰(Multi Quantum Well: MQW) 검출기는 Si 판독 칩에 하이브리드시키기 위하여 납땜 충격(solder bump)기술을 사용하여 128×128개의 어레이까지 진행시키지만, 이보다 큰 어레이에 대해서는 결과를 알 수 없었다[참조: B.F. Levine, J. Applied Physics 74 R1(1993)]. 고성능의 초점면 어레이(FPAs)는 통상적으로 액체 질소의 온도와 근접한 온도에서 작동한다. 검출기와 판독 칩간에 열적으로 일치하지 않으면 Si 판독 회로 상의 화합물 반도체 검출기를 사용하는 하이브리드 어레이의 크기가 제한된다. Si 모노리틱 장파장 적외선 초점면 어레이(LWIR FPAs) 기술로서 성공한 것은 지금까지 존재하지 않으며, 장파장 적외선 응답을 나타내는 IrSi는 양자 효율이 낮아서 작동 온도가 매우 낮다.

<3>

현재, 화합물 반도체 검출기를 사용하는 하이브리드 접근법에 내재된 한계를 극복하기 위해서 Si 판독 회로에 상응하는 장파장 적외선(LWIR) 기술이 개발되고 있다. 이 중에서, Si 기판 위에 에피택시적으로 성장한 규소-게르마늄 합금으로부터 형성된 위형(偽形) 헤테로구조체를 사용하는 기술이 가장 유망하다. 위형 SiGe/Si는 Si 기판 웨이퍼를 고도로 균일하게 하여 초점면 어레이(FPAs)의 고정된 양상의 소

음을 최소화하고 제조율을 높이는 데 유리한 잇점이 있다.

- <4> SiGe/Si MQW로 제조된 LWIR 광자 검출기는 낮은 응답성과 암전류 열 소음이 한계이다. 이들 장치는 허용될 수 있는 신호/소음 비를 제공하기 위하여 보다 낮은 온도에서 작동되어야 한다. 이는 실용성을 제한하고 화상 시스템의 비용을 증가시킨다. 입사 방사선의 흡수로 인한 양자 효율의 증대는 이 신호/소음 비를 향상시켜 고온에서의 작동을 가능하게 해야한다.
- <5> 검출기의 단파장( $2 \times 10^{-6}$  m 미만)에서의 양자 효율은 공명 캐버티를 사용하여 증진되었다[참조: R. Kuchibhotla, J. Campbell, J. C. Bean, L. Peticola and R. Hull, Appl. Phys. Lett. 62, 2215(1993)]. 공명 캐버티는 높은 전기장의 편재된 영역을 형성한다. 흡수가 전기장에 좌우되는 경우, 장치의 흡수 영역을 공명 캐버티에 위치시킴으로써 양자 효율이 향상될 수 있다.
- <6> 이러한 공명 캐버티를 제조하기 위해서, 입사 방사선의 파장  $\lambda$ 는 2개의 반사기 사이에 제한된다. 캐버티에서의 전기장의 증진은 파장  $\lambda$ 에서 제한 거울의 굴절율이 증가함에 따라 증가한다. 폭이  $L_c$ 이고 굴절율이  $n$ 인 캐버티에 있어서, 캐버티에 제한된 빛은 광학 두께  $nL_c/\lambda$ 로 측정된 파장에서 공명하고, 화상은 제한 거울에서 변한다. 따라서, 반사기의 파장 의존성 뿐만 아니라 캐버티 폭도  $\lambda$ 에 맞게 신중하게 선택해야 한다. 반사기와 흡수 영역이 충분히 넓은 띠(band)라면, 하나 이상의 파장에서의 공명이 사용될 수 있다.
- <7> 공명 캐버티에 사용되는 반사기는 종종 굴절율이  $n_1$ (캐버티에 대해  $n$  초과) 및  $n_2$ (캐버티에 대해  $n$  미만)이고 개별 층 두께가  $\lambda/4n_i$ (여기서,  $i$ 는 1 또는 2이다)인 여러 쌍의 층으로 이루어진 유전체 또는 반도체 적층체이다. 이러한 반사기의 중요한 특성은 적층체와 캐버티를 통과할 정도로 입사광의 투과율이 높다는 것이다. 그러나, LWIR 용도로 브래그(Bragg) 반사기를 사용하는 것은 큰 파장에 맞는 고품질의 두꺼운 층을 여러 쌍 제조하기가 곤란하므로 한계가 있다. SiGe/Si에 있어서와 같이, 층 중의 하나가 변형되는 경우, 두꺼운 층의 변형이 완화되어 브래그 반사기의 효율을 저하시키므로 결함이 발생한다.
- <8> 반도체 공명 구조물은 종종 단일 결정 기판 위에서 에피택시적으로 성장한다. 중요한 요건은 장치의 에피택시적 활성 영역 아래에 고성능 반사기를 매설하는 것이다. 에피택시적 브래그 반사기는 LWIR 용도로 적합하지 않으므로, 기판의 적합성을 유지하여 고품질의 에피택시적 구조물을 생성시키면서 매설된 반사기의 대체형이 추구되어야 한다. 활성 영역의 상부에 있는 반사기는 단지 반도체/공기 계면일 수 있거나, 다른 층은 에피택시적 성장되거나 에피택시 후에 부착될 수 있다.
- <9> 적외선 파장 범위에서 굴절율이 약 1.45인  $\text{SiO}_2$ 의 단일 유전성 층(반면, Si는 적외선에서 굴절율이 약 3.45이다)이 제안되었고, 단파장에서 Si에 매설된 반사기로서 입증되었다[참조: V. P. Kesan, P. G. May, F. K. LeGoues and S. S. Iyer, J. Cryst. Growth. 111 936(1991); D. K. Nayak, N. Usami, S. Fukatsu and Y. Shiraki, Appl. Phys. Lett. 64, 2373 (1994)]. SIMOX 웨이퍼(산소의 주입에 의해 분리)를 기판으로서 사용하였다. 산화물 위에 놓인 고품질의 Si는 Si 및 SiGe 에피층이 에피택시적으로 과성장하도록 한다. 그러나, SIMOX 웨이퍼에서 형성될 수 있는 매설된  $\text{SiO}_2$ 의 두께는 제한된다.
- <10> Si에 매설된 고품질의 산화물을 제조하는 또 다른 기술은 절연체 위에서 결합되고 에칭된 실리콘(bond-and-etch silicon on insulator ; BESOI)의 제조기술인데, 이 때 두께는 그다지 심각하게 제한받지 않는다. 이 방법은 요구되는 반사율을 형성하는데 장파장에서 요구되는  $\text{SiO}_2$ 의 두께( $\mu$ )가 중요하다.
- <11>  $7.5 \times 10^{-6}$  m보다 짧은 적외선 파장에서  $\text{SiO}_2$ 에서의 약한 흡수는  $\text{SiO}_2$  두께에 의해서 측정된 파장에서 최대 및 최소를 나타내는 단일층의 파장 의존성 반사율을 나타낸다. 그러나,  $\text{SiO}_2$ 는 약  $9.2 \times 10^{-6}$  m와 약  $21.5 \times 10^{-6}$  m에서 강한 포논 흡수 띠를 나타낸다. 이러한 흡수 띠의 특성은 피크 각각의 단파장측에서의 파장 범위에서 굴절율이 국부 최소값을 나타낸다는 것이다. 이러한 특성의 결과, 이들 스펙트럼 영역에서, Si 주위에 매설되어 있는 두꺼운  $\text{SiO}_2$  단일층의 반사율은 흡수 띠로부터 제거된 투명물의 파장 범위와 비교하여 향상된다. 또한, 이들 스펙트럼 영역에서 반사율은 파장에 약하게 의존하고, 중요한 파장 영역 [ $7.5 \times 10^{-6}$  내지  $9 \times 10^{-6}$  m]에서의 반사율은 산화물 두께에 의해 조절되므로, 두께가  $1.5 \times 10^{-6}$  m를 초과하는 층의 경우 산화물 두께에 거의 의존하지 않게 된다. 이는 유전성 투명물의 단파장 범위의 특성과 대조되는데, 이때 반사율은 두께와 파장 모두의 강한 함수이다.
- <12> 원칙적으로, 웨이퍼 결합 기술은 흡수 띠를 갖고 상이한 파장에서 반사율이 향상되는 다른 매설된 유전층을 사용하도록 한다. 유사하게는, 매설된 유전성 반사기와 상이한 반도체 재료를 사용하는 공명 캐버티는 표면 위에 유전체가 있는 Si 웨이퍼에 위의 재료를 결합시켜 제조될 수 있다.
- <13> BESOI 기판은 [ $7.5 \times 10^{-6}$  내지  $9 \times 10^{-6}$  m]의 파장 범위에서 공명 캐버티 장치를 제조하는 데 중요한 잇점을 갖는다. 첫째, 두꺼운( $1.5 \times 10^{-6}$  m 이상) 산화물층을 장치의 이면 반사기로 사용할 수 있어 높은 반사율을 제공한다. 둘째, 두꺼운 층의 반사율은 두께 변화에 별로 민감하지 않다. 셋째, 반사율이 파장 범위 전반에 걸쳐서 상당히 일정하여, 캐버티 폭이 디자인 값( $L_c$ )과 다소 상이할지라도 강한 공명이 관찰될 수 있다. 그 결과, 장치의 성능은 단파장에서의 경우보다도 산화물 두께와 캐버티 폭의 변화 모두에 보다 덜 민감하다.
- <14> 매설된  $\text{SiO}_2$  층은 또한 캐버티의 기판 측으로부터의 Si/SiO<sub>2</sub> 층에 대한 입사광을 사용한 정면 반사기로서 사용될 수도 있다. 이러한 경우, 흡수 띠 근처의 향상된 반사율의 유용한 파장 범위는  $\text{SiO}_2$  층에 입사광을 흡수함으로써 감소될 수 있고, 이로 인해 최적 두께는 이면 반사기로서 사용되는 산화물의 두께보다 작아질 수 있다. 반사방지막을 기판에 들어가는 빛을 증가시킬 수 있다.
- <15> 문헌[참조: S. Fukatsu, D. K. Nayak and Y. Shiraki, in Applied Physics Letters. 65,

