

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Волгиной Елены Алексеевны «Электрофизические свойства пористых пленок и трековых мембран на основе поливинилиденфторида», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

### 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Поливинилиденфторид (ПВДФ) – полимерный материал, который за годы использования хорошо зарекомендовал себя при изготовлении пьезоэлементов. Использование пористых пленок и трековых мембран из ПВДФ открывает новые возможности для создания фильтрационных материалов, сепараторов для литий-ионных аккумуляторов, чувствительных элементов в нано- и микроэлектронике, где важно сочетание пористой структуры и пьезоэлектрического отклика. На данный момент ряд фундаментальных вопросов, связанных с влиянием пористой структуры на электрофизические свойства ПВДФ, остаётся нерешённым. Недостаточная изученность этих аспектов ограничивает возможности создания мембран с заданными эксплуатационными параметрами. В свете сказанного **актуальность** темы диссертации Волгиной Е.А. не вызывает сомнений.

Приведенные в автореферате результаты исследования обладают **научной новизной**. Автором был впервые проведен анализ релаксации зарядового состояния плёнок ПВДФ на всех стадиях четырёхстадийного технологического процесса с использованием метода термостимулированной деполяризации. Также впервые выявлено влияние массы и заряда ионов при облучении исследуемых объектов из ПВДФ на релаксационные процессы, протекающие в них. В процессе выполнения исследований соискателем был обнаружен и идентифицирован новый релаксационный процесс в облучённых и химически протравленных плёнках ПВДФ; обнаружен синергетический эффект между облучением и поляризацией в отрицательном коронном разряде, проявляющийся во взаимном усилении пьезоэлектрической активности данного полимера под воздействием указанных факторов.

Следует отметить **практическую ценность** работы. Установленные в результате исследований взаимосвязи между технологическими параметрами изготовления пористых пленок и трековых мембран и их электрофизическими свойствами позволяют целенаправленно подбирать условия получения мембран с заданными свойствами.

**Достоверность полученных результатов** не вызывает сомнений и обеспечивается использованием современных методов исследований электрофизических и пьезоэлектрических свойств пленок ПВДФ, методик определения электрофизических параметров, а также апробацией работы на конференциях.

Основные результаты диссертационного исследования были опубликованы в восьми статьях в научных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, и представлены на российских и международных научных конференциях.

По содержанию автореферата имеются следующие замечания:

1) На рисунке 7(а) высота правого максимума тока деполяризации, соответствующего  $T_p = 70^\circ\text{C}$ , составляет примерно 35 пА. На рисунке 9(1) высота этого же максимума при той же  $T_p$  составляет уже 100 пА. Чем вызвано трехкратное увеличение силы тока?

2) На рисунке 12(б) увеличения высоты максимума на порядок всё же не происходит. Наблюдается 3-5 кратный рост.

Данные замечания являются уточняющими и не влияют на общую положительную оценку представленной работы. Диссертационная работа является завершённым научным исследованием, выполнена на высоком научном уровне, полученные результаты имеют важное научное и практическое значение.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Волгиной Е.А. соответствует требованиям п.п. 9, 10, 11, 13, 14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Волгина Елена Алексеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Старший преподаватель кафедры физики  
ФГБОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»  
Министерства обороны Российской Федерации  
кандидат физико-математических наук

Фомичева Елена Егоровна  
« 4 » мая 2026 г.

ФГБОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства  
обороны Российской Федерации

Адрес: 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13

Адрес электронной почты: vka@mil.ru

Тел.: 8 (812) 347-97-70; 8 (812) 347-96-46



Подпись Фомичевой Е.Е. удостоверяю  
Начальник отдела кадров  
Плотников Г.В.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

Волгиной Елены Алексеевны

«Электрофизические свойства пористых пленок и трековых мембран на основе поливинилиденфторида»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния (физико-математические науки)

Представленная работа посвящена выявлению закономерностей изменения электрофизических и пьезоэлектрических свойств пористых полимерных пленок на основе поливинилиденфторида при изменении метода и технологических параметров процесса их изготовления.

В работе представлен литературный обзор, посвященный строению, фазовому состоянию и электрофизическим свойствам поливинилиденфторида (ПВДФ). Представлены методы проведенных исследований пленок ПВДФ.

