

## ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ

В.П. ВЕЙКО, Ю.Д. БЕРЕЗИН, В.А. ЧУЙКО, А.К. КРОМИН, С.В. КУХТИН, С.А. РОДИОНОВ, М.П. ТОКАРЕВ

Приведены конструкции и некоторые оптические параметры волоконно-оптических инструментов для лазерной медицины, изготовленных по оригинальной лазерной технологии. Приведены характерные диаграммы направленности лазерного излучения для полученных оптических элементов.

Лазерная медицина в последние годы получает все большее признание как эффективное средство лечения и профилактики большого спектра заболеваний. Использование волоконно-оптических систем в лазерных медицинских установках позволяет проводить целый ряд операций без полостных разрезов и лечение в труднодоступных местах. Использование таких систем предполагает формирование пятна в зоне облучения специальным образом. Этого можно достигнуть, используя различные оптические элементы, однако применение традиционных микролинз и прочих элементов объемной оптики влечет за собой существенное увеличение размеров инструмента. Известен целый ряд методов, позволяющих формировать микролинзы на концах волокон методами расплава материала волокна. Нами уже предлагался метод формирования микролинз посредством взаимодействия излучения  $\text{CO}_2$ -лазера и действия механических (центробежных) сил [1-3]. В данной статье представлен ряд волоконно-оптических элементов для формирования излучения заданным образом, полученных в результате обработки волокна комбинацией воздействий излучения  $\text{CO}_2$ -лазера и различных механических сил: 1) фокусирующие микролинзы, 2) боковые элементы, 3) фоконы, 4) рассеиватели, 5) защитные фокусирующие элементы. Все эти элементы могут быть получены на оптическом волокне типа кварц-кварц, кварц-полимер, на стеклянных волокнах и волокнах из сапфира. Остановимся подробнее на каждой группе элементов.

### 1. ФОКУСИРУЮЩИЕ МИКРОЛИНЗЫ

Данные микрооптические элементы (см. рис. 1) сформированы посредством плавления излучением  $\text{CO}_2$ -лазера материала световедущей жилы волокна при воздействии на расплав центробежных сил. К оптимальным оптическим и геометрическим параметрам следует отнести следующие характеристики для сферических линз:

- диаметр до пяти диаметров световедущей жилы,
- отношение осей поперек/вдоль, равное  $U\gamma$ ,
- фокусное расстояние порядка диаметра микролинзы,
- диаметр пятна в фокусе 250-700 мкм,
- числовая апертура 0,2-0,45;

для эллиптических линз:

- фокусное расстояние - порядка диаметра микролинзы,

- диаметр пятна в фокусе 250-700 мкм,
- числовая апертура 0,2-0,45;

для дуговых линз фокус расположен на поверхности линзы, числовая апертура равна 0,55.

Характерные диаграммы направленности лазерного излучения для дальней зоны представлены на рис. 1, б.

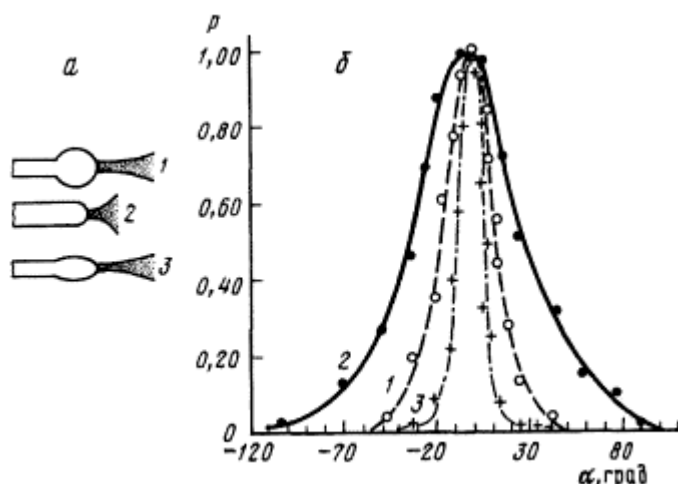


Рис. 1. а) – Вид микроэлемента: 1 – сферическая фокусирующая микролинза; 2 – дуговая, 3 – эллиптическая; б) – диаграммы направленности для микролинз соответственно 1, 2 и 3 ( $P$  – нормированная мощность).

Подобные микролинзы могут быть применены для формирования выходного пучка заданных параметров в лазерном инструменте, а также для повышения эффективности соединений типа волокно-волокно, что существенно для снижения себестоимости волоконных систем и эффективно для создания одноразового дешевого инструментария.

