

Волоконные брэгговские решетки, записанные излучением фемтосекундного лазера: технология, свойства, перспективы

О.В. Бутов, Д.В. Пржиялковский, А.С. Шикин А.И. Лопунов

Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН

** E-mail: obutov@mail.ru*

DOI:10.31868/RFL.2024.230-231

Волоконные брэгговские решетки (ВБР) находят широкое применение в качестве узкополосных спектральных фильтров, датчиков физических величин, дисперсионных волоконных элементов, а также зеркал волоконных лазеров. До недавнего времени основной технологией создания ВБР была запись структуры решетки с помощью излучения лазеров ультрафиолетового диапазона. Однако в последнее время активное развитие получают технологии записи ВБР с помощью импульсов фемтосекундных лазеров. Такое технологическое решение имеет ряд преимуществ, среди которых возможность записи решеток в нефоточувствительных волокнах, возможность формирования сложных брэгговских структур, включая аподизированные, chirпированные решетки [1] и решетки с фазовым сдвигом [2] без необходимости использования дорогостоящих фазовых масок, возможность записи решеток без снятия защитного полимерного покрытия, высокая термическая стойкость получаемых ВБР [3].

Методы записи ВБР с помощью лазеров ультракоротких импульсов могут быть разделены на методы прямой записи (поточечная или поштриховая запись) и методы с применением интерферометров и фазовых масок. Наибольший интерес, благодаря гибкости технологии, представляет первая группа методов. Такая запись, как правило, осуществляется сфокусированным излучением фемтосекундного лазера видимого или ИК-диапазона в движущемся по заданной траектории оптическом волокне. Движение волокна обеспечивается прецизионными позиционерами. Структура ВБР формируется фотоиндуцированными точечными дефектами, запись которых осуществляется благодаря многофотонному поглощению в точке фокуса излучения. Период решетки, а также форма ее профиля контролируется путем управления скоростью и направлением движения волокна относительно лазерного луча, а также частотой следования лазерных импульсов.

При всех преимуществах технология прямой записи имеет и недостатки, среди которых низкая воспроизводимость решеток по уровню отражения. Как было отмечено выше, формирование структурного элемента решетки (фотоиндуцированного дефекта) происходит за один импульс благодаря многофотонным процессам. Очевидно, что за счет многофотонных процессов даже минимальные, неизбежные флуктуации энергии импульса приводят к существенным отклонениям в параметрах индуцированных дефектов. В отличие от решеток, записываемых с помощью интерферометров или фазовых масок, где облучение световода производится равномерным пучком, а контраст решетки определяется временем экспозиции и может хорошо контролироваться в процессе записи, в методах прямой записи решетка может получаться неравномерной по длине, а результирующий уровень ее отражения трудно поддается контролю.

Для решения данной проблемы в работе [4] был предложен оригинальный метод многопроходной поточечной записи ВБР, который удалось реализовать

благодаря высокоточной синхронизации работы лазера и нанопозиционеров, обеспечивающих перемещение волокна. Таким образом, реализуется возможность контроля процесса записи брэгговских решеток, а путем изменения количества итераций записи и возможности подстройки энергии импульсов лазерного излучения от прохода к проходу может быть обеспечена воспроизводимость силы решетки со сколь угодно высокой, наперед заданной, точностью. Так, например, такой контроль особенно важен при записи массивов слабых брэгговских решеток, которые используются в распределенных сенсорных системах на основе когерентных рефлектометров [5]. На рисунке 1 представлены спектры отражения коротких (длиной 0,1 мм) брэгговских решеток, записанных в один проход (рис. 1а) и в режиме многопроходной записи (рис. 1б). Как видно из графиков, отражения решеток во втором случае практически полностью совпадают. На рисунке 2 представлена рефлектограмма линии со слабыми ВБР, изготовленной для когерентных сенсорных систем. Можно заметить, что разброс в уровне отражения всех ВБР в линии не превышает 0,5 дБ.

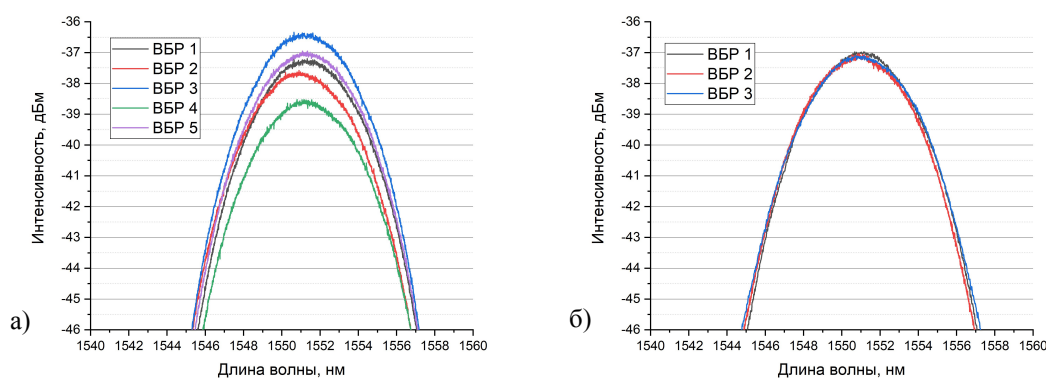


Рис. 1. Спектры отражения ВБР записанных в один проход (а) и в многопроходном режиме (б).

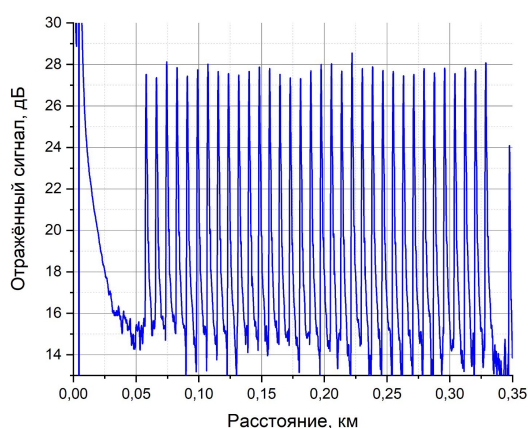


Рис. 2. Рефлектограмма линии со слабыми брэгговскими решетками.

Работа выполнена в рамках государственного задания.

Литература

- [1] I. Ulyanov, D.V. Przhiiialkovskii, O.V. Butov, *Res. Phys.*, **32**, 105101 (2022)
- [2] A. Wolf, A. Dostovalov et al, *Opt. Laser Technol.*, **101**, 202-207 (2018)
- [3] D. Grobnc, C.W. Smelser et al, *Meas. Sci. Technol.*, **17**, 1009-1013 (2006)
- [4] D.V. Przhiiialkovskii, O.V. Butov, *Res. Phys.* **30**, 104902 (2021)
- [5] K.V. Stepanov, A.A. Zhirnov et al, *Sensors*, **20**, 6431 (2020)