

Электрические свойства очищенных детонационных наноалмазов в композиции с NaCl

Буга С.Г.¹, Попов М.Ю.², Овсянников Д.А.¹, Бадышев В.С.³, Квашнин А.Г.³

buga@tisnum.ru

¹ НИЦ «Курчатовский институт», г. Троицк, г. Москва

² Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва

³ Институт науки и технологий, Сколково, г. Москва

Исследована комплексная электрическая проводимость детонационных алмазов размером 2-5 нанометров в диэлектрической матрице NaCl в диапазоне температур от 300K до 400 K и в диапазоне частот 10^3 - 10^7 Гц при амплитуде переменного тока 30 мВ. Диапазон концентраций наноалмазов в исследуемых образцах составлял от 0,16 до 59 об.%. Выявлены ступени частотной зависимости электрической емкости $C(f)$ и максимумы приведенной проводимости $G_W(f)$ при фиксированных значениях T , что позволяет использовать метод адмиттанс-спектроскопии для определения частоты возбуждения свободных носителей заряда, их энергии активации и сечения захвата в наноалмазах. Для трех концентраций наноалмазов: 17, 48 и 59 об.% получено значение $E_a = 0,19 \pm 0,02$ эВ. Частота возникновения свободных носителей заряда при $T = 300$ -400 K составляет $10^3 - 10^4$ Гц, а сечение захвата составляло $(2.5 \pm 0.5) \times 10^{-20} \text{ см}^2$. Эти значения аналогичны сильнолегированным бором алмазам при $T < 150$ K с прыжковым типом проводимости по примесной подзоне [1]. Величина удельной электрической проводимости детонационных алмазов при $T = 300$ K составляет $\sim 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$, что примерно на 4 порядка меньше, чем у пленки UNCD со средним размером алмазных зерен ~ 5 нм и толщиной границы зерен $\sim 0,5$ нм, выращенной из газовой смеси, содержащей 1% N_2 [2]. Оценка концентрации носителей заряда при $T = 300$ K составляет 10^{12} - 10^{13} см^{-3} .

Методом функционала плотности исследованы электронные свойства алмазных нанокластеров диаметром от 0,8 до 1,7 нм. Рассчитанные электронные плотности состояний для кластеров сильно зависят от размера и реконструкции поверхности. Полученные распределения числа межатомных связей по их длине указывают на структурные особенности нанокластеров в зависимости от их размера. Рассчитанные электронные плотности состояний DOS содержат разрешенные энергетические уровни и подзоны вблизи уровня Ферми из-за наличия углеродных цепочек с sp^2 -связями. Такие цепочки располагаются на поверхности наноалмазов и, соответственно, могут образовывать уровни поверхностных состояний в запрещенной зоне, модели которых были изучены, например, в [3]. Полученные данные о структуре и электронных свойствах наноалмазов малого размера могут быть использованы при разработке квантовых устройств на основе одиночных NV-центров в алмазах, а также массивов таких наноалмазов с одиночными NV-центрами.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ-NSFC №25-43-00107.

Ссылки

1. V.I. Zubkov, O.V. Kucheroва, S.A. Bogdanov, A.V. Zubkova, J.E. Butler, V.A. Ilyin, A.V. Afanas'ev, and A.L. Vikharev, J. of Appl. Phys., 118 (2015) 145703.
2. S. Bhattacharyya, O. Auciello, J. Birrell, J. A. Carlisle, L. A. Curtiss, A. N. Goyette, D. M. Gruen, A. R. Krauss, J. Schlueter, A. Sumant, and P. Zapol. Appl. Phys. Lett. 79 (2001) 1441.
3. O. Pulci, M. Marsili, P. Gori, M. Palummo, A. Cricenti, F. Bechstedt R. del Sole. Appl. Phys. A 85 (2006) 361.