

对于实验中采用的八种染料,用 KrF 激光泵浦它们,全都可以实现激射作用。用 XcF 激光泵浦它们,仅仅对短波长(336 nm)的对-联三苯不能实现激射作用。以上八种染料除了用 KrF 激光泵浦对-联三苯外,均未见报道。我们的实验证明,这一泵浦方式非常有效。

可以预料,用准分子激光做染料激光器的泵浦泵,不仅会大大改进染料激光器的性能,而且将会使荧光处于更短波长的染料实现激射作用,将调谐波段扩展到远紫外区,有力地推动可

调谐激光器的发展。

杨香春、叶霖同志为本实验提供了染料并给予大力支持,谨致谢意。中山大学实习生唐建平参加了本实验工作。

### 参 考 文 献

- [1] A. N. Rubinov, *Optics Commun.*, 18(1976), 18.
- [2] C. V. Shank et al., *A. P. L.*, 18(1971), 395.
- [3] J. de Vries et al., *Optics Commun.*, 18(1976), 24.
- [4] M. Moeda et al., *Japan. J. A. P.*, 13(1974), 827.
- [5] 榑田孝司, *分光研究*, 2(1977), 21.
- [6] D. G. Sutton, *A. P. L.*, 29(1976), 563.

## 磁 泡 的 动 态 测 量\*

韩宝善 刘英烈 于志弘

(中国科学院物理研究所)

### 前 言

磁泡材料的畴壁迁移率和磁泡状态的测定是磁泡动态测量的两个重要内容。早先的阶梯函数响应法<sup>[1]</sup>和磁泡破灭法<sup>[2]</sup>虽然都能测量畴壁迁移率  $\mu_w$ , 但用作常规测试都不理想, 并且都不能用来确定磁泡的状态。

本文所介绍的脉冲梯度场磁泡传输法<sup>[3]</sup>, 直接测量孤立磁泡在脉冲梯度场中的运动速度, 从而测得迁移率。同时又从磁泡的运动方向确定磁泡的状态, 方法简便, 原理直观。所以这个方法被广泛地应用于常规测试和基础研究。

### 一、测量原理

#### 1. 用脉冲梯度场磁泡传输法测迁移率 $\mu_w$

在梯度为  $\nabla H$  的不均匀偏场中, 磁泡将受力而沿  $-\nabla H$  的方向运动。磁泡速度  $V$  和磁泡直径两端偏场差  $\Delta H$  的关系如下<sup>[4]</sup>:

$$V = \frac{1}{2} \mu_w \left( \Delta H - \frac{8}{\pi} H_c \right), \quad (1)$$

其中  $H_c$  是畴壁矫顽力。

为了得到测量所需要的均匀梯度偏场, 文献[3]中设计了一种简单的磁泡传输电路。我们自制的电路照片见图 1。它由四条金线组成。外面的一对金线串接, 并流过相同方向的电流  $I$ , 在它们之间将产生一个梯度偏场, 使磁泡朝偏场减小的方向移动(下称“驱动迴路”)。

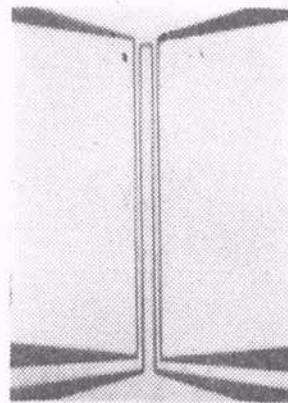


图 1 光刻法自制传输电路照片

金线长约 1300 微米, 宽约 12 微米。外面一对金线间距  $D$  为 100 微米, 里面一对  $D'$  为 50 微米。每对的直流电阻一般小于 10 欧姆

\* 1978 年 12 月 26 日收到。



对于我们的迴路,在中心点左右约 10 微米范围是近乎线性的梯度偏场区.在这个范围内,磁泡直径  $d$  两端的梯度偏场差  $\Delta H$  可用下式计算:

$$\Delta H = 1.6 \frac{I}{D^2} d, \quad (2)$$

式中  $D$  和  $d$  的单位是厘米,  $I$  是安培,  $\Delta H$  是奥斯特.

实验中驱动磁泡的是单次矩形脉冲,宽度为  $t_p$ , 电流幅值是  $I$ . 测出磁泡在它作用下的位移  $X$ , 就能得到磁泡速度  $V$ . 依次改变  $t_p$  和  $I$ , 就能得到  $V-\Delta H$  曲线. 按公式(1)就能得到畴壁迁移率  $\mu_w$ .

