

(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 특허공보(B1)

(51) Int. Cl.⁵

G02B 6/10

H01S 3/30

(45) 공고일자 1992년08월10일

(11) 공고번호 92-006591

(21) 출원번호

특1984-0006059

(65) 공개번호

특1985-0002333

(22) 출원일자

1984년09월29일

(43) 공개일자

1985년05월10일

(30) 우선권주장

537,493 1983년09월30일 미국(US)

(71) 출원인

더 보드 오브 트러스티스 오브 더 리랜드 스텐포드 쥬니어 유니버시티
닐스제이. 레이머스

미합중국, 캘리포니아주, 스텐포드(우편번호 94305)

(72) 발명자

허버트 존 샤우

미합중국, 캘리포니아주, 스텐포드, 알바라도 토우 719(우편번호 94305)

미셸 제이. 애프. 디고네트

미합중국, 캘리포니아주, 팔로알토, 하버드 스트리트 2307(우편번호
94306)

로버트 에이. 래시

미합중국, 캘리포니아주, 팔로알토, 키츠코트 620(우편번호 94305)

(74) 대리인

장수길

심사관 : 정종옥 (책자공보 제2891호)(54) 광섬유 증폭기**요약**

내용 없음.

대표도**도1****영세서**

[발명의 명칭]

광섬유 증폭기

[도면의 간단한 설명]

제1도는 본 발명의 광섬유 증폭기의 양호한 실시예의 배열을 도시한 도면.

제2도는 제1도의 선 2-2를 따라 절취하여 도시한 제1도의 배열의 단면도.

제3도는 300° K의 Nd : YAG의 흡수 스펙트럼을 도시한 도표.

제4도는 Nd : YAG의 에너지 레벨을 도시한 도표.

제5도는 Nd : YAG와 같은 4-레벨 레이저의 에너지 레벨을 간략하게 도시한 도표.

제6도는 원추형 막대에 조준 광선을 입력시키도록 장착된 다수의 레이저 다이오드 및 조준렌즈를 도시한, 제1도의 증폭기 구조물의 양호한 평프 소오스의 사시도.

제7도는 제6도의 레이저 다이오드 및 조준렌즈들 중의 1개의 레이저 다이오드 및 조준렌즈를 확대하여 도시한 사시도.

제8도는 원추형 막대의 예시적인 광선 입력의 통로를 도시하고, 광선이 원추의 한 단부로부터 다른 단부로 전달될 때 이 광선의 다중 내부 전반사를 도시한 개략도.

제9도는 증폭기에 대한 다른 배열을 도시한, 제10도의 선 9-9를 따라 절취하여 도시한 단면도.

제10도는 본 발명의 광섬유 증폭기의 다른 실시예의 배열을 도시한 도면.

* 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명

12 : 평프 광섬유

14 : 신호 광섬유

18 : 제1단부

20 : 제2단부

22 : 재킷	24, 26 및 60 : 펌프 광원
28 : 펌프 광	50 : 원추형 막대
52 : 콘 단부	54 : 작은 단부
56 : 테이퍼 부분	58 : 단부 평면
62 : 마이크로렌즈	64 : 레이저 다이오드
68 : 광선	72 : 중심축
80 : 가상 반경선	

[발명의 상세한 설명]

본 발명은 광섬유 증폭기에 관한 것이다. 본 발명은 1982년 12월 10일자 출원된 "광섬유 증폭기"란 명칭의 연속 특허 출원 제448,707호, 유럽 특허 공고 번호 제0112090호에 기술된 발명을 개량한 것이다.

어떤 물질의 레이저 방출 능력에 기초를 둔, 특히 거시적인 레벨에 기초를 둔 광학 증폭기의 개념은 공지되어 있다. 예를 들어 펌프 광원과 직경이 수 mm이고 길이가 수 cm인 단결정 네오디뮴-이트륨 알루미늄 석류석(Nd : YAG) 막대를 관형 반사성 공동(cavity)내에 배치시키는 것이 공지되어 있다. 또한, 펌프 광원 및 Nd : YAG 막대는 횡단면이 타원형으로 된 공동의 2개의 쪽점을 따라 연장되도록 각각 배치될 수 있다. 이러한 배열에서, 펌프 광원에 의해 방출되어 공동 벽으로부터 반사된 광선은 Nd : YAG 막대에 충돌한다. 펌프 광원은 결정의 네오디뮴 이온의 에너지 상태들이 상부 레이저 레벨 이상의 한 에너지 레벨에 반전(invert)되게 하기 위해 Nd : YAG 결정의 흡수 스펙트럼에 대응하는 파장들을 방출하도록 양호하게 선택된다. 반전된 후, 포논(phonon)방사를 통한 네오디뮴 이온의 초기 강쇠는 상부 레이저 레벨에 이온군이 생기게 한다. 이온은 상부 레이저 레벨로부터 하부 레이저 레벨로 강쇠되어, Nd : YAG 물질에 특징적인 파장의 광선을 방출한다. 유리하게도, 신속한 포논 보조 강쇠가 이 하부 레이저 레벨과 기저 레벨 사이에 발생하도록 이 하부 레이저 레벨은 이온에 대한 기저 레벨보다 위에 있으므로, 펌프된 이온들 내에서 상부 레이저 레벨과 이 하부 레이저 레벨 사이에 높은 비율의 반전이 계속 존재할 수 있게 한다.

레이저 기술에서 공지된 바와 같이, 이온군이 이렇게 반전되면, Nd : YAG는 또한 형광, 즉 비간접성 광선을 무작위로 방출시킨다. 이 자발적인 방사선은 Nd : YAG의 경우에 230 μsec인 반전 상태의 평균 수명과 동일한 시간 상수로 생긴다.

Nd : YAG 막대의 네오디뮴 이온들이 반전된 후, 레이저 전이 주파수의 광선 신호가 막대를 통과하면, 신호 광자들은 네오디뮴 이온들의 하부 에너지 레벨로의 전이를 트리거하여 간접성의 유도 방사선, 즉 레이저를 방출시키는데, 이 방사선은 전송된 신호에 효율적으로 부가됨으로써 이 신호를 증폭시킨다.

펌프 파장에서의 Nd : YAG 결정의 흡수 길이(즉, 조명의 60%가 흡수되기 전에 이 조명이 통과해야 되는 물질의 길이)는 전형적으로 2mm이상이므로, 증폭 구조물내에 사용된 Nd : YAG 결정은 이 결정이 공동벽으로부터 최초 반사되어 결정을 통과하는 동안 펌핑 방사선의 상당한 부분을 흡수하도록 최소한 이 크기의 직경을 갖고 있다. 결정을 최초 통과하는 동안 펌핑 조명이 흡수되지 않으면, 공동벽에 의해 펌프 광원으로 다시 반사되어 펌프 광원에 재흡수되므로, 광원내에 열을 발생시키고 증폭기의 전체 효율을 감소시킨다.

