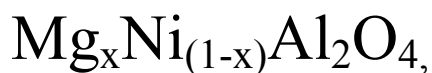


Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова
Факультет Наук о Материалах.

Отчёт по десятинедельному практикуму.

Синтез шпинелей состава



Подготовили студенты I курса:

Подголина Д.К.

Шленская Н.Н.

Научные руководители: Брылев О.А., Гаршев А.В. ,
Жиров А.И. , Колесник И.В.

Москва, 2010г.

Оглавление.

Введение.....	3
Литературный обзор.....	3-4
Экспериментальная часть	6
СИНТЕЗ ПРЕКУРСОВ	6
СИНТЕЗ ШПИНЕЛЕЙ	
• МЕТОДОМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ГОМОГЕНИЗАЦИИ.....	9
• МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОЙ ГОМОГЕНИЗАЦИИ	
-карбонатное соосаждение.....	10
-оксалатное соосаждение.....	11-12
РФА.Обработка полученных результ.....	13-16
Выводы.....	17
Пожелания и благодарности.....	18
Список использованной литературы.....	19

Введение.

Целью нашей работы во время десятидневного практикума был синтез веществ, имеющих структуру шпинелей состава $Mg_{(1-x)}NiAl_2O_4$, $MgCr_{(2-x)}Al_xO_4$, бинарной системы $Ni_xMg_{(1-x)}O_2$, анализ полученных результатов, исследование полученных образцов с помощью рентгенофазового анализа, приобретение основных навыков работы в лаборатории. Для получения заявленных веществ мы использовали 3 способа: механическую гомогенизацию, химическую гомогенизацию (метод оксолатного соосаждения и гидрокарбонатного соосаждения). Для исследования полученных образцов и анализа полученных результатов мы оценивали их цвет и использовали рентгенофазовый анализ.

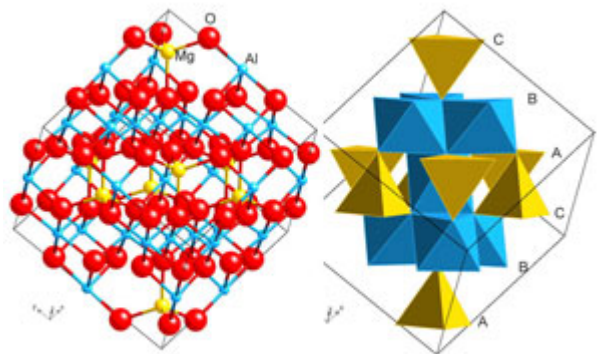
Литературный обзор.

Немного об истории и о месте шпинели в ней.....

Российскую императорскую корону, изготовленную в 1762 году, венчает ярко-красная шпинель массой 79,7г (398,72 карата), которая служит подставкой для креста из бриллиантов. Камень в конце XVI века приобрел в Пекине для царя Алексея Михайловича русский посол Николай Спафарий. В качестве драгоценного камня шпинель известна очень давно, но древних поверий относительно этого камня нет. Видимо, его включали в число карбункулов. Ни Плиний, ни Елифаний, ни Марбод, ни Лапидарий Альфонсо X шпинель, как отдельный камень, не упоминают. Примерно в IX-X веках стали различать яхонты (рубин и сапфир) и лалы – шпинели. В 1986 году в месторождении Кухилал (Таджикистан) была найдена ярко-розовая шпинель массой 5885 г (29425 карат). Знаменита шпинель, названная "Рубин Тимура". Ее в 1398 году в Дели захватил Тимур. Камень тогда назывался "Дань Мира", после Тимура шпинель неоднократно переходила из рук в руки. Она не огранена, а только отполирована, на ней вырезаны имена шести владельцев. Масса камня 72,2г (361 карат), он входит в число коронных драгоценностей Великобритании, Там же хранится другая крупная шпинель, также принимавшаяся за рубин и называемая "Рубин Черного принца". Она вставлена в корону, масса ее неизвестна. Она не огранена, длина ее около 5 см. Камень был подарен испанским королем Педро Жестоким английскому принцу Ричарду в знак благодарности за помощь в борьбе за трон.

С химической точки зрения шпинели (нем. Spinell), шпинелиды, группа минералов класса сложных окислов с общей формулой AB_2O_4 или $A(A, B)O_4$, где $A—Mg, Zn, Mn, Fe^{2+}, Co, Ni$; $B—Al, Fe^{3+}, Cr, Mn, Ti^{4+}, V^{3+}$. Шпинели представляют собой системы твёрдых растворов с широко развитым изоморфизмом катионов A и B.

В зависимости от преобладания катиона B различают:
алюмошпинели [шпинель $MgAl_2O_4$, герцинит $FeAl_2O_4$, галаксит $(Mn, Fe)Al_2O_4$, ганит $ZnFe_2O_4$],
ферришпинели (магнезиоферрит $MgAl_2O_4$, магнетит, яacobсит $MnFe_2O_4$, франклинит $ZnFe_2O_4$, треворит), хромшпинелиды, титаношпинели (ульвешпинель, магнезиальный аналог ульвешпинели



MgTiO₄ и др.) и ванадиошпинели (кульсонит FeV₂O₄). В пределах каждого изоморфного ряда смесимость минералов полная, а между членами различных рядов — ограниченная.

Кристаллизуются в кубической системе, образуя в основном октаэдрические кристаллы. В элементарной ячейке структуры шпинели 32 аниона кислорода образуют плотнейшую кубическую упаковку с 64 тетраэдрическими пустотами (катионами занято 8) и 32 октаэдрическими (катионами занято 16).

