

## Детерминированное размещение нанодiamondов, содержащих NV центры.

Д.Н. Джавадзаде<sup>1,2</sup>, С.А. Комракова<sup>3</sup>, В.Н. Сорокин<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup>Российский квантовый центр

<sup>3</sup>Лаборатория квантовых детекторов МПГУ

<sup>4</sup>Физический Институт им П.Н.Лебедева РАН

### Введение

Известно, что кристаллическая решетка алмаза состоит из атомов углерода. В ней можно создать дефект, заменив один атом углерода атомом азота N и удалив в смежном узле атом углерода, оставив там вакансию V. Тогда из пяти валентных электронов азота три ковалентно связываются с ближайшими атомами углерода, два с вакансией и еще один электрон захватывается со стороны. Однако иногда один электрон теряется, и данный искусственный атом переходит в нейтральное состояние. С помощью спектроскопических исследований различают 2 состояния:  $NV^0$  и  $NV^-$ , именно последний в дальнейшем будет пониматься под NV-центром. Такой искусственный атом как бы «вморожен» в кристаллическую решетку углерода, что делает его удобной платформой для реализации различных приложений квантовой оптики даже при комнатной температуре. Размер NV центра составляет около 3.5 ангстрем, а ось симметрии проходит по линии, соединяющей атом азота с вакансией. Схема уровней представлена на рис. 1 [1]. Чтобы определить собственные состояния центра, его рассматривают как молекулу; в расчетах применяется метод линейной комбинации атомных орбиталей и используется теория групп, учитывающая симметрии как алмазной кристаллической структуры, так и самого NV.

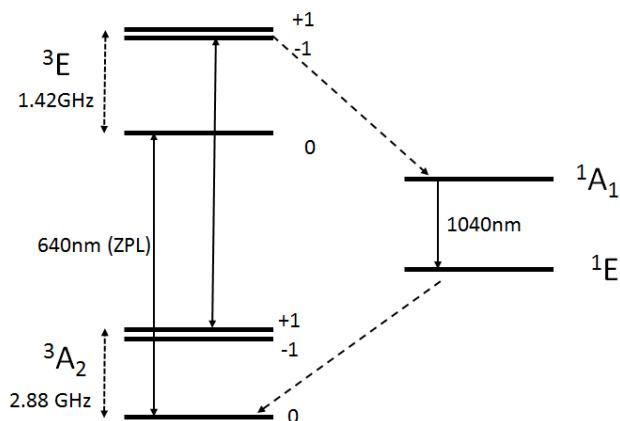


Рисунок 1. Схема уровней NV-центра

NV центры в алмазе обладают некоторыми хорошими свойствами, такими как

- Большие времена спиновой когерентности
- Оптическое считывание состояния спина
- Возможность управления спином с помощью микроволнового излучения

Однако в то же время существует необходимость улучшить слабые стороны: в фононно-несмещенную линию излучается лишь 4% всей люминесценции. В качестве решения проблемы была предложена идея помещения нанодiamondа с NV центром в резонатор. Для этого необходимо иметь технологию детерминированного размещения нанодiamondов. Умение детерминированного размещения нанодiamondов, содержащих NV центры, открывает большие возможности к дальнейшему изучению их взаимодействия с различными наноразмерными структурами, такими как нано-, микро-волноводы, резонаторы, нанодантенны.

## Описание метода [2]

На подложку из стекла, покрытую 5нм слоем алюминия, с помощью технологии spin-coating наносится слой резиста РММА 3% толщиной около 110нм, и затем он сушится на плите при температуре 150°С в течение 2 минут. Далее с помощью электронно-лучевой литографии в слое резиста «рисуются» массив дырок с диаметром 200нм, и затем проводится проявление засвеченных мест с помощью раствора пропанола в воде(8:1) (рис. 2)



Рисунок 2. 1 - слой резиста, 2 – слой алюминия, 3 – стеклянная подложка

Далее на подложку капается раствор положительно заряженного «клея» (polyelectrolyte (poly) diallyldimethylammonium) и через 5 минут избыток клея удаляется. Затем наносится раствор наноалмазов с присоединенной карбоксильной COOH группой, и образец оставляется на 30 минут. (рис. 3)

