



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0141081
(43) 공개일자 2023년10월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C03B 37/012 (2006.01) C03B 37/01 (2006.01)
C03B 37/025 (2006.01) C03C 13/04 (2006.01)
G02B 6/02 (2022.01)
(52) CPC특허분류
C03B 37/01208 (2013.01)
C03B 37/011 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0040183
(22) 출원일자 2022년03월31일
심사청구일자 2022년03월31일

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
김동현
서울특별시 서초구 남부순환로323길 38-15, 102호(서초동, 서초동한신아파트)
푸누리마르지에
서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 공학원 263호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
민영준

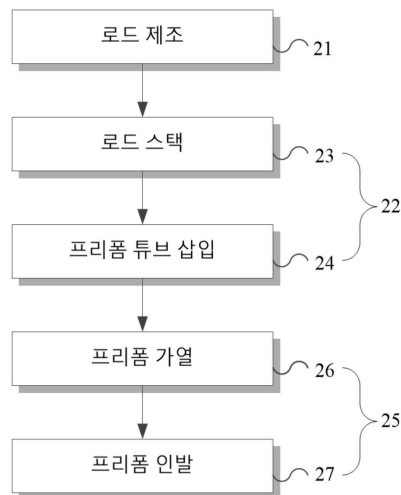
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 넓은 모드를 갖는 대구경 광섬유 및 이의 제조 방법

(57) 요약

개시된 실시예는 다수의 로드를 제조하는 단계, 다수의 로드 중 제1 굴절률을 갖는 다수의 제1 로드와 제1 굴절률보다 낮은 제2 굴절률을 갖는 다수의 제2 로드를 제1 굴절률 영역과 제2 굴절률 영역이 구분된 광섬유의 단면 구조에 따라 스택하여 예비 프리폼을 제작하는 단계, 예비 프리폼을 프리폼 튜브에 삽입하여 최종 프리폼을 획득하는 단계 및 최종 프리폼을 가열 및 인발하여 광섬유를 획득하는 단계를 포함하여, 넓은 모드를 갖고 기계적 굽힘에 강한 세그먼트 클래딩 섬유를 저비용으로 용이하게 제조되는 광섬유 및 이의 제조 방법을 제공한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

C03B 37/01257 (2013.01)

C03B 37/025 (2013.01)

C03C 13/045 (2013.01)

G02B 6/02009 (2013.01)

(72) 발명자

오경환

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 물리학과 과학관 241호(신촌동)

문귀영

전라남도 여수시 소호로 658, 101동 1305호(학동, 부영아파트)

이현웅

인천광역시 부평구 경인로725번길 5-1(십정동)

유하준

서울특별시 서대문구 성산로17길 18-17, 102호(연희동, 리빙스톤B)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415177784
과제번호	P0011281
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술진흥원
연구사업명	산업기술국제협력(R&D)
연구과제명	라만 센서를 적용한 스마트 척추경 나사못 시스템
기 여 율	1/3
과제수행기관명	유엔아이(주)
연구기간	2021.04.01 ~ 2022.03.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711138179
과제번호	KMDF_PR_20200901_0103-02
부처명	다부처
과제관리(전문)기관명	(재단)범부처전주기의료기기연구개발사업단
연구사업명	범부처전주기의료기기연구개발사업(R&D)(과기정통부, 복지부, 산업부)
연구과제명	(참여1)의료영상기반의 정위기능수술 보조로봇시스템 및 부품모듈 개발
기 여 율	1/3
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711138122
과제번호	KMDF_PR_20200901_0088-01
부처명	다부처
과제관리(전문)기관명	(재단)범부처전주기의료기기연구개발사업단
연구사업명	범부처전주기의료기기연구개발사업(R&D)(과기정통부, 복지부, 산업부)
연구과제명	(주관)퇴행성뇌질환의 정밀수술적용을 위한 원인물질 및 신경세포활성 변화 모니터
링 라만 분자영상 시스템 핵심기술개발	
기 여 율	1/3
과제수행기관명	연세대학교산학협력단
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

다수의 로드를 제조하는 단계;

상기 다수의 로드 중 제1 굴절률을 갖는 다수의 제1 로드와 제1 굴절률보다 낮은 제2 굴절률을 갖는 다수의 제2 로드를 제1 굴절률 영역과 제2 굴절률 영역이 구분된 광섬유의 단면 구조에 따라 스택하여 예비 프리폼을 제작하는 단계;

상기 예비 프리폼을 프리폼 튜브에 삽입하여 최종 프리폼을 획득하는 단계; 및

상기 최종 프리폼을 가열 및 인발하여 광섬유를 획득하는 단계를 포함하는 광섬유의 제조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 예비 프리폼을 제작하는 단계는

상기 다수의 제1 로드와 상기 제2 로드를 상기 광섬유의 단면 구조에 따라 배치하면서 재결정 온도 이상으로 가열하여 결합하는 광섬유의 제조 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 광섬유는

단면 상에서 중앙에 위치하는 제1 굴절률의 코어와 상기 코어 주변으로 방위각 방향으로 제1 굴절률을 갖는 다수의 제1 세그먼트와 제2 굴절률을 갖는 다수의 제2 세그먼트가 교대로 반복 배열된 구조의 클래딩을 갖는 세그먼트 클래딩 섬유(이하 SCF)로 구현되는 광섬유의 제조 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는

상기 다수의 로드가 동일한 직경과 길이를 갖도록 제조하는 광섬유의 제조 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 예비 프리폼을 제작하는 단계는

상기 다수의 제1 로드를 상기 코어의 크기 및 형상에 따라 스택하고, 상기 다수의 제1 로드와 상기 다수의 제2 로드를 상기 제1 세그먼트와 상기 제2 세그먼트의 크기 및 형상에 따라 스택하여 상기 예비 프리폼을 획득하는 광섬유의 제조 방법.

청구항 6

제3항에 있어서, 상기 예비 프리폼을 제작하는 단계는

서로 다른 직경으로 구현된 상기 다수의 로드 중 가장 큰 직경을 갖는 제1 로드를 코어 로드로서 중심에 배치되고, 상기 코어 로드의 주위에 상기 다수의 제1 로드 및 제2 로드를 직경에 따라 배치하여 상기 클래딩을 구현되되, 작은 직경을 갖는 로드를 상기 코어에 인접하여 배치하는 광섬유의 제조 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는

로드 튜브에 상기 제2 로드를 구현하기 위한 실리카 파우더 또는 상기 제1 로드를 구현하기 위한 실리카 파우더와 불순물을 혼합한 믹스 파우더를 삽입하고, 실리카 파우더 또는 믹스 파우더가 삽입된 로드 튜브를 가열 및 인발하여 상기 다수의 로드를 획득하는 광섬유의 제조 방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는

실리카 파우더 또는 믹스 파우더가 삽입된 로드 튜브를 재결정 온도 이상의 온도로 가열하면서 인발하여 로드를 획득하는 광섬유의 제조 방법.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는

재결정 온도 이하의 온도로 1차 및 2차 가열하여 건조시킨 후, 재결정 온도 이상의 온도로 가열 및 인발하는 광섬유의 제조 방법.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는

상기 로드 내에 기포가 발생되지 않도록 상기 1차 가열 이후, 상기 로드 튜브에 헬륨을 주입하고 2차 가열하는 광섬유의 제조 방법.

청구항 11

제7항에 있어서, 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는

실리카 파우더 또는 상기 믹스 파우더를 가열하여 수분을 제거한 후 상기 로드 튜브에 삽입하는 광섬유의 제조 방법.

청구항 12

제7항에 있어서, 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는

상기 실리카 파우더에 상기 불순물인 알루미늄 파우더를 혼합하여 상기 믹스 파우더를 획득하는 광섬유의 제조 방법.

청구항 13

제7항에 있어서, 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는

제2 굴절률을 갖는 실리카 튜브에 상기 실리카 파우더 또는 믹스 파우더를 삽입하는 광섬유의 제조 방법.

