

Recenzja Rozprawy Doktorskiej  
"Elektronowy rezonans magnetyczny w stopach Heuslera  
 $\text{Ni}_{50-x}\text{Co}_x\text{Mn}_{35.5}\text{In}_{14.5}$ "

May 8, 2020

Rozprawa doktorska Pana mgr Łukasza Dubiela powstała na Uniwersytecie Rzeszowskim napisana pod kierunkiem dr hab. Andrzeja Wała dotyczy badań metodą elektronowego rezonansu magnetycznego oraz magnetometru wibracyjnego właściwości magnetycznych stopów Heuslera. Łącznie praca liczy 172 strony zredagowana jest w sposób staranny z podziałem na część teoretyczną oraz doświadczalną mające pokazać z jednej strony zasób wiedzy doktoranta a z drugiej jego umiejętności fizyka doświadczalnika badającego właściwości fizyczne materiałów. Pewnym zaskoczeniem dla mnie w tym schemacie jest rozdział 3 rozprawy zawarty w części doświadczalnej. Poświęcony niemalże w całości omówieniu technik doświadczalnych zastosowanych w badaniach jak również charakterystyki badanych materiałów. Można by odnieść mylne wrażenie wykonanych przez doktoranta. Uważam, że cały ten rozdział powinien kończyć część teoretyczną, gdyż prezentuje on aktualny stan wiedzy zebranej w wyniku przeprowadzenia badań przez zespół prof. Wojciecha Maziarza z Instytutu Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie. Rozdział ten stanowi dobry punkt wyjścia do badań prowadzonych przez doktoranta.

Część teoretyczna rozprawy napisana jest przejrzystym i jasnym stylem. W dwóch rozdziałach omawia on ogólną charakterystykę badanego materiału oraz wprowadza poszczególne pojęcia wykorzystując je do wnioskowania w części doświadczalnej. Uważam również, że poziom ogólnej wiedzy reprezentowany przez doktoranta dotyczącej głównej metody badawczej stosowanej w rozprawie doktorskiej jaką jest metoda elektronowego rezonansu magnetycznego a w szczególności modułowej budowy i sposobu działania spektrometru jest w pełni satysfakcjonujący. Część ta nie jest jednak wolna od wad, do których należy zaliczyć potknięcia stylistyczne jak:

1. strona 14 wiersz 10 od dołu:

*Takie atomy Mn znajdujące się w podsięci Ni lub In będą oddziaływały antyferromagnetycznie z Mn w podsięci Mn, natomiast oddziaływanie pomiędzy Mn ulokowanymi w podsięci Mn będzie miało charakter ferromagnetyczny [54].*

2. strona 16 wiersz 11 od dołu:

*Zjawisko anizotropii jednokierunkowej polega na tym, że na styku FM/AFM, ... najprawdopodobniej powinno być: **na styku faz FM/AFM***

3. strona 18 wiersz 3 gdzie  $SM(H, T)$  oznacza wkład magnetyczny namagnesowanego materiału do entropii całkowitej, ...

4. strona 19 wiersz 3 *Po włączeniu zewnętrznego pola magnetycznego, momenty magnetyczne będą się ustawiać w kierunku równoległym do pola, jednak proces porządkowania materiału. . . najprawdopodobniej powinno być: układu spinów*

oraz błędy merytoryczne:

