

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl.⁷
G02B 6/16

(45) 공고일자 2005년08월26일
(11) 등록번호 10-0509720
(24) 등록일자 2005년08월16일

(21) 출원번호	10-1999-7012363	(65) 공개번호	10-2001-0014256
(22) 출원일자	1999년12월27일	(43) 공개일자	2001년02월26일
번역문 제출일자	1999년12월27일		
(86) 국제출원번호	PCT/GB1998/001782	(87) 국제공개번호	WO 1999/00685
국제출원일자	1998년06월17일	국제공개일자	1999년01월07일

(81) 지정국

국내특허 : 캐나다, 영국, 일본, 대한민국, 미국, 알바니아, 아르메니아, 오스트리아, 오스트레일리아, 아제르바이잔, 보스니아 헤르체고비나, 바르바도스, 불가리아, 브라질, 벨라루스, 스위스, 리히텐슈타인, 중국, 쿠바, 체코, 독일, 덴마크, 에스토니아, 스페인, 핀란드, 그루지야, 헝가리, 이스라엘, 아이슬란드, 케냐, 키르키즈스탄, 북한, 카자흐스탄, 세인트루시아, 스리랑카, 리베이라, 레소토, 리투아니아, 룩셈부르크, 라트비아, 몰도바, 마다가스카르, 마케도니아공화국, 몽고, 말라위, 멕시코, 노르웨이, 뉴질랜드, 슬로베니아, 슬로바키아, 타지키스탄, 투르크멘, 터키, 트리니다드토바고, 우크라이나, 우간다, 우즈베키스탄, 베트남, 폴란드, 포르투갈, 루마니아, 러시아, 수단, 스웨덴, 싱가포르, 가나, 감비아, 기니 비사우, 인도네시아, 시에라리온, 세르비아 앤 몬테네그로, 짐바브웨,

AP ARIPO특허 : 케냐, 레소토, 말라위, 수단, 스와질랜드, 우간다, 짐바브웨, 가나, 감비아,

EA 유라시아특허 : 아르메니아, 아제르바이잔, 벨라루스, 키르키즈스탄, 카자흐스탄, 몰도바, 러시아, 타지키스탄, 투르크멘,

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 독일, 덴마크, 스페인, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투갈, 스웨덴, 핀란드, 사이프러스, 리히텐슈타인,

OA OAPI특허 : 부르키나파소, 베닌, 중앙아프리카, 콩고, 코트디부아르, 카메룬, 가봉, 기니, 말리, 모리타니, 니제르, 세네갈, 차드, 토고,

(30) 우선권주장 9713422.5 1997년06월26일 영국(GB)

(73) 특허권자 엔케이티 리서치 앤드 이노베이션 에이/에스
덴마크 디케이-3460 비커로드 블로켄 84

(72) 발명자 버크스티모시아담
영국,바스비에이27에이와이,클레버톤다운,바스대학교,물리학부

나이트조나단케이브
영국,바스비에이27에이와이,클레버톤다운,바스대학교,물리학부

러셀필립세이트존
영국,바스비에이27에이와이,클레버톤다운,바스대학교,물리학부

(74) 대리인 정상구
 이범래
 신현문

심사관 : 김병성

(54) 단일 모드 광섬유

요약

라디에이션을 전송하기 위한 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유는 실질적으로 투명한 코어 재료를 포함하고 적어도 $5\mu\text{m}$ 의 코어 직경을 갖는 코어를 가진다. 상기 섬유는 코어 재료 길이를 둘러싸는 클래딩 영역을 포함하고, 상기 클래딩 영역은 제 1 굴절율을 갖는 실질적으로 투명한 클래딩 재료를 포함하고, 제 1 실질적으로 투명한 클래딩 재료는 실질적으로 주기적인 홀 어레이가 섬유 길이에 따라 삽입되고, 홀은 제 1 굴절율보다 작은 제 2 굴절율을 갖는 제 2 클래딩 재료로 충전되며, 광 섬유에 입력되는 라디에이션은 단일 모드의 전파에서 코어 재료의 길이를 따라 전송된다. 바람직한 실시예에서, 코어 직경은 적어도 $20\mu\text{m}$ 이고, $50\mu\text{m}$ 만큼 클 수 있다. 섬유는 단일 모드의 전파를 유지하면서 종래의 섬유보다 높은 전력 라디에이션을 전송할 수 있다. 코어 재료는 섬유에 입력되는 펄스 라디에이션의 작용 하에서 증폭을 제공할 수 있는 재료로 도핑될 수 있다. 본 발명은 도핑된 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유를 포함하는 섬유 레이저 및 섬유 증폭기에 관한 것이다. 섬유는 시스템을 통하여 전송된 라디에이션 전력이 소정 임계값 전력 이상으로 유지되도록 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유 증폭기에 의해 분리된 다수의 길이의 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유를 포함하는 라디에이션을 전송하기 위한 시스템에 이용된다.

대표도

도 2a

색인어

코어 포토닉 크리스탈 섬유, 클래딩 재료, 섬유 레이저, 라디에이션

명세서

기술분야

본 발명은, 종래의 수단을 이용하여 달성될 수 있는 것보다 실질적으로 더 높은 전력에서 라디에이션을 전송하기 위하여 이용될 수 있는 단일 모드 광섬유에 관한 것이다. 상기 광섬유는 비선형 효과들 또는 종래의 광섬유들과 동일한 크기로 높은 전력들에서 광 손상을 입지 않는다. 특히, 상기 광섬유는 단일 모드 섬유 레이저 또는 단일 모드 섬유 증폭기에서 단일 모드 도파관으로서 이용될 수 있다.

배경기술

삭제

광섬유들은 한 지점에서 다른 지점으로 광을 전달하는데 폭넓게 이용되며, 통신, 이미징 및 감지에 응용될 수 있다. 통상적으로, 일반적인 광섬유는 그 길이를 따라 균일하지만 그 단면에 걸쳐 변화하는 굴절율을 갖는 투명 재료의 긴 가닥(strand)이다. 예를 들어, 더 높은 굴절율의 중앙 코어 영역은 더 낮은 굴절율을 갖는 클래딩 영역(cladding region)에 의해 둘러싸인다. 이러한 섬유는, 굴절율을 상승시키기 위해 고의적 불순물들이 도입된 실리카로 만들어진 코어를 순수 실리카의 클래딩이 둘러싸는 퓨즈된 실리카(fused silica)로 만들어질 수 있다. 광은 코어 및 클래딩 사이의 경계에서 발생하는 총 내부 반사 처리에 의해 코어 내에 또는 코어 근처에 한정된다.

일반적으로, 이런 형태의 섬유는 코어에 한정된 하나보다 많은 안내 모드의 전파(guided mode of propagation)를 지원할 수 있다(즉, 다중 모드 섬유). 이들 모드들은 서로 다른 위상 속도로 섬유를 따라 이동한다. 그러나 코어가 충분히 작게 만들어지면, 하나의 안내 모드의 전파만이 코어, 기본 모드(즉, 단일 모드 섬유)에 한정될 것이다. 즉, 섬유로부터 발산되는 광의 분배는 섬유의 입사(launch) 단부에서 조건들이 변경되고 섬유 자체가 횡단 압축 또는 휨(bending)과 같은 교란들에 영향을 받을 때 변화되지 않는다. 통상적으로, 1500nm의 파장을 갖는 단일 모드의 광을 전달하도록 설계된 섬유는 코어 직경이 9 μ m인 코어에서 몇 퍼센트의 게르마늄 도펀트를 가질 수 있다.

최근에, 섬유의 길이를 따라 홀들의 어레이가 삽입된 투명 재료로 만들어진 클래딩을 포함하는 포토닉스 크리스탈 섬유(PCF: photonic crystal fibre)가 개발되었다[J.C. Knight 등, Opt. Lett. 21(1996)p. 1547. Errata: Opt. Lett. 22(1997)p.484]. 홀들은 주기적인 어레이로 횡으로 배열되고 나머지 클래딩보다 낮은 굴절율을 갖는 재료로 충전되고, 섬유의 코어는 클래딩 주기성을 깨뜨리는 투명 영역을 포함한다. 통상적으로, 코어 및 클래딩 양쪽은 순수 플루오린 실리카로 만들어지고 홀들은 공기로 충전된다. 코어 직경은 대략 5 μ m이고 전체 섬유의 편평한 폭은 40 μ m 정도이고, 홀은 약 2-3 μ m 이격되어 있다. 섬유에서 공기 홀들의 직경이 홀들 사이에서 충분히 작은 부분의 피치 또는 간격이면, 섬유 코어는 단일 모드로 광을 안내한다.

단일 모드 섬유들은, 섬유에 의해 전달된 광 신호가 한 모드로만 이동하고 따라서 다중 모드 섬유들과 만나는 인터모달 분산(intermodal dispersion)의 문제를 방지한다는 사실로 인해 원거리 통신, 레이저 전력 전달 및 많은 센서 응용들의 분야에서 다중 모드 섬유들보다 더 많은 장점들을 가진다. 또한, 주어진 파장에서 단일 모드 섬유를 가로지르는 광의 세기는 단일의 평탄하고(smooth), 알려져 있으며 변하지 않는 분배를 따르도록 보장된다. 이것은 섬유 또는 임의의, 교란(예를 들어, 시변)이 있는 섬유로 광이 어떻게 입사되는지에 무관하다.