По характеру распределения катионов в занятых тетраэдрических и октаэдрических позициях структуры выделяют: нормальные (8 тетраэдров занято катионами A²⁺, 16 октаэдров — катионами B³⁺), обращенные (8 тетраэдров занято B³⁺, 16 октаэдров — 8 B³⁺ и 8 A²⁺, причём катионы B³⁺ и A²⁺ в октаэдрических пустотах могут распределяться как статистически, так и упорядоченно) и промежуточные шпинели. Нормальная структура свойственна MgAl₂O₄, ZnFe₂O₄, FeAl₂O₄, (Mn, Fe) Al₂O₄ и др. Обращенная структура характерна для FeFe₂O₄, MgFe₂O₄, Fe₂TiO₄ и др. Известно большое число минералов с промежуточным типом структуры. К структурному типу шпинелей относятся структуры некоторых сульфидов состава RX₂S₄, где R₂₊ — Co, Ni, Fe, Cu, а X³⁺ — Co, Ni, Cr. Искажённую структуру Ш. имеет маггемит (g-Fe₂O₃).

Для всех минералов характерны высокая твердость (5—8 по минералогической шкале), химическая и термическая устойчивость. Шпинели - основные носители магнитных свойств горных пород. Плотность, отражательная способность, твёрдость, параметр элементарной ячейки, магнитные и электрические свойства существенно зависят от состава и характера распределения катионов и заметно колеблются в пределах каждой группы. Для шпинелей характерны высокотемпературные условия образования; к выветриванию устойчивы, сохраняются в россыпях. Многие шпинели — важные руды хрома, железа, марганца, титана, цинка; применяются при производстве керамики, огнеупоров, термоустойчивых красок.

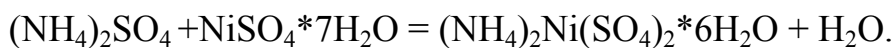
Известно большое число искусственных (синтетических) шпинелей, которые, кроме катионов, характерных для природных Ш., могут содержать ионы Li, In, Ca, Cd, Cu, W, Ga, Ag, Sb, Nb, Ge. Будучи разновидностью ферритов (шпинелевые ферриты), искусственные Ш. лежат в основе многих магнитных материалов и широко используются в приборостроении, радиотехнической и керамической промышленности.

Экспериментальная Часть.

Синтез прекурсоров.

Для получения шпинели нам необходимо синтезировать прекурсоры. А именно никель- и магний- аммонийные шениты и хромоаммонийные квасцы.

Синтез $(\text{NH}_4)_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$:



$M=132\text{г/моль}$ $M=281\text{ г/моль}$ $M=395\text{ г/моль}$

Производим расчеты исходя из того, что мы хотим получить данный шенит массой 30г.

$M=30\text{ г.}$ $N=0.07595\text{ моль.}$

Из уравнения получаем:

$$m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 10.025\text{ г.}$$

$$m(\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 21.34\text{ г.}$$

Рассчитываем необходимое количество H_2O для растворения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в воде при 80° (данные взяты из Справочника химика III том.)

Растворимость(S): $S((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 94,1\text{ г (на } 100\text{ мл. } \text{H}_2\text{O})$

$S(\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 66,7\text{ г (на } 100\text{ мл } \text{H}_2\text{O})$

Получаем, что для приготовления насыщенных растворов нам необходимо

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 10.65 + 17.65 = 28.3\text{ г.}$$

Растворяем необходимое количество $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в рассчитанном количестве воды. Нагреваем полученные растворы до 80°C . Сливаем растворы. Начинает выпадать голубой осадок. При охлаждении интенсивность выпадения осадка увеличивается.

После охлаждения раствора шенита производим его фильтрование на стеклянном фильтре.

$M_{(\text{шенита})} = 31,92\text{ г}$ - сразу после фильтрования.

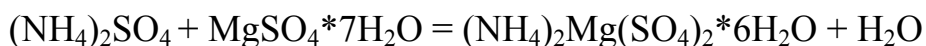
На 20.09.2010 г. $M=25,58\text{г}$

Следовательно выход составил примерно 85%.

Абсолютно аналогичным образом производим ***синтез шенита***

$(\text{NH}_4)_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$:

Также из расчета на 30 г конечного продукта.



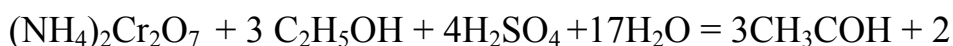
Массы необходимых исходных веществ:

$$M((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 11 \text{ г}$$

$$M(\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 20,5 \text{ г}$$

Выход составил около 65%

Синтез хром-аммонийных квасцов – $(\text{NH}_4)\text{Cr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$:



Все расчеты производим исходя из того, что мы хотим получить $n = 0,1$ моль ($m = 47,8$ г) вещества $(\text{NH}_4)\text{Cr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

Итак, для получения хром-аммонийных квасцов необходимо:

$$M((\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 12,6 \text{ г}.$$

$$M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 6,9 \text{ г} . \quad \text{пл.} = 0,8 \text{ г/мл} \quad V = 8,625 \text{ мл}.$$

$$M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 19,6 \text{ г} . \quad \text{пл.} = 1,8 \text{ г/мл} \quad V = 10,89 \text{ мл}.$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 15,3 \text{ г}.$$

Растворимость $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ при $20^\circ \text{C} = 35,6$ г (на 100 г. H_2O)

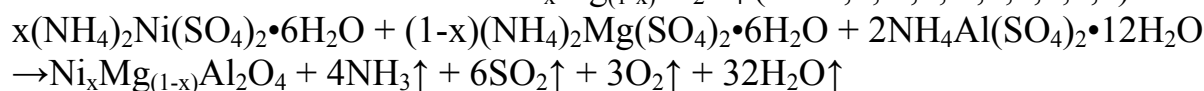
$$m(\text{H}_2\text{O}) = 35,39 \text{ г}.$$

