

一次脉冲偏磁场作用下硬磁泡的形成

韩宝善

(中国科学院物理所)

聂向富 唐贵德

(河北师范大学物理系)

奚 卫

(中国科学院物理所)

1984年9月8日收到

提 要

实验研究了一次脉冲偏场作用下外延石榴石膜硬磁泡的形成规律。通过实验和计算,证明了硬泡畴壁中同号的 VBL 一般地说并非一个脉冲产生一对。通过双重曝光照相法揭示出软畴段的硬化与畴段运动形式的关系,发现了最适于硬泡形成的两种运动形式,并阐明了“软硬磁泡形成的分界场” $H_{[b]}$ 的物理意义。

引 言

磁泡技术的发展加深了人们对畴壁的认识。磁畴和畴壁的结构及其运动不但是铁磁学也是非线性物理等研究的一个重要对象。此外,对畴壁的深入了解可能会导致象“布洛赫线存储器”(Bloch line memory)这样的全新的应用方案^[1]。因此,深入研究畴壁中具有大量同号的垂直布洛赫线 (Vertical Bloch lines, 以下简称 VBL) 的硬磁泡 (hard bubbles) 的形成规律是必要的。

硬磁泡形成的方法有几种。Nishida 等人^[2]用扁平小线圈施加系列脉冲偏场的方法形成硬磁泡。Tabor 等人^[3]用导体环快速退磁法把正常磁泡变为枝状畴后,再收缩为硬磁泡。Nishida 等人^[4]还用平行导体回路施加单脉冲切割条状畴而产生硬磁泡。刘英烈等人^[5]首次报道,用扁平小线圈施加系列脉冲偏场,硬磁泡的形成几率随脉冲偏场强度的增加而迅速减小。他们发现存在一临界脉冲偏场强度 H_{p0} , 当 $H_p > H_{p0}$ 时,硬磁泡不再形成,所产生的磁泡都是正常磁泡 (以下称软磁泡)。毛廷德等人^[6]进而用更多的样品在更宽的脉冲偏场条件下,进行了正常畴段 (指可收缩为正常磁泡的畴段,以下称软畴段) 的硬化实验。他们发现在 0.1 至 $8\mu s$ 的脉冲宽度 τ_p 的范围内, H_{p0} 与 τ_p 无关,因此直流偏磁场 H_{b0} 和 H_{p0} 之和在总偏场 $H-\tau_p$ 图上是一条平行于 τ_p 轴的直线,称为 b 线。在以后的工作中,就把 $H_{[b]} = H_{p0} + H_{b0}$ 称为“软硬磁泡形成的分界场”¹⁾。关于 H_{p0} 从而 $H_{[b]}$ 的物理意义,文献^[6]曾作过一些推测,但未进行实验验证。

本文目标就是探索软畴段在脉冲偏场作用下硬化的细节和 $H_{[b]}$ 的物理意义。为此,我们在一个典型的石榴石薄膜样品上详细研究了最简单情况下,即一次脉冲偏磁场作用下硬磁泡的形成规律。由于在泡径为 2— $8\mu m$ 的多种外延石榴石磁泡膜上都观察到了完

1) 韩宝善,李靖元,私人通信。

全相似的硬泡形成的情形^[5,6], 因而我们认为我们的典型样品的实验结果和讨论是有普遍意义的。

实 验 方 法

本研究的实验方法与文献[5]和[6]基本相同, 用 Helmholtz 线圈组产生直流偏磁场 H_b , 并用紧贴样品膜面的扁平小线圈(内径 1mm, 10 圈, 磁场常数为 115Oe/A) 产生方向和 H_b 一致的脉冲偏磁场。偏场脉冲可以是单次脉冲, 也可以是频率为 f 的系列脉冲, 其强度为 H_p , 宽度为 τ_p 。

实验用的样品是 (111) 面外延石榴石磁泡薄膜, 未经离子注入, 标称成份为 $(\text{YSmCa})_3(\text{GeFe})_5\text{O}_{12}$, 膜厚 $h = 7.6\mu\text{m}$, 室温下特征长度 $l = 0.94\mu\text{m}$, 饱和磁化强度 $4\pi M_s = 143\text{G}$, 单轴各向异性常数 $K_u = 5.83 \times 10^3 \text{erg/cm}^3$ 。另外, 样品的成泡场 $H_{ib} = 61.8\text{—}62.2\text{Oe}$, 软泡的缩灭场 $H_0 = 73.7\text{Oe}$, 硬泡的最大缩灭场 $H_{0\text{max}} = 103.2\text{Oe}$ 。通常是把缩灭场与 H_0 之差小于及等于 $0.01 \times 4\pi M_s$ 的磁泡称为软磁泡。因而, 我们把缩灭场 H_{col} 居于 $75\text{Oe} < H_{\text{col}} \leq 103.2\text{Oe}$ 范围的磁泡统称为我们样品的硬磁泡。

我们用软畴段作为所有实验的出发点。产生软畴段的方法在文献[6]中已有介绍。实验中, 我们选用的固定直流偏场 $H_{b0} = 51.3\text{Oe}$, 脉冲偏场的宽度 $\tau_p = 0.5\mu\text{s}$, $f = 500\text{Hz}$, 作用时间为 1—2s。强度 H_p 则选择得使产生的软畴段数为 60 条左右。

然后, 仍在 $H_{b0} = 51.3\text{Oe}$ 下对这些软畴段施加不同 H_p 及 τ_p 的一次偏场脉冲, 使软畴段硬化并测量硬泡的形成几率 P 以及这些硬泡的最大缩灭场 $H_{\text{col,max}}$ 。测量 P 的程序如下: 在施加一次偏场脉冲后, 把直流偏场 H_{b0} 从 51.3Oe 增大到样品成泡场。在畴段收缩为磁泡后测出磁泡总数 N_1 。然后, 再把 H_b 增大到 75Oe (留下的磁泡的缩灭场因而都大于 75Oe), 测出留下的磁泡总数 N_2 。按照前面关于硬泡的定义, N_2 即为形成的硬泡数。硬泡形成几率则为 $P = N_2/N_1$ 。