На основании результатов экспериментальных исследований методом термостимулированной деполяризации (ТСД), показаны зависимости интенсивности пиков полученных спектров от степени кристалличности пленки ПВДФ с преимущественно ламеллярной или сферолитной структурой ПВДФ. Показанные зависимости указывают на различия в процессах электрической релаксации ПВДФ с различной кристаллической структурой, что может быть обусловлено влиянием вида кристаллической структуры на локализацию процессов релаксации в кристаллической или аморфной фазе.

При анализе спектров ТСД пленки ПВДФ, подвергнутой облучению тяжелыми ионами и ионами неона, предложенным методом оптимизации с учетом теоретических температурных зависимостей деполяризации, установлено, что имеющиеся на спектре пики в области температур  $0\text{ }^{\circ}\text{C} - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$  являются результатом сложения трех релаксационных процессов.

Результаты проведенных исследований пленки ПВДФ, облученной ионами инертных газов и висмута, показывают выраженное влияние природы ионов и образованных при облучении полимера дефектов на температуру и интенсивность процесса электрической релаксации ПВДФ в области  $20\text{ }^{\circ}\text{C} - 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На основании анализа полученных спектров ТСД пленки ПВДФ установлено одинаковое значение энергии активации процесса релаксации при облучении пленки тяжелыми ионами с различной интенсивностью, что может рассматриваться как доказательство выводов о связи процесса релаксации и наличия дефектов в структуре ПВДФ после его облучения.

Представленные спектры ТСД пленки ПВДФ показывают появление в ней процессов электрической релаксации после образования пор в результате разрыва структуры полимера при его вытяжке или после ее бомбардировки ионами и последующего химического травления. Очевидно, интенсивность и температура релаксации должны определяться размером дефектов и химическим строением их поверхности.

В работе экспериментально установлена поляризация структуры ПВДФ при его облучении ионами, что способствует появлению в нем пьезоактивной структуры. Представленный анализ результатов исследований процессов электрической релаксации ПВДФ после облучения дает представление о механизме структурных изменений полимера при его облучении. Разрушение поверхностей дефектов пленки ПВДФ, образованных

вследствие её облучения, при дальнейшем химическом травлении, которое сопровождается уменьшением пьезоактивности ПВДФ, доказывает выводы об изменениях структуры ПВДФ при бомбардировке ионами. Представленные результаты исследований пьезоэлектрического модуля  $d_{33}$  пленки ПВДФ показывают наличие синергетического эффекта при формировании пьезоактивной структуры ПВДФ при облучении тяжелыми ионами и при её последующей поляризации во внешнем электрическом поле.

Полученные результаты представляют интерес для развития теоретических представлений о процессах, происходящих в ПВДФ при формировании в нём пьезоактивных структур и для анализа экспериментальных результатов в рамках разработки пьезоактивных материалов на его основе. Наличие синергетического эффекта при формировании пьезоактивной фазы ПВДФ при облучении тяжелыми ионами и при поляризации во внешнем электрическом поле представляет интерес в рамках поиска решений увеличения пьезоактивности пленки ПВДФ.

Вместе с тем можно указать следующие замечания к автореферату:

- установлена зависимость процесса релаксации ПВДФ от характера его кристаллического состояния и степени кристалличности, при этом вывод о его локализации в кристаллической и аморфной фазе требует дополнительного подтверждения;

- не указана температура поляризации пленки ПВДФ на рис.4а.

Указанные замечания носят уточняющий характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

В целом, диссертационная работа выполнена на хорошем научном уровне, отличается целостностью и логичностью изложения, а полученные результаты обладают научной новизной и практической значимостью. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния, а её автор, Е.А. Волгина, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Начальник научно-исследовательского сектора  
АО «Концерн «Океанприбор»

Шабанов Василий Алексеевич

Санкт Петербург, 197136, Чкаловский пр. д.46

19.05.2026 г.

