

温度对普通硬磁泡的影响

霍素国 聂向富 韩宝善

(河北师范大学物理系) (中国科学院物理研究所)

1987 年 11 月 27 日收到

实验研究了温度对外延石榴石磁泡薄膜中硬磁泡及其相应硬条畴的影响。发现了一个与材料参量有关的临界温度 T_c 。当试验温度 $T < T_c$ 时,硬条畴畴壁中的 VBL 链在升降温后不变;而当 $T > T_c$ 时, VBL 链消失,所有硬磁泡都软化为正常磁泡。当畴壁中的 VBL 处于压缩态时,较硬的硬磁泡在较低的温度下软化。软化时, VBL 消失的方式是整个 VBL 链的解体。

一、引 言

1983 年, Konishi^[1] 提出了超高密度 ($> 1 \text{ Gbit/cm}^2$) 固态布洛赫线存贮器 (以下简称 BLM) 方案。布洛赫线存贮技术是以条状畴壁中的垂直布洛赫线 (VBL) 对 (两条) 作为信息的载体, 因而为了使 BLM 有满意的操作温度范围, 不仅要研究 VBL 的形成与温度的关系^[2], 而且要研究共存于条畴壁中的大量同号 VBL 的温度稳定性。硬磁泡相应的硬条畴畴壁中有大量同号 VBL, 是 BLM 次环的较好的模拟, 因而我们选择硬磁泡进行 VBL 链温度稳定性的研究。

1975 年, Haisma 等人^[3] 曾用一些在缺陷处形成的特定硬磁泡, 观察它们的直径 d 随试验温度 T 的变化。通过静态性能测试和理论计算, 他们把 d 与 VBL 数联系起来, 从而得到了 VBL 数随 T 的变化曲线。由于实验方法的限制, 他们只得到了“较硬的硬磁泡比较容易损失 VBL” 这个定性上正确的结果, 其余结果则比较模糊。

我们在缺陷很少的样品上, 用脉冲偏场法产生大量自由的普通硬磁泡 (不含哑铃畴)。通过测量这些硬磁泡在室温下的总数及最大缩灭场 $H_{\text{col,max}}$ 的变化来探知它们畴壁中的 VBL 链随试验温度 T 的变化。由于在泡径不同的 5 个样品上都观察到了相同的规律性, 所以本文只给出典型样品 2[#] 的实验曲线, 其余样品的主要结果由表 1 列出。

二、实 验 方 法

两种成份的 5 个 (111) 晶面外延石榴石磁泡膜都未经离子注入, 数据见表 1。实验中, 30°C 以上控温精度为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

室温下产生一定数量的软畴段, 用一次^[4]或系列^[5]脉场偏磁场法把它们硬化为不含哑铃畴的普通硬磁泡。增大静态偏磁场 H_0 , 筛选出所需的缩灭场 H_{col} 范围不同的硬磁泡组。

表 1 5 个样品的室温数据及自平衡态 VBL 链解体的临界温度 T_0 .

序号	成 份	d (μm)	h (μm)	P_0 (μm)	l (μm)	H_0 (Oe)	$H_{\text{col,max}}$ (Oe)	$4\pi M$ (Gs)	K_u (erg/cm ³)	T_0 ($\pm 1^\circ\text{C}$)
1	(YSmCa) ₃ (FeGe) ₃ O ₁₂	8.3	5.6	15.5	0.99	49.4	84.3	120		97
2	(YSmCa) ₃ (FeGe) ₃ O ₁₁	6.7	7.6	15.0	0.84	76.0	106.0	145	5.8×10^4	120
3	(YSmCa) ₃ (FeGe) ₃ O ₁₂	4.0	3.9	7.2	0.39	121.0	153.0	224	9.4×10^3	98
4	(YSmLuCa) ₃ (FeGe) ₃ O ₁₂	5.8	6.6	12.4	0.68	124.0	152.0	229	1.6×10^4	93.5
5	(YSmLuCa) ₃ (FeGe) ₃ O ₁₂	3.9	5.1	7.9	0.38	141.6	170.0	238	1.2×10^4	95

室温下得到 N_i 个硬磁泡,在固定的静态偏场 H'_0 下升温至试验温度 T ,保温 2min,再降温至室温.再把 H_0 从 H_{00} 增大到样品的硬磁泡标准场 $H'_0 (= H_0 + 0.01 \times 4\pi M)$,测得剩下的硬磁泡数 N_f ,则硬磁泡软化率 $\rho = \frac{N_i - N_f}{N_i}$.再增大 H_0 直至所有硬磁泡消灭,测得硬磁泡最大消灭场 $H_{\text{col,max}}$.在室温下,重新产生硬磁泡组,改变试验温度 T ,重复上述测量.我们合理地假定普通硬磁泡的消灭场大小与其畴壁中 VBL 数有单值关系,则 $H_{\text{col,max}}$ 及 ρ 与 T 的关系可以反映畴壁中 VBL 链随 T 的变化.

