

Improvement of Experimental Device for Measuring Relative Dielectric Constant of Solid Medium

Shuyuan Fan, Xiaowu Yu*

School of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei
Email: fanshuyuan@hust.edu.cn, yxw@hust.edu.cn

Received: Aug. 5th, 2018; accepted: Aug. 20th, 2018; published: Aug. 27th, 2018

Abstract

Some problems are analyzed existing in the teaching instrument for the experiment of measuring the relative dielectric constant of solid media. To solve these problems, the experimental measuring device is redesigned. In the new device, the upper plate of the parallel plate capacitor is not driven by the spiral micrometer to move up and down, but is driven by the rotation of a stop nut. The upper plate does not rotate when it is moving up and down. The size of the plate is no longer affected by the design scheme and can be easily made larger. A micrometer gauge is used for the real-time measurement of the moving distance of the upper plate. The improved experimental device solves a series of problems in the original device and improves the accuracy of the experiment.

Keywords

Dielectric Constant, Parallel Plate Capacitor, Experiment Teaching

固体介质相对介电常数测量实验装置的改进

范淑媛, 余晓武*

华中科技大学, 材料科学与工程学院, 湖北 武汉
Email: fanshuyuan@hust.edu.cn, yxw@hust.edu.cn

收稿日期: 2018年8月5日; 录用日期: 2018年8月20日; 发布日期: 2018年8月27日

*通讯作者。

摘要

分析了现有的固体介质相对介电常数测量实验教学仪器存在的一些问题。为解决这些问题,重新设计了实验测量装置。在该装置中,平行板电容的上极板不是由螺旋测微仪带动其上下移动,而是由一限位螺母的转动,带动上极板上下移动。上极板在上下移动过程中不发生转动,极板的大小也不再受设计方案的影响,可以方便的做得更大。用一分表实时测出上极板上下移动的距离。改进后的实验装置解决了原来结构中存在的的一系列问题,提高了实验精度。

关键词

介电常数, 平行板电容器, 实验教学

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

介电常数又称电容率或相对电容率,是表征电介质材料或绝缘材料电性能的一个重要物理参数。不同的介质材料具有不同的介电常数,在研究材料的电学性能相关学科中,对学生开设材料的介电常数测量实验具有重要意义[1]。目前,多数高校开设的大学物理实验、材料的物理性能测量实验等课程中,均有材料的相对介电常数测量实验项目。本文讨论的是利用平行板电容和万用电桥的组合来测固体介质材料的相对介电常数 ϵ_r 的教学仪器,针对存在的问题做了相应的改进,并将改进后的设备使用在实验教学中。

2. 现有固体介质材料相对介电常数测量装置存在的问题

2.1. 固体介质材料相对介电常数测量方法

在固体介质材料相对介电常数测量的实验仪器中,电容由上下两极板构成,极板之间放置被测介质。理论上,用万用电桥测定平行板电容器在不同介质状态下电容的大小,即可得到介质的相对介电常数,如式(1)[1]所示。

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_0} \quad (1)$$

式中 $C_0 = \epsilon_0 \frac{S}{D}$, C 为有电介质状态下的电容值, C_0 为无电介质(真空)状态下的电容值, ϵ_r 为介质的相对介电常数, ϵ_0 为真空介电常数($\epsilon_0 = 8.8538 \times 10^{-12} \text{ F/m}^2$), S 为电容板的面积, D 为两电容板间距。

测量固体介质材料相对介电常数实验装置原理如图1所示。

如图1(a)所示,当平行电容板间充满干燥空气,测得其电容量为 C_1 ;如图1(b)所示,在电容器两极板间放置一块面积为 S ,厚度为 t 的固体电介质(样品面积和平行板面积相同),保持两极板间的距离不变,测得此时的电容量为 C_2 [2],考虑到系统误差可得:

