

温度对垂直布洛赫线链解体临界面内 磁场区间的影响*

霍素国

(河北师范大学物理系, 石家庄 050016)

韩宝善 李伯臧

(中国科学院物理研究所, 北京 100080)

(1993年9月20日收到)

实验研究了温度对液相外延石榴石磁泡薄膜中条状普通硬磁畴壁内的垂直布洛赫线(VBL)链解体临界面内磁场区间的影响。发现存在一对特征温度 $T_0^{(1)}$ 和 $T_0^{(2)}$ (前者比后者略低但均高于室温), 在从室温到 $T_0^{(2)}$ 的每个温度 T 下, 使 VBL 逐渐消失的面内磁场 H_{ip} 都分布在一个与 T 有关的区间 $[H_{ip}^{(1)}(T), H_{ip}^{(2)}(T)]$ 内, 称为临界面内磁场区间: $H_{ip} < H_{ip}^{(1)}(T)$ 时, VBL 链保持不变; $H_{ip}^{(1)}(T) < H_{ip} < H_{ip}^{(2)}(T)$ 时, 随着 H_{ip} 的增加, 越来越多的 VBL 消失; $H_{ip} > H_{ip}^{(2)}(T)$ 时, 所有 VBL 都消失。 $H_{ip}^{(1)}(T)$, $H_{ip}^{(2)}(T)$ 及 $H_{ip}^{(2)}(T) - H_{ip}^{(1)}(T)$ 均随 T 的升高而下降, 前二者分别于 $T_0^{(1)}$ 和 $T_0^{(2)}$ 降为零。比值 $H_{ip}^{(2)}(T)/H_{ip}^{(1)}(T)$ 随 T 的升高而升高, 在低温段 (包括室温) 升高缓慢且约为 $\sqrt{2}$, 在 $T_0^{(1)}$ 附近急剧升高且至 $T_0^{(2)}$ 时趋于 ∞ 。对以上结果做了理论分析。

PACC: 7570K

1 引言

关于磁泡薄膜内条状硬磁畴壁中同号布洛赫线(VBL)链稳定性的研究, 无论是对磁畴壁物理^[1]的完善, 还是对超高密度 ($> 1\text{Gbit}/\text{cm}^2$) 布洛赫线存储器^[2]的研制, 都是非常重要的。1985年文献[3]的实验表明, 当沿磁泡膜面施加的磁场 (称为面内磁场或面内场) H_{ip} 达到某个临界值 H'_{ip} 时, 存在于条畴壁内的同号 VBL 链会突然消失。1992年文献[4,5]通过更细致的观测发现, 在 H_{ip} 的作用下, VBL 链并非当 H_{ip} 达到某个临界值时突然解体, 而是链中的 VBL 在 H_{ip} 的某个区间 $[H_{ip}^{(1)}, H_{ip}^{(2)}]$ 内逐渐消失, 我们称此区间为临界面内场区间; 文献[3]中的 H'_{ip} 实际上是此处的 $H_{ip}^{(2)}$ 。此外我们发现 $H_{ip}^{(2)}/H_{ip}^{(1)} \approx \sqrt{2}$ 。以上实验^[3-5]均是在室温下做的。实际上文献[6,7]的实验早已指出, 即使不加面内场, T 达到某个临界温度 T_0 后 VBL 链也会解体。显然, 这个 T_0 就是特征温度 $T_0^{(2)}$ 。

* 国家自然科学基金和磁学国家重点实验室资助的课题。

本工作对面内场和温度的综合效应进行实验研究,具体地是考察温度 T 对临界面内场区间(今后记为 $[H_{ip}^{(1)}(T), H_{ip}^{(2)}(T)]$) 的影响,并对实验结果作一定的解释。

2 实 验

于室温(32℃)下在磁泡膜内产生一定数目的软畴段,加适当的单次^⑩或系列^⑪脉冲将软畴段硬化为不含哑铃畴的硬磁泡。把静态偏磁场 H_b 增加到硬磁泡标准场 H_0 ,筛选出数目为 N_i 的普通硬磁泡,再将 H_b 缓慢地降至零使所有这些普通硬磁泡变成条畴(称为普通硬条畴)。接着把温度升到 T ,恒温,加大小为 H_{ip} 的面内磁场两分钟后再把它降至零。然后,降温到室温,增大 H_b 至 H_0 ,计数剩余的普通硬磁泡数目 N_f 。这样便得到普通硬磁泡软化率 $\rho = (N_i - N_f)/N_i$ 。继续增加 H_b 直到这些剩余硬磁泡刚好全部消失为止,记下这个称为硬磁泡最大缩灭场 $H_{col,max}$ 的 H_b 值。针对另一个 H_{ip} 值重复上述测量。如此反复地进行,就得到在给定 T 下的 $\rho-H_{ip}$ 和 $H_{col,max}-H_{ip}$ 曲线以及 VBL 链由保持不变到全部解体的临界面内场区间下限 $H_{ip}^{(1)}(T)$ 和上限 $H_{ip}^{(2)}(T)$ 。改变 T 值,在每个固定 T 下重复前述测