为了研究软畴段的硬化与其运动形式的关系, 我们用双重曝光法在同一底片上拍摄软畴段在一次偏场脉冲作用前后的象。两次的曝光量不同, 使脉冲前后畴段象易于分辨。然后把 H_b 提高到 75Oe, 并拍摄所产生的硬磁泡。把畴段的双重曝光底片与硬泡底片重合, 就能识别硬化了的以及未被硬化的畴段。

实 验 与 讨 论

1. 一次脉冲偏场作用下硬磁泡的形成规律

控制产生条件, 使每次实验所用的软畴段数保持在 60 条左右。对它们施加典型的 $\tau_p = 0.5\mu\text{s}$ 的一次偏场脉冲, 室温下所测得的总泡数 N_1 与硬泡数 N_2 , 硬泡形成几率 P 及这些硬泡的最大缩灭场 $H_{\text{col,max}}$ 与脉冲强度 H_p 的关系曲线分别由图 1(a), (b) 及 (c) 所示。图 1 中每个实验点都是在固定 H_p 下测量 3—5 次所得结果的算术平均值。

由图 1(a) 可见, 在 $H_p = 40\text{Oe}$ 以前, 总泡数 N_1 基本上不变。当 $H_p > 40\text{Oe}$ 时, N_1 很快上升, 并在 $H_p \approx 52.8\text{Oe}$ 时达到极大值。然后, N_1 随 H_p 值的增加更快地减少

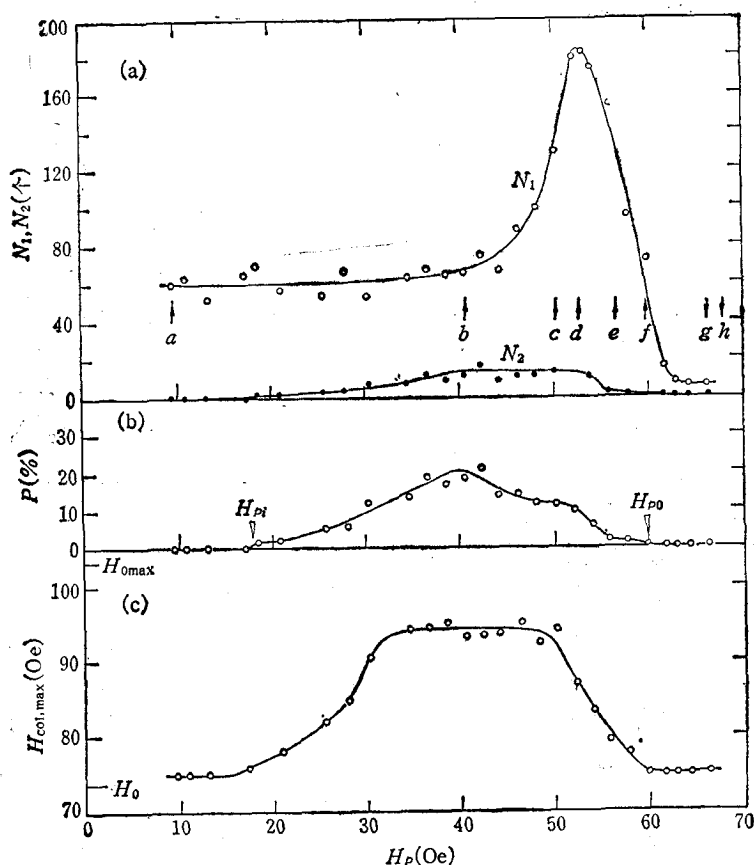


图1 一次脉冲偏场作用下, (a) 产生的总磁泡数 N_1 与硬泡数 N_2 , (b) 硬泡形成几率 P , (c) 硬泡的最大缩灭场 $H_{col,max}$ 与脉冲强度 H_p 的依赖关系 ($\tau_p = 0.5\mu s$, $H_{b0} = 51.3Oe$, 室温)

至10个以下。与此相对照,一次偏场脉冲作用后形成的硬泡数,即硬化了的软畴段数 N_2 ,在 H_p 为18Oe后不再为零,并随 H_p 的增大逐步增多。在 H_p 处于40至52.8Oe范围内时, N_2 基本上保持在14个左右。当 H_p 继续增大时 N_2 也很快减小并至零。

图1(b)表明,宽度为 $0.5\mu s$, 强度为约40Oe的一次偏场脉冲就能使高达20%的软畴段硬化。由图1(b)可定出临界脉冲偏场强度 $H_{p0} = 60Oe$, 当 $H_p > H_{p0}$ 时硬磁泡不再形成。与其相应的软硬磁泡形成的分界场 H_{lb1} 则为111.3Oe ($H_{lb1} = H_{p0} + H_{b0}$)。除 H_{p0} 外,从图1(b)还可定出硬磁泡形成的起始阈值场 $H_{pi} = 18Oe$, 当 $H_p < H_{pi}$ 时,硬磁泡也不能形成。与 H_{pi} 相应的总偏场 $H_{li1} = H_b + H_{pi}$ 以后将称为“硬磁泡形成的阈值场”。这里 $H_{li1} = 69.3Oe$ 。 H_{p0} 和 H_{pi} 都已在图1(b)中标出。

