

## ОТЗЫВ

**На автореферат диссертации Якиманского Антона Александровича «Сополимеры флуорена с дициано-производными стильбена и фенантрена для оптоэлектронных и хемосенсорных устройств», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7 Высокомолекулярные соединения.**

Диссертационная работа Якиманского Антона Александровича посвящена актуальной и практически значимой проблеме современной химии высокомолекулярных соединений – разработке новых полупроводниковых полимерных материалов на основе сополифлуоренов, обладающих уникальными оптоэлектронными и хемосенсорными свойствами. Создание эффективных светоизлучающих слоёв для органических светоизлучающих диодов (ОСИД), фотопроводящих материалов для фотодиодных устройств и чувствительных элементов для биомедицинской диагностики является одной из приоритетных задач в области органической электроники и полимерной химии. Автор справедливо отмечает, что флуорен-содержащие  $\pi$ -сопряжённые полимеры занимают лидирующие позиции благодаря сочетанию высокой термической и химической стабильности, хорошей пленкообразующей способности, растворимости в органических растворителях и возможности тонкой настройки цветности люминесценции за счёт введения донорно-акцепторных фрагментов. Кроме того, разработка хемосенсорных устройств на основе таких полимеров для диагностики социально значимых заболеваний, в частности туберкулёза, является крайне востребованным направлением, что дополнительно повышает актуальность представленной работы.

Научная новизна диссертационного исследования не вызывает сомнений и заключается в нескольких принципиальных результатах. Во-первых, автором впервые проведена поликонденсация по Сузуки с использованием ациклического диаминокарбенового комплекса палладия(II) в открытой системе на воздухе как в смеси этанол-вода, так и в двухфазной системе толуол-вода, что позволило отказаться от инертной атмосферы и снизить загрузку катализатора с традиционных 1 мол.% до 0,2–0,1 мол.%. Во-вторых, синтезировано 20 новых сополимеров 9,9-диоктилфлуорена с дициано-производными стильбена и фенантрена, и детально изучены их фотофизические и электрофизические характеристики. В-третьих, впервые для сополифлуоренов проведено модифицирование дициано-фрагментов клозо-декаборатным анионом, что привело к увеличению квантовых выходов фотолюминесценции и подвижностей носителей заряда. В-четвёртых, предложен один из первых примеров применения сополифлуоренов в качестве фотоактивного слоя в фотодиодных устройствах. Наконец, впервые синтезированы сополифлуорены с концевым цефалоспориновым фрагментом и показана принципиальная возможность их использования для детекции  $\beta$ -лактамазы – фермента, выделяемого микобактериями туберкулёза.

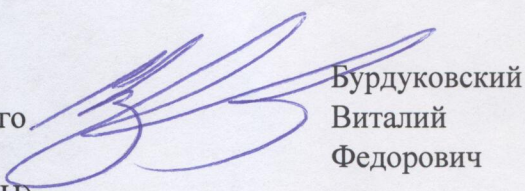
Практическая значимость работы также является высокой. Разработанная автором новая методика поликонденсации по Сузуки на воздухе с использованием диаминокарбенового катализатора позволяет получать сополифлуорены с большими или сравнимыми молекулярными массами, но при значительно меньшем количестве катализатора, что снижает содержание остаточного палладия в полимере и улучшает его люминесцентные свойства. Показано, что синтезированные сополимеры обладают сбалансированными и высокими подвижностями носителей заряда (до  $5,2 \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/В·с для дырок и  $2,6 \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/В·с для электронов), что превосходит значения для классического транспортного полимера POEt более чем на два порядка. На основе полученных материалов созданы ОСИД с максимальной яркостью до 11 000 кд/м<sup>2</sup> и токовой эффективностью до 3,67 кд/А, а также фотодиодные устройства с отношением светового тока к темновому до  $2,8 \cdot 10^3$ . Кроме того, продемонстрирована возможность получения белой электролюминесценции с координатами цветности, близкими к стандартному

белому, и существенно улучшенными энергетическими характеристиками после оптимизации состава сополимера. Практически важным является также создание лабораторного прототипа хемосенсорного материала на основе сополифлуорена с цефалоспориновым фрагментом, изменение люминесцентных свойств которого под действием  $\beta$ -лактамазы открывает перспективы для быстрой и точной диагностики туберкулёза без выделения микобактерий.

Степень апробации работы является очень высокой. Основные результаты диссертации представлены на 18 российских и международных конференциях. По материалам диссертации опубликовано 5 статей в международных журналах (Materials, Micro, Mendeleev Communications и Chinese Journal of Polymer Science). Работа выполнена в рамках государственного задания и при поддержке гранта РНФ (проект № 23-43-00060), что также свидетельствует о её высоком научном уровне.

В целом, диссертационная работа Якиманского Антона Александровича представляет собой законченное, логически стройное и тщательно выполненное научное исследование, содержащее решение актуальной задачи – разработки новых эффективных сополимеров флуорена для оптоэлектронных и хемосенсорных устройств, а также усовершенствованного метода их синтеза. По своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных экспериментальных исследований, практической значимости и уровню публикаций представленная работа полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842). Автор диссертации, Якиманский Антон Александрович, безусловно, заслуживает присуждения учёной степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7 Высокомолекулярные соединения.

Заместитель директора по научной работе  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Байкальского института  
природопользования СО РАН (БИП СО РАН),  
Заведующий лабораторией химии  
полимеров БИП СО РАН



Бурдуковский  
Виталий  
Федорович

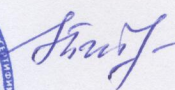
ул. Сахьяновой, 6, г. Улан-Удэ, 670047  
тел.: (301-2)433-423, e-mail: burdvit@mail.ru

Доктор химических наук (02.00.06 Высокомолекулярные соединения)  
Доцент по специальности (02.00.06 Высокомолекулярные соединения)

12.05.2026 г.

Подпись В.Ф. Бурдуковского ЗАВЕРЯЮ

Ученый секретарь  
БИП СО РАН, к.х.н.



Пинтаева  
Евгения  
Цыденовна