



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0058897  
(43) 공개일자 2020년05월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G02B 27/00 (2020.01) G02B 6/02 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G02B 27/00 (2013.01)  
G02B 6/02328 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2018-0143578  
(22) 출원일자 2018년11월20일  
심사청구일자 2018년11월20일

(71) 출원인  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
박준범  
대전광역시 서구 갈마로313번길 41-30(가장동)  
주보람  
서울특별시 서대문구 신촌로3길 43(창천동)  
오경환  
서울특별시 영등포구 여의나루로 121, 1동 605호  
(여의도동, 서울아파트)  
(74) 대리인  
특허법인충현

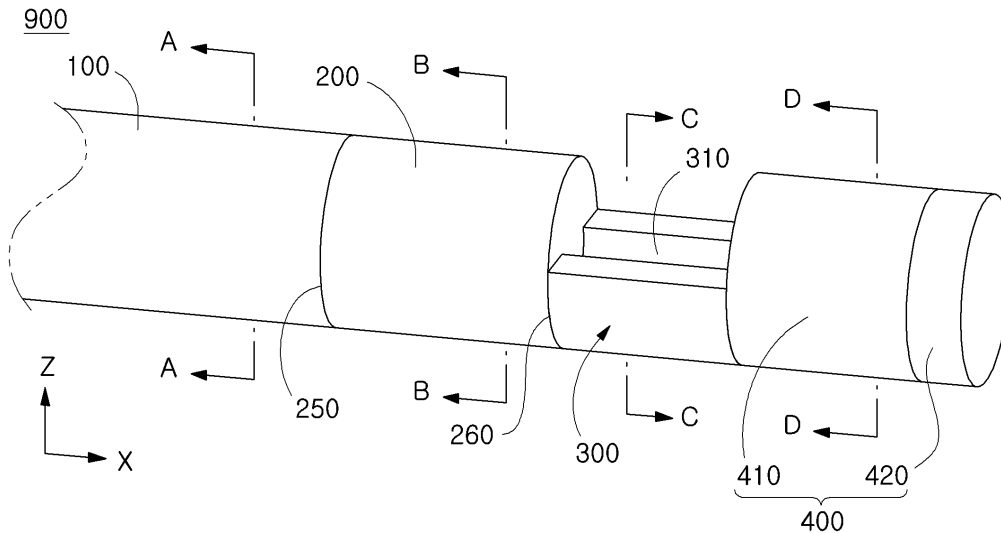
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 베셀빔을 이용한 입자포획광소자

(57) 요약

본 발명은 베셀빔을 이용한 입자포획광소자에 관한 것으로, 광이 전달되는 단일모드 광섬유부(SMF), 일단이 상기 단일모드 광섬유부의 말단과 접하며 다중모드 간섭으로 비회절성 베셀빔을 생성하는 코어없는 광섬유부(CSF), 및 일단이 상기 코어없는 광섬유부의 타단에 접하며 상기 코어없는 광섬유부에서 조사되는 상기 베셀빔을 이용하여 입자를 포획하는 입자포획유닛을 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017094101  
 부처명 과학기술정보통신부  
 연구관리전문기관 한국연구재단  
 연구사업명 국제화기반조성사업  
 연구과제명 모드분할다중화 광통신을 위한 광섬유 소자 개발  
 기 여 율 1/3  
 주관기관 연세대학교 산학협력단  
 연구기간 2018.02.20 ~ 2018.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20143005240052002  
 부처명 과학기술정보통신부  
 연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터(NIPA산하)  
 연구사업명 정보통신방송연구개발사업  
 연구과제명 양자암호 네트워크 핵심기술 개발  
 기 여 율 1/3  
 주관기관 한국과학기술연구원  
 연구기간 2018.01.01 ~ 2018.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711087613  
 부처명 과학기술정보통신부  
 연구관리전문기관 한국연구재단  
 연구사업명 중견연구자지원사업  
 연구과제명 회절한계극복 레이저빔 형성기술을 기반으로 한 3차원 광학적 구속 물질 연구  
 기 여 율 1/3  
 주관기관 연세대학교  
 연구기간 2019.03.01 ~ 2020.02.29

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

광이 전달되는 단일모드 광섬유부(SMF);

일단이 상기 단일모드 광섬유부의 말단과 접하며 다중모드 간섭으로 비회절성 베셀빔을 생성하는 코어없는 광섬유부(CSF); 및

일단이 상기 코어없는 광섬유부의 타단에 접하며 상기 코어없는 광섬유부에서 조사되는 상기 베셀빔을 이용하여 입자를 포획하는 입자포획유닛;을 포함하는 베셀빔을 이용한 입자포획광소자.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 입자포획유닛은 상측으로 상기 코어없는 광섬유부에서 생성된 상기 베셀빔이 조사되며 상기 입자가 포획되는 포획장홈이 형성되며,

상기 포획장홈은 상기 입자포획유닛의 일단으로부터 타단으로 향하는 X축 방향으로 연장되어 형성되는 베셀빔을 이용한 입자포획광소자.

