一軸異方性膜の異方性磁場と強磁性共鳴式

河本 修，松島 康*

（レゾナ技研，*岡山大学）

Anisotropy field and ferromagnetic resonance equation of in-plane uniaxial anisotropy film

O. Kohmoto, Y. Matsushima*

(Resona Lab. *Okayama Univ.)

はじめに

磁化容易方向の異方性磁場を導出する方法の詳細な報告は少ない [1-3] 。 本研究では，一軸異方性定数 K_{u1} と K_{u2} による異方性磁場 H_a の磁化 M_s の傾く角度による変化を求め，それらを用いて面内一軸異方性膜の強磁性共鳴式を導出する。

異方性磁場の導出

一軸異方性の K_{u1} と K_{u2} による異方性エネルギーは $G=K_{u1}\sin^2\theta+K_{u2}\sin^4\theta$ となる。$\partial G/\partial\theta=0$ を満たすのは，3 つの角度の $\theta=0,\ \pi/2,\ \arcsin[(-K_{u1}/2K_{u2})^{1/2}]$ である。3 つめの角度を θ_0 とする。この 3 軸から磁化がわずかに傾く時のエネルギー勾配から異方性磁場 H_a を求める。それには，異方性磁場，すなわち磁化容易軸を z 軸に揃えると良い [1] 。(1) $\theta=0$ では，$\partial G/\partial\theta= 2\sin\theta\cos\theta(K_{u1}+2K_{u2}\sin^2\theta)$ となるので，$-M_sH_a\sin\theta=-\partial G/\partial\theta$ に代入することで，$H_a=2K_{u1}/M_s$ が求まる。(2) $\theta=\pi/2$ では，Fig.1 のように異方性の対称軸を x 軸とし，θ は z 軸と M_s の角度とする。そこで，$G=K_{u1}(-\sin^2\theta\cos^2\phi)+K_{u2}(-2\sin^2\theta\cos^2\phi+\sin^4\theta\cos^4\phi)$ となる。これから，$\partial G/\partial\theta=-2(K_{u1}+2K_{u2})\cos^2\phi\cdot\theta$ となり，$H_a=[-2(K_{u1}+2K_{u2})/M_s]\cos^2\phi$ が求まる。これにより，磁化 M_s の傾く方位ϕによって H_a が変わることが分かる。$\phi=0$ の時，$H_a=-2(K_{u1}+2K_{u2})/M_s$ であり，$\phi=\pi/2$ の時，$H_a=0$ である。文献[2, 3]では，$\phi=\pi/2$ の時に $H_a=0$ ではなく，誤りである。 (3) $\theta=\theta_0$ では Fig.2 のように対称軸を z 軸から角度 θ_0 だけ傾ける。また，θ は z 軸と M_s の角度とする。異方性エネルギーは，

$$
\begin{aligned}
G=&-K_{u1}(\sin^2\theta_0\cdot\sin^2\theta\cos^2\phi+2\sin\theta_0\cos\theta_0\cdot\sin\theta\cos\theta\cos\phi+\cos^2\theta_0\cdot\cos^2\theta)\\
&+K_{u2}(-2\sin^2\theta_0\cdot\sin^2\theta\cos^2\phi-4\sin\theta_0\cos\theta_0\cdot\sin\theta\cos\theta\cos\phi-2\cos^2\theta_0\cdot\cos^2\theta\\
&+\sin^4\theta_0\cdot\sin^4\theta\cos^4\phi+4\sin^3\theta_0\cos\theta_0\cdot\sin^3\theta\cos\theta\cos^3\phi+6\sin^2\theta_0\cos^2\theta_0\\
&\times\sin^2\theta\cos^2\theta\cos^2\phi+4\sin\theta_0\cos^3\theta_0\cdot\sin\theta\cos^3\theta\cos\phi+\cos^4\theta_0\cdot\cos^4\theta)
\end{aligned}
$$

となる。$\partial G/\partial\theta$を求め，$-M_sH_a\sin\theta=-\partial G/\partial\theta$ に代入することで，$H_a=-[2K_{u1}(K_{u1}+2K_{u2})/K_{u2}M_s]\cos^2\phi$と求まる。$\phi=0$ の時，$H_a=-[2K_{u1}(K_{u1}+2K_{u2})/K_{u2}M_s]$であり，$\phi=\pi/2$ の時，$H_a=0$ である。文献[1-3]では，$\phi=0$ の式に負号がぬけている。

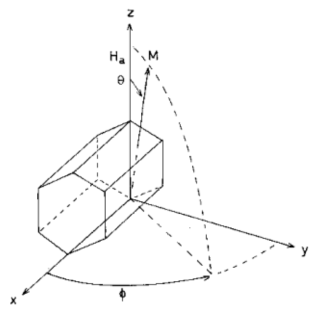

Fig.1 $\theta=\pi/2$ arrangement.

一軸異方性膜の強磁性共鳴式

異方性磁場による共鳴式は，磁場 H の方向を z 軸とすると，$(\omega/\gamma)^2=[H+H_{azx}+(N_x-N_z)][H+H_{azy}+(N_y-N_z)]$であり [1]，ここで x 軸は膜面，y 軸は膜垂直方向とする。H_{azy} と H_{azx} は導出された異方性磁場 H_a の$\phi=0$ と$\pi/2$ の値を用いることで，面内一軸異方性膜の次の共鳴式が得られる。(1) $\theta=0$ の時$(\omega/\gamma)^2=[H+(2K_{u1}/M_s)][H+(2K_{u1}/M_s)+4\pi M_s]$，(2) $\theta=\pi/2$ の時，$(\omega/\gamma)^2=[H-(2K_{u1}/M_s)-(4K_{u2}/M_s)](H+4\pi M_s)$，(3) $\theta=\theta_0$ の時，$(\omega/\gamma)^2=[H-2K_{u1}(K_{u1}+2K_{u2})/K_{u2}M_s](H+4\pi M_s)$である。

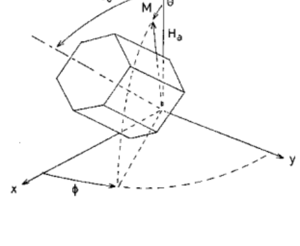

Fig.2 $\theta=\theta_0$ arrangement.

参考文献

1) 河本 修：強磁性共鳴の理論と実験（ふくろう出版，2013）.
2) 太田恵造：磁気工学の基礎 II（共立出版，1973）.
3) J. Smit, H. P. J. Wijn: Ferrites (Philips, 1959).