

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G02B 6/22

G02B 6/42 H01S 3/00



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03127692. X

[43] 公开日 2004 年 11 月 3 日

[11] 公开号 CN 1542474A

[22] 申请日 2003.8.14 [21] 申请号 03127692. X

[71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130022 吉林省长春市人民大街 140 号

[72] 发明人 潘玉寨 张亮 宁永强 刘云
王立军

[74] 专利代理机构 长春科宇专利代理有限责任公
司

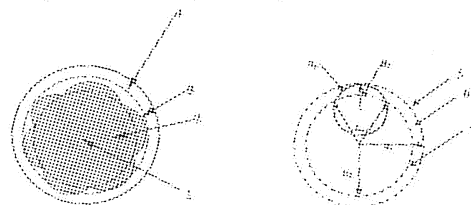
代理人 梁爱荣

权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 1 页

[54] 发明名称 一种用于高功率光纤激光器的双包层光纤

[57] 摘要

本发明涉及高功率光纤激光器用双包层光纤，包括纤芯 1、内包层 2、边界 3、外包层 4，在内包层 2 上形成边界 3 并由多个圆弧 a_n 组成，每个圆弧 a_n 的半径 R_3 各不相同呈现非对称分布。边界 3 还由多个直线段 b_n 组成，每个直线段的长度 L_n 各不相同呈现非对称分布。为了解决背景技术问题，本发明提供一种用于高功率光纤激光器的双包层光纤，采用非对称边界的内包层结构，使在内包层中的泵浦光在传播过程中不存在局域的稳定态，使得更多的泵浦光经过纤芯，提高内包层中泵浦光与纤芯的耦合效率，使双包层光纤具有更高的吸收效率。减少光纤长度，由于吸收效率提高，光纤增益提高，从而降低激光器阈值。由于剩余泵浦光更少，从而增加激光器输出的稳定性。



1、一种用于高功率光纤激光器的双包层光纤，包括：纤芯（1）、内包层（2）、边界（3）、外包层（4），其特征在于：在内包层（2）本体的外边缘形成边界（3），边界（3）由多个圆弧 a_n 组成，每个圆弧 a_n 的半径 R_3 各不相同，圆弧 a_n 呈现非对称分布。

2、一种用于高功率光纤激光器的双包层光纤，包括：纤芯（1）、内包层（2）、边界（3）、外包层（4），其特征在于：在内包层（2）本体的外边缘形成边界（3），边界（3）由多个直线段 b_n 组成，每个直线段的长度 L_n 各不相同，直线段 b_n 呈现非对称分布。

3、根据权利要求1所述的用于高功率光纤激光器的双包层光纤，其特征在于：内包层（2）本体上的边界（3）在环状区域（6）内变化，边界（3）由 n 段圆弧 a_n 首尾连接组成，圆弧 a_n 与外圆（5）内切且圆弧 a_n 的两端点位于内圆（7）上，环状区域（6）的外圆（5）半径为 R_1 ，环状区域（6）的内圆（7）半径为 R_2 ，环状区域（6）内的圆弧 a_n 的半径 R_{3n} 由圆弧 a_n 的两端点与纤芯（1）的中心点所构成的夹角 θ_n ($n=1,2,\dots,n, n>3$)所决定，边界（3）的第一段圆弧 a_1 的两端点与中心点构成的夹角为 θ_1 ，第二段圆弧 a_2 的两端点与中心点构成的夹角为 θ_2 ，第 n 段圆弧 a_n 的两端点与中心点构成的夹角为 θ_n ，且 $\theta_1 \neq \theta_2 \neq \dots \neq \theta_n$ 或有相同的夹角 θ_n 按非对称分布，且 $\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n = 2\pi$ ，第 n 个圆弧 a_n 的半径为 R_{3n} ，由圆弧 a_n 的两端点

与中心点构成的夹角 θ_n 得出：
$$R_{3n} = \frac{R_1^2 \sin^2(\theta_n/2) + [R_1 - R_2 \cos(\theta_n/2)]^2}{2[R_1 - R_2 \cos(\theta_n/2)]}$$

