

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.116.01 (Д 002.085.01) НА
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ
МАТЕРИАЛОВ ИМ. Н.С. ЕНИКОЛОПОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ХИМИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «25» декабря 2025 г. № 17

О присуждении Заборину Евгению Алексеевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация «Синтез и исследование свойств новых полимеров, содержащих аннелированные фрагменты в составе основной цепи или боковых заместителях» по специальности 1.4.7 – «Высокомолекулярные соединения» принята к защите 23 октября 2025 года, протокол № 14, диссертационным советом 24.1.116.01 (Д 002.085.01) на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук (ИСПМ РАН), 117393 г., Москва, ул. Профсоюзная, 70, (приказ Минобрнауки №75/нк от 15 февраля 2013 года).

Соискатель Заборин Евгений Алексеевич, 1993 года рождения, в 2015 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», г. Москва с квалификацией «бакалавр», в 2017 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», г. Москва с квалификацией «магистр». С 2020 г. по 2024 г. проходил обучение в аспирантуре ИСПМ РАН. Кандидатский минимум был сдан в 2021-2023 годах. В настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника в Лаборатории функциональных материалов для органической электроники и фотоники Отдела органической электроники ИСПМ РАН.

Диссертационная работа выполнена в лаборатории функциональных материалов для органической электроники и фотоники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук (ИСПМ РАН), была рекомендована к защите на заседании Ученого совета ИСПМ РАН 09 сентября 2025 г., протокол № 11.

Научный руководитель – **Борщев Олег Валентинович**

доктор химических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией функциональных материалов для органической электроники и фотоники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук (ИСПМ РАН), г. Москва.

Официальные оппоненты:

Фёдорова Ольга Анатольевна

доктор химических наук, профессор, заместитель директора по научной работе, руководитель отдела элементоорганических соединений, заведующая лабораторией фотоактивных супрамолекулярных систем Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Института элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова, г. Москва;

Якиманский Александр Вадимович

доктор химических наук, научный руководитель филиала ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова НИЦ «Курчатовский институт» - Института высокомолекулярных соединений, руководитель лаборатории полимерных наноматериалов и композиций для оптических сред, г. Санкт-Петербург.

Официальные оппоненты дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук (ИНХС РАН), в своем положительном отзыве, составленном к.х.н., старшим научным сотрудником лаборатории

кремнийорганических и углеводородных циклических соединений ИНХС РАН, Алентьевым Дмитрием Александровичем, и утвержденном директором ИНХС РАН, д.х.н., профессором, академиком РАН, Максимовым Антоном Львовичем, отмечает актуальность диссертационной работы Заборина Евгения Алексеевича, посвященной синтезу и исследованию свойств новых полимеров, содержащих аннелированные фрагменты в составе основной цепи или боковых заместителях и направленной на разработку перспективных органических материалов с заданными электрофизическими характеристиками. Представленная работа выполнена на высоком научном уровне и демонстрирует системный подход к решению поставленных задач: от дизайна молекул и их синтеза до детального исследования физико-химических свойств, а также апробации в прототипах устройств, что позволяет не только расширить научные представления о взаимосвязи химического строения и функциональных свойств макромолекул, но и предлагает конкретные материалы-кандидаты для применения в органических светодиодах или фотоэлементах.

Рассмотрены все методики синтеза используемых в работе промежуточных и целевых соединений: линейных полимеров на основе карбосилан-силоксановой цепи с различной длиной алкильного спейсера у фрагмента ВТВТ и трех серий гребнеобразных полимеров: полисилоксанов, содержащих заданное количество диалкилпроизводных фрагментов ВТВТ с различной длиной концевой алкильной группы; полисилоксана, содержащего диалкилпроизводные фрагменты ТТА; полиметакрилатов, содержащих диалкилпроизводные фрагменты ВТВТ с различной длиной концевой алкильной группы и алкильного спейсера.