1. strona 18 wiersz 5 od dołu niejasne sformułowanie efektu magnetokalorycznego: *Zakładając, że proces jest adiabatyczny, całkowita entropia układu jest stała, więc człon  $S_l$  musi być większy, a tym samym wzrośnie temperatura układu* w mojej opinii porządkowanie układu spinów to proces izotermiczny a adiabatycznie przeprowadza się jego rozmagnesowanie co skutkuje obniżeniem temperatury.
2. strona 19 wiersz 1 *Paramagnetyki to grupa materiałów magnetycznych, które posiadają stały, niewielki moment magnetyczny. . . momenty magnetyczne w paramagnetyku są nieuporządkowane* porządkuje je dopiero zewnętrzne pole magnetyczne
3. strona 25 rysunek 2.3 błędne oznaczenia spinowej podatności magnetycznej części rzeczywistej i urojonej.
4. strona 39 wiersz 10 *. . . materiał był wylewany na wirujące miedziane koło, obracające się z prędkością 25 m/s.* prędkość 25 m/s to nie prędkość obracającego się koła. Jednostką tej wielkości jest rad/s. 25 m/s to prędkość styczna do powierzchni obracającego się koła.

Na część doświadczalną natomiast, składa się zwięzły raport z przeprowadzonych badań metodą EMR oraz magnetometrii wibracyjnej trzech różnych stopów Heuslera otrzymanych metodą melt-spiningu oraz ich analiza. Osia główna rozprawy doktorskiej jest badanie wpływu podstawień jonów kobaltu w miejsce jonów niklu w sieci krystalicznej stopu  $Ni_{50}Mn_{35,5}In_{14,5}$  w celu określenia wpływu tych podstawników na właściwości przemiany strukturalnej austenit - martenzyt, która zachodzi w stopie oryginalnym przy odpowiednio dobranej stechiometrii. Zakres prowadzonych prac doktoranta obejmował przebadanie dwóch stopów z dodatkiem kobaltu  $Ni_{47}Co_3Mn_{35,5}In_{14,5}$  oraz  $Ni_{45}Co_5Mn_{35,5}In_{14,5}$ . Z przemianą strukturalną najczęściej stowarzyszona jest przemiana magnetyczna drugiego rodzaju, paramagnetyk ferromagnetyk. Sprzężenie pomiędzy tymi dwoma przemianami jest źródłem występowania w tego typu materiałach wielu ciekawych zjawisk fizycznych jak: efekt pamięci kształtu, efekt magneto-kaloryczny, efekt magneto-oporu czy zjawisko anizotropii jednokierunkowej. Ich mnogość i różnorodność stanowi o atrakcyjności badań tych materiałów znanych od początku dwudziestego wieku. Dużym atutem rozprawy doktorskiej Pana mgr Łukasza Dubiela jest wyznaczenie temperatur  $M_s$  - martenzyt start jako temperatury przejścia z fazy austenitycznej do fazy martenzytycznej stopu podczas chłodzenia oraz  $A_f$  - austenit finish jako temperatury przejścia w kierunku odwrotnym między fazami podczas wygrzewania. Temperatury te nie są identyczne a w fazie martenzytycznej stop jest ferromagnetykiem. W stopach tych występuje więc pewien zakres histerezy temperaturowej. Jednakże, do najciekawszych rezultatów uzyskanych przez doktoranta należy wykazanie, że przemiana magnetyczna związana z oddziaływaniem między spinami nie jest tożsama z przemianą strukturalną zachodzącą w tym materiale. Udało się to pokazać na przykładzie badań próbki o składzie  $Ni_{47}Co_3Mn_{35,5}In_{14,5}$  dla której przemiana magnetyczna zachodzi w temperaturze 333 K a strukturalna w 210 K. Jak wykazał doktorant temperatury te można wyznaczyć na podstawie badań magnetycznych tj. analizy widma EMR oraz magnetyzacji. W przypadku analizy widma

EMR temperatury były wyznaczane w oparciu o zależność temperaturową odwrotności intensywności widma jak i z szerokości linii rezonansowej a w przypadku bań magnetyzacji z zależności pochodnej magnetyzacji względem temperatury. Jednakże, w mojej opinii część doświadczalna nie jest wolna również od wad:

1. Zasadniczy zręb przedstawionej do recenzji pracy oparty jest o analizę kształtu linii rezonansowej widma EMR. Linia ta jest niesymetryczna i w pewnych zakresach temperatur naśladuje kształt linii dysonowskiej charakterystyczny dla rezonansów obserwowanych w materiałach przewodzących. Uzyskane stopy niewątpliwie mają charakter metaliczny i występuje w nich efekt naskórkowy, którego wartość została oszacowana na  $1\mu\text{m}$ . Badanie materiałów sproszkowanych pokazuje również, że linia ma mniejszą asymetrię co mogłoby potwierdzać przyjętą tezę o wpływie elektronów przewodnictwa na kształt widma rezonansowego. Jednakże w całej dysertacji nie znalazłem nigdzie krytycznej oceny tej *ad hoc* przyjętej tezy. Asymetryczny kształt linii rezonansowej może być również spowodowany innym efektem a mianowicie rozkładem czasów relaksacji prowadzącym do zniekształcenia widma EMR. Argumentem za takim modelem jest nieuporządkowany charakter badanych kompleksów manganu otrzymanych w metodzie melt-spinningu w wyniku utrwalenia nieporządku występującego w stanie cieczy. W każdym z utworzonych kompleksów może wystąpić inny czas relaksacji spowodowany obecnością naprężeń przy stałej wartości współczynnika  $g$ . Zarejestrowane widma, jak zostało pokazane, nie składają się z jednego komponentu. Występują w nich linie, jak rozumiem, symetryczne (lorentzowskie), dla których nie obserwujemy tych samych efektów elektronów przewodnictwa, rysunek 4.22, tabela 6.4, prawda? Źródłem tych sygnałów mogą być kompleksy o niższej symetrii. Powstałe naprężenia w wyniku nagłego schłodzenia są funkcją temperatury i będą wpływać na symetrię linii. Takie zmiany współczynnika asymetrii  $\alpha$  zostały zaprezentowane na rysunku 4.23 oraz tabeli 5.3 (współczynnik asymetrii ma wartość większą od 1 jak to możliwe!). Dowodzą one, że zmienia się przewodnictwo elektryczne badanego materiału. Na podstawie zmian współczynnika asymetrii linii można oszacować przeciwie zmiany przewodnictwa elektrycznego, skoro grubość badanych taśm mieści się w zakresie 20 do  $40\mu\text{m}$ . W mojej opinii brak jakichkolwiek pomiarów przewodnictwa pomniejsza walory pracy.
2. Na podstawie zamieszczonych danych w rozdziale 4.1.2 Pomiarzy zależności kątowych widma EMR wyznaczona została symetria rombowa współczynnika  $g$ . Jednakże, opierając się na tych samych danych postulowałbym rozważenie symetrii osiowej tego parametru widma EMR. Obrót wokół osi  $z$  jak wynika z danych w tabeli 4.2 wskazują na równoważność rotowanych osi  $x$  oraz  $y$ . Zamieszczone dane nie ujawniają harmonicznych zmian pola rezonansowego. Powstaje więc pytanie, czy podczas rotacji kontrolowana była częstotliwość pola mikrofalowego mająca wpływ na wartość wyznaczanego parametru  $B_r$ ? Jeśli nie, zmiany pola podczas obrotu w tej płaszczyźnie są całkowicie przypadkowe (spowodowane fluktuacją częstości). W tym przypadku oś główna tensora  $g$  powinna być równoległa do osi  $z$ .
3. Wyjaśnienia wymaga sens fizyczny ujemnej wartości parametru  $a$  – szerokości resztkowej, w równaniu relaksacji wg. Korringa? Szerokość krzywej rezonansowej jest odwrotnie proporcjonalna do czasu relaksacji, prawda?

