



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년09월30일  
(11) 등록번호 10-2450021  
(24) 등록일자 2022년09월28일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C03B 23/047 (2006.01) C03B 23/043 (2006.01)  
C03B 23/057 (2006.01) C03B 23/08 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
C03B 23/047 (2013.01)  
C03B 23/043 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-0124875  
(22) 출원일자 2019년10월08일  
심사청구일자 2022년07월19일  
(65) 공개번호 10-2020-0041277  
(43) 공개일자 2020년04월21일  
(30) 우선권주장  
18199287.6 2018년10월09일  
유럽특허청(EPO)(EP)
- (56) 선행기술조사문헌  
JP08157227 A  
JP2001337072 A  
JP2008040495 A  
JP03008733 A
- (73) 특허권자  
헤라우스 크바르츠글라스 게엠베하 & 컴파니 케  
이지  
독일, 63450 하나우, 헤라우스트라쎄 12-14
- (72) 발명자  
바이틀리히 슈테판  
독일 55116 마인츠 캐스트리히 43  
슈미트 클레멘스  
독일 63825 블랑켄바흐 빙거츠베크 3  
베르너 외르크  
독일 63674 알텐슈타트 뮐베크 10 아
- (74) 대리인  
김진희, 김태홍

전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 이영화

(54) 발명의 명칭 캐필러리 튜브 및 이것의 제조 방법

(57) 요약

유리로부터 캐필러리 튜브를 제조하는 공지된 방법은, 외경( $D_{OD}$ ), 내경( $D_{ID}$ ) 및 직경비( $D_{rel}$ )를 가지며,  $D_{rel} = D_{OD}/D_{ID}$ 인 관형 프리폼을 인발 온도( $T_{draw}$ )로 가열된 가열 구역에서 구역내(zonal) 연화시키고, 연화된 영역으로부터 인발 속도( $v_{draw}$ )로, 외경( $d_{OD}$ ), 내경( $d_{ID}$ ) 및 직경비( $d_{rel}$ )를 가지며,  $d_{rel} = d_{OD}/d_{ID}$ 인 캐필러리 스트랜드를 연속적으로 인발하고, 그로부터 캐필러리를 길이로 절단하는 것인 방법 단계를 포함한다. 이것에 기초하여 프리폼의 기하학적 구조 및 치수 정확도에 대한 엄격한 요건 없이 프리폼으로부터 인발하는 것에 의한 후벽 캐필러리의 비용 효율적 제조를 가능하게 하기 위해, 캐필러리 보어가, 가열 구역에서, 캐필러리 스트랜드의 직경비( $d_{rel}$ )가 프리폼의 직경비( $D_{rel}$ )보다 적어도 5배 큰 값으로 조정되도록, 인발 온도( $T_{draw}$ ) 및 표면 장력의 작용에 기초한 수축 프로세스에 적용되고, 내부 보어를 둘러싸는 프리폼 코어 및 이 프리폼 코어를 덮는 프리폼 클래딩을 갖는 다중 모드 광섬유 프리폼 또는 단일 모드 광섬유 프리폼이 프리폼으로서 사용되며, 그로부터 캐필러리 보어를 둘러싸는 캐필러리 코어와 이 캐필러리 코어를 덮는 캐필러리 클래딩을 갖는 캐필러리 스트랜드가 인발되는 것이 제안된다.

(52) CPC특허분류  
*C03B 23/057* (2013.01)  
*C03B 23/08* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

유리로부터 캐필러리 튜브(1; 41)를 제조하는 방법으로서, 외경( $D_{00}$ ), 내경( $D_{ID}$ ) 및 직경비( $D_{rel}$ )를 가지며,  $D_{rel} = D_{00}/D_{ID}$ 인 관형 프리폼을 인발 온도( $T_{draw}$ )로 가열된 가열 구역에서 구역내(zonal) 연화시키고, 연화된 영역으로부터 인발 속도( $v_{draw}$ )로, 외경( $d_{00}$ ), 내경( $d_{ID}$ ) 및 직경비( $d_{rel}$ )를 가지며,  $d_{rel} = d_{00}/d_{ID}$ 인 캐필러리 스트랜드(1; 41)를 연속적으로 인발하고, 그로부터 캐필러리 튜브(1; 41)를 길이로 절단하는 것인 방법 단계를 포함하며, 캐필러리 보어(2; 42)가, 가열 구역에서, 캐필러리 스트랜드(1; 41)의 직경비( $d_{rel}$ )가 프리폼의 직경비( $D_{rel}$ )보다 적어도 5배 큰 값으로 조정되도록, 인발 온도( $T_{draw}$ ) 및 표면 장력의 작용에 기초한 수축 프로세스에 적용되고, 내부 보어를 둘러싸는 프리폼 코어 및 이 프리폼 코어를 덮는 프리폼 클래딩을 갖는 다중 모드 광섬유 프리폼 또는 단일 모드 광섬유 프리폼이 프리폼으로서 사용되며, 그로부터 캐필러리 보어(2; 42)를 둘러싸는 캐필러리 코어(3; 43)와 이 캐필러리 코어(3; 43)를 덮는 캐필러리 클래딩(4; 44)을 갖는 캐필러리 스트랜드(1; 41)가 인발되는 것을 특징으로 하는 유리로부터 캐필러리 튜브(1; 41)를 제조하는 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 수축 프로세스를 유발하는 인발 온도( $T_{draw}$ )가 하기 방법 단계를 포함하는 반복 프로세스로 결정되는 것을 특징으로 하는 제조 방법:

- (a) 가열 구역을 온도  $T_1$ 로 가열하는 단계로서, 여기서  $T_1 < T_{draw}$ 가 적용되는 것인 단계,
- (b) 온도  $T_1$ 로 가열된 가열 구역에 의해, 부분 캐필러리 스트랜드를 인발하는 단계,
- (c) 부분 캐필러리 스트랜드의 캐필러리 보어 직경을 측정하고, 이것이 캐필러리 보어의 공칭 내경보다 크도록 확실히 하는 단계,
- (d) 가열 구역의 온도를  $T_1$ 에서 인발 온도  $T_2$ 로 높이고, 인발 온도  $T_2$ 로 가열된 가열 구역에 의해, 추가의 부분 캐필러리 스트랜드를 인발하는 단계,
- (e) 추가의 부분 캐필러리 스트랜드의 캐필러리 보어 직경을 측정하고, 이 직경이 공칭 내경의 허용 가능한 변동 범위 내에 있는지 여부를 확립하는 단계,
- (f) 캐필러리 보어 직경이 공칭 내경의 변동 범위 내에 있는 경우,  $T_2 = T_{draw}$ 가 적용되고; 캐필러리 보어 직경이 허용 가능한 변동 범위를 포함하여 공칭 내경보다 큰 경우,  $T_2 < T_{draw}$ 가 적용되고,  $T_1 = T_2$ 인 조건하에 방법 단계 (d)에서 반복 프로세스를 계속하며; 캐필러리 보어 직경이 변동 범위를 포함하여 공칭 내경보다 작은 경우,  $T_2 > T_{draw}$ 가 적용되고, 방법 단계 (a)에서 반복 프로세스를 계속하는 것인 단계.

