



Elementarmagneten vor der Kamera – ein Kerr-Mikroskop

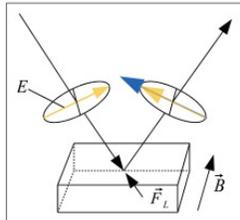


von Sebastian Schuon

Der Kerr-Effekt

Der Kerr-Effekt tritt bei allen Metallen oder Licht absorbierenden magnetischen Stoffen auf. Dies unterscheidet den Kerr-Effekt vom früher entdeckten Faraday-Effekt, welcher nur bei transparenten Materialien auftritt. Eine ebene Oberfläche allerdings ist für vernünftige Messungen unerlässlich.

Man unterscheidet drei verschiedene Kerr-Effekte: den polaren, longitudinalen sowie den transversalen, je nachdem wie das Magnetfeld auf die Probe wirkt. Im Folgenden wollen wir uns auf den transversalen Kerr-Effekt beschränken.



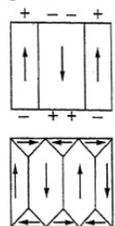
Das einfallende Licht versetzt die Elektronen in der Probe in Schwingungen parallel zur Polarisationssebene. Gleichzeitig wirkt die Lorentzkraft F_L , welche proportional zu $-B \times E$ ist, auf die Elektronen, da diese sich in einem Magnetfeld befinden.

Je nach Magnetfeldrichtung verstärkt damit die Lorentzkraft die Schwingung oder mindert diese. Dadurch wird je nach Polarisierung des Magnetfeldes die Amplitude des reflektierten Lichtes größer oder kleiner. Die Änderung der Intensität wird später verwendet, um Rückschlüsse auf die Magnetisierung der Probe zu ziehen.

Des Weiteren wird ersichtlich, dass das einfallende Licht p-polarisiert sein muss (d.h. Parallel zur optischen Ebene), da sonst keine Änderung der Intensität stattfindet.

Magnetische Domänen

In ferromagnetischen Stoffen ordnen sich die Elementarmagnete in Form von Domänen an. Diese werden gebildet, um die totale Energie in einem Kristall zu minimieren, wobei magnetische Streufelder einen wichtigen Teil dieser Energie darstellen. Streufelder können vermieden werden, wenn Domänen mit geschlossenem magnetischem Fluss (flux-closed) vorliegen.



Das obere Bild stellt eine Domänenverteilung dar, wobei kein geschlossener Fluss realisiert ist. An den Außenseiten ist das dadurch verursachte Streufeld gekennzeichnet. Im unteren Bild hingegen bilden die Feldlinien einen Kreis, womit der Fluss geschlossen ist, und keine Feldlinien nach aussen treten und somit kein Streufeld verursachen.



Versuchsaufbau (von rechts nach links)

Das Licht einer Halogenlampe tritt durch eine Blende sowie zwei Linsen. Dadurch lässt sich die Intensität regulieren und die Lichtstrahlen werden parallel angeordnet. Der Lichtstrahl wird weiter präpariert, indem ein Farbfilter nur Licht einer bestimmten Wellenlänge passieren lässt und der Polarisationsfilter nur eine Schwingungsebene des Lichtes zulässt.

Die Probe befindet sich in einem starken Magnetfeld, dessen Feldlinien im Bild vertikal verlaufen. Direkt oberhalb der Probe befindet sich eine Hall-Sonde mit deren Hilfe die Intensität des Magnetfeldes gemessen wird.

Auf der linken Seite befindet sich ein Mikroskop mit vorgeschaltetem Polarisationsfilter, dem sogenannten Analysator. Das Mikroskop sorgt für eine Vergrößerung, so dass die magnetischen Domänen überhaupt erst erkennbar werden. Dahinter befindet sich eine Digitalkamera (ca. 1,4 Megapixel, 12bit s/w Farbtiefe), welche ihre Aufnahmen direkt an eine Framegrabberkarte im Steuerrechner sendet. Von diesem Rechner lassen sich auch der Magnet und die Hall-Sonde steuern bzw. auslesen. Dazu ist der Computer via IEEE-488 Bus mit einem sog. BOPP (Bipolar Operational Power Supply) und einem Teslameter vernetzt. Der BOPP stellt nach Übermittlung von Steuertelegrammen den am Magnet benötigten Stroms ein. Im Teslameter wird die Hall-Spannung der Hallsonde verstärkt und digitalisiert. Das Experiment und die Geräte werden komplett automatisch von einem selbstentworfenen LabView-Programm gesteuert.