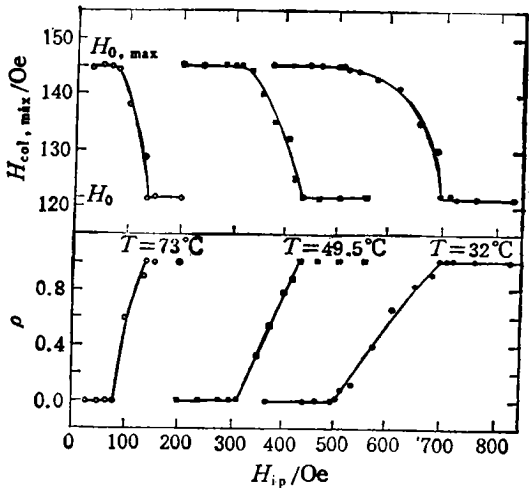


图 1 温度 $T = 32, 49.5$ 和 73°C 时,普通硬磁泡的软化率 ρ 和最大缩灭场 $H_{col,max}$ 与面内磁场 H_{ip} 的关系

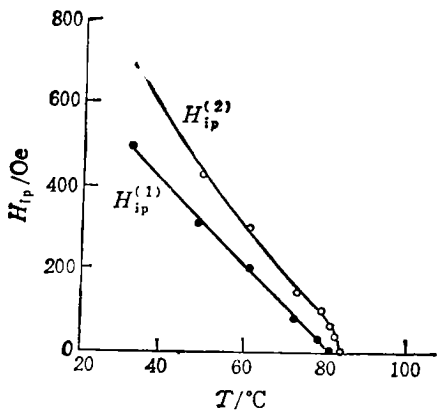


图 2 临界面内场区间 $[H_{ip}^{(1)}(T), H_{ip}^{(2)}(T)]$ 与温度 T 的关系

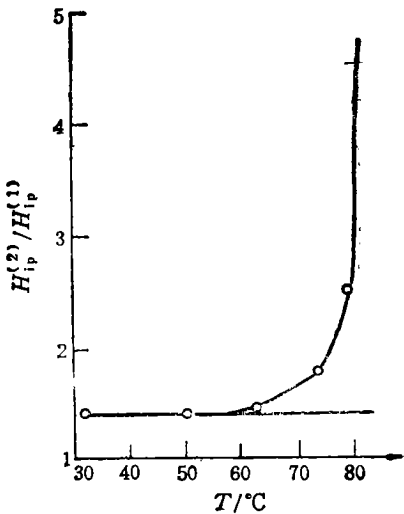


图 3 比值 $H_{ip}^{(2)}(T)/H_{ip}^{(1)}(T)$ 与温度 T 的关系

量,直至找出分别使 $H_{\text{ip}}^{(1)}$ 和 $H_{\text{ip}}^{(2)}$ 达到零的温度 $T_0^{(1)}$ 和 $T_0^{(2)}$ 为止。

实验中温度的控制精度为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$, 样品(液相外延石榴石磁泡薄膜)与文献[4]—[7]的相同,但我们只对其中的一个做了仔细测量,它的标称成分为 $(\text{YSmLuCa})_3(\text{FeGe})_5\text{O}_{12}$, 膜厚 $h=6.6\mu\text{m}$, 室温下的特征长度 $l=0.59\mu\text{m}$, 饱和磁化强度 $4\pi M_s=210.6\text{G}$, 条泡转变场 $H_{\text{tb}}=102.5\text{Oe}$, 软泡缩灭场 $H_0=120.4\text{Oe}$, 硬泡标准场 $H_0=122.5\text{Oe}$, 硬泡最大缩灭场 $H_{\text{col,max}}=145.0\text{Oe}$ 。

