

外电场与微波交互作用下 BaTiO₃电流变液的透射特征^{*}

范吉军, 关丽涛, 赵晓鹏^{**}

(西北工业大学电流变技术研究所 141 # 西安 710072)

摘要: 分别考虑了微波传播方向与电流变液颗粒链相垂直和平行的情况,对 BaTiO₃ 电流变液微波透射行为进行了实验研究。发现 BaTiO₃ 电流变液微波透射率可由外电场调控。在垂直的情形,当流体浓度较低时,透射率随电场强度增加而减小,并且随浓度增加电场调节微波透射率的变化幅度增加。浓度超过一定值时,透射率随电场出现由减小向增加的改变,存在透射率的极小点。在平行的情形,发现透射率随电场强度增加而减小。另外透射率随电场强度变化具有延时性,对于给定浓度的情形,电场强度增加延时性明显减小。

关键词: 电流变液; BaTiO₃; 微波透射; 延时性

中图分类号: TB39 文献标识码: A

1 引言

随着纳米科学技术的发展,微型电子机械系统(MEMS)^[1~3],如微机器人(Micro-robot)、微芯片(Micro-chip)等得到很大重视,但也出现了在微型结构中的电磁兼容问题。宏观尺度的电磁兼容得到了科技界的普遍重视,但对微结构领域,现在还少于见到相关研究,特别对在线可控的电磁兼容。微流动是微机械的一种重要控制方式,用可控流体如电流变液(electrorheological fluids,简称ERF)来实现机械运动的调控得到较大关注^[2],但用ERF来实现电磁兼容的研究则尚未见到报道。

近年来有不少学者对ERF的光学行为进行了研究,80年代末Park等人从理论上预言了ERF流体的光效应^[3];Otsubo等人研究了直流电场下的ER流体的透光性^[4];本文作者之一对近红外波段进行了研究^[5],发现透射性能可以调控。Feinsteink利用经典电磁理论研究了ERF流体的微波散射和吸收后指出,对于给定波长的微波信号,存在一个特定的颗粒尺度及空间指向使吸收最大^[6],除我们的研究外^[7],相关实验报道很少。依据经典的微波传播理论,介质的磁导率 μ 及介电常数 ϵ 等参量对微波的传播行为有很大影响。电流变液在外电场作用下,内部结构发生变化,因而可导致其介电行为变化^[8],从而可能对微波传播行为产生影响。

本项研究中,我们选择铁电体BaTiO₃颗粒作为ERF的分散相,连续相为甲基硅油,配置了几种浓度的电流变液,分别考虑微波传播方向与电流变液颗粒链方向相垂直和平行的情形,对微波透射率随电场强度的变化情况进行了研究,并研究了此变化的延时性。

^{*} 国家自然科学基金重点项目(59832090)和国家杰出青年科学基金(50025207)资助。

^{**} 通讯联系人, Email: xpzhao@nwpu.edu.cn

收稿日期: 2001-08-14; 修回日期: 2001-08-25。

2 实验

选择甲基硅油作为电流变液的基液, BaTiO_3 颗粒是我们实验室用 Sol-gel 方法自制, 颗粒粒径为 $58 \mu\text{m}$ 。配置了五种电流变液, 浓度分别为 1%、5%、10%、15%、20%。

考虑到电流变液颗粒链方向与微波传播方向不同, 可能会对微波的衰减产生不同影响。因此分别对颗粒链方向与微波传播方向相垂直与平行的情形进行研究。制作了两种不同的电流变液容器, 垂直情形的容器, 其电极间距为 3.5 mm , 微波穿透样品距离为 25 mm ; 平行情形的容器, 其电极间距(即微波穿透样品距离)为 4 mm 。为了与波导绝缘, 制作电流变液容器所用材料为有机玻璃。

所用测试装置和方法见文献 [7], 用功率比法对微波透射率进行了测量, 重点考察在施加外电场的过程中, 微波透过电流变液的透射率变化情况, 即研究在容器及电流变液自身所造成微波衰减的基础上由于外加电场的变化所导致的衰减变化情况。本实验与传统意义上透射率测量不同, 对实验中透射率定义如下,

$$\frac{\Delta I}{I_0} = \frac{K(E) - I_0}{I_0}$$

式中, I_0 为零电场时检波器所检测到的电流; $K(E)$ 为电场强度为 E 时所检测到的电流。

对只含空气或纯硅油的容器进行测试表明, 在外电场作用下, 微波透射强度没有变化。

3 结果与讨论

对 BaTiO_3 电流变液微波穿透行为的测试表明, 微波透射强度随外加电场强度的变化而变化, 并表现出延时效应。为客观给出微波透射率与外加电场的关系, 采取每加一次电场强度, 30 s 后记录相应的微波透射强度。

