

УДК 681.784.8

## ПОИСК ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ БЕЛКОВ НА ОСНОВЕ НАКЛОННОЙ ВОЛОКОННО БРЭГГОВСКОЙ РЕШЁТКИ

Гагаринова Д.О. (Университет ИТМО), Дмитриев А.А. (Университет ИТМО), Варжель С.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Варжель С.В.  
(Университет ИТМО)

Целью работы является повышение чувствительности волоконно-оптического измерителя на основе наклонной волоконной брэгговской решётки для измерения концентрации белков в растворах, в частности, белка цистатина С. Для этого было проведено экспериментальное исследование влияния длительности химического травления на спектр пропускания волоконно-оптического измерителя на основе наклонной волоконной брэгговской решётки (НВБР). Произведена оценка чувствительности после каждого этапа химического травления, она уменьшилась с 498 нм/RIU до 171 нм/RIU.

**Введение.** Разработка волоконно-оптического измерителя концентрации белков является перспективной, благодаря таким свойствам, как биологическая совместимость, малый размер, способность использовать в режиме реального времени, возможность удаленного и мультиплексированного измерения белковых молекул, нечувствительность к электромагнитным помехам, стабильность и долговечность.

Волоконно-оптические измерители реализуются на различных физических принципах, среди которых можно выделить: измерители, основанные на создании брэгговской решетки внутри сердцевины оптического волокна; интерферометры, изготовленные путем сварки волокон различных типов; измерители, основанные на резонаторе Фабри–Перо на конце оптического волокна; измерители, основанные на взаимодействии затухающего модового поля с окружающей средой путем уменьшения толщины оптического волокна (химическое травление, полировка, сужение); измерители на основе нанесенной тонкой металлической пленки на поверхность оптического волокна для генерации плазмонного резонанса.

В настоящей работе для дальнейшего измерения концентрации белка цистатина С нами было выбрано технологическое решение на основе НВБР. Повысить чувствительность НВБР для измерения малых концентраций белка можно при помощи нанесения металлического покрытия для возбуждения поверхностного плазмонного резонанса. Обзор литературы показал, что типичная чувствительность измерителей на основе НВБР с металлическим покрытием составляет порядка 500 нм/RIU. Данной чувствительности может быть недостаточно для измерения малых концентраций белка цистатина С.

**Основная часть.** Цель работы заключалась в исследовании повышения чувствительности наклонной волоконной брэгговской решётки при ее химическом травлении. Были поставлены следующие задачи: 1) запись НВБР в стандартное одномодовое оптическое волокно SMF-28, 2) химическое травление НВБР с увеличением длительности погружения решётки в травильный раствор, 3) проведение экспериментальных исследований зависимости спектров пропускания решётки от показателя преломления внешней среды, 4) оценка чувствительности протравленной НВБР.

Для проведения экспериментальных исследований НВБР была записана в стандартное одномодовое оптическое волокно и имела следующие параметры: длина решетки 14 мм, угол наклона 3°, центральная длина волны 1580 нм.

Химическое травление реализовывалось при помощи 50 % раствора плавиковой кислоты, и повторялась в пять этапов: первые четыре длительностью 5 мин и последний длительностью 10 мин.

Для анализа чувствительности полученной протравленной НВБР проведены экспериментальные исследования зависимости спектров пропускания решетки от показателя преломления внешней среды. Для проведения исследования использовали следующую схему. Излучение от источника Thorlabs S5FC1005P передавалось по оптическому волокну с записанной в него и протравленной НВБР, которая опускалась в емкость с исследуемыми растворами. При помощи спектроанализатора YOKOGAWA AQ6370C измерялись спектры пропускания решётки. В качестве анализируемых сред с разными показателями преломления для проведения эксперимента взяты: дистиллированная вода ( $n = 1,33$ ), этанол ( $n = 1,36$ ), изопропанол ( $n = 1,37$ ) и этиленгликоль ( $n = 1,43$ ).

После проведения экспериментальных исследований наблюдался линейный характер зависимости чувствительности НВБР от значения времени химического травления. Увеличение длительности химического травления приводит к снижению чувствительности НВБР от показателя преломления внешней среды с 498 нм/RIU (до химического травления) до 171 нм/RIU (после пяти этапов химического травления длительностью 30 минут).

**Выводы.** Получены результаты исследования повышения чувствительности НВБР в результате химического травления оптического волокна. Показано, что химическое травление не позволяет увеличить чувствительность НВБР к изменению показателя преломления внешней среды. Анализ результатов измерений может быть полезен при проектировании волоконно-оптических измерителей концентрации или показателя преломления раствора исследуемого вещества, в том числе белковых молекул.

Гагаринова Д. О. (автор)

Варжель С.В. (научный руководитель)