图1示出不同 T 下, ρ 和 $H_{\text{col,max}}$ 随 H_{ip} 变化的测量结果,其中, $\rho=0$ 和

$$H_{\text{col,max}} = H_{0,\text{max}}$$

以及 $\rho=1$ 和 $H_{\text{col,max}}=H_0$ 分别对应于 VBL 链无变化以及全部消失^[3-5]。图2以及图3分别示出测得的 $H_{\text{ip}}^{(1)}(T)$ 和 $H_{\text{ip}}^{(2)}(T)$ 以及 $H_{\text{ip}}^{(2)}(T)/H_{\text{ip}}^{(1)}(T)$ 对 T 的依赖关系。

3 讨论与结论

由以上实验结果知,磁泡薄膜中条状普通硬磁畴壁内的 VBL 链于不同温度下在面内磁场作用下的消失,有下列表现:

3.1 存在一对特征温度 $T_0^{(1)}$ 和 $T_0^{(2)}$ (前者比后者略低但都高于室温),在从室温到 $T_0^{(2)}$ 范围内的每个温度 T 下,使 VBL 逐渐消失的面内场 H_{ip} 分布于与 T 有关的一个临界界面内场区间 $[H_{\text{ip}}^{(1)}(T), H_{\text{ip}}^{(2)}(T)]$ 内: $H_{\text{ip}} < H_{\text{ip}}^{(1)}(T)$ 时 VBL 链保持不变;

$$H_{\text{ip}}^{(1)}(T) < H_{\text{ip}} < H_{\text{ip}}^{(2)}(T)$$

时, VBL 随 H_{ip} 的增加而逐渐消失; $H_{\text{ip}} > H_{\text{ip}}^{(2)}(T)$ 时 VBL 链完成解体。

3.2 $H_{\text{ip}}^{(1)}(T)$, $H_{\text{ip}}^{(2)}(T)$ 和 $H_{\text{ip}}^{(2)}(T) - H_{\text{ip}}^{(1)}(T)$ 均随 T 的升高而下降,前二者分别于 $T_0^{(1)}$ 及 $T_0^{(2)}$ 降为零。

3.3 比值 $H_{\text{ip}}^{(2)}(T)/H_{\text{ip}}^{(1)}(T)$ 随 T 的升高而升高,在低温段(包括室温)升高缓慢且约为 $\sqrt{2}$,在 $T_0^{(1)}$ 附近升高剧烈且至 $T_0^{(2)}$ 时趋于 ∞ 。

以上表现不限于前述一个样品,对文献[4]—[7]中的诸多磁泡膜都观察到了,所以我们认为这些表现具有普遍性;更全面的实验正在进行。

关于平行于 H_{ip} 的布洛赫壁中的同号 VBL 链在前者作用下的解体,1986年文献[10]把它归结为一个垂直布洛赫线对(VBLP)的解体问题(以下称为“对模型”)进行了理论分析,数值计算指出,当 H_{ip} 增加到某个阈值(与文献[3]中 H'_{ip} 的测量值接近)时 VBLP 将失稳。显然,随着 H_{ip} 的增加, VBLP 应更加受到压缩,即其宽度和厚度应逐渐变小。这种估计已于近期为文献[11]用“集中模型”做的计算所证明。众多的实验^[3,4-7]表明,即使将 H_{ip} 增大到使 VBL 解体,条状磁畴壁也不是完全平直的,具有明显的蛇形弯。我们^[9]最近的理论分析指出,存在于与 H_{ip} 夹任何角度 θ 的畴壁段中的 VBLP 均会受到压缩,而当 $\theta=0^\circ$ (或 90°) 和 45° 时 VBLP 受到的压缩分别达到最大和最小。VBLP 被压缩后该处的交换能密度自然会升高,这应是它失稳的原因。文献[10]只考虑了 VBLP 宽度均匀扰动导致的失稳,而更有效的扰动应是非均匀的,特别是空间局域的,如布洛赫点(BP)。这种看法已被实验证实(文献[10]中失稳场的计算值大于 H'_{ip} 的测量值);另外还得到拓扑考虑的支持^[12]: 由于 VBLP 是拓扑稳定的,故它的消失应通过 BP 于其端部

(在磁泡膜表面上)形核的机制来实现。显然, VBLP 被压缩得越紧则 BP 越易形核, 从而在 θ 不同的畴壁段中, VBLP 消失的临界面内场是不同的。因此于固定 T 下, 存在于蛇形弯曲畴壁中的众多 VBL 应在 H_{ip} 的一个区间 $[H_{ip}^{(0)}(T), H_{ip}^{(90)}(T)]$ 内逐渐消失, 此区间的下限及上限分别是 0° (或 90°) 及 45° 畴壁段中 VBLP 消失的临界面内场。不言而喻, BP 的形核是一个热激活过程, 因而 T 愈高 BP 形核的几率愈大, 从而高温下使 VBLP 消失的面内场比低温下的小。

