

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛА ПОКРЫТИЯ ВОЛОКОННОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКИ НА ЕЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К РАСТЯЖЕНИЮ

Сковородкина М.В., Хомутильников Л.Л., Дмитриев А.А. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, доцент Варжель С.В. (ИТМО)

Введение.

Волоконно-оптические датчики, основанные на волоконных брэгговских решетках (ВБР), широко применяются для контроля формы и положения гибких инструментов в различных отраслях. Они востребованы в медицине для навигации катетеров и эндоскопов, в робототехнике для управления гибкими манипуляторами, а также в промышленности для мониторинга состояния трубопроводов, кабелей и других конструкций, подверженных деформациям. Применение таких датчиков позволяет в реальном времени получать информацию о механических воздействиях на инструмент, что повышает точность манипуляций, снижает риск повреждений и улучшает безопасность эксплуатации.

Основными преимуществами датчиков на основе ВБР являются их компактность, высокая чувствительность, устойчивость к электромагнитным помехам и возможность дистанционного мониторинга. Однако, несмотря на все достоинства, они обладают и значительным недостатком — высокой чувствительностью к механическим деформациям, таким как растяжение и сжатие. Это может приводить к нежелательным изменениям центральной длины волны отраженного сигнала, что снижает точность измерений и ограничивает применение датчиков в условиях повышенных нагрузок.

Одним из способов решения данной проблемы является инкапсуляция ВБР в специальные материалы, которые могут снижать влияние механических воздействий, обеспечивая при этом необходимую термостабильность и долговечность сенсоров [1]. В данной работе рассматривается влияние различных материалов покрытий на чувствительность ВБР к растяжению и сжатию, что позволит определить оптимальные условия для их применения в гибких инструментах.

Основная часть.

Для анализа теплового поведения ВБР в различных материалах покрытий была разработана математическая модель в COMSOL Multiphysics. Использовался модуль теплообмена, учитывающий теплопроводность, удельную теплоемкость и коэффициент термического расширения материалов. Результаты моделирования сравнивались с экспериментальными данными для проверки достоверности.

В эксперименте использовались ВБР с длиной волны 1550 нм, длиной 10 мм и коэффициентом отражения 60%. Датчики инкапсулировали в цилиндрические оболочки ($\varnothing \times 20$ мм) из Гермокаста и RTV 655. Инкапсуляция выполнялась путем заливки жидкого материала в форму, изготовленную с помощью 3D-печати, затем образцы отверждались.

Образцы нагревались в печи от 25 до 80 °С в течение 110 минут. Температура повышалась постепенно, чтобы предотвратить тепловой удар. Смещение центральной длины волны фиксировалось с помощью оптического спектроанализатора для оценки влияния инкапсуляции на тепловой отклик ВБР.

Для анализа чувствительности к растяжению ВБР подвешивались свободно, а к ним поочередно прикреплялись грузы от 20 до 200 г. Смещение длины волны регистрировалось оптическим спектроанализатором.

Результаты эксперимента и моделирования позволили определить влияние инкапсуляции на тепловую стабильность и механическую чувствительность ВБР, что поможет в выборе оптимальных материалов для дальнейших исследований.

Выводы.

Данное исследование подчеркивает важность выбора материалов покрытий при формировании характеристик волоконно-брэгговских решеток (ВБР).

Гермокаст обладает наибольшей теплопроводностью, что подтверждено как экспериментальными, так и численными исследованиями. Это делает его подходящим материалом для применений, требующих быстрого теплового отклика.

Силикон RTV 655, напротив, демонстрирует устойчивость к резким температурным изменениям, что делает его оптимальным для защиты ВБР в условиях экстремальных температурных колебаний. Кроме того, он снижает чувствительность ВБР к механическим нагрузкам с 13,3 пм/г до 2,6 пм/г по сравнению с неинкапсулированной ВБР, что делает его перспективным материалом для создания датчиков напряжения в регулируемых конструкциях.

Проведенный эксперимент способствует углубленному пониманию влияния инкапсуляции на ВБР и открывает новые перспективы для разработки волоконно-оптических датчиков, предназначенных для специализированных температурных приложений.

Список использованных источников:

1. Майорова Е.А., Варжель С.В., Клишина В.А., Козлова А.И. Исследование изменения чувствительности волоконной брэгговской решетки к температуре и растяжению с помощью нанесения покрытий из легкоплавких металлов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2023. Т. 23, № 5. С. 871–877. doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-5-871-877

Автор

Сковородкина М.В.

Научный руководитель

Варжель С.В.