

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.108.01,**  
**СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО**  
**БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ**  
**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ПРОБЛЕМ ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ И**  
**МЕДИЦИНСКОЙ ХИМИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК», ПО**  
**ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**  
аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от «15» ноября 2023 г протокол № 11.

О присуждении Кузнецовой Лидии Ильиничне, гражданство РФ, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация **«Разработка полевых транзисторов на основе малотоксичных органических полупроводниковых материалов»** по специальности 1.4.4. – физическая химия принята к защите 4 сентября 2023 года (протокол заседания № 8) диссертационным советом 24.1.108.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук (ФИЦ ПХФ и МХ РАН), подведомственного Министерству науки и высшего образования РФ: 142432, Московская область, г. Черноголовка, пр. академика Семенова, д. 1 (адрес сайта <http://www.icp.ac.ru>), диссертационный совет утверждён приказом Минобрнауки РФ о создании от 11.04.2012 г. № 105/НК.

**Соискатель** Кузнецова Лидия Ильинична, 1984 года рождения, в 2022 году окончила аспирантуру ФИЦ ПХФ и МХ РАН (ранее ИПХФ РАН) по направлению 04.06.01 – Химические науки. В настоящее время работает младшим научным сотрудником в ФИЦ ПХФ и МХ РАН.

**Диссертация выполнена** в Группе молекулярной и гибридной электроники Комплекса лабораторий функциональных органических и гибридных материалов ФИЦ ПХФ и МХ РАН.

Научный руководитель – Трошин Павел Анатольевич, кандидат химических наук, заведующий Комплексом лабораторий функциональных органических и гибридных материалов ФИЦ ПХФ и МХ РАН

**Официальные оппоненты:**

1) Агина Елена Валериевна, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории функциональных материалов для органической

электроники и фотоники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук (ИСПИМ РАН);

2) Сыроепкин Михаил Александрович, кандидат химических наук, старший научный сотрудник Лаборатории химии карбенов и других нестабильных молекул Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института органической химии им. Н.Д. Зелинского Российской академии наук (ИОХ РАН);

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – ФГБУН Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук (ИНЭОС РАН), г. Москва. В положительном отзыве, подписанном доктором химических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории молекулярной спектроскопии Айсиным Ринатом Равильевичем и кандидатом химических наук, научным сотрудником лаборатории «Центра исследования молекул» Алиевым Теймуром Мовлановичем, утвержденном и.о. директора ИНЭОС РАН, чл.-корр. РАН Трифоновым А.А., отмечено, что «диссертационная работа «Разработка полевых транзисторов на основе малотоксичных органических полупроводниковых материалов» по актуальности темы, научной новизне, практической значимости полученных результатов, обоснованности сделанных выводов и уровню исполнения является логически законченным исследованием, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в том числе пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), и другим требованиям ВАК. Автор работы, Кузнецова Лидия Ильинична, без сомнения, заслуживает присуждения ей искомой ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4 – физическая химия.»

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 7 статей (общим объемом 32 страницы), индексируемых в RSCI, Scopus, а также 7 тезисов докладов в материалах всероссийских и международных конференций. Все работы процитированы в тексте диссертации, недостоверные сведения об опубликованных работах

отсутствуют.

**Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

1. Kuznetsova, L.I. Disubstituted perylene diimides in organic field-effect transistors: Effect of the alkyl side chains and thermal annealing on the device performance / L.I. Kuznetsova, A.A. Piryazev, D.V. Anokhin, A.V. Mumyatov, D.K. Susarova, D.A. Ivanov, P.A. Troshin // *Org. Electron.* – 2018. – V. 58. – P. 257-262.
2. Leshanskaya, L.I. (Kuznetsova, L.I.), Dibenzoindigo: A Nature-Inspired Biocompatible Semiconductor Material for Sustainable Organic Electronics / L.I. Leshanskaya (L. I. Kuznetsova), I.V. Klimovich, D.D. Dashitsyrenova, L.A. Frolova, E.S. Ershova, V.A. Sergeeva, V.Yu. Tabakov, S.V. Kostyuk, K.A. Lyssenko, P.A. Troshin // *Adv. Opt. Mater.* – 2017. – P. 1601033.
3. Klimovich, I.V. Design of indigo derivatives as environment-friendly organic semiconductors for sustainable organic electronics / I.V. Klimovich, L.I. Leshanskaya (L.I. Kuznetsova), S.I. Troyanov, D.V. Anokhin, D.V. Novikov, A.A. Piryazev, D.A. Ivanov, N.N. Dremova, P.A. Troshin // *J. Mater. Chem. C.* – 2014. – V. 2. – P. 7621-7631.
4. Anokhin, D.V. Towards understanding the behavior of indigo thin films in organic field-effect transistors: a template effect of the aliphatic hydrocarbon dielectric on the crystal structure and electrical performance of the semiconductor / D.V. Anokhin, L.I. Leshanskaya (L.I. Kuznetsova), A.A. Piryazev, D.K. Susarova, N.N. Dremova, E.V. Shcheglov, D.A. Ivanov, V.F. Razumov, P.A. Troshin // *Chem. Commun.* – 2014. – V. 50. – P. 7639-7641.

В вышеперечисленных работах представлены экспериментальные данные по систематическому исследованию групп - производных индиго и производных перилендиимида. В четвертой статье описан новый перспективный материал для биосовместимой электроники - дибензоиндиго.

На автореферат и диссертацию поступило 4 отзыва:

В отзыве профессора кафедры неорганической химии химического факультета Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, доктора химических наук Сережкина Виктора Николаевича замечаний нет.

В своем отзыве руководитель группы адаптивных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального

исследовательского центра проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, кандидат физико-математических наук Анохин Денис Валентинович отнес к недостаткам работы использование термина “колончатые структуры”, некорректного по отношению к производным индиго.

