

STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Statyczne i dynamiczne właściwości magnetyczne nanokompozytów z układów Zn–Fe–O i Zn–Mn–O

Autor: mgr Kamil Wardal

Promotor: dr hab. inż. Monika Lewandowska, prof. ZUT

Promotor pomocniczy: dr inż. Grzegorz Żołnierkiewicz

Badania magnetyczne nanokompozytów z układów Zn–Fe–O i Zn–Mn–O są istotne dla rozwoju nauki i technologii, ponieważ dostarczają informacji o właściwościach i zachowaniu tych materiałów. Jak wynika z przedstawionego przeglądu literatury, wiedza na temat nanokompozytów z układów Zn–Fe–O i Zn–Mn–O, a w szczególności o ich właściwościach magnetycznych, jest niekompletna i wymaga uzupełnienia. W tym celu przeprowadzono szczegółowe badania za metodą magnetometrii stałoprądowej (apart SQUID MPMS XL7) oraz spektroskopii elektronowego rezonansu magnetycznego (spektrometr Bruker E500). Obie metody uzupełniają się, dostarczając informacji o właściwościach statycznych (magnetometria) i dynamicznych w zakresie mikrofalowym (spektroskopia EPR) badanych nanokompozytów. Głębsza znajomość właściwości magnetycznych pozwalała na ocenę możliwości zastosowań tych materiałów, co jest jednym z celów inżynierii materiałowej. Uzyskane wyniki pomiarów poddano analizie w celu identyfikacji centrów magnetycznych odpowiedzialnych za obserwowane zjawiska. Na tej podstawie przeprowadzono ocenę potencjalnych zastosowań otrzymanych nanokompozytów.

Przedmiotem przeprowadzonych badań były dwa dwuskładnikowe układy tlenków, a mianowicie ZnO – Fe₂O₃ oraz ZnO – MnO, które albo nie były do tej pory badane, albo zbadane zostały jedynie fragmentarycznie. Badane próbki wytworzono za pomocą metody współstrącania i późniejszej kalcynacji albo metodą mikrofalowej syntezy solwotermalnej w Instytucie Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technicznego w Szczecinie. Otrzymane nanokompozyty oznaczono jako (Fe₂O₃)_n(ZnO)_{1–n} i (MnO)_n(ZnO)_{1–n}, gdzie indeks *n* zmieniał się w granicach od 0 do 0,95. Stwierdzono, że w badanych próbkach z układu ZnO – Fe₂O₃ występowały magnetyczne fazy ZnFe₂O₄ i γ -Fe₂O₃, natomiast w próbkach układu ZnO – MnO zaobserwowano występowanie magnetycz-

nych faz ZnMnO_3 , Mn_3O_4 i ZnMn_3O_4 .

Przedstawiona praca doktorska zawiera pięć rozdziałów, z których dwa – rozdział drugi i czwarty, są objętościowo największe. Rozdział drugi, zatytułowany „Część literaturowa”, zawiera szczegółowy przegląd dotychczasowych badań nad nanokompozytami Zn-Fe-O i Zn-Mn-O , ze szczególnym uwzględnieniem ich właściwości magnetycznych. Omówione zostały podstawowe pojęcia magnetyzmu, teoria niezbędna do interpretacji wyników eksperymentalnych oraz wyniki badań strukturalnych i spektroskopowych przeprowadzonych przez innych autorów. Szczególny nacisk położono na zagadnienia związane ze spektroskopią EPR jonów żelaza i manganu występujących w badanych materiałach. Ponadto, przedstawiono możliwe zastosowania praktyczne poszczególnych faz magnetycznych występujących w tych nanokompozytach.

Rozdział czwarty, zatytułowany „Część doświadczalna”, opisuje badania własne nanokompozytów Zn-Fe-O i Zn-Mn-O . Zawiera on trzy podrozdziały – w pierwszym z nich przedstawiono użytą aparaturę badawczą do badań magnetycznych (magnetometr stałoprądowy i spektrometr elektronowego rezonansu magnetycznego), w kolejnych podrozdziałach opisano przeprowadzone badania nanokompozytów z układu Zn-Fe-O (rozdział 4.2) i Zn-Mn-O (rozdział 4.3), uzyskane rezultaty oraz ich fizyczną interpretację. Podsumowaniem uzyskanych informacji o magnetyzmie obydwu badanych układów przedstawionych graficznie są magnetyczne diagramy fazowe, które w szybki sposób pozwalają ocenić także możliwości aplikacji badanych nanokompozytów.

