

Волоконный ВКР-усилитель непрерывного одночастотного излучения 1650 нм ваттной мощности

А.А. Сурин^{1,*}, Я.А. Тезадов¹, В.П. Суровцева^{1,2}, Н.Д. Магницкий^{1,2}

¹НТО "ИРЭ-Полус", Фрязино

²Московский Физико-Технический Институт (ГУ), Москва

*E-mail: aSurin@ntoire-polus.ru

DOI:10.31868/RFL.2024.66-67

Несмотря на многочисленные работы по дистанционному зондированию метана в атмосфере Земли, тема разработки лидарных комплексов [1,2,3,4,5] на основе непрерывного узкополосного излучения с длиной волны 1650 нм остаётся актуальной и в наши дни. Будучи установленными на летательные аппараты, такого рода приборы существенно облегчают поиск новых газовых месторождений, а также возможные утечки газов из многочисленных трубопроводов, предотвратив техногенные катастрофы. Выходная мощность доступных на рынке DFB-лазеров и полупроводниковых усилителей не превышает 60 мВт, такая мощность позволяет проводить зондирование на расстояниях до 100 метров [4], в то время как желаемые расстояния зондирования более километра. Поэтому увеличение мощности зондирующего излучения на 1650 нм в лидаре является перспективной задачей [3]. Одним из способов получения такого излучения является усиление излучения непрерывного полупроводникового DFB-лазера в волоконном усилителе. Известные на сегодняшний день усилители на оптических волокнах, легированных редкоземельными ионами (Tm, Bi) не позволяют получить мощность излучения с длиной волны 1650 нм, превышающую 200 мВт [6,7,8], поэтому использование для этой задачи волоконных усилителей на основе эффекта вынужденного комбинационного рассеяния выглядят наиболее привлекательным [4].

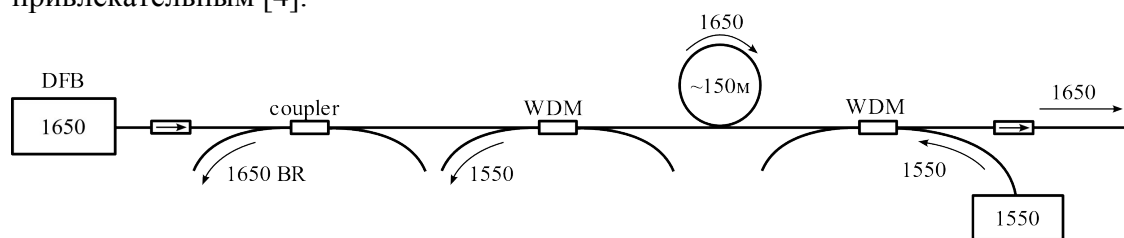


Рис.1. Оптическая схема ВКР-усилителя

Одним из факторов, ограничивающих выходную мощность волоконных усилителей узкополосных сигналов, является эффект вынужденного рассеяния Мандельштамма – Бриллюэна (ВРМБ). В волоконных ВКР-усилителях характерная длина волокна составляет сотни метров, поэтому влияние ВРМБ в них сказывается уже на малых мощностях. При подборе оптимальной длины волокна важно найти баланс между усилением сигнала и порогом возникновения ВРМБ. Одним из способов понизить порог ВРМБ – сократить длину усилителя, что приведёт к понижению эффективности усилителя, но позволит существенно поднять возможную выходную мощность усиленного сигнала, увеличив мощность накачки. На рис. 1 приведена оптическая схема усиления. В качестве задающего одночастотного источника используется полупроводниковый DFB-лазер с длиной волны 1653 nm (SBF-D653S2-110P8 производства Wuhan Shengshi Optical

Technology Co.), максимальной выходной мощностью 10 мВт и шириной полосы <1 МГц.

