(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。Int. Cl. [7]
G02B 6/26

(45) 공고일자 2003년01월10일
(11) 등록번호 10-0367541
(24) 등록일자 2002년12월26일

(21) 출원번호 10-2000-0008004
(22) 출원일자 2000년02월19일

(65) 공개번호 특2001-0020639
(43) 공개일자 2001년03월15일

(30) 우선권주장 09/255,454 1999년02월19일 미국(US)

(73) 특허권자
루센트 테크놀러지스 인크
미합중국 뉴저지 머레이 힐 마운틴 애비뉴 600 (우편번호 : 07974-0636)

(72) 발명자
취라플리비앤드류로만
미국07747뉴저지마타완소멀셋플레이스32
이첸바움버날드레이몬드
미국07920뉴저지베스킹리지쥬니퍼웨이18
이메리게리패트릭
미국07750뉴저지몬모우쓰비치미도우애비뉴9
하버제니스비레키
미국30075조지아로스웰리버블룹키400
칼리쉬데이비드
미국30076조지아로스웰트루헤지트레이스330
쿰멀레이몬드브래드필드
미국30247조지아릴번핑거크릭3532

(74) 대리인
이병호

심사관 : 이영수

(54) 1.4㎛ 영역에서 동작하는 고-용량 광섬유 네트워크

요약

고용량 광섬유 네트워크(100,200)는 1.4 미크론(μm) 파장 영역(즉, 1335-1435㎚)내의 파장-분할 멀티플렉싱(WDM)을 포함한다. 그러한 시스템은 1.4μm 영역내의 피크 손실이 1310㎚에서 피크 손실보다 작은 광섬유(130)를 포함한다. 광섬유는 약 1310㎚에서 제로 분산 파장(λ_0)을 가지며 1.4μm 영역내에서 약 1.5 및 8.0 ps/㎚-㎞ 사이의 선형 분산을 갖는다. 적어도 3개의 WDM 채널이 1.4μm 영역내에서 10Gb/s로 동작하며 100 GHz 의 채널 간격을 갖는다. 본 발명의 설명된 일실시예에서, 진폭 변조된 잔류 측파대 변조(amplitude modulated vestigial sideband modulation)를 갖는 방송 텔레비전 채널은 1.3μm 영역(즉, 1285-1335㎚) 및/또는 1.55μm 영역(즉, 1500-1600㎚) 내에서 동시에 동작한다. 본 발명의 다른 실시예에서, 16 디지털 데이터 채널은 1.55μm 영역내에서 함께 멀티플렉싱되며, 각각의 채널은 약 2.5 Gb/s에서 동작한다. 라만(Raman) 증폭기들(103,113)은 1.3μm 및 1.4μm 파장 영역에서 증폭하는데 사용되며, 반면에 에르븀(Erbium) 증폭기(123)는 1.55μm 파장 영역에서 증폭하는데 사용된다.

대표도

도 1

색인어

광섬유, 네트워크, 분산, WDM, 라만 증폭기

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 각각 10 Gb/s까지의 속도로 동작하는 1.4μm 파장 영역의 WDM 채널들과 각각 2.5 Gb/s까지의 속도로 동작하는 1.55μm 파장 영역의 WDM 채널들을 포함하는 고-용량 광섬유 네트워크의 제 1 실시예 도면.

도 2는 각각 10 Gb/s까지의 속도로 동작하는 1.4μm 파장 영역의 WDM 채널들과 1.55μm 파장 영역의 아날로그 CATV 채널을 포함하는 고-용량 광섬유 네트워크의 제 2 실시예 도면.

도 3은 본 발명에 사용되는 색채 (선형) 분산(chromatic (linear) dispersion) 및 광섬유의 전송 손실 특성을 도시하는 도면.

도 4는 본 발명에 사용되는 광섬유를 만드는 상업적으로 실행 가능한 기술의 흐름도.

도 5는 증기 축 증착 공정으로 코어 로드(core rod)의 제작을 일반적으로 도시하는 도면.

도 6은 본 발명에 사용되는 유리 섬유를 끌어당기기 위해 사용되는 광섬유 예비적 형성품(optical fiber preform)의 단면도.

도 7은 1500nm 펌프 파장에서 용융된 실리카(silica)에 대한 라만 이득 계수 대 주파수 쉬프트를 도시하는 그래프.

도면의 주요부분에 대한 부호의 설명

100 : WDM 시스템 111 : 송신기

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 단일 모드 광섬유 시스템들에 관한 것이고, 특히 그러한 시스템 상에서의 파장-분할 멀티플렉싱(WDM)에 관한 것이다.

분산은 유리와 같은 분산 매체를 다른 속도로 통과하는 다른 광 파장에 의한 현상이다. 그리고, 변조된 캐리어 신호가 많은 파장을 포함하므로, 유리 섬유의 먼 끝으로부터 발산하는 광 신호는 가까운 끝에 입사된 신호의 희미한 버전(smeared version)이다. 선형분산의 경우, 광섬유 루트를 따라 주기적으로 보상을 제공하여 해결할 수 있고, 보상 단계가 적을수록 좋다.

종래의 단일 모드 섬유 시스템들은 주로 1285와 1335나노메터(nm) 사이의 파장 영역에서 동작하고, 약 1310nm에서 0-분산 파장을 가진다. 그러나, 그러한 시스템에서 사용된 광섬유는 채널들 간의 비선형상호 작용 및 혼합으로 인하여 근접한 복수의 캐리어 파장을 전송하는데 적합하지 않다. 그러한 비선형 현상의 제한 형태-4-광자 혼합(4PM)-은 문헌(예를 들어, D.Marcuse, A. Chraplyvy 및 R. Tkach에 의한 논설인 제목:"Effect of Fiber Nonlinearity on Long-Distance Transmission," Journal of Lightwave Technology, vol. 9, No. 1, January 1991, pp. 121-128)에 설명되어 있다. 요약하면, 4PM은 다른 신호 채널들 사이에서의 건설적 및 파괴적인 상호 작용으로 인하여 과잉 이득 또는 손실로 나타난다. 4PM의 크기는 전력에 의존하고, 방사 전력을 감소시킴으로써 줄일 수 있다.

다중-채널 광 시스템들은 광섬유의 가장 효과적인 사용을 제공하고, 하나의 전송 방향에의 단일 광 경로에 근접하여 이격된 채널들(파장 영역)을 결합하도록 동작하고, 다른 전송 방향에의 광 경로로부터 그들을 분리하도록 동작하는 파장-분할 멀티플렉서들을 포함한다. 그리고, 종래의 단일 모드 광섬유 시스템이 1.55㎛ 파장 영역에서 WDM 동작을 제공하는 동안, 보상되어야 할 선형분산(예를 들어, 약 17 ps/nm-km)이 너무 많다. 예를 들어, 보상은 매 50에서 100 km 마다 요구되며, 이것은 비실용적인 짧은 거리이다.

