(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) 。Int. Cl.[7]
G02B 6/32

(11) 공개번호 10-2004-0015751
(43) 공개일자 2004년02월19일

(21) 출원번호 10-2003-7016874
(22) 출원일자 2003년12월24일
번역문 제출일자 2003년12월24일
(86) 국제출원번호 PCT/US2002/017198
(86) 국제출원출원일자 2002년05월31일
(87) 국제공개번호 WO 2003/003090
(87) 국제공개일자 2003년01월09일

(30) 우선권주장 09/892,087 2001년06월26일 미국(US)

(71) 출원인 코닝 인코포레이티드
미국 뉴욕 (우편번호 14831) 코닝 원 리버프론트 플라자

(72) 발명자 우크라인츠이크,르제르카
미국,뉴욕14870,페인티드포스트,웨스트레인108

(74) 대리인 청운특허법인

심사청구 : 없음

(54) 도핑 실리콘 디옥사이드를 사용한 마이크로렌즈 섬유의제조방법

요약

본 발명은 광섬유(3)에 도핑 실리카 로드를 연결하는 단계 및 상기 도핑 실리카 로드의 말단을 플라노-볼록 굴절 렌즈(2)로 성형시키는 단계를 통해 마이크로렌즈 섬유(1)를 제조하는 방법에 관한 것이다. 상기 도핑 실리카 로드는 비도핑 실리카보다 낮은 녹는점과 어닐링점을 가지며, 따라서 상기 마이크로렌즈 섬유(1)를 제조하는 데 낮은 전력이 요구된다. 이는 제조 장비의 가열 요소의 마모를 줄이므로 사이클 사이에서 제조될 수 있는 마이크로렌즈 섬유의 수를 증가시킨다. 본 발명은 또한 상기 방법을 통해 제조된 마이크로렌즈 섬유(1)에 관한 것이다.

대표도

도 1

색인어

도핑, 실리카, 광섬유, 마이크로렌즈

명세서

기술분야

본 발명은 마이크로렌즈 광섬유 및 이의 제조방법에 관한 것이다. 본 발명의 마이크로렌즈 광섬유는 광스위치, 연결기 및 단자를 포함하는 광 시스템의 다양한 분야에서 유용하다.

배경기술

컴퓨터 사용 및 통신학 등과 같은 응용분야에서 사용되는 광학 디바이스(devices)의 개발, 소형화 및 단순화는 새로운 광학 성분의 개발에 의한다. 좀 더 바람직하게는 제조가 용이하고 경제적이며, 견고하고, 높은 연계 효율성을 갖는 광학 연계 성분이다.

접착제를 통해 광섬유와 결합된 이산 구형 렌즈, 볼 렌즈, 그린(grin)렌즈(구배 굴절률)를 사용한 통상적인 연계 시스템은 렌즈를 섬유와 정렬시키는 것이 어렵기 때문에 문제가 있었다. 따라서 제조과정이 비싸고 종종 성분간에 높은 변이성이 발생하였다. 이러한 성분들은 또한 기계적 및 열 불안정성으로 문제가 있었다.

단일 단위로 함께 용융된 렌즈와 섬유를 갖는 마이크로렌즈 섬유는 접착제-결합 연화 시스템의 바람직한 대안이다. 상기와 같은 성분의 제조 방법 중 하나는 광학 섬유의 팁(tip) 부분을 녹이고, 상기 섬유 팁과 연결된 구형 렌즈를 형성하는 것이다. 이는 고도의 균일한 구형 렌즈 표면 형성이 가능하도록 매우 균일한 열원이 요구된다(미국 특허 제5,293,438호를 참고하였으며 본 발명의 참고문헌으로 포함시킨다). 구형 렌즈 형성에 요구되는 온도는 단순한 두 섬유의 접합에서 요구되는 것보다 높고, 열원에 보다 많은 전력이 공급되어야만 한다. 이는 열 장치에 대해 마모의 증가, 유지의 증가 및 짧은 수명을 초래시킨다. 따라서, 적은 열 전력이 요구되어 유지 사이클 사이에 많은 단위의 생산을 가능하게 하는 마이크로렌즈 섬유의 제조 방법을 개발하는 것이 바람직하다.

-발명의 요약-

본 발명의 일 측면은 광섬유와 연결된 플라노(plano)-볼록 굴절 렌즈를 포함하는 마이크로렌즈 섬유를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 실시예에 따라서, 상기 렌즈는 X_2O, YO, Z_2O_3, TO_2, 또는 R_2O_5로 부터 선택된 하나 이상의 화합물로 도핑된 실리카를 포함하며; 여기서

X는 Na, K, Li, Al, 또는 Cs;

Y는 Mg, Co, 또는 Zn;

Z는 B, Al, Ga, Sb 또는 Bi;

T는 Ge 또는 Ti; 및

R은 P이다.