Растворяем порошок $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (оранжевого цвета) в необходимом количестве воды. При растворении наблюдаем охлаждение раствора. Раствор ярко-оранжевого цвета. После растворения начинаем добавлять серную кислоту небольшими порциями, раствор нагревается. Происходит изменение окраски на красно-оранжевую. Используем кристаллизатор для охлаждения полученного раствора. После добавляем $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ по каплям (небольшими дозами во избежание выплескивания раствора - очень бурная реакция). Раствор интенсивно нагревается. Раствор становится темно-зеленым (с болотным оттенком). Проявляется характерный запах «прелых яблок» (выделение ацетальдегида). Наблюдаем выпадение фиолетового осадка. До полного осаждения оставляем приготовленный раствор в кристаллизаторе до следующего занятия. На следующем занятии фильтруем полученный осадок на стеклянном фильтре, промываем 2 раза водой, 1 раз спиртом. Оставляем сушиться (1,5-2 недели).

Синтез шпинелей методом механической гомогенизации:

Методом твердофазного синтеза были получены 10 образцов: $Mg_{0.8}Ni_{0.2}Al_2O_4$, $Mg_{0.6}Ni_{0.4}Al_2O_4$, $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Al_2O_4$, $Mg_{0.4}Ni_{0.6}Al_2O_4$, $Mg_{0.2}Ni_{0.8}Al_2O_4$

• Синтез никелевых шпинелей $Ni_xMg_{(1-x)}Al_2O_4$ ($x = 0,2; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8$):



Для получения шпинелей методом твердофазного спекания, взвешивали необходимые массы прекурсоров, перетирали смесь в ступке (в течение 3-5 минут) и прокаливали (под тягой) в фарфоровом тигле на газовой горелке. В тигле наблюдалось выделение воды, испаряющейся из кристаллогидратов. Затем смесь затвердевала. Ее перетирали и еще раз прокаливали сначала на газовой горелке (в фарфоровом тигле) до прекращения выделения воды, затем на воздушной горелке (в алундовом тигле) до прекращения выделения газов. После смесь отжигали в печи при $900^\circ C$ ($1200^\circ C$).

Во время спекания смеси на горелке наблюдалось изменение цвета от изначально голубого до желтоватого с промежуточным оттенком зеленого. После отжига в печи у всех образцов зеленовато-голубой оттенок. Также стоит заметить, что мы наблюдали значительное изменение масс порядка 3 г после отжига на горелках, а вот при отжиге в печи изменение масс было невелико (около 0,3 г при 900° и около 0,03 г при 1200°)

Преимущество метода механической гомогенизации в относительной простоте осуществления в сравнении с методом карбонатного соосаждения.

Химическая гомогенизация (карбонатное соосаждение).

Методом химической гомогенизации получено 10 образцов

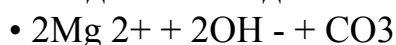
шпинелей: $MgCr_{0,2}Al_{1,8}O_4$, $MgCr_{0,4}Al_{1,6}O_4$,

$MgCr_{0,6}Al_{1,4}O_4$, $MgCr_{0,8}Al_{1,2}O_4$, $MgCr_{1,5}Al_{0,5}O_4$ (при 900° и $1200^\circ C$)

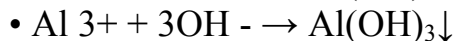
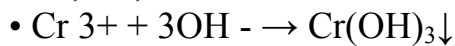
Гидрокарбонатное соосаждение является одним из типов химической гомогенизации. Этот метод основан на осаждении малорастворимых соединений

металлов Mg, Al, Cr, Ni и Co (в данном случае гидроксидов и карбонатов) и последующей фильтрации, просушивании и прокаливании осадка.

Осаждение проводилось гидрокарбонатом натрия $NaHCO_3$, который брался в 20%-ом избытке по сравнению со стехиометрическим количеством для практически полного перевода ионов металлов из раствора в осадок. Магний осаждается в виде основного карбоната $Mg(OH)_2CO_3$:



а Cr, Co, Ni и Al – в виде гидроксидов:



Необходимые количества алюмоаммонийных квасцов, шенитов магния и алюминия, и

гидрокарбоната натрия были взвешены и тщательно растерты в фарфоровой ступке. В

стеклянную банку налили 800-1000 мл дистиллированной воды и поставили нагреваться. Когда вода закипела, банку поставили на магнитную мешалку. В кипящую воду постепенно (небольшими порциями) всыпали приготовленную смесь; после каждого ссыпания раствор сильно вспенивался с выделением газа. Реакционная смесь перемешивалась после добавления порошка еще в течение одной минуты. После этого полученную взвесь зеленовато-голубого цвета поставили охлаждаться и отстаиваться. Когда она

отстоялась, декантировали верхний слой раствора и долили

дистиллированной воды. Затем снова нагревали. Промывание проводили 5-6 раз до избавления от ионов Na^+ и SO_4^{2-} . Перед каждым промыванием

необходимо проверить раствор на присутствие ионов, для этого к

небольшому количеству раствора в пробирке добавляем $Ba(NO_3)_2$.

Вследствие реакции $Ba^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow BaSO_4$ появляется помутнение. Далее

добавляли к осадку раствор соляной кислоты, в случае присутствия сульфат-аниона осадок не растворялся.

При каждом последующем промывании наблюдается ослабление

помутнения. Необходимо добиться полного исчезновения реакции с ионами Ba^{2+} .

