

**Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta  
Katedra anorganická chemie**

Doktorský studijní program: anorganická chemie

Autoreferát disertační práce



**Magnetické nanočástice a nanokompozitní materiály se  
spinelovou strukturou, jejich příprava a charakterizace**

Mgr. Petr Holec

Školitel: RNDr. Daniel Nižňanský, Ph.D.  
Školitel-konzultant: RNDr. Jiří Plocek, Ph.D.

Praha, 2012

## Abstrakt:

Tato práce prezentuje přípravu a charakterizaci spinelových nanočástic a nanokompozitů, které byly připraveny několika metodami. K přípravě nanočástic v diamagnetické matici byla použita metoda sol-gel. Pomocí této metody byly připraveny chromity kobaltnatý, měďnatý, nikelnatý a zinečnatý. Dalším materiálem v  $\text{SiO}_2$  matici byl ferit horečnatý. K přípravě nanočástic chromitu hořečnatého, manganatého, měďnatého, nikelnatého a železnatého byla použita vypalovací a srážecí metoda. Ferit kobaltnatý a hořečnatý byl připraven mikroemulzní alkoxidovou metodou, kdy mikroemulze o tomto složení byla použita poprvé pro přípravu spinelových nanočástic.

Dále se tato práce zabývá studiem vlivu teploty přípravy na konečnou velikost částic, resp. vlivu velikosti částic na fyzikální vlastnosti materiálu a porovnáním zjištěných magnetických vlastností chromitů v závislosti na dvojmocném kationtu ve spinelové struktuře.

Výsledné vzorky byly charakterizovány pomocí RTG práškové difrakce, Mössbauerovy spektroskopie, Infračervené a Ramanovy spektroskopie, vysokorozlišovací transmisní elektronové mikroskopie a pomocí magnetických měření byla změřena závislost magnetizace na vnějším magnetickém poli za konstantní teploty a metodou ZFC (chlazení v nulovém poli) – FC (chlazení v poli).

1. Úvod.....	3
2. Cíle práce.....	5
3. Materiál a metodika.....	6
3.1. Metoda sol-gel.....	6
3.3. Ostatní metody .....	7
4. Výsledky a diskuze.....	8
4. Výsledky a diskuze.....	8
4.1. $MFe_2O_4$ a $MFe_2O_4/SiO_2$ .....	8
4.1.1. $MgFe_2O_4$ a $MgFe_2O_4/SiO_2$ .....	8
4.1.2. $CoFe_2O_4$ .....	9
4.2. $MCr_2O_4/SiO_2$ a $MCr_2O_4$ .....	9
4.2.1. $CuCr_2O_4/SiO_2$ .....	9
4.2.2. $ZnCr_2O_4/SiO_2$ .....	10
4.2.3. $CoCr_2O_4/SiO_2$ .....	10
4.2.4. $NiCr_2O_4/SiO_2$ .....	10
4.2.5. $FeCr_2O_4$ .....	11
4.2.6. $MnCr_2O_4$ .....	11
4.2.7. $CuCr_2O_4$ .....	12
4.2.8. $NiCr_2O_4$ .....	12
4.2.9. $MgCr_2O_4$ .....	13
5. Závěr.....	14
6. Použitá literatura .....	16
Curriculum vitae.....	17
Seznam publikací .....	18

# 1. Úvod

V posledních desetiletích je v oblasti materiálového výzkumu nastaven trend miniaturizace. Tento trend je spojený s hledáním nových materiálů a s vývojem nových metod a postupů přípravy. Pomocí nových metod a postupů můžeme řídit složení, strukturu, tvar, velikost částic a snižovat náklady na přípravu. Oblast základního materiálového výzkumu je založena na pozorování změn v elektrických, magnetických a v optických vlastnostech materiálu v závislosti na typu materiálu, metodě přípravy či velikosti částic. Současný materiálový výzkum se řadí mezi interdisciplinární obory, neboť kombinuje znalosti a poznatky z různých odvětví fyziky, chemie a matematiky.

