

# Roughness-induced coupling in magnetic multilayers

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**

Fuchs, Peter

**Publication date:**

1996

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001616291>

**Rights / license:**

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

Diss. ETH No. 11649

## **Roughness-induced Coupling in Magnetic Multilayers**

A Dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY

For the degree of  
Doctor of Natural Sciences

presented by

Peter Fuchs  
dipl. Phys. ETH  
born on January 31th, 1965  
citizen of Halten, Heinrichswil and Hersiwil SO (Switzerland)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. H.C. Siegmann,	examiner
Prof. Dr. D. Pescia,	co-examiner
Prof. Dr. M. Landolt,	co-examiner

March 1996

## Abstract

The magnetic exchange coupling between two ferromagnetic films across a nonmagnetic spacer material is directly probed using Spin Polarized Secondary Electron Emission.

As a crucial test for existing theories we focus on structurally disordered metallic multilayers, and we present for the first time measurements of magnetic coupling between thin Fe films across an *amorphous* AuSn spacer. In order to systematically study the influence of structure and material on the coupling we choose as further test-systems trilayers with polycrystalline Cu and Cr spacers, Co as a second ferromagnet, and we prepare them on different polycrystalline and amorphous substrates.

We find that at low temperature the magnetic interaction between an amorphous ferromagnetic substrate and a polycrystalline Fe film across amorphous AuSn exhibits pronounced  $90^\circ$  coupling. At a spacer thickness of 30 to 40 Å the magnetization direction of the top Fe layer continuously changes from ferromagnetic (FM) to  $90^\circ$  alignment and remains in its perpendicular orientation for AuSn films up to at least 100 Å. For Cu spacers at low temperatures we observe oscillatory behavior of the top layer magnetization direction. As a function of spacer layer thickness the magnetization direction rotates continuously from FM alignment to  $90^\circ$  and back to FM with an approximate period of 14-15 Å. No AF coupling is observed. The orientation of the magnetization furthermore exhibits a strong and unusual temperature dependence. Upon heating and cooling it can reversibly be rotated from  $90^\circ$  to either FM alignment in Fe-based multilayers, or to antiferromagnetic orientation in the case of Co-based multilayers, respectively.

The results clearly show that in structurally disordered multilayers roughness induced magnetic dipolar interactions are of decisive importance and can contribute to FM as well as to  $90^\circ$  coupling, while the quantum mechanical exchange is strongly reduced. Following models by Neel and by Demokritov and using the roughness parameters obtained from our SEM and STM analysis we calculate the corresponding dipolar coupling strengths. We numerically demonstrate that the competition between an RKKY-coupling and two different magnetic dipolar interactions leads to the unusually pronounced  $90^\circ$  coupling. The particular temperature dependences of the involved mechanisms finally provokes the really "exotic" temperature induced rotations of the magnetization direction of magnetically coupled films.

## Zusammenfassung

Die magnetische Austauschkopplung zwischen zwei ferromagnetischen Filmen, welche durch nichtmagnetische Zwischenschichten getrennt sind, wird direkt mit spinpolarisierter Sekundärelektronenemission untersucht.

Um bestehende Theorien kritisch zu prüfen, befassen wir uns mit strukturell ungeordneten metallischen Mehrschichtsystemen. Wir stellen erstmals Messungen der magnetischen Kopplung zwischen dünnen Fe-Filmen durch *amorphe* AuSn Zwischenschichten vor. Um den Einfluss von Struktur und Material auf die Kopplung systematisch zu untersuchen, wählen wir als weitere Beispiele Cu und Cr als Zwischenschichten, Co als zweiten Ferromagneten und präparieren die Mehrfachschichten auf verschiedenen amorphen und polykristallinen Substraten.

Wir finden, dass die magnetische Wechselwirkung zwischen einem amorphen ferromagnetischen Substrat und einem polykristallinen Fe-Film durch amorphes AuSn ausgeprägte 90°-Kopplung zeigt. Für amorphe AuSn Zwischenschichten ändert sich die Magnetisierungsrichtung des äusseren Fe-Filmes bei einer Zwischenschichtdicke von 30-50 Å kontinuierlich von ferromagnetischer zu 90°-Ausrichtung und bleibt in dieser Orientierung bis zu einer AuSn Filmdicke von mindestens 100 Å stehen. In polykristallinem Fe/Cu/Fe zeigt die magnetische Wechselwirkung bei tiefen Temperaturen ein oszillatorisches Verhalten. In Abhängigkeit der Zwischenschichtdicke wechselt sie kontinuierlich von ferromagnetischer zu 90° und wieder zurück zu ferromagnetischer Ausrichtung mit einer Periode von 15Å. Die Orientierung der Magnetisierungen zeigt zudem eine sehr ungewöhnliche und starke Temperaturabhängigkeit. Durch Erwärmung dreht sie sich reversibel von 90° nach ferromagnetisch in Fe/Cu, beziehungsweise nach antiferromagnetisch in Co/Cu Vielfachschichten.

Die Resultate zeigen klar, dass in ungeordneten Vielfachschichten der quantenmechanische Austausch stark unterdrückt wird, und rauhigkeitsinduzierte magnetische Dipolwechselwirkungen von entscheidender Bedeutung sind. Diese können sowohl zu ferromagnetischer als auch zu 90°-Kopplung führen. Modellen von Neel und Demokritov folgend berechnen wir aus den durch Tunnel- und Elektronenmikroskopie-Studien erhaltenen Rauigkeitsparametern die entsprechenden dipolaren Kopplungsstärken. Wir zeigen numerisch, dass die Konkurrenz zwischen einer Rudermann-Kittel-Kopplung und zwei dipolaren Wechselwirkungen zu der ausgeprägten 90°-Kopplung führt. Die unterschiedlichen Temperaturabhängigkeiten der beteiligten Mechanismen verursachen schliesslich die "exotische" temperatur-induzierte Rotation der Magnetisierungsrichtung in magnetisch gekoppelten Schichten.