После того как смесь была промыта, полученную желеобразную массу

сушили в сушильном шкафу, а затем прокаливали на газовой горелке.

После прокаливания образцы ставили на отжиг в муфельную печь сначала при $900^\circ C$, а

затем при 1200°C. ___

При этом происходят реакции:

- $(\text{MgOH})_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$
- $\text{Cr}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$

Спекание оксидов металлов в печи приводит к получению шпинелей:

- $\text{MgO} + x/2\text{Cr}_2\text{O}_3 + (2-x)/2\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{MgCr}_x\text{Al}_{(2-x)}\text{O}_4$

У этого способа есть свои недостатки и преимущества. К его достоинствам можно отнести то, что смесь получается более гомогенной. Также в ходе этого процесса нам не потребовался отжиг на воздуходувной горелке. Зато, стоит заметить, что этот процесс весьма энергоемкий и требует большого количества времени. Поэтому сразу стоит запастись терпением и. Также стоит аккуратно и очень осторожно работать с кипятком во избежание несчастных случаев.

Метод оксалатного соосаждения.

Этим методом было получено 6 образцов:

$\text{Ni}_{0.2}\text{Mg}_{0.8}\text{O}_2, \text{Ni}_{0.4}\text{Mg}_{0.6}\text{O}_2, \text{Ni}_{0.6}\text{Mg}_{0.4}\text{O}_2.$ (при 900° и 1200° С)

Для начала, чтобы определить при каких условиях мы получим наибольший выход(осадок выпадает быстрее и интенсивнее), мы исследовали метод соосаждения оксалатов при различных условиях:

- 1)зависимость от t°
- 2)зависимость от порядка добавления исходных реагентов.

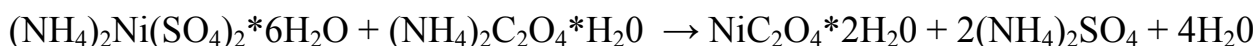
Проведя серию пробирочных опытов, мы можем сделать вывод, что наиболее выгодными условиями является сливание оксалатов при повышенной температуре (сравнивали комнатную и повышенную, учитывая растворимость), также мы установили, что лучше приливать раствор $(\text{NH}_4)_2\text{Me}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ к $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

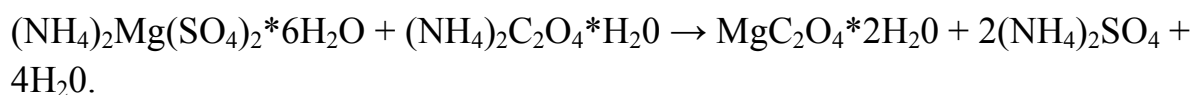
Используя полученные результаты в ходе эксперимента проводим синтез. Растворяем необходимое количество шпинитов при 80° С, затем добавляет туда приготовленный с 10% избытком горячий раствор оксалата аммония. Ждем выпадения осадка. Затем фильтруем полученный осадок на стеклянном вакуумном фильтре, промываем водой, спиртом и сушим.

После высушивания мы получили $\text{MgC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (выход 92%)

$\text{NiC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (выход 84%).

Реакции:





Провели расчеты для получения двойных систем $\text{Ni}_x\text{Mg}_{(1-x)}\text{O}_2$, исходя из того, что мы хотим получить вещества при $x=0,2; 0,4; 0,6$.

Затем произвели отжиг необходимых количеств $\text{MgC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{NiC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ на газовой горелке.

При этом проходили следующие реакции:



