(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년01월14일
(11) 등록번호 10-0878709
(24) 등록일자 2009년01월08일

(51) Int. Cl.
G02B 6/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2002-0035576
(22) 출원일자 2002년06월25일
심사청구일자 2007년03월26일
(65) 공개번호 10-2003-0003018
(43) 공개일자 2003년01월09일
(30) 우선권주장
09/891,900 2001년06월26일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2000143275 A
KR1020020084506 A
US6131415 A1
전체 청구항 수 : 총 3 항

(73) 특허권자
피텔 유.에스.에이. 코포레이션
미국 조지아주 30071 노크로스 슈트 에프020 노스 이스트 익스프레스 웨이 2000
(72) 발명자
창카이에이치.
미국조지아30024스와니베이스워터드라이브170
칼리시데이비드
미국조지아30076로스웰트루헤지트레이스330
밀러토마스존
미국조지아30022알파레타배니언레인3735
(74) 대리인
이병호, 장훈

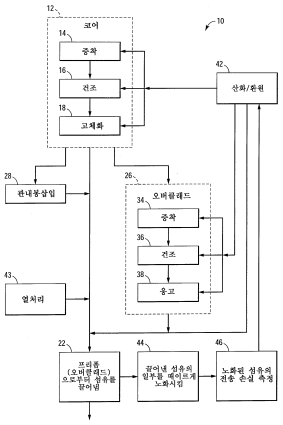
심사관 : 정소연

(54) 산소 화학량론을 조정하여 광섬유를 제조하는 방법

(57) 요 약

본 발명의 실시예는 노화 손실과 광섬유의 수명에 걸쳐 겪는 다른 손실이 감소되는 광섬유를 제조하는 방법(10)과, 이러한 광섬유를 포함하는 광학 시스템을 포함한다. 광섬유 프리폼(optical fiber preform)들로부터 광섬유를 끌어낼 때 수소 원자를 유인 및 결합하여 광섬유의 전송 손실을 증가시키는 분자를 생성할 가능성을 감소시켜 광섬유 프리폼들에서 결함들이 발생할 가능성을 감소시키기 위해 섬유 제조 환경들에서 개선된 조건들이 제공된다. 이러한 개선된 조건들은 광섬유 제조 처리 단계가 실행되는 하나 이상의 환경에서 산소 화학량론의 설정 및 조정(42)을 포함한다. 본 발명의 실시예에 따른 방법에 의해 제조된 광섬유는 개선된 전송 특성, 예를 들어 1385 나노미터에서의 전송손실은 0.33 dB/km 미만이고 이후의 전송 손실 변화는 0.05 dB/km 미만의 전송 특성을 갖는다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

광섬유 제조 방법(10)에 있어서:

(a) 클래딩 영역(cladding region)에 의해 둘러싸인 코어 영역을 갖는 글래스 코어 로드(glass core rod)를 수트 증착(soot deposition)에 의해 형성하는 단계(14);

(b) 적어도 산소, 불소, 불소-함유 가스, 염소, 염소-함유 가스 및 일산화탄소를 포함하는 제 1 분위기(atmosphere)에서 상기 글래스 코어 로드를 건조시키는 단계(16)로서, 상기 산소의 분압은 제어 가능한, 상기 글래스 코어 로드 건조 단계(16);

(c) 상기 글래스 코어 로드를 굳히는 단계(18);

(d) 상기 광섬유의 프리폼(preform)으로부터 광섬유를 끌어내는 단계(22);

(e) 상기 끌어낸 광섬유의 일부를 때 이르게 노화시키기 위해 적어도 상기 끌어낸 광섬유의 최소한의 상기 일부를 수소에 노출시키는 단계(44);

(f) 상기 광섬유의 노화된 일부의 동작 가능한 파장 범위에 걸쳐 전송 손실을 측정하는 단계(46);

(g) 상기 측정된 전송 손실에 기초하여, 수소 노화와 연관된 상기 전송 손실을 감소시키기 위해 상기 제 1 분위기에서 상기 산소의 분압을 조정하는 단계(42); 및

(h) 적어도 상기 단계 (a) 내지 (d)를 최소한으로 반복하는 단계를 포함하는, 광섬유 제조 방법(10).

청구항 2

광섬유 제조 방법(10)에 있어서:

(a) 제 1 분위기에서 클래딩 영역으로 둘러싸인 코어 영역을 갖는 글래스 코어 로드를 형성하는 단계(12);

(b) 오버클래드 광섬유 프리폼(overclad optical fiber preform)을 형성하기 위해 상기 글래스 코어 로드 둘레에 오버클래드 영역을 형성하는 단계(26)로서,

상기 글래스 코어 로드 둘레에 수트(soot)를 증착하는 단계(34), 적어도 산소, 불소, 불소-함유 가스, 염소, 염소-함유 가스 및 일산화탄소를 포함하고 상기 산소의 분압이 제어 가능한 제 2 분위기에서 상기 증착된 수트를 건조시키는 단계(36), 및 상기 글래스 코어 로드 둘레의 상기 증착된 수트를 굳히는 단계(38)를 포함하는, 상기 오버클래드 영역 형성 단계(26);

(c) 상기 오버클래드 광섬유 프리폼으로부터 광섬유를 끌어내는 단계(22);

(d) 상기 끌어낸 광섬유의 일부를 때 이르게 노화시키기 위해 적어도 상기 끌어낸 광섬유의 최소한의 상기 일부를 수소에 노출시키는 단계(44);

(e) 상기 광섬유의 노화된 일부의 동작 가능한 파장 범위에 걸쳐 전송 손실을 측정하는 단계(46);

(f) 상기 측정된 전송 손실에 기초하여, 수소 노화와 연관된 전송 손실을 감소시키기 위해 상기 제 2 분위기에서 상기 산소의 분압을 조정하는 단계(42); 및

(g) 적어도 상기 단계 (a) 내지 (c)를 최소한으로 반복하는 단계를 포함하는, 광섬유 제조 방법(10).

청구항 3

광섬유 제조 방법(10)에 있어서:

제 1 분위기에서 클래딩 영역으로 둘러싸인 코어 영역을 갖는 글래스 코어 로드를 형성하는 단계(12);

오버클래드 광섬유 프리폼을 형성하기 위해 상기 글래스 코어 로드 둘레에 오버클래드 영역을 형성하는 단계(26); 및

상기 오버클래드 광섬유 프리폼으로부터 섬유를 끌어내는 단계(22)를 포함하고,

최소한의 상기 글래스 코어 로드 형성 및 상기 오버클래드 영역 형성 단계들은 수트 증착에 의해 수행되며, 상기 수트 증착은 최소한의 산소, 불소, 불소-함유 가스, 염소, 염소-함유 가스 및 일산화탄소를 포함하는 제 2 분위기에서 증착된 수트를 건조시키는 단계를 포함하고, 상기 산소의 분압은 상기 오버클래드 광섬유 프리폼으로부터 끌어낸 상기 광섬유가 1385 나노미터에서 0.33 dB/km보다 적은 전송 손실을 갖고 이후의 전송 손실 변화는 0.05 dB/km보다 적은 방식으로 제어되는, 광섬유 제조 방법(10).