图1(c)是每次实验产生的硬泡的最大缩灭场 $H_{col,max}$ 与 H_p 的关系曲线。正如前述,我们把 $H_{col} > 75Oe$ 作为硬泡的标准,故取 $P = 0$ 时相应的 $H_{col,max} = 75Oe$ 。为了作比较,在纵坐标上标出了样品的软泡缩灭场 H_0 及最大的硬泡缩灭场 H_{0max} 。比较图1(b), (c)可以看出,随 H_p 的增大,不但 P 逐渐增大, $H_{col,max}$ 也逐渐增大,而且后者比 P 更早地达到饱和值 ($\approx 94Oe$)。该饱和值一直保持到 H_p 接近于约50Oe后才较快地

下降至零。值得强调的是 $0.5\mu\text{s}$ 的一次偏场脉冲, 就能使软畴段硬化到具有约 94Oe 的消灭场, 该值虽低于 $H_{0\text{max}}(103.2\text{Oe})$, 但也是相当可观的。

除了 $0.5\mu\text{s}$ 外, 在室温下还测量了脉冲宽度 τ_p 为 $0.15, 1.5$ 及 $4.0\mu\text{s}$ 时, 一次脉冲偏场下硬泡的形成几率 P 与脉冲强度 H_p 的关系。实验结果连同上述 $0.5\mu\text{s}$ 结果示于图 2。可见 P 随 H_p 的增大都有增大, 达极大值, 然后减小的过程, 而且 P 的极大值随 τ_p 的增大而增大, 从 $0.15\mu\text{s}$ 时的 11% 增大到 $4.0\mu\text{s}$ 时的 49% 。不同宽度时的 H_{pi} 分别是

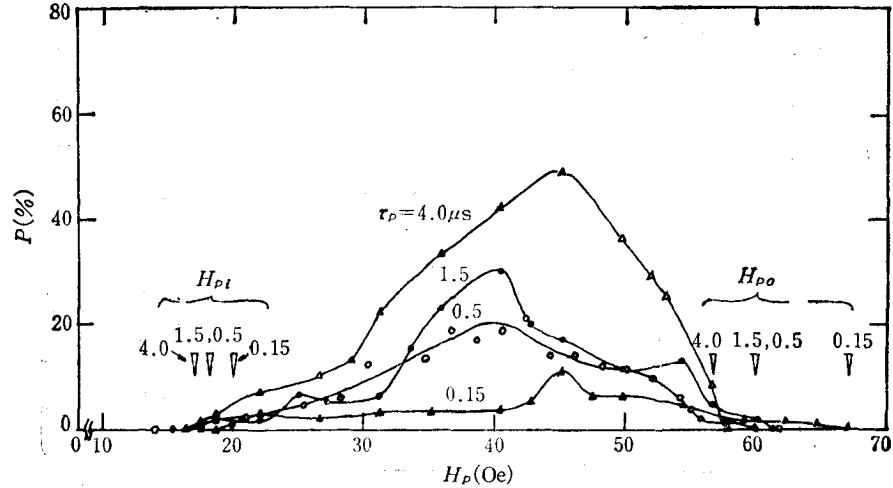


图2 不同宽度的一次脉冲偏场作用下硬泡形成几率 P 与脉冲强度 H_p 的关系 ($H_{p0} = 51.3\text{Oe}$, 室温)

$16.9\text{Oe}(4.0\mu\text{s})$, 18Oe (1.5 和 $0.5\mu\text{s}$) 及 $20\text{Oe}(0.15\mu\text{s})$, H_{p0} 分别是 56.4Oe ($4.0\mu\text{s}$), 60Oe (1.5 和 $0.5\mu\text{s}$) 及 67.2Oe ($0.15\mu\text{s}$), 它们都已在图 2 中标出。可见较大的 τ_p 相应的 H_{pi} 与 H_{p0} 值都比较小。很明显, 与多次脉冲结果^[5,6]不同, 在一次脉冲偏场作用下, 软硬磁泡形成的分界场 H_{bl} 不再与 τ_p 无关。

2. 一次脉冲偏场作用下在畴壁中形成的 VBL 的数目

众所周知, 硬磁泡是畴壁中具有大量同号 VBL 的磁泡。相对于软磁泡, VBL 在畴壁中的存在使畴壁变窄和畴壁能增高, 因而硬泡的静态特性必须用下面的修正的归一力方程来描述^[7]:

$$(\sigma_0/4\pi M_s^2 h)[1 + (2S\Delta_0/d)^2 + (1/2Q)]^{-1/2} + (d/h)(H_b/4\pi M_s) - F(d/h) = 0, \quad (1)$$

其中 $\sigma_0 = 4(AK_u)^{1/2}$ 为软磁泡畴壁能密度, A 为交换常数, $\Delta_0 = (A/K_u)^{1/2}$ 为畴壁厚度参数, $Q = K_u/(2\pi M_s^2)$ 为品质因数, 而 $F(d/h)$ 为力函数。式中 $S = 1 + \frac{1}{2} \sum_i n_i$ 为旋转数。对硬泡, n 条 VBL 是同号的, 因此

$$S = 1 + (n/2). \quad (2)$$

把样品的具体参数代入(1)式, 就可按(1)和(2)式算得含有不同 VBL 数 n 的硬泡的泡径

d 与直流偏场 H_b 的静态理论关系. 我们算得的部分的理论结果由图 3 中实线所示. 再由实验测定 $d-H_b$ 关系, 并和理论曲线组比较, 以确定消灭场不同的硬泡中所含的 VBL