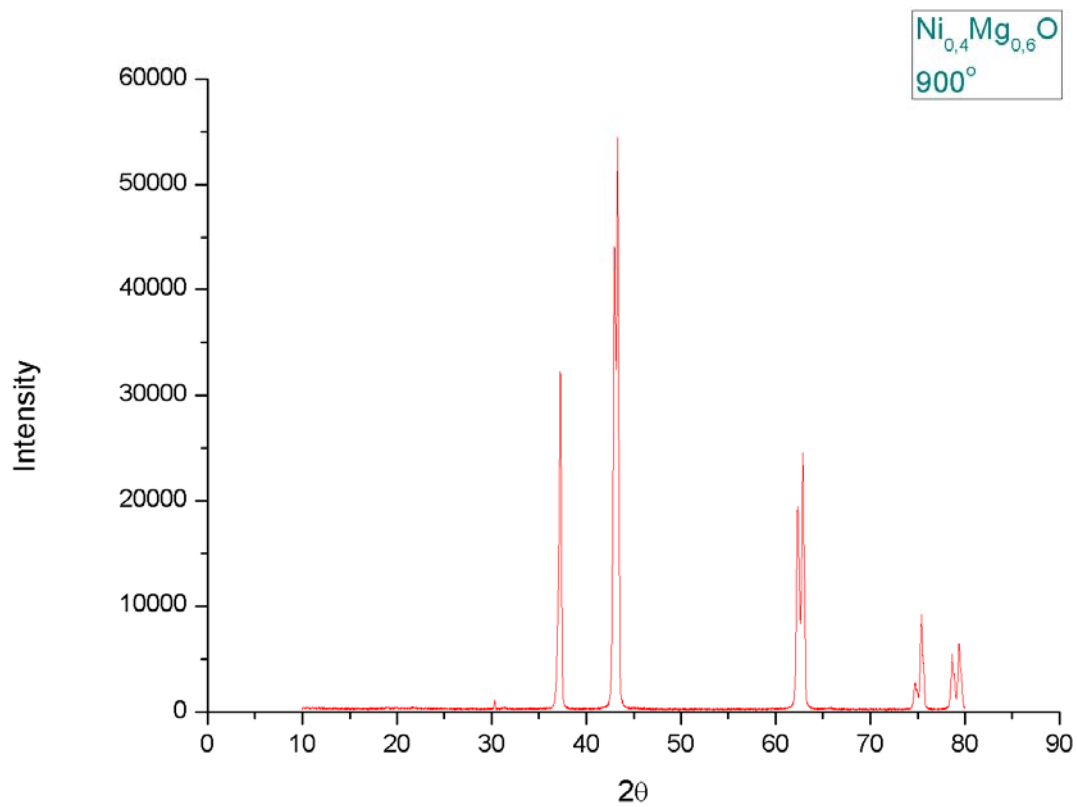
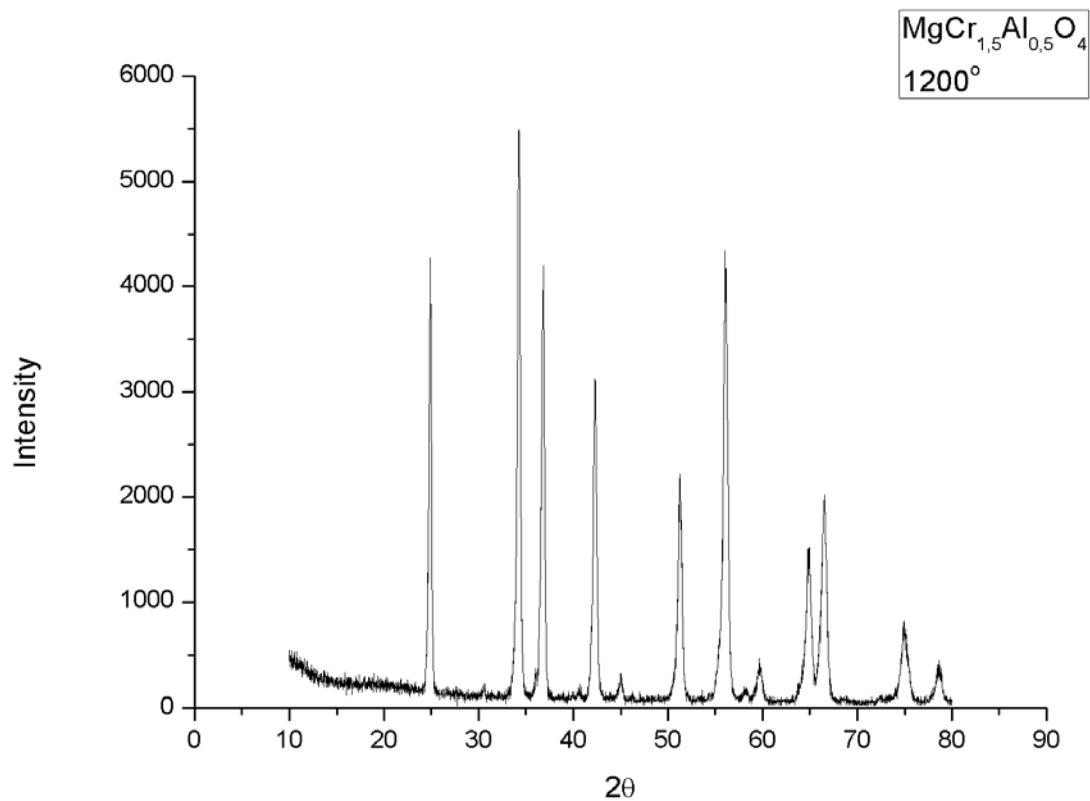
Мы наблюдали следующее изменение окраски:

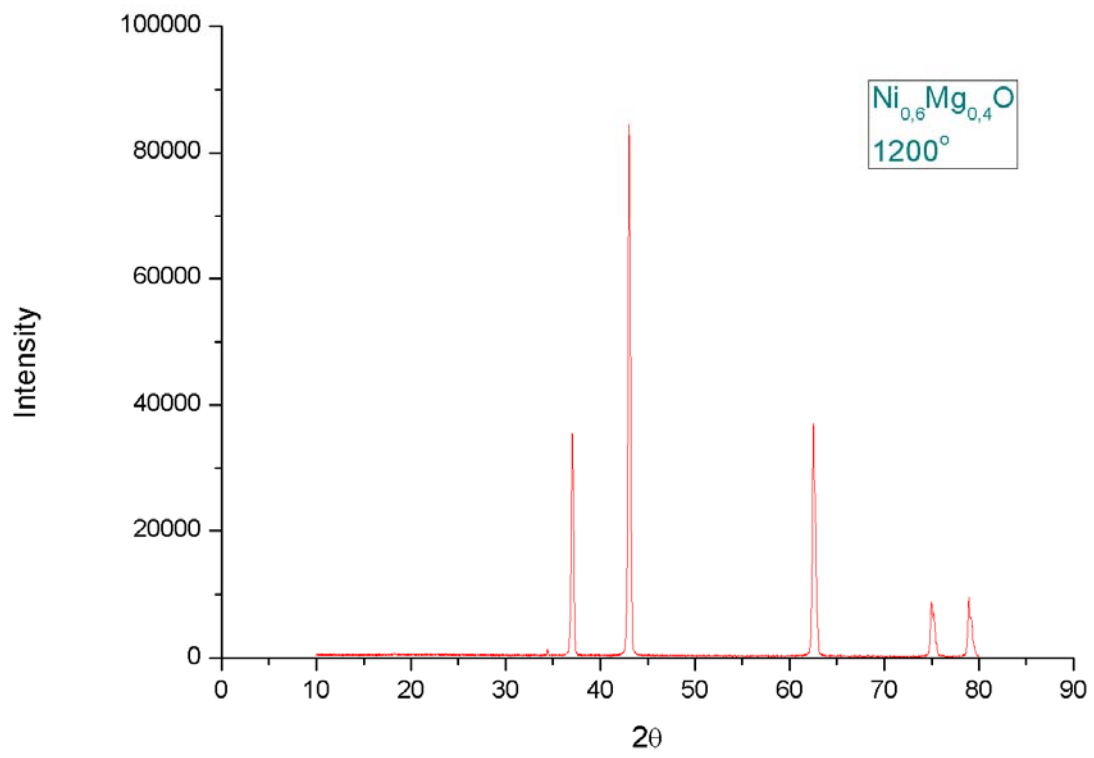
Зеленовато-бирюзовый \rightarrow желтоватый \rightarrow желтый \rightarrow охристо-серый \rightarrow серый.

