

Zusammenfassung zum Seminarvortrag

Datenspeicherung in neuem Licht:
Laseroptische Abbildung von Domänen in
Ferroika

Heiko Luckmann

Betreuung durch Professor Manfred Fiebig

8 Dezember 2009

1 Einleitung

Ferroika sind ein wichtiger Bestandteil in der heutigen Speichertechnik. Durch ihre Eigenschaften ist es möglich Daten über einen langen Zeitraum elektrisch oder magnetisch zu speichern. Ein wichtiger Aspekt dabei sind die Domänen von Ferroika, d.h. Bereiche mit einer gleichen Ordnung, sei sie nun elektrischer oder magnetischer Natur. Deswegen lohnt es sich auf diesen Aspekt genauer einzugehen. Domänen verändern die physikalischen Eigenschaften des Festkörpers und sind somit durch optische Methoden abbildbar.

2 Ferromagnetismus

Ferromagnetismus ist die Ausrichtung der Elektronenspins in paralleler Richtung. Durch diese Ausrichtung bildet sich eine Magnetisierung in dem Festkörper. Eine Ausrichtung der Spins scheint erstmal unsinnig, da Elektronen zur Familie der Fermionen gehören und somit dem Pauli-Prinzip unterworfen sind. Es muss also eine Wechselwirkung geben, welche es den Elektronen ermöglicht ihre Spins parallel auszurichten, ohne das Pauli-Prinzip zu verletzen. Diese Wechselwirkung nennt sich Austauschwechselwirkung.

Domänen in Ferromagneten sind Bereiche des Festkörpers, welche die selbe Spinausrichtung und damit eine Magnetisierung, definiert über den Vektor \mathcal{M} , haben. Ohne äußere Einflüsse wird ein Ferromagnet keine äußere Magnetisierung haben, da sich die Magnetisierungen der verschiedenen Domänen aufheben.

Ferromagnetische Domänen können durch den Kerr- bzw. den Faraday-Effekt untersucht werden. Eine Unterscheidung wird gemacht, da der Kerr-Effekt für die Abbildung von nicht-transparenten Medien genutzt wird, während der Faraday-Effekt bei transparenten Medien genutzt wird. Die Untersuchung der Domänenstruktur beim Kerr-Effekt besteht dabei aus der Untersuchung des reflektierten Lichts und beim Faraday-Effekt aus der Untersuchung des transmittierten Lichts.

Beide Effekte beruhen auf einer Änderung des Brechungsindex in Abhängigkeit eine Magnetisierung. Je nach Ausrichtung des Vektors \mathcal{M} wird der Beitrag zum Brechungsindex unterschiedlich sein und somit wird eine Änderung des reflektierten/transmittierten Lichts je nach Magnetisierung sichtbar¹. Durch einen Polarisator vor dem Festkörper, der die lineare Polarisierung sicherstellt, und einem Polarisator hinter dem Festkörper, auch Analysator genannt, kann die Drehung der Achse untersucht werden.

Eine großes Anwendungsgebiet von Ferromagneten ist der Bereich der Festplatten. Die Daten werden dabei über den Hystereseprozess auf die Platte geschrieben und je nach Ausrichtung der Magnetisierung wird somit eine logische 1 oder 0 verwirklicht.

3 Antiferromagnetismus

Im Gegensatz zu der parallelen Spinausrichtung von Ferromagneten richten sich die Spins in Antiferromagneten genau anti-parallel aus. Diese Ausrichtung

¹A.Hubert,R. Schäfer, *Magnetical Domains*, (Springer, Berlin, 2008)

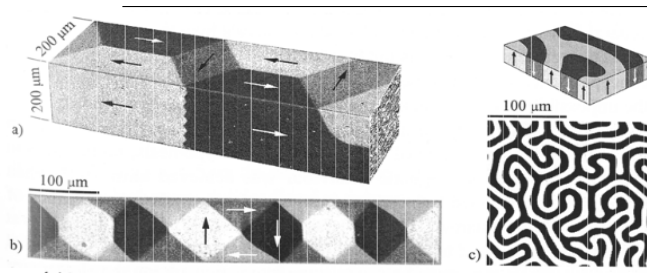


Abbildung 1: Abbildung verschiedener ferromagnetischer Domänenstrukturen. a) Aufnahme von zwei Seiten einer Eisenprobe mit magnetischen Kerr-Effekt (von R.J. Celollta, NIST) b) NiFe Film mit Kerr-Effekt aufgenommen (von M.Freitag, Bosch) c) Dünner Granatfilm durch den Faraday-Effekt abgebildet (von A. Hubert)

basiert wieder auf der Austauschwechselwirkung. Äquivalent zum Magnetisierungsvektor \mathcal{M} wird ein antiferromagnetischer Vektor \mathcal{L} definiert, der die Werte ± 1 annimmt, je nachdem wie die relative Lage der Spins zueinander ist.