많은 응용에서, 광섬유가 가능한 많은 광 전력을 전달하는 것이 유리하다. 예를 들어 임의의 섬유는 이를 통과하는 동안 광을 불가피하게 약하게 한다. 예를 들어, 주어진 검출기 감도에 대하여, 통신 링크의 길이는 섬유에 입력되는 라디에이션 전력을 증가시킴으로써 증가될 수 있다. 다른 실시예로서, 많은 고전력 레이저 시스템들이 산업적 응용들에 존재하며, 상기 산업적 응용들은 광이 종래의 광 시스템들을 이용하기보다 섬유를 통하여 채널링 될 수 있으면, 더 간단하게 만들어질 수 있다. 그러나 주어진 시간에 공지된 광섬유들에 의해 전달될 수 있는 광량은 제한되어 있다.

더 낮은 굴절율 클래딩 영역에 의해 둘러싸인 코어 영역을 포함하는 종래의 섬유에서, 섬유가 만들어지는 재료는, 섬유 내의 광의 세기가 임계값을 초과하면 되돌릴 수 없는 큰 손상을 입을 것이다. 낮은 세기들에서, 다수의 세기 의존 비선형 광 처리들은 섬유 손상이 없을지라도, 품질이 저하되거나 심지어 광 신호가 손상될 수 있다.

이들 문제점들은, 주어진 전력에 대하여 섬유의 광의 세기를 감소시켜서 비선형 처리들에 대한 임계값에 도달되기 전에 더 큰 전력이 전달되게 섬유 코어의 크기를 증가시킴으로써 경감될 수 있다. 그러나 코어 직경만 증가되면 섬유는 다중 모드로 될 것이다. 이것은 코어 및 클래딩 사이의 굴절율 차이를 감소시킴으로써 보상될 수 있다. 그러나 결국 코어를 가로지르는 균일한 도핑을 제어하는 것이 어렵게 된다. 더욱이, 작은 굴절율 차이들을 갖는 섬유들은 휘어질 때 광이 손실되기 쉽다. 따라서, 증가된 코어 크기가 단일 모드 섬유의 광 용량을 증가시키는데 이용될 수 있는 크기에 한계가 있다.

일부 비선형 효과들은 코어의 도펀트 존재에 의해 악화되며, 상기 도펀트는 재료를 이들 효과들에 더 민감하게 한다. 더 높은 전력들에서, 도핑된 섬유들은 심한 손상을 입는다. 또한, 도펀트들은 핵 산업에서 발생하는 라디에이션을 이온화함으로써 더 쉽게 손상된다. 이것은 순수한 실리카로 코어를 제작하여 노력했다. 총 내부 반사량은, 굴절율을 감소시키고, 더 적은 광이 코어에서보다 클래딩에서 전달됨에 따라 더 많은 전력이 전달될 수 있는 클래딩에 도펀트들을 도입함으로써 유지된다. 그러나 이것은 광의 일부가 도핑된 클래딩에서 전달된다는 사실에 의해 제한된다.

더욱이, 종래의 섬유들에서, 섬유 쪽으로 높은 전력 레이저들의 충분한 결함은, 광이 작은 점에 집중될 필요가 있으므로 섬유의 단면의 세기가 코어가 큰 경우보다 더 클 때 문제가 된다. 섬유의 단면 또는 그 근처에서 광 손상은 섬유로 입사될 수 있는 라디에이션 전력을 빈번히 제한한다(S.W. Allison 등., Appl. Opt. 24 (1985)p. 3140). 종래의 단일 모드 섬유에서 달성될 수 있는 최대 연속파(cw) 전력은 대략 15 W이다.

발명의 상세한 설명

본 발명은 단일 모드 거동(behavior)을 유지하면서 종래의 섬유들을 이용하여 고전력 라디에이션을 전송하는 비회환성 문제를 극복한다. 특히, 섬유는 한 지점에서 다른 지점으로 라디에이션을 전달하기 위한 도파관으로서 이용될 수 있거나, 섬유 증폭기 또는 섬유 레이저에 이용될 수 있다. 섬유는 100W-2kW 범위에서 최대 전력을 갖는 라디에이션의 단일 모드

의 전파를 지원할 수 있다. 더욱이, 코어가 도핑되지 않으면, 섬유는 종래의 (도핑된) 섬유들에 비해 높은 세기들에서 되돌릴 수 없는 손상을 덜 입는다. 섬유에서 비선형 광 처리들의 효과들이 감소되고, 따라서 섬유로부터 출력되는 고전력 신호는 품질이 저하되지 않는다. 섬유는, 높은 전력 라디에이션이 작은 빔 점 크기로 집속할 필요 없이 섬유에 효율적으로 결합될 수 있는 또 다른 장점을 가진다.

본 발명의 한 양태에 따라, 라디에이션을 전달하는 광섬유는, 코어 굴절율, n 및 길이, l 을 가지고 적어도 $5\mu\text{m}$ 의 코어 직경을 갖는, 실질적으로 투명한 코어 재료를 포함하는 코어, 및

상기 코어 재료의 길이를 둘러싸는 클래딩 영역으로서, 상기 클래딩 영역은 제 1 굴절율을 갖는 제 1 실질적으로 투명한 클래딩 재료를 포함하고, 상기 제 1 실질적으로 투명한 클래딩 재료는 직경, d 를 갖고 피치, Λ 만큼 이격된 홀들의 실질적으로 주기적인 어레이를 상기 클래딩 재료의 길이를 따라 삽입하고 있으며, 상기 홀들은 상기 제 1 굴절율보다 작은 제 2 굴절율을 갖는, 상기 클래딩 영역을 포함하고, 홀 직경, d 및 피치, Λ 의 치수들은 실질적으로 고정된 d/Λ 비에 대해, 임의의 피치, Λ 의 값에 대한 입력 라디에이션 파장에 무관한 광섬유 내에 단일 모드 전파를 제공하기 위하여 협력한다(co-operate).

삭제

삭제

홀들이 직경, d 를 가지고 피치, Λ 만큼 이격되면, 광섬유는 실질적으로 고정된 d/Λ 비에 대해 임의의 피치, Λ 의 값에 대한 입력 라디에이션 파장에 무관한 단일 모드일 수 있다. 본 발명은, 섬유가 종래의 섬유를 이용하여 달성될 수 있는 것에 비해 확장된 파장 범위에 걸친 임의의 파장에 대해 단일 모드로 만들어질 수 있다는 장점을 제공한다. 이것은 확장된 범위에 걸친 임의의 파장에 대하여 광섬유가 고정된 d/Λ 비에 대해 단일 모드를 유지하기 때문이다. 바람직하게, 제 1 실질적으로 투명한 클래딩 재료는 코어 굴절율보다 작지 않은 굴절율을 가질 수 있다. 바람직한 실시예에서, 코어 직경은 적어도 $10\mu\text{m}$ 일 수 있다. 또 다른 바람직한 실시예에서, 코어의 직경은 적어도 $20\mu\text{m}$ 일 수 있다. 본 발명의 한 실시예에서, 광섬유 코어를 형성할 수 있도록 어레이 내의 적어도 하나의 홀이 비어질(absent) 수 있다. 홀들은 실질적으로 육각형 패턴으로 배열될 수 있다.

홀은 진공 영역일 수 있거나 제 2 클래딩 재료로 충전될 수 있다. 예를 들어, 제 2 클래딩 재료는 임의의 실질적으로 투명한 재료이거나, 공기 또는 다른 가스(예를 들어, 수소 또는 탄화수소)일 수 있거나, 액체(예를 들어, 물, 임의의 다른 수성액 또는 염료 용액)일 수 있거나, 고체(예를 들어, 제 1 클래딩 재료의 굴절율과 서로 다른 굴절율을 갖는 유리 재료)일 수 있다.

삭제

삭제

제 1 실질적으로 투명한 클래딩 재료는 실질적으로 균일한 제 1 굴절율을 가질 수 있고, 코어 재료는 실질적으로 균일한 코어 굴절율을 가질 수 있다. 코어 재료 및 제 1 실질적으로 투명한 클래딩 재료는 동일 재료일 수 있다. 예를 들어, 코어 재료 및 제 1 실질적으로 투명한 클래딩 재료의 적어도 하나는 실리콘일 수 있다. 바람직하게, 홀들의 직경은 섬유로 안내될 광의 파장보다 작지 않다. 본 발명의 바람직한 실시예에서 홀들 사이의 간격, Λ 는 코어 직경, c 의 $1/4$ 보다 작지 않고 코어 직경, c 의 $1/2$ 보다 크지 않다.

본 발명의 한 실시예에 있어서, 실질적으로 투명한 코어 재료는 도펀트 재료, 예를 들어 에르븀 같은 희토류 이온들을 함유할 수 있다.

본 발명의 제 2 양태에 따라, 신호 라디에이션을 증폭하기 위한 섬유 증폭기는, 선택된 파장의 신호 라디에이션을 수신하고 그 길이를 따라 상기 신호 라디에이션을 전송하는 본 명세서에 기술된 어떤 길이의 광섬유로서, 상기 코어 재료는 그 길이의 적어도 일부를 따라 도펀트 재료를 포함하는, 상기 어떤 길이의 광섬유, 상기 어떤 길이의 광섬유에 입력하기 위한 서로 다른 선택된 파장의 펄스 라디에이션을 방사하는 라디에이션 소스로서, 상기 도핑된 코어 재료의 상기 일부는 상기 펄스 라디에이션의 작동 하에서 상기 신호 라디에이션을 증폭하는, 상기 라디에이션 소스, 및

상기 펄스 라디에이션을 상기 어떤 길이의 광섬유에 선택적으로 전송하고, 상기 섬유 증폭기로부터 상기 증폭된 신호 라디에이션을 선택적으로 출력하는 파장 선택적 전송 수단을 포함한다.