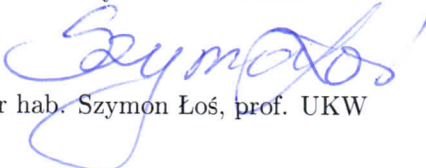
4. Prezentowany na rysunku 4.8 wykres pochodnej magnetyzacji względem temperatury jest nieadekwatny do zależności zmian magnetyzacji od temperatury, rysunek 4.7. Pochodna magnetyzacji z wykresu 4.7 jest funkcją nieciągłą w temperaturze przemiany. Dlaczego więc rysunek 4.8 pokazuje ciągłą zmianę?

Błędy reakcyjne:

1. strona 52 wiersz 9 *Podczas zmniejszania temperatury od najwyższej zmierzonej wartości widoczny jest wzrost amplitudy sygnału EMR zarówno dla procesu ogrzewania jak i chłodzenia.* o który z procesów chodzi grzania czy chłodzenia?
2. strona 55 wiersz 6 *nie przekracza 1 mT [?]* brak wskazania literatury
3. strona 58 wiersz 4 błędna forma zapisu wzoru
4. strona 64 wiersz 10 od dołu *W okolicy temperatury 291 K zależność  $\Delta B(T)$  traci liniowy charakter i widoczne jest nasycenie.* . . czy to twierdzenie jest prawdziwe?
5. strona 72 wiersz 11 od dołu *Amplituda znacznie spada a szerokość linii znacznie wzrasta, co jednoznacznie wskazuje na ferromagnetyczny charakter linii.* W jaki sposób spadek amplitudy i wzrost szerokości linii determinują jej ferromagnetyczny charakter?
6. strona 77 linia 12 od dołu *linia 1 osiąga wysokość równą linii 2.* . . ?
7. strona 97 wiersz 4 . . . *że pole magnetyczne było równoległe do większej powierzchni próbki.* mało precyzyjne stwierdzenie.

Po analizie tekstu rozprawy doktorskiej stwierdzam, że pomimo pewnych wad przedłożone opracowanie spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim i powinno być dopuszczane do dalszych etapów przewodu doktorskiego Pana mgr Łukasza Dubiela

Z wyrazami szacunku

  
dr hab. Szymon Łoś, prof. UKW

Recenzja Rozprawy Doktorskiej  
"Elektronowy rezonans magnetyczny w stopach Heuslera  
 $\text{Ni}_{50-x}\text{Co}_x\text{Mn}_{35.5}\text{In}_{14.5}$ "

May 8, 2020

Rozprawa doktorska Pana mgr Łukasza Dubiela powstała na Uniwersytecie Rzeszowskim napisana pod kierunkiem dr hab. Andrzeja Wala dotyczy badań metodą elektronowego rezonansu magnetycznego oraz magnetometru wibracyjnego właściwości magnetycznych stopów Heuslera. Łącznie praca liczy 172 strony zredagowana jest w sposób staranny z podziałem na część teoretyczną oraz doświadczalną mające pokazać z jednej strony zasób wiedzy doktoranta a z drugiej jego umiejętności fizyka doświadczalnika badającego właściwości fizyczne materiałów. Pewnym zaskoczeniem dla mnie w tym schemacie jest rozdział 3 rozprawy zawarty w części doświadczalnej. Poświęcony niemalże w całości omówieniu technik doświadczalnych zastosowanych w badaniach jak również charakterystyki badanych materiałów. Można by odnieść mylne wrażenie wykonanych przez doktoranta. Uważam, że cały ten rozdział powinien kończyć część teoretyczną, gdyż prezentuje on aktualny stan wiedzy zebranej w wyniku przeprowadzenia badań przez zespół prof. Wojciecha Maziarza z Instytutu Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie. Rozdział ten stanowi dobry punkt wyjścia do badań prowadzonych przez doktoranta.

