

06.4;09.5

## Влияние механической вибрации на оптические свойства инфракрасных световодов состава $\text{AgCl}-\text{AgBr}$

© А.С. Шмыгалев, А. Тураби, Д.А. Васильева, Б.П. Жилкин, Л.В. Жукова

Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия  
E-mail: a.s.shmygalev@urfu.ru

Поступило в Редакцию 27 августа 2019 г.  
В окончательной редакции 27 августа 2019 г.  
Принято к публикации 7 февраля 2020 г.

Исследовано влияние механической вибрации на оптическое пропускание инфракрасных световодов составов  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$  и  $\text{AgCl}_{0.5}\text{Br}_{0.5}$  в течение 30 ч. Показано, что вибрационное воздействие на световоды приводит к снижению их пропускания. Обнаружен селективный характер пропускания инфракрасных световодов в диапазонах длин волн 2.0–4.0 и 6.0–9.0  $\mu\text{m}$ .

**Ключевые слова:** инфракрасные световоды, твердые растворы галогенидов серебра, оптическое пропускание, механические вибрации.

DOI: 10.21883/PJTF.2020.09.49365.18020

Волоконно-оптические кабели являются наиболее современными, быстрыми и помехозащищенными каналами передачи информационного сигнала. В последние годы ввиду достаточной изученности и наличия материальной базы передача информации в диапазоне длин волн 0.2–2.0  $\mu\text{m}$  по кварцевым и полимерным волокнам получила широкое распространение. Вместе с тем передача данных в среднем и дальнем инфракрасных (ИК) диапазонах по-прежнему остается актуальной задачей. Среди инфракрасных материалов, наиболее перспективными являются монокристаллы на основе твердых растворов галогенидов серебра [1]. Эти кристаллы обладают набором ценных свойств [2], из которых технологически важным является возможность изготовления из них методом экструзии инфракрасных световодов.

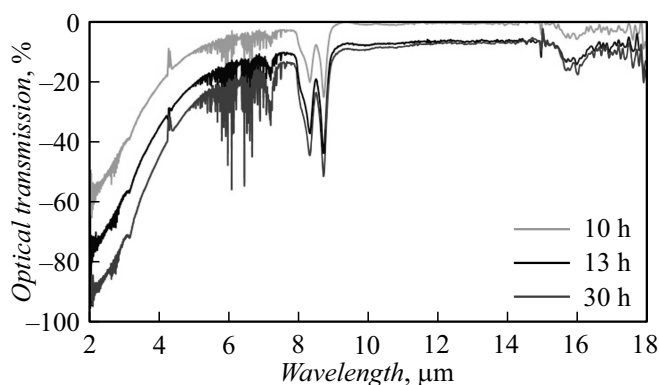
Инфракрасные световоды на основе твердых растворов галогенидов серебра прозрачны в широком диапазоне от 2.0 до 25.0  $\mu\text{m}$  при показателе преломления 2.2–2.4 [3]. Кроме того, такие волокна нетоксичны, негигроскопичны и обладают низкими оптическими потерями (0.1 dB/m) [2]. Сегодня ИК-световоды нашли применение в ИК-спектроскопии [4] и медицине [5], а также используются для дистанционного измерения температуры различных нагретых тел [6]. В частности, ИК-волокна могут применяться для проведения тепловизионной диагностики труднодоступных объектов, таких как внутренние узлы и детали газотурбинных установок (ГТУ). При этом на передачу теплового излучения по инфракрасным световодам будут влиять различные факторы, в том числе вибрационный режим работы ГТУ. Поэтому важным аспектом практического применения ИК-волокон является изучение влияния вибрации на их оптические свойства. Проведенный анализ литературных данных показал, что, во-первых, результаты таких исследований отсутствуют, а во-вторых, что определяю-

щими являются вибрационные характеристики кожуха турбины, который при установившемся режиме работы ГТУ резонирует с частотой 50 Hz и амплитудой 1 mm [7].

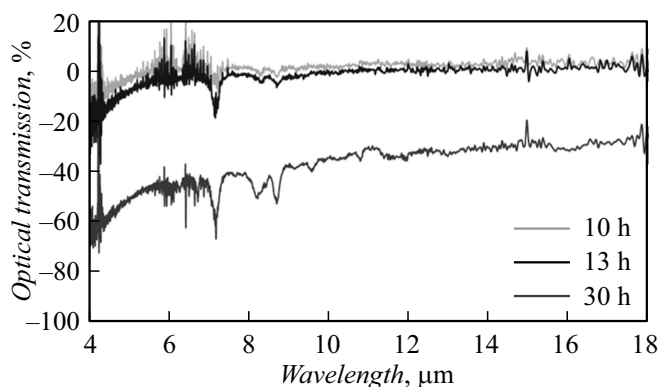
Для исследования влияния вибрации на передачу теплового излучения были выбраны два инфракрасных световода. Первое волокно состава  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$  имело длину 1.1 m и диаметр 1.12 mm, а второе волокно состава  $\text{AgCl}_{0.5}\text{Br}_{0.5}$  — длину 0.16 m и диаметр 0.525 mm. Световоды были помещены в защитную оболочку из полиэфирэфиркетона (ПЕЕК), а их торцы были вмонтированы в коннекторы SMA-905. Испытания проводились на вибрационном стенде, позволявшем создавать вибрационную нагрузку в диапазонах частот от 20 до 1000 Hz и амплитуд от 0.1 до 10 mm. Процедура испытаний заключалась в следующем.