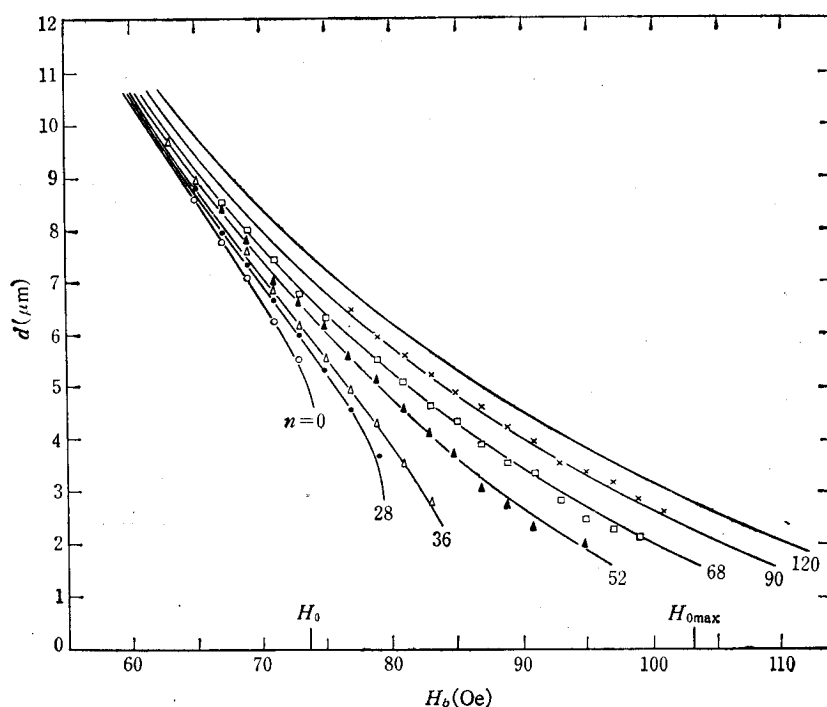


图 3 样品的软泡 ($n=0$) 和一些硬泡的泡径 d 与直流偏场 H_b 的关系. 相应消灭场如下: $\circ$ 为 75Oe; $\bullet$ 为 81Oe; $\triangle$ 为 85Oe; $\blacktriangle$ 为 97Oe; $\square$ 为 100Oe; $\times$ 为 103Oe. 实线是按(1)式得到的不同 n 时的理论曲线. n 数已在曲线上标出

数 n . 图 3 中的实验点是室温下软泡及一些消灭场不同的硬泡的例子. 用上述方法可近似地找出硬泡的 n 与 H_{col} 的对应关系, 如图 4(a) 所示. 由图 4(a) 可见, 当 H_{col} 从 75 Oe 开始增大时, n 增加得较快; 在 81Oe 至 95Oe 的大范围内, n 上升平缓; 当 H_{col} 大于

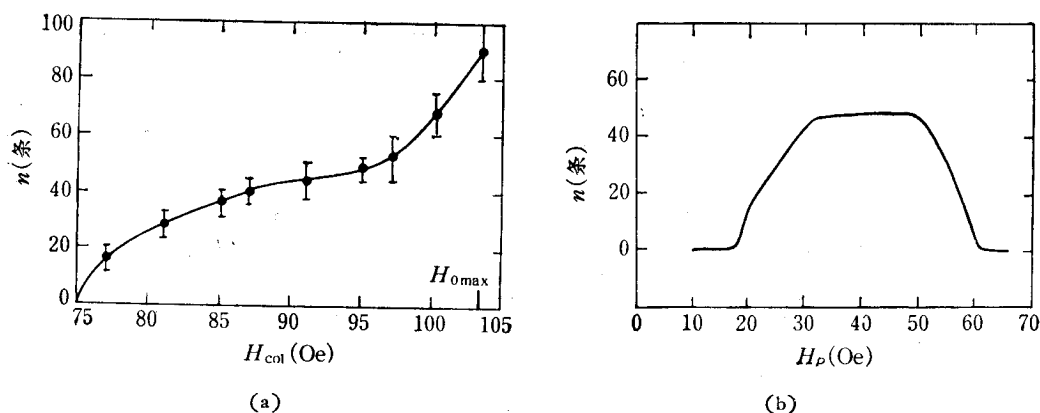


图 4 (a) 硬泡所含 VBL 数 n 与消灭场 H_{col} 的关系曲线. 数据棒表明多次测量时实验点所处的范围. (b) 从 (a) 和图 1(c) 转换的 $n-H_p$ 曲线

95Oe 时, n 又很快增加. 本样品最大的硬泡缩灭场 $H_{0\max} = 103.2\text{Oe}$, 相应的 n 约为 90 条.

按图 4(a), 就可把图 1(c) 的 $H_{\text{col,max}}-H_p$ 曲线转换为相应的 $n-H_p$ 曲线, 如图 4(b) 所示, 其饱和值约为 48 条, 相应的 $H_{\text{col,max}}$ 为 94Oe. 从 $n-H_p$ 曲线可以看出, 在 18—60 Oe 的宽广的 H_p 的范围内, $0.5\mu\text{s}$ 宽度的一次偏场脉冲, 就能在软畴段畴壁中形成几十条 VBL 线.

Nishida 等人^[2]在用 $\tau_p = 1\mu\text{s}$ 的系列脉冲偏场形成硬泡的实验中发现存在着一个脉冲电流 I_p 的阈值 I_c , 当 $I_p < I_c$ 时, 硬泡的形成几率很低. 当 $I_p = I_c$ 时, 大约 100 个脉冲就能使产生的硬泡的缩灭场达到样品的最大硬泡缩灭场 H'_0 (即本文中的 $H_{0\max}$). 通过实验和理论计算, 求得缩灭场为 H'_0 的硬泡中含有约 200 条同号 VBL, 因此他们认为 I_c 可以解释为是这样的一个脉冲幅度, 在这个幅度下每个脉冲能产生一对, 即两条 VBL. 然而, 我们的一次脉冲实验及相应的计算明确地表明了硬泡畴壁中的同号的 VBL 一般地说并非一个脉冲产生一对的.