E-mail: mail@oceanpribor.ru

Телефон: 8 (812) 499-74-09

Подпись Шабанова В.А. - удостоверение

Мат. отг. кадроб



19.05.2026 г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации  
Волгиной Елены Алексеевны

«Электрофизические свойства пористых пленок и трековых мембран  
на основе поливинилиденфторида»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по  
специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния (физико-математические науки)

Активное изучение поливинилиденфторида (ПВДФ) идёт уже более 50-ти лет с момента обнаружения у этого уникального полимера пьезоэлектрических и сегнетоэлектрических свойств. Находятся всё новые и новые области его применения в самых различных направлениях. Одно из них – производство трековых мембран на основе ПВДФ и его сополимеров. Помимо хороших физико-механических свойств, трековые мембраны могут обладать свойством самоочищения, что выделяет их из общего ряда. Диссертационная работа Е.А. Волгиной посвящена исследованию взаимосвязи между технологией изготовления и параметрами структуры материалов на основе ПВДФ с их электрофизическими и пьезоэлектрическими характеристиками.

Экспериментальные результаты, представленные в диссертации, помимо научной значимости важны и с прикладной точки зрения. Это касается новых данных, полученных при анализе электрических релаксационных и пьезоэлектрических процессов, развивающихся в материале при таких внешних воздействиях, как разная температура отжига, степень ориентации, масса и заряд ионов и плотность потока ионизирующего облучения. Сделанные выводы позволяют интерпретировать структурные изменения в полимере на разных этапах изготовления пленок и определять условия для формирования оптимального пьезоэлектрического отклика систем на основе ПВДФ. Приведённые в диссертации исследования представляются не только актуальными, но и имеющими ценность для промышленных применений.

Характерной особенностью работы является применение "метода оптимизации" при анализе энергии активации и частотного фактора в исследуемых материалах. Этот метод позволяет проводить корректную интерпретацию выявляемых релаксационных переходов при их взаимном перекрытии. В целом достоверность полученных результатов обусловлена привлечением современных научно-исследовательских методов, таких как метод термостимулированной деполяризации и квазистационарный метод измерения пьезоэлектрического модуля для получения данных и "метода оптимизации" для их анализа.

Результаты диссертационного исследования Е.А. Волгиной опубликованы в рецензируемых научных журналах по физике конденсированного состояния и доложены на всероссийских и международных научных конференциях.

Диссертация выполнена на высоком уровне и является законченной научно-квалификационной работой, которая обладает несомненной ценностью для развития физики пористых полимеров и мембран. Считаю, что работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния, а сама Е.А. Волгина безусловно заслуживает присуждения искомой степени.

Старший научный сотрудник  
Физико-технического института  
им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,  
кандидат физико-математических наук  
Почтовый адрес: 194026, г. Санкт-Петербург,  
ул. Политехническая, д. 26  
E-mail: yak@pav.ioffe.ru  
Телефон: +79213439412



Якушев  
Павел Николаевич

12.05.26 г.

Подпись Якушева П.Н.

удостоверяю  
в отделе кадров ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Н.С. Бузицкий

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации  
Волгиной Елены Алексеевны

«Электрофизические свойства пористых пленок и трековых мембран на основе  
поливинилиденфторида»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния (физико-математические науки)

Работа посвящена исследованию электрофизических характеристик пористых структур на основе поливинилиденфторида (ПВДФ), полученных с использованием различных технологических подходов, включая ориентирование и ионно-трековую модификацию. Рассматриваемая тематика является востребованной в физике конденсированного состояния, поскольку свойства ПВДФ в значительной степени определяются его фазовым состоянием и надмолекулярной организацией — характеристиками, чувствительными к условиям формирования материала.

Содержательная часть автореферата демонстрирует, что автором проведено систематическое исследование влияния технологических факторов на релаксационные и пьезоэлектрические свойства. Показано, что переход к пористому состоянию и формирование  $\beta$ -фазы сопровождаются появлением дополнительных релаксационных процессов, регистрируемых в спектрах термостимулированных токов. Отдельного внимания заслуживает анализ эффектов, связанных с ионным облучением и последующим травлением.

Следует отметить, что работа опирается на использование чувствительных токовых методов, позволяющих получать информацию о распределении ловушек и энергетических параметрах релаксации. Применение процедур обработки перекрывающихся пиков делает интерпретацию экспериментальных данных более обоснованной. В совокупности это свидетельствует о корректности выбранного экспериментального подхода.

