

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы **Черновой Екатерины Александровны** “Массоперенос паров и постоянных газов в пространственно-ограниченных системах на основе оксида графена и микропористых полимеров”, представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальностям

02.00.04 – физическая химия

05.17.18 – мембраны и мембранная технология.

В настоящее время развитие новых технологий в области выделения конденсирующихся компонентов из природных и технологических газовых смесей актуально не только с точки зрения подготовки попутного газа для транспортировки в системах трубопроводов, но и в процессах осушения газов для предприятий различных отраслей, включая радиоэлектронную, химическую, пищевую промышленность.

Главный интерес исследователей и технологов представляет разработка новых материалов для газоселективных мембран, отличающихся высокой селективностью по целевому компоненту, эффективностью процесса массопереноса через них, а также невысокой стоимостью как при производстве самих мембран, так и для последующих процессов переработки сырья. По некоторым причинам, таким как простота получения, высокая селективность и эффективность – наиболее востребованными в настоящее время являются композиционные мембранные материалы, как на основе полимеров, так и на основе неорганических компонентов. В связи с этим, разработка физико-химических основ методов формирования новых композиционных мембранных материалов на основе систем «оксид графена-анодный оксид алюминия» и «микропористый полимер-анодный оксид алюминия» с контролируемой газопроницаемостью и селективностью для извлечения конденсирующихся компонентов из газовых смесей, а также установление механизмов массопереноса в полученных мембранах, **являются актуальными задачами для практического внедрения** таких материалов.

В работе Черновой Е.А. разработаны физико-химические основы метода формирования тонких (толщиной 50-110 нм) высокоселективных слоев на основе оксида графена с контролируемой микроструктурой, пористостью и газопроницаемостью, сформированы мембраны, обладающие проницаемостью по парам воды до 10^5 л/(м²·бар·ч) при селективности разделения пары H₂O/N₂, равной 13000. Установлено, что проницаемость мембран уменьшается в ряду: H₂O >> CH₄ > H₂S > O₂ ~ N₂ > CO₂ > C₄H₁₀, независимо от морфологии и размера частиц оксида графена. При этом, массоперенос постоянных газов подчиняется закону кнудсеновской диффузии, а массоперенос паров воды через селективные слои оксида графена осуществляется по механизму капиллярной конденсации. Благодаря предложенному методу армирования пространственной структуры покрытий на основе нанолayers оксида графена нанолентами оксида графена, удалось повысить устойчивость композиционных мембран к перепадам давления за счет создания гибких несжимаемых каналов, препятствующих сужению диффузионных путей в селективных покрытиях. В работе впервые сформированы композиционные мембраны на основе микропористых полимеров (полимер с внутренней микропористостью PIM-1, а также поли[3-(триметилсилил)трициклононен-7] (PTCN-Si)) пространственно-ограниченных в каналах анодного оксида алюминия диаметром 20-80 нм. Установлено, что

геометрическое ограничение существенно снижает массоперенос постоянных газов через полимер. При этом проницаемость по конденсирующимся компонентам снижается несущественно за счет высокой сорбции данных компонентов в полимере. Максимальное значение идеальной селективности C_4H_{10}/CH_4 составляет 1400 для композитов с диаметром каналов пористой подложки 21 нм, при идеальной селективности C_4H_{10}/CH_4 для объемных мембран РИМ-1, равной 62.

Все указанные выше результаты получены с использованием современных методов, таких как растровая электронная микроскопия (РЭМ), спектроскопия комбинационного рассеяния, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС), малоугловое рассеяние и рефлектометрия с использованием синхротронного излучения, оптическая и люминесцентная спектроскопия, измерения газопроницаемости по индивидуальным газам и газовым смесям, газовая хроматография и пьезоэлектрическое микровзвешивание. При этом, сравнение результатов, полученных различными экспериментальными методами, свидетельствует о их **достоверности**. Выводы логично заключают представленные результаты.

Но по тексту автореферата имеются некоторые замечания. Из грамматических, например, излишне проставленные запятыя. Также автором использованы некоторые «жаргонизмы», такие как слово «суппорт», которое вполне можно было заменить на слово «подложка». К полученным научным результатам замечаний нет.

Материалы диссертационной работы опубликованы в журналах из списка ВАК и прошли апробацию на Международных и Российских конференциях. Их тематика соответствует специальностям защищаемой диссертационной работы.

Несмотря на указанное выше замечание, считаю, что диссертационная работа **Черновой Е.А.** соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней от 24.09.2013 г. (№842), а ее автор, Чернова Екатерина Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальностям 02.00.04 – физическая химия и 05.17.18 – мембраны и мембранная технология.

Старший научный сотрудник,
кандидат физико-математических наук

Валеев Ришат Галеевич
22.03.19

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки «Удмуртский федеральный
исследовательский центр Уральского
отделения Российской академии наук»,
отдел физики и химии поверхности
лаборатории атомной структуры и анализа поверхности
тел. 8(3412)430163
e-mail: rishatvaleev@mail.ru
426000, г. Ижевск, ул. Кирова, 132

Подпись Валеева Р.Г. заверяю.
Первый заместитель директора УдмФИЦ УрО РАН.

Семенихин А.Б.