对于微波传播方向与电场方向相垂直的情形, 实验结果如图 1 所示。可以看出在浓度较低时, 透射率随电场强度的增加而减小。此时透射强度减小, 并且存在一个饱和电场强度。此强度前, 透射率变化较显著和迅速, 之后变化较缓慢, 且随浓度的增加透射率变化幅度也增加。当浓度较高时, 微波透射行为的变化情况与低浓度时不同。透射率随电场强度增加先减小, 达到一最低点后增加, 出现一个转折点。可以认为存在一个临界浓度, 如图 1 中浓度 15% 与 20% 的情况。实验表明浓度较大时, 出现透射率反向变化所需要的电场强度值减小。同时, 随浓度增加电场强度调控微波透射率的幅值增加。

实验还发现, 微波穿透电流变液的透射行为表现出明显的延时性, 且这种效应与所测样品浓度和

外电场强度大小有关。图 2 为 20% 的 BaTiO_3 电流变液在电场作用下微波透射率随时间的变化。在低电场时透射率先快速减小, 后较慢地增加, 而电场较高时下降所用时间极短(图中未表示出来)。事实上两条曲线形状是一致的, 只是高电场的曲线斜率更大。这是因为在高电场作用下, 电流变液颗粒的极化行为和成链的速度亦较快所致。随着时间延长, 透射率变化慢慢

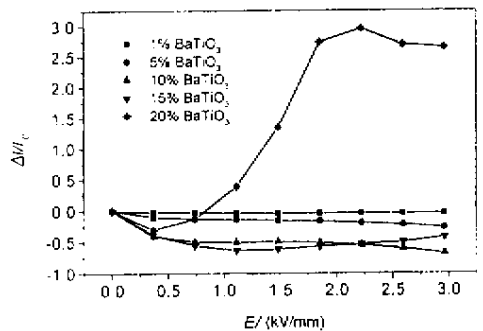


图 1 微波透射率随电场强度的变化关系

Fig. 1 Variation of microwave transmittance with field intensity

的趋于稳定。

对于微波传播方向与电场方向相平行的微波透射率随电场强度的变化关系如图 3 所示,可以看出微波透射率随电场强度的增加是减小的。在同一电场下,浓度增大透射率变化的幅度亦增大,表明电场强度和 BaTiO₃ 电流变液浓度的增加均可以提高微波透射率变化的幅度。

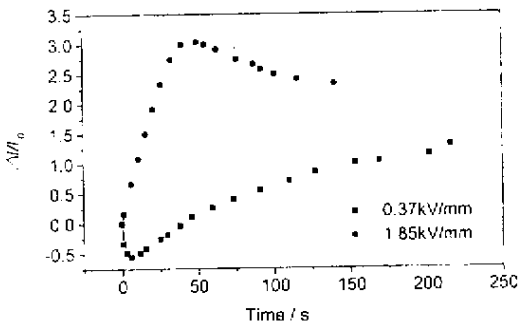


图 2 微波透射率与时间的关系

Fig. 2 Variation of microwave transmittance with time

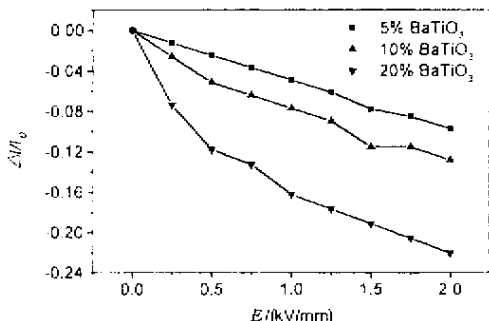


Fig. 3 Variation of microwave transmittance with field intensity

图 3 微波透射率随电场强度的变化曲线

对 20% 的 BaTiO₃ 电流变液微波透射率随电场强度变化的时间效应进行了研究,结果如图 4 所示。微波透射率在最初的时间内快速减小,其后变化趋于平缓;在较高电场强度时,透射率变化更为迅速,这一点与垂直的情形一致。

