

Diss. ETH No 8863

**Magnetism at Surfaces  
and  
Ultrafast Magnetization Reversal Studies  
with  
Spin-Polarized Photoemission**

A dissertation  
submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ZÜRICH  
for the degree of  
Doctor of Natural Sciences

presented by  
MARTIN AESCHLIMANN  
dipl. phys. ETH  
born August 12, 1957  
citizen of Rüegsau, BE

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. H.C. Siegmann, examiner  
PD.Dr. P.Hansen, co-examiner  
PD.Dr. F.Meier, co-examiner



1989



CatE

## Abstract

Amorphous rare earth-transition metal alloys [RE-TM] are now considered among the most promising media for erasable optical data storage application. Their high coercivity, low Curie temperature and uniaxial magnetic anisotropy perpendicular to the film surface make them suitable for magneto-optic readout based on the Kerr rotation and thermomagnetic recording with a short laser pulse. In order to better understand the changes in the magnetic behavior at and near the surface, we compared the Kerr hysteresis loops of various RE-TM films with the corresponding spin-polarized threshold photoemission (SPP) loops of the same films. The probing depth of the SPP-technique is about  $10\text{\AA}$ , suitable for studying the magnetic surface and subsurface properties. Our results on amorphous TbFe and GdTbFe films show different surface regions giving rise to a three-layer model. The top layer is formed by RE-Fe oxide followed by a Fe-rich subsurface due to the segregation of the RE atoms. This region lacks the perpendicular uniaxial anisotropy of the bulk which favors the in-plane magnetization. Furthermore, the iron-rich subsurface is most easily identified by its Curie point which is significantly higher than that of the bulk. As the temperature is lowered below  $T_{\text{Curie}}$  of the bulk, the strong exchange coupling with the ferrimagnetic bulk produces characteristic surface hysteresis loops. To better understand this double layer structure ( i.e., bulk, subsurface ) a similar structure consisting of a Fe-overlayer on a-TbFe has been investigated with SPP. In the case of a  $40\text{\AA}$ -thick film no exchange coupling is observed, whereas at  $30\text{\AA}$  and less the magnetization curves of the Fe-overlayer are strongly influenced by the underlying a-TbFe film. Similar measurements using Co on a-TbFe reveal a strong interaction with the TbFe film already at  $90\text{\AA}$  thick cobalt coating.

The use of ultrashort laser pulses as light source in the SPP technique enables the investigation of nonequilibrium heating in condensed matter, since the electron, the lattice and the electron-spin subsystems do not reach thermal equilibrium on the time scale of the laser pulse. The study of the relaxation processes requires a time resolution of the order of a few pico-seconds, as offered by modern laser technology. In order to achieve such an ultrafast magnetometer, a ps-dye-laser system ( QTDL-system after F.P. Schäfer ) was constructed. Special care was taken to optimize the output energy by a proper distribution of the pump energy between the amplifiers and optimum dye concentrations.

Laser induced spin-polarized photoemission has been used to investigate the thermomagnetic switching process in amorphous GdTbFe films. The relaxation time for establishing thermal equilibrium between the spin system and the lattice system is shorter than the 16ns pulse duration of a KrF-excimer laser. If the initial temperature is above the compensation temperature the spin-polarization of the electron emitted during the writing pulse has the sign of the

initial state. Therefore, the domain is thermo-magnetically nucleated only during the trailing edge of the 16ns writing pulse or even when the irradiated domain cools down. However, if the film is held below the compensation temperature, the electrons do have the polarization of the reversed state, i.e., the magnetization reversal occurs within a fraction of the writing pulse. Obviously, 'Compensation-point' writing is much faster than 'Curie-point' writing. In the same measurement, the uniformly magnetized film does not become non-magnetic when heated by a pulse of 30 picosecond duration up to more than twice the Curie-temperature. The observed relaxation time of the magnetization is longer than the laser pulse. Hence, it is reasonable to assume the existence of a short-lived liquid ferrimagnet. Scanning electron microscope pictures of the molten area after multiple pulse irradiation show an interesting two-dimensional periodic surface structure.