#### 청구항 3

청구항 1에 있어서,

일단이 상기 입자포획유닛의 타단에 접하며 포획된 상기 입자를 수용하는 입자저장유닛을 더 포함하는 베셀빔을 이용한 입자포획광소자.

#### 청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 입자저장유닛은 일단이 상기 입자포획유닛의 타단에 접하며 포획한 상기 입자를 중공에 수용하는 중공광섬유부(HOF)를 포함하는 베셀빔을 이용한 입자포획광소자.

#### 청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 입자저장유닛은 상기 중공광섬유부의 타단과 결합되어 상기 중공광섬유부의 중공을 폐쇄하는 마감부를 더 포함하는 베셀빔을 이용한 입자포획광소자.

#### 청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 마감부는 폴리머 용액이 자외선으로 경화되어 형성되는 베셀빔을 이용한 입자포획광소자.

## 청구항 7

청구항 4에 있어서,

상기 입자포획유닛은 상기 입자가 포획되는 포획장홈이 형성되며,

상기 포획장홈은 상기 중공광섬유부의 중공과 연통되어 상기 포획장홈에 포획된 상기 입자가 상기 중공광섬유부의 중공으로 이동되어 저장되는 베셀빔을 이용한 입자포획광소자.

## 청구항 8

청구항 4에 있어서,

상기 입자포획유닛은 상기 코어없는 광섬유부의 타단에 접하며 포획장홈이 형성된 포획광섬유부를 포함하며,

상기 포획광섬유부는 내경이 상기 중공광섬유부의 내정보다 작은 중공광섬유의 일부를 제거하여 상기 포획장홈을 형성하는 베셀빔을 이용한 입자포획광소자.

## 청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 코어없는 광섬유부는 상기 단일모드 광섬유부의 외부 직경과 동일한 직경을 갖는 베셀빔을 이용한 입자포획광소자.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 베셀빔을 이용한 입자포획광소자에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 일반적으로, 광섬유는 중심부에는 굴절률이 높은 유리, 바깥 부분은 굴절률이 낮은 유리를 사용하여 중심부 유리를 통과하는 빛이 전반사가 일어나도록 한 광학적 섬유로 에너지 손실이 적어 송수신하는 데이터의 손실률도 낮고 외부의 영향을 거의 받지 않는 성질이 있다. 본래 모든 빛은 근원으로부터 생성된 이후 주변으로 퍼져나가는 회절현상을 보이는데, J.Durnin은 이 회절현상 자체를 이용해서 빛의 퍼짐이 일어나지 않는 빛을 제안했으며 그 형태가 베셀함수와 같아 베셀빔(Bessel beam)이라 하고 환형구멍(aperture)을 이용하여 베셀빔을 실제로 구현하였다. G.Indebetouw는 액시콘(Axicon)을 이용해서 빛의 퍼짐이 이전보다 더욱 줄어든 베셀빔을 만드는데 성공하였으며, 홀로그래프를 이용하여 베셀빔을 형성하거나, 페브리-페로 공동(Fabry-Perot cavity)과 환형구멍을 결합한 시스템도 개발되었다. 최근에는 레이저 공동 안에 아르곤 이온을 넣거나 액시콘 렌즈를 집어넣어 레이저에서 베셀빔이 나오도록 하는 시스템도 개발되었다.

[0003] 한편, 광학 트래핑(Optical trapping) 기술을 이용하여 입자의 특성을 연구하고 유체역학에서 다양한 현상을 규명하는 연구가 진행되고 있다. 종래 광학 트래핑의 일종인 가우시안 라이트 빔(gaussian light beams)을 사용하는 광 트위저(optical tweezer)는 빔의 중심에서 수 마이크로 미터만 벗어나도 입자를 포획할 수 없었다. 이는 입자에 의한 빔 디스토션(beam distortion)과 초점 평면(focal plane)으로부터의 강한 다이버전스 때문이다. 베셀빔을 사용하는 광 트위저는 이러한 다이버전스를 줄일 수 있다.

[0004] 그러나, 종래 기술들은 그 크기에 비해 베셀빔의 형성거리는 빈약하고 사용환경의 제약이 컸다. 또한, 베셀빔을 이용한 광학 트래핑의 다양한 이용사례가 있지만 광섬유를 이용한 입자포획과 입자들을 한번에 여러 개를 수집하는 것에는 한계가 있으며, 광섬유를 이용하여 입자를 포획하고 액체 내에서 추출하기 위한 기술 개발은 부진하여 이러한 기술을 개발할 필요가 있다.

