

**ОТЗЫВ официального оппонента  
на диссертацию на соискание ученой степени  
кандидата химических наук Куртиной Дарьи Андреевны  
на тему: «Хиральные атомарно-тонкие структуры халькогенидов  
cadmия и меди: синтез, морфология и оптические свойства»  
по специальности 1.4.15. Химия твердого тела.**

Диссертационная работа Куртиной Дарьи Андреевны посвящена получению хиральных атомарно-тонких структур на основе халькогенидов кадмия и меди и изучению закономерностей взаимодействия данных систем, модифицированных энantiомерными органическими лигандами, с право- и лево-циркулярно поляризованным светом. **Актуальность** проведенного исследования обусловлена важностью задачи поиска новых хиральных полупроводниковых наноматериалов для создания устройств фотоники и квантовой оптики, в том числе со спиновой поляризацией, где решение задач с круговой поляризацией фотонов упирается в проблему использования комплексных и дорогих систем, включающих линейные поляризаторы и четвертьволновые пластины, что ограничивает их эффективность и интегрируемость. В настоящей работе основное внимание уделено получению и исследованию хиральных полупроводниковых наноматериалов с сильным дихроизмом взаимодействия с право- и лево-поляризованными циркулярно фотонами, что критически важно для фотоники, спектроскопии, квантовой оптики и квантовой криптографии, однако число таких материалов в данный момент очень ограничено.

**Научная новизна** работы определяется тем, что в ней разработаны концептуальные подходы к синтезу нового класса полупроводниковых наноматериалов — хиральных атомарно-тонких структур халькогенидов кадмия и меди, что позволяет решить актуальную задачу физико-химии твердого тела по управляемому получениюnanoструктур с заданными оптическими и структурными свойствами.

Диссертационная работа Куртиной Д.А. объемом в 128 страниц имеет классическое построение: введение, обзор литературы, экспериментальная

часть и разделы обсуждения результатов с заключениями и выводами. Литературный обзор содержит сведения об электронной структуре, оптических свойствах и способах получения двумерных полупроводниковых структур в коллоидных системах. Отдельное внимание в литературном обзоре удалено особенностям получения атомарно-тонких структур через формирование гибридных органо-неорганических систем. Экспериментальная часть содержит описание методик синтеза образцов атомарно-тонких полупроводниковых соединений на основе халькогенидов кадмия с различными органическими стабилизаторами на поверхности и методов исследования их состава, морфологии, структуры, оптических и функциональных свойств комплексом физико-химических методов. Использование широкого набора самых современных инструментальных методов, равно как проведение большого объема работы по структурированию полученных данных, существенно усиливают научную ценность работы.

В ходе выполнения работы проведен значительный объем исследований: разработаны способы получения хиральных атомарно-тонких наноструктур на основе CdSe и CdTe толщиной 2–3 монослоя с протяжёнными латеральными размерами до 500 нм, формирующихся при выращивании в коллоидной системе ацетата кадмия – октадецен – олеиновая кислота. Предложены методики последующего обмена исходных лигандов олеиновой кислоты на энантиомерные лиганды с тиолатной и карбоксилатной якорной группой. В дополнение к этим исследованиям проведен анализ состава поверхности методом ИК-спектроскопии. При анализе оптических свойств обнаружены знакочередующиеся полосы в спектрах кругового диахроизма, напрямую соотносимые с экситонными переходами НН, LH и SO в спектрах поглощения. Проведенный при этом обмен лигандов на поверхности наноструктур позволил достичь высоких значений фактора диссимметрии. В спектрах кругового диахроизма также была обнаружена инверсия знака полос для экситонов НН и LH для наноструктур CdSe, покрытых L-стереоизомерами цистеина и ацетилцистеина, что связывается с разной координацией лигандов

на поверхности. В дополнение к предыдущим исследованиям в работе изучено влияние диэлектрического экранирования на величину фактора диссимметрии в полученных гибридных полупроводниковых системах. Далее была разработана методика катионного обмена для получения атомарно-тонких структур на основе селенида меди с характеристиками вырожденного дырочного полупроводника. Для полученных систем показано сохранение толщины и свернутой морфологии, а также сохранение хиральных лигандов на поверхности. Методами вольтамперометрии продемонстрировано наличие высокой электропроводности полученных материалов.