삭제

삭제

예를 들어, 파장 선택적 전송 수단은 라디에이션을 집속하는 입력 렌즈 및 출력 렌즈와, 펄스 라디에이션을 광섬유에 선택적으로 반사시키고 섬유 증폭기로부터 출력되는 증폭된 입력 라디에이션을 선택적으로 전송하는 다이크로익 미러(dichroic mirror)를 포함할 수 있다. 대안적으로, 파장 선택적 전송 수단은 파장 의존 응답을 갖는 섬유 지향성 커플러(fibre directional coupler)를 포함한다.

도펀트 재료는 희토류 이온들, 예를 들어 에르븀 이온들을 함유할 수 있다.

본 발명의 다른 양태에 따라, 레이저 라디에이션을 출력하는 섬유 레이저는, 그 길이를 따라 선택된 파장을 갖는 레이저 라디에이션을 선택적으로 전송하는 본 명세서에 기술된 어떤 길이의 광섬유로서, 상기 코어 재료의 길이의 적어도 일부는 도펀트 재료를 포함하는, 상기 어떤 길이의 광섬유, 상기 어떤 길이의 광섬유에 입력하기 위한 서로 다른 선택된 파장의 펄스 라디에이션을 방사하는 라디에이션의 소스로서, 상기 도핑된 코어 재료가 상기 펄스 라디에이션의 작동 하에서 상기 레이저 라디에이션을 증폭하는, 상기 라디에이션 소스, 상기 펄스 라디에이션을 상기 어떤 길이의 광섬유에 선택적으로 전송하고, 상기 섬유 레이저로부터 상기 증폭된 레이저 라디에이션을 선택적으로 출력하는 파장 선택적 전송 수단, 및

상기 증폭된 레이저 라디에이션이 반복적으로 상기 어떤 길이의 광섬유를 따라 통과하고 더 증폭되도록 상기 증폭된 레이저 라디에이션의 일부를 선택적으로 피드백하는 피드백 수단을 포함한다.

삭제

삭제

삭제

도펀트 재료는 에르븀 이온들 같은 희토류 이온들을 함유할 수 있다.

섬유 레이저의 한 실시예에 있어서, 상기 파장 선택적 전송 수단 및 상기 피드백 수단은 두 개의 다이크로익 미러들을 함께 포함할 수 있고, 상기 다이크로익 미러들 각각은 상기 어떤 길이의 광섬유를 따라 서로 다른 위치들에 배치되고, 상기 도핑된 코어 재료는 상기 두 개의 다이크로익 미러들의 위치들 사이에 배치된다.

섬유 레이저의 대안적 실시예에 있어서, 상기 피드백 수단 및 상기 파장 선택적 전송 수단은, 상기 도핑된 코어 재료가 두 개의 섬유 격자 사이에 배치되도록 상기 어떤 길이의 광섬유를 따라 두 위치에 형성된 상기 두 개의 섬유 격자를 함께 포함할 수 있다.

삭제

본 발명의 양태의 다른 실시예에 있어서, 섬유 레이저는 링 공진기 섬유 레이저일 수 있고, 피드백 수단은,

도핑된 코어 재료를 갖는 어떤 길이의 광섬유의 한 단부로부터 나오는 광을 어떤 길이의 광섬유의 다른 단부로 지향시키는 수단을 포함한다.

본 발명의 다른 양태에 따라, 단일 모드의 전파에서 라디에이션을 전송하는 시스템은,

각각의 어떤 길이의 광섬유가 연속물인 이전의 어떤 길이의 광섬유로부터 입력 라디에이션을 수신하고, 연속물인 다음의 어떤 길이의 광섬유에 출력 라디에이션을 전송하고, 상기 어떤 길이들의 광섬유에 의해 전송된 라디에이션 전력을 미리 결정된 전력 이상으로 유지하기 위하여 상기 어떤 길이의 광섬유로부터 출력된 상기 라디에이션을 증폭하는 증폭 수단에 의해 각각의 길이가 분리되도록, 연속적으로 배열된 본 명세서에 기술된 복수의 어떤 길이의 광섬유를 포함한다.

바람직한 실시예에 있어서, 증폭 수단은 본 명세서에 기술된 섬유 증폭기를 포함할 수 있다.

본 발명은 다음 도면을 참조하여 기술될 것이다.

도면의 간단한 설명

도 1은 종래의 계단형 광섬유(step index optical fibre)의 개략도.

도 2a 및 도 2b는 포토닉 크리스탈 섬유(photonic crystal fibre)의 개략도.

도 3a 및 도 3b는 비교적 큰 포토닉 크리스탈 섬유 코어에 대한 라디에이션 결합의 장점을 도시한 도면.

도 4는 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유 증폭기를 도시한 도면.

도 5는 도 6에 도시된 큰 코어의 포토닉 크리스탈 섬유 증폭기에 이용될 수 있는 파장 선택 커플러 장치를 도시한 도면.

도 6 및 도 7은 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유를 포함하는 섬유 레이저 구조를 도시한 도면.

도 8은 큰 코어의 포토닉 크리스탈 섬유를 형성하는데 이용될 수 있는 적층 및 드로우(draw) 처리를 도시한 도면.

도 9는 본 발명의 쪼개진 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유 단면에서 중앙 영역의 SEM 이미지를 도시한 도면.

도 10은 도 9에 도시된 포토닉 크리스탈 섬유의 출력에서 가까운 필드 패턴(near field pattern)을 도시한 도면.

도 11a 및 도 11b는 포토닉 크리스탈 섬유의 단면에서 가까운 필드 분배(near field distribution)를 도시한 도면.

도 12는 포토닉 크리스탈 섬유에 대한 유효 V-값을 도시한 도면.

실시예

도 1을 참조하여, 종래의 계단형 섬유(1)는 균일한 굴절율(n_2)의 클래딩 재료(3)에 의해 둘러싸인 반경(r) 및 균일한 굴절율(n_1)의 원형 코어(2)를 포함한다. 계단형 섬유(1)가 파장, λ 의 광에 대하여 지원하는 안내된 모드들의 수는 V -값에 의해 결정되고, 여기서 V 는 아래와 같다.

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \dots \dots \text{식(1)}$$

계단형 섬유는 V 가 2.405 보다 작을 경우에만 단일 모드이다. 그래서, 종래의 단일 모드 계단형 섬유들은 전형적으로 V 가 2.405 보다 약간 작도록 동작된다.

주의할 점은, 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유들에서 다중 모드 전파를 위한 임계값 레벨(V)은 종래의 단일 모드 계단형 섬유들에 대한 임계값과 다르다는 점이다. 또한, 실제로 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유에서 다중 모드 전파를 위한 임계값 레벨은 종래의 단일 모드 계단형 섬유에 대한 값보다 다소 높다는 점이다.

도 1에 도시된 바와 같이, 종래의 계단형 광섬유에서, 섬유를 따라 전파하는 광 세기가 임계값을 초과하면, 섬유가 만들어진 재료는 궁극적으로 되돌릴 수 없는 손상을 받게 된다. 더 낮은 광의 세기에 대하여, 다수의 비선형 광 처리들이 발생하여 광 신호의 품질을 저하하거나 손상시킬 수 있다. 비록 이들 문제점들이 섬유(1)의 코어(2) 크기를 증가시킴으로써 경감될지라도, 코어 반경만 증가되면, 섬유는 다중 모드로 될 것이다. 따라서, 코어(2) 및 클래딩(3) 사이의 굴절율 차이는 보상을 위하여 동시에 감소되어야 한다.

코어(2) 및 클래딩(3)의 굴절율은 도펀트들을 재료에 도입함으로써 제어될 수 있다. 그러나 결국 코어 영역(2)을 가로질러 균일한 도핑을 제어하는 것이 어렵게 된다. 더욱이, 작은 인덱스 차들을 가진 섬유들은 휘어질 때 광 손실에 영향을 받는다. 이것은 섬유가 전송할 수 있는 라디에이션의 전력, 또는 섬유의 전력 용량을 증가시키기 위하여 코어 크기가 증가될 수 있는 범위를 제한한다. 도 2(a)는 종래의 섬유들과 연관된 전력 용량 문제들을 극복하는 본 발명의 광섬유(4)를 도시한다. 광섬유(4)는 제 1 실질적으로 투명한 재료(5)의 클래딩을 포함하고, 홀들(6)의 어레이가 섬유의 길이, l 을 따라 삽입된다. 홀들(6)은 주기적인 어레이에 횡으로 배열되고 제 1 클래딩 재료보다 더 작은 굴절율을 갖는 제 2 재료로 충전될 수 있다. 이런 제 2 재료는 고체, 액체 또는 가스 재료일 수 있거나, 대안적으로 홀들이 비어있을 수 있다(즉, 진공). 예를 들어, 코어 재료(7) 및 제 1 클래딩 재료(5)는 순수한 플루오리드 실리카로 만들어지고 홀들(6)은 공기로 충전될 수 있다.