Показано получение полимеров с использованием реакций гидросилилирования, полимераналогичных превращений и радикальной полимеризации. Представлены термические характеристики и фазовое поведение полученных полимеров, а также их зависимости от длины алкильных фрагментов и количества ВТВТ-содержащих групп. Изучены электрические свойства органических полевых транзисторов (ОПТ), изготовленных на основе

полученных полимеров, а также смесей полимеров с С8-ВТВТ в различных соотношениях. Изучены термические, рентгеноструктурные свойства полученных смесей, а также морфология пленок ОПТ.

Достоверность полученных в работе данных обусловлена использованием для подтверждения химического строения и изучения свойств синтезированных полимеров комплекса физико-химических методов анализа, реализованных с применением современных методов и подходов, а именно ^1H , ^{13}C , ^{29}Si ЯМР спектроскопии, гель-проникающей хроматографии (ГПХ), элементного анализа, а также непротиворечивостью выявленных закономерностей литературным данным. Результаты работы были представлены в виде научных статей и прошли рецензирование в ведущих российских и зарубежных изданиях, входящих в базы данных «Scopus», «Web of Science» и «Белый список» РЦНИ. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 3 статьях, в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, а также представлены в виде докладов на российских и международных научных конференциях.

Практическая значимость работы заключается в том, что представлена перспектива применения синтезированных полимеров в качестве активного слоя в органических полевых транзисторах, наносимого растворными методами. Достигнута максимальная дырочная подвижность в транзисторе на основе смеси одного из синтезированных полимеров и малой молекулы 2,7-диоктил-ВТВТ, изготовленном с использованием растворных технологий и составила $0,19 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$.

Автореферат и научные публикации достаточно полно отражают содержание диссертации.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.4.7 Высокомолекулярные соединения (химические науки) по пп. 2, 3, 4 и 7.

Замечания и рекомендации, к диссертационной работе, возникшие при прочтении:

1. Синтез полимеров с использованием реакции гидросилилирования (Рисунок 50) является ступенчатым процессом. В связи с этим, молекулярная масса образующихся полимеров может определяться отклонением от стехиометрического соотношения между мономерами, а не только лишь длиной алкильных спейсеров. Однако в работе это не обсуждается.
2. На кривых ТГА полимера $[\text{Si-O-Si-C}_{11}\text{-BTBT-C}_{11}]_n$ видно, что потеря массы, хоть и достигает 5% при 320-340 °С, начинается намного раньше (менее 200 °С). Это может быть связано с тем, что полимер недостаточно высушен перед анализом, а потеря массы обусловлена испарением остаточного растворителя. Возможно, он на самом деле не менее термически стабилен, чем $[\text{Si-O-Si-C}_6\text{-BTBT-C}_6]_n$.
3. Рис. 75 и его обсуждение в тексте содержат много неясностей и ошибок. Например, в легендах к рис. 75 «а» и «г» кривые, соответствующие первому нагреву и охлаждению, обозначены неверно.
4. Рис. 76 и 77 в основном тексте диссертации, а также 20 и 21 в автореферате перегружены (содержат очень большое количество кривых) и при этом низкого качества, что в совокупности затрудняет их восприятие. Можно было бы их увеличить, либо уменьшить количество кривых.
5. В тексте работы присутствует большое число трудночитаемых сокращений, затрудняющих чтение работы и вынуждающих искать по тексту структуры полимеров.
6. В тексте работы содержатся опечатки. Например, стр. 123: название подраздела содержит лишние символы; стр. 137: «5%-нов». В конце многих предложений отсутствуют точки. Разделители целых и дробных частей чисел оформлены неоднобразно: используются как запятые, так и точки.