#### 청구항 3

제2항에 있어서, 상기 방법 단계 (c) 및 (e)에서, 캐필러리 보어(2; 42)의 직경의 측정은, 캐필러리 스트랜드(1; 41)의 인발 중에, 또는 해당되는 경우 추가의 캐필러리 스트랜드의 인발 중에 행해지는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서, 인발 속도( $v_{draw}$ )는 5 내지 100 m/min의 범위에 있도록 조정되는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

#### 청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 캐필러리 스트랜드(1; 41)는 900 내지 200,000의 연신비로 인발되는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

### 청구항 6

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 하기가 프리폼 및 캐필러리 스트랜드(1; 41)에 적용되는 것을 특징으로 하는 제조 방법:

$$D_{OD} > 15 \text{ mm},$$

$$D_{ID} > 1 \text{ mm},$$

$$D_{rel} < 30,$$

$$d_{OD} > 100 \text{ }\mu\text{m},$$

$$d_{ID} < 1 \text{ }\mu\text{m},$$

$$d_{rel} > 100.$$

### 청구항 7

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 하기가 캐필러리 스트랜드(1; 41)에 적용되는 것을 특징으로 하는 제조 방법:

$$100 \text{ }\mu\text{m} < d_{OD} < 500 \text{ }\mu\text{m},$$

$$0.1 \text{ }\mu\text{m} < d_{ID} < 1 \text{ }\mu\text{m}, \text{ 및}$$

$$100 < d_{rel} < 5,000.$$

### 청구항 8

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 하기가 프리폼에 적용되는 것을 특징으로 하는 제조 방법:

$$15 \text{ mm} < D_{OD} < 45 \text{ mm},$$

$$1,000 \text{ }\mu\text{m} < D_{ID} < 5,000 \text{ }\mu\text{m}, \text{ 및}$$

$$3 < D_{rel} < 30.$$

### 청구항 9

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 하기가 프리폼 및 캐필러리 스트랜드(1; 41)에 적용되는 것을 특징으로 하는 제조 방법:

$$2,000 < D_{ID}/d_{ID} < 50,000,$$

$$d_{rel}/D_{rel} > 10, \text{ 및}$$

$$d_{rel}/D_{rel} < 300.$$

### 청구항 10

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 가열 구역이 원형의 내부 가열 챔버를 갖는 관형 퍼니스 내에 형성되는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

### 청구항 11

제1항에 있어서, 캐필러리 코어(3; 43)는 단면적  $CSA_{KK}$ 를 갖고 캐필러리 클래딩(4; 44)은 단면적  $CSA_{KM}$ 을 가지며, 프리폼 코어가 단면적  $CSA_{VK}$ 를 갖고 프리폼 클래딩이 단면적  $CSA_{VM}$ 을 갖는 프리폼이 사용되고, 하기가 클래딩과 코어의 각각의 단면적 비에 적용되는 것을 특징으로 하는 제조 방법:

$$CSA_{KM}/CSA_{KK} = CSA_{VM}/CSA_{VK}.$$

## 청구항 12

삭제

## 발명의 설명

### 기술 분야

- [0001] 본 발명은 유리로부터 캐필러리 튜브를 제조하는 방법으로서, 외경( $D_{OD}$ ), 내경( $D_{ID}$ ) 및 직경비( $D_{rel}$ )를 가지며,  $D_{rel} = D_{OD}/D_{ID}$ 인 관형 프리폼을 인발 온도( $T_{draw}$ )까지 가열된 가열 구역에서 구역내(zonal) 연화시키고, 연화된 영역으로부터 인발 속도( $v_{draw}$ )로, 외경( $d_{OD}$ ), 내경( $d_{ID}$ ) 및 직경비( $d_{rel}$ )를 가지며,  $d_{rel} = d_{OD}/d_{ID}$ 인 캐필러리 스트랜드를 연속적으로 인발하고, 그로부터 캐필러리 튜브를 길이로 절단하는 것인 방법 단계를 포함하는 제조 방법에 관한 것이다.
- [0002] 또한, 본 발명은 외경( $d_{OD}$ ) 및 내경( $d_{ID}$ )을 갖는 유리로 제조된 캐필러리 튜브에 관한 것이다.
- [0003] 이러한 캐필러리 튜브는, 예를 들어 5  $\mu m$  미만의 작은 내경이 특징이다.

### 배경 기술

- [0004] 캐필러리 튜브의 제조는, 예를 들어, 유리 용융물로부터 캐필러리 스트랜드를 인발하거나, 또는 - 치수 정확도 측면에서 보다 엄격한 요건이 있는 경우 - 관형 반제품, 예를 들어 유리 프리폼 또는 유리 요소들의 동축 배열을 인발(연신)함으로써 행해진다. 본원에서 용어 "캐필러리 스트랜드" 및 "캐필러리 섬유"는 동의어로 사용된다. "캐필러리 섬유"의 "캐필러리 스트랜드"로부터, 캐필러리 튜브 또는 캐필러리 섬유가 길이로 절단된다.
- [0005] 이 인발 방법의 장점은, 다수의 캐필러리 튜브를 길이에 따라 절단할 수 있는 긴 길이의 캐필러리 스트랜드가 얻어진다는 것이다. 일부 적용예에서, 예를 들어, 캐필러리 튜브의 치수 정확도 및 기계적 강도가 중요한 경우에, 특히 후벽 캐필러리 튜브가 유리하다.
- [0006] 특히 후벽 캐필러리 튜브의 제조는 EP-A1 259 877에 따르면 서로 다른 직경을 갖는 복수의 유리 튜브를 서로 내부에 배치함으로써 행해지며, 이 때 이들 유리 튜브의 개개의 내경 및 외경은 서로에 맞게 조정된다. 유리 튜브의 동축 어셈블리를 가열하고 개개의 튜브를 연신시키면서 서로 융합한다. 이 방법은 튜브의 균질한 융합과 균일한 캐필러리 보어를 달성하기 위해서 유리 튜브의 정확한 제작 및 클램핑을 위해 높은 비용이 소요된다.
- [0007] 간단히 "직경비(diameter ratio)"로도 언급되는 내경 대 외경의 비는 일반적으로 캐필러리가 인발되는 반제품에 이미 설정되어 있다. 다시 말해서, 캐필러리 스트랜드는, 이것이 인발되는 내포된 튜브의 프리폼 또는 동축 어셈블리와 동일한 직경비를 나타낸다. 이것을 "인발비(ratio draw)"라고도 한다.
- [0008] 반제품보다 더 큰 직경비를 갖는 캐필러리를 제조하기 위해, DE 198 56 892 C2는 외부 압력에 비해 감소된 압력이 인발 공정 동안 캐필러리 보어 내에 생성되고 유지되어야 한다고 제안한다. 이러한 방식으로, 석영 유리 중공 실린더를 연신함으로써, 예시적인 일 실시형태에서 1.185배, 그리고 다른 예시적인 실시형태에서 1.344배만큼 직경비가 초기 중공 실린더의 것보다 큰 관형 스트랜드가 제조된다.
- [0009] WO 2014/141168 A1로부터 유리 내의 공동은 광자 또는 이온과 같은 고에너지 입자에 의한 조사의 결과로서 수축하는 것이 알려져 있다.
- [0010] JP H08 157227 A는 커 효과(Kerr effect)를 나타내는 매질로 충전하기 위해 매우 작은 내경을 갖는 캐필러리 튜브를 제조하는 방법을 기술한다. 이 캐필러리 튜브는 프리폼의 연신에 의해 얻어진다. 프리폼은 저융점 납 또는 인산염 유리로부터의 용융물로부터 압출된다.
- [0011] 유리 광섬유를 위한 디자인은 EP 1 884 808 A2에 공지되어 있으며, 이는 셀프 포커싱에 의한 자기 유도 손상의 문제를 극복한다. 이 섬유 디자인의 굴절률은 유리 섬유의 중심 코어에서 상당히 불균일하다. 일 실시형태에서, 유리 섬유는 의도적이고 가파른 코어 트랜치를 갖도록 설계된다. 또한, 이들 유리 섬유의 공정 코어 영역은 매우 큰 면적을 갖는다. 이러한 두 가지 특성의 조합은 광출력 엔벨로프의 대부분을 코어 링으로 제한하고, 광학

밀도가 가장 큰 코어 링 내부의 광학 밀도가 줄어든다. 높은 광학 밀도는 국부 굴절률을 증가시키기 때문에, 코어 링은, 대부분의 광이 안내되고 광학 에너지가 코어의 중심으로 진입하는 것을 추가로 억제하는 슈도 코어로서 작용한다.

[0012] JP H04 342430 A는 내경이 0.5 내지 6.0  $\mu\text{m}$ 이고 외경이 내경의 600 내지 2,000배인 석영 유리로부터의 캐필러리 튜브의 제조를 기술하고 있다. 여기서, 로드형 유리 프리폼이 중앙의 길이방향 구멍을 갖는 한쪽 단부로부터 제공되며, 상기 구멍은 외부 클래딩 표면으로부터 연장되는 횡방향 구멍에 연결된다. 연신되는 동안, 횡방향 구멍을 통해 길이방향 구멍으로 공기가 유입된다.

[0013] JP H03 8733 A는 균일한 내경 및 외경을 갖는 석영 유리 캐필러리 튜브의 제조를 기술하고 있다. 여기서, 초기 석영 유리 튜브가 일정한 외경을 갖는 캐필러리를 형성하도록 연신되고 권취 릴에 권취되며, 로드셀에 의해 연직력이 측정된다. 여기에서 계산된 캐필러리의 내경은 캐필러리의 가열 온도 또는 인발 속도를 제어하는 데 사용된다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0014] 캐필러리 보어가 작을수록, 반제품의 치수 정확도 요건이 더 엄격해진다. 예를 들어 2  $\mu\text{m}$ 의 작은 내경의 보어를 갖는 캐필러리 튜브의 경우, 특히, 예를 들어 100 초과의 높은 직경비가 동시에 요구되는 경우, 반제품의 치수 정확도 요건은 이미 매우 엄격하며, 이러한 캐필러리 튜브는 이하에서 "후벽"으로도 지칭된다. 예를 들어 1  $\mu\text{m}$  미만의 훨씬 더 작은 내부 보어를 갖는 후벽 캐필러리 튜브의 제조에 있어서는, 공지된 방법 및 보조 조치가, 특히 캐필러리 보어의 품질 및 치수 정확도와 관련된 엄격한 요건이 있는 경우, 그 한계에 도달한다.

[0015] 따라서, 본 발명은 프리폼의 지오메트리 및 치수 정확도에 대한 엄격한 요건 없이, 프리폼으로부터 인발함으로써 후벽 캐필러리를 비용 효율적으로 제조할 수 있는 방법을 특징하는 목적에 기초한다.

[0016] 또한, 본 발명은 고품질의 캐필러리 보어를 특징으로 하는 후벽 캐필러리를 제공하는 목적에 기초한다.

### 과제의 해결 수단

[0017] 방법과 관련하여, 상기 목적은, 본 발명에 따르면, 상기에 언급된 유형의 방법으로부터 출발하여, 캐필러리 보어가, 가열 구역에서, 캐필러리 스트랜드의 직경비( $d_{rel}$ )가 프리폼의 직경비( $D_{rel}$ )보다 적어도 5배 큰 값으로 조정되는 방식으로 인발 온도( $T_{draw}$ ) 및 표면 장력의 작용에 기초한 수축 프로세스에 적용된다는 사실에 의해 달성되며, 여기서 내부 보어를 둘러싸는 프리폼 코어 및 프리폼 코어를 덮는 프리폼 클래딩을 갖는 다중 모드 광섬유 프리폼 또는 단일 모드 광섬유 프리폼이 프리폼으로서 사용되고, 캐필러리 보어를 둘러싸는 캐필러리 코어 및 캐필러리 코어를 덮는 캐필러리 클래딩을 갖는 캐필러리 스트랜드가 그로부터 인발된다.

[0018] 공지된 인발 방법에 있어서, 캐필러리 보어의 기하학적 구조의 조정은 실질적으로 프리폼 사양 및 인발 공정 동안의 캐필러리 보어 내부 및 외부의 압력의 선택에 기초한다. 대조적으로, 본 발명에 따른 방법에서는, 캐필러리의 내경 및 직경비의 조정이 프리폼 및 캐필러리 보어 내부 및 외부의 압력과 실질적으로 무관하지만, 이것은 인발 공정 중 가장 고온의 구역에서의 캐필러리 보어에 미치는 표면 장력의 영향에 결정적으로 기초한다. 이는 인발 공정 동안 표면 장력의 영향으로 캐필러리 보어가 수축하기 때문이며, 표면 장력의 작용에 의해 유발된 수축 정도는 캐필러리 보어의 영역 내의 유리의 점도에 의존적이다. 점도가 낮고 표면 장력이 길어질수록, 저점도 유리에 수축 효과를 줄 수 있으며, 가열 구역에서 얻은 캐필러리 보어의 크기와 형상을 결정할 때 표면 장력의 영향이 커진다.

[0019] 표면 장력은 또한 공지된 인발 방법에 필연적으로 영향을 미치지만, 이것이 유발하는 수축 정도는 제한되어 있고, 공지된 인발 방법에서 캐필러리 보어의 기하학적 구조의 조정을 결정하는 데 중요한 압력 또는 인발력과 같은 다른 작용 메커니즘과 겹치지만 표면 장력은 그렇지 않다.

[0020] 가열 구역에서의 점도는 특히 비교적 높은 인발 온도 및 비교적 낮은 인발 속도의 복잡한 상호작용에 의해 조정된다. 인발 온도를 조심스럽게 점진적으로 높이고/높이거나 인발 속도를 감소시킴으로써, 당업자는 인발 공정 동안 표면 장력의 영향에 기초한 수축 정도를 증가시킬 수 있다.

[0021] 캐필러리 보어의 내경은 순수한 인발비에서보다 섬유 인발 공정에서 더 큰 정도로 표면 장력의 결정적인 영향에

의해 감소되기 때문에, 직경비( $d_{rel}$ )는 증가한다. 본 발명의 구성 내에서, 가열 구역의 영역에서의 점도는, 표면 장력이, 캐필러리 스트랜드의 직경비( $d_{rel}$ )가 프리폼의 직경비( $D_{rel}$ )보다 적어도 5배 큰 값으로 조정될 수 있는 캐필러리 보어 지오메트리의 조정을 결정하는 데 중요한 것이라는 사실의 척도로서 간주된다. 이것은 프리폼과 캐필러리의 직경비의 이러한 유의적인 차이가 다른 특별한 조치가 없는 상태에서 표면 장력의 결정적인 영향 없이 달성하기가 매우 어렵기 때문이다. 캐필러리 보어의 내경의 조정에 대한 표면 장력의 영향은 모두  $d_{rel}/D_{rel}$  비가 클수록 더 결정적이므로, 이 비는 유리하게는 10 이상, 바람직하게는 20 이상, 특히 바람직하게는 50 이상이다.

[0022] 본 발명에서, 캐필러리 보어의 기하학적 구조는 표면 장력의 영향에 의해 결정적으로 조정되므로, 캐필러리 보어의 기하학적 구조를 조정하는 데 일반적으로 결정적인 다른 파라미터의 중요성, 예를 들어 캐필러리 보어 내부 및 외부의 압력 차이와 프리폼의 일부에 대한 기하학적 사양은 백그라운드로 사라진다. 특히, 결과적으로, 프리폼에 대한 치수 정확도 요건은 비교적 덜 엄격하므로, 작은 캐필러리 보어를 갖는 후벽 캐필러리 튜브에도 제조 공정이 비용 효율적으로 이루어질 수 있다. 프리폼으로부터 인발함으로써 캐필러리 튜브를 제조하는 것에 의해 동일한 캐필러리 크기를 대량으로 비용 효율적으로 제작할 수 있다.

[0023] 반경방향으로 불균일한 굴절률 프로파일을 인발 공정 동안 동일하게 반경방향으로 불균일한 점도 프로파일을 유발하고 이는 캐필러리 보어를 미리 정해진 직경으로 조정하기 더 어렵게 할 수 있기 때문에, 캐필러리 튜브가 반경에 걸쳐 굴절률의 불균일한 프로파일을 갖는 경우, 이 방법은 특히 유리하게 이용될 수 있다. 이러한 어려움은 본 발명에 따른 방법을 이용함으로써 최소화될 수 있다. 따라서, 본 발명에 따르면, 내부 보어를 둘러싸는 프리폼 코어 및 프리폼 코어를 덮는 프리폼 클래딩을 갖는 다중 모드 광섬유 프리폼 또는 단일 모드 광섬유 프리폼이 프리폼으로서 사용되고, 캐필러리 보어를 둘러싸는 캐필러리 코어 및 캐필러리 코어를 덮는 캐필러리 클래딩을 갖는 캐필러리 스트랜드가 그로부터 인발된다.

[0024] 캐필러리 스트랜드로부터, 도광을 위한 다중 모드 또는 단일 모드 섬유로 설계된 캐필러리가 제조된다.

[0025] 상기 방법의 바람직한 실시형태에서, 캐필러리 코어는 단면적  $CSA_{KK}$ 를 형성하고, 캐필러리 클래딩은 단면적  $CSA_{KM}$ 을 형성하며, 프리폼 코어가 단면적  $CSA_{VK}$ 를 가지고 프리폼 클래딩이 단면적  $CSA_{VM}$ 을 갖는 프리폼이 사용되며, 다음이 클래딩 및 코어의 각각의 단면적 비에 적용된다:  $CSA_{KM}/CSA_{KK} = CSA_{VM}/CSA_{VK}$ .

[0026] 캐필러리 코어는 캐필러리 클래딩과 다른 화학적 조성을 갖는다. 코어가 석영 유리로 이루어지는 경우, 이것은 예를 들어, 석영 유리의 굴절률을 증가시키는 물질, 예를 들어 게르마늄으로 도핑된다. 이 경우, 클래딩은 도핑되지 않은 석영 유리로 구성되거나, 석영 유리의 굴절률을 낮추는 물질로 도핑될 수 있다. 본 발명의 이러한 방법 변형예에서, 프리폼에서의 코어 및 클래딩 영역의 반경의 비는 캐필러리 튜브의 목표 값으로 조정되는 것이 아니라 - 일반적으로 인발비에서와 같이 - 두 영역의 단면적 비, 즉 프리폼에서의 각각의 이른바 "단면적"( $CSA$ )의 비는 캐필러리의 목표 값으로 설정된다. 다시 말해서, 프리폼에서의  $CSA$  비는 캐필러리에서의  $CSA$  비와 동일하다.

[0027] 캐필러리 스트랜드의 인발 동안, 캐필러리 보어의 미리 정해진 직경은 캐필러리 튜브의 외경 대 내경의 상응하는 원하는 비, 및 그에 따라 코어 영역의 외경 대 직경의 원하는 비, 및 그에 따라  $CSA$  비도 자동으로 얻어지도록 조정된다.

[0028] 이 방법 변형예에서, 각각의  $CSA$  영역의 비는 미리 정해진 것이고, - 인발비에서와 같이 - 직경비가 아니다. 여기서의 이점은  $CSA$  값이 사전에 매우 정확하게 구성될 수 있는 반면, 상응하는 정확도는 단지 섬유 인발 공정에서 직경(또는 반경)에 대해서 달성되어야 한다는 것이다.

[0029] 인발 공정 동안 원하는 수준으로 표면 장력의 영향을 조정하기 위한 전술한 신중하고 점진적인 접근법은, 바람직한 방법 변형예에서, 실제 인발 온도( $T_{draw}$ )에 도달할 때까지 인발 온도를 조심스럽게 상승시키는 것에 의해 일어난다. 캐필러리 보어의 크기 감소가 프리폼의 연신에만 기초하는 것이 아니라 표면 장력으로 인한 수축이 시작되어 크기 감소에 원하는 기여를 유발하는 인발 온도( $T_{draw}$ )를 결정하기 위해 반복 프로세스가 이용된다. 반복 프로세스는 바람직하게는 하기의 방법 단계들을 포함한다:

[0030] (a) 가열 구역을 온도  $T_1$ 로 가열하는 단계로서, 여기서  $T_1 < T_{draw}$ 인 단계,

[0031] (b) 온도  $T_1$ 로 가열된 가열 구역에 의해, 부분 캐필러리 스트랜드를 인발하는 단계,

- [0032] (c) 부분 캐필러리 스트랜드의 캐필러리 보어 직경을 측정하고, 이것이 캐필러리 보어의 공칭 내경보다 크도록 확실히 하는 단계,
- [0033] (d) 가열 구역의 온도를  $T_1$ 에서 인발 온도  $T_2$ 로 높이고, 인발 온도  $T_2$ 로 가열된 가열 구역에 의해, 추가의 부분 캐필러리 스트랜드를 인발하는 단계,
- [0034] (e) 추가의 부분 캐필러리 스트랜드의 캐필러리 보어 직경을 측정하고, 이 직경이 공칭 내경의 허용 가능한 변동 범위 내에 있는지 여부를 확립하는 단계,
- [0035] (f) 캐필러리 보어 직경이 공칭 내경의 변동 범위 내에 있는 경우,  $T_2 = T_{draw}$ 가 적용되고; 캐필러리 보어 직경이 허용 가능한 변동 범위를 포함하여 공칭 내경보다 큰 경우,  $T_2 < T_{draw}$ 가 적용되고,  $T_1 = T_2$ 인 조건하에 방법 단계 (d)에서 반복 프로세스를 계속하며; 캐필러리 보어 직경이 변동 범위를 포함하여 공칭 내경보다 작은 경우,  $T_2 > T_{draw}$ 가 적용되고, 방법 단계 (a)에서 반복 프로세스를 계속하는 것인 단계.
- [0036] 인발 온도( $T_{draw}$ )는, 나머지 인발 파라미터는 변화시키지 않으면서, 표면 장력의 영향의 원하는 수준, 즉, 캐필러리 보어의 충분한 수축이 달성되도록 가열 구역의 영역에서 충분히 낮은 점도를 유발하는 온도이다.
- [0037] 저온에서 출발하는  $T_{draw}$ 를 결정하기 위한 반복적인 점진적 접근법을 가능하게하기 위해, 캐필러리 보어가 처음에 충분히 수축하지 않도록 하고/하거나 캐필러리 보어가 유지되고 완전히 붕괴되지 않도록 방법 단계 (a)에서  $T_{draw}$ 보다 낮은 출발 온도  $T_1$ 을 선택하여야 한다. 이 사실은 캐필러리 보어의 공칭 내경을  $d_{10}$ 로서 상기에 언급된 값에 상응하는 측정된 값과 비교함으로써 방법 단계 (b)에서 점검된다.
- [0038] 가장 간단한 경우,  $T_1$ 이  $T_{draw}$ 보다 낮다는 것이 알려져 있고, 그렇지 않으면, 충분히 낮은 출발 온도로 시작하여 점차적으로 진행될 필요가 있다.
- [0039] 후속 방법 단계에서, 가열 구역의 온도를  $T_1$ 에서 더 높은 인발 온도  $T_2$ 로 만들고, 캐필러리 보어 직경이 현재 공칭 내경의 허용 가능한 변동 범위 내에 있는지 확인하기 위해 인발 온도  $T_2$ 에서 인발된 부분 캐필러리 스트랜드에 대한 점검이 다시 수행된다. 캐필러리 스트랜드를 형성하기 위해 나머지 프리폼을 인발할 수 있는 온도 값  $T_{draw}$ 가 확인될 수 있다.
- [0040] 그렇지 않으면, -  $T_2 < T_{draw}$ 의 경우 - 반복 프로세스는 방법 단계 (d)에서 계속된다. 방법 단계 (d)의 명명법에서, 온도  $T_2$ 는 공식적으로  $T_1$ 로 간주되고, 가열 구역의 인발 온도는 추가 온도 수준만큼 상승된다.
- [0041] 그렇지 않으면,  $T_2 > T_{draw}$ 의 경우 - 너무 작거나 완전히 붕괴된 캐필러리 보어가 얻어진다. 이 경우, 이 테스트 시리즈에서 온도 값  $T_{draw}$ 를 확인할 수 없었고, 따라서 다른 온도 값을 이용하여 방법 단계 (a)에서 출발하여 테스트 시리즈를 반복해야 한다.
- [0042] 진술한 반복 조정 프로세스에서, 단지 몇도 범위의  $T_1$ 과  $T_2$  사이의 온도 차이가 캐필러리 보어 직경에 유의적인 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났다.
- [0043] 진술한 반복 조정 프로세스에 의해, 다른 인발 파라미터를 유지하면서 각 프리폼에 대한 최적의 인발 온도를 찾을 수 있다. 프리폼은, 예를 들어 열전도율 및 열용량 측면에서 서로 다를 수 있으며, 따라서 반복 조정 프로세스는 개별적으로 수행되어야 한다. 이러한 노력을 최소화하기 위해, 개개의 프리폼은 가능한 한 그들의 열전도율 및 열용량 값이 서로 다르지 않도록 컨디셔닝될 수 있다. 이 목적에 적합한 조치는, 예를 들어 프리폼을 하나의 बै치로부터 균일한 최종 치수로 그라인딩하는 것이다.
- [0044] 인발 온도에 대한 반복 조정 프로세스는 온도 차이에 기초하고 실제 인발 공정에서 일어나기 때문에, 온도 조정 및 측정의 위치는 중요하지 않다. 예를 들어, 인발 온도( $T_{draw}$ ) 및/또는 중간 값  $T_1$  및  $T_2$ 는, 예를 들어 가열 구역에서 - 예를 들어 가열 엘리먼트에서 - 또는 캐필러리 튜브에서 조정 및 측정될 수 있다.
- [0045] 방법 단계 (c) 및 (e)를 이용한 캐필러리 보어 직경의 측정은 바람직하게는 캐필러리 스트랜드의 인발 동안 또는 "추가 캐필러리 스트랜드"의 인발 동안 일어난다. 여기서 유리하게는, 캐필러리 스트랜드는 광학 현미경 장치를 통과하며, 이를 통해 캐필러리 보어 직경이 온라인으로 검출될 수 있다. 대안적으로, 또한 동등하게 바람

직하게는, 현재의 부분 스트랜드로부터 측정 샘플을 취하고 현재의 부분 스트랜드의 인발이 계속되는 동안 캐필러리 보어 직경을 측정하기 위해 가능한 빨리 현미경으로 검사한다.