Nanomateriály vykazují odlišné fyzikálně-chemické vlastnosti než jejich objemové analogy. Důvodem jsou zvýšená relativní plocha povrchu a kvantové jevy, které při poklesu rozměrů nanokrystalů pod určitou hodnotu začnou u nanomateriálů řídit fyzikálně-chemické chování. Jevy spojené s konečným rozměrem materiálu jsou následkem kvantového omezení pohybu elektronů podél omezeného směru. Povrchové jevy jsou připisovány zvýšenému počtu povrchových atomů a porušení symetrie krystalové mřížky na hranici nanostruktury vedoucí ke zvýšení povrchové anizotropie, neuspořádanosti povrchových magnetických momentů, spinové frustraci a zeslabení magnetických interakcí mezi atomovými magnetickými momenty na povrchu a v objemu nanostruktury. Spolu s těmito jevy je navíc výsledný magnetický stav nanostrukturálních látek významným způsobem řízen mezičásticovými interakcemi,

porozitou, přítomnými defekty a vakancemi. Právě existence mezičásticových interakcí většinou degraduje magnetické vlastnosti mnohých materiálů, neboť jsou zodpovědné za jejich aglomeraci a podstatně horší odezvu na vnější magnetické pole. Jednou z velmi slibných skupin patřících mezi důležité magnetické nanomateriály jsou spinelové ferity a chromity, jejichž vlastnosti závisí na distribuci a typu kationtů ve spinelové struktuře<sup>[1-2]</sup>.

Mezi nejvýznamnější využití magnetických materiálů, patří magnetický záznam. Jako záznamová media se používají především oxidy železa nebo oxidy železa s příměsemi oxidů Ni, Cr či Mn. Mezi novější materiály patří hlavně ferit barnatý ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ), dále pak oxidy Cr, Ni, Mn, nebo částice čistého železa pokrytého pasivační vrstvou. Materiály používané jako záznamová media musí vykazovat vysokou remanentní magnetizaci a také dostatečně velké koercitivní pole, které je důležité pro udržení zaznamenané informace<sup>[3]</sup>.

Zajímavou skupinou materiálů jsou nanokompozity, což jsou magnetické nanočástice uzavřené v transparentní matici, nejčastěji  $\text{SiO}_2$  či  $\text{TiO}_2$ . Jelikož je matrice schopná na svém povrchu vázat léčiva, proteiny či protilátky, využívají se nanokompozity při cílené dopravě těchto látek v organismu. Mimo cíleného doručování se kompozitní materiály používají k bioseparaci, k různým diagnostickým aplikacím, magnetickým separacím, k přípravě luminiscenčně aktivních materiálů atd.<sup>[4-5]</sup>

## 2. Cíle práce

Cílem této práce bylo zjistit, zda-li je metoda sol-gel vhodná pro přípravu chromitů se spinelovou strukturou v diamagnetické matici a porovnat získané vzorky s chromity připravenými jinými metodami bez diamagnetické matrice. Dále se tato práce zabývá studiem vlivu teploty přípravy na konečnou velikost částic, resp. vlivu velikosti částic na fyzikální vlastnosti materiálu a porovnáním zjištěných magnetických vlastností chromitů v závislosti na dvojmocném kationtu ve spinelové struktuře a dále jejich porovnáním s již prostudovanými ferity.

První metodou pro přípravu feritu hořečnatého a kobaltnatého byla mikroemulzní alkoxidová metoda, která nebyla doposud použita pro přípravu feritů. Dále bylo výzvou pokusit se o přípravu feritu hořečnatého v diamagnetické matici sol-gel metodou. Z výsledků získaných z magnetického měření a Mössbauerovy spektroskopie bylo zajímavé prostudovat vliv teploty přípravy, resp. velikosti částic na fyzikální vlastnosti materiálu a distribuci kationtů ve spinelové struktuře feritu hořečnatého a kobaltnatého. Na základě zjištěných strukturálních a magnetických vlastností feritů bylo potřeba zjistit, zda-li a jak ovlivňuje diamagnetická matrice připravené ferity.

