Аннотация цикла работ «Синтез, строение и сенсорные свойства функциональных материалов на основе соединений d- и f-элементов»

Мерещенко Андрей Сергеевич (д.х.н., доцент кафедры лазерной химии и лазерного материаловедения СПбГУ), Тумкин Илья Игоревич (к.х.н., доцент кафедры лазерной химии и лазерного материаловедения СПбГУ)

Представленный цикл работ за 2017-2021 гг. включает исследования, посвященные развитию методов синтеза новых материалов на основе соединений переходных и редкоземельных металлов, проявляющих сенсорные свойства различной природы на широкий ряд органических и неорганических соединений.

В последние годы вектор развития науки и техники активно смещается с сферу междисциплинарных проектов. Так одним из перспективных направлений, комбинирующих в себе приемы и подходы химии, материаловедения, биологии и медицины, является исследование фундаментальных основ синтеза многофункциональных «умных» материалов, на основе которых создаются передовые устройства микроэлектроники, сенсорики, фотовольтаики и т.д.

Научной группой проведены исследования по разработке методов синтеза и характеризации металл-органических каркасных структур (МОКС). МОКС являются гибридными металл-органическими полимерными материалами с легко изменяемыми свойствами и в настоящее время используются в различных областях науки и техники, например, при производстве OLED-экранов телефонов и компьютеров, электрохимических и люминесцентных сенсоров в аналитической химии, как катализаторы реакций в химической промышленности. Научным коллективом были получены новые МОКС на основе бензолдикарбоксилатов переходных и редкоземельных металлов хорошо зарекомендовавших себя в качестве люминесцентных сенсоров на ионы тяжелых металлов. Разработан новый способ получения наночастиц МОКС с применением ультразвука, с помощью которого были синтезированы МОКС самых маленьких наночастиц металл-органических каркасных структур европия (8 нм). Также, методами спектрофотометрии и светорассеяния изучен механизм образования МОКС в различных растворителях.

Научной группой проведены исследования неорганических нанокристаллических материалов на основе $NaYF_4$ с добавкой других редкоземельных ионов, проявляющих люминесцентные и магнитные свойства. Открыт эффект усиления люминесценции ионов лантаноидов (Tm^{3+}, Er^{3+}, Eu^{3+}) путем со-допирования нелюминесцентными ионами лютеция и гадолиния и установлен эффект влияния состава на размер частиц. На основе полученных материалов в ближайшем будущем могут быть получены новые полимодальные агенты биовизуализации раковых опухолей с помощью люминесцентной микроскопии, рентгеновской люминесценции и магнитно-резонансной томографии. Перспективность данных веществ в качестве биомедицинских агентов обусловлена их уникальными оптическими и химическими свойствами, такими как низкая автофлуоресценция, высокое соотношение сигнал/шум, высокая глубина проникновения в биологические образцы, пониженная токсичность, в том числе фототоксичность, высокая химическая стабильность, высокие величины антистоксовых сдвигов, возможность управления люминесцентными и магнитными свойствами на стадии синтеза таких соединений, а также относительная легкость и быстрота синтетической процедуры.

Другим направлением научной группы является разработка бесферментных электрохимических сенсоров с применением технологий прямого лазерного синтеза. Благодаря высокой гибкости процесса восстановительного селективного лазерного спекания показана принципиальная возможность для фабрикации паттернов любой заданной формы и геометрии. Разработаны методики получения меди, никеля и кобальта на поверхности различных диэлектриков (в том числе полимерных подложках) методом восстановительного лазерного спекания (reductive SLS) и впервые показана возможность использования синтезированных структур в качестве рабочих электродов для бесферментного определения биологически значимых аналитов, в том числе глюкозы. Коллективом разработаны методики лазерно-индуцированного синтеза функциональных материалов в различных растворителях, в том числе в среде глубоких эвтектических растворителей (ГЭР). Разработаны фундаментальные основы лазерного синтеза в различных средах, предложены механизмы восстановления ионов меди под действием лазерного излучения при использовании различных прекурсоров, что стало возможным благодаря проведенным исследованиям механизмов фотохимических реакций методом фемтосекундной спектроскопии поглощения (определены механизмы комплексообразования и релаксации возбужденных электронных состояний комплексов меди(II)). Использование ГЭР в лазерно-индуцированном синтезе позволило увеличить скорость процесса более чем на два порядка по сравнению с классическими водными системами. Таким образом, предложенный метод может успешно конкурировать с существующими лазерными технологиями микропаттернинга, такими как лазерное спекание и лазерно-индуцированный прямой перенос вещества (LIFT). Коллективом заложены основы лазерно-индуцированного синтеза в среде ГЭР, которые могут стать отправной точкой для развития нового направления лазерного материаловедения, а также для создания новой экологичной технологии высокоскоростного лазерного осаждения различных функциональных материалов на диэлектрические подложки. Предложенные подходы являются весьма перспективным для создания эффективных и надежных электрохимических бесферментных микросенсоров, а также для создания научной базы с целью возрождения микроэлектронной промышленности.

По материалам экспериментальных работ в 2017-2021 гг. опубликовано 15 статей в высокорейтинговых рецензируемых журналах, индексируемых в Web Of Science и Scopus (из них 10 в журналах первого квартиля Q1 по SJR и/или JCR) с суммарным импакт-фактором 46.809. Одна статья принята на обложку журнала как лучшая публикации выпуска. Результаты работ были представлены на российских и международных конференциях (три приглашенных и тринадцать устных докладов).