

Бриллюэновские лазеры и сенсоры: тенденции и перспективы

А.А. Фотиади^{1,2,*}, Д.А. Коробко¹, И.О. Золотовский¹

¹Ульяновский государственный университет

²Университет г. Монс, Бельгия

*E-mail: Andrei.Fotiadi@gmail.com

DOI:10.31868/RFL.2022.198-199

В докладе приводится обзор новых средств фотоники, основанных на использовании вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) в оптических световодах. Определенное внимание уделено оригинальным схемам узкополосных малошумящих лазеров и их возможным применениям для распределенных измерений. Процесс ВРМБ в стандартных волокнах характеризуется однородной линией усиления с полосой ~ 30 МГц и обладает большим динамическим диапазоном по абсолютному усилению мощности резонансного сигнала. Верхняя граница усиления $\sim 10^{12}$ соответствует развитию ВРМБ из теплового шума при типичной пороговой мощности накачки ~ 10 мВт на километр телекомовского волокна. Такие низкие пороговые мощности и гигантское усиление делают возможным создание ВРМБ – устройств на основе стандартных полупроводниковых лазерных диодов. Однако для того, чтобы полупроводниковый лазер мог производить ВРМБ, его линия генерации должна быть предварительно сужена на несколько порядков. Простые, но эффективные методы сужения линии генерации полупроводникового лазера позволяют создавать недорогие компактные узкополосные Бриллюэновские источники, обладающие компактностью, низким уровнем фазового шума, надежностью и простотой конструкции [1-4]. За последние несколько лет нами были предложены простые решения для Бриллюэновских лазеров с шириной лоренцевской линии генерации до 500 Гц, представляющие собой полностью сварные волоконные конфигурации, объединяющие лазерный диод и несколько стандартных телекоммуникационных компонентов. Возможность одновременной генерации на двух строго привязанных друг к другу частотах делает их привлекательными для использования в качестве задающего генератора Бриллюэновского распределенного датчика температуры и напряжений [5].

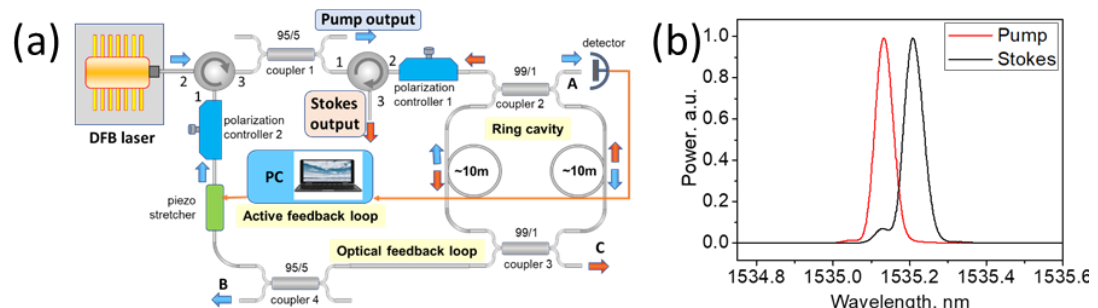


Рис. 1. (а) Экспериментальная конфигурация двухчастотного Бриллюэновского лазера; (б) Оптические спектры для двух лазерных каналов.

На Рис.1 (а) показана конфигурация двухчастотного лазера [4], производящего узкополосное излучение на двух фиксированных частотах в непрерывном режиме. Разница частот ~ 11 ГГц соответствует частоте Бриллюэновского сдвига в оптическом волокне (Рис 1(б)). Принцип работы основан на механизмах захвата полупроводниковым DFB-лазером собственной