本文在三个不同的固定偏场 H'_0 下进行温度试验,以研究 VBL 压缩状态的影响.

三、实验结果与讨论

室温下典型样品 2[#] 的软磁泡消灭场 $H_0 = 76.0\text{Oe}$,硬磁泡标准场 $H'_0 = 77.5\text{Oe}$,硬磁泡最大消灭场 $H_{\text{col,max}} = 106\text{Oe}$.样品 2[#] 的条泡转变场 H_{sb} , H_0 及 H'_0 随 T 的变化曲线如图 1 所示.

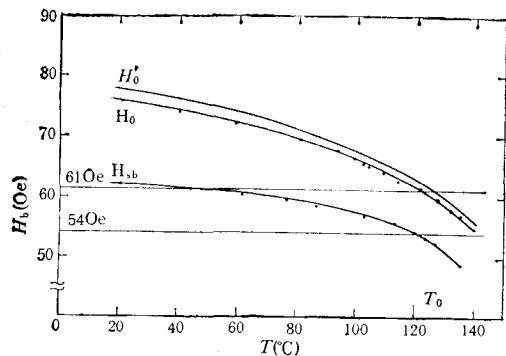


图 1 样品 2[#] 的条泡转变场 H_{sb} , 软磁泡消灭场 H_0 及硬磁泡标准场 H'_0 随温度的变化

1. 低 H'_0 情形

对样品 2[#],分别选固定静态偏磁场 $H'_0 = 0$ 和 54Oe 进行温度实验.这使得在 $T < 120^\circ\text{C}$ 的温度范围内 $H'_0 < H_{\text{sb}}(T)$ (见图 1),硬磁泡呈条畴状,畴壁中 VBL 链不被压缩.每次实验的硬磁泡数为 20—25 个,室温消灭场分布在 $77.5\text{Oe}(H'_0)$ 和 $106\text{Oe}(H_{\text{col,max}})$ 之间.

实验结果分别如图 2(a)和(b)所示.可见存在一个临界温度 $T_0 = 120 \pm 1$ ($^\circ\text{C}$).当 $T < T_0$ 时,升降温过程可逆.

$\rho \approx 0$, $H_{\text{col,max}}$ 也不变.当 $T = T_0$ 时, $\rho \approx 1$, $H_{\text{col,max}} \approx H_0$.表明消灭场不同的硬条畴全部软化,即畴壁中 VBL 链消失.从图 2 还可见两个状态间的过渡温度区很窄,小于 4°C . T_0 值因样品而异,其余样品的 T_0 列于表 1.

图 2(a) 和 (b) 清楚表明,硬条畴壁中的非压缩的处于平衡态的 VBL 链,不论所含 VBL 数目多少,在临界温度 T 都是突然解体的.这和文献[3]的结果不同.文献[3]的图 2 表明,随 T 升高, VBL 数在几十摄氏度的范围内逐渐减少,而且不存在 VBL 消失的临

界温度。我们认为这是由于文献[2]用了缺陷处的非自由硬磁泡,其能量状态十分复杂的缘故。

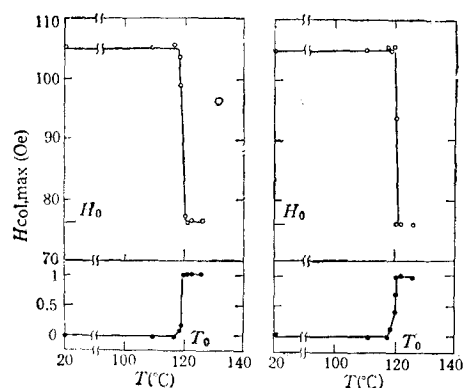
(a) $H_b = 0$ (b) $H_b = 54 \text{ Oe}$

图2 低偏场下样品2#室温硬磁泡最大缩灭场 $H_{\text{col,max}}$ 及硬磁泡软化率 ρ 与试验温度 T 的关系 硬磁泡缩灭场范围为 77.5—106 Oe

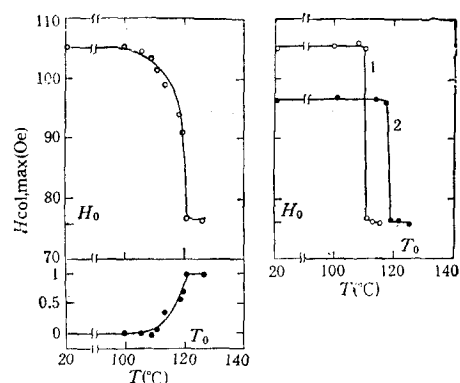
(a) 室温下 $77.5 \text{ Oe} < H_{\text{col}} \leq 106 \text{ Oe}$ 的硬磁泡(b) 室温下 $105 \text{ Oe} < H_{\text{col}} \leq 106 \text{ Oe}$ (曲线1), $95 \text{ Oe} \leq H_{\text{col}} < 100 \text{ Oe}$ (曲线2) 的硬磁泡

图3 $H_b = 61 \text{ Oe}$ 时样品2#室温 $H_{\text{col,max}}$ 及 ρ 与试验温度 T 的关系

2. 高 H_b 情形

对样品2#, 选固定静态偏磁场 $H_b = 61 \text{ Oe}$. 如图1所示, 这使得 $T > 55^\circ\text{C}$ 时 $H_{b0} > H_{sb}(T)$, 硬磁泡畴壁中 VBL 处于压缩态. 尤其是当 T 接近 T_0 时, H_b 接近 $H_0(T)$, VBL 处于紧压缩态, 但还不至于发生自缩灭现象^[3].

