



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0105655
(43) 공개일자 2009년10월07일

(51) Int. Cl.

G02B 6/124 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0031236

(22) 출원일자 2008년04월03일

심사청구일자 2008년04월03일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천 남구 용현동 253 인하대학교

(72) 발명자

오범환

인천 남구 용현3동 인하대학교 정보통신공학부

양정수

인천 남구 용현3동 인하대학교

(74) 대리인

이원희

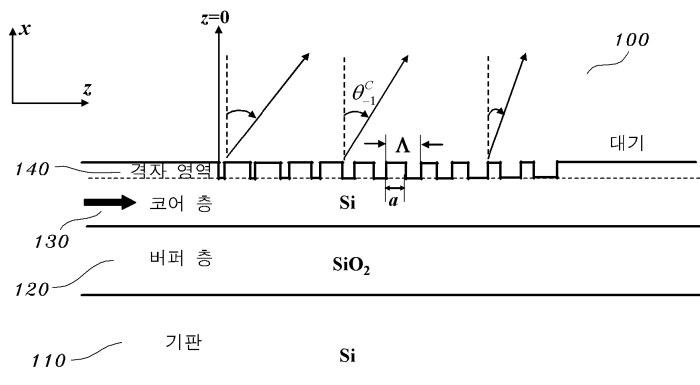
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 비균일 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기

(57) 요약

본 발명은 단일/하이브리드 전광 집적 회로를 이용한 정보 통신 시스템을 구현하기 위해 필수적으로 사용되는 광 연결 장치인 광 도파로 격자 결합기에 관한 것이다. 절연체상의 실리콘(Silicon on Insulator)의 실리콘층에 듀티율(duty ratio)이 균일하지 않은 격자 영역을 형성시켜, 기존의 광 도파로 수직 광 결합 장치의 결합 효율을 떨어뜨리는 요인중의 하나인 격자 영역으로 진행되는 광이 유효 굴절률의 차이로 인해 격자 영역으로부터 발생하는 반사율을 획기적으로 작게 할 수 있다. 또한, 격자 영역으로부터 덮개 영역으로 회절되는 출력광의 외형(diffracted output beam profile)을 조절할 수 있고, 집광 효과를 얻을 수 있어 모드 크기로 인해 발생하는 광 결합 손실을 최소화 하는 것을 특징으로 한다. 본 발명은 집적화가 용이하고, 저가 대량 생산등의 장점을 가지고 있어 실리콘 기반 전광 집적회로와 이들이 탑재될 수 있는 O-PCB(Optical Printed Circuit Board)등에 이용되어 광 신호 전달 및 검출을 용이하게 할 수 있다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

실리콘 기판;

상기 기판의 상부면에 증착되는 버퍼층;

상기 버퍼층 상부에 형성되며, 광원에서 방출된 출력 광신호와 입력 광신호가 진행되는 코어층; 및

상기 코어층의 상부에 형성되는 다수의 격자로 이루어지되, 상기 다수의 격자는 광신호가 진행되는 광축을 따라 주기적으로 형성되어 상기 코어층에서 진행되는 광신호를 외부장치에 수직으로 결합시키는 격자 층을 포함하며, 여기서, 상기 격자 층에 포함된 격자의 격자 폭-대-피치(pitch) 비율이 서로 다른 것을 특징으로 하는 비균일한 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기.

청구항 2

청구항 1항에 있어서,

상기 격자 폭-대-피치 비율은 광축으로 진행함에 따라 점진적으로 감소하는 것을 특징으로 하는 비균일한 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기.

청구항 3

청구항 2항에 있어서,

상기 격자 폭-대-피치 비율은 일정한 비율로 감소하는 것을 특징으로 하는 비균일한 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기.

청구항 4

청구항 1항에 있어서,

상기 코어 층과 격자 층은 실리콘으로 형성되는 것을 특징으로 하는 비균일한 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기.

청구항 5

청구항 1항에 있어서,

상기 버퍼 층은 이산화규소로 형성되는 것을 특징으로 하는 비균일한 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기.