3039(1994)]에는,  $\text{SiO}_2$  단일층을 사용하여  $2 \times 10^{-6} \text{ m}$  미만의 파장에서 공명 캐비티용 반사기를 제공하는 것이 보고되어 있다. 그러나, 굴절률(n)과 흡광 계수(k)의 스펙트럼 의존성은 언급하고 있지 않다. 이 참조문헌에서, 도 2는 Si 주위에 매설되어 있는  $\text{SiO}_2$  단일층에 대한 SiGe/Si 에피층의 반사율을 나타낸다.

- <16> 반사율의 파장 의존성은 2개의 공명, 즉 위에 놓인 SiGe/Si 층에서의 것과  $\text{SiO}_2$  반응기 그 자체에서의 것에 상응하는 진동 거동을 나타낸다. 후자의 공명은  $\text{SiO}_2$  층에서의 낮은 값의 흡광 계수로 인하여 발생하는 것으로서, 그 결과 하부의  $\text{SiO}_2$ /Si 계면으로부터 빛이 반사되어  $\text{SiO}_2$  층에 간섭을 발생시키고, 결과적으로 층의 반사율이 매우 강한 파장 의존성을 갖도록 한다.
- <17> 후카쓰(Fukatsu) 등은 이러한 반사율이 굴절률  $n_{\text{Si}}$ 가 3.45인 Si와 굴절률  $n_{\text{SiO}_2}$ 가 1.45인  $\text{SiO}_2$ 를 사용하고 흡수율을 낮게 추정(즉, k는 매우 작다)한 결과임을 설명하고 있다. 이들 모델을 보다 장파장으로 확대시켜 보면 반사율의 연속적인 진동 거동이 예상된다. 중요한 파장 영역 [ $7.5 \times 10^{-6}$  내지  $9 \times 10^{-6} \text{ m}$ ]에서, 이들 모델은 높은 k값 범위 근처에서 발생하고 본 발명에 사용되는 반사율의 향상된 크기와 파장 및 두께 비민감성을 예측하지 못한다.
- <18> 본 발명에 있어서, 파장 범위 내에서 전자기 방사선용 반사기는 제1 재료인 반도체 기판, 파장에 따른 굴절률의 변화가 파장 범위 내에서 하나 이상의 국부 최소값을 나타내는 제2 재료인 반사층 및 제1 재료와 동일하거나 상이할 수 있는 제3 재료인 반도체 층을 포함하며, 반사층이 반도체 기판과 반도체 층 사이에 삽입되도록 배열되어 있다.
- <19> 바람직한 양태에 있어서, 제2 재료는 파장에 따른 흡광계수의 변화가 굴절률에서의 국부 최소값과 관련하여 국부 최대값을 하나 이상 나타낸다.
- <20> 또 다른 양태에 있어서, 국부 최소값과 국부 최대값은 포논 공명으로부터 발생된다.
- <21> 또 다른 바람직한 양태에 있어서, 파장 범위는  $[7.5 \text{ 내지 } 14] \times 10^{-6} \text{ m}$ 이다.
- <22> 또 다른 바람직한 양태에 있어서, 파장 범위는  $[7.5 \text{ 내지 } 9] \times 10^{-6} \text{ m}$ 이다.
- <23> 또 다른 바람직한 양태에 있어서, 제1 재료는 규소이고, 제2 재료는 이산화규소이다.
- <24> 또 다른 바람직한 양태에 있어서, 반사기는 공명 캐비티에 도입된다.
- <25> 또 다른 바람직한 양태에 있어서, 공명 캐비티는 전자기 방사선용 검출기에 도입된다.
- <26> 또 다른 바람직한 양태에 있어서, 검출기는 입사 방사선을 흡수할 수 있는 다중 양자 웰을 포함하며, 당해 방사선은 층들과 평행한 성분을 갖는 전기장 벡터를 갖고 파장이 캐비티의 공명 파장에 근접하다.
- <27> 이제, 본 발명은 도면을 참고로 하여 설명될 것이다.
- <28> 도 1은  $\text{SiO}_2$ 에 대해 파장에 따른 굴절률과 흡광계수의 변화를 나타낸 것이다.
- <29> 도 2는 굴절률이 일정한 이상적인 유전성 물질로서 가정한 경우, Si 주위에 있는  $\text{SiO}_2$ 의 예상 반사율을 나타낸 것이다.
- <30> 도 3은 유전성 함수 스펙트럼으로부터 계산된 두께 범위에 대한 파장에 따른 Si 주위에 있는  $\text{SiO}_2$ 의 반사율의 실제 변화를 나타낸다.
- <31> 도 4와 도 5는 각각 Si 캐비티가 들어 있는 구조물의 전기장의 깊이 의존성을 나타낸 것이다.
- <32> 도 6a는 본 발명의 공명 캐비티 검출기의 도식도(축척에 의한 것은 아님)를 나타낸 것이고, 도 6b는 당해 장치의 전기장의 깊이 의존성을 나타낸 것이다.
- <33> 도 7은 본 발명의 공명 캐비티 검출기의 제2 도식도(축척에 의한 것은 아님)를 나타낸 것이다.
- <34> 도 8은 공명 캐비티와 대조 장치의 상부 표면에 통상적으로 입사되는 IR 방사선에 대한 반사율 스펙트럼을 나타낸 것이다.
- <35> 도 9a는 상부 표면으로부터 조명된 공명 캐비티 검출기와 대조 장치에 대한 절대 응답률 스펙트럼과 공명 장치에 대한 반사율을 나타낸 것이고, 도 9b는 기판측으로부터 조명된 공명 캐비티 검출기에 대한 절대 응답성 스펙트럼과 반사율을 나타낸다.
- <36> 도 10은  $[8 \times 10^{-6} \text{ m}$  내지  $9 \times 10^{-6} \text{ m}]$ 의 유용한 파장 범위에서 반응을 피크를 제공하기 위해 고안된 제2 공명 캐비티 검출기에 대한 절대 응답성과 반사율을 나타낸 것이다.
- <37> 도 1에 따르면, 파장에 따른  $\text{SiO}_2$ 의 굴절률(n)과 흡광계수(k)가 나타난다. 굴절률에서 편재된 최소값 1은 약  $9 \times 10^{-6} \text{ m}$ 와  $20 \times 10^{-6} \text{ m}$ 의 파장에서 나타난다. 흡광계수의 편재된 최대값 2는 약  $9.2 \times 10^{-6} \text{ m}$ 와  $21.5 \times 10^{-6} \text{ m}$ 의 파장에서 나타난다. 이들 데이터는 문헌[참조: Handbook of Optical Constants of Solids, E D Palik(ed.)(Academic Press) (1985)]으로부터 취해졌다.
- <38> 도 2는 이상적인 유전성 물질(편재화된 흡수 띠가 없음)인 것으로 가정한 경우,  $5 \times 10^{-7} \text{ m}$  내지  $2 \times 10^{-6} \text{ m}$  범위의 두께 ( $d_{\text{ox}}$ )에 대한 파장의 함수로서 산출된  $\text{SiO}_2$ 의 반사율을 나타낸 것이다. 굴절률은 상수로 취급되고 투명물의 단파장 영역에서  $\text{SiO}_2$ 의 특정 값이 부여된다.  $[7.5 \times 10^{-6} \text{ m}$  내지  $9 \times 10^{-6} \text{ m}]$ 의 파

장에서, 굴절률은 파장과 두께에 따라 심하게 변하고 약 0.5의 최대값을 나타낸다.