[0005] 이 배경기술 부분에 기재된 사항은 발명의 배경에 대한 이해를 증진하기 위하여 작성된 것으로, 이 기술이 속하

는 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 이미 알려진 종래 기술이 아닌 사항을 포함할 수 있다.

## 선행기술문헌

[0006] 일본특허공보 제5039744호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상기와 같은 문제를 해결하기 위하여, 단일모드 광섬유부와 코어없는 광섬유부를 이용하여 베셀빔을 생성하고 베셀빔과 입자포획유닛 및 입자저장유닛을 이용하여 입자를 포획하고 저장하는 베셀빔을 이용한 입자 포획광소자를 제공하는 것이다.

[0008] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 이상에서 언급한 기술적 과제로 제한되지 않으며 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0009] 본 발명에 따른 베셀빔을 이용한 입자포획광소자는 광이 전달되는 단일모드 광섬유부(SMF), 일단이 상기 단일모드 광섬유부의 말단과 접하며 다중모드 간섭으로 비회절성 베셀빔을 생성하는 코어없는 광섬유부(CSF), 및 일단이 상기 코어없는 광섬유부의 타단에 접하며 상기 코어없는 광섬유부에서 조사되는 상기 베셀빔을 이용하여 입자를 포획하는 입자포획유닛을 포함할 수 있다.

[0010] 상기 입자포획유닛은 상측으로 상기 코어없는 광섬유부에서 생성된 상기 베셀빔이 조사되며 상기 입자가 포획되는 포획장홈이 형성되며, 상기 포획장홈은 상기 입자포획유닛의 일단으로부터 타단으로 향하는 X축 방향으로 연장되어 형성될 수 있다.

[0011] 본 발명에 따른 베셀빔을 이용한 입자포획광소자는 일단이 상기 입자포획유닛의 타단에 접하며 포획된 상기 입자를 수용하는 입자저장유닛을 더 포함할 수 있다.

[0012] 상기 입자저장유닛은 일단이 상기 입자포획유닛의 타단에 접하며 포획한 상기 입자를 중공에 수용하는 중공광섬유부(HOF)를 포함할 수 있다.

[0013] 상기 입자저장유닛은 상기 중공광섬유부의 타단과 결합되어 상기 중공광섬유부의 중공을 폐쇄하는 마개부를 더 포함할 수 있다.

[0014] 상기 마개부는 폴리머 용액이 자외선으로 경화되어 형성될 수 있다.

[0015] 상기 입자포획유닛은 상기 입자가 포획되는 포획장홈이 형성되며, 상기 포획장홈은 상기 중공광섬유부의 중공과 연통되어 상기 포획장홈에 포획된 상기 입자가 상기 중공광섬유부의 중공으로 이동되어 저장될 수 있다.

[0016] 상기 입자포획유닛은 상기 코어없는 광섬유부의 타단에 접하며 포획장홈이 형성된 포획광섬유부를 포함하며, 상기 포획광섬유부는 내경이 상기 중공광섬유부의 내경보다 작은 중공광섬유부의 일부를 제거하여 상기 포획장홈을 형성할 수 있다.

[0017] 상기 코어없는 광섬유부는 상기 단일모드 광섬유부의 외부 직경과 동일한 직경을 갖을 수 있다.

### 발명의 효과

[0018] 단일모드 광섬유부와 코어없는 광섬유부를 이용하여 용이하게 베셀빔을 생성할 수 있다.

[0019] 베셀빔의 중심부는 입자포획유닛의 외각과 외부로 도파되어 입자를 기울기력으로 입자포획유닛의 포획장홈 방향

으로 당겨오고 당겨온 입자는 베셀빔의 산란력으로 중공광섬유부로 이동되며, 이런 일련의 과정이 반복되어 세포 등 매질보다 굴절률이 높은 쌍극자 입자들을 효과적으로 수집하여 액체상태에 퍼져있는 세포나 약품 등 미시적 입자들을 액체상태에서 분리하여 중공광섬유부 안에 입자를 수집할 수 있다.

[0020] 포획광섬유부를 형성하는 중공광섬유의 내경이 중공광섬유부의 내경보다 작아 포획광섬유부의 포획장홈에 포획된 입자가 포획장홈과 연통된 중공광섬유부의 중공으로 이동되어 포획장홈으로 다시 이탈되지 않고 용이하게 저장될 수 있다.

[0021] 폴리머를 포함하는 마개부를 에탄올이나 스크래퍼로 용이하게 제거하여 입자저장유닛에 저장된 입자를 용이하게 추출할 수 있다.