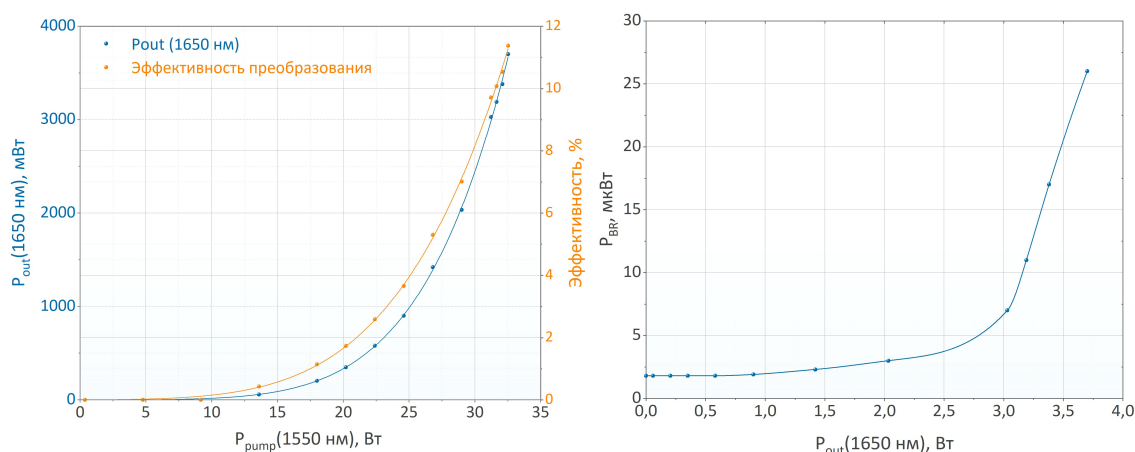


Рис. 2. Слева: Зависимость выходного сигнала (1650 нм) и эффективности преобразования от мощности накачки усилителя (1550 нм); справа: зависимость мощности распространяющегося назад сигнала от выходной мощности.

ВКР-усилитель представляет собой петлю волокна (аналог волокна OFS Raman Fiber) длиной 150 м. На входе усилителя добавлен ответвитель (0,1%) для отслеживания обратного сигнала и детектирования порога возникновения ВРМБ. Излучение накачки на 1550 нм и сигнала на 1650 нм заводится в усилитель с помощью волоконных объединителей. В качестве накачки ВКР-усилителя был использован волоконный непрерывный эрбиевый лазер собственного производства, максимальной выходной мощностью 40 Вт и длиной волны 1550 нм. В результате усиления задающего сигнала мощностью 5 мВт была получена, насколько известно авторам, рекордная выходная мощность 3.7 Вт непрерывного одночастотного сигнала на 1650 нм. Для сравнения, в работе [4] была продемонстрирована мощность усиленного сигнала на 1650 нм 1 Вт. Эффективность преобразования составила при этом более 10 % с коэффициентом усиления 28 дБ. На рис.2 (слева) показаны зависимости мощности усиленного в волокне выходного сигнала P_{out} и эффективности преобразования от мощности накачки P_{pump} усилителя. Мощность выходного излучения ограничивается появлением ВРМБ: на рис.2 (справа) показана зависимость мощности обратного сигнала P_{br} от мощности выходного излучения на 1650 нм P_{out} . Начиная с $P_{out}=3$ Вт, зависимость принимает нелинейный характер.

Авторы выражают благодарность руководству ООО НТО «ИРЭ-Полус» за поддержку данных исследований.

Литература

- [1] https://www.pergam.ru/catalog/gas_leaks/dls-avia/alma-g5.htm
- [2] A. Upadhyay and A. L. Chakraborty, in *International Conference on Fibre Optics and Photonics*, paper T2B.2. (2012)
- [3] Г.А. Акимов, и др., *Радиотехника и электроника*, 2015, 60(10). С. 1058-1061.
- [4] D. Mitchell, et al, *20th International Conference on Optical Fibre Sensors*, Edinburgh, UK (2009)
- [5] Григорьевский В.И., Тезадов Я.А. *Квантовая электроника*, 46(3), (2015)
- [6] Shaoxiang Chen, et al, *Optics Express* 27(25)
- [7] Michal Nikodem, et al, *Laser Phys. Lett.* 16 115102 (2019)
- [8] Grzegorz Gomółka, et al, *Photonics* 7(4):128 (2020)