광섬유의 신중한 사용은 별개로 또는 함께 모든 형식의 디지털 및 아날로그 정보의 전송을 포함한다. 특별한 사용은 데이터(인터넷 통신과 같은) 뿐만 아니라 방송 텔레비전(TV) 신호들을 포함하고, 전형적으로 진폭 변조된, 잔류-측파대(amplitude modulated,vestigial-sideband)(AM-VSB) 변조를 이용한다. 아날로그 신호들은 본래부터 잡음에 민감하고, 잡음은 TV 화상에서 쉽게 관찰될 수 있다. 특히, WDM 신호들과 같은 다중 파장들이 단일 섬유로 전송될 때, 여기 라만 산란(Stimulated Raman Scattering)(SRS)은 WDM 신호로부터 120nm만큼 긴 다른 파장 영역으로 에너지가 전송되도록 한다. 현재, 동일한 광섬유를 통해 WDM 및 아날로그 TV 신호들을 제공하는 시스템은 없다.

자외선부터 적외선까지의 손실 스펙트럼에서의 어떤 파장에서 OH 이온으로 인한 손실 없는 피크의 완전한 OH-프리 광섬유가 장래 요구되고, 그러한 섬유는 WDM 시스템에 대해 전송 매체로서 중요한 역할을 할 것이라는 것이 논문 제목 Fabrication of completely OH-Free V.A.D. Fiber in Electronics Letters, August 28, 1980 Vol. 16 No. 19에서 알려졌다. 그러나, 이 논문은 그러한 섬유의 분산 특성에 관한 정보를 제공하지 않고, 광섬유의 사용 가능한 손실 스펙트럼 내의 광 채널들의 할당에 관한 정보를 제공하지 않는다.

이러한 이유로, WDM 및 아날로그 TV 신호들 사이의 SRS 간섭을 피하고, WDM 신호들 사이의 4PM 간섭 없이 WDM 동작을 허락하는 종래의 단일 모드 섬유 시스템에 대해 설계된 장치와도 호환가능한 광 전송 시스템은 매우 흥미로울 수 있다. 본 출원은 그러한 시스템을 공개한다.

용어

종래의 섬유(fiber) - 수산기(OH) 이온에 의해 광 에너지의 흡수에 공헌할 수 있는 약 1385nm에서 고 손실의 영역, 약 1550nm에서 최소 손실, 약 1310nm에서 무손실(null)인 분산을 특징으로 하는 단일 모드 유리 섬유.

분산(dispersion) - 단독으로 사용될 때, 이 용어는 색채 분산을 설명-캐리어 스팩트럼 내의 파장-의존 속력에 기인하는 선형 효과.

스팬(span) - 재생기를 갖지 않는 광섬유의 길이를 의미한다. 광 증폭기를 포함할 것 같은 이 길이는 신호가 전자 형식으로/부터 변환되는 스테이션들 사이의 거리이다(일반적으로 가장 가까운 신호 재생기 사이의 거리). 이 스팬은 모든 시스템을 한정하거나, 하나 이상의 부가적인 스팬들과 결합할 수 있다.

평균 시스템 파장(average system wavelength) - WDM 채널들 그룹의 캐리어 주파수들의 산술 평균에 의해 결정된 특정 파장.

파장 영역(wavelength region) - 파장 들의 특정 범위에 대한 약칭 표현. 1.3 미크론(μm) 파장 영역은 여기서 1285와 1335nm 사이의 모든 파장을 포함하도록 정의되고, 1.4μm 파장 영역은 여기서 1335와 1435nm 사이의 모든 파장을 포함하도록 정의되며, 1.55μm 파장 영역은 여기서 1500과 1600nm 사이의 모든 파장을 포함하도록 정의된다.

WDM - 파장-분할 멀티플렉싱(Wavelength-Division Multiplexing). 각각 다른 중심 파장을 갖는 다중 통신 채널들이 광섬유와 같은 단일 전송 경로에 결합된 상태.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

위에서 설명된 선행 기술 시스템의 결함이 1.4μm 파장 영역에서 다중 WDM 채널들을 전송하기 위해 마련된 광 전송 시스템에서 해결될 수 있다는 것을 발견하였다. 그러한 시스템은 1.4μm 파장 영역 내에서 약 1.5와 8.0 ps/nm-km 사이의 선형 분산, 약 1310nm에서 0 분산 파장(λ_0), 1385nm에서 적당히 낮은 손실을 갖는 광섬유를 포함한다. 이런 작지만 중요한 양의 분산은 4-광자 혼합의 효과를 상당히 줄인다. 이것의 넓은 의미에서, 본 발명은 (i) 4-광자 혼합은 WDM 시스템들의 설계에서 반드시 고려되어야 할 적절한 메카니즘이다; (ii) WDM 채널들로부터 여기 라만 산란은 1550nm에서 아날로그 신호 전송에 역영향을 미친다; (iii) 바람직하게, 새로운 WDM 시스템은 종래의 단일 모드 섬유 시스템에 사용된 장치와 역호환이 가능해야한다는 수많은 관찰을 반영한다.

본 발명의 장점은 1.4μm 파장 영역에 WDM 채널들을 위치시켜, 약 1310nm와 1550nm의 파장 영역들이 이러한 영역에서 전통적으로 동작해온 장비로서 사용 가능하다는 것이다.

본 발명의 다른 장점은 분산이 약 8ps/nm-km 미만인 1.4μm 파장 영역에 WDM 채널들을 위치시켜, 거리가 약 200 km보다 짧은 대부분의 대도시의 광 전송 시스템에서 분산 보상을 피할 수 있다는 것이다.

본 발명의 또 다른 장점은 1.4μm 파장 영역에 WDM 채널들을 위치 시켜, 실제적인 버퍼(약 120nm)가 SRS 잡음으로부터 1550nm에서 동작하는 방송 텔레비전과 같은 아날로그 신호들을 보호하기 위해 존재한다는 것이다.

본 발명의 실시예에서, 라만 증폭기들은 1.4μm 파장 영역에서 WDM 채널들의 증폭을 위해 사용되지만, 에르븀(erbium) 증폭기들은 1.55μm 영역에서 동작하는 채널들의 증폭을 위해 사용된다.

발명의 구성 및 작용

본 발명과 본 발명의 동작 모드는 첨부된 도면과 함께 읽을 경우 다음의 상세한 설명으로부터 더욱 명확히 이해될 것이다.

