

# Проектирование отрезающих длинноволновых фильтров ближнего ИК-диапазона для Рамановской спектроскопии

А.А. Шацкая<sup>1</sup>, К.В. Черепанов<sup>1</sup>, Д.Н. Артемьев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34а, Самара, Россия, 443086

## Аннотация

Была разработана модель интерференционного отрезающего длинноволнового фильтра, состоящего из тонких диэлектрических пленок, для Рамановской спектроскопии. Рассмотрены основные преимущества и недостатки проектирования и изготовления интерференционных фильтров. Проанализированы спектральные характеристики моделей фильтров с одинаковой и различной толщиной диэлектрических пленок. Спроектированная конструкция фильтра была изготовлена в двух вариантах напыления покрытий с различными толщинами. Спектральные характеристики пропускания фильтров были измерены на спектрофотометре.

## Ключевые слова

Интерференционный фильтр, напыление тонких диэлектрических пленок, многослойные покрытия, Рамановская спектроскопия

## 1. Введение

В последние годы интерес к изучению тонких оптических покрытий постоянно растет. Оптические тонкопленочные покрытия находят множество применений в разных сферах повседневной жизни, а также в области приборостроения, оптической диагностики, технологий отображения, авиационной радиоэлектроники, интерферометрии, спектрофотометров, голографии и т. д. [1] Особый интерес представляет применение длинноволновых оптических фильтров в системах Рамановской спектроскопии, в которых необходимо подавить лазерную линию в канале сбора комбинационного рассеяния от исследуемого образца перед вводом рассеянного излучения в спектрометр [2].

В данной работе будут рассмотрены методы проектирования и изготовления оптических отрезающих интерференционных фильтров ближнего ИК-диапазона спектра. Примером будет выступать интерференционный отрезающий длинноволновый фильтр, необходимый для подавления узкой спектральной лазерной линии с центральной длиной волны 785 нм для задач Рамановской спектроскопии.

Интерференционный фильтр представляет собой стеклянную подложку с нанесенными тонкими слоями диэлектрических и металлических покрытий [3]. Интерференционные фильтры лишены недостатков абсорбционных поглощающих фильтров на цветном оптическом стекле. Интерференционные фильтры имеют требуемую крутизну фронта, степень подавления, высокую лучевую прочность и изготавливаются под требуемую длину волны среза. К недостаткам можно отнести сложность изготовления, дороговизну, чувствительность к углу падения и поляризации света при угловом падении, высокие требования к хранению и условиям эксплуатации.

## 2. Материалы и методы

Спектральная характеристика длинноволнового фильтра для эффективного применения в Рамановском зонде должна удовлетворять следующим условиям: оптическая плотность (OD) фильтра на длине волны лазерной линии должна быть больше 6 (возможно использование

нескольких фильтров с меньшей оптической плотностью), пропускная способность  $T \geq 90\%$  с допустимым колебанием характеристики  $\delta T = \pm 2\%$  в спектральном диапазоне 810-1000 нм, а также крутой фронт.

При использовании покрытий равнотолщинной топологии со слоями, оптические толщины которых кратны  $\lambda/4$ , возникают осцилляции в области пропускания фильтра. Для создания отрезающих фильтров эти осцилляции нужно уменьшить, чтобы обеспечить равномерность спектральной характеристики зоны пропускания.

Значительно улучшить спектральные характеристики интерференционных фильтров можно путем использования покрытий неравнотолщинной топологии со слоями, оптические толщины которых не кратны  $\lambda/4$  [4]. Для проектирования оптических интерференционных фильтров использовалось программное обеспечение OptiLayer. Неравнотолщинные отрезающие интерференционные фильтры имеют лучшую равномерность спектральной характеристики в зоне пропускания, большую крутизну фронта, обеспечивают необходимую степень подавления в заданной спектральной области.

В ходе напыления фильтра данной топологии на спектральную характеристику фильтра в значительной степени влияют ошибки в толщине слоев, поскольку толщина составляющих слоев определяет положение зоны отражения и равномерность зоны пропускания. Выходом может быть использование нескольких сменяемых «свидетелей» при спектрофотометрическом контроле роста пленок в процессе напыления. При этом для попадания в нужные длины волн необходимо, чтобы «свидетели» в вакуумной камере были установлены на одном уровне с напыляемыми подложками.

### 3. Заключение

В результате работы был спроектирован и изготовлен в двух вариантах интерференционный отрезающий фильтр для подавления лазерной линии на длине волны  $\lambda = 785$  нм в системах Рамановской спектроскопии. Неравнотолщинные интерференционные покрытия выполнены на пленках диоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ) с высоким показателем преломления и диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) с низким показателем преломления на подложке из кварца марки КУ и оптического стекла марки К8. Для обеспечения подавления излучения на длине волны  $\lambda = 785$  нм с оптической плотностью  $OD = 3$  и высокой крутизной фронта при ширине зоны перехода 20-30 нм потребовалось порядка 35 слоев, толщины которых рассчитаны с помощью программного пакета OptiLayer. Коэффициенты пропускания фильтров на длине волны  $\lambda = 785$  нм составили 0,06% и 0,15%, но улучшение подавления лазерной линии привело к сдвигу полосы пропускания фильтра на 20 нм в длинноволновую область спектра в первом варианте.

### 4. Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (РНФ) в рамках гранта № 20-72-00173 «Оптоволоконный зонд Раман-люминесцентной спектроскопии и наноструктурированные подложки для исследования биологических объектов».

### 5. Литература

- [1] Kumar, V.S.R.S.P. Fabrication of  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  multilayer reflective filters with excellent uniformity for demanding optical interference filters / V.S.R.S.P Kumar, M. Kumar, N. Kumari, V. Karar, A.L Sharma // Materials research express. – 2019. – Vol. 6(6). – P. 066410.
- [2] Wang, W. Real-time in vivo cancer diagnosis using raman spectroscopy / W. Wang, J. Zhao, M. Short, H. Zeng // Journal of biophotonics. – 2015. – Vol. 8(7). – P. 527-545.
- [3] Hadley, L.N. Reflection and transmission interference filters part I. theory / L.N. Hadley, D.M. Dennison // JOSA. – 1947. – Vol. 37(6). – P. 451-465.
- [4] Крылова, Т.Н. Интерференционные покрытия / Т.Н. Крылова. – Л.: Издательство Машиностроение, 1973. – 224 с.