既 n 段圆弧 a_n 与中心点构成的夹角 θ_n 不完全相同， R_{3n} 不完全相同，使圆弧 a_n 呈现非对称分布。

4、根据权利要求 1 所述的用于高功率光纤激光器的双包层光纤，其特征在于：内包层（2）本体的边界（3）在环状区域（6）内变化，边界（3）由 n 段圆弧 a_n 首尾连接组成，圆弧 a_n 与内圆（7）外切且圆弧 a_n 的两端点位于外圆（5）上，环状区域（6）的外圆（5）半径为 R_1 ，环状区域（6）的内圆（7）半径为 R_2 ，圆弧 a_n 由圆弧 a_n 的两端点与纤芯（1）的中心点所构成的夹角 θ_n ($n=1,2,\dots,n, n>3$) 所决定，边界（3）的第一段圆弧 a_1 的两端点与中心点构成的夹角为 θ_1 ，第二段圆弧 a_2 的两端点与中心点构成的夹角为 θ_2 ，第 n 段圆弧 a_n 的两端点与中心点构成的夹角为 θ_n ，且 $\theta_1 \neq \theta_2 \neq \dots \neq \theta_n$ 或有相同的夹角 θ_n 按非对称分布，且 $\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n = 2\pi$ ，第 n 个圆弧 a_n 的半径为 R_{3n} ，由圆弧 a_n 的两端点与中心点构成的夹角 θ_n 得出：

$$R_{3n} = \frac{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2 \cos(\theta_n/2)}{2[R_1 \cos(\theta_n/2) - R_2]}$$
，既 n 段圆弧 a_n 与中心点构成的夹角 θ_n 不完全相同， R_{3n} 也不完全相同，使圆弧 a_n 呈现非对称分布。

5、根据权利要求 2 所述的用于高功率光纤激光器的双包层光纤，其特征在于：内包层（2）本体的边界（3）由 n 段直线段 b_n 组成， n 段直线段 b_n 均为外圆（5）的内切弦，外圆（5）的半径为 R_1 ，边界（3）的第一段直线段 b_1 的两端点与纤芯（1）的中心点构成的夹角为 θ_1 ，第二段直线段 b_2 的两端点与中心点构成的夹角为 θ_2 ，第 n 段直线段 b_n

的两端点与的中心点构成的夹角为 θ_n ，且 $\theta_1 \neq \theta_2 \neq \dots \neq \theta_n$ 或有相同的夹角 θ_n 按非对称分布，且 $\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n = 2\pi$ ，第 n 个直线段 b_n 的长度为 L_n ，由直线段 b_n 的两端点与中心点构成的夹角 θ_n 得出： $L_n = 2 \cdot R_1 \cdot \sin(\theta_n/2)$ ， n 段直线段 b_n 的两端点与中心点构成的夹角 θ_n 不完全相同， L_n 也不完全相同，使直线段 b_n 呈现非对称分布。

一种用于高功率光纤激光器的双包层光纤

技术领域：本发明属于光纤制作技术领域，涉及高功率光纤激光器用双包层光纤的结构设计。

背景技术：光纤激光器最初使用的是普通的单模光纤，纤芯掺杂有稀土离子作为增益介质，但由于光纤纤芯非常细，只有几个微米，与泵浦源的耦合效率低，输出功率非常低，以致限制了其使用的范围。为了提高光纤激光器的输出功率，人们提出了双包层结构的光纤，所谓双包层光纤是指在普通的单模光纤的纤芯和包层的结构中间引入了一个内包层，变成了三层结构：纤芯、内包层和外包层，大的内包层尺寸可以耦合更多的泵浦光，泵浦光在内包层中传输，不断的经过纤芯被吸收。根据光纤的传光原理，圆形的内包层结构存在大量的螺旋形前进的光在整个光纤长度内不能够被位于光纤中间的纤芯所吸收，于是提出了各种对称边界的内包层结构：如星型，矩型，D型，多边形及非稳态腔型，使得吸收效率大大提高。这种双包层光纤的内包层的对称边界形状制作是：在完成光纤预制棒之后进行不规则研磨制作出对称的边界形状，然后在光纤制作系统中拉制光纤并涂覆外包层。实验及理论验证，在上述各种对称边界内包层结构中，仍然存在着稳定分布的局域态，如星型对称边界内包层结构的每段连续边界是相同的，形成了一种稳定分布的局域态，这些局域态中存在的泵浦光不能被纤芯吸收，为了提高泵浦光的吸收就需要增加光纤激光器所使

用双包层光纤长度，光纤激光器输出变得不稳定，光纤中这些泵浦光能量在传输过程中被散射或者以热量的形式损失掉，由于泵浦光的充分吸收，双包层光纤的内包层中泵浦光局域稳定态的存在也会影响光纤激光器的稳定性，同时以这种双包层光纤实现的光纤激光器阈值也较大。