Указанные в отзыве замечания и рекомендации носят рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Диссертация Заборина Евгения Алексеевича «Синтез и исследование свойств новых полимеров, содержащих аннелированные фрагменты в составе основной цепи или боковых заместителях» представляет собой завершенное научное исследование, отвечающее критериям оригинальности, новизны и практической значимости. Автор демонстрирует высокую квалификацию, глубокие знания в области химии полимеров и умение решать сложные научные задачи. Проведенное исследование, его результаты и оформление диссертации полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, изложенным в пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения научных степеней», утвержденного постановлением правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 01 января 2025 г.), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7 – Высокомолекулярные соединения (химические науки).

На автореферат диссертации поступило 4 отзыва.

1. Отзыв к.х.н., заведующего лабораторией кремнийорганических соединений Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Института элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова» РАН, Анисимова Антона Александровича, положительный, содержит замечание и вопрос:

- 1) В рисунках 4 и 12 автореферата допущена ошибка в структурах продуктов реакции Фриделя-Крафтса (вместо кетона нарисован простой эфир).
- 2) Корректно ли сравнивать между собой свойства силоксановых и метакриловых полимеров, содержащих аннелированные фрагменты? В первом случае фрагменты статистически распределены по цепи, во втором присоединены к каждому повторяющемуся звену в полимере.

2. Отзыв к.х.н., ведущего научного сотрудника лаборатории «Электронные и фотонные процессы в полимерных наноматериалах»

Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина» РАН, Лыпенко Дмитрия Александровича, положительный, содержит замечание:

- 1) При использовании метода струйной печати достаточно сложно получить такие же упорядоченные полимерные структуры как в органических полевых транзисторах, при помощи которых была оценена подвижность носителей зарядов. Поэтому измерение дырочной подвижности в неупорядоченных полимерных пленках, было бы полезно провести и другими методами, такими как время пролетный метод (TOF) или метод извлечения заряда путем линейного увеличения напряжения (CELIV).

3. Отзыв д.х.н., заведующего лабораторией № 103 Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Института элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова» РАН (ИНЭОС РАН), Чусова Дениса Александровича, положительный. Содержит следующие замечания:

- 1) На странице вместо "влияют множество различных факторов" должно быть "влияет множество различных факторов" (подлежащее «множество» в ед. числе)
- 2) На странице 4 опечатка в слове «цепи» "содержащих аннелированные фрагменты в основной цеп;".
- 3) На странице 6 опечатка в слове "полиприсоединения".
- 4) На странице 10 опечатка во фразе "бромнидными группами".
- 5) На странице 12 опечатка в слове "в присутсвии".
- 6) На странице 16 опечатка в слове «массы» "уменьшаются температуры потери 5% масс\$" - очевидная опечатка: "массы".
- 7) На рисунке 8 вместо «LiAlH₄» изображен «LiAl₄».
- 8) Неправильно изображена структура соединений **26a-d**.

4. Отзыв д.ф.-м.н., профессора кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Паращука Дмитрия Юрьевича,

положительный. Содержит следующие замечания:

- 1) Поскольку работа нацелена на получение полупроводниковых материалов с приемлемой подвижностью носителей зарядов, стоило бы привести характерные вольт-амперные характеристики лучших образцов ОПТ.
- 2) Встречается ряд неточных формулировок, например, в конце второго абзаца на С.3 быстрый перенос заряда неясным образом увязывается с шириной запрещенной зоны; на С.21 обращает внимание жаргонизм «плотное π - π перекрытие между молекулами», а также неудачный термин «полупроводящая композиция». Там же упомянут электрод, который не обязательно является металлическим.

Соискатель Заборин Евгений Алексеевич по теме диссертации имеет 3 научные статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Основные результаты работы были представлены на 12 российских и международных конференциях различного уровня в виде устных и стендовых докладов.

В диссертации Заборина Евгения Алексеевича не содержатся сведения, представляющие государственную тайну, сведения, подлежащие засекречиванию, сведения, составляющие служебную или коммерческую тайну, препятствующие открытой публикации.