对于室温下 20—25 个 $77.5 \text{ Oe} (H_0) < H_{\text{col}} \leq 106 \text{ Oe} (H_{\text{col,max}})$ 的硬磁泡, 结果示于图3(a). 可见当 $T > 105^\circ\text{C}$ 时, $H_{\text{col,max}}$ 开始下降, 相应的 ρ 上升, 表明部分硬磁泡已经软化. 但是 $\rho \approx 1$, $H_{\text{col,max}} \approx H_0$ 的临界温度 T_0 仍是 $120 \pm 1^\circ\text{C}$. 整个软化温区宽约 15°C .

为了搞清这个现象, 我们在室温下筛选出缩灭场分布范围较窄的两种硬磁泡. 它们的 $H_{\text{col,max}}-T$ 曲线如图3(b)所示. 可见, 畴壁中的 VBL 链仍然是突然解体的, 但缩灭场高的硬磁泡, 由于畴壁中 VBL 数多, 临界温度较低 (曲线1). 所以图3(a)中 15°C 的软化温区实际上反映了当 VBL 受压缩, 处于非平衡态时, VBL 数目不同的 VBL 链解体的温度不同. $T = 105^\circ\text{C}$ 相应于含 VBL 数最多的硬磁泡的解体温度, $T = 120^\circ\text{C}$ 则相应于含 VBL 数最少的硬磁泡的解体温度. 对含 VBL 数最少的硬磁泡来说, 虽然 H_{b0} 较高, 但因 VBL 数少, 所以 VBL 仍处于非压缩态, 因而临界温度与低 H_{b0} 情形相同.

上述结果与文献[3]的“较硬的硬磁泡比较容易损失 VBL”的结论定性一致. 我们认为, 在 H_{b0} 较高 VBL 受压缩的情况下, 缩灭场 H_{col} 越高的硬磁泡 VBL 越多, 因而压缩得越紧; 正是这种紧密压缩的状态使 VBL 链能在较低温度下解体. 而在低 H_{b0} 情形, 硬磁泡呈条状畴, 不论 VBL 数目多少, VBL 间都处于平衡间距, 因而 VBL 链解体

的温度相同。因此临界温度 T_0 实际上是硬磁泡畴壁中处于非压缩平衡态的 VBL 链的解体温度。

四、结 论

本文通过两种成份的 5 个外延石榴石磁泡样品中硬磁泡及其相应硬条畴的温度实验,得到了下述结论:

1. 存在着一个与材料参量有关的临界温度 T_0 , 当 $T \geq T_0$ 时, 所有硬磁泡都软化为正常磁泡; 当 $T < T_0$ 时, 升降温过程可逆, 硬条畴畴壁中的 VBL 链不变。实际上, T_0 是硬磁泡中处于非压缩自平衡态的 VBL 链解体的临界温度。
2. 当温度 T 升高达到 T_0 时, 畴壁中 VBL 消失的方式是 VBL 链的突然解体。
3. 当静态偏场大到使 VBL 处于压缩态时, 含 VBL 数较多的硬磁泡在较低的温度下软化, VBL 链解体的温度低于 T_0 。

[1] S. Konishi, *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-19** (1983), 1838.

[2] 韩宝善等, 物理学报, 待发表。

[3] J. Haisma *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **27**(1975), 459.

[4] 韩宝善, 聂向富, 唐贵德, 奚卫, 物理学报, **34**(1985), 1396.

[5] 聂向富, 唐贵德, 凌吉武, 韩宝善, 物理学报, **35**(1986), 338.

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE ON ORDINARY HARD BUBBLES

HUO SU-GUO NIE XIANG-FU

(Department of Physics, Hebei Teacher's University, Boading)

HAN BAO-SHAN

(Institute of Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

The influence of temperature on ordinary hard bubbles and their corresponding hard stripe domains in epitaxial garnet bubble films was investigated experimentally. A critical temperature T_0 , which is related to the parameters of bubble films, was found. When the testing temperature $T < T_0$, the VBL chains in hard domain walls are not changed after temperature increasing and then decreasing. When $T > T_0$, however, the VBL chains disappear, so that all of hard domains become soft. When VBLs in walls are compressed, the harder the domain, the lower its softening temperature. During softening, the way of VBL disappearance is a sudden break down of the whole chain.