[0022] 본 발명은 물질과 빛의 상호작용 현상을 응용한 광학기술로 일반적인 광소자보다 규모가 작고 배열이 고정되어 작은 틈새나 생체 내에서도 사용이 가능하고, 광 포획기술을 사용하여 특정용액 내에서 세포의 반응실험을 진행하고 세포에 직접적인 자극이 없이 기율기력으로 세포를 추출하고 수집할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 본 발명에 따른 베셀빔을 이용한 입자포획광소자 일실시예의 사시도이다.

도 2는 도 1의 AA와 BB 단면도이다.

도 3은 도 1의 CC와 DD 단면도이다.

도 4는 본 발명에 따른 베셀빔을 이용한 입자포획광소자 일실시예의 중공광섬유의 단면도이다.

도 5는 본 발명에 따른 베셀빔을 이용한 입자포획광소자 일실시예의 사용상태도이다.

도 6은 본 발명에 따른 베셀빔을 이용한 입자포획광소자 일실시예의 베셀빔 모식도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 이하 설명되는 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고, 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에서 상세하게 설명하고자 한다.

[0025] 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0026] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0027] 또한 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 구분하여 설명하기 위해 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0028] 이하에서는, 본 발명의 일실시예에 따른 베셀빔을 이용한 입자포획광소자(900)에 대하여 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[0029] 도 1은 본 발명에 따른 베셀빔을 이용한 입자포획광소자(900) 일실시예의 사시도이고, 도 2는 도 1의 AA와 BB 단면도이며, 도 3은 도 1의 CC와 DD 단면도이고, 도 4는 본 발명에 따른 베셀빔을 이용한 입자포획광소자(900) 일실시예의 중공광섬유(370)의 단면도이며, 도 5는 본 발명에 따른 베셀빔을 이용한 입자포획광소자(900) 일실시예의 사용상태도이고, 도 6은 본 발명에 따른 베셀빔을 이용한 입자포획광소자(900) 일실시예의 베셀빔 모식도이다.