본 발명의 다른 측면은

a) 광섬유의 말단을 도핑 실리카 로드의 말단과 접촉시켜 광섬유에 도핑된 실리카 로드를 접합시키고 상기 로드와 섬유의 결합에 효과적인 온도에서 상기 접촉 면을 가열시키는 단계,

b) 상기 가열된 영역(region)에서 실리카 로드가 바람직하게 정해진 길이까지 절단되도록 도핑 실리카 로드에 장력을 가하면서 동시에 로드 영역을 가열시키는 단계, 및

c) 상기 도핑 실리카 로드를 바람직한 곡률반경을 갖는 플라노-볼록 렌즈로 용융시키기 위해 광섬유와 접합된 잔여 도핑 실리카 로드의 영역을 가열시키는 단계를 포함하는 마이크로렌즈 섬유의 제조 방법을 제공하는 데 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 광섬유(3)와 접합된 플라노-볼록 렌즈(2)를 포함하는 마이크로렌즈 섬유(1)를 나타내는 도면이다.

도 2는 온도에 따른 실리카 및 보로실리케이트(borosilicate) 유리의 점도를 나타내는 그래프이다.

도 3a 및 3b는 x축은 보로실리케이트 렌즈이고 y축은 가우스 형태의 구형 모드 영역을 나타내는 빔측면도(beam profiler)이다.

도 4a 및 4b는 각각 실리카 및 보로실리케이트 유리로 제조된 렌즈에서 렌즈 표면 부터 거리에 따른 1550㎚에서의 모드 영역을 나타내는 그래프이다.

도 5는 두개의 마이크로렌즈 섬유의 광연화와 관련된 기하학적 매개변수를 나타내는 도면이다.

발명의 상세한 설명

마이크로렌즈 섬유의 제조는 고도로 균일한 구형 렌즈가 형성되도록 매우 균일한 열원이 요구된다. 바람직한 열원의 예로는 텅스텐 필라멘트(filament)의 용융 접합대(splicer)이다. 좀 더 구체적으로 비트란(vytran) 용융 접합대와 같이 필라멘트 루프의 용융 접합대는 대칭 원형 모드 영역의 구형 렌즈의 형성을 가능하게 하는 매우 균일한 열을 제공한다.

마이크로렌즈 섬유의 제조방법은

a) 실리카 로드에 광섬유를 접합시키는 단계. 이 단계에서 렌즈를 형성할 광섬유와 유리 로드는 말단에서 말단으로 정렬이 되고 상기 섬유와 로드는 두 광섬유의 통상적인 접합 단계에서 처럼 필라멘트를 통해 열을 가하면서 서로 밀어준다.

b) 실리카 로드의 테이퍼(taper) 절단. 접합된 후에, 필라멘트 고온 구역(hot zone)을 실리카 로드를 따라서 바람직한 거리까지 이동시킨다. 이후 필라멘트 전력을 증가시키고, 실리카 로드를 가열하면서 로드를 잡아당겨 테이퍼 절단시킨다.

c) 다시 용융시켜 렌즈를 형성함. 테이퍼 절단 단계 이후에, 필라멘트 고온 구역을 곡률반경에 따른 거리까지 상기 접합을 향하여 이동시키고 필라멘트 전력을 더욱 증가시킨다. 이 단계에서 구형 렌즈가 형성된다.

상기 b 단계에서 사용된 필라멘트 전력은 두 섬유의 기본 접합 단계 동안 사용된 전력보다 높기때문에, 필라멘트의 수명은 접합 단계에서만 사용될 때와 비교하여 렌즈 제조과정에서 매우 단축된다. 예를 들어, 통상적인 필라멘트 루프는 500 SMF-28내지 SMF-28 접합을 만들 수 있으나, 단지 80 실리카 렌즈만이 제조된다. 이는 렌즈 물질로 순수 실리카를 사용하는 제조 공정의 주요한 한계이다.