## 3. Materiál a metodika

K přípravě studovaných materiálů byly použity sol-gel metoda, mikroemulzní alkoxydová metoda, srážecí a vypalovací metoda. K charakterizaci byla použita prášková RTG difrakce, Mössbauerova spektroskopie, Infračervená a Ramanova spektroskopie, vysokorozlišovací transmisní elektronová mikroskopie a s pomocí magnetických měření byla změřena závislost magnetizace na vnějším magnetickém poli a ZFC-FC měření.

### 3.1. Metoda sol-gel

Tradiční sol-gel metoda<sup>[6-8]</sup> používá TEOS jako prekurzor  $\text{SiO}_2$  matrice. Hydrolyza TEOSu je kysele katalyzovaná pomocí 0,03 M roztoku  $\text{HNO}_3$ . Dále se používá formamid jako modifikátor, který ovlivňuje konečnou teplotu gelu. Příslušné dusičnany kovu tvořící prekurzory spinelové fáze se nejprve rozpouštějí v methanolu. Připravený roztok se nechá gelovat při 40°C po dobu 48 hodin, dále se pak vzorek ponechá stárnout při 40°C po 3 dny. Poté se vzniklý gel suší v proudu dusíku při 40°C. Následuje zahřívání ve vakuu rychlostí 0,2°C/min na 300°C s vydrží po dobu 2 hodin na této teplotě a nakonec žíhání při vyšších teplotách (400 - 1100°C) rychlostí 1°C/min s vydrží na konečné teplotě po dobu 2 hodin.

### 3.2. Mikroemulzní alkoxydová metoda

Základem této metody je mikroemulze o složení: Lutensol ON 110, cyklohexan, 1-oktanol a destilovaná voda. Mikroemulze se po kapkách přidává k prekurzorům aktivních látek tvořenými příslušnými alkoxydy<sup>[9-12]</sup> kovu. Když je veškerá mikroemulze<sup>[13-15]</sup>

již v systému, následuje hydrolytická reakce pomocí přidavku destilované vody. Reakční systém se poté nechá za prudkého míchání reagovat asi 20 minut. Následuje odstranění nečistot pomocí dekantace a centrifugace. Posledním krokem je žhání na vzduchu při teplotách 400 – 1100°C.

### 3.3. Ostatní metody

Další použité metody pro přípravu nanočástic byly srážecí a vypalovací metoda<sup>[16]</sup>. Srážecí metoda používá jako prekurzory dusičnany či chloridy příslušného kovu, které jsou následně v roztoku vysráženy pomocí amoniaku. Po následné dekantaci a sušení se vzorky vypalují pod různou atmosférou na teploty 500 – 1000°C. Vypalovací metoda používá stejné prekurzory jako metoda srážecí. Navíc se do roztoku přidává dvojnásobné látkové množství glycinu vzhledem k celkovému látkovému množství kovů. Po vytvoření solu se systém zahřeje na teplotu 200°C, přičemž dojde k samovznícení. Vzniklý vzorek se nakonec vypaluje pod atmosférou různého složení na teploty 600 – 1100°C.



## 4. Výsledky a diskuze

### 4.1. $MFe_2O_4$ a $MFe_2O_4/SiO_2$

#### 4.1.1. $MgFe_2O_4$ a $MgFe_2O_4/SiO_2$

Vzorky feritu hořečnatého v  $SiO_2$  matrici se podařilo připravit čisté v celém rozsahu použitých teplot (800 – 1100 °C). K částečné krystalizaci  $SiO_2$  matrice docházelo až při 1100°C. Velikosti částic získané s pomocí HRTEM se pohybovaly od 4 do 21 nm v závislosti na teplotě zpracování. S pomocí Mössbauerovy spektroskopie byla stanovena distribuce kationů v tetraedrických a oktaedrických polohách spinelu jako  $(Mg_{0.63}Fe_{0.37})[Mg_{0.37}Fe_{1.63}]O_4$  pro vzorek vyžíhaný na 1100°C. Z magnetického měření bylo prokázáno, že pouze vzorek vyžíhaný při 800°C se nacházel v superparamagnetickém stavu, ostatní vzorky byly ferimagnetické.