- [0030] 본 발명의 일례에 따른 베셀빔을 이용한 입자포획광소자(900)는 단일모드 광섬유부(100), 코어없는 광섬유부(200), 입자포획유닛(300), 및 입자저장유닛(400) 등을 포함할 수 있다.
- [0031] 본 발명에 따른 베셀빔을 이용한 입자포획광소자(900)는 광이 전달되는 단일모드 광섬유부(100), 일단이 단일모드 광섬유부(100)의 말단과 접하며 다중모드 간섭으로 비회절성 베셀빔을 생성하는 코어없는 광섬유부(CSF)(200), 및 일단이 코어없는 광섬유부(200)의 타단에 접하며 코어없는 광섬유부(200)에서 조사되는 베셀빔을 이용하여 입자(10)를 포획하는 입자포획유닛(300)을 포함할 수 있으며, 코어없는 광섬유부(200)는 단일모드 광섬유부(100)의 외부 직경(110)과 동일한 직경(210)을 포함할 수 있다.
- [0032] 도 1 또는 도 2의 예시에서 알 수 있는 바와 같이, 단일모드 광섬유부(Single Mode optical Fiber part ; SMF)(100)는 직경을 작게한 코어(core)(20)와 코어(20)를 둘러싼 클래딩(cladding)(30)으로 구성되는 광섬유로, 하나의 모드만 도파하도록 하는 역할을 할 수 있다.
- [0033] 코어없는 광섬유부(Coreless Silica optical Fiber part ; CSF)(200)는 코어(20) 부분이 없는 광섬유로 단일모드 광섬유부(100)의 말단과 접하여 배치되는 것으로, 다중모드 간섭(multi mode interference ; MMI)을 이용하여 비회절성 베셀빔(Bessel beam)을 생성하는 역할을 할 수 있다. 일례로, 단일모드 광섬유부(100)와 코어없는 광섬유부(200)는 광섬유 가공장치를 이용해 열 접착(Splicing)될 수 있다.
- [0034] 일례로, 자유공간에서 맥스웰 방정식(Maxwell's equation)에서 유도되는 파동방정식은  $(\nabla^2 + k^2)E = 0$  이고, 여기서 경계조건이 원기둥 좌표(cylindrical coordinate)인 도파관(waveguide)에서 해는
- $$\rho \frac{d}{d\rho} \left( \rho \frac{dP}{d\rho} \right) + (n^2 \rho^2 - m^2)P = 0$$
- [0035]
- [0036] 으로 베셀함수  $J_v$ 가 해가 된다. 따라서 해는  $E_\rho = a_v J_v(k_\rho)$  의 단면을 가지는 빔을 갖게 된다. 여기서 단일모드 광섬유부(100)의 코어(20)에서 나온 광의 직진성을 고려하면  $J_0$ 인 모드(mode)가 주요한 빔의 형상을 가지게 된다.
- [0037] 도 6의 예시에서 알 수 있는 바와 같이 일례로, 베셀빔을 생성하는데 사용되는 다중모드간섭(MMI) 이론은 단일모드 광섬유부(100)에서 코어없는 광섬유부(200)로 진행하며 만들어지는 무수히 많은 모드들이 간섭과 회절현상으로  $J_0$ 의 빔 형상을 보장하는 광의 최적의 경로차를 시뮬레이션을 통해 조사하는 부분을 포함한다. 일례로, 입사된 광은 단일모드 광섬유부(100)를 지나 코어없는 광섬유부(200)와 단일모드 광섬유부(100)의 접속면(250)에서 퍼졌다가 코어없는 광섬유부(200)와 입자포획유닛(300)의 접속면(260)에서 모아져서 비회절성 베셀빔으로 변환된다. 실제 실험에서도 가운데의 빔이 거의 퍼지지 않고 일직선 상으로 진행하는 것을 관찰할 수 있으며, 비회절성 베셀빔이 출력되면, 입자(10)에 대한 광포획에 의해 입자(10)들이 비회절성 베셀빔 주변으로 모여들게 된다.
- [0038] 도 1의 예시에서 알 수 있는 바와 같이 일례로, 코어없는 광섬유부(200)는 단일모드 광섬유부(100)의 외부 직경(110)과 동일한 외부 직경(210)을 포함할 수 있다.
- [0039] 입자포획유닛(300)은 상측으로 코어없는 광섬유부(200)에서 생성된 베셀빔이 조사되며 입자(10)가 포획되는 포획장홈(310)이 형성되며, 포획장홈(310)은 입자포획유닛(300)의 일단으로부터 타단으로 향하는 X축 방향으로 연장되어 형성될 수 있다.
- [0040] 입자포획유닛(300)은 일단이 코어없는 광섬유부(200)의 타단에 접하는 것으로, 코어없는 광섬유부(200)에서 조사되는 베셀빔을 이용하여 입자(10)를 포획하는 역할을 할 수 있으며, 포획장홈(310)과 포획광섬유부(350)를 포함할 수 있다.
- [0041] 일례로, 입자(10)는 폴리스티렌(polystyrene) 입자나 세포를 포함하며 액체 내에서 부유하고 있는 물질이 대상이 될 수 있다.
- [0042] 도 3 또는 도 4의 예시에서 알 수 있는 바와 같이 일례로, 포획장홈(310)은 입자포획유닛(300)의 일단으로부터 타단으로 향하는 X축 방향으로 연장되게 형성되는 것으로, 베셀빔의 산란력(scattering force)과 기울기력(gradient force)을 이용하여 입자(10)를 포획할 수 있다. 일례로, 광학 트래핑(Optical trapping) 기술은 레이저를 입자(10)에 조사하여 광과 입자(10) 사이에 운동량보존법칙을 이용한 산란력과 입자(10)가 가지는 고유



한 쌍극자 구조를 이용한 기울기력을 이용하여 입자(10)에 직접 접촉하지 아니하고 입자(10)를 포획하거나 이동시키는 기술이다. 일례로, 산란력은 포획된 물체의 흡수와 반사에 의해 발생하는 것으로, 입사광의 진행방향을 향하며 광세기에 비례하며, 베셀빔의 가장자리 부분은 기울기력으로 작용하고, 중심부분은 주로 산란력으로 작용할 수 있다.

[0043] 베셀빔을 이용한 입자포획광소자(900)는 일단이 입자포획유닛(300)의 타단에 접하며 포획된 입자(10)를 수용하는 입자저장유닛(400)을 더 포함할 수 있으며, 입자저장유닛(400)은 일단이 입자포획유닛(300)의 타단에 접하며 포획한 입자(10)를 중공(411)에 수용하는 중공광섬유부(HOF)(410)를 포함할 수 있다.

[0044] 입자저장유닛(400)은 일단이 입자포획유닛(300)의 타단에 접하는 것으로, 입자포획유닛(300)의 포획장홈(310)에 포획된 입자(10)를 수용하는 역할을 할 수 있으며, 중공광섬유부(410)와 마개부(420)를 포함할 수 있다.