本发明的详细内容：为了解决背景技术对称边界内包层结构的双包层光纤存在泵浦光的局域稳定态不能被纤芯吸收，增加使用光纤长度，而且不能被吸收局域稳定态分布的泵浦光影响了光纤激光器的输出性能及稳定性，激光器阈值较大等问题，本发明目的就是为对称边界内包层结构双包层光纤提供了一种改进，设计出非对称边界内包层结构的双包层光纤。

为了实现上述目的，本发明的非对称边界内包层结构双包层光纤包括：纤芯、内包层、边界、外包层，纤芯掺杂有稀土离子作为吸收介质实现增益，位于双包层光纤的中心处；纤芯的外部是内包层；纤芯与内包层存在折射率差，纤芯的折射率最大，内包层的折射率较小，形成较小的数值孔径保证信号光的单模输出；在内包层的外部安置有外包层，外包层折射率最小，内包层与外包层形成的数值孔径较大保证泵浦光有最大的耦合效率。

本发明在内包层本体的外边缘形成边界，边界由多个圆弧 a_n 组成，每个圆弧 a_n 的半径 R_n 各不相同，圆弧 a_n 呈现非对称分布。

在内包层本体的外边缘形成边界，边界由多个直线段 b_n 组成，每个直线段的长度 L_n 各不相同，直线段 b_n 呈现非对称分布。

内包层本体上的边界在环状区域内变化，边界由 n 段圆弧 a_n 首尾

连接组成，圆弧 a_n 与外圆内切且圆弧 a_n 的两端点位于内圆上，环状区域的外圆半径为 R_1 ，环状区域的内圆半径为 R_2 ，环状区域内的圆弧 a_n 的半径 R_{3n} 由圆弧 a_n 的两端点与纤芯的中心点所构成的夹角 θ_n ($n=1,2,\dots,n, n>3$) 所决定，边界的第一段圆弧 a_1 的两端点与中心点构成的夹角为 θ_1 ，第二段圆弧 a_2 的两端点与中心点构成的夹角为 θ_2 ，第 n 段圆弧 a_n 的两端点与中心点构成的夹角为 θ_n ，且 $\theta_1 \neq \theta_2 \neq \dots \neq \theta_n$ 或有相同的夹角 θ_n 按非对称分布，且 $\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n = 2\pi$ ，第 n 个圆弧 a_n 的半径为 R_{3n} ，由圆弧 a_n 的两端点与中心点构成的夹角 θ_n 得出：

$$R_{3n} = \frac{R_1^2 \sin^2(\theta_n/2) + [R_1 - R_2 \cos(\theta_n/2)]^2}{2[R_1 - R_2 \cos(\theta_n/2)]}$$

夹角 θ_n 不完全相同， R_{3n} 不完全相同，使圆弧 a_n 呈现非对称分布。

内包层本体的边界在环状区域内变化，边界由 n 段圆弧 a_n 首尾连接组成，圆弧 a_n 与内圆外切且圆弧 a_n 的两端点位于外圆上，环状区域的外圆半径为 R_1 ，环状区域的内圆半径为 R_2 ，圆弧 a_n 由圆弧 a_n 的两端点与纤芯的中心点所构成的夹角 θ_n ($n=1,2,\dots,n, n>3$) 所决定，边界的第一段圆弧 a_1 的两端点与中心点构成的夹角为 θ_1 ，第二段圆弧 a_2 的两端点与中心点构成的夹角为 θ_2 ，第 n 段圆弧 a_n 的两端点与中心点构成的夹角为 θ_n ，且 $\theta_1 \neq \theta_2 \neq \dots \neq \theta_n$ 或有相同的夹角 θ_n 按非对称分布，且 $\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n = 2\pi$ ，第 n 个圆弧 a_n 的半径为 R_{3n} ，由圆弧 a_n 的两端

点与中心点构成的夹角 θ_n 得出：

$$R_{3n} = \frac{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2 \cos(\theta_n/2)}{2[R_1 \cos(\theta_n/2) - R_2]}$$