청구항 14

제7항에 있어서, 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는

상기 제1 로드 제조 시에는 제2 굴절률을 갖는 실리카 튜브에 상기 실리카 파우더를 삽입하고, 상기 제2 로드 제조시에는 제1 굴절률 이상의 굴절률을 갖는 소재로 구현된 튜브에 믹스 파우더를 삽입하는 광섬유의 제조 방법.

청구항 15

코어 및 상기 코어의 주위로 서로 다른 굴절률을 갖는 적어도 하나의 제1 세그먼트와 적어도 하나의 제2 세그먼트로 구분되어 형성되는 클래딩을 포함하는 광섬유에 있어서,

상기 코어 및 상기 적어도 하나의 제1 세그먼트 각각에 따라 스택되어 배치되고 제1 굴절률을 갖는 다수의 제1 로드; 및

상기 적어도 하나의 제2 세그먼트 각각에 따라 스택되어 배치되고 상기 제1 굴절률보다 낮은 제2 굴절률을 갖는 다수의 제2 로드를 포함하는 프리폼이 인장된 구조를 갖는 광섬유.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 프리폼은

스택된 상기 다수의 제1 로드와 상기 다수의 제2 로드가 삽입되는 프리폼 튜브를 더 포함하는 광섬유.

청구항 17

제16항에 있어서, 상기 광섬유는

상기 프리폼을 재결정 온도 이상의 온도로 가열 및 인발하여 상기 프리폼의 단면에 따른 구조를 갖고 길이가 인장되어 구현되는 광섬유.

청구항 18

제15항에 있어서, 상기 광섬유는

단면 상에서 중앙에 위치하는 제1 굴절률의 상기 코어와 상기 코어 주변에서 방위각 방향으로 상기 다수의 제1 세그먼트와 상기 다수의 제2 세그먼트가 교대로 반복 배열된 구조를 갖는 세그먼트 클래딩 섬유(이하 SCF)로 구현되는 광섬유.

청구항 19

제18항에 있어서, 상기 프리폼은

상기 코어의 크기 및 형상에 따라 적어도 하나의 제1 로드가 배치되는 코어 영역;

상기 다수의 제1 세그먼트 각각의 크기 및 형상에 따라 다수의 제1 로드가 스택된 다수의 제1 세그먼트 영역; 및

상기 다수의 제2 세그먼트 각각의 크기 및 형상에 따라 다수의 제2 로드가 스택된 다수의 제2 세그먼트 영역을 포함하는 광섬유.

청구항 20

제19항에 있어서, 상기 다수의 제1 로드는 로드 튜브에 실리카 파우더와 불순물을 혼합한 믹스 파우더를 실리카 파우더를 삽입하고, 가열 및 인발하여 획득되고, 상기 다수의 제2 로드는 로드 튜브에 실리카 파우더를 삽입하고, 가열 및 인발하여 획득되는 광섬유.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 개시되는 실시예들은 광섬유 및 이의 제조 방법 및 장치에 관한 것으로, 넓은 모드를 갖는 대구경 광섬유 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 광섬유 레이저는 높은 에너지 효율, 우수한 광학 품질 및 변환 효율, 소형 크기 등의 장점을 가지고 있으며, 지난 수십 년 동안 가간섭성 광원으로 많은 관심을 받아왔다. 그러나 광섬유 레이저로서 고출력 레이저를 이용하는 경우에 발생하는 비선형 광학 효과로 인해 빔의 품질이 저하되고 및 출력이 제한된다는 한계가 존재한다.

[0003] 고출력 광섬유 레이저에서 광학적 비선형성을 억제하는 효율적인 방법 중 하나는 넓은 모드 영역 광섬유를 적용하는 것이다. 광섬유가 넓은 모드 영역을 가져 코어 직경이 확대되면 큰 유효 면적을 얻을 수 있지만, 단일 모드를 충족시키기 위해서는 코어의 굴절률이 낮아야 하고 코어 영역에 고르게 분포되어야 한다. 그리고 이 경우, 광섬유가 기계적 굽힘에 민감하게 되어, 광섬유의 제조 공정에서의 문제를 발생시킨다.

[0004] 따라서 광섬유 레이저 및 증폭기의 성능을 향상시키기 위해서는 넓은 모드 영역을 갖는 광섬유를 효율적으로 설계 및 제조할 수 있어야 한다. 최근 고출력 광섬유 레이저 및 증폭기에서의 높은 빔 품질을 보장하기 위해 PCF(Photonic Crystal Fiber), LCF(Leakage channel fiber), holey fiber, step-index fiber 등 다양한 넓은 모드 영역 광섬유가 연구되었다. 하지만, 이와 같은 광섬유들은 최첨단 설비에서도 양산하기에 어렵다는 한계가 존재한다.

[0005] 따라서, 설계 및 제조 과정이 복잡하지 않으며 기계적 굽힘에 강한 섬유가 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국 공개 특허 제10-2017-0054035호 (2017.05.17 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 개시되는 실시예들은 기계적 굽힘에 강하면서 넓은 모드를 갖는 우수한 품질의 대구경 광섬유 및 이의 제조 방법을 제공하는데 있다.

[0008] 개시되는 실시예들은 방위가 방향으로 저굴절률 세그먼트와 고굴절률 세그먼트가 교대로 반복 배열된 클래딩을 갖는 세그먼트 클래딩 섬유를 저비용으로 용이하게 제조할 수 있는 광섬유 제조 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 실시예에 따른 광섬유 제조 방법은 다수의 로드를 제조하는 단계; 상기 다수의 로드 중 제1 굴절률을 갖는 다수의 제1 로드와 제1 굴절률보다 낮은 제2 굴절률을 갖는 다수의 제2 로드를 제1 굴절률 영역과 제2 굴절률 영역이 구분된 광섬유의 단면 구조에 따라 스택하여 예비 프리폼을 제작하는 단계; 상기 예비 프리폼을 프리폼 튜브에 삽입하여 최종 프리폼을 획득하는 단계; 및 상기 최종 프리폼을 가열 및 인발하여 광섬유를 획득하는 단계를 포함한다.

[0010] 상기 예비 프리폼을 제작하는 단계는 상기 다수의 제1 로드와 상기 제2 로드를 상기 광섬유의 단면 구조에 따라 배치하면서 재결정 온도 이상으로 가열하여 결합할 수 있다.

[0011] 상기 광섬유는 단면 상에서 중앙에 위치하는 제1 굴절률의 코어와 상기 코어 주변으로 방위각 방향으로 제1 굴절률을 갖는 다수의 제1 세그먼트와 제2 굴절률을 갖는 다수의 제2 세그먼트가 교대로 반복 배열된 구조의 클래딩을 갖는 세그먼트 클래딩 섬유(이하 SCF)로 구현될 수 있다.

[0012] 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는 상기 다수의 로드와 동일한 직경과 길이를 갖도록 제조할 수 있다.

[0013] 상기 예비 프리폼을 제작하는 단계는 상기 다수의 제1 로드를 상기 코어의 크기 및 형상에 따라 스택하고, 상기 다수의 제1 로드와 상기 다수의 제2 로드를 상기 제1 세그먼트와 상기 제2 세그먼트의 크기 및 형상에 따라 스택하여 상기 예비 프리폼을 획득할 수 있다.

[0014] 상기 예비 프리폼을 제작하는 단계는 서로 다른 직경으로 구현된 상기 다수의 로드 중 가장 큰 직경을 갖는 제1 로드를 코어 로드로서 중심에 배치되고, 상기 코어 로드의 주위에 상기 다수의 제1 로드 및 제2 로드를 직경에 따라 배치하여 상기 클래딩을 구현하되, 작은 직경을 갖는 로드를 상기 코어에 인접하여 배치할 수 있다.

[0015] 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는 로드 튜브에 상기 제2 로드를 구현하기 위한 실리카 파우더 또는 상기 제1 로드를 구현하기 위한 실리카 파우더와 불순물을 혼합한 믹스 파우더를 삽입하고, 실리카 파우더 또는 믹스 파우더가 삽입된 로드 튜브를 가열 및 인발하여 상기 다수의 로드를 획득할 수 있다.

