

Предлагаемое устройство относится к области приборов и инструментов для медицины и может быть использовано в качестве приспособления для направления потока излучения в конкретное место как для диагностических, так и для хирургических целей.

Для формирования пучков лучей известны оптические наконечники световодов как сферической, так и полусферической формы (R.M. Verdaasdonk, C. Borst. Ray tracing of optically modified tips. 1: spherical probs // Applied Optics, 1991, vol.30, N16, p.2159 - 2171).

Такие наконечники, непосредственно контактирующие со световодом, позволяют фокусировать излучение, распространяющееся по световоду, на некотором расстоянии от его торца.

Однако существенным их недостатком является невозможность значительного уменьшения диаметра пятна сфокусированного излучения D_n по сравнению с диаметром световода D_c , т. е. $\beta_o = D_n/D_c \geq 0,5$, где β_o - коэффициент линейного увеличения.

За прототип принят дистальный оптический инструмент, включающий жестко закрепленный в держателе и непосредственно контактирующий с соосным ему световодом оптический наконечник, которому для расширения возможностей по концентрации излучения (уменьшения значения β_o) за счет обеспечения многократного отражения лучей придана форма усеченного конуса (R.M. Verdaasdonk, C. Borst. Ray tracing of optically modified tips. 2: laser scalpels // Applied Optics, 1991, vol.30, N16, p.2172 - 2177). Недостатком такого дистального оптического инструмента является значительное увеличение диаметра пятна излучения D_n в плоскости фокусировки по сравнению с диаметром дистальне (выходного) конца наконечника D_o за счет выхода части лучей не через выходной торец, а через боковую коническую поверхность, когда угол падения лучей на нее меньше угла полного внутреннего отражения. Это приводит к оптическим потерям, нежелательному увеличению размера пятна D_n и повышению температуры вокруг операционного поля, обычно соизмеримого с диаметром D_o дистального конца наконечника, и, как следствие, к возможному лучевому поражению здоровых тканей.

В основу заявляемого изобретения поставлена задача усовершенствования дистального оптического инструмента за счет обеспечения полного прохождения лучей через наконечник и формирования пятна излучения, соизмеримого с размером его выходного торца, что расширит возможности использования такого инструмента в лазерной медицине (терапии и хирургии).

Для достижения поставленной задачи в известном дистальном оптическом инструменте, содержащем жестко закрепленные в держателе световод и соосный ему наконечник в форме усеченного конуса, согласно настоящему изобретению, поверхность наконечника, обращенная к световоду, выполнена сферической радиуса R , в передней фокальной плоскости которой расположен выходной торец световода, задняя фокальная плоскость совпадает с плоским выходным торцом наконечника (т. е. $f'_k = L_k$, где L_k - длина конического наконечника), а угол наклона образующей конического наконечника α удовлетворяет соотношению

$$\alpha = \frac{90^\circ - \arcsin \frac{n_c}{n_k} - i'}{(2N_1 - 1)} \quad (1)$$

где $\arcsin \frac{n_c}{n_k} = \varphi_{np}$ - угол полного внутреннего отражения для конуса из оптического материала с показателем преломления n_k , расположенного в среде с показателем преломления n_c (см.: Гвоздева Н.П., Коркина К.И. Прикладная оптика и оптические измерения. - М.: Маш., 1976. - С.86); N_1 - целое положительное число, равное максимальному количеству отражений краевого апертурного луча в коническом наконечнике.

$i' = \arcsin \left(\frac{n_1/n_k \cdot \operatorname{tg} \sigma_o}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \sigma_o + D_n^2/D_c^2}} \right)$ - угол с оптической осью краевого апертурного луча в наконечнике (см. Приложение); n_1 - показатель преломления среды между световодом и наконечником; $2\sigma_o$ - апертурный угол в пространстве предметов сферической поверхности конического наконечника, опирающийся на апертурную диафрагму диаметра D_n .

Диаметр выходного торца конического наконечника D_o должен удовлетворять соотношению

$$D_o = \frac{\beta_1 [D_n + 2 f'_k \cdot \operatorname{tg} i'] \cdot \operatorname{tg} \alpha}{[\operatorname{tg} \alpha + (1 - \beta_1) \operatorname{tg} i']} \quad (2)$$

где $\beta_1 = \frac{\sin(\alpha + i')}{\sin[(2N_1 + 1)\alpha + i']}$ - коэффициент увеличения для краевого апертурного луча.