Несомненно, что полученные результаты **достоверны**, что обусловлено использованием комплекса различных физико-химических методов для диагностики и исследования. Представленные **выводы обоснованы** результатами экспериментов.

По работе следует сделать следующие замечания:

1. Не согласен с формулировкой во Введении (на с. 28 диссертации), что хиральность – это уникальное явление. Скорее, в природе трудно найти идеально зеркально-симметричные структуры.

2. В таблице (1), уж если писать сумму по квантовым индексам  $i$  в формуле для двумерной плотности состояний, то надо бы добавить этот индекс к собственно квантовой энергии состояния. И уж тогда добавить суммы и к формулам для одномерного и ноль-мерного случаев.

3. В диссертации используется довольно неудачный, на мой взгляд термин «фактор диссимметрии», который, к тому же, обозначается зарезервированным в квантовой физике обозначением  $g$ . В физической оптике, насколько мне известно, величины аналогичного типа, характеризующие различие оптического отклика системы на лево- и право-поляризованный циркулярно свет, обычно называют степенью кругового (или циркулярного) дихроизма - поглощения, пропускания, отражения и т.д.

4. В формуле (13) не определяется, что такое последнее слагаемое.

5. В формуле (12) из 3 главы диссертации (которая приведена и в виде формулы (1) в автореферате) по крайней мере три неточности. Две из них – опечатки (знак приблизительно равно должен быть заменен знаком скалярного произведения, а имеющийся знак скалярного произведения – заменен знаком векторного произведения). Но есть еще и третья небрежность – отсутствие важного множителя, энергии взаимодействия диполей 1 и 2. Эта энергия обратно-пропорциональна третьей степени расстояния между диполями  $r_{12}$ . Без такого множителя из формулы (12) как бы получается, что сила взаимодействия между двумя диполями растет пропорционально первому множителю  $r_{12}$ . Что, конечно, совершенно не отвечает реальности.

6. Есть некоторые опечатки и в номерах ссылок. Например, ссылка [80] при обсуждении формулы (10) должна быть заменена на [81]. Где, кстати, формула (12) приведена со всеми правильными множителями.

7. Один из основных результатов диссертации – убывание фактора диссиметрии при увеличении диэлектрической проницаемости растворителя, используемого при исследовании спектров кругового дихроизма экситонов в хиральных наночастицах – качественно (см. на Рис. 82) соответствует уменьшению, вследствие экранировки, взаимодействия, приводящего к образованию экситонов в тонких полупроводниковых слоях, окруженных диэлектриком (потенциал Рытовой-Келдыша). Было бы интересно исследовать этот эффект количественно. Но это уже скорее не замечание, а рекомендация для продолжения исследований, инициированных вошедшими в диссертацию результатами.

Указанные замечания, безусловно, не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает всем требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.4.15. Химия твердого тела (по химическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете

имени М.В.Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Куртина Дарья Андреевна безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.15. Химия твердого тела.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
профессор, член-корреспондент РАН  
ПРОФЕССОР Кафедры общей физики и физики конденсированного состояния Физического факультета  
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

ТИХОДЕЕВ Сергей Григорьевич

*подпись*

21.11.2025

Контактные данные:

тел.: +7(499) 503-8777 доб. 102, e-mail: tikh@gpi.ru  
Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация:  
01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Адрес места работы:

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, Дом 1, строение 2,  
ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова», Физический факультет  
Тел.: +7 (495) 939-20-03; e-mail: info@physics.msu.ru

Подпись сотрудника МГУ имени М.В. Ломоносова

С.Г. Тиходеева удостоверяю:

Ученый секретарь Физического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова

д.ф.-м.н., профессор

*подпись*

/С. Ю. Стремоухов/

21.11.2025 г.