段圆弧 a_n 与中心点构成的夹角 θ_n 不完全相同， R_{3n} 也不完全相同，使

圆弧 a_n 呈现非对称分布。

内包层本体的边界由 n ($n > 3$) 段直线段 b_n 组成, n 段直线段 b_n 均为外圆的内切弦, 外圆的半径为 R_1 , 边界的第一段直线段 b_1 的两端点与纤芯的中心点构成的夹角为 θ_1 , 第二段直线段 b_2 的两端点与中心点构成的夹角为 θ_2 , 第 n 段直线段 b_n 的两端点与的中心点构成的夹角为 θ_n , 且 $\theta_1 \neq \theta_2 \neq \dots \neq \theta_n$ 或有相同的夹角 θ_n 按非对称分布, 且 $\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n = 2\pi$, 第 n 个直线段 b_n 的长度为 L_n , 由直线段 b_n 的两端点与中心点构成的夹角 θ_n 得出: $L_n = 2 \cdot R_1 \cdot \sin(\theta_n / 2)$, n 段直线段 b_n 的两端点与中心点构成的夹角 θ_n 不完全相同, L_n 也不完全相同, 使直线段 b_n 呈现非对称分布。

本发明工作时: 泵浦光进入内包层中, 进入纤芯的泵浦光在纤芯内传播不断的被其中掺杂的稀土离子吸收, 未进入纤芯的泵浦光到达边界被反射回来, 经过纤芯时, 进入纤芯被其中掺杂的稀土离子吸收, 未被吸收的和未经过纤芯的泵浦光继续在内包层中传输, 到达边界上被再次反射回来, 再次经过纤芯, 进入纤芯后被吸收, 重复此过程, 在一定的光纤长度内, 所有的泵浦光进入纤芯被吸收, 被纤芯中稀土离子吸收泵浦光后产生信号光, 信号光在纤芯中传播。

本发明采用非对称边界内包层结构的双包层光纤, 解决了背景技术由于内包层边界为对称结构分布, 使得内包层中存在泵浦光的局域稳定态, 泵浦光不能被纤芯吸收, 则增加使用光纤长度, 而且不能被吸收的泵浦光影响光纤激光器输出稳定性, 激光器阈值较大等问题。本发明在内包层中的泵浦光在传播过程中不存在局域的稳定态, 使得

更多的泵浦光经过纤芯，提高内包层中的泵浦光与纤芯的耦合效率，更多的泵浦光被纤芯充分吸收，使双包层光纤具有更高的吸收效率。减少光纤激光器使用双包层光纤长度，由于吸收效率的提高，提高了光纤的增益，从而降低激光器阈值。由于剩余泵浦光更少，从而增加激光器输出的稳定性。

附图说明

图 1 是本发明星型结构横截面示意图及设计原理图；

图 2 是本发明非稳态腔型结构横截面示意图及设计原理图；

图 3 是本发明多边形结构横截面示意图及其设计原理图。

具体实施方式：下面结合附图和实施例对本发明进一步说明，但本发明不限于这些实施例。实施例中包括：纤芯 1、内包层 2、边界 3、外包层 4、外圆 5、环状区域 6、内圆 7、半径 R_1 、半径 R_2 、半径 R_{3n} 、圆弧 a_n 、直线段 b_n 、夹角 θ_n 、中心点 0。

实施例 1：图 1 所示为本发明的第一个实施例，图 1a 为星型非对称边界双包层光纤的横截面示意图，图 1b 为设计原理图。

纤芯 1 的材料可以根据不同需要选定，本实施例中纤芯 1 可以选择石英、也可以用多组分玻璃作为基质，在基质里掺杂有稀土离子如：铒离子或镱离子或掺杂其它多种稀土离子，实现信号光增益；同时也掺入其它离子实现高折射率，一般选择锗，纤芯 1 的半径可以采用 3.5 μm 。纤芯 1 的半径要保证信号光在纤芯 1 中以单模输出。

内包层 2 的材料可以选择石英或者是多组分玻璃，折射率略低于纤芯 1，使得纤芯 1 的数值孔径为 0.15。内包层 2 的最大半径与外圆

5 半径相同，内包层 2 的最小半径与内圆 7 半径相同，内包层 2 本体上的边界 3 在环状区域 6 内变化，如图 1b 所示：半径为 R_{3n} 的圆弧 a_n 是图 1a 中边界 3 相应的第 n 个圆弧 a_n 。

