

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации 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

Диссертационная работа Р.С. Федоренко посвящена актуальной проблеме современной физики конденсированного состояния и органической электроники – созданию эффективных органических полевых транзисторов (ОПТ) и светотранзисторов (ОСТ) на основе двумерных пленок тиофен-фениленовых соолигомеров (ТФСО). Несмотря на впечатляющий прогресс в области органических полупроводников, ключевой вызов остается: совмещение высоких транспортных свойств (подвижности носителей заряда) с эффективной электролюминесценцией в одном материале. Поиск и исследование таких материалов, а также разработка методов получения их высококачественных двумерных кристаллических пленок являются несомненно актуальными как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения.

Общая характеристика работы

Автореферат написан четким, логичным языком и полностью отражает структуру и содержание диссертации. Работа обладает внутренним единством: от разработки методик роста пленок и изготовления транзисторных структур до детального анализа электрофизических и электролюминесцентных характеристик в зависимости от химического строения молекул. Обоснованность и достоверность результатов не вызывают сомнений – они получены с использованием современного оборудования (атомно-силовая и оптическая микроскопия, зондовая станция, прецизионные источники-измерители тока) и корректно обработаны, в том числе в рамках классической модели Шокли. Важно отметить, что результаты опубликованы в 9 рецензируемых статьях в журналах высокого уровня, что подтверждает их однозначную научную значимость.

Научная новизна и значимость результатов

Наиболее существенные научные результаты, полученные автором, заключаются в следующем:

- 1. Создание методической основы синтеза структур.** Автором разработана и оптимизирована методика роста двумерных (моно- и малослойных) кристаллических пленок для трех различных классов ТФСО (линейно-сопряженные, частично аннелированные, донорно-акцепторные). Продемонстрировано получение монокристаллических доменов с латеральными размерами до сотен микрометров и шероховатостью менее 0.4 нм – это важное достижение, применимое для широкого круга органических полупроводников.
- 2. Высокая подвижность основных носителей.** Для двумерных пленок на основе производного ВТВТ (DD-P-ВТВТ) получена подвижность дырок до $7.5 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. Это значение не только существенно превышает подвижность в аморфном кремнии, но и является одним из лучших в мире для двумерных органических пленок, что подчеркивает перспективность частично аннелированных ядер (ВТВТ, ТТА) для высокопроизводительной электроники. Важно, что автор корректно оценивает подвижности, следуя рекомендациям по избеганию завышенных значений.
- 3. Управление типом проводимости.** Оригинальным результатом является демонстрация того, что фторирование центрального фенильного кольца в донорно-акцепторных ТФСО позволяет переключать тип проводимости (с дырочного/биполярного на чисто электронный) за счет селективного понижения энергии верхней заполненной молекулярной орбитали. Это открывает путь к созданию амбиполярных устройств с контролируемыми свойствами.
- 4. Создание эффективных ОСТ.** Впервые для всех исследованных классов соединений продемонстрированы двумерные органические светотранзисторы. Особый интерес представляют донорно-

акцепторные олигомеры ТТРТТ-СНА и ТТФРТТ-СНА, обеспечивающие электролюминесценцию в красной области спектра с внешней квантовой эффективностью до 0.1%, что является вполне конкурентным уровнем для однокомпонентных устройств.

Замечания и вопросы по автореферату

При общей положительной оценке работы, в порядке дискуссии можно высказать следующие замечания и вопросы:

1. При столь впечатляющих значениях подвижности для DD-P-BTBT ($7.5 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$) и демонстрации электролюминесценции для родственных соединений, не совсем ясно, почему для данных структур не были показаны характеристики ОСТ (в отличие от донорно-акцепторных систем). Связано ли это с низким квантовым выходом люминесценции, как отмечается во введении для аннелированных структур?
2. На стр. 21 автореферата указано, что внешняя квантовая эффективность (ВКЭ) для обоих донорно-акцепторных олигомеров оценена в 0.1%. Каким методом оценивалась ВКЭ (интегрирующая сфера или расчет на основе геометрии и спектра)? Учтено ли излучение из боковых граней кристалла (волноводный эффект), который часто искажает оценку для тонких пленок?

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.

Емельянов Андрей Вячеславович
Кандидат физико-математических наук по специальности физика полупроводников 01.04.10
Ведущий научный сотрудник,
отдел ресурсных центров,
Курчатовский комплекс НБИКС-природоподобных технологий,
Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
123182, г. Москва, площадь Академика Курчатова, дом 1, НИЦ «Курчатовский институт»
тел.: e-mail: emelyanov_av@nrcki.ru

27.04.2026

Подпись к.ф.-м.н. Емельянова Андрея Вячеславовича заверяю

Заместитель директора –
главный ученый секретарь
НИЦ «Курчатовский инс

О.А. Алексеева