



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0076306  
(43) 공개일자 2016년06월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G02B 6/028 (2006.01) H01S 3/30 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2014-0186366  
(22) 출원일자 2014년12월22일  
심사청구일자 2014년12월22일

(71) 출원인  
조선대학교산학협력단  
광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동)  
(72) 발명자  
김현수  
광주광역시 동구 밤실로 147, 113동 202호 (산수동, 두암타운)  
(74) 대리인  
리앤목특허법인

전체 청구항 수 : 총 26 항

(54) 발명의 명칭 광섬유, 광섬유 제조방법 및 광섬유를 이용한 레이저 전송방법

### (57) 요약

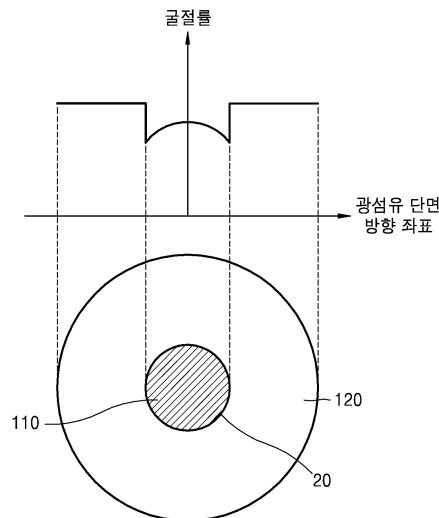
광섬유, 광섬유 제조방법 및 광섬유를 이용한 레이저 전송방법이 제공된다.

개시된 광섬유는, 중심으로부터 반경이 커질수록 실질적으로 굴절률이 감소하는 코어부재와, 상기 코어부재를 둘러싸도록 마련되는 클래드를 포함한다.

그리고 상기 클래드는, 상기 코어부재와 상기 클래드가 만나는 코어-클래드 경계에서 상기 코어부재의 굴절률보다 높은 굴절률을 가진다.

개시된 광섬유는 고품질 고효율 레이저 빔을 전송시킬 수 있다.

대표도 - 도2



## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

중심으로부터 반경이 커질수록 실질적으로 굴절률이 감소하는 코어부재;

상기 코어부재를 둘러싸도록 마련되는 클래드;를 포함하며,

상기 클래드는, 상기 코어부재와 상기 클래드가 만나는 코어-클래드 경계에서 상기 코어부재의 굴절률보다 높은 굴절률을 가지는 광섬유.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 코어부재에서 전송되는 레이저 빔의 강도를 증폭하기 위해 상기 코어부재에는 이득매질이 포함되어 있는 광섬유.

#### 청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 이득매질은 희토류 원소 및 전이금속 원소 중 적어도 하나로부터 얻어진 활성 이온(active ion)을 포함하는 광섬유.

#### 청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 희토류 원소는 이터븀(Yb), 네오디뮴(Nd), 어븀(Er) 및 툴륨(Tm) 중 적어도 하나를 포함하고, 상기 전이금속은 크롬(Cr) 및 티타늄(Ti) 중 적어도 하나를 포함하는 광섬유.

#### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 코어부재 및 상기 클래드의 굴절률 분포는, 레이저 빔의 모드 차수가 높아질수록 감쇠계수가 커지도록 구성되는 광 섬유.

#### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 코어부재 및 상기 클래드의 굴절률 분포는, 다중모드 레이저 빔 가운데 1차 모드 레이저 빔은 기준강도 이상으로 유지되고 나머지 레이저 빔은 기준강도 미만으로 감쇠되도록 구성되는 광섬유.

#### 청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 1차 모드 레이저 빔은 가우시안 함수 형태 또는 준 가우시안(quasi-gaussian) 형태의 강도분포를 가지는 광섬유.

#### 청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 코어부재의 굴절률은 상기 중심으로부터 반경이 커짐에 따라 실질적으로 연속적으로 감소하는 광섬유.

#### 청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 코어부재의 굴절률은 상기 중심으로부터 반경이 커짐에 따라 실질적으로 불연속적으로 감소하는 광섬유.

#### 청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 코어부재와 상기 클래드의 경계에서 굴절률이 불연속적으로 변하는 광섬유.

#### 청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 클래드는 내측으로부터 반경이 증가할수록 굴절률이 감소하는 광섬유.

#### 청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 클래드는 내측으로부터 반경이 증가할수록 굴절률이 증가하는 광섬유.

#### 청구항 13

제 11 항 또는 제 12 항에 있어서,

상기 클래드의 굴절률은 상기 클래드의 반경이 증가함에 따라 실질적으로 연속적으로 변화하는 광섬유.

#### 청구항 14

제 11 항 또는 제 12 항에 있어서,

상기 클래드의 굴절률은 상기 클래드의 반경이 증가함에 따라 불연속적으로 변화하는 광섬유.

#### 청구항 15

제 1 항에 있어서,

상기 클래드는 일정한 굴절률을 가지는 광섬유.

#### 청구항 16

제 1 항에 있어서,

상기 코어부재의 중심에서의 굴절률은 상기 코어-클래드 경계에서 상기 클래드의 굴절률보다 큰 광섬유.

#### 청구항 17

제 1 항에 있어서,

상기 코어부재의 중심에서의 굴절률은 상기 코어-클래드 경계에서 상기 클래드의 굴절률보다 작은 광섬유.

#### 청구항 18

제 1 항에 있어서,

상기 코어-클래드 경계에서 상기 코어부재의 굴절률과 상기 클래드의 굴절률 차이는 상기 코어부재의 반경이 커질수록 작아지도록 구성되는 광섬유.

#### 청구항 19

중심으로부터 반경이 커질수록 굴절률이 감소하는 코어부재와, 상기 코어부재를 둘러싸도록 마련되며, 상기 코어부재와 상기 클래드가 만나는 코어-클래드 경계에서 상기 코어부재의 굴절률보다 높은 굴절률을 가지는 클래

드를 포함하는 광섬유를 이용한 레이저 빔 전송방법에 있어서,

레이저 빔을 상기 광 섬유에 입사하는 단계;

상기 레이저 빔 가운데 1차 모드 레이저 빔은 기준강도 이상으로 유지하고 나머지 레이저 빔은 기준강도 미만으로 감쇠시키는 단계; 및

상기 레이저 빔을 상기 광섬유 안에서 전송시키는 단계;를 포함하는 레이저 빔 전송방법.

#### 청구항 20

제 19 항에 있어서,

상기 레이저 빔을 광섬유 안에서 전송시키는 단계는, 상기 1차 모드 레이저 빔의 파워를 증폭하는 단계를 포함하는 레이저 빔 전송방법.

#### 청구항 21

중심으로부터 반경이 커질수록 실질적으로 굴절률이 감소하는 코어부재를 형성하는 단계; 및

상기 코어부재를 둘러싸는 클래드 형성하는 단계;를 포함하며,

상기 클래드를 형성하는 단계는, 상기 코어부재와 상기 클래드가 만나는 코어-클래드 경계에서 상기 클래드의 굴절률이 코어부재의 굴절률보다 크도록 하는 광섬유 제조방법.

#### 청구항 22

제 21 항에 있어서,

상기 클래드를 형성하는 단계는, 상기 클래드의 굴절률이 일정하도록 상기 클래드를 형성하는 광섬유 제조방법.

#### 청구항 23

제 21 항에 있어서,

상기 클래드를 형성하는 단계는, 내측으로부터 반경이 증가할수록 굴절률이 감소하도록 상기 클래드를 형성하는 광섬유 제조방법.

#### 청구항 24

제 21 항에 있어서,

상기 클래드를 형성하는 단계는, 내측으로부터 반경이 증가할수록 굴절률이 증가하도록 상기 클래드를 형성하는 광섬유 제조방법.

#### 청구항 25

제 21 항에 있어서,

상기 코어부재를 형성하는 단계는, 상기 코어부재의 중심에서의 굴절률이 상기 코어-클래드 경계에서 상기 클래드의 굴절률보다 크도록 하는 광섬유 제조방법.

#### 청구항 26

제 21 항에 있어서,

상기 코어부재를 형성하는 단계는, 상기 코어부재의 중심에서의 굴절률이 상기 코어-클래드 경계에서 상기 클래드의 굴절률보다 작도록 하는 광섬유 제조방법.

### 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 고출력 레이저 빔을 전송할 수 있는 광섬유 및 광섬유 제조방법과 상기 광섬유를 이용한 레이저 빔 전송방법에

관한 것이다.

## 배경 기술

[0002] 최근 산업에서 레이저를 이용한 가공 기술이 발전하면서, 레이저 빔(beam) 품질의 우수성과 가격 경쟁력 관점에서 광섬유 레이저에 대한 수요가 증가하고 있다. 이 중에서도 산업에의 다양한 응용을 위해서 출력이 높은 레이저가 요구되면서 고품질, 고출력 광섬유 레이저가 요구된다.

[0003] 이러한 고품질, 고출력 광섬유 레이저는 고체 레이저에 비해 시스템의 크기가 작아 산업 현장에서 많은 관심을 받고 있다. 하지만 고품질, 고출력용 광섬유는, 작은 크기의 코아에 강한 세기의 빛이 전송되기 때문에 발생하는 매질의 비선형 특성이나 매질의 파손으로 인해 고출력에 한계가 있다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0004] 적어도 일 실시예는 고품질, 고출력 레이저 빔을 전송할 수 있는 광섬유 및 그 제조방법을 제공한다.

[0005] 또한 적어도 일 실시예는 고품질, 고출력 레이저 빔을 전송할 수 있는 광섬유를 이용한 레이저 빔 전송방법을 제공한다.

### 과제의 해결 수단

[0006] 일 측면에 있어서,

[0007] 중심으로부터 반경이 커질수록 실질적으로 굴절률이 감소하는 코어부재;

[0008] 상기 코어부재를 둘러싸도록 마련되는 클래드;를 포함하며,

[0009] 상기 클래드는, 상기 코어부재와 상기 클래드가 만나는 코어-클래드 경계에서 상기 코어부재의 굴절률보다 높은 굴절률을 가지는 광섬유가 제공된다.

[0010] 상기 코어부재에는 전송되는 레이저 빔의 강도를 증폭하기 위해 이득매질이 포함되어 있는 광섬유.

[0011] 상기 이득매질은 희토류 원소 및 전이금속 원소 중 적어도 하나로부터 얻어진 활성 이온(active ion)을 포함하는 광섬유.

[0012] 상기 희토류 원소는 이터븀(Yb), 네오디뮴(Nd), 어븀(Er) 및 툴륨(Tm) 중 적어도 하나를 포함하고, 상기 전이금속은 크롬(Cr) 및 티타늄(Ti) 중 적어도 하나를 포함하는 광섬유.

[0013] 상기 코어부재 및 상기 클래드의 굴절률 분포는, 레이저 빔을 구성하는 광섬유 전송의 모드 차수가 높아질수록 감쇠계수가 커지도록 구성될 수 있다.

[0014] 상기 코어부재 및 상기 클래드의 굴절률 분포는, 다중 광섬유 전송 모드로 구성된(다중모드) 레이저 빔 가운데 최저차 1차 모드 레이저 빔은 기준강도 이상으로 유지되고 나머지 레이저 빔은 기준강도 미만으로 감쇠되도록 구성될 수 있다.

[0015] 상기 1차 모드 레이저 빔은 가우시안 함수 형태 또는 준 가우시안(quasi-gaussian) 형태의 강도분포를 가질 수 있다.

[0016] 상기 코어부재의 굴절률은 상기 중심으로부터 반경이 커짐에 따라 실질적으로 연속적으로 감소할 수 있다.

[0017] 상기 코어부재와 상기 클래드의 경계에서 굴절률이 불연속적으로 변할 수 있다.

[0018] 상기 클래드는 내측으로부터 반경이 증가할수록 굴절률이 감소할 수 있다.

