Электрон-ядерное взаимодействия в X долине гетероструктур (In,Al)As/AlAs

Т.С. Шамирзаев¹, М.С. Кузнецова², К.В. Кавокин², Д.С. Смирнов³,
J. Rautert⁴, Д.Р. Яковлев^{3,4}, М. Bayer^{3,4}

¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² Санкт-Петербургский государственный университет, 198504, Петергоф, ул. Ульяновская, д. 3.

³ ФТИ им. А.Ф.Иоффе, 19402, С.-Петербург, ул. Политехническая 26.

⁴ Technische Universität Dortmund, D-44221 Dortmund, Germany, Otto-Hahn-Strasse 4a

DOI 10.34077/RCSP2021-36

Экспериментально и теоретически изучалось сверхтонкое взаимодействие электронов и ядер в непрямозонных КТ (In,Al)As/AlAs первого рода. Особенностью этих непрямозонных КТ является пренебрежимо малое анизотропное обменное взаимодействие электрона в X долине и дырки в Γ долине, что приводит к формированию экситонов, с «чистыми» спиновыми состояниями $|\pm 1\rangle$, рекомбинирующих с излучением циркулярно-поляризованных фотонов. Для экспериментального определения электрон-ядерного взаимодействия измерялась циркулярная поляризация фотолюминесценции КТ в поперечном (эффект Ханле) и продольном (эффект восстановления циркулярной поляризации PRC) магнитных полях. Фотолюминесценция непрямозонных КТ возбуждалась квазирезонансно, через возбужденные состояния электрона, принадлежащие Γ долине зоны проводимости циркулярно-поляризованным излучением Ti:Sapphire лазера.

В поперечном магнитном поле (B_x) наблюдается эффект Ханле, т.е. степень циркулярной поляризации ФЛ уменьшается до нуля в полях несколько миллитесла. Контур Ханле описывается кривой Лоренца $\rho_c(B_x) = \rho_{0c} / (1 + (B_x / \Delta H)^2)$, где ρ_{0c} - степень поляризации в нулевом поле, с половинной шириной на половинной интенсивности $\Delta H = 1.25$ мТл. В продольном магнитном поле степень циркулярной поляризации ФЛ увеличивается с ростом его напряженности. Кривая восстановления поляризации также описывается контуром Лоренца с шириной ΔRCP , совпадающей с ΔH .

Измерение температурных зависимостей ширин кривых Ханле и PRC в диапазоне температур 2-30 К показало, что их значения от температуры не зависят. Постоянство ΔRCP и ΔH в широком диапазоне температур позволяет сделать вывод о том, что при низких температурах спиновая релаксация спин-поляризованных электронов в КТ определяется сверхтонким взаимодействием со спинами ядер. Теоретический симметричный анализ электронных блоховских амплитуд в X долине и микроскопический расчёт методом DFT показывают, что сверхтонкое взаимодействие в X долине, во-первых, подавлено по сравнению с Γ долиной, а, во-вторых, анизотропно. Сравнение теории и DFT расчетов с экспериментальными данными дает возможность определить значения констант сверхтонкого взаимодействия для каждого и трех типов ядер (Al, In, As), формирующих КТ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Deutsche Forschungsgemeinschaft via the Project No. 409810106 и РФФИ (проекты № 19-02-00098, 19-52-12001, 19-52-12043).

Литература

- [1] J. Fischer et al., Phys. Rev.B, 78, 155329 (2008).
- [2] T.S. Shamirzaev Phys.Solid State 60, 1554 (2018).
- [3] A. V. Shchepetilnikov et al., Phys. Rev.B, 94, 241302(R) (2016).