Ferit hořečnatý připravený mikroemulzní alkoxidovou metodou se podařilo připravit čistý při teplotách 450 a 550°C, při vyšších teplotách vzorky kromě majoritního feritu hořečnatého obsahovaly minoritní fáze  $MgO$ ,  $Fe_3O_4$  a  $Fe_2O_3$ . Velikost částic získaná z RTG difrakce se pohybovala od 9 do 38 nm v závislosti na teplotě zpracování. Výsledky získané z Mössbauerovy spektroskopie potvrdily výsledky rentgenové difrakce, kdy ve všech vzorcích byla potvrzena přítomnost magneticky uspořádané fáze feritu hořečnatého, např. při teplotě žíhání 1100°C byla distribuce kationů ve spinelu následující  $(Mg_{0.64}Fe_{0.36})[Mg_{0.36}Fe_{1.64}]O_4$ . Vzorky magneticky uspořádané se nacházely ve ferimagnetickém stavu pro všechny teploty měření.

### 4.1.2. $\text{CoFe}_2\text{O}_4$

Ferit kobaltnatý byl připraven mikroemulzní alkoxidovou metodou. Na RTG záznamu je zřejmé, že při nižších teplotách (550 a 750°C) zpracování se podařilo připravit čistý ferit, ale s rostoucí teplotou zpracování (800 - 1000°C) docházelo k tvorbě nečistot ve formě  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Velikost částic určená s pomocí HRTEMu se pohybovala od 31 do 46 nm v závislosti na teplotě zpracování. Výsledky Mössbauerovy spektroskopie potvrdily, že vzorky zpracované při teplotě 550 a 750°C mají feromagnetické uspořádání. Vzorek zpracovaný při 750°C byl měřen při 4 K v magnetickém poli při 6 T a byla zjištěna distribuce kationtů v tetraedrických a oktaedrických polohách spinelu jako:  $(\text{Co}_{0,26}\text{Fe}_{0,74})[\text{Co}_{0,74}\text{Fe}_{1,26}]\text{O}_4$ .

## 4.2. $\text{MCr}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ a $\text{MCr}_2\text{O}_4$

### 4.2.1. $\text{CuCr}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$

Při všech teplotách zpracování byla pozorována jako majoritní fáze vzorku  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$  se spinelovou strukturou. Z poloh naměřených difrakčních maxim a z Ramanových spekter byla určena prostorová struktura chromitu měďnatého v matrici  $\text{SiO}_2$  jako tetragonálně deformovaný spinel s prostorovou grupou  $I4_1/amd$ . Velikost částic získaná z RTG difrakce byla vypočítaná v rozsahu od 8 do 29 nm v závislosti na teplotě zpracování. Z výsledků závislosti magnetizace na vnějším magnetickém poli a ZFC-FC měření můžeme konstatovat, že vzorky chromitu měďnatého se nacházely v uspořádaném ferimagnetickém stavu.

#### 4.2.2. $\text{ZnCr}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$

Chromit zinečnatý vyžíhaný při teplotě 1100°C obsahoval čistou spinelovou fázi. Průměrná velikost částic získaná z difrakčního záznamu se pohybovala v rozsahu od 10 do 22 nm v závislosti na teplotě zpracování. Z výsledků měření závislosti magnetizace na vnějším magnetickém poli bylo zjištěno, že chromit zinečnatý má antiferomagnetické uspořádání s frustrací spinů.