[0019] 상기 클래드의 굴절률은 상기 클래드의 반경이 증가함에 따라 실질적으로 연속적으로 감소할 수 있다.

[0020] 상기 클래드는 내측으로부터 반경이 증가할수록 굴절률이 증가할 수 있다.

[0021] 상기 클래드의 굴절률은 상기 클래드의 반경이 증가함에 따라 실질적으로 연속적으로 증가할 수 있다.

[0022] 상기 클래드의 굴절률은 상기 클래드의 반경이 증가함에 따라 불연속적으로 감소할 수 있다.

- [0023] 상기 클래드는 일정한 굴절률을 가질 수 있다.
- [0024] 상기 코어부재의 중심에서의 굴절률은 상기 코어-클래드 경계에서 상기 클래드의 굴절률보다 클 수 있다.
- [0025] 상기 코어부재의 중심에서의 굴절률은 상기 코어-클래드 경계에서 상기 클래드의 굴절률보다 작을 수 있다.
- [0026] 상기 코어-클래드 경계에서 상기 코어부재의 굴절률과 상기 클래드의 굴절률 차이는 상기 코어부재의 반경이 커질수록 작아지도록 구성될 수 있다.
- [0027] 다른 측면에 있어서,
- [0028] 중심으로부터 반경이 커질수록 굴절률이 감소하는 코어부재와, 상기 코어부재를 둘러싸도록 마련되며, 상기 코어부재와 상기 클래드가 만나는 코어-클래드 경계에서 상기 코어부재의 굴절률보다 높은 굴절률을 가지는 클래드를 포함하는 광섬유를 이용한 레이저 빔 전송방법에 있어서,
- [0029] 레이저 빔을 상기 광 섬유에 입사하는 단계;
- [0030] 상기 레이저 빔 가운데 1차 모드 레이저 빔은 기준강도 이상으로 유지하고 나머지 레이저 빔은 기준강도 미만으로 감쇠 시키는 단계; 및
- [0031] 상기 레이저 빔을 상기 광섬유 안에서 전송시키는 단계;를 포함하는 레이저 빔 전송방법이 개시된다.
- [0032] 상기 레이저 빔을 광섬유 안에서 전송시키는 단계는, 상기 1차 모드 레이저 빔의 파워를 증폭하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0033] 또 다른 측면에 있어서,
- [0034] 중심으로부터 반경이 커질수록 실질적으로 굴절률이 감소하는 코어부재를 형성하는 단계; 및
- [0035] 상기 코어부재를 둘러싸는 클래드 형성하는 단계;를 포함하며,
- [0036] 상기 클래드를 형성하는 단계는, 상기 코어부재와 상기 클래드가 만나는 코어-클래드 경계에서 상기 클래드의 굴절률이 코어부재의 굴절률보다 크도록 하는 광섬유 제조방법이 개시된다.
- [0037] 상기 클래드를 형성하는 단계는, 상기 클래드의 굴절률이 일정하도록 상기 클래드를 형성할 수 있다.
- [0038] 상기 클래드를 형성하는 단계는, 내측으로부터 반경이 증가할수록 굴절률이 감소하도록 상기 클래드를 형성할 수 있다.
- [0039] 상기 클래드를 형성하는 단계는, 내측으로부터 반경이 증가할수록 굴절률이 증가하도록 상기 클래드를 형성할 수 있다.
- [0040] 상기 코어부재를 형성하는 단계는, 상기 코어부재의 중심에서의 굴절률이 상기 코어-클래드 경계에서 상기 클래드의 굴절률보다 크도록 할 수 있다.
- [0041] 상기 코어부재를 형성하는 단계는, 상기 코어부재의 중심에서의 굴절률이 상기 코어-클래드 경계에서 상기 클래드의 굴절률보다 작도록 할 수 있다.

### 발명의 효과

- [0042] 적어도 일 실시예에 따르면, 고품질, 고효율 레이저 빔을 전송시킬 수 있는 광섬유가 제공된다.

### 도면의 간단한 설명

- [0043] 도 1은 예시적인 실시예에 따른 광섬유를 대략적으로 나타낸 도면이다.
- 도 2는 도 1에서 나타낸 광섬유의 A-A' 단면도와 굴절률 분포를 나타낸 도면이다.
- 도 3은 도 1 및 도 2에서 나타낸 예시적인 실시예에 따른 다중모드 레이저 빔이 광섬유에 입사했을 때 광섬유를 통과하는 레이저 빔의 강도변화를 나타낸 도면이다.
- 도 4는 다중모드 레이저 빔이 도 2에서 나타낸 굴절률 분포를 가지는 광섬유에 입사했을 때 광섬유를 통과하는 레이저 빔의 강도변화를 나타낸 다른 도면이다.
- 도 5는 도 1 및 도 2에 도시된 실시예와 비교하기 위한 비교 예를 나타낸 도면이다.

도 6은 도 5와 같이 코어부재 및 클래드의 굴절률 분포를 구성하였을 때 다중모드 레이저 빔이 광섬유에 입사했을 때 광섬유에서 전송되는 레이저 빔의 강도변화를 나타낸 도면이다.

도 7은 도 1 및 도 2에 도시된 실시예와 비교하기 위한 비교예를 나타낸 도면이다.

도 8은 가우시안 형태의 강도분포를 가지는 1차 모드 레이저 빔이 도 7과 같은 굴절률 분포의 광섬유에서 진행할 때의 강도변화를 나타낸 도면이다.

도 9는 다중모드 레이저 빔이 도 7과 같은 굴절률 분포의 광섬유에서 진행할 때의 강도변화를 나타낸 도면이다.

도 10a 및 도 10b는 다른 예시적인 실시예에 따른 광섬유의 굴절률 분포를 나타낸 도면이다.

도 11은 도 10a에서 나타낸 굴절률 분포를 가지는 광섬유를 통과하는 레이저 빔의 강도변화를 나타낸 도면이다.

도 12는 또 다른 예시적인 실시예에 따른 광섬유의 굴절률 분포를 나타낸 도면이다.

도 13은 또 다른 예시적인 실시예에 따른 광섬유의 굴절률 분포를 나타낸 도면이다.

도 14는 또 다른 예시적인 실시예에 따른 광섬유의 굴절률 분포를 나타낸 도면이다.

도 15 및 도 16은 도 7과 같은 굴절률 분포를 가지는 광섬유를 통해 가우시안 강도분포의 레이저 빔이 증폭되는 결과를 나타낸 도면이다.

도 17은 예시적인 실시예에 따른 광섬유를 통해 가우시안 강도분포의 레이저 빔이 증폭되는 결과를 나타낸 도면이다.

도 18은 도 5의 굴절률 분포를 갖는 일반적인 gain-guided and index-antiguided(GG-IAG) 광섬유와 예시적인 실시예에 따른 광섬유에 같은 크기의 에너지를 가지는 레이저 빔을 입사했을 때 출력 레이저 빔의 강도 차이를 나타낸 도면이다.

도 19는 예시적인 실시예에 따른 광섬유를 이용한 레이저 빔 전송방법을 나타낸 흐름도이다.

도 20은 예시적인 실시예에 따른 광섬유 제조방법을 나타낸 흐름도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0044] 이하, 예시적인 실시예에 따른 광섬유, 광섬유 제조방법 및 광섬유를 이용한 레이저 전송방법에 대해 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다.
- [0045] 도면에서 동일한 참조번호는 동일한 구성 요소를 지칭하며, 각 구성 요소의 크기나 두께는 설명의 편의를 위해 과장되어 있을 수 있다. 한편, 이하에 설명되는 실시예는 단지 예시적인 것에 불과하며, 이러한 실시예들로부터 다양한 변형이 가능하다. 예를 들면, 한 층이 기판이나 다른 층의 "위", "상부" 또는 "상"에 구비된다고 설명될 때, 그 층은 기판이나 다른 층에 직접 접하면서 위에 존재할 수도 있고, 그 사이에 또 다른 층이 존재할 수도 있다.
- [0046] 도 1은 예시적인 실시예에 따른 광섬유를 대략적으로 나타낸 도면이다.
- [0047] 도 1을 참조하면, 예시적인 실시예에 따른 광섬유는, 코어부재(110) 및 코어부재(110)를 둘러싸도록 마련되는 클래드(120)를 포함할 수 있다. 코어부재(110)는 도 1에서와 같이 원기둥 형상을 가질 수 있으며 클래드(120)는 코어부재(110)를 감싸도록 원형 실린더 형상을 가질 수 있으나 이에 제한되지 않는다. 실시예에 따른 광섬유는, 레이저 빔을 전송하는데 이용될 수 있다. 또한 실시예에 따른 광섬유는, 레이저 빔을 전송하면서 레이저 빔의 파워를 증폭시킬 수 있다. 레이저 빔을 전송함에 있어서 고출력, 고품질 레이저 빔을 전송하기 위해, 도 1에서 나타낸 광섬유는 아래에서 설명하는 바와 같은 굴절률 분포를 가질 수 있다.
- [0048] 도 2는 도 1에서 나타낸 광섬유의 A-A' 단면도와 굴절률 분포를 나타낸 도면이다.
- [0049] 도 2의 그래프에서 세로축은 굴절률의 크기를, 가로축은 도 2에서 나타낸 광섬유의 단면방향 좌표를 의미한다. 상기 단면방향 좌표는, 광섬유의 길이방향에 수직한 단면에서 반경방향으로 설정된 좌표일 수 있다. 또한 상기 길이방향은 광섬유에서 레이저 빔에 의해 에너지가 전달되는 방향일 수 있다.
- [0050] 코어부재(110)는 중심으로부터 반경이 커질수록 실질적으로 감소하는 굴절률 분포를 가질 수 있다. 즉, 코어부재(110)의 굴절률 분포는 중심으로부터 반경이 커질수록 굴절률이 작아지는 언덕모양일 수 있다. 여기서, 실질

적으로 굴절률이 감소한다는 것은 반경의 증가에 따른 굴절률 변화가 단조 감소(monotonously decreasing)에 한정되지 않음을 의미한다. 예를 들어, 코어부재의 반경이 증가할수록 코어부재의 굴절률이 대체로 감소하면서, 국소적인 영역에서 굴절률이 일시적으로 증가하거나 변화가 없을 수도 있다. 클래드(120)는 코어부재(110)와 클래드(120)가 만나는 코어-클래드 경계(20)에서 코어부재(110)보다 높은 굴절률을 가질 수 있다.

[0051] 도 2에서 나타낸 바와 같이 광섬유의 굴절률 분포를 구성하면, 코어-클래드 경계(20)에서 클래드(120)의 굴절률이 코어(110)의 굴절률보다 큰 역계단형 굴절률 분포를 가진다. 코어부재(110) 및 클래드(120)의 굴절률 분포를 역계단형 분포로 구성하였을 때 각 레이저의 전송모드에 대한 감쇠계수는 수학적 1로 나타낼 수 있다. 수학적 1은 예시적인 것에 불과하며 실시예가 수학적 1의 관계식을 만족하도록 제한되는 것은 아니다.

