

ГИСТЕРЕЗИС И СТАТИСТИКА ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГРАФЕНОВЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

^aБелько Н.В., ^aЧижевский В.Н., ^bКулагова Т.А., ^{a, b}Пархоц М.В., ^{a, b}Лепешкевич С.В.,
^aМогилевцев Д.С.

^aГНУ «Институт физики имени Б.И. Степанова» НАНБ, Минск, Беларусь

^bНИУ «Институт ядерных проблем» БГУ, Минск, Беларусь

Графеновые квантовые точки (ГКТ) являются водорастворимым биосовместимым наноматериалом с типичным размером частиц ~5 нм и управляемыми оптическими свойствами [1]. ГКТ весьма перспективны для биомедицинских применений. Существуют примеры использования ГКТ для детектирования различных ионов и биогенных молекул, в качестве флуоресцентных маркеров [1]. Кроме того, ГКТ могут рассматриваться в качестве флуорофоров для некоторых методов флуоресцентной микроскопии сверхвысокого разрешения. К таким методам относится, например, оптическая флукуационная микроскопия, где повышение разрешающей способности достигается за счет обработки данных и не требует усложнения регистрирующей аппаратуры. Флуорофоры для такой микроскопии должны демонстрировать «мерцания» (случайные переключения между состояниями с интенсивной и слабой либо отсутствующей флуоресценцией), при этом необратимое выгорание является нежелательным. В данной работе изучается потенциал применения ГКТ в качестве флуорофоров для оптической диагностики и сверхразрешающей микроскопии. Нами исследованы ГКТ, сформировавшие агрегаты на кремниевой подложке либо введенные в полимерные матрицы. Флуоресценция образцов возбуждалась при помощи полупроводникового лазера с длиной волны 450 нм. Сигнал флуоресценции квантовых точек регистрировался при помощи детектора одиночных фотонов с пятна на образце диаметром 0,2 мм.

Все исследованные образцы демонстрируют флуоресценцию в диапазоне 500–700 нм, при этом микроокружение влияет на форму спектра флуоресценции ГКТ. Под действием непрерывного лазерного излучения наблюдается снижение интенсивности флуоресценции со временем, что может объясняться «мерцаниями» отдельных квантовых точек [2]. После прекращения облучения наблюдается постепенное восстановление сигнала. При возбуждении флуоресценции ГКТ треугольными импульсами длительностью 20–200 с наблюдается гистерезис в зависимости интенсивности флуоресценции от плотности мощности возбуждающего излучения. Возбуждение флуоресценции ГКТ непрерывным излучением либо треугольными импульсами и исследование временного отклика позволяют получить информацию о «мерцаниях» отдельных частиц без использования сложного оборудования. ГКТ как в агрегированном состоянии, так и в полимерных матрицах демонстрируют аналогичный временной отклик интенсивности флуоресценции на непрерывное или импульсное возбуждение. Таким образом, затухание сигнала флуоресценции в процессе облучения не зависит от состояния агрегации ГКТ или микроокружения и, следовательно, характеризует отдельные частицы. Статистика фотонов во флуоресценции от всех исследованных образцов соответствует экспоненциальному распределению. Данное наблюдение указывает на пуассоновскую статистику в испускании, типичную для ансамбля независимых излучателей.

Полученные результаты указывают на потенциальную возможность применения ГКТ в качестве флуорофоров для визуализации оптических флукуаций в биоструктурах со сверхвысоким разрешением (SOFI).

Библиографические ссылки

1. Henna T.K., Pramod K. / Mater. Sci. Eng. C. 2020. P. 110651.
2. Belko N. et. al. / J. Phys. Chem. C. 2022. Vol. 126. P. 10469–10477.