실질적으로 광섬유 단면 중앙에 홀들(6)의 어레이의 주기성을 깨뜨리는 실질적으로 투명한 재료의 코어 영역(7)이 있다. 예를 들어, 어레이의 중앙 홀이 비어질 수 있고, 빈 홀의 위치에 그리고 그 주변에 제 1 클래딩 재료 영역이 섬유(4)의 코어(7)를 형성한다. 섬유 코어는 도 2b에 도시된 직경, c 를 가진다. 이런 설명을 위하여, 섬유의 코어 직경, c 는 실질적으로, 코어에 인접한 한 홀의 중앙과 코어에 인접한 정반대의 홀의 중앙 사이의 거리로 얻어진다.

홀들의 어레이는 육각형 패턴(예를 들어, 도 2a에 도시된 바와 같이)을 형성할 수 있지만 다른 홀 패턴들도 생각할 수 있다.

종래의 포토닉 크리스탈 섬유에서, 섬유의 외부 폭, w 는 $40\mu\text{m}$ 정도이고, 홀들의 중앙 대 중앙 간격(피치 Λ)은 대략 $2\mu\text{m}$ 이다. 고체 코어 영역은 전형적으로, 원격 통신 응용들에 이용된 바와 같이 종래의 단일 모드 섬유(도 1 참조)의 코어의 직경보다 작은 $4\mu\text{m}$ 직경을 가진다. 그러나 이런 치수의 포토닉 크리스탈 섬유는 전형적으로 10-20 W의 전력을 갖는 라디에이션만을 전송할 수 있다. 따라서, 섬유는, 적어도 1kW의 출력 전력들을 가질 수 있는 높은 전력 레이저 시스템들에 이용하기에는 적당하지 않다.

본 발명의 한 양태에 따라, 한 지점으로부터 다른 지점으로 라디에이션을 전달하기 위한 단일 모드 광섬유는, 도 2에 도시된 포토닉 크리스탈 섬유를 포함하고, 여기서 코어(7)의 직경은 적어도 $5\mu\text{m}$ 이고 바람직하게 적어도 $10\mu\text{m}$ 이다. 포토닉 크리스탈 섬유의 코어 직경 증가는 전송될 수 있는 전력 양의 증가를 결과로서 가져오고, 광섬유의 특정 응용에 따라, 코어 직경이 예를 들면 20-50 μm 영역에서 여전히 더 큰 것이 바람직하다. 이러한 명세를 설명하기 위하여, 적어도 $5\mu\text{m}$ 직경을 갖는 중앙 코어(7)를 가진 포토닉 크리스탈 섬유는 "큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유(large core photonic crystal fibre)"라 불린다.

더욱이, 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유는 단일 모드에서 라디에이션을 전파시킬 수 있다. 따라서, 섬유는 단일 모드의 전파에서 큰 코어 크기로 인해, 종래의 광섬유들을 이용하여 편리하게 달성할 수 있는 것보다 더 높은 전력의 라디에이션을 전송하는데 이용될 수 있다.

50 μ m의 코어 직경을 갖는 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유는 대략 2kW의 전력을 갖는 연속적인 파 라디에이션을 지원할 수 있다. 이것은 종래 섬유에 대하여 달성된 가장 좋은 실험 결과를 추정함으로써 얻어진 값에 대응한다. 도 1에 도시된 종래의 실리카 계단형 섬유에서, 영구 손상 징후 전 전송될 수 있는 라디에이션의 최대 연속파 세기는 100 MW cm⁻²(W.Luthy, Optical Engineering 34 (1995) pp. 2361-2364)이다. 12 μ m의 코어 직경에 대하여, 이것은 단지 대략 100 W의 이론적 최대 전력에 대응한다. 그러나 실제로, 이론적 최대 전력은 섬유에의 라디에이션 결합에서 초래되는 손실들로 인해 상당히 감소되고, 사실, 종래의 단일 모드 섬유에서 달성된 최대 연속파(cw) 전력은 단지 약 15 W이다.

큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유의 또 다른 장점은 광섬유에의 라디에이션의 결합이 더 쉽게 이루어질 수 있다는 점이다. 도 3a 및 도 3b는 예를 들면, 렌즈 또는 렌즈 장치(9)에 의해 비교적 작은 코어를 갖는 종래의 포토닉 크리스탈 섬유(a) 및 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유(b)에 입력되는 레이저 라디에이션(8)의 개략적인 도면이다. 도 3b를 참조하여, 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유(7)의 코어가 레이저 광선 빔의 직경과 비교되면, 렌즈(9)에 대한 필요 없이 섬유에 라디에이션(8)을 입력하는 것이 가능할 수 있다.

단일 모드의 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유는, 예를 들면, 가공될 재료에 고전력 레이저 라디에이션을 지향시킬 필요가 있는 레이저 장치 응용들에 이용될 바와 같은 산업에 이용된 고전력 레이저 시스템들에 응용된다. 레이저 빔을 다시 지향시키기 위하여 레이저를 이동시키는 것은 불편하고 실용적이지 못하며, 따라서 종래의 광학부(optics)는 요구된 방향으로 레이저 광선을 안내하는데 이용된다. 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유는 높은 전력 레이저 광선이 복잡하고 큰 광학부들 필요 없이 안내할 수 있게 한다.

큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유는 통신 응용들에 이용될 수 있다. 통상적으로, 종래 어떤 길이의 광섬유(도 1에 도시됨)는 한 지점으로부터 다른 지점으로 라디에이션을 전달하기 위하여 이용된다. 라디에이션의 세기는 그것이 섬유를 따라 전송될 때 감소되기 때문에, 섬유 증폭 디바이스들, 또는 리피터들이 전송된 라디에이션의 전력을 주기적으로 향상시키기 위하여 어떤 길이의 광섬유를 따라 여러 지점들에서 이용된다. 그러한 디바이스들은 광섬유 링크 섹션으로부터 나오는 약한 신호(즉, 감소된 전력 신호)를 검출하고, 그것을 증폭하여 링크의 그 후의 섹션에 증폭된 신호를 보낸다. 섬유에 의해 지원될 수 있는 전력을 크게 할수록, 또 다른 신호는 증폭이 요구되기 전 광섬유를 통하여 이동할 수 있다. 따라서, 광섬유를 통해 전달된 최대 전력은 리피터들의 간격을 결정한다. 그러나 섬유에 의해 전달될 수 있는 최대 전력은 신호의 품질을 저하할 수 있는 비선형 광학 효과에 의존하는 세기에 의해 제한된다. 더 큰 코어 영역은 주어진 세기에 대하여 증가된 전력을 허용한다. 따라서, 단일 모드의 전파를 달성하는데 이용될 수 있는 최대 섬유 코어 영역은 리피터 간격을 최소로 제한한다.

검파의 주어진 기준에 대하여, 표준 섬유에 대한 리피터 간격은 30km이다(O. Audouin 등, IEEE Photonics Technology Letters(1995) pp. 1363-1365). 대략 50 μ m의 섬유 코어 직경을 갖는, 라디에이션을 전송하는 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유를 이용하여, 160km 만큼 큰 리피터 간격은 충분할 수 있다(포토닉 크리스탈 섬유 및 종래의 섬유에서 전력의 감쇠가 유사하다고 가정한다). 따라서, 포토닉 크리스탈 섬유를 이용하여 더 편리하고 더 적은 비용으로 광 신호의 전송이 큰 거리들에서 달성될 수 있다. 더욱이, 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유는 종래 기술을 이용할 때 리피터들이 요구되는 거리에 걸쳐 리피터들에 대한 필요성이 없는 광섬유 링크들을 허용한다.

도 4를 참조하여, 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유는 섬유 증폭기 시스템에 이용된다. 큰 코어 포토닉 크리스탈 증폭기는 전형적으로, 에르븀(erbium) 같은 작은 양의 도펀트 재료로 도핑된 코어(도시되지 않음)를 갖는 섬유(4)의 길이를 포함한다. 섬유 증폭기는 파장 선택 커플러(WSC: wavelength selective coupler)(12) 및 펌프 라디에이션(14)을 방사하기 위한 펌프 라디에이션 소스(13)를 포함한다. 펌프 라디에이션(14)은 입력 라디에이션(10)의 것과 비교하여 짧은 파장을 가지며 WSC(12)를 통하여 섬유(4)의 길이 한쪽 단부에 도입된다. 라디에이션 소스(11)로부터의 입력 신호 라디에이션(10), 또는 광섬유의 이전 길이는 반대 측면에서 섬유(4)의 길이에 입력된다.

WSC(12)의 목적은 다른 파장(즉, 입력 라디에이션 파장)의 라디에이션을 전환하지 않고 한 파장(즉, 펌프 파장)의 라디에이션을 삽입하는 것이다. 따라서, 펌프 라디에이션(14)은 섬유(4) 외부로 임의의 신호 라디에이션(10)을 내보내지 않고 신호 라디에이션(10)으로서 동일한 섬유(4)를 따라 입력될 수 있다. 펌프 라디에이션(14)은 섬유(4)의 코어에서의 도펀트 이온을 여기시키고, 따라서, 입력 라디에이션(10)의 더 긴 파장으로 이득을 제공한다. 따라서, 입력 라디에이션(10)이 증폭된다. 파장 선택 커플러(12)는 선택적으로 긴 파장 입력 라디에이션을 전송하고, 따라서 증폭된 출력 신호(16)를 발생시킨다. 이런 출력 신호(16)는 섬유(15)의 길이를 통하여 출력될 수 있다.

