

Zusammenfassung

Es ist aus der Thermodynamik bekannt, dass ein Ferromagnet, der über seine Curie-Temperatur aufgeheizt wird, seine makroskopische Magnetisierung verliert. Die Thermodynamik kann aber die Zeitskala der Entmagnetisierung nicht vorhersagen. Es wurde lange vermutet, dass die schwache Spin-Bahn-Wechselwirkung in den Übergangsferromagnetiten die Zeit mit der die Magnetisierung einem kurzen Aufheizen folgen kann, auf etwa 100 ps limitiert. Deshalb war es eine grosse Überraschung, als Beaurepaire et al. 1996 zeigen konnten, dass die Magnetisierung von Nickel auch auf einer sub-Picosekunden Zeitskala mit einem ultraschnellen (100 fs) Laserpuls reduziert werden kann. Bis heute ist jedoch unklar, was genau die mikroskopischen Ursachen für diesen Effekt sind.

Meistens wird die Kurzzeit-Dynamik der Magnetisierung mit Hilfe des magnetooptischen Kerr-Effektes (MOKE) untersucht. Es wurde argumentiert, dass das starke Aufheizen der Probe die optischen Parameter so verändern kann, dass damit die ultraschnelle Entmagnetisierung nur vorgetäuscht wird. Zudem beruht der Kerr-Effekt, wie bei den meisten optischen Methoden, auf der Spin-Bahn-Wechselwirkung. Es wurde aber gezeigt, dass diese während dem ultraschnellen Aufheizen verändert werden kann.

In diese Doktorarbeit wird die ultraschnelle Entmagnetisierung von Eisen anhand der Spinpolarisierung der Sekundärelektronen untersucht. Diese Methode umgeht die oben genannten Probleme. Ultrakurze Röntgenlaserpulse vom freien Elektronen Laser (FEL) in Hamburg mit einer Photonenenergie von 40/180 eV wurden verwendet um Elektronen aus dem gesamten Valenzband anzuregen. Dies erlaubt die Messung eines Magnetisierungs-Mittels über das gesamte Valenzband. Mit dieser Methode konnte gezeigt werden, dass die Entmagnetisierung von Eisen wirklich ultraschnell abläuft und die Entmagnetisierungszeit mit derjenigen mit MOKE gemessenen qualitativ übereinstimmt. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die gemessene Spinpolarisierung von der verwendeten FEL Intensität abhängt. Dieser Effekt konnte als reiner Raumladungseffekt identifiziert werden; niederenergetische aber hoch spinpolarisierte Elektronen werden von der Raumladung wieder auf die Probe zurückgedrängt und fehlen somit im Detektor. Diese Erkenntnis wird es erlauben zukünftige spinpolarisierte Photemissionsexperimente an FELs besser durchführen zu können.

Die Photoemission hat generell eine geringe Elektronenausbeute. Zudem werden spinaufgelöste Experimente durch die schlechte Effizienz der weit verbreiteten Mott Spin-Polarimeter erschwert. Deshalb haben wir, in einer Zusammenarbeit mit Prof. Schönhenses Gruppe aus Mainz, ein hoch effizientes Spin-Polarimeter entwickelt. Ein Iridiumkristall fungiert als spinabhängiger Elektronenspiegel, der in Verbindung mit einem hemisphärischen Energieanalysator gleichzeitig die Energie, den Winkel und die Spinpolarisierung der Elektronen messen kann. Diese gleichzeitige multidimensionale Erfassung wird es ermöglichen zeit-, spin-, winkel- und energieaufgelöste Messungen durchführen zu können.

Auf der Suche nach den Mechanismen der ultraschnellen Entmagnetisierung konnten zwei Korrelationen aufgedeckt werden. Die Entmagnetisierungszeit hängt von der Schichtdicke und von der elektrischen Leitfähigkeit des Ferromagneten ab. Basierend auf diesen Beobachtungen wurde ein semi-klassisches Modell entwickelt, welches die Entmagnetisierung als Spintransport mit Spin-Flip am Ferromagnet/-Substrat-Interface beschreibt. Der Spinstrom wird durch einen Gradienten des

chemischen Potentials beschrieben. Die lokalen Spin-Flips lösen das Problem der Entmagnetisierung durch Spinströme von magnetischen Dünnschichten auf einem Isolator. Das Modell macht realistische Vorhersagen der Entmagnetisierungszeit und -Amplitude für die Übergangsferrromagneten ohne die Verwendung eines Fitparameters. Darüber hinaus sagt das Modell vorher, dass Laserpulse mit konstanter Energie, jedoch mit verlängerter Pulslänge, in einer kleineren Entmagnetisierung resultieren und, dass die ultraschnelle Entmagnetisierung in einer heißen Probe langsamer abläuft als in einer kalten.

Diese beiden Vorhersagen konnten für Nickel experimentell bestätigt werden. Damit scheint es, dass der Elliot-Yafet Spin-Flip-Mechanismus nicht der Hauptgrund für die ultraschnelle Entmagnetisierung ist. Das Modell erlaubt, basierend auf dem Fundament der Spintronik, ein intuitives Verständnis der ultraschnellen Entmagnetisierung.