도 1은 본 발명에 따른 고-용량 광섬유 네트워크(100)를 나타낸다. 중요한 것은 복수의 파장-분할 멀티플렉스된(WDM) 채널들이 1.4μm 파장 영역(즉, 1335-1435nm)에서 동작한다는 사실이다. 또한, WDM 채널들은 동일한 광섬유를 1.3μm 파장 영역(즉, 1285-1335nm)에서 동작하는 아날로그 CATV 신호들과 1.55μm 파장 영역(즉, 1500-1600nm)에서 동작하는 다른 WDM 채널들과 공유한다. 예시적으로, 캐리어 파장(λ_{11}, λ_{12}, λ_{13}, λ_{14})을 갖는 4 고속 데이터 채널들을 나타내고, 각각의 캐리어는 초당 10기가비트(Gb/s)의 데이터 속도로 송신기(111)에서 변조된다. 그러한 채널들은 전화, 데이터 및 비디오를 포함하는 대량의 디지털 정보를 전송하는데 효과적이다. 이러한 채널들은 약 1400nm을 중심으로 100 기가헤르쯔(GHz)의 중심간 채널 간격을 갖는다. 그리고, 4 채널들이 도시되지만, 이것 이상 또는 이하의 수가 사용될 수 있다. 또한, 채널 간격은 멀티플렉서 및 디멀티플렉서와 같은 관련된 장치의 활용성 및/또는 비용뿐만 아니라 증폭기 대역폭과 같은 고려에 기초한 네트워크 설계자에 의해 결정된 100GHz보다 작거나 클 수 있다. 전송기(111-1)는 10 Gb/s 속도로 입력 데이터를 수신하고, 공칭 파장, λ_{11} 이 약 1400nm인 간섭성(coherent) 광 소스를 변조한다. 그러면, 광 신호들은 각각 다른 파장을 갖는 복수의 입력을 신호 출력 포트(110)에 결합하는 역할을 하는 광 멀티플렉서(112)에 입력된다.

또한, 16 디지털 채널들은 1.55㎛ 파장 영역에 나타나며, 각 채널은 2.5Gb/s 속도로 송신기(121)에서 변조된 캐리어를 포함한다. 그러한 채널들은 전화, 데이터 및 비디오를 포함하는 디지털 정보를 전송하는데 효과적이다. 이러한 채널들은 약 1550nm를 중심으로 분산되어 있고, 1550nm에서 0.8nm에 대응하는 100GHz의 캐리어 간격을 갖는다. 그리고, 16 채널들이 도시되지만, 이것 이상 또는 이하의 수가 사용될 수 있다. 또한 채널 간격은 멀티플렉서 및 디멀티플렉서와 같은 관련된 장치의 활용성 및/또는 비용뿐만 아니라 증폭기 대역폭과 같은 고려에 기초한 네트워크 설계자에 의해 결정된 100GHz보다 작거나 클수 있다. 송신기(121)로부터의 광 신호들은 각각 다른 파장을 갖는 복수의 입력을 신호 출력 포트(210)에 결합하는 역할을 하는 광 멀티플렉서(122)에 입력된다.

광 멀티프렉싱 및 디멀티플렉싱은 광 그레이팅(optical grating)(즉, 수많은 병렬 도파로 각각은 소정 양만큼 그것의 가장 가까운 이웃에 관해 길이가 상이하다.)에 의해 상호 연결된 한 쌍의 스타 커플러를 통해서 빈번히 성취된다. 그러한 장치의 예는 미국 특허 제5,002,350호 및 제5,136,671호 및 제5,412,744호에 나타난다. 광 전송의 한 방향에서, 멀티플렉서는 복수의 분리되고 구별된 파장 (λ_{11} ,λ_{12} ,,,λ_{1n})이 하나의 스타 커플러의 다른 입력 포트에 입사되고 다른 하나의 스타 커플러의 단일 출력 포트에서 발산하는 멀티플렉서로 사용될 수 있다. 광 전송의 다른 방향에서, 멀티플렉서는 복수의 다른 파장이 하나의 스타 커플러의 단일 포트에 입사되고 그들의 특정한 파장에 따라 다른 스타 커플러의 다중 포트에서 발산하는 디멀티플렉서로서 기능한다.

네트워크(100)에서 송신기(101, 111, 121)와 수신기(105, 115, 125) 사이의 거리에 의존하면서, 광 신호를 증폭하는 것이 필요할 것이다. 광 증폭기들은 그들이 전자 증폭을 위해 광 신호들을 전기적 신호로 변환하지 않고 직접 광 신호를 증폭하고 광 신호로 되돌리기 때문에 재생기에 적합하다. 가급적이면, 라만 증폭기(103, 113)들은 1.3과 1.4㎛ 파장 영역에서 사용되지만, 에르븀 증폭기 (123)들은 1.55㎛ 영역에서 사용된다. 그럼에도 불구하고, 라만 증폭기는 네트워크(100) 내에서 모든 적합한 파장에 사용될 수 있다. 라만 증폭기들은 25-30nm의 사용 가능한 대역폭을 가지고(1997년 4월 22일에 발행된 미국 특허 제5,623,508호 참고), 이것은 본 발명에서 사용하기에 적합하다. 또한, 라만 증폭기는 증가된 대역폭을 위해 병렬 구성으로 배치될 수 있다. 실제로, 다단의 매우 넓은폭 광 증폭기의 설계에 상당한 노력을 기울여 왔다. M. Yamada 등에 의한 논문 vol.33, No. 8, Electronics Letters , 1997년 4월 10일자, 페이지 710-711에 나타난다. 반도체 광 증폭기도 모든 관련 파장에서 저비용으로 본 발명에서 사용할 수 있지만, 성능은 떨어진다.

3 개의 다른 파장 영역에 광 신호를 결합하는 것은 거친(coarse) WDM (CWDM)(131)로 성취 가능하며, 이것은 WDM 채널 세트의 근접하게 이격된 채널들을 수용하는 루트로부터 그것을 구별하기 위해 "coarse"로 적절히 간주된다. CWDM (131)은 1.3㎛, 1.4㎛ 및 1.55㎛ 파장 영역에서 광 신호들을 단일 광섬유 (130)에 결합한다. Mach-Zehnder 간섭계들은 잘 알려져 있고, CWDM(131)을 구성하는데 적합하다. 광섬유(130)는 단일 광섬유를 포함하고, 이것의 손실 및 분산 특성은 도 3에 도시된다. 재생 또는 분산 보상 없이 길이(L)를 확장하는 광섬유(130)의 구성과 특성은 이후에 더 논의될 것이다.

대부분의 광 장치들이 쌍방향성이고, 도 1에 도시된 네트워크(100)가 실제적으로 대칭이기 때문에, 우측 절반 부분의 동작은 쉽게 추론될 수 있다. 예를 들어, CWDM(132)은 1.3㎛ 영역의 파장을 수신기(105)로, 1.4㎛ 영역의 파장을 디멀티플렉서(114)로, 1.55㎛ 영역의 파장을 디멀티플렉서(124)로 지시하는 거친 WDM이다. 유사하게, 디멀티플렉서(114)는 그것의 입력 포트(140)에 존재하는 광 신호를 파장에 따라 특정의 출력 포트에 지시한다. 이것은 캐리어 파장(λ_{11})을 갖는 10Gb/s 채널이 하나의 출력 포트로 루트가 정해지는 동안, 캐리어 파장(λ_{12})을 갖는 다른 10Gb/s 채널이 다른 포트로 루트가 정해지는 것을 말한다. 다시 말해, 각각의 10Gb/s 채널들은 광신호에서 전기 신호로 변환하고 복조하기 위해 수신기(115)로 분배된다. 도 1의 하부는 정보의 16 채널이 송신기(121)에서 수신기(125)로 전송되는 1.55㎛ 파장 영역에서 전송에 관해 다룬다. 이런 파장 영역에서, 에르븀 증폭기(123)가 적당하다. 멀티플렉서(122)와 디멀티플렉서(124)들은 기능적으로 위에서 설명한 멀티플렉서(112)와 디멀티플렉서(114)와 유사하다. 예시적으로, 송신기 (121)와 수신기(125)는 2.5 Gb/s 속도로 디지털 정보를 통신한다. 송신기(101, 111, 121), 수신기(105, 115, 125), 멀티플렉서(112, 122) 및 디멀티플렉서(114, 124)는 당업자에게 잘 알려져 있고 수많은 간행물에 공개되어 있다.

