

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА SiV- И GeV- ЦЕНТРОВ ОКРАСКИ В АЛМАЗНЫХ ЧАСТИЦАХДидух Т. Е.¹Научный руководитель – канд. физико-математических наук, Богданов К. В.¹¹Университет ИТМО
t.didukh@alumni.nsu.ru**Введение**

На сегодняшний день алмазные микро- и наночастицы привлекают внимание научного сообщества и разработчиков высокотехнологичных продуктов благодаря уникальным физическим и химическим свойствам: биосовместимости, термостойкости, электропроводности, высокой прочности и химической стабильности. Данные характеристики открывают перспективы их широкого применения - от диагностики и терапии в биомедицине до создания термометрических датчиков для локального контроля температуры в полупроводниковых элементах и микросхемах. Необходимым требованием к визуализации оптического отклика с помощью алмазных частиц является внедрение в их структуру люминесцирующих центров окраски (NV⁻, SiV⁻, GeV⁻ и др.). Важной особенностью данных центров является чувствительность их люминесценции к изменениям температуры. Данный эффект создает основу для разработки оптических сенсоров температуры с высоким пространственным разрешением. На сегодняшний день существует несколько исследований, посвященных изучению зависимости люминесценции центров окраски от температуры при длинах волн возбуждения 532 и 473 нм. [1]. Однако существующие работы, как правило, ограничены исследованием одного типа центров, что не позволяет в полной мере реализовать потенциал многоканального детектирования.

Целью данного проекта является определение и сравнительный анализ зависимостей люминесцентного отклика SiV- и GeV- центров окраски в алмазных частицах различной архитектуры и функционализации.

Основная часть

В данной работе были исследованы температурные зависимости люминесцентного отклика SiV⁻ и GeV⁻ центров окраски в алмазной матрице, в пределах от температуры жидкого азота, до диапазона температур, применяемых при фототермической терапии. На первом этапе для определения зависимости от температуры и получения градуировочных кривых использовались прозрачные алмазные частицы с двумя центрами окраски [2]. Контроль и изменение температуры проводились с помощью приставки Linkam, в которую при проведении измерений помещалась алмазная частица. На втором этапе используются частицы типа «ядро/оболочка» [3], где «ядро» - легированный бором алмаз, «оболочка» - прозрачный алмазный слой с SiV⁻ и GeV⁻ центрами окраски, аналогичный по синтезу частицам, полученным на первом этапе. В данном случае варьирование температуры осуществлялось изменением мощности возбуждающего лазерного излучения. За счёт значительно большего поглощения легированного бором «ядра», температура таких частиц изменяется быстрее так, например, при мощности лазерного возбуждения 0,8 мВт разница положения максимума пиков люминесценции у двух частиц различной функционализации составит 1,2 нм. Присутствие SiV⁻ и GeV⁻ центров окраски в исследуемых частицах позволило установить физические отличия в зависимости люминесцентного отклика от температуры при использовании различных мощностей лазерного возбуждения, а также повысить точность определения температуры благодаря получению сигналов одновременно от двух различных центров окраски.

Выводы

В результате проделанной работы была получена температурная зависимость алмазной частицы с повышенной точностью, благодаря измерению люминесценции одновременно от двух центров окраски. Показано влияние борированного ядра на температурную зависимость за счет различной мощности возбуждения. Результаты данного проекта могут быть актуальны для различных областей науки, а также для создания высокотехнологичных приложений, в том числе биомедицинских. На сегодняшний день активно ведутся исследования по применению алмазных нано- и субмикронных частиц в диагностике и терапии различных заболеваний, в том числе и злокачественных новообразований [4]. Алмазные наночастицы по своей природе биосовместимы и не токсичны, а возможность локальной термометрии в режиме реального времени делает данные частицы идеальными кандидатами в качестве агентов для разрушения раковых клеток методом фототермической терапии. Таким образом, исследование зависимости люминесценции центров окраски SiV^- и GeV^- от температуры алмазной матрицы будет в дальнейшем использовано при создании агентов для фототермической терапии раковых заболеваний с одновременной возможностью визуализации и термометрии процесса в режиме реального времени.

Литература

1. Romshin A.M., Pasternak D.G. et. al. Temperature characteristics of «silicon vacancy» luminescent centers in diamond particles synthesized by various methods// Optics and Spectroscopy. 2023. Vol. 131, no. 2. <https://doi.org/10.61011/EOS.2023.02.55773.18-23>
2. Masanori F., Gaku U. et.al. All-optical nanoscale thermometry based on silicon-vacancy centers in detonation nanodiamonds// Carbon. 2022. Vol.198. P.57-62. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.11398>
3. Grudinkin S.A., Bogdanov K.V. et.al. Multifunctional Core/Shell Diamond Nanoparticles Combining Unique Thermal and Light Properties for Future Biological Applications// Nanomaterials. 2023. Vol. 13. P. 3124. <https://doi.org/10.3390/nano13243124>
4. Mzyk A., Ong Y. et.al. Diamond Color Centers in Diamonds for Chemical and Biochemical Analysis and Visualization //Analytical Chemistry. 2022. Vol. 94, no. 1. P. 225-249 <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.1c04536>

Дидух Т. Е. _____

Богданов К.В. _____