

Abstract

The dissertation concerns the applications of a transcendental equation (TDE) for transverse electric (TE) modes of a gyromagnetic sphere for the improvement of the accuracy of resonance characterization of their magnetic properties in the microwave range, particularly the ferromagnetic linewidth (ΔH) and saturation magnetization (M_s). Experiments were performed on mono- and polycrystalline yttrium iron garnet (YIG) spheres both in broadband coupling fixtures and cavities operating at discrete frequencies.

Chapter 2 contains theoretical topics such as the classification of magnetic materials, the permeability tensor, as well as magnetized material mode analysis and ΔH , M_s measurement methods. A TDE accounting for the presence of finite-conductivity cavity walls is described as well.

Chapter 3 is an extended summary of the Author's original contribution. Details can be found in the four appended papers to which the Author contributed.

In [appendix A](#), the application of a closed coupling fixture (subwavelength cavity) enabling accurate Q -factor measurements to the ΔH characterization of a range of YIG spheres is described. The extracted intrinsic ΔH has been found to have near-perfect linear spectral dependence described by two physically meaningful parameters. Electric conductor losses in the cavity walls have been assessed as relatively low.

In [Appendix B](#) different cavity ferromagnetic resonance (FMR) data processing algorithms are compared and ranked according to their accuracy. A new algorithm, based on a transcendental equation, is proposed and validated. Using the new algorithm ΔH can be relatively accurately recovered for any coupling level between the sample and cavity resonant modes.

The relationship between the Q -factor and ΔH is revisited in [appendix C](#). Errors in subwavelength cavity experiments related to the sample size and electric conductor losses in the cavity walls are analyzed in detail. It is shown that these errors can become significant for narrow ΔH and electrically large samples.

The applicability of the TDE for the determination of M_s based on resonance frequency differences has been confirmed in [appendix D](#). The main advantages of the electrodynamic approach to the measurement data analysis are the possibility to obtain significantly more accurate results than with other microwave methods for high magnetic bias fields and to account for the influence of surrounding electric conductors. The conditions for which the error of a magnetostatic approximation is insignificant have also been formulated.

Keywords: measurement techniques, magnetic properties, ferromagnetic linewidth, saturation magnetization, sphere, yttrium iron garnet (YIG), FMR

Streszczenie

Rozprawa dotyczy zastosowań równania charakterystycznego dla rodzajów poprzecznych elektrycznie kulek żyromagnetycznych do poprawy dokładności rezonansowej charakteryzacji ich własności magnetycznych w zakresie mikrofalowym, w szczególności szerokości linii rezonansu ferromagnetycznego (ΔH) oraz magnetyzacji nasycenia (M_s). W części eksperymentalnej zbadano mono- i polikrystaliczne kulki granatu itrowo-żelazowego (ang. yttrium iron garnet) zarówno w szerokopasmowych układach sprzęgających, jak i wnękach pracujących na dyskretnych częstotliwościach.

Rozdział 2 zawiera zagadnienia teoretyczne takie jak klasyfikacja materiałów magnetycznych, tensor przenikalności magnetycznej, metody analizy rodzajów rezonansowych w materiałach namagnesowanych, jak również metody pomiaru ΔH i M_s . Zostało także opisane równanie charakterystyczne biorące pod uwagę obecność ścian wnęki o skończonej przewodności.

Rozdział 3 jest rozszerzonym streszczeniem oryginalnego wkładu Autora. Szczegóły znajdują się w czterech załączonych artykułach, w których Autor posiada własny udział.

W Zał. A opisano zastosowanie zamkniętego układu sprzęgającego (wnęki podkrytycznej) umożliwiającego dokładny pomiar dobroci do charakteryzacji ΔH różnych kulek YIG. Uzyskano właściwą szerokość linii rezonansu ferromagnetycznego i pokazano, że posiada ona zależność widmową, która jest niemal idealnie liniowa i może zostać opisana dwoma parametrami mającymi sens fizyczny. Straty elektryczne w ściankach wnęki oszacowano jako niewielkie.

W Zał. B porównano różne algorytmy przetwarzania danych z eksperymentu FMR (ang. ferromagnetic resonance) we wnęcie i uszeregowano je według dokładności. Zaproponowano i zweryfikowano nowy algorytm oparty na równaniu charakterystycznym pozwalający na uzyskanie wartości ΔH bliskiej dokładnej dla dowolnego poziomu sprzężenia rodzajów rezonansowych badanej próbki z rodzajami wnęki.

Związek między dobrocią a ΔH rozważono ponownie w Zał. C. Błędy pomiarowe w eksperymentach z wnęką podkrytyczną związane z rozmiarem próbki i stratami przewodnictwa w ściankach wnęki przeanalizowano szczegółowo. Wykazano, że błędy te mogą być znaczące w przypadku wąskich ΔH i dużych elektrycznie próbek.

Stosowalność równania charakterystycznego do określania M_s w oparciu o różnice częstotliwości rezonansowych została potwierdzona w Zał. D. Główne zalety podejścia elektrodynamicznego do analizy danych pomiarowych stanowią możliwość uzyskania znacząco bardziej dokładnych wyników niż jest to możliwe za pomocą innych metod mikrofalowych przy dużych polach magnetycznych oraz przy uwzględnieniu wpływu otaczających przewodników elektrycznych. Sformułowano warunki, przy których błąd wynikający z przybliżenia magnetostatycznego nie jest znaczący.

Słowa kluczowe: techniki pomiarowe, własności magnetyczne, szerokość linii FMR, magnetyzacja nasycenia, kulka, granat itrowo-żelazowy (YIG), FMR