图 1 电路中里面一对金线是偏场“补偿迴路”,用以防止磁泡在传输中的泡径增大.但是,在实际测量中,由于磁泡的速度分散和角度分散,要预定磁泡位移的大小并进行合适的补偿是很困难的.因此我们不作偏场补偿,补偿迴路被用作磁泡发生器.

## 2. 传输实验中磁泡状态的确定

在磁泡动力学中,分析磁泡中正 Bloch 线数(正整数)和负 Bloch 线数(负整数)的代数和为  $n$  的一个磁泡所受的力,可得到下列关系式<sup>[4]</sup>:

$$\sin \rho = \frac{4V(n+2)}{\gamma d^2 |\nabla H|}, \quad (3)$$

其中  $\rho$  是磁泡移动方向和  $-\nabla H$  方向的夹角,  $\gamma$  是旋磁比.可见只有  $n = -2$  的磁泡  $\rho = 0$ ,

即运动方向和  $-\nabla H$  方向一致.

在磁泡动力学中常用“旋转数” $S$  来描述磁泡畴壁的状态,即磁泡的状态.  $S$  和  $n$  的关系是

$$S - 1 = n/2. \quad (4)$$

把(4)式以及  $\Delta H = d|\nabla H|$  代入(3)式,得

$$\sin \rho = \frac{8VS}{\gamma d \Delta H}. \quad (5)$$

这样,由实验得到的磁泡速度  $V$  和偏转角  $\rho$  值与已知的  $d, \Delta H, \gamma$  值,便可求得该磁泡的旋转数  $S$ .

## 二、测量设备

图 2 和图 3 分别为磁泡材料动态测量设备的照片和方框图.

1. 偏光显微镜是磁泡动态测试设备的主体,我们采用的为国产 XPB-01 型.用连续氙灯作光源.为了安置偏场 Helmholtz 线圈(190 奥斯特/安培),改装了显微镜的载物台,偏场电流由数字电压表直接读出.

2. 产生和驱动磁泡的矩形电流脉冲由 MF-1 型功率脉冲发生器输出.它在自制的单次脉冲触发器的触发下输出单个功率脉冲.

测量时把镀有磁泡传输金线电路的玻璃片和样品的膜面紧贴.电路中的驱动迴路和补偿迴路用导线引出,通过动态控制盒和脉冲发生器连接.动态控制盒用作脉冲功能的选择、脉冲的开关、反向及幅度的调节.它还和脉冲示波器

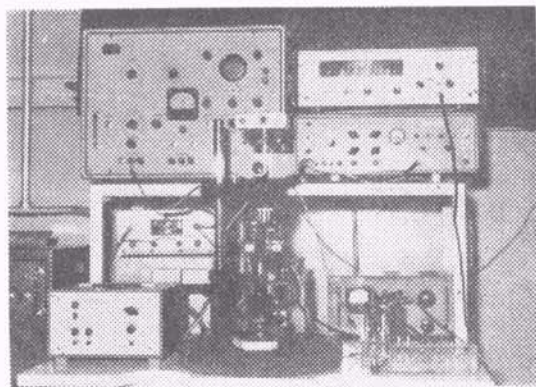


图 2 动态测量设备照片

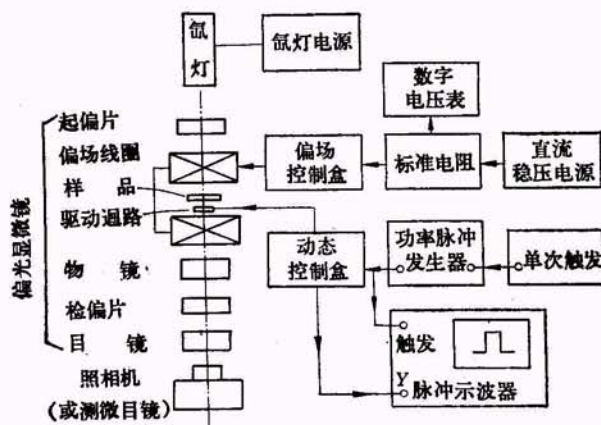


图 3 动态测量设备方框图



器连接,以测量脉冲的宽度和幅度。

3. 磁泡移动的距离  $X$  可用测微目镜直接测量。为了同时观察磁泡传输运动的  $\rho$  角和角度分散,应该采用照相测量。在同一张底片上拍摄传输前后的磁泡象(双重曝光),便可量得磁泡的位移  $X$  和  $\rho$  角。