이러한 큰 직경의 Nd : YAG 막대가 광섬유 시스템내에 증폭기로서 사용되면 광선 신호를 광섬유로부터 Nd : YAG 막대로 접속시키고 증폭된 광선 신호를 Nd : YAG 막대로부터 다른 광섬유 내로 다시 접속시키기 위해 렌즈와 같은 광학 소자들을 사용하는 것이 필요하다고 생각되어 왔다. 이러한 광학 시스템들은 세심하게 배열되어야 하고, 진동과 열의 영향과 같은 주위 환경 변화에 영향을 받기 쉽다. 부수적으로, 광학 소자들 및 Nd : YAG 막대의 크기는 증폭 시스템을 비교적 크게 만들므로, 어떤 종류의 응용에는 비실용적이다. 또한 Nd : YAG 막대의 크기가 크면, 이 막대내에 고에너지 밀도를 유지하고 충분한 광학 이득을 얻기 위해서 많은 양의 입력 펌프 에너지를 필요로 한다. 이러한 큰 펌프 전력은 고출력 펌프 광원을 필요로 하여 상당한 열을 발생시키는데, 이는 상기 공동을 액체 냉각 시킴으로써 방출되어야 한다.

이 형태의 증폭기들은 통신기기와 같은 여러 응용시에 유용하지만, 재순환 광섬유 자이로스코프(gyroscope)에 사용할 때에는 이 증폭 시스템에 많은 제한이 생긴다. 이러한 자이로스코프에 사용할 때에는, 전형적으로 양방향으로 루우프 내에서 재순환된다. 루우프의 운동은 자이로스코프 회전을 측정하는데 사용될 수 있는, 반대 방향으로 전파하는 광선 신호들 사이에 위상차가 생기게 한다. 이러한 자이로스코프에서, 광섬유 주위의 1회 통과에서 발생된 위상차는 비교적 작은데, 이 위상차를 증가시키도록 가능한 한 여러번 루우프내에서 광선 신호를 재순환시키는 것이 유리하다.

1km의 광섬유를 통과할 때, 광 신호는 전형적으로 이 광 신호 세기의 30 내지 50%가 손실된다. 증폭기가 루우프와 직렬로 배치되고 반대방향으로 전파하는 양방향성 광선 신호를 2 내지 3dB만큼 증폭시킬 수 있으면, 광선 신호가 루우프내에서 여러번 전파될 수 있게 한다.

불행하게도, 상술한 바와 같이 종래 기술의 Nd : YAG 막대 증폭기의 상대적으로 큰 크기, 고전력 및 냉각 필요성 때문에 이러한 증폭기들은 고정확도 자이로스코프로서는 상대적으로 비실용적이다. 물론, 이 요인들은 통신 회로망과 같은 다른 응용에 이러한 증폭기들을 사용하는 것도 제한한다.

본 발명은 제 1굴절률을 갖고 있는 펌프 광섬유 및 이 제 1굴절률보다 높은 제 2 굴절률을 갖고 있는 증폭기 광섬유로 구성된 광섬유 증폭기에 관한 것이다. 펌프 광섬유는 석영과 같은 수동 물질로 구성될 수 있지만, 증폭기 광섬유 Nd : YAG와 같은 능동 레이저 물질로 구성된다. 이 2개의 광섬유

들은 광선을 제1광섬유로부터 제2광섬유로 이동시키기 위해 상호작용 영역을 형성하도록 서로 밀접하게 배치된다.

원추형 막대는 펌프 광을 펌프 광섬유내로 유입시키는데 사용된다. 양호하게도, 막대 및 펌프 광섬유는 석영과 같은 동일 물질로 일체로 형성된다. 이 막대는 광선을 펌프 광섬유의 한 단부내로 유입시키기에 알맞는 크기로 되는 제 1단부, 및 직경이 제 1광섬유 단부보다 상당히 큰 제 2 단부를 포함한다. 다수의 광원들은 광선을 큰 제2단부내로 유입시키도록 장착되고, 원추형 막대는 이 광선을 펌프 광섬유내로 유입시키기 위해 작은 광섬유 제1단부내로 접속시킨다. 펌프 광은 상호작용 영역내에서 펌프 광섬유로부터 증폭기 광섬유로 이동되고, 레이저 물질내의 전자군 반전을 야기시키도록 증폭기 광섬유에 의해 흡수된다. 증폭기 광섬유의 단위 길이당 광선의 흡수량을 증가시키기 위해, 광원들은 고등급 모우드의 여기를 야기시키도록 막대 축으로부터 벗어난 위치에 장착된다.

양호하게도, 광원들은 상당히 조준된 광선을 각각 발생시킨다. 양호한 실시예에서, 광원들은 레이저 다이오드, 및 이 레이저 다이오드와 원추형 막대의 제2단부 사이에 배치된 조준 마이크로렌즈로 구성된다. 필요하다면, 부수적인 레이저 다이오드 및 조준 렌즈 셋트들이 입력 전력을 증가시키도록 원추형 막대의 제2단부에 부가될 수 있다. 레이저 다이오드들은 방출 영역의 세로 방향 길이가 막대 축을 통과하는 방사상 선에 수직이 되도록 양호하게 장착되어야 한다.

펌프 광섬유에 입력된 전력은 펌프 광섬유의 반대 단부에 제2펌프 광원을 배치시킴으로써 더 증가될 수 있으므로, 펌프 광섬유는 양방향으로 펌프된다. 이것은 특히 본 발명의 증폭기가, 파들이 반대방향으로 증폭기 광섬유를 통해 전파되는 사그낙 자이로스코프(Sagnac gyroscope)와 같은 시스템내에 사용될 때 유리하다. 마찬가지로, 이러한 제2펌프 광원은 상술한 바와 같이, 원추형 막대, 레이저 다이오드 및 조준 마이크로렌즈로 구성된다. 부수적으로, 전형적으로 빈약한 공간 간섭성을 갖고 있거나 다중 모우드인 시판중인 고 전력 레이저 다이오드의 경우에, 이러한 레이저 다이오드의 방출 영역의 길이는 원추형 막대의 작은 크기의 광섬유 단부의 직경보다 작은 것이 양호하다.

또한, 본 발명은 원추형 막대의 다른 단부에서 고등급 모우드들을 여기시키도록 원추형 막대의 중심축으로부터 벗어난 각각의 위치에 다수의 광원들을 장착시킴으로써 펌프 광을 원추형 막대의 한 단부에 공급하는 수단을 포함하는 광학 증폭기 펌핑 방법을 포함한다. 이 방법은 또한 증폭기 광섬유를 펌프시키도록 막대의 다른 단부를 광학적으로 결합시키는 수단을 포함한다. 펌프 광 공급 수단은 양호하게 조준 마이크로렌즈들을 레이저 광원과 막대 사이에 배치시키는 수단을 포함하므로, 입력 펌프 광이 조준된다.

이제부터, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 장점들 및 다른 장점들에 대해서 상세하게 기술하겠다.

제1도 및 제2도를 참조하면, 본 발명의 양호한 실시에는 펌핑 광섬유(12) 및 신호 광섬유(14)를 포함하는 축 펌프식 증폭기를 포함한다. 이 펌핑 광섬유(12)는 전형적으로 예시적인 형태에서, 직경이 약 200미크론인 석영 광섬유이다. 이 광섬유(12)는 약 2cm의 길이(16)를 따라 상호작용 영역을 제공하도록 이러한 길이(16)를 통하여 신호 광섬유(14)와 병렬로 근접하여 연장된다. 신호 광섬유(14)는 예를들어, 펌프시에 증폭될 신호의 주파수에서 광학 이득을 나타내는 단결정의 이온 도우프된 (doped)물질로 구성될 수 있는 레이저 물질이다, 제1도의 도면과 다음 설명에서, 증폭될 입력 광선 신호가 신호 광섬유(14)의 제1단부(18)로 입력되어 증폭된 후 광섬유(14)의 제2단부(20)으로 출력된다고 가정하겠다. 그러나, 통신 및 회전 감지와 같은 대부분의 응용시에, 신호들은 광섬유(14)의 양 단부(18,20)에서 입력되어, 광섬유(14)를 통과하는 전파 방향에 관계없이 증폭된다는 것이 인식되어야 한다.