청구항 6

실리콘 기판;

상기 기판의 상부면에 증착되는 버퍼층;

상기 버퍼층 상부에 형성되며, 광신호가 진행되는 코어층; 및

상기 코어층의 상부에서 광의 진행방향을 따라 주기적으로 반복 형성되는 다수의 격자로 이루어지되, 상기 격자의 격자 폭-대-피치(pitch) 비율이 가우시안 곡선 형태로 감소되는 것을 특징으로 하는 비균일한 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 격자는 상기 코어층에서 진행되는 광신호를 격자표면의 수직 방향에 대하여 소정의 결합각으로 회절시키는 것을 특징으로 하는 비균일한 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 격자는 상기 광신호가 격자표면의 수직 방향에 대하여 -1 회절 차수를 갖도록 회절시키는 것을 특징으로 하는 비균일한 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기.

청구항 9

청구항 6에 있어서,

상기 비균일한 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기는 상기 격자 폭-대-피치(pitch) 비율의 변화에 따라 회절되는 광신호의 초점거리가 조절되는 집광렌즈로 동작되는 것을 특징으로 하는 비균일한 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 본 발명은 단일/하이브리드 전광 집적 회로(monolithic/hybrid electro-optic integrated circuit)를 이용한 정보 통신 시스템을 구현하기 위해 필수적으로 사용되는 광 연결(Optical interconnection) 장치인 광 도파로 격자 결합기에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 21세기에 급격한 정보 통신 기술의 발전은 기존의 전자 정보 시스템이 가지고 있는 정보 통신의 한계점을 표출해 내고 있다. 정보 통신 기술의 발전에 따른 정보 전송 속도의 증가는 미래의 정보 통신 시스템에서 필요로 하는 초고속, 초고밀도, 대용량화를 충족시킬 수 있는 기술을 필요로 하고 있으며, 이를 해결할 수 있는 강력한 대안 기술들 중의 하나로 광 연결(optical interconnection) 기술에 대한 연구가 이루어지고 있다. 광 연결 기술은 대용량 고속 전송에서 기존의 전자 정보 시스템들의 근원적인 물리적 한계로 인식되고 있는 전기 선로간의 전자파 간섭, 누화(crosstalk) 특성들을 극복할 수 있는 기술적 돌파구를 제시할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 최근에, 고효율 저비용의 대량생산이 가능한 장점을 가지고 있는 실리콘에 기반한 전광 혼성 시스템(electro-optical hybrid system)과 전기 인쇄 회로 기판(electrical printed circuit board)의 한계를 넘어설 O-PCB(Optical Printed Circuit Board)등을 상용화하기 위한 광 연결 기술의 개발이 강력히 요구되고 있다.
- <3> 이러한 광 연결을 위해, 단일/하이브리드 전광 집적 회로(monolithic/hybrid electro-optic integrated circuit)를 이용한 정보 통신 시스템을 구현하기 위해서는 광신호가 전달되는 광 도파로와 광 파이버간의 고집적, 고효율의 광신호 입/출력기가 필수적이며, 주된 연구 내용은 1)광 도파로와 광 파이버의 물리적 크기의 차이로 인해 발생하는 진행 광의 모드 크기 불일치로 인한 결합 손실, 2)광 도파로와 광 파이버의 굴절률 차이가 만들어 내는 반사로 인한 결합 손실 등의 최소화이다.
- <4> 이를 구현하기 위한 방법으로 모드 크기 변환기(mode size converter), 격자 결합기(grating coupler) 구조등이 적용되었고, 입/출력 광 연결 장치로서의 격자 결합기는 광원에서(laser diode)에서 방출되어 광 도파로를 따라 진행하는 광신호를 파이버(optical fiber)또는 광 검출기로의 수직 광 결합을 가능하게 할 수 있어 고도의 집적화에 용이하나, 고효율 광 결합과 엄격한 정렬 허용 오차의 문제점을 가지고 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <5> 본 발명은 상기한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 전광 혼성 시스템의 광신호 전달을 위한 수직 광 결합을 구현하기 위하여 비균일 듀티율을 갖는 집광 광도파로 격자 결합기를 이용하여, 집적화, 저비용 대량 생산의 장점을 갖는 광 결합기를 제공하는데 그 목적이 있다.

과제 해결수단

- <6> 상기한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 제 1 특징에 따른 비균일한 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기는 실리콘 기판, 상기 기판의 상부면에 증착되는 버퍼층, 상기 버퍼층 상부에 형성되며, 광신호가 진행하는 코어층

및 상기 코어층의 상부에 형성되는 다수의 격자로 이루어지되, 상기 다수의 격자는 광신호가 진행하는 광축을 따라 주기적으로 형성되어 상기 코어층에서 진행하는 광신호를 외부장치에 수직으로 결합시키는 격자 층을 포함한다.