Część teoretyczna rozprawy napisana jest przejrzystym i jasnym stylem. W dwóch rozdziałach omawia on ogólną charakterystykę badanego materiału oraz wprowadza poszczególne pojęcia wykorzystując je do wnioskowania w części doświadczalnej. Uważam również, że poziom ogólnej wiedzy reprezentowany przez doktoranta dotyczącej głównej metody badawczej stosowanej w rozprawie doktorskiej jaką jest metoda elektronowego rezonansu magnetycznego a w szczególności modułowej budowy i sposobu działania spektrometru jest w pełni satysfakcjonujący. Część ta nie jest jednak wolna od wad, do których należy zaliczyć potknięcia stylistyczne jak:

1. strona 14 wiersz 10 od dołu:

*Takie atomy Mn znajdujące się w podsięci Ni lub In będą oddziaływały antyferromagnetycznie z Mn w podsięci Mn, natomiast oddziaływanie pomiędzy Mn ulokowanymi w podsięci Mn będzie miało charakter ferromagnetyczny [54].*

2. strona 16 wiersz 11 od dołu:

*Zjawisko anizotropii jednokierunkowej polega na tym, że na styku FM/AFM, ... najprawdopodobniej powinno być: **na styku faz FM/AFM***

3. strona 18 wiersz 3 gdzie  $SM(H, T)$  oznacza wkład magnetyczny namagnesowanego materiału do entropii całkowitej, ...

4. strona 19 wiersz 3 *Po włączeniu zewnętrznego pola magnetycznego, momenty magnetyczne będą się ustawiać w kierunku równoległym do pola, jednak proces porządkowania materiału. . .* najprawdopodobniej powinno być: **układu spinów**

oraz błędy merytoryczne:

1. strona 18 wiersz 5 od dołu niejasne sformułowanie efektu magnetokalorycznego: *Zakładając, że proces jest adiabatyczny, całkowita entropia układu jest stała, więc człon  $S_l$  musi być większy, a tym samym wzrośnie temperatura układu* w mojej opinii porządkowanie układu spinów to proces izotermiczny a adiabatycznie przeprowadza się jego rozmagnesowanie co skutkuje obniżeniem temperatury.
2. strona 19 wiersz 1 *Paramagnetyki to grupa materiałów magnetycznych, które posiadają stały, niewielki moment magnetyczny. . .* momenty magnetyczne w paramagnetyku są nieuporządkowane porządkuje je dopiero zewnętrzne pole magnetyczne
3. strona 25 rysunek 2.3 błędne oznaczenia spinowej podatności magnetycznej części rzeczywistej i urojonej.
4. strona 39 wiersz 10 *. . . materiał był wylewany na wirujące miedziane koło, obracające się z prędkością 25 m/s.* prędkość 25 m/s to nie prędkość obracającego się koła. Jednostką tej wielkości jest rad/s. 25 m/s to prędkość styczna do powierzchni obracającego się koła.

