



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И ДИЗАЙНА» (СПбГУПТД)

№ 38-03-20/03-37 от 28.04.26.

Б. Морская ул., д. 18, Санкт-Петербург, 191186
Тел. (812) 315-75-25 Факс (812) 571-95-84
E-mail: rector@sutd.ru http://www.sutd.ru

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
Санкт-Петербургского
государственного университета
промышленных технологий и дизайна

А. Г. Макаров

«28» 04 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» (СПбГУПТД) на диссертацию **Волгиной Елены Алексеевны** «Электрофизические свойства пористых пленок и трековых мембран на основе поливинилиденфторида», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. физика конденсированного состояния

Актуальность диссертационного исследования

В последние годы повышенное внимание уделяется разработке изделий из полимерных материалов, обладающих особыми функциональными свойствами. К таким материалам, без сомнения, относится пористый поливинилиденфторид (ПВДФ), что обусловлено перспективами использования ПВДФ-мембран в различных высокотехнологичных областях промышленности (электронной, медицине, химической и др.) Повышенный интерес к ПВДФ объясняется и тем, что этот полимер проявляет пьезо-, пиро- и сегнетоэлектрические свойства. Несмотря на активные исследования, множество вопросов, касающихся влияния пористости и дефектов, а также ионизирующего облучения на релаксационные процессы в этом материале и его пьезоэлектрические свойства, остаются открытыми.

Понимание природы и механизмов релаксационных процессов важно для прогнозирования стабильности и надёжности мембран при эксплуатации в различных условиях.

Диссертационная работа Волгиной Е. А., целью которой является выявление закономерностей изменения электрофизических и пьезоэлектрических свойств пористых ПВДФ пленок в зависимости от метода и технологических параметров процесса изготовления, является, безусловно, актуальной, как с научной, так и с практической точек зрения.

Структура работы

Диссертационная работа по **структуре и содержанию** отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников. Работа содержит 127 страниц основного текста, 65 рисунков, 6 таблиц, список использованных источников из 94 наименований.

Во введении дано общее описание работы, обоснована актуальность, теоретическая и практическая значимость, сформулирована новизна, приведены выносимые на защиту научные положения

В главе 1 приведены данные из научной литературы и их анализ, посвященный структуре, фазовому состоянию и характеристикам электрофизических свойств ПВДФ. Рассмотрены структурные особенности и их влияние на физико-механические и диэлектрические характеристики этого полимерного материала. Проанализированы структурные причины вызывающие сегнетоэлектрические и пьезоэлектрические свойства ПВДФ. Несомненным достоинством является подробный анализ технологических методов формирования микропористых структур ПВДФ и перспектив применения пористых плёнок и трековых мембран на основе ПВДФ.

В главе 2 дано описание методов исследования электрофизических и пьезоэлектрических свойств плёнок ПВДФ. Подробно описан метод термоактивационной спектроскопии, с помощью которого автор изучал релаксационные процессы в образцах плёнок ПВДФ; метод термостимулированной деполяризации (ТСД), заключающийся в измерении тока, возникающего при нагреве предварительно поляризованного образца, что позволяет определить энергию активации, время релаксации и концентрацию ловушек заряда; методы определения пьезоэлектрических характеристик исследуемых образцов.

В 3 главе представлены результаты исследования электрофизических свойств пленок ПВДФ с микропористой структурой, изготовленных 2-мя методами: четырехстадийным методом и методом облучения тяжелыми ионами с последующим травлением. Изучены релаксационные процессы в исследуемых плёнках методом ТСД. Автором проведены исследования влияния технологических операций (экструзии и отжига) на электрофизические свойства пленок, изготовленных четырехстадийным методом. Отмечено, что на этом этапе формируется кристаллическая структура материала, определяющая его дальнейшие термомеханические и электрофизические свойства. Показано, что в экструдированных пленках ПВДФ в области температур 0 – 60°С наблюдаются два чётко выраженных релаксационных процесса, которые напрямую связаны с присутствием различных типов надмолекулярной структуры. Проанализированы зависимости токов термостимулированной деполяризации от температуры отжига и даны объяснения полученным зависимостям со структурных позиций. Проведено исследование пьезоэлектрических свойств материалов и показано, что наилучшими пьезоэлектрическими свойствами обладают пленки с кратностью фильерной вытяжки $\lambda = 15$ и суммарной степенью вытяжки $\varepsilon = 2,38$.

При изучении релаксационных процессов в трековых мембранах автором представлены важные научные результаты, заключающиеся в анализе взаимосвязи технологических условий получения материалов с протеканием релаксационных процессов и пьезоэлектрическими свойствами.

Научная новизна исследований

В работе впервые методом термостимулированной деполяризации установлена локализация релаксационных процессов в надмолекулярных структурах пористых плёнок ПВДФ. Полученные результаты исследования и анализа взаимосвязи технологических режимов получения ПВДФ плёнок с их структурой и свойствами вносят вклад в разработку теоретических основ технологии получения полимерных материалов, обладающих пьезоэлектрическими свойствами а также в развитие представлений о механизмах релаксационных и пьезоэлектрических процессов в модифицированных полимерных плёнках на основе поливинилиденфторида.