Полученные результаты имеют значение для понимания механизмов формирования пьезоэлектрического состояния в пористых полимерных системах и могут быть использованы при разработке материалов с управляемыми пьезоэлектрическими характеристиками.

Вместе с тем по материалам автореферата возникают некоторые замечания:

- из текста автореферата не понятно, какими методами определялась энергия активации, график зависимости которой от массы налетающего иона представлен на рис.8;
- каким именно образом рассчитывалась теоретическая температурная зависимость тока деполяризации.

Указанные замечания не затрагивают основных результатов работы и носят уточняющий характер.

Автореферат полностью отражает ход завершённого исследования, выполненного на должном научном уровне. Представленные результаты обладают научной новизной и практической значимостью. Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

кандидат физико-математических наук,

старший преподаватель физического факультета

Университета ИТМО

E-mail: smirnaev\_2@mail.ru

Телефон: +7(921)970-72-82



*Смирнов А.В.*  
/Смирнов А.В./  
ОТЭС Дюпрэ А.Н.  
21.05.2022

Александр Витальевич Смирнов

кандидат физико-математических наук

старший преподаватель физического факультета ИТМО

e-mail: [smirnav\\_2@mail.ru](mailto:smirnav_2@mail.ru)

тел: +7 (921) 970-72-82

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Волгиной Елены Алексеевны  
«Электрофизические свойства пористых пленок и трековых мембран на основе  
поливинилиденфторида»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния (физико-математические  
науки)

Представленная работа посвящена исследованию электрофизических свойств поливинилиденфторида (ПВДФ) с развитой пористой структурой, формируемой различными технологическими методами. Принципиально важным является то, что Е. А. Волгина рассматривает несколько подходов к формированию пористости — как в рамках четырёхстадийной технологии (экструзия–отжиг–растяжение–термофиксация), так и с использованием ионно-трековой модификации. Такой комплексный и сравнительный анализ следует отнести к несомненным достоинствам работы.

В работе продемонстрировано, что переход от исходного состояния материала к пористым структурам сопровождается появлением дополнительных релаксационных максимумов, а технологические параметры изготовления влияют на значения пьезоэлектрического отклика. Существенным результатом является установление корреляций между параметрами технологического воздействия и изменением электрофизических характеристик на различных стадиях формирования материала.

Экспериментальная часть выполнена на современном методическом уровне. Использование метода термостимулированной деполяризации в сочетании с измерениями пьезоэлектрического отклика обеспечивает получение информативных данных о релаксационных процессах и энергетических характеристиках системы. Применение различных подходов к обработке спектров токов, включая методы анализа перекрывающихся максимумов, позволяет повысить достоверность интерпретации и выделить вклад отдельных релаксационных процессов.

Полученные результаты представляют интерес как для фундаментальных исследований, направленных на понимание механизмов формирования электретного и пьезоэлектрического состояния в пористых полимерных системах, так и для прикладных задач, связанных с разработкой материалов с управляемыми функциональными свойствами на основе ПВДФ.

Вместе с тем по автореферату можно отметить отдельные замечания:

- почему на рис.7 приведены данные именно для таких температур поляризации, как 20<sup>0</sup>С и 70<sup>0</sup>С?

Указанные замечания носят уточняющий характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

В целом диссертационная работа выполнена на хорошем научном уровне, отличается целостностью и логичностью изложения, а полученные результаты обладают научной новизной и практической значимостью. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния,

а её автор, Е.А. Волгина, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории физических основ материаловедения кремния

В.А. Гриценко

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН  
630090, Россия, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 13  
Телефон: +7(383) 330-88-91  
E-mail: [griks@isp.nsc.ru](mailto:griks@isp.nsc.ru)  
30.04.2026

Подпись гнс, д.ф.-м.н. В.А. Гриценко удостоверяю

Ученый секретарь ИФП  
к.ф.н. *М.И.*



С.А. Аржанникова

Владимир Алексеевич Гриценко

доктор физико-математических наук

главный научный сотрудник института Физики Полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН

e-mail: [grits@isp.nsc.ru](mailto:grits@isp.nsc.ru)

тел: +7 (983) 131-33-02

тел: +7 (383) 330-88-91