네트워크(100) 내의 광섬유(130)의 스팬이 10 Gb/s의 비트 속도에서 분산 보상 없이 200km 정도가 될수 있는 것은 중요한 장점이다. 이것은 광섬유(130)의 분산이 1.4㎛ 파장 영역에서 약 8.0ps/nm-km 보다 작기 때문에 가능하고, 1.55㎛ 영역에서 WDM 채널들의 데이터 속도들이 약 2.5 Gb/s이하이기 때문에 가능하다. 그러한 거리는 거의 모든 대도시 네트워크들을 커버하기에 충분히 길다.

도 2는 각각 10 Gb/s 속도까지 동작하는 1.4㎛ 파장 영역에서의 WDM 채널들과 1.55㎛ 파장 영역에서의 아날로그 CATV 채널을 포함하는 고-용량 광섬유 네트워크(200)의 제 2 실시예를 도시한다. 네트워크(200)에서 사용되는 구성 요소는 진폭 변조된 잔류-측파대(AM-VSB) 변조를 사용하는 1.55㎛ 영역에서의 방송 TV 신호들을 전송하고 수신하기 위해 채택된 송신기(141) 및 수신기(145)를 제외하고 도 1의 네트워크(100)에 사용된 구성 요소와 실질적으로 동일하다. AM-VSB 아날로그 변조는, 가짜(spurious) 신호가 부가되면, TV 화상은 품질이 저하된다는 점에서 잡음-민감형이다. 도 2는 방송 TV에 따라 디지털 전송의 수많은 광 채널을 캐리하기 위한 기술을 개시하며, 여기서 TV 광 채널은 Super Head End로부터 넓은 분배를 위해 적합한 파장(즉, 1550nm)에 있다.

다중 파장을 단일 광섬유로 전송한다면, 신호 에너지를 한 파장에서 다른 파장으로 전송할 수 있는 몇몇 비선형 메커니즘이 있다. 이들 메커니즘의 하나는 여기 라만 산란이며, 이것은 SRS가 에너지를 더 높은 파장으로 전송하기 위한 수단을 제공하기 때문에, 하나의 섬유에 캐리된 많은 파장들이 있을 때, 특히 까다롭다. 다음에 논의될 것은 Kaminow와 Koch에 의해 편집된Optical Fiber TelecommunicationsⅢA 라는 제목의 책 239-248 페이지에서 발췌된다.

여기 라만 산란(SRS)은 빛과 분자 진동 사이의 비선형 파라메트릭한 상호 작용이다. 광섬유에 입사된 빛은 부분적으로 산란되고 주파수가 다운 쉬프트된다.광 주파수의 변화는 분자-진동 주파수에 대응한다. SRS는 여기 브릴로우인 (Brillouin) 산란(SBS)과 유사하지만, 순방향 또는 역방향에서 발생할 수 있다. 라만 이득 계수는 브릴로우인 이득 계수 보다 작은 약 3 오더의 크기이어서, 단일-채널 시스템에서, SRS 임계값은 SBS 임계값보다 큰 약 3오더의 크기이다. 그러나, SRS에 대한 이득 대역폭은, 12THz 또는 120nm의 오더에서, SBS에 대한 것보다 더 크다. 이 SRS는 WDM 시스템에서 다른 채널들을 결합할 수 있고, 혼선을 일으킬 수 있다.

도 7을 간단히 참조하면, 용융된 실리카 섬유에서의 라만 이득을 나타낸다. SRS로 인하여, WDM 시스템에서, 더 긴 파장에서의 신호들은 더 짧은-파장 신호에 의해 증폭되고, 이것은 더 짧은 파장 신호의 품질 저하 및 더 긴 파장에서 잡음을 유발한다. 비록 120nm을 넘는 상당한 감소가 있지만, SRS는 파장에서 140nm까지 분리된 채널들을 결합한다. 고밀도 WDM 전송 시스템에 가장 효과적이고 적합한 방법으로서, 많은 파장 캐리 신호들이 있다면, 그들은 모두 누적적으로 에너지를 120nm 길이까지의 파장에 캐리된 신호에 준다. 도 2에서 나타낸 바와 같이, 1.55㎛ 영역에서 AM-VSB 신호 전파 때문에, 이것은 1430nm에서 1550nm 사이의 파장에 있는 어떤 신호도 에너지를 AM-VSB로 전송할 수 있고 그것의 품질을 저하할 수 있다는 것을 의미한다. 그래서, 한가지 면에서, 방송 TV 신호는 가능한 한 격리되어야 하고, 다른 하나는 이용자가 가능한 한 많은 활성 파장을 위한 섬유를 이용하려고 한다.

도 3은 광섬유의 선형 분산(303) 및 전송 손실(301) 특성을 나타내는 그래프이고, 이것은 본 발명에서 사용하기에 적합하다. 도시된 파장 영역에서의 손실은 주로 레이레이(Rayleigh) 산란과 수산기 이온(OH) 흡수에 기인할 수 있다. 레이레이 산란은 섬유 물질 내에서 밀도 및 조성의 변화로부터 유발되는 기본 현상이다. 레이레이 산란은 $1/\lambda^4$에 비례하며, 여기서 λ는 빛의 파장이다. 그것은 근본적이고, 제거될 수 없으며, 섬유 손실에 하한을 설정한다. 예를 들어, 1.4㎛ 영역에서의 손실은 또한 유리 내에서 나타나는 OH 이온의 수에 의해 결정된다. 그러한 손실은 그것의 다른 진동 모드에 관련된 파장에서 OH 이온에 의해 흡수된 광파 에너지로부터 발생한다. 지금까지, 1.4㎛ 영역 내의 동작은 OH 이온에 의한 에너지 흡수에 기인할 수 있는 손실 때문에 장거리 광 전송(즉, 10km 이상)에 효과적으로 제외되어 왔다. 그러한 손실은 도 3에 워터 피크(water peak)(302)로 나타나고, 이것은 종래의 유리 섬유와 관련된다. 그러한 손실은 본 발명에 사용된 유리 섬유에는 나타나지 않는다. 실제로, 본 발명에 사용하기 적합한 광섬유에 대한 명세 표가 연구되었다. 그러나, 이것은 수용 가능한 섬유의 모든 범위를 제한할 의도는 아니며, 단지 예시적인 목적으로 나타내었다.

