

Эффект Ханле в квантовых ямах с сильным спин-орбитальным взаимодействием

А. В. Пошакинский

ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
тел: (812) 292-71-55, эл. почта: avp1407@mail.ru

Исследован эффект деполяризации ориентированных по спину электронов в квантовых ямах во внешнем магнитном поле (эффект Ханле). Показано, что зависимость среднего спина электронов от магнитного поля определяется величиной спин-орбитального взаимодействия и подвижностью электронного газа. В квантовых ямах со слабым спин-орбитальным взаимодействием кривая Ханле описывается функцией Лоренца: спиновая поляризация монотонно уменьшается с ростом поля. В структурах же с сильным спин-орбитальным взаимодействием зависимость среднего спина от магнитного поля носит немонотонный характер. В этом случае спиновая поляризация квадратично растет с магнитным полем в малых полях, достигает максимума, а затем резко спадает.

Эффективным методом изучения спиновых эффектов в полупроводниковых структурах является оптическая ориентация электронных и ядерных спинов [1]. Метод основан на том, что межзонное поглощение циркулярно поляризованного света приводит к спиновой ориентации носителей заряда, которая, в свою очередь, вызывает циркулярную поляризацию люминесценции. Поперечное магнитное поле, приложенное к структуре, вызывает прецессию спина и приводит к подавлению поляризации люминесценции. Кривые Ханле [2], описывающие зависимость степени циркулярной поляризации вторичного излучения от магнитного поля, обычно соответствуют функции Лоренца. Ширина кривой определяется эффективным g -фактором электронов и временем спиновой релаксации, что позволяет определять эти параметры в оптических экспериментах.

В данной работе представлена теория эффекта Ханле для квантовых ям n -типа, выращенных вдоль кристаллографического направления [001]. Предполагается, что ориентированные по спину электроны генерируются циркулярно поляризованным светом в геометрии нормального падения, а магнитное поле направлено в плоскости интерфейсов. В квантовых ямах n -типа спиновая релаксация электронов в широком диапазоне температур и концентраций идет по механизму Дьяконова - Переля [3]. Механизм основан на вращении электронных спинов

в эффективном магнитном поле Рашбы или Дрессельхауза, направление которого зависит от волнового вектора. Расчет, выполненный методом спиновой матрицы плотности, показал, что характер кривых Ханле различен для систем со слабым и сильным спин-орбитальным взаимодействием и определяется параметром $\Omega_k \tau$, где Ω_k – частота вращения спинов в эффективном поле, а τ – время релаксации носителей по импульсу [4]. В системах с $\Omega_k \tau < 1$, кривые Ханле описываются функцией Лоренца. В структурах же с большим значением $\Omega_k \tau$ зависимость спиновой поляризации от магнитного поля становится немонотонной и имеет резкий максимум. Такое поведение обусловлено частичным подавлением спиновой релаксации электронов внешним магнитным полем, равным по величине спин-орбитальному полю на уровне Ферми. Показано, что измерение магнитного поля, соответствующего максимуму кривой Ханле, может быть использовано в экспериментах для непосредственного определения эффективных полей Рашбы и Дрессельхауза.

Литература

1. Optical Orientation, Eds. Y. Kusrayev and G. Landwehr, Special issue Semicond. Sci. Technol. 23 (2008).
2. W. Hanle, Z. Phys. 30, 93 (1924).
3. М. И. Дьяконов, В. И. Перель, ФТТ 13, 3581 (1971).
4. A.V. Poshakinskiy and S.A. Tarasenko, Phys. Rev. B 84 (2011), arXiv:1104.2701.