

柱形畴阵的铁磁共振

毕 思 云

(山东大学物理系)

1987年6月11日收到

用一种小型化的非谐振微带装置在扫频方式下测量了柱形畴阵在磁场与膜面成不同角度时的磁共振,并对照着我们的实验结果讨论了目前泡畴共振的有关理论,得到了一些有意义的结果。

一、引 言

关于柱形畴阵的铁磁共振虽然已有文献报道^[1-5],但他们的实验结果和理论解释各不相同.产生这种差异的主要原因,除了被测的样品不同外,在测量中使用了一种易于使畴型结构发生改变的测量方式——频率恒定,改变磁场,又不能对测量中的畴型进行观察(因为放样品的腔是封闭的)也是一个不可忽视的因素.为此我们采用了一种能在测量过程中观察畴型的非谐振式微带结构,并用扫频的工作方式以保持畴型的稳定.此外,我们还测量了磁场与膜面成不同角度时的磁共振。

二、实 验

实验装置示意图如图1.把一面有磁膜的样品放在一段微带传输线的上面,并置于电磁铁的两极间.在传输线周围的微波磁场如图1所示.可用法拉第效应从上面观察样品中的畴型,并可显示在TV的屏幕上.测量时磁场保持恒定,频率从2.0GHz扫到

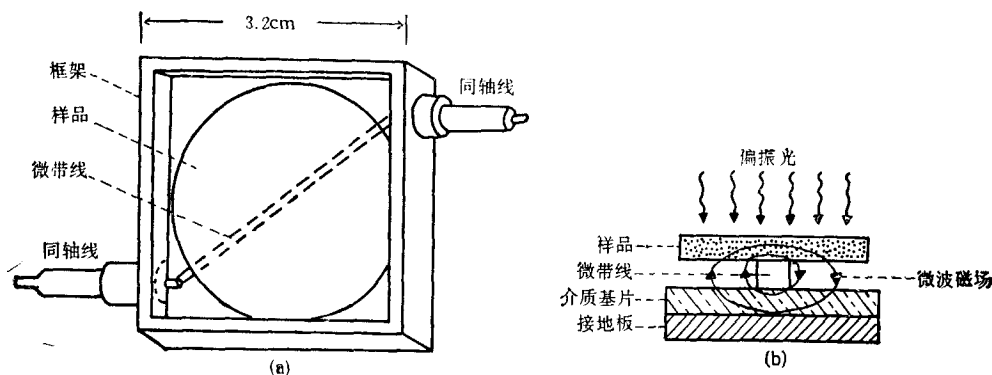


图1 实验中所使用的微带结构(a)和进行畴阵观察的示意图(b)

4.0GHz, 观察微波共振的吸收信号. 为了提高灵敏度, 降低噪声, 在 X-Y 记录仪之前, 加了一级锁相放大.

实验中所用的样品是用液相外延技术 (LPE) 在 (111) 晶面的 GGG 基底上生长的、额定成份为 $\text{Y}_{0.9}\text{Sm}_{0.2}\text{Tm}_{1.3}\text{Gd}_{0.6}\text{Fe}_{4.6}\text{Ga}_{0.4}\text{O}_{12}$ 的单晶磁膜. 它的主要待生参数为: $4\pi M_s = 664\text{G}$, 单轴各向异性场 $H_a = 1100\text{Oe}$, 旋磁比 $\gamma = 2.42\text{MHz/Oe}$, 膜厚为 $2.85\mu\text{m}$, 在零场下的畴宽为 $1.48\mu\text{m}$, 泡畴消失的磁场 (collapse field) $H_{\text{col}} = 473\text{Oe}$.

在测量每一个磁场方向上的共振频率与磁场强度的关系时, 为了方便计, 我们将使泡畴变小的磁场取为正值, 反之则为负. 这就是说, 在 $H > 0$ 的区域, 垂直于膜面的磁场分量与泡畴内的磁矩反向, 在 $H < 0$ 的区域则相同.

三、结果与讨论

图 2 示出了在四个磁场方向上所测得的结果. 可以看出, 这种模式的共振谱有下面的几个显著特点:

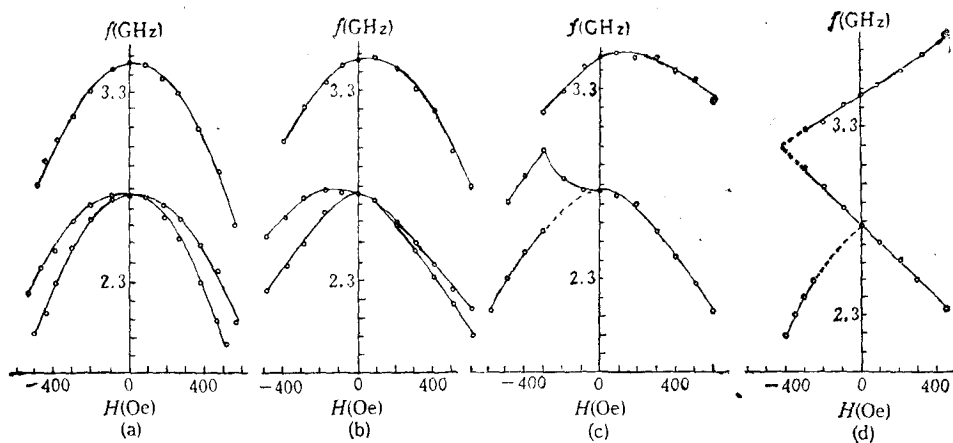


图 2 所测得的柱形畴阵的磁共振频谱
外加磁场与膜面的夹角分别为 0° (a), 20° (b), 40° (c), 90° (d), 划虚线的区域表示吸收信号太弱, 探测不到的区间

1. 在零场时, 有两个频差约 700MHz 的共振峰. 在磁场的作用下, 它们的共振频率分别以不同的方式而改变, 形成了两个基本的分支.

2. 磁场位于膜面内时, 两支的共振频率都近似按抛物线的规律下降, 如图 2 中的 (a) 所示. 高频一支不分裂; 低频一支在磁场的作用下分裂成两支, 它们的频差随着磁场的增加而增大. 频率的这种变化与磁场在膜面内所施加的方向无关, 各条曲线关于频率轴 ($H = 0$) 都是对称的.

3. 在磁场与膜面垂直时, 两支的共振频率与磁场基本上是线性关系, 两条直线在负饱和点和 $H_s = H_{\text{col}}$ 相交, 而在正饱和场附近, 略有点弯曲, 如图 2(d) 所示. 两支吸收强度的变化也比较明显, 斜率为正的高频一支的强度随着磁场的增加而减弱, 在接近于正饱和时

完全消失;低频负斜率一支的变化则相反,在正饱和处吸收最强.此外,在负场区,当磁场的值增加到泡畴急剧长大,有一些已连在一起的时候,还可观察到一个随磁场值变化很快的弱吸收峰,在图 2(d) 中已将其表出.在 2.0G 以下还有一个与磁场无关的宽峰(图中未画出).在这种情况下所观察到的畴型结构是十分复杂的,而且也不稳定.

4. 图 2(b) 和 (c) 示出了磁场与膜面成一定角度时的情况.在 $H > 0$ 的区域,随着磁场与膜面夹角的增大,低频一支的分裂减小,在约 30° 时完全消失;在 $H < 0$ 的区域,分裂以较为复杂的方式而增加,如图所示.对畴型进行的观察表明,这种复杂的变化是与畴型的改变相关.在畴型变得相当复杂的场区,也能观察到上面所提到的那些弱信号.

关于泡畴共振的上述特性,目前尚不能得到满意的解释. Artman 的理论只能描述低频一支在磁场中的行为,对高频一支则完全不能预料^[5]. Sigal 虽然能够说明存在着两个

共振频率不同的主要分支,但对低频一支在磁场作用下的分裂和变化,或不能预料,或预料的不正确.另一个与实验不相符合的是,用以上两种理论所得出的共振频率最多为两个. Kaczer 等人看到了这一点,并试图用把泡畴点阵分解为几种次点阵的模型来解释他们所观察到的多重分裂^[6].但这些次点阵的划分由于缺乏充分的物理根据,有很大的任意性,因此,他们也认为这个问题并没有解决.目前我们的实验结果有助于揭示这种共振的有关机理.