Геометрические параметры (L_k , f'_k , R и S), характеризующие конструкцию дистального оптического инструмента удовлетворяют соотношениям (Вычислительная оптика: Справ. / Под ред. М.М. Русинова. - Л.: Маш. - С.131 - 133).

$$L_k = f'_k = \frac{D_n \cdot n_k}{2 n_1 \cdot \operatorname{tg} \sigma_o} \quad (3)$$

$$R = f'_k \cdot \frac{n_k - n_1}{n_k} \quad (4)$$

$$S = f'_k \cdot \frac{n_1}{n_k} \quad (5)$$

Придание передней (входной) поверхности конического наконечника, обращенной к световоду, сферической формы, выполнение наконечника длиной, равной заднему фокусному расстоянию сферической поверхности, а также расположение выходного торца световода в передней фокальной плоскости, указанной поверхности позволяет сфокусировать излучение, выходящее из световода в пределах апертурного угла $2\sigma_0$, в плоскости выходного торца наконечника, а выбор наклона образующей конического наконечника и диаметра его дистального (выходного) торца в соответствии с соотношениями (1) и (2) позволяет устранить нежелательный выход излучения через боковую поверхность наконечника.

Сущность изобретения поясняется чертежом (фиг.), где представлена принципиальная схема (меридиональное сечение) конструкции.

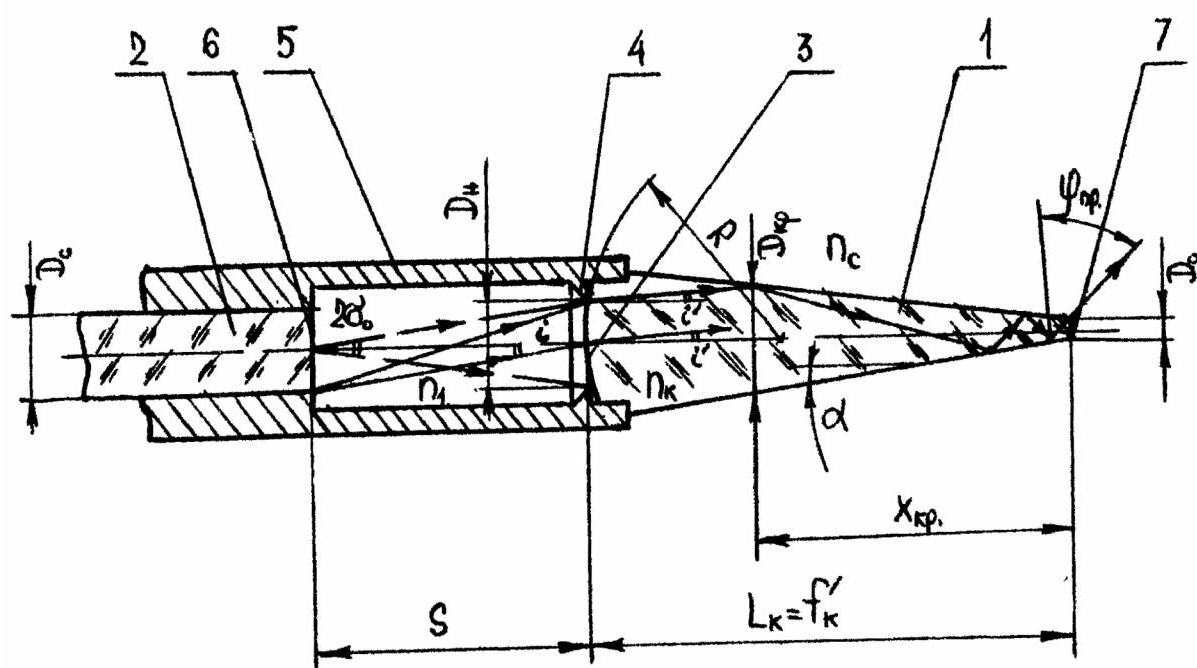
Дистальный оптический инструмент состоит из оптического наконечника 1 в форме усеченного конуса с углом наклона образующей α , длиной L_k , соосно световоду 2, - которые жестко закреплены в держателе 5. Поверхность 3 наконечника 1, обращенная к световоду 2, выполнена сферической радиуса R , вблизи которой размещена апертурная диафрагма 4 диаметром D_n . В передней фокальной плоскости сферической поверхности 3 расположен выходной торец 6 световода, а ее задняя фокальная плоскость совпадает с выходным торцом 7 наконечника.