Versuchsablauf

Wegen der geringen Intensitätsänderungen (<1%) können die Veränderungen nicht mit bloßen Auge erfasst werden. Darum macht man sich die sog. Referenzbildtechnik zu Nutze. Hier wird das Magnetfeld um die Probe auf seinen maximalen Wert B_{max} eingestellt und ein Referenzbild aufgenommen. Nun wird die Stromquelle so angesteuert, dass das Magnetfeld eine komplette Hystereseschleife durchläuft (von B_{max} bis $-B_{max}$).

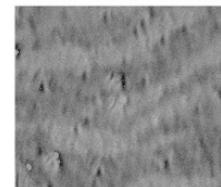
Nach jeder Veränderung des Feldes wird ein Foto geschossen. Im Computer werden nun Referenzbild und Momentaufnahme von einander abgezogen. Dadurch werden Veränderungen gegenüber dem Referenzbild als Abweichung vom mittleren Grauton sichtbar.

Um die Qualität der Aufnahmen weiter zu verbessern, werden im Computer weitere Massnahmen getroffen: Die Kamera ist ein sehr empfindliches Messgerät und produziert naturgemäß ein Rauschen. Um diese Einflüsse abzuschwächen, wird eine Mittelwertbildung über mehrere Bilder (zehn und mehr Aufnahmen) durchgeführt. Dadurch lassen sich auch die Auswirkungen kleiner Erschütterungen zwischen einzelnen Aufnahmen verringern.

Ein weiteres, durch die Kamera verursachtes Problem, stellen sogenannte Hotpixels dar. Dies sind einzelne Pixel, welche sehr viel heller als ihre Umgebung sind. Diese Farbinformationen entsprechen nicht der Wirklichkeit und sind auf Defekte in der Kamera zurückzuführen. Ein Algorithmus vergleicht jedes Pixel mit seiner Umgebung. Sollte seine Helligkeit deutlich über der der Umgebung liegen, wird das Pixel als fehlerhaft betrachtet und mit dem Durchschnittswert der Umgebung ersetzt.

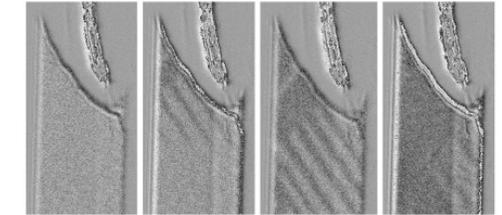
Versuchsergebnisse

Die Experimente wurden mit zwei verschiedenen Materialien durchgeführt. Zunächst wurde die Domänenstruktur eines Trafoblechs untersucht. Das Trafoblech ist ein typischer Vertreter für weichmagnetische Stoffe, d.h. es sind keine hohen Feldstärken nötig, um sie vollständig zu magnetisieren.



Im Blech bilden sich Streifen-domänen aus, welche nahezu durch den gesamten Bildausschnitt horizontal verlaufen. Die Domänenbildung setzt an mehreren Stellen ein und breitet sich ausgehend von diesen aus.

Als zweite Probe kam ein hartmagnetischer Whisker zum Einsatz. Whisker sind künstlich gezüchtete Einkristalle mit hochreiner Struktur und einer sehr ebenen Oberfläche.

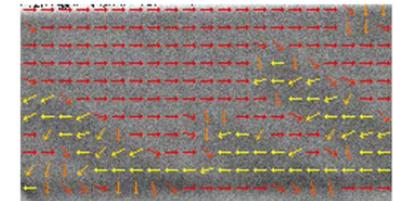


Die Bildserie wurde während eines Entmagnetisierungsvorgangs aufgenommen. Klar erkennbar ist, dass die Domänenbildung oben an der Spitze beginnt, wo auf Grund der Geometrie der Probe die stärksten Streufelder zu erwarten sind. Diese Beobachtung deckt sich sehr gut mit der theoretischen Erklärung für Domänen.

Versuchsauswertung

Am Computer können die gewonnenen Daten weiterverarbeitet werden. So können aus Bildserien Filme erstellt werden, was zu sehr eindrucksvollen Ergebnissen führt.

Eine weitere Möglichkeit ist, anhand der Grauwerte auf die Orientierung des magnetischen Feldes zu schließen und dies in die Bilder einzzeichnen zu lassen.



horizontaler Whisker bei 5,0 mT / -0,40 A

Mit freundlicher Unterstützung von



Weitere Informationen:
<http://www.s-schuon.de/jufo>