### 三、测量程序

下面以我们实验室的 3—6 号样品为例,介绍动态测量的主要过程。

#### 1. 磁泡的产生

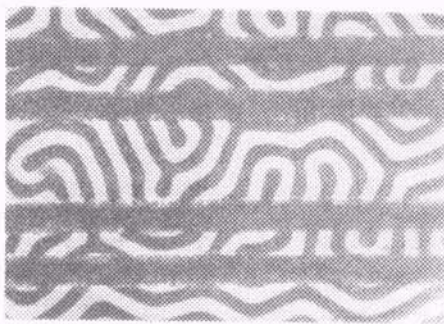
图 4(a) 是零偏场时的条状畴和传输电路的照片。实验中先使偏场  $H_B$  大于  $H_0$ , 消除一切条状畴,然后把  $H_B$  减小到条状畴开始重新出现的偏场  $H_N$  (对 3—6 号样品  $H_N = 68 \pm 1$  奥斯特)。稍低于  $H_N$ ,  $H_B$  为 66.5 奥斯特时的条状畴如图 4(b) 所示。这时在补偿回路中通以适当的单个电流脉冲(脉冲磁场方向和  $H_B$  相同),那么就能把条状畴切为段畴(图 4(c)),对本样品

所用的切割条件是脉冲宽度 0.1 微秒,脉冲电流幅度约 0.06—0.3 安培。加大偏场,这些段畴就收缩为磁泡,如图 4(d) 所示。

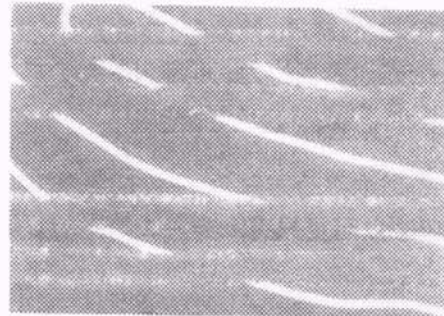
#### 2. 测量磁泡的选择

实验表明,这样切得的磁泡虽然破灭场几乎相等(变化范围小于 1 奥斯特),但状态却有多种。如果用小梯度脉冲多次驱动磁泡,拍摄到的双重曝光磁泡照片如图 5 所示。这些磁泡的移动方向和  $-\nabla H$  方向的夹角分别为  $\rho \approx 0, \pm 30^\circ, \pm 45^\circ$ , 相应的  $S = 0, \pm 1, \pm 3/2$ , 都是些含少量 Bloch 线的低  $S$  泡。有时也会出现一些  $S$  数较大的磁泡,甚至“不动”的泡,如图 5(d) 右侧的一个磁泡,但几率较小。

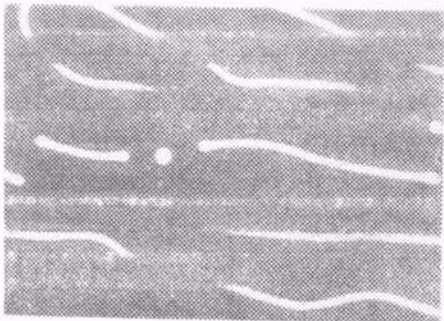
仔细观察磁泡在小梯度场中(脉冲宽度 0.1 微秒,幅度小于 0.06 安培)来回驱动的情况,就可以选择到某一状态的动态性能正常的测量磁泡。对于畴壁迁移率的常规测试,要用公式(1),必须选用  $\rho = 0$ , 即  $S = 0$  泡。还需要注意的是测量磁泡必须位于传输电路的中段,与相邻磁泡的间距应大于十倍泡径。