이 예시적인 실시예에서, 광섬유(14)의 직경은 100미크론이다. 광섬유(12 및 14)의 병렬 연장의 길이(16)에 걸쳐서, 이 광섬유들은 다음에 더욱 상세하게 기술한 바와 같이 광섬유(14)를 펌프시키는데 사용된 조명용 도파관을 제공하는 재킷(22)내에 싸여진다. 양호한 실시예에서, 이 2개의 광섬유(12,14)는 재킷(22)가 피복물을 제공하는 크기를 제외하고는 피복되지 않는다.

광섬유(14)는 단결정 Nd : YAG물질로서 형성된다. 한쌍의 펌프 광원(24,26)은 증폭시킬 수 있도록 Nd : YAG결정(14)내의 네오디뮴 이온 전자군을 반전시키기 위해 광 에너지 또는 펌프 광을 제공하도록 펌프 광섬유(12)의 반대 단부에 결합된다.

광섬유(12) 뿐만 아니라 재킷(22)는 펌프 광원(24,26)으로부터의 광선의 파장을 투과시킨다. 재킷(22)은 이 주파수에서 가능한 한 낮은 순실 특성을 갖는 것이 양호하지만, 이 주파수에서 가능한 한 짧은 Nd : YAG광섬유(14)의 흡수 길이를 갖는 것이 유리하다.

광섬유(12,14) 및 재킷(22)의 굴절률들은 신호 광섬유(14)가 신호 입력을 이 광섬유의 단부(18)에 안내하도록 선택된다. 그러나, 또한 이 굴절률들은 펌프 광원(24,26)으로부터의 광선이 광섬유(12)로부터 재킷(22)로 들어가고, 그후 주기적으로 들어가 광섬유(14)에 의해 흡수되도록 선택된다. 그러므로, 제2도의 예에 도시한 바와 같이, Nd : YAG 광섬유(14)의 굴절률 n_1 은 1.80이다. 한편, 석영 광섬유(12)의 굴절률 n_2 는 1.460이다. 재킷(22)의 굴절률 n_3 은 1.46과 1.8사이가 되도록 선택되므로, $n_1 > n_3 > n_2$ 가 된다. 마지막으로, 재킷(22)주위의 굴절률 n_4 는 공기에 의해 형성되지만, 재킷(22)내의 표면 불규칙성 및 합성 산란으로 인해 재킷(22)와 주위 공기 사이의 경계 영역에서 생길 수 있는 손실들을 제거시키기 위해 2차 피복물이 재킷(22)를 둘러쌀 수도 있다.

상술한 설명으로부터, 광섬유(14)의 굴절률 n_1 이 재킷(22)의 굴절률 n_3 보다 크기 때문에, 시스템에 의해 증폭될 광섬유(14)의 단부(18)에 입력된 신호들은 광섬유(14)내로 양호하게 안내된다는 것을 알 수 있다. 석영 광섬유(12)의 굴절률 n_2 는 재킷(22)의 굴절률 n_3 보다 작기 때문에, 펌프 광원(24,26)으로부터의 펌프광은 광섬유(12)에 의해 안내되지 않고 재킷(22)내로 굴절된다. 그러나, 이 광선은 제2도에 예시적인 광선(24 및 26) 및 제1도에 예시적인 펌프 광(28)로 도시한 바와 같이 재

킷(22)에 의해 양호하게 안내되는데, 그 이유는 재킷(22)의 굴절률 n_3 이 주위 물질의 굴절률 n_4 보다 크기 때문이다. 그러므로, 펌핑 조명은 광섬유(14)에 의해 최종적으로 흡수되기 위해 재킷(22)의 경계내로 안내된다. 제1도에 도시한 바와 같이, 펌프광(28)로 예시된 펌핑 조명은 광섬유(14)를 통하는 통로 길이-대-전체 통로 길이의 비에 비례하는 비율로 광섬유(14)에 의해 흡수된다. 이 때문에, Nd : YAG광섬유(14)내의 단위길이 당 흡수량을 증가시키기 위해 재킷(22)의 피복 크기를 가능한 작게 하는 것이 유리하다.

300° K에서의 Nd : YAG결정의 흡수 스펙트럼 도표를 도시한 제 3도를 참조하면, Nd : YAG물질이 비교적 높은 광학 밀도를 가지므로, 선택된 파장에서 짧은 흡수 길이를 갖는다는 것을 알 수 있다. 이 때문에, Nd : YAG광섬유(14)내의 펌핑 조명의 흡수량을 최대화시키어 흡수 영역의 길이(16, 제1도)이 가능한 한 짧게 되게 하면서 증폭기 구조물내의 펌핑 조명을 완전히 흡수하게 하기 위해 이 주파수들에서 방사선을 방출하도록 펌프 광원(24, 26, 제1도)을 선택하는 것이 적당하다. 본 분야에 숙련된 기술자들은 광섬유(14)를 통하는 신호의 전달 손실을 감소시키기 위해 광섬유(14)를 가능한 한 짧게 하는 것이 유리하다는 것을 알 것이다. 제3도로부터 알 수 있는 바와 같이, 0.75 및 0.81미크론의 파장이 비교적 적합하지만, 0.58미크론의 파장이 이 예시적인 실시예의 펌프 광원(24, 26)용으로 가장 적합하다.

Nd : YAG결정에 대한 에너지 레벨 도표를 도시한 제5a도를 참조하면, 상술한 흡수 파장에서의 펌프 광이 Nd : YAG결정에 의해 흡수될 때, 네오디뮴 이온들이 기저 레벨로부터 펌프 대역으로 여기된다는 것을 알 수 있다. 이 이온들은 펌프 대역으로부터 포논(photon)상호작용을 통해 상부 레이저 레벨로 신속히 감쇠한다. 네오디뮴 이온들은 이 상부 레이저 레벨로부터 하부 레이저 레벨로 전이하여 형광을 방출한다. 이 하부 레이저 레벨로부터 기저 레벨로 최종적으로 신속한 포논 감쇠가 일어난다. 제5a도에 도시한 형태의 4-레벨 레이저 시스템내에서 이 최종적인 신속한 포논 감쇠는 유리한데, 그 이유는 이 포논 감쇠가 실제로 공백 상태(empty)의 하부에너지 레벨을 제공하기 때문이다. 이 형태는 연속 펌핑중의 펌프 대역, 상부 레이저 레벨, 하부 레이저 레벨 및 기저 레벨에서의 이온군 밀도가 Nd : YAG광섬유에 대해 도시된 제5b도에 도시되어 있다. 상부 레이저 레벨과 하부 레이저 레벨 사이의 형광 방출의 속도는 펌프 대역과 상부 레이저 레벨 사이 뿐만 아니라 하부 레이저 레벨과 기저 레벨 사이의 포논 감쇠에 대해 비교적 느리기 때문에, 상부 레이저 레벨에서의 이온군 밀도는 하부 레이저 레벨에서의 이온군 밀도 보다 상당히 높으므로 높은 비율의 반전을 발생시키게 된다. 유도 방출 이전의 상부 레이저 레벨의 평균 수명은 230 μsec이다.