명 세 서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

<11> 본 발명은 광섬유에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 본 발명은 개선된 전송 특성을 갖는 광섬유를 제조하는 것에 관한 것이다.

<12> 광섬유는 일반적으로, 굴절력이 있는 글래스 코어(refractive glass core)보다 낮은 굴절율을 갖는 보호용 글래스 클래딩(glass cladding)으로 둘러싸인 상기 굴절력이 있는 글래스 코어(refractive glass core)를 갖는 중실 글래스 로드(solid glass rod)를 보통 포함하는 광학 프리폼의 일부분을 가열 및 인출(drawing)하여 제조된다. 그 다음에, 글래스 섬유는 예를 들어, 방사선 경화(radiation cure)되는 하나 이상의 보호용 코팅 재료들의 층들로 코팅된다.

<13> 종래로부터, 광섬유 프리폼을 제조하기 위해 변형 화학 증착법(MCVD; modified chemical vapor deposition), 기상축 증착법(VAD; vapor axial deposition), 외부 증착법(OVD; outside vapor deposition)을 포함하는 몇가지 공정이 존재한다. 종래의 VAD 및 OVD 공정에서, 글래스 입자층 또는 "수트(soot)" 층이 스타터 로드(starter rod)의 단부 면 또는 외측면에 각각 증착된다. 그 다음에 증착된 수트 층이 예를 들어 염소 또는 불소 함유 대기 중에서 건조 또는 탈수되고, 소결되거나(sintered) 굳혀져(consolidated) 중실 프리폼 코어 로드를 형성한다.

<14> 일단 프리폼 코어 로드가 형성되면, 광섬유가 이로부터 직접 끌어내지거나 또는 다르게는, 이로부터 광섬유를 끌어내기 전에 하나 이상의 오버클래드 층이 프리폼 상에 형성된다. 오버클래드 층은 예를 들어 프리폼 코어 로드를 형성하는데 사용되는 것과 유사한 수트 증착 기술에 의해 프리폼 코어 로드 상에 형성된다. 다르게는, 오버클래드 층이 실리카 계 튜브 또는 슬리브를 프리폼 코어 로드 둘레에 씌워(collaping) 형성된다. 이러한 공정을 일반적으로 관내 봉 삽입법(RIT; Rod-In-Tube)이라 한다. 예를 들어, 본 발명의 출원인이 같이 소유하며 본원에 참고문헌으로 통합되는 미국 특허 4,820,322 호를 참조하라.

<15> 광섬유의 전송 특성은 예를 들어 레이라이 산란(Rayleigh scattering), 섬유의 굽음 및 수산기-이온(OH; hydroxyl-ion) 흡수와 같은 흡수를 포함하는 다수의 인자에 근거하여 변한다. OH 흡수 또는 "수분" 흡수는 특히 중요한데, 왜냐하면 700 내지 1600 나노미터(nm) 즉 현재의 많은 광학 시스템이 작동하는 파장 영역으로부터 비교적 적은 전송 손실 파장 영역 내의 유용한 대역폭을 감소시키기 때문이다.

<16> 섬유 내의 수산기-이온의 배진동(vibrational overtones)으로 인한 OH 흡수는 일반적으로 700 내지 1600 nm 영역 내에서 3개의 손실 피크(peak): 950 nm, 1240 nm, 1385 nm를 일으킨다. 이들 수분 손실 피크, 특히 1385 nm 주변의 수분 손실 피크를 감소시키는 것이 바람직한데, 왜냐하면 1 백만분율(ppm)만큼 낮은 농도의 OH가 싱글모드 광섬유에서 1385 nm에서 65 dB/km만큼 큰 손실을 일으킬 수 있다. 또한, 1385 nm에서의 수분 손실 피크가 감소되면 1200 내지 1600 nm의 전송 손실이 비교적 낮은 연속 영역(uninterrupted region)이 효과적으로 제공된다. 1200 내지 1600 nm의 파장 영역은 특히 중요한데, 왜냐하면 인화 인듐(InP; Indium Phosphide)계 광원과 같은 광원을 풍부하게 사용할 수 있기 때문이다. 예를 들어, 본 출원인에게 양도되어 함께 소유된 창(Chang) 등의 미국 특허 제 6,131,415 호를 참조하라.

<17> 감소 또는 제거하고자 하는 다른 타입의 흡수 손실은 광섬유의 수명에 걸쳐 일어나는 수소 노화 손실을 포함하는 노화 손실이다. 이러한 손실은 광섬유 내의 다양한 결함과 광섬유 주변, 예를 들어 광섬유 케이블 주변의 수소가 화학 반응하여 일어나는 것으로 추정된다. 이러한 결함은 예를 들어 광섬유 제조중에 광섬유로 들어가는 게르마늄(Ge) 결함과 실리콘(Si) 결함을 포함한다.

<18> 광섬유의 수명에 걸친 노화 또는 수소 노화 손실이 감소된, 싱글 모드 광섬유를 포함하는 광섬유 제조 방법 및 이러한 광섬유를 포함하는 광섬유 시스템을 제공하는 것이 바람직하다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<19> 본 발명은 광섬유의 수명에 걸친 노화 손실, 수소 노화 및 다른 손실이 감소된 광섬유 제조 방법 및 이러한 광섬유를 포함하는 광학 시스템을 제공한다. 본 발명의 실시예는 광섬유 프리폼으로부터 광섬유를 끌어낼 때 수소 원자를 유인 및 결합하여 광섬유의 전송손실을 증가시키는 분자를 생성할 가능성을 감소시켜 광섬유 프리폼에서 결함이 발생할 가능성을 감소시키는, 개선된 광섬유 제조 환경 조건들을 제공한다. 이 개선된 조건들은 광섬유 제조 처리 단계가 실행되는 하나 이상의 환경에서 산소 화학량론을 설정 및 조정하는 것을 포함한다.

<20> 본 발명의 실시예에 따른 광섬유 제조방법은 광섬유 프리폼을 제조하고, 프리폼으로부터 섬유를 끌어내고, 끌어낸 광섬유를 대표하는 일부를 때 이르게 노화시키고, 광섬유의 이후의 제조에 대한 하나 이상의 처리 단계 환경의 산소 화학량론을 조정하는 단계를 포함한다. 광섬유 프리폼은 예를 들어 글래스 코어 로드를 형성하고, 산소/염소 또는 산소/불소 대기 중에서 글래스 코어 로드를 건조시키고, 글래스 코어 로드를 굳히고, 글래스 코어 로드 둘레에 오버클래드 영역을 형성하여, 제조된다. 오버클래드 영역을 형성하는 한 방법은 코어 글래스 로드 상에 글래스 형성용 수트(soot)를 증착시키고, 증착된 수트 입자를 건조시키고, 건조된 수트 입자를 굳히는 것이다. 본 발명의 실시예에 따르면, 하나 이상의 처리 단계 환경의 산소 화학량론은 이들 처리 단계에 따라 제조된 프리폼으로부터 끌어낸 광섬유의 노화 손실을 감소시키기 위해 조정된다.

