

超低频介电谱测量*

王卫林, 沈文彬, 沈 韩, 陈 敏

(中山大学物理学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 研制了频率可低至 10^{-6} Hz 的复介电谱测量设备. 在 30 °C 和 60 °C 测量了 $3.3 \times 10^{-4} \sim 10^4$ Hz 范围的 $(\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x})\text{TiO}_3$ 陶瓷的复介电常数. 实验证明, 在稳态电路中正弦电压引起的慢介电效应提供的电流仍可以是正弦的.

关键词: 超低频; 介电谱; 测量方法; BST 陶瓷

中图分类号: O482.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) 04-0122-02

电容测量所用正弦信号, 频率很难低于若干 Hz, 但 $(\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x})\text{TiO}_3$ 陶瓷的慢介电效应比快效应大 2 个数量级, 慢响应时间数以千秒计^[1], 用正弦信号是否能得出慢效应提供的结果, 是尚待研究的问题.

1 测量方法

用 RC 振荡电路很难产生低于 0.01 Hz 的稳定的正弦信号, 图 1 的函数发生器由用计算机控制的 16 位 D/A 转换成纯正弦电压. 其输出阻抗为 100 Ω 纯电阻, 电压可调范围 0 ~ 10 V_{pp}, 频率范围 200 ~ 10^{-6} Hz. 在正弦电压 $U(t)$ 作用下含介质的电容器的稳态电流记为 $I(t)$, 它由最小灵敏度达 10^{-12} A 的电流计测出. $U(t)$, $I(t)$ 波形由同步记录仪记录, 时间讯号由四分频锯齿波控制. 图 2 给出 30 °C, 周期为 3 000 s 时 $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ 陶瓷电容器的实际曲线, $U(t)$ 和 $I(t)$ 都是很好的正弦波. 故样品可用 (R_p, C_p) 并联电路或 (R_s, C_s) 串联电路来等效^[2], 计算公式是

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{I_m \cos \delta}{\omega U_m}, & R_p &= \frac{U_m}{I_m \sin \delta} \\ \epsilon'_p &= \frac{I_m \cos \delta}{\omega U_m C_0}, & \epsilon''_p &= \frac{I_m \sin \delta}{\omega U_m C_0} \end{aligned} \quad (1)$$

及

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{I_m}{\omega U_m \cos \delta}, & R_s &= \frac{U_m \sin \delta}{I_m} \\ \epsilon'_s &= \frac{I_m \cos \delta}{\omega U_m C_0}, & \epsilon''_s &= \frac{I_m \sin \delta}{\omega U_m C_0} \end{aligned} \quad (2)$$

其中, I_m 和 U_m 是电流和电压的幅值, δ 为损耗角, ϵ'_p, ϵ'_s 和 $\epsilon''_p, \epsilon''_s$ 分别是复介电常数的实部和虚

部, ω 是正弦信号的角频率, C_0 是电容电极间介质为真空时的电容值.

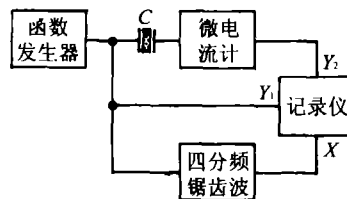


图 1 超低频介电谱测量方法

Fig.1 Measuring method of ultra-low frequency dielectric spectroscopy

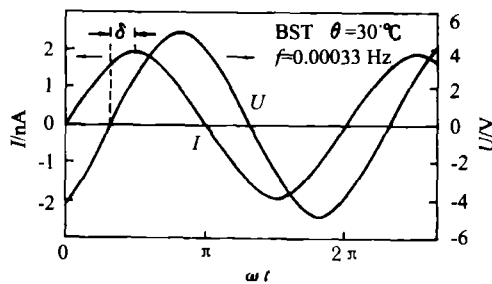


图 2 $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ 陶瓷超低频电压电流曲线

Fig.2 Voltage and current waves of $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ ceramics in ultra-low frequency