Работы по теме диссертации:

1. Simple synthesis of alkyl derivatives of tetrathienoacene and their application in organic field-effect transistors / M. S. Skorotetsky, O. V. Borshchev, E.A. Zaborin [et al.] // Journal of Materials Chemistry C. – 2021. – Т. 9. – № 32. – С. 10216–10221.
2. Синтез, термическое и фазовое поведение полисилоксанов с привитыми диалкилзамещенными [1]бензотиено[3,2-b][1]бензотиофеновыми группами / Е. А. Заборин, О. В. Борщев, М. С. Скоротецкий [и др.] // Высокомолекулярные соединения. Серия Б – 2022. – Т. 64. – № 6. – С. 435-449.
3. Синтез и фазовое поведение нового кремнийорганического полимера с фрагментами [1]бензотиено[3,2-b][1]бензотиофена в основной цепи / Гудкова

В публикациях и докладах диссертанта подробно изложены основные положения и содержание проведенных теоретических и экспериментальных исследований.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обусловлен компетентностью ученых-экспертов, и наличием у них научных публикаций в области синтеза, модификации, исследования свойств и применения полупроводниковых полимеров.

Диссертационная работа Заборина Евгения Алексеевича посвящена синтезу и исследованию свойств, в том числе полупроводниковых, новых полимеров, содержащих аннелированные фрагменты, такие как [1]бензотиено[3,2-b][1]бензотиофен (ВТВТ) и тиено[3,2-b]тиено[2',3':4,5]тиено[2,3-d]тиофен (тетратиеноацен, ТТА), в составе основной цепи или боковых заместителей. Главным результатом работы являются разработанные автором методы синтеза и полученные новые гребнеобразные полисилоксаны и полиметакрилаты, содержащие аннелированные фрагменты ВТВТ и ТТА в составе боковых заместителей, а также линейные поликарбосилансилоксаны, содержащие фрагменты ВТВТ в составе основной полимерной цепи. Исследование термических свойств и фазового поведения синтезированных полимеров методами ДСК, ТГА, поляризационной оптической микроскопии и мало- и широкоугольного рентгеновского рассеяния показало, что большинство из полученных полимеров образует насцентную кристаллическую, а также упорядоченную и неупорядоченную смектические фазы, температурный интервал существования которых определяется химическим строением изученных образцов: природой полимерной цепи, количеством и строением привитых аннелированных звеньев, а также длиной алифатических заместителей при аннелированных фрагментах. Обнаружено, что замена метакрилатной полимерной цепи на силоксановую в гребнеобразных полимерах с фрагментами ВТВТ приводит к повышению температур и

энтальпий фазовых переходов ввиду большей гибкости силоксановой полимерной цепи, которая облегчает упорядочение аннелированных фрагментов. Для гребнеобразных силоксановых сополимеров выявлено, что увеличение мольной доли звеньев, содержащих аннелированные фрагменты от 20 до 100%, приводит к повышению температуры и энтальпии фазовых переходов, при этом увеличение длины алкильного концевого фрагмента незначительно понижает температуру, но существенно повышает энтальпию фазовых переходов. Показано, что увеличение длины алифатического спейсера между аннелированными и силоксановыми фрагментами в основной цепи кремнийорганических полимеров приводит к повышению температуры и энтальпии фазовых переходов. Аналогичный эффект наблюдается для метакрилатных полимеров, содержащих привитые фрагменты ВТВТ с различной длиной алкильного спейсера. Изучение полупроводниковых свойств синтезированных полимеров в органических полевых транзисторах позволило выявить оптимальное химическое строение и состав функционального полимерного материала для достижения высокой подвижности носителей зарядов. Максимальная дырочная подвижность составила $1 \times 10^{-2} \text{ см}^2 \text{В}^{-1} \text{с}^{-1}$ для полисилоксана, содержащего 50% фрагментов ВТВТ с концевыми октильными заместителями. Автором показано, что добавление синтезированных привитых полимеров, содержащих ВТВТ фрагменты в боковых заместителях, к С8-ВТВТ значительно повышает стабильность ОПТ при хранении и увеличивает подвижность носителей зарядов в полученных полупроводниковых композициях до $0,19 \text{ см}^2 \text{В}^{-1} \text{с}^{-1}$.