- <39> 도 3은  $5 \times 10^{-7}$  m 내지  $2 \times 10^{-6}$  m의 두께( $d_{ox}$ ) 범위에 대한 파장에 따른  $SiO_2$ 의 반사율의 실제 변화를 나타낸 것이다.  $d_{ox}$ 가  $1.5 \times 10^{-6}$  m를 초과하는 경우,  $SiO_2$ 의 반사율은  $[7.5 \times 10^{-6}$  m 내지  $9 \times 10^{-6}$  m] 사이의 파장에 대한 산화물 두께에 거의 무관하고, 이러한 파장 영역에서 최대값은 약 0.76이다. 이들 데이터는 위에서 참조한 문헌[참조: Handbook of Optical Constants of Solids]으로부터 얻은 유전성 함수 스펙트럼을 참고하여 문헌[참조: J. A. Woollam Company, V.A.S.E. Integrated Data Acquisition and Analysis Software for Variable Angle Spectroscopic Ellipsometry, Version 1.3]의 방법을 사용하여 산출된다.
- <40> 도 4는 두께가  $2.4 \times 10^{-6}$  m인 Si 캐버티의 파장  $8 \times 10^{-6}$  m의 방사선에 대한 전기장의 산출된 깊이 의존성을 보여준다. 그래프에서 영역 3, 4, 5 및 6은 각각 공기층, 규소층,  $SiO_2$ 층 및 규소층에 해당한다. 따라서, 정면(입사광) 반사기는 Si/공기 계면이고 이면 반사기는  $SiO_2(2 \times 10^{-6}$  m)/Si 계면이다.
- <41> 그래프의 가로축은 광학 두께를 나타내는데, 이때 구조물 속의 층 각각의 광학 두께는  $n_i d_i / \lambda$  (여기서,  $n_i$ 와  $d_i$ 는 층  $i$ 의 굴절률과 물리적 두께이고,  $\lambda$ 는 공명 파장이다)에 의해 제공된다.
- <42> 도 5는 두께가  $1.83 \times 10^{-6}$  m인 Si 캐버티에서 파장이  $8 \times 10^{-6}$  m인 방사선에 대한 전기장의 산출된 깊이 의존성을 나타낸다. 그래프에서 영역 7, 8, 9, 10 및 11은 각각 규소층,  $SiO_2$ 층, 규소층, 금속층 및 공기층을 나타낸다. 따라서, 정면 반사기는  $SiO_2(0.8 \times 10^{-6}$  m)/Si 계면이고, 이면 반사기는 Si/AI 계면이다.
- <43> 도 4와 도 5를 수득하기 위한 계산은 시판되는 소프트웨어[참조: H. A. Macleod; Thin Film Design Software for Apple Macintosh Version 2.1(1983-1990)] 및 위에서 언급한 참조 유전성 함수 스펙트럼을 사용하여 실시된다.
- <44> 이제,  $[7.5 \times 10^{-6}$  m 내지  $9 \times 10^{-6}$  m]의 범위의 방사선에 대한 공명 캐버티 적외선 검출기의 제조 방법을 설명함으로써 공명 캐버티용으로 매설되어 있는  $SiO_2$  반사기의 용도를 기술할 것이다. 이 검출기는 입사 방사선을 흡수하고 입사 방사 에너지를 전기 신호로 전환시키는 다중 p-SiGe/Si 양자 웰을 사용한다. 공명 캐버티의 목적은 바람직한 파장 범위에서 흡수성 MQW 속으로 입사광을 커플링하는 것을 향상시키는 것이다. 이는 공명 캐버티에 의해 형성된 증진된 전기장 영역에 MQW를 위치시킴으로써 이루어진다. MQW 흡수시 피크의 파장, 전체 캐버티의 폭 및 반사기는 입사 방사선에 맞도록 신중하게 선택해야 한다.
- <45> 본 예에서, 이는 상세한 이론적 모델링을 사용하여 장치 디자인을 제공함으로써 달성되고, 시판되는 BESOI 기판 웨이퍼(공급원: 신-에쓰한도타이가부시키가이샤) 위에 SiGe/Si MQW와 도핑 처리된 전기 접촉층을 포함하는 캐버티의 에피택시적 성장을 사용하여 실현된다.
- <46> 이어서, 간단한 장치 구조물을 제조하고 이의 스펙트럼 방사선에 대한 전기응답을 광전도 기술을 사용하여 측정한다. 그 다음, 그 결과를 스펙트럼 반사율에 의해 측정된 공명 캐버티의 광학 특성과 비교하여 비공명 대조 장치와 비교하는 경우, 캐버티의 공명 파장에서의 장치 성능이 향상되었는지를 본다.
- <47> 기판은 약하게 도핑처리된 Si 층(약  $10^{-6}$  m) 아래 매설되어 있는  $2 \times 10^{-6}$  m의  $SiO_2$  층을 포함한다. 캐버티 폭은 도 4와 도 5에 제공된 방법과 유사한 방법으로 동일한 소프트웨어 패키지와 위에서 언급한 참조 유전성 함수 스펙트럼을 사용하여 계산된 공명 캐버티에서 전기장 프로파일을 시뮬레이션함으로써 측정하며, SiGe 층 및 Si 층 모두에 (유사한 방식으로) 도핑 처리시킨 효과에 대해서도 측정한다[참조: D. K. Schroder, R. N. Thomas and J. C. Swartz, IEEE Transaction on Electron Devices, Vol ED-25 No 2 (February 1978) p254].
- <48> MQW의 디자인은  $[10 \times 10^{-6}$  m 내지  $11 \times 10^{-6}$  m] 사이에서 절삭 제거되고  $8 \times 10^{-6}$  m 근처에서 스펙트럼 반응의 피크를 갖는  $5 \times 10^{-6}$  m 이상의 방사선에 대한 광전도성 응답을 제공하는 초기 비공명 장치에 대한 측정치로부터 선택된다. 하나의 공명 장치에서, 상부 Si/공기 계면은 정면 반사기를 형성하고 매설된 산화물이 이면 반사기를 형성한다. 이 경우,  $8 \times 10^{-6}$  m에서 공명을 위한 전체 캐버티 폭(이는 MQW, 접촉층 및 Si 스페이서를 포함한다)을 찾는 것은 금속 위의 반사방지막의 정확한 두께를 측정하는 것과 동일한 것으로 가정한다(여기서, "금속"은  $SiO_2$ 이고 반사방지막은 그 위의 캐버티이다)[참조: S. L. Daryanani and G. W. Taylor, Optical and Quantum Electronics 25 (1993), p123].
- <49> 공명 캐버티의 두께를 변화시킴으로써 단색 입사 방사선의 반사율을 최소화하기 위하여 소프트웨어를 사용함으로써 이를 행할 수 있다. 선택된 두께는 접촉층이 설치될 수 있는 가장 얇은 캐버티이다. 활성 영역은 두께가 약  $50 \times 10^{-9}$  m인 Si 차단층과 약  $1 \times 10^{16} m^{-2}$ 의 농도에서 수용체를 함유하는 두께 약  $8 \times 10^{-9}$  m인  $Si_{0.87}Ge_{0.13}$  양자 웰을 포함하는 20주기 MQW이다.
- <50> 도 6a에 있어서, 본 발명의 반사기를 특징으로 하는 다중 양자 웰 IR 공명 캐버티 검출기는 BESOI 영역(12)과 다중 양자 웰 영역(13)을 포함한다. 또한 영역(12)은 p<sup>-</sup> 도핑 처리된 Si 기판(15)과 추가로 에피택시적 성장에 적합한 Si 층(16) 사이에 삽입되어 있는  $SiO_2$ 의 반사기 층(14)을 포함한다.
- <51> 영역(13)은 p<sup>+</sup> 도핑 처리된 Si 층(18)과 추가로 에피택시적 성장에 적합한 Si 층(19) 사이에 삽입되어 있는 SiGe/Si의 다중층(17)을 포함한다. 이의 최상부가 전기 접촉층(표시되지 않음)의 부착에 적

