Исследование центров окраски в радиационно-модифицированных алмазах

Козлова М. В.[1], Хомич А. А.[2], Хмельницкий Р. А.[3], Аверин А. А.[4], Ковалев А. И.[5], Хомич А. В.[2], Ральченко В. Г.[6]

[1]МГУ им. М. В. Ломоносова
[2]ИРЭ РАН
[3]ФИАН
[4]ИФХЭ
[5]БГУ
[6]ИОФ РАН

e-mail: *marija-kozlova@yandex.ru*

Алмазные материалы с фотоактивными центрами окраски имеют при комнатной температуре яркую и стабильную фотолюминесценцию (ФЛ) с высокой квантовой эффективностью, короткими излучательными временами жизни и узкими линиями. Центры окраски в алмазе [1] являются одной из наиболее перспективных платформ для создания однофотонных источников и спиновых кубитов, являющихся ключевыми элементами в функционирующих при комнатной температуре системах квантовой обработки и передачи информации, квантовой метрологии и детектирования, а отсутствие цитотоксичности делают алмаз с центрами окраски привлекательным объектом для применения в качестве биомаркеров. Наряду с легированием из газовой фазы [2] или из шихты [3], ионная имплантация либо облучение и последующий отжиг – одна из стандартных процедур для формирования центров окраски в алмазе [4].

Одним из наиболее перспективных центров окраски в алмазе для практического применения считается кремниево-вакансионный комплекс (SiV-центр) [1], который сохраняет узкую бесфононную линию (БФЛ) в спектрах люминесценции даже при 500 К и одновременно обладает низким фактором Хуана-Риса, характеризующим вклад БФЛ в спектр излучения центра окраски. В работе впервые исследовано поведение спектров ФЛ SiV-центра с БФЛ на 738 нм в широком диапазоне радиационного повреждения. Измерения спектров ФЛ проводились с нуклеативной стороны на осажденных из газовой фазы на кремниевых подложках алмазах, облученных быстрыми реакторными нейтронами с флюенсом от 10^{18} до 2×10^{20} см$^{-2}$ и отожженных в вакууме при температурах от 200 до 1700 °С. Показано, что облучение быстрыми нейтронами приводит к генерации высокой концентрации собственных дефектов, увеличению параметра кристаллической решетки и возникновению механических напряжений в алмазе. В зависимости от флюенса нейтронов и температуры последующего отжига исследована кинетика восстановления формы и интенсивности БФЛ центра 738 нм, а также процессы формирования центра H19 с БФЛ на 580 нм [5].

В работе также исследованы гелий-содержащие центры окраски в алмазе, проявляющиеся в спектрах ФЛ интенсивными узкими (ширина на полувысоте ~2 нм) БФЛ на 536 и 560 нм (HR1 и HR2 – от Helium Related). Измерения проводились на пластинах природных алмазов, в которые было выполнено десять циклов имплантации ионов гелия [6] с набором энергий и доз, обеспечивающих однородное радиационное повреждение в слое толщиной 670 нм с суммарной дозой [He] 5×10^{16} см$^{-2}$. Обнаружено, что в спектрах ФЛ природного алмаза типа 2а (беспримесного) после отжигов в диапазоне 600-900 °С помимо полос HR1 и HR2 присутствуют ещё, по меньшей мере, две серии слабоинтенсивных узких полос ФЛ, ранее не регистрировавшихся в спектрах люминесценции алмазов. Установлено, что полосы HR1 и HR2 имеют составную природу и представляют собой каждая

суперпозицию по меньшей мере трех полос лоренцевой формы. По данным температурной зависимости спектров ФЛ определена энергия активации температурного гашения полос HR1 и HR2, которая составила 150 мэВ. Выполнен анализ спектральной формы фононных крыльев у полос HR1 и HR2 и предложены вероятные структуры гелийсодержащих центров в алмазе. Обсуждаются перспективы использования центра окраски с БФЛ на 536 и 560 нм для задач квантовой оптики, биомаркеров и локальной термометрии.

Работа выполнена при поддержке грантов РНФ № 20-72-00122, РФФИ № 19-52-04008 и БелРФФИ № F19RM-054.

Список литературы

1. Bradac C., Gao W., Forneris J., Trusheim M. E., Aharonovich I., Quantum nanophotonics with group IV defects in diamond, Nature Communications, vol. 10, 5625, 2019;
2. Bolshakov A. P., Ralchenko V. G., Sedov V. S., Khomich A. A., et al., Photoluminescence of SiV centers in single crystal CVD diamond in situ doped with Si from silane, Physica Status Solidi (a), vol. 8, no. 1, 2525-2532, 2015;
3. Ekimov E. A., Kondrin M. V., Krivobok V. S., Khomich A. A., et al., Effect of Si, Ge and Sn dopant elements on structure and photoluminescence of nano- and microdiamonds synthesized from organic compounds, Diamond and Related Materials, vol. 93, 75-83, 2019;
4. Zaitsev A. M., Moe K. S., Wang W., Defect transformations in nitrogen-doped CVD diamond during irradiation and annealing, Diamond and Related Materials, vol. 88, 237, 2018;
5. Khomich A. A., Khmelnitskii R. A., Poklonskaya O. N., Averin A. A., et al., Photoluminescence spectra of the 580-nm center in irradiated diamonds, Journal of Applied Spectroscopy, vol. 86, no. 4, 597-605, 2019;
6. Khmelnitsky R. A., Dravin V. A., Tal A. A., Khomich A. A., et al., Mechanical stresses and amorphization of ion-implanted diamond, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, vol. 304, 5-10, 2013;

Исследование структурных превращений в облученных быстрыми нейтронами алмазах методами спектроскопии электронного спинового резонанса и комбинационного рассеяния света

Поклонская О. Н.[1], Лапчук Н. М.[1], Хомич А. А.[2], Вырко С. А.[1], Олешкевич А. Н.[1], Хомич А. В.[2], Поклонский Н. А.[1]

[1]БГУ, Минск
[2]ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

e-mail: *poklonski@tut.by*

Алмаз является перспективным рабочим веществом детекторов потоков ионов и элементарных частиц, а также электромагнитных ионизирующих излучений. Применение алмаза в полупроводниковой спинтронике и биомедицине только начинается.

В лабораторных условиях алмаз является метастабильной фазой углерода и при радиационном повреждении (РП) выше порога графитизации может трансформироваться в