## 2. БОКОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Элементы подобного рода могут с успехом применяться для транспортировки излучения и производства эндоскопических операций в труднодоступных местах, требующих поворота направления излучения относительно продольной оси волокна. Нами получены устойчивые результаты по производству элементов, представленных на рис.2,а. К основным характеристикам этих элементов относятся следующие:

- для бокового рассеивающего элемента угол поворота излучения порядка 70-80°;
- для боковых фокусирующих элементов угол поворота излучения порядка 70-90°, фокусное расстояние порядка диаметра микролинзы, диаметр пятна в фокусе равен 250-700 мкм.

Характерные диаграммы направленности лазерного излучения для дальней зоны представлены на рис. 2, б.

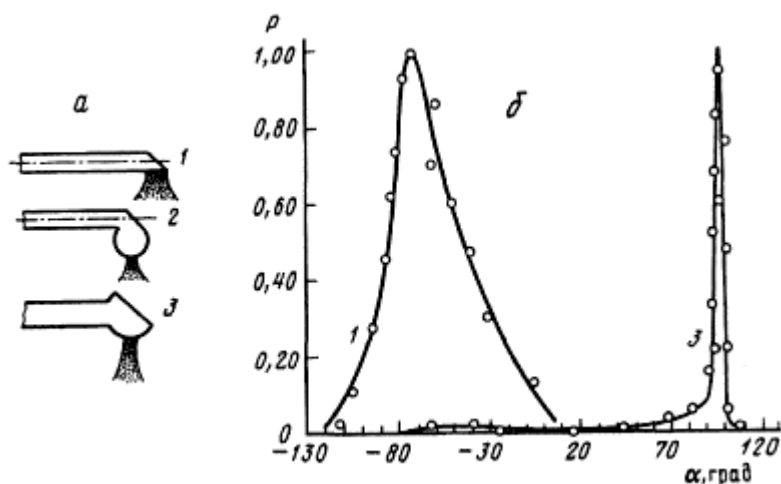


Рис. 2. а) – Вид боковых элементов: 1 – плоского, 2 – сферического, 3 – полусферического; б) диаграммы направленности для боковых элементов соответственно 1 и 3

Так же, как и фокусирующие элементы из раздела 1, эти элементы могут быть использованы как самостоятельные оконечные устройства, так и для организации соединений волокон под углом, соответствующим диаграмме направленности излучения в элементе.

### 3. ФОКОНЫ

Эти элементы позволяют изменять эффективный диаметр рабочего отрезка волокна на дистальном конце. Микролинза на торце фокона (аналогично линзам из раздела 1) позволяет изменять значение угла расходимости излучения с торца волокна и формировать выходной пучок.

К основным параметрам этих элементов следует отнести следующие:

- числовая апертура для фокона с плоским торцом - 0,6;
- числовая апертура для фокона с микролинзой порядка 0,4;
- максимальный диаметр линзы порядка 5 диаметров торца фокона;
- отношение диаметра волокна к диаметру торца 8:1;
- максимальная длина фокона 20 мм.

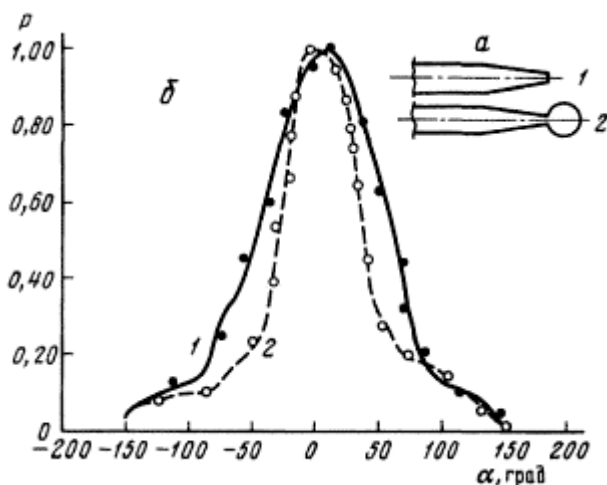


Рис. 3. а) – Фоконы: 1 – с плоским торцом, 2 – с микролинзой; б) – диаграммы направленности для фоконов соответственно 1 и 2.

Общий вид элементов и их характерные диаграммы направленности лазерного излучения см. на рис. 3.

