

Усиление локальных электромагнитных полей оптическими периодическими резонаторами

**А.К. Сарычев^{1,*}, К.Н. Афанасьев¹, И.В. Быков¹, И.А. Богинская¹, А.В. Иванов¹,
И.Н. Курочкин^{2,3}, А.Н. Лагарьков¹, А.М. Мерзликин¹, В.В. Михеев⁴, Д.В. Негров⁴,
И.А. Рыжиков¹, М.В. Седова¹**

¹Институт теоретической и прикладной электродинамики (ИТПЭ РАН)

²Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля (ИБХФ РАН)

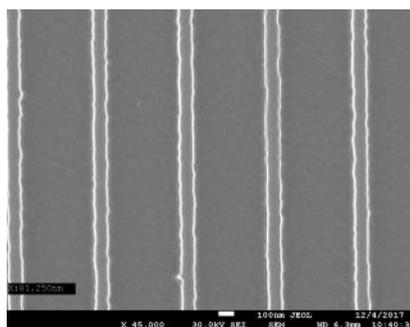
³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, химический факультет (МГУ)

⁴Московский физико-технический институт (МФТИ)

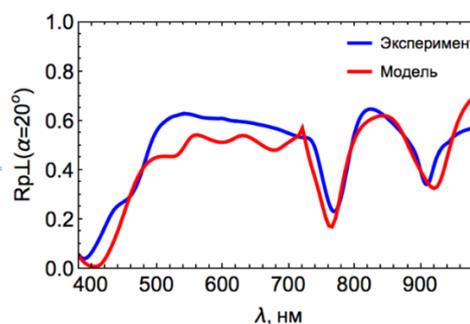
*E-mail: sarychev_andrey@yahoo.com

DOI:10.31868/RFL2018.21-22

Эффект гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) света и связанное с ним усиление сигнала комбинационного рассеяния (КР) от молекул вещества является физической основой для разработки высокоэффективных биологических и химических сенсоров, способных регистрировать малые концентрации молекул, вплоть до единичных. Однако сам сигнал КР настолько слаб, что его почти невозможно наблюдать на фоне люминесценции и других оптических сигналов.

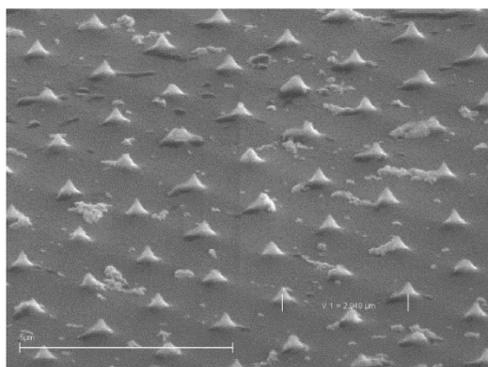


(a)

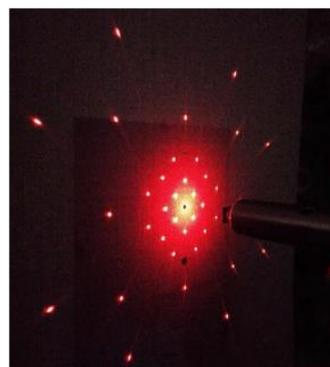


(б)

Рис.1 (a) Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ). Периодическая система кремниевых гребней. Параметры: период 561 нм, высота 80 нм, поверхностный слой серебра составляет 20 нм. (б) Коэффициент отражения от структуры для угла падения 20°. Плоскость падения и вектор напряженности электрического поля перпендикулярны гребням.



(a)



(б)

Рис.2 (a) Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ). (б) Дифракционная картина оптического резонатора в виде пирамид.

В работе предложен ряд кремниевых оптических резонаторов с периодически профилированной поверхностью с нанесенным нанослоем серебра (Рис. 1а,2а). Такие резонаторы позволяют существенно увеличить соотношение «полезный сигнал КР/шум» за счет использования высокодобротного оптического диэлектрика в виде кремния. Оптический резонатор в виде полос изготовлен из кремния $Si(100)$ методом электронно-лучевой литографии (Crestec КАБЕ 9000С) с последующим плазмохимическим травлением кремния (CORIAL 200I) и напылением нанослоя серебра толщиной 20 нм.

Проведено компьютерное моделирование, подобран химический состав и геометрические параметры для генерации колоссальных локальных полей на поверхности резонаторов. Проведены работы по измерению коэффициента отражения и дифракции в таких структурах. Результаты расчетов и экспериментов продемонстрировали ярко выраженные металлодиэлектрические резонансы, зависящие от угла падения, и связанные с возбуждением поверхностных волн в резонаторе посредством дифракции падающего света (Рис. 1б,2б). Помимо плазмонных резонансов, определяемых периодом дифракционной решетки, в резонаторе, покрытом слоем серебра, возбуждаются и резонансы типа Фабри-Перо, локализованные в области выступов. Показано, что добротностью, а также положением таких резонансов можно управлять, изменяя режим напыления серебра на поверхность метаматериала. Проведены экспериментальные работы по регистрации сигнала комбинационного рассеяния (КР) света от модельного аналита – 5.5-дитио-бис(2-нитробензойной кислоты) (ДТНБ). Результаты продемонстрировали аномальную дифракцию (Рис. 2б) и относительное усиление сигнала КР от ДТНБ на характерных стоксовых частотах в структурированных областях – на несколько порядков величины. Подход, предложенный в работе, который заключается в создании регулярно профилированных металлодиэлектрических резонаторных структур, представляет практический интерес для разработки новых биосенсорных систем [1,2].

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 17-08-01448, № 18-58-00048, и программ Президиума РАН № 40 «Создание сверхчувствительных методов идентификации биологических объектов с помощью оптических метаматериалов» и № 56 «Фундаментальные основы прорывных технологий в интересах национальной безопасности».

Литература

- [1] A.K. Sarychev, A. Lagarkov et al, *Proc. of SPIE* **10346**, 103460 (2017)
- [2] A. Lagarkov, I. Boginskaya et al, *Opt. Express* **25** (15), 17021-17038 (2017)