

УДК 544

МОДИФИКАЦИЯ ПОЛЫХ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН С ПОМОЩЬЮ НАНОКОМПОЗИТНОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Кочергин Т.П. (СГУ им. Н.Г. Чернышевского)

Научный руководитель - д.х.н., профессор Горячева И.Ю. (СГУ им. Н.Г. Чернышевского)

Аннотация.

Разработаны физико-химические основы и реализованы подходы к модификации внутренней поверхности полых микроструктурированных оптических волокон (П-МОВ) полимерными и нанокompозитным покрытиями. Оценено влияние покрытия на оптические свойства П-МОВ. Исследовано послойное нанесение на П-МОВ катионного полимерного покрытия - полидиаллилдиметиламмоний хлорид (ПДДА) разной молекулярной массы (низкой 100-200 кДа, средней 200-350 кДа, высокой 400-500 кДа), и анионного нанокompозитного покрытия – магнитные наночастицы (МНЧ) структуры Fe_3O_4 . Включение МНЧ в полиэлектролитные слои делает П-МОВ контрастными в условиях магнитно-резонансной томографии (МРТ) и вызывает длинноволновое смещение в их спектрах пропускания. В частности, были обнаружены сдвиги пропускания до 60 нм для многослойного композитного покрытия, а также высокий контраст П-МОВ при МРТ-сканировании.

Введение.

Физико-химические исследования материалов на основе систем со сложной периодической структурой важны для расширения возможностей их использования, как в традиционных областях, так и в новых, в частности связанных с медицинскими исследованиями. Частным примером такого рода систем являются П-МОВ, которые перспективны в качестве основы многофункциональных сенсорных платформ, в которых П-МОВ объединяет функции носителя, оптического фильтра, датчика оптического сигнала и возможного компонента гибкого эндоскопа, способного к низкоинвазивному проникновению в полости полых органов. Расширить возможности применения П-МОВ позволит модификация внутренней поверхности полых сердцевины волновода, которая выполняет роль волноведущего дефекта МОВ, различными функциональными структурами. Детально отследить свойства и толщину покрытия позволяет использование технологии послойного нанесения покрытий. Для модификации различных поверхностей хорошо зарекомендовал себя метод послойного нанесения полиэлектролитов, который позволяет не только варьировать толщину и заряд слоев, но и управляемо вносить в слои функциональные структуры, в частности наночастицы.

В качестве контрастных веществ для МРТ мы выбрали наночастицы магнетита (Fe_3O_4), которые полностью совместимы с нашей технологией послойного нанесения на поверхность и обладают сильной магнитной восприимчивостью.

Основная часть.

В работе использовали П-МОВ, содержащий пять функциональных концентрических слоев капилляров и внешний буферный слой капилляров, изготовленные из стекла с показателем преломления $n = 1,519$ (длина волны 550 нм). Диаметр центрального капилляра составляет 194 мкм, толщина стенок для 1, 2, 3, 4 и 5-го слоя капилляров составляет 1,8, 2,6, 3,3, 4,1 и 4,7 мкм, диаметры капилляров принадлежат 1, 2, 3, 4 и 5-й слой составляют 14, 19, 25, 31 и 35 мкм соответственно.

П-МОВ заполняли раствором ПДДА (конечная концентрация 2 мг/мл в 0,15 М NaCl), несущим положительный заряд (в то время как поверхность стекловолокна имеет отрицательный заряд). Раствор выдерживают внутри П-МОВ в течение 10 мин, после чего образец сливают. Молекулы ПДДА адсорбируются на внутренней поверхности благодаря кулоновскому взаимодействию с поверхностью стекла. Затем проводили промывку

деионизированной водой дважды и наносили отрицательно заряженные МНЧ аналогичным способом (конечная концентрация МНЧ составляла 5 мг/мл). Процедуру повторяли для внесения желаемого количества бислоев ПДДА/МНЧ.

С увеличением количества слоёв полиэлектролита на внутренней поверхности П-МОВ происходит закономерное смещение спектра в длинноволновую область.

При использовании сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) мы визуально отследили изменения нанесенного покрытия ПДДА/МНЧ от слоя к слою.

Исследование МРТ наших образцов показало, что МНЧ в основном уменьшают время поперечной релаксации T_2 за счет собственной магнитной проницаемости, давая более темное окрашивание соответствующих отмеченных областей. П-МОВ с 1, 3 и 5 нанокompозитными бислоями (ПДДА со средней молекулярной массой) помещали в микроцентрифужные пробирки, заполненные водой. Тем не менее, 5-бислоеное покрытие уже вызывает артефакты в результате слишком сильного магнитного отклика. Это проявляется в увеличении толщины волокна при сканировании магнитного резонанса (МР), тогда как физическая толщина для всех образцов одинакова.

Выводы.

Таким образом, проанализировано влияние полимерного и нанокompозитного покрытия на оптические свойства П-МОВ. Установлено, что с повышением числа бислоев ПДДА/МНЧ от 1 до 5 длинноволновый сдвиг спектра П-МОВ составляет 60 нм, относительно спектра пустого П-МОВ.

Нанокompозитное покрытие более чем 5 бислоями приводит к значительным оптическим потерям из-за увеличения поглощения нанокompозитных бислоев ПДДА/МНЧ. Таким образом, слишком большое количество бислоев не только приводит к артефактам при сканировании МРТ, но также ухудшает свойства передачи П-МОВ.

Благодарности.

Работы выполнены при поддержке гранта РФФИ 19-32-90126. Автор благодарит Ю.С. Скибину за предоставленные образцы микроструктурированного стекла с поллой сердцевиной, С.В. Германа – за предоставленные образцы МНЧ, В.В. Зуева – за проведение МРТ исследований, Д.А. Горина за консультацию.

Кочергин Т.П. (автор)

Подпись

Горячева И.Ю. (научный руководитель)

Подпись