

УДК 531.715.2

**Ю.А. Конин^{1,3}, В.А. Щербакова^{2,3},
Е.В. Мошева³, А.Ю. Петухова^{2,3}**

¹Национальный исследовательский университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия

²Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, г. Пермь, Россия

³Пермская научно-производственная
приборостроительная компания, г. Пермь, Россия

ОПТИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ РАЗРЯДА В ВОЛОКНЕ С ГРАДИЕНТНЫМ ПОКАЗАТЕЛЕМ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Исследован процесс распространения оптического разряда в оптоволокне. Предложен метод измерения скорости распространения оптического разряда по оптоволокну. Описан способ замедления скорости распространения оптического разряда в градиентном волокне. Была получена зависимость скорости распространения оптического разряда от мощности и пути распространения в оптоволокне.

Ключевые слова: оптическое волокно, скорость распространения оптического разряда, оптический пробой.

**Yu.A. Konin^{1,3}, V.A. Scherbackova^{2,3},
E.V. Mosheva³, A.Yu. Petukhova^{2,3}**

¹ITMO University, St. Petersburg, Russia

²Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

³Perm Research and Production Instrument-Making
Company "PNPPK", Perm, Russia

OPTICAL MEASUREMENT OF DISCHARGE RATE IN A FIBER WITH A GRADIENT REFRACTIVE INDEX

In this paper we study optical discharge propagation process in optical fiber. A method for measuring the optical discharge propagation velocity through a fiber is proposed. In this work, we studied a method for slowing the optical discharge propagation velocity in a gradient fiber. As a result, it was shown that the optical discharge propagation velocity depends on the power and propagation path in the fiber.

Keywords: optical fiber, optical discharge propagation velocity, optical breakdown.

Введение

Явление разрушения оптического волокна под действием лазерного излучения называется катастрофическим разрушением (catastrophic damage) или эффектом плавления (fuse-effect) [1]. Это явление начинается с оптического пробоя. Оптический пробой возникает при оптических мощ-

ностях выше критических и представляет собой яркую бело-голубую вспышку, которая возникает на торце волокна и начинает распространяться навстречу лазерному излучению [2, 3]. Сердцевина оптического волокна переплавляется плазменным образованием, которое оставляет за собой периодическую структуру из микропузырей. Это явление может вызывать критические повреждения в лазерах и оптических сетях или использоваться для создания новых устройств [4].

Настоящая работа посвящена исследованию эффекта оптического пробоя в оптическом волокне, а также методам замедления скорости оптического пробоя.

Методика эксперимента

Для измерения скорости распространения оптического разряда по волокну был собран экспериментальный стенд. Стенд состоит из иттербиевого лазера с длиной волны 1080 нм [5,6] и высокоскоростной камеры телефона Xiaomi Mi Max 3 с частотой съемки 120 к/с. Исследуемое многомодовое градиентное волокно GIMM 62.5/125 приваривается к выходу. Выходная оптическая мощность лазера была зафиксирована на 4 Вт. Инициация оптического пробоя происходит посредством контакта металлического предмета (стриппера) с очищенным концом волокна. Далее фиксируется движение искры в сторону лазерного диода на высокочастотную камеру. В каждом опыте происходило смещение оси привариваемого волокна от оси волокна лазера на шаг 10 мкм в диапазоне от 0 до 30 мкм.

Схема экспериментального стенда для измерения скорости распространения оптического разряда по волокну показана на рис. 1.

Чтобы осуществить замедление скорости оптического разряда, мы увеличивали траекторию лазерного луча в волокне. Для этого выходное волокно лазера приваривалось к испытываемому волокну с различными смещениями.

Как видно на рис. 2, при нулевом смещении луч распространялся по оси волокна и имел самую короткую траекторию, при увеличении смещения длина пути соответственно увеличивалась.

Результаты эксперимента

В ходе эксперимента фиксировался процесс распространения оптического разряда на высокоскоростную камеру (рис. 3). Далее производились раскадровка видео и подсчет скорости распространения.