합한  $p^+$  도핑 처리된 규소층(20)이다. 최적 공명은 상부 표면(Si/공기)에 수직 입사하는 적합한 파장의 방사선에 의해 향상되지만, 흡수는 캐버티의 수직 내면에 근접하게 반사되는 비정상 입사시의 방사선에 있어서 향상될 수 있다.

- <52> 도 6b는 위에서 언급한 시판 중인 소프트웨어를 사용하여 얻은 도 6a의 장치의 전기장 프로파일을 도시한 것이다..
- <53> 도 4와 도 5에서와 마찬가지로, 가로축은 광학 두께를 나타낸다.
- <54> 전기장에서 최대값은 접촉층에 의한 흡수에 의해 약 25% 감소하고 피크 크기는 30 내지  $35\text{Vm}^{-1}$ 이다. 동등한 Si 기판에서의 전기장 피크는 약  $12.5\text{Vm}^{-1}$ 인데, 이는 공명 및 비공명 경우에 전기장의 면적비에 의해 제시된 바와 같이, 전기장의 강도가 5 내지 8배 향상되었음을 나타낸다. 이러한 예에서, 피크(21)은 도 6a에 나타난 다중 양자 웰 영역(17)과 일치한다.
- <55> 도 7에 있어서, 도 6a에 나타난 층에 상응하는 층을 나타내는데 유사 숫자가 사용된다. 알루미늄 전기 접촉층(22)은  $p^+$  도핑 처리된 층(18, 20)에 부착된다.
- <56> 제2 공명 장치는 동일한 에피택시 구조를 사용하여 기판측으로부터 수직 입사하는 방사선을 검출하기 위해 제조된다. 이러한 경우,  $2 \times 10^{-6}\text{m}$ 의 매몰된 산화물 층은 캐버티용 정면 반사기를 형성하고, Al은 에피택시 층의 상부 Si 표면에 부착되어 이면 반사기를 형성한다. 입사 방사선에 노출되어 있는 기판의 표면을 연마하여 투과성을 향상시키지만, 반사방지막은 도포하지 않는다.
- <57> 동등한 활성의 MQW와 접촉 구조물은  $p^+$ -Si 기판 위에서 에피택시적으로 성장하고 비공명 조절 장치를 제조하는 데 사용된다.
- <58> 활성 장치 층은 초고진공을 바탕으로 하여 스테인레스 스틸 반응기에서 저압 증기 상 에피택시(Low Pressure Vapour Phase Epitaxy: LPVPE)에 의해 성장된다. 사용되는 공급원 기체는 p형 도프층으로 포함된 디보란과 함께 Si 및 SiGe 에피층의 성장을 위한 실란과 게르만이다. 이들은 통상적으로 압력 13 내지 130Pa에서 수소와 혼합된다. 표면 산화물은 900 내지 920°C에서 탈착되고,  $5 \times 10^{-8}\text{m}$  Si 완충층이 750°C에서 부착된다. 장치 층은 통상 610°C에서 성장한다.
- <59> 도 8에 있어서, 장치 캐버티에 광학 공명이 존재하는지는 장치의 스펙트럼 반사율에서의 최소값을 관찰함으로써 정해진다. 성장된 공명 캐버티와 대조 장치에 대한 반사율 스펙트럼은 금을 100% 표준으로 사용하는 퍼킨-엘머(Perkin-Elmer) 983G 적외선 분광광도계를 사용하여 측정된다. 상부 표면에 수직 입사한 빛이 사용되며, 스펙트럼은 웨이퍼의 중심(23), 중심 + 0.01m(24) 및 중심 + 0.02m(25)로부터 취득된다. 공명이 발생하는 파장은 공명 캐버티의 반사율이 대조 장치(27)의 반사율보다 낮은 영역(26)에서의 파장과 동일하다. 측정값의 위치가 공명 장치 웨이퍼의 중심으로부터 추가로 이동함에 따라 보다 낮은 파장으로 공명이 이동한다.
- <60> 이는 성장 동안 웨이퍼 온도에서 반지름 변화에 의해 발생하는 기판을 가로지르는 캐버티 폭의 변화로 인한 것이다.
- <61> 다중 응답의 존재와 공명 캐버티의 폭을 사용한 이의 파장 가변성 모두가 도 8에 제시되어 있다.
- <62> 장치 디자인은 기판의 중앙에 근접한  $8 \times 10^{-6}\text{m}$ 에 집중된 캐버티 공명을 제공하도록 되어 있다. 도 8에서, 이는  $7.25 \times 10^{-6}\text{m}$ (26b)로 이동한 것으로 보여진다. 이는 벌크 Si 기판과 비교하여 BESOI 기판의 복사율을 변화시키는 기판에 매몰되어 있는  $\text{SiO}_2$  층의 존재로 인한 것이다. 복사율은 에피층 부착 동안 웨이퍼 온도를 측정하는 데 사용되므로, 이러한 공명 캐버티 장치는 예정된 610°C 보다 약간 낮은 온도에서 성장한다. 그 결과, 캐버티는 단파장에서 공명을 제공하는 의도된 두께보다 더 얇아진다.
- <63> 기판의 중심에 근접한 캐버티의 두께는 장치 디자인을 제공하는 데 사용되는 도핑 처리되지 않은 Si와  $\text{SiO}_2$ 에 대한 층 굴절률과 함께 위에서 언급한 시판되고 있는 소프트웨어를 사용하여 반사율 스펙트럼을 모델링함으로써 측정된다. 취득된 두께는 약  $3.2 \times 10^{-6}\text{m}$ 이고 이는 디자인값보다 적은  $0.37 \times 10^{-6}\text{m}$ 이다. 이러한 채고된 캐버티 두께를 사용하여 장치 구조물의 전기장 프로파일을 반사율 최소값이 관찰되는 각각의 파장에서 모델링한다. 제시된 것은 모두 공명으로 인해 캐버티에서 전기장을 증진시켰고,  $7.25 \times 10^{-6}\text{m}$ 에서 최대 증진되었다.
- <64> 바람직한 파장 범위 [ $7.5 \times 10^{-6}\text{m}$  내지  $9 \times 10^{-6}\text{m}$ ] 내에서 상부 표면 조명용 주요 공명을 보존하기 위해, 에피택시 성장 조건을 두께가  $3.57 \times 10^{-6}\text{m}$ 인 캐버티를 형성하도록 조정할 필요가 있다. 또한, 보다 얇은 캐버티 내에서 공명 상 조건을 기판측으로부터 조명하고 상부 Si 표면에 부착되어 있는 Al 이면 반사기를 사용하여 변화시킬 수 있다.
- <65> 웨이퍼의 중앙에 근접한 상응하는 캐버티 공명의 중심은  $7.8 \times 10^{-6}\text{m}$  근처이다.
- <66> 이러한 이론을 기본으로 하는 공명 캐버티 검출기의 작동을 설명하기 위해서, 공명 캐버티와 대조 샘플로부터 간단한 광전도 장치를 제조한다. 이 장치는 전기 접촉층이 증발된 Si를 사용하여 형성되는 메사 구조이다. 다음 단계는 상부 표면 조명을 위한 산화물 이면 반사기를 갖는 작업 캐버티와 대조 장치를 제조하는데 사용된다.
- <67> i) 웨이퍼를 분해하여 취득한 각각의 샘플 일부는 묽은 HF 용액을 사용하여 제거된 이의 표면 산화물을 갖는다. 이 단계는 메사 에칭 전과 Al 증발 전에 반복된다. 샘플을 다음 공정 단계 전에 표면의 재산화 방지하기 위해서 메탄올에 침지시킬 수 있다.