#### 4. РАССЕЙВАТЕЛИ

Эти элементы (рис. 4, а) обеспечивают диффузное рассеивание излучения как во все стороны, так и в заданный сектор. Они могут применяться для терапевтического воздействия на облучаемую зону без возможных перфораций облучаемой ткани и для хирургического воздействия посредством фокусирующих элементов. Основные характеристики этих диффузно рассеивающих элементов следующие:

- угол отклонения излучения от 70 до 80° или от +130 до -130°,
- длина рассеивающей зоны любая.

Характерные диаграммы направленности лазерного излучения для дальней зоны представлены на рис. 4, б).

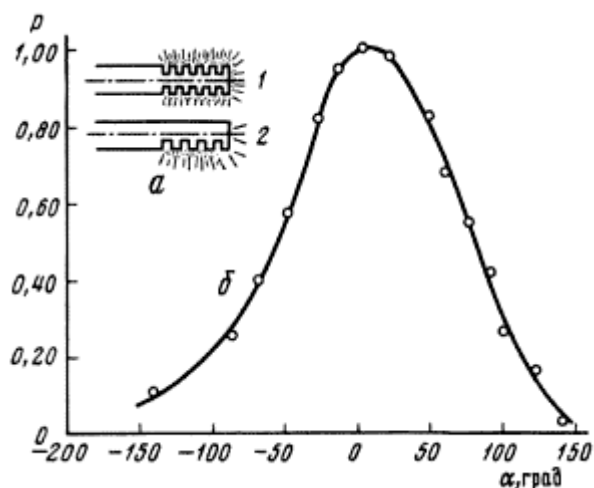


Рис. 4. а) – Рассеиватели: 1 – во все стороны, 2 – в сектор; б) – диаграммы направленности для рассеивателя во все стороны.

#### 5. ЗАЩИТНЫЕ ФОКУСИРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Данные элементы (рис. 5, а) предназначены для защиты дистального торца инструмента от агрессивных воздействий биологических жидкостей. Например, для защиты торца кварцевого волокна от взаимодействия кварца с кровью при лазерном облучении крови. Использование при этом дугового защитного элемента может обеспечить надежную защиту стенок сосудов от перфорации. Это обеспечивается за счет большой расходимости излучения после дугового линзового элемента. Наряду с этим защитные элементы также могут быть применены и для организации двухлинзовых объективов (при этом торец волокна должен быть оснащен фокусирующим элементом из раздела 1). Такая схема позволяет получать на выходе пучок с минимальной расходимостью, что с успехом может быть применено для создания лазерного волоконно-оптического инструмента.

Основные характеристики дуговых защитных элементов:

- числовая апертура 0,55,
- фокус на поверхности микролинзы;

сферических защитных элементов:

- числовая апертура 0,2-0,45,
- фокус порядка диаметра микролинзы,
- диаметр линзы до 5 наружных диаметров трубки,
- наружный диаметр трубки для обоих типов элементов до 2000 мкм.

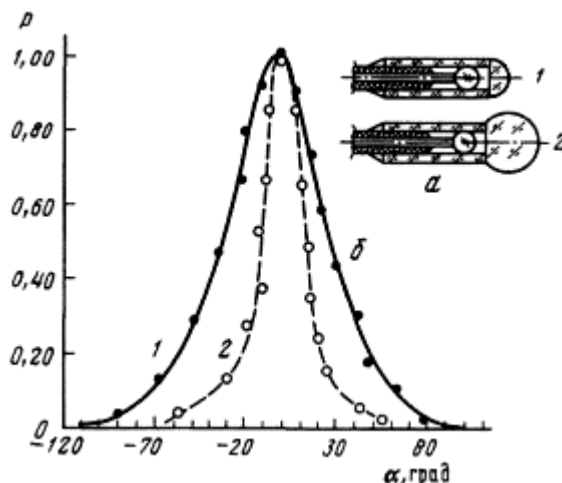


Рис. 5. а) – Защитные элементы: 1 – с дуговой линзой, 2 – со сферической линзой; б) – диаграммы направленности для защитных элементов соответственно 1 и 2

Характерные диаграммы направленности лазерного излучения для дальней зоны представлены на рис. 5.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Veiko V.P., Chuiko V.A., Kromin A.K. et al. II Proc. SPIE. 1995. V. 2383. P. 22.
2. Veiko V.P., Artjushenko V.G., Berezin Yu.D. et al. II Proc. SPIE. 1995. V. 2396. P. 19.
3. Veiko V.P., Chuiko V.A., Chulkov V.P. et al. II Proc. SPIE. 1995. V. 2383.