제4도에는 다음 설명에 예로써 사용되는 Nd : YAG물질의 다수의 에너지 상태 뿐만 아니라 이 물질의 레이저 전이에 대해 상세하게 도시되어 있다.

여기된 레이저 광섬유(14, 제1도)를 통해 이동하는 레이저 전이 파장(예를 들어 1.064미크론), 즉 상부 레이저 레벨과 하부 레이저 레벨 사이의 감쇠 중에 Nd : YAG이온에 의해 방출된 광선의 파장들중의 한 파장에서의 입력 광선 신호는 이 신호와 간접성을 갖는 동일한 주파수의 유도 광자들의 방출을 트리거시킴으로써 이 신호는 증폭된다. 그러므로, 이 주파수의 광선이 통과하면 증폭된 광선 신호와 위상이 동일하게 제5a도의 상부 레이저 레벨과 하부 레이저 레벨 사이에서 광자 방출 감쇠(레이저)를 야기시켜, 입력 광선 신호에 대한 효율적인 이득을 발생시키게 된다.

본 발명의 증폭기에서 얻을 수 있는 이득은 Nd : YAG결정내의 반전된 네오디뮴 이온군의 밀도에 따라 변한다.

관계식 $g_o = \partial \Delta N$ 을 사용하여, 본 발명의 증폭기의 단위 길이 g_o 당 소신호 이득 계수를 이론상으로 계산할 수 있다. 여기서 ∂ 는 약 $3.0 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$ 인 Nd : YAG의 유효 유도 방출 횟 단면적이고, ΔN 은 식

$$\Delta N = \frac{P_p}{V} \frac{t_f}{h\nu_p} \quad (1)$$

로 주어진 이온군 반전 밀도인데, 여기서 P_p 는 신호 광섬유(14)에 의해 흡수된 전체 펌프 전력이고 V 는 결정 체적이므로 P_p/V 는 단위 광섬유 체적당 전체 흡수 펌프 전력이며, t_f 는 제5a도의 상부 레이저 레벨 2의 형광 수명, 즉 네오디뮴 이온들의 형광 감쇠 시간 230 μsec이고, $h\nu_p$ 는 펌프 광자 에너지이다.

길이 L 의 증폭기 광학 섬유로부터 얻을 수 있는 이득 γ_o 는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$\gamma_o = g_o L \quad (2)$$

상기 관계식들을 결합하면, 다음과 같이 된다.

$$\gamma_o = \partial \frac{P_p}{A} \frac{t_f}{h\nu_p} \quad (3)$$

여기서, A 는 증폭기 광학 섬유의 횡단면적이다.

P_p 값은 흡수 펌프 전력이고, 광섬유 길이의 증가는 이득을 반드시 증가시키지는 않는다. 그러므로, 광섬유의 길이는 Nd : YAG광섬유를 통과하는 펌핑 방사선이 완전히 흡수되기에 충분하게 되면, 이 방정식내의 P_p 값은 입력 렐프 전력으로 대체될 수 있다. 전형적인 펌프 광자 파장이 810nm인 경우에, γ_o 값은 직경이 120미크론인 단결정 광섬유내의 P_p 가 1mW인 경우에 0.01dB이다. 그러나, 순이득을 얻으려면, 신호가 광섬유(14)를 통해 전달될 때 신호가 입게되는 1.06미크론에서의 광섬유 손실 전달을 γ_o 에서 빼야 한다. 1km당 100dB의 광섬유 손실이 있으면 이득은 1cm당 0.001 dB만 감소된다. 그러므로, 대부분의 펌프 전력이 짧은 길이의 광섬유 상에서 흡수되도록 배열함으로써 증폭기의 전

체 길이가 비교적 짧게 유지되는 경우에, 증폭기내의 전달 손실은 낮은 레벨로 유지될 수 있다.

상술한 설명으로부터 명백해진 바와 같이, 제1도를 다시 참조하면, Nd : YAG광섬유(14)를 적절하게 펌프하기 위해서, 펌프 광원(24,26)은 입력 신호를 광섬유(14)에 인가하기 직전에, 즉 양호하게 네 오디뮴 이온들의 형광 감쇠 시간 $230\mu\text{sec}$ 내에 연속적으로 동작하는 것이 양호하다.

제1도를 다시 참조하면, 단부(18,20)에 인접하지만 재킷(22)의 외부에 있는 영역내에서, Nd : YAG광섬유(14)는 증폭 전후에 신호를 안내하게 되는데, 그 이유는 굴절률 n_1 이 주위 공기의 굴절률보다 높기 때문이다. 물론 표면 손실을 감소시키도록 이 영역내에 Nd : YAG광섬유(14)를 피복하는 것이 유리할 수 있다.

이와 마찬가지로, 재킷(22)이상의 영역내에서 석영 광섬유(12)는 펌프광원(24,26)으로부터 광선을 안내하는데, 그 이유는 이 석영 광섬유의 굴절률 n_2 가 주위 공기의 굴절률보다 높기 때문이다. 물론 재킷(22)의 단부를 이상의 영역내에 사용될 피복물의 굴절률이 석영의 굴절률보다 낮은 한, 표면 손실을 감소시키도록 이 영역내에서 석영 광섬유(12)도 피복할 수 있다.

펌프광원(24)로부터의 펌핑 광은 처음에 증폭기 시스템내의 단부(18)근처에서 흡수되려고 하므로, 광섬유(14)의 길이는 펌프 광원(24)에 의해 균일하게 조명될 수 없다. 그러므로, 네오디뮴 이온들의 반전된 이온군은 길이(16)를 따라 균일하게 분배될 수 없다. 따라서, 반전된 네오디뮴 이온군이 길이(16)를 따라 대칭이 되도록 펌프 광원(24,26)과 동시에 양 단부에서 석영 광섬유(12)를 펌프시키는 것이 유리할 수 있다. 또한 양 단부로부터 펌핑하면, 재킷(22)내에 더 많은 펌프 전력을 발생시키므로, 더 많은 이득을 얻게 된다.

또한, 펌프 광원(24,26)으로부터 Nd : YAG광섬유(14)로 공급된 펌핑 조명은 신호들이 증폭될 때 생기는 광섬유(14)내의 감쇠된 이온군을 연속적으로 대체시키기에 충분하게 되어야 한다. 그러므로, 예를들어 펄스신호가 1km의 광섬유를 통해 순환하는 자이로스코프에서, 반대방향으로 전파하는 신호들은 약 $5\mu\text{sec}$ 마다 한번씩, 제1도에 도시한 증폭기를 통과한다. 연속 펌프 광원(24,26)을 사용하면, 이 연속 펌프 광원들은 매 $5\mu\text{sec}$ 기간 동안 감쇠된 이온군과 동일한 이온군을 재반전시키기 위하여 신호들이 각각 연속적으로 통과하는 동안 감쇠된 네오디뮴 이온군을 다시 반전시킬 수 있도록 충분한 출력을 제공함으로써, 신호들에 대한 증폭기 이득이 일정하게 유지되어야 할 것이다.

재킷(22)는 만일 펌프 광이 길이가 약 2cm인 Nd : YAG광섬유(14)를 통하여 약 100개의 반사 통로를 만들게 하는 고 Q공동(high Q cavity)을 형성한다. 그러므로, Nd : YAG광섬유(14)를 축방향으로 통하는 단일 광선의 통로가 이 Nd : YAG광섬유 물질내의 흡수 길이보다 상당히 짧더라도, 다수의 통로들은 Nd : YAG광섬유(14)내에서 펌프광원 조명의 상당한 부분을 흡수할 수 있게 된다.