### 수학적 1

$$2\alpha_{1m} = \left( \frac{u_{1m}}{2\pi\pi} \right)^2 \frac{\lambda_0^2}{a^3} \frac{v^2 + 1}{(v^2 - 1)^{1/2}}$$

$$\approx \left( \frac{u_{1m}}{\pi} \right)^2 \frac{\lambda_0^2}{a^3} \frac{1}{(2n)^{3/2} \sqrt{-\Delta n}}$$

[0052]

[0053] 수학적 1에서  $\alpha_{1m}$ 은 m번째 레이저 빔 모드의 감쇠계수를 나타내고,  $u_{1m}$ 은 0차 베셀(Bessel) 함수 방정식  $J_0(u_{1m})=0$ 의 m차 근을 나타낸다. 또한 n은 클래드(120)의 굴절률,  $\Delta n$ 은 코어-클래드 경계에서 코어부재와 클래드 사이의 굴절률 차이를 나타내며 a는 코어부재의 반지름을 나타내고  $\lambda_0$ 는 진공속에서 레이저 파장, v는 코어부재(110)의 굴절률에 대한 클래드(120) 굴절률의 비를 나타낸다. 수학적 1을 참조하면, m이 증가할수록  $u_{1m}$ 이 증가하기 때문에 감쇠계수의 크기가 함께 증가할 수 있다. 도 2와 같이 광섬유의 굴절률 분포를 구성하면, 레이저 빔의 모드 차수가 높아질수록 레이저 빔의 감쇠가 더 빠르게 일어날 수 있다. 따라서 예시적인 실시예에 따른 광섬유에서는 저차모드에 비해 고차모드 레이저 빔이 더 빨리 감쇠될 수 있다.

[0054] 수학적 1에서는 1차 모드의 레이저 빔 또한 상당한 크기의 감쇠계수를 가진다. 이 경우 레이저 빔 공정에 이용되는 1차모드 가우시안 또는 준 가우시안(quasi-gaussian) 형태의 레이저 빔 또한 높은 감쇠율을 보이기 때문에 광섬유를 레이저 매질로 사용하기 위해서는 감쇠를 극복할 수 있는 매우 높은 최소 이득계수가 요구된다. 여기서, 준 가우시안 형태의 레이저 빔이란 레이저 빔의 강도분포가 근사적으로 가우시안 형태를 따른다는 것을 의미할 수 있다. 수학적 1에서 나타나는 1차모드 가우시안 또는 준 가우시안 빔의 출력 감소를 해결하기 위해, 예시적인 실시예에 따른 광섬유의 코어부재(110)는 도 2에서 나타낸 바와 같이 언덕형 굴절률 분포를 가질 수 있다. 즉, 예시적인 실시예에 따른 광섬유는 1차모드 레이저 빔에 대해 수학적 1에서 나타난 감쇠계수보다 더 낮은 감쇠계수를 가질 수 있다. 예를 들어, 실시예에 따른 광섬유에 전송하는 레이저 빔의 최저차 모드의 감쇠계수는 거의 0의 값을 가질 수 있다.

[0055] 도 2에서 나타낸 코어부재(110)의 언덕형 굴절률 분포는 예시적으로 수학적 2를 따를 수 있다. 하지만 이는 예시적인 것에 불과할 뿐, 도 2에서 나타낸 실시예가 이에 제한되는 것은 아니다.

### 수학적 2

$$n(r) = n_0 \left( 1 - \frac{\gamma}{2} \left( \frac{r}{r_0} \right)^\alpha \right)$$

[0056]

[0057]

여기서  $n_0$ 는 코어부재 중심에서의 굴절률을 의미하고,  $r_0$ 는 코어부재의 반경을 의미하고,  $\gamma$ 는 후술하는 스케일 팩터이며,  $\alpha$ 는 레이저 빔의 빔 사이즈에 따라 결정되는 상수로 예를 들어, 2 근처 값을 가질 수 있다.

상기 스케일 팩터  $\gamma$ 는 기초모드(1차 모드) 레이저 빔의 집속현상을 방지하도록 설정될 수 있다. 광섬유 안에서 레이저 빔이 전송될 때, 레이저 빔은 주기적으로 발산(divergence)과 집속(convergence, focusing)을 반복할 수 있다. 다시 말해 광섬유 안에서 레이저 빔의 빔 사이즈가 커졌다 작아짐을 반복할 수 있다. 이 때 레이저 빔이 과도하게 집속되어 빔 사이즈가 작아지게 되면, 좁은 영역에 많은 에너지가 집중되고 이로 인해 광섬유의 소재가 손상될 수 있다. 따라서 레이저 빔의 집속 현상이 일어나지 않도록 코어부재의 굴절률 분포를 조절할 수 있다. 코어부재(110)의 굴절률 분포를 적절히 조절하면 굴절률 변화에 따른 레이저 빔의 굴절각과 회절각이 적절히 제어됨으로써 상기 레이저 빔의 집속현상을 방지할 수 있다. 수학식 2의 굴절률 분포에서는 상기 스케일 팩터  $\gamma$ 를 조절하여 레이저 빔의 집속현상을 방지할 수 있다. 예시적으로 스케일 팩터  $\gamma$ 는 수학식 3을 만족할 수 있다.

### 수학식 3

$$\gamma \approx \left( \frac{\lambda_0}{\pi n_0 r_L} \right)^2 \left( \frac{r_0}{r_L} \right)^\alpha$$

[0058]

[0059]

수학식 3에서  $r_L$ 은 레이저 빔의 반경을 의미하고,  $\lambda_0$ 는 레이저 빔의 진공파장을 의미하며,  $\alpha$ 는 레이저 빔의 빔 사이즈에 따라 결정되는 상수로 2 근처 값을 가질 수 있다. 수학식 3의 조건은 예시적인 것에 불과하며 이에 제한되지 않는다. 예를 들어, 시뮬레이션 결과에 의하면 스케일 팩터  $\gamma$ 를 수학식 3에 의해 계산되는 값의 0.5배 내지 2배로 변화시키더라도 실시예에 따른 광섬유의 레이저 빔 전송효과가 크게 달라지지 않음을 알 수 있었다. 이는 코어부재(110)의 언덕형 굴절률 분포를 구성할 때 수학식 2 및 수학식 3의 조건을 엄격히 만족할 필요가 없음을 의미한다. 따라서 수학식 2 및 수학식 3은 코어부재(110)의 언덕형 굴절률 분포를 예시적으로 설명하기 위한 것일 뿐, 실시예를 제한하는 의미로 해석되지 않는다.

[0060]

도 2에서 나타낸 예시적인 실시예에 따른 광섬유의 굴절률 분포는 다중모드 레이저 빔 가운데 1차모드 레이저 빔은 기준강도 이상으로 전송하고 나머지 고차모드 레이저 빔은 기준강도 미만으로 감쇠되도록 구성될 수 있다. 상기 1차모드 레이저 빔은 가우시안 또는 준 가우시안 형태의 강도분포를 가질 수 있다. 이를 통해 가우시안 또는 준 가우시안 형태의 1차모드 레이저 빔을 고출력으로 출력하여 레이저 가공에 이용할 수 있다. 상기 기준강도는 레이저 가공의 품질을 고려하여 설정될 수 있다. 예를 들어, 요구되는 레이저 가공품질이 높을수록, 고차모드 레이저 빔에 대해서는 상기 기준강도는 더 낮은 값을 가지고 1차모드 레이저 빔에 대해서는 상기 기준강도가 더 높은 값을 가질 수 있다. 즉, 고차모드 레이저 빔은 더 약하게 감쇠시키고 1차모드 레이저 빔은 더 잘 전송하도록 기준강도가 레이저 빔 모드 별로 다르게 설정될 수 있다. 상기 기준강도는 전술한 고차모드 레이저 빔의 집속현상을 고려하여 설정될 수도 있다. 예를 들어, 고차모드 레이저 빔은 광섬유 안에서 집속현상을 일으켜 광섬유를 파손시킬 수 있기 때문에 광섬유 파손을 방지하기 위해 요구되는 고차모드 레이저 빔의 감쇠정도를 고려하여 상기 기준강도를 설정할 수 있다.

[0061]

기준강도가 정해지면 광섬유 안에서 고차모드 레이저 빔이 상기 기준강도 이하로 낮아지도록 하는 감쇠계수를 가지도록 광섬유의 굴절률 분포를 기준강도에 맞추어 다르게 구성할 수 있다. 이를 위해, 코어-클래드 경계(20)에서 클래드(120)와 코어부재(110) 사이의 굴절률 차이가 기준강도 및 광섬유의 코어반경 등에 따라 달라질

수 있다. 예를 들어, 수학적 식 1을 참조하면, 코어-클래드 경계에서 코어부재(110)과 클래드(120) 사이의 굴절률 차이  $\Delta n$ 은 수학적 식 4와 같이 나타내어질 수 있다.

#### 수학적 식 4

$$\sqrt{-\Delta n} \approx \left( \frac{u_{1m}}{\pi} \right)^2 \frac{\lambda_0^2}{a^3} \frac{1}{(2n)^{3/2} (2\alpha_{1m})}$$

[0062]

[0063]

수학적 식 4를 참조하면, 감쇠계수  $\alpha_{1m}$ 이 커질수록 굴절률 차이  $\Delta n$ 의 절대값은 더 작아짐을 알 수 있다. 감쇠계수  $\alpha_{1m}$ 은 전술한 기준강도 및 광섬유의 길이에 따라 목표 값이 다르게 설정될 수 있다. 또한 감쇠계수  $\alpha_{1m}$ 이 정해졌을 때 광섬유의 코어부재(110)의 반경  $a$ 에 따라 굴절률 차이  $\Delta n$ 이 달라질 수 있다. 예를 들어, 수학적 식 4에서 나타낸 바와 같이 코어부재(110)의 반경  $a$ 가 클수록 코어-클래드 경계(20)에서 코어부재(110)과 클래드(120) 사이의 굴절률 차이  $\Delta n$ 의 절대값은 작아질 수 있다. 이때 코어부재(110)의 반경은 광섬유에서 출력되는 레이저 빔의 강도에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어, 레이저 빔 출력량이 강한 경우 광섬유의 파손방지를 위해 코어부재(110)는 큰 반경을 가질 수 있으며, 레이저 빔 출력량이 작은 경우, 코어부재(110)의 반경은 작아질 수 있다.

[0064]

도 3은 도 1 및 도 2에서 나타낸 예시적인 실시예에 따른 광섬유를 통과하는 레이저 빔의 강도변화를 나타낸 도면이다. 도 3에서 x축은 광섬유의 단면 방향 좌표를 나타내고, y축은 광섬유의 길이방향 좌표를 나타내며 z축은 전송되는 레이저빔의 강도를 나타낸다. 여기서 길이방향 좌표는 광섬유에서 레이저 빔에 의해 에너지가 전달되는 방향 좌표일 수 있으며, 단면 방향 좌표는, 광섬유의 길이방향에 수직한 단면에서 반경방향으로 설정된 좌표일 수 있다.

[0065]

도 3에서 코어부재(110)의 반경은  $50\mu\text{m}$ , 코어부재(110)의 중심 굴절률은 1.56639, 클래드(120)의 굴절률은 1.57139, 코어-클래드 경계에서 코어부재(110)와 클래드(120)의 굴절률 차이  $\Delta n = -0.0045$ , 레이저 빔 반경은 25

$\mu\text{m}$ , 레이저 빔의 진공파장은  $1.052\mu\text{m}$ , 광섬유의 길이는 24cm,  $\alpha = 2$ , 스케일 팩터  $\gamma = 0.001167$ 로 설정되었다.

도 3을 참조하면, 실시예에 따른 광섬유 안에서 레이저 빔이 진행함에 따라 고차모드 레이저 빔은 기준강도 이하로 감쇠되어 버리고, 1차모드 레이저 빔은 기준강도 이상으로 유지됨을 알 수 있다. 따라서 광섬유 안에서, 다중모드 레이저 빔은 일정 거리를 지나고 난 후, 가우시안 형태의 강도분포를 가지는 1차모드 레이저 빔에 가깝게 변화되어 전송될 수 있다.

[0066]

도 4는 도 2에서 나타낸 굴절률 분포를 가지는 광섬유를 통과하는 레이저 빔의 강도변화를 나타낸 다른 도면이다. 도 4에서 x축은 광섬유의 단면 방향 좌표를 나타내고, y축은 광섬유의 길이방향 좌표를 나타내며 z축은 전송되는 레이저빔의 강도를 나타낸다.