3. 软畴段的硬化与畴段运动形式的关系

上面所述的一次脉冲偏场下硬泡的形成规律是在对约 60 个软畴段多次测量后得到的一种统计规律. 然而, 这种确定的统计规律与每个软畴段在脉冲偏场作用下的行为有关, 因此为了探求软畴段硬化的机理, 有必要研究它们在脉冲偏场作用下的运动形式. 考虑到图 1(b), (c) 中 H_p 在 40Oe 左右形成硬泡的几率最大和所产生的硬泡的 $H_{\text{col,max}}$ 最高, 所以选择 $\tau_p = 0.5\mu\text{s}$, $H_p = 40.6\text{Oe}$ 的条件拍摄脉冲前后畴段的双重曝光照片. 该条件下的典型照片如图 5(b) 所示. 由于脉冲前畴形的曝光时间少于脉冲后的, 所以各畴段的运动情况可以清楚地看出来. 在与 H_b 方向相同的 H_p 的作用下, 所有软畴段都经历一定程度的先收缩然后膨胀的过程. 而小线圈内径 1mm 范围内脉冲磁场的均匀性以及畴段之间的排斥力就造成了脉冲过程中畴段运动情况的多样性. 需要指出的是小线圈内的脉冲磁场边缘部分高, 中央部分低但比较均匀. 中央部分的范围大致可以从图 5(b) 中较短的畴段所在的区域看出来. 事实上, 本文中的 H_p 就是在这个部分通过软泡缩灭场而校准的.

尽管畴段的运动形式多种多样, 但通过 33 张双重曝光照片中全部的 213 条硬化了的及部分的 195 条未被硬化的畴段的分析, 我们发现, 畴段的主要运动形式, 大致可分为六种, 而且畴段是否硬化是与一定的运动形式相联系的. 我们定义的六种运动形式的典型照片如图 6(a—f) 所示, 现解释如下:

1) 大摆(图 6(a)) 畴段端部的摆动, 简称“端摆”, 指的是在脉冲偏场作用下畴段的一端摆动或两端同时摆动, 但在摆动的同时畴段长度有所缩短. 按摆幅大的一端的摆幅与畴段宽度之比端摆大致可分为三类: 0—2, 2—4 及大于 4. 大摆是摆幅与畴宽之比大于 4 的端摆.

2) 中摆(图 6(b)) 摆幅与畴宽之比为 2—4 的端摆.

3) 弓缩(图 6(c)) 弓形畴段的弯曲部明显收缩, 同时其端部又不伸长, 或者虽伸长但伸长的长度比弓缩处缩短的长度小, 或者一端伸长, 另一端收缩, 两者相抵.