[0045] 중공광섬유부(Hollow Optical Fiber part ; HOF)(410)는 일단이 입자포획유닛(300)의 타단에 접하며 중앙에 중공(411)을 형성한 광섬유로, 입자포획유닛(300)에서 포획한 입자(10)를 중공(411)에 수용하여 저장하는 역할을 할 수 있다. 도 3 또는 도 4의 예시에서 알 수 있는 바와 같이 일례로, 중공광섬유부(410)는 특수 광섬유로서 코어(20), 코어(20)를 둘러싸고 있는 클래딩(30)으로 구성된 일반 광섬유와 같이 코어(20)와 클래딩(30)으로 구성되어 있으나, 코어(20)의 중앙에 중공광섬유(370)의 길이방향인 X축 방향으로 중공(411)을 형성할 수 있다.

[0046] 입자포획유닛(300)은 입자(10)가 포획되는 포획장홈(310)이 형성되며, 포획장홈(310)은 중공광섬유부(410)의 중공(411)과 연통되어 포획장홈(310)에 포획된 입자(10)가 중공광섬유부(410)의 중공(411)으로 이동되어 저장될 수 있으며, 입자포획유닛(300)은 코어없는 광섬유부(200)의 타단에 접하며 포획장홈(310)이 형성된 포획광섬유부(350)를 포함하며, 포획광섬유부(350)는 내경(371)이 중공광섬유부(410)의 내경(415)보다 작은 중공광섬유(370)의 일부를 제거하여 포획장홈(310)을 형성할 수 있다.

[0047] 도 5의 예시에서 알 수 있는 바와 같이 일례로, 입자포획유닛(300)의 포획장홈(310)은 중공광섬유부(410)의 중공(411)과 연통되어 포획장홈(310)에 포획된 입자(10)가 중공광섬유부(410)의 중공(411)으로 이동되어 저장될 수 있다.

[0048] 포획광섬유부(350)는 일단이 코어없는 광섬유부(200)의 타단에 접하며 타단이 중공광섬유부(410)의 일단과 결합되는 것으로, 포획장홈(310)이 형성되어 입자(10)를 포획하는 역할을 할 수 있다. 도 3 내지 도 5의 예시에서 알 수 있는 바와 같이 일례로, 포획광섬유부(350)는 중공광섬유(370)의 일부를 제거하여 포획장홈(310)을 형성하는 것으로, 내경(371)이 중공광섬유부(410)의 내경(415)보다 작은 중공광섬유(370)를 이용하여 제작될 수 있다. 도 4의 예시에서 알 수 있는 바와 같이 일례로, 포획광섬유부(350)를 형성하는 중공광섬유(370)의 내경(371)이 중공광섬유부(410)의 내경(415)보다 작아야 포획광섬유부(350)의 포획장홈(310)에 포획된 입자(10)가 포획장홈(310)과 연통된 중공광섬유부(410)의 중공(411)으로 이동되어 포획장홈(310)으로 다시 이탈되지 않고 용이하게 저장될 수 있다. 일례로, 포획장홈(310)의 홈의 깊이(311)는 포획하여야는 입자(10)의 크기 등을 고려하여 조절될 수 있다.

[0049] 일례로, 베셀빔의 기울기력을 이용하여 액체상태에서 부유중인 입자(10)가 입자포획유닛(300)의 포획장홈(310) 방향으로 유도되어 포획되고 베셀빔의 산란력으로 중공광섬유부(410)의 내경으로 들어오게 된다. 이런 과정을 통해 세포 등 매질보다 굴절률(refractive index)이 높은 쌍극자 입자(10)들을 효과적으로 수집하여 액체 내에서 추출해 낼 수 있다.

[0050] 입자저장유닛(400)은 중공광섬유부(410)의 타단과 결합되어 중공광섬유부(410)의 중공(411)을 폐쇄하는 마개부(420)를 더 포함할 수 있다. 마개부(420)는 폴리머 용액이 자외선으로 경화되어 형성될 수 있다.

[0051] 도 1 또는 도 5의 예시에서 알 수 있는 바와 같이, 마개부(420)는 중공광섬유부(410)의 타단과 결합되어 중공광섬유부(410)의 중공(411)을 폐쇄하는 역할을 할 수 있다. 일례로, 마개부(420)는 폴리머 용액이 자외선으로 경화되어 형성될 수 있다. 또한 일례로, 마개부(420)는 코어없는 광섬유나 폴리디메틸실록산(PDMS)을 포함할 수 있다. 일례로, 폴리머 용액이 자외선으로 경화되는 경우 에탄올이나 스크래퍼(scraper)로 제거가 용이하여, 이를 이용하여 마개부(420)를 제거함으로써 입자저장유닛(400)에 저장된 입자(10)를 용이하게 추출할 수 있다.