이러한 관점에서 본 발명은 마이크로렌즈 섬유의 제조방법이 특징이며, 여기서 상기 방법은 실리카보다 낮은 어닐링(annealing) 점 및 낮은 점도를 갖는 유리를 사용하여 렌즈를 형성하는 동안 증가된 필라멘트 수명을 제공한다. 본 발명의 일 실시예는

광섬유의 말단을 도핑 실리카 로드의 말단과 접촉시켜 광섬유에 도핑된 실리카 로드를 접합시키고 상기 로드와 섬유의 결합에 효과적인 온도에서 상기 접촉 면을 가열시키는 단계,

상기 가열된 영역에서 실리카 로드가 바람직하게 정해진 길이까지 절단되도록 도핑 실리카 로드에 장력을 가하면서 동시에 로드 영역을 가열시키는 단계, 및

상기 도핑 실리카 로드를 바람직한 곡률반경을 갖는 플라노-볼록 렌즈로 용융시키기 위해 광섬유와 접합된 잔여 도핑 실리카 로드의 영역을 가열시키는 단계를 포함하는 마이크로렌즈 섬유의 제조 방법이다.

본 발명의 일 실시예에 따르면, 가열 단계는 저항적으로 가열된 필라멘트를 통해 제공된다. 구체적으로 바람직한 열원은 저항적으로 가열된 필라멘트 루프의 용융 접합대이다. 일 실시예에 따른 상기 필라멘트 루프는 텅스텐을 포함한다.

본 발명의 일 실시예에 따르면 도핑 실리카 로드는 바람직하게 정해진 길이로 잘리도록 1500 내지 3000℃의 온도에서 가열된다. 일 실시예에 따르면 상기 도핑 실리카 로드는 렌즈 형성동안 1500 내지 3000℃의 온도에서 가열된다.

당 분야에서 알려진 많은 광섬유와 특정 응용분야에서 적합한 광섬유의 선택은 당분야의 당업자들의 능력에 따른다. 본 발명에 따른 구체적으로 바람직한 섬유는 실리카를 포함한 단일 모드 섬유(SMF)이다. 상기 섬유의 예로는 SMF-28(코닝사)이 있다.

마이크로렌즈 섬유의 렌즈 부분 제조에 적합한 도핑 실리카 물질은 바람직하게 실리카보다 낮은 연화점 및 점도를 갖는다. 구체적으로 바람직한 물질은 5×10^{-7} 내지 35×10^{-7} /℃의 열팽창 계수를 갖는다.

표면 장력은 재용융 동안 렌즈 형성에 영향을 주는 다른 특성이다. 일반적으로, 도핑제의 존재는 유리의 표면 장력을 감소시키고, 또한 재용융 동안 낮은 전력(즉, 낮은 온도)의 사용을 가능하게 한다.

렌즈 제조용으로 바람직한 도핑 실리카 물질의 예는 X_2O, YO, Z_2O_3, TO_2, 또는 R_2O_5로 부터 선택된 하나 이상의 화합물로 도핑된 실리카를 포함하며; 여기서 X는 Na, K, Li, Al, 또는 Cs; Y는 Mg, Co, 또는 Zn; Z는 B, Al, Ga, Sb 또는 Bi; T는 Ge 또는 Ti; 및 R은 P이다. 구체적으로 바람직한 물질의 예는 B_2O_3, GeO_2, B_2O_3-GeO_2, B_2O_3-P_2O_5, P_2O_5, GeO_2-P_2O_5, GeO_2-B_2O_3-P_2O_5, Al_2O_3, 또는 GeO_2-B_2O_3로 도핑된 실리카이다. 보다 바람직한 물질은 1 내지 20중량%의 산화붕소로 도핑된 실리카, 및 1 내지 30중량%의 산화게르마늄으로 도핑된 실리카를 포함한다.

본 발명의 다른 실시예에 따르면, 마이크로렌즈 섬유의 렌즈 부분용으로 사 용되는 도핑 실리카 물질은 광섬유의 CTE 보다 높은 CTE와 광섬유보다 낮은 점도를 갖는다. 광섬유와 도핑 실리카 로드가 함께 접합되는 경우, 인장응력이 접합의 광섬유 면(낮은 팽창면)에 약하게 가해진다. 이러한 인장응력은 도핑 실리카 로드의 직경이 광섬유보다 크게 되면 조금은 감소된다.

따라서, 본 발명의 일 실시예는 광섬유보다 조금 큰 직경을 갖는 도핑 실리카 로드를 사용한다. 구체적으로 바람직한 실시예는 125㎛ 광섬유에 접합된 200 내지 250㎛ 직경의 도핑 실리카 섬유를 사용한다.

본 발명의 다른 측면은 광섬유에 접합된 플라노-볼록 굴절 렌즈를 포함하는 마이크로렌즈 섬유이며, 여기서 상기 플라노-볼록 렌즈는 상술한 도핑 실리카를 포함한다. 일 실시예에 따르면, 상기 광섬유의 코어는 접합에서 확장된다.