[0067]

도 4에서 코어부재(110)의 반경은  $25\mu\text{m}$ , 코어부재(110)의 중심 굴절률은 1.56639, 클래드(120)의 굴절률은 1.57139, 코어-클래드 경계에서 코어부재(110)와 클래드(120)의 굴절률 차이  $\Delta n = -0.0045$ , 레이저 빔 반경은 10

$\mu\text{m}$ , 레이저 빔의 진공파장은  $1.052\mu\text{m}$ , 광섬유의 길이는 24cm,  $\alpha = 2$ , 스케일 팩터  $\gamma = 0.002845$ 로 설정되었다.

도 4의 설정 값들은 도 3에서의 설정 값들과 비교하여, 레이저 반경 및 코어부재(110)의 반경이 더 작아졌다. 이와 같이 레이저 반경을 작게 하면 수학적 식 3으로부터 스케일 팩터의 크기를 크게 할 수 있다. 그리고 이로부터 코어부재(110)의 중심 굴절률과 코어-클래드 경계에서 코어부재(110)의 굴절률 차이를 크게 할 수 있기 때문에 코어부재(110)의 굴절률 분포를 구성하는 것이 좀 더 용이해질 수 있다.

[0068]

도 4를 참조하면, 도 3에서와 마찬가지로 입사된 다중모드 레이저 빔이 1차모드 레이저 빔에 가깝게 변화되어 전송됨을 알 수 있다. 즉, 고차모드 레이저 빔은 기준강도 이하로 감쇠되어 거의 사라진 반면, 1차모드 레이저

빔은 큰 감쇠 없이 전송될 수 있다. 이러한 효과는 상기 스케일 팩터  $\gamma = 0.002845$  값을 0.5 내지 2배로 변화시

키더라도 유지될 수 있다.

- [0069] 도 5는 도 1 및 도 2에 도시된 실시예와 비교하기 위한 비교예를 나타낸 도면이다. 도 5에서 세로축은 굴절률 크기를 나타내고 가로축은 광섬유의 단면방향 좌표를 나타낸다.
- [0070] 도 5를 참조하면, 광섬유가, 코어-클래드 경계(20)에서 클래드의 굴절률이 코어의 굴절률보다 큰 역계단형 굴절률 분포를 가진다. 하지만, 도 5의 경우 코어부재가 언덕형 분포를 가지지 않고 일정한 굴절률 분포를 가진다. 도 5와 같이 굴절률 분포를 구성하면, 레이저 빔 모드들에 대해 수학적 1과 같은 감쇠계수를 얻을 수 있다. 따라서 차수가 높은 모드의 레이저 빔에 대해 더 높은 감쇠계수를 얻을 수 있다. 하지만 도 1 및 도 2에서 설명한 실시예와 달리 1차모드 레이저 빔 또한 수학적 1에 따라 높은 감쇠계수를 가질 수 있다. 즉, 레이저 가공에 필요한 1차모드 레이저 빔까지 매우 낮은 강도로 감쇠시켜서 고출력 레이저 빔을 얻기 어려울 수 있다.
- [0071] 도 6은 도 5와 같이 코어부재 및 클래드의 굴절률 분포를 구성하였을 때 광섬유에서 전송되는 레이저 빔의 강도 변화를 나타낸 도면이다. 도 6에서 x축은 광섬유의 단면 방향 좌표를 나타내고, y축은 광섬유의 길이방향 좌표를 나타내며 z축은 전송되는 레이저빔의 강도를 나타낸다.
- [0072] 도 6에서 레이저 반경은  $35.3\mu\text{m}$ , 코어부재 반경은  $50\mu\text{m}$ , 진공에서 레이저 파장은  $1.052\mu\text{m}$ , 클래드의 굴절률  $n=1.57139$ , 코어-클래드의 굴절률 차이  $\Delta n=-0.0045$ 로 설정되었다. 도 6에서는 광섬유에서 다중모드 레이저 빔이 진행할 때 레이저 빔의 강도변화가 나타나 있다. 여기서, 다중모드 레이저 빔은 슈퍼 가우시안 형태의 강도 분포를 가지는 고차모드 레이저 빔을 포함한 레이저 빔을 의미한다. 도 6에서 보는 바와 같이 레이저 빔이 진행할수록 고차모드 레이저 빔들이 빠르게 감쇠하여 사라짐을 알 수 있다. 가우시안 또는 준 가우시안 형태의 강도 분포를 가지는 1차모드 레이저 빔도 감쇠에 의해 강도가 작아질 수 있다. 즉, 도 5에서 나타낸 비교예는 고출력 레이저 빔을 전송하는데 한계가 있을 수 있다.
- [0073] 도 7은 도 1 및 도 2에 도시된 실시예와 비교하기 위한 비교예를 나타낸 도면이다. 도 7에서 세로축은 굴절률 크기를 나타내고 가로축은 광섬유의 단면방향 좌표를 나타낸다.
- [0074] 도 7을 참조하면, 코어부재의 굴절률이 중심으로부터 반경이 증가할수록 낮아질 수 있다. 즉, 도 7에서 나타낸 광섬유의 코어부재는 언덕형 굴절률 분포를 가질 수 있다. 하지만, 도 1 및 도 2에서 나타낸 실시예와 달리 코어-클래드 경계(20)에서 클래드의 굴절률이 코어부재보다 크지 않음을 알 수 있다. 즉 코어-클래드 경계(20)에서 굴절률 분포가 역계단형 굴절률 분포가 아닐 수 있다. 이 경우 1차모드 레이저 빔만을 다루기엔 무리가 없을 수 있다. 즉, 1차모드 레이저 빔만 광섬유 안에 존재하는 경우 효과적인 전송이 가능할 수 있다.
- [0075] 도 8은 가우시안 형태의 강도분포를 가지는 레이저 빔이 도 7과 같은 굴절률 분포의 광섬유에서 진행할 때의 강도변화를 나타낸 도면이다. 도 8에서 x축은 광섬유의 단면 방향 좌표를 나타내고, y축은 광섬유의 길이방향 좌표를 나타내며 z축은 전송되는 레이저빔의 강도를 나타낸다.
- [0076] 도 8을 참조하면, 도 7에서와 같이 코어부재가 언덕형 굴절률 분포를 가질 때 1차 모드의 레이저 빔이 감쇠 없이 일정한 강도로 전송됨을 확인할 수 있다. 즉 도 7과 같이 코어부재의 굴절률이 중심으로부터 반경이 증가할수록 실질적으로 감소되도록 하면, 1차 모드 레이저 빔을 손실 없이 전송시킬 수 있다. 하지만 만약 광섬유에 다중모드 레이저 빔이 입사되거나, 1차모드 레이저 빔이 입사되더라도 증폭과정에 생기는 왜곡에 의해 고차모드 레이저 빔이 발생하는 경우 이를 감쇠시키지 못할 수 있다. 이로 인해 레이저 빔 가공품질이 떨어질 수 있다. 또한 고차모드 레이저 빔의 집속현상에 의해 광섬유가 파손될 수 있으므로 고출력 레이저 빔을 출력하는데 제한이 있을 수 있다.
- [0077] 도 9는 다중모드 레이저 빔이 도 7과 같은 굴절률 분포의 광섬유에서 진행할 때의 강도변화를 나타낸 도면이다. 도 9에서 x축은 광섬유의 단면 방향 좌표를 나타내고, y축은 광섬유의 길이방향 좌표를 나타내며 z축은 전송되는 레이저빔의 강도를 나타낸다.
- [0078] 도 9를 참조하면, 레이저 빔이 광섬유 내부에서 집속과 발산을 반복하면서 매우 복잡한 형태의 강도분포 변화가 일어남을 알 수 있다. 이는 다중모드 레이저 빔에 슈퍼 가우시안 형태의 강도분포를 가지는 고차모드 레이저 빔이 포함되어 있기 때문이다. 그리고 고차모드 레이저 빔이 감쇠되지 않는 것은 도 7에서와 같이 코어-클래드 경계에서 클래드의 굴절률이 코어부재의 굴절률보다 크지 않아서 고차모드 레이저 빔을 효과적으로 감쇠시키지 않기 때문일 수 있다. 이렇게 광섬유에서 남아있는 고차모드 레이저 빔들은 레이저 가공품질을 저하시킬 수 있다. 또한, 도 9에서와 같이 집속과 발산을 반복하면서 광섬유의 소재 손상을 야기할 수 있다. 따라서 도 7과 같은 굴절률 분포의 광섬유는 1차모드의 레이저 빔만을 전송하기에는 적합하지만 다중모드 레이저 빔을 다루거나 1차

모드 레이저 빔을 증폭하여 전송하기에는 한계가 있을 수 있다.

[0079] 이상에서 도 5내지 도 9를 참조하여, 도 1내지 도 4에서 나타난 실시예에 대한 비교예를 제시하였다. 전술한 비교예와 비교하면, 도 1 및 도 2에서 나타난 예시적인 실시예에 따른 광섬유는 고차모드 레이저 빔을 필터링하여 고품질의 레이저 빔을 고효율로 출력할 수 있다. 도 1 및 도 2에서 나타난 실시예는 예시적인 것에 불과할 뿐 실시예가 이에 제한되는 것은 아니다. 아래에서는 통상의 기술자가 변형할 수 있는 변형 예를 예시적으로 제시한다. 제시된 실시예들은 예시적인 것에 불과할 뿐 이에 제한되는 것은 아니다.

[0080] 도 10a 및 도 10b는 다른 예시적인 실시예에 따른 광섬유의 굴절률 분포를 나타낸 도면이다.

[0081] 도 10a를 참조하면, 클래드(120)의 굴절률이 내측으로부터 반경이 증가할수록 감소할 수 있다. 클래드(120)의 굴절률 감소는 단조감소에 한정되는 것은 아니다. 예를 들어 클래드(120)의 반경이 증가할수록 굴절률이 대체적으로 감소하되, 굴절률이 증가하는 국소적인 영역이 클래드(120)에 포함될 수도 있다. 도 2와 마찬가지로 도 10에서 나타난 굴절률 분포를 가지는 광섬유 또한 고차모드 레이저 빔은 기준강도 미만으로 감쇠시키고 1차모드 레이저 빔만 기준강도 보다 크게 유지하여 전송시킬 수 있다.

[0082] 코어-클래드 경계(20) 밖에서 클래드(120)의 굴절률 변화는 광섬유에서 전송되는 레이저 빔의 강도분포에 큰 영향을 주지 않을 수 있다. 따라서 클래드(120)의 굴절률 분포는 여러가지 방법으로 변형될 수 있다. 예를 들어, 도 10a에서와 달리 도 10b에서 클래드(120)의 굴절률은 반경이 증가할수록 굴절률이 증가할 수도 있다.

[0083] 도 11은 도 10a에서 나타난 굴절률 분포를 가지는 광섬유를 통과하는 레이저 빔의 강도변화를 나타낸 도면이다.

[0084] 도 11에서 코어부재(110)의 반경은  $50\mu\text{m}$ , 코어부재(110)의 중심 굴절률은 1.56639, 클래드(120)의 굴절률은 1.57139, 코어-클래드 경계에서 코어부재(110)와 클래드(120)의 굴절률 차이  $\Delta n = -0.0045$ , 레이저 빔 반경은 25  $\mu\text{m}$ , 레이저 빔의 진공파장은  $1.052\mu\text{m}$ , 광섬유의 길이는 24cm,  $\alpha = 2$ , 스케일 팩터  $\gamma = 0.001167/4$ 로 설정되었다. 도 11를 참조하면, 도 4에서와 마찬가지로, 실시예에 따른 광섬유 안에서 레이저 빔이 진행함에 따라 고차모드 레이저 빔은 기준강도 이하로 감쇠되어 버리고, 1차모드 레이저 빔은 기준강도 이상으로 유지됨을 알 수 있다. 즉, 도 2의 굴절률 분포에서 클래드(120)의 굴절률 분포를 언덕형으로 변환하더라도 광섬유의 성능에 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

[0085] 도 12는 또 다른 예시적인 실시예에 따른 광섬유의 굴절률 분포를 나타낸 도면이다. 도 12를 참조하면, 다른 예시적인 실시예에 따른 광섬유는 코어-클래드 경계(20)에서 굴절률 분포가 연속적으로 변할 수 있다. 이 경우에도 도 2에서와 같이 코어-클래드 경계(20)를 기준으로 클래드(120)이 코어부재(110)보다 높은 굴절률을 가질 수 있다.

