

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук Федоренко Романа Сергеевича
на тему: «Рост, электрофизические и электролюминесцентные свойства
двумерных пленок сопряженных олигомеров»
по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Диссертация Р.С. Федоренко посвящена одной из наиболее динамично развивающихся областей современной физики конденсированного состояния – органической электронике и оптоэлектронике. Несмотря на значительные успехи в области синтеза органических полупроводников и создания устройств на их основе, ключевая проблема до сих пор сохраняет свою остроту: как совместить в одном материале высокую подвижность носителей заряда и высокую эффективность люминесценции. Традиционно эти свойства являются взаимоисключающими, поскольку плотная упаковка молекул, способствующая транспорту заряда, часто приводит к концентрационному тушению люминесценции.

Автор предлагает элегантный и перспективный путь решения этой проблемы – использование двумерных кристаллических пленок на основе тиофен-фениленовых соолигомеров. Тонкие (толщиной в несколько десятков нанометров) и одновременно высокоупорядоченные пленки позволяют минимизировать волноводные потери света и обеспечивают эффективную инжекцию и транспорт зарядов. В работе систематически исследуется влияние молекулярной структуры – от линейно-сопряженных к частично анелированным и далее к донорно-акцепторным олигомерам – на электрофизические и люминесцентные характеристики получаемых 2D-пленок. Это определяет актуальность работы как с фундаментальной точки зрения, так и с практической.

Диссертация изложена на 131 странице, состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, содержит 80 рисунков и 10 таблиц, что

свидетельствует о большом объеме экспериментального материала. Структура работы логична и хорошо продумана: от обзора литературы и методики к последовательному усложнению химической структуры исследуемых молекул и анализу получаемых характеристик устройств.

Работа выполнена на высоком экспериментальном уровне. Автор не ограничивается измерением одной характеристики, а проводит глубокий анализ морфологии и структуры двумерных пленок, а также электрических и электролюминесцентных характеристик устройств на их основе. Особого внимания заслуживает самостоятельная разработка методик роста 2D-пленок и жидкофазного нанесения электродов, что говорит о высокой квалификации автора как экспериментатора.

Федоренко Р.С. не ограничивается формальным расчетом подвижности по модели Шокли, а использует современный инструментарий – фактор надежности. Анализ этого параметра позволяет критически оценить полученные результаты и отсеять случаи, где высокие значения подвижности могут быть обусловлены не идеальностью контактов или другими артефактами. Такой подход существенно повышает достоверность выводов.

Содержательная характеристика диссертации

Во Введении четко сформулированы цели, задачи, научная новизна и защищаемые положения. Актуальность работы убедительно обоснована противоречием между требованиями к транспорту заряда и люминесценции. Представленный список публикаций (9 статей в журналах Q1, 12 тезисов) и апробация на ведущих международных конференциях подтверждают высокий уровень работы и признание результатов научным сообществом.

Глава 1 представляет собой качественный и информативный обзор литературы. Автор последовательно вводит читателя в круг рассматриваемых проблем: природа органических полупроводников, принципы работы устройств, особенности амбиполярного транспорта. Особый интерес представляет раздел 1.5,

посвященный методам роста 2D-пленок. Здесь автор демонстрирует глубокое понимание физико-химических процессов кристаллизации и убедительно обосновывает выбор метода медленного испарения растворителя как наиболее подходящего для получения высококачественных 2D-структур.

Глава 2 детально описывает экспериментальные методики. Важно, что автор не просто перечисляет приборы, но и поясняет физические принципы их работы. Подробное описание процедур очистки, приготовления растворов и изготовления устройств обеспечивает высокую воспроизводимость результатов, что является признаком зрелой научной работы. Разделы, посвященные нанесению электродов (жидкофазным методом и термическим напылением), демонстрируют гибкость автора в решении технологических задач.

Глава 3 посвящена линейно-сопряженным олигомерам. Автор подробно описывает влияние концентрации раствора на морфологию и толщину пленок (от монослоев до малослойных структур). Электрические характеристики ОПТ ($\mu \sim 0.1\text{--}0.3 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$) показывают, что даже такие «простые» молекулы могут служить основой для стабильных и технологичных устройств. Ключевой вывод этой главы – демонстрация электролюминесценции в униполярных светоизлучающих транзисторах, что доказывает принципиальную возможность совмещения функций проводимости и электролюминесценции даже в этом классе материалов.

Глава 4 является, центральной и наиболее сильной в диссертации. Переход к частично анелированным ядрам (ВТВТ и ТТА) приводит к кардинальному улучшению транспортных свойств. Экспериментально доказано, что подвижность носителей заряда критически зависит от толщины пленки: монослои демонстрируют $\mu \sim 0.7\text{--}0.9 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, в то время как малослойные структуры – до $7.5 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Данные по стабильности поднимают работу на новый уровень, приближая ее к реальным инженерным задачам.

Глава 5 посвящена наиболее сложным донорно-акцепторным олигомерам, нацеленным на излучение в красной области спектра. Здесь автор блестяще

демонстрирует, как направленная химическая модификация (фторирование центрального кольца) позволяет управлять типом проводимости. Несмотря на более низкие подвижности, достигнута электролюминесценция с внешней квантовой эффективностью до 0.1%, что является очень хорошим показателем для однокомпонентных органических светоизлучающих транзисторов.

В Заключении четко сформулированы основные результаты и выводы, которые полностью соответствуют поставленным задачам и защищаемым положениям.

Замечания:

1. Утверждается высокая подвижность (до $7.5 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$), одновременно отмечаются дефекты и доменная структура. Но не объяснено, почему дефекты не лимитируют транспорт, не обсуждается длина свободного пробега, роль границ доменов. Это важное физическое противоречие не раскрыто.
2. Часто используются формулировки: «на уровне мировых результатов», «одни из самых высоких значений». Но нет систематической таблицы сравнения с лучшими публикациями не указано при каких условиях получены эти значения насколько они воспроизводимы. Это снижает убедительность заявлений о новизне и значимости.
3. Ограниченность анализа транспорта заряда: используется исключительно модель Шокли, при этом: не обсуждается ее применимость к: органическим материалам с ловушками, 2D пленкам с границами доменов, отсутствует анализ ловушек (trap density) механизмов транспорта (band-like vs hopping), не приведены температурные зависимости $\mu(T)$, которые критически важны. Вывод о «хорошем соответствии модели» выглядит упрощённым и недостаточно обоснованным.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации

соответствует специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена 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 Федоренко Роман Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории физической химии полимеров
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова
Российской академии наук

Годовский Дмитрий Юльевич

30.04.2026

Контактные данные:

тел.: +7 (499) 135-79-10, e-mail: godovsky@polly.phys.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

02.00.06 – Высокомолекулярные соединения

Адрес места работы:

119334, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д. 28, стр. 1. Институт
элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН

Подпись сотрудника д.ф.- м.н. Годовского Дмитрия Юльевича заверяю

Ученый секретарь ИНЭОС РАН :
дата

Е.Н. Гулакова