## Kurzfassung

Amorphe ferrimagnetische Filme mit senkrechter magnetischer Anisotropie wie GdTbFe und TbFeCo Verbindungen sind gegenwärtig von zentralem Interesse als Medien für magneto-optische Speicher. Um die dabei störenden Oberflächeneffekte ( Korrosion, "Medium Noise") besser verstehen zu können, wurden Kerr-Hysteresen mit den aus spin-polarisierter Photoemission (SPP) erhaltenen Oberflächenhysteresen verglichen. Die Messresultate (SPP und Auger-Spektroskopie ) zeigen, dass die charakteristische Form der Oberflächenhysterese durch eine mit Eisen angereicherte, oberflächennahe Schicht bestimmt wird. Diese  $10 + 50\text{\AA}$  dicke Schicht weist infolge grösserer Gesamtmagnetisierung und verminderter senkrechter Anisotropie eine zur Oberfläche parallele Magnetisierungsrichtung auf. Zudem ist ihre hysteresefreie Magnetisierungskurve infolge starker magnetischer Kopplung mit dem Bulk ( Austauschwechselwirkung der magnetischen Fe 3d-Elektronen ) auf der Feldskala verschoben. Um diese magnetische Kopplung besser verstehen zu können, wurde als analoges Zweischichtenmodell die gleichen Messungen an einer a-TbFe Probe mit einer zusätzlichen  $60\text{\AA}$  dicken Fe-Schicht durchgeführt. Die Resultate zeigen, dass bei  $30\text{\AA}$  und kleineren Schichten auch eine starke magnetische Kopplung mit dem a-TbFe Film stattfindet. Bei analogen Messungen an Kobalt auf TbFe sind sogar bereits ab einer Dicke von  $90\text{\AA}$  versetzte Magnetisierungskurven infolge magnetischer Kopplungen mit dem TbFe aufgetreten.

Die Anwendung von kurzen intensiven Laserpulsen als Lichtquelle für die SPP-Technik erlaubt es, Erkenntnisse über die Dynamik magnetischer Nichtgleichgewichtszustände zu gewinnen. Die Zeitauflösung ist dabei durch die Länge des Laserpulses bestimmt. Wir haben ein neues ps-Farbstofflasersystem aufgebaut und für verschiedene Farbstoffe optimiert. Der ps-Laser wird durch einen ns-Excimer Laser gepumpt , wobei die Pulsverkürzung nach einem von F.J.Schäfer 1984 entwickelten Prinzip ( Quenched Transient Dye Laser ) realisiert wurde.

Anhand der Polarisation der während eines Laserpulses emittierten Elektronen sind verschiedene dynamische Vorgänge beim thermomagnetischen Schreiben an a-GdTbFe Proben untersucht worden. Dabei wurde festgestellt, dass das 'Kompensations-Punkt'-Schreiben viel schneller erfolgt als das 'Curie-Punkt'-Schreiben. Der Grund liegt möglicherweise darin, dass bei den verwendeten Ferrimagneten der magnetische Kompensationspunkt in der Nähe des Drehimpuls-Kompensationspunktes liegt, bei dem die magnetische Domäne allein durch Spin-Spin Austausch drehen kann, ohne dass der Gesamtdrehimpuls des Spin-Systems verändert werden muss.

Mit dem 30ps Laser konnte keine thermomagnetisch bedingte Drehung der Domänen erreicht werden. Die Probe konnte auch nicht demagnetisiert werden, obwohl das Gitter durch den fokussierten Laserstrahl weit über  $1000\text{K}$  erhitzt wurde. Das Spin-System befand sich also

während dem ps-Puls nicht mehr im thermischen Gleichgewicht mit dem Elektronen- und Gittersystem. Erst beim Auftreten von unpolarisierten Elektronen durch thermisch stimulierte Photoemission fällt die Remanenzmagnetisierung auf Null ab.

Beim Untersuchen der dabei geschmolzenen Oberfläche durch ein Elektronen-Raster-Mikroskop sind Strukturen in hexagonaler Anordnung festgestellt worden. Der 1000Å dicke Film zieht sich bei mehrfachem Laserbeschuss zu Kugeln zusammen, die jedoch - auch während dem Schmelzvorgang - die volle magnetische Polarization aufweisen. Der Unterschied zu den üblichen linearen Oberflächen-Wellenstrukturen infolge Laserbeschuss wird möglicherweise durch das kurzfristige Auftreten von flüssigem Ferrimagnetismus ermöglicht.