- [0046] 전술한 최적 인발 온도에 대한 반복 조정 프로세스는, 인발 온도( $T_{draw}$ )를 유지하면서 각각의 프리폼에 대한 최적 인발 속도를 조정하도록 유사하게 적합화될 수 있다. 이 경우, 최적의 인발 속도( $v_{draw}$ )에 도달할 때까지 인발 속도를 연속적으로 감소시킴으로써, 초기에는 너무 높고 캐필러리 보어가 처음에는 충분히 수축되지 않는 인발 속도  $v_1$ 로부터 출발하여 반복적인 점진적 접근법이 이용될 수 있다. 이 경우, 일정한 가열 구역 온도( $T_{draw}$ )에서, 유리가, 캐필러리 보어의 크기 감소가 프리폼 연신에만 기초하는 것이 아니라 표면 장력이 캐필러리 보어의 수축에 결정적인 기여를 하도록 가열 구역의 고온에 충분히 오랫동안 노출되고 충분히 낮은 점도를 갖는 것을 보장하는 인발 속도( $v_{draw}$ )를 결정하기 위해 반복 프로세스가 이용된다. 이 반복 프로세스는 하기의 방법 단계들을 포함한다:
- [0047] (a) 인발 속도를,  $v_1 > v_{draw}$ 가 적용되는 값  $v_1$ 로 조정하는 단계,
- [0048] (b) 인발 속도( $v_1$ )에서, 부분 캐필러리 스트랜드를 인발하는 단계,
- [0049] (c) 부분 캐필러리 스트랜드의 캐필러리 보어 직경을 측정하고, 이것이 캐필러리 보어의 공칭 내경보다 크도록 확실히 하는 단계,
- [0050] (d) 인발 속도를  $v_1$ 에서 인발 속도  $v_2$ 로 감소시키고, 감소된 인발 속도  $v_2$ 에서 추가의 부분 캐필러리 스트랜드를 인발하는 단계,
- [0051] (e) 추가의 부분 캐필러리 스트랜드의 캐필러리 보어 직경을 측정하고, 이 직경이 공칭 내경의 허용 가능한 변동 범위 내에 있는지 여부를 확립하는 단계,
- [0052] (f) 캐필러리 보어 직경이 공칭 내경의 변동 범위 내에 있는 경우,  $v_2 = v_{draw}$ 가 적용되고; 캐필러리 보어 직경이 허용 가능한 변동 범위를 포함하여 공칭 내경보다 큰 경우,  $v_2 > v_{draw}$ 가 적용되고,  $v_1 = v_2$ 인 조건하에 방법 단계 (d)에서 반복 프로세스를 계속하고; 캐필러리 보어 직경이 변동 범위를 포함하여 공칭 내경보다 작은 경우,  $v_2 < v_{draw}$ 가 적용되고, 방법 단계 (a)에서 반복 프로세스를 계속하는 것인 단계.
- [0053] 인발 속도( $v_{draw}$ )에 대한 가이드로서, 5 내지 100 m/min 범위의 값이 적절한 출발점으로 사용될 수 있다.
- [0054] 특히 비용 효율적인 제작 공정과 관련하여, 캐필러리 스트랜드가 900 내지 200,000 범위의 비교적 높은 연신비로 프리폼으로부터 인발되는 기법이 바람직하다.
- [0055] 여기서 연신비는 프리폼의 길이 대 캐필러리 스트랜드의 비로서 계산된다.
- [0056] 이하에 언급되는 기하학적 파라미터 범위는 연신되어야 하는 프리폼과 본 발명에 따른 방법에 의해 그로부터 얻어지는 캐필러리 스트랜드에 대해 특히 유의한 것으로 입증되었다:
- [0057]  $D_{OD} > 15 \text{ mm},$
- [0058]  $D_{ID} > 1 \text{ mm},$
- [0059]  $D_{rel} < 30,$
- [0060]  $d_{OD} > 100 \text{ }\mu\text{m},$
- [0061]  $d_{ID} < 1 \text{ }\mu\text{m},$
- [0062]  $d_{rel} > 100.$
- [0063] 여기서 특히 캐필러리 스트랜드에 대해 이하가 적용된다:
- [0064]  $100 \text{ }\mu\text{m} < d_{OD} < 500 \text{ }\mu\text{m},$
- [0065]  $0.1 \text{ }\mu\text{m} < d_{ID} < 1 \text{ }\mu\text{m}, \text{ 및}$

- [0066]  $100 < d_{rel} < 5,000$ .
- [0067] 여기서 특히 프리폼에 대해 이하가 적용된다:
- [0068]  $15 \text{ mm} < D_{OD} < 45 \text{ mm}$ ,
- [0069]  $1 \text{ mm} < D_{ID} < 5 \text{ mm}$ , 및
- [0070]  $3 < D_{rel} < 30$ .
- [0071] 여기서 특히 프리폼 및 캐필러리 스트랜드에 대해 이하가 적용된다:
- [0072]  $2,000 < DID/dID < 50,000$ ,
- [0073]  $d_{rel}/D_{rel} > 10$ , 바람직하게는  $> 20$ , 특히  $> 50$ , 및
- [0074]  $d_{rel}/D_{rel} < 300$ .
- [0075] 위에서 설명한 바와 같이,  $d_{rel}/D_{rel}$  비는 캐필러리 보어의 조정에 대한 표면 장력의 결정적인 영향에 대한 기준으로 적합하다. 비의 값이 클수록, 일반적으로 표면 장력의 영향에 기초한 캐필러리 보어 조정의 부분이 커진다. 이와 관련하여, 비의 값  $d_{rel}/D_{rel}$ 은 5 이상, 바람직하게는 10 이상, 더욱 바람직하게는 20 이상, 가장 바람직하게는 50 이상이다. 게다가, 비의 값  $d_{rel}/D_{rel}$ 은 또한, 전술한 바와 같이, 프리폼의 반경방향 치수와 캐필러리의 반경방향 치수 사이의 고정된 상관관계를 특정하는 소위 "인발비"에서 나타나는 것과는 달리, 본 발명에 따른 캐필러리 인발 공정이 프리폼의 반경방향 치수와 대체로 무관한 벽 두께 및 캐필러리 보어 직경의 조정을 허용한다는 사실에 있는 본 발명의 특정한 기술적 이점을 나타낸다. 한편으로, 이것은 중공 원통형 프리폼의 생산을 단순화시켜서, 예를 들어 매우 작은 내부 보어 및/또는 매우 큰 외경의 생성이 필요하지 않으며, 동일한 크기의 프리폼으로부터 서로 다른 기하학적 구조를 갖는 캐필러리를 인발할 수 있다. 300 초과인 높은 값의 비  $d_{rel}/D_{rel}$ 은 캐필러리 보어의 수축에 의해 원래의 프리폼 벽의 특히 높은 리셰이핑 수준을 갖는 캐필러리 인발 공정을 나타낸다.
- [0076] 유리의 균질한 가열과 관련하여, 가열 구역이 원형의 내부 가열 챔버를 갖는 관형 퍼니스 내에 형성된다면 편리한 것으로 입증되었다.
- [0077] 본 발명에 따른 캐필러리 튜브는 유리, 특히 석영 유리로 구성되며, 이것은 외경( $d_{OD}$ ) 및 내경( $d_{ID}$ )을 갖는다. 상기 언급된 목적은 캐필러리 튜브에 대하여 본 발명에 따른 방법에 의해 얻어지고, 하기 기하학적 치수를 갖는다는 사실에 의해 본 발명에 따라 달성된다:
- [0078]  $100 \text{ }\mu\text{m} < d_{OD} < 500 \text{ }\mu\text{m}$ ,
- [0079]  $0.1 \text{ }\mu\text{m} < d_{ID} < 1 \text{ }\mu\text{m}$ , 및
- [0080]  $100 < d_{rel} < 5,000$ , 여기서  $d_{rel} = d_{OD}/d_{ID}$ .
- [0081] 캐필러리 튜브는 본 발명에 따른 방법에 의해 제조된 캐필러리 스트랜드를 길이로 절단함으로써 얻어진다. 이것은 높은 벽 두께와 고품질의 캐필러리 보어를 특징으로 한다.

