

Diss. ETH ex B

Diss. ETH No. 9915

Magnetic exchange-coupling between ferromagnets across non-metallic amorphous spacer-layers studied with spin-polarized secondary-electron emission

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by

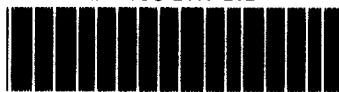
Stefano Toscano
dipl. phys. ETH
born on September 14th, 1964
citizen of Mesocco (Switzerland)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. H.C. Siegmann, examiner
Prof. Dr. W. Baltensperger, co-examiner
PD Dr. M. Landolt, co-examiner

September 1992

ETHICS ETH-BIB



00100000337988



Cat

Abstract

The aim of this thesis is the analysis of the dependence of the magnetic exchange-coupling between two ferromagnetic thin films across a non-magnetic spacer layer on the electronic structure of the spacer material. So far, only metallic spacers have been studied. The metallic electronic-structure is replaced by that of a semiconductor and subsequently by that of an insulator. As a model system we choose polycrystalline Fe separated by amorphous Si and amorphous SiO, respectively.

The magnetic information is obtained via the measurement of the spin polarization of low-energy secondary-electrons emitted from the sample surface when bombarded with an electron beam.

The trilayer Fe/amorphous Si/Fe exhibits at 40 K an oscillatory exchange-coupling. The apparent period equals 16 Å. At 40 K the interaction vanishes at a spacer thickness of approximately 20 Å.

The trilayer Fe/amorphous SiO/Fe also exhibits an exchange interaction. However, no oscillations occur. The coupling is exclusively ferromagnetic and exists up to spacer thicknesses of 20 Å at 40 K and at least up to 55 Å at 300 K, respectively. It is thus strongly temperature dependent.

The reported observations are interpreted considering the combination of two different exchange interactions. One is due to electrons thermally excited to the energies of the spacer conduction band. This interaction, which we call Boltzmann interaction, is always ferromagnetic and of long range. The other, called superexchange interaction, originates from the polarization of the spacer valence band due to virtual interband transitions. This interaction exhibits oscillatory character and is of short range. It is important for amorphous Si at low spacer thicknesses, but negligible in the case of amorphous SiO because of the particular form of the valence band of the insulator.

Riassunto

Films ultrasottili di materiale ferromagnetico distanziati da alcuni strati atomici di materiale non magnetico ("distanziatore") possono comunicare attraverso una interazione di scambio. Lo scopo di questa tesi è l'analisi della dipendenza di tale interazione dalla struttura elettronica del distanziatore. Finora sono stati studiati unicamente distanziatori metallici. Alla struttura elettronica metallica è stata qui sostituita quella di un semiconduttore e, infine, quella di un isolatore. I materiali scelti a tale scopo sono, rispettivamente, Si amorfo e SiO amorfo.

L'informazione magnetica è ottenuta tramite la misura della polarizzazione di spin degli elettroni secondari emessi dalla prova quando essa è bombardata da un fascio di elettroni primari.

Nel sistema Fe/Si amorfo/Fe rileviamo a 40 K la presenza di una interazione di scambio di carattere oscillatorio. Il periodo apparente ammonta a 16 Å. L'interazione sussiste fino ad uno spessore dello strato di Si amorfo di circa 20 Å.

Nel sistema Fe/SiO amorfo/Fe rileviamo, come sopra, la presenza di una interazione di scambio. In questo caso però, essa è esclusivamente ferromagnetica e sussiste fino ad uno spessore dello strato di SiO di circa 20 Å a 40 K e di almeno 55 Å a 300 K. Essa risulta dunque essere fortemente dipendente dalla temperatura.

Le osservazioni qui riportate sono interpretabili considerando l'interazione di scambio come la somma di due interazioni differenti e concorrenti. La prima è dovuta ad elettroni eccitati termicamente alle energie della banda di conduzione del distanziatore. Questa interazione, detta "di Boltzmann", è sempre ferromagnetica e si manifesta su lunghe distanze. La seconda, detta "superexchange", deriva dalla polarizzazione della banda di valenza del distanziatore, che è causata da eccitazioni virtuali degli elettroni di valenza nella banda di conduzione. Essa ha un carattere oscillatorio ed si manifesta solo su corte distanze. Inoltre, essa è importante nel caso del Si amorfo, ma diventa trascurabile nel caso di SiO amorfo a causa delle caratteristiche della banda di valenza di questo materiale.