또한, 제1도에 도시한 구조물은 단부(18 및 20)이 적당히 거울 반사되는 경우에 Nd : YAG광섬유의 레이저 주파수에서 조명하기 위한 발진기 또는 소오스를 제공한다. 그러므로, 레이저 주파수에서 조명의 거의 100%를 반사시키는 반사경을 광섬유(14)의 단부(18)상에 배치시키고, 동일한 주파수에서 조명의 일부분을 반사시키는 제2반사경을 광섬유(14)의 단부(20)상에 배치시킴으로써, 제1도에 도시한 구조물은 광섬유 레이저 광원으로서 사용되는데, 간섭성 광파들은 광섬유(14)내의 길이(16)를 통해 전후방으로 반사되고, 광섬유에 대한 레이저 주파수에서 간섭성 광파의 면이 되어 단부(2)에서 부분 반사경을 통해 방출된다.

제1도에 도시한 구조물이 레이저 광원으로서 사용되면, 펌프 광원(24, 26)은 펌핑 파장에서의 안정 상태 광선 출력을 제공하는데, 이 경우 안정 상태 연속 광선 출력은 광섬유 망원에 의해 제공된다. 한편, 펌프광원(24, 26)으로부터의 펌핑 광이 변조되면, 변조된 출력이 제1도의 구조물내에서 발생될 수 있다.

상술한 설명으로부터 알 수 있는 바와 같이, 증폭될 신호를 단일 광섬유(14)내에 안내하지만 증폭기 시스템의 전체 재킷(22)내에만 펌프 광을 안내하는 굴절률을 제공하도록 물질을 적당히 선택하면, 이 광섬유(14)의 직경이 펌핑 파장에서의 Nd : YAG물질의 흡수 길이보다 상당히 작더라도, 전체 공동 구조물내에서의 다수의 반사율들이 Nd : YAG광섬유(14)를 측 펌핑시키는, 소형이고 비교적 이득이 높은 증폭기 시스템을 만들게 된다.

제6도에 도시한 바와 같이, 펌프 광원(24, 26, 제1도)은 큰 단부(52)로부터 작은 단부(54)로 테이퍼된, 예를들어 비결정 석영(용융 실리카)으로 형성된 원추형 막대(50)을 각각 포함한다. 양호한 실시예에서, 펌프 광섬유(12, 제1도)를 포함하는 광섬유 막대 부분은 작은 단부(54)로부터 돌출한다. 선택적으로, 작은 단부(54)는 광섬유(12)로서 작용하는 별개의 광섬유에 버트(butt)결합될 수 있다. 특정한 예에 의하면, 큰 단부(52)의 직경은 약 2mm로 될 수 있고, 작은 단부(54)[및 광섬유(12)]의 직경은 약 200미크론으로 될 수 있으며, 단부 부분(52 및 54)사이의 테이퍼된 부분(56)의 길이는 약 1cm로 될 수 있고, 테이퍼 각 θ 는 5° 로 될 수 있다. 이 도면들은 실제 크기가 아니고 다만 설명하기 위한 것이다.

원추형 막대(50)은 큰 단부 부분(52)의 직경과 동일한 직경을 갖고 있는 석영 막대를 사용하여 제조될 수 있다. 이 막대는 고온 불꽃내에서 가열되어 신속히 잡아당겨지므로, 펌프 광섬유(12)를 제공하도록 막대의 일부분을 광섬유 직경 크기로 감소시킨다. 이때 이 막대의 큰 단부는 단부 부분(52)에서 평면(58)을 제공하도록 쪼개지고, 이 평면(58)은 연마된다. 그러므로, 이 공정은 피펫(pipette)을 형성하기 위해 통상적으로 사용된 공정과 유사하다. 본 분야에 숙련된 기술자들은 더 복잡한 제조 기술도 유용하다는 것을 알 수 있다.

제6도에 도시한 바와 같이, 다수의 펌프 광원(60)은 막대(50)의 평평한 단부 표면(58)상에 장착된다. 제7도를 참조하면, 각각의 펌프 광원(60)은 마이크로렌즈(62), 및 800nm영역과 같은 제3도에 도시한 고 흡수 영역들 중의 한 흡수 영역내의 광선을 발생시키는, 양호하게는 고 전력 레이저 다이오드된 소형 발광 장치(64)를 포함한다. 본 분야에 공지된 바와 같이, 마이크로렌즈 들은 중심부로부터 주변부로의 굴절률의 기울기로 인한 접속 특성을 갖고 있는 매우 작은 광학 유리

막대이다. 이 마이크로렌즈들은 미합중국, 뉴 저지주, 클라크, 센트럴 예비뉴 136(136 Central Avenue, clark, New Jersey, U.S.A.)에 지점을 둔 니뽕쉬트 글래스 캄파니(Nippon sheet Glass Company)제품인 셀폭 마이크로렌즈(Selfoc Microlenses)라는 상품명으로 시판되고 있는데, 이 마이크로렌즈들은 길이, 직경, 촛점거리 및 허용 각 등이 다양하다. 레이저다이오드(64)는 마이크로렌즈(62)상에 장착되는데, 레이저 다이오드 접합부는 렌즈(62)의 입력면에 가깝고, 렌즈 특성들은 레이저 다이오드(64)에 의해 발생된 광선을 조준하도록 선택된다. 레이저 다이오드(64)는 접착제 또는 기계적 장착 장치와 같은 적당한 장치에 의해 렌즈(62)상에 장착될 수 있다. 이 렌즈들은, 예를들어 광학 접착제에 의해 원추형 막대(50)의 평면(58)상에 장착될 수 있다. 필요하다면, 다수의 레이저 다이오드(64)들이 전력을 한층 증가시키기 위해 단일 렌즈(62)상에 쌓아질 수 있다. 이러한 경우에, 이 다이오드들은 다른 다이오드상에 한 다이오드가 배치될 수 있는데, 이 다이오드들의 세로 축면들은 서로 접촉된다. 또한 도면에는 원추형 막대(50)상에 장착된 3개의 이러한 펌프 광원(60)이 도시되어 있지만, 이보다 많거나 작은 광원(60)들이 사용될 수도 있다.