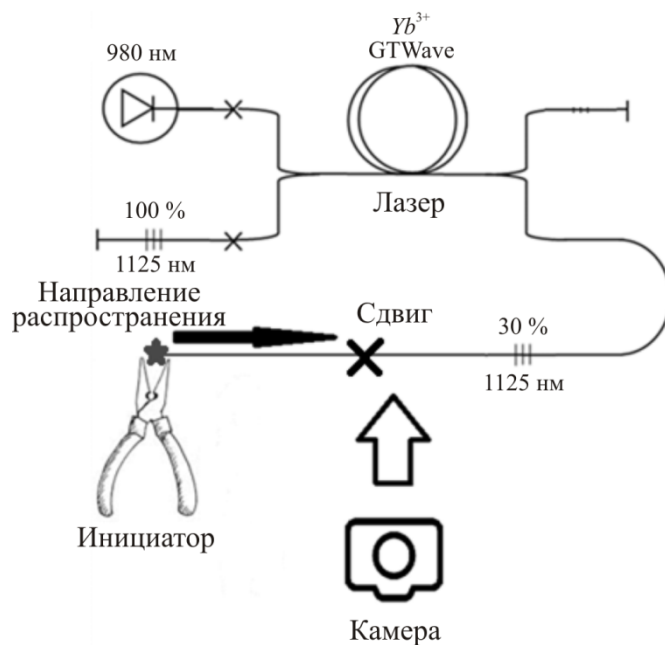


Рис. 1. Экспериментальный стенд для измерения скорости распространения оптического разряда

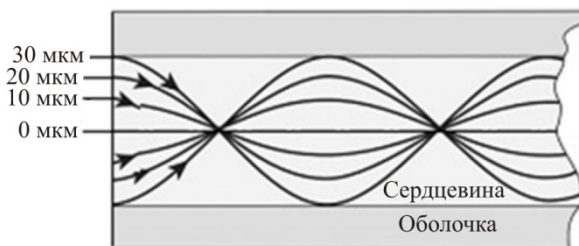


Рис. 2. Схема распространения лазерных лучей в градиентном волокне

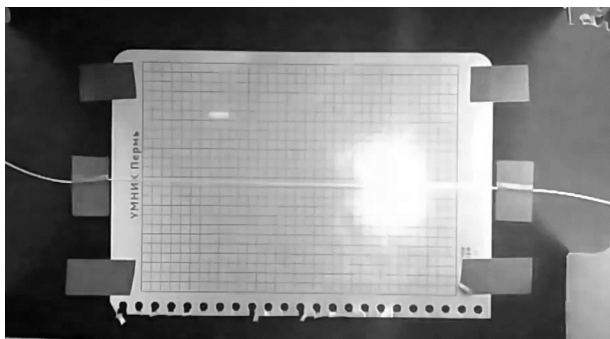


Рис. 3. Оптический разряд, зафиксированный на камеру

Далее показаны скорости распространения разряда при различных смещениях. Видно, что наибольшая скорость распространения искры происходит при смещении осей свариваемых волокон, равном 0. При увеличении смещения происходит изменение траектории оптической искры с прямолинейной на криволинейную и, соответственно, увеличение длины траектории разряда. Из-за малых поперечных размеров волокна внешний наблюдатель фиксирует только продольное движение разряда, это выражается в снижении скорости разряда.

Скорость оптического разряда при различных смещениях

S , мкм	v , м/с
0	0,97
10	0,7
20	0,58
30	0,0069

При смещении в 30 мкм происходит сильное замедление оптического разряда. При этом волокно начинает полностью разрушаться и сгорает полимерная оболочка.

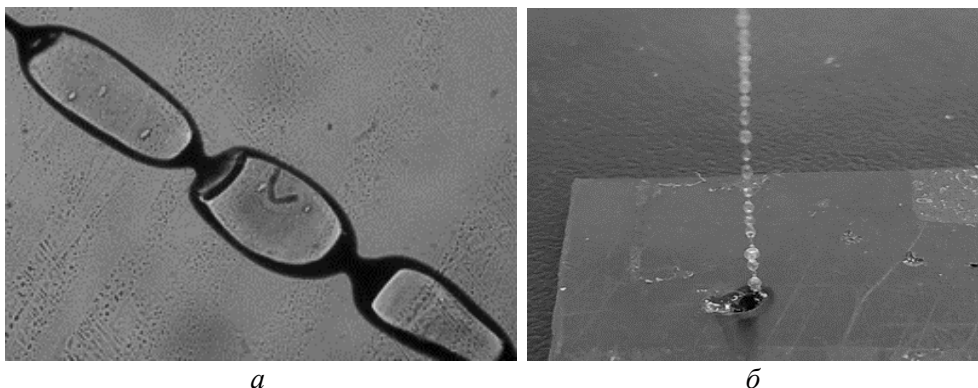


Рис. 4. Поврежденное оптическим разрядом волокно при смещении 30 мкм, где *a* – микроскопическое изображение волокна, *б* – фотография поврежденного волокна