<21> 선택된 환경(들) 내의 산소 화학량론의 설정 및 조정은 예를 들어 이들 환경들 내의 산소 분압을 변화시켜 수행된다. 이러한 변화는 예를 들어 선택된 환경(들)로의 산소 유동율을 조정함으로써 이루어진다. 또한, 산소 화학량론은 상기 선택된 환경(들)에서 예를 들어 산화제로서 산소를 사용하여 환원제로 일산화탄소(CO)를 사용하여 산화-환원 조건을 도입하여 조정된다.

<22> 본 발명의 실시예에 따른 방법에 의해 제조된 광섬유는 개선된 전송 특성을 갖는다. 예를 들어, 본 발명의 실시예에 따른 방법에 의해 제조된 광섬유는 1385 나노미터에서 0.33 dB/km 미만의 전송 손실과 0.05 dB/km 미만의 수소 노화 손실을 갖는다.

발명의 구성 및 작용

<23> 하기의 설명에서, 유사한 구성요소는 동일한 도면 부호를 사용하여 도면의 순차적 형태(sequential aspect)를 단순화하고, 도면의 설명을 통한 본 발명의 이해를 개선한다.

<24> 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 싱글 모드 광섬유를 포함하는 광섬유 제조 방법(10)의 개략 블록도가 도시되어 있다. 이 방법(10)은 프리폼으로부터 광섬유를 끌어내기 위해 상기 프리폼의 코어 로드 부분을 형성하는 단계(12)를 포함한다. 코어 로드가 제조되는 일반적인 한 방법은 수트 증착 단계(14), 건조 단계(16), 굳히는 단계(18)를 포함한다.

<25> 수트 증착 단계(14)는 글래스 코어 로드를 형성하기 위해 실리카 스타터 로드(silica starter rod)와 같은 스타터 로드 상에 글래스 입자(또는 "수트") 층을 증착하는 것을 포함한다. 기상축 증착(VAD) 공정에서, 수트는 스타터 로드의 단부 표면 상에 증착되고; 외부 증착(OVD) 공정에서는, 수트는 스타터 로드의 외측 표면 상에 증착된다. 수트 입자는 예를 들어, 산소와 반응하여 글래스 제조 성분인 실리카(SiO_2)를 형성하는 4염화규소($SiCl_4$), 굴절율 도핑(index of refraction doping)을 위한 불소, 인, 게르마늄과 같은 기화된 화합물을 포함한다.

<26> 건조 단계(16)는 증착된 수트를 건조 또는 탈수하는 것을 포함한다. 증착된 수트 본체(soot body)는 스타터 로드로부터 제거되어 약 1200℃ 온도에서 건조용 가스(drying gas)들을 함유하는 환경을 가로지른다. 이러한 가스는 예를 들어, 산소, 불소, 불소-함유 가스, 염소, 염소-함유 가스를 포함한다. 본원에서의 논의를 위해, 불소-함유 가스는 불소를 함유한 가스이며, 실리카의 건조, 도핑, 에칭에 사용되는 것으로 알려져 있다. 이러한 불소-함유 가스는 예를 들어, C_2F_6(프레온 116), SF_6, SiF_4, BF_3, F_2 및 다른 프레온(프레온 14, 프레온 13, 프레온 115)을 포함한다. 유사하게, 본원에서의 논의를 위해, 염소-함유 가스는 염소를 함유한 가스이며, 건조 및/또는 도핑에 사용되는 것으로 알려져 있다. 이러한 염소-함유 가스는 예를 들어, CCl_4, $SiCl_4$, $SOCl_2$, Cl_2를 포함한다.

<27> 이 단계에서의 코어 로드는 다공성 수트 본체(sooty body)이므로, 불소 또는 염소 가스가 코어 로드에 침투하여

이로부터 OH 이온들을 제거한다. OH 이온이 제거되는 속도는 예를 들어 건조 온도, 건조 환경을 물체가 지나가는 속도, 불소 또는 염소 가스 유동율에 의존한다. 광섬유 내의 OH 이온은 OH 흡수 또는 "수분" 흡수에 기여하며, 이는 상술한 바와 같이 광섬유의 전송 손실에 기여한다.

<28> 굳히는 단계(18)는 건조된 코어 로드를 소결하거나 굳힌다. 예를 들어, 굳히는 단계(18)는 건조된 코어 로드가 약 1500℃의 온도에서 산소 및 헬륨 환경을 지나가는 것을 포함한다. 이 단계 동안에, 증착된 수트 입자들은 비교적 불투명한(dense) 중실 글래스 코어 로드로 소결된다. 종래의 건조 및 굳히는 단계에 관한 특정한 세부사항은 예를 들어, 1976년 1월 20일 공개된 미국 특허 제 3,933,454 호를 참조하라.

<29> 일단 코어 로드가 형성되면, 다음 단계 22에서 광섬유를 끌어낸다. 비록 글래스 코어 로드로부터 광섬유를 끌어낼 수도 있지만, 글래스 코어 로드는 이로부터 광섬유가 끌어내지기 전에 오버클래딩되어 오버클래드 프리폼을 형성한다. 코어 로드 둘레에 오버클래드 영역을 형성하면 더 큰 프리폼이 되어, 오버클래드되지 않은 더 작은 프리폼보다 프리폼당 더 많은 광섬유를 생산할 수 있다.

<30> 하나 이상의 오버클래드 영역들이 예를 들어 오버클래드 수트 증착 기술(26) 또는 다르게는 관내봉삽입법(RIT) 기술(28)에 의해 코어 로드 둘레에 형성된다. 오버클래드 수트 증착 기술(26)은 글래스 코어 로드를 만드는 것에 관해 본원에서 앞서 설명한 수트 증착 단계들과 유사하다. 오버클래드 수트 증착 기술(26)은 앞서-형성된 글래스 코어 로드 상에 글래스-제조용 수트 입자들을 증착시키는 단계(34)와, 코어 로드 상에 증착된 수트 입자들을 건조시키는 단계(36)와, 오버클래드 코어 로드를 형성하기 위해 코어 로드 상에 증착된 글래스 입자들을 굳히는 단계(38)를 포함한다.

<31> RIT 기술(28)은 일반적으로 프리폼인 코어 로드 둘레에 튜브 또는 슬리브, 예를 들어 실리카계 튜브 또는 슬리브를 씌우는 것에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 오버클래드 튜브가 글래스 코어 로드 둘레에 배치되고 그 길이를 따라 가열되어 글래스 코어 로드 상에 붙게 되어, 오버클래드 광섬유 프리폼을 형성한다. 예를 들어, 본원과 함께 출원인이 소유하는 미국 특허 제 4,820,322 호를 참조하라.