Die Abbildung von antiferromagnetischen Domänen wird hier mit Hilfe der Frequenzverdopplung ermöglicht. Frequenzverdopplung, häufig auch SHG genannt vom englischen Second-Harmonic-Generation, ist ein Effekt der nicht-linearen Optik. Im Gegensatz zur linearen Optik wird hierbei die Polarisierung \mathcal{P} eines Stoffes in einer Reihenentwicklung in der Suszeptibilität χ geschrieben. Im zweiten Entwicklungsterm kommt die elektrische Feldstärke E quadratisch vor. Wenn nun eine periodische Funktion, wie z.B. eine Lichtwelle, als elektrische Feldstärke eingesetzt wird, bekommt man einen Anteil der mit der doppelten Frequenz des einfallenden Lichts schwingt. Dies erzeugt somit eine Lichtelle mit der doppelten Frequenz².

In antiferromagnetischen Stoffen taucht in der Intensität des SHG-Lichts ein Term proportional zu \mathcal{L}^n auf, mit $n = 1, 2, 3, \dots$. Somit können antiferromagnetische Domänen aufgrund der unterschiedlichen Helligkeit des SHG-Lichts unterschieden werden³.

Antiferromagnetische Stoffe werden häufig benutzt, um Festplatten auszulesen. Die Magnetisierung einer Festplatte wird mit dem giant-magneto resistance (GMR) Effekt ausgelesen. Wenn zwei ferromagnetische Stoffe durch eine nicht magnetische Schicht getrennt werden, richten sich die Magnetisierungen der beiden Ferromagneten anti-parallel aus. Der elektrische Widerstand von einer solchen Ausrichtung ist viel größer als der einer parallelen Ausrichtung. Dies ist der GMR⁴. Ein antiferromagnetischer Stoff wird nun benötigt, um einer der beiden Magnetisierungen festzuhalten, so dass sich diese Magnetisierung nicht mehr ändern kann und somit eine Vorzugsrichtung bildet. Der Effekt, auf den dieses "festpinnen" basiert, nennt sich *exchange bias*.

²B. Saleh, M. Teich, *Fundamentals of Photonics*, 2nd Edition (Wiley, New York, 2007)

³I.E. Dzylaoshinskii, *Sov. Phys. JETP* **10**, 628-629 (1960)

⁴G. Binasch, P. Grünberg, F. Saurenbach, W. Zinn, *Phys. Rev. B* **39**, 4828-4830 (1989)

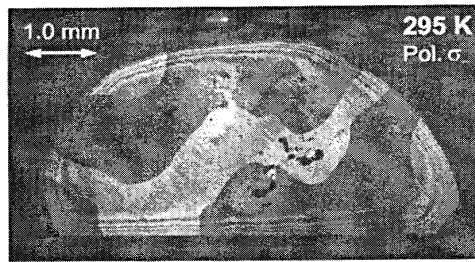


Abbildung 2: Aufnahme von antiferromagnetischen Domänen in Chromoxid durch eine SHG Aufnahme (von M. Fiebig)

4 Ferroelektrizität

Ferroelektrizität beschreibt eine spontane Polarisierung in einem Festkörper. Durch spontane Symmetriebrechung bewegen sich Ionen aus dem Ladungsschwerpunkt fort, wodurch ein Dipolmoment entsteht und somit eine Polarisierung gebildet wird. Die beobachtbaren Domänen bilden dabei Bereiche gleicher Polarisierung \mathcal{P} .

Eine Abbildungsmethode für ferroelektrische Domänen ist die Ausnutzung des elektro-optischen Effekts. Dieser Effekt beschreibt die Änderung des Brechungsindex in Anwesenheit eines elektrischen Feldes. Die Polarisierung des Stoffes wird somit den Brechungsindex verändern⁵.

Über den komplexen Brechungsindex ist eine Änderung des Brechungsindex mit einer Änderung des Absorptionskoeffizienten verbunden. Somit unterscheiden sich Bereiche unterschiedlicher Polarisierung durch ein unterschiedliches Absorptionsverhalten und somit durch eine unterschiedliches Transmission⁶.

Ferroelektrika werden in der Technik zum Beispiel in FRAM genutzt. Diese Art von RAM zeichnet sich dadurch aus, dass Daten nach einer Abschaltung der Stromquelle nicht verloren gehen. Andererseits hat FRAM auch die Schreibgeschwindigkeit von normalem RAM und ist somit magnetischen Speichern, wie zB Festplatten, überlegen.

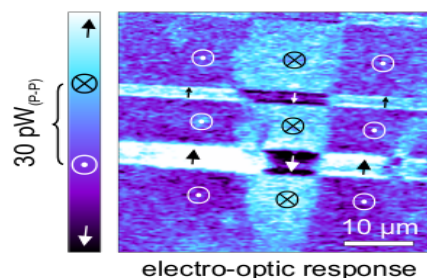


Abbildung 3: Aufnahme der ferroelektrischen Domänenstruktur von Bariumtitanat durch den elektro-optischen Effekt (von T. Otto)

⁵B. Saleh, M. Teich, *Fundamentals of Photonics*, 2nd Edition (Wiley, New York, 2007)

⁶T. Otto, Dissertation, TU Dresden (2006)