Практическая значимость исследования обусловлена особо значимым местом, которое занимают микропористые пленки из поливинилиденфторида в современной электронике благодаря своим

уникальным функциональным, в том числе и диэлектрическим свойствам. Полученные результаты исследований электрофизических свойств пористых материалов на основе ПВДФ открывают возможность разработки материалов с требуемым комплексом функциональных свойств и устройств на их основе. Представленные в работе результаты исследований влияния технологических условий получения пористых плёнок на их структуру и свойства позволяют целенаправленно создавать мембранные изделия с заданными электрофизическими и пьезоэлектрическими свойствами.

Достоверность результатов и научная обоснованность выводов, представленных в диссертации, основывается на использовании современного оборудования, методов анализа и обработки данных, воспроизводимостью результатов и их хорошим соответствием с литературными данными.

Достоверность научных положений обеспечивается комплексным характером исследования, обоснованностью использованных методик и апробацией результатов исследования в опубликованных научных статьях. Основные результаты исследования докладывались на 5 всероссийских и международных конференциях, опубликованы в 8 статьях в журналах, рекомендованных ВАК, из них 5 статей – в международных журналах, индексируемых базах Web of Science и/или Scopus

Замечания по диссертационной работе:

В качестве замечаний по работе необходимо отметить следующее:

1. Для более убедительного объяснения релаксационных процессов с точки зрения их локализации, автору желательно было бы представить исследования надмолекулярных структур конкретных изучаемых образцов.
2. В работе следовало бы представить и механические свойства изучаемых плёнок ПВДФ, тем более, как отмечено и в работе, облучение тяжелыми ионами с последующим травлением может вызывать существенные молекулярно-деструкционные процессы в изучаемом материале.
3. Согласно рисункам 34 (а, б) степени кристалличности пленок ПВДФ с двумя крайними значениями кратности фильерной вытяжки λ равной 15 и 76 очень близки по величине. Чем может объяснить автор неизменность этой структурной характеристики при такой существенной разнице в степени ориентации структуры полимерной плёнки ПВДФ?

4. Просьба пояснить причину наиболее высокого содержания β -фазы (связанной с проявлением пьезоэлектрических свойств) для пористых пленок, сформованных при кратностях фильерной вытяжки 15 (рисунок 41).
5. Некоторые выводы по главам требуют более ясных формулировок (например, глава 3, вывод 3, стр.114, текст диссертационной работы).
6. Автору рекомендуется в дальнейшем для более глубокого понимания природы релаксационных процессов в пористых структурах ПВДФ проводить сравнение полученных результатов исследований с подобными исследованиями, выполненными на плёнках не содержащих пор.

Отмеченные недостатки и замечания в целом не влияют на положительную оценку диссертационной работы. Диссертация логично построена, ее структура и содержание соответствуют целям и задачам исследования. Автореферат и опубликованные работы отражают содержание диссертации.

Заключение по работе

Диссертационная работа **Волгиной Елены Алексеевны** «Электрофизические свойства пористых пленок и трековых мембран на основе поливинилиденфторида», соответствует критериям пп. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней (утв. Постановлением правительства № 842 от 24.09.2013 г.), так как представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, направленную на решение важной теоретической задачи, состоящей в установлении и анализе взаимосвязей структурных особенностей и режимов получения с электрофизическими свойствами полимерных материалов; на развитие представлений о механизмах релаксационных и пьезоэлектрических процессов в модифицированных полимерных плёнках, а также в разработку теоретических основ получения материалов с требуемыми функциональными свойствами, что крайне востребовано при производстве изделий из полимерных материалов в различных высокотехнологичных отраслях экономики, а ее автор **Волгина Елена Алексеевна** заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа **Волгиной Е. А.** была заслушана и обсуждена на заседании кафедры инженерного материаловедения и метрологии федерального государственного образовательного учреждения высшего

образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна «СПбГУПТД» 8 апреля 2026 г. (протокол № 7).

На заседании присутствовало 10 человек из 10 сотрудников кафедры. Результаты голосования по проекту отзыва: «за» -10, «против» - 0, «воздержалось» - 0.

Отзыв подготовлен заведующей кафедрой инженерного материаловедения и метрологии ФГБОУ ВО СПбГУПТД, доктором технических наук, профессором



Е. С. Цобкалло

Ученый секретарь кафедры доцент кафедры инженерного материаловедения и метрологии ФГБОУ ВО СПбГУПТД, кандидат технических наук



С. А. Веселова

Адрес федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» (СПбГУПТД), кафедра инженерного материаловедения и метрологии: 190068, Санкт-Петербург, Вознесенский пр., д. 46.
Телефон / факс: (812) 310-19-26,
E-mail: tsobkallo@mail.ru

*Аудитом Е.С. Цобкалло, С.А. Веселовой
заверено*

Заместитель начальника
управления кадров



Вьюгина Н.А.