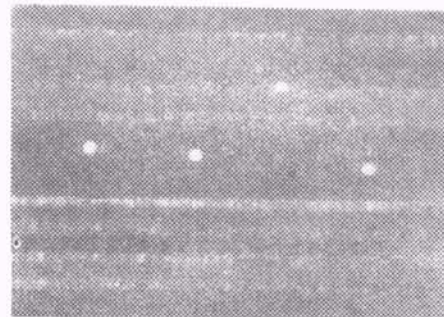
(a) 零偏场时条状畴



(b)  $H_B$  稍低于  $H_N$  时的条状畴



(c) 条状畴切为段畴



(d) 加大  $H_B$  时段畴收缩为磁泡

图 4 磁泡的产生过程



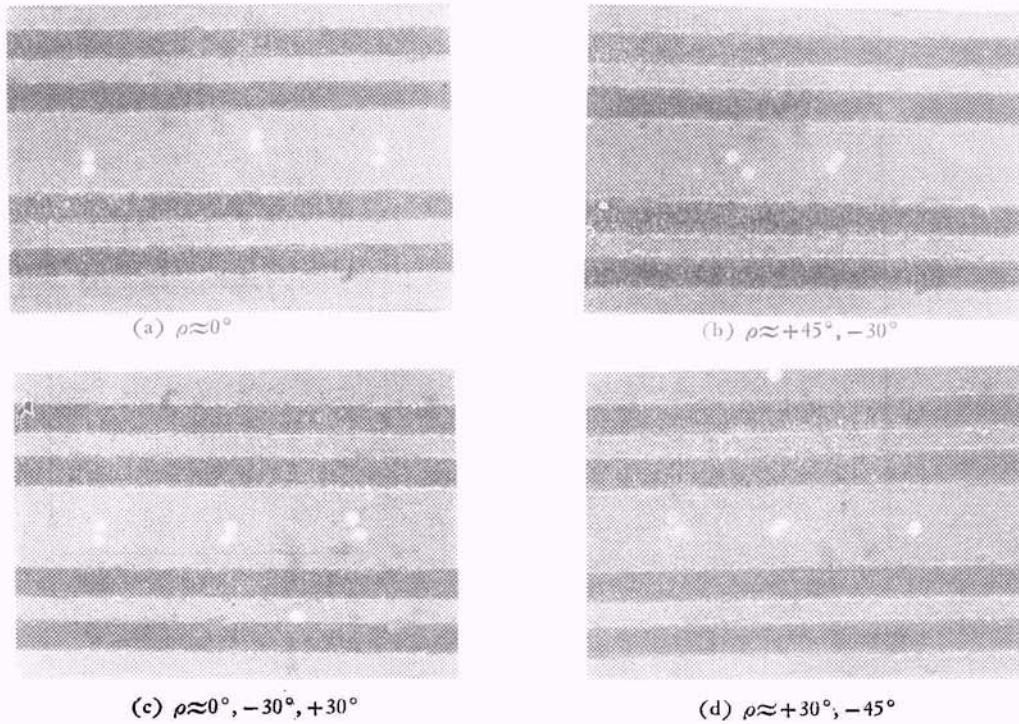


图5 切割产生的磁泡的部分状态

### 3. 磁泡位移 $X$ 和 $\rho$ 角的测量

把偏场调到  $H_{测}$ , 用小梯度脉冲把测量磁泡推到驱动回路中心线一侧 (图6中用小箭头表示), 然后加大幅度使磁泡一次移动约一个泡径距离 (图6中的大箭头). 拍摄双重曝光底片, 并在投影仪上放大, 便可量得  $\rho$  角, 长度经测微目镜校准, 便能测到  $X$ .

考虑到磁泡传输中的速度和角度的分散, 对于某一宽度和幅度的驱动脉冲, 必须进行多

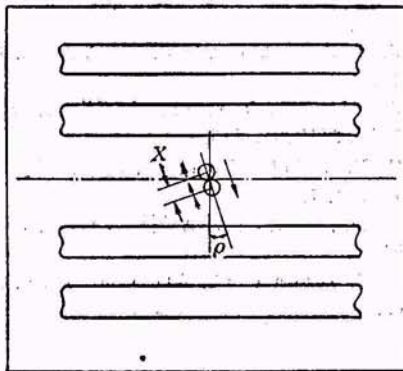


图6 磁泡位移示意图

次测量. 照相法测量时, 通常重复三次.

### 4. 驱动脉冲的宽度和幅度的测量

磁泡动态测量用的是单次脉冲, 原则上应该用单次脉冲存贮示波器记录波形, 然后测量宽度和幅度. 在没有存贮示波器的情况下, 可用 20—300 赫兹的低重复频率脉冲代替单次脉冲. 低频脉冲显示在普通脉冲示波器 (如 SR-15) 上, 从而测得宽度  $t_p$  和脉冲电流  $I$ .

## 四、测量结果

对 3—6 号样品的  $S = 0$  泡, 用照相法作了传输法动态测试, 结果如图 7 所示. 速度数据点取重复三次测量的平均值. 测量值相对于平均值的绝对偏差的平均值用竖线段标出, 表示速度分散. 由  $V-\Delta H$  曲线的线性段按(1)式算出  $\mu_w = 1.3 \times 10^3$  厘米/秒·奥斯特. 由三次测量所得的三个  $\rho$  角和相应的三个  $S$  值作  $\rho-\Delta H$  和  $S-\Delta H$  关系图. 在  $S$  值的计算中, 取