[0052] 본 발명에 따른 베셀빔을 이용한 입자포획광소자(900)는 단일모드 광섬유부(100)를 통해 입사된 단일모드 광이 코어없는 광섬유부(200)에서 다중모드 간섭을 하여 베셀빔을 형성하고, 베셀빔이 입자포획유닛(300)으로 조사되어 베셀빔의 기울기력과 산란력을 이용하여 입자(10)를 포획하고 포획장홈(310)으로 포획된 입자(10)가 입자저장유닛(400)에 저장될 수 있다.



장유닛(400)인 중공광섬유부(410)의 중공(411)에 수용되어 저장되며, 마개부(420)를 제거하여 입자(10)를 용이하게 추출하는 입자포획광소자(900)에 관한 것이다.

[0053] 단일모드 광섬유부(100)와 코어없는 광섬유부(200)를 이용하여 용이하게 베셀빔을 생성할 수 있다. 베셀빔의 중심부는 입자포획유닛(300)의 외각과 외부로 도파되어 입자(10)를 기울기력으로 입자포획유닛(300)의 포획장홈(310) 방향으로 당겨오고 당겨온 입자(10)는 베셀빔의 산란력으로 중공광섬유부(410)로 이동되며, 이런 일련의 과정이 반복되어 세포 등 매질보다 굴절률이 높은 쌍극자 입자(10)들을 효과적으로 수집하여 액체상태에 퍼져있는 세포나 약품 등 미시적 입자(10)들을 액체상태에서 분리하여 중공광섬유부(410) 안에 입자(10)를 수집할 수 있다. 포획광섬유부(350)를 형성하는 중공광섬유(370)의 내경(371)이 중공광섬유부(410)의 내경(415)보다 작아 포획광섬유부(350)의 포획장홈(310)에 포획된 입자(10)가 포획장홈(310)과 연통된 중공광섬유부(410)의 중공(411)으로 이동되어 포획장홈(310)으로 다시 이탈되지 않고 용이하게 저장될 수 있다. 폴리머를 포함하는 마개부(420)를 에탄올이나 스크래퍼로 용이하게 제거하여 입자저장유닛(400)에 저장된 입자(10)를 용이하게 추출할 수 있다. 본 발명은 물질과 빛의 상호작용 현상을 응용한 광학기술로 일반적인 광소자보다 규모가 작고 배열이 고정되어 작은 틈새나 생체 내에서도 사용이 가능하고, 광 포획기술을 사용하여 특정용액 내에서 세포의 반응실험을 진행하고 세포에 직접적인 자극이 없이 기울기력으로 세포(10)를 추출하고 수집할 수 있다.

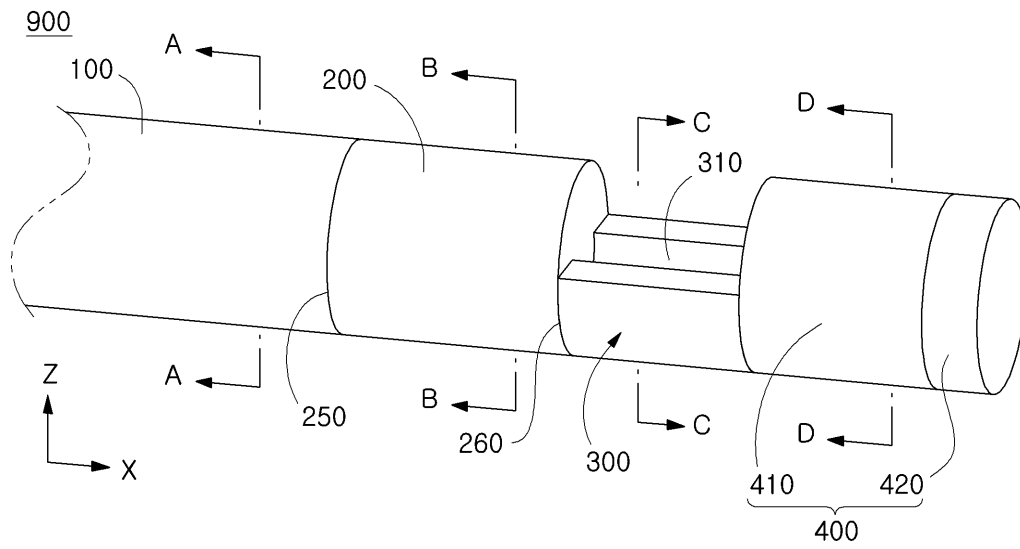
[0054] 한편, 본 도면에 개시된 실시예는 이해를 돕기 위해 특정 예를 제시한 것에 지나지 않으며, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시예 이외에도 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형예들이 실시 가능하다는 것은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게는 자명한 것이다.

