Акустоэлектронный транспорт в двумерных нецентросимметричных материалах

Каламейцев А.В.¹, Савенко И.Г.^{1,2}, Ковалев В.М.^{1,3}

¹ Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² Center for Theoretical Physics of Complex Systems, Institute for Basic Science, Daejeon 34126, Korea

³ Новосибирский государственный технический университет, 630072, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

DOI 10.34077/Semicond2019-379

В работе построена теория акустоэлектрического (АЭ) эффекта – возникновение стационарного электрического тока под действием бегущей поверхностной звуковой волны – в двумерных материалах, в которых отсутствует центр инверсии. Для определенности рассматривается структура, состоящая из подложки, обладающей сильным пьезоэффектом, и двумерного мономолекулярного слоя дисульфида молибдена (MoS_2). Предполагается, что вдоль поверхности подложки распространяется поверхностная акустическая волна (ПАВ) типа Гуляева-Блюштейна, см. Рис.1.

Рис.1. – Изучаемая система. а) Слой MoS_2 в поле ПАВ. б) Зона Бриллюэна монослоя MoS_2 со схематическим изображением гофрировки долин. $\mathbf{k}$ – волновой вектор ПАВ, IDT – встречно-штыревой преобразователь.

Эффект увлечения электронов обусловлен воздействием на носители заряда в монослое MoS_2 пьезоэлектрического поля ПАВ. Возникновение стационарного тока увлечения электронов ПАВ описывается откликом второго порядка на пьезоэлектрическое поле звуковой волны. Показано, что кроме стандартного вклада в ток увлечения, обусловленного звуковым давлением ($\mathbf{j}$), акустоэлектрический ток содержит еще два специфических долинных вклада, происхождение которых обусловлено гофрировкой долин монослоя ($\mathbf{j}^W$) и вкладом фазы Берри в групповую скорость электронов ($\mathbf{j}^B$). Расчет показывает, что в типичном для эксперимента длинноволновом приближении, структура вкладов в АЭ эффект имеет вид $\mathbf{j} = \mathbf{n}_k (\sigma_* E)^2 / ens$, где $\mathbf{n}_k = \mathbf{k} / k$, $\mathbf{k}$ – волновой вектор ПАВ, $\sigma_* = 4\pi s / (\varepsilon + 1)$ – характерная проводимость системы, определяемая скоростью звука s ; n, E, e – концентрация электронов, амплитуда напряженности пьезоэлектрического поля ПАВ и заряд электрона, соответственно. Ток, обусловленный вкладом фазы Берри пропорционален $\mathbf{j}^B \propto [\mathbf{j} \times \boldsymbol{\Omega}]$, в то время как вклад от гофрировки энергетических поверхностей $\mathbf{j}^W \propto \nabla_{\mathbf{k}} C(\mathbf{k})$, где функция $C(\mathbf{k}) \propto k_x^3 - 3k_x k_y^2$ отражает гофрированность спектра носителей в долинах монослоя. Как видно из этих выражений, основной вклад в АЭ ток, как и поправка от фазы Берри, являются нечетными функциями $\mathbf{k}$. В то же время вклад, обусловленный гофрировкой энергетического спектра долин, является четной функцией $\mathbf{k}$. Эти особенности могут быть использованы для экспериментального обнаружения обсуждаемых эффектов.

Работа поддержана проектом РФФИ №19-42-540011.