Предварительно с помощью инфракрасного фурье-спектрометра японской фирмы Shimadzu измерялись спектры пропускания световодов. Затем образцы помещались в специальный держатель, который закреплялся на рабочей поверхности вибрационного стенда. В дальнейшем волокна подвергались вибрационному воздействию общей продолжительностью 30 h. Съемка спектров пропускания осуществлялась после воздействия вибрацией в течение 10, 13 и 30 h. Полученные экспериментальные данные формировались как изменение пропускания путем вычитания спектров, измеренных после вибрационного воздействия, из первоначальных. На рис. 1 и 2 представлено изменение в зависимости от длины волны оптического пропускания ИК-световодов составов  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$  и  $\text{AgCl}_{0.5}\text{Br}_{0.5}$  соответственно.

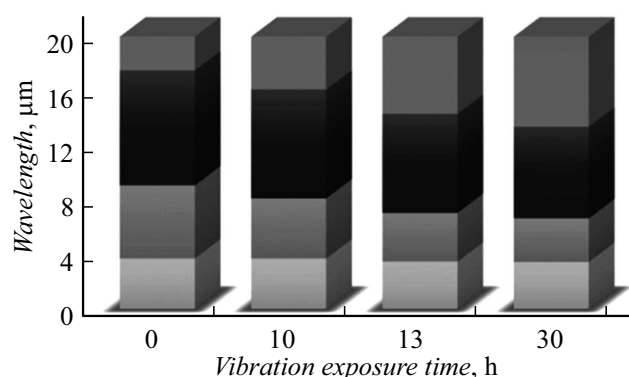
Результаты измерений показали, что пропускная способность ИК-световода состава  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$  заметно ухудшается после 10 h приложения вибрации и достигает средних потерь 30% во всем диапазоне длин волн



**Рис. 1.** Изменение пропускания инфракрасного световода состава  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$  от длины волны при различной длительности вибрационного воздействия.



**Рис. 2.** Изменение пропускания инфракрасного световода состава  $\text{AgCl}_{0.5}\text{Br}_{0.5}$  от длины волны при различной длительности вибрационного воздействия.



**Рис. 3.** Гистограмма распределения оптического пропускания в зависимости от длины волны и времени вибрационного воздействия.

к 30-му часу испытаний. Пропускание световода состава  $\text{AgCl}_{0.5}\text{Br}_{0.5}$  практически не изменялось в течение 13 h. На этой стадии следует отметить появление небольшого эффекта просветления в диапазоне длин волн

4.5–7.0  $\mu\text{m}$ . Однако после 30 h было выявлено повышение доли потерь оптического излучения, составившее 50%. При этом в случае состава  $\text{AgCl}_{0.25}\text{Br}_{0.75}$  наблюдается селективное изменение оптического пропускания. Так, в ближнем инфракрасном диапазоне от 2.0 до 4.0  $\mu\text{m}$ , а также в среднем от 6.0 до 9.0  $\mu\text{m}$  присутствуют области резкого снижения оптического пропускания. В то же время в диапазоне длин волн 9.0–15.0  $\mu\text{m}$  такого эффекта не наблюдается. На рис. 3 представлена гистограмма распределения оптического пропускания в зависимости от длины волны при различном времени вибрационного воздействия.

Таким образом, на основании полученных данных можно сделать вывод, что характерное для энергомашин вибрационное воздействие с частотой 50 Hz и амплитудой 1 mm оказывает негативное влияние на пропускающую способность ИК-световодов. Выявлен селективный характер влияния механической вибрации на инфракрасные световоды. Для исключения негативных последствий воздействия вибрации при использовании световодов следует жестко закреплять волокно, а также применять комплекс мер антивибрационной защиты. На основании полученных экспериментальных данных будет разрабатываться алгоритм экстраполяции изменений пропускной способности световодов на более длительные сроки вибрационного воздействия. Вместе с тем представленные данные могут служить основой для создания технологии контролируемого вибрационного воздействия с целью создания оптических фильтров.

## Благодарности

Авторы благодарят А.С. Корсакова за предоставление инфракрасных световодов.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## Список литературы

- [1] Полякова Г.В., Лисицкий И.С. Галогениды таллия и серебра — уникальные оптические материалы для приборов инфракрасной, лазерной и радиационной техники // Актуальные вопросы современных математических и естественных наук. Екатеринбург: ИЦРОН, 2016. С. 24–27.
- [2] Жукова Л.В., Корсаков А.С., Львов А.Е., Салимгареев Д.Д. Волоконные световоды для среднего инфракрасного диапазона. Екатеринбург: Изд-во УМЦ УПИ, 2016. 247 с.
- [3] Korsakov A.S., Vrublevsky D.S., Zhukova L.V. // Opt. Mater. 2015. V. 50. Part B. P. 204–207.  
DOI: 10.1016/j.optmat.2015.10.025
- [4] Eccleston R., Wolf C., Balsam M., Schulte F., Bongards M., Rehorek A. // Chem. Eng. Technol. 2016. V. 39. N 4. P. 627–636.  
DOI: 10.1002/ceat.201500334

- [5] *Basov S., Platkov M., Goldberg I., Dankner Y., Weinstein M., Goryachev A., Raichlin Y., Sprecher E., Katzir A.* Fiber optic middle infrared evanescent wave spectroscopy for early detection of melanoma // *Optical fibers and sensors for medical diagnostics and treatment applications XIX*. San Francisco: SPIE, 2019. V. 10872. P. 108720Y. DOI: 10.1117/12.2513312
- [6] *Kim R., Park C.H., Moon J.H.* // *J. Korean Phys. Soc.* 2015. V. 66. N 10. P. 1495–1498. DOI: 10.3938/jkps.66.1495
- [7] *Красников С.В.* // *Вісник НТУ „ХПІ“*. 2016. № 26. С. 56–59. DOI: 10.20998/2078?9130.2017.39.115763