<32> 글래스 제조용 수트 입자들은 VAD 또는 OVD와 같은 공정을 사용하여 증착된다. 증착된 수트 입자들은 일반적으로 4염화 규소와 같은 글래스 제조용 화합물을 포함하지만, 코어 로드를 만드는데 사용되는 수트 입자들과는 달리, 게르마늄, 인, 불소와 같은 부가적인 도핑 재료를 일반적으로 포함하지 않는다. 일단 오버클래드 수트 입자들이 코어 로드 상에 증착되면, 오버클래드 수트 입자들은 예를 들어, 일반적으로 약 1200℃의 온도에서 산소, 불소, 불소 함유 가스, 염소 또는 염소 함유 가스와 같은 건조용 가스들을 함유하는 환경 내에서 건조된다. 건조는 예를 들어, 오버클래드 수트 본체로부터 OH 이온을 제거하여 수행된다. 상술한 바와 같이, 광섬유 프리폼의 다양한 영역 내에 OH 이온이 존재하면 문제가 발생한다. 예를 들어, 약 1500℃ 온도에서 산소 및 헬륨 환경 내에서 고체화가 일어난다. 고체화는 코어 로드를 둘러싸는 오버클래드 영역으로 증착된 수트 층을 굳힌다.

<33> 일단 광섬유 프리폼이 형성되면, 프리폼으로부터 광섬유를 끌어내는 단계(22)가 수행된다. 광섬유를 끌어내는 단계(22)는 프리폼의 가열된 단부로부터 광섬유를 끌어내는 것을 포함한다. 예를 들어, 프리폼이 수직으로 현가(suspended)되고, 제어된 속도로 노(furnace)로 이동하여 지나간다. 프리폼은 (예를 들어 약 2000℃로) 가열될 때 연화되고 글래스 섬유가 노의 바깥쪽 및 아래쪽의 적절한 다른 장치의 캡스턴(capstan)에 의해 프리폼의 용융된 단부로부터 끌어내어 진다.

<34> 상술한 바와 같이, 광섬유의 전송 특성은 수산기-이온(OH) 흡수("수분" 흡수)를 포함하는 여러 인자에 영향을 받는다. 700 내지 1600 nm 영역 내에서, 수분 흡수는 약 950 nm, 1240 nm, 1385 nm에서 손실 피크를 일으킨다. 이러한 손실 피크는 예를 들어 도 2a에 명확히 도시되어 있으며, 이는 700 내지 1600 nm 범위의 파장에서 전형적인 광섬유의 전송손실 그래프를 나타낸다. 또한, 지금까지 수분 흡수 피크를 감소시키기 위해 많은 노력이 이루어져왔다. 예를 들어, 본 출원인에게 양도되어 함께 소유된 창(Chang) 등의 미국 특허 제 6,131,415호를 참조하라. 이제 도 2b를 참조하면, 미국 특허 제 6,131,415 호에 공개된 방법에 따른 광섬유의 700 내지 1600 nm 내에서의 전송 손실의 그래프가 도시되어 있다.

<35> 그러나, 다른 타입의 흡수 손실로 (수소) 노화 손실이 포함된다. 종래의 광섬유는 일반적으로 그 광섬유가 노화됨에 따라 전송 손실이 커지는 것을 겪는다. 이러한 것은 광섬유의 수명에 걸쳐 광섬유 내의 다양한 결함과 수소 간의 화학 반응으로 인한 것이다. 예를 들어, 광섬유 주변의 환경에 존재하는 미량(trace amount)의 수소와, 광섬유 내의 게르마늄(Ge) 간의 화학 반응은 광섬유의 수명에 걸친 GeOH 손실에 기여한다.

<36> 또한, 광섬유 제조중에 광섬유에 도입되는 실리콘(Si) 결함은 일반적으로, 섬유 내에 SiOH 및 SiH 손실을 일으키며, 이들은 유사하게 광섬유(또는 케이블) 환경에 존재하는 수소와 Si 결함 간의 시간 경과에 따른 반응에 기

인한 것이다. 불행히도, SiOH 및 SiH 손실은 예를 들어 GeOH 손실보다도 광섬유 수명에 걸쳐 더 크고 자주 발생한다. 예를 들어, SiOH 노화 손실은 종종 1385 nm에서 약 0.21 dB/km 이상이 되기도 한다.

<37> 본 발명의 실시예에 따르면, 많은 SiOH 손실을 초래하는 것이라 간주되는 Si 결함은 산소 과잉 결함(oxygen-rich defects; Si-O-O-Si 결함)이다. Si-O-O-Si 결함은 예를 들어 너무 많은 산소를 가진 환경 내에서 광섬유 프리폼을 제조하여, 실리카 글래스 내의 과잉 산소 원자로 인한 것으로 생각된다. 일단 이들 Si-O-O-Si 결함이 실리카 글래스 내에 존재하면, 이후의 열처리 작업(예를 들어, 섬유 끌어내기)에서 다수의 Si-O-O-Si 결함이 끊어진 Si-O 결합 결함(Si-O 결함)으로 바뀌게 되며, Si-O 결합 결함은 섬유 내에 갇힌다. 시간이 경과함에 따라, Si-O 결함은 수소 원자를 끌어당겨 SiOH 분자를 형성하며, 이는 상술한 바와 같이 수분 흡수 손실을 일으킨다.

<38> 본 발명의 실시예에 따르면, SiH 손실에 기여하는 것으로 생각되는 Si 결함은 산소 결핍 결함(Si-Si 결함)이다. Si-Si 결함은 산소 결핍 조건들에서 광섬유 프리폼(실리카 글래스)을 제조하는 것에 기인하는 것으로 생각된다. 이후의 열처리 작업에서 깨진 Si 결합 결함(Si 결함)들이 몇몇 Si-Si 결함들로부터 형성되게 된다. Si 결함은 섬유 내에 갇히게 되고, 섬유가 노화됨에 따라 Si 결함은 수소 원자와 반응하여 SiH 분자를 형성하고, 이는 1530 nm에서 흡수 손실 피크를 일으킨다.

<39> 본 발명의 실시예들에 따르면, 노화 손실들 및 다른 손실들은, 증가된 수분 흡수 또는 다른 손실들에 기여하는 분자들을 형성하기 위해 시간 외에 수소 원자들을 유인하고 이들과 결합하는, 광섬유 프리폼들로부터 끌어내어진 광섬유들 및 광섬유 프리폼들 내의 산소 과잉 또는 산소 결핍 Si 결함들을 생성할 가능성을 감소시키기 위해 섬유 제조 환경들에서 개선된 산소 화학량론을 제공함으로써, 감소된다. 산소 조건들은 광섬유 제조 과정 동안 하나 이상의 단계들에서, 예컨대 산소 화학량론의 조정을 통해 설정된다. 예를 들어, 코어 로드가 형성되는 환경 및/또는 오버클래드 재료가 코어 로드 상에 형성되는 환경 및/또는 광섬유가 프리폼으로부터 끌어내어지는 환경에서 개선된 산소 조건들이 제공된다.