[0016] 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는 실리카 파우더 또는 믹스 파우더가 삽입된 로드 튜브를 재결정 온도 이상의 온도로 가열하면서 인발하여 로드를 획득할 수 있다.

[0017] 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는 재결정 온도 이하의 온도로 1차 및 2차 가열하여 건조시킨 후, 재결정 온도 이상의 온도로 가열 및 인발할 수 있다.

[0018] 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는 상기 로드 내에 기포가 발생되지 않도록 상기 1차 가열 이후, 상기 로드 튜브에 헬륨을 주입하고 2차 가열할 수 있다.

[0019] 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는 실리카 파우더 또는 상기 믹스 파우더를 가열하여 수분을 제거한 후 상기 로드 튜브에 삽입할 수 있다.

[0020] 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는 상기 실리카 파우더에 상기 불순물인 알루미늄이나 파우더를 혼합하여 상기 믹스

스 파우더를 획득할 수 있다.

[0021] 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는 제2 굴절률을 갖는 실리카 튜브에 상기 실리카 파우더 또는 믹스 파우더를 삽입할 수 있다.

[0022] 상기 다수의 로드를 제조하는 단계는 상기 제1 로드 제조 시에는 제2 굴절률을 갖는 실리카 튜브에 상기 실리카 파우더를 삽입하고, 상기 제2 로드 제조시에는 제1 굴절률 이상의 굴절률을 갖는 소재로 구현된 튜브에 믹스 파우더를 삽입할 수 있다.

[0023] 실시예에 따른 광섬유 광섬유는 코어 및 상기 코어의 주위로 서로 다른 굴절률을 갖는 적어도 하나의 제1 세그먼트와 적어도 하나의 제2 세그먼트로 구분되어 형성되는 클래딩을 포함하는 광섬유에 있어서, 상기 코어 및 상기 적어도 하나의 제1 세그먼트 각각에 따라 스택되어 배치되고 제1 굴절률을 갖는 다수의 제1 로드; 및 상기 적어도 하나의 제2 세그먼트 각각에 따라 스택되어 배치되고 상기 제1 굴절률보다 낮은 제2 굴절률을 갖는 다수의 제2 로드를 포함하는 프리폼이 인장된 구조를 갖는다.

발명의 효과

[0024] 따라서, 실시예에 따른 광섬유 및 이의 제조 방법은 실리카 분말 단독 또는 실리카 분말과 도핑 분말이 혼합된 혼합 분말을 유리관에 채워 열간 인발함으로써 다수의 로드를 획득하고, 획득된 다수의 로드를 스택하여 프리폼을 제작한 후 다시 열간 인발하여 광섬유를 제조함으로써, 넓은 모드를 갖고 기계적 굽힘에 강한 세그먼트 클래딩 섬유를 저비용으로 용이하게 제조할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 세그먼트 클래딩 섬유를 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 일 실시예 따른 광섬유 제조 방법을 나타낸다.

도 3은 도 2의 로드 제조 단계의 상세 과정을 나타낸다.

도 4는 광섬유에 이용되는 파우더의 일 예를 나타낸다.

도 5는 도 2의 로드 제조 단계에서 제조된 로드의 일 예를 나타낸다.

도 6은 도 2의 프리폼 제작 단계에서 제작된 예비 프리폼의 일 예를 나타낸다.

도 7은 도 2의 프리폼 튜브 삽입 단계에서 삽입된 프리폼을 나타낸다.

도 8은 도 7의 튜브에 삽입된 프리폼의 단면을 나타낸다.

도 9는 실시예에 따라 제조된 광섬유의 단면을 나타낸다.

도 10은 도 9의 SCF의 단일 모드에서의 전기장 분포를 나타낸다.

도 11 및 도 12는 다른 실시예에 따라 제조된 광섬유를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 이하, 도면을 참조하여 일 실시예의 구체적인 실시형태를 설명하기로 한다. 이하의 상세한 설명은 본 명세서에서 기술된 방법, 장치 및/또는 시스템에 대한 포괄적인 이해를 돕기 위해 제공된다. 그러나 이는 예시에 불과하며 본 발명은 이에 제한되지 않는다.

[0027] 일 실시예들을 설명함에 있어서, 본 발명과 관련된 공지기술에 대한 구체적인 설명이 일 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다. 그리고, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 상세한 설명에서 사용되는 용어는 단지 일 실시예들을 기술하기 위한 것이며, 결코 제한적이어서는 안 된다. 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 단수 형태의 표현은 복수 형태의 의미를 포함한다. 본 설명에서, "포함" 또는 "구비"와 같은 표현은 어떤 특성들, 숫자들, 단계들, 동작들, 요소들, 이들의 일부 또는 조합을 가리키기 위한 것이며, 기술된 것 이외에 하나 또는 그 이상의 다른 특성, 숫자, 단계, 동작, 요소, 이들의 일부 또는 조합의 존재 또는 가능성을 배제하도록 해석되어서는 안 된다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "블록" 등의 용어는 적어

도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0028] 도 1은 세그먼트 클래딩 섬유를 설명하기 위한 도면이다.

[0029] 도 1은 세그먼트 클래딩 섬유(Segment cladding fiber: 이하 SCF)의 일 예를 나타낸 것이다. SCF는 일반적인 광섬유와 마찬가지로 중심에 위치하고 고굴절률(high index)(n_1)을 갖는 코어(14)와 코어(14)의 주위를 감싸는 클래딩(13)을 포함한다. 다만 도 1에 도시된 바와 같이, SCF에서 코어(14)의 주위를 감싸는 클래딩(13)은 방위 각 방향으로 코어(14)와 마찬가지로 고굴절률(n_1)을 갖는 제1 세그먼트(11)와 저굴절률(low index)(n_2)을 갖는 제2 세그먼트(12)가 교대로 반복 배열된 구조를 갖는다. 즉 세그먼트 클래딩 섬유는 코어(14)를 중심으로 다수의 제1 세그먼트(11)와 제2 세그먼트(12)가 외부로 방사되는 패턴을 간는 방사형 구조로 구현된다.

[0030] 여기서는 SCF의 일 예로 각각 8개의 제1 세그먼트(11)와 제2 세그먼트(12)가 교대로 반복 배열되는 경우를 도시하였으나, 반복 배열되는 제1 세그먼트(11)와 제2 세그먼트(12)와 함께 개수는 4개, 6개 8개 등 다양하게 설정될 수 있다. 또한 SCF의 일 예로 제1 세그먼트(11)와 제2 세그먼트(12) 각각의 각도 범위($2\theta_1$, $2\theta_2$)가 동일하게 도시되어 있으나, 제1 세그먼트(11)와 제2 세그먼트(12)의 각도 범위($2\theta_1$, $2\theta_2$)는 서로 상이하게 설정될 수 있다.

[0031] 이와 같은 구조를 갖는 SCF는 넓은 모드 영역 및 단일 모드 요구 사항을 동시에 충족할 수 있는 장점을 갖는 것으로 알려져 있다. SCF는 holey fiber 등과 같이 공기 홀의 배열을 필요하지 않아 길이 방향으로 긴 구조를 갖는 광섬유에서 중요한 길이 방향 균일성을 제공할 수 있다. 또한 기존의 광섬유의 굴절률 대비를 사용할 수 있으며, SCF의 색 분산 및 편광 특성을 실제 섬유 제조 공정 한계 내에서 용이하게 조절할 수 있다. 뿐만 아니라, SCF는 클래딩 구조에 의해 모든 고차 모드가 효과적으로 제거될 수 있는 누설 광섬유이므로 광 비선형성 문제에 효과적으로 대처하기 위해 모드 영역을 크게 유지하면서 확장된 파장 범위에 걸쳐 단일 모드 작동이 가능하다. SCF의 이러한 장점은 고출력 섬유 레이저, 광섬유 증폭기, 고밀도 파장 분할 다중화 광통신 시스템 및 증적외선 감지의 응용될 수 있다. 추가적으로 SCF는 완전 고체 섬유이므로 코어 클래딩 계면에서 기하학적으로 유도된 복굴절 및 산란 손실에 잠재적으로 덜 민감하다.

