

УДК 544.77.023.55/.77.022+549.623.78+546.82

Синтез нанотрубчатых наночастиц со слоистой структурой состава $(\text{Mg}_{1-x}\text{Ni}_x\text{Fe}_{0.05-0.1}/\text{Cu}_{0.05-0.1})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ в гидротермальных условиях

Гатина Эльмира Надыревна

gatina.en@iscras.ru

SPIN-код: 2100-3864

Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» —
Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Гидросиликат магния $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, являющийся аналогом природного хризотила, и гидросиликат никеля $\text{Ni}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ — минерала пекораит, обладают большими перспективами как наноматериалы. Однако изменение исходных параметров среды и использование различных реактивов на основе магния, никеля и кремния позволяют получить наночастицы со слоистой структурой состава $(\text{Mg}_{1-x}\text{Ni}_x)_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, обладающие свойствами, отличными от свойств чистых нанотрубок. В работе был проведен гидротермальный синтез нанотрубок смешанного состава и изучены их свойства.

Ключевые слова: наноматериалы, нанотрубки, легирование, гидротермальный синтез, хризотил, наноканал

Synthesis of nanotube nanoparticles with a layered structure of the composition $(\text{Mg}_{1-x}\text{Ni}_x\text{Fe}_{0.05-0.1}/\text{Cu}_{0.05-0.1})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ under hydrothermal conditions

Gatina Elmira Nadyrevna

gatina.en@iscras.ru

SPIN-code: 2100-3864

B.P. Konstantinov St. Petersburg Institute of Nuclear Physics of the Kurchatov Institute
National Research Center — I.V. Grebenshchikov Institute of Silicate Chemistry, St. Petersburg, Russia

Abstract. Magnesium hydrosilicate $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, which is an analog of natural chrysotile, and nickel hydrosilicate $\text{Ni}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, a mineral of pecorite, have great prospects as nanomaterials. However, changing the initial parameters of the medium and using various reagents based on magnesium, nickel and silicon make it possible to obtain nanoparticles with a layered structure of the composition $(\text{Mg}_{1-x}\text{Ni}_x)_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, which have properties different from those of pure nanotubes. In this work, hydrothermal synthesis of nanotubes of mixed composition was carried out and their properties were studied.

Keywords: nanomaterials, nanotubes, doping, hydrothermal synthesis, chrysotile, nanochannel

Введение. Вопрос получения гидросиликата магния $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, являющегося аналогом природного хризотила, и гидросиликата никеля $\text{Ni}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ — минерала пекораит, изучен и перспективен для различных

модификаций [1]. Образование нанотрубок гидросиликата кобальта $\text{Co}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ при гидротермальной обработке исходных смесей метасиликата кобальта и магния, кобальта, оксидов и гидроксидов кремния происходит поэтапно, и стадии образования нанотрубок всегда предшествует образование пластинчатой структуры [2]. Однако при изменении исходных параметров среды и использовании различных соединений на основе магния, никеля и кремния, можно получить наночастицы со слоистой структурой состава $(\text{Mg}_{1-x}\text{Ni}_x)_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, свойства которых будут отличаться от свойств чистых нанотрубок.

Методы и материалы; результаты. В работе качестве прекурсора для гидросиликатных нанотрубок использовался обратно осажденный гидроксид магния, никеля, кобальта и меди, где в разных пропорциях были взяты магний и никель. Гидросиликатные нанотрубки состава $(\text{Mg}_{1-x}\text{Ni}_x\text{Cu}_{0.05-0.1})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ и $(\text{Mg}_{1-x}\text{Ni}_x\text{Fe}_{0.05-0.1})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ получали с добавкой реактивов SiO_2 и $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в гидротермальных условиях при температурах 350–400 °С и давлении 70 МПа в среде водного раствора 0.38 М NaOH. Продолжительность синтеза составляла 24 часа.

