

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о диссертационной работе Д.Г. Фролова

**«Влияние структуры сомономера на электрохромные свойства электрохимически активного фрагмента поли(пиридиний) трифлатов и полиаминоамидов»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 02.00.06 – высокомолекулярные соединения**

Фролов Дмитрий Григорьевич окончил специалитет физического факультета МГУ в 2016 году. Во время обучения он активно участвовал в научно-исследовательской работе, занимался изучением электрохромных свойств полимеров. Результаты этих исследований вошли в дипломную работу Д.Г.Фролова, выполненную под моим руководством. После окончания физического факультета МГУ он поступил в аспирантуру физического факультета МГУ и продолжил исследования электрохромных полимеров. За время обучения в аспирантуре Д.Г. Фроловым получен ряд важных научных результатов, которые представлены в его диссертационной работе.

Диссертационная работа Д.Г.Фролова посвящена актуальной теме - изучению влияния структуры сомономера на основные характеристики электрохромных свойств электрохимически активного мономерного звена сополимера. Объекты исследования - ряд трифлатов поли(пиридиния) и мультиэлектрохромные полиаминоамиды. Во введении диссертации дано краткое описание актуальности исследования, сформулирована цель исследования, основные задачи, защищаемые положения, а также кратко описана научная новизна и практическая значимость полученных результатов. В литературном обзоре приведены основные характеристики электрохромных свойств, рассмотрены наиболее известные электрохромные полимеры, выделены виологены и методы их модификации, а также перспективные многоцветные структуры.

Во второй главе дано описание основных методик, использованных при проведении экспериментальных исследований: электрохимических методов анализа (циклическая вольтамперометрия в том числе с вариацией скоростей сканирования, хроноамперометрия), оптических методов анализа (оптическая и ближний-УФ спектроскопия, синхронная спектроэлектрохимия), а также методов анализа состава и структуры материалов (ИК-спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия).

В третьей главе представлены результаты систематического исследования электрохромного поведения трифлатов поли(пиридиния) ПВ и полиаминоамидов. В первой

части этой главы приведены результаты сравнительного анализа основных характеристик электрохромных свойств трех ПВ, содержащих одинаковый электроактивный фрагмент, но разные сомомеры: определены оптический контраст, времена окрашивания/обесцвечивания и показатели эффективности окрашивания в четырех фоновых электролитах. Показано, что окислительно-восстановительные процессы в пленках всех исследованных ПВ в трех-электродной ячейке проходят в режиме диффузионного контроля, лимитирующегося ионным транспортом катионов фонового электролита. Влияние сомомера на основные характеристики электрохромного поведения электроактивного фрагмента наблюдается во всех используемых фоновых электролитах. ПВ с сопряженными системами π -электронов демонстрируют лучшие количественные показатели электрохромных свойств. Можно подчеркнуть интересный подход к изучению влияния морфологии пленок – Д.Г.Фролов провел сравнительный анализ оптического контраста и стабильности ПВ в пленках и в системе прототипа «умного» устройства.

Вторая часть оригинальных результатов посвящена электрохромным полимерам (полиаминоамидам), мономерное звено которых содержит несколько электроактивных фрагментов (три в ПАА1 и четыре в ПАА2). Здесь первоочередной задачей стояло определение последовательности и диапазона протекания окислительно-восстановительных реакций. Установлено, что обратимость электрохимических реакций зависит от ближайшего окружения электроактивного фрагмента, необратимые процессы сопровождаются изменением структуры полимеров. В заключении сформулированы основные результаты.

Полученные результаты представлены в 3 статьях, опубликованных в высокорейтинговых изданиях, индексируемых в базах данных «Сеть науки» (Web of Science Core Collection).

Во время работы над диссертацией Д.Г. Фролов изучил научную литературу по соответствующей тематике, освоил экспериментальные методы исследования электрохромных полимеров (циклическая вольтамперометрия, хроноамперометрия, синхронная спектроскопия, оптическая спектроскопия, ИК-спектроскопия). За прошедшие годы Д.Г. Фролов стал исследователем, способным самостоятельно формулировать задачи, планировать и проводить эксперименты, анализировать экспериментальные данные, представлять свои результаты и эффективно взаимодействовать с коллегами. Д.Г. Фролова отличает высокая работоспособность и мотивация, хорошая техника

проведения экспериментальных измерений. Д.Г. Фролов активно участвовал в выполнении гранта «Модификация электрохимических и оптических свойств электрохромных полимеров в многокомпонентных системах» (2018-2020 гг., Российский Фонд Фундаментальных исследований). Кроме того, исследования, представленные в диссертационной работе поддержаны личным грантом программы фонда содействия инновациям «УМНИК» (2018) («Разработка технологии создания "умных" окон с многоцветным электрохромизмом и возможностью изменения цвета и светопропускания для применения в архитектуре и автомобилестроении»), а также стипендиальной программой LG Chem Scholarship (2017).

Диссертационная работа Д.Г.Фролова выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Считаю, что ее автор безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 02.00.06 – высокомолекулярные соединения.

Научный руководитель,
профессор
кафедры физики полимеров и кристаллов
Физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
доктор физико-математических наук

Е.Е. Махаева

Подпись профессора Е.Е. Махаевой заверяю.

Ученый секретарь Ученого Совета
Физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
профессор

В.А. Караваяев