

Микроволновый нагрев придает новые свойства двумерным наноматериалам на основе редкоземельных металлов

Новый метод получения двумерных наноматериалов на основе редкоземельных элементов открывает перспективы создания ультратонких люминофоров, носителей лекарственных препаратов с контролируемым высвобождением и многих других 2D-материалов с заданными свойствами.

Когда 2D лучше, чем 3D

Интерес к соединениям со слоистой структурой резко возрос после открытия Новоселовым и Геймом в 2004 г. графена — двумерного слоя атомов углерода, — который традиционно получают расщеплением наиболее известного слоистого материала, графита.

Но круг слоистых соединений не ограничивается графитом. К их числу относятся сульфид молибдена, хорошо известный в качестве высокотемпературной «сухой» смазки, разнообразные глинистые минералы, включая каолинит — сырье для производства фарфора, и другие.

Двумерные (2D) материалы принципиально отличаются от трехмерных, в том числе от «обычных» наночастиц. Все атомы двумерного материала находятся на поверхности, а химические свойства поверхностных атомов очень сильно отличаются от свойств атомов в объемном окружении.

В частности, у поверхностных атомов значительно возрастает химическая активность. Например, газовые сенсоры на основе графена чувствуют адсорбцию единичных молекул. Кроме того, симметрия окружения поверхностных атомов становится принципиально другой, что может до неузнаваемости изменить физические свойства материала (магнитные, электрические, оптические и т.д.) в 2D-состоянии.

Несколько лет назад был обнаружен новый класс слоистых материалов на основе редкоземельных элементов (РЗЭ), обладающих уникальными оптическими и магнитными свойствами. Предполагается, что они могут найти широкое применение в качестве биоматериалов (контрастирующих агентов для магнитно-резонансной томографии и носителей лекарственных препаратов с контролируемым высвобождением), тонкопленочных люминесцентных материалов и, возможно, для других целей.

Хотя сегодня об этих слоистых материалах известно уже многое, некоторые свои свойства они тщательно скрывают. Странно, но факт — у многих из них практически не изучена даже структура.

Наноцветник в микроволновке

Как и в случае графена, основной проблемой, препятствующей исследо-

ванию и практическому внедрению новых слоистых и двумерных материалов на основе РЗЭ, стал чрезвычайно трудоемкий синтез.

Для решения этой проблемы было предложено использовать микроволновое нагревание, способное ускорять многие химические реакции. Оказалось, что при микроволновом нагреве слоистые соединения РЗЭ действительно образуются за считанные минуты с хорошим выходом.

Интересно, что вследствие однородности микроволнового нагрева (именно эта однородность используется при подогреве пищи в микроволновых печах) плоские пластинки слоистых соединений РЗЭ образуют изящные агрегаты причудливой формы [01–05], вид которых заставляет вспомнить «Каменный цветок» Бажова, разумеется, с поправкой на куда меньшие размеры.

Неорганические «слойки»

Каждая тонкая пластинка в агрегате составлена из еще более тонких (толщиной в доли нанометра) слоев, состоящих из атомов РЗЭ и связанных с ними атомов кислорода и молекул воды. Между этими слоями находятся небольшие ионы неорганических кислот, которые можно легко заменить на другие ионы и тем самым придать материалу новые свойства. Так, между слоями можно внедрить ионы органических кислот (например, кумаровой кислоты) и получить на выходе превосходный люминесцентный материал. Аналогичным образом в межслоевое пространство можно внедрять и биологически активные фрагменты (аминокислоты, пептиды), магнитоактивные соединения и многие другие.

Когда в межслоевое пространство входят объемистые органические ионы, связь между слоями ослабевает и они могут быть отделены друг от друга — ровно так же, как разделяются слои графена при расщеплении графита. Такие слои могут быть использованы для создания двумерных оптических и магнитных устройств, например, ультратонких люминофоров.

Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 14-03-00907).

текст

Владимир Иванов

доктор химических наук

Александр Баранчиков

Институт общей и неорганической химии

им. Н.С. Курнакова РАН

Алексей Япрынец

магистрант

Таисия Шекунова

магистрант,

факультет наук о материалах

МГУ им. М.В. Ломоносова