#### 4.2.3. $\text{CoCr}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$

Byla měřena vibrační spektra chromitu kobaltnatého vyžíhaného v rozmezí teplot 1000 - 1100°C ve spektrálním regionu 100 - 1200  $\text{cm}^{-1}$ , kde bylo nalezeno všech pět aktivních módů spinelové struktury chromitu kobaltnatého. Jiné píky nebyly ve spektru nalezeny. Z výsledků Ramanovy spektroskopie a RTG difrakce můžeme říci, že vzorky vyžíhané při teplotách 1000°C a 1100°C byly tvořené čistou spinelovou fází chromitu kobaltnatého v matici  $\text{SiO}_2$ . Navíc z difrakčního záznamu je zřejmé, že matrice  $\text{SiO}_2$  zůstala amorfní při všech teplotách žhání, tedy i při 1100°C. Připravená spinelová fáze se skládala z poměrně malých částic v rozsahu od 12 do 23 nm v závislosti na teplotě zpracování. Takto připravený chromit kobaltnatý je při pokojové teplotě superparamagnetický. Teplota blokace se nachází okolo 80 K.

#### 4.2.4. $\text{NiCr}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$

Polohy naměřených difrakčních maxim vzorků odpovídaly pozicím Braggových reflexí pro spinelovou strukturu chromitu nikelnatého, spinel tvořil při konečném tepelném zpracování 1000°C

a 1100°C majoritní podíl vzorku. Ve vzorcích však byl velký podíl nečistot, který s rostoucí teplotou zpracování klesal, nečistoty byly tvořeny oxidem nikelnatým a chromitým. Teplota blokace vzorku v SiO<sub>2</sub> matrici se nacházela při teplotě 25 K. Z poznatků získaných z výsledků magnetických měření lze konstatovat, že vzorky měly ferimagnetické uspořádání.

#### 4.2.5. FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

Různé metody použité při přípravě spinelu chromitu železnatého poskytly rozdílné výsledky. V porovnání s co-precipitation metodou poskytla metoda autocombustion spinely s menší velikostí částic s užší distribucí velikostí.

Z výsledků měření vyplývá, že složení redukční atmosféry, pod kterou byly vzorky žíhány, má velký význam na čistotu vzorku, protože jen u vzorků žíhaných pod redukční atmosférou o složení 7,5% H<sub>2</sub> : 92,5% Ar bylo dosaženo čistého chromitu železnatého. Velkou roli také hraje předběžné vyžíhání vzorku pod normální atmosférou na 800°C ještě před samotným zpracováním pod redukční atmosférou. Pokud se vzorky žíhaly rovnou pod redukční atmosférou formovacího plynu za příslušné teploty, potom výsledné produkty obsahovaly jen velmi malé množství spinelové fáze chromitu železnatého.

#### 4.2.6. MnCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

Z výsledků RTG difrakce a Ramanovy spektroskopie vyplývá, že složení redukční atmosféry, pod kterou byly vzorky žíhány má zásadní vliv na čistotu spinelové fáze, protože jen u vzorků žíhaných

pod redukční atmosférou o složení: 7,5% H<sub>2</sub> : 92,5% Ar bylo dosaženo čistého chromitu manganatého. Velkou roli rovněž hrálo předběžné vyžhání vzorku pod normální atmosférou na 800°C ještě před samotným zpracováním pod redukční atmosférou. Pokud se vzorky tepelně zpracovaly ihned pod redukční atmosférou formovacího plynu, tak ve výsledku obsahovaly jako majoritní fázi oxidy příslušných kovů a jen velmi malé množství spinelové fáze chromitu manganatého.

#### 4.2.7. CuCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

Z RTG záznamu bylo zjištěno, že vzorek chromitu měďnatého připravený s pomocí autocombustion metody je tvořen strukturou tetragonálně deformovaného spinelu s prostorovou grupou I41/amd. Vzorek zpracovaný při konečné teplotě při 1000°C je tvořen jako jediný pouze čistou spinelovou fází chromitu měďnatého. Chromit měďnatý přecházel do magneticky uspořádaného stavu při aplikaci stejně velkého magnetického pole při teplotách 70, 92 a 146 K, kdy teploty zpracování vzorků byly 800°C, 900°C a 1000°C. Výrazné rozdíly mezi jednotlivými vzorky byly dány konečnou teplotou zpracování a s tím související velikosti částic.