По результатам РФА было установлено, что при проведении гидротермального синтеза с $(\text{Mg}_{1-x}\text{Ni}_x\text{Cu}_{0.1})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ при температуре 350 °С были получены нанотрубки. С помощью метода ДСК/ТГ были изучены термические свойства образцов. По результатам EDX-анализа установлен химический состав смешанных гидроксидов и гидросиликатов. По результатам СЭМ и ПЭМ определены морфология и размеры частиц. С меньшим содержанием магния образуются чистые нанотрубки смешанного состава $(\text{Mg}_{0.05}\text{Ni}_{0.9}\text{Cu}_{0.05-0.1})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$.

Обсуждение. По рентгенофазовому составу образец, полученный из смеси $\text{Mg}_{0.05}\text{Ni}_{0.9}\text{Cu}_{0.05}(\text{OH})_2 + \text{SiO}_2$, показал монофазный продукт нанотрубок, по элементному составу подтверждающий соотношение $\text{Mg}:\text{Si} = 3:2$ и по микрофотографии наблюдаются длинные нанотрубки, схожие с волокнами природного хризотила. Следует отметить, что при использовании метасиликата $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ формируется помимо нанотрубок большое количество нанопластин и гидроксида магния принадлежащей бруситоподобной фазе $\text{Mg}(\text{OH})_2$ при увеличении доли магния в образце смешанного гидроксида состава $\text{Mg}_{1-x}\text{Ni}_x\text{Cu}_{0.05-0.1}(\text{OH})_2$. Ранее было показано формирование двухкомпонентных гидросиликатов смешанного состава на основе наносвитков состава $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4\text{--Ni}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ [3].

Заключение. Для получения наносвитков со структурой хризотила, содержащих в октаэдрическом слое ионы магния, никеля, железа (II)/меди (II), изучено влияние смешения реагентов различными способами на образование однофазных гидроксидов смешанного состава $\text{Mg}_{1-x}\text{Me}_x(\text{OH})_2$, где $\text{Me}=\text{Ni}, \text{Fe}/\text{Cu}$. Также были получены трехкомпонентные гидроксиды $\text{Mg}_{1-x-y}\text{Ni}_x\text{Cu}_y(\text{OH})_2$, $\text{Mg}_{1-x-y}\text{Ni}_x\text{Fe}_y(\text{OH})_2$ для проведения синтезов в гидротермальных условиях многокомпонентных гидросиликатов с нанотубулярной морфологией в системах $\text{MeO--SiO}_2\text{--H}_2\text{O}$. Большую сложность представляло

получение однофазных железо- и медьсодержащих гидроксидов указанных систем. Однофазность продукта была достигнута при обратном осаждении гидроксида с минимальным количеством добавок с $\text{Mg}_{1-x}\text{Ni}_x\text{Cu}_{0.05}(\text{OH})_2$ и $\text{Mg}_{-x}\text{Ni}_x\text{Fe}_{0.05}(\text{OH})_2$ обработкой в планетарной мельнице.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 24-13-00445).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Khrapova E.K., Ivanova A.A., Kirilenko D.A., Krasilin A.A. Intermetallic compounds obtained from $\text{Me}_3\text{Ge}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (Me = Mg, Ni, Fe, Co) phyllogermanates: synthesis of single-phase precursors. *Nanosystems: Phys. Chem. Math.*, 2024, vol. 15 (6), pp. 821–836. <https://doi.org/10.17586/2220-8054-2024-15-6-821-836>
- [2] Korytkova E.N., Pivovarova L.N., Drosdova I.A., Gusarov V.V. Hydrothermal Synthesis of Nanotubular Co–Mg Hydrosilicates with the Chrysotile Structure. *Russ J Gen Chem.*, 2007, vol. 77 (10), pp. 1669–1676. <https://doi.org/10.1134/S1070363207100039>
- [3] Кургузкина М.Е., Масленникова Т. П., Гусаров В.В. Формирование, морфология и размерные параметры нанопорошков на основе наносвитков состава $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ – $\text{Ni}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. *Неорганические материалы*, 2023, т. 59, № 10, с. 1111–1120. <https://doi.org/10.31857/S0002337X23100068>