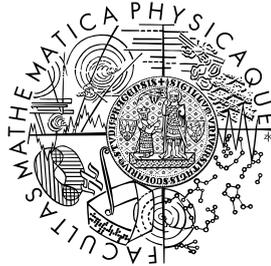


Charles University in Prague
Faculty of Mathematics and Physics

DOCTORAL THESIS



Eva Schmoranzarová,
née Rozkotová

**Spin dynamics in GaAs-based
semiconductor structures**

Department of Chemical Physics and Optics

Supervisor: Doc. RNDr. Petr Němec, Ph.D.
Field of study: Physics
Specialization: Quantum Optics and Optoelectronics (F6)

Prague 2012

ACKNOWLEDGMENT

I would like to take the opportunity to express my gratitude to the people without whom I would be hardly able to present my work in its current form.

My biggest thanks belong to my supervisor Petr Němec, for the hours spent in scientific discussions and helping me with the experiments, for the immense patience he showed towards my work and for the moral support and endless source of motivation that he gave me. Miroslav Dušek, our technician, deserves my huge gratitude for his help with the strain gauge measurement and for the overall technical support of all the experiments. To František Trojánek I am grateful for excellent control software for the measurements which he created and for its prompt upgrades whenever needed. To Anna Fučíková and Jan Alster I am indebted for their practical help and tinkering lessons during the hybrid structures preparation. I must not forget all my fellow department students for creating a group with an atmosphere that everybody would like to work in, and for becoming not only my colleagues but also my friends. Above all, I would like to thank Nada Tesařová, with whom I had the pleasure to collaborate most closely as we shared a similar expertise.

From my colleagues from the Academy of Sciences I am indebted to Kamil Olejník and Vít Novák for supplying the excellent samples, and for introducing me to the SQUID measurement technique. I also acknowledge fruitful theoretical discussions with Jan Zemen, and Tomáš Jungwirth who provided all the theoretical background for our experiments.

My very special thanks belong to Jörg Wunderlich who gave me the opportunity to work for nine months in Hitachi Cambridge Laboratory, welcomed me in a very friendly manner and who included me into a top research project. To Byong-Guk Park I would like to thank for all the help during the laboratory work. I am also deeply grateful to my other Hitachi colleagues, for many useful discussions and for making my stay in Cambridge a pleasant experience. In particular, Elisa de Rannieri deserves my thanks not only for all the hours spent introducing me into the piezo-stressor technology but also for being my very good friend and guide during my stay in Cambridge.

Finally, I would like to express my huge gratitude to my parents. Without their support, patience and also a bit of technical help I could not finish this work. To my husband I am immensely grateful for standing unconditionally beside me, for helping me whenever I needed and for making my life full of pleasure. Finally, I also thank my babies Lada and Filip, who gave me lots of joy and half an hour a day to work.

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval(a) samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

V Praze, dne 10. 4. 2012

podpis

Název práce: *Spinová dynamika v polovodičových strukturách založených na GaAs*

Autor: *Eva Schmoranzarová, née Rozkotová*

Katedra (ústav): *Katedra chemické fyziky a optiky*

Vedoucí disertační práce: *doc. RNDr. Petr Němec, Ph.D.*

ABSTRAKT: Tato práce se zabývá studiem spinové dynamiky v polovodičových systémech vhodných pro spintroniku, které jsou založeny na polovodiči galium arsenid (GaAs). Pomocí metod ultrarychlé laserové spektroskopie a transportního měření jsme zkoumali dva typy modelových polovodičových struktur.

Ve feromagnetickém polovodiči (Ga,Mn)As jsme se zabývali laserem vyvolanou precesí magnetizace. Zjistili jsme, že původem této precese může být nejen přenos energie z laserových pulsů, ale také přenos úhlového momentu z kruhově polarizovaného světla na elektrony a následně na magnetické momenty. Tento optický „spin transfer torque“ je zcela novým jevem pozorovaným poprvé v rámci této práce. Dále jsme ukázali možnost kontroly precese magnetizace vyvolané přenosem energie, a to jak čistě opticky, tak elektricky za použití piezo měničů.

V oblasti čistě nemagnetické spintoniky jsme studovali nízkodimenzionální struktury založené na GaAs/AlGaAs kvantových jámách se speciálním typem spin orbitální (SO) vazby, které vykazují Hallův jev související s injecí spinově polarizovaných nosičů (SIHE). Tyto struktury byly litograficky zpracovány do formy dvojdimenzionální planární fotodiody. V našich experimentech jsme dokázali přímo elektricky detekovat precesi spinových momentů elektronů v SO poli, což je rozšířením původního SIHE. Tato metoda, společně s detekcí čistě spinového proudu uskutečněného v této práci, později přispěla k úspěšné realizaci spinového tranzistoru.

Klíčová slova: spintronika, magnetické polovodiče, spin injection Hall effect

Title: *Spin dynamics in GaAs-based semiconductor structures*

Author: *Eva Schmoranzarová, née Rozkotová*

Department: *Department of Chemical Physics and Optics*

Supervisor: *doc. RNDr. Petr Němec, Ph.D.*

ABSTRACT: This work is dedicated to the study of spin dynamics in systems based on the semiconductor gallium arsenide (GaAs) that are suitable for use in spintronic devices. We explored two types of model structures using experimental methods of ultrafast laser spectroscopy and transport measurements.

In the ferromagnetic semiconductor (Ga,Mn)As, we investigated laser-induced magnetization precession. We found out that transfer of both energy and angular momentum from the circularly polarized laser light can trigger magnetization precession, the latter one being identified as a new phenomenon, the “optical spin transfer torque”. Furthermore, we demonstrate the possibility to control the energy-transfer-induced magnetization dynamics both optically and electrically using piezo-stressing.

When dealing with purely non-magnetic structures for spintronics, we studied the Spin-Injection Hall Effect (SIHE) in GaAs/AlGaAs heterostructures with a special type of spin-orbit (SO) coupling that are lithographically patterned to create a two dimensional planar photodiode. We managed to observe precession of the electron spin in the SO field directly in the space domain by extending the original detection method. This finding, together with the direct detection of a pure spin current, helped to propose a working spin Hall effect transistor.

Keywords: spintronics, magnetic semiconductors, spin injection Hall effect