전형적으로, 상업적으로 이용할 수 있는 파장 선택 커플러는 입력 및 출력 섬유(들)의 길이들을 포함하고, 그 입력 섬유(들)는 종래 도핑된 섬유(도 1)이다. 도 4에 도시된 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유 증폭기에서, 신호가 WSC(12)에 입출력될 때 세기 손실을 피하기 위하여 시스템에 단지 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유를 포함하는 것이 바람직할 수 있다.

WSC(12)는 퓨즈된 커플러와 같은 모든 섬유 디바이스일 수 있거나 또는 파장 의존 응답을 갖는 임의의 섬유 지향성 커플러 디바이스일 수 있다. 대안적으로, 도 5는 파장 선택 커플러로서 이용될 수 있는 광학 장치(17)의 예를 도시한다. 예를 들어, 광학 장치는 각각 입력 및 출력 렌즈들(18a 및 18b)과, 다이크로익 미러(19)를 포함한다. 미러(19)는 그것이 입력 렌즈(18a) 쪽으로 펌프 라디에이션(14)을 반사시키고 입력 신호 라디에이션(10)을 전송하도록 각도가 형성된다.

20 μ m의 코어 직경을 갖는 계단형 광섬유(도 1에 도시된 바와 같이)를 포함하고, 1ns 펄스 길이를 갖는 펄스 라디에이션을 전송하는 종래의 기술의 한계를 나타내는 섬유 증폭기에서, 100 kW의 피크 전력이 달성되었다(P. Nouchi 등, Proc. Conference on optical fibre communication (1995) pp. 260-261). 섬유(4)가 대략 50 μ m의 코어 직경을 갖는 도 4에 도시된 포토닉 크리스탈 섬유 증폭기를 이용하여, 1ns 펄스 및 적어도 600kW의 피크 전력을 갖는 펄스 라디에이션이 전송될 수 있다.

큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유의 다른 응용은 섬유 레이저이다. 비록 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유가 이용될 수 있는 섬유 레이저 디바이스들의 많은 다른 구조들이 있지만, 섬유 레이저의 두 개의 가능한 구조들이 도 6 및 도 7에 도시된다. 예를 들어, 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유는 링 공진기 섬유 레이저에 이용될 수 있고, 여기서 섬유의 단부들은, 레이저 라디에이션이 섬유의 "링(ring)" 주위에 전송되고 연속적으로 증폭되도록 함께 결합된다.

도 6을 참조하여, 높은 전력 라디에이션을 출력할 수 있는 섬유 레이저는 코어 영역(도시되지 않음) 내에 에르븀 같은 작은 양의 도펀트 재료를 갖는 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유(4) 길이를 포함할 수 있다. 또한, 섬유 레이저는 섬유(4)의 어느 한 단부에 두 개의 다이크로익 미러들, 입력 미러(22) 및 출력 미러(23)를 포함한다. 펌프 라디에이션(25)의 소스(예를 들어, 레이저)로부터의 라디에이션(24)이 입력 미러(22)를 통하여 입력된다. 이것은 섬유의 코어에서 에르븀 이온들을 여기 시킴으로써 미러들(22, 23) 사이의 도핑된 섬유 영역(4)에 이득을 생성한다. 여기된 에르븀 이온들로부터 임의의 라디에이션은 펌프 라디에이션(24)보다 더 긴 파장을 갖는 섬유(4)(섬유 내에 도시되지 않음) 내에 작은 양의 신호 라디에이션을 발생시킨다. 이런 신호 라디에이션은 그것이 섬유를 따라 뒤 및 앞으로 이동할 때 증폭되며, 미러들(22, 23)에 의해 반사된다.

전형적으로, 다이크로익 미러(22)는 펌프 라디에이션(24)을 전송하는 동안 신호 라디에이션의 대략 99%를 반사시키도록 설계되고, 출력 다이크로익 미러(23)는 레이저 라디에이션의 대략 80%를 반사시키도록 설계된다. 따라서, 각각의 시간에서 신호 라디에이션은 출력 미러(23)에서 반사되고, 일부분은 출력 신호(25)로서 나올 것이다.

섬유 레이저는 광섬유의 후속하는 길이에 쉽게 결합될 수 있는 섬유 형태로 레이저 라디에이션의 소스를 제공할 때 유용하다. 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유의 높은 전력 용량으로 인해, 종래의 광학 섬유를 이용하는 것보다 더 강력한 섬유 레이저 출력이 달성될 수 있다.

도 7을 참조하여, 섬유 레이저의 대안적 구조는 다이크로익 미러들(도 8)의 기능을 갖는 섬유 격자(26)를 포함할 수 있다. 이런 구조는 모든 섬유 디바이스에 있는 장점을 가진다. 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유가 포함되고 그러한 디바이스에서 섬유의 이용이 두 개의 도시된 실시예로 제한되도록 의도되지 않는 섬유 레이저의 많은 구조가 있다. 다른 실시예로서, 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유는 링 공진기 섬유 레이저에 이용될 수 있어서, 그것에 의해 레이저 라디에이션이 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유의 "링" 주위를 연속적으로 통과하고 연속적으로 증폭되게, 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유의 한쪽 단부가 다른 쪽에 접속된다.

전형적으로, 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유(4)는 도 8에 도시된 퓨즈된 실리카의 로드들로부터 반복된 적층 및 드로우 처리(draw process)를 이용하여 만들어질 수 있다(J.C. Knight 등, Opt. Lett. 21 (1996) p. 1547. Errata: Opt. Lett. 22(1997) p. 484). 도 8a는 홀(6)(도 8b)이 로드(8)의 길이를 따라 중앙으로 드릴링된 퓨즈된 실리카(27)의 원통형 로드(27)를 도시한다. 6개의 플랫폼들은 홀로부터 정해진 거리에서 로드(8)의 외측 상에서 밀링되고(milling), 중앙 홀(6) 주위에 육각형 단면을 로드(27)에 제공한다. 로드(27)는 섬유 드로잉 타워(fibre drawing tower)를 이용하여 케인(cane; 28)으로 드로잉되고 케인(28)은 요구된 길이로 잘린다. 케인들(28)은 섬유(4)를 형성하는 도 8c에 도시된 육각형의 케인 어레이를 형성하기 위하여 적층된다. 어레이의 중앙의 케인은 중앙을 통하여 드릴링된 홀을 갖지 않으며, 섬유(4)의 코어(7)를 형성한다. 완성된 케인들의 적층은 섬유 드로잉 타워를 이용하여 최종 섬유로 아래로 드로잉된다.

대안적 제조 기술들이 이용될 수 있는데, 예를 들면 원통형 실리카 모세관들이 이용 가능하다면, 이들은 기본 섬유 요소(즉, 케인들(28)의 형태를 이미 가진 모세관들)로서 이용될 수 있다. 상술한 적층 및 드로잉 처리에서 홀 드릴링 및 밀링 단계들에 대한 필요성이 제거된다.

섬유(4)는 실질적으로 투명하고 섬유로 드로잉될 수 있는(도 8b에 도시된 바와 같이) 제 1 클래딩 재료를 포함한다. 코어 재료는 실질적으로 투명한 임의의 재료일 수 있지만 제 1 클래딩 재료로서 동일한 재료일 필요는 없다. 바람직하게, 제 1 클래딩 재료의 굴절율은 코어 재료의 것보다 작지 않다.

홀들(6)은 진공과 같이 비어질 수 있거나, 임의의 재료로 충전될 수 있는데, 제 1 클래딩 재료의 것보다 작은 굴절율을 가지며 섬유로 드로잉될 수 있는 제 2 클래딩 재료, 또는 작은 크기로 늘려질 때 홀들에 삽입될 수 있는 그러한 임의의 재료로 충전될 수 있다. 예를 들어, 홀들은 공기 또는 다른 가스(예를 들어, 수소 또는 탄화수소), 고체 재료(예를 들어, 제 1 클래딩 재료의 것과 서로 다른 굴절율을 갖는 서로 다른 유리 재료) 또는 액체(예를 들어, 물, 수용액 또는 염료 용액)로 충전될 수 있다. 홀들 내의 제 2 클래딩 재료는 반드시 투명할 필요는 없다. 상술한 설명으로부터 명확한 바와 같이, "홀들(holes)"은 제 1 클래딩 재료 내의 빈 영역들을 의미하는 것으로 제한되지 않는다.

섬유의 공기 홀들 직경이 홀들 사이의 피치 또는 간격의 충분히 작은 부분이면, 섬유의 코어는 단일 모드로 광을 안내한다. 바람직하게, 공기 홀들의 직경은 섬유로 안내될 광 파장보다 작지 않다. 홀들 사이의 간격은 바람직하게, 코어 직경의 1/4보다 작지 않고 코어 직경의 1/2 보다 크지 않다. 전형적으로, 홀들 사이의 간격은 코어 직경의 대략 1/2이다.

제 1 클래딩 재료 및 코어는 균일한 굴절율을 가질 수 있거나 변화하는 굴절율을 가질 수 있다. 예를 들어, 어레이의 중앙 홀이 비어있는 것뿐 아니라, 또는 다른 홀들보다 더 작거나 더 큰 홀들이 비어있거나 다른 재료들로 충전될 수 있다. 또한, 코어(7)는 도 6 및 7에 도시된 섬유 레이저 디바이스에서 처럼 예를 들어 에르븀 또는 다른 희토류 원소들(other rare earth elements)의 도펀트 재료로 도핑될 수 있다.

