Сенсорный отклик и верхний предел емкости для случая водного интерфейса графена

Бутко А.В. [1] , *Бутко В.Ю.* [1] , *Кумзеров Ю.А.* [1]

vladimirybutko@gmail.com
[1] ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

Графеновые полевые транзисторы с затворными растворами (SGFETs) перспективны для создания эффективных химических и биологических сенсоров [1]. Сенсорный отклик в SGFETs зависит от квантовой емкости графена (C_q) и от емкости двойного слоя (C_{dl}). Предлагаемая модель отклика показывает, что он мал для затворных напряжений (V_{gate}), вблизи минимума проводимости графена (точка Дирака) и возрастает с увеличением V_{gate} при достижении C_q пороговых значений, близких к емкости двойного слоя (C_dl) [2]. Предсказывается падение отклика при дальнейшем увеличении V_{gate} для случая более сильной зависимости подвижности носителей заряда в графене (μ) от плотности молекулярных зарядов на его интерфейсе с затворным раствором (N_m), чем $\mu \sim 1/N_m$. К настоящему времени корректная формула C_{dl} не была установлена для практически важных случаев интерфейса графена с водой, водными и другими растворами. Мы разработали модель C_{dl}, учитывающую емкость слоя накопления заряда (C_{ca}) и емкость граничного региона (C_e) с пренебрежимо малой электрической восприимчивостью и проводимостью [3]. Эти емкости соединены последовательно, и C_{dl} дается формулой: $1/C_{dl} = 1/C_{ca} + 1/C_e$. В случае водных интерфейсов графена эта модель предсказывает, что C_e существенно влияет на C_{dl}. Мы изучали интерфейс графена с водой с помощью низкочастотной импедансной спектроскопии. Сравнение предсказаний модели и экспериментальных результатов свидетельствует о том, что расстояние между носителями заряда в графене до ближайших молекулярных зарядов на этом интерфейсе порядка типичной длины углерод водородной молекулярной связи ~(0.05–0.1) нм.

Обобщение предложенной модели, предполагающее, что такой граничный регион всегда присутствует на интерфейсе электродов в нефарадеевских конденсаторах и, что его длина не может быть короче характерных атомных размеров ~0.05 нм, предсказывает существование общего верхнего предела для емкости конденсаторов ~18 mФ/см^2. В докладе также планируется обсудить значение этого предела для практических приложений.

Авторы благодарны В.Ю. Давыдову, А.А. Лебедеву, С.П. Лебедеву, И.А. Елисееву, А.А. Сысоевой и А.В. Фокину за помощь. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №21-72-20038).

Ссылки

1. A.V. Butko, V.Y. Butko , S.P. Lebedev, A.A. Lebedev, V.Y. Davydov, I.A. Eliseyev, and Y.A. Kumzerov, Journal of Applied Physics (2020) 128[21], 215302.
2. А.В. Бутко, В.Ю. Бутко, Ю.А. Кумзеров, Физика Твердого Тела (2022) 12, 2086.
3. A.V. Butko, V.Y. Butko , and Y.A. Kumzerov, Journal: International Journal of Molecular Sciences (2023) 128[21], 10861.