예시적인 섬유 명세표

최대 감쇠 :	
1310 nm	0.35-0.40 dB/km
1385 nm	0.31 dB/km
1550 nm	0.21-0.25 dB/km
모드 필드 지름 :	
1310 nm	9.3 ±0.5 μm
1550 nm	10.5 ±1.0 μm
코어/클래드 이심률	< 0.6 μm
클래딩 지름	125 ±1.0 μm
컷오프 파장	< 1260 nm
0-분산 파장	1300-1322 nm
분산	> 0.8 ps/nm-km (1335-1435 nm)
분산 경사	< 0.092 ps/nm^2-km (최대)
매크로벤딩(Macrobending)	< 0.5 dB at 1550 nm (1 turn, 32 mm)
" "	< 0.05 dB at 1550 nm (100 turns, 75 mm)
코팅지름	245 ±10 μm
방수 시험	100 kpsi

본 발명은 1.4μm 파장 영역에서 낮은 손실을 갖는 광섬유를 사용한다. "낮은 손실"은 광 신호에 의한 감쇠는 종래의 단일 모드 광섬유에 대해 실질적으로 감소된다는 것을 의미한다. 그러한 섬유를 만들기 위한 기술은 아래에 간단히 설명된다.

도 4는 1385nm에서 낮은 손실을 갖는 광섬유를 제조하기 위한 기술의 일반적인 개요이다. 이러한 단계들은 개별적인 번호(41 - 48)를 갖는다. 첫 3 단계(번호 41 - 43)는 유리관으로 피복될 수 있는 적합하게 낮은 OH 함량(즉, 0.8 parts per billion 이하)을 갖는 코어 로드의 제조에 관련된다. 따라서, 첫 3 단계는 7.5보다 작은 증착된 클래딩/코어 비율을 갖고, 중량이 0.8ppb 보다 작은 OH 함량을 갖는 코어 로드를 형성하는 단일 단계로 대체될 수 있다. 가급적이면, 코어 로드는 아래에 설명되는 단계 41의 기상 축 증착(VAD) 공정으로 제조된다.

코어 로드 제조

유리 입자 또는 "그을음(soot)"이 실리카 시작 로드에 증착된 VAD 공정에 대한 논의가 도 5를 참고로 설명될 것이다. 코어 로드(50)는 코어(51)를 구성하고 코어의 굴절률이 증착된 클래딩(52)의 굴절률보다 높다. 빛은 굴절률이 높은 영역으로 굴절한다는 것과, 이 물리 법칙은 빛을 광섬유의 중심을 따라 가이드하기 위해 사용된다는 것을 유념해야 한다. 상대적으로 높은 굴절률을 갖는 영역을 생성하기 위해, 토치(torch)(501)에 연료(예를 들어, 산소 및 수소) 및 원료 물질(예를 들어, $GeCl_4$ 및 $SiCl_4$)을 공급하여, 토치가 화염 내의 증기화된 원료 물질을 유리 로드의 중심을 향해 발산한다. 화염은 유리 입자(그을음)를 코어 로드(50)에 증착하기 위해 원료 물질이 반응하도록 한다. 일반적으로 코어 로드는 그것의 상부 끝에서 최초의 증착에서 수직적으로 확장한다. 그후, 수직적으로 위로 움직이고 회전하여 유리 그을음이 그것의 전체 길이와 원주를 따라 증착된다. 다른 토치(502)는 증착된 클래딩이라 불리는 유리(52)의 층을 코어(51)에 증착하기 위해 사용된다. 예를 들어, 클래딩(52)을 만들기 위해 토치(502)에서 사용된 원료 물질은 $SiCl_4$이다. 그러므로, 코어(51)의 게르마늄 도핑이 클래딩 보다 높은 굴절률을 갖는 코어를 생성하기 위한 한가지 방법이다. 대안적으로, 증착된 클래딩의 불소 도핑이 코어보다 낮은 굴절률을 갖는 클래딩을 생성할 수 있는 동안, $SiCl_4$는 코어(51)를 만들기 위해 사용된 원료 물질일 수 있다. 이 상태에서, SF_6, CCl_2F_2, CF_4와 같은 불화물들은 클래딩 토치(502)에서 $SiCl_4$와 혼합된다. 다른 섬유 제조 공정에 관한 상세는Optical Fiber Telecommunications Ⅱ 라는 책의 4장, 아카데믹 프레스, Inc., ⓒ 1988 ATT와 벨 통신 리서치에 담겨 있다. 특히, 4.4.4절(페이지 169-180)은 VAD 공정을 다룬다.

위에서 설명한 VAD 공정에서, 증착된 클래딩(D)의 지름은 코어(d)의 지름보다 7.5배나 작다. 그리고, 코어 로드 제조가 비싼 공정이기 때문에, 코어 로드를 만드는데 절약된 시간은 낮은 섬유 비용으로 직접 전환된다. 사실, 코어 로드에 요구된 VAD 증착의 양은 $(D/d)^2$에 비례한다. 그러나, 코어 로드에 대한 D/d가 작아짐에 따라, 오버 클래딩 튜브에서 순수성의 필요성이 증가한다. D/d를 감소시킴으로써, 섬유 내에서 더 많은 광 전력이 오버 클래딩 튜브에서 이동하고, OH 이온과 같은 불순물은 부가적인 흡수 손실을 발생시킨다. 이것은, 특히 섬유 끌어 당기기 동작 동안에 OH 이온이 이동성이고 코어로 이동할 것이기 때문이다. 그리고 더 나쁜 것은, OH 이온이 수소로 분해될 수 있고, 이것은 OH보다 더 이동성이 크고, 섬유 끌어 당기기 동안 섬유 코어로 확산할 수 있다. 섬유 코어에서의 수소와 원자 결함 사이의 다음 반응은 OH 이온이 거기에 형성되도록 할 것이다. 2.0보다 작은 증착된 클래딩/코어 비율을 갖는 코어 로드는 특별히 낮은 OH 함량을 갖는 오버 클래딩 튜브를 요구하며, 이것은 현재 비용 효율적이지 않다. 따라서, 증착된 클래딩/코어 비율에 대한 상업적으로 실용적인 범위는 현재 $2.0 < D/d < 7.5$로 결정되어 왔다.

도 4의 단계 42는 코어 로드가 약 1200℃의 온도에서 염소-또는 불소-함유 분위기에 위치됨으로써 탈수된다는 것을 나타낸다. 이 단계에서, 코어 로드는 다공성의 그을음 바디(porous soot body)와 염소 가스이며, 예를 들어, 그을음 바디의 구멍(interstice)에 쉽게 침투할 수 있고, OH 이온을 염소 이온으로 대체하여, 실질적으로 방수인 그을음 바디를 만든다. OH 이온 교체 비율은 염소 가스 유속과 탈수 온도에 관련된다.