### 도면의 간단한 설명

- [0082] 구체적으로, 도면은 다음을 도시한다:

- 도 1: 인발 온도의 함수로서 섬유 인발 공정에서의 캐필러리 보어의 수축의 관계를 설명하기 위한 다이어그램,
- 도 2: 개략적 예시로 단부면의 평면도에서의 본 발명에 따른 유리 캐필러리의 실시형태,
- 도 3: 인발 온도의 함수로서의 도 2에 따른 캐필러리의 캐필러리 보어의 수축 거동의 다이어그램,
- 도 4: 섬유 인발 공정의 초기 단계에서의 캐필러리의 주사 전자 현미경 이미지,
- 도 5: 더 높은 배율에서의 도 4의 캐필러리의 주사 전자 현미경 이미지, 및

도 6: 섬유 인발 공정 완료 시의 캐필러리의 주사 전자 현미경 이미지.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0083] 예시적인 실시형태
- [0084] 본 발명은 예시적인 실시형태 및 도면을 참조하여 아래에서 더 상세히 설명된다.
- [0085] 캐필러리 섬유는 일반적으로 소위 "인발비"로 제조된다. 이는 내경에 대한 외경의 기하학적 비가 이미 반제품 (프리폼)에 미리 정해져 있음을 의미하며, 이는 열적 가열에 의해 반제품으로부터 인발되는 캐필러리 섬유에서의 원하는 비에 따른 것이다. 캐필러리 섬유의 통상적인 내경의 경우, 이 비는 캐필러리 섬유 인발을 위해 충분한 정확도로 프리폼에서 이미 형성될 수 있다. 그러나 캐필러리 섬유에서 약  $2\ \mu\text{m}$  미만의 매우 작은 내경이 달성되어야 하는 지오메트리 값의 경우, 프리폼의 필요한 제작 공차에 대한 엄격한 요건이 있다.
- [0086] 본 발명에 따른 방법에서, 섬유 인발 공정은 인발비가 아니므로, 프리폼을 설계할 때 고려되는 프리폼 및 캐필러리의 코어 및 클래딩의 각각의 비가 아니라 CSA 영역의 비이다. 따라서, 프리폼이 규정된 캐필러리 보어 직경을 갖는 경우, 프리폼이 캐필러리 튜브의 것과 일치하는 CSA 값을 갖도록 생성되기 때문에, 프리폼의 지오메트리에 관한 요건은 현저히 덜 엄격하다.
- [0087] 이미 언급한 바와 같이, 이것은 프리폼에서 캐필러리의 목표 값으로 되는 코어 및 클래딩 영역의 반경 비가 아니라 각 CSA 영역의 단면의 비이며, 목표 값은 프리폼에 이미 설정되어 있다.
- [0088] 캐필러리 스트랜드가 인발될 경우, 캐필러리 보어는 표면 장력의 중요한 영향 하에서 수축에 의해 원하는 내경으로 붕괴된다. 캐필러리 스트랜드에서 외경 대 내경의 적절한 미리 정해진 비에 도달하자마자, 미리 정해진 CSA 값에 자동으로 도달한다.
- [0089] 도 1의 다이어그램을 참조하여, 캐필러리 스트랜드의 인발 시의 인발 온도( $T_{\text{draw}}$ )를 결정하기 위한 바람직한 절차를 먼저 하나의 프리폼 배치를 이용한 예비 테스트 시리즈의 예를 이용하여 설명한다. y 축에서, 캐필러리 보어 (2)의 직경 ( $d$ )( $\mu\text{m}$ )은 미리 선택된 인발 온도의 출발값으로부터 시작하여 온도 증가  $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ 에 대해 플롯팅된다.
- [0090] 이 다이어그램은, 캐필러리 보어 직경( $d$ )이  $10\ \mu\text{m}$  값에서 시작하여 출발값보다 약  $7^{\circ}\text{C}$  미만 더 높은 온도 증가 ( $\Delta T = 0$ )로 처음에는 거의 또는 전혀 변하지 않음을 보여준다. - 인발비에서 일반적인 것과 같이 - 이 파라미터 범위에서, 캐필러리 보어 직경( $d$ )은 주로 공급 속도 및 인발 속도를 기준으로 조정된다. 이 테스트 시리즈에서 약  $7^{\circ}\text{C}$ 인 특정 온도 증가  $\Delta T_0$ 보다 높을 때에만, 캐필러리 보어 크기가 눈에 띄게 감소하여, 추가 인발 온도 증가에 따라 거의 완벽하게 확장된다. 인발 온도에 대한 직경의 의존성은 매우 민감하며, 프리폼의 열부하 또는 열용량 및 열전도율의 함수인 것으로 나타났다. 측정 지점에서의 편차는 배치 내에서 각각의 프리폼의 열전도율 및 열용량의 변동, 특히 각각의 프리폼의 약간 다른 외경에 실질적으로 기인한다. 배치 내의 각 프리폼을 미리 정해진 길이와 직경 치수로 미리 그라인딩하여 이것을 피할 수 있다.
- [0091] 최적의 인발 온도( $T_{\text{draw}}$ )에 도달할 때까지 인발 온도를 조심스럽게 상승시킴으로써 반복 기술에 의해 인발 공정의 표면 장력의 영향의 원하는 수준을 조정한다. 최적의 인발 온도를 찾기 위해, 섬유 인발 공정 동안 샘플을 취하여 캐필러리 보어의 현재 직경을 체크하고, 필요한 경우 재조정한다. 캐필러리 보어의 직경은 이하에서 간단히 "내경"이라 칭한다. 예를 들어 주사 전자 현미경에 의한 샘플링에 의해 조정을 체크하고 인발 온도(보다 정확하게는 퍼니스 온도)를, 예를 들어,  $0.5^{\circ}\text{C}$ 의 단계로, 추가의 섬유 인발 공정에서 그에 따라 적합화된 인발 온도로 내경이 원하는 값으로 붕괴될 때까지 충분히 긴 시간 동안 상승시킬 수 있다.
- [0092] 반복적인 점진적 접근법은 "너무 저온의 인발"으로 인해 초기 내경이 매우 클 것을 요구한다. 도 1의 다이어그램에서 볼 수 있듯이,  $\Delta T_0$ 으로부터의 내경의 추가 붕괴는 인발 온도 증가의 선형 함수이다. 반면에, 내경이 이미 완전히 붕괴된 경우, 예를 들어 선택된 초기 인발 온도가 너무 높기 때문에, 도 1의 선형 관계를 이용하여 조정이 이루어질 수 없으므로, 섬유 인발 공정은 더 낮은 초기 인발 온도로 반복되어야 한다.
- [0093] 위에서 설명한 반복 조정 프로세스에서, 단지 몇도 범위의 온도 차이가 캐필러리 보어 직경에 이미 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 반복 조정 프로세스를 통해, 다른 인발 파라미터를 유지하면서 각 프리폼에 대해 최적의 인발 온도를 찾을 수 있다.
- [0094] 추가의 섬유 인발 공정에서 최적의 인발 온도가 적용될 경우, 내경은 표면 장력의 결정적인 영향 하에

수축하고,  $\pm 50$  nm의 편차를 갖는 공칭 값에서 안정화될 수 있다.