Przedstawiona praca doktorska zawiera także dwa krótkie objętościowo, ale bardzo ważne rozdziały - rozdział trzeci zatytułowany „Cel i zakres pracy” oraz rozdział piąty „Podsumowanie wyników badań i wnioski końcowe”. Ponadto w pracy zamieszczono spisy użytych skrótów, tabel, rysunków oraz bogatą bibliografię.

Kamil
Wardul
30. 08. 2024

STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ W JĘZYKU
ANGIELSKIM

Static and dynamic properties of nanocomposites in
Zn–Fe–O and Zn–Mn–O systems

Autor: mgr Kamil Wardal

Promotor: dr hab. inż. Monika Lewandowska, prof. ZUT

Promotor pomocniczy: dr inż. Grzegorz Żołnierkiewicz

Magnetic studies of nanocomposites in Zn–Fe–O and Zn–Mn–O systems are important for the development of science and technology, because they provide valuable information on the properties and behavior of these materials. As evidenced by the literature review, our understanding of Zn–Fe–O and Zn–Mn–O nanocomposites, especially their magnetic properties, is incomplete. To address this gap, we conducted in-depth studies using DC magnetometry (SQUID MPMS XL7) and electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy (Bruker E500 spectrometer). These complementary techniques offer information on both static (magnetometry) and dynamic (EPR) properties in the microwave range. Deeper understanding of magnetic properties will help to determine potential applications for these materials, which is one of the goals of materials engineering science. The obtained measurement results were analyzed to identify the magnetic centers responsible for the observed properties. On this basis, the potential applications of the obtained nanocomposites were assessed.

The study is focused on two-component oxide systems: ZnO–Fe₂O₃ and ZnO–MnO. These systems have either not been investigated or have been studied limitedly. The nanocomposites were synthesized using coprecipitation and calcination or microwave solvothermal synthesis at the Institute of Inorganic Chemical Technology and Environmental Engineering, Faculty of Chemical Technology and Engineering, West Pomeranian University of Technology in Szczecin. The obtained nanocomposites were designated as (Fe₂O₃)_n(ZnO)_{1–n} and (MnO)_n(ZnO)_{1–n}, with the composition index *n* varying from 0.05 to 0.95. Magnetic phase analysis revealed the presence of ZnFe₂O₄ and γ -Fe₂O₃ in ZnO–Fe₂O₃ samples, while ZnMnO₃, Mn₃O₄, and ZnMn₃O₄ were observed in ZnO–MnO samples.

This doctoral thesis consists of five chapters, two of which—Chapters Two and Four—are the most extensive. Chapter Two, titled 'Literature Re-

view,' presents a comprehensive overview of previous studies on Zn-Fe-O and Zn-Mn-O nanocomposites, focusing on their magnetic properties. It covers fundamental concepts of nanomagnetism, theoretical frameworks for interpreting experimental data, and existing structural and spectroscopic studies. Particular attention is paid to EPR spectroscopy of iron and manganese ions within these materials. Additionally, potential practical applications of the various magnetic phases present in these nanocomposites are discussed.

Chapter Four, 'Experimental Part,' details my research on Zn-Fe-O and Zn-Mn-O nanocomposites. It includes three subchapters: the first outlines the magnetic research equipment used (DC magnetometer and EPR spectrometer), while the subsequent subchapters describe the investigations conducted on Zn-Fe-O (Chapter 4.2) and Zn-Mn-O (Chapter 4.3) nanocomposites, along with the resulting data and its interpretation. The summary of the obtained information about the magnetism of both studied systems, presented graphically, are magnetic phase diagrams, which quickly allow for the assessment of the application possibilities of the studied nanocomposites.

The thesis also includes two shorter but crucial chapters: Chapter Three, 'Aim and Scope of the Work,' and Chapter Five, 'Summary of Research Results and Final Conclusions.' Furthermore, the work features lists of abbreviations, tables, figures, and a comprehensive bibliography.

Kamil
Wardak

30. 08. 2024