[0086] 도 13은 또 다른 예시적인 실시예에 따른 광섬유의 굴절률 분포를 나타낸 도면이다.

[0087] 도 13을 참조하면, 코어부재(110) 중심의 굴절률이 코어-클래드 경계(20)에서 클래드(120)의 굴절률보다 큰 값을 가질 수 있다. 수학적 2를 참조하면, 코어부재(110)의 중심에서 굴절률과 코어-클래드 경계에서 코어부재

(110)의 굴절률의 차이는  $\frac{\gamma n_0}{2}$ 로 주어진다. 따라서 스케일 팩터  $\gamma$ 와 코어부재의 굴절률  $n_0$ 에 따라 코어부재(110)의 중심 굴절률과 코어-클래드 경계에서 코어부재(110)의 굴절률 사이의 차이가 달라질 수 있다. 그리고 상기 굴절률 차이가 커지게 되면, 도 13에서 나타난 바와 같이 코어부재(110)의 중심 굴절률이 코어-클래드 경계(20)에서 클래드(120)의 굴절률보다 큰 값을 가질 수 있다. 그리고 상기 스케일 팩터는 레이저 빔 반경  $r_L$ 에 비해 코어부재(110)의 반경  $r_0$ 가 큰 경우 또는 레이저 빔의 진공파장이 큰 경우에 커질 수 있으므로 상기 굴절률 차이 또한 이들 경우에 커질 수 있으나 이에 제한되는 것은 아니다.

[0088] 이상에서 설명한 실시예에서는, 예시적으로 코어부재(110)의 굴절률이 연속적으로 변하는 예를 나타냈으나 실시예가 이에 제한되는 것은 아니다. 또한 도 10에서는 클래드(120)의 굴절률이 연속적으로 변하는 예를 나타냈으나 실시예가 여기에 제한되는 것도 아니다. 광섬유의 제조공정을 고려하였을 때, 코어부재(110)의 굴절률은 불연속적으로 변할 수도 있다. 또한, 도 10과 같이 클래드(120)의 굴절률이 변하게 하는 경우, 클래드(120)의 굴절률도 불연속적으로 변할 수도 있다.

- [0089] 도 14는 또 다른 예시적인 실시예에 따른 광섬유의 굴절률 분포를 나타낸 도면이다.
- [0090] 도 14를 참조하면, 도 10에서 나타난 굴절률 분포와 유사하지만 코어부재(110) 및 클래드(120)의 굴절률이 각각 불연속적으로 변함을 알 수 있다. 비록 도 14에서는 도 10과 유사한 굴절률 분포를 나타냈지만 실시예가 이에 제한되는 것은 아니며 클래드(120)는 일정한 굴절률 분포를 가질 수도 있다. 도 14에서 나타난 바와 같이, 코어부재(110)는 중심으로부터 반경이 증가할수록 굴절률이 감소하되, 굴절률이 계단모양으로 불연속하게 감소할 수 있다. 따라서 굴절률이 일정한 부분들이 코어부재(110)에 포함될 수도 있다.
- [0091] 이상에서 도 1 내지 도 14를 참조하여, 예시적인 실시예들에 따른 광섬유에 관하여 설명하였다. 실시예에 따른 광섬유는 레이저 빔을 증폭하여 레이저 빔 가공공정에 이용될 수도 있다. 이를 위해 실시예에 따른 광섬유는, 레이저 다이오드, 광 분리기(optical isolator)등의 광 소자와 결합되어 있을 수 있다. 또한 실시예에 따른 광섬유는, 자체적으로 코어부재(110)에 이득매질이 첨가되어 있어 광섬유에서 전송되는 레이저 빔을 증폭할 수 있다. 이러한 이득 매질은 예시적으로 상기 이득 매질은 예시적으로 이터븀(Yb), 네오디뮴(Nd), 어븀(Er), 툴륨(Tm) 등과 같은 희토류 원소들로부터 얻은 활성 이온(active ion)들이 포함할 수 있다. 또한 상기 이득 매질은 예시적으로 크롬(Cr), 티타늄(Ti) 등과 같은 전이금속 원소들로부터 얻은 활성 이온(active ion)들을 포함할 수도 있다.
- [0092] 이터븀(Yb), 네오디뮴(Nd), 어븀(Er), 툴륨(Tm) 등과 같은 희토류 원소들로부터 얻은 활성 이온(active ion)이나 크롬(Cr), 티타늄(Ti) 등과 같은 전이금속 원소들로부터 얻은 활성 이온(active ion)에 의해 광섬유가 도핑되어 있으면 광섬유에서 일어나는 광 펌핑 작용에 의해 광섬유를 통과하는 레이저 빔의 강도가 증폭될 수 있다.
- [0093] 도 15 및 도 16은 도 7과 같은 굴절률 분포를 갖는 광섬유를 통해 가우시안 강도분포의 레이저 빔이 증폭되는 결과를 나타낸 도면이다. 도 15는 레이저 빔의 강도변화를 3차원 적으로 나타낸 것이며 도 16은 광섬유 중심축에서 레이저 빔의 강도변화를 그래프로 나타낸 것이다. 도 15 및 도 16을 참조하면, 도 7과 같은 굴절률 분포를 갖는 광섬유에서 가우시안 강도분포의 레이저 빔이 증폭될 때 레이저 빔의 왜곡현상으로 레이저 빔의 강도분포가 더 이상 가우시안 분포를 만족하지 않게 됨을 알 수 있다. 또한 이에 따라 레이저 빔이 코어부재 내부에 한정되지 않고 클래드에도 레이저 빔의 강도분포가 발생하면서 에너지 손실이 발생할 수 있다. 또한 레이저 빔의 집속현상이 일어남에 따라 광섬유의 소재가 파손될 수 있다.
- [0094] 도 17은 예시적인 실시예에 따른 광섬유를 통해 가우시안 강도분포의 레이저 빔이 증폭되는 결과를 나타낸 도면이다.
- [0095] 도 17을 참조하면, 레이저 빔의 증폭이 일어나더라도 레이저 빔이 계속해서 가우시안 형태의 강도분포를 나타냄을 알 수 있다. 이는 레이저 빔의 왜곡현상이 일어나더라도 광섬유가 가우시안 형태의 1차모드 레이저 빔만 기준강도 이상으로 유지하고 나머지 고차모드 레이저 빔은 기준강도 미만으로 감쇠시켜 버리기 때문이다. 또한 도 17에서 나타난 바와 같이 실시예에 따른 광섬유에서는 클래드(120)에서의 레이저 빔 강도분포가 나타나지 않는다. 그리고 도 17에서 나타난 바와 같이, 실시예에 따른 광섬유 안에서는 레이저 빔의 집속현상이 일어나지 않기 때문에 광섬유의 소재 파손 또한 방지할 수 있다.
- [0096] 도 18은 도 5의 굴절률 분포를 갖는 일반적인 gain-guided and index-antiguided (GG+IAG) 광섬유와 예시적인 실시예에 따른 광섬유에 같은 크기의 에너지를 가지는 레이저 빔을 입사했을 때 출력 레이저 빔의 강도 차이를 나타낸 도면이다. 도 18에서 입사되는 레이저 빔의 파워는 10mW로 설정되었다. 또한 실시예에 따른 광섬유 및 GG+IAG 광섬유에서 소 신호 이득 계수(small signal gain coefficient)는 모두 3/cm로 설정되었다.
- [0097] 도 18을 참조하면, GG+IAG 광섬유는 길이가 대략 300mm일 때 광섬유에 입사된 10mW의 레이저 빔이 0.35W로 출력되었다. 반면, 같은 조건에서 실시예에 따른 광섬유는 8.84W의 레이저 빔을 출력하였다. 따라서 실시예에 따른 광섬유는 GG+IAG 광섬유보다 고출력으로 레이저 빔을 출력할 수 있다.
- [0098] 이상에서 도 1 내지 도 18을 참조하여 예시적인 실시예들에 따른 광섬유 및 비교예들에 관하여 설명하였다. 이하에서는 예시적인 실시예에 따른 광섬유를 이용한 레이저 빔 전송방법 및 광섬유의 제조방법에 관하여 설명한다.
- [0099] 예시적인 실시예에 따른 광섬유는 다양한 물질 및 제조방법을 이용하여 제조될 수 있다.
- [0100] 예를 들어, 코어부재(110) 및 클래드(120)는 실리카, 불소지르콘산염(fluorozirconate), 플루오로알루미네이트(fluoroaluminate) 및 칼코게나이드(chalcogenide) 중 적어도 하나를 포함하는 유리 조성물로부터 만들어질 수 있다. 위의 물질들은 예시적인 것에 불과할 뿐 이에 제한되는 것은 아니다. 또한 코어부재(110) 및 클래드(120)의 굴절률 분포는 이중 도가니, 봉이든 튜브(rod-in-tube) 및 불순물 증착 실리카(Doped Deposited Silica :

DDS) 공정 중 적어도 하나를 포함하는 공정을 통해 제조될 수 있다. 위의 공정들은 예시적인 것에 불과할 뿐 이에 제한되는 것은 아니다. 이중 도가니 공정에서는 녹아 있는 상태의 코어 유리가 안쪽 용기에 담겨 있고 바깥 용기에는 용융 상태의 클래드 유리가 있다. 두 종류의 유리가 바깥 용기의 바닥으로 나오면서 유리 코어-클래드를 형성하고 용융상태의 혼합물을 뽑아 광섬유를 만든다. 봉인된 튜브(rod-in-tube) 공정에서 코어 유리 막대는 클래딩 유리 튜브 속에 들어있고 이를 파이버 방식을 통해 길게 뽑아냄으로써 원하는 굴절률 분포를 가지는 광섬유를 만들 수 있다. 또한 불순물 증착 실리카 공정은 유리 조성물을 증착시켜 광섬유를 만들 수 있다. 이러한 증착 공정에는 바깥 증착, 축 증착, 안쪽 증착 공정 등이 포함될 수 있다. 위의 제조공정 및 물질들은 예시적인 것에 불과하며 이에 제한되는 것은 아니다.

[0101] 도 19는 예시적인 실시예에 따른 광섬유를 이용한 레이저 빔 전송방법을 나타낸 흐름도이다. 도 19에서 나타낸 빔 전송방법에서는 도 1 내지 도 18을 참조하여 기술한 실시예들에 따른 광섬유가 이용될 수 있다.

[0102] 도 19를 참조하면, 예시적인 실시예에 따른 광섬유를 이용한 레이저 빔 전송방법은 레이저 빔을 상기 광 섬유에 입사하는 단계(S2010), 상기 레이저 빔 가운데 1차 모드 레이저 빔은 기준강도 이상으로 유지하고 나머지 고차 모드 레이저 빔은 기준강도 미만으로 감쇠 시키는 단계(S2020); 및 동시에 상기 레이저 빔을 상기 광섬유 안에서 전송시키는 단계(S2030)를 포함할 수 있다.