我们曾提出电流变液宏观准各向同性到各向异性结构转变模型,利用经典电磁场理论计算了微波的穿透特征,并且与实验结果^[7]吻合的较好。与淀粉或淀粉/镍粉电流变液不同,BaTiO₃ 电流变液对微波透射调控幅度更大,而且明显表现出延时效应,这应当与 BaTiO₃ 在外电场作用下自身的极化状态改变有关。详细的理论模型与计算仍在进一步工作中。

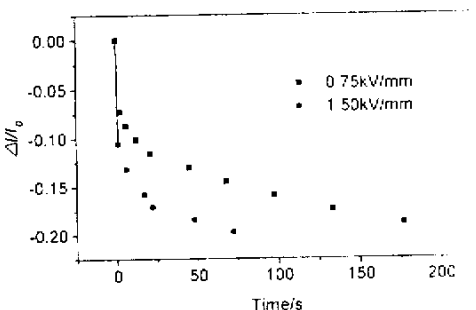


图 4 微波透射率与时间的关系

Fig. 4 Variation of microwave transmittance with time

4 结 论

在外电场作用下 BaTiO₃ 电流变液的微波透射行为可控。当微波传播方向与电场方向垂直时,存在一个临界浓度,低于此浓度时,微波透射率随电场强度增加而减小,反之先减小后增加。同时还存在一个饱和电场强度,低于此值时,透射率随电场强度的增加变化显著,超过此值后,透射率变化趋于平缓。对微波传播方向与电场方向平行的情形,微波透射率随电场强度增加而单调减小。增加电场强度和 BaTiO₃ 电流变液浓度,均可提高微波透射率变化的幅度。在给定的电场强度作用下,对于浓度为 20% 的 BaTiO₃ 电流变液,垂直的情形,透射率随时间增加先减小后增大;平行的情形,微波透射率随时间增加而减小。这两种情形增加电场强度,变化速度均加快。

参 考 文 献

[1] Craighead H G. *Science*, 2000, **290**: 1532
 [2] Halsey T. *Science*, 1992, **258**: 761
 [3] Park O O. *J. Rheology*, 1988, **32**: 511
 [4] Otsubo Y, Edazuya K, Akashi K. *J. Colloid and Interface Science*, 1996, **177**: 250
 [5] Qin Xiaojun (秦晓君), Zhao Xiaopeng (赵晓鹏). *红外技术*, 1996, **18**: 34

- [6] Feinsteink M R. *JHL/APL Report FIB* , 1991 , 2 : 910
- [7] Zhao Xiaopeng (赵晓鹏) , Fan Jijun (范吉军) , Gao Xiumin (高秀敏) , Cao Changnian (曹昌年) . *Acta Physics Sinics* (物理学报) , 2001 , 50 : 1302
- [8] Blackwood K M , *et al.* . *Electrorheological Fluids* , Ed. by Tao R , Roy G D. World Scientific , Singapore , 1994 , 3

The Transmission Character of BaTiO₃ ER Fluids under the Electric Field and Microwave *

Fan Jijun , Guan Litao , Zhao Xiaopeng **

(*Institute of Electrorheological Technology , Northwestern Polytechnical University , Xi 'an 710072*)

Abstract The perpendicular and paralleling relationships of the direction of microwave propagation and the particle chains in ER fluids were considered , respectively. The behavior of microwave propagation in BaTiO₃ ER fluids was studied. It is found that the transmittance in the fluids could be adjusted under external electric field. In the perpendicular condition , the transmittance decreases with field intensity when the concentration of the fluid is low. The amplitude of transmittance can increase with the concentration of the fluid. When the concentration exceeds a critical value , the transmittance decreases first , then increases with field intensity , there is a minimum value of the transmittance. In the paralleling condition , the transmittance decreases with electric intensity. Moreover , the behavior of microwave transmission displays the delaying character. With the increasing of field intensity , the delaying character weakens.

Key words Electrorheological fluids , BaTiO₃ , Microwave transmission , Delaying character

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant (59832090) and the Natural Science Foundation of China for Distinguished Young Scholars under Grant (50025207).

** To whom correspondence should be addressed , Email : xpzhao@nwpu.edu.cn