도 9는 쪼개진 PCF의 단면에서 중앙 영역의 SEM 이미지를 도시한다. 중앙 홀은 직경 $22\mu\text{m}$ 의 코어가 최내부 6개의 홀에 의해 경계된 채 비어 있다. 섬유는 $180\mu\text{m}$ 이고 관련 홀 크기(d/Λ)는 0.12이다. 도 10은 파장 458nm 의 입사광에 대하여 도 9에 도시된 큰 코어 PCF의 출력에서 가까운 필드 패턴을 도시한다. 이미지는 에지들에서 더 약한 부분들을 도시하기 위하여 패턴 중앙에서 포화된다. 패턴 주변은 6개의 최내부 공기 홀들에 인접하는 곳이 옴흑하다.

458nm 파장의 광은 섬유로 입사되고, 인덱스 매칭 유체(index matching fluid)는 클래딩 모드를 스트리핑하기 위하여 구조에 인가된다. 입사 조건들이 변화함에 따라 출력이 관찰되었다. 다중 모드들은 가까운 필드 패턴에서 여기되지 않고 도 5에 도시된 PCF 출력은 영향받지 않는다. 코어 직경이 입사광 파장의 50배일지라도, 섬유는 단일 모드로 남아있다. 이런 비율은 1550nm 의 파장을 결과로서 가져오고, $75\mu\text{m}$ 의 코어 직경을 가진 유사한 PCF도 단일 모드이다.

본 발명의 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유의 작용은 서로 다른 파장들에서 클래딩(5)의 유효 굴절율(n_2) 측면에서 이해될 수 있다. 도 11a 및 도 11b는 포토닉 크리스탈 섬유(4)의 단면(28)에서의 가까운 필드 분배를 도시하고, 여기서 코어 재료(7) 및 제 1 클래딩 재료는 실리카이고, 홀들(6)은 공기로 충전된다.

도 11b를 참조하여, 긴 파장들(예를 들어, 1500nm)에서, 섬유(4)를 통한 광 전파는 홀들의 어레이를 빈약하게 이미지화하고(도 3b) 따라서 광의 상당한 부분은 공기 홀들(6)에서 전파한다. 따라서, 실리카 및 공기와 같은 클래딩 재료(5)의 유효 굴절율은 순수한 실리카(n_1)의 굴절율(즉, 코어 7의 굴절율)에 대해 감소된다. 도 11a를 참조하여, 짧은 파장들(예를 들어 600nm)에서 섬유(4)를 따라 전파하는 광은 홀들(6)의 어레이를 명확하게 이미지화하고 실질적으로 그들을 통한 전파로부터 배제된다. 따라서, 코어(7)를 둘러싸는 실리카 클래딩(5)의 유효 굴절율(n_2)은 순수한 실리카(즉, 코어(7)의 굴절율(n_1))에 더욱 가깝다.

그래서, 식 1을 다시 참조하여, 섬유(4)를 통하여 전파하는 광의 파장이 감소됨에 따라, V-값은 파장, λ 의 명시한 의존만큼 상승된다. 이런 증가는 인자 $(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$ 의 감소에 의해 적어도 부분적으로 보상되며, 여기서 n_1 및 n_2 는 각각 순수 실리카(및 코어(7))의 굴절율과 실리카 클래딩의 유효 굴절율이다. 이것은 V-값이 파장에 덜 의존하게 하고, 따라서 V가 구조에 대한 다중 모드 안내를 위해 임계값보다 아래인 확장된 파장 범위를 가능하게 한다.

V의 파장 종속성은 감소될 뿐만 아니라, 사실 짧은 파장의 한계에서 완전히 제거된다. 이것은 홀 피치, Λ 대 파장, λ 의 비가 변함에 따라 섬유유 유효 V -값(V_{eff}) 그래프를 보여주는 도 12에 도시된다. 각각의 곡선은 피치, Λ 에 대한 홀들(6)의 직경, d 의 주어진 비에 대응한다. V_{eff} - d/Λ 곡선들은 우선 클래딩 재료(5)의 유효 굴절율(n_2)을 계산하고, 식 1로부터 V_{eff} 를 계산함으로써 계산된다. 계산은 코어(7)의 반경이 피치, Λ 와 동일하다고 가정한다.

삭제

도 12는 d/Λ 의 각각의 비에 대하여, 비율 Λ/λ 가 무한대일 때, V 는 그 값만큼 상한이 정해지는 것을 도시한다. 이런 작용은 r/λ 가 무한대일 때, V 가 무한대인 종래의 계단형 섬유유 것과 대조된다. 따라서, 종래의 계단형 섬유유와 달리, 큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유유는 임의의 크기의 구조에 대해 단일 모드가 되도록 구성될 수 있다. 따라서, 섬유유는 d 가 홀들(6)의 직경인, d/Λ 의 비가 고정되도록 제공된 피치, Λ 의 임의의 값에 대하여 단일 모드일 수 있다.

큰 코어 포토닉 크리스탈 섬유유의 특성들은 높은 전력 통신 링크, 높은 전력 섬유 증폭기 및 높은 전력 섬유 레이저로서 용도를 포함하는 여러 응용들에 이용하기에 적당하다. 또한, 섬유유는 산업 응용들, 예를 들어, 레이저 가공, 및 기계적 응용들을 위하여 큰 광학 전력들을 전달하기 위하여 이용될 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

라디에이션을 전송하는 광섬유에 있어서;

코어 굴절율, n 및 길이, l 을 가지고 적어도 $5\mu\text{m}$ 의 코어 직경을 갖는, 실질적으로 투명한 코어 재료를 포함하는 코어, 및

상기 코어 재료의 길이를 둘러싸는 클래딩 영역으로서, 상기 클래딩 영역은 제 1 굴절율을 갖는 제 1 실질적으로 투명한 클래딩 재료를 포함하고, 상기 제 1 실질적으로 투명한 클래딩 재료는 직경, d 를 갖고 피치, Λ 만큼 이격된 홀들의 실질적으로 주기적인 어레이를 상기 클래딩 재료의 길이를 따라 삽입하고 있으며, 상기 홀들은 상기 제 1 굴절율보다 작은 제 2 굴절율을 갖는, 상기 클래딩 영역을 포함하고,

상기 어레이에서 적어도 하나의 홀이 비어져(absent), 상기 광섬유의 코어 영역을 형성하며,

Λ 에 대한 d 의 비는 상기 광섬유에 입력된 라디에이션이 단일 모드의 전파로 상기 코어 재료의 길이를 따라 전송되도록 충분히 작은, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 2.

제 1 항에 있어서,

상기 단일 모드의 전파는 모든 파장들에 대해, 고정된 임계값보다 아래에 있는 상기 섬유유의 유효 V -값으로 인해 달성되는, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 3.

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 제 1 실질적으로 투명한 클래딩 재료는 상기 코어 굴절율보다 작지 않은 굴절율을 갖는, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 4.

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 코어 직경은 적어도 $10\mu\text{m}$ 인, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 5.

제 4 항에 있어서,

상기 코어 직경은 적어도 $20\mu\text{m}$ 인, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 6.

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 제 1 실질적으로 투명한 클래딩 재료는 실질적으로 균일한 제 1 굴절율을 갖는, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 7.

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 코어 재료는 실질적으로 균일한 코어 굴절율을 갖는, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 8.

제 7 항에 있어서,

상기 코어 재료와 상기 제 1 실질적으로 투명한 클래딩 재료가 동일한, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 9.

제 8 항에 있어서,

상기 코어 재료 및 상기 제 1 실질적으로 투명한 클래딩 재료 중 적어도 하나는 실리카인, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 10.

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 홀들의 직경, d 는 상기 섬유로 안내되는 광의 파장보다 작지 않은, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 11.

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 홀들 사이의 간격, Δ 는 상기 코어 직경, c 의 1/4 보다 작지 않고 상기 코어 직경, c 의 1/2 보다 크지 않은, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 12.

청구항 12은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 홀들은 진공인, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 13.

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 홀들은 제 2 클래딩 재료로 충전되는, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 14.

제 13 항에 있어서,

상기 제 2 클래딩 재료는 공기인, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 15.

제 13 항에 있어서,

상기 제 2 클래딩 재료는 액체인, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 16.

청구항 16은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제 13 항에 있어서,

상기 제 2 클래딩 재료는 실질적으로 투명한 재료인, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 17.

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 실질적으로 투명한 코어 재료는 도펀트 재료를 포함하는, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 18.

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 홀들은 실질적으로 육각형 패턴으로 배열되는, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 19.

단일 모드의 전파로 라디에이션을 전송하는 시스템에 사용되는 광섬유로서, 상기 섬유는 제 1 항 또는 제 2 항에 따른 섬유인, 광섬유.

청구항 20.

신호 라디에이션을 증폭하는 섬유 증폭기에 있어서,

선택된 파장의 신호 라디에이션을 수신하고 그 길이를 따라 상기 입력 라디에이션을 전송하는 제 1 항 또는 제 2 항에서의 어떤 길이의 광섬유로서, 상기 코어 재료는 그 길이의 적어도 일부를 따라 도펀트 재료를 포함하는, 상기 어떤 길이의 광섬유,

상기 어떤 길이의 광섬유에 입력하기 위한 서로 다른 선택된 파장의 펄스 라디에이션을 방사하는 라디에이션의 소스로서, 상기 도핑된 코어 재료의 상기 일부는 상기 펄스 라디에이션의 작동 하에서 상기 신호 라디에이션을 증폭하는, 상기 라디에이션 소스, 및

상기 펄스 라디에이션을 상기 어떤 길이의 광섬유에 선택적으로 전송하고, 상기 섬유 증폭기로부터 상기 증폭된 신호 라디에이션을 선택적으로 출력하는 파장 선택적 전송 수단(wavelength-selective transmission means)을 포함하는, 섬유 증폭기.

