

УДК 53.082.64

Контактный метод измерения продольного распределения температуры полимерной оболочки активного волокна

В. Е. Сыпин^{1,2}, Н. В. Воронков², К. Ю. Прусаков^{1,2}, Д. Д. Старых^{1,2}, О. А. Рябушкин^{1,2}

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Научно-техническое объединение «ИРЭ-Полюс»

Выходная мощность современных волоконных лазеров достигает в непрерывном режиме генерации 10 кВт в случае одномодового излучения и 100 кВт в случае многомодового излучения. Увеличение мощности излучения волоконного лазера сопровождается усилением разогрева активной среды. Основной причиной нагрева активного световода является квантовый дефект – разность энергии квантов накачки и генерируемого лазерного излучения, которая преобразуется в тепловую энергию. Дополнительный разогрев волокна происходит также вследствие пассивных потерь излучения накачки и генерируемого излучения, неупругого рассеяния и различных безызлучательных процессов.

Разогрев активного волокна приводит к изменению сечений поглощения и люминесценции активных ионов, что влечет за собой изменение параметров работы лазера: уменьшение выходной мощности излучения, увеличение порога генерации [1]. Увеличение мощности лазерного излучения увеличивает разогрев активного волокна, а это приводит к изменению волноведущих свойств волокна, что влечет за собой изменение модового состава излучения, а также к деградации защитной полимерной оболочки волокна. Таким образом, температурный контроль является важной задачей для создания источников мощного лазерного излучения, а также для проведения различных температурных исследований активных волокон.

На данный момент в мировой литературе предложено несколько различных способов измерения температуры активного волокна ([2], [3]). Оригинальная методика измерения температуры полимерного покрытия активного волокна недавно была предложена в работе [4].

В настоящей работе разрабатывается новый способ измерения температуры полимера активного волокна в условиях генерации или усиления лазерного излучения. Упрощенная блок-схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

В данной работе использовался известный тип активного волокна DS CCP (Distributed Side-Coupled Cladding-Pumped), более распространенное название - GTWave волокно [5]. Вокруг полимерной оболочки активного волокна в виде отдельных отрезков намотана тонкая металлическая проволока. На рис. 1 схематично представлен участок активного волокна с проволокой, где 1а - волокно с жилой, легированной редкоземельными ионами, 1б - волокно для многомодовой накачки, 1в - полимерная оболочка, 2 - медная проволока, 3 – теплоизолирующий цилиндр для уменьшения воздействия внешней среды на участок активного волокна (на волокне намотано N отрезков проволоки), 4 - миллиметр.

Во время лазерной генерации происходит разогрев полимерной защитной оболочки активного волокна, вследствие чего происходит изменение электрического сопротивления металлической проволоки, находящейся в тепловом контакте с полимерной оболочкой. При измерении сопротивления (что легко осуществимо при помощи использования современных миллиомметров или мостовых схем) с высокой точностью определяется температура каждого отрезка проволоки.

Температура каждого отрезка проволоки используется в качестве граничных условий для модельного расчета распределения температуры в поперечном сечении кварца и полимера. Температура полимера на поверхности принимается равной температуре проволоки. Расчет проводится на базе стационарных уравнений теплопроводности с известными граничными условиями.

Таким образом в работе предложен простой и достаточно точный метод определения продольного распределения температуры вдоль активного волокна при различных уровнях оптической накачки в условиях лазерной генерации или усиления излучения

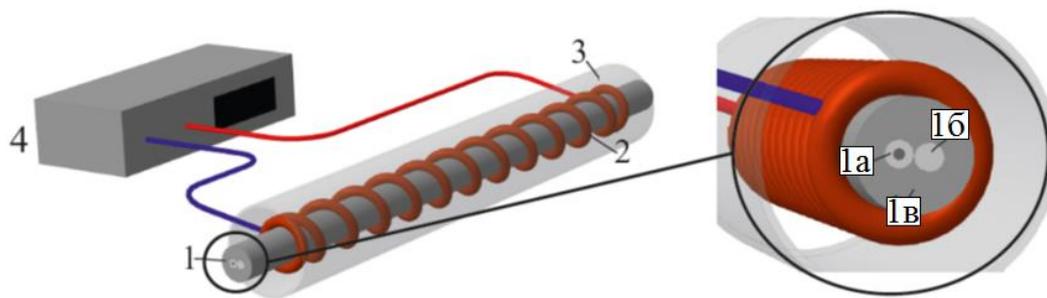


Рис. 1. Схематический участок активного волокна с металлической проволокой.

Литература

1. Brilliant N. A., Lagonik K. Thermal effects in a dual-clad ytterbium fiber laser // Optics letters. 2001. V. 26. № 21. P. 1669-1671.
2. Beier F. [et al.] Determination of Thermal Load from Core Temperature Measurements in Single Mode Ytterbium-Doped Fiber Amplifiers // Advanced Solid State Lasers. Optical Society of America. 2015. P. ATh2A. 23.
3. Jeong Y. [et al.] Thermal characteristics of an end-pumped high-power ytterbium-sensitized erbium-doped fiber laser under natural convection // Optics express. 2008. V. 16. № 24. P. 19865-19871.
4. 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. V. 40. № 9. P. 1972-1975.
5. Grudin A. B. [et al.] Multi-fibre arrangements for high power fibre lasers and amplifiers // пат. 6826335 США. 2004.