Актуальность работы

Органические полупроводниковые полимерные материалы представляют большой интерес для органической электроники в связи с их уникальными электрическими свойствами, механической гибкостью, возможностью переработки из растворов и посредством печатных методов. Такие материалы могут быть использованы для создания устройств нового поколения - гибких дисплеев, сенсоров, солнечных фотоэлементов и других устройств печатной электроники. Особое место в ряду органических полупроводников занимают п-

сопряженные полимеры, среди которых выделяются аннелированные структуры, такие как производные ВТВТ и ТТА, а также их аналоги. Плоское строение и жесткость молекулярных фрагментов в таких системах способствуют эффективному внутримолекулярному π - π -сопряжению, облегчает перенос зарядов между сегментами соседних полимерных цепей, что приводит к снижению ширины запрещенной зоны, повышению подвижности носителей заряда и улучшению термической стабильности получаемых материалов. Присоединение аннелированных структур к основной цепи полимеров позволяет получить макромолекулы с заданными электронными характеристиками, а из них – материалы с требуемыми электрическими свойствами. Разработка таких материалов с заданными свойствами является актуальной задачей и требует глубокого понимания взаимосвязи «структура–свойство», поскольку на итоговые характеристики полимера влияют множество различных факторов: химическая природа полимерной цепи, строение привитого аннелированного фрагмента, растворимость, способность к упорядоченности макромолекул и др. Высокая растворимость и стабильность получаемых соединений являются необходимым условием для формирования качественных функциональных слоев методами струйной и рулонной печати, что в перспективе позволит перейти от лабораторных образцов к промышленному производству гибких электронных устройств. В связи с этим, диссертационное исследование Заборина Е.А., направленное на решение этих задач, является актуальным.

Цель диссертационной работы Заборина Е.А. заключается в синтезе новых полимеров, содержащих фрагменты ВТВТ и ТТА в составе основной цепи или боковых заместителей и выявление закономерностей между структурой и свойствами для полученных функциональных полимерных материалов.

Научная новизна полученных результатов. Впервые разработаны методы синтеза и получены новые гребнеобразные полисилоксаны и полиметакрилаты, содержащие аннелированные фрагменты ВТВТ и ТТА в составе боковых цепей, а также линейные поликарбосилансилоксаны, содержащие фрагменты ВТВТ в

составе основной полимерной цепи. Методами термогравиметрического анализа (ТГА) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), поляризационной оптической микроскопии (ПОМ) и рентгенофазового анализа (РФА) изучены термические свойства и фазовое поведение синтезированных полимеров и выявлено влияние на них природы основной полимерной цепи, количества и строения аннелированных фрагментов, длины алкильных спейсеров и концевых заместителей. Изучение полупроводниковых свойств синтезированных полимеров в органических полевых транзисторах позволило выявить оптимальное химическое строение и состав функционального полимерного материала для достижения высоких подвижностей носителей зарядов.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в том, что разработаны методы синтеза, позволяющие получать новые линейные и гребнеобразные макромолекулы заданного химического строения и топологии, обладающие полупроводниковыми свойствами. Выявлены основные фундаментальные закономерности между структурой и свойствами таких макромолекул и функциональных материалов на их основе. Практическая значимость работы состоит в том, что синтезированные полимеры могут быть использованы в качестве активного слоя в органических полевых транзисторах, наносимого растворными методами. Максимальная дырочная подвижность в транзисторе на основе смеси одного из синтезированных полимеров и малой молекулы 2,7-диоктил-ВТВТ, изготовленном с использованием растворных технологий, составила $0,19 \text{ см}^2 \text{В}^{-1} \text{с}^{-1}$.