以上论述定性地解释了图 1 和图 2 所示的实验结果。另外易见, 即使不加面内场 (这时 VBL 将成群等间距地聚集), 虽然“对模型”不再适用, 但随着 T 的升高, 在任一对相邻 VBL 的端部也可能有 BP 形核, 故特征温度 $T_0^{(0)}$ 和 $T_0^{(90)}$ (见图 2) 的存在亦是是可以理解的。

按文献[5]的计算 (其所用模型显然与 T 无关), 应有 $H_{ip}^{(90)}(T)/H_{ip}^{(0)}(T) \approx \sqrt{2}$ 。但图 3 表明, 此关系式仅在较低温度 (包括室温) 下成立。实验与理论的这种分歧, 尚待深入研究; 事实上文献[5]中所用的模型仍是较粗糙的。

- [1] A. P. Malozemff & J. C. Slonczewski, *Magnetic Domain Walls in Bubble Materials*. (Acad. Press, New York, 1979).
- [2] S. Konishi, *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-19**(1983), 1838.
- [3] 李靖元, 于志弘, 韩宝善, 张寿恭, *物理学报*, **34**(1985), 24.
- [4] Huo Su-guo, Li Bo-zang & Han Bao-shan, *Proc. of 2nd Intern. Symp. on Phys. of Magn. Matrs.* Shougong Zhang ed, (Intern. Acad. Press, Beijing 1992), pp. 343—346.
- [5] Huo Suguo, Li Bozang and Han Baoshan, *Chin. Phys. Lett.* **9**(1992), 545.
- [6] 霍素国、聂向富、韩宝善, *物理学报*, **37**(1988), 1703.
- [7] B.S. Han, X.F. Nie, G.D. Tang & S.G. Huo, *J. de Phys.*, **49**(1988), C8-1877.
- [8] 韩宝善、聂向富、唐贵德、奚卫, *物理学报*, **34**(1985), 1396.
- [9] 聂向富、唐贵德、凌吉武、韩宝善, *物理学报*, **35**(1986), 338.
- [10] X. T. Yu, B.S. Han, B.Z. Li & F.C. Pu, *J. Magn. Magn. Matrs.*, **62**(1986), 233.
- [11] Bo-zang Li, Yong-xin Yan Wei-Feng & Feng-li Yan, *Proc. of 2nd Intern. Symp. on phys. o Magn. Matrs.* Shougong Zhang ed, (Intern. Acad. Press, Beijing, 1992), pp. 180—183.
- [12] 阎凤利、李伯斌, *物理学报*, **37**(1988), 95; *Chin. Phys.*, **9**(1989), 96.

INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE CRITICAL IN PLANE MAGNETIC FIELD RANGE FOR THE BREAK- DOWN OF VBL CHAINS

HUO SU-GUO

(Department of Physics, Hebei Teachers University, Shijiazhuang 050016)

HAN BAO-SHAN LI BO-ZANG

(Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing 100080)

(Received 20 September 1993)

ABSTRACT

The influence of temperature T on the critical in-plane magnetic field range for the break-down of vertical Bloch line (VBL) chains within the stripe Bloch domain walls with ordinary hardness in magnetic bubble films of LPE garnet is studied experimentally. We find that there exist two characteristic temperatures, $T_0^{(1)}$ and $T_0^{(2)}$, with the former slightly lower than the latter and both higher than room temperature T_r , such that at any $T \in [T_r, T_0^{(2)}]$ there is a T -dependent critical range, $[H_{ip}^{(1)}(T), H_{ip}^{(2)}(T)]$, of in-plane magnetic field H_{ip} : all VBLs keep stable when $H_{ip} < H_{ip}^{(1)}(T)$, VBLs disappear gradually as H_{ip} increases when $H_{ip}^{(1)}(T) < H_{ip} < H_{ip}^{(2)}(T)$, no VBL remains when $H_{ip} > H_{ip}^{(2)}(T)$. The lower and upper limits as well as the width of the critical in-plane field range all decrease as T increases, and the former two reach zero at $T_0^{(1)}$ and $T_0^{(2)}$, respectively. The ratio $H_{ip}^{(2)}(T)/H_{ip}^{(1)}(T)$ increases with temperature elevating, slowly at lower T including T_r , where this ratio is about $\sqrt{2}$ and rapidly near $T_0^{(1)}$. Some theoretical arguments are presented.

PACC: 7570K