

Streszczenie

Odkrycie nowych zjawisk fizycznych oraz dalszy postęp w zakresie nanotechnologii w szczególności układów cienkowarstwowych umożliwiły rozwój nowej dziedziny nauki: elektroniki spinowej. W elektronice spinowej (lub krócej, w spintronice) wykorzystywane jest sprzężenie spinu elektronu odpowiedzialnego za magnetyzm cienkich warstw z prądem spinowo spolaryzowanym, który umożliwia m. in. zapisywanie, przechowywanie, procesowanie i odczytywanie informacji zakodowanej w postaci namagnesowania.

Przedstawiona praca opisuje wkład w eksperymentalne badania dynamiki namagnesowania w cienkowarstwowych heterostrukturach spintronicznych wykorzystujących metale ciężkie, które charakteryzują się znacznym sprzężeniem spin-orbita w oddziaływaniu z ferromagnetykami. Do niniejszego manuskryptu w całości lub częściowo włączono cztery wcześniej opublikowane artykuły w renomowanych czasopismach naukowych.

Praca ta wprowadza czytelnika w tematykę rozprawy, a następnie przedstawia podstawowe pojęcia niezbędne do zrozumienia funkcjonowania układów wielowarstw spintronicznych, takie jak magnetyczne złącza tunelowe i zawory spinowe, anizotropia magnetyczna, wymienne sprzężenie międzywarstwowe, transfer spinowego momentu siły i spinowo-orbitalny moment siły, magnetorezystancja i zjawiska Halla. Zostały też opisane nieodzowne w pomiarach dynamicznych układów wielowarstwowych formuła Kittel-a jak również równanie Landau–Lifshitz–Gilbert poszerzone o transfer spinowego momentu siły Slonczewskiego. Następnie, na podstawie publikacji, omówiono szereg eksperymentów, które pozwoliły na zbadanie zachowanie dynamiki w różnorodnych układach opratychnych na magnetycznych złączach tunelowych lub ich części.

W kolejnej części pracy, omówiono podstawy i rezultaty badań nad układami cienkowarstwowymi, które nie wymagają wykorzystania procesu litografii, są to technika rezonansu ferromagnetycznego przy użyciu wektorowego analizatora sieci, jak również metoda magnetometrii wibracyjnej, które są wykorzystywane do pomiarów niektórych własności statycznych i dynamicznych układów wielowarstwowych. Pozwala to na relatywnie szybki wgląd w parametry takie jak stała tłumienia, anizotropia lub sprzężenie wymiany międzywarstwowej. Kolejne metody pomiarowe w systemach, które wymagają przeprowadzenia procesów mikro- i nanostrukturyzacji (wytworzenia układów planarnych wraz z odpowiednim systemem elektrod)

pomagają w pełnym scharakteryzowaniu struktur - metoda rezonansu ferromagnetycznego diody spinowej, pomiary harmonicznego napięcia Halla lub przełączanie magnetyzacji indukowanej spinowo spolaryzowanym prądem. Metody te umożliwiają pełniejszy opis parametrów magnetycznych i elektrycznych układów wielowarstwowych, jak również z ich pomocą można scharakteryzować kluczowe własności z punktu widzenia zastosowań takie jak efektywny kąt Hall-a, który mówi o procentowej konwersji prądu ładunkowego na prąd spinowy, czy też prąd krytyczny przełączania w asyście lub bez zewnętrznego pola magnetycznego. W ostatniej części pracy doktorskiej zawarto między innymi układy o mieszanych anizotropiach magnetycznych, które wykazują zdolność do przełączania swojego namagnesowania bez obecności zewnętrznego pola magnetycznego, co jest niezwykle istotne w przypadku zastosowań podobnych układów do zapisu informacji w postaci namagnesowania w nowoczesnych układach spintronicznych.

05.07.2022
Stanisław
Łowicki

Abstract

The discovery of new physical phenomena and further advances in nanotechnology, in particular thin-film systems, enabled the development of a new field of science: spin electronics. In spin electronics (or, for short, spintronics), the electron spin, responsible for the magnetism of thin films, is coupled with a spin-polarized current, which enables, among others, recording, storing, processing and reading information encoded in the form of magnetization.

The presented thesis describes a contribution into the experimental studies of magnetization dynamics in spintronic heterostructures utilizing heavy metals characterized by significant spin-orbit coupling and ferromagnets. Four previously published articles in scientific journals are fully or partially incorporated into this manuscript.

This work introduces to the topic of the dissertation and presents the basic concepts necessary to understand the functioning of spintronic multilayers, such as magnetic tunnel junctions and spin valves, magnetic anisotropy, interlayer exchange coupling, spin torque transfer and spin-orbit torque, magnetoresistance and Hall phenomena. The Kittel formula, indispensable in the measurement of dynamic multilayer systems, as well as the Landau-Lifshitz-Gilbert equation, extended by the transfer of spin torque by Slonczewski, were also described. Then, based on the publications, a series of experiments were discussed that allowed to study the behavior of dynamics in various systems based on magnetic tunnel junctions or their various subparts.

The next part of the work discusses the basics and the results of research on thin-film systems that do not require the use of lithography, these are the ferromagnetic resonance technique using a vector network analyzer, as well as the vibrating magnetometry method, which are used to measure the static and the dynamic properties of multilayer systems. This allows for relatively quick insight into parameters such as the damping constant, anisotropy or interlayer exchange coupling. Subsequent measurement methods in systems that require micro- and nano-structuring processes (fabrication of planar systems with an appropriate electrode system) help to fully characterize the structures - the spin diode ferromagnetic resonance method, Hall voltage harmonics measurements or switching magnetization induced by spin polarized current. These methods enable a more complete description of the magnetic and electrical parameters of multilayer systems. With their help, it is also possible to character-

ize key properties from the point of view of applications, such as the effective Hall angle, which describes the percentage conversion of the charge current into spin current, or the critical switching current with or without application of an external magnetic field. The last part of the dissertation includes systems with mixed magnetic anisotropy, which show the ability to switch their magnetization without the presence of an external magnetic field, which is extremely important in the case of applications of similar systems for recording information in the form of magnetization in modern spintronic systems.

05.07.2022
Stanislav
Lomelin