边界 3 如图 1 a 所示：由外圆 5 和内圆 7 组成环状区域 6，本实施中的外圆 5 的半径 R_1 和内圆 7 的半径 R_2 分别为 $125 \mu\text{m}$ 和 $105 \mu\text{m}$ ，（如图 1b）。边界 3 由六段圆弧 a_n 组成，为实现非对称分布，每段圆弧 a_n ($n=1,2\dots 6$) 与中心点 0 构成的夹角 θ_n 各不相同，我们选取每段圆弧 a_n 所对应的夹角 θ_n 分别为： $\theta_{1-6} = \frac{7\pi}{36}, \frac{9\pi}{36}, \frac{11\pi}{36}, \frac{13\pi}{36}, \frac{15\pi}{36}, \frac{17\pi}{36}$ ，分别得到半径 R_{3n} 为： $R_{3(1-6)} = 85 \mu\text{m}, 100 \mu\text{m}, 113 \mu\text{m}, 120 \mu\text{m}, 123 \mu\text{m}, 125 \mu\text{m}$ ，夹角 θ_n 选取两个或三个相同的数值，实现圆弧 a_n 的非对称分布，如选取 $\theta_{1-6} = \frac{9\pi}{36}, \frac{9\pi}{36}, \frac{9\pi}{36}, \frac{13\pi}{36}, \frac{15\pi}{36}, \frac{17\pi}{36}$ ，分别得到半径 R_{3n} 为： $R_{3(1-6)} = 100 \mu\text{m}, 100 \mu\text{m}, 100 \mu\text{m}, 120 \mu\text{m}, 123 \mu\text{m}, 125 \mu\text{m}$ 。同样的也可以设计四个，五个或更多的圆弧 a_n 组成非对称内包层结构双包层光纤。

外包层 4 的材料选取低折射率的聚合物材料，形成内包层 2 的数值孔径为 0.45，外包层 4 的厚度选取为 $150 \mu\text{m}$ 。

上述内包层 2 的实现需要在对光纤预制棒的研磨过程中采用更加复杂的工艺，制作出所需要的内包层形状，然后拉丝涂覆制成双包层光纤。

实施例 2: 图 2 中给出了本发明的第二个实施例，图 2a 为非稳态腔型结构双包层光纤的横截面示意图，图 2b 为设计原理图，纤芯 1，内包层 2 和外包层 4 的材料、尺寸和结构关系与实施例 1 一致，边界 3 在环状区域 6 内变化，半径为 R_{3n} 的圆弧 a_n 是边界 3 相应的第 n 个圆

弧 a_n ，本实施中的 R_1 和 R_2 与实施例 1 中相同，边界 3 由六段圆弧组成，为实现非对称分布，每段圆弧 a_n ($n=1,2\dots 6$) 对应的夹角 θ_n 各不相同，因此， R_{3n} 也相应的不同，我们设定每段圆弧对应的夹角 θ_n 与实施例 1 相同，分别得到半径 R_{3n} ： $R_{3(1-6)} = 132\mu\text{m}, 134\mu\text{m}, 137\mu\text{m}, 142\mu\text{m}, 150\mu\text{m}, 166\mu\text{m}$ 。或者如实施例 1 中选取两个或三个相同的夹角 θ_n ，分别得到半径 R_{3n} 为： $R_{3(1-6)} = 134\mu\text{m}, 134\mu\text{m}, 134\mu\text{m}, 142\mu\text{m}, 150\mu\text{m}, 166\mu\text{m}$ 。

同样的也可以设计四个，五个或更多的圆弧 a_n 组成非对称内包层结构双包层光纤。

实施例 3：图 3 中又给了本发明的第三个实施例，双包层光纤的横截面如图 3a 所示，图 3b 为设计原理图。实施例中的双包层光纤的纤芯 1，内包层 2 和外包层 4 的材料、尺寸和结构关系与实施例 1 相同，本实施例选取边界 3 由八段直线段 b_n 组成，我们选取外圆 5 的半径 R_1 为 $125\mu\text{m}$ ，每个直线段 b_n ($n=1,2\dots 8$) 对应的夹角 θ_n 可选择为： $\theta_{1-8} = \frac{2\pi}{36}, \frac{4\pi}{36}, \frac{6\pi}{36}, \frac{8\pi}{36}, \frac{10\pi}{36}, \frac{12\pi}{36}, \frac{14\pi}{36}, \frac{16\pi}{36}$ ，直线段 b_n 的长度 L_n 分别选择为： $L_{1-8} = 22\mu\text{m}, 43\mu\text{m}, 65\mu\text{m}, 86\mu\text{m}, 106\mu\text{m}, 125\mu\text{m}, 143\mu\text{m}, 160\mu\text{m}$ ($n=1,2\dots 8$)。