2 测量结果

$\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ 陶瓷的居里点为 -39 °C^[3], 在测量温度范围内它仅有一个快分量和一个慢分量^[1]. 图 3 给出的测量结果表明 $\epsilon'_p = \epsilon'_s = \epsilon'$, $\epsilon''_p = \epsilon''_s = \epsilon''$, 在 5 Hz ~ 10 kHz 范围和用 HP4192A 型阻抗分析仪得出的结果一致. 但后者不能用于更低频段. 在高于 1 Hz 时, 只有快分量起作用, 当频率降低时慢效应的贡献逐渐增

* 基金项目: 中山大学青年教师科研启动基金 (99-019-429304)

收稿日期: 2000-12-25; 作者简介: 王卫林 (1965-), 男, 讲师; 通讯联系人: 陈敏.

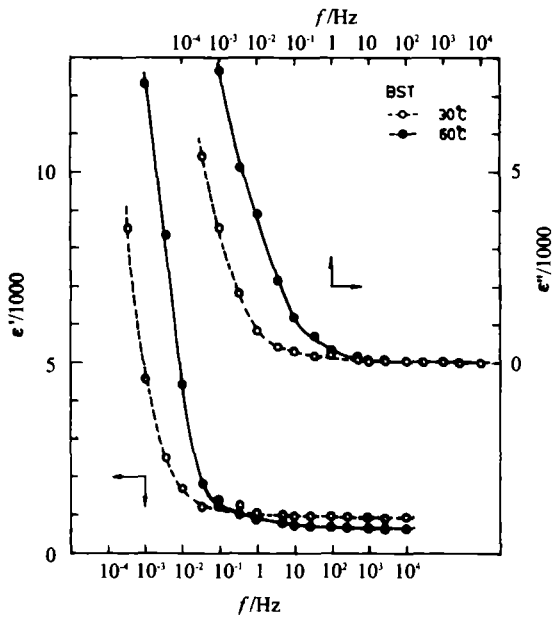


图3 BST陶瓷的频域介电谱

Fig.3 Frequency domain dielectric spectroscopy of BST ceramics

大.

3 结论与讨论

测量结果表明, 频率由 $1 \sim 3.3 \times 10^{-4}$ Hz, 正弦电压使慢介电效应提供的稳定电流也是正弦的. 图1的测量原理及计算公式(1)和(2)与HP4192A阻抗分析仪相同, 故两种仪器的测量结果可连成光滑曲线并部分地重合. $(\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x})\text{TiO}_3$ 在60 °C时的慢介电常数比30 °C时大2~3倍^[1], 图3在频率低于1 Hz时给出的 ϵ' 和 ϵ'' 也有相应的增大. 可见在此频段 ϵ' 和 ϵ'' 随频率降低而急剧增大, 但距时域测量给出的慢 $\epsilon_L \approx 2 \times 10^5$ 的值尚远, 正是因为太长的慢响应时间所引起的. 图1装置的测量频率原则上没有下限, 但当周期为3 000 s时, 要建立稳态电流已需超过10 h. 更低频率的测量很费时间.

参考文献:

- [1] 李景德, 陈敏, 方传代, 等. 极性相变的介电谱研究[J]. 物理学报, 1999, 48(4): 721-728.
- [2] 方俊鑫, 殷之文. 电介质物理学[M]. 北京: 科学出版社, 1998, 22-25.
- [3] 方传代, 于少萍, 李智强, 等. 钛酸锶钡的极性相变和介电谱[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1999, 38(2): 38-41.

Measuring of Ultra-low Frequency Domain Dielectric Spectroscopy

WANG Wei-lin, SHEN Wen-bin, SHEN Han, CHEN Min

(Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: A frequency domain dielectric spectrometer, with low-limit of 10^{-6} Hz, has been developed. The dielectric spectroscopy of $(\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x})\text{TiO}_3$ ceramics in the frequency range from 3.3×10^{-4} Hz to 10^4 Hz is measured at temperatures of 30 °C and 60 °C. The result shows that the slow dielectric response currents are sinusoidal while the input voltages are sinusoidal.

Keywords: ultra-low frequency; dielectric spectroscopy; measuring method; BST ceramics