

Methoden moderner Röntgenphysik: Streuung und Abbildung

G. Grübel, O. Seeck, L. Müller, L. Frenzel, F. Lehmkuhler, S. Marotzke

BESTIMMUNG VON MAGNETISCHEN ANISOTROPIEKONSTANTEN

Die magnetische freie Energie setzt sich aus der Summe von Energiebeiträgen zusammen. Moderne magnetische Materialien für technologische Anwendungen zeichnen sich oft dadurch aus, dass sie eine besondere Form besitzen (Beispiel Festplatte: dünne magnetische Filme). In solchen Materialien entstehen durch die Probenform (Formanisotropie) als auch durch die Kristallstruktur (magneto-kristalline Anisotropie) bestimmte Vorzugsrichtungen entlang der sich die Magnetisierung bevorzugt ausrichtet. In uniaxialen Systemen kann man die einzelnen Beiträge zur Anisotropie-Energie (1.Ordnung) zu einem effektiven Term zusammen:

$$\frac{E_{\text{Ani}}}{V} = K_{1,\text{eff}} \sin^2 \theta \text{ mit } K_{1,\text{eff}} = K_{1V} + \frac{2K_{1S}}{t} - \frac{\mu_0 M_S^2}{2}$$

Die ersten beiden Beiträge in der effektiven Anisotropiekonstanten $K_{1,\text{eff}}$ beschreiben die magnetokristalline Volumen- bzw. Grenzflächenanisotropie und der dritte Term die Formanisotropie. M_S ist die Sättigungsmagnetisierung und t ist die Schichtdicke.

Bei Anwesenheit von Magnetfeldern $\mu_0 H$ muss die Zeeman-Energie in der freien magnetischen Energie berücksichtigt werden (Magnetisierung folgt äußerem Feld):

$$\frac{E_Z}{V} = -\mu_0 M_S H \cos \varphi$$

In der folgenden Aufgabe soll die Ausrichtung der Magnetisierung (Komponente entlang des Magnetfeldes) als Funktion des Magnetfeldes für die Fälle $K_{1,\text{eff}} > 0$ und $K_{1,\text{eff}} < 0$ untersucht werden. Das externe Magnetfeld sei dabei stets entlang der sogenannten magnetisch harten Achse ausgerichtet, d.h. es wird versucht die Magnetisierung aus seiner Ruhelage herauszudrehen:

$K_{1,\text{eff}} > 0$: leichte Achse der Magnetisierung senkrecht zur Filmebene ($M_{\parallel} \parallel H$)

$K_{1,\text{eff}} < 0$: leichte Achse der Magnetisierung parallel zur Filmebene ($M_{\perp} \parallel H$)

Methoden moderner Röntgenphysik: Streuung und Abbildung

G. Grübel, O. Seeck, L. Müller, L. Frenzel, F. Lehmkuhler, S. Marotzke

- Überlegen Sie welche Bedingungen für eine magnetische Probe vorliegen müssen, um $K_{1,\text{eff}} > 0$ bzw. $K_{1,\text{eff}} < 0$ zu beobachten?
- Leiten Sie einen Ausdruck für $M(H)$ aus der freien Energie $\frac{E}{V} = \frac{E_{\text{Ani}}}{V} + \frac{E_Z}{V}$ her (zunächst unter Vernachlässigung höherer Ordnungen der Anisotropieenergie). Die Magnetisierung $M(H)$ wird sich derart einstellen, dass die freie Energie minimiert wird (keine Winkeländerung zwischen M und H mehr):

$$\frac{E}{V} = K_{1,\text{eff}} \sin^2 \theta - \mu_0 M_S H \cos \varphi$$

(θ : Winkel zwischen Magnetisierung und Filmnormalen / φ : Winkel zwischen Magnetisierung und äußerem Magnetfeld)

Hinweis: Skizzieren Sie die geometrischen Verhältnisse zwischen einfacher Achse (der Magnetisierung), Magnetisierung und äußerem Feld und finden Sie eine Beziehung zwischen θ und φ .

Wie ist die Ausrichtung der Magnetisierung für $K_{1,\text{eff}} = 0$ für $H = 0$?

- Man berücksichtige nun auch höhere Ordnungen der Anisotropieenergie:

$$\frac{E}{V} = K_{1,\text{eff}} \sin^2 \theta + K_2 \sin^4 \theta - \mu_0 M_S H \cos \varphi$$

Hinweis: Beachten Sie, dass es sinnvoll ist die Gleichung jeweils nach $H(M)$ aufzulösen (Umkehrfunktion). Diskutieren Sie die Unterschiede zwischen den Ergebnissen aus Aufgabe 2 und 3.

- Wie verhält sich $(E/V(\theta))_{\text{min}}$ im Nullfeld ($H = 0$), d.h. wie ist die Ausrichtung der Magnetisierung für $-2K_2 < K_{1,\text{eff}} < 0$ ($K_2 > 0$)?