$$\gamma = 1.8 \times 10^7 / \text{秒} \cdot \text{奥斯特}.$$

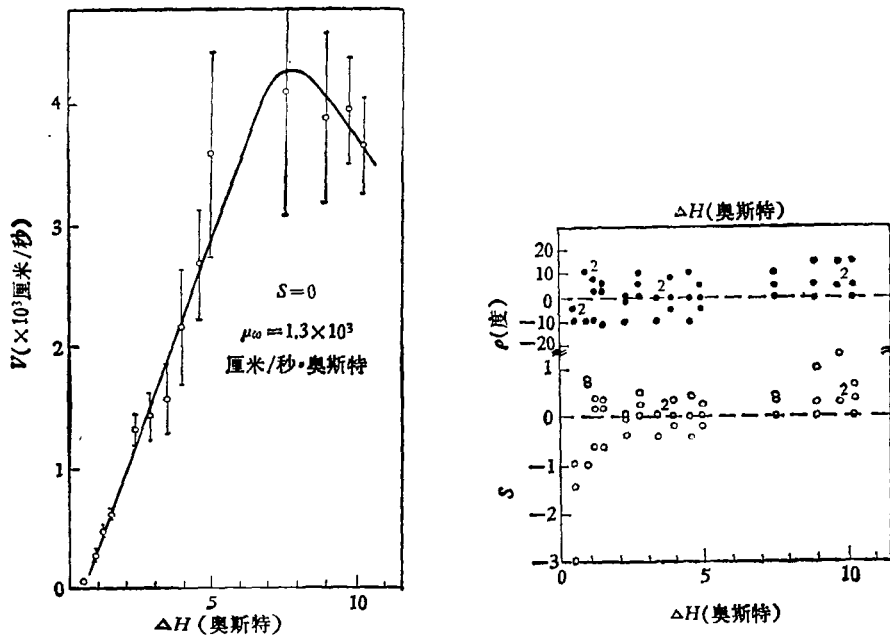


图7 3—6号样品的动态测量结果。图中“2”表示两次测量结果重合。样品标称组分为  $Y_{1.0}Sm_{0.1}Ca_{1.0}Ge_{1.0}Fe_4O_{12}$ ；膜厚  $h = 6.0$  微米； $4\pi M_s = 170$  高斯；成泡场  $H_s = 72.2$  奥斯特；破灭场  $H_0 = 87.4$  奥斯特；测量场  $H_m = 79.8$  奥斯特；测量泡径  $d = 6.0$  微米

### 五、讨 论

在  $V-\Delta H$  曲线的测量中，长度量  $d, X$  和  $D$  的测量受测微目镜分辨力的限制，有效数字为 2—3 位； $t_p$  和  $I$  皆用脉冲示波器测量，只能测准两位有效数字。所以综合来说， $\mu_0$  数据只能取两位有效数字。

从  $V-\Delta H$ ， $\rho-\Delta H$  和  $S-\Delta H$  图还能得到磁泡动态性能的不少信息。如从图 7 可以看到 3—6 号样品的  $S = 0$  泡在传输中并不稳定，速度和角度分散比较严重。当  $\Delta H$  大于 5 奥斯特时，它们的  $\rho$  角和  $S$  数明显改变，说明磁泡状态已经发生变化。同时，磁泡速度也明显趋于饱和甚至随  $\Delta H$  增大而下降。另一方面，当  $\Delta H$  和  $V$  很小时， $\rho$  角分散无变化，但按 (5) 式算得的  $S$  数却急剧下降。这似乎说明 (5) 式在这种情况下已不再适用。

利用这套动态测量设备还能进行磁泡静态

测量。以它为基础，我们还能采用高速激光照相，状态变换等方法进行磁泡动力学的研究。所以，它不但是磁泡常规测试的主要设备，也是磁泡基础研究的基本设备。

关于磁泡动态测量，近些年又出现了“晃动法”<sup>[5]</sup> 和“旋转法”等新方法。我们将在另文中对“晃动法”作详细介绍。

作者感谢中国科学院上海冶金研究所二室的同志们和吴宗林同志在制备光刻传输电路方面的大力帮助。

### 参 考 文 献

- [1] J. A. Seitchik et al., *J. Appl. Phys.*, **42**(1971), 1272.
- [2] A. H. Bobeck et al., *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-6**(1970), 445.
- [3] G. P. Vello-Coleiro et al., *Appl. Phys. Lett.*, **21**(1972), 7.
- [4] 刘英烈、韩宝善，国外电子技术，1978年，第5期，第51页。
- [5] B. R. Brown et al., *AIP Conf. Proc.*, **29**(1975), 69.