Заключение

Для создателей волоконных лазеров и мощных оптических систем очень важным является изучение явления плавления волокна (fuse-effect). Этот эффект может приводить к полному выгоранию оп-

тических схем, поэтому его необходимо учитывать и закладывать предел прочности в разрабатываемую оптическую систему. В настоящей работе показаны возможность создания оптического пробоя и метод замедления скорости распространения оптического пробоя по волокну.

В ходе исследования разработан и собран специальный макет для исследования скоростей распространения оптического пробоя по волокну. При проведении экспериментов были исследованы методы замедления оптического пробоя в градиентных волокнах.

В результате исследования было показано, что можно замедлять скорость оптической искры до 0,69 см/с.

Список литературы

1. Bufetov I.A., Dianov E.M. Optical discharge in optical fibers // UFN. – 2005. – 175: 1. – P. 100–103; Phys. Usp. – 2005. – 48: 1. – P. 91–94.
2. Kashyap R. Self-propelled self-focusing damage in optical fibers // Proc. Xth Inter. Conf. on Lasers. – P. 859–866, Lake Tahoe, Nevada, USA, 7-11 Dec. 1987; Kashyap R., Blow K.J. Self-propelled self-focusing damage in optical fibers // Electronics Lett. – 1988. – 24(1). – P. 47–49.
3. Hand D.P., Russell P.S.J. Solitary thermal shock waves and optical damage in optical fibers: the fiber fuse // Opt. Lett. – 1988. – 13(9). – P. 767–769.
4. Optical Fiber Microcavity Strain Sensors Produced by the Catastrophic Fuse Effect / P. Antunes, M. Domingues, N. Alberto, P. André // IEEE Photon Technol. Lett. – 2014. – 26 (1). – P. 78–81.
5. Fuse effect investigation in optical fiber for creation optical sensor structure / V.A. Shcherbakova, S.S. Starikov, Y.A. Konin, A.I. Garanin, D.I. Nurmuhametov // Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). – 2019. – P. 914–916. DOI: 10.1109/EIConRus.2019.8657220
6. Research the thermal sensitivity of a fiber optic sensor created with the catastrophic fuse / Y.A. Konin, A.I. Garanin, D.I. Nurmuhametov, S.F. Turin, V.A. Shcherbakova // Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). – 2019. – P. 897–900. DOI: 10.1109/EIConRus.2019.8656714.

References

1. Bufetov I.A., Dianov E.M. Optical discharge in optical fibers. *UFN*, 175: 1 (2005), pp. 100-103; *Phys. Usp.* 48: 1 (2005), pp. 91-94.
2. Kashyap R. Self-propelled self-focusing damage in optical fibers. *Proc. Xth Inter. Conf. on Lasers*, pp. 859-866, Lake Tahoe, Nevada, USA, 7-11 Dec. 1987; Kashyap R., Blow K.J. Self-propelled self-focusing damage in optical fibers. *Electronics, Lett.*, 1988, 24(1), pp. 47-49.
3. Hand D.P., Russell P.S.J. Solitary thermal shock waves and optical damage in optical fibers: the fiber fuse. *Opt. Lett.*, 1988, 13(9), pp. 767-769.
4. Antunes P., Domingues M., Alberto N., André P. Optical Fiber Microcavity Strain Sensors Produced by the Catastrophic Fuse Effect. *IEEE Photon Technol Lett.*, 2014, 26(1), pp. 78-81.
5. Shcherbakova V.A., Starikov S.S., Konin Y.A., Garanin A.I., Nurmuhametov D.I. Fuse effect investigation in optical fiber for creation optical sensor structure. *Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus)*, 2019, pp. 914-916. DOI: 10.1109/ElConRus.2019.8657220
6. Konin Y.A., Garanin A.I., Nurmuhametov D.I., Turin S.F., Shcherbakova V.A. Research the thermal sensitivity of a fiber optic sensor created with the catastrophic fuse. *Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus)*, 2019, pp. 897-900. DOI: 10.1109/ElConRus.2019.8656714

Получено 20.11.2020