- <7> 여기서, 상기 격자 층에 포함된 격자의 격자 폭-대-피치(pitch) 비율이 서로 다른 것을 특징으로 한다.
- <8> 여기서, 상기 격자 폭-대-피치 비율(듀티율)은 광축으로 진행함에 따라 점진적으로 감소하는 것을 특징으로 한다. 여기서, 상기 피치-대-격자 폭 비율은 일정한 비율로 감소한다.
- <9> 상기 코어층과 격자 층은 실리콘으로 형성되며, 상기 버퍼층은 이산화규소로 형성된다.
- <10> 또한, 상기한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 제 2 특징에 따른 비균일한 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기는 실리콘 기판, 상기 기판의 상부면에 증착되는 버퍼층, 상기 버퍼층 상부에 형성되며, 광신호가 진행하는 코어층 및 상기 코어층의 상부에서 광의 진행방향을 따라 주기적으로 반복 형성되는 다수의 격자로 이루어지되, 상기 격자의 격자 폭-대-피치(pitch) 비율이 가우시안 곡선 형태로 감소되는 것을 특징으로 한다.
- <11> 여기서, 상기 격자는 상기 코어층에서 진행하는 광신호를 격자표면의 수직 방향에 대하여 소정의 결합각으로 회절시키는 것을 특징으로 하는 비균일한 듀티율을 갖는다.
- <12> 상기 격자는 상기 광신호가 격자표면의 수직 방향에 대하여 -1 회절 차수를 갖도록 회절시킨다.
- <13> 상기 비균일한 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기는 상기 격자 폭-대-피치(pitch) 비율의 변화에 따라 회절되는 광신호의 초점거리가 조절되는 집광렌즈로 동작된다.

효 과

- <14> 상기와 같이 구성되는 본 발명에 따른 비균일한 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기는 광 도파로 격자 결합기의 격자 층에 비균일 듀티율을 갖는 격자 구조를 형성시킴으로써 저반사, 고효율의 광결합이 가능한 효과가 있다.
- <15> 특히, 본 발명은 격자 층에 비균일 듀티율을 이용함으로써 회절 출력광의 외형을 파이버의 모드 외형과 일치할 수 있도록 할 수 있고, 집광 효과를 만들어 렌즈의 역할을 가능하게 하여 높은 결합 효율을 가진다.
- <16> 또한, 본 발명은 광 도파로를 진행하는 광의 반사로 인한 에너지 손실과 모드 크기의 불일치로 인한 결합 손실을 작게 할 수 있으며, 큰 정렬 허용오차를 가지게 하여 저가의 패키징을 가능하게 하는 효과가 있다.
- <17> 또한, 본 발명은 집적화가 용이하고, 저가 대량 생산 등의 장점을 갖고 있으므로, 실리콘 기반 전광 집적회로와 이들이 탑재될 수 있는 O-PCB(Optical Printed Circuit Board)등에 이용되어 광신호 전달 및 검출을 용이하게 하는 효과가 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <18> 본 발명은 전광 혼성 시스템의 집적화를 구현하기 위하여 저비용 대량 생산이 가능한 장점으로 인해, 최근 많은 연구가 이루어지고 있는 실리콘 기반 집적 전광 혼성 시스템과 이들이 탑재될 O-PCB 전광 혼성 시스템 구현에 적합하도록 고도의 집적화를 가능하게 할 수 있는 광 도파로(optical waveguide)/광 파이버 또는 광 도파로/포토 다이오드로의 수직 광 연결 장치에 관한 것이다. 광 도파로와 광 검출기의 수직 광 결합을 위하여 광 도파로 격자 결합기를 도입하였다.
- <19> SOI (Silicon On Insulator)에 기반한 격자 결합기의 실리콘층에 듀티율이 다른 다수의 격자들을 형성시킨다. 형성된 격자들은 광 도파로를 통해 진행하는 광이 격자의 생성으로 인한 유효 굴절률 차이를 거의 느끼지 않게 하여 결합 손실의 요인 중의 하나인 불필요한 진행 광의 반사를 작게 할 수 있다. 또한, 수직 광 결합을 가능하게 할 격자들의 듀티율의 변화율을 변화시켜 격자 층로부터 회절되는 출력 광의 외형 모양을 조절하여 결합 손실이 적게 되도록 만들어 낼 수 있고 집광 렌즈의 역할을 수행하게 할 수 있다.
- <20> 광 파이버가 광 검출 장치의 수광 부분으로 사용되는 경우는 광 파이버의 개구수(Numerical Aperture)에 해당하도록 집광하며, 포토다이오드가 광 검출기로 사용되는 경우는 수광 영역의 크기에 집광할 수 있도록 한다.
- <21> 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 구체적인 내용 및 실시예를 설명하면 다음과 같다.
- <22> 도 1은 본 발명에서 제안하고 있는 비균일 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기(100)의 단면이 도시된 도이다.

