

· 研究简报 ·

磁光材料中畴壁运动速度与外场间关系的研究

罗以琳· 曾文光

(物理学系)

摘 要

直接测量 $(\text{BiTm})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ 薄膜中BLOCK 壁的运动速度与外磁场变化率间的关系表明,畴壁运动速度随磁场变化率的增大关系与畴壁动力学关系相符。

关键词 畴壁, 法拉第旋光, 磁光效应

已经报道过匀速外场下铁磁材料中磁畴壁^[1], 马氏体相变过程中相界面^[2], 以及范性形变过程中位错^[3]的运动速度与外场变化率及能量耗损的关系。但由于这些相变系统中界面的运动速度都较快, 难于直接测量界面的运动速度。界面运动速度与外场变化率间的关系是根据运动界面引起机械能的损耗, 从界面运动过程中内耗测量的实验结果计算出来的。具有平行畴的磁光材料 $(\text{BiTm})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ 中的畴壁可以看作一种典型的相互平行的Bloch壁, 它在恰当的磁场作用下的运动速率较低, 便于直接测量。本文通过直接测量出该材料中Bloch 壁的运动速度与外磁场变化率间的关系, 直观地验证以前所得相应关系式的正确性。

实验采用照相法测量畴壁的位移。试样是 $(\text{BiTm})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ 薄膜样品。图1是实验装置示意图。由恒流源通过调速机构产生匀速增大的电流, 通过磁化线圈在硅钢片产生匀速增大($\frac{dH}{dt} = A$)的磁场H, 驱动试样的畴壁运动。由于不同取向畴使偏振光矢的改变不同, 因此畴壁的运动状态可通过偏光显微镜观察, 照相曝光时间少于1秒。畴壁位移 x 在分辨率为 $3\mu\text{m}$ 的工具显微镜上利用照相底片观测得到。

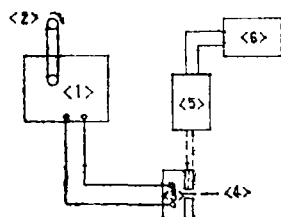


图1 实验装置示意图

Fig.1 Apparatus for the experiment

- | | |
|------------|----------|
| (1) 恒流源 | (2) 调速机构 |
| (3) 外加磁场系统 | (4) 试样 |
| (5) 偏光显微镜 | (6) 照像系统 |

本文于1988年1月14日收到

*1985级硕士研究生

图2给出了该样品磁畴壁位移 x 与匀速增加的磁场强度 H 间的关系。由图可以看出：①随着磁场强度的增大，位移 x 增加，当 $\dot{H} = 0$ ， $H > 300$ Oe时， x 急剧增加，这个磁场基本上相应于用CGX-1型磁光旋转测试装置测定的饱和法拉第旋转角 θ_F 的磁场。②在磁场速度 $A \geq 4.5$ Oe/s条件下，随着磁场变化率 A 的增大， $x-H$ 曲线升高，而 x 开始剧增的 H 值略有减少。

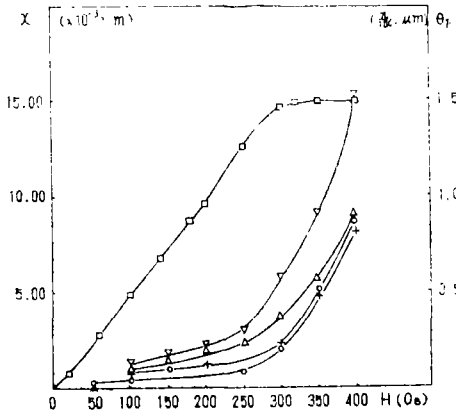


图2 不同磁场变化率下 $x-H$ 关系曲线和 $\dot{H} = 0$ 时的法拉第旋转角 θ_F 与 H 的关系曲线

- ▽ $\dot{H} = 5.05$ Oe/s
- △ $\dot{H} = 4.50$ Oe/s
- $\theta_F, \dot{H} = 0$
- + $\dot{H} = 0.84$ Oe/s
- $\dot{H} = 0$ Oe/s

Fig. 2 $x-H$ relations, with X represents domain wall displacement and H stands for external magnetic field, under different increasing rates of H

根据Landau-Lifshitz-Gilbert方程，计算Bloch壁运动速度 \dot{x} 与外场 H 的关系为⁽⁴⁾

$$\dot{x} = \frac{v\Delta}{1+\alpha^2} [aH + f(\dot{\phi})] \tag{1}$$

其中 v 为电子旋磁比， Δ 是畴壁宽度， α 是阻尼系数， $f(\dot{\phi})$ 表示一个与磁化强度 \vec{M} 矢量的进动角速度 $\dot{\phi}$ 有关的函数。根据图2的曲线，在 $H = 100$ 至 400 Oe范围内，可以将它们模拟为 $x = a(cH^2 + \ln H)$ 的关系（拟合的 a, c 值见表1），因此，Bloch壁的运动速度 $\frac{dx}{dt}$ 与磁场变化率 A 及场强 H 间的关系为：

$$\frac{dx}{dt} = aA(2cH + 1/H) \tag{2}$$

(2)式和(1)式相比， $f(\dot{\phi})$ 可看为 $1/H$ 的函数，因此有 $(\frac{v\Delta}{1+\alpha^2}) \cdot \alpha = aA \cdot 2c$ ，在慢速加场时，可以认为 Δ 变化不大，因此，随着 A 的增加，阻尼系数 α 增加。另外，如取 $v \sim 10^6$ /Oe·s， $\Delta \sim 10^{-9}$ mm，本实验的 $Aa \cdot 2c \sim 10^{-6}$ ，便有 $\alpha \sim 10^{-6}$ ，即阻尼系数很小。这可由下述事实得到理解：慢速加场时，低场下畴壁处于准静态运动过程，运动阻尼应该很小。这和新近在铁磁材料中通过匀速率增加外场测定磁化曲线所拟合的运动阻尼规律相同¹⁾。

对于 $\dot{H} = 0$ ， θ_F 饱和时对应的磁场值与 $X-H$ 转折点磁场值基本对应的原因，仍有待进一步研究。

1) 曾文光、张进修，立方结构铁磁材料中畴壁阻力函数的研究

表1 拟合的a、c值*
Tab. 1 values of a and c

\dot{H} (Oe/s)	a(mm)	c(1/Oe ²)
0	2×10^{-4}	8×10^{-4}
0.84	2×10^{-4}	9×10^{-4}
4.50	2×10^{-4}	1.5×10^{-3}
5.05	2×10^{-4}	2×10^{-3}

* 根据实验曲线由 $\ln x = \ln a + A_1 \ln(cH^2 + \ln H)$ 关系, 使 $A_1 = 1$ 时拟合的 a, c 值。显然, 随 \dot{H} 增加, 与运动阻尼相关的 C 值增加。

参 考 文 献

- [1] 曾文光、张进修, 物理学报, 1 (1987) 37.
 [2] 张进修、曾文光、李燮均, *Proceedings ICOMAT*(1986) 723.
 [3] 张进修、曾文光, *Motion Equation and Exhaustion Behaviour of Dislocation in the Process of Plastic Deformation, The Second Sino-Japanese Symposium on Physical Metallurgy*, (1986), China.
 [4] 《磁泡》编写组, 磁泡, 科学出版社, (1986)36.

Study of the Relation between the Speed of Bloch Wall and the Rate of External Field in (BiTm)₃(FeGa)₅O₁₂ Film

Lao Yilin Zen Wenguang

Abstract

The movement of Bloch wall in (BiTm)₃(FeGa)₅O₁₂ film has been studied under different increasing rates of external magnetic field by means of photography. The obtained result shows that the relation between the speed of domain wall and the increasing rate of external field is consistent with that given by dynamic equation of moving wall.

Keywords domain wall, Faradry rotation, magneto-optic effect