구체적으로 바람직한 마이크로렌즈 섬유는 상술한 바와 같이 제조된다. 바람직한 일 실시예에 따르면, 렌즈를 형성하는 도핑 실리카 로드는 광섬유보다 직경이 크다.

본 발명에 따른 마이크로렌즈 섬유는 바람직하게 x와 y 방향에서 가우스 빔측면도를 나타낸다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 접합에서 모드 영역은 광섬유의 공칭(nominal) 모드 영역보다 크다.

실시예

이하 실시예를 통해 본 발명을 좀 더 구체적으로 설명하나 이에 본 발명의 범주가 한정되는 것은 아니다.

실시예 1

실리카, 4중량% 산화붕소로 도핑된 실리카 및 10중량% 산화게르마늄으로 도핑된 실리카를 포함하는 SMF-28 섬유 광섬유 및 200㎛ 직경 로드를 사용하여, 상술한 바와 같이 마이크로렌즈 섬유를 제조하였다. 렌즈 물질의 특성은 하기 표 1에 나타내었다.

[표 1]

특성	실리카	산화붕소로 도핑된 실리카	산화게르마늄으로 도핑된 실리카
굴절률(n_D)	1.457	1.457	1.467
CTE ($\times 10^{-7}$/℃)	4.5	9	11
어닐링 T (℃)	1107	999	1062
스트레인점(℃)	1031	910	955
탄성(×106psi)	10.0	9.2	9.6
스트레인점에서 α($\times 10^{-7}$ deg-1)	0.9	4.6	8.3
연화점(℃)	1630	1520	1567
점도($\ln \eta_0$,(포즈(Poise)))	-13.738	-8.793	-10.912
활성화에너지(Q(K))	60600	49520	55330

도 2는 실리카와 보로실리케이트 유리에 대해서 온도에 따른 점도를 나타낸 그래프이며, $\ln \eta = \ln \eta_0 + Q/T$를 사

용하여 점도를 계산하였으며 여기서 η는 주어진 온도에서의 점도, η_0는 무한 온도에서의 점도, Q는 가스 상수로 나뉘는 활성화에너지 및 T는 절대 온대이다. 산화붕소로 도핑된 경유는 유리의 점도를 감소시켜서 렌즈 형성 동안 낮은 온도를 가능하게 한다.

각각의 렌즈 물질을 사용한 각 단계에서 요구되는 적절한 필라멘트 전력을 표 2에 나타내었다. 모든 필라멘트 전력은 비트란 FFS-2000 접합대(15A DC 전력공급기)에서 표준 필라멘트 루프에 대한 것이다.

하기 표 2는 다른 렌즈 물질을 사용하여 마이크로렌즈 섬유 제조의 각 단계에서 사용되는 전력(W)을 나타낸다.

[표 2]

제조 단계	실리카	산화붕소로 도핑된 실리카	산화게르마늄으로 도핑된 실리카
접합	20 - 23	15 - 20	17 - 22
테이퍼 절단	24 - 27	16 - 24	22 - 25
렌즈 형성	28 - 32	23 - 28	24 - 30

표 2에 나타낸 바와 같이, 세 가열 단계에서 각각 요구되는 전력은 비도핑 렌즈에서 보다 도핑 실리카를 사용한 경우 더욱 낮았다. 도핑 실리카 유리를 사용하여 필라멘트 당 제조되는 렌즈의 수는 실리카를 사용할 때 제조되는 수의 두 배이다.

도 3a 및 3b는 보로실리케이트 렌즈에 대한 빔측면도 자료이다. 상기 빔측면도는 x 와 y 방향에서 모두 가우스이고 타원율을 나타내지 않는다. 렌즈는 대칭형이고 렌즈 형성 과정 동안 '처짐(droop)'이 없었다. 모드 영역 직경(MFD)을 렌즈 표면 근처에서 측정하였다.

실리카 및 보로실리케이트 렌즈에 대해 거리에 따른 빔측면도 자료를 각각 도 4a 및 도 4b에 나타내었다. 0.25㎛ 증가량으로 x 및 y 방향에 대해 수집하였다. 도 4의 적합선은 측정된 렌즈 기하학을 사용하는 것으로 가정된 자료에 가우스 빔 모델을 맞추었다. 상기 모델은 접합에서 모드 영역은 SMF-28의 공칭 모드 영역에서 보다 컸다. 이는 접합에서 열 코어가 확장됨을 의미한다(여기서 사용된 SMF-28의 모드 영역 직경은 1550㎚에서 10.8㎛이다).

