Ансамбли NV- центров квантового качества в высокочистом алмазе после горячей имплантации и высокотемпературного отжига под давлением

С.Н. Подлесный¹, И.А. Карташов¹, **В.П. Попов¹**, И.Н. Куприянов², Ю.Н. Пальянов²

¹ ФГБУН Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН

630090, пр. Ак. Лаврентьева 13, Новосибирск, Россия

² ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,

630090, пр. Ак. Коптюга 3, Новосибирск, Россия

тел.: +7(383)333-25-37, эл. почта: popov@isp.nsc.ru

DOI 10.34077/RCSP2021-73

Квантовые устройства на спинах точечных дефектов широкозонных полупроводниках, например, NV центров и их ансамблях в алмазе привлекательны возможностью работы при комнатных температурах, однако время спиновой релаксации T_2^* зависит от других дефектов и обычно $T_2^* \ll T_2$ – времени когерентной релаксации на узловых атомах азота N_s . Проблемой остается их создание в заданной области, единственным способом которого является имплантация, создающая массу других дефектов. Решить проблему “квантового качества” можно двумя способами. Во-первых, формированием сверхрешеток из узловых атомов азота с регулярным рельефом для их встраивания при росте из газовой фазы [1], а затем захватом вакансий, сформированных при локальном облучении и нагреве сфокусированным пучком, в соседние с азотом узлы [2]. Во-вторых, внедрением одиночных ионов N^+ имплантерами с регистрацией фотонной или электронной эмиссии от вошедшего в мишень иона или заряда на её поверхности, управляющих процессом переноса ионного пучка в новую точку [3,4].

Ансамбли NV- центров создавались нами в высокочистом $\langle 111 \rangle$ алмазе типа Па “горячей” имплантацией ионов азота N^+ с энергиями 50, 100, 150, 200, 300 кэВ разными флюенсами при $T_{\text{imp}}=450-550^\circ\text{C}$ до концентраций азота $N_s \sim 5-150$ ppm в 250 нм слое согласно расчетам C-SRIM и термообработкой при $1200-1500^\circ\text{C}$ в вакууме или под давлением 6 ГПа (НРПТ) для отжига оптически активных дефектов. В результате оставались лишь N_s^0 , NV, N_2V и N_3V центры, концентрации каждого из которых были на порядок меньше предыдущего. При максимальной температуре отжига 1500°C в вакууме никаких дефектов, кроме NV и SiV центров на уровне ~ 1 ppb нет. При НРПТ отжиге содержание NV центров в слое было >0.2 ppm или более чем на два порядка выше по сравнению с отжигом в вакууме.

Данные импульсного оптически детектируемого магнитного резонанса, измеренные при комнатной температуре (Рис.), показали, что время спиновой релаксации $T_2^* = 0.6-1.2$ мкс соответствует экспериментальной и теоретической зависимости для $(T_2^*)^{-1} = BN_s^0$, тогда как обычно экспериментально выполняется соотношение $T_2^* \ll T_2$ при теоретической величине $T_2/T_2^* \approx 16$ за счет неспаренного электрона доноров N_s^0 [5]. Вероятной причиной повышенного содержания NV центров при НРПТ отжиге является рост термодинамически равновесной концентрации вакансий [6]. Близость времен T_2^* и T_2 может быть связана с высокой степенью ионизации доноров N_s^0 , которые ЭПР пассивны в ионизованном состоянии N_s^+ .

Литература

- [1] J. Achard et al. // J. Phys. D: Appl. Phys. 53, 313001, 2020.
- [2] M. Capelli, et al. // Carbon, 143, C. 714-719, 2019.
- [3] P. Racke et al. // New Journ. Phys., 22(8), 083028, 2020.
- [4] S. Pezzagna, Meijer, J. Applied Physics Reviews, 8(1), 011308, 2021.
- [5] J.F. Barry et al. // Rev. Mod. Phys. 92, 015004, 2020.
- [6] S. Rubanov, et al. // Diamond and Related Materials, 63, p.143-147, 2016.