#### 4.2.8. NiCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

Velmi zajímavé zjištění u chromitu nikelnatého byl vliv prekurzoru při přípravě na prostorové uspořádání spinelu. Vzorky připravené s pomocí dusičnanů v celém teplotním rozsahu (700 - 1000°C) měly strukturu tetragonálně deformovaného spinelu. Naopak vzorky připravené pomocí chloridů jako prekurzorů v celém

teplotním rozsahu (700 - 900°C) byly tvořeny kubickou spinelovou fází. Vliv prekurzorů na prostorové uspořádání spinelu byl potvrzen na základě RTG difrakce a Ramanovy spektroskopie.

#### 4.2.9. MgCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

Z RTG difrakce bylo zjištěno, že chromit hořečnatý patří stejně jako většina předchozích chromitů mezi normální spinely s kubickou strukturou patřící do prostorové grupy  $O_h^7 (Fd3m)$ . Ramanova spektra chromitu hořečnatého byly měřeny při všech teplotách zpracování ve spektrálním regionu 100 - 1000 cm<sup>-1</sup>, kde se nacházelo všech pět aktivních vibrací pro chromit s kubickou strukturou. Podle předpokladu má chromit hořečnatý, který má v poloze A kationt hořečnatý s elektronovou strukturou 3s<sup>0</sup> a v poloze B pouze kationt chromitý s elektronovou strukturou d<sup>3</sup>, antiferomagnetické uspořádání

## 5. Závěr

V rámci této práce byly vůbec poprvé prostudovány chromity v amorfni matrici  $\text{SiO}_2$ , s jejíž pomocí můžeme měnit magnetické vlastnosti nanočástic. Magnetické vlastnosti materiálu tedy mohou být regulací silných mezičásticových interakcí, distribucí a různorodostí použitých kationtů ve spinelové struktuře vyladěny pro konkrétní aplikace. Je zřejmé, že i použitou metodou lze materiál vhodně vyladit pro konečnou aplikaci. Z tohoto důvodu byly kromě sol-gel metody využity i další metody (koprecipitace a autocombustion metoda), které se ukázaly pro přípravu některých studovaných materiálů nakonec vhodnější.

Sol-gel metoda byla vhodná pro přípravu feritu hořečnatého. Stejně tak byla vhodná mikroemulzní alkoksidová metoda, kdy mikroemulze tohoto složení byla použita vůbec poprvé pro přípravu feritu hořečnatého a kobaltnatého.

Chromit zinečnatý, kobaltnatý, měďnatý a nikelnatý byly připraveny sol-gel metodou. Chromit měďnatý a nikelnatý se podařilo připravit metodou autocombustion a chromit hořečnatý metodou koprecipitace. Chromit manganatý a železnatý byly připraveny s pomocí obou výše zmíněných metod.

K charakterizaci bylo využito více metod, mimo RTG difrakce se jednalo o infračervenou, Ramanovu a Mössbauerovu spektroskopii. První dvě metody byly užity pro charakterizaci chromitů. Ukázalo se, že infračervená spektroskopie není příliš vhodná pro studium spinelových systémů. Naopak měření pomocí Ramanovy spektroskopie se zdá být ideální jako doplňková metoda k RTG

difrakci, protože jednotlivé mřížové vibrace jsou dostatečně odlišitelné.

Při porovnání výsledků měření magnetických vlastností všech připravených vzorků v rámci předkládané práce je patrné, že nejvyšších hodnot saturační a remanentní magnetizace dosahovaly podle předpokladů ferity. U spinelu tvořeného  $\text{Fe}^{3+}$  kationtem a kationtem  $\text{M}^{2+}$  kovu se výrazně projevoval vliv elektronové konfigurace vysokospinového uspořádání  $d^5$  železitých kationtů oproti  $d^3$  elektronové konfiguraci chromitů.