Диссертация Заборина Е.А. соответствует пунктам 2, 3 и 9 паспорта научной специальности 1.4.7 – «Высокомолекулярные соединения» и отрасли науки – химические.

Работа полностью соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013г. в актуальной редакции, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания и вопросы:

1. Какие у Вас представления о том, какую роль в этом играет молекулярный дизайн, и какую роль играет морфология материала?
2. Можно 19-ю страницу? С чем вот связано на синей кривой богатство разных переходов? Там, наверное, не только фазовые переходы, но еще и стеклование есть. Чем они обусловлены? И почему такое богатство именно для этого полимера?
3. Скажите, 23-й слайд, когда вы говорите, что у вас сокристаллизация, вы показываете только ДСК. А что, есть доказательства рентгеновского рассеяния, что это фаза совмещения? То есть у вас период смектический уменьшился в два раза?
4. На пятом слайде, где Вы делали спейсер разной длины между фрагментом ВТВТ и акрилатным фрагментом - с чем связано такое падение выхода седьмых продуктов (на рисунке на слайде), седьмых производных и пытались ли как-то оптимизировать синтез? Вопрос по поводу акрилатов, полимеров на основе акрилатов. Для чего они были сделаны, и как-то их сопоставить с силоксанами можно? Вообще, зачем они делались? И там, я так понимаю, контролировать массу не особо удалось вот научиться, их молекулярную?
5. Количество, содержание, степень прививки как влияет? Есть у Вас какие-то рекомендации общие для привитых цепи? Для полупроводниковых свойств?
6. Когда вы готовите образцы для измерения подвижности носителей, как выглядит эта процедура приготовления раствора? Вот у вас есть полимер. Дальше, что вы делаете?
7. Тогда, если вы на этой стадии, допустим, используете растворители разного качества: хорошие, плохие, и так далее, и так далее, наносите свою пленку. Полимер тот же самый. Характеристики поменяются в вашей подвижности от варианта приготовления вашего, от варианта формования вашей пленки? Поменяются. Поэтому у вас здесь,

получается, две составляющие, которые влияют на эту характеристику. Дизайн, то, что я говорил, фактический синтез, и второе - препарирование, да? Подготовка, то есть, собственно, вот этого материала. И вы можете сказать, что важнее? Я могу взять плохой полимер и правильно приготовить вот этот, так сказать, материал на подложке, получить великолепную подвижность? Либо нет? Либо для этого нужно обязательно иметь замечательный полимер?

8. Ну, плохой, вы оцениваете равномерность, а может, проводимость на плохом будет замечательная? Подвижность. Равномерность. Корявый такой, но подвижность будет у него прекрасная?

Соискатель Заборин Е.А. согласился с высказанными замечаниями, ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Что касается молекулярного дизайна, мы видим на рентгеноструктурном анализе, что происходит сокристаллизация, которая улучшает перенос заряда в композициях. В качестве матрицы выступает полисилоксан, содержащий ВТВТ, а наполнителем является диоктил ВТВТ. Образуется сокристаллизация, поскольку они похожи по строению между собой, как полимер, так и диоктил ВТВТ. А, что касается морфологии, полимер добавляет стабильность, и за счет этого диоктил ВТВТ, через некоторое время после хранения не агрегируется, и не образуются большие домены, как указано здесь на слайде. И таким образом транзистор не деградирует.
2. Предполагается, что все эти переходы - тут есть стеклование, при минус 125, и эндотермические, и экзотермические фазовые переходы, они, вероятно, связаны с превращениями алкильных цепей в результате анализа. А что касается других двух фазовых переходов, они связаны с разупорядочением фрагмента ВТВТ.
3. Рентгеновское доказательство есть, сейчас я вам покажу. Здесь представлены на рисунках А и Б данные малого углового рентгеновского рассеяния для чистого полимера. Рисунки В, Г и Д, Е