- [0095] 도 2는 캐필러리 보어(2)를 갖는 캐필러리(1)의 단부면의 개략적인 평면도를 도시한다. 캐필러리(1)는 도광을 위한 단일 모드 섬유로서 구성된다. 이것은 코어(3) 및 코어(3)를 둘러싸는 클래딩(4)을 가지며, 코어(3)의 굴절률은 클래딩(4)의 굴절률보다 높으므로, 레이저 광은 내부 전반사에 의해 코어(3)에서 실질적으로 안내된다.
- [0096] 캐필러리(1)는 외경( $d_{OD}$ )이  $180 \mu m$ 이다. 코어(3)는 직경이  $3 \mu m$ 이고, 캐필러리 보어(2)의 직경( $d_{ID}$ )은  $0.5 \mu m$ 이다. 따라서, 직경비( $d_{rel}$ )는  $180 \mu m / 0.5 \mu m = 360$ 이고, 캐필러리 클래딩과 코어의 CSA 값의 단면비는  $25,439.8 \mu m^2 / 6.9 \mu m^2 = 3,687$ 이다. 도 2는 설명 목적으로 비례척이 아니다. 캐필러리 보어(2), 코어(3) 및 클래딩(4)은 캐필러리의 중심축 둘레로 동축으로 연장된다.
- [0097] 클래딩(4)은, 1.4607의 굴절률을 갖는, 합성으로 제조된 비도핑 석영 유리로 이루어진다. 이 값은 532 nm의 광 파장과 20℃의 측정 온도를 기준으로 한다. 이들 측정 조건은 후술하는 굴절률 값에도 사용되었다. 코어(3)는 게르마늄으로 도핑된 석영 유리로 이루어진다. 코어(3) 및 클래딩(4)의 석영 유리의 굴절률 차이는 0.008이다.
- [0098] 도 2에 개략적으로 도시된 캐필러리 튜브(1)를 제조하기 위한 예시적인 기술을 도 3 내지 6을 참조하여 아래에서 더 상세히 설명할 것이다.
- [0099] 캐필러리 튜브(1)는 다음 치수를 갖는 프리폼으로부터 인발된다:
- [0100] 외경( $D_{OD}$ ) > 28.000 mm
- [0101] 내경( $D_{ID}$ ) > 2.052 mm
- [0102] 직경비( $D_{rel}$ ) 13.644
- [0103] 코어 직경: 2.102 mm
- [0104] CSA 비 3,749
- [0105] 섬유 인발 공정 동안 순수한 인발비의 경우보다 내경이 더 크게 수축하기 때문에, 캐필러리 스트랜드의 직경비( $d_{rel}$ )는 예시적인 실시형태의 프리폼의 것에 비해 약 27배 증가한다.
- [0106] 프리폼의 섬유 인발 공정은 다음의 출발 파라미터를 특징으로 한다:
- [0107] 인발 온도( $T_{draw}$ ) 약 2,190℃
- [0108] 인발 속도( $v_{draw}$ ) 30 m/min
- [0109] 공급 속도 1.53 mm/min
- [0110] 여기에 주어진 인발 온도는 섬유 인발 공정 동안 프리폼 및 그로부터 인발된 캐필러리 스트랜드를 동축으로 둘러싸는 환형 인발 퍼니스의 벽 온도이다. 인발 퍼니스는 가열 길이가 15 cm인 원형의 내부 가열 챔버를 갖는다.
- [0111] 섬유 인발 공정의 시작 시, 붕괴가 아직 충분한 정도로 발생하지 않고 결과적인 내경이 아주 크도록 담보하기 위해 상기 출발 파라미터가 이용된다.
- [0112] 섬유 인발 공정 동안, 캐필러리 스트랜드로부터 샘플을 연속적으로 취하여 현재의 반경방향 치수를 현미경으로 측정하였다.
- [0113] 도 3의 다이어그램은 각각의 인발 온도( $T_{draw}$ )(℃)의 함수로서의 캐필러리 내경( $d$ )( $\mu m$ )의 전개를 도시한다. 도 4의 치수를 갖는 나노홀 섬유(41)는 2,180℃의 인발 온도에서 측정 지점(P1)에 대응한다. 섬유 인발 동안 캐필러리 직경의 수축을 유발하기 위해, P1로부터 출발하여, 인발 온도( $T_{draw}$ ), 즉 섬유 인발 퍼니스의 온도를 연속적으로 상승시켰다. 이 다이어그램으로부터, 캐필러리(나노홀 섬유(41))의 수축이 2,185℃의 인발 온도까지 5° 온도 상승으로 측정 지점(P2)에서 시작되었다는 것을 알 수 있다. 테스트 시리즈의 마지막 측정 지점(P11)과 마찬가지로 측정 지점(P2)는 직선 상에 있으며 그 일차 방정식은 도 3에 제시된다. 측정 지점(P11)에서, 나노홀 섬유(41)는 공칭 내경에 도달하였다.
- [0114] 도 4 내지 6의 주사 전자 현미경 이미지는 이 절차를 예시한다. 도 4 및 5는 섬유 인발 공정의 초기 단계에서의

소위 "나노홀 섬유"(41)를 도시한다. 나노홀 섬유(41)는 공칭 내경 "ID"가 500 nm인 캐필러리 보어(42)를 가지며, 이는 Ge 도핑된 석영 유리의 코어 영역으로 둘러싸여 있다. 나머지 캐필러리 재료(클래딩(44))는 도핑되지 않은 석영 유리로 이루어진다. 공정의 이 단계에서 이미 도달한 공칭 외경 180  $\mu\text{m}$ 와는 달리, 캐필러리 보어(42)의 내경은 4.42  $\mu\text{m}$ 로 여전히 너무 크다(도 5).

[0115] 나노홀 섬유(41)는, 500 nm의 공칭 내경에 도달한 경우, 도핑되지 않은 영역에 대한 도핑된 영역의 CSA 비가 나노홀 섬유(41)에서 원하는 비에 해당하는 프리폼을 연신시킴으로써 제조된다. 그러나, 내경(ID)을 갖는 캐필러리 보어(42)의 수축에 의한 조정이 아직 시작되지 않은 섬유 인발 공정의 이 초기 단계의 코어 영역(43)은 여전히 매우 좁으며, 도 4에서 확인할 수 없다.

[0116] 도 5는 더 높은 배율에서 동일한 나노홀 섬유(41)를 도시한다. 내경(ID)이 4.42  $\mu\text{m}$ 인 캐필러리 보어(42) 옆에, 도핑된 코어 영역(43)을 또한 밝은 링으로서 볼 수 있다(코어 영역(43)이 도 4에도 존재하지만, 거기서는 너무 좁아서 볼 수 없다).

[0117] 도 6은 측정 지점(P11)과 관련된 나노홀 섬유(41)를 도시한다. 이 지점에서, 표면 장력의 영향을 증가시키고 그 영향 하에 캐필러리 보어(42)의 내경을 추가로 감소시키기 위해 인발 퍼니스의 퍼니스 온도를 측정 지점(P1)과 비교하여 총 9.7°C 단계적으로 상승시켰다. 이제 공칭 내경이 약 500 nm가 되었다. 코어 영역(43)의 외경(AD-dot)에 대한 클래딩(44)의 외경(AD)의 비와 캐필러리 보어(42)의 직경(ID)에 대한 클래딩(44)의 외경(AD)의 비가 보어(42)의 완전한 붕괴 후 사양에 따라 이제 목표 값으로 조정되었다.

[0118] 하기 표는 캐필러리 보어 직경이 서로 다른 캐필러리가 프리폼으로부터 인발된 추가의 테스트 시리즈의 결과를 보여준다.