[0032] 다만, SCF는 도 1에 도시된 바와 같이, 복잡한 단면 구조를 가져 제조가 용이하지 않다는 문제를 갖고 있다. 이와 같은 제조의 한계로 인해, SCF는 많은 장점에도 불구하고 활발하게 보급되지 못하고 있다. 따라서 복잡한 단면 구조를 갖는 SCF를 용이하게 제조할 수 있는 제조 기법이 요구되고 있다.

[0033] 도 2는 일 실시예 따른 광섬유 제조 방법을 나타내고, 도 3은 도 2의 로드 제조 단계의 상세 과정을 나타내며, 도 4는 광섬유에 이용되는 파우더의 일 예를 나타낸다. 그리고 도 5는 도 2의 로드 제조 단계에서 제조된 로드의 일 예를 나타낸다.

[0034] 우선 도 2를 참조하면, 본 실시예에 따른 광섬유 제조 방법은 우선 다수의 로드(rod)(51)를 제조한다(21). 여기서 다수의 로드(rod)는 도 5에 도시된 바와 같이, 기지정된 직경(일 예로 1mm)과 길이(일 예로 300mm)를 가질 수 있다. 또한 다수의 로드(rod)(51)는 고굴절률을 갖는 제1 로드와 저굴절률을 갖는 제2 로드로 구분되어 제조될 수 있다. 이때 고굴절률을 갖는 제1 로드는 SCF의 코어(14) 또는 고굴절률의 제1 세그먼트(11)를 구성하는 요소로 이용될 수 있으며, 저굴절률을 갖는 제2 로드는 SCF의 저굴절률의 제2 세그먼트(12)를 구성하는 요소로 이용될 수 있다.

[0035] 도 3을 참조하면, 구체적으로 로드를 제조하는 단계(21)는 먼저 로드(rod)(51)로 제조될 원 재료를 분쇄하여 파우더를 준비한다(31). 광섬유 제조를 위한 재료로는 기본적으로 고순도 실리카(SiO_2)가 이용된다. 다만 고순도 실리카(SiO_2)는 광섬유에서 저굴절률을 갖는 소재로서 제2 세그먼트(12)를 구현하기 위해 이용될 수 있으나, 고굴절률을 가져야 하는 제1 세그먼트(11)를 구현할 수 없다. 이에 고굴절률의 제1 세그먼트(11)를 구현하기 위해서는 불순물이 첨가되어 도핑되어야 한다. 고굴절률을 구현하기 위해 첨가되는 불순물은 다양한 공지되어 있으나, 여기서는 일 예로 알루미나(Al_2O_3)를 이용하는 것으로 가정한다. 따라서 실시예에서는 도 4의 (a) 및 (b)에 도시된 바와 같이, 고순도 실리카(SiO_2)와 알루미나(Al_2O_3)를 각각 분쇄하여 파우더를 준비한다.

[0036] 그리고 고순도 실리카(SiO_2)와 알루미나(Al_2O_3)를 분쇄한 파우더 분말이 준비되면, 고굴절률을 갖는 제1 로드를 구현하기 위해 실리카 파우더와 알루미나 파우더를 지정된 비율로 믹싱한다(32). 이때 실리카 파우더와 알루미

나 파우더의 믹싱 비율은 요구되는 제1 로드와 저굴절률을 갖는 제2 로드와 다르게 조절될 수 있다.

- [0037] 이때 저굴절률을 갖는 제2 로드는 실리카(SiO_2)만으로 제조될 수 있으므로, 제2 로드를 제조하는 경우, 파우더 믹싱 과정은 생략될 수 있다.
- [0038] 실리카 파우더 또는 실리카 파우더와 알루미늄 파우더가 믹싱된 믹싱 파우더가 준비되면, 파우더를 가열하여 파우더의 수분을 제거한다(33). 이때 파우더는 일 예로 150℃ 오븐에서 1시간 동안 가열되어 수분이 제거될 수 있다. 경우에 따라서 수분이 제거된 파우더가 더 작고 균일한 크기의 입자가 되도록 분쇄 또는 밀링 공정을 추가할 수 있다.
- [0039] 그리고 수분이 제거된 파우더를 실리카 튜브에 삽입하여 채운다(34). 이는 재료를 튜브에 삽입하여 요구되는 형상으로 제조하는 PIT(Powder-in-tube: PIT) 기법을 적용하기 위해서이다. 이때 고굴절률을 갖는 제1 로드를 제조하고자 하는 경우에는 믹싱 파우더를 실리카 튜브에 삽입하고, 저굴절률을 갖는 제2 로드를 제조하고자 하는 경우에는 실리카 파우더를 실리카 튜브에 삽입한다.
- [0040] 여기서 실리카 튜브는 일 예로 17mm의 내경과 21mm의 외경을 가질 수 있으며, 길이는 삽입되는 파우더의 양에 따라 다양하게 조절될 수 있다. 그리고 실리카 튜브는 로드를 제조하기 위해 이용되므로 이하에서는 로드 튜브라 한다.
- [0041] 이후 로드 튜브에 삽입된 파우더를 1차 건조한다(35). 1차 건조 시에는 파우더가 삽입된 로드 튜브를 지정된 온도(예를 들면 1100℃)로 가열하여 건조시킬 수 있다. 1차 건조 이후, 헬륨 가스를 주입하고 지정된 온도(예를 들면 1700℃) 가열하여 로드 튜브에 삽입된 파우더를 2차 건조한다(36). 여기서 1차 건조와 2차 건조 온도(1100℃, 1700℃)는 파우더 및 로드 튜브의 재결정온도보다 낮아야 한다. 즉 파우더 및 로드 튜브가 용융되지 않아야 한다. 그리고 1차 건조와 2차 건조 사이에 헬륨 가스를 주입하는 것은 로드 튜브 내부에 잔존하는 여분의 공기가 완전 배출되도록 하여, 제조된 로드(51)에 기포가 발생되지 않도록 하기 위함이다.
- [0042] 2차 건조까지 수행되어 로드 튜브 내에 수분과 공기가 제거되면, 로드 튜브와 파우더의 재결정 온도 이상 온도(예를 들면 2050℃)로 가열하면서 인발(drawing)함으로써, 용융된 파우더와 로드 튜브가 인장되어 지정된 직경(여기서는 1mm)을 갖는 로드를 획득한다(37). 즉 PIT 기법에 따라 파우더가 삽입된 로드 튜브 전체를 열간 인발(Hot-drawing) 기법으로 인발하여 로드를 획득한다. 건조 및 인발 공정은 고온이 요구되므로 퍼니스(furnace)에서 수행될 수 있으나, 이에 한정되지 않는다.
- [0043] 로드 튜브가 내부에 삽입된 파우더와 기본적으로 동일한 소재인 실리카(SiO_2) 소재로 구현되고, 실리카(SiO_2) 소재 자체가 광섬유의 재료로 이용되므로, 실시예에서는 로드 튜브 내부에 삽입되어 용융된 파우더만을 인발하는 것이 아니라 파우더가 삽입된 로드 튜브 전체를 인발하여 로드를 획득한다.
- [0044] 다만 인발되어 획득된 로드(51)의 길이는 서로 상이할 수 있으므로, 획득된 로드를 지정된 길이(300mm) 단위로 절단한다(38).
- [0045] 이와 같이 실시예에서 다수의 로드(51) 각각은 로드 튜브에 실리카 파우더 또는 실리카 파우더와 도핑 소재인 알루미늄 파우더가 믹싱된 믹싱 파우더를 삽입하고, 이를 재결정 온도 이상의 온도로 가열 및 인발하여 지정된 크기로 절단함으로써 획득될 수 있다.
- [0046] 여기서 획득된 다수의 로드 중 실리카 파우더와 알루미늄 파우더가 믹싱된 믹싱 파우더가 로드 튜브 내부에 채워져 제조된 제1 로드는 로드 튜브와 튜브내 파우더의 소재에 차이가 있다. 그러나 실리카 파우더만으로 로드 튜브 내부가 채워져 제조된 제2 로드(51)의 경우는 동일 소재의 재료가 재결정 온도 이상의 온도에서 용융되어 제조됨에 따라 실질적으로 로드 튜브와 내부에 채워진 파우더가 융합되어 경계가 사라지게 된다.
- [0047] 도 3의 방법에 따라 고굴절률을 갖는 다수의 제1 로드와 저굴절률을 갖는 다수의 제2 로드가 획득되면, 다수의 제1 로드와 다수의 제2 로드를 미리 설계된 SCF의 단면 구조에 따라 배열된 예비 프리폼(65)을 제작한다(22).
- [0048] 프리폼 제작 단계에서는 우선 SCF의 단면 구조에 따라 다수의 제1 로드와 다수의 제2 로드를 스택하고, 스택된 제1 및 제2 로드를 가열하여 결합함으로써 예비 프리폼 제작한다(23). 이때 SCF의 단면 구조에 따른 예비 프리폼(65)의 코어(64)와 클래딩의 세그먼트의 형상 및 구조는 요구되는 광섬유의 특성에 따라 유한 요소법(finite element method: FEM) 등을 이용하여 미리 결정될 수 있으며, 결정된 코어(64)와 클래딩의 세그먼트의 형상 및 구조에 따라 제1 및 제2 로드(51)가 스택될 수 있다. 즉 고굴절률 영역과 저굴절률 영역이 구분된 광섬유의 단면 구조에 따라 고굴절률을 갖는 다수의 제1 로드 및 저굴절률을 갖는 다수의 제2 로드를 스택하고 가열하여 예비