[0103] 여기서 기준강도는, 도 2를 참조하여 설명한 바와 같이 레이저 가공의 품질을 고려하여 설정될 수 있다. 예를 들어, 요구되는 레이저 가공품질이 높을수록 상기 고차모드 레이저 빔에 대한 기준강도는 더 낮은 값을 가질 수 있다. 기준강도가 낮게 설정될수록 광섬유를 통과하는 다중모드의 레이저 빔은 단일모드, 즉 1차모드 레이저 빔에 더 가깝게 변화되어 출력될 수 있다. 상기 기준강도는 기술한 고차모드 레이저 빔의 집속현상을 고려하여 설정될 수도 있다. 즉, 고차모드 레이저 빔은 광섬유 안에서 집속현상을 일으켜 광섬유를 파손시킬 수 있기 때문에 광섬유 파손을 방지하기 위해 요구되는 고차모드 레이저 빔의 감쇠정도를 고려하여 상기 기준강도가 다르게 설정될 수 있다. 또한 상기 기준강도는 다중모드 레이저 빔의 각 모드 별로 다르게 설정될 수도 있다. 예를 들어, 고차모드 레이저 빔 가운데에서도 차수가 높은 레이저 빔과 차수가 낮은 레이저 빔에 대해 기준강도가 서로 다르게 설정될 수 있다.

[0104] 도 19의 레이저 빔을 전송시키는 단계(S2030)는 레이저 빔의 파워를 증폭하는 단계를 포함할 수 있다. 증폭작용을 위해 실시예에 따른 광섬유에 레이저 다이오드, 광 분리기(optical isolator)등의 광 소자를 결합시킬 수 있다. 또한 광섬유의 코어부재에 첨가된 이득매질에 의한 광 펌핑 작용에 의해 레이저 빔 증폭이 이루어질 수도 있다. 상기 이득 매질은 예시적으로 이터븀(Yb), 네오디뮴(Nd), 어븀(Er), 툴륨(Tm) 등과 같은 희토류 원소들로부터 얻은 활성 이온(active ion)들이 포함할 수 있다. 또한 상기 이득 매질은 예시적으로 크롬(Cr), 티타늄(Ti) 등과 같은 전이금속 원소들로부터 얻은 활성 이온(active ion)들을 포함할 수도 있다. 이는 예시적인 것에 불과할 뿐 코어부재(110)에서 진행하는 레이저 빔의 강도를 증폭할 수 있는 임의의 매질이 코어부재(110)에 첨가될 수 있다. 레이저 빔 증폭단계를 통해 도 17 및 도 18에서 나타낸 바와 같이 고출력 레이저 빔을 광섬유로부터 증폭 할 수 있다.

[0105] 도 20은 예시적인 실시예에 따른 광섬유 제조방법을 나타낸 흐름도이다.

[0106] 도 20을 참조하면, 예시적인 실시예에 따른 광섬유 제조방법은, 중심으로부터 반경이 커질수록 실질적으로 굴절률이 감소하는 코어부재(110)를 형성하는 단계(S2110) 및 코어부재(110)를 둘러싸는 클래드(120) 형성하는 단계(S2120)를 포함할 수 있다. 또한 클래드를 형성하는 단계(S2120)는, 상기 코어부재(110)와 상기 클래드(120)가 만나는 코어-클래드 경계(20)에서 상기 클래드(120)의 굴절률이 코어부재(110)의 굴절률보다 크도록 할 수 있다.

[0107] 광섬유 제조방법에 의해 제조되는 광섬유는 도 2, 도10 내지 도 14를 참조하여 나타낸 굴절률 분포를 모두 가질 수 있다. 이를 위해 클래드를 형성하는 단계(S2120)는, 클래드(120)의 굴절률이 일정하도록 클래드(120)를 형성할 수 있다. 다른 예로 상기 클래드(120)를 형성하는 단계(S2120)는, 내측으로부터 반경이 증가할수록 굴절률이 감소하도록 상기 클래드(120)를 형성할 수 있다. 또 다른 예로 상기 클래드(120)를 형성하는 단계(S2120)는, 내측으로부터 반경이 증가할수록 굴절률이 증가하도록 상기 클래드(120)를 형성할 수 있다.

[0108] 상기 코어부재(110)를 형성하는 단계(S2110)는, 코어부재(110)의 중심에서의 굴절률이 코어-클래드 경계(20)에서 클래드(110)의 굴절률보다 크도록 할 수 있다. 다른 예로 상기 코어부재(110)를 형성하는 단계(S2110)는, 코어부재(110)의 중심에서의 굴절률이 코어-클래드 경계(20)에서 클래드(110)의 굴절률보다 작도록 할 수 있다.

[0109] 코어부재(110)를 형성하는 단계(S2110) 및 클래드(120)를 형성하는 단계(S2120)는 이중 도가니, 봉인된 튜브

(rod-in-tube) 및 불순물 증착 실리카(Doped Deposited Silica : DDS) 공정 중 적어도 하나를 포함하는 공정을 통해 제조될 수 있다. 이중 도가니 공정에서는 녹아 있는 상태의 코어 유리가 안쪽 용기에 담겨 있고 바깥 용기에는 용융 상태의 클래드 유리가 있다. 두 종류의 유리가 바깥 용기의 바닥으로 나오면서 유리 코어-클래드를 형성하고 용융상태의 혼합물을 뽑아 광섬유를 만든다. 봉인된 튜브(rod-in-tube) 공정에서 코어 유리 막대는 클래딩 유리 튜브 속에 들어있고 이를 파이버 방사를 통해 길게 뽑아냄으로써 원하는 굴절률 분포를 가지는 광섬유를 만들 수 있다. 또한 불순물 증착 실리카 공정은 유리 조성물을 증착시켜 광섬유를 만들 수 있다. 이러한 증착 공정에는 바깥 증착, 축 증착, 안쪽 증착 공정 등이 포함될 수 있다.

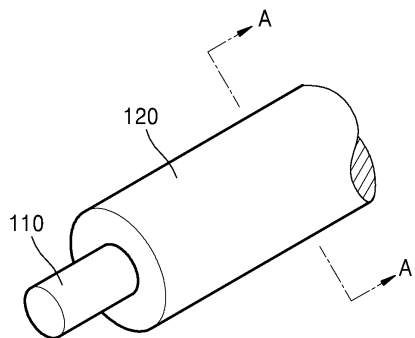
[0110] 이상의 설명에서 많은 사항들이 구체적으로 기재되어 있으나, 그들은 발명의 범위를 한정하는 것이라기보다 바람직한 실시예의 예시로서 해석되어야 한다. 때문에 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 의하여 정하여 질 것이 아니고 특허 청구범위에 기재된 기술적 사상에 의해 정하여져야 한다.

## 부호의 설명

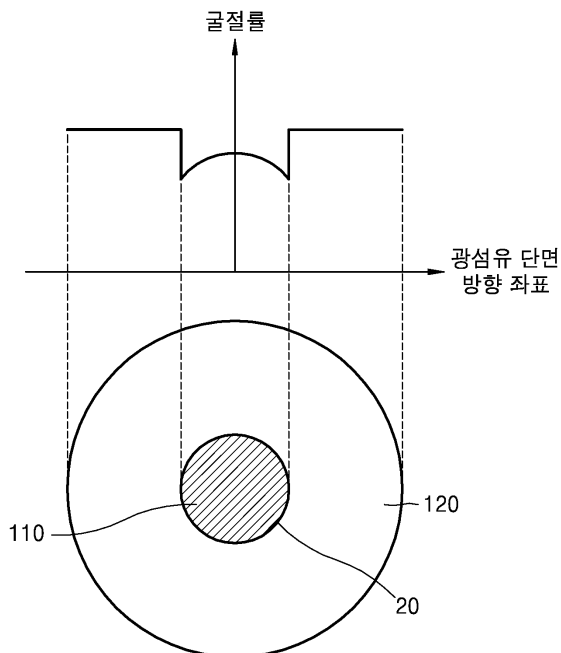
[0111] 20 : 코어-클래드 경계  
110 : 코어부재  
120 : 클래드