광 도파로 격자 결합기의 적층 구조는 기판(110), 버퍼 층(buffer layer; 120), 코어 층(core layer; 130), 격자 층(grating layer; 140), 덮개 영역(cover region; 미도시)으로 구성된다. 기판(110)은 실리콘 재질로 형성되며, 기판(110)의 상부에는 버퍼 층(120)이 형성되어 있다. 버퍼 층(120)의 상부에는 광신호가 이동하는 경로인 코어 층(130)이 증착된다. 코어 층(130)의 상부에는 다수의 격자들이 돌출되어 형성되는 격자 층(140)이 형성된다.

- <23> 본 발명의 일 실시예로 상기 코어 층(130)과 상기 격자 층(140)은 실리콘(Si)으로 형성될 수 있으며, 본 발명의 실험에서는 각각의 층의 두께를 0.42 μm , 0.06 μm 로 형성하였다.
- <24> 또한, 상기 버퍼 층(120)은 이산화규소(SiO_2)로 형성될 수 있으며 두께는 3.0 μm 로 구성하였다. 앞서 설명한 바와 같이 광신호는 상기 코어 층(130)은 광신호가 이동하는 영역이다.
- <25> 참고적으로 광신호가 진행하는 방향을 광축이라 하겠다. 이하 설명하는 덮개 영역은 격자 층(140) 상부 영역을 말한다.
- <26> 격자 주기는 덮개 영역과의 단일 차수의 회절을 갖는 광 결합이 이루어지도록 격자와 광의 도파 모드의 위상 정합(phase match)이 가능한 값으로 결정되어야 한다. 실험에서는 0.5 μm 가 되도록 제작되었다. 도 1에서 θ^c 는 격자 표면의 수직 방향에 대하여 -1 회절 차수를 갖는 회절 광과 덮개 영역 간의 결합각을 나타낸다.
- <27> 상기 격자 층(140)은 소정 간격 이격되어 주기적으로 반복되어 형성된 격자로 이루어진다. 코어 층(130)을 통과하는 광신호는 상기 격자 층(140)을 통해 광 파이버 또는 광 검출기로 진행한다.
- <28> 상기 격자는 광신호가 진행하는 광축을 따라 일정한 피치(pitch)로 주기적으로 형성된다.
- <29> 본 발명에 따른 격자 결합기는 격자 폭-대-피치(pitch) 비율인 듀티율(Duty Ratio)이 비균일하게 형성된다. 구체적으로, 듀티율(D)은 격자 폭(a)/피치(Λ)로 정의한다.
- <30> 여기서, 피치(Λ)는 격자의 주기를 말하며, 격자의 주기는 일정하다.
- <31> 도 1에서 듀티율은 광축을 따라 점진적으로 감소된다. 이 경우 상기 격자의 주기는 일정하므로, 격자폭(a)이 점진적으로 감소되도록 한다.
- <32> 상기 듀티율은 가우시안 곡선 형태로 감소되는 것이 바람직하다. 상세한 이유는 후술할 도 3 및 도 4를 참조한다.
- <33> 광 도파로 격자 결합기가 광 검출기와 높은 광 결합을 이루기 위해서는 결합 효율(coupling efficiency)과 결합 길이(coupling length)가 고려되어야 한다. 결합 효율과 결합 길이는 격자 결합기의 설계시 고려되어야 할 중요한 요인들로서 격자의 구조(격자 높이, 격자 주기 등)와 광 도파로층들의 두께 등에 영향을 받는 양들이다.
- <34> 도 2a 및 도 2b는 격자의 길이가 무한한 경우, TE 편광(TE polarization)된 기본 모드 (fundamental mode)의 듀티율의 변화에 대해 계산된 격자에서 회절되는 회절광의 각도, 결합 길이, 결합 효율을 나타내고 있다.
- <35> 도 2a는 본 발명에 따른 듀티율 변화에 따라 계산된 회절광의 덮개 결합각이 도시된 그래프이다. 도 2a에서 계산에 사용된 Si와 SiO_2 의 굴절율은 각각 3.42와 1.45이다.
- <36> 도 2a를 참조하면, 듀티율이 커질수록 회절한 빛의 덮개 영역으로 결합하는 각이 약 3° 에서 6° 로 점진적으로 증가한다.
- <37> 도 2b는 본 발명에 따른 비균일 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기의 듀티율 변화에 따라 계산된 결합 길이와 덮개 결합 효율이 도시된 그래프이다.
- <38> 도 2b를 참조하면, 결합 길이는 듀티율이 0.5에서 20 μm 의 최소값을 가지며, 좌우 대칭을 이룬다. 결합 효율값은 듀티율의 전 범위에서 약 0.64의 값을 갖는 것을 알 수 있다. 도 2의 계산 결과를 토대로 하여 선형 서브-격자 모델 (linear sub-grating model)을 도입하면, 격자 층의 길이가 L인 광도파로 격자 결합기의 광 특성을 평가할 수 있다.
- <39> 도 3은 본 발명에 따른 비균일 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기의 격자 영역에서 격자의 듀티율 변화에 따라 다양한 높이에서 계산된 회절 출력광의 외형(diffracted output beam profile)이 도시된 그래프이다.