<40> 예를 들어, 산소 조건들을 개선하기 위해, 산소 분압은 예컨대 선택된 환경(들)로의 산소 유동율의 조정에 의해 상기 언급된 환경들 중 하나 이상에서 설정된다. 대안으로서, 일산화탄소(CO) 등의 가스의 도입은 상기 선택된 환경(들)에서 환원 조건들을 조정하도록 사용된다.

<41> 이들 환경들 중 하나 이상에서의 산소 화학량론은 예를 들어, 그러한 환경들 내에서 제조되는 광섬유 내의 노화 손실 및 다른 손실들에 기여하는 결함들을 감소시키는 것에 대한 환경의 이전 상태의 영향들에 기초하여 조정된다. 제조되는 섬유에 대한 산소 화학량론 조정의 영향들은 예를 들어 산소-조정된 환경에서 제조된 광섬유의 적어도 대표 부분의 전송 손실들에 의해 측정된다. 광섬유의 결과적인 측정값들에 의존하여, 그 이후의 산소 화학량론의 조정들이 이루어진다. 이러한 방식으로, 다양한 섬유-제조 환경들의 산소 조건들이 원하는 바에 따라 설정될 때까지 조정이 이루어진다.

<42> 도 1을 다시 참조하면, 본 발명의 실시예들은 원하는 환경의 산소 화학량론을 조정하는 단계(42)를 포함한다. 도시된 바와 같이, 하나 이상의 코어 로드를 형성하는 단계들(12)이 이루어지는 환경, 및/또는 오버클래드 영역 형성이 이루어지는 환경, 및/또는 섬유를 끌어내는 단계(22)가 이루어지는 환경에 대해 산소 화학량론이 조정된다. 예를 들어, 코어 로드를 형성하는 단계(12)에서, 수트 증착 단계(14)가 이루어지는 환경, 및/또는 건조 단계(16)가 이루어지는 환경, 및/또는 굳히는 단계(18)가 이루어지는 환경에 대해 산소 화학량론이 조정된다. 일반적으로, 산소 화학량론은 건조 단계(16)가 이루어지는 환경에 대해 조정된다. 그러나, 본 발명의 실시예들은 임의의 코어 로드 형성 처리 단계가 이루어지는 환경들의 산소 화학량론을 조정하는 것을 포함한다.

<43> 또한, 도시된 바와 같이, 조정 단계(42)는 오버클래드 수트 증착 단계(34)가 이루어지는 환경 및/또는, 오버클래드(증착된 수트) 건조 단계(36)가 이루어지는 환경 및/또는, 오버클래드 굳히는 단계 38가 이루어지는 환경 내의 산소 화학량론을 조정한다. 일반적으로, 조정 단계(42)는 오버클래드 건조 단계(36)가 이루어지는 환경의 산소 화학량론을 조정한다. 그러나, 본 발명의 실시예는 임의의 오버클래드 영역 형성 처리 단계가 이루어지는 환경의 산소 화학량론을 조정하는 것을 포함한다.

<44> 또한, 도시된 바와 같이, 조정 단계(42)는 섬유를 끌어내는 단계(22)가 수행되는 환경의 산소 화학량론을 조정한다. 즉, 본 발명의 실시예에 따르면, 조정 단계(42)는 인출 노(draw furnace) 내의 또는 프리폼으로부터 광섬유를 끌어내는 단계(22) 중의 산소 화학량론을 조정한다. 본 발명의 실시예는 광섬유를 끌어내는 단계(22)가 이루어지는 임의의 환경의 산소 화학량론을 조정하는 것을 포함한다. 본 발명의 실시예에 따르면, 산소 화학량론을 조정하면 예를 들어 상술한 바와 같이 산소 과잉 결함 또는 산소 결핍 결함으로 결합이 깨질(broken bonds) 가능성이 감소한다. 또한, 결합이 깨질 가능성은 풀림(annealing) 또는 다른 열처리 단계(43)에 의해 더 감소된

다.

<45> 도 1을 다시 참조하면, 본 발명의 실시예에 따라 하나 이상의 환경 내의 산소 화학량론이 예를 들어, 앞서 설정된 산소 환경 내에서 제조된 광섬유의 적어도 대표 부분(representative portion)의 노화 손실에 근거하여 조정하여 설정된다. 예를 들어, 일단 광섬유가 프리폼으로부터 끌어내어지면(단계 22), 때 이르게 노화시키는 단계(44)에서 끌어내어진 광섬유의 적어도 대표 부분을 노화시킨다. 예를 들어, 때 이르게 노화시키는 단계(44)에서는 약 4 내지 6일 동안 실온에서 약 1%의 수소를 갖는 환경에 끌어내어진 광섬유의 일부분을 노출시킨다.

<46> 일단 광섬유의 일부분이 노화되었으면, 측정 단계(46)에서는 노화된 광섬유의 전송 손실을 측정 또는 다르게는 판정한다. 예를 들어, 측정 단계(46)에서는 700 내지 1600 nm 영역 내에서의 광섬유의 전송 손실을 판정한다. 광섬유의 대표 부분의 전송 손실은 광섬유가 노화됨에 따라 어떻게 작동하지에 대한 지표를 제공한다. 결과에 따라, 상술한 하나 이상의 환경의 산소 화학량론이 필요에 따라 조정된다. 예를 들어, 환경 내의 산소 함량이 증가되면, 그 환경으로의 산소 유동율이 증가된다: 환경 내의 산소 함량이 감소되면, 산소 유동율이 감소된다. 또한, 예를 들어, 산소 함량이 감소되면, CO와 같은 환원용 가스가 선택된 환경으로 도입될 수 있다.

<47> 어떠한 산소-화학량론 조정이라도 이루어진 후, 광섬유-제조 처리 단계들이 상술한 바와 같이, 예를 들어 이후의 코어 로드들 및 오버클래드 영역들을 제조하기 위해 수행된다. 이러한 처리 단계들에 의해 제조된 광섬유는 앞서 이루어진 산소-화학량론 조정을 고려한다. 이후, 결과적으로 얻어진 광섬유의 적어도 다른 대표 부분은 예를 들어, 섬유 부분을 조속히 노화(prematurely aging)시키고 그의 전송 손실을 측정함으로써 시험된다. 전송 손실 결과들에 기초하여, 하나 이상의 처리 환경들의 산소 화학량론이 조정된다. 본 발명의 실시예들에 따라, 제조된 광섬유의 전송 성능을 개선하기 위해 설명된 반복 과정이 필요에 따라 계속된다. 예를 들어, 본 발명의 실시예들에 따라, (1385 nm에서) 0.33 dB/km보다 적은 전송 손실을 나타내는 광섬유가 제조되었고 이후의 수소 노화 손실 증가는 0.05 dB/km보다 적다.