도 4의 단계 43은 코어 로드가 약 1500℃의 온도에서 헬륨 분위기에 위치시켜 강화하는 것을 나타낸다. 강화(consolidation)는 다공성 그을음 로드가 입자 경계가 없는 고밀도 유리로 변환되는 단계이다. 탈수와 강화 단계에 관한 상세는 1976년 1월 20일에 발행된 미국 특허 제3,933,454호에 나타난다.

도 4의 단계 44는 코어 로드가 산소-수소 토치를 사용하여 양호하게 늘어난 것을 나타낸다. 이것은 이 단계에서 요구된 열의 많은 양을 공급하는 가장 비용-효율적인 수단이다. 대안적으로, 이 단계는 아래에 설명되는 수소-없는 플라즈마 토치를 사용하여 수행되고, 에칭의 필요성을 효과적으로 제거(단계 번호 45)한다. 전형적으로, VAD 공정으로 성장한 코어 로드들은 너무 커서 바람직한 크기의 오버 클래딩 튜브에 맞지 않고, 대개 삽입 전에 그들의 지름을 감소하기 위해 늘려진다. 늘림은 구성이 당업자에게 잘 알려진 유리 선반에서 이루어진다. 코어 로드는 결합(cojoint) 회전을 위해 선반의 헤드 스톡(head stock)과 테일 스톡(tail stock) 사이에 장착된다. 코어 로드가 회전함에 따라, 토치는 헤드 스톡을 향해 일정한 속도로 그것의 중심 축을 따라 그것의 아래로 이동한다. 토치의 이동과 동시에, 늘려져야할 코어 로드가 지름이 줄어들면서, 테일 스톡은 헤드 스톡으로부터 멀어진다. 수소와 산소 같은 가연성 가스들은 각각 분당 30 리터(lpm)와 15 lpm의 예시적인 속도로 토치를 통해 흐른다. 그리고 수소의 사용이 상업적으로 실용적인 반면에, 그것은 코어 로드의 표면에 OH의 층을 생성한다. 코어 로드 늘림은 당업자에게 알려져 있고 상세는 예를 들어, 1986년 3월 25일에 발행된 미국 특허 제4,578,101호에 개시되어 있다.

코어 로드 에칭

단계 45는 늘려진 코어 로드가 수소-없는 플라즈마 토치로 양호하게 에치되는 것을 나타낸다. 비록 다른 에칭 기술은 로드의 표면으로부터 OH 이온을 효과적으로 제거하기 위해 사용될 수 있다는 것이 이해되지만, 플라즈마 에칭 공정의 간단한 논의가 아래에 나타난다. 이러한 다른 에칭 기술들은 제한적이지는 않지만 기계적 연마 및 화학적 에칭이다.

등온 플라즈마는 유리 로드의 외부 표면으로부터 (에칭) 실리카 및 실리카 유리를 신속히 제거하기 위해 사용될 수 있다(예를 들어, 미국 특허 제5,000,771 참고). 등온 플라즈마 토치와 함께, 물질 제거를 위한 주요 메커니즘은 높은 플라즈마 온도 때문에 증기화이며, 이것은 전형적으로 플라즈마 중심에서 9000℃ 보다 더 높은 레벨을 얻을 수 있다. 전기적으로 전도성인 파이어볼(fireball)의 내화 유전체 표면과 접촉은 효과적으로 에너지를 표면으로 전달하고, 유전체 물질의 기화점 이상으로 표면 온도를 올린다.

모든 섬유 비용은 더 큰 오버 클래딩 튜브의 사용으로 감소될 수 있다. 가급적이면, 튜브는 합성 실리카를 포함하고, 이것은 높은 순수성, 낮은 감쇠 및 높은 장력으로 알려져 있다. 오버 클래딩 튜브의 순수성은 코어에 얼마나 가깝게 위치될 수 있는지를 결정할 것이다. 단계 46은 코어 로드가 적합하게 낮은 레벨의 OH를 갖는 유리관으로 피복되는 것을 나타내며, 이것은 D/d의 값이 작아짐에 따라, 튜브의 순수성은 높아져야 한다는 것을 의미한다(즉, 그것의 OH 함량이 낮아져야 한다.). 예를 들어, 아래의 표는 본 발명에 사용하기에 적합하게 낮은 오버 클래딩 튜브에서 다양한 OH 농도 레벨을 나타낸다.

D/dOH 농도

7.5 < 200ppm

5.2 < 1.0ppm

4.4 < 0.5ppm

도 4의 단계 47은 유리 튜브가 예비적 형성품(60)을 생성하기 위해 코어 로드로 붕괴(collapse)되며, 단면도가 도 6에 도시된다. 붕괴는 오버 클래딩 튜브(62)를 가열하기 위한 링-타입 토치를 사용하여 예시적으로 이루어질 수 있고, 이것은 수직 방향으로 향하고 로드(50)를 감싼다. 이 공정에 관한 상세는 미국 특허 제4,820,322호에 담겨 있다. 마지막으로, 도 4의 단계 48은 예비적 형성품의 가열된(약 2000℃) 끝 부분으로부터 광섬유를 늘리는 잘 알려진 공정을 나타낸다.

비록 많은 특정의 실시예가 도시되고 설명되었지만, 본 발명의 범위 내에서 변경이 가능하다는 것을 알 수 있다. 이러한 변경은 제한적이지 않게 도 1 및 도 2의 실시예에 도시된 것과 다른 수의 멀티플렉스된 채널들, 에르븀 또는 라만 증폭기보다 반도체 광 증폭기를 사용, WDM 채널들의 비-균일 간격, 및 공개된 것과 다른 데이터 전송 속도에서의 동작을 포함한다.

발명의 효과

본 발명은 WDM 및 아날로그 TV 신호들 사이의 SRS 간섭을 피하고, WDM 신호들 사이의 4PM 간섭 없이 WDM 동작을 허락하는 종래의 단일 모드 섬유 시스템에 대해 설계된 장치와도 호환가능한 광 전송 시스템을 제공한다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

복수의 디지털 정보 채널들을 전송 경로 상에 효과적으로 상호 연결하는 제 1 멀티플렉서(112)와,

길이(L)가 10km를 초과하고 0 분산 파장(λ_0)이 약 1310nm인 광섬유(130)의 스팬을 포함하는 전송 경로를 포함하는 파장-분할-멀티프렉싱 시스템(100, 200)에 있어서,

상기 광섬유는 1310nm에서의 손실보다 작은 1385nm에서의 손실과, 1.4㎛ 파장 영역에서 1.5와 8.0 ps/nm-km 사이의 색채 분산을 갖고,

상기 제 1 멀티플렉서는 1.4㎛ 파장 영역에서 적어도 3 채널의 파장-분할 멀티플렉서된 신호들을 상기 전송 경로에 제공하는 것을 특징으로 하는 파장-분할-멀티플렉싱 시스템.

청구항 2.

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 멀티플렉서(112)에 효과적으로 상호 연결된 복수의 송신기들(111-1,...,111-4)을 더 포함하고, 상기 송신기들의 각각은 서로 다른 소정의 파장에서 변조된 광 신호들을 제공하는 것을 특징으로 하는 파장-분할-멀티플렉싱 시스템.