Na część doświadczalną natomiast, składa się zwięzły raport z przeprowadzonych badań metodą EMR oraz magnetometrii wibracyjnej trzech różnych stopów Heuslera otrzymanych metodą melt-spiningu oraz ich analiza. Osią główną rozprawy doktorskiej jest badanie wpływu podstawień jonów kobaltu w miejsce jonów niklu w sieci krystalicznej stopu  $Ni_{50}Mn_{35,5}In_{14,5}$  w celu określenia wpływu tych podstawników na właściwości przemiany strukturalnej austenit - martenzyt, która zachodzi w stopie oryginalnym przy odpowiednio dobranej stechiometrii. Zakres prowadzonych prac doktoranta obejmował przebadanie dwóch stopów z dodatkiem kobaltu  $Ni_{47}Co_3Mn_{35,5}In_{14,5}$  oraz  $Ni_{45}Co_5Mn_{35,5}In_{14,5}$ . Z przemianą strukturalną najczęściej stowarzyszona jest przemiana magnetyczna drugiego rodzaju, paramagnetyk ferromagnetyk. Sprzężenie pomiędzy tymi dwoma przemianami jest źródłem występowania w tego typu materiałach wielu ciekawych zjawisk fizycznych jak: efekt pamięci kształtu, efekt magneto-kaloryczny, efekt magneto-oporu czy zjawisko anizotropii jednokierunkowej. Ich mnogość i różnorodność stanowi o atrakcyjności badań tych materiałów znanych od początku dwudziestego wieku. Dużym atutem rozprawy doktorskiej Pana mgr Łukasza Dubiela jest wyznaczenie temperatur  $M_s$  - martenzyt start jako temperatury przejścia z fazy austenitycznej do fazy martenzytycznej stopu podczas chłodzenia oraz  $A_f$  - austenit finish jako temperatury przejścia w kierunku odwrotnym między fazami podczas wygrzewania. Temperatury te nie są identyczne a w fazie martenzytycznej stop jest ferromagnetykiem. W stopach tych występuje więc pewien zakres histerezy temperaturowej. Jednakże, do najciekawszych rezultatów uzyskanych przez doktoranta należy wykazanie, że przemiana magnetyczna związana z oddziaływaniem między spinami nie jest tożsama z przemianą strukturalną zachodzącą w tym materiale. Udało się to pokazać na przykładzie badań próbki o składzie  $Ni_{47}Co_3Mn_{35,5}In_{14,5}$  dla której przemiana magnetyczna zachodzi w temperaturze 333 K a strukturalna w 210 K. Jak wykazał doktorant temperatury te można wyznaczyć na podstawie badań magnetycznych tj. analizy widma EMR oraz magnetyzacji. W przypadku analizy widma

EMR temperatury były wyznaczane w oparciu o zależność temperaturową odwrotności intensywności widma jak i z szerokości linii rezonansowej a w przypadku bań magnetyzacji z zależności pochodnej magnetyzacji względem temperatury. Jednakże, w mojej opinii część doświadczalna nie jest wolna również od wad:

1. Zasadniczy zręb przedstawionej do recenzji pracy oparty jest o analizę kształtu linii rezonansowej widma EMR. Linia ta jest niesymetryczna i w pewnych zakresach temperatur naśladuje kształt linii dysonowskiej charakterystyczny dla rezonansów obserwowanych w materiałach przewodzących. Uzyskane stopy niewątpliwie mają charakter metaliczny i występuje w nich efekt naskórkowy, którego wartość została oszacowana na  $1\mu\text{m}$ . Badanie materiałów sproszkowanych pokazuje również, że linia ma mniejszą asymetrię co mogłoby potwierdzać przyjętą tezę o wpływie elektronów przewodnictwa na kształt widma rezonansowego. Jednakże w całej dysertacji nie znalazłem nigdzie krytycznej oceny tej *ad hoc* przyjętej tezy. Asymetryczny kształt linii rezonansowej może być również spowodowany innym efektem a mianowicie rozkładem czasów relaksacji prowadzącym do zniekształcenia widma EMR. Argumentem za takim modelem jest nieuporządkowany charakter badanych kompleksów manganu otrzymanych w metodzie melt-spinningu w wyniku utrwalenia nieporządku występującego w stanie cieczy. W każdym z utworzonych kompleksów może wystąpić inny czas relaksacji spowodowany obecnością naprężeń przy stałej wartości współczynnika  $g$ . Zarejestrowane widma, jak zostało pokazane, nie składają się z jednego komponentu. Występują w nich linie, jak rozumiem, symetryczne (lorentzowskie), dla których nie obserwujemy tych samych efektów elektronów przewodnictwa, rysunek 4.22, tabela 6.4, prawda? Źródłem tych sygnałów mogą być kompleksy o niższej symetrii. Powstałe naprężenia w wyniku nagłego schłodzenia są funkcją temperatury i będą wpływać na symetrię linii. Takie zmiany współczynnika asymetrii  $\alpha$  zostały zaprezentowane na rysunku 4.23 oraz tabeli 5.3 (współczynnik asymetrii ma wartość większą od 1 jak to możliwe!). Dowodzą one, że zmienia się przewodnictwo elektryczne badanego materiału. Na podstawie zmian współczynnika asymetrii linii można oszacować przeciwieństwo zmiany przewodnictwa elektrycznego, skoro grubość badanych taśm mieści się w zakresie 20 do  $40\mu\text{m}$ . W mojej opinii brak jakichkolwiek pomiarów przewodnictwa pomniejsza walory pracy.
2. Na podstawie zamieszczonych danych w rozdziale 4.1.2 Pomiary zależności kątowych widma EMR wyznaczona została symetria rombowa współczynnika  $g$ . Jednakże, opierając się na tych samych danych postulowałbym rozważenie symetrii osiowej tego parametru widma EMR. Obrót wokół osi  $z$  jak wynika z danych w tabeli 4.2 wskazują na równoważność rotowanych osi  $x$  oraz  $y$ . Zamieszczone dane nie ujawniają harmonicznym zmian pola rezonansowego. Powstaje więc pytanie, czy podczas rotacji kontrolowana była częstotliwość pola mikrofalowego mająca wpływ na wartość wyznaczanego parametru  $B_r$ ? Jeśli nie, zmiany pola podczas obrotu w tej płaszczyźnie są całkowicie przypadkowe (spowodowane fluktuacją częstości). W tym przypadku oś główna tensora  $g$  powinna być równoległa do osi  $z$ .
3. Wyjaśnienia wymaga sens fizyczny ujemnej wartości parametru  $a$  – szerokości resztkowej, w równaniu relaksacji wg. Korringa? Szerokość krzywej rezonansowej jest odwrotnie proporcjonalna do czasu relaksacji, prawda?