Mezi chromity dosahoval nejvyšších hodnot saturační a remanentní magnetizace chromit měďnatý, jehož struktura je však v porovnání s ostatními chromity tetragonálně deformovaná.

Hodnoty teplotní závislosti koercivity, remanence a saturační magnetizace byly pro vzorky připravené metodami koprecipitace a autocombustion výrazně vyšší než pro vzorek obsahující chromity v matici  $\text{SiO}_2$ . Toto zvýšení je částečně způsobené rozdílnou velikostí částic mezi vzorky připravenými jinými metodami, avšak z velké části je to způsobeno zesílením mezičásticových interakcí ve vzorku bez  $\text{SiO}_2$  matrice. Zesílení mezičásticových interakcí vedlo také k vzrůstu teploty blokace u vzorků bez matrice. Další jevem bylo potlačení interakcí mezi částicemi, protože docházelo ke zvětšení vzdáleností mezi jednotlivými částicemi v matici  $\text{SiO}_2$ , která je diamagnetická. Proto měly teploty blokace vzorků připravených metodou koprecipitace a autocombustion vyšší hodnoty.



## 6. Použitá literatura

- [1] G.A. Sawatzky, F. Van Der Woude, A. H. Morrish, Mössbauer study of several ferimagnetic spinels, *Phys. Rev.* **187** (1969) 747
- [2] P. W. Anderson, Ordering and antiferromagnetism in ferrites, *Phys. Rev.* **102** (1956) 1008
- [3] B. Kratochvíl, V. Švorčík, D. Vojtěch; Úvod do studia pevných materiálů, VSCHT (2005)
- [4] H. Xia, L. Jun, W. Meijia, X. Jinjie, G. Jinghong, L. Yubai and L. Tiejin; *Chem. Mater.*, **16** (2004), 4022
- [5] G. Radu, L.B. Ispasoiu, P. Oleg, A.D. Varnavski, G. Theodore; *J. Am. Chem. Soc.*, **122** (2000), 1105
- [6] R.K. Iler; *The Chemistry of Silica*, (Wiley: New York, 1955)
- [7] C.J. Brinker, G. W. Scherer; *Sol-Gel Science* (Academic Press: New York, 1989)
- [8] J. Brus, P. Kotlík; Sol-gel polykondenzace alkoxyilanů, struktura a vlastnosti siloxanových materiálů, *Chemické listy* **93** (1998), 302-311
- [9] D.C. Bradley, R.C. Mehrotra, D.P. Gaur; Metal alkoxydes (1978)
- [10] R.C. Mehrotra; Transition-metal alkoxydes (1983)
- [11] D.C. Bradley; Metal alkoxydes
- [12] H. Kozuka, S. Sakka; Handbook of Sol-gel science and technology (2004)
- [13] C. Pithan, Y. Shiratori, J. Dornseiffer, F.H. Haegel, A. Magrez, R. Waser; Microemulsion mediated synthesis of nanocrystalline  $(K_xNa_{1-x})NbO_3$  powders, *J. Cryst. Growth* **280** (2005), 191-200
- [14] Y. Shiratori, A. Magrez, C. Pithan; Particle size effect on the crystal structure symmetry of  $K_{0.5}Na_{0.5}NbO_3$ , *Journal of the European Ceramic Society* **25** (2005), 2075-2079
- [15] H. Herrig, R. Hempelmann; A colloidal approach to nanometre-sized mixed oxide ceramic powders, *Materials Letters* **27** (1996), 287-292
- [16] D. Mescia, J.C.Caroca, N. Russo, N. Labhsetwar, D. Fino, G. Saracco, V. Specchia, Towards a single brick solution for the abatement of NOx and soot from diesel engine exhausts, *Catalyst Today* **137** (2008) 300-305