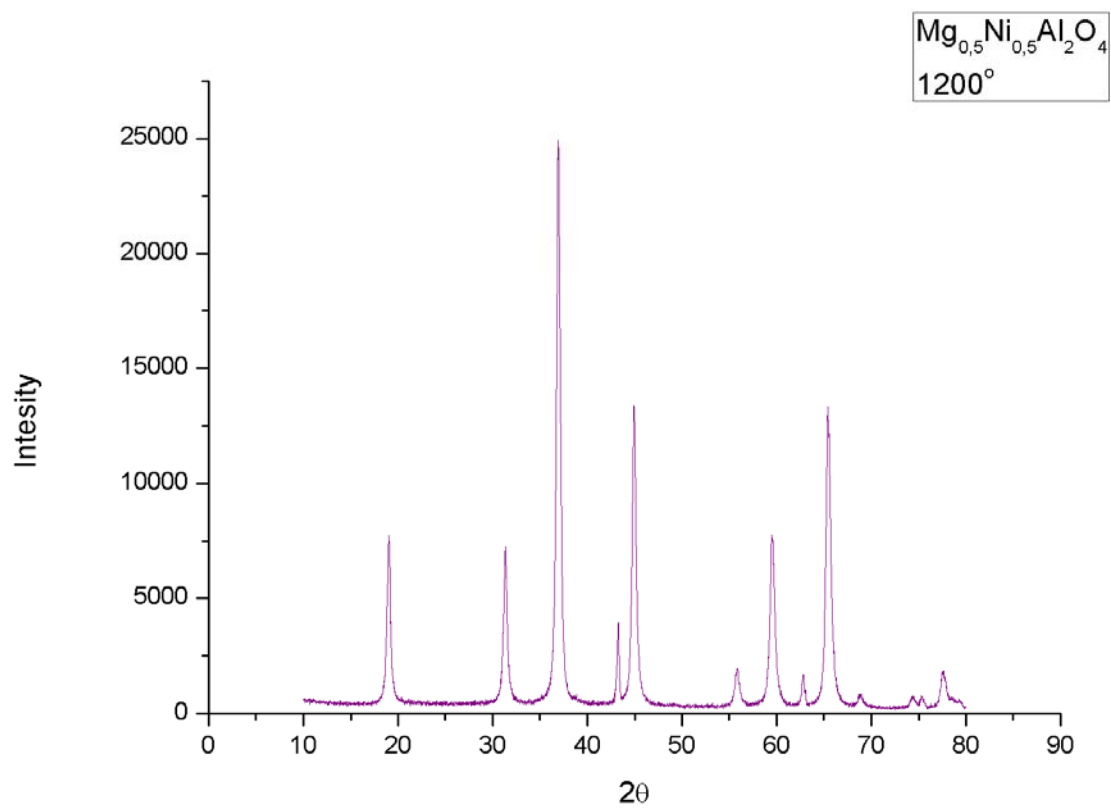
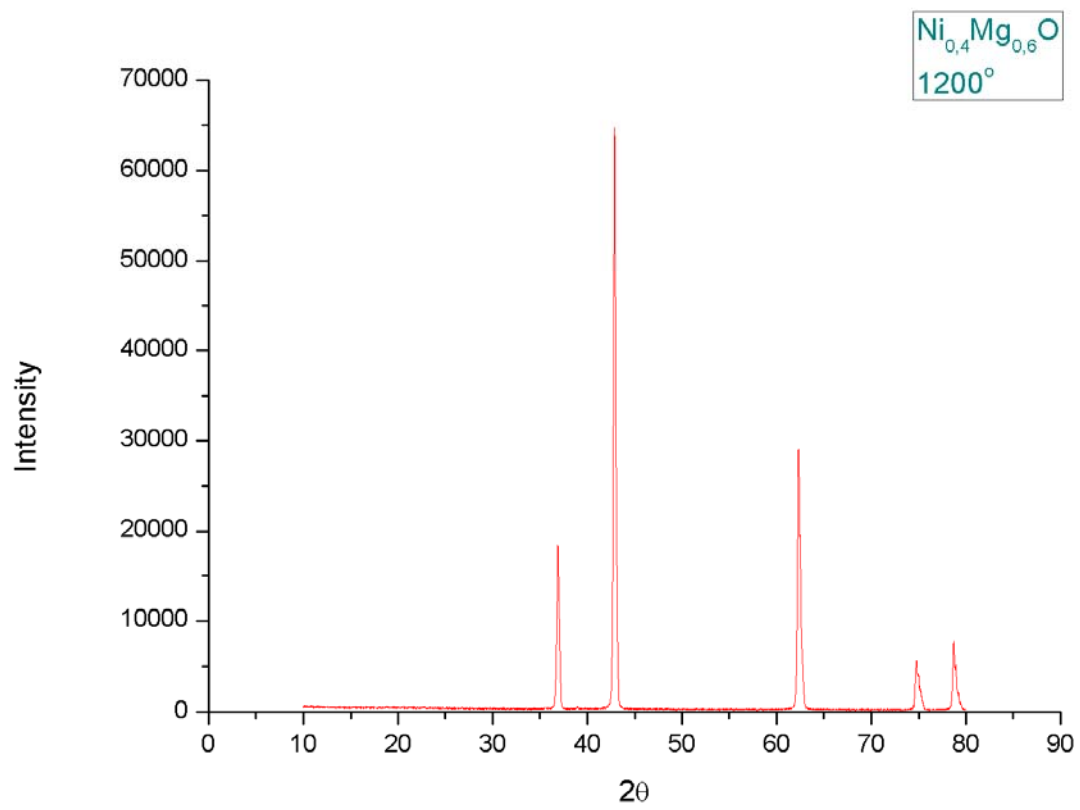
Затем производили отжиг полученных веществ в печи при 900° и 1200° С.