## 도면

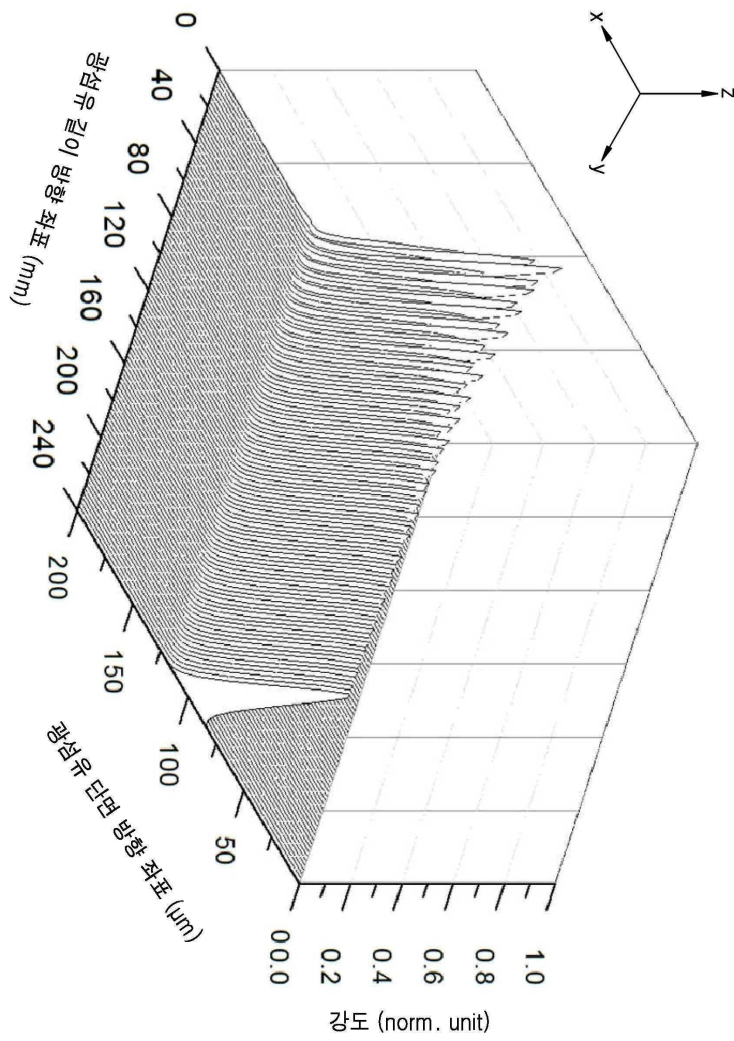
### 도면1



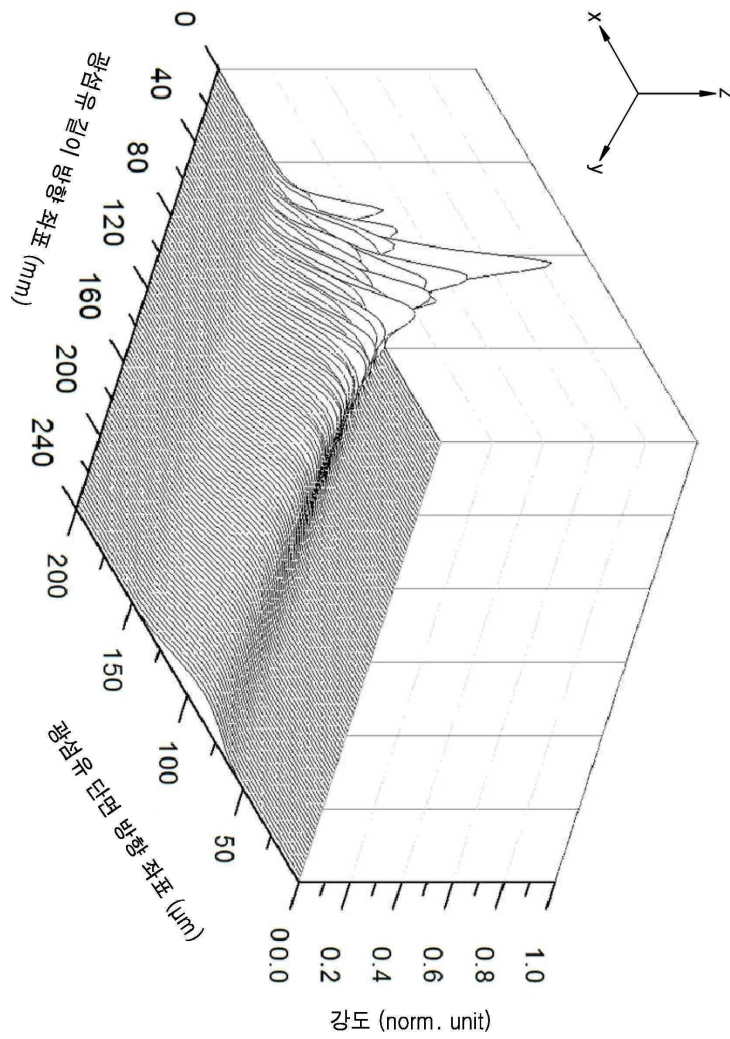
### 도면2



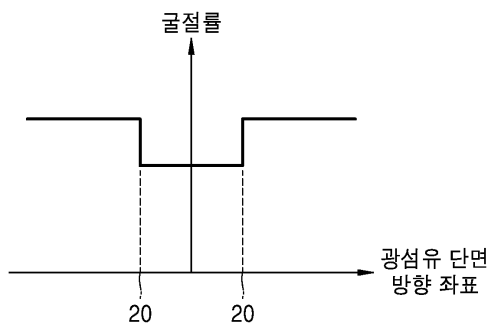
도면3



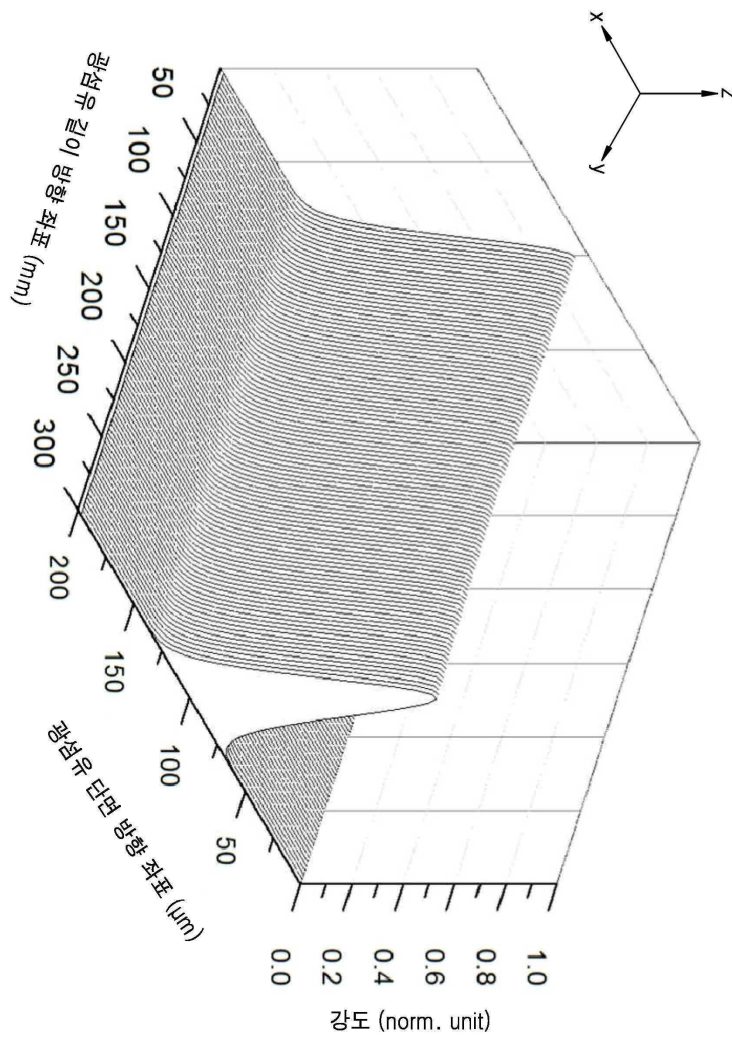
도면4



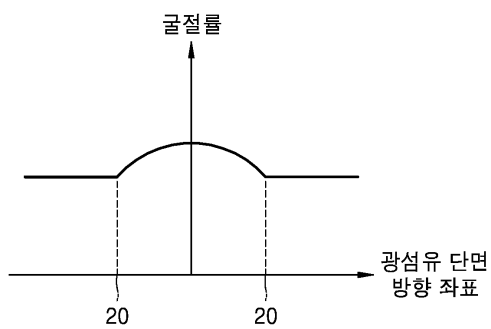
도면5



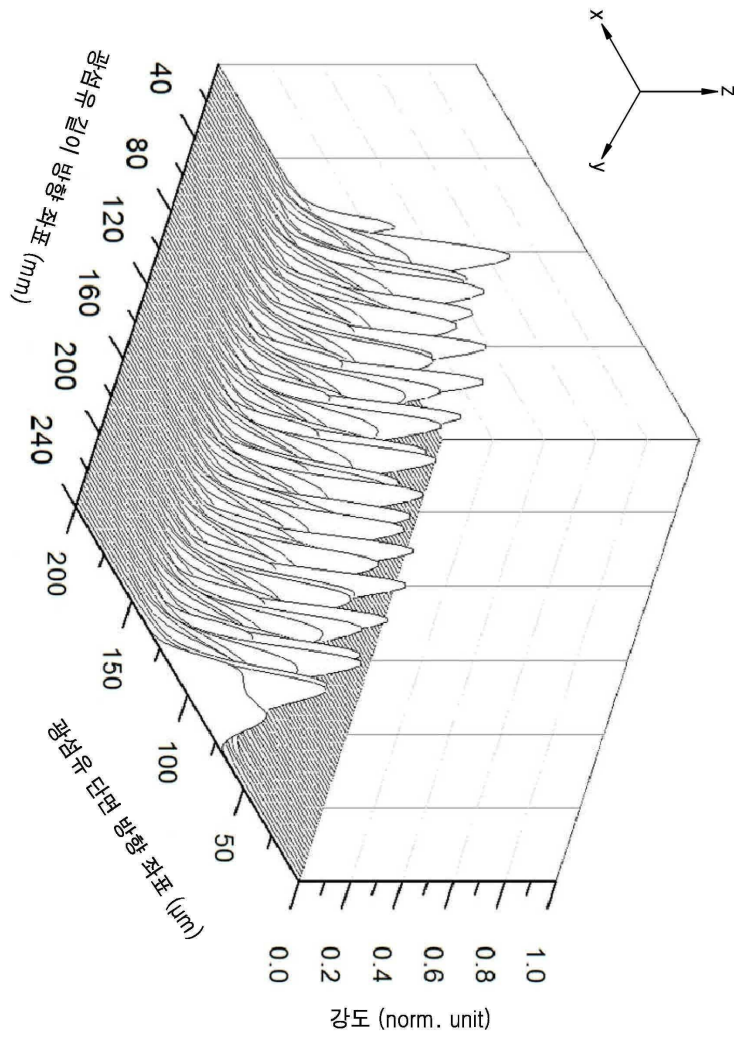
도면6



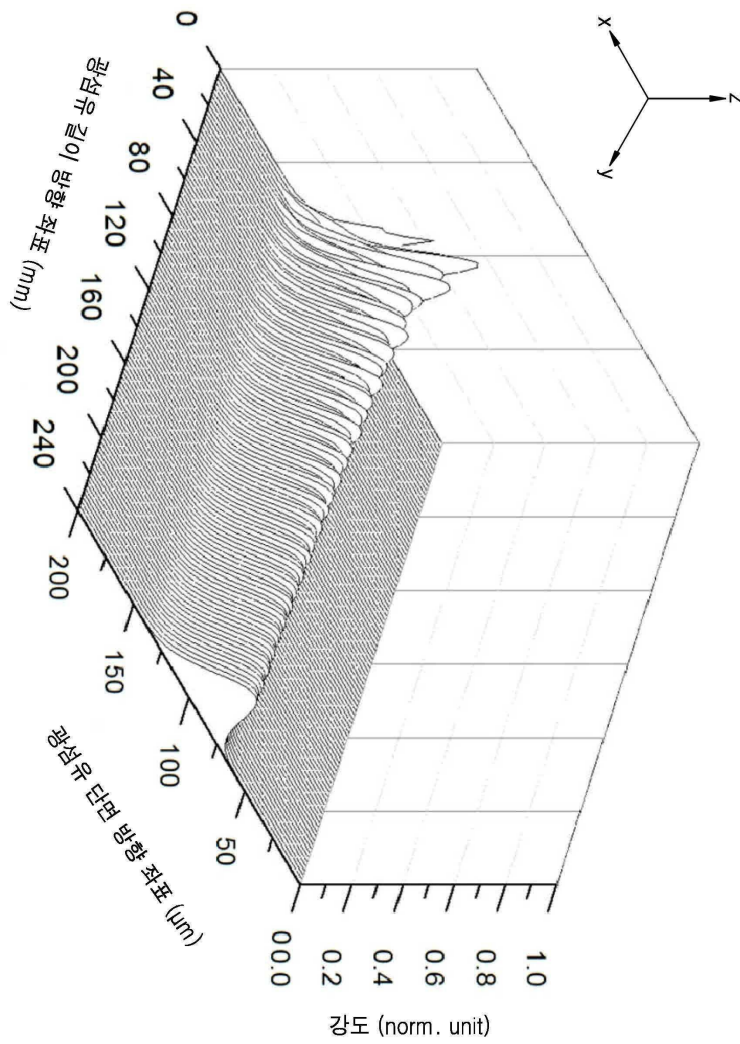
도면7



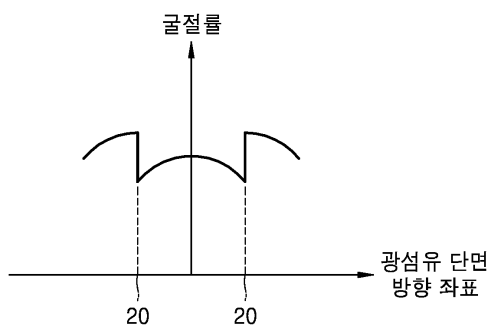
도면8



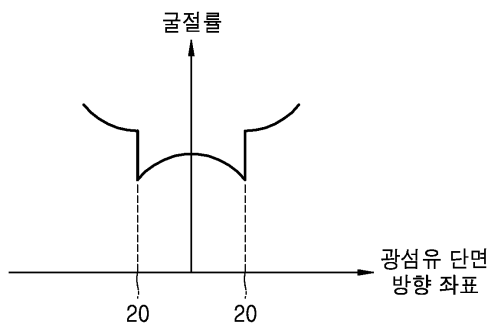
도면9