상기 열 코어 확장은 순수 실리카에서 보다 보로실리케이트의 경우에 보다 컸다. 이론에 제한되지 않고, 붕소는 접합에서 게르마늄 확산을 촉진시키는 듯하다. 또한, 모델의 적합성은 렌즈 표면으로 부터 떨어진 1.5 내지 2.5㎝의 모드 영 역 직경의 평면 지역을 모두 나타내는 보로실리케이트보다는 실리카 렌즈에 더욱 적합하다. SiO_2 렌즈보다는 B_2O_3-SiO_2 렌즈가 광학시준(collimation)이 좋았다.

B_2O_3-SiO_2 렌즈를 사용한 50 내지 70㎛ 모드 영역을 갖는 마이크로렌즈 섬유의 결합 효율은 0.08 내지 0.2dB이다. 렌즈 표면을 반사방지 코팅으로 코팅할 겨우 반사감쇠량은 60dB 이상이고 편광손실은 0.01dB 이하였다.

예시적인 절차 또는 다른 구체적인 보충내용을 본 발명에 어느 정도 제공하는 하기의 참고문헌을, 본 발명의 참고문헌으로 포함시킨다.

나미끼 등, '마이크로렌즈 광단자 및 이를 장착한 광시스템, 및 이의 제조 방법, 좀 더 구체적으로 광결합 방법 및 이를 사용하기 위한 광 결합제' 미국 특허 제 5,293,438호, 1994.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

a) 광섬유의 말단을 도핑 실리카 로드의 말단과 접촉시켜 광섬유에 도핑 실리카 로드를 접합시키고 상기 로드와 섬유의 결합에 효과적인 온도에서 상기 접촉 부위를 가열시키는 단계,

b) 상기 가열된 영역(region)에서 실리카 로드가 절단되도록 도핑 실리카 로드에 장력을 가하면서 동시에 로드 영역을 가열시키는 단계, 및

c) 상기 도핑 실리카 로드를 플라노-볼록 렌즈로 용융시키기 위해 광섬유와 접합된 잔여 도핑 실리카 로드의 영역을 가열시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 마이크로렌즈 섬유의 제조 방법.

청구항 2.
제1항에 있어서, 상기 도핑 실리카 로드는 B_2O_3, GeO_2, B_2O_3-GeO_2, B_2O_3-P_2O_5, P_2O_5, GeO_2-P_2O_5, GeO_2-B_2O_3-P_2O_5, Al_2O_3, 또는 GeO_2-B_2O_3로 도핑된 실리카를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3.
제2항에 있어서, 상기 도핑 실리카 로드는 1 내지 20중량%의 B_2O_3로 도핑된 실리카를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4.
제2항에 있어서, 상기 도핑 실리카 로드는 1 내지 30중량%의 GeO_2로 도핑된 실리카를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5.
제1항에 있어서, 상기 도핑 실리카 로드의 연화점은 실리카의 연화점보다 낮은 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6.
제1항에 있어서, 상기 도핑 실리카 로드의 열팽창 계수는 1×10^{-7} 내지 35×10^{-7} /℃인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7.
제1항에 있어서, 상기 광섬유는 단일 모드 광섬유인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8.
제1항에 있어서, 상기 도핑 실리카 로드의 직경은 광섬유의 직경보다 큰 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9.
제8항에 있어서, 상기 도핑 실리카 로드의 직경은 200㎛이고 광섬유의 직경은 125㎛인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10.
제1항에 있어서, 상기 광섬유의 코어는 접합에서 확장되고 상기 접합에서의 모드 영역은 섬유의 공칭(nominal) 모드 영역보다 큰 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11.
제1항에 있어서, 상기 b) 단계 동안의 온도는 1500 내지 3000℃이고, 가열 단계는 저항성 가열 텅스텐 필라멘트를 사용하여 수행되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12.
광섬유에 접합된 도핑 실리카 로드를 포함하는 마이크로렌즈 섬유에 있어서,상기 도핑 실리카 로드의 최종 말단은 플라노-볼록 굴절 렌즈로 성형되는 것을 특징으로 하는 마이크로렌즈 섬유.

청구항 13.
제12항에 있어서, 상기 도핑 실리카 로드는 B_2O_3, GeO_2, B_2O_3-GeO_2, B_2O_3-P_2O_5, P_2O_5, GeO_2-P_2O_5, GeO_2-B_2O_3-P_2O_5, Al_2O_3, 또는 GeO_2-B_2O_3로 도핑된 실리카를 포함하는 것을 특징으로 하는 마이크로렌즈 섬유.

청구항 14.
제13항에 있어서, 상기 도핑 실리카 로드는 1 내지 20중량%의 B_2O_3로 도핑된 실리카를 포함하는 것을 특징으로 하는 마이크로렌즈 섬유.