Устройство работает следующим образом.

Поток излучения, выходящий из выходного торца 6 световода 2 в пределах апертурного угла $2\sigma_0$, опирающегося на апертурную диафрагму 4 диаметром D_n , преломляется на передней сферической поверхности 3 конического наконечника 1 (максимальный угол наклона краевого апертурного луча к оптической оси - l') и распространяется внутри него, испытывая в зависимости от угла падения лучей от одного до N_1 полных внутренних отражений от конической боковой поверхности наконечника, формируя поле облученности диаметром D_n в плоскости выходного торца 7 наконечника диаметром D_0 ($D_n \approx D_0$). Неизменность взаимного положения световода 2 относительно наконечника 1 (расстояние S) обеспечивается держателем 5.

В качестве базового дистального оптического инструмента выбран плоский скальпель (flat scalpel) фирмы Surgical Laser Technologies, Malvern, PA со следующими техническими характеристиками: $L_k = 29\text{ мм}$, $2\alpha = 3,8^\circ$, $D_0 = 0,55\text{ мм}$, $D_n = 2,5\text{ мм}$, $D_c = 0,6\text{ мм}$, $n_k = 1,75$ (сапфир), $n_c = n_1 = 1$ (R.M. Verdaasdonk, C. Borst. Ray tracing of optically modified tips. 2: laser scalpel // Applied Optics, 1991, vol.30, N16, p.2172 - 2177), который без потерь фокусирует излучение, выходящее из световода в пределах апертурного угла $2\sigma_0 < 35^\circ$. Однако при апертурных углах, превышающих 35° , имеет место выход излучения через боковую поверхность конического наконечника, что приводит к значительным энергетическим потерям ($>50\%$) к увеличению диаметра пятна в 2 - 3 раза по сравнению с диаметром дистального торца наконечника D_0 . Кроме того, изготовление наконечника такой длины представляет собой сложную задачу ввиду хрупкости материала.

Примером конкретного исполнения заявляемого дистального оптического инструмента может служить дистальный оптический инструмент, решающий аналогичную базовому варианту задачу фокусировки излучения от световода диаметром $D_c = 0,6\text{ мм}$ в пределах апертурного угла $2\sigma_0 < 35^\circ$. Конический наконечник также выполнен из сапфира ($n_k = 1,75$). Угол конусности 2α и диаметр дистального торца D_0 при числе отражений краевого апертурного луча в наконечнике $N_1 = 3$ составляют $2\alpha = 21,32^\circ$ и $D_0 = 0,61\text{ мм}$. Геометрические параметры наконечника при этом были следующими: $L_k = 8,16\text{ мм}$, $R = 3,5\text{ мм}$, $S = 4,67\text{ мм}$, $D_n = 2,5\text{ мм}$. Очевидно, что заявляемый дистальный оптический инструмент более технологичен, чем базовый, так как заявляемый наконечник механически более прочен из-за меньшей своей длины. В свою очередь, дистальный оптический инструмент со следующими техническими характеристиками: $L_k = 3,79\text{ мм}$, $R = 1,624\text{ мм}$, $S = 2,165\text{ мм}$, $D_n = 2,5\text{ мм}$, $2\alpha = 20,26^\circ$ и $D_0 = 0,61\text{ мм}$ (при $N_1 = 3$) значительно превосходит базовый, так как наконечник полностью фокусирует излучение в плоскости его дистального торца без выхода излучения через боковую поверхность наконечника в пределах апертурного угла $2\sigma_0 = 60^\circ$ при соизмеримых размерах диаметра дистального торца, а также более механически прочен. Расчет хода лучей и оптических потерь в наконечниках проводился по разработанной на кафедре оптических приборов КПИ программе Scalpel.



Фиг.