- <40> 도 3을 참조하면, 격자는 z축 방향으로 형성되며 듀티율은 감소한다. 도 3의 내부에 삽입된 그래프는 각 회절 출력빔에 해당하는 격자의 듀티율 변화를 보이고 있다. 삽입 그림에서 가로축은 z축 방향에 따른 듀티율 변화를 나타내고 있다. 계산에서 고려된 격자영역의 크기 L은 150 μm 이다. 격자 주기는 0.5 μm 이다.
- <41> 도 3에서 격자의 바로 윗부분(H=0 μm 근방)에서 계산된 회절광의 출력빔 외형을 참조하면, 비균일 듀티율을 갖는 광 도파로 격자가 광 파이버와의 효율적인 결합 효율에 유리함을 보이고 있다. 또한, 듀티율의 변화 기울기가 가우시안(Gaussian) 형태의 회절 출력 빔을 결정하는 주된 요인인데, 다시 말하면 격자 층의 격자 폭-대-피치 비율은 일정한 비율로 변한다. 도 3을 참조하면, 듀티율 변화 기울기가 클수록 좁은 선풍을 갖고 회절 출력빔에서 큰 피크 값을 가짐을 알 수 있다.
- <42> 더욱이, 격자의 듀티율이 다른 경우에, 도 2에서 보이는 것처럼 회절되는 광은 다른 덮개 결합 각을 가지므로 회절된 빛의 집광(focusing) 효과를 기대할 수 있으며, 도 3에서 수직 높이에 따른 집광 효과를 확인할 수 있다. 비교를 위해, 단일 모드 광 파이버의 모드 외형(mode profile)을 계산하여 도 3의 점선으로 그려진 원형 안에 도시하였다.
- <43> 격자의 듀티율 변화에 따라 회절되는 출력 빔들의 집광 기능을 정량적으로 표현하기 위해 단일 모드 광 파이버의 모드 외형과의 겹침 적분(overlap integral)을 계산하였다. H=0 μm 와 H= 700 μm 에서 계산된 결과는 표 1에 나타내었다. 표 1은 격자 층의 격자 듀티율 변화에 해당하는 집광된 회절 출력광의 겹침 적분값이다.

표 1

외형 커브	높이(μm)에서의 겹침(%)	
(1)	0에서 44	→ 700에서 44
(2)	0에서 30	→ 700에서 49
(3)	0에서 21	→ 700에서 27
(4)	0에서 37	→ 700에서 63
(5)	0에서 34	→ 900에서 66
(6)	0에서 31	→ 1100에서 69

