

六方晶 c 面の強磁性共鳴 (1) : 異方性磁場 H_a の角度変化

河本 修, 松島 康*
(レゾナ技研, *岡山大学)

Ferromagnetic Resonance in Hexagonal-Crystal c -Plane (1): Angular Change in Anisotropy Field H_a

O. Kohmoto, Y. Matsushima*
(Resona Lab. *Okayama Univ.)

はじめに

異方性磁場 H_a は磁化容易軸または磁化困難軸から磁化がわずかにずれた時に働く見かけの磁場を表し、強磁性共鳴の式に用いられる。ここでは六方晶の結晶磁気異方性エネルギー G_k の第3項 K_{u3} まで扱い H_a を求める。

異方性磁場の導出

磁化容易軸方向に異方性磁場 H_a がありその軸を z 軸とした時、磁化 M_s がずれる角度を θ とすると、

$$M_s H_a \sin \theta = \partial G_k / \partial \theta \quad (1)$$

と表すことができる[1]。 c 面に磁化がある場合の異方性磁場を求めるには、Fig.1 のように c 軸を x 軸方向とし、 c 面の軸を z 軸に揃える。この場合、結晶磁気異方性エネルギーとその微分は、

$$G_k = -K_{u1} \sin^2 \theta \cos^2 \phi + K_{u2} (\sin^4 \theta \cos^4 \phi - 2 \sin^2 \theta \cos^2 \phi) + K_{u3} (-3 \sin^2 \theta \cos^2 \phi + 3 \sin^4 \theta \cos^4 \phi - \sin^6 \theta \cos^6 \phi) \quad (2)$$

$$\partial G_k / \partial \theta = K_{u1} (-2 \sin \theta \cos \theta \cos^2 \phi) + K_{u2} (-4 \sin \theta \cos \theta \cos^2 \phi + 4 \sin^3 \theta \cos \theta \cos^4 \phi) + K_{u3} (-6 \sin \theta \cos \theta \cos^2 \phi + 12 \sin^3 \theta \cos \theta \cos^4 \phi - 6 \sin^5 \theta \cos \theta \cos^6 \phi) \quad (3)$$

となる。よって、異方性磁場は、(1)と(3)から、 $\theta \approx 0$ として

$$H_a = -[(2K_{u1}/M_s) + (4K_{u2}/M_s) + (6K_{u3}/M_s)] \cos^2 \phi \quad (4)$$

である。よって、 H_a は磁化の傾く方向の角度 ϕ によって変化する。強磁性共鳴式に用いるには、 $\phi = 0$ と $\pi/2$ の時の値が必要であり、それらを求めると、

$$H_a^{zx} = H_a^{\phi=0} = H_a^{\perp c\text{-plane}} = -2K_{u1}/M_s - 4K_{u2}/M_s - 6K_{u3}/M_s, \quad (5)$$

$$H_a^{zy} = H_a^{\phi=\pi/2} = H_a^{\parallel c\text{-plane}} = 0 \quad (6)$$

となる。

得られた式を文献と比較検討する。太田は、文献[2]の表 5.2-1 で、 c 面内では $H_a^{\phi} = 36|K_3|/I_s$ としている。 c 面内には異方性はないので、式(6)のように $H_a^{\phi=0} = 0$ である。松井は、異方性磁場の式を $H_a = (1/M_s) \times (\partial^2 E_k / \partial \theta^2)_{\theta=0}$ とし、 c 面での c 軸方向の H_a を K_{u2} まで扱い $-2K_{u1}/M_s - 4K_{u2}/M_s$ と求めている[3]。式(5)に相当するが、 c 面内の任意方向の H_a の値はこの式では求まらない。式(4)でなければならない。三俣は一軸異方性物質の異方性磁場として $H_a = (2K_u/M_s^2) \mathbf{n}(\mathbf{M} \cdot \mathbf{n})$ としている[4]。 M_s と異方性軸方向の単位ベクトル $\mathbf{n}$ のなす角度として $\pi/2$ を代入すると、垂直面で $H_a = 0$ となり、式(4)とは大きく異なる。この式は内部磁場とすべきである。また、能勢と佐藤は、 N_x^e と N_y^e を Kittel による Effective demagnetizing factor として、 $H_a = (N_x^e M_x, N_y^e M_y, 0)$ としている[5]。 H_a の方向は、 z 軸に揃えた容易軸（または困難軸）に印加する外部磁場方向なので、 z 軸成分のみである。 H_a が z 軸に垂直な面にあるとするのは誤りである。これは、Equivalent field の誤った解釈である。 H_a の角度変化を表す式(4)は、文献で知られていない。

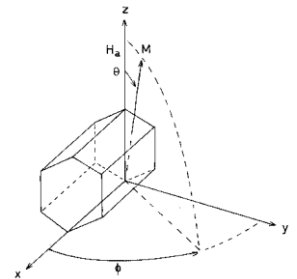


Fig.1 c -axis// x -axis arrangement.

- 1) F. Brailsford: Physical Principles of Magnetism (D. Van Nostrand, 1966) p.126.
- 2) 太田恵造：磁気工学の基礎 II (共立出版, 1973) p.227.
- 3) 松井正顕：日本応用磁気学会誌 **24** (2000) 1147.
- 4) 三俣千春：磁気工学の解析方法 (共立出版, 2013) p.66.
- 5) 能勢宏, 佐藤徹哉：磁気物性の基礎 (裳華房, 1997) p.125.