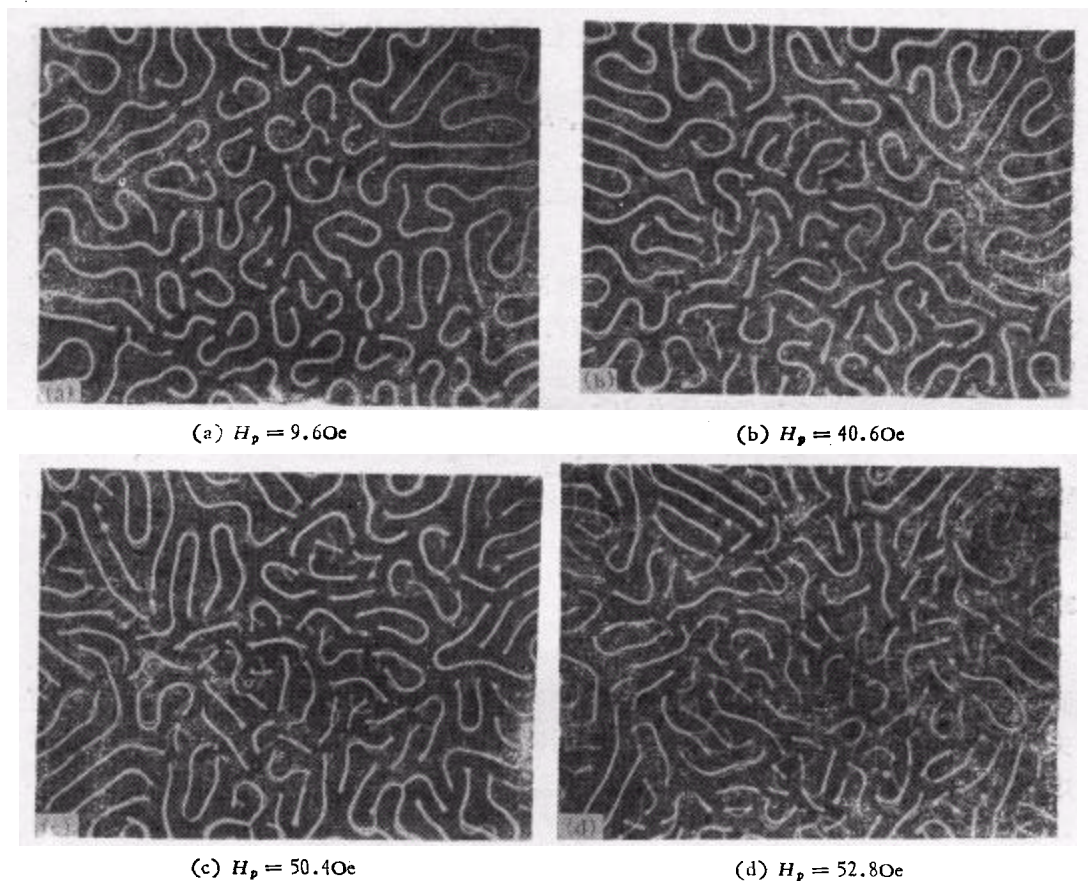


图5 典型 H_p 值时,一次脉冲偏场作用前后畴段的双重曝光照片(放大

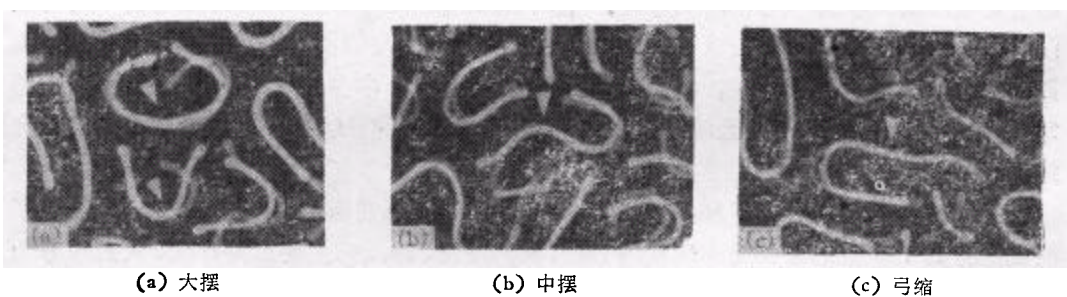


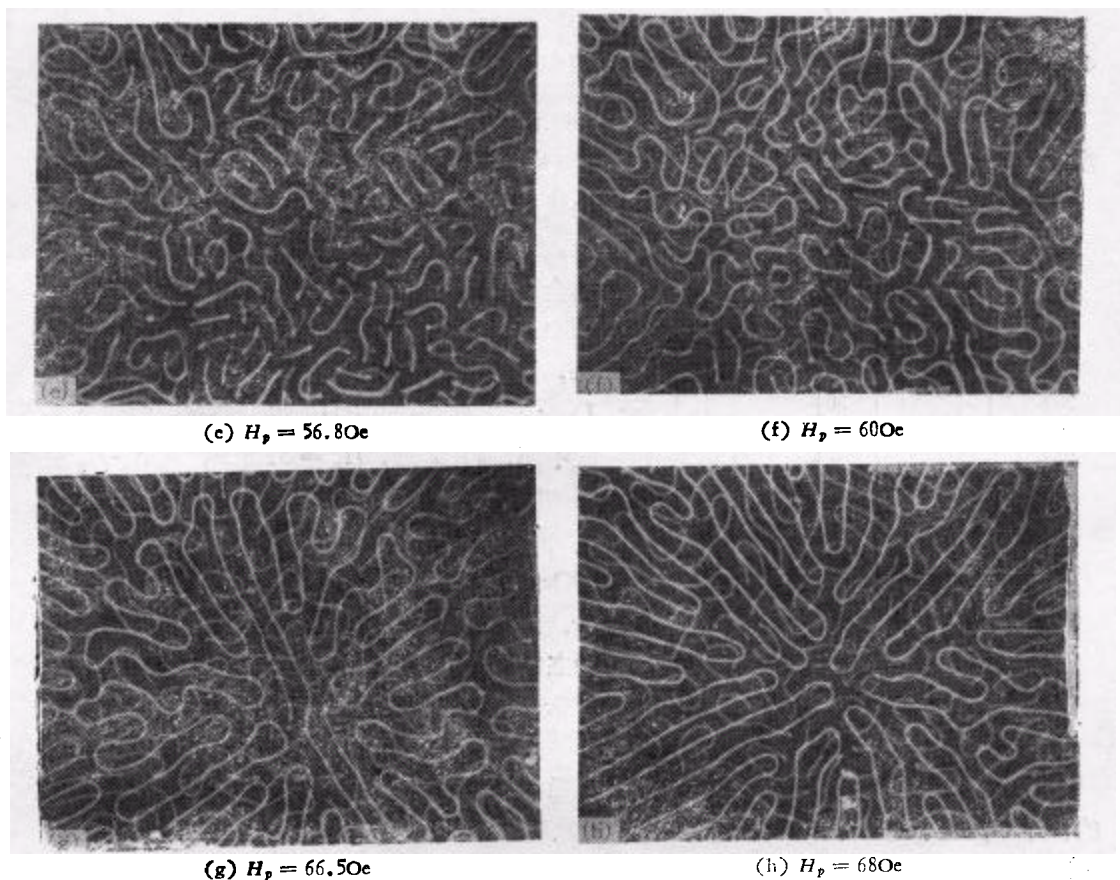
图6 一次脉冲偏场作用下软畴段的六种主要运动形式的双重曝光照片(放大约150倍),暗畴为脉冲

4) 小摆(图6(d)) 摆幅与畴宽之比为0—2的端摆,因而不动之畴,其运动也属小摆。

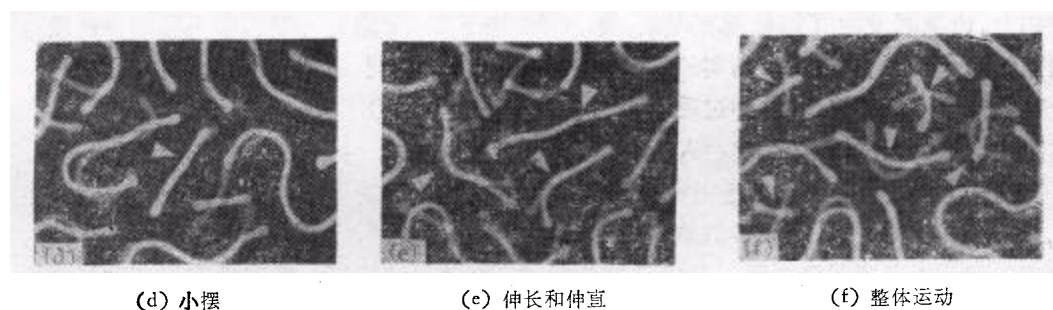
5) 伸长和伸直(图6(e)) 指畴段有明显的伸长或者在趋于伸直的同时有所伸长的运动。

