

УДК 535.374

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЁТ УСИЛЕНИЯ ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ЛЮМИНОЛА ЗА СЧЕТ АЛЮМИНИЕВОЙ МЕТАПОВЕРХНОСТИ С ПЕРФОРАЦИЯМИ

Петров Н.С. (Университет ИТМО), Дададжанов Д.Р. (Университет ИТМО), Вартанян Т.А. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – PhD, Дададжанов Д.Р. (Университет ИТМО)

Введение. Хемилюминесцентные сенсоры, основанные на излучении света в результате химических реакций, отличаются высокой чувствительностью и селективностью, что делает их востребованными в диагностике заболеваний [1], фармацевтике [2] и детектировании активных форм кислорода (АФК) [3,4]. Их преимущество — отсутствие внешнего источника излучения, а их недостаток — слабое собственное излучение, которое сложно зарегистрировать простыми приемниками оптического излучения. Для усиления хемилюминесценции можно использовать плазмонные наноструктуры, которые могут способствовать увеличению квантового выхода хемилюминесценции за счет эффекта Парселла [5-7]. В данной работе исследуются периодически перфорированные алюминиевые плёнки, как один из перспективных вариантов, так как они дешёвы в производстве, процесс их изготовления может быть легко масштабирован, они химически устойчивы и их плазмонный резонанс может быть настроен на длину волны люминесценции.

Основная часть. В данной работе изучается периодическая структура, представляющая собой тонкую (5 нм – 40 нм) алюминиевую плёнку с субволновыми цилиндрическими отверстиями. Прямые круговые цилиндрические отверстия с радиусом, изменяющимся в диапазоне от 10 нм до 60 нм, образуют квадратную решётку с периодом от 220 нм до 250 нм. Алюминиевая плёнка с отверстиями находится на кварцевой подложке с показателем преломления 1.46, дисперсия которого, ввиду ее малости, не учитывалась. В соответствии с условиями использования пленка с отверстиями считалась погружённой в водный раствор аналита и люминола. Из-за малой концентрации этих веществ отличием показателя преломления раствора от показателя преломления воды (1.33) пренебрегалось. Оптические свойства алюминия были взяты из [8].

Для исследования оптических характеристик данной метаповерхности использовался программный пакет COMSOL Multiphysics®. С применением метода конечных элементов и граничных условий типа Флоке были рассчитаны распределения электромагнитных полей вблизи металлической плёнки с цилиндрическими отверстиями, а также спектры отражения и пропускания падающего на неё излучения. После установления области параметров пленки, обеспечивающих перекрытие спектра хемилюминесценции люминола с полосой плазмонного резонанса перфорированной алюминиевой пленки, были рассчитаны фактора Парселла для молекул люминола, находящихся вблизи пленки и внутри пор.

Выводы. Перфорированная алюминиевая пленка представляет собой перспективную структуру для ускорения радиационных переходов и повышения квантового выхода фото- и хемилюминесценции в видимом диапазоне длин волн. Подбирая толщину пленки, радиус отверстий и период структуры, можно настроить полосу плазмонного резонанса и максимум ускорения радиационных переходов на заданную длину волны, в частности, на максимум спектра хемилюминесценции хемилюминофора. Перфорированная пленка обеспечивает фактор Парселла порядка 10-ти, остающийся практически постоянным по всему объёму отверстия, что выгодно отличает ее от ранее рассмотренных структур с металлическими нанопередками, выступающими над поверхностью подложки [7], для которых характерно быстрое уменьшение фактора Парселла при удалении от поверхности цилиндра.

Список использованных источников:

1. Dodeigne C., Thunus L., Lejeune R. Chemiluminescence as diagnostic tool. A review // *Talanta*. – 2000. – V. 51. – №. 3. – P. 415-439.
2. Gómez-Taylor B. et al. Photoinduced chemiluminescence of pharmaceuticals // *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*. – 2006. – V. 41. – №. 2. – P. 347-357.
3. Yasui H., Sakurai H. Chemiluminescent detection and imaging of reactive oxygen species in live mouse skin exposed to UVA // *Biochemical and biophysical research communications*. – 2000. – V. 269. – №. 1. – P. 131-136.
4. Yu W., Zhao L. Chemiluminescence detection of reactive oxygen species generation and potential environmental applications // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. – 2021. – V. 136. – P. 116197.
5. Aslan K., Geddes C. D. Metal-enhanced chemiluminescence: advanced chemiluminescence concepts for the 21st century // *Chemical Society Reviews*. – 2009. – V. 38. – №. 9. – P. 2556-2564.
6. Dadadzhanov D. R. et al. Self-organized plasmonic metasurfaces: The role of the Purcell effect in metal-enhanced chemiluminescence (MEC) // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2021. – V. 333. – P. 129453.
7. Дададжанов Д.Р., Палехова А.В., Вартанян Т.А. Метаповерхность из алюминиевых наноцилиндров для усиления хемилюминесценции люминола // *Оптика и спектроскопия*. – 2023. – Т. 131. – №. 12 – С. 1726.
8. McPeak K. M. et al. Plasmonic films can easily be better: rules and recipes // *ACS photonics*. – 2015. – V. 2. – №. 3. – P. 326-333.