

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Кавокина Кирилла Витальевича на тему: «Релаксация углового момента и энергии в спиновых системах легированных полупроводников», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.10 — Физика полупроводников.

Диссертация Кавокина Кирилла Витальевича посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям релаксационных процессов в спиновых системах электронов и ядер в легированных полупроводниках. **Актуальность** темы исследований определяется недостаточностью фундаментальных представлений о физике спиновых состояний в полупроводниковых структурах с одной стороны, и перспективой использования полупроводниковой спинтроники для создания будущих поколений электронных приборов и устройств.

В диссертации проведено большое число **новых** теоретических разработок и экспериментов, который привели к формированию непротиворечивой картины рассматриваемых спиновых явлений, основанной на следующих наиболее важных результатах:

- 1) Теоретическое обоснование нового механизма спиновой релаксации электронов в примесной зоне полупроводника n-типа, основанной на предсказанной автором анизотропии обменного взаимодействия локализованных электронов проводимости в структурах без центра инверсии.
- 2) Экспериментальные данные о зависимости времени спиновой релаксации электронов в GaAs n-типа от концентрации донорной примеси в широком диапазоне, которые впервые надежно показали ее немонотонный характер.
- 3) Предложенные и реализованные новые методы невозмущающего контроля намагниченности ядерной спиновой системы.
- 4) Экспериментальное подтверждение предсказаний теории спиновой температуры.
- 5) Обоснование нового механизма отогрева ядерной спиновой системы флуктуирующими полями, возникающими при прыжках носителей в примесной зоне.
- 6) Новые данные о механизмах спин-решеточной релаксация предварительно оптически охлаждённых ядер в полупроводниковых структурах на основе арсенида галлия в слабых магнитных полях при отсутствии оптического возбуждения.

Полученные в диссертации результаты существенно расширили фундаментальные представления о механизмах релаксационных процессов в связанных спиновых системах электронов и ядер в полупроводниках, содержат количественные данные о временах жизни неравновесных спинов электронов и ядер в различных полупроводниковых системах, необходимые для инженерных расчетов, что в сумме определяют высокую их как **научную**, так и **практическую значимость**.

**Достоверность результатов и выводов** диссертации, подтверждается как использованием хорошо апробированных методов и методик, согласием экспериментальных данных, полученных различными методами между собой, а также с данными количественных теоретических расчетов, и с имеющимися литературными данными. Теоретические разработки диссертации базируются на фундаментальных физических законах и признанных результатах теоретических работ других авторов.

Русский вариант диссертации изложен на 121 странице, состоит из Введения, 6 глав и Заключения, содержит список цитируемой литературы из 79 наименований. Изложение материала ведется ясным и понятным языком, богато и красочно иллюстрирована графиками и диаграммами, и может быть рекомендована в качестве учебного пособия для студентов и аспирантов. Важным достоинством изложения является Заключение, в котором

даётся общая картина релаксации углового момента и энергии взаимодействующих спиновых систем носителей заряда и ядер решётки в полупроводниках, полученная в результате проведённых исследований.

При чтении диссертации возникли следующие **замечания**:

- 1) В работе кристаллы GaAs с концентрацией доноров выше  $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  называются «металлическими», в то время как характеристики проводимости при таких уровнях легирования ещё далеки от хорошего металла.
- 2) На Рис.4.3, по-видимому, опечатка: неравенства вверху противоположны соотношению интенсивностей переходов, показанных стрелками.
- 3) В 3-ей главе было отмечено о значительном (более чем на порядок) рассогласовании времён релаксации импульсного распределения, полученных из транспортных измерений и из подавления спиновой релаксации продольным полем. Возможные причины этому, к сожалению – не обсуждались и в работе использовалось значение константы спин-орбитального расщепления из литературных данных, измеренное по спектрам рассеяния с переворотом спина. Хотелось бы более подробно узнать аргументацию такого выбора.

Эти замечания не снижают общей высокой ценности диссертационной работы. Материалы диссертации К. В. Кавокина опубликованы в высокорейтинговых физических журналах (Physical Review Letters, Physical Review B, Scientific reports, Applied Physics Letters и др.), представлялись автором на международных конференциях, получили высокую оценку у специалистов, а сам автор является признанным экспертом мирового уровня в рассматриваемой области знаний.

Считаю, что диссертация Кавокина Кирилла Витальевича на тему: «Релаксация углового момента и энергии в спиновых системах легированных полупроводников» **соответствует** основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а ее соискатель, Кавокин Кирилл Витальевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.10 — Физика полупроводников. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета

Доктор физ.-мат. наук,  
профессор по специальности физика твердого тела,  
профессор СПбГУ

Вывенко Олег Федорович.

4.06.2020