- <68> ii) 그 다음, 왁스 도트(dot)를 표면에 도포하여 직경이 약 2mm인 에칭 마스크를 형성시킨다. 이들은 메사 영역에 한정된다.
- <69> iii) 높이가 약  $3 \times 10^{-6}$  m인 메사를 0.825M Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 용액 30ml와 40% HF 20ml를 포함하는 수성 에칭을 사용하여 형성시킨다.
- <70> iv) 왁스 마스크를 제거하고 Al을 샘플 표면으로 위로 증발시킨다.
- <71> v) 2개의 왁스 도트를 2개의 전기 혼선을 한정하는 Al에 도포한다. 각각의 장치에서, 하나의 혼선은 투명한 대부분의 메사 영역에 남아 있는 메사 표면의 상부에 있어서 입사광이 캐버티에 들어 가도록 한다. 또 다른 혼선은 에칭된 표면에 있어서 전기 혼선이 MQW 활성 영역 아래에 형성되도록 한다.
- <72> vi) Al 에칭을 사용하여 목적하지 않은 Al을 제거한다. 왁스를 제거한다.
- <73> vii) 샘플을 질소 대기중에서 5분 동안 385°C에서 가열하여 Al에 합금시킴으로써 저항 접촉점을 제공한다.
- <74> viii) 샘플을 개별 패키지에 장착하고 Al 접촉점을 패키지의 적합한 부분에 볼 결합시켜 전기 접촉점을 제조한다.
- <75> 도 9a를 참고하면, 상부 표면 조명시 공명 캐버티와 대조 장치의 광전도를 20K의 온도에서 측정한다. 상대 응답성 스펙트럼은 각각의 샘플의 단색 적외선에 대한 스펙트럼 응답성을 전 파장 범위에서 일정한 반응을 나타낼 것으로 가정되는 초전기 장치의 동일한 방사선에 대한 응답성으로 나누어 구한다.
- <76> 단색 방사선은 글로바 원료를 회절발 단색화 장치와 적합한 긴 필터로 통과시켜 제공된다. 방사선은 분열된다. 샘플로부터의 전기 신호는 참조 주파수로서 사용되는 입사 방사선의 분열 주파수를 사용하여 예비증폭기를 거쳐 록-인(lock-in) 증폭기로 공급된다. 초전기로부터의 신호는 록-인 증폭기로 직접 공급된다. 록-인 출력의 스펙트럼 의존성은 미처리 초전기 스펙트럼으로서 기록된다.
- <77> 절대 응답성 스펙트럼은 500K 흑색체 오븐을 사용하여 광전류를 측정하여 상대 응답성으로부터 수득한다. 공명 캐버티 장치(28)와 대조 장치(29) 둘에 대한 절대 응답성 스펙트럼은 도 9a에 제시되어 있는데, 이 스펙트럼은 공명 캐버티 샘플로부터의 반사율(30)과 비교된다. 이 도면은 작동이 공명적으로 향상된 적외선 검출기를 분명히 설명해 준다. 대조 샘플과 비교하는 경우, 응답성의 피크 구조와 강한 향상이 공명 캐버티 장치에서 나타난다.
- <78> 공명 캐버티 장치의 응답성에 있어서  $7.25 \times 10^{-6}$  m 피크(31)는 동일한 구조로 측정된 반사율과 비교함으로써 이 파장의 입사 방사선의 캐버티 공명에 의해 형성된 것임을 알 수 있다. 반사율에 있어서 국부 최소값(32)은 이 파장에서 나타난다. 공명에 의한 응답성 피크(31)는 굴절률이 국부 최소값을 나타냄으로 인해 SiO<sub>2</sub> 반사기의 반사율이 향상되기 때문에 다른 파장에서의 피크(33, 34 및 35)보다 강하다.
- <79> 다음 단계는 기판측 조명을 위한 Al 이면 반사기와 매설된 산화물 정면 반사기가 장착된 작동 캐버티 장치를 제조하는 데 사용된다.
- <80> i) BESOI 기판 위의 공명 캐버티 샘플 하나를 투과 개선을 위해 기판의 거친 하부면을 연마한다. 이 연마된 표면을 왁스로 보호한다.
- <81> ii) 산화물을 묶은 HF 용액을 사용하여 상부 표면으로부터 제거한다. 이 단계를 메사 에칭 단계 전에 그리고 Al 증발 단계 전에 반복한다. 샘플을 다음 공정 단계 전에 표면 재산화 방지하기 위해 메탄올에 침지시킬 수 있다.
- <82> iii) Al을 상부 표면에 증발시키고 왁스 도트를 표면에 도포하여 지름 약 2mm의 에칭 마스크를 형성시킨다. 이들은 메사 영역과 이 영역 전체를 덮고 있는 상부 접촉층을 한정한다.
- <83> iv) 노출된 Al을 에칭시키고 높이가 약  $3 \times 10^{-6}$  m인 메사를 0.825M Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 용액 30ml와 40% HF 20ml를 포함하는 수성 부식액을 사용하여 형성시킨다.
- <84> v) 제2 Al 층을 표면으로 증발시키고 왁스 도트를 부식된 영역에 도포하여 하부 접촉층을 한정한다.
- <85> 위에서 언급한 단계(vi), 단계(vii) 및 단계(viii)가 그 다음에 이어지는데, 단 적층된 패키지에 구멍을 뚫어 연마된 기판측으로부터 조명되도록 한다.
- <86> 도 9b를 참고하면, 도 9a에서 언급한 바와 같이 20K에서 측정된 절대 응답성(36)은 공명 캐버티의 기판측 조명에 대한 반사율 스펙트럼(37)과 비교된다. Al 이면 층의 반사율이 높기 때문에 반사율(37)이 도 9a보다 크다.  $7.8 \times 10^{-6}$  m에서 반사율은 최소값(38)을 나타내는데, SiO<sub>2</sub> 정면 반사기와 Al 이면 반사기가 함께 캐버티 공명을 도 9a의 최소값(32)과 비교하여 더 긴 파장으로 이동시킴을 나타낸다.
- <87> 캐버티 공명으로 인한 도 9b에서의 광전도 응답성(36)은 바람직한 파장 범위내인  $7.5 \times 10^{-6}$  m에서 피크를 나타낸다. 이 피크 응답성의 절대 크기는 도 9a에서의 캐버티 장치에 상부 조명시 피크(31)에 대한 크기보다 크며, 이는 SiO<sub>2</sub>/Si 및 Si/공기 반사기 쌍과 비교하여 SiO<sub>2</sub>/Si 및 Si/Al 반사기 쌍의 전기장 강도가 향상되었기 때문이다.
- <88> 이러한 효과는 도 4와 비교하여 도 5에서 캐버티 내에 있는 계산된 피크 전기장이 보다 높다는 점에서 명백하다.
- <89> 도 9b에서 응답성 피크(39)는 응답성(37)에서 최소값(38)과 같이 동일한 파장에서 나타나지 않는

데, 이는 입사광이 두꺼운 정면  $\text{SiO}_2$  반사기에 의해  $2 \times 10^{-6}\text{m}$ 에서 흡수되어 감소되기 때문이다. 피크 응답성은 이러한 구성에서 유전성 정면 반사기를 최적화함으로써 추가로 향상시켜야 한다.

<90>

도 10은 도 9a가 유도된 방식과 유사한 방식으로 제조된 또 다른 장치에 대한 광전도 측정치를 나타낸다. 이 장치는 캐버티 두께가 약  $4.1 \times 10^{-6}\text{m}$ 이고 상부 표면에서 조명된다. 이 장치의 절대 응답성 스펙트럼(40)은 (위에서 언급한 방법과 유사한 방법으로) 제조된 응답성(41)과 시뮬레이션된 응답성(42)와 함께 나타낸다. 2V 바이어스에서 측정한다.

