

ОТЗЫВ

председателя 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.

Изучение взаимодействия спиновых систем ядер и электронов в полупроводниковых кристаллах оптическими методами началось более пятидесяти лет назад. За это время сформировалось направление экспериментальных и теоретических исследований, получившее название «спинтроника». За время, прошедшее с начала этих исследований, экспериментальные методы, качество и разнообразие объектов изучения и теория достигли очень высокого уровня. Взаимодействия спиновых систем электронов и ядер между собой и с тепловым резервуаром кристалла столь разнообразны и сложны, что их теоретическое и экспериментальное изучение в различных кристаллических структурах, объемных и низкоразмерных, является обширным полем деятельности.

Отличительной особенностью диссертации К. В. Кавокина является то, что выводы представленных в ней фундаментальных теоретических исследований сопоставляются с результатами экспериментов, большая часть которых выполнена автором диссертации. Установлено, что важную роль в процессах спиновой релаксации в системе локализованных электронов играет анизотропное обменное взаимодействие. Существенным достижением экспериментальной части диссертации является применение невозмущающих исследуемый объект методов измерения параметров ядерной спиновой системы – это фарадеевское вращение, спектроскопия спиновых шумов, а также оптическое возбуждение, прерываемое «темными» временными интервалами. Автором диссертации впервые наблюдалось фарадеевское вращение, обусловленное полем Оверхаузера. Проведено исследование роли квадрупольного расщепления спиновых уровней ядер во взаимодействии ядерной спиновой системы с тепловым резервуаром. Важным фактором является усиление квадрупольного расщепления в гетероструктурах вследствие деформации актуальных кристаллических слоев.

Спин-решеточная релаксация изучена в арсениде галлия – это объемные кристаллы и гетероструктуры различного типа. Сделан вывод, что в «металлическом» кристалле n-типа определяющими являются рассеяние электронов на флуктуациях ядерной намагниченности и сверхтонкое взаимодействие ядер с электронами, локализованными на донорных парах. В кристалле n-типа с малой концентрацией доноров важную роль играют сверхтонкое взаимодействие спинов ядер и локализованных электронов – спиновая диффузия к локализованным электронам, квадрупольный механизм является преобладающим для ядер, удаленных от доноров. В арсениде галлия p-типа время спин-решеточной релаксации оказывается на три порядка короче по сравнению с n-типом вследствие изменения заряда доноров и акцепторов в условиях оптического возбуждения и последующей миграции заряда по акцепторам. Таким образом, выявлено сильное

влияние на спин-решеточную релаксацию флуктуаций зарядового состояния примесей и связанных с этим электрических полей.

Можно сделать вывод, что представленные в диссертации сведения являются большим шагом вперед в понимании вклада различных механизмов релаксации момента и энергии в зависимости от уровня и типа легирования полупроводникового кристалла.

При изучении диссертации возникли следующие замечания:

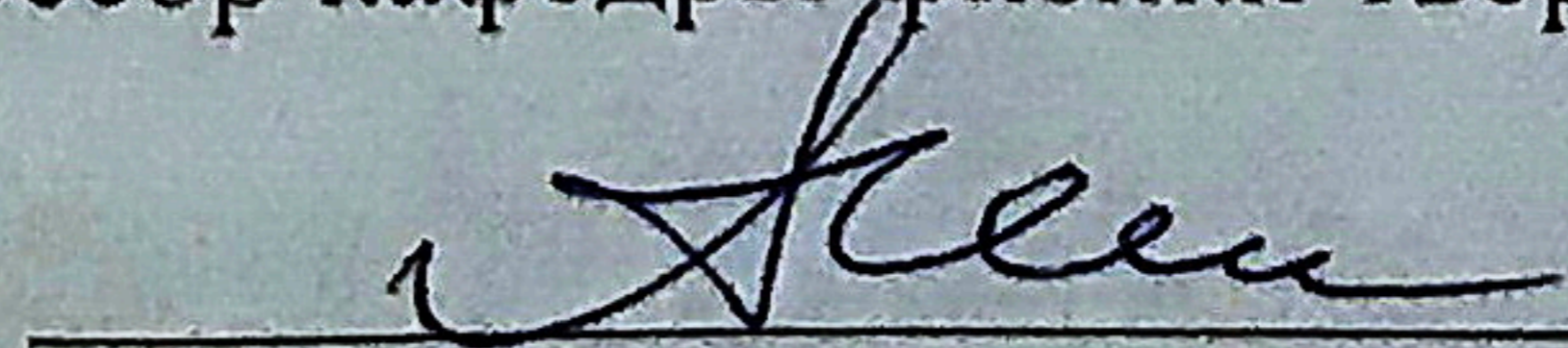
- выше уже говорилось об исследовании автором диссертации квадрупольного механизма спин-решеточной релаксации, где подчеркивается усиление роли этого механизма в результате деформации активного слоя GaAs. Следовало бы подробнее остановиться на том, как влияют на квадрупольное расщепление анизотропия и знак деформации (сжатие и растяжение активного слоя).
- в результате изучения релаксации момента в «металлическом» GaAs делается вывод о важной роли взаимодействия ядер с электронами, локализованными на донорных парах. Обосновано ли выделение отдельных донорных пар в кристалле с высокой концентрацией доноров?
- на с. 35 вводится время корреляции спина электрона, локализованного на доноре, далее на с. 43 употребляется выражение «так называемое время корреляции», но разъяснение сути этого понятия не приведено.
- Работа содержит большое количество обозначений, относящихся, в частности, к различным характерным временам, магнитным полям и т. д. Отдельный перечень этих обозначений облегчил бы изучение диссертации.

Общая оценка диссертации: представленная работа является исследованием высокого уровня, в ней получен целый ряд фундаментальных экспериментальных и теоретических результатов, определяющих механизмы релаксации моментов и энергии в объемных полупроводниках и полупроводниковых гетероструктурах, легированных донорами и акцепторами.

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», 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.

Председатель диссертационного совета

Доктор физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры физики твердого тела СПбГУ



Агемян В. Ф.

10/ июня 2020 г