

Температурные зависимости центров окраски Si-V, Ge-V и комплексов вольфрама в алмазных мультиспектральных эмиттерах

Каля И. Е.¹, Богданов К.В.¹

¹Университет ИТМО

Алмазные частицы с люминесцирующими точечными дефектами – центрами окраски – могут выступать в качестве материалов для элементов нанопотоники в таких областях как биомедицина, квантовая информатика и магнитометрия. Исключительные свойства алмазных матриц, такие как твердость, химическая стойкость и биосовместимость, обуславливают их широкое применение в различных областях современных технологий. Широкое распространение получили алмазные матрицы с центрами окраски на основе азота, однако такие недостатки как низкая интенсивность бесфонной линии люминесценции и широкая интенсивная полоса люминесценции фонных повторений вынуждают искать альтернативы данному типу центров. На сегодняшний день ведется работа по созданию и улучшению методов синтеза алмазных матриц с центрами окраски на основе внедренных атомов четвертой группы (Si-V, Ge-V). В работе применялся один из наиболее распространенных методов синтеза алмазных матриц с люминесцирующими центрами окраски – метод газозольного осаждения (CVD).

Несмотря на узость и высокую интенсивность бесфонной линии люминесценции центров окраски, паразитный люминесцентный фон от аморфной фазы углерода маскирует и делает сложными для детектирования линии данных центров. В качестве решения этой проблемы было предложено реактивно-ионное травление (Ion-Plasma Etching). Для травления была использована смесь кислорода и азота. Широкая полоса sp²-гибридизованного углерода на спектре комбинационного рассеяния отражает избыток аморфного углерода на поверхности образца. После процедуры травления спектры комбинационного рассеяния образца демонстрировали отсутствие sp²-гибридизованной фазы углерода, а на спектрах люминесценции алмазных наночастиц практически не было широкого люминесцентного фона.

Также были проведены исследования по определению зависимости качества алмазных матриц и центров окраски в зависимости от концентрации метана в газе, используемом для синтеза образцов. Линия комбинационного рассеяния алмаза (~1332 см⁻¹) уширяется по мере увеличения концентрации метана в образующем газе. К тому же растет интенсивность полосы, связанной с аморфной фазой углерода (~1400-1600 см⁻¹). Отношение интенсивностей откликов люминесценции от центров германий-вакансия к центрам кремний-вакансия падало с увеличением концентрации метана. Таким образом, варьируя содержание метана в смеси, представляется возможным контролировать относительную интенсивность люминесценции от центров окраски.

Помимо центров окраски на основе атомов четвертой группы для увеличения количества полос излучения в актуальном для биотехнологий ближнем инфракрасном диапазоне в качестве центров излучения было предложено использовать комплексы вольфрама. Данные комплексы характеризуются тремя бесфонными полосами излучения и внедряются в алмазную матрицу при распылении вольфрамовой нагревательной спирали (Hot Filament) в процессе синтеза алмазных матриц. Таким образом, в данной работе представлены синтезированные HFCVD-методом алмазные матрицы с комбинированными центрами окраски на основе кремний-вакансия, германий-вакансия и комплексами вольфрама.

В рамках работы исследован мультиспектральный источник излучения на основе алмазной матрицы, с центрами окраски кремний-вакансия и германий-вакансия, а также комплексами вольфрама. Проведены исследования оптического отклика источника излучения, исследованы зависимости спектров комбинационного рассеяния и фотолюминесценции от концентрации метана.

В отличие от узких линий центров кремний-вакансия (~738 нм), германий-вакансия (~602 нм) комплексы вольфрама при комнатной температуре на спектрах люминесценции представляют собой широкую полосу люминесценции в диапазоне 700–740 нм с тремя максимумами. Для выделения бесфонных полос комплексов вольфрама и получения температурных зависимостей частот излучения центров в алмазных матрицах были проведены исследования вплоть до криогенных температур. Для выявления температурных зависимостей была проведена деконволюция спектров люминесценции алмазных матриц при различных температурах. Линия люминесценции центра окраски кремний-вакансия (~738 нм) имеет близкий по положению максимум с длинноволновой полосой центра на основе комплексов вольфрама и может быть отнесена только за счёт деконволюции спектра люминесценции. Две линии люминесценции, относящиеся к комплексу вольфрама, с длинами волн ~714 нм и ~723 нм хорошо разрешаются при криогенных температурах.

Эта работа была поддержана Российским научным фондом (соглашение 21-12-00264).