청구항 21.

청구항 21은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제 20 항에 있어서,

상기 파장 선택적 전송 수단은,

라디에이션을 집속하는 입력 렌즈 및 출력 렌즈, 및

상기 펄스 라디에이션을 상기 광섬유로 선택적으로 반사시키고, 상기 섬유 증폭기로부터 출력되는 상기 증폭된 신호 라디에이션을 선택적으로 전송하는 다이크로익 미러(dichroic mirror)를 포함하는, 섬유 증폭기.

청구항 22.

청구항 22은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제 20 항에 있어서,

상기 파장 선택적 전송 수단은 파장 의존 응답을 갖는 섬유 지향성 커플러(fibre directional coupler)를 포함하는, 섬유 증폭기.

청구항 23.

제 20 항에 있어서,

상기 도펀트 재료는 희토류 이온들을 함유하는, 섬유 증폭기.

청구항 24.

청구항 24은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제 23 항에 있어서,

상기 희토류 이온들은 에르븀 이온들인, 섬유 증폭기.

청구항 25.

레이저 라디에이션을 출력하는 섬유 레이저에 있어서;

그 길이를 따라 선택된 파장을 갖는 레이저 라디에이션을 선택적으로 전송하는 제 1 항 또는 제 2 항에서의 어떤 길이의 광섬유로서, 상기 코어 재료의 길이의 적어도 일부는 도펀트 재료를 포함하는, 상기 어떤 길이의 광섬유,

상기 어떤 길이의 광섬유에 입력하기 위한 서로 다른 선택된 파장의 펄스 라디에이션을 방사하는 라디에이션의 소스로서, 상기 도핑된 코어 재료가 상기 펄스 라디에이션의 작동 하에서 상기 레이저 라디에이션을 증폭하는, 상기 라디에이션 소스,

상기 펄스 라디에이션을 상기 어떤 길이의 광섬유에 선택적으로 전송하고, 상기 섬유 레이저로부터 상기 증폭된 레이저 라디에이션을 선택적으로 출력하는 파장 선택적 전송 수단, 및

상기 증폭된 레이저 라디에이션이 반복적으로 상기 어떤 길이의 광섬유를 따라 통과하고 더 증폭되도록 상기 증폭된 레이저 라디에이션의 일부를 선택적으로 피드백하는 피드백 수단(feedback means)을 포함하는, 섬유 레이저.

청구항 26.

제 25 항에 있어서,

상기 도펀트 재료는 희토류 이온들을 함유하는, 섬유 레이저.

청구항 27.

제 26 항에 있어서,

상기 희토류 이온들은 에르븀인, 섬유 레이저.

청구항 28.

청구항 28은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제 25 항에 있어서,

상기 파장 선택적 전송 수단 및 상기 피드백 수단은 두 개의 다이크로익 미러들을 함께 포함하고, 상기 다이크로익 미러들 각각은 상기 어떤 길이의 광섬유를 따라 서로 다른 위치들에 배치되고, 상기 도핑된 코어 재료는 상기 두 개의 다이크로익 미러들의 위치들 사이에 배치되는, 섬유 레이저.

청구항 29.

제 25 항에 있어서,

상기 피드백 수단 및 상기 파장 선택적 전송 수단은, 상기 도핑된 코어 재료가 두 개의 섬유 격자 사이에 배치되도록 상기 어떤 길이의 광섬유를 따라 두 위치에 형성된 상기 두 개의 섬유 격자를 함께 포함하는, 섬유 레이저.

청구항 30.

청구항 30은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제 25 항에 있어서,

상기 피드백 수단은, 도핑된 코어 재료를 갖는 상기 어떤 길이의 광섬유의 한쪽 단부로부터 방사하는 광을 상기 어떤 길이의 광섬유의 다른 단부로 지향시키는 수단을 포함하는, 섬유 레이저.

청구항 31.

청구항 31은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

단일 모드의 전파에서 라디에이션을 전송하는 시스템에 있어서,

각각의 어떤 길이의 광섬유가 연속물인 이전의 어떤 길이의 광섬유로부터 입력 라디에이션을 수신하고, 연속물인 다음의 어떤 길이의 광섬유에 출력 라디에이션을 전송하고, 상기 어떤 길이들의 광섬유에 의해 전송된 라디에이션 전력을 미리 결정된 전력 이상으로 유지하기 위하여 상기 어떤 길이의 광섬유로부터 출력된 상기 라디에이션을 증폭하는 증폭 수단 (amplification means)에 의해 각각의 길이가 분리되도록, 연속적으로 배열된 제 1 항 또는 제 2 항에서의 복수의 어떤 길이의 광섬유를 포함하는, 라디에이션 전송 시스템.

청구항 32.

제 31 항에 있어서,

상기 증폭 수단은 제 20 항에서와 같은 섬유 증폭기를 포함하는, 라디에이션 전송 시스템.

청구항 33.

라디에이션을 전송하는 광섬유에 있어서,

코어 굴절율, n 및 길이, l 을 가지며, 적어도 $5\mu m$ 의 코어 직경을 갖는 실질적으로 투명한 코어 재료를 포함하는 코어, 및

상기 코어 재료의 길이를 둘러싸는 유효 굴절율을 갖는 클래딩 영역으로서, 상기 클래딩 영역은 제 1 굴절율을 갖는 제 1 실질적으로 투명한 클래딩 재료를 포함하고, 상기 제 1 실질적으로 투명한 클래딩 재료는 직경, d 를 갖고 피치, Λ 만큼 이격된 홀들의 실질적으로 주기적인 어레이를 상기 클래딩 재료의 길이를 따라 삽입하고 있으며, 상기 홀들은 상기 제 1 굴절율보다 작은 제 2 굴절율을 갖는, 상기 클래딩 영역을 포함하고,

상기 섬유는 유효 V-값 및 유효 클래딩 굴절율을 가지며, 둘 다는 Λ 에 대한 d의 비와 입력 라디에이션 파장, λ 에 의존하며,

상기 섬유는 입력 라디에이션의 적어도 더 긴 파장에서 단일 모드이고, 상기 Λ 에 대한 d의 비는, 상기 클래딩의 유효 굴절율이 V-값의 증가를 방지하기 위해 증가되도록 선택되며, 따라서 상기 입력 라디에이션 파장이 영에 가까워질 때, 상기 입력 라디에이션의 모드 구조의 변화를 방지하는, 라디에이션 전송 광섬유.

청구항 34.

삭제

청구항 35.

삭제

청구항 36.

제 1 항 또는 제 2 항에 따른 광섬유를 만드는 방법에 있어서,

케인들(canases)의 육각형 배열을 형성하기 위해 클래딩 케인들의 길이들을 함께 적층하는 단계로서, 각각의 클래딩 케인은 제 2 굴절율을 갖는 제 2 실질적으로 투명한 클래딩 재료를 둘러싸는 제 1 굴절율을 갖는 제 1 실질적으로 투명한 클래딩 재료를 포함하고, 상기 제 1 굴절율은 상기 제 2 굴절율과 서로 다른, 상기 적층 단계,

상기 클래딩 케인들 중 적어도 하나의 코어 케인을 포함하는 단계로서, 상기 코어 케인 또는 케인들은 상기 섬유의 적어도 하나의 코어를 형성하기 위해, 성질에 있어서 실질적으로 동질인, 상기 적어도 하나의 코어 케인 포함 단계, 및

최종 섬유에 이러한 케인들의 적층을 드로잉(drawing)하는 단계를 포함하는 광섬유 만드는 방법.

청구항 37.

삭제

청구항 38.

단일 모드의 전파로 라디에이션을 전송하는 방법에 있어서,

제 1 항 또는 제 2 항에서의 복수의 어떤 길이의 광섬유를 연속적으로 배열하는 단계,

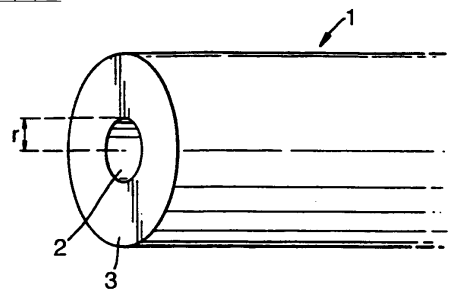
이전 길이로부터 방사하는 라디에이션이 다음 길이로 들어가도록 후속하는 길이들을 접속하는 단계, 및

상기 어떤 길이들의 광섬유에 의해 전송된 라디에이션 전력을 미리 결정된 전력 이상으로 유지하기 위하여 후속하는 길이들 사이의 상기 신호를 증폭하는 단계를 포함하는, 라디에이션 전송 방법.

