

**Использование высокоплотных упорядоченных одностенных углеродных нанотрубок в качестве насыщающегося поглотителя с эффектом высокочастотного фильтра в волоконных лазерах ультракоротких импульсов**

**Плитарак М.С.** (МГТУ им. Н.Э. Баумана), **Орехов И.О.** (МГТУ им. Н.Э. Баумана),

**Аверкиева У.С.** (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

**Научный руководитель – кандидат технических наук Сазонкин С.Г.**

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

**Введение.** Волоконные лазеры ультракоротких импульсов (УКИ) в настоящее время являются широко распространенным инструментом для большого числа высокотехнологичных задач в различных областях производства, науки и медицины благодаря их ключевым преимуществам, таким как надежность высокая пиковая мощность излучения и стабильность выходных характеристик [1]. Особенно акцентируется на сегодняшний день, важность повышения стабильности амплитудно-частотных характеристик генерации. Стоит отметить, что большинство шумовых процессов хорошо изучено научными группами, и разработаны различные методы их минимизации [2]. Широко известно, что амплитудная стабильность, представленная уровнем относительного шума интенсивности (RIN), является ключевым параметром для оценки стабильности волоконного лазера УКИ, в связи с этим снижение уровня RIN является активным направлением исследований, особенно в аналого-цифровых устройствах и оптической связи [3]. Кроме того, снижение RIN гарантирует низкий уровень других шумов, таких как временной джиттер и шум частотных компонент в спектре излучения.

**Основная часть.**

Для проведения исследований влияния насыщающегося поглотителя на основе высокоплотных углеродных нанотрубок на стабильность амплитудно-частотных характеристик генерации в волоконных лазерах УКИ была разработана экспериментальная установка, представляющая собой волоконный фемтосекундный эрбиевый лазер. Разработанная схема лазерного источника обеспечивает возможность работы в режиме синхронизации мод на основе двух механизмов. В первом случае режим синхронизации мод достигался за счет использования эффекта нелинейной эволюции поляризации (НЭП). В этом случае использовались два контроллера поляризации и изолятор-поляризатор для достижения эффекта НЭП. Во втором случае в резонатор лазера дополнительно вводилась пленка на основе высокоплотных упорядоченных одностенных углеродных нанотрубок, которая играла роль медленного насыщающегося поглотителя [4].

При исследовании стабильности амплитудно-частотных характеристик режимов генерации, получаемых при разных конфигурациях резонатора, было получено, что введение в резонатор модуля, содержащего пленку насыщающегося поглотителя на основе углеродных наноструктур высокой плотности, повышает отношение сигнал/шум на 3,7 дБ. Также следует отметить, что в диапазоне частот от 10 кГц до 1 МГц максимальный уровень RIN во втором случае был ниже. Этот факт является прямым доказательством того, что насыщающийся поглотитель на основе углеродных наноструктур является также высокочастотным фильтром, отсекающим шумовые компоненты, связанные с шумами излучения накачки и усиленного спонтанного излучения. Благодаря этому данный материал может быть использована для создания полевых транзисторов в низкочастотных схемах, где требуется высокая стабильность тока, а также для создания нового класса стабильных полупроводниковых лазеров [5].

**Выводы.** Предложен и исследован способ снижения относительного уровня шума в волоконных лазерах ультракоротких импульсов. Экспериментально продемонстрировано,

что естественные насыщающиеся поглотители на основе высокоплотных упорядоченных одностенных углеродных нанотрубок могут служить в качестве высокочастотного спектрального фильтра в фемтосекундных волоконных лазерах.

#### **Благодарности**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-19-00700, <https://rscf.ru/project/23-19-00700/>.

#### **Список использованных источников:**

1. Yang, J.; il Lee, D.; Shin, D.-C.; Lee, J.; Kim, B. S.; Kang, H. J.; Kim, Y.-J.; Kim, S.-W. Frequency Comb-to-Comb Stabilization over a 1.3-Km Free-Space Atmospheric Optical Link. *Light Sci Appl* 2022, 11 (1), 253. <https://doi.org/10.1038/s41377-022-00940-3>.
2. Kim, J.; Song, Y. Ultralow-Noise Mode-Locked Fiber Lasers and Frequency Combs: Principles, Status, and Applications. *Adv Opt Photonics* 2016, 8 (3), 465. <https://doi.org/10.1364/aop.8.000465>.
3. Valley, G.C. Photonic analog-to-digital converters. *Opt Express* 2007, 15 5, 1955-82.
4. Dvoretzkiy, D. A.; Sazonkin, S. G.; Orekhov, I. O.; Kudelin, I. S.; Denisov, L. K.; Karasik, V. E.; Agafonov, V. N.; Khabashesku, V. N.; Davydov, V. A. Femtosecond Er-Doped All-Fiber Laser with High-Density Well-Aligned Carbon-Nanotube-Based Thin-Film Saturable Absorber. *Nanomaterials* 2022, 12 (21), 3864. <https://doi.org/10.3390/nano12213864>.
5. Chernysheva, M.; Rozhin, A.; Fedotov, Y.; Mou, C.; Arif, R.; Kobtsev, S. M.; Dianov, E. M.; Turitsyn, S. K. Carbon Nanotubes for Ultrafast Fibre Lasers. *Nanophotonics* 2017, pp 1–30. <https://doi.org/10.1515/nanoph-2015-0156>.