众所周知,铁磁共振的强度与产生这种共振的磁矩大小有关,磁矩愈大,所产生的信号就越强,因此,根据第 3 小节中所提到的那种强度变化,认为高频一

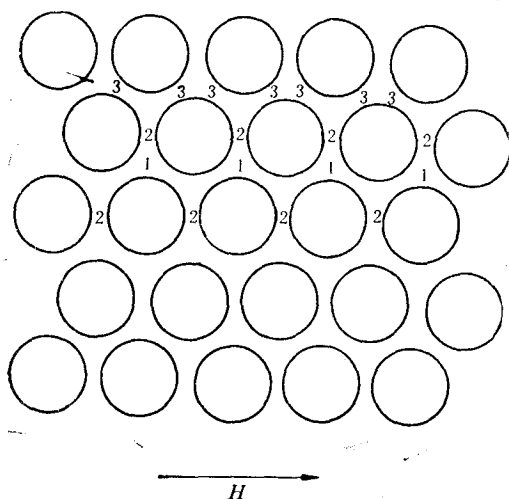


图 3 柱形畴阵简图

1, 2, 3 表示在铁磁共振中可能不同的分区

支是由泡畴内的磁矩进动产生的,低频一支与泡畴外的磁矩进动有关是合理的.为了进一步说明形成这两支的机理和在磁场中的变化,将这种柱形畴阵的简略图示于图 3 中.从图 3 可看出,泡畴和外部区域在形状上差异很大,因此应有不同的退磁因子,于是就形成了两个频率不同的共振分支. Artman 没有把它们区分开,而是用一个唯一的退磁因子来探求在畴壁上的交变磁荷分布所产生的退磁场,这样做显然不符合实际. Sigal 虽然注意到了这种差别,但他把泡畴外的区域视为一体,并把它的退磁因子取为零,这也过于粗糙和简化,因而得不出与实验相符合的结果.如不考虑泡畴大小的差异(实际上这种差异是很小的),无论磁场加在什么方向,所有泡畴中的磁矩进动都是一样的,所以高频一支不会分裂,但泡畴以外的区域就大不相同.不同区域中的磁矩进动频率会有差异,例如图 3 中的 1, 2, 3 区.从形状上看,1 区和 2, 3 两区是不同的.在与磁场的关系上,2 区和 3 区又产生了差异.当在膜面内的磁场如图 3 所示,在 2 区中的畴壁垂直于磁场,而在 3 区中则接近于平行.根据 Smit 和 Belijers^[7] 关于多畴共振的基本原理,它们应有不同

的共振频率. 与 Smit 和 Belijers 对于条畴共振的计算结果相比较可以看出, 在平行磁场下的分裂由于 2, 3 两区的磁矩所受的退磁场不同引起的. 在磁场垂直于膜面时, 2, 3 两区的这种差异就不复存在, 分裂也就消失. 对于完美理想的泡畴点阵, 由磁场所产生的分裂程度与泡畴的大小有关. 泡畴变小, 2 和 3 区变宽, 退磁场减弱, 分裂减小. 磁场加在膜面内时, 场强对泡畴的大小几乎没有影响(特别是在 $H \ll H_c$ 的区域), 故分裂随磁场的增加而加大, 与 Smit 所预料的结果一致. 而磁场转出膜面后, 在 $H > 0$ 的区域, 泡畴随场强是逐渐减小的, 分裂也变小. 夹角越大, 分裂得就越小, 直到在某一角度下消失. 在负磁场区域, 在保持畴型不变的区域, 分裂加大. 当畴型改变后, 还应出现一些新的共振吸收峰, 这与我们实验结果是符合的.

值得特别指出的是, 用上述模型很容易解释 Kaczer 等人在实验中所观察到的共振分裂随样品厚度而增多的事实. 根据 Artman 的计算, 退磁因子随着样品厚度的增加而增大, 由此而产生的分裂加大, 故可以观察到更多的谱线. Kaczer 所用的样品厚度为 $10-30\mu\text{m}$, 比我们所用的样品厚得多, 测得更多的谱线是可以理解的. 此外, Kaczer 也指出, 泡畴大的样品谱线多, 也与我们上面的分析一致. 当然, 如果样品不均匀, 泡畴大小不一致, 也会影响测量结果, 因此, 实验结果存在着各种差异是可以想象的.

文中的一些基本观点曾与 Artman 教授讨论过, 在此表示感谢.

- [1] M. A. Sigal, *Sov. Phys. JETP*, **39**(1974), 866.
- [2] J. O. Artman and S. H. Charap, *J. Appl. Phys.*, **49**(1978), 1589.
- [3] J. O. Artman and S. H. Charap, *J. Appl. Phys.*, **50**(1979), 2024.
- [4] F. J. Rachford, P. Lubitz and C. Vittoria, *J. Appl. Phys.*, **50**(1981), 2259.
- [5] S.-Y. Bi, D. J. Seagle, E. C. Myers, S. H. Charap and J. O. Artman, *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-18**(1983), 1337.
- [6] J. Kaczer and R. Gemperle, *Physica*, **86-88B**(1977), 1313.
- [7] J. Smit and H. G. Belijers, *Philips Res. Rep.*, **10** (1955), 113.

FERROMAGNETIC RESONANCE OF CYLINDRICAL DOMAIN LATTICE

BI SI-YUN

(Department of Physics, Shandong University, Jinan)

ABSTRACT

The recent experimental work on the ferromagnetic resonance of cylindrical domain lattice at action of arbitrary magnetic field is reported. The device used in the experiments is a microwave microstrip transmission line placed between the poles of a electromagnet. Based on the experimental results, the present theories on the bubble mode resonance is analysed and some significant results are achieved.