

Бриллюэновские динамические решетки: применения в волоконных лазерах и сенсорах

А.А. Фотиади

*University of Mons, Blvd. Dolez, 31, Mons, B-7000 Belgium
Ульяновский государственный университет, Ульяновск
Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, С. Петербург*

*E-mail: Andrei.Fotiadi@umons.ac.be

DOI:10.31868/RFL2018.68-69

В докладе приводится обзор новых средств фотоники, реализуемых путем использования вынужденного рассеяния Манделъштама-Бриллюэна в оптических световодах. Вынужденное рассеяние Манделъштама-Бриллюэна (ВРМБ), самый низкороговый нелинейный оптический эффект в оптических стеклах, является результатом резонансного взаимодействия между двумя встречными оптическими волнами и гипер акустической волной. Встречный характер ВРМБ приводит к особой пространственно-временной динамике процесса, которая может быть описана в терминах взаимодействия встречных оптических волн с динамическими решетками, записанными этими волнами [1]. Такие динамические структуры имеют конечное время жизни, определяемое временем релаксации гиперзвука в среде $\sim 10-15$ нс и могут обеспечивать рекордную спектральную селективность при отражении оптического сигнала, ограниченную полосой, определяемой длиной области записи. Уникальные свойства динамических решеток могут быть использованы для генерации и обработки оптических сигналов (усиления, компрессии, нелинейной фильтрации, генерации гребенчатого спектра) цельными волоконными конфигурациями, обращения волнового фронта оптического излучения, а также для целей распределенного волоконного мониторинга физических полей.

Недавно Бриллюэновские динамические решетки стали предметом огромного исследовательского интереса во всем мире благодаря тому, что они позволяют уменьшить порог генерации волоконных лазеров и сузить линию излучения, приводя, таким образом, к уменьшению фазового шума. Лазерные источники с низким уровнем фазового шума чрезвычайно востребованы для целого ряда приложений - когерентной оптической связи, спектроскопии, а в микроволновой фотонике как в качестве генератора оптического сигнала, так и в качестве элемента для его обработки. Возможность достижения узкой линии и низкой мощности порога генерации любого лазера во многом определяется параметрами резонатора, такими как свободный спектральный диапазон (FSR) и его добротность, что накладывает очень жесткие требования к конструкции лазеров, предназначенных для генерации узкополосного излучения. Использование динамических отражательных структур открывает альтернативные возможности генерации излучения с низким порогом генерации и высокой когерентностью излучения без предъявления высоких требований к волоконному лазерному резонатору, позволяет создавать конструктивно более простые и, соответственно, более дешевые конфигурации лазеров [2-5] с низким порогом и рекордно низкой полосой генерации (< 100 Гц) для использования в системах связи, метрологии, мониторинга и микроволновой фотоники.

Особое внимание в докладе будет уделено новым методам распределенного измерения физических полей. В коммерческих датчиках (так называемые Бриллюэновские анализаторы, или BOTDA) реализованы способы

распределенного мониторинга температуры и продольного натяжения, основанные на измерении частоты Бриллюэновского сдвига [5]. Этот же способ иногда используется для мониторинга статического давления. Для этого в качестве сенсорного волокна используется волокно с сохранением поляризации, а давление определяется по изменению двулучепреломления волокна, измеряемого через разность частот ВРМБ сдвигов для двух разных поляризаций [6]. Однако этот способ имеет точность, недостаточную для большинства потенциальных применений.

Альтернативное решение основано на использовании Бриллюэновских динамических решеток [7, 8]. Суть метода заключается в записи Бриллюэновской динамической решетки оптическим излучением одной поляризации и считывания этой информации оптическим излучением в другой поляризации волокна. Для этого в качестве сенсорного волокна используются стандартные волокна с сохранением поляризации, а измеряемые физические параметры определяются по положению резонанса отражения зондирующей оптической волны от записанной динамической решетки. В докладе представлены результаты тестирования волоконного распределенного датчика на основе стандартного световода с сохранением поляризации (Panda), обеспечивающего распределенное измерение статического давления в диапазоне до 80 МПа (ООО "УВП", Сколково). В тестовом эксперименте участок сенсорного световода помещался в термостабилизированную (25 °С) барокамеру (на основе стальной трубы). Достигнуты рекордные для всех известных волоконных систем характеристики распределенного изменения статического давления, в частности, по совокупности таких параметров как абсолютная точность измерений (~0.5 атм), динамический диапазон измерений (0 - 800 атм), пространственное разрешение (<0.5 м), длина измерений (>500 м). Кроме того, продемонстрирована рекордно высокая чувствительность метода при измерении температуры, которая на 2 порядка выше, чем в стандартных Бриллюэновских анализаторах.

Новые физические механизмы, рассмотренные в докладе, направлены на развитие перспективных технологий, которые, несомненно, будут востребованы инженерами мировой оптоэлектроники в ближайшем будущем. Work is supported by Ministry of Education and Science of the Russian Federation (14.Z50.31.0015), Skolkovo Foundation (2015), Russian Science Foundation (16-32-60109 mol_a_dk, 18-12-00457), Leverhulme Trust (UK, Visiting Professorship, VP2-2016-042).

Литература

- [1] A. A. Fotiadi, R. V. Kiyani, and A. Kuzin, "SBS induced hypersound dynamic grating in multimode optical fibers: phase conjugation specific features," in Conference Proceedings. LEOS '97. 10th Annual Meeting IEEE Lasers and Electro-Optics Society 1997 Annual Meeting (IEEE, n.d.).
- [2] V.V. Spirin, P. Mégret, A.A. Fotiadi, "Chapter 5. Passively Stabilized Doubly-Resonant Brillouin Fiber Lasers." In *Fiber Laser*, Ed. by M.C. Paul, 438 pages, InTech, 2016
- [3] S. M. Popov et al., *Results in Physics* **9**, 806–808 (2018)
- [4] S. M. Popov et al., *Results in Physics* **9**, 625–627 (2018).
- [5] X. Bao and Liang Chen, *Photonic Sensors* **1**, 102 (2011).
- [6] Wang J. (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
- [7] Патент РФ, WO2014171859A1, 2014
- [8] Kim, Y. H., Kwon, H., Kim, J., & Song, K. Y., *Optics Express* **24**(19), 21399 (2016).