청구항 3.

제 1 항에 있어서,

상기 전송 경로를 복수의 수신기(115-1,...,115-4)에 효과적으로 상호 연결하는 제 1 디멀티플렉서(114)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 파장-분할-멀티플렉싱 시스템.

청구항 4.

제 1 항에 있어서,

상기 멀티플렉서된 채널들의 각각은 적어도 5 Gb/s의 데이터 전송 속도를 갖는 디지털 정보를 포함하는 것을 특징으로 하는 파장-분할-멀티플렉싱 시스템.

청구항 5.

제 1 항에 있어서,

인접한 채널들은 200GHz 이하로 분리되어 이격된 것을 특징으로 하는 파장-분할-멀티플렉싱 시스템.

청구항 6.

제 1 항에 있어서,

1.3㎛ 파장 영역에서 상기 전송 경로에 변조된 광 신호들의 채널을 효과적으로 상호 연결하는 송신기(101)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 파장-분할-멀티플렉싱 시스템.

청구항 7.

제 6 항에 있어서,

상기 1.3㎛ 파장 영역에서 상기 채널의 변조 방식은 진폭 변조, 잔류 측파대(AM-VSB) 변조를 포함하는 것을 특징으로 하는 파장-분할-멀티플렉싱 시스템.

청구항 8.

제 1 항에 있어서,

상기 1.55㎛ 파장 영역에서 변조된 광 신호들의 적어도 하나의 채널을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 파장-분할-멀티플렉싱 시스템.

청구항 9.

제 8 항에 있어서,

상기 1.55㎛ 파장 영역에서 상기 채널의 변조 방식은 진폭 변조, 잔류 측파대(AM-VSB) 변조를 포함하는 것을 특징으로 하는 파장-분할-멀티플렉싱 시스템.

청구항 10.

제 8 항에 있어서,

상기 1.55㎛ 파장 영역에서 상기 전송 경로에 복수의 디지털 정보 채널들을 효과적으로 상호 연결하는 제 2 멀티플렉서를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 파장-분할-멀티플렉싱 시스템.

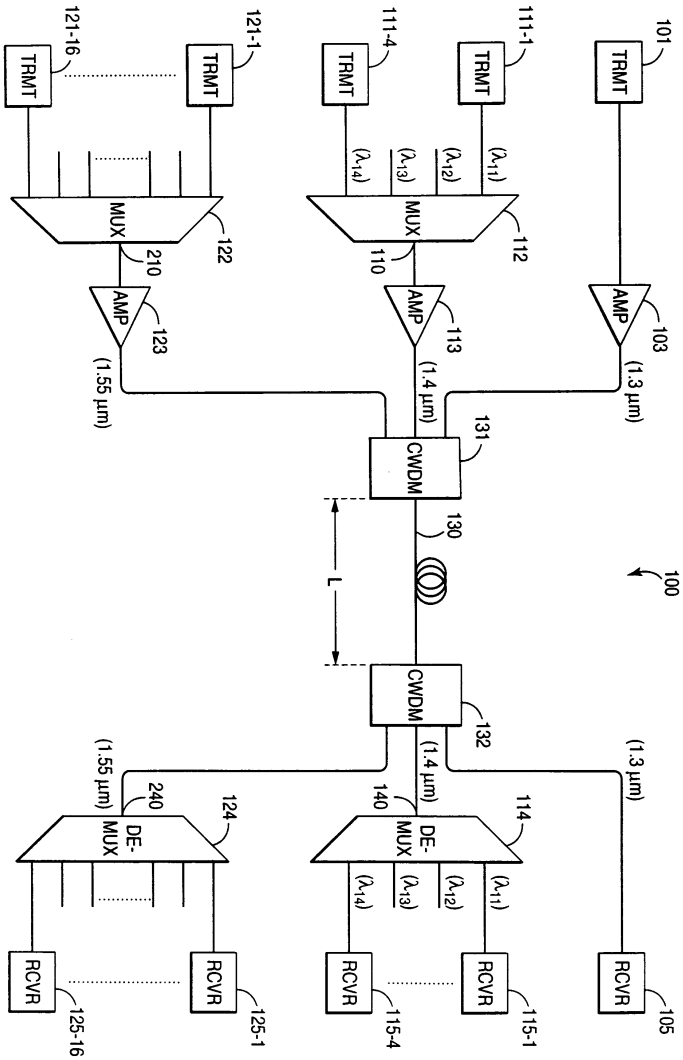
청구항 11.

제 10 항에 있어서,

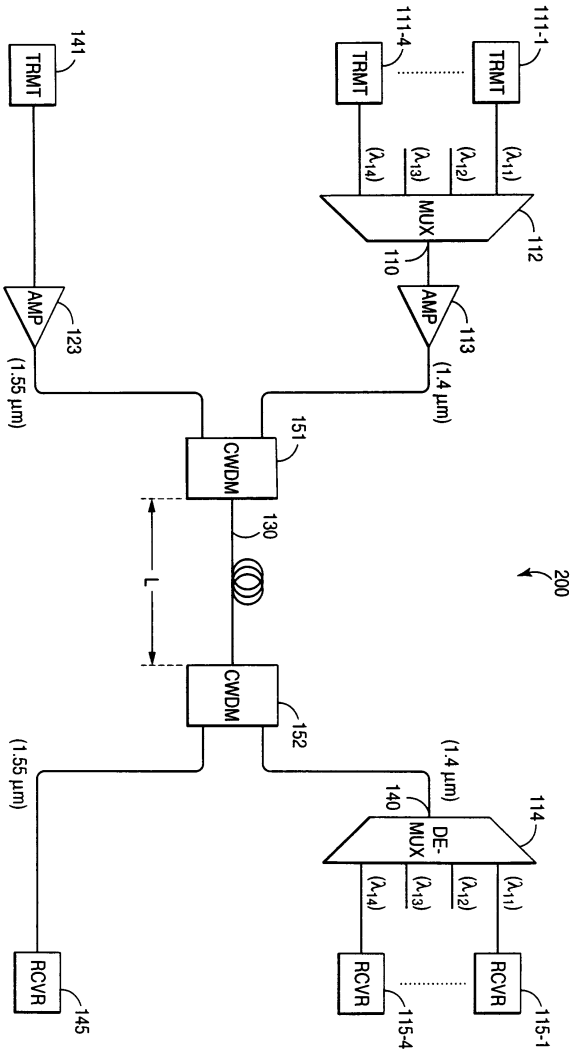
상기 1.55㎛ 파장 영역에서 상기 디지털 정보 채널들의 각각은 적어도 2.5 Gb/s의 데이터 전송 속도를 갖는 것을 특징으로 하는 파장-분할-멀티플렉싱 시스템.