제8도에 도시한 바와 같이, 광선이 원추형 막대(50)내로 들어갈 때, 광섬유(12)내로 결합시키기 의해 이 광선을 접속 및 압축시키도록 이 광선은 다중 내부 전반사가 된다. 간단히 설명하기 위해서, 제8도에서는 단지 하나의 단일 광선(68)만이 막대(50)으로 들어가는 것으로 도시되어 있다. 원추형 막대(50)의 테이퍼형태로 인해, 광선(68)이 입사각이 안정화되는 광섬유(12)로 들어갈 때까지, 광선(68)은 원추형 막대(50)의 벽에 관련하여 연속적으로 더 큰 입사각에서 다중 내부 전반사를 하게 된다는 것을 제8도로부터 알 수 있다. 이러한 입사각의 안정화는 광섬유(12)의 직경이 균일하다는 사실로 인한 것이다. 본 분야에 숙련된 기술자들은 "입사각"이란 용어가 광선과 광선의 입사 지점에서 원추 벽에 그은 선 사이의 각을 의미한다는 것을 알 수 있다. 원추 각 θ 및 원추길이는 광선이 원추형 막대(50)를 통해 단부(52)로부터 단부(54)로 통과할 때, 입사각이 항상 임계각(즉, 광선이 더 이상 내부 전반사되지 않는 각)보다 크도록 양호하게 선택되어야 하므로, 원추형 막대(50)의 큰 단부(56)으로 들어가는 모든 광선은 광섬유(12)에 결합된다. 일반적으로, 필요한 원추각은 원추형 막대(50)과 주위 매질(예를들어, 공기)사이의 굴절률들의 차이 뿐만 아니라, 광섬유단부(54)의 횡단면적에 대한 입력 단부면(58)의 면적의 비에 따라 변한다. 이 원추각을 수학적으로 계산하는 기술은 본 분야에 공지되어 있는데, 예를들어 엔.에스.카파니(N.S.Kapany)가 쓴, 아카데믹 프레스(Academic Press, 1967)사가 발행한 "광섬유, 그 원리와 응용"이란 책자 18 내지 20페이지에 기술되어 있다.

그러므로, 사실상, 원추형 막대(50)은 펌프 광원(60, 제7도)에 의해 입력된 조준된 광선을 작은 단부(54)내로 접속시키므로, 레이저 다이오드들에 의해 발생된 광선을 펌프 광섬유(12)내로 압축시킴으로써 광섬유(12)내의 펌프 전력 밀도를 증가시키게 된다.

레이저 다이오드(64)로서 사용된 특정한 다이오드들이 공간 간섭도가 낮거나 다중 모우드인 경우에, 방출영역의 길이(즉, 레이저 다이오드 접합부와 평행한 길이)를 광섬유 단부(54)의 반경보다 크게 하는 데에 비실용적이고, 그렇지 않으면 공간 비간섭성에 의해 야기된 회절 또는 안내되지 않은 고등급 모우드들로 인해 방사선 손실이 생길 수 있다는 것을 알 수 있다. 불행하게도, 현재 시판중인 고전력 레이저 다이오드들은 전형적으로 다중 모우드 또는 비교적 낮은 공간 간섭도를 갖거나, 이 두가지 모두를 갖는다. 레이저 기술이 향상될 때 이 상황이 완화된다는 것을 예상할 수 있다.

제6도 및 제7도를 참조하면, 레이저 다이오드(64)가 조준렌즈(62)없이 사용될 수 있으므로, 광선이 다이오드(64)로부터 직접 원추형 막대(50)에 입력된다. 그러나, 이러한 경우에, 전송 손실은 전형적으로 조준렌즈가 있을 때보다 크게 되는데, 그 이유는 레이저 다이오드들이 일반적으로 발산 형태로 광선을 방출시키고, 이 발산 광선들이 원추형 막대(50)의 벽에 대한 임계각을 초과함으로써 방사선 손실을 야기시키 때문이다. 실현 결과, 조준되지 않은 입력 광선의 경우에(마이크로렌즈가 없을 때), 원추를 통하는 전송량[즉, 광섬유 단부(54)에 결합된 입력 광선의 일부분]은 약 10% 이하지만, 조준된 광선의 경우에(마이크로렌즈가 있을 때), 전송량은 약 70% 이상으로 증가되었다. 그러므로, 레이저 다이오드(64)와 함께 조준 마이크로렌즈(62)를 사용하는 것이 대단히 유리하다.

또한, 고등급 모우드들을 여기시키기 위해 원추형 막대(50)의 중심축(72)로부터 벗어난 평면(58)상의 위치에 펌프 광원(60)을 장착하는 것이 양호하게 될 수 있다. 큰 단부 부분(56)의 주변부 가까이의 평면(58)로 들어가는 광선[예를들어, 광선(68)]이 중심 축(72)에 더 가까이 입력되는 대응 광선(도시하지 않음), 보다 이 광선들이 광섬유 단부(54)에 도달할 때까지 더 높은 입사각을 갖는다는 것을 제8도의 광선 도표로부터 알 수 있다. 광선 이론에 따르면, 이러한 입사각 증가는 고등급 모우드들을 표시한다. 이러한 고등급 모우드들은 제1도의 Nd : YAG광섬유를 여기시키기 위해 유리하게 될 수 있는데, 그 이유는 광선[예를들어, 광선(28)]이 반사 횟수를 증가시키므로, 광선이 증폭기 구조물의 한 단부로부터 다른 단부로 전달될 때 증폭기 광섬유(14)를 통과하는 횟수를 증가시키기 때문이다.

조준되지 않은 광선의 경우에(마이크로렌즈가 없을 때), 원추형 막대(50)를 통과하는 전송량은 평면(58)상의 레이저 다이오드의 위치에 관계가 없다. 그러나, 한 실험에서, 조준된 광선의 경우에 [마이크로렌즈(62)가 있을 때], 원추형 막대(50)를 통과하는 전송량은, 펌프 광원(60)이 중심축(72)로부터 단부 부분(52)의 주변부를 향해 이동되었을 때 최대로 증가한다는 것을 알게 되었다. 최적 전송위치는 단부 부분(54)에서 측정된 바와 같은 전력 전송량이 최대로 될 때까지 1개의 펌프 광원(60)을 평면(58)상의 중심축(72)로부터 방사상 외향으로 슬라이딩시킴으로써 알 수 있다. 이 때, 이 광원(60)은 이 위치내에 영구적으로 장착될 수 있다. 다른 광원(60)을 배치시키기 위해 동일한 처리방법이 사용될 수도 있다. 부수적으로, 다이오드(64)들이 축(72)로부터 벗어날 때 최적으로 전송하기 위해서는, 이 방출 면적의 최대 크기(즉, 길이)가 축(72)을 통과하는 평면(58)상의 가상 반경선(80)에 수직하도록 각각의 다이오드(64)를 배향시키는 것이 양호하다.

그러므로, 원추형 막대(50)은 특히 이러한 막대(50)이 고전력레이저 다이오드 및 조준 마이크로렌즈와 공동으로 사용될 때 많은 양의 광학 전력을 펌프 광섬유(12)에 결합시킨다. 이러한 높은 광학 펌프 전력은 Nd : YAG결정(14)의 여기량을 증가시킴으로써 증폭을 향상시킨다.

본 발명의 측 펌프식 증폭기의 선택적인 실시예에서, 광섬유(12)는 입력 광선을 증폭기 광섬유(14)

내로 직접 결합시키기 위해 재킷(22)없이 사용될 수 있다. 따라서, 제9도 및 제10도에는 시스템내에 펌프 광 및 신호광선을 안내하기 위해, 제1도 및 제2도의 재킷(22)를 사용하지 않지만, 그대신 Nd : YAG광섬유(14) 및 석영 광섬유(12)의 굴절률과 주위 공기의 굴절률 사이의 차이에 의존하는 증폭기 구조물의 선택적인 실시예가 개략적으로 도시되어 있다. 이 실시예에서, 원추형 막대(50)의 광섬유(14)와 광섬유(12)는 [제1도의 길이(16)에 대응하는]필요한 상호작용 영역의 길이(90, 제10도)를 따라 상호작용 영역을 제공하도록 이러한 길이(90)에 걸쳐 인접한 외부 평면(34 및 36)을 제공하기 위해 한 표면을 따라 연마된다(제9도에 가장 잘 도시됨).