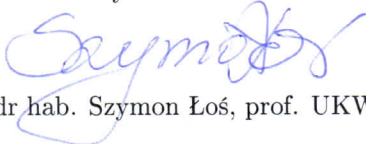
4. Prezentowany na rysunku 4.8 wykres pochodnej magnetyzacji względem temperatury jest nieadekwatny do zależności zmian magnetyzacji od temperatury, rysunek 4.7. Pochodna magnetyzacji z wykresu 4.7 jest funkcją nieciągłą w temperaturze przemiany. Dlaczego więc rysunek 4.8 pokazuje ciągłą zmianę?

Błędy reakcyjne:

1. strona 52 wiersz 9 *Podczas zmniejszania temperatury od najwyższej zmierzonej wartości widoczny jest wzrost amplitudy sygnału EMR zarówno dla procesu ogrzewania jak i chłodzenia.* o który z procesów chodzi grzania czy chłodzenia?
2. strona 55 wiersz 6 *nie przekracza 1 mT [?]* brak wskazania literatury
3. strona 58 wiersz 4 błędna forma zapisu wzoru
4. strona 64 wiersz 10 od dołu *W okolicy temperatury 291 K zależność  $\Delta B(T)$  traci liniowy charakter i widoczne jest nasycenie...* czy to twierdzenie jest prawdziwe?
5. strona 72 wiersz 11 od dołu *Amplituda znacznie spada a szerokość linii znacznie wzrasta, co jednoznacznie wskazuje na ferromagnetyczny charakter linii.* W jaki sposób spadek amplitudy i wzrost szerokości linii determinują jej ferromagnetyczny charakter?
6. strona 77 linia 12 od dołu *linia 1 osiąga wysokość równą linii 2...*?
7. strona 97 wiersz 4 ... *że pole magnetyczne było równoległe do większej powierzchni próbki.* mało precyzyjne stwierdzenie.

Po analizie tekstu rozprawy doktorskiej stwierdzam, że pomimo pewnych wad przedłożone opracowanie spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim i powinno być dopuszczane do dalszych etapów przewodu doktorskiego Pana mgr Łukasza Dubiela

Z wyrazami szacunku

  
dr hab. Szymon Łoś, prof. UKW