# Curriculum vitae

## Osobní údaje

Titul: Mgr.  
Jméno a Příjmení: Petr Holec  
Bydliště: Na Výsluní 1296, Neratovice 27711  
Datum a místo narození: 21.1.1982, Brandýs nad Labem  
Státní příslušnost: ČR  
Národnost: česká  
Rodinný stav: svobodný

## Vzdělání

2007 – 2012 UK v Praze, Přírodovědecká fakulta, katedra anorganické chemie, doktorské studium

2005-2007 UK v Praze; Přírodovědecká fakulta; katedra analytické chemie, magisterské studium

2002-2005 UK v Praze; Přírodovědecká fakulta; katedra analytické chemie, bakalářské studium

## Zkoušky

26.3.2012 Státní doktorská zkouška  
28.5. 2007 Státní závěrečná zkouška Mgr.  
16.6. 2005 Státní závěrečná zkouška Bc.

## Zaměstnání

2005 – až do teď ÚSTAV ANORGANICKÉ CHEMIE AV ČR,  
v.v.i., Husinec-Řež 1001, Řež 250 68

2010 – až do teď OPTAGLIO s.r.o., Technologický Park Řež,  
Hlavní 326, Husinec-Řež 250 68

# Seznam publikací

## Publikace související s disertační prací

1. P. Holec, J. Plocek, J. Poltířová Vejpravová, D. Nižňanský, Preparation of  $\text{MgFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$  nanocomposites by sol-gel method, *Mathematics and Natural Science, Proceedings of the International scientific conference FMNS 2007*, 166-169, ISSN 978-954-680-537-9
2. P. Holec, J. Plocek, J. Poltířová Vejpravová, D. Nižňanský, Preparation of  $\text{MgFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles by microemulsion method and their characterization, *Journal of Sol-Gel Science and Technology* **51** (2009), 301-305, ISSN 0928-0707
3. S. Burianová, J. Poltířová Vejpravová, P. Holec, J. Plocek, Magnetocaloric phenomena in Mg-ferrite nanoparticles, *Journal of Physics: Conference Series* **200** (2010) 072015, ISSN 1742-6588
4. A. Mantlíková, J. Poltířová Vejpravová, P. Holec, J. Plocek, D. Nižňanský, Magnetic properties of  $\text{TCr}_2\text{O}_4$  (T = Co, Ni) fine powders and  $\text{TCr}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$  nanocomposites, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (2011)
5. P. Holec, J. Poltířová Vejpravová, J. Plocek, I. Němec, H. Kitazawa, D. Nižňanský,  $\text{ACr}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$  (A = Zn, Cu, Cd) nanocomposites, their preparation and physical properties, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (2011)
6. I. Matulková, P. Holec, I. Němec, J. Poltířová Vejpravová, S. Burianová, J. Plocek and D. Nižňanský, The preparation of pure

nanocrystalline chromites by different methods – před odesláním

7. J. Plocek, J. Poltířová Vejpravová, P. Holec I. Matulková, I. Nemeč, D. Niznansky, H. Kitazawa,  $\text{ACr}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$  (A = Zn, Cu, Cd, Co) nanocomposites and their characterization – před odesláním

### Publikace mimo téma disertační práce

8. S. Burianová, J. Poltířová Vejpravová, P. Holec, D. Nižňanský, J. Plocek, Observation of surface effects in La-doped  $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$  nanocomposites, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* **18** (2011) 022015
9. S. Burianová, J. Poltířová Vejpravová, P. Holec, Surface spin effects in La-doped  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles prepared by microemulsion, *Journal of Applied Physics* (2011)
10. F. Kaftan, O. Kofroňová, O. Benada, K. Lemr, V. Havlíček, J. Cvačka, M. Volný, Scanning elektron microscopic paging of surface effects in desorption and nano-desorption electrospray ionization, *Journal of Mass Spectroscopy* **46** (2011) 256 – 261 – příprava nanočástic  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  mikroemulzní alkoksidovou metodou

