

## СИНТЕЗ ГИДРОЗОЛЯ $\text{Re}_2\text{S}_7$ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СВОЙСТВ

Е.А. Исаева, Н.Б. Егоров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [egorov@tpu.ru](mailto:egorov@tpu.ru)

В системе рений-сера установлено существование следующих сульфидов –  $\text{ReS}_2$ ,  $\text{Re}_2\text{S}_5$ ,  $\text{ReS}_3$  и  $\text{Re}_2\text{S}_7$ . Из них наиболее устойчивыми являются  $\text{Re}_2\text{S}_7$  и  $\text{ReS}_2$ . В промышленности их используют в качестве катализаторов в процессах органического синтеза, где  $\text{Re}_2\text{S}_7$  проявляет большую каталитическую активность, чем  $\text{ReS}_2$ . Другой областью применения  $\text{Re}_2\text{S}_7$  является медицина, где используются наночастицы  $\text{Re}_2\text{S}_7$ , меченные гамма-излучающими радионуклидами ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{188}\text{Re}$ ,  $^{186}\text{Re}$ ) применяются для диагностики и терапии. Наночастицы  $\text{Re}_2\text{S}_7$  являются рентгеноаморфными и хорошо адсорбируют другие атомы и молекулы, поэтому их используют в виде гидрозоля.

Синтез гидрозоля  $\text{Re}_2\text{S}_7$  проводят в водных растворах, содержащих перренаты натрия, калия или аммония, при добавлении к ним таких сульфидирующих реагентов, как сероводород, сульфиды щелочных металлов или аммония, тиосульфат натрия или тиоацетамид. Синтез осуществляется в сильнокислой среде, при котором образуется значительное количество элементарной серы, которая адсорбирует  $\text{Re}_2\text{S}_7$ . Это снижает его выход, требует дополнительной нейтрализации раствора и его очистки от элементарной серы. Мы предлагаем для получения гидрозоля  $\text{Re}_2\text{S}_7$  использовать УФ-облучение водных растворов, содержащих тиосульфат натрия ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) и перренат натрия ( $\text{NaReO}_4$ ).

При УФ-облучении раствора, содержащего  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и  $\text{NaReO}_4$ , бесцветный раствор приобретает сначала желтый, а затем темно-коричневый цвет. Скорость окрашивания раствора зависит от концентрации солей и времени облучения. С использованием спектрофотометрии определено, что продукты фотохимической реакции поглощают при  $\sim 300$  нм,  $\lambda_{\text{макс}} \sim 415$  нм,  $\lambda_{\text{макс}} \sim 480$  нм и  $\lambda_{\text{макс}} \sim 610$  нм. С учетом литературных данных полосы поглощений, наблюдаемые в электронных спектрах, отнесены нами к светопоглощению тиоперренат-ионов.

Фотолиз данной смеси более 8 часов приводит к образованию в ней черно-коричневого осадка. Идентификацию полученного осадка проводили с использованием элементного анализа, методами ЭПР и РФЭС. Результаты количественного анализа показывают, что стехиометрическое соотношение между рением и серой в полученном осадке составляет 1:3.69 ( $\text{Re}_2\text{S}_{7,38}$ ). Согласно данным ЭПР рений, входящий в состав осадка, имеет нечетную степень окисления. Спектры РФЭС осадка, полученного фотохимическим способом, сравнивали со спектрами  $\text{Re}_2\text{S}_7$ , синтезированного по сульфидному и тиоацетамидному способам. Спектры РФЭС исследованных образцов одинаковы по своей структуре и близки по энергетическим параметрам.

Таким образом, полученные результаты позволяют утверждать, что при УФ-облучении смеси водных растворов, содержащих  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и  $\text{NaReO}_4$ , образуется  $\text{Re}_2\text{S}_7$ .

Размеры и морфология полученного фотохимическим способом  $\text{Re}_2\text{S}_7$  была изучена методами электронной спектроскопии и лазерной дифракции. Электронные микрофотографии и диаграммы распределения наночастиц  $\text{Re}_2\text{S}_7$  показывают, что в начальный момент времени (от 1 до 5 мин) в растворе происходит формирование частиц, имеющих шаровидную форму и размеры от 20 до 100 нм.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-33-90217.*