

电流变液透光性的可调节特征*

刘晓华 赵晓璐

(西北工业大学应用物理系, 西安 710072)

摘 要 利用 He-Ne 激光测量 SiO₂ 和硅油组成的电流变液的透光性。平行于激光束施加电场时, 适当浓度的电流变液显示出透光性随电场可调节的特征。垂直于激光束施加电场时, 透射光强度迅速下降随后缓慢恢复, 但对于高浓度(2%)试样没有观察到透射光强度最初的快速下降阶段。

关键词 电流变液, 链结构, 可调控透光性。

1 引 言

电流变液(Electrorheological Fluids 简称 ER 流体)是指高介电常数的小颗粒在低介电常数的溶液中形成的悬浮液。在电场作用下, 悬浮液的流变学性质发生很大变化。

四十年代末, Winslow 首次报道了电流变液现象^[1, 2]。当外加电场强度低于某个临界值(~几个 kV/mm), 电流变液呈液态, 高于这个临界值, 就变成固态, 随电场增大, 这种固体的切变强度也增大。这种液-固转变仅在毫秒时间内实现, 而且是可逆的。在临界场附近, 悬浮液的粘滞性可由外加电场控制。电流变液的瞬间响应和强度可调节的特性已显示出十分广阔的应用前景^[3]。

迄今, 有关电流变液的绝大多数研究工作都是针对其力学性能及转变机理展开的^[4], 有关光效应的研究进行得很少。八十年代末 Park、Adriani 和 Gast 从理论上预言了电流变液的光效应^[5~7]。Feinstein 利用经典电磁理论研究了电流变液的微波散射和吸收后指出: 对于给定波长的微波信号, 存在一个特定的微粒尺度及空间指向使吸收最大^[4]。Wang、Shaw 和 Jordan 进行了电流变液的浊度研究^[8]。Ginder 和 Elie 进行过光透射性能的测量^[10]。

本文研究了电流变液透光性与浓度及电场的关系、透光性与偏振态的关系、光通过电流变液后偏振特性的变化等。目的在于探讨电流变液作为一种智能光学材料的可能性。

2 材料与实验

实验样品为 SiO₂ 粉末(尺度约 10³ nm)和硅油(无色透明)组成的悬浮液, 其质量浓度分别为 0.1%、0.2%、0.5%、1%和 2%。随浓度增大试样浊度和粘度增大。

实验在激光束平行于电场及垂直于电场两种情形下进行, 分别如图 1(a)和图 1(b)所示。

* 国家自然科学基金资助课题。

收稿日期: 1995年1月24日; 收到修改稿日期: 1995年7月2日

可调直流高压电源与铜电极相接以产生电场。样品及电极均置于 $4 \times 8 \times 40 \text{ mm}^3$ 的玻璃容器内。光电探测器用于探测激光束穿过试样后强度随时间的变化。图 1(a) 中的电极间距为 3.6 mm, 其上有直径为 1 mm 的通光小孔。图 1(b) 中的电极间距为 4.0 mm。

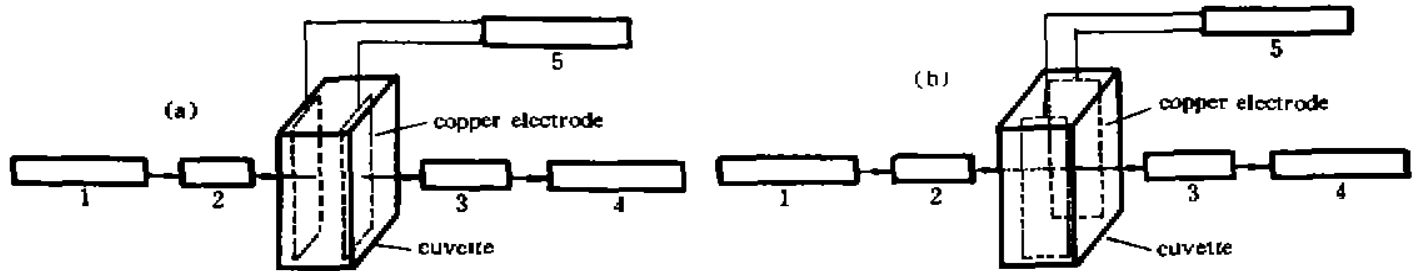


Fig. 1 Apparatus schematic for electric field parallel to laser beam (a) and perpendicular to laser beam (b)
1, He-Ne laser, 2 and 3, polaroid, 4, photoelectric detector, 5, variable high voltage DC power supply