<91>

도 10은 유용한 파장 범위  $[8-9] \times 10^{-6}\text{m}$ 에서 응답성의 피크(43)를 갖는 장치를 나타낸다. 피크(43)는 반사율의 최소값(44)과 동시에 발생한다.

### (57) 청구의 범위

#### 청구항 1

제1 재료인 반도체 기판,

파장에 따른 굴절률의 변화가  $7.5 \times 10^{-6}\text{m}$  내지  $14 \times 10^{-6}\text{m}$ 의 파장 범위 내에서 하나 이상의 국부 최소값을 나타내고, 파장에 따른 흡광계수의 변화가 굴절률의 국부 최소값과 관련하여 하나 이상의 국부 최대값을 나타내는, 제2 재료인 반사층 및

제1 재료와 동일하거나 상이할 수 있는 제3 재료인 반도체 층

을 포함하며, 상기 반사층이 상기 반도체 기판과 상기 반도체 층 사이에 삽입되도록 배열되어 있으며, 파장 범위가  $7.5 \times 10^{-6}\text{m}$  내지  $14 \times 10^{-6}\text{m}$ 인 전자기방사선용 반사기.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 하나 이상의 국부 최소값과 하나 이상의 국부 최대값이 포논 공명으로부터 발생하는 반사기.

#### 청구항 3

제1항에 있어서, 파장 범위가  $7.5 \times 10^{-6}\text{m}$  내지  $9 \times 10^{-6}\text{m}$ 인 반사기.

#### 청구항 4

제3항에 있어서, 제1 재료가 규소이고 제2 재료가 이산화규소인 반사기.

#### 청구항 5

제1항, 제2항, 제3항 및 제4항 중의 어느 한 항에 따르는 반사기가 도입되어 있는 공명 캐버티.

#### 청구항 6

제5항에 따르는 공명 캐버티가 도입되어 있는 전자기방사선용 검출기.

#### 청구항 7

제6항에 있어서, 층들과 평행한 성분을 갖는 전기장 벡터를 갖고 파장이 캐버티의 공명 파장에 근접한 입자 방사선을 흡수할 수 있는 다중 양자 웰 영역(multiquantum well region)을 추가로 포함하는 검출기.

### 요약

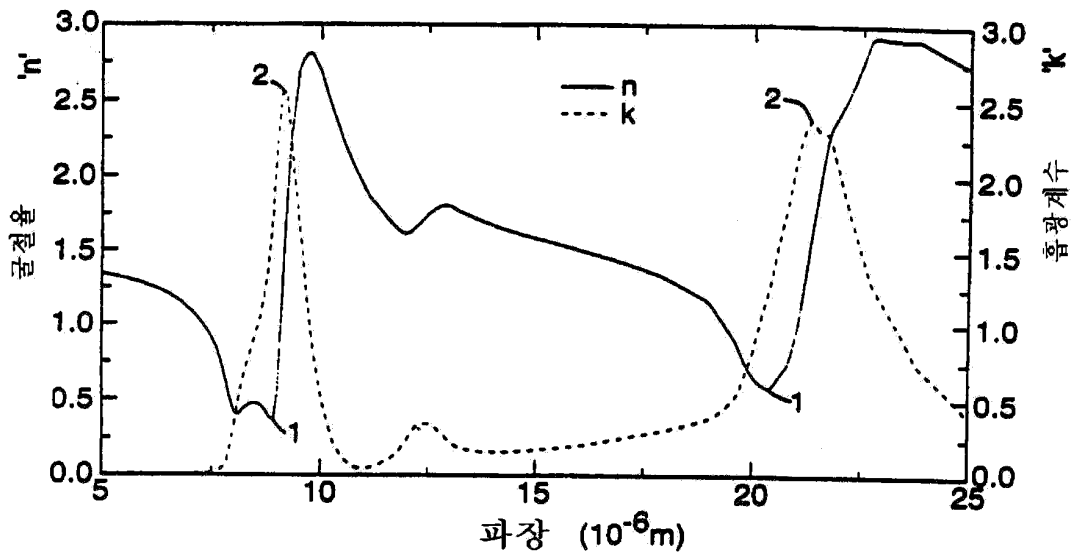
본 발명은 다수의 재료 층을 포함하는, 그 위에서의 에피택시적 성장에 적합한 반도체 기판에 관한 것이다. 층들 사이의 계면은 전자기방사선용 반사기로서 작용한다. 반사기는, 예를 들면, 위치할 수 있는 공명 캐버티, 예를 들면, 다중 양자 웰 검출기(이의 효율은 캐버티에서의 공명에 의해 전기장이 향상됨으로써 증가된다)에 사용될 수 있다.