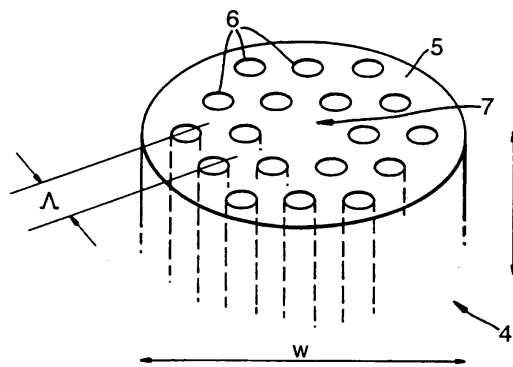
도면

도면1

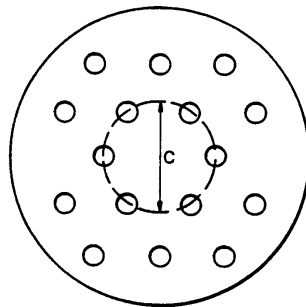
종래기술



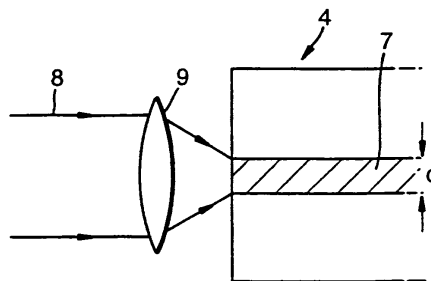
도면2a



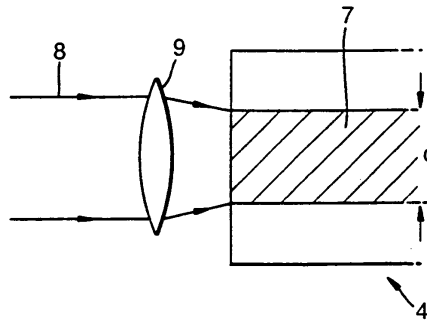
도면2b



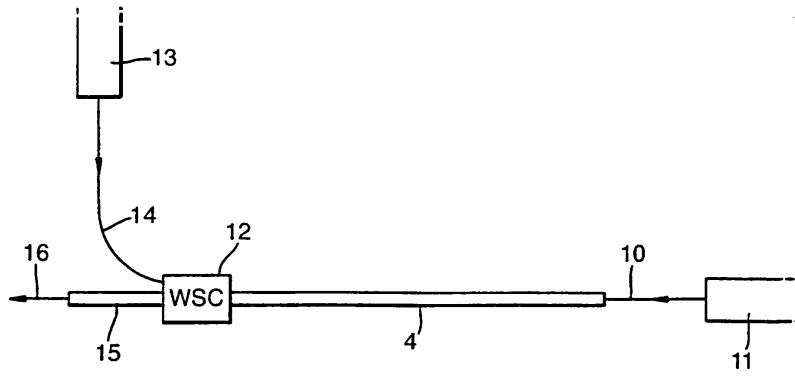
도면3a



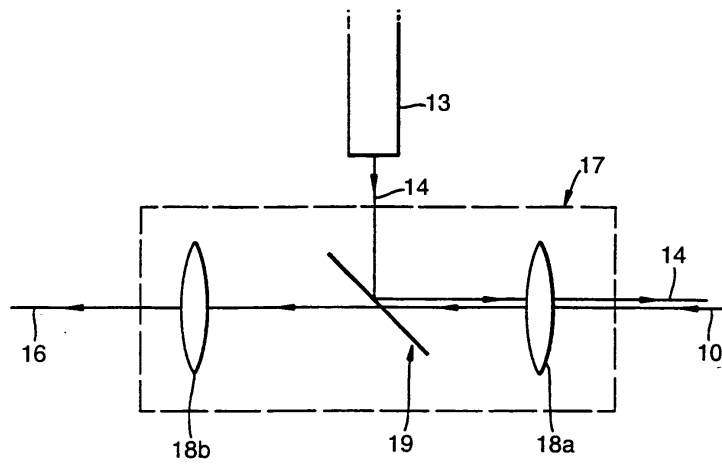
도면3b



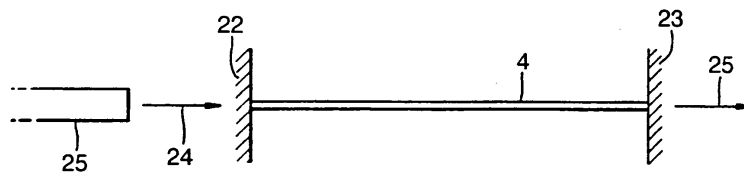
도면4



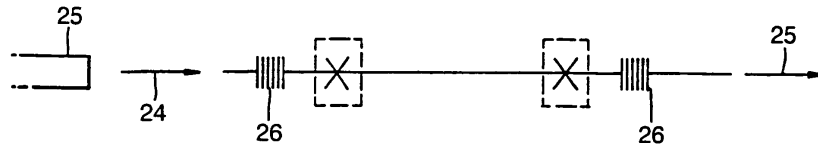
도면5



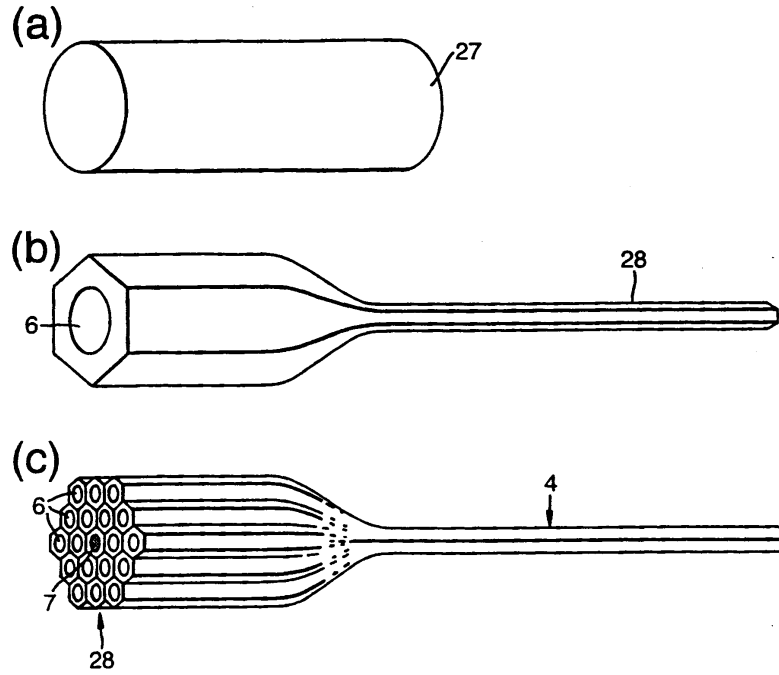
도면6



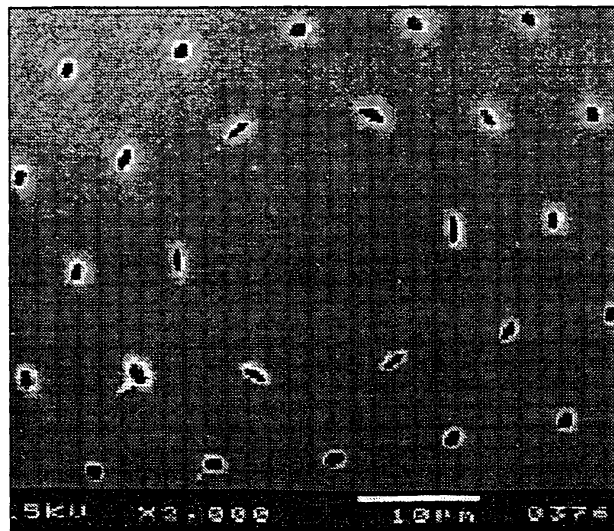
도면7



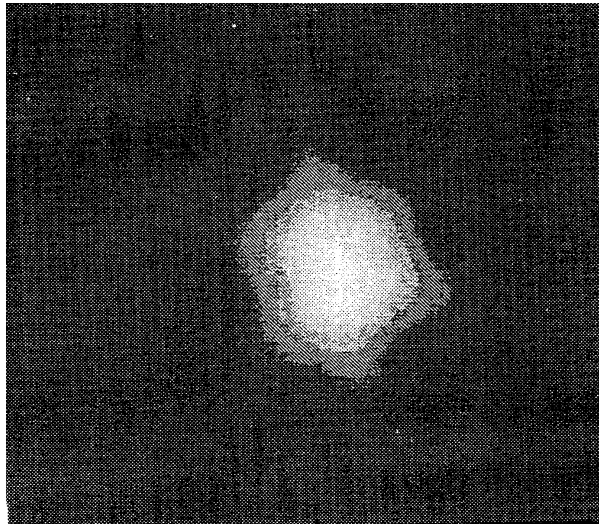
도면8



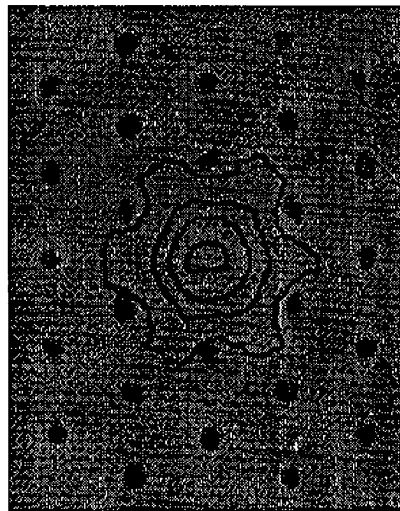
도면9



도면10



도면11



$\lambda=633\text{nm}$

도면11b



$\lambda=1550\text{nm}$

도면12