프리폼을 획득한다.

- [0049] 이때 예비 프리폼 제작은 유리 작업 선반에서 수행될 수 있으며, 로드간 결합은 산소 프로판 버너 등을 이용하여 재결정 온도 이상의 온도(예를 들면 2200℃)로 전체 또는 부분 가열하여 수행될 수 있다.
- [0050] 예비 프리폼은 다수의 제1 로드와 다수의 제2 로드 각각을 스택할 때마다 가열하여 개별 로드 각각을 순차적으로 결합하여 제작될 수도 있으나, 다수의 제1 로드와 다수의 제2 로드를 모두 스택한 후 가열하여 한 번에 결합하여 제작될 수도 있다.
- [0051] 도 6은 도 2의 프리폼 제작 단계에서 제작된 예비 프리폼의 일 예를 나타낸다.
- [0052] 본 실시예에서는 다수의 로드(51)를 우선 제조하고 제조된 다수의 로드(51)를 단순하게 스택하고 가열하여 예비 프리폼(65)을 제작하므로, 예비 프리폼(65)을 매우 자유로운 형태로 용이하게 구성할 수 있다. 이는 광섬유의 단면이 임의의 어떠한 구조를 가질지라도 다수의 로드(51)를 해당 단면 구조에 따라 스택함으로써 요구되는 단면 구조를 구현할 수 있음을 의미한다. 그러므로, 도 6에 도시된 바와 같이, 복잡한 단면 구조를 갖는 SCF를 위한 예비 프리폼(65)을 매우 용이하게 제작할 수 있다. 즉 코어(64)의 형태와 크기뿐만 아니라, 클래딩을 구성하는 제1 및 제2 세그먼트의 형상과 개수 및 크기를 자유롭게 조절할 수 있으며, 클래딩에 제1 및 제2 세그먼트 이외의 구성을 추가할 수도 있다. 예로서 코어(64)와 제1 및 제2 세그먼트 사이에 저굴절률 요소나 고굴절률 요소를 더 추가할 수도 있다.
- [0053] 여기서는 일 예로 고굴절률의 다수의 제1 로드(61)가 6각형 형상으로 스택되어 코어(64)를 구성하고, 클래딩의 제1 세그먼트는 코어(64)와 동일한 다수의 제1 로드(61)가 6각형상의 코어(64)의 각 모서리에서 방사되는 형상으로 스택되어 구현되며, 제2 세그먼트는 저굴절률의 다수의 제2 로드(62)가 6각형상의 코어(64)의 각 모서리에서 방사되는 형상으로 스택되어 구현됨으로써 SCF를 위한 예비 프리폼이 제작되는 것으로 가정하였다. 그러나 SCF를 위한 예비 프리폼(65)에서 코어(64)와 클래딩의 세그먼트의 형상 및 구조는 설계에 따라 다양하게 조절될 수 있다. 이와 같이 코어(64)와 클래딩의 세그먼트의 형상 및 구조가 다양하게 변형될 지라도 실시예에 따르면, 다수의 제1 및 제2 로드(61, 62)가 스택되는 배치 구조만 변형하여 용이하게 예비 프리폼(65)을 제작할 수 있다.
- [0054] 도 6에서와 같이 SCF를 위한 예비 프리폼(65)이 제작되면, 예비 프리폼(65)을 실리카 튜브(66)에 삽입하여 최종 프리폼을 획득한다(24).
- [0055] 도 7은 도 2의 프리폼 튜브 삽입 단계에서 삽입된 예비 프리폼을 나타내고, 도 8은 도 7의 튜브에 삽입된 예비 프리폼의 단면을 나타낸다.
- [0056] 실리카 튜브(66)는 로드 제조시에 이용되는 로드 튜브와 동일한 소재로 구현된 튜브이지만, 도 7 및 도 8에 도시된 바와 같이, 제작된 예비 프리폼(65)의 직경에 대응하는 내경을 가질 수 있다. 도 8을 참조하면, 예비 프리폼(65)에서 최대 직경 방향으로 17개의 로드가 배열되었으며, 각 로드가 1mm의 직경을 갖는다고 하였으므로, 실리카 튜브(66)의 내경은 17mm 이상(여기서는 일 예로 19mm)일 수 있으며, 외경은 25mm일 수 있다. 이때 예비 프리폼(65)에서 코어(64)의 직경은 5mm이다.
- [0057] 그리고 실리카 튜브(66)는 도 7에 도시된 바와 같이, 예비 프리폼(65)이 삽입되는 일단은 개방된 반면, 타단은 폐쇄된 형태를 가질 수 있다. 이하에서는 로드 제조시에 이용되는 로드 튜브와 예비 프리폼(65)이 삽입되는 실리카 튜브(66)를 구분하기 위해, 예비 프리폼(65)이 삽입되는 실리카 튜브(66)를 프리폼 튜브라 한다. 여기서는 예비 프리폼(65)이 삽입된 프리폼 튜브(66)를 최종 프리폼이라 한다.
- [0058] 예비 프리폼(65)이 프리폼 튜브(66)에 삽입되어 최종 프리폼이 획득되면, SCF를 제조한다(25). SCF를 제조하는 단계에서는 우선 제작된 예비 프리폼(65)이 프리폼 튜브(66)에 삽입된 최종 프리폼을 재결정 온도 이상의 온도(2200℃)로 가열한다(26). 그리고 로드(51)를 획득하는 과정과 마찬가지로, 가열된 최종 프리폼을 인발하여 SCF를 획득한다(27). 이때 예비 프리폼(65)은 프리폼 튜브(66)와 함께 인발된다.
- [0059] 도 9는 실시예에 따라 제조된 광섬유의 단면을 나타낸다.
- [0060] 가열된 예비 프리폼(65)과 프리폼 튜브(66)가 함께 인발되어 SCF가 획득되면, SCF의 단면은 도 9에 도시된 바와 같이, 스택되어 예비 프리폼(65)을 구성하는 다수의 제1 로드 및 다수의 제2 로드의 배열 구조가 거의 그대로 유지하면서 전체적으로 직경이 매우 작아진 형태를 갖게 된다.
- [0061] 도 9에서 (a)는 SCF의 단면에 스택된 다수의 제1 및 제2 로드의 배치 구조가 유지되고 있음을 설명하기 위한 도

면이다. 그러나 상기한 바와 같이, 프리폼 튜브(96)와 제2 로드(92)뿐만 아니라, 제1 로드(91)의 외주면을 형성한 로드 튜브 또한 실리카만으로 구성되어 있다. 따라서 최종 프리폼이 재결정 온도 이상으로 가열되면, 프리폼 튜브(96)와 제2 로드(92) 및 제1 로드(91)의 외주면이 용융 및 융합되며, 이에 실제 SCF는 도 9의 (b)와 같은 구조로 획득될 수 있다.