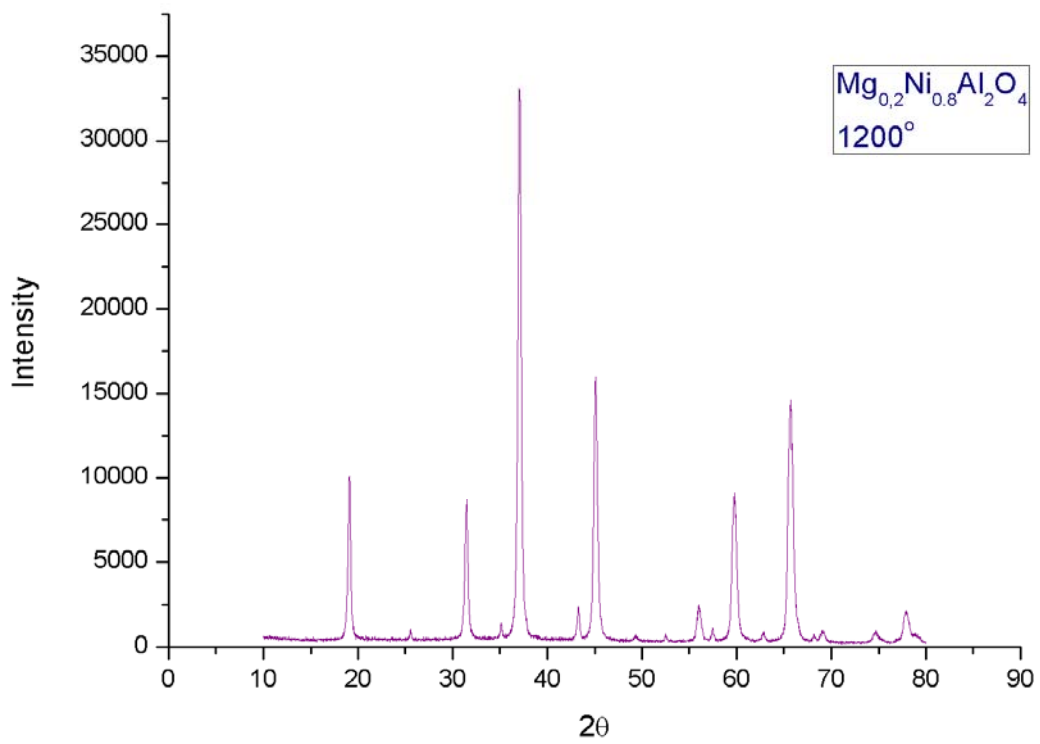
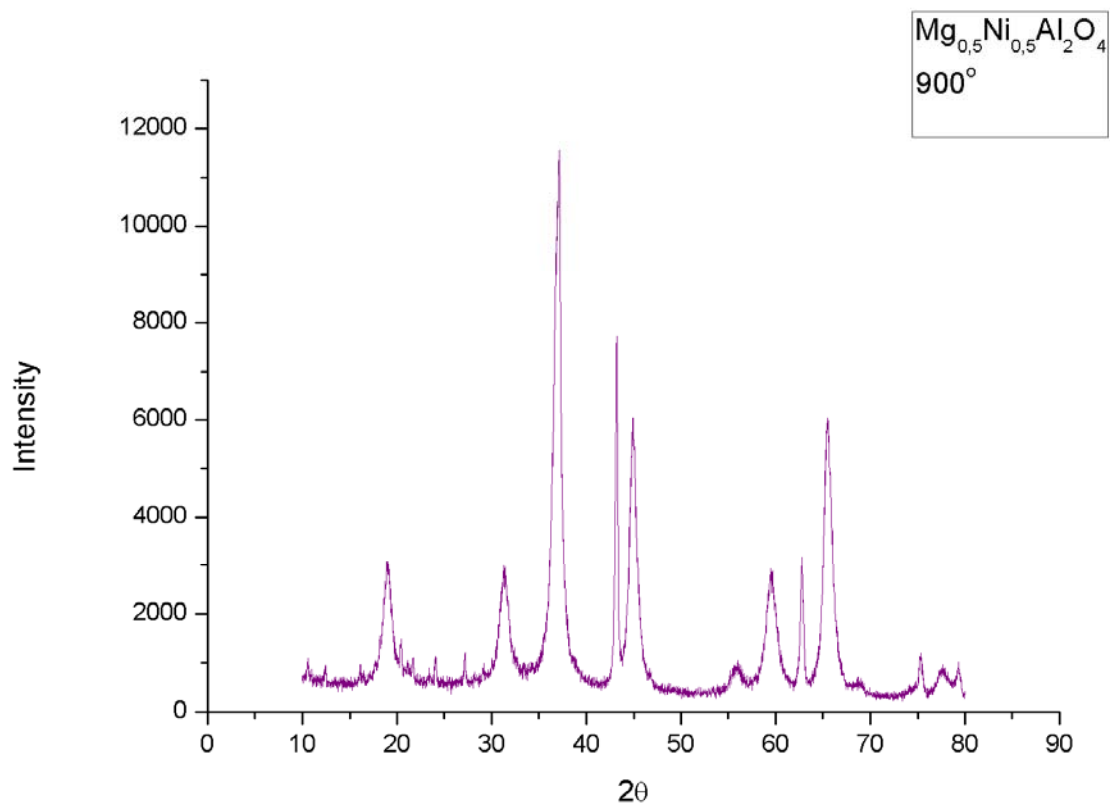
Изменение массы при отжиге на обычной горелке около $0,61-0,68$ г, при 900° – около $0,11-0,16$ г, а при 1200° – $0-0,01$ г.