6) 整体运动(图6(f)) 在偏场脉冲结束后,整个畴段发生了旋转、位移等运动。

我们发现,与软畴段的硬化相联系的主要的运动形式是弓缩和中摆两种。在213个硬化的畴段中,它们各占52%和23.5%,合计占约75%。同时,发现了软畴段不能硬化



约 100 倍)。暗畴为脉冲前,亮畴为脉冲后。 ($\tau_p = 0.5\mu\text{s}$, $H_b = 51.3\text{Oe}$)



前,亮畴为脉冲后。用“△”标出典型畴段。 ($\tau_p = 0.5\mu\text{s}$, $H_p = 40.6\text{Oe}$, $H_b = 51.3\text{Oe}$)

的运动形式主要是伸长和伸直,小摆及整体运动三种。在所调查的 195 个软畴段中,它们占的比例分别是 38%, 26% 和 24%, 合计占 88%。以上情况示于图 7。

上述实验结果表明,在脉冲偏场作用下,软畴段运动形式是多种多样的,光用畴端运动和畴端速度^[6]并不能完整地描述和解释 VBL 的形成和消失。特别是占硬泡形成几率 52% 的较单纯的弓缩的发现,为软畴段壁中大量同号 VBL 的缠绕模型的提出提供了线索。

4. 一次脉冲偏场作用下硬泡形成规律的解释

为了解释硬泡的形成规律,除了 $H_p = 40.6\text{Oe}$ 的 b 点外,我们还选择了其他七个典型 H_p 值,拍摄了脉冲前后畴段的双重曝光照片,示于图 5(a), (c)–(h). 照片中包含了

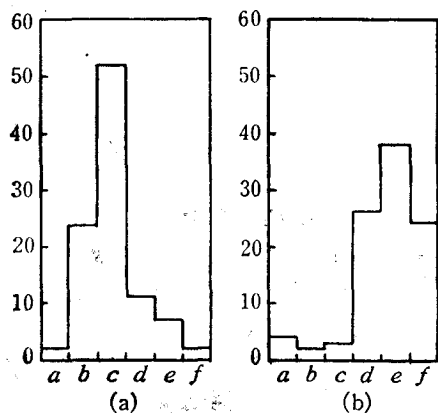


图7 软畴段的六种主要运动形式在 (a) 硬磁泡(213个), (b)软磁泡(195个)形成中的比例关系. 图中 a 为大摆, b 为中摆, c 为弓缩, d 为小摆, e 为伸长和伸直, f 为整体运动

小线圈中央畴区及部分的边缘畴区. 总共八个点,以箭头示于图 1(a),反映了 H_p 由小到大的全过程. 它们的特征是: 1) a 点, $H_p = 9.6\text{Oe}$, 小于 H_{pi} (18Oe). 2) b 点, $H_p = 40.6\text{Oe}$, 处于 N_1-H_p 曲线上 N_1 刚开始增加时. 3) c 点, $H_p = 50.4\text{Oe}$, 在 N_1-H_p 曲线上升段中部. 4) d 点, $H_p = 52.8\text{Oe}$, 在 N_1-H_p 曲线的峰顶. 5) e 点, $H_p = 56.8\text{Oe}$, 在 N_1-H_p 曲线下降段中部. 6) f 点, $H_p = H_{p0} = 60\text{Oe}$, 为临界脉冲强度. 7) g 点, $H_p = 66.5\text{Oe}$. 这时总偏场 117.8Oe 已接近样品的“磁泡动态消灭场” $H_{[d]}^{[6]}$ (118.5Oe). 8) h 点, $H_p = 68\text{Oe}$. 这时总偏场已大于 $H_{[d]}$.

分析图 5 的照片,可以清楚地看到脉冲作用后的总泡数 N_1 是如何随 H_p 的增加而变化

的. 当 H_p 较小时 (a, b 点), 脉冲不能切断软畴段, 所以 N_1 基本不变. H_p 增大时, 由于小线圈边缘区的脉冲较强, 所以该区的长畴段开始被切断, 导致 N_1 上升 (c 点). 当 H_p 大至使小线圈中央区的短畴段也有部分被切断时, N_1 达峰值 (d 点). 随 H_p 进一步增大, 边缘区发生了畴段消灭现象, 使 N_1 很快下降 (e 点). 然后, 中央区部分畴段也消灭, 使脉冲后总泡数 N_1 与实验的起始软畴段数基本相同 (f 点). g 点反映了只有一个畴段未被消灭的情况, 脉冲过后它膨胀成只有一头一尾的“单枝花畴”^[6]. 当线圈中所有畴段均被消灭后, 外部磁畴侵入线圈, 形成辐射环畴型^[6].

另一方面, 由图 5 照片还可看出, 随着 H_p 的增大, 畴段运动形式也随之变化. 当 $H_p < H_{pi}$, 比如 a 点, 绝大多数软畴段不动或只有轻微摆动, 而小摆不能使软畴段硬化, 故 $P = 0$. b 点情况已在第 3 节中详细分析过. 在这种情形下, 软畴段有了各种形式的运动, 而且其中的弓缩及中摆等导致了约 20% 的软畴段硬化. 由 P 达极大值和 $H_{col,max}$ 达饱和值说明 b 点的条件对硬泡形成最有效. 在 a, b 两点范围内, 可以想象, 软畴段的运动幅度逐渐增大, 使适合硬泡形成的弓缩及中摆等运动形式的比例增大, 导致了该范围内 N_2, P 及 $H_{col,max}$ 值的逐渐增加. 在 c 点, 中央区畴段的运动幅度与 b 点相比更大些, 但从 N_2 及 $H_{col,max}$ 值与 b 点大致持平来看, 弓缩及中摆等的比例变化不大. 由于该点 N_1 增加但 N_2 不变, P 就下降了. 在 d 点, 一方面中央区未被切断的畴段数量减少, 另一方面, 这些畴段运动激烈, 运动形式为弓缩及中摆的数目减少, 而整体运动及伸长与伸直的数目增加, 导致了 N_2 的减小及 $H_{col,max}$ 的下降. N_2 的减小和 N_1 达极大值, 使 P 进一步下降. 在 e 点, 中央区未被切断的畴段数目更少, 运动也更为激烈, 故 N_2 很小,

