

КОНВЕРСИЯ СПИНОВОГО ТОКА В ЗАРЯДОВЫЙ В МАГНИТНОМ ПОЛУМЕТАЛЛЕ ВЕЙЛЯ

А.С. Силивонец, А.Л. Данилюк

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В данной работе с помощью модели на основе полуклассического уравнения Больцмана получены результаты моделирования конверсии спинового тока в зарядовый в гетероструктуре, состоящей из ферромагнитного металла и одно-, дву- и трехмерного полуметалла Вейля, для баллистического и диффузионного режимов переноса заряда. Установлено, что эффективность преобразования спина в зарядовый ток в целом снижается с ростом отношения длины полуметалла Вейля к длине свободного пробега электронов в нем.

Ключевые слова: спиновый ток, конверсия, полуметалл Вейля, проводимость.

CONVERSION OF SPIN CURRENT TO CHARGE CURRENT IN A MAGNETIC WEYL SEMIMETAL

A.S. Silivonets, A.L. Danilyuk

*Educational Institution “Belarusian State University of Informatics and
Radioelectronics”, Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. In this paper, using a model based on the semiclassical Boltzmann equation, the results of modeling the conversion of a spin current into a charge current in a heterostructure

consisting of a ferromagnetic metal and a one-, two-, and three-dimensional Weyl semi-metal for ballistic and diffusion charge transfer modes are obtained. It has been established that the efficiency of the spin-to-charge current conversion generally decreases with an increase in the ratio of the length of the Weyl semimetal to the mean free path of the electrons in it.

Keywords: spin current, conversion, Weyl semimetal, conductivity.

Введение

В данной работе получены результаты моделирования значений токов в одно- (1D), дву- (2D) и трехмерной (3D) модели магнитного полуметалла Вейля (MWSM) [3]. Для нормировки расчетов вводится параметр $\alpha = L_x/l_f$, где L_x – длина проводника, l_f – длина свободного пробега электрона.

Основная часть

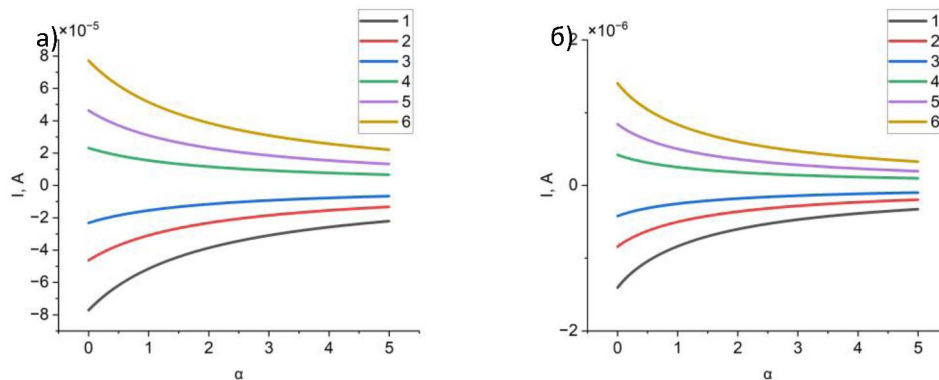
Одномерный случай. Поскольку электрический ток I постоянен вдоль направления x , его величина вычисляется, задавая $x = L_x/2$, что дает следующее выражение [2]

$$I = \frac{2e}{h} \int v_x g(k_x, x = \frac{L_x}{2}) \left(-\frac{\partial f_0}{\partial \varepsilon_k} \right) dk_x = G^{1D} (V_L - V_R), \quad (1)$$

$$\text{где } G^{1D} = G_0^{1D} \frac{2l_f}{L_x + 2l_f}, \quad (2)$$

это проводимость системы.

Полученные зависимости значения тока при изменении значения α для падения потенциала на MWSM $\Delta V = V_L - V_R \{-1; -0,6; -0,3; 0,3; 0,6; 1\}$ В показаны на рисунке а).



а) – Зависимости значений тока I от α при различных $\Delta V = V_L - V_R$:
 $\Delta V = -1$ В (кривая 1), $-0,6$ В (кривая 2), $-0,3$ В (кривая 3), $0,3$ В (кривая 4), $0,6$ В (кривая 5), $1,0$ В (кривая 6).

Рисунок 1б) – Зависимость значения тока I от α при $\Delta V = \{-1; -0,6; -0,3; 0,3; 0,6; 1\}$ В

Двумерный случай. Значение тока для двумерного случая будет определяться по формуле

$$I = G^{2D} (V_L - V_R),$$

где [2]

$$G^{2D} = G_0^{2D}(\chi_{bal}^{2D} + \chi_{dif}^{2D}) \quad (3)$$

это проводимость двумерного образца, где χ_{bal}^{2D} и χ_{dif}^{2D} – баллистический и диффузионный вклад в проводимость.

Зависимость значения тока будет выявляться при изменении значения α при $\Delta V = \{-1; -0,6; -0,3; 0,3; 0,6; 1\}$ В, что показано на рисунке 1б).

Трехмерный случай. В трехмерном случае проводимость равна

$$G^{3D} = G_0^{3D}(\chi_{bal}^{3D} + \chi_{dif}^{3D}) \quad (4)$$

где $G_0^{3D} = N_{ch} e^2 / h$ с $N_{ch} = (2\pi k_F^2 / h^2) A$ с A в качестве поперечного сечения.

Заключение

Путем моделирования на основе полуклассического уравнения Больцмана установлены закономерности конверсии спинового тока в зарядовый в гетероструктуре ферромагнетик/магнитный полуметалл Вейля. Рассмотрены одно-, дву- и трехмерный случаи полуметалла Вейля в баллистическом и диффузионном режимах токопереноса. Установлено, что эффективность преобразования спин/заряд снижается с ростом отношения длины магнитного полуметалла Вейля к длине свободного пробега электронов в нем. Установленные закономерности конверсии спинового тока в зарядовый важные для разработки энергоэффективных спинтронных устройств.

Список использованных источников

1. Zhang S.S.-L., et al. (2019) Spin-to-Charge Conversion in Magnetic Weyl Semimetals. *Phys. Rev. Lett.* 123 (18), 187201..
2. Ge Y.F., et al. (2022) The effect of size on spin-to-charge conversion in the magnetic Weyl semimetal. *Physics Letters A.* 429, 127953.
3. Geng H., et al. (2016) Unified semiclassical approach to electronic transport from diffusive to ballistic regimes. *Chin. Phys. B.* 25 (9), 097201.

References

1. Zhang S.S.-L., et al. (2019) Spin-to-Charge Conversion in Magnetic Weyl Semimetals. *Phys. Rev. Lett.* 123 (18), 187201..
2. Ge Y.F., et al. (2022) The effect of size on spin-to-charge conversion in the magnetic Weyl semimetal. *Physics Letters A.* 429, 127953.
3. Geng H., et al. (2016) Unified semiclassical approach to electronic transport from diffusive to ballistic regimes. *Chin. Phys. B.* 25 (9), 097201.

Сведения об авторах

Силивонец А.С., магистрант кафедры микро- и наноэлектроники, Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, adefols12@gmail.com

Данилюк А.Л., к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры микро- и наноэлектроники, Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, danilyuk@bsuir.by.

Information about the authors

Silivonets A.S. undergraduate at the Department of Micro- and Nanoelectronics, Educational Institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics".

Danilyuk A.L., Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Micro- and Nanoelectronics, Educational Institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics".