

## Измерение продольного распределения температуры в полимерной оболочке кварцевого волокна в условиях лазерного усиления

В.Т. Ахтямов<sup>1</sup>, Р.И. Шайдуллин<sup>1,2</sup>, И.А. Зайцев<sup>2</sup>, О.А. Рябушкин<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)<sup>2</sup>Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской Академии Наук

Оптическая мощность современных промышленных волоконных лазеров, легированных редкоземельными ионами, достигает десятков киловатт непрерывного излучения. Часть энергии оптической накачки неизбежно переходит в тепло, что приводит к значительному разогреву активного кварцевого волокна, покрытого защитной полимерной оболочкой. Тепловое разрушение полимерной оболочки - один из главных факторов, ограничивающих дальнейший рост мощности волоконных лазеров и усилителей. Так как температура разогрева активного волокна неоднородна по длине, то становится актуальной задача измерения продольного распределения температуры непосредственно защитного полимера. Существующие методы измерения температуры волокна [1], [2] позволяют измерять температуру полимерной оболочки только косвенным методом.

В работе представлен метод бесконтактного измерения продольного распределения температуры защитной полимерной оболочки активного волокна, основанный на радиочастотной импедансной спектроскопии. Активное кварцевое волокно с полимерной оболочкой помещается между двумя медными проводами, намотанными на стеклянный цилиндр и образующими двухпроводный конденсатор. Так как диэлектрическая проницаемость кварца, в отличие от полимера, слабо зависит от температуры, то изменение ёмкости конденсатора  $C(T)$  при разогреве волокна зависит в основном от температуры полимера. К конденсатору подключается катушка индуктивности  $L$ , образуя последовательный колебательный LC-контур. Резонансная частота  $R_f(T)$  такого контура определяется по формуле:

$$R_f(T) = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(T)L}}$$

Таким образом, измерение сдвига резонансной частоты колебательного контура при разогреве позволяет измерить температуру полимерной оболочки [3].

Для определения продольного распределения температуры по длине мощного волоконного лазерного усилителя различные участки активного волокна помещаются в отдельные конденсаторы. Конденсаторы присоединены к общей катушке индуктивности. Усилитель изготовлен из кварцевого волокна длиной 4 м с активной сердцевиной, легированной ионами иттербия и эрбия. Длина волны оптической накачки 960 нм, длина волны лазерного излучения 1550 нм. Коэффициент поглощения оптической накачки в сердцевине равен 3 дБ/м. Длина измеряемых участков составляла 25 см. Блок-схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

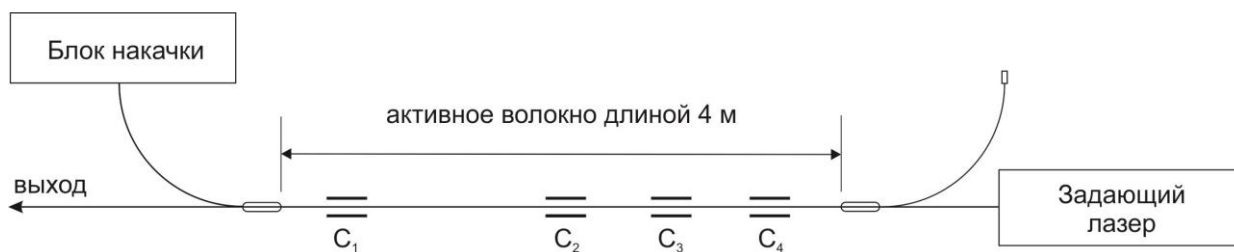


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки.

Эксперимент состоит из двух этапов. Сначала проводятся калибровочные измерения в печи-термостате, что позволяет для каждого конденсатора определить калибровочный коэффициент, связывающий сдвиг резонансной частоты с температурой разогрева волокна. Второй этап работы состоит в измерении сдвига резонансной частоты LC-контура в условиях усиления мощного лазерного излучения.

Результаты экспериментального измерения продольного распределения температуры полимерной оболочки по длине в условиях лазерного усиления представлены на рис. 2. При мощности оптической накачки 65 Вт изменение температуры полимерной оболочки по длине волокна варьируется от 112 К для самого разогретого участка усилителя до 20 К для наименее разогретого. Таким образом, представленный метод позволяет измерять продольное распределение температуры разогрева полимерной оболочки активного кварцевого волокна.

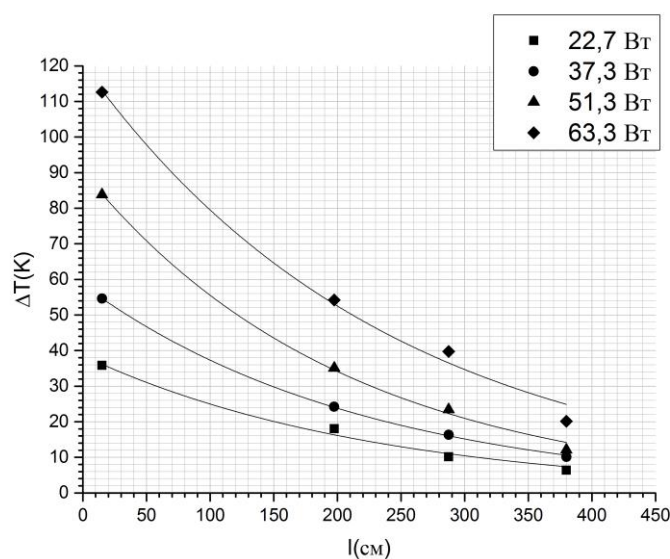


Рис. 2. Продольное распределение изменения температуры полимерной оболочки волокна для разных мощностей оптической накачки.

#### Литература

1. Гайнов В. В., Шайдуллин Р. И., Рябушкин О. А. Измерение температуры в сердцевине активных волоконных световодов в условиях лазерной генерации. – Приборы и техника эксперимента. – 2010. – №. 6.
2. Jeong Y. [et al.] Thermal characteristics of an end-pumped high-power ytterbium-sensitized erbium-doped fiber laser under natural convection. – Optics express. – 2008. – Т. 16. – №. 24. – С. 19865-19871.
3. Ryabushkin O. A., Shaidullin R. I., Zaytsev I. A. Radio-frequency spectroscopy of the active fiber heating under condition of high-power lasing generation. – Optics letters. – 2015. – Т. 40. – №. 9. – С. 1972-1975.