В отзыве ведущего научного сотрудника лаборатории физической химии полимеров, ФГБУН Института элементоорганических соединений имени А.Н. Несмеянова РАН, доктора химических наук Куклина Сергея Александровича отмечено, что «...выносимые на защиту данные имеют очевидную высокую научную значимость и практический интерес», замечаний нет.

В отзыве доктора химических наук, профессора кафедры фундаментальной и прикладной химии, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет» Клюева Михаила Васильевича отмечена необходимость «продолжить исследование токсичности разрабатываемых материалов. То, что «пленки дибензо[*f*,*f'*]индиго не оказывают повреждающего действия на эмбриональные клетки почки человека» (стр.22), безусловно, хорошо, но явно недостаточно. Какие продукты получатся при деструкции этого материала? Насколько они будут токсичны? Это предстоит выяснить».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их квалификацией в области органической и физической химии, а также органической электроники. Основной областью научных интересов оппонента д.х.н. Агиной Елены Валериевны является органическая электроника, в частности самоорганизация полупроводниковых материалов в тонких пленках, а также разработка устройств органической электроники таких как: хемосенсоры, «электронный нос» и т.д. Оппонент Сыроешкин Михаил Александрович является специалистом в области органической и физической химии. Выбор института элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук (ИНЭОС РАН) в качестве ведущей организации обоснован его значительными достижениями в области органической и физической химии.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:



Показано, что температурный отжиг и длина алкильной цепи замещенных перилендиимидов (ПДИ) являются ключевыми параметрами, позволяющими контролировать морфологию и кристаллическую структуру пленок, обеспечивая их эффективную работу в органических полевых транзисторах (ОПТ). Установлено, что оптимальные температуры отжига пленок ПДИ расположены вблизи их фазовых переходов. Выявлена корреляция между максимальными подвижностями носителей зарядов и величинами энтальпии фазовых переходов ПДИ.

Впервые показана возможность использования органического диэлектрика как темплата, приводящего к формированию новой полиморфной формы индиго, обеспечивающей значительное улучшение зарядово-транспортных характеристик.

Систематическое исследование 19 производных индиго позволило установить корреляции между особенностями молекулярного строения соединений, их оптоэлектронными свойствами и электрическими характеристиками транзисторов, изготовленных на их основе. Показана возможность создания стабильных на воздухе ОПТ n-типа на основе производных индиго с повышенным сродством к электрону.

Установлена взаимосвязь между кристаллической структурой тонких пленок производных индиго и их электрическими характеристиками в ОПТ.

Показано, что дибензо[ГГ]индиго линейного строения демонстрирует высокие подвижности носителей зарядов (более  $0,3 \text{ см}^2 \text{В}^{-1} \text{с}^{-1}$ ), сопоставимые с характеристиками лучших классических органических полупроводников. Установлена низкая токсичность дибензоиндиго на клетках человека, что делает его одним из наиболее перспективных органических полупроводников для биосовместимой электроники.

**Теоретическая и практическая значимость исследования обоснованы тем, что:**

Найденные корреляции между электрическими характеристиками ОПТ на основе перилендиимидов и энтальпиями их фазовых переходов позволяют

вести высокопроизводительный скрининг полупроводниковых материалов с помощью простых измерений термических свойств.

Показана возможность использования органического диэлектрика как темплата, определяющего супрамолекулярную организацию молекул в прилежащих слоях полупроводникового материала.

Найдены взаимосвязи между молекулярным строением производных индиго, их электронными и физико-химическими свойствами, а также электрическими характеристиками полевых транзисторов, изготовленных на их основе. Показано, что основным параметром является угол наклона молекул индигоидов в формируемых ими колончатых структурах. При малых углах наклона достигается эффективное перекрывание  $\pi$ -орбиталей соседних молекул, что обеспечивает эффективный транспорт носителей зарядов в канале транзисторов.

Разработан новый электролитный состав для анодного окисления алюминия на основе аминокислоты изолейцина, обеспечивающий высокую чистоту получаемого диэлектрика, минимальный гистерезис в вольтамперных характеристиках и близкое к нулю пороговое напряжения транзисторов.

Разработанные ОПТ на основе дибензоиндиго продемонстрировали высокую подвижность носителей зарядов (р-типа,  $0,34 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ ), что соизмеримо с характеристиками лучших органических полупроводников р-типа: пентацена и динафтофениофена. Относительно легкий синтез дибензоиндиго, низкая токсичность и высокая атмосферная и фотохимическая стабильность ОПТ на его основе свидетельствуют о перспективах использования этого материала для создания стабильных биосовместимых устройств органической электроники.

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

Достоверность полученных результатов, выводов и положений, выносимых на защиту, обеспечивается: корректностью поставленной цели и задач исследования, использованием обширного комплекса современных физико-химических и биологических методов исследования, большим объемом экспериментальных результатов, строгостью логического анализа.

Личный вклад соискателя заключается в непосредственном участии в планировании и постановке экспериментов, анализе литературных данных, обсуждении и оформлении полученных результатов, исследовании свойств материалов с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), оптической спектроскопии, атомной силовой микроскопии, изготовлении и характеристике органических полевых транзисторов и хемосенсоров.

В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания о представлении полученных данных. На все замечания соискатель дал исчерпывающие аргументированные ответы.

На заседании 15 ноября 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Кузнецовой Лидии Ильиничне ученую степень кандидата химических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.4.4. – физическая химия, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 15, против присуждения ученой степени – 0, действительных бюллетеней – 1.

15.11.2023

Заместитель председателя диссертационного совета

д.ф.-м.н.



/А.В. Куликов/

Ученый секретарь диссертационного совета

д.х.н.

/Г. С. Джабиев/