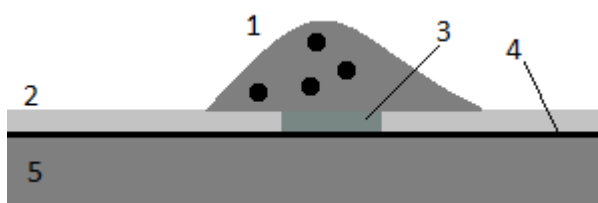


Рисунок 3. 1-раствор наноалмазов, 2–слой резиста, 3-клей, 4-слой алюминия, 5–стеклянная подложка

Предварительно удалив пипеткой излишек раствора функционализированных наноалмазов, применяется процедура взрывной литографии для резиста при помощи ацетона с последующей сушкой в струе азота N<sub>2</sub>. Затем удаляется тонкий слой алюминия с помощью раствора КОН. Взрывная литография в ацетоне для удаления резиста и травление в растворе КОН для удаления слоя алюминия проводятся в ультразвуковой ванне. (рис. 4)

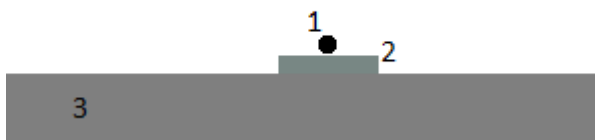


Рисунок 4. 1–наноалмаз, 2-клей, 3-стеклянная подложка

## Результаты

Были получены результаты размещения (рис. 5а), а также измерена автокорреляционная функция второго порядка (рис. 5б), доказывающая, что излучатель является одиночной квантовой системой и в совокупности со спектральными характеристиками и характерным временем жизни флуоресценции дает право утверждать, что это NV центр.

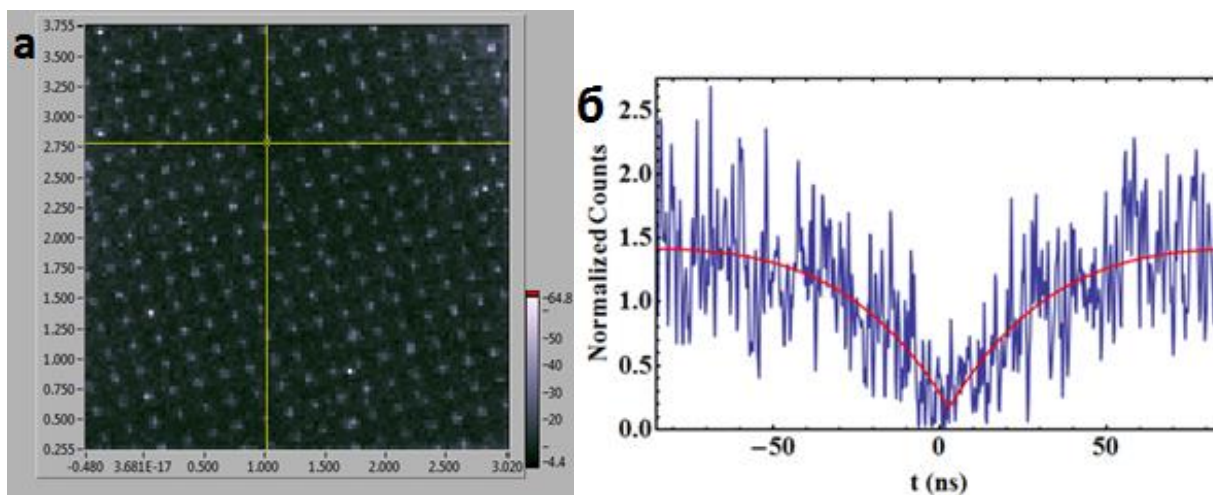


Рисунок 5. а) Изображение упорядоченного массива из конфокального микроскопа  
б) автокорреляционная функция второго порядка

## Литература

- [1] *J R Maze, A Gali, E Togan, Y Chu, A Trifonov, E Kaxiras and M D Lukin* Properties of nitrogen-vacancy centers in diamond: the group theoretic approach. *New Journal of Physics*, 2011
- [2] *Esteban Bermudez-Urena, Carlos Gonzalez-Ballester, Michael Geiselmann, Renaud Marty, Ilya P. Radko, Tobias Holmgaard, Yury Alaverdyan, Esteban Moreno, Francisco J. Garcia-Vidal, Sergey I. Bozhevolnyi & Romain Quidant.* Coupling of individual quantum emitters to channel plasmons. *NATURE COMMUNICATIONS*, 2015