제9도 및 제10도에 도시한 배열에 의하면, Nd : YAG광섬유(14)의 굴절률은 증폭될 신호가 광섬유-공기 경계 영역과 광섬유-석영 막대경계 영역에 의해 광섬유(14)내에 양호하게 안내되도록 석영 막대(50)의 굴절률보다 높아야 한다. 한편, 광섬유(12)내의 펌프 신호는 주의 공기와 접촉하는 원주의 일부분에 걸쳐안내되지만, 표면(36)에서는 안내되지 않으므로, 네오디뮴 이온들을 이 광섬유(14)내에 펌프하도록 Nd : YAG광섬유(14)내로 전달된다. 물론, 제9도 및 제10도에 도시한 실시예는 재킷의 굴절률보다 작은 제2도의 재킷(22)와 같은 주위 재킷내에 제공될 수 있다는 것을 알 수 있다.

이 주위 재킷은 장치의 기본 동작을 병행시키지 않고서, 표면 불규칙성으로 인해 야기된 표면 산란을 제거시킨다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

광선을 제1광섬유(12)로부터 제2광섬유(14)로 전송시키기 위해 상호작용 영역(16)을 형성하도록 근접하여 배치된, 제 1굴절률을 갖고 있는 제 1광섬유(12), 상기 제 1굴절률보다 높은 굴절률을 갖고 있고 레이저 물질로 형성된 제2광섬유(14), 광선을 상기 제1광섬유(12)의 한 단부 내로 유입시키기 위한 제1광섬유 크기의 단부(54)와 직경이 상기 제1단부보다 상당히 큰 제2단부(52)를 포함하는 원추형 막대(50), 및 펌프 광을 제2단부(52)에 유입하고, 상기 제2광섬유(14)를 펌프하여 상기 레이저 물질내에 전자군 반전을 야기시키도록 상기 제1광섬유(12)내로 유입시켜 상기 제1광섬유(12)를 통해 상기 상호작용 영역에 전달하기 위해 상기 원추형 막대(50)이 그 펌프 광을 상기 제2단부(52)로부터 상기 제1광섬유단부(54)로 접속시키기 위해 장착된 다수의 펌프 광원(60)을 포함하고, 상기 다수의 펌프 광원(60)이 상기 제2광섬유(14)의 상기 레이저 물질에 의해 펌프 광의 흡수를 증가시키도록 상기 제1광섬유(12)내의 고동급 모우드를 여기시키기 위해 상기 원추형 막대(50)의 축으로부터 벗어나 있는 것을 특징으로 하는 광섬유 증폭기.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 원추형 막대(50) 및 상기 제1광섬유(12)가 동일한 물질로 일체로 형성된 것을 특징으로 하는 광섬유 증폭기.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 제1광섬유(12) 및 상기 제2광섬유(14)가 최소한 각자 길이의 일부분을 따라 상기 상호작용 영역을 형성하도록 병렬로 놓여진 평면(34,36)을 각각 포함하는 것을 특징으로 하는 광섬유증폭기.

청구항 4

제1항에 있어서 상기 펌프 광원들(60)이 대체로 조준된 광선을 발생시키는 것을 특징으로 하는 광섬유 증폭기.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 펌프 광원들(60)이 레이저 다이오드(44) 및 상기 레이저 다이오드(64)와 상기 제2단부(52)사이에 배치된 조준 마이크로렌즈(62)로 구성된 것을 특징으로 하는 광섬유 증폭기.

청구항 6

제2항에 있어서, 상기 제1광섬유(12)의 다른 단부내로 광선을 유입시키기 위한 제1광섬유 크기의 단부(54)와 직경이 제2막대(50)의 상기 제1단부(54)보다 큰 제2단부(52)를 포함하는 제2원추형 막대(50), 및 상기 제2광섬유(14)를 펌프하여 상기 레이저 물질내의 전자군 반전을 일으키도록 펌프 광을 상기 제1광섬유(12)의 다른 단부내로 유입시키고 상기 제1광섬유(12)를 통해 상호작용 영역(16)에 전달하기 위해 펌프 광을 상기 제1광섬유 크기의 단부(54)내로 접속시키기 위해 상기 제2단부(52)내로 펌프 광을 유입시키기 위한 다수의 제2펌프 광원(60)을 포함하는 것을 특징으로 하는 광섬유 증폭기.

청구항 7

제5항에 있어서, 상기 레이저 다이오드(64)가 그 세로 길이가 상기 원추형 막대(50)의 축(72)를 통과하는 반경선과 수직으로 되도록 배향된 것을 특징으로 하는 광섬유 증폭기.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 막대(50)이 유리로 구성되고, 상기 제2광섬유(14)가 Nd : YAG로 구성된 것을 특징으로 하는 광섬유 증폭기.

청구항 9

제5항에 있어서, 상기 레이저 다이오드(64)의 방출 영역의 길이가 상기 제1광섬유(12)의 반경 이하

인 것을 특징으로 하는 광섬유 증폭기.

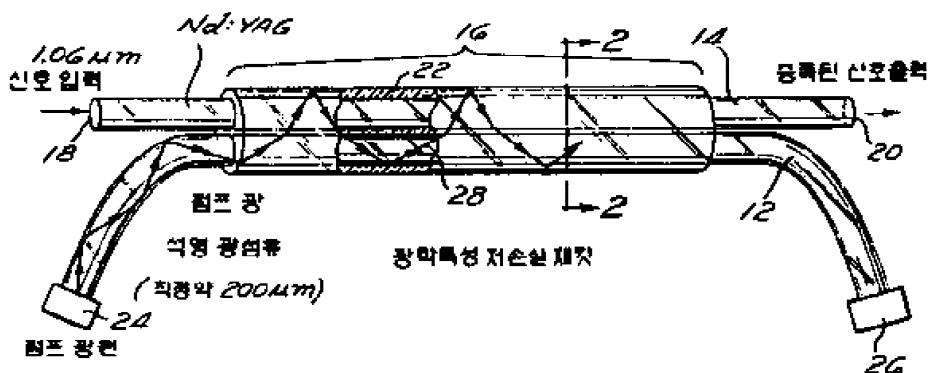
청구항 10

레이저 물질로 형성된 광섬유를 펌핑하는 방법에 있어서, 원추형 막대(50)의 다른 단부(54)에서 고 등급 모우드를 여기시키도록 상기 원추형 막대(50)의 중심축(72)으로부터 벗어난 각각의 위치에 다수의 펌프광원(60)을 장착시킴으로써 원추형 막대(50)의 한 단부(52)에 펌프 광을 공급하는 단계, 및 상기 광섬유(14)의 레이저 물질을 펌프하고록 상기 원추형 막대(50)의 다른 단부(54)를 광학적으로 결합시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 레이저 물질로 형성된 광섬유 펌핑 방법.

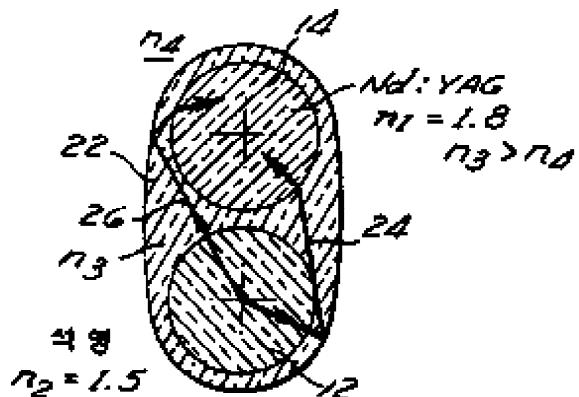
청구항 11

제10항에 있어서, 펌프 광 공급 단계가 상기 펌프 광을 조준하기 위해 레이저 다이오드(64)와 상기 막대(50)의 상기 한 단부(52) 사이에 조준 마이크로렌즈(62)를 배치시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 광섬유 평평 방법.