$H_{\text{col,max}}$ 很低, P 已接近零. f 点相应于临界脉冲偏场, 此时中央区极少数未被切断的畴段运动十分激烈, 几乎都是整体运动, 硬泡形成不再可能, 因而 $N_2 = 0$, $P = 0$, $H_{\text{col,max}}$ 也降为 75 Oe. 由此我们认为, 一次脉冲偏场作用下“软硬磁泡形成的分界场” H_{fb} 的物理意义是, 在这个总偏场下, H_{p0} 是如此之大, 使得小线圈边缘畴段被切断后产生的小畴段大量缩灭; 中央区很多畴段也被切断, 部分缩灭, 而未被切断的畴段运动是如此剧烈, 以至于不能发生弓缩及中摆等能在畴壁中形成 VBL 的运动形式, 结果脉冲后产生的全部磁泡均是软磁泡.

从上述分析可见, 第 3 节中揭示的软畴段硬化与畴段运动形式的关系大致上可以用来解释图 1(a)–(c) 所表现的硬磁泡的形成规律. 此外, 使人印象深刻的是切断软畴段似乎不能形成硬磁泡.

同样, 用第 3 节的结果也可定性解释图 2 的不同 τ_p 时的 P – H_p 关系. 如果考虑到在相同强度下, 较宽的脉冲能使畴段有较大的运动, 就能理解较宽脉冲相应的 H_{pi} 及 H_{p0} 都较低的道理. 此外, 随 H_p 的增大, 当导致软畴段硬化的弓缩、中摆等运动形式出现时, 较宽的脉冲相应的机会和强度都会大些, 因而不难理解在很大的 H_p 范围内 τ_p 越大 P 也越大的实验事实.

结 论

本文通过一次脉冲偏场作用下外延石榴石膜硬磁泡形成规律的研究, 得到了下述结论:

1. 在硬磁泡形成几率 P 与脉冲强度 H_p 的关系上, 不但存在着硬磁泡不再形成的临界脉冲偏场 H_{p0} , 还存在着硬磁泡开始形成的起始阈值场 H_{pi} . 与它们相应的是“软硬磁泡形成的分界场” H_{fb} 及“硬泡形成的阈值场” H_{ti} . 在一次脉冲偏场的情况下这些值与脉冲宽度 τ_p 都有一定的关系.
2. 对于我们的样品, 实验和计算表明一次脉冲偏场就能在软畴段畴壁中产生几十条 VBL, 这就证明了硬泡畴壁中同号的 VBL 一般地说并非一个脉冲产生一对.
3. 首次揭示出软畴段的硬化与畴段运动形式的关系. 发现弓缩和中摆是导致软畴段硬化的两种主要的运动形式, 其中弓缩又占主导地位. 而软畴段不被硬化的三种主要的运动形式则是伸长和伸直、小摆以及整体运动.
4. 脉冲偏场作用下, “软硬磁泡形成的分界场” H_{fb} 的物理意义是, 在这个总偏场下, H_{p0} 是如此之大, 使得小线圈边缘畴段被切断后产生的小畴段大量缩灭; 中央区很多畴段也被切断, 部分缩灭, 而未被切断的畴段运动是如此剧烈, 以至于不能发生弓缩及中摆等能在畴壁中形成 VBL 的运动形式, 结果, 脉冲结束后产生的全部磁泡均为软磁泡.

作者们感谢潘孝硕教授的支持和鼓励, 以及李伯斌同志的有益的讨论和张玉林同志在计算工作中的帮助.

参 考 文 献

- [1] 小西进, 檜高靖治, 日经エレクトロニクス (NIKKEI ELECTRONICS) 1983, 8.15, 141.

- [2] H. Nishida *et al.*, *ALP Conf. Proc.*, **10** (1972), 493.
- [3] W. J. Tobor *et al.*, *Bell Syst. Tech. J.*, **51** (1972), 1427.
- [4] H. Nishida *et al.*, *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-9** (1973), 517.
- [5] 刘英烈, 聂向富, 韩宝善, 物理学报, **29**(1980), 241.
- [6] 毛廷德, 李靖元, 樊世勇, 刘英烈, 物理学报, **32**(1983), 176.
- [7] A. P. Malozemoff and J. C. Slonczewski, *Magnetic Domain Walls in Bubble Materials*, Academic Press, Inc. (1979), p.96.

FORMATION OF HARD BUBBLES BY SINGLE-PULSE BIAS FIELD

HAN BAO-SHAN

(Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences)

TANG GUI-DE NIE XIANG-FU

(Department of Physics, Hobei Teacher's University)

XI WEI

(Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences)

ABSTRACT

The formation of hard bubbles by single-pulse bias field in epitaxial garnet films was investigated in some detail. It was verified by experiments and calculations that, in general, VBL in hard bubble walls are not generated by the way that one Bloch line pair is produced per pulse. The dependence of the hardening of soft domain segments on their movements was revealed by means of the method of double exposure photography. Two kinds of favorite movements for hard bubble formation were discovered and the physical meaning of the "demarcation field for soft and hard bubble formation" $H_{[b]}$ was elucidated.