- <45> 표 1을 참조하면, 격자 층의 격자의 듀티율이 (4)번의 듀티율 변화, 즉 가우시안 변화를 갖는 격자의 구조가 가장 좋은 집광 효과를 나타내고 있다.
- <46> 도 4는 다양한 수직거리에서 광 파이버의 모드 외형과 회절된 출력 빔의 외형의 겹침 적분(overlap integral)이 도시된 그래프이다. 도 4에는 듀티율이 서로 다른 가우시안 변화를 갖는 경우의 격자들에 대해 회절되는 출력광과 광 파이버의 모드 외형과의 겹침 적분의 계산치가 도시되어 있다. 도 4의 삽입 그림 (a)는 가우시안 변화를 갖는 듀티율의 배열 곡선을 도시하며, 삽입 그림 (b)는 수직 거리 700 μm 에서 집광된 출력빔의 외형을 도시한다.
- <47> 도 4의 그래프를 참조하면, 격자의 듀티율이 가우시안 변화를 가질 때에 집광렌즈의 역할을 하며, 듀티율의 변화율 또는 변화율의 기울기가 초점거리와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 각각의 듀티율의 변화인 (4), (5), (6)에 해당하는 초점거리는 700 μm , 900 μm , 1100 μm 이다. 또한, 격자로부터의 수직거리 100 μm 의 광 파이버의 정렬 거리 오차는 초점거리를 기준으로 할 때 5% 미만의 겹침 적분 변화를 갖는 우수한 정렬 허용오차를 갖는다.
- <48> 이상과 같이 본 발명에 의한 비균일한 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기를 예시된 도면을 참조로 설명하였으나, 본 명세서에 개시된 실시예와 도면에 의해 본 발명은 한정되지 않고, 기술사상이 보호되는 범위 이내에서 응용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- <49> 도 1은 본 발명에서 제안하고 있는 비균일 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기의 단면이 도시된 도,
- <50> 도 2a는 본 발명에 따른 듀티율 변화에 따라 계산된 회절광의 덮개 결합각이 도시된 그래프,
- <51> 도 2b는 본 발명에 따른 비균일 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기의 듀티율 변화에 따라 계산된 결합 길이와 덮개 결합 효율이 도시된 그래프,

<52> 도 3은 본 발명에 따른 비균일 듀티율을 갖는 광 도파로 격자 결합기의 격자 영역에서 격자의 듀티율 변화에 따라 다양한 높이에서 계산된 회절 출력광의 외형이 도시된 그래프,

<53> 도 4는 다양한 수직거리에서 광 파이버의 모드 외형과 회절된 출력 빔의 외형의 겹침 적분(overlap integral)이 도시된 그래프이다.

