ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/269

ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ДЕФОРМИРОВАННОГО ДВУХСЛОЙНОГО ГРАФЕНА ВО ВНЕШНЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ ДЛЯ ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ С НАРУШЕННЫМИ СИММЕТРИЯМИ СО ЩЕЛЬЮ

¹Мищук Б.Р., ²Решетняк А.А.

¹Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия
mbogdan@tspu.edu.ru, reshet@ispms.tsc.ru

Представлены результаты аналитического исследования влияния различных форм энергий основного состояния с энергетической щелью в зависимости от целочисленных значений спина $s = \pm \hbar/2$ и долины ξ в Дираковских К ($\xi=1$) and К' ($\xi=-1$) точках в спектре энергии квазичастиц (переносчиков заряда) на продольную σ_{xx} и Холловскую σ_{xy} оптические проводимости двухслойного графенов с АА и АВ стекированиями по Берналю [1,2] в рамках применения подхода квантовой электродинамики (КЭД₂₊₁), но в (2+1)-мерном пространстве-времени.

Точные аналитические выражения (без однопетлевых поправок) для оптических проводимостей во внешнем электрическом (приводящем к щели с энергией порядка 5-20 мэВ) и магнитном полях (3-10 Тесла) выведены с использованием 4-зонного микроскопического калибровочно-инвариантного относительно локальной группы U(1) оператора Гамильтона дираковского типа

Рис. АА- и АВ-двухслойные графены

$$H = \xi \begin{pmatrix} \Delta_{\xi s} & \gamma_3 v_F \pi / \gamma_0 & \gamma_4 v_F \pi^+ / \gamma_0 & v_F \pi^+ \\ \gamma_3 v_F \pi^+ / \gamma_0 & -\Delta_{\xi s} & v_F \pi & \gamma_4 v_F \pi / \gamma_0 \\ \gamma_4 v_F \pi / \gamma_0 & v_F \pi^+ & -\Delta_{\xi s} & \gamma_1 \\ v_F \pi & \gamma_4 v_F \pi^+ / \gamma_0 & \gamma_1 & \Delta_{\xi s} \end{pmatrix} \text{ при } \Delta_{\xi s} = U + \xi \Delta_T + s U_T + \xi s \Delta \quad (1)$$

(различного для АА и АВ-стекирований). Гамильтониан является линейным относительно ковариантных производных, включающих вектор-потенциал магнитного поля перпендикулярного (и отдельно параллельного) к слоям билэера. Результирующие проводимости вычислены по формуле Кубо и учитывают зависимость от температуры и химического потенциала, а также случай треугольного искажения спектра за счет параметра γ_3 . Вклад от последнего вычислен по теории возмущения относительно Гамильтониана $H_{\gamma_3=0} = H_0$, уточняя результат Л.Фальковского [3] Предельные случаи для проводимостей постоянного тока проанализированы и соотношения между Холловской проводимостью σ_{xy} и углами Фарадея и Керра для систем, включающих подложку разной толщины, в том числе из Si, выделены и исследованы, расширяя итоги работы [4].

Результаты предсказывают реализацию некоторых режимов устойчивых основных состояний с нарушенной симметрией относительно группы U(4) при наличии внешних полей (всегда присутствующих при работе элементов нано- и микрооптоэлектроники) для устройств на базе графена. В частности, мы представляем адаптированную к 4-зонной модели виды основных состояний при выборе той или иной формы щели [6, 7]: *квантовое долинное Холловское состояние* при $\Delta_{\xi s} = U$; *слоистое антиферромагнитное состояние* при $\Delta_{\xi s} = U_T$; *квантовое аномальное Холловское состояние* при $\Delta_{\xi s} = \Delta_T$; *квантовое спиновое Холловское состояние* при $\Delta_{\xi s} = \Delta$ с соответствующими параметрами порядка составленными из квадратичных комбинаций компонент волновой функции для уравнения Шредингера с Гамильтонианом (1). Эти параметры порядка характеризуются тем, что или они сохраняют симметрию относительно обращения времени для основного состояния, как для H (для

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

второго и третьего состояний) или нет (для первого и последнего состояний). Мы анализируем качественно и количественно устойчивость каждого из состояний, а также их некоторые комбинации при смешанной формы щели, относительно внешних электрических и магнитных полей для выбора способов реализации цифровой формы передачи, хранения данных для запоминающих и передающих элементов на графене.

В случае упругого или неупругого нагруженного двуслойного графена параметры γ_i в Гамильтониане модифицируются для учета отклика системы на механическое нагружение, в свою очередь влияющее на электрические проводимости двухслойного графена. Неупругое механическое воздействие учитывает появление дефектов Стоуна-Уэльса, а также дислокаций и их влияние на изменение электро- и теплопроводящих свойств (AA)AB-графена на основе точной матричной функции Грина билэра для квазичастицы (несовпадающей со скалярной электронной функции Грина в металлах).

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ-р-а 18-42-700020 “Транспортные электрические и тепловые свойства двумерных и графенных материалов”

Литература

1. K.S. Novoselov and E. McCann and S.V. Morozov etc. *Nat.Phys.* **2** 177 (2006).
2. E. McCann and M. Koshini, *Rep. Prog. Phys.* **76** 056503 (2013).
3. L.A. Falkovsky, *JETP Letters* **97** 429-438 (2013).
4. V.P. Gusynin, A.A. Reshetnyak, S. Sharapov, *AIP Conf.Proc.* 1683 (2015) 020070.
5. B.R.Mischuk, A.A. Reshetnyak, submitted to *Physical Review B*.
6. E V. Gorbar, V.P. Gusynin, A.B. Kuzmenko, S.G. Sharapov, *Phys.Rev.B* 86, 075414 (2012).
7. J.Jia, P. K.Pyatkovskiy, E.V.Gorbar, V. P. Gusynin, *Phys. Rev. B* 95, 045410 (2017), arxiv:1610.00797[cond-mat.str-el].