청구항 15.
제13항에 있어서, 상기 도핑 실리카 로드는 1 내지 30중량%의 GeO_2로 도핑된 실리카를 포함하는 것을 특징으로 하는 마이크로렌즈 섬유.

청구항 16.

제12항에 있어서, 상기 도핑 실리카 로드의 연화점은 실리카의 연화점보다 낮은 것을 특징으로 하는 마이크로렌즈 섬유.

청구항 17.
제12항에 있어서, 상기 도핑 실리카 로드의 열팽창 계수는 1×10^{-7} 내지 35×10^{-7} /℃인 것을 특징으로 하는 마이크로렌즈 섬유.

청구항 18.
제12항에 있어서, 상기 광섬유는 단일 모드 광섬유인 것을 특징으로 하는 마이크로렌즈 섬유.

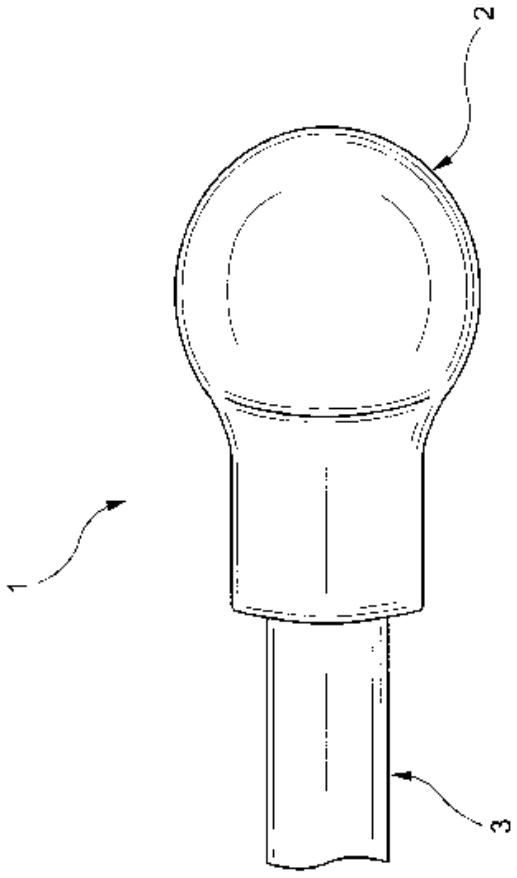
청구항 19.
제12항에 있어서, 상기 도핑 실리카 로드의 직경은 광섬유의 직경보다 큰 것을 특징으로 하는 마이크로렌즈 섬유.

청구항 20.
제19항에 있어서, 상기 도핑 실리카 로드의 직경은 200㎛이고 광섬유의 직경은 125㎛인 것을 특징으로 하는 마이크로렌즈 섬유.

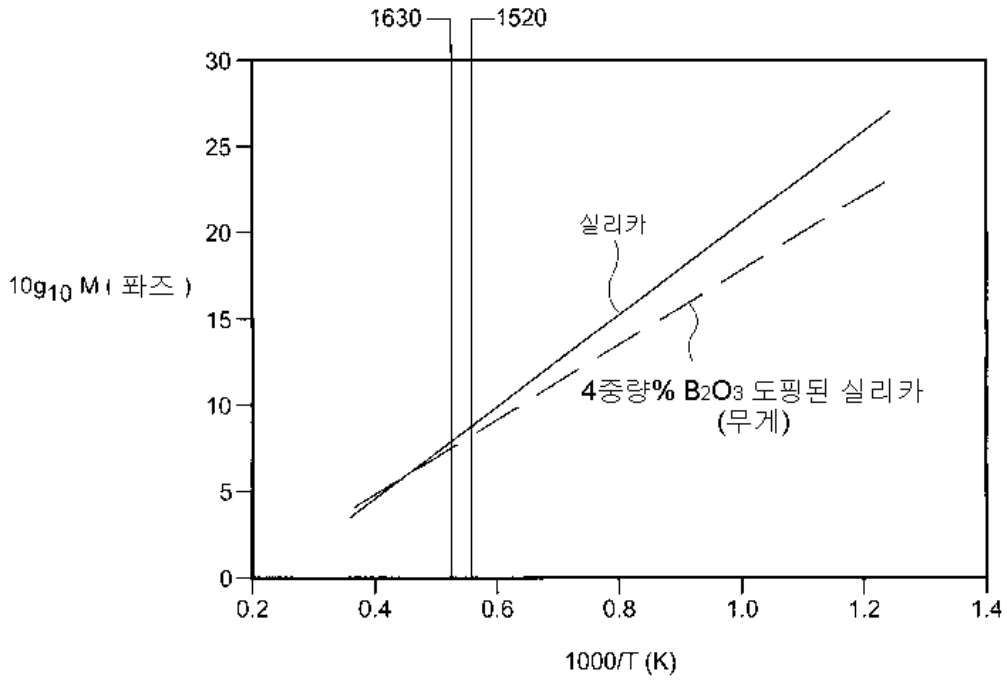
청구항 21.
제18항에 있어서, 상기 광섬유의 코어는 접합에서 확장되고, 상기 접합에서의 모드 영역은 섬유의 공칭 모드 영역보다 큰 것을 특징으로 하는 마이크로렌즈 섬유.