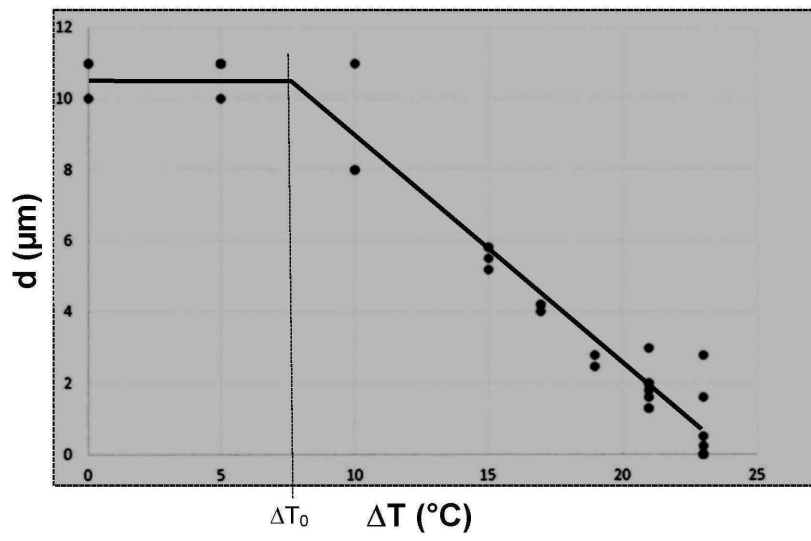
표

프리폼					
외경 DOD [mm]	30.000	40.000	40.000	40.000	30.000
내경 DID [mm]	2.970	3.740	2.581	2.578	1.675
직경비 Drel	10.101	10.694	15.501	15.515	17.908
코어 직경:	3.102	3.906	2.597	2.597	1.691
직경비 코어/클래딩	9.673	10.241	15.405	15.405	17.738
CSA 비 (코어/클래딩)	1115.636	1251.971	19145.156	16600.398	16544.139
섬유					
외경 dOD [ $\mu\text{m}$ ]	100.00	100.00	400.00	400.00	400.00
내경 dID [ $\mu\text{m}$ ]	0.100	1.000	1.000	0.100	0.100
직경비 drel	1000.000	100.005	400.001	4000.000	4000.000
코어 직경:	2.994	2.997	3.059	3.106	3.111
직경비 코어/클래딩	33.397	33.370	130.767	128.780	128.561
CSA 비 (코어/클래딩)	1115.636	1251.971	19145.156	16600.398	16544.139
비 (프리폼/섬유 또는 섬유/프리폼)					
P/F: 외경 DOD/dOD	300.000	399.980	100.000	100.000	75.000
P/F: 내경 DID/dID	29700.923	3740.465	2580.553	25780.803	16752.055
F/P: 직경비 drel/Drel	99.003	9.352	25.806	257.808	223.361
P/F: 코어 직경비	1,035.835	1,303.376	848.881	835.982	543.594
F/P: 직경비 코어/클래딩	3.453	3.259	8.489	8.360	7.248
P/F: CSA 비 (코어/클래딩)	1000.000	1000.000	1000.000	1000.000	1000.000

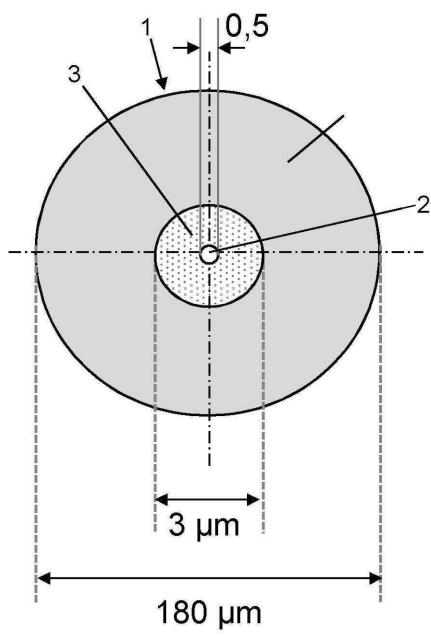
[0119]

도면

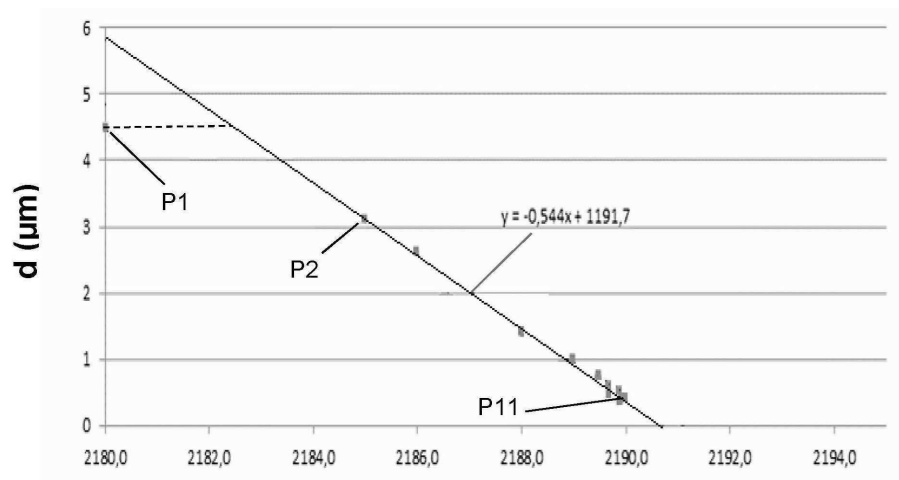
도면1



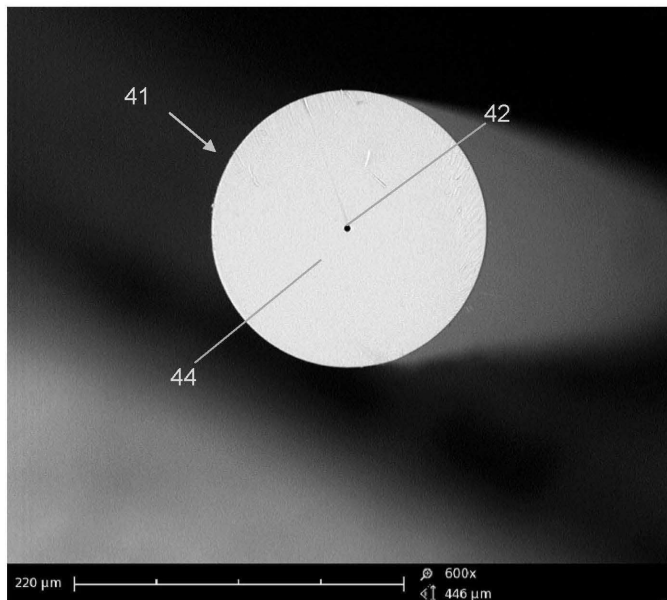
도면2



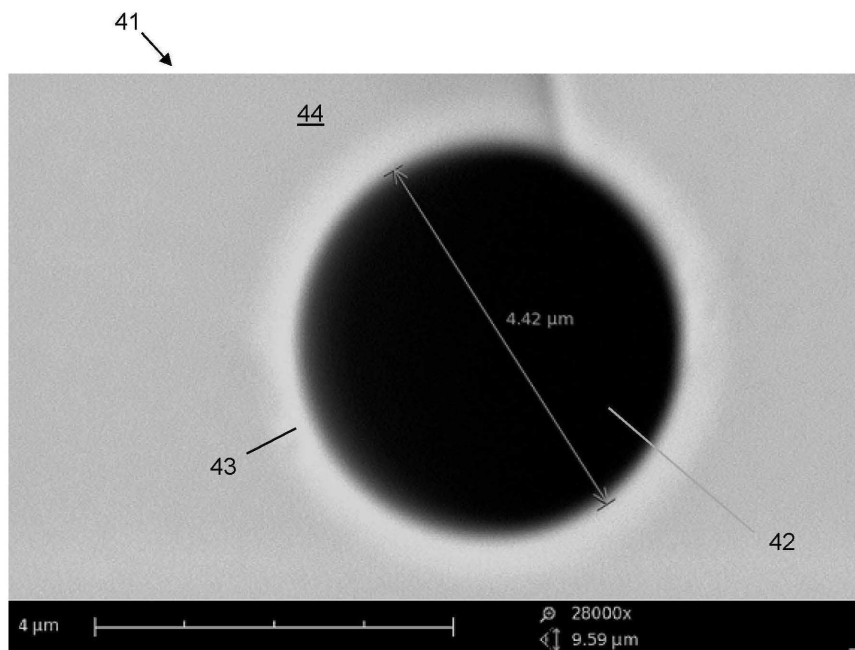
도면3



도면4



도면5



도면6