— это мало угловое рентгеновское рассеяние при нагревании и охлаждении смесей полимера с диоктилом ВТВТ в разных соотношениях. Как в соотношении 1 к 1, так и в соотношении 1 к 5 наблюдается сигнал 1,8. Этот сигнал, характерный для фазы сокристалла, у чистого полимера этого сигнала в области 1,8 нет. Второй сигнал характерен для диоктила ВТВТ в смеси. То есть по этим данным мы делаем вывод, что, помимо наличия в смеси самого диоктила ВТВТ, присутствует именно фаза сокристалла. В довесок ко всем данным, которые мы представили.

4. Падение вызвано тем, что увеличиваются длины алкильных заместителей, вероятно, падение связано с этим, что снижается реакционная способность, и поэтому выходы так снижаются. Что касается оптимизации, нет, оптимизация не проводилась. Акрилаты были синтезированы, чтобы сравнить влияние цепи, как я это уже показывал на слайде, и выяснить зависимость структура-свойства, как и термические свойства, так и полупроводниковые свойства. То есть можно сделать вывод, что при переходе от полиметакрилатов к полисилоксанам, как я уже говорил, повышается температура энтальпий фазовых переходов, а также термостабильность материала. Что касается полупроводниковых свойств, можно сделать вывод, что полиметакрилаты непригодны в качестве материала для органической электроники, а полисилоксаны, соответственно, пригодны.
5. Есть рекомендации. На самом деле полное заполнение полимеров является самым наилучшим в плане полупроводниковых свойств, однако при этом у полимера понижается растворимость и становится сложно наносить такие полимеры. Поэтому самым оптимальным получается - полимер, содержащий 50%. Это коррелирует с данными ДСК, потому что при меньшем содержании привитых, при 20% и при 10% наблюдаются низкие фазовые переходы, что соответственно плохо отразится на полупроводниковых свойствах. Поэтому да, оптимальное - 50% заполнение.

6. Далее растворяем его в определенной концентрации в растворителе. Затем, если мы говорим о методе нанесения вращающейся подложки, подготавливаю образец, на который буду наносить и наношу раствор полимера.
7. Важна совокупность этих критериев. То есть, как хороший полимер, так и правильное нанесение и метод нанесения. Я сравнивал два метода нанесения. Метод Ленгмюра-блоджетт и метод вращающейся подложки для полимера, привитого полисилокана, содержащего ВТВТ фрагменты. И, как мы видим, метод Ленгмюра-блоджетт, препарирование вот этого полимера, оно приводит к плохому, печальному результату. И, собственно, метод вращающейся подложки, он здесь стал оптимальным. То же самое касается и подбора растворителей. В докладе не показано, но был подбор растворителей, и самым оптимальным в данных условиях оказался толуол.
8. Мы проверяли, такой подвижности не наблюдалось.

Исследование Заборина Е.А. выполнено на высоком научном уровне. Результаты диссертационной работы вносят вклад в развитие науки и технологии в области синтеза, исследования свойств и применения привитых полимеров.

Диссертационный совет считает, что диссертация Заборина Е.А. полностью соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013г. в актуальной редакции, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. На заседании диссертационного совета, прошедшем 25 декабря 2025 г., принято решение: за разработку метода синтеза и исследование свойств новых полимеров, содержащих аннелированные фрагменты в составе основной цепи или боковых заместителях, присудить Заборину Евгению Алексеевичу ученую степень кандидата химических наук по специальности 1.4.7. – высокомолекулярные соединения.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 13 докторов наук, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав, проголосовали: «за» - 13, «против» - 0, воздержавшихся нет.

Председатель
диссертационного совета
24.1.116.01 (Д 002.085.01),
Д.х.н., чл.-корр. РАН



Озерин Александр Никифорович

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.х.н.



Борщев Олег Валентинович

25.12.2025 г.