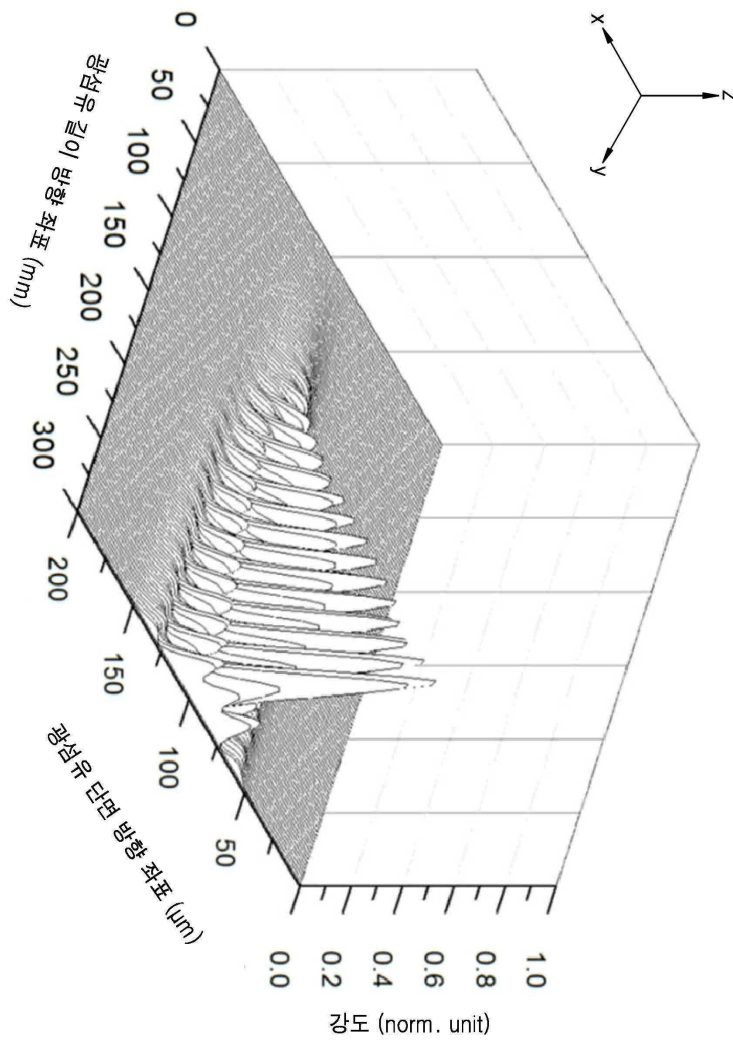
도면10a



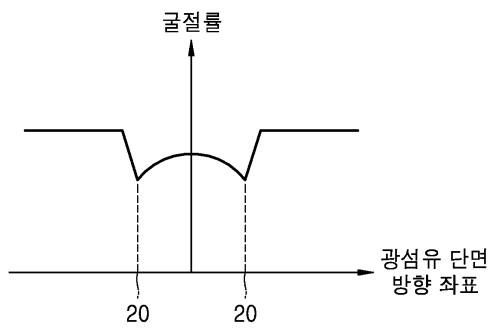
도면10b



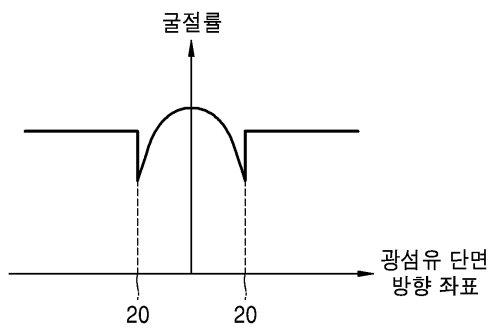
도면11



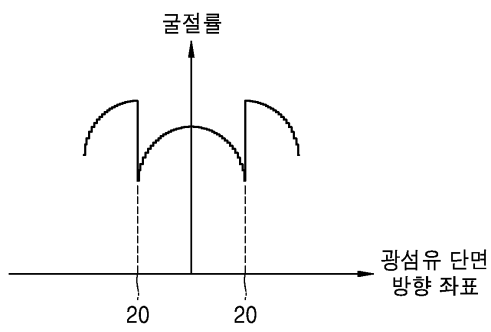
도면12



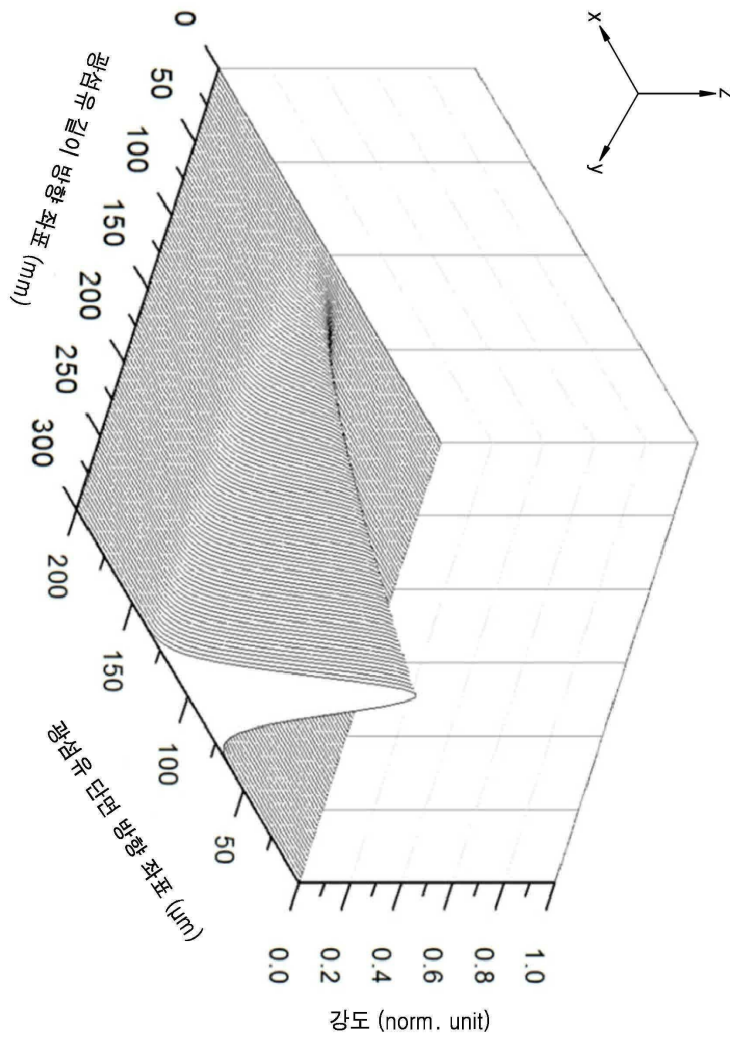
도면13



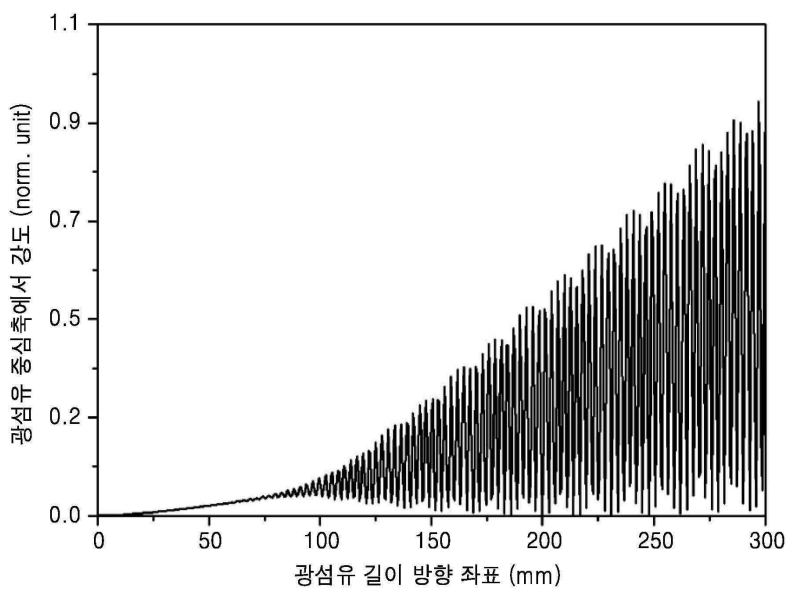
도면14



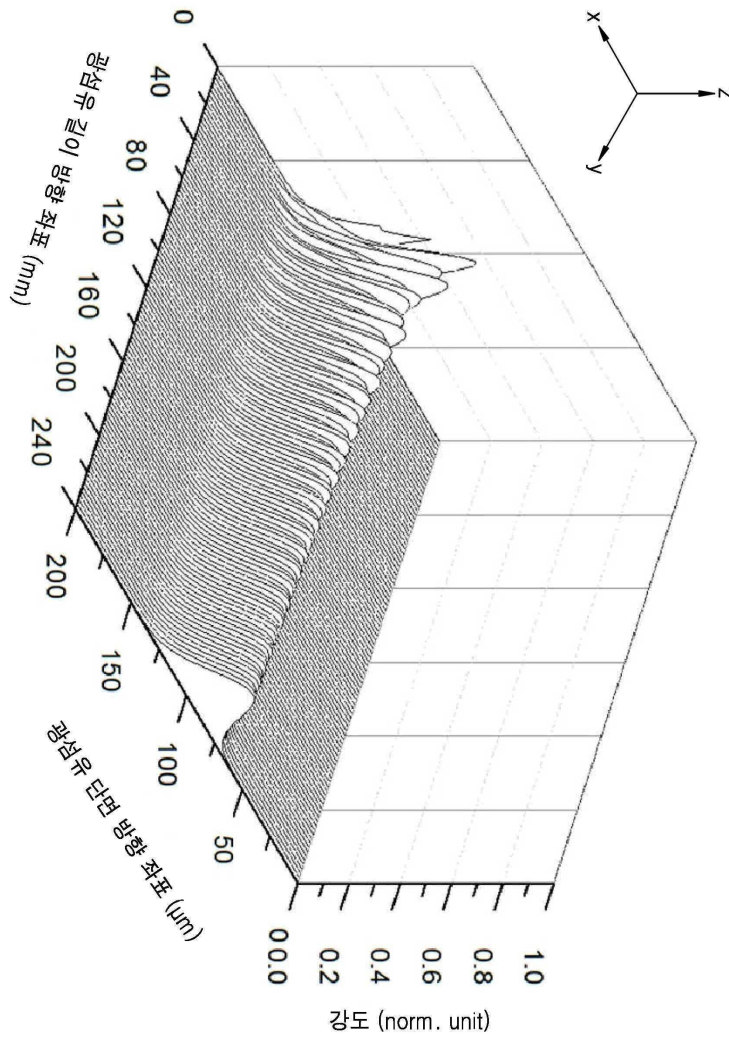
도면15



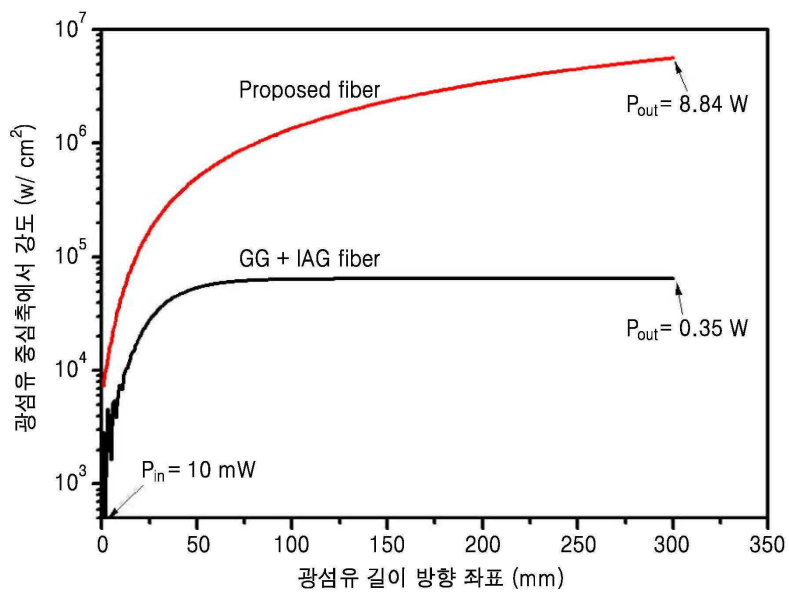
도면16



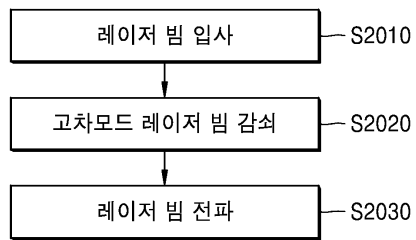
도면17



도면18



도면19



도면20

