

Фемтосекундная лазерная запись отражательных структур с помощью пространственного модулятора света

А.В. Достовалов¹, Ж.Э. Мункуева^{1,2,*}, Е.В. Голиков¹,
А.Ю. Кохановский³, С.А. Бабин¹

¹ Институт автоматики и электрометрии СО РАН

² Новосибирский государственный университет

³ Физико-технический мегафакультет, университет ИТМО

* E-mail: z.e.munkueva@gmail.com

DOI:10.31868/RFL.2024.117-118

Фемтосекундная лазерная модификация прозрачных материалов становится универсальным инструментом для создания в оптических волокнах отражательных структур с различными спектральными характеристиками и геометрией (волоконные длиннопериодные [1] и брэгговские решетки (ВБР) [2], распределенные случайные отражатели [3]). Фемтосекундная лазерная технология позволяет записывать структуры в нефоточувствительных волокнах через пластиковые покрытия и обеспечивает модификацию показателя преломления стабильную при высоких температурах (до 1000°C) [4]. Методика прямой поточечной записи [5] позволяет формировать 2D и 3D структуры показателя преломления внутри сердцевины многомодовых (ММ) волокон, что для лазерных применений дает возможность селективировать фундаментальную моду или поперечные моды более высокого порядка.

Применение адаптивной оптики расширяет возможности прямой фемтосекундной лазерной записи и обеспечивает модуляцию фазы, амплитуды и поляризации излучения, используемого в процессе записи [6]. В частности, применение пространственного модулятора света позволяет реализовать методику поточечной записи путем сканирования фокусного пятна в статическом волокне вместо перемещения волокна при статичном положении фокусного пятна [7]. В последнем случае, используемом при прямой поточечной записи, для обеспечения высокой регулярности структур требуется использование дорогостоящих высокоточных линейных платформ позиционирования, которые при этом имеют ограниченную повторяемость (>50 нм), что не позволяет осуществить многопроходную запись структуры для повышения коэффициента отражения. Однако адаптивная оптика может преодолеть указанные трудности благодаря перемещению фокусного пятна внутри статического волокна.

В данной работе представлены результаты по записи отражательных структур в сердцевине статического волокна с помощью пространственного модулятора света. Показана возможность многопроходной записи однородной ВБР в одномодовом волокне SMF-28, при котором высокая пространственная когерентность записанных структур, позволяет увеличить изменение показателя преломления модифицированной области и, следовательно, общий коэффициент отражения ВБР. Воздействие N (1, 2 и 3) фемтосекундных импульсов при записи одиночного «штриха» решетки увеличивает изменение показателя преломления, что приводит к увеличению коэффициента отражения ВБР с -22,4 до -16,2 дБ при $N=2$, и до -15,1 дБ при $N=3$. При этом изменение показателя преломления составляет 2×10^{-4} для первого прохода и увеличивается до $4,1 \times 10^{-4}$ и $4,6 \times 10^{-4}$ для второго и третьего проходов, соответственно. Дальнейшее увеличение числа лазерных импульсов не приводит к увеличению изменения показателя

преломления из-за насыщения изменения показателя преломления при многоимпульсном воздействии.

Кроме того, продемонстрирована запись различных типов ВБР (однородные, со сдвигом по фазе и аподизированные) в одномодовом волокне SMF-28. Также представлены результаты по записи ВБР, записанных в ММ волокно, с различными поперечными сечениями: (1) сканирование сердцевин с шириной 10 мкм («Line-by-Line») (см. Рис. 1а) и (2) кольцевидное поперечное сечение диаметром 20 мкм (см. Рис. 1б). На Рис. 1в, г приведены спектры отражения записанных ВБР. Помимо этого, методика записи с использованием пространственного модулятора света позволила создать в ММ волокне распределенные случайные отражатели с кольцевидным поперечным сечением. Случайная вариация расстояния между кольцами и диаметров колец в пределах 0,5 мкм и 20 мкм, соответственно, позволила получить широкополосный спектр отражения в диапазоне 88 нм. Коэффициент отражения записанных кольцевидных случайных отражателей составил 0,03%, что впервые позволило получить кольцевидный выходной пучок низкопорогового лазера со случайной распределенной обратной связью на основе ММ волокна с записанными кольцевидными случайными отражателями.

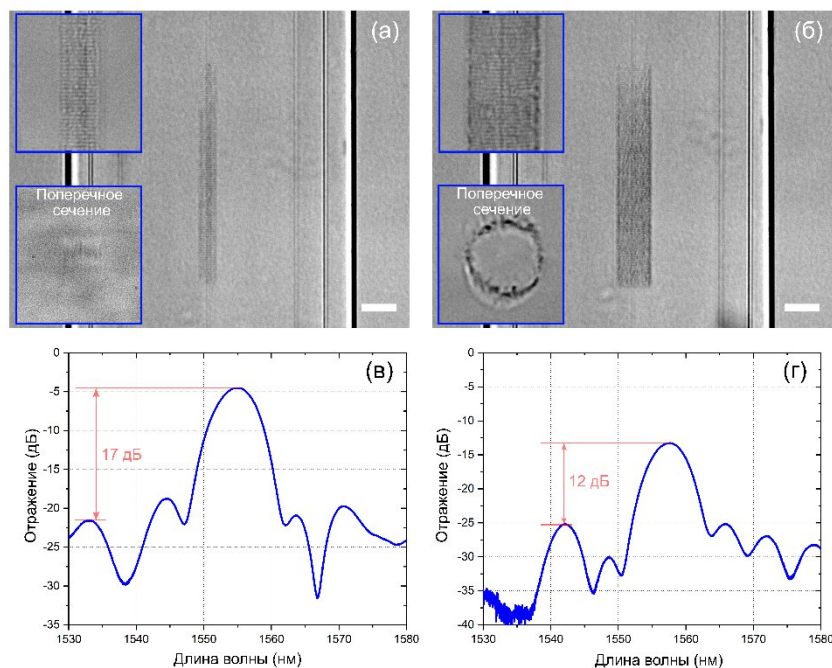


Рис. 1. Полученные с помощью микроскопа изображения ВБР, записанных в ММ волокно, с различными поперечными сечениями: сканирование сердцевин с шириной 10 мкм (а) и кольцевидное поперечное сечение диаметром 20 мкм (б); соответствующие спектры отражения ВБР (в) и (г). Размер шкалы составляет 20 мкм.

Работа выполнена при поддержке РНФ (№21-72-30024).

Литература

- [1] K. A. Zagorul'ko, P. G. Kryukov, Y. V. Larionov, et al., *Quantum Electron.* **31**, 999 (2001).
- [2] S. J. Mihailov, C. W. Smelser, P. Lu, et al., *Opt. Lett.* **28**, 995 (2003).
- [3] A. V. Dostovalov, A. A. Wolf, Z. E. Munkueva, et al., *Opt. Laser Technol.* **167**, 109692 (2023).
- [4] D. Grobncic, C. W. Smelser, S. J. Mihailov, et al., *Meas. Sci. Technol.* **17**, 1009 (2006).
- [5] A. V. Dostovalov, A. A. Wolf, A. V. Parygin, et al., *Opt. Express* **24**, 16232 (2016).
- [6] P. S. Salter and M. J. Booth, *Light: Sci. Appl.* **8**, 110 (2019).
- [7] A. Dostovalov, A. Kokhanovskiy, E. Golikov, et al., *Opt. Lett.* **49**, 1077-1080 (2024).