<48> 도 3a 및 도 3b는 본 발명의 실시예들의 결과값을 그래프로 예시한다. 도 3a는 앞서 어떠한 산소 화학량론 조정도 하지 않은 제조 공정에 의해 앞서 만들어진 수소-노화된 섬유의 전송 손실을 예시한다. 도 3b는 조정 단계(16)에서 산소 조정이 이루어진 후에 제조 공정에 의해 앞서 만들어진 수소-노화된 섬유의 전송 손실을 그래프로 예시한다.

<49> 조정에 앞서, 코어 로드 형성을 위한 건조 단계(16)는 1530℃의 온도인 헬륨, 산소, 염소로 이루어진 건조 환경을 8 밀리미터/분(mm/min.)으로 수트 본체를 지나가게 하는 것을 포함한다. 헬륨의 유동율은 10 표준 분당 리터(slm; standard liters per minute)였고, 산소 유동율은 8 slm이고 염소 유동율은 0.7 slm이었다.

<50> 나머지 프리폼 제조 단계가 예를 들어 상술한 바와 같이 수행되었다. 프리폼으로부터 끌어내어진 섬유는 수소 노화를 시키기 전과 후에 시험되었다. 관련한 수소 노화는 섬유를 4 내지 6일 동안 실온에서 1% 수소 환경에 처하게 한다. 수소-노화된 섬유는 1385nm에서 0.06dB/km의 손실이 증가됨을 겪었다. 예로서, 도 3a를 참고하라.

<51> 그 다음에, 본 발명의 실시예에 따라, 산소 유동율이 건조 단계(16) 중에 예를 들어 4 slm으로 조정되었다. 조정된 공정에 의해 제조된 프리폼으로부터 끌어내어진 광섬유는 동일한 방식(즉, 4 내지 6 일동안 실온에서 1% 수소 환경)으로 수소 노화되었다. 그러나, 조정된 공정에 의해 제조된 프리폼으로부터 끌어내어진 광섬유는 1385 nm에서 0.04 dB/km만의 전송 손실을 겪었다. 예로서, 도 3b를 참조하라.

<52> 다른 예로, 도 4a는 산소 화학량론 조정이 이루어지지 않은 제조 공정에 의해 만들어진 수소-노화된 광섬유의 전송 손실을 도시한다. 도 4b는 한 번 이상의 산소 화학량론 조정이 이루어진 제조 공정에 의해 만들어진 수소-노화된 광섬유의 전송 손실을 도시한다. 보다 상세하게는 한 번 이상의 산소 화학량론 조정이 코어 굳히는 단계(18)에서 이루어졌다.

<53> 조정에 앞서, 굳히는 단계(18)는 1530℃ 온도의 헬륨 및 산소의 굳히는 환경을 건조된 수트 본체가 8 mm/min의 속도로 지나가는 것을 포함한다. 헬륨의 유동율은 10 slm이고 산소의 유동율은 2 slm이었다. 굳혀진 프리폼 코어 로드는 예를 들어 상술한 바와 같은 방식으로 프리폼으로 형성되었다. 수소 노화를 거치기 전과 후의 프리폼으로부터 끌어내어진 광섬유의 전송 손실의 차이는 약 1385 nm에서 1.0 dB/km이었다. 예로서, 도 4a를 참조하라.

<54> 그러나, 본 발명의 실시예에 따라, 코어 로드 굳히는 단계 18 중의 산소 유동율이 예를 들어 0 slm으로 조정되었다. 나머지 프리폼 제조 단계는 동일하게 유지되었다. 조정된 공정에 의해 만들어진 프리폼으로부터 끌어내어진 광섬유는 동일한 방식으로 수소 노화되었다. 그러나, 시험되었을 때, 수소 노화를 거치기 전과 후의 조정된 공정에 의해 만들어진 프리폼으로부터 끌어내어진 광섬유의 전송 손실의 차이는 약 1385 nm에서 0.04 dB/km이었

다. 예로서, 도 4b를 참조하라.

<55> 그러므로, 도 3a 및 도 3b와 도 4a 및 도 4b는 산소 화학량론이 조정된 공정에 의해 제조된 프리폼으로부터 끌어내어진 광섬유의 수소-노화되었을 때의 전송 특성이 개선됨을 예시한다. 상술한 바와 같이, 산소 화학량론 조정은 공정의 하나 이상의 단계에서 이루어지며, 앞서 조정된 또는 조정되지 않은 공정 단계에 의해 제조된 프리폼으로부터 끌어내어진 광섬유의 전송 손실 결과값에 근거한다.

<56> 도 5를 참조하면, 본 발명의 실시예가 유용한 광학 시스템(50)의 개략도가 도시되어 있다. 광통신 시스템(50)은 예를 들어 종래의 방식으로 하나 이상의 광섬유(54)에 커플링된 하나 이상의 광원(52)을 포함한다. 광원(52)과 광 수신기(56; optical receiver)는 광섬유(54)에 작동가능하게 직접 연결되거나(예를 들어 광원(52a)과 수신기(56a) 참조) 또는, 다중화기(58; multiplexer, 시스템의 광원(source) 측) 또는 역다중화기(59; demultiplexer, 시스템의 수신기 측)를 통해 작동 가능하게 연결된다.

<57> 하나 이상의 광섬유들(54)이 예를 들어, 상술한 바와 같이 본 발명의 실시예들에 따라 제조된다. 즉, 하나 이상의 광섬유(54)가 노화 손실 및 다른 손실에 기여하는 결함을 감소시키기 위해 예를 들어 조정을 통해 산소 화학량론이 설정된 하나 이상의 처리 환경 내에서 만들어진다. 본 발명의 실시예들에 따라 제조된 광섬유(54)는 일반적으로 1385 nm에서 0.33 dB/km보다 적은 전송 손실들을 가지며, 이후 0.05 dB/km보다 적은 수소 노화 손실 증가를 겪는다.

<58> 당업자에게는 첨부된 청구범위에 의해 정의되는 본 발명의 진의 및 범위를 벗어나지 않으면서 본원의 광섬유 및 광섬유 제조 방법의 실시예에 다양한 변화 및 수정이 이루어질 수 있음이 분명하게 보일 것이다.

발명의 효과

<59> 본 발명의 실시예에 따른 방법에 의해 제조된 광섬유는 개선된 전송 특성을 갖는다.

도면의 간단한 설명

<1> 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 광섬유 제조 방법의 개략 블록도.

<2> 도 2a는 700 내지 1600 나노미터(nm) 범위의 파장에서의 전형적인 광섬유의 전송 손실의 그래프.