[0062] 인발된 SCF의 직경은 다양하게 결정될 수 있으며, 여기서는 일 예로 $138\mu\text{m}$ 인 것으로 가정한다. 25mm 의 직경을 갖는 최종 프리폼이 인발되어 $138\mu\text{m}$ 의 직경을 갖는 SCF로 획득되므로, SCF는 수백m 이상의 길이로 획득될 수 있다. 이때 코어의 직경은 대략 $20\mu\text{m}$ 이다.

[0063] 도 10은 도 9의 SCF의 단일 모드에서의 전기장 분포를 나타낸다.

[0064] 도 10에서 (a)와 (b)는 각각 파장(λ)이 $1\mu\text{m}$ 인 경우와 $1.55\mu\text{m}$ 인 광에 대한 단일 모드에서의 모드 세기, 즉 전기장 분포를 나타내고, (c)는 X축 방향 및 대각선 방향의 모드 세기를 그래프로 나타낸 결과를 나타낸다. (c)에서는 고굴절률을 갖는 제1 세그먼트 방향의 모드 세기를 실선으로 표시하였고, 저굴절률을 갖는 제2 세그먼트 방향의 모드 세기를 점선으로 표현하였다. 도 10의 (a) 및 (b)에 도시된 바와 같이, 본 실시예로 제조된 SCF에서 모드 세기는 고굴절률을 갖는 제1 세그먼트에 의해 클래딩으로 거의 확산되지 않고, 코어에 집중되어 있음을 알 수 있다. 그리고 (c)의 모드 세기 분포를 살펴보면, 광이 저굴절률을 갖는 제2 세그먼트보다 고굴절률을 갖는 제1 세그먼트에 의해 포획된다. 따라서 실시예에 따라 구현된 SCF는 단일 모드로 동작할 수 있다. 실험에 따르면 실시예의 SCF는 $1\mu\text{m} \sim 1.7\mu\text{m}$ 파장 범위에서 단일 모드로 동작할 수 있음이 확인되었다. 그리고 $1.55\mu\text{m}$ 의 파장에서 LP11 및 LP01 모드의 구속 손실은 16.8dB/m 및 0.49dB/m 로 나타났다. 따라서 1.23m 길이의 SCF에서 LP11는 20dB 의 소광비로 감쇠될 수 있다. 또한 SCF의 유효 모드 면적은 파장(λ)이 $1\mu\text{m}$, $1.55\mu\text{m}$ 및 $1.7\mu\text{m}$ 인 경우에 각각 $150\mu\text{m}^2$, $231\mu\text{m}^2$ 및 $260\mu\text{m}^2$ 인 것으로 확인되었다. 즉 코어가 고굴절률을 가짐에도 넓은 유효 모드 면적을 가질 수 있다.

[0065] 도 11 및 도 12는 다른 실시예에 따라 제조된 광섬유를 나타낸다.

[0066] 상기에서는 SCF의 예비 프리폼(65)을 제작하기 위해 모두 동일한 직경을 갖는 다수의 로드(51)를 스택하는 것으로 설명하였다. 이와 같이, 다수의 로드(51)가 모두 동일한 직경을 갖는 경우, 다수의 로드(51)를 단지 고굴절률 로드(61)와 저굴절률 로드(62)로만 구분하여 스택하면 된다. 그러나 도 9에 도시된 바와 같이 SCF에서 각 로드는 셀 형상을 구성하는 것으로 볼 수 있으며, 예비 프리폼(65)의 전체 직경에 대비한 로드(61)의 상대적 직경이 큰 경우, 셀 크기가 상대적으로 크기 때문에, 세그먼트 형상을 정밀하게 조절할 수 없다. 또한 분할된 코어가 다수의 고굴절률 로드(61)로 구현된다. 이로 인해 적으나마 단일 모드 손실이 발생하고, 유효 모드 면적의 방향에 따라 상이하게 나타날 수 있다.

[0067] 이에 도 11 및 도 12에서는 서로 다른 직경을 갖는 다수의 고굴절률 로드와 다수의 저굴절률 로드를 획득하고, 획득된 서로 다른 직경을 갖는 다수의 고굴절률 로드와 다수의 저굴절률 로드를 스택하여 획득한 SCF를 나타낸다.

[0068] 도 11 및 도 12의 SCF에서는 우선 가장 큰 직경을 갖는 코어 로드(114, 124)를 중앙에 배치하고, 코어 로드(114, 124)로부터 외부로 방사되는 패턴으로 다수의 고굴절률 로드(111, 121)와 다수의 저굴절률 로드(112, 122)를 스택한다. 이때, 다수의 고굴절률 로드(111, 121)와 다수의 저굴절률 로드(112, 122)는 코어 로드(114, 124)에 인접할수록 작은 직경을 갖고, 이격될수록 큰 직경을 갖는 로드가 배치되도록 함으로써, 각 세그먼트의 범위가 정확하게 유지되면서, 코어 로드(114, 124)로부터의 거리가 상이하여도 동일한 개수의 로드가 배치되도록 하여 일관성이 유지되도록 하였다.

[0069] 이와 같은 배치구조를 갖도록 로드가 스택되어 제조된 SCF는 도 9의 SCF에 비해 기계적 굽힘에 더욱 둔감하고 구부러진 상태에서 단일 모드 손실이 더 낮을 뿐만 아니라 모든 방향에서 넓은 유효 모드 면적을 가질 수 있다.

[0070] 또한 도 9 및 도 11의 SCF에서는 고굴절률 로드(61, 111)와 저굴절률 로드(62, 112)를 모두 동일하게 PIT 기법에 따라 로드 튜브에 파우더를 삽입하여 제조하였다. 그러나 로드 튜브는 상기한 바와 같이, 저굴절률 로드(62, 112)를 제조하기 위한 파우더와 동일한 실리카 소재로 구현된 튜브이다. 따라서 도 9 및 도 11의 SCF에서는 스택된 고굴절률 로드(61, 111)가 저굴절률 소재를 사이에 두고 결합되는 구조로 구현된다. 이에 도 12의 SCF에서는 실리카와 알루미늄이 믹스된 믹스 파우더를 고굴절률을 갖는 로드 튜브에 삽입하여 고굴절률 로드(121)를 제조한다. 이때 고굴절률 로드 튜브는 믹스 파우더보다 더 높은 굴절률을 가질 수 있다. 이와 같이 고굴절률의 로드 튜브를 이용하여 고굴절률을 갖는 로드를 제조하는 경우, 광이 더욱 용이하게 고굴절률을 갖는

제1 세그먼트에 의해 포획되어 넓은 유효 모드 면적을 갖고 기계적 굽힘에 강건할 수 있다.

상기에서는 설명의 편의를 위하여 제1 로드와 제2 로드가 각각 고굴절률과 저굴절률을 갖는 것으로 설명하였으나, 이는 상대적인 굴절률 차이를 표현하기 위한 것으로 고굴절률은 제1 굴절률이라고 하고 저굴절률은 제1 굴절률보다 낮은 제2 굴절률이라고 할 수 있다.

도 2 및 도 3에서는 각각의 과정을 순차적으로 실행하는 것으로 기재하고 있으나 이는 예시적으로 설명한 것에 불과하고, 이 분야의 기술자라면 본 발명의 실시예의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 도 2 및 도에 기재된 순서를 변경하여 실행하거나 또는 하나 이상의 과정을 병렬적으로 실행하거나 다른 과정을 추가하는 것으로 다양하게 수정 및 변형하여 적용 가능하다.