도면

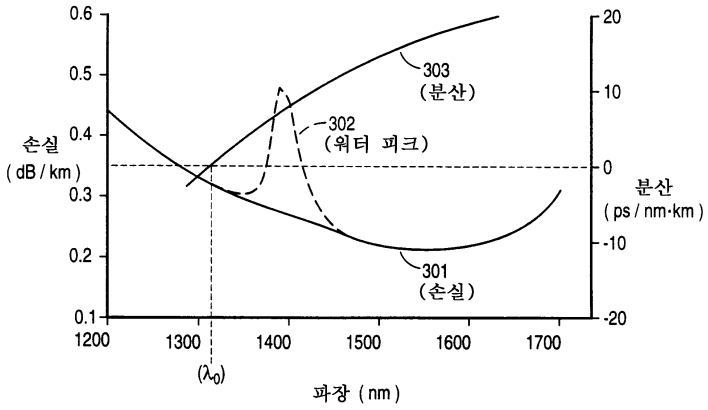
도면 1


TRMT
TRMT
TRMT
TRMT
TRMT
101
111-1
111-4
121-1
121-16
MUX
MUX
112
110
122
210
AMP
AMP
AMP
103
113
123
(1.3 μm)
(1.4 μm)
(1.55 μm)
CWDM
131
130
L
100
CWDM
132
(1.3 μm)
(1.4 μm)
(1.55 μm)
DE-MUX
DE-MUX
114
140
124
240
RCVR
RCVR
RCVR
RCVR
RCVR
105
115-1
115-4
125-1
125-16

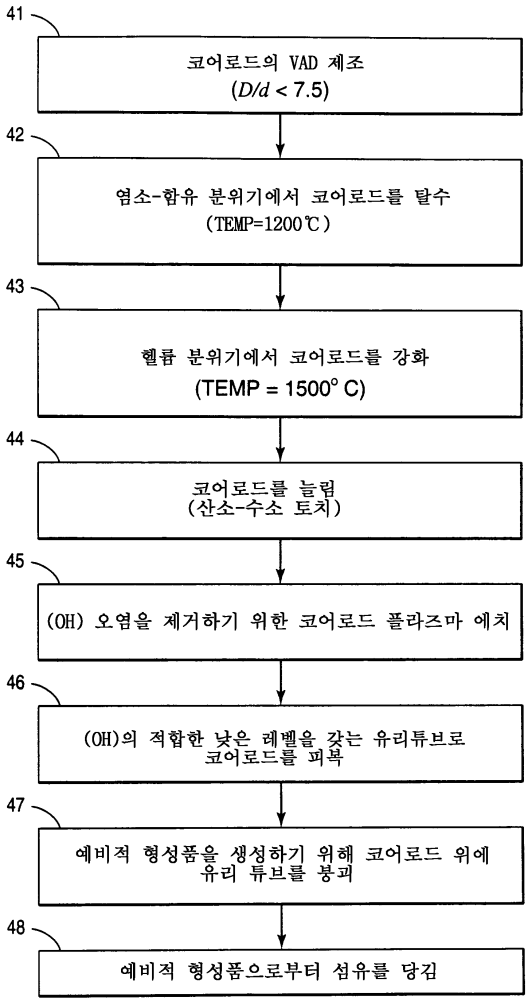
도면 2


111-1
111-4
TRMT
TRMT
141
TRMT
(λ11)
(λ12)
(λ13)
(λ14)
MUX
112
110
AMP
123
AMP
113
(1.55 μm)
(1.4 μm)
151
CWDM
130
L
200
CWDM
152
(1.55 μm)
(1.4 μm)
140
DE-MUX
114
RCVR
145
RCVR
115-4
RCVR
115-1

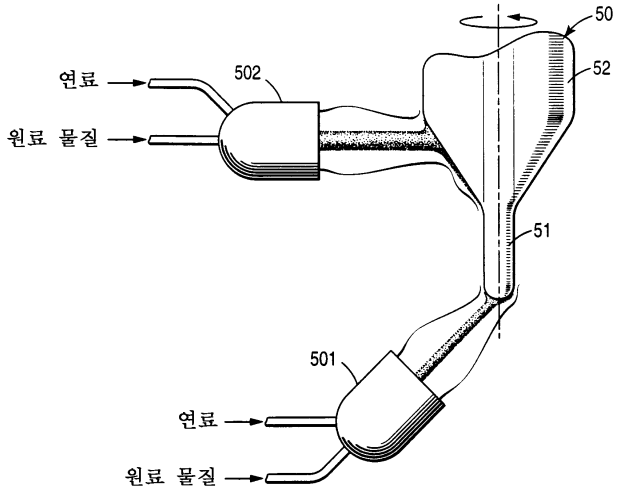
도면 3


0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
손실
(dB / km)
20
10
0
-10
-20
분산
(ps / nm·km)
303
(분산)
302
(워터 피크)
301
(손실)
1200
1300
1400
1500
1600
1700
(λ0)
파장 (nm)

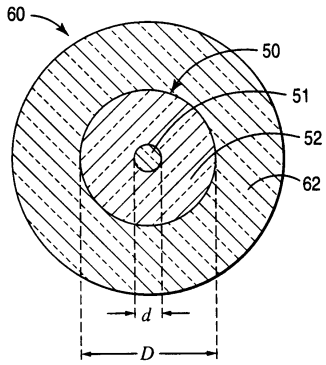
도면 4


41
코어로드의 VAD 제조
(D/d < 7.5)
42
염소-함유 분위기에서 코어로드를 탈수
(TEMP=1200℃)
43
헬륨 분위기에서 코어로드를 강화
(TEMP = 1500° C)
44
코어로드를 늘림
(산소-수소 토치)
45
(OH) 오염을 제거하기 위한 코어로드 플라즈마 에치
46
(OH)의 적합한 낮은 레벨을 갖는 유리튜브로
코어로드를 피복
47
예비적 형성품을 생성하기 위해 코어로드 위에
유리 튜브를 붕괴
48
예비적 형성품으로부터 섬유를 당김

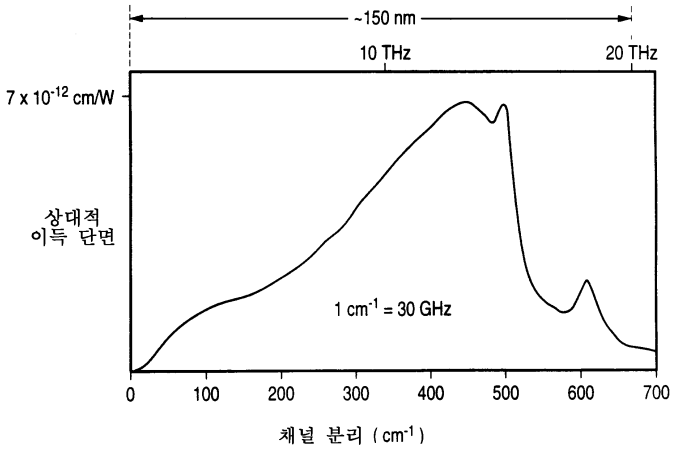
도면 5



도면 6



도면 7


~150 nm
10 THz
20 THz
7 x 10-12 cm/W
상대적
이득 단면
1 cm-1 = 30 GHz
0
100
200
300
400
500
600
700
채널 분리 (cm-1)