3 实验结果

1) 平行于光束施加不同强度的电场, 同一样品透射光强度的相对变化量 $\Delta I/I_0$ 与施加电场的持续时间 t 的关系如图 2 所示。不难看出: $\Delta I/I_0$ 明显分为两个阶段, 即加上电场最初短时间内的 $\Delta I/I_0$ 快速增长及随后的缓慢增长。对于高浓度样品几乎是在加上电场的瞬间 $\Delta I/I_0$ 增大到一个相对稳定值, 电场强度越大稳定值越大。因而, 适当浓度的电流变液显示出透光性随电场可调节的特征。

平行于光束施加一定电场, 不同浓度的样品的 $\Delta I/I_0 \sim t$ 曲线示于图 3。显然, 浓度越高 $\Delta I/I_0$ 增长速度越快幅度越大; 浓度很低 ($< 0.2\%$) 时 $\Delta I/I_0$ 增长很小。

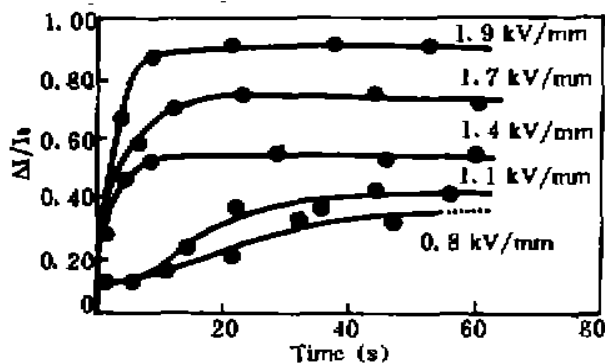


Fig. 2 Relative changes of transmission intensity vs the time of applying electric fields parallel to laser beam for 0.2% ER fluid

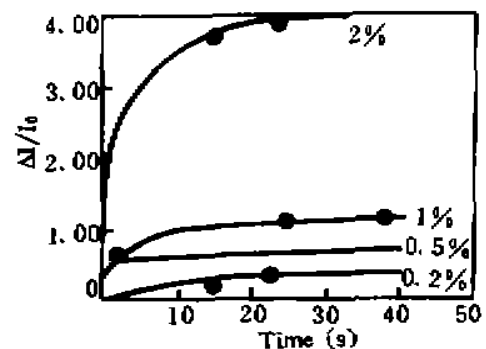


Fig. 3 Relative changes of transmission intensity vs the time of applying 1.1 kV/mm electric fields parallel to laser beam for ER fluid having varied concentration

2) 垂直于光束施加电场, 结果示于图 4、图 5。低浓度样品在加上电场的最初短时间内 (1s) 透射光强度迅速下降, 随后缓慢恢复 (快慢与程度取决于电场强度) 并接近初始值; 中等浓度 ($\sim 1\%$) 样品透射光强度在快速下降后, 恢复较快并逐步超过初始值; 高浓度 ($\sim 2\%$) 样品透射光强度没有探测到最初的快速下降阶段, 只是随着时间延长持续增长。

实验还发现, 去掉电场, 伴随有透射光强度的快速增大, 这可能是电流变液内链结构消失所致。

3) 实验发现, 改变入射光偏振态不影响透射光强度, 电场的大小和方向也不改变入射光

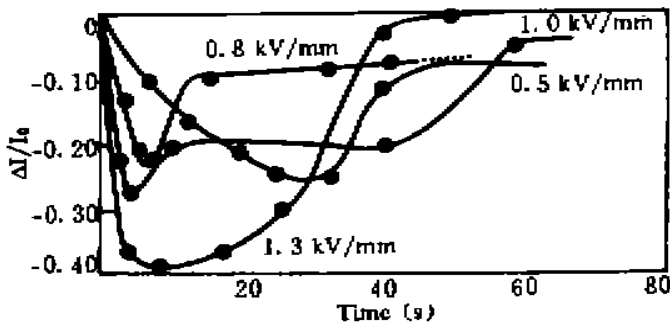


Fig. 4 Relative changes of transmission intensity vs the time of applying electric fields perpendicular to laser beam for 0.2% ER fluid

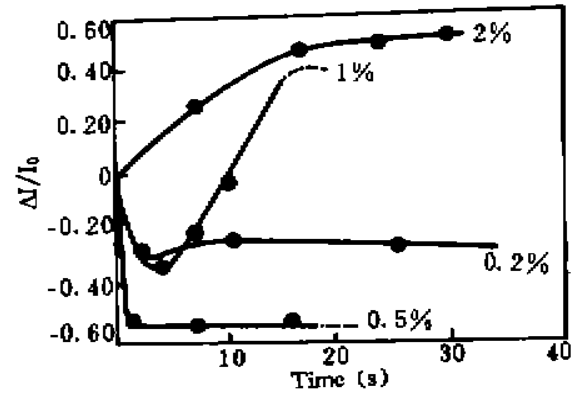


Fig. 5 Relative changes of transmission intensity vs the time of applying 1.0 kV/mm electric fields perpendicular to laser beam for ER fluid having varied concentration