그리고 도 2에 도시된 광섬유 제조 방법은 컴퓨팅 장치를 포함하는 컴퓨팅 환경에서 수행될 수 있으며, 적어도 하나의 프로세서 및 컴퓨터 판독 가능 저장매체를 포함하여 구현되는 컴퓨팅 장치를 포함할 수 있다.

이상에서 대표적인 실시예를 통하여 본 발명에 대하여 상세하게 설명하였으나, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

11: 제1 세그먼트 12: 제2 세그먼트

13: 클래딩 14, 64: 코어

51: 로드 61: 고굴절률 로드

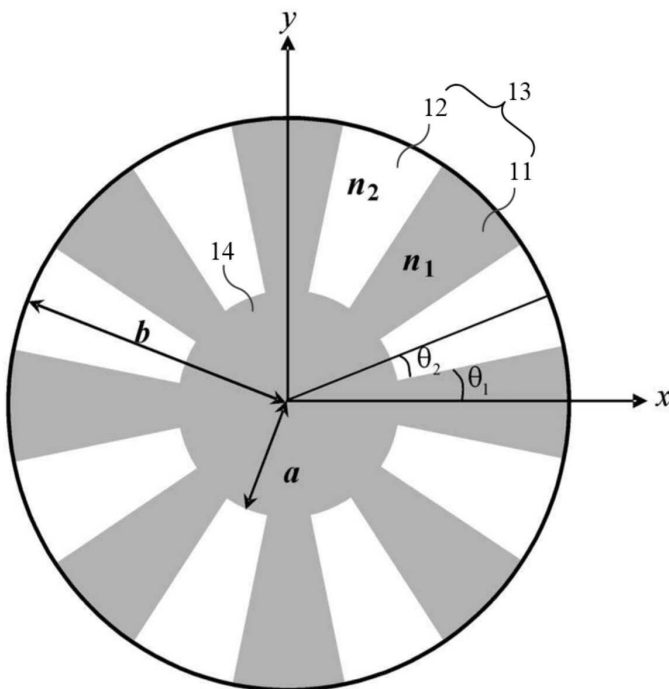
62: 저굴절률 로드 65: 예비 프리폼

66: 프리폼 튜브 114, 124: 코어 로드

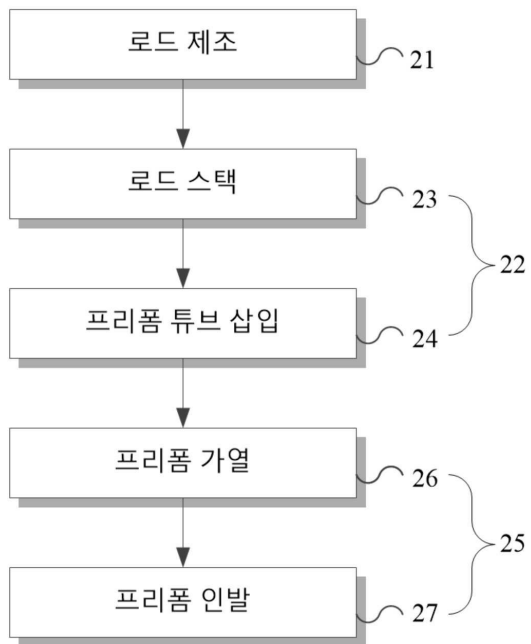
126: 고굴절률 로드 튜브

도면