### 대표도

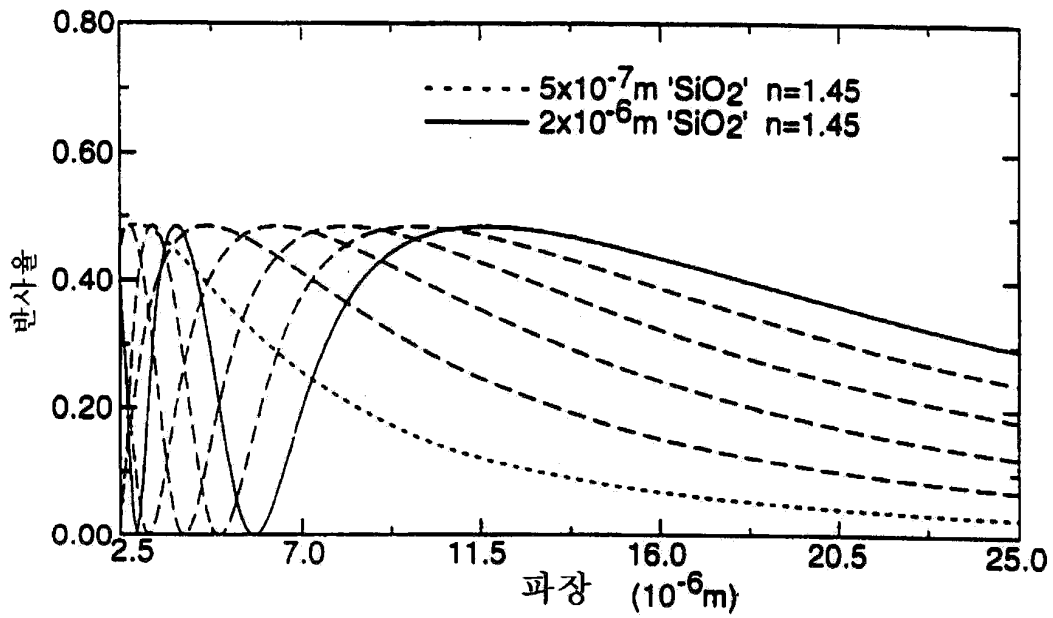
### 도7

### 도면

도면1

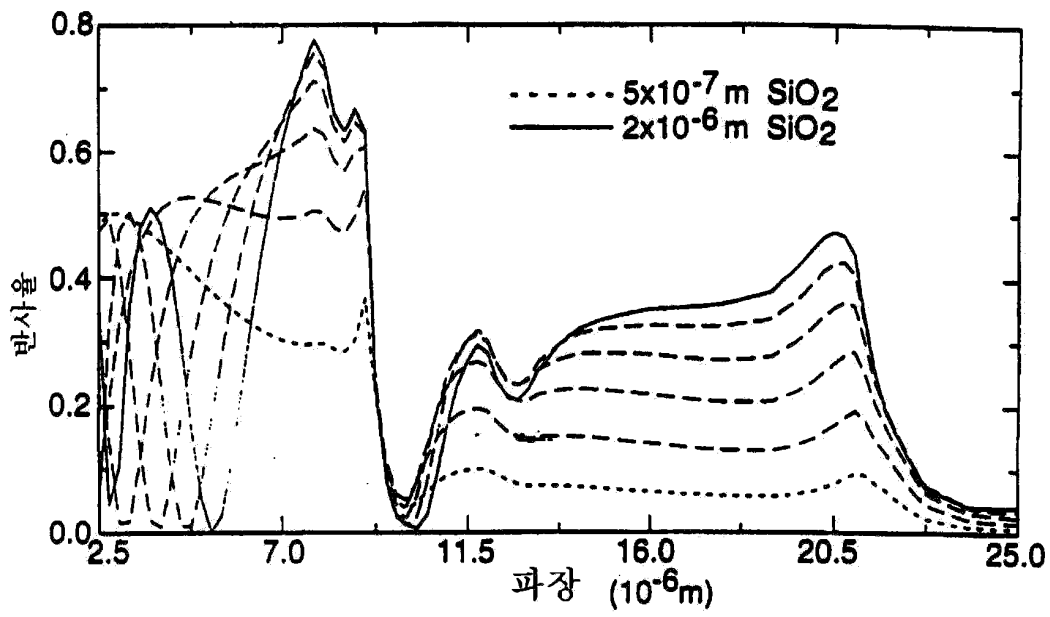


도면2

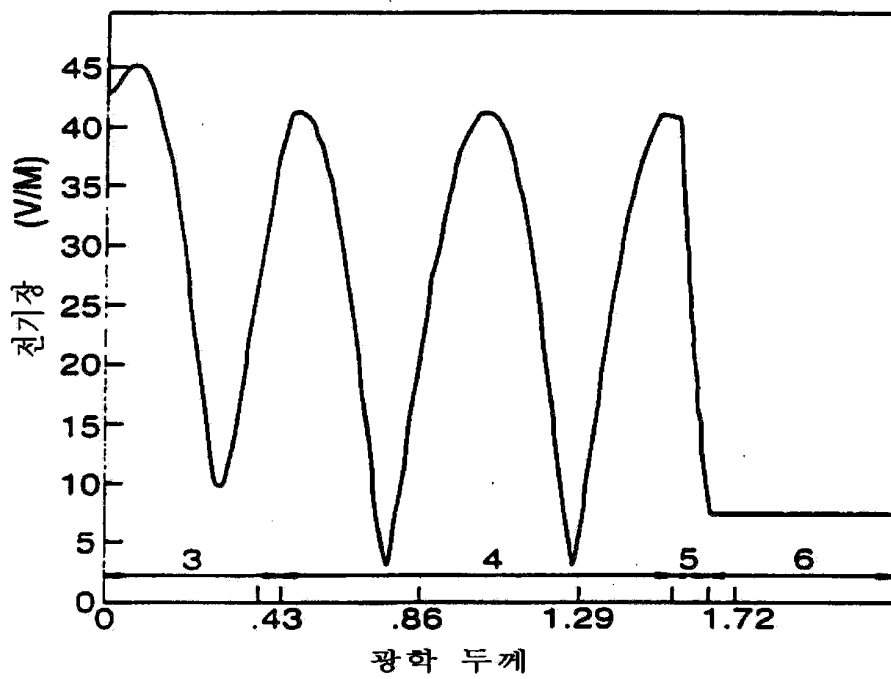




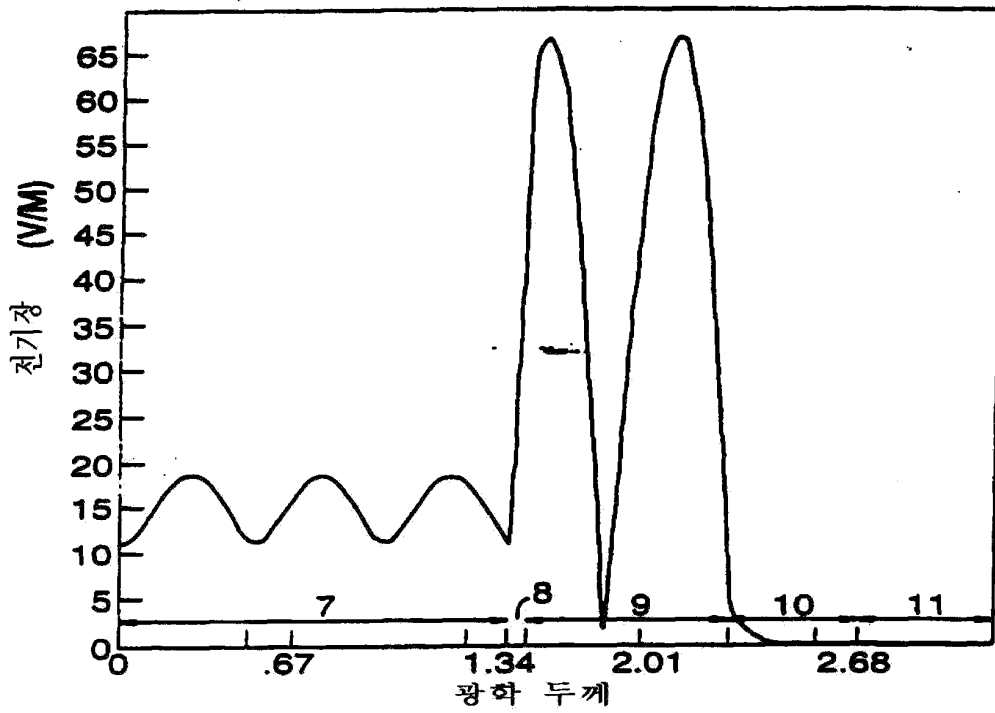
도면3



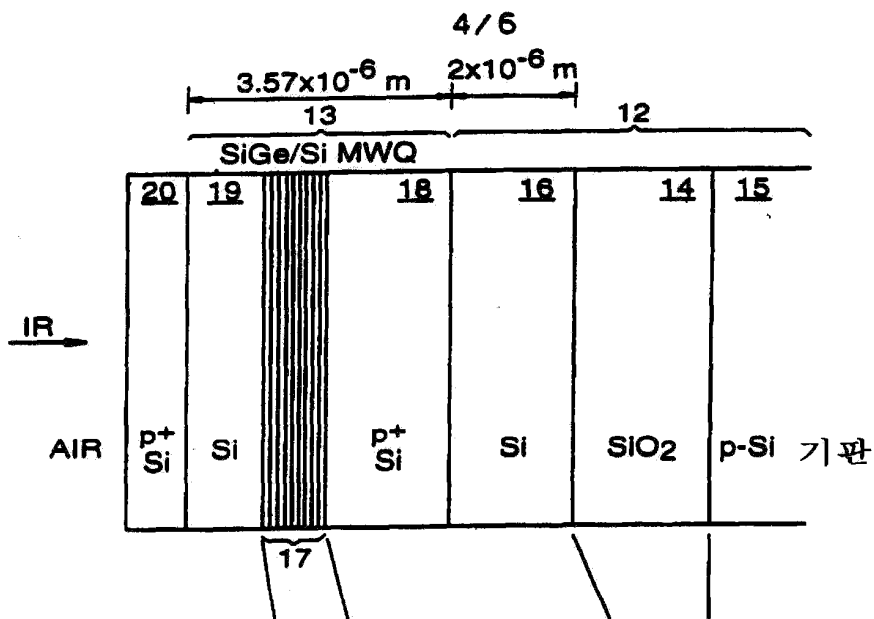
도면4