偏振态。有关这一结果，还不能从理论上予以说明。

4 讨 论

1) 浓度很低的电流变液中悬浮微粒间距很大，加电场极化后相互作用甚弱，不能形成特定的链结构，加之流体本身的透明度很好，因而电场对透射光强度的相对影响极小。

2) 在电场作用下，电流变液中悬浮的 SiO_2 微粒发生极化相互作用形成沿电场方向的链，链之间是低浓度区域。电场平行于光束时，这些区域相当于一条条光通道，加上电场后，伴随着极短时间内这些光通道的形成，透射光强迅速增大。随后这些光通道中部的少量残留微粒向邻近链靠拢，随时间延长光通道的透明度缓慢提高，与此相应，此间的 $\Delta I/I_0$ 缓慢增大。

同一电场下，电流变液浓度越高，悬浮的 SiO_2 微粒间距就越小，作用越强，因而光通道中的残余微粒就越少。反映在图 2 上则是高浓度时几乎是在加上电场的瞬间透射光强度上升到一个稳定值。

3) 垂直于光束加上电场后，电流变液中链结构的瞬间形成使散射增强透射减弱，而处于链之间低浓度区域的残余极化微粒向邻近链的运动以及链的重新组成都会使透明度提高，透射光强度增大。

4) 场强和浓度需达到一定的值，才能形成稳定链结构。这一点反映地图 2、图 4 及图 5 的虚线部分。

5) 进一步的理论分析及实验正在进行中，期望找到最佳浓度的电流变液及相应的电场强度以获得应用价值。

结 论 1) 电场大小及方向不影响入射光偏振态，入射光偏振态不影响透射光强度；2) 平行于光束施加电场，电流变液透射光强度显示出可调节的特征。由此，适当浓度的电流变液有可能成为透射率可调光学材料；3) 垂直于光束施加电场，低浓度电流变液透射光强度初始快速下降随后缓慢恢复，恢复的程度及速度与电场强度及流体浓度有关，高浓度电流变液透射光强度随时间持续增大，没有观察到最初的快速下降阶段。

参 考 文 献

- [1] W. M. Winslow, Method and means for translating electrical impulses into mechanical force, *US Patent Spec.*, 2417850, 1947
- [2] W. M. Winslow, Induced Vibration of suspension. *J. Appl. Phys.*, 1949, **20**: 1137~1140
- [3] 赵晓鹏, 罗春荣, 周本灏, ER 流体的应用前景展望. *材料导报*, 1993, **11**(6): 12~15
- [4] 赵晓鹏, 罗春荣, 周本灏, ER 流体特性及其研究现状. *材料科学与工程*, 1993, **11**(4): 1~6
- [5] O. O. Park, Electrohydrodynamics of rigid macromolecules with permanent and induced dipoled moments. *J. Rheology*, 1988, **32**(5): 511~531
- [6] P. M. Adriani, A. P. Gast, A microscopic model of electrorheology. *Phys. Fluids*, 1988, **31**(10): 2757~2768
- [7] P. M. Adriani, A. M. Gast, Predictions of birefringence and dichroism of hard sphere suspensions in combined electric and shear fluids. *J. Chem. Phys.*, 1989, **91**(10): 6282~6289
- [8] M. R. Feinstein, Scattering and Absorption by Particles in an Electro Rheological Fluid. The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory Report FIB, 1991, 2-91U-012
- [9] T. C. Jordan, M. T. Shaw, Electrorheology. *IEEE Trans. Electrical Insulation*, 1989, **24**(5): 849~878
- [10] J. Ginder, D. Elie, Dielectric and optical probes of electrorheological fluid structure. *Presentation to Electrorheological Fluids Conference*, Carbondale, Illinois, 1991, October 15~16

Adjustable Transmission Property of Electrorheological Fluid

Liu Xiaohua Zhao Xiaopeng

(Department of Applied Physics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

(Received 24 January 1995; revised 2 July 1995)

Abstract Measurements have been made of He-Ne laser transmission through suspensions of SiO_2 in silicone oil. When electrostatic fields were applied parallel to the laser path, transmission could be adjusted through selecting proper electrostatic field and suspension concentration. While electrostatic fields were applied perpendicular to the laser path, transmission declined quickly and then recovered slow, but no initial decline was observed for high concentration suspensions.

Key words ER-fluid, chain structure, adjustable transmission.