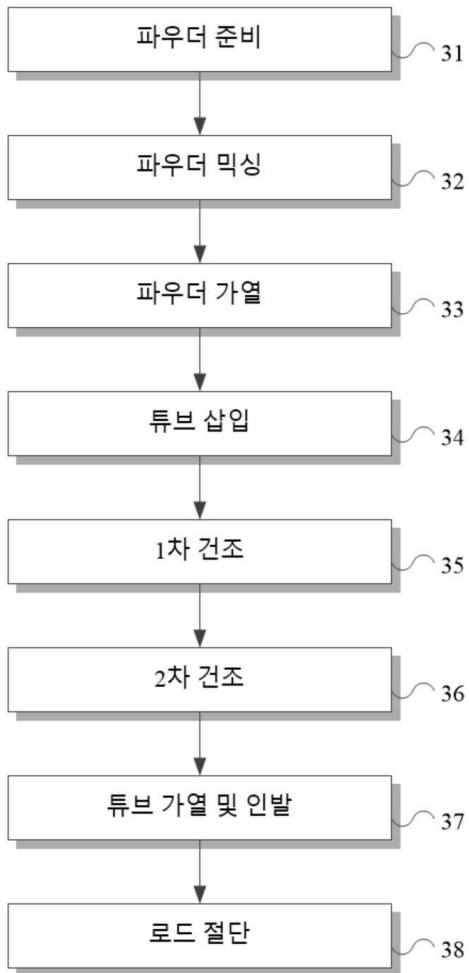
도면1



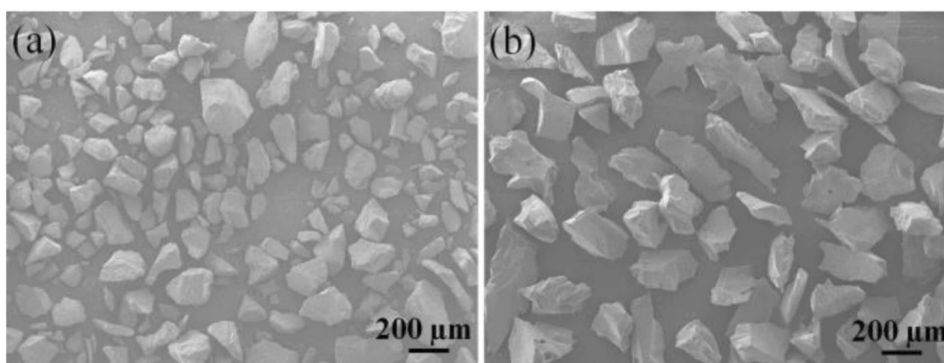
도면2



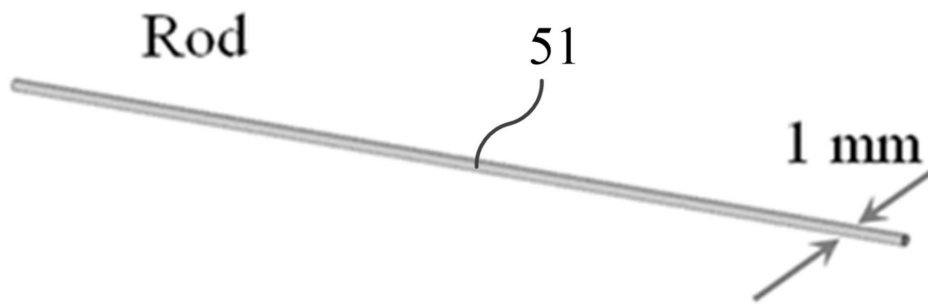
도면3



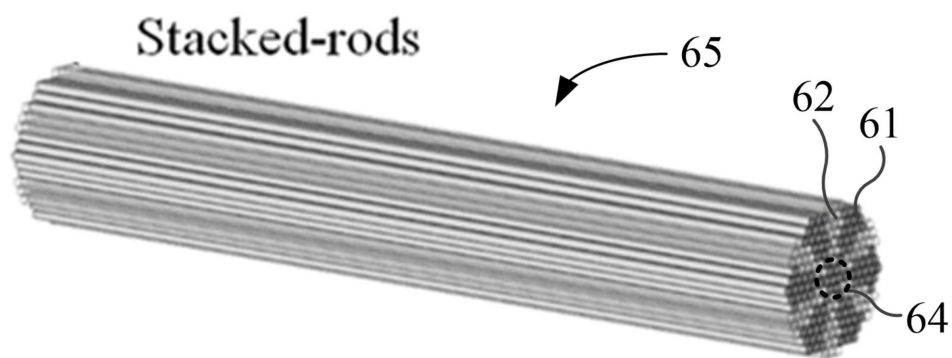
도면4



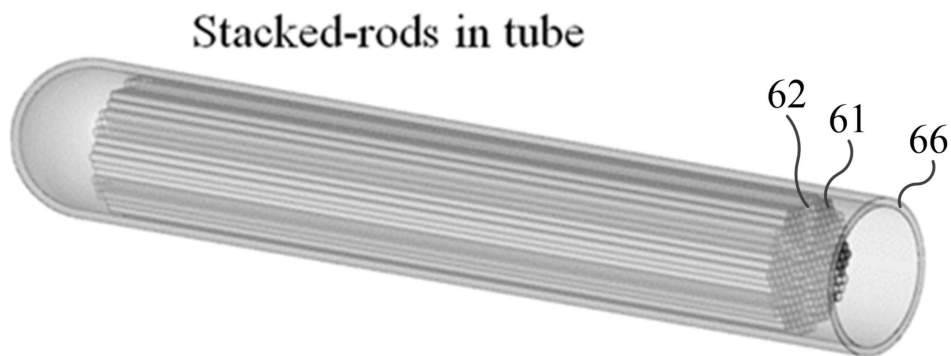
도면5



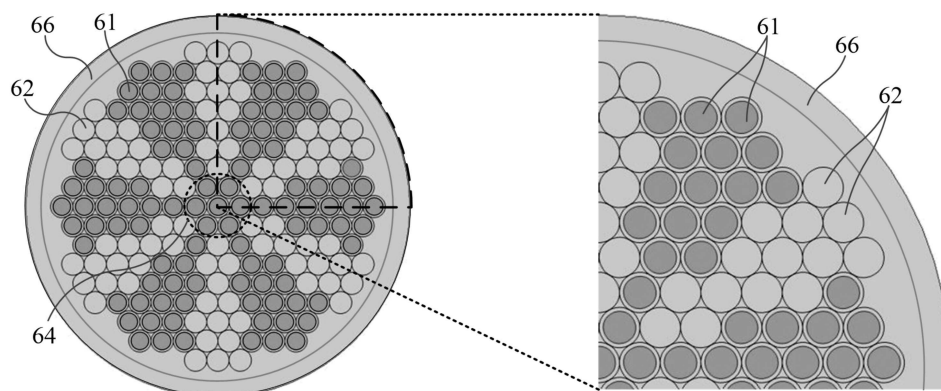
도면6



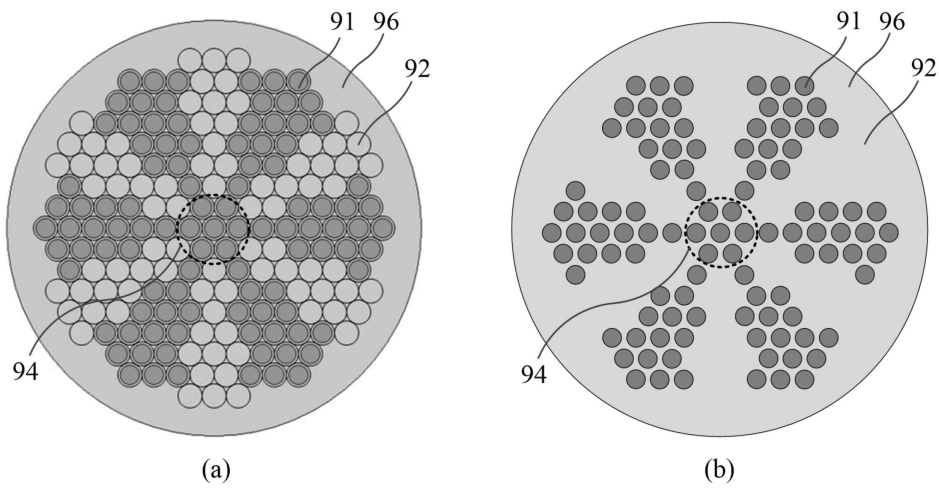
도면7



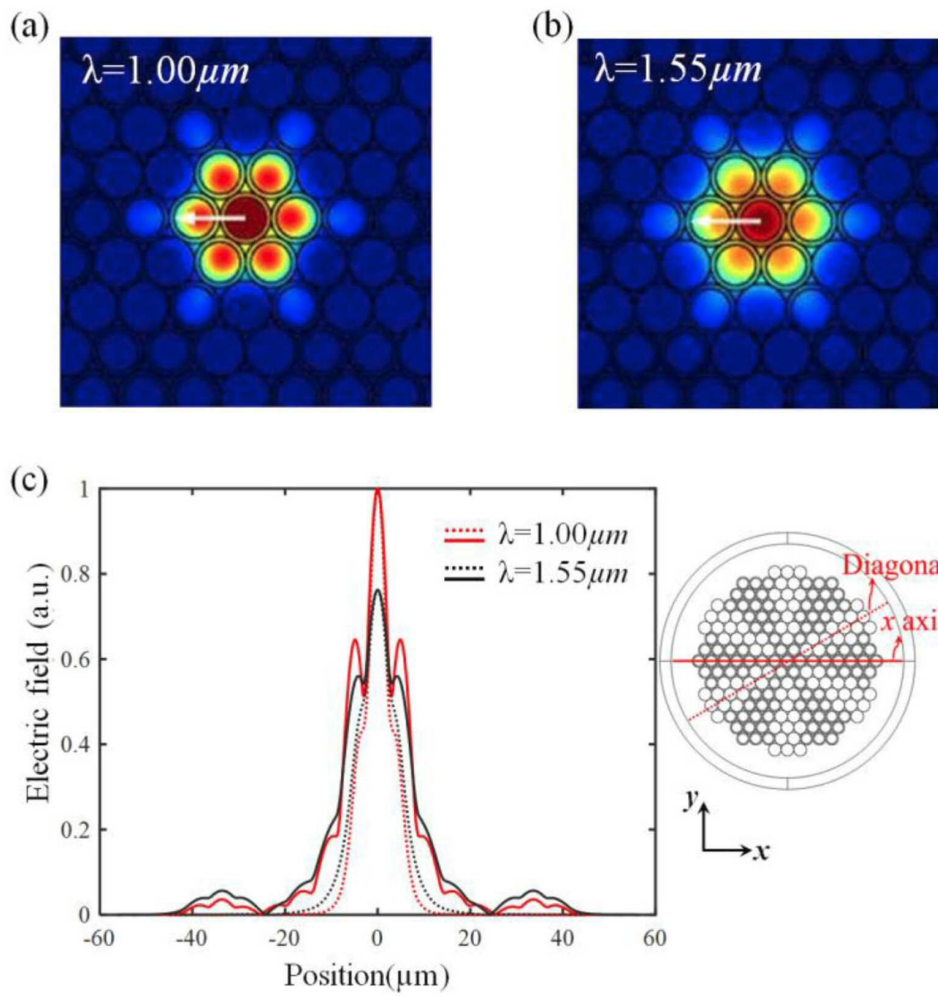
도면8



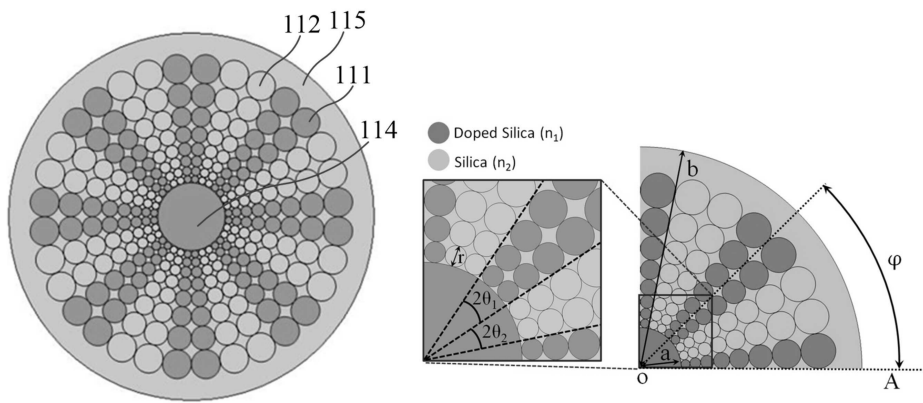
도면9



도면10



도면11



도면12