частоты внешнего волоконного резонатора и генерации вынужденного Бриллюэновского рассеяния в самом резонаторе. Для реализации эффекта самозахвата частоты излучение полупроводникового DFB-лазера пропускается через внешний высокочастотный кольцевой резонатор, а затем через волокно обратной связи попадает обратно в резонатор DFB-лазера, навязывая ему генерацию на собственной частоте внешнего резонатора. Это приводит к сужению ширины линии генерации DFB-лазера на несколько порядков (с десятков МГц до суб кГц значений). Стабилизация лазерной генерации обеспечивается активной обратной связью через управляемую фазовую задержку. Ее работа контролируется недорогой USB-DAQ картой через пьезоактиватор, прикрепленный к волокну. Для достижения узкополосной генерации на Бриллюэновской частоте тот же волоконный кольцевой резонатор используется в качестве нелинейной среды. При этом механизм самозахвата частоты поддерживает постоянный резонанс между полупроводниковым DFB-лазером и внешним резонатором, обеспечивая идеальную накачку для Бриллюэновской генерации.

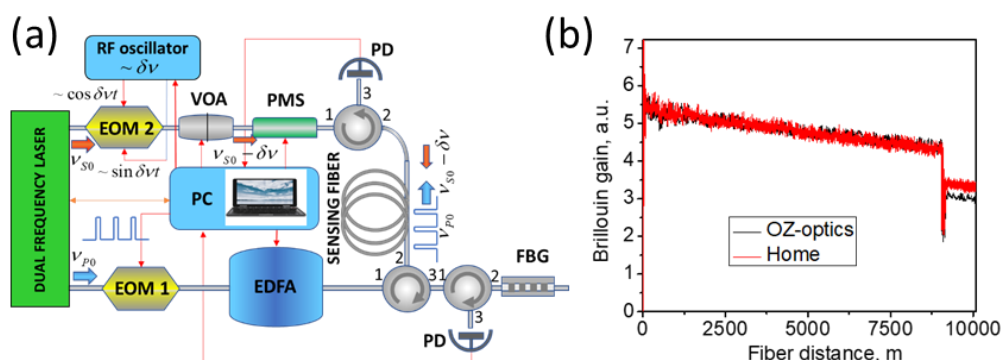


Рис. 2. (a) Схема анализатора (BOTDA) для распределенного измерения температуры и напряжения. (b) Типичные BOTDA рефлектограммы, записанные для ~9 км волокна.

На Рис.2 (a) представлена оптическая схема анализатора (BOTDA), работающего с распределенным волоконным датчиком температуры и натяжения. Схема собрана на основе Бриллюэновского лазера, показанного на Рис.1 (a). Это сравнительно недорогой источник заменяет собой наиболее затратные компоненты традиционных BOTDA систем, в частности, широкополосный электрооптический модулятор ($>12\text{GHz}$), который обычно применяется для формирования излучения на сдвинутой частоте. В представленной схеме основной сдвиг частоты (на $\sim 11\text{ GHz}$) обеспечивается самим лазером, а электрооптический модулятор используется только для дополнительной перестройки частоты в небольшом диапазоне до $\sim 1\text{ ГГц}$. На рис. 2(b) сравниваются типичные BOTDA рефлектограммы, записанные с нашим BOTDA и с коммерческим анализатором (OZ-Optics). Система позволяет осуществлять распределенные измерения температуры в 9 км отрезке сенсорного волокна с разрешением 1.5 м и точностью до $\sim 2^\circ\text{C}$. Детали ее работы и потребительские характеристики будут обсуждены в докладе.

Работа поддержана РНФ (проект 18-12-00457Р) и Министерством Высшего образования и науки РФ (проект 075-15-2021-581).

Литература

- [1] V. V. Spirin et al., Opt. Express 28, 478-484 (2020).
- [2] V. V. Spirin et al., Opt. Express 28, 37322-37333 (2020).
- [3] S. Shao et al., Optics Letters 46, 3251-3254 (2021).
- [4] V. V. Spirin et al., Optics & Laser Technology 141, 107156 (2021).
- [5] C. A. Lopez-Mercado et al., Sensors 21, 6859 (2021)