<3> 도 2b는 미국 특허 제 6,131,415호에 공개된 방법에 따른 700 내지 1600 nm 범위의 파장에서의 광섬유의 전송 손실의 그래프.

<4> 도 3a는 700 내지 1600 nm 범위의 파장에서의 노화된 광섬유의 전송 손실의 그래프.

<5> 도 3b는 본 발명의 실시예에 따른 700 내지 1600 nm 범위의 파장에서의 노화된 광섬유의 전송 손실의 그래프.

<6> 도 4a는 700 내지 1600 nm 범위의 파장에서의 다른 노화된 광섬유의 전송 손실의 그래프.

<7> 도 4b는 본 발명의 실시예에 따른 700 내지 1600 nm 범위의 파장에서의 다른 노화된 광섬유의 전송 손실의 그래프.

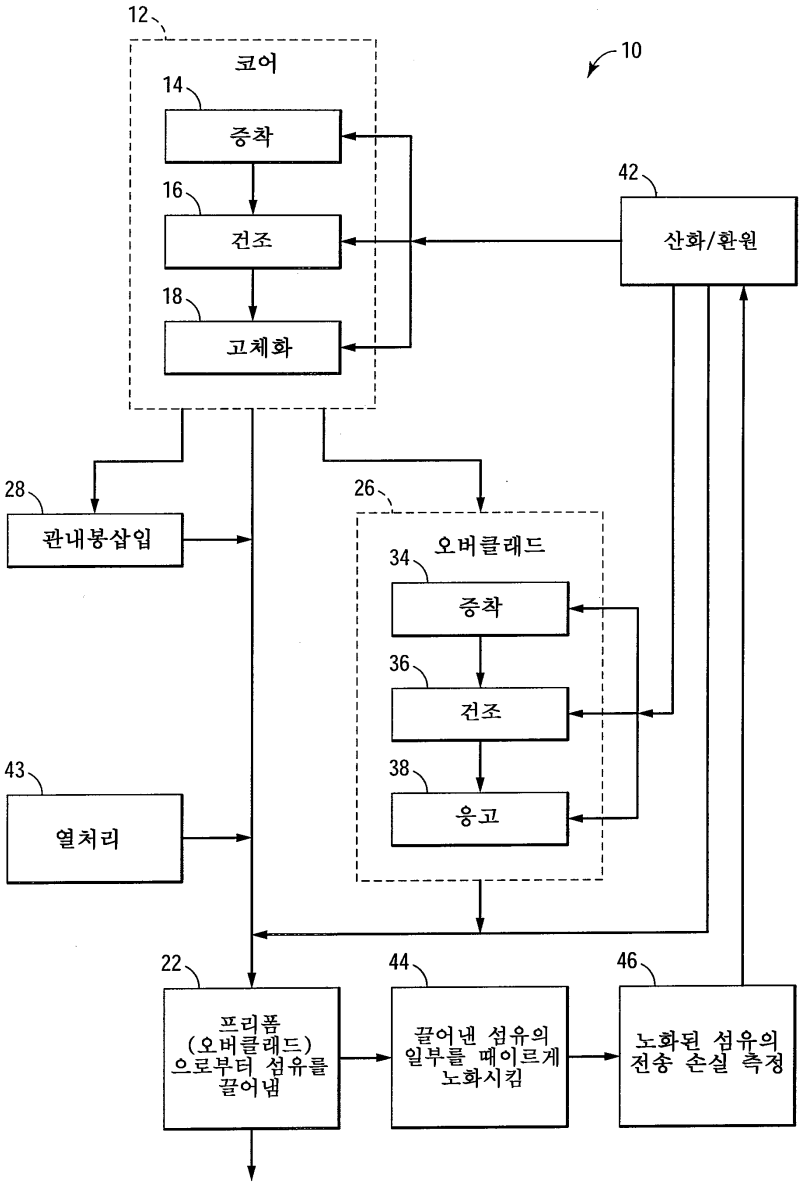
<8> 도 5는 본 발명의 실시예가 유용한 광학 시스템의 개략도.

<9> ※ 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명 ※

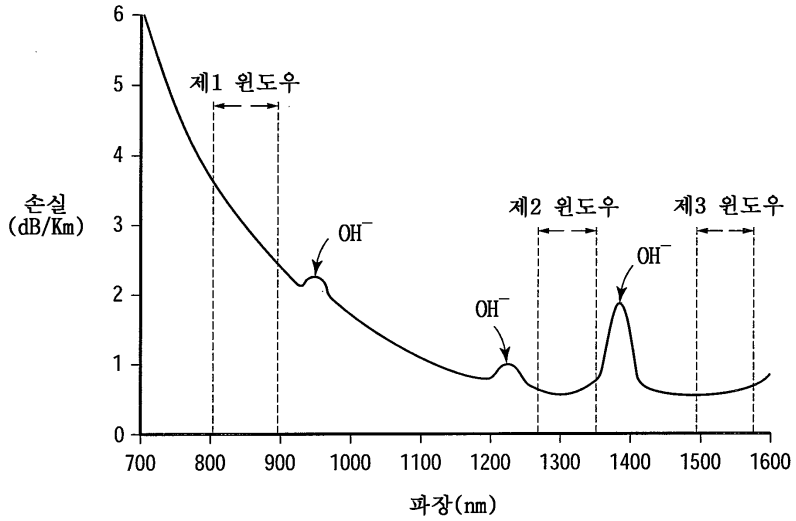
<10> 52: 광원 54: 광섬유

도면

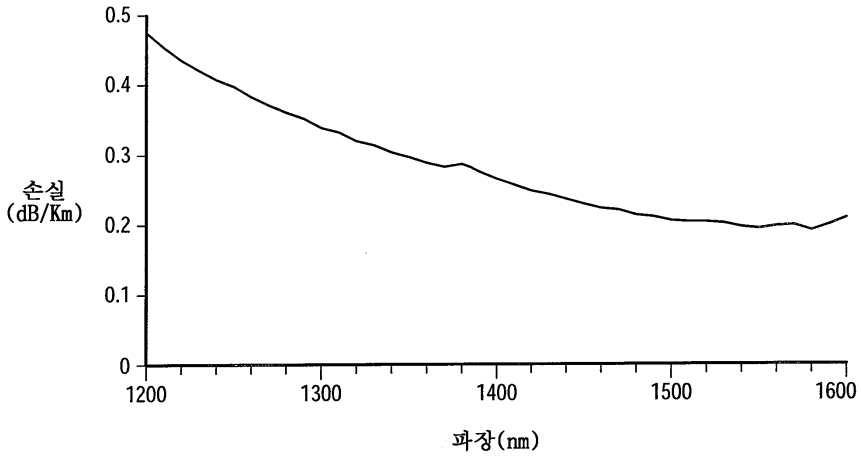
도면1


12
코어
14
증착
16
건조
18
고체화
10
42
산화/환원
28
관내봉삽입
26
오버클래드
34
증착
36
건조
38
응고
43
열처리
22
프리폼 (오버클래드)으로부터 섬유를 끌어냄
44
끌어낸 섬유의 일부를 때이르게 노화시킴
46
노화된 섬유의 전송 손실 측정