Обработка полученных результатов.РФА.









Результаты РФА.

Согласно результатам РФА, все проанализированные образцы содержали более одной фазы. Весьма заметны также серьезные отличия рентгенограмм соединений одинакового стехиометрического состава, но подвергнувшихся высокотемпературному прокаливанию при разных (900° и 1200° С) температурах. У «низкотемпературного» образца на графике хорошо заметно наличие большего количества пиков, по сравнению с «высокотемпературным образцом», но у «высокотемпературного образца» отдельные пики более тонкие и высокие по сравнению с «низкотемпературным», по чему можно утверждать, что «низкотемпературный» образец закристаллизован значительно хуже, чем «высокотемпературный».

Основные пики на рентгенограммах полученных нами образцов близки к основному пику $MgAl_2O_4$, хотя присутствуют неяркие пики примесей. Из этих данных можно сделать вывод о том, что полученные нами образцы в основном содержат одну фазу и имеют структуру шпинели.

Расчет параметров ячейки.

Параметры ячеек для образцов были рассчитаны по формуле с помощью программы ORIGIN. Значения **h**, **k**, **l** для каждого пика были взяты из эталонной карточки $MgAl_2O_4$.

$$A = \sqrt{(h^2 + k^2 + l^2)} * d$$

x	0.2	0.4	0.6
$MgCr_xAl_{(2-x)}O_4$	8.10948	8.1104	8.1145

Параметр ячейки увеличивается ростом x.

Выводы.

Нами были синтезированы следующие образцы:

$Mg_{0.8}Ni_{0.2}Al_2O_4$, $Mg_{0.6}Ni_{0.4}Al_2O_4$, $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Al_2O_4$, $Mg_{0.4}Ni_{0.6}Al_2O_4$, $Mg_{0.2}Ni_{0.8}Al_2O_4$,
 $MgCr_{0.2}Al_{1.8}O_4$, $MgCr_{0.4}Al_{1.6}O_4$, $MgCr_{0.6}Al_{1.4}O_4$, $MgCr_{0.8}Al_{1.2}O_4$, $MgCr_{1.5}Al_{0.5}O_4$,
 $Ni_{0.2}Mg_{0.8}O_2$, $Ni_{0.4}Mg_{0.6}O_2$, $Ni_{0.6}Mg_{0.4}O_2$. (при 900° и 1200°).

Нами были освоены методы механической и химической (карбонатное и оксалатное соосаждение) гомогенизации.

Было выяснено, что при прокаливании смеси прекурсоров при более высокой температуре образец более закристаллизован, чем при более низких температурах. Следовательно, образцы, полученные при 1200° Также наиболее предпочтительным способом при синтезе шпинелей можно назвать метод химической гомогенизации, даже скорее метод оксалатного соосаждения, так как при этом образцы лучше спекаются. Это, к тому же, наименее энергозатратный процесс.

Также мы можем сказать, что интенсивность окраски существенно зависит от изменения параметра x в данных соединениях. Например, при увеличении значения x в никель - аммонийной шпинели интенсивность окраски увеличивается и уходит из зеленоватых в голубоватые оттенки. Также меняется интенсивность и в хром-магниевои шпинели.

Пожелания и благодарности.

Пожелания.

Во-первых, стоит внимательно относиться к своему рабочему журналу, заполнять его с особой педантичностью... Он Вам очень поможет.

Во-вторых, необходимо постараться правильно распределить время, учитывать, что, например, метод карбонатного соосаждения и прокаливание на воздуходувной горелке требуют большого количества времени .

Также, мы можем Вам посоветовать изучить полученные нами образцы с другим количеством заместителя.(взять крайние границы замещения).

Благодарности.

Мы благодарим О.А.Брылева, А. И. Жирова и А. В. Гаршева, И.В.Колесник за ценные советы на каждом этапе работы, за поддержку и понимание.

Дорофеева Сергея Геннадьевича за проведение отжига веществ в печи, а также сотрудников практикума. А также всех наших любимых однокурсников.

Список используемой литературы:

1. Практикум по неорганической химии (под руководством Третьякова Ю. Д.). Издательский центр «Академия», 2004.
2. Справочник химика. Т.3. М.: Химия, 1965.
3. Коттон Ф., Уилкинсон Дж. Современная неорганическая химия, Т.2. М.: Мир, Москва, 1969.
4. Д. О. Чаркин, А. И. Баранов, П. С. Бердоносков. Методическая разработка к практикуму «Начала химического эксперимента». Москва. 2006.
5. Ю.Д.Третьяков, В.И.Путляев «Введение в химию твердофазных материалов», «Наука»,2006г.
6. Вест А. “Химия твердого тела”, 1988г.
7. Отчеты студентов I курса ФНМ по десятидневному практикуму.