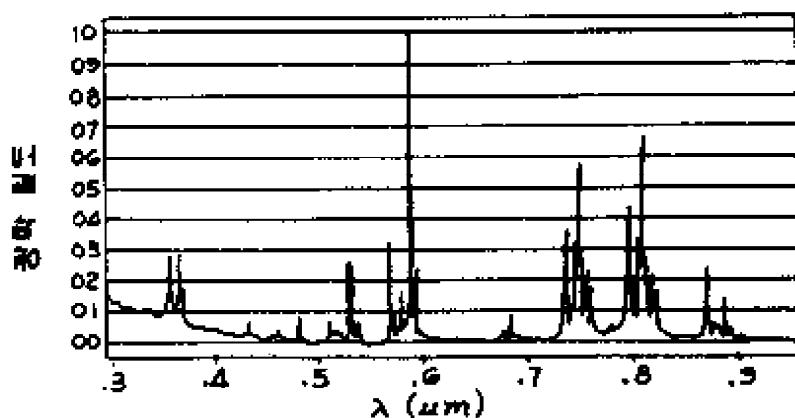
도면1



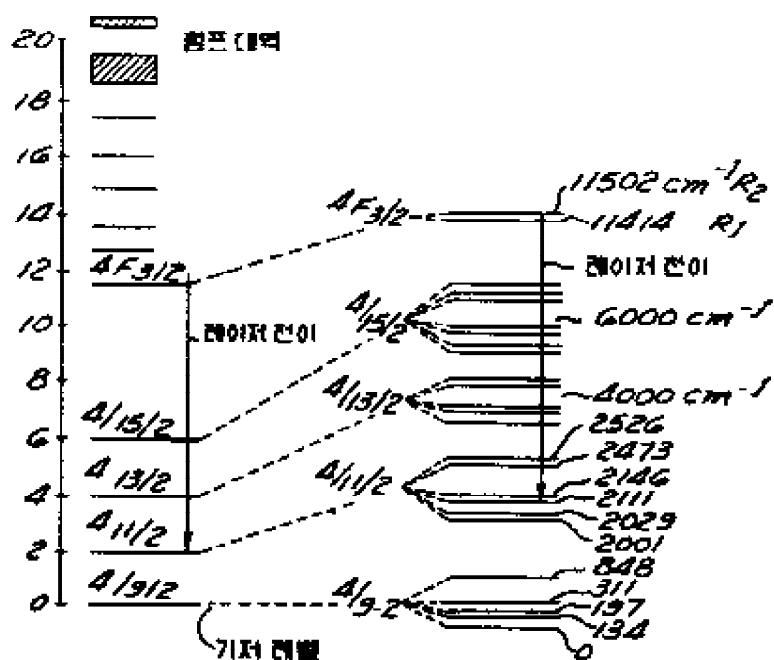
도면2



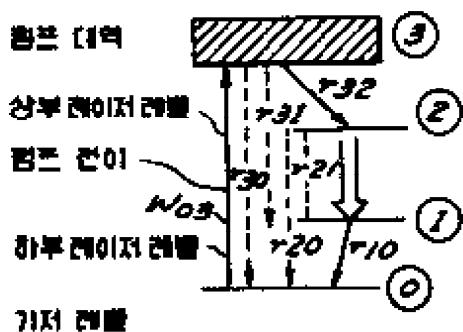
도면3



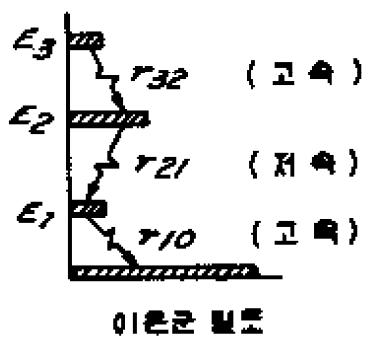
도면4



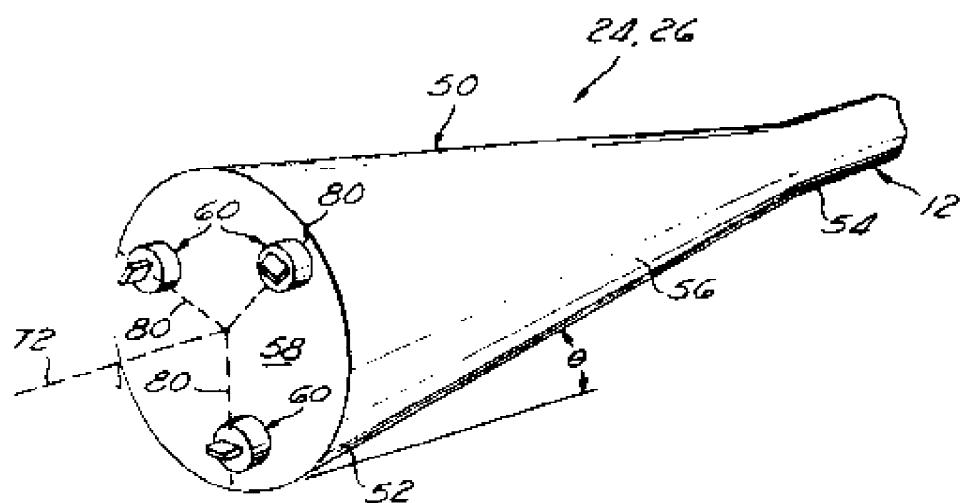
도면5a



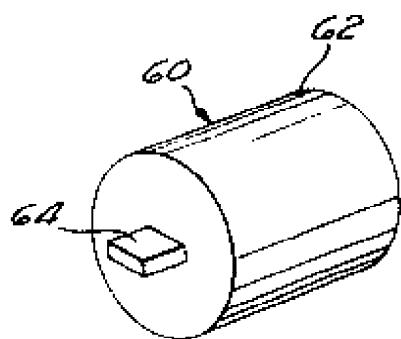
도면5b



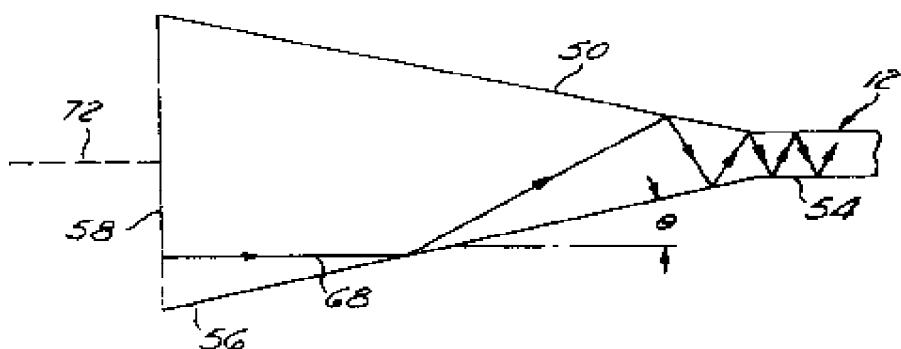
도면6



도면7



도면8



도면9



도면10

