



Doctoral Thesis

## The ferromagnetic spin filter

**Author(s):**

Oberli, Daniel

**Publication Date:**

1998

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-002030250> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 12933

# The Ferromagnetic Spin Filter

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of  
Doctor of Natural Sciences

presented by

DANIEL OBERLI  
Dipl. Phys. ETH  
born February 15th, 1969  
citizen of Willisau Stadt, LU (Switzerland)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. H. C. Siegmann, examiner  
Prof. Dr. D. Pescia, co-examiner  
P.D. Dr. W. Weber, co-examiner

Zurich, October 1998

# Abstract

Transport properties of excited electrons in a metal are governed by electron-electron scattering, which is spin-dependent in the case of a ferromagnetic transition metal. The origin of this spin dependence is the imbalance between majority- and minority-spin electrons in a ferromagnet. For a minority-spin electron there are more empty d-states available for scattering than for a majority-spin electron, which results in a longer mean free path for majority-spin electrons as compared to minority-spin electrons.

In this work, experiments are presented in which the transmission of a spin-polarized free electron beam through a freestanding Au/Co/Au trilayer is investigated. The transmitted current depends on the relative orientation of the spin polarization with respect to the sample magnetization. By measuring the transmitted current for both spin polarization parallel and antiparallel to the sample magnetization, the transmission asymmetry is determined. Transmission asymmetries of up to 80 percent are observed. The most important prerequisite for the observation of such large transmission asymmetries is that the freestanding metal foil must have absolutely no holes.

Furthermore, we show how the spin-dependent part of the total scattering cross-section can be calculated from the transmission asymmetries. Remarkably, the spin-dependent part of the total scattering cross-section, which is governed by the scattering on the d-shell, is still large at energies as high as 16 eV above the Fermi level.

By additionally analyzing the spin polarization of the transmitted electron beam, the contribution of spin productive scattering, such as Stoner excitations, is estimated. The experiments show that the contribution of Stoner excitations is below five percent, which proves that spin productive scattering is of minor importance in spin-dependent transmission.

In order to completely describe the transport of spin-polarized electrons in ferromagnetic solids, it is important to consider the spin motion as well. We are able to show experimentally that if there is a component of the spin polarization vector of the incoming electron beam perpendicular to the sample magnetization, then this component rotates into the direction of the

sample magnetization and simultaneously also precesses around it. This is completely analogous to the magneto-optic phenomena observed with light passing through a ferromagnetic material.

The rotation is observed in the plane spanned by the spin polarization and the sample magnetization and is caused by the spin-dependent absorption in the ferromagnetic film.

The precession around the sample magnetization is the electron analog to the Faraday rotation observed with linearly polarized light. It is caused by the phase difference that develops between the majority- and minority-spin wave function. This phase difference is a consequence of the spin-dependence of the inner potential. The Faraday rotation observed with electrons is at least two orders of magnitude larger as compared to the Faraday rotation observed with light. It offers new prospects of studying magnetism in general.

# Zusammenfassung

Die Transporteigenschaften von angeregten Elektronen in einem Metall werden durch Elektron-Elektron-Streuung bestimmt, die in einem ferromagnetischen Übergangsmetall aufgrund des Ungleichgewichts zwischen Majoritätsspin- und Minoritätsspin-Elektronen spinabhängig wird. Weil Minoritätsspin-Elektronen mehr leere d-Zustände haben, in die sie streuen können, als Majoritätsspin-Elektronen, ist die freie Weglänge für Majoritätsspin-Elektronen grösser als für Minoritätsspin-Elektronen.

In dieser Arbeit werden Experimente vorgestellt, in denen die Transmission eines spinpolarisierten freien Elektronenstrahls durch einen freistehenden Au/Co/Au-Film untersucht wird. Der transmittierte Strom hängt von der relativen Orientierung der Spinpolarisation des Elektronenstrahls zur Magnetisierung der Probe ab. Durch Messung des transmittierten Stromes für Spinpolarisation parallel und antiparallel zur Probenmagnetisierung kann die Transmissionsasymmetrie bestimmt werden. Dabei werden Transmissionsasymmetrien von bis zu 80 % gemessen. Die wichtigste Voraussetzung für das Gelingen von Experimenten dieser Art ist die Herstellung löcherfreier Metallfolien.

Im weiteren kann aus den Transmissionsasymmetrien der spinabhängige Teil des totalen Wirkungsquerschnittes berechnet werden. Es zeigt sich, dass dieser immer noch gross ist für Energien bis zu 16 eV oberhalb der Fermi Energie. Dies ist insofern bemerkenswert, als dass er hauptsächlich durch die Streuung an der d-Schale bestimmt wird.

Indem zusätzlich die Spinpolarisation der transmittierten Elektronen gemessen wird, kann der Beitrag an spin-produktiver Streuung, wie zum Beispiel Stoner Anregungen, abgeschätzt werden. Die Experimente zeigen, dass der Anteil an Stoner Anregungen kleiner als fünf Prozent ist. Dies zeigt, dass in Transmissionsexperimenten die spin-produktive Streuung von geringer Bedeutung ist.

Um den Transport von spinpolarisierten Elektronen in ferromagnetischen Festkörpern vollständig zu beschreiben, ist es wichtig, zusätzlich die Bewegung des Spinpolarisationsvektors zu berücksichtigen. Wir können im Expe-

riment zeigen, dass die Komponente des Spinpolarisationsvektors senkrecht zur Magnetisierung der Probe in die Richtung der Magnetisierung hineinrotiert und gleichzeitig um sie präzediert.

Die Rotation in die Richtung der Magnetisierung ist eine unmittelbare Folge der spinabhängigen Absorption im ferromagnetischen Film.

Die Präzession dagegen ist das Analogon zur Faradaydrehung von linear polarisiertem Licht. Sie wird verursacht durch die Phasendifferenz zwischen der Majoritätsspin- und der Minoritätsspin-Wellenfunktion, welche durch die Spinabhängigkeit des inneren Potentials entsteht. Der Faradayeffekt mit Elektronen ist mindestens zwei Grössenordnungen grösser als der Faradayeffekt mit Licht und scheint daher eine vielversprechende Methode zur Erforschung neuer magnetischer Eigenschaften zu sein.