

Анализ зависимости уширения спектра усиливаемого лазерного излучения от направления ввода излучения накачки в мощных волоконных усилителях

М.Г. Слобожанина*, А.Н. Слобожанин

*ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский Научно-Исследовательский
Институт Технической Физики имени академика Е.И. Забабахина», Снежинск, Россия*

**E-mail: dep5@vniitf.ru*

DOI:10.31868/RFL.2024.158-159

При усилении узкополосного лазерного излучения в мощных волоконных усилителях, проявляется нежелательный в этом случае эффект – уширение его спектра. Экспериментально показано, что величина уширения зависит от направления ввода излучения накачки [1-3].

Теоретический анализ изменения ширины спектральной линии излучения в процессе его усиления за счет усиления спонтанного излучения (УСИ) активно изучался в конце прошлого века при рассмотрении вопроса сужения спектра люминесценции в зависимости от параметров активной среды [4-7]. Однако аналитический анализ в этом случае проводился для ситуации, когда практически все активные центры лазерной среды находятся в возбужденном состоянии, что не соответствует приближению сильной накачки, применяемому для мощных волоконных лазеров и усилителей [8,9].

В работе [10] представлен метод аналитической оценки изменения ширины спектральной линии лазерного излучения (излучения основного сигнала или сигнального излучения) в мощных волоконных усилителях, которое возникает за счет УСИ, а также приведена его верификация. В основе данного метода лежит предположение, что при рождении спонтанного излучения его мощность значительно меньше мощности основного сигнала, а уширение спектра сигнального излучения происходит за счет УСИ, рожденного группой неразличимых ионов активной примеси, на частотах близких к частоте сигнала $\nu_{ASE}^{\pm} = \nu_s \pm \Delta\nu_s/2$ и спектрально с ним разрешимых $P_{ASE}(L) = 0,5ASE(L)$ (L – длина волоконного усилителя).

При получении функции, описывающей распределения сигнального излучения вдоль длины усилителя, использовалось приближение сильной накачки [9], но в отличие от стандартного подхода [8,9], производился учет вклада доли спонтанного излучения в области ширины спектральной линии сигнала в точке $z = 0$. Данный подход не только отражает физический смысл УСИ [7], но и позволяет получить аналитическую функцию изменения мощности сигнального излучения, зависящую от z и от его ширины спектральной линии $\Delta\nu_s$. Для спонтанного излучения приближенно принято, что его усиление происходит только за счет неоднородного уширения $\Delta\nu_{ASE}$ в присутствии сильного поля (аналогично эффекту выжигания «провала» [5]). Данное уширение и определяет изменение ширины спектральной линии сигнала в процессе его усиления.

В представленной работе приводится анализ зависимостей ширины спектра сигнального излучения в $z = L$ от направления ввода излучения накачки для трех типов волоконных усилителей с идентичными активными областями,

реализованных, соответственно, на базе волокна с двойной оболочкой [11], волокна с двухэлементной первой оболочкой (или (1+1)GTWave волокна) [12] и волокна с трехэлементной первой оболочкой (или (2+1)GTWave волокна) [13]. Показано, что с точки зрения эффективного подавления процесса уширения спектра усиливаемого в волоконном усилителе лазерного излучения, для активных оптических волокон с двойной оболочкой, оптимальным является ввод излучения накачки навстречу сигнальному излучению, что согласуется с известными экспериментальными данными [1-3].

Для GTWave волокон при вводе излучения накачки только в пассивные волокна сонаправлено с сигнальным излучением в $z = 0$ излучение накачки отсутствует, поэтому принято принять в этом случае, что спектр УСИ формируется ионами активной примеси, находящимися в возбужденном состоянии в $z = Z_p$ (Z_p – максимум функции мощности накачки в активном волокне системы GTWave). Такой подход является правомерным, потому что при применении GTWave волокон для волоконно-оптических усилителей обычно используются длинные их участки, длина которых значительно больше Z_p . Результаты анализа при таком подходе представлены в данной работе. Показано, что в активных GTWave волокнах, так же как и в волокнах с двойной оболочкой более выгодным, с точки зрения эффективного подавления уширения спектра сигнального излучения, является ввод излучения накачки навстречу сигнальному излучению.

Литература

- [1] A.V. Bochkov and A.N. Slobozhanin, *Proceedings – International Conference Laser Optics 2018 (ICLO 2018)*, **8435845**, 42 (2018)
- [2] A.N. Slobozhanin, M.G. Slobozhanina, A.V. Bochkov, *2020 International Conference Laser Optics (ICLO)*, Saint Petersburg (2020)
- [3] Yu. Huang, P. Yan, Z. Wang et al, *Opt. Express*, **27**, 3136-3145 (2019)
- [4] L.W. Casperson, A. Yariv, *IEEE J. of Quant. Electron.*, **QE-8**(2), 80-85 (1972)
- [5] A. Yariv, “Quantum electronics” 2-nd ed Wiley Inc., 1975, 488
- [6] M.J. Digonnet, *J. of Lightwave technology*, **LT-4**(11), 1631-1639 (1986)
- [7] O.Svelto, *Principles of lasers* 4-th ed., Springer, 1998
- [8] I. Kelson, A.A. Hardy, *IEEE J. of Quant. Electr.*, **34**(9), 1570-1577 (1998)
- [9] M.G. Slobozhanina, N.V. Bochkova, A.V. Bochkov et al, *Technical Physics*, **67**(12), 1663-1671 (2022)
- [10] M.G. Slobozhnina, A.N. Slobozhanin, *2024 International Conference Laser Optics (ICLO)*, Saint Petersburg (2024), in press
- [11] M.G. Slobozhanina, A.V. Bochkov., A.N. Slobozhanin, *Opt. Fib. Technol.*, **63**, 102512 (2021)
- [12] Z. Huang, J. Cao, Sh. Guo et al, *Adv. Solid-State Lasers Congr. Tech. Digest*, ATu3A.27 (2013)
- [13] A.V. Bochkov, M.G. Slobozhanina, *Opt. Fib. Technol.*, **33**, 64-70 (2017)