上述夹角 θ_n 可以选取三个或四个相同数值，实现直线段 b_n 的非对称分布，如选取 $\theta_{1-8} = \frac{5\pi}{36}, \frac{5\pi}{36}, \frac{5\pi}{36}, \frac{5\pi}{36}, \frac{10\pi}{36}, \frac{12\pi}{36}, \frac{14\pi}{36}, \frac{16\pi}{36}$ ，分别得到 $L_{1-8} = 54\mu\text{m}, 54\mu\text{m}, 54\mu\text{m}, 54\mu\text{m}, 106\mu\text{m}, 125\mu\text{m}, 143\mu\text{m}, 160\mu\text{m}$ 。同样的也可以设计六个、七个或更多的直线段 b_n 组成非对称内包层结构双包层光纤。

本发明中半径 R_1 、半径 R_2 、 θ_n 、纤芯 1 的半径和外包层 4 的厚度参数还可根据不同的设计要求来选择，本发明中的材料还可选择除上述材料之外的其他材料。

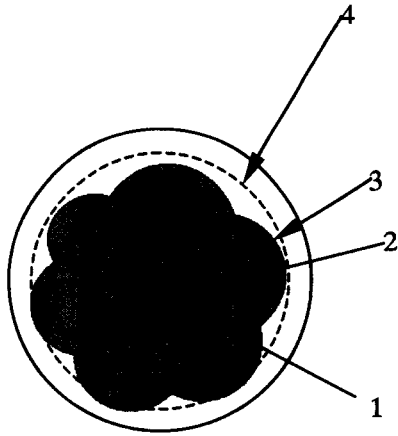


图 1a

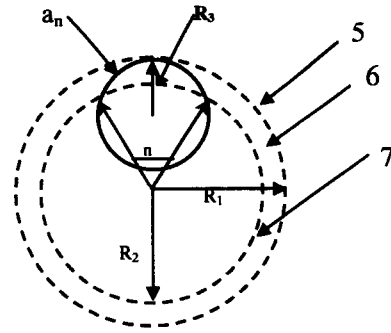


图 1b

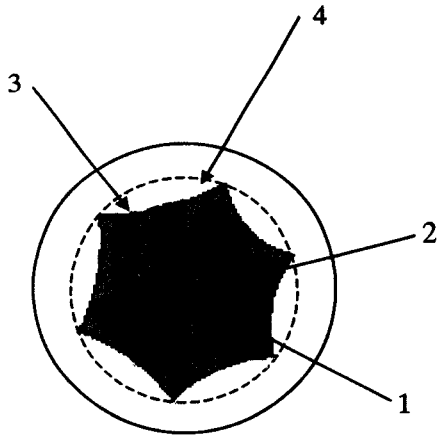


图 2a

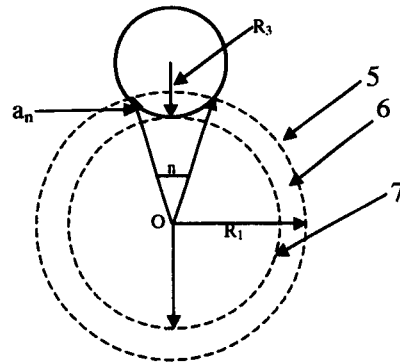


图 2b

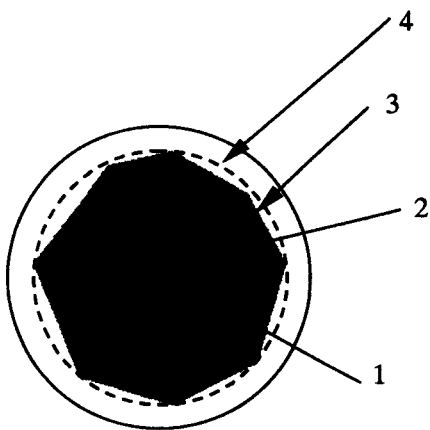


图 3a

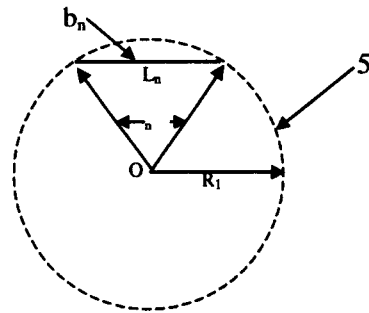


图 3b