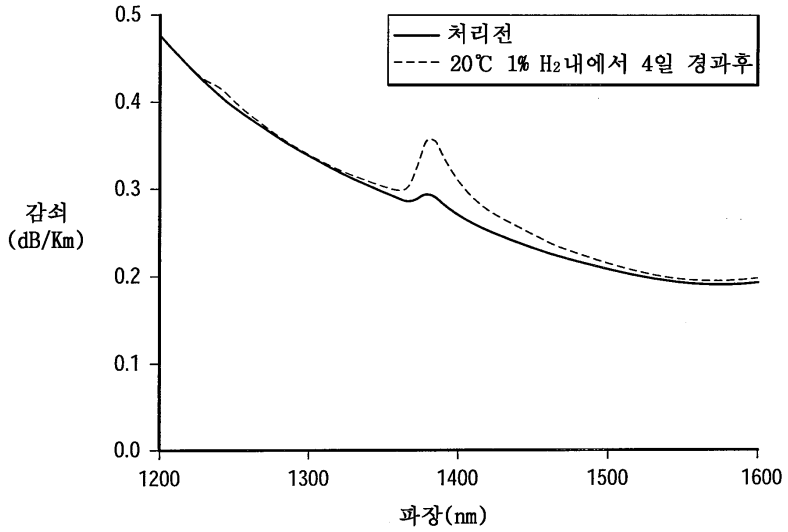
도면2a


6
5
4
3
2
1
0
손실
(dB/Km)
제1 윈도우
제2 윈도우
제3 윈도우
OH⁻
OH⁻
OH⁻
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
파장(nm)

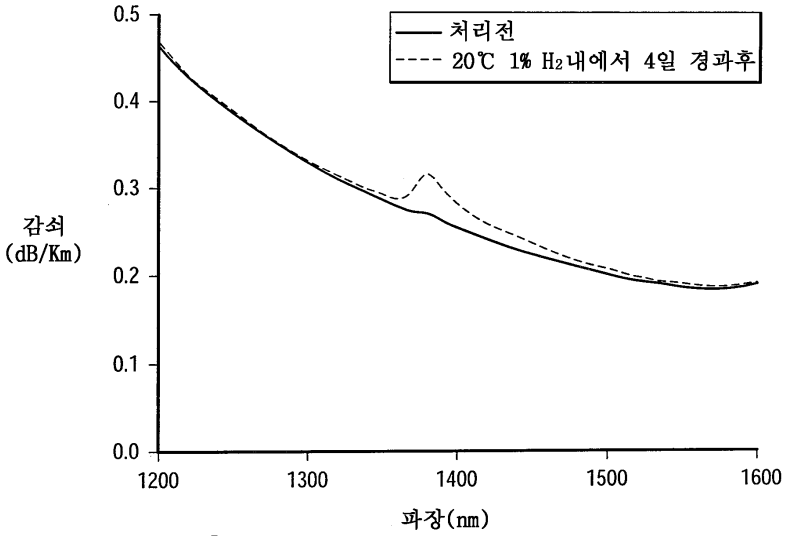
도면2b


0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
손실
(dB/Km)
1200
1300
1400
1500
1600
파장(nm)

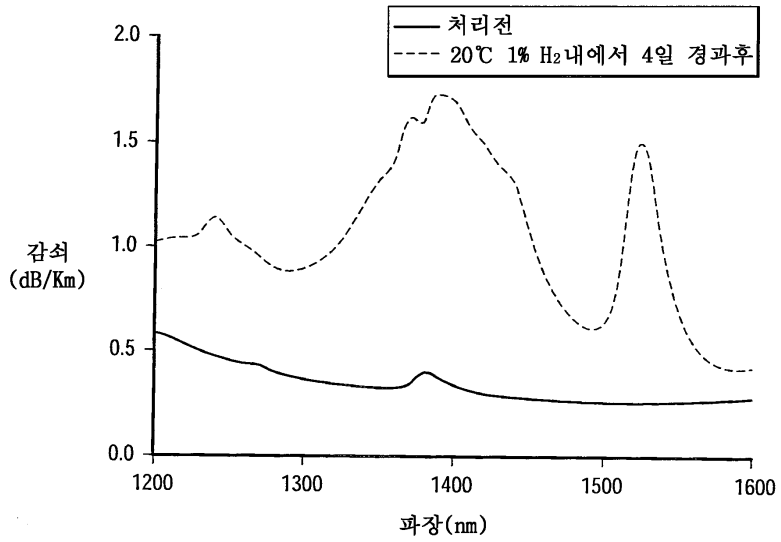
도면3a


처리전
20℃ 1% H2내에서 4일 경과후
감쇠
(dB/Km)
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
1200
1300
1400
1500
1600
파장(nm)

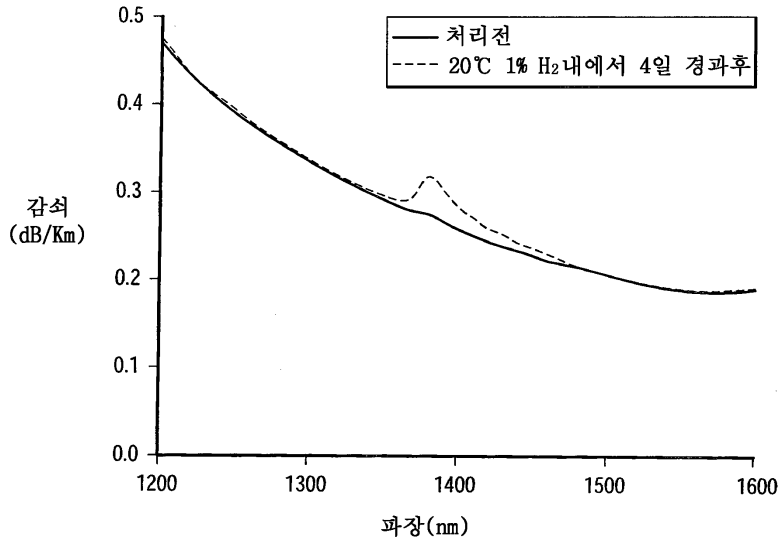
도면3b


처리전
20℃ 1% H2내에서 4일 경과후
감쇠
(dB/Km)
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
1200
1300
1400
1500
1600
파장(nm)

도면4a


처리전
20℃ 1% H2내에서 4일 경과후
감쇠
(dB/Km)
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
1200
1300
1400
1500
1600
파장(nm)

도면4b


처리전
20℃ 1% H2내에서 4일 경과후
감쇠
(dB/Km)
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
1200
1300
1400
1500
1600
파장(nm)

도면5