### 부호의 설명

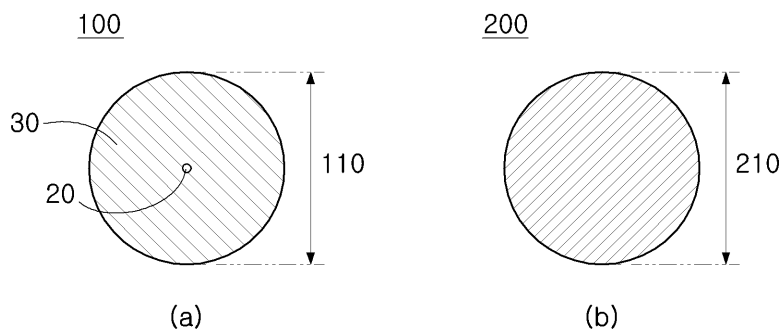
[0055] 10 : 입자      20 : 코어  
30 : 클로딩      100 : 단일모드 광섬유부  
200 : 코어없는 광섬유부      300 : 입자포획유닛  
310 : 포획장홈      350 : 포획광섬유부  
370 : 중공광섬유      400 : 입자저장유닛  
410 : 중공광섬유부      411 : 중공  
420 : 마개부  
900 : 베셀빔을 이용한 입자포획광소자

도면

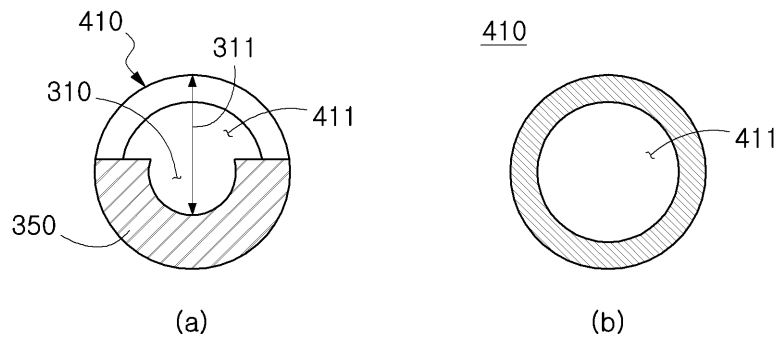
도면1



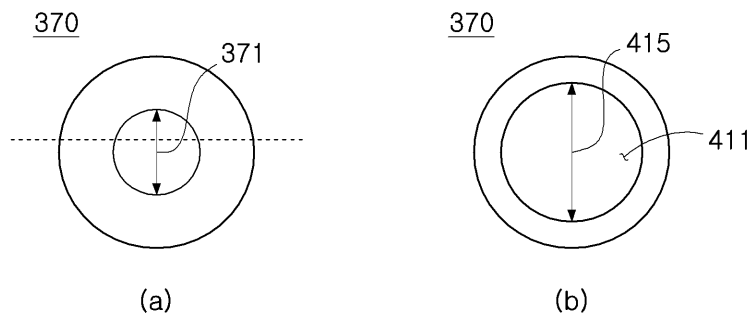
도면2



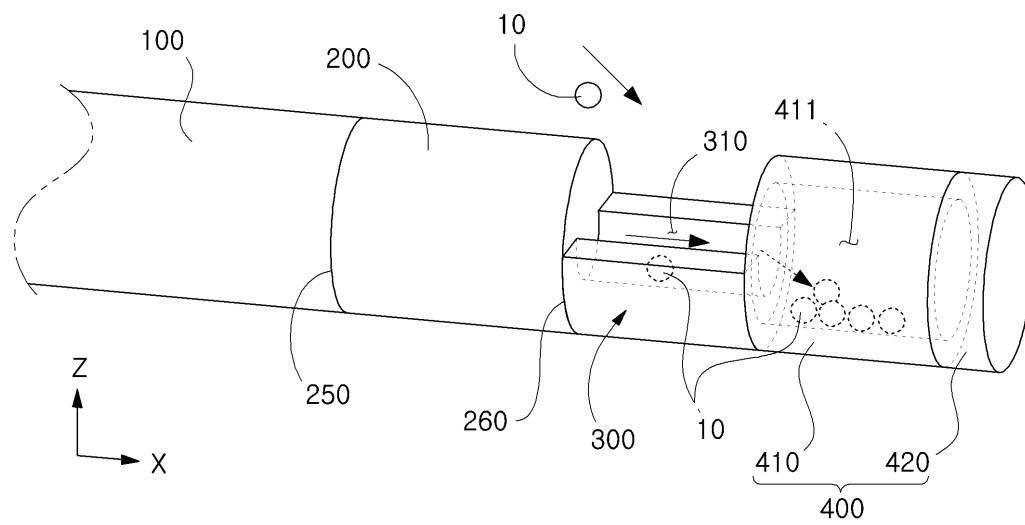
도면3



도면4



도면5



도면6