도면

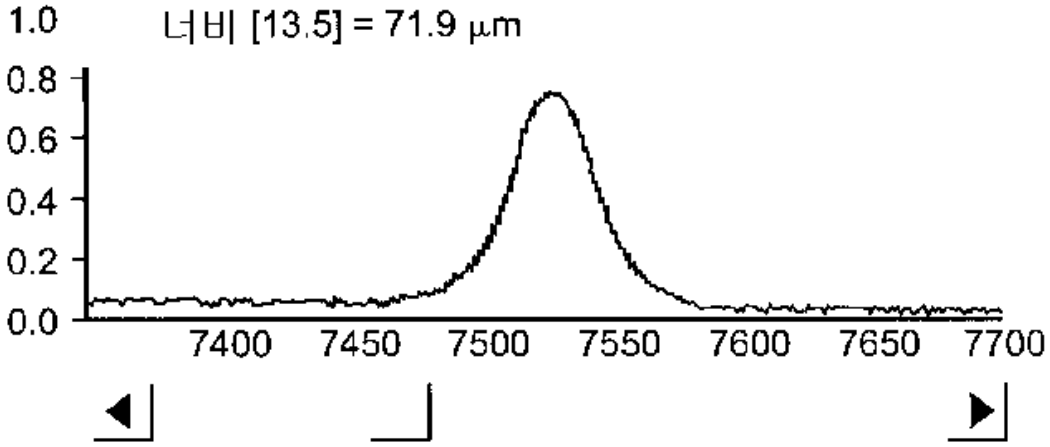
도면1



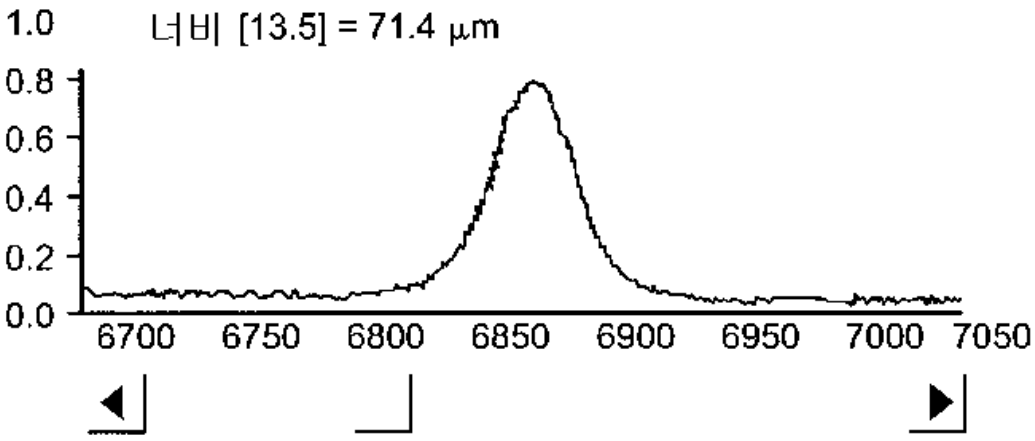
도면2



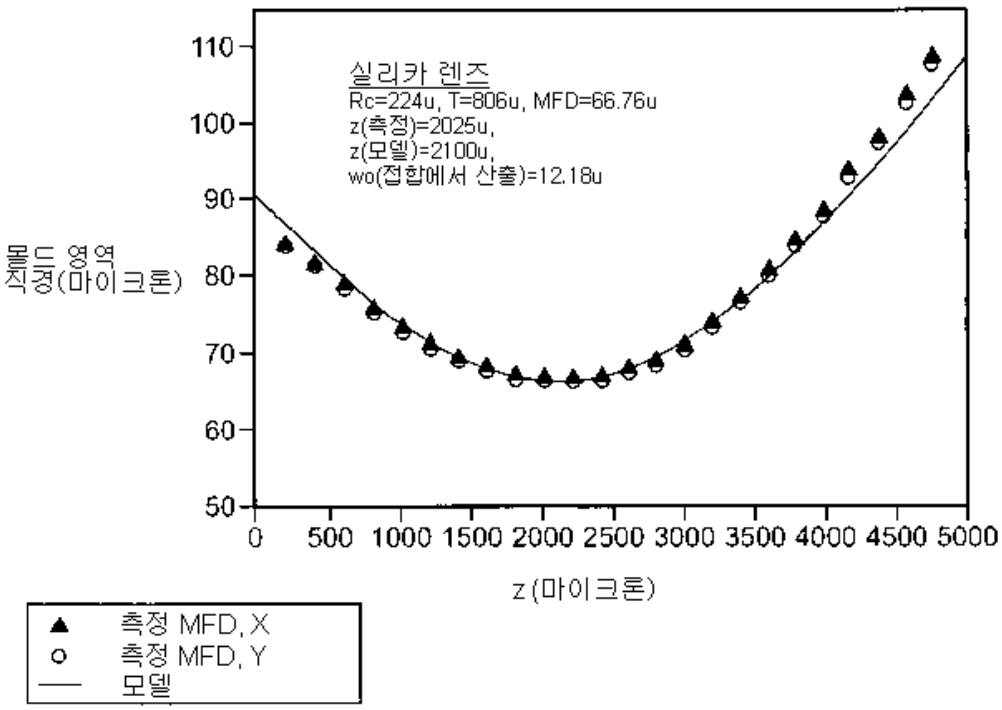
도면3a



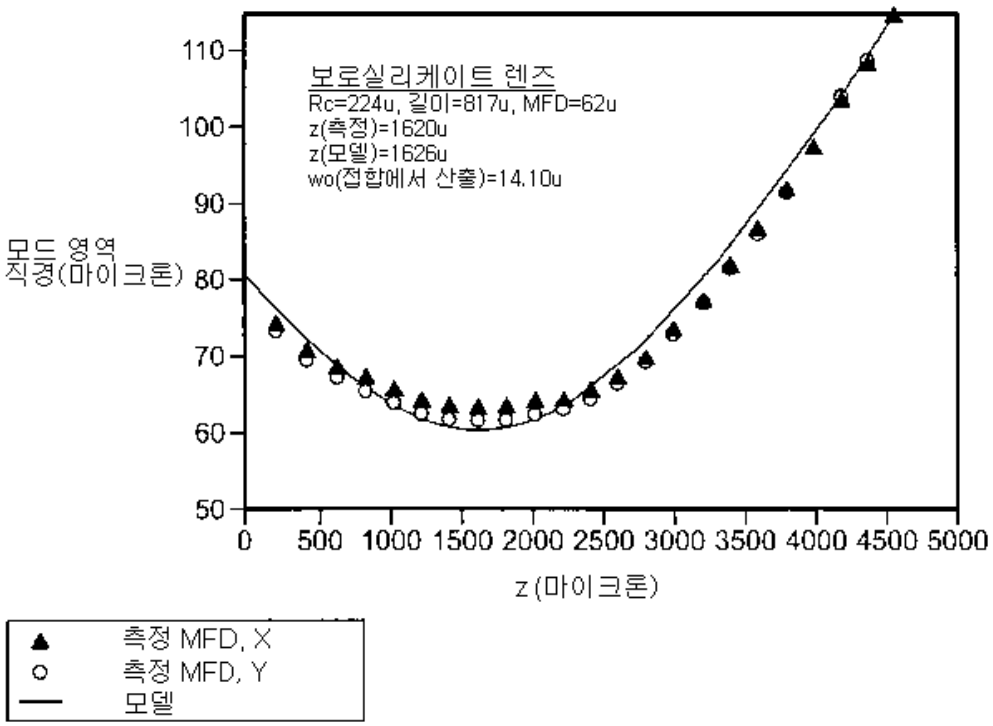
도면3b



도면4a


실리카 렌즈
Rc=224u, T=806u, MFD=66.76u
z(측정)=2025u,
z(모델)=2100u,
wo(접합에서 산출)=12.18u
몰드 영역
직경(마이크론)
110
100
90
80
70
60
50
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
z (마이크론)
측정 MFD, X
측정 MFD, Y
모델

도면4b


보로실리케이트 렌즈
Rc=224u, 길이=817u, MFD=62u
z(측정)=1620u
z(모델)=1626u
wo(접합에서 산출)=14.10u
모드 영역
직경(마이크론)
110
100
90
80
70
60
50
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
z (마이크론)
측정 MFD, X
측정 MFD, Y
모델

도면5