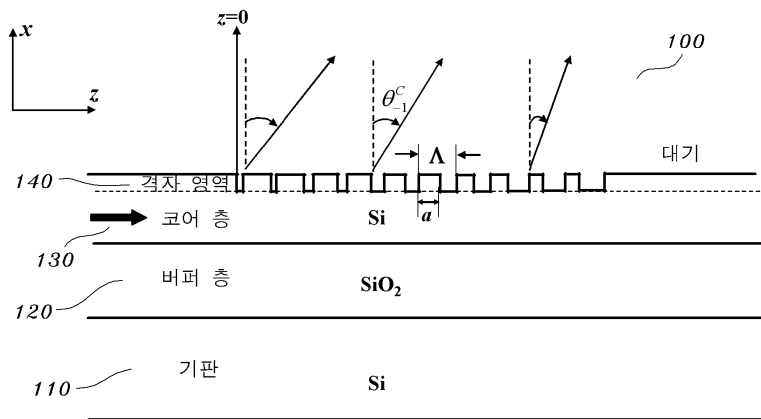
<54> <도면의 주요 부분에 관한 부호의 설명>

<55> 110: 실리콘 기관 120: 버퍼 층

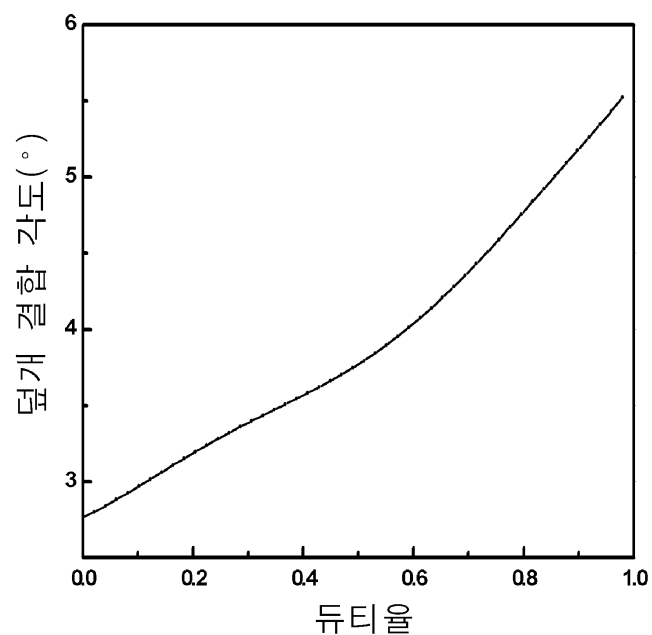
<56> 130: 코어 층 140: 격자 층

도면

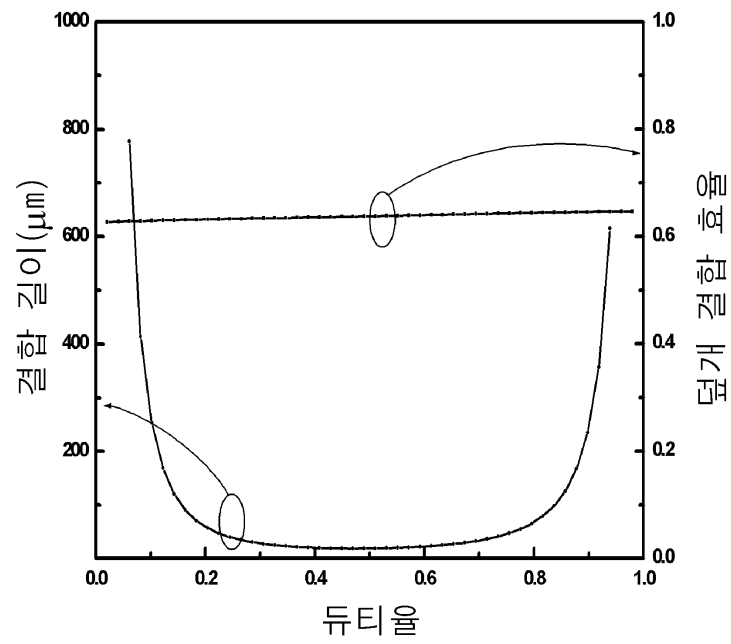
도면1



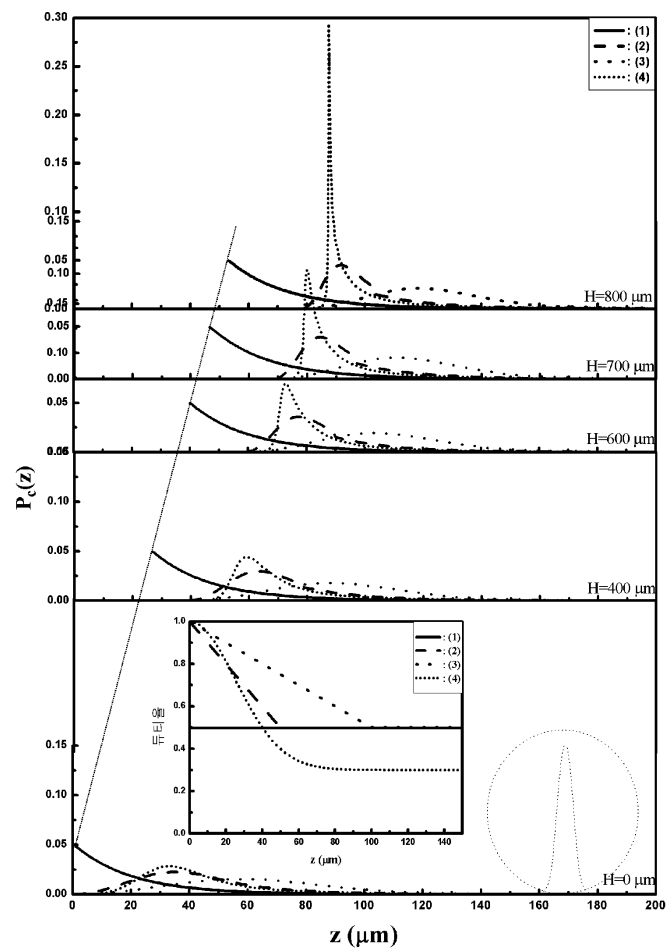
도면2a



도면2b



도면3



도면4

