

СЛАБАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ В ДВУМЕРНОМ ТОПОЛОГИЧЕСКОМ ПОЛУМЕТАЛЛЕ

Мельникова В.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Данилюк А.Л. – канд. физ.-мат. наук

С использованием двух моделей слабой локализации для двумерных топологических полуметаллов рассчитаны параметры, характеризующие процессы диффузии, дефазировки, спин-орбитального рассеяния, а также среднее время между двумя событиями рассеяния, размерный параметр. Установлены закономерности, характеризующие взаимосвязь между значениями параметров двух моделей слабой локализации.

В настоящее время исследования топологических материалов перспективны не только из-за интересной и новой физики, но и в плане их использования для разработки элементной базы информатики на принципиально иных физических эффектах, обусловленных необычными электронными свойствами таких материалов. Поправки к 2D-магнитопроводимости топологического полуметалла с точки зрения теории разупорядоченных металлических систем в предположении, что в магнитном поле несколько явлений вносят вклад, среди которых эффект спинового расщепления $\delta\sigma_{ss}$, эффект кулоновского взаимодействия (обмен и вклад Хартри) $\delta\sigma_c$ и эффект слабой локализации $\delta\sigma_{WL}$ суммируются, т.е. $\delta\sigma(T, B) = \delta\sigma_{ss} + \delta\sigma_c + \delta\sigma_{WL}$, где B - индукция магнитного поля, T - температура. Для поправки на слабую локализацию для 2D электронных систем используем модель Hikami-Larkin-Nagaoka (HLN), которая часто применяется для интерпретации экспериментальных данных по измерению проводимости топологических изоляторов и полуметаллов [1]. Величину этой поправки запишем с учетом спин-орбитального рассеяния в виде

$$\delta\sigma_{WL}(T, B) = \alpha G_0 \left[\psi \left(\frac{1}{2} + \frac{B_\varphi}{B} \right) - \ln \left(\frac{B_\varphi}{B} \right) - 2\psi \left(\frac{1}{2} + \frac{B_\varphi + B_{so}}{B} \right) + 2 \ln \left(\frac{B_\varphi + B_{so}}{B} \right) - \psi \left(\frac{1}{2} + \frac{B_\varphi + 2B_{so}}{B} \right) + \ln \left(\frac{B_\varphi + 2B_{so}}{B} \right) \right], \quad (1)$$

Где α - параметр, $G_0 = q^2/2\pi^2\hbar$, функция $\psi(z)$ - дигамма-функция физической переменной z , $B_\varphi = \hbar/(4eL_\varphi^2)$ - магнитное поле, определяемое длиной фазовой когерентности, $L_\varphi = (D\tau_\varphi)^{1/2}$, $B_{so} = \hbar/(4eL_{so}^2)$ - характеристическое магнитное поле, определяемое длиной спин-орбитального взаимодействия, $L_{so} = (D\tau_{so})^{1/2}$, τ_{so} - время спин-орбитального рассеяния, τ_φ - время неупругого рассеяния (время дефазировки). В ряде работ получена модификация HLN модели для топологических изоляторов и топологических полуметаллов Дирака и Вейля [2]. В перпендикулярном плоскости пленки магнитном поле B функция $\delta\sigma_{WL}(B)$ описывается общим выражением

$$\delta\sigma_{WL}(T, B) = G_0 \sum_{i=1,2,3} \alpha_i \left[\psi \left(\frac{B_{\varphi,i}}{B} + \frac{1}{2} \right) - \ln \left(\frac{B_{\varphi,i}}{B} \right) \right], \quad (2)$$

Где $B_{\varphi,i} = (\hbar/4q)(1/L_\varphi^2 + 1/L_i^2)$, i - индексы синглетного, триплетного up и триплетного down (triplet-up, and the triplet-down) каналов соответственно, α_i - весовой коэффициент канала i , $L_i = (D\tau_e)^{1/2}$, $D_1 = 2D/[1 + (1/2)\lambda^2]$, $D_2 = D/\lambda$, $D_3 = D/\lambda^2$, $\alpha_1 = [(1/2) - \lambda + (3/2)\lambda^2]$, $\alpha_2 = [1 - 2\lambda^2]$, $\alpha_3 = (1/2)\lambda^2$, τ_e - среднее время между двумя событиями рассеяния, определяемое вкладом спин-орбитального рассеяния, плотностью состояния на уровне Ферми и степенью беспорядка. Безразмерный параметр λ описывает относительную силу скалярного и спин-орбитального связанного беспорядка. Уравнение (2) может использоваться для фитирования экспериментов по магнитопроводимости с фермионами Дирака, независимо от того, являются ли они безмассовыми или массивными. Оно полностью учитывает, как линейные, так и квадратичные спин-орбитальные связи посредством параметра λ .

Данный подход позволил самосогласованно определить коэффициенты диффузии, время дефазировки и время спин-орбитального рассеяния, исходя из экспериментальных данных. Также определены параметры λ , τ_e модифицированной модели (формула (2)), при которых достигается согласование с моделью HLN. Получено соответствие (или равенство) значений поправок $\delta\sigma_{WL}$, рассчитанных по формуле (1) и формуле (2) при одних и тех же величинах коэффициента диффузии D и времени дефазировки τ_φ .

Список использованных источников:

1. S. Hikami, A.I. Larkin, Y. Nagaoka, *Spin-Orbit Interaction and Magnetoresistance in the Two Dimensional Random System. Prog. Theor. Phys.* 63 (1980) 707 - 710.
2. W.E. Liu, E.M. Hankiewicz, D. Culcer, *Weak Localization and Antilocalization in Topological Materials with Impurity Spin-Orbit Interactions. Materials.* 10 (2017) 807.