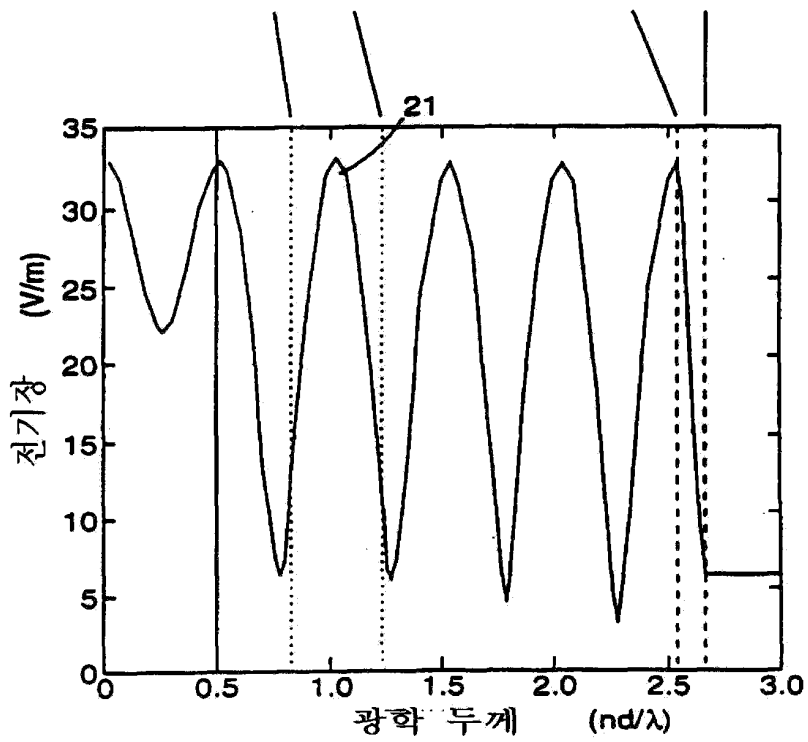
도면5



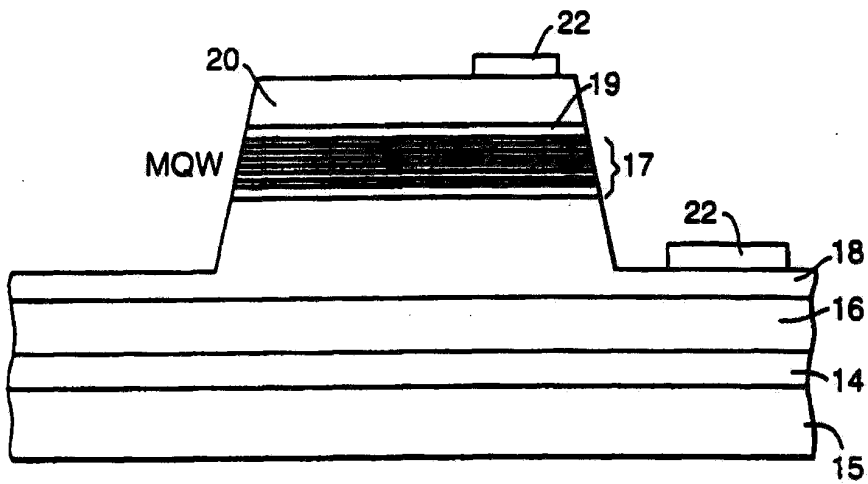
도면6a



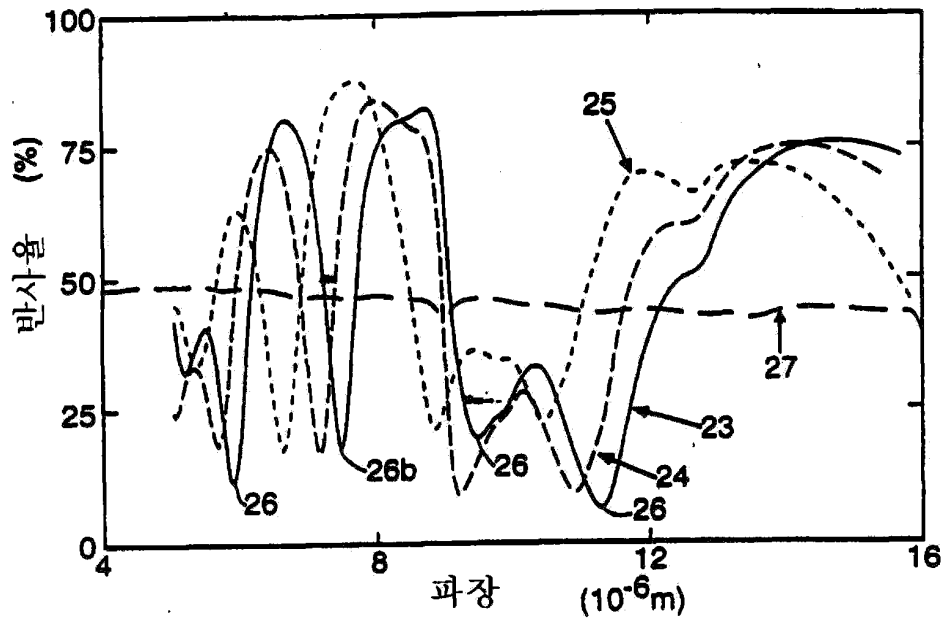
도면6b



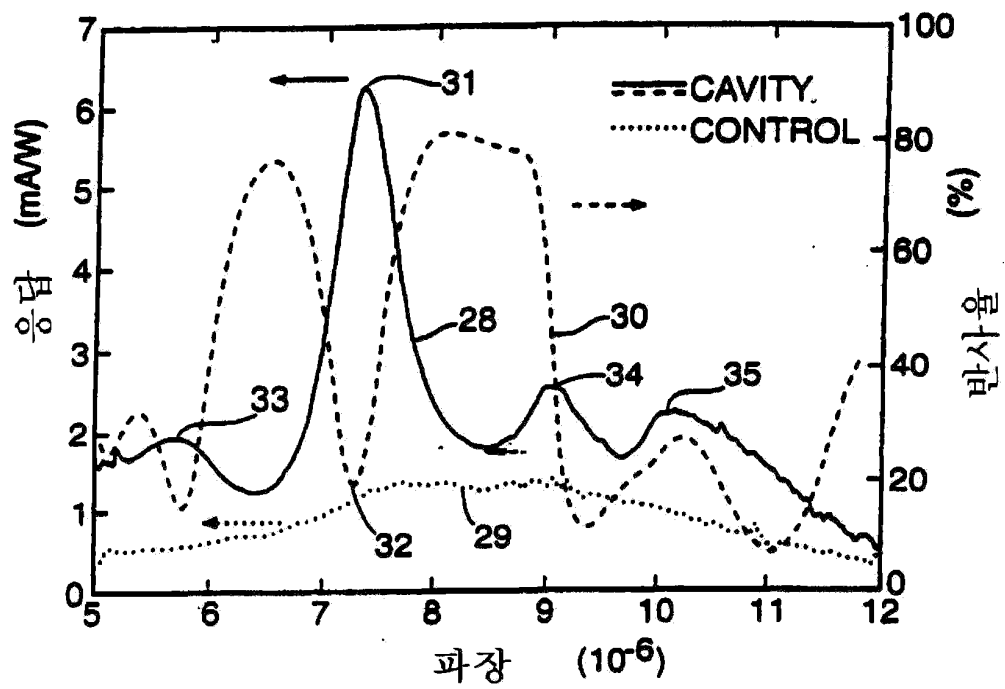
도면7



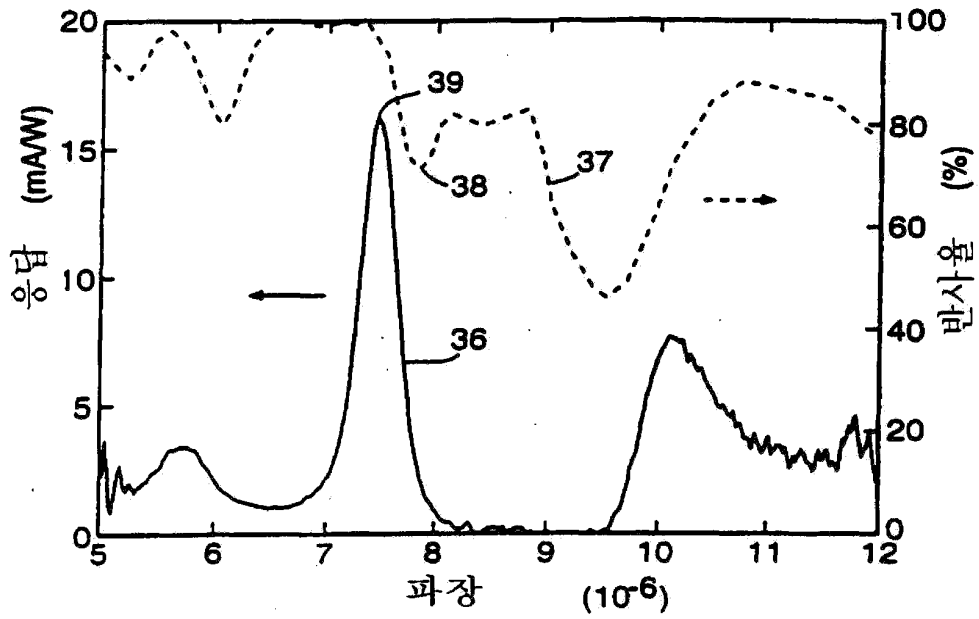
도면8



도면9a



도면9b



도면10