$$C_1 = C_0 + C_{\text{边缘}} + C_{\text{分布}} \quad (2)$$

$$C_2 = C_{\text{串}} + C_{\text{边缘}} + C_{\text{分布}} \quad (3)$$

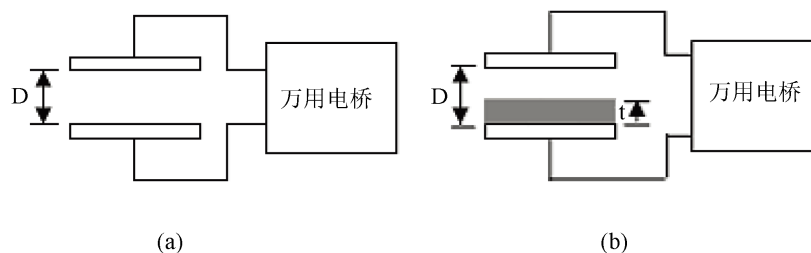


Figure 1. The principle diagram of the relative dielectric constant solid dielectric material experiment

图 1. 固体介质材料相对介电常数实验原理图

$C_{\text{串}}$ 为空气和被测样品串联后理论上两极板间的电容, $C_{\text{边缘}}$ 为电介质样品以外的边缘电极间的电容, $C_{\text{分布}}$ 为测量系统所含有的分布电容[2] [3] [4]。

只要保持电容电极间距离不变, 则在测量 C_1 和 C_2 的过程中, $C_{\text{边缘}}$ 和 $C_{\text{分布}}$ 均不变, 那么由(2) (3)两式可得: $C_2 - C_1 = C_{\text{串}} - C_0$

即:

$$C_{\text{串}} = C_2 - C_1 + C_0 = C_2 - C_1 + \frac{\varepsilon_0 S}{D} \quad (4)$$

又因为:

$$C_{\text{串}} = \frac{\frac{\varepsilon_0 S}{D-t} + \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 S}{t}}{\frac{\varepsilon_0 S}{D-t} + \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 S}{t}} = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 S}{t + \varepsilon_r (D-t)} \quad (5)$$

变形可得:

$$\varepsilon_r = \frac{C_{\text{串}} t}{\varepsilon_0 S - C_{\text{串}} (D-t)} \quad (6)$$

因此, 只要测出 C_1 、 C_2 、 D 、 t 、 S , 即可算出被测介质的相对介电常数 ε_r 。

2.2. 现有的实验装置中存在的一些问题

在实验教学过程中, 教师和学生经常反应设备精度不够, 误差太大, 样品单一, 只能够用厂家提供的 1 mm 左右厚的样品。

经反复实验和研究, 现有固体介质材料相对介电常数测量装置存在以下问题:

1) 将上极板固定在一个螺旋测微仪上, 通过旋转螺旋测微仪, 来控制上极板与下极板的间距, 这种结构决定了电极板不能做得太大, 一般直径为 $d = 40$ mm 左右, 在该方法中, 理论上要求电极板直径 d 远大于电极板间距 D [5] [6], 在实验中, 为了保证实验精度, 要求 $D \leq 0.05d$ 。

2) 在该结构中, 样品的厚度只能控制在 1~2 mm, 要求厚度均匀、表明平整。但是, 直径为 40 mm、厚度为 1~2 mm 的样品要达到该要求, 加工难度大, 容易变形, 而且样品厚度测量的相对误差比较大[5]。所以实验中, 只能够用厂家提供的特制样品。

3) 由于两极板很做成绝对相互平行, 通过旋转螺旋测微仪, 来控制上极板上下移动位置, 极板会发生转动, 那么整过实验过程中, 仪器的系统误差是不断改变的。

因存在以上问题, 故该实验的误差较大。

3. 固体介质材料相对介电常数测量装置的改进

针对存在的问题, 做了如下设计:

用一个螺母来控制上极板上下移动, 上极板上下移动时自身不发生转动; 用千分表来实时测量上极板移动的距离。设计测量装置如图 2 所示。

利用图 2 装置, 用导线将上下极板与万用电桥连接好后, 实验操作方法如下:

1) 转动螺母, 使上极板与下极板的间距为零, 按下千分表的归零键。

2) 转动螺母, 使上极板上升略大于被测材料厚度的高度, 平行放入被测材料, 转动螺母使上极板下降并压紧被测材料, 读取此时的千分表示数并记录。重复该步骤 5 次, 每次使上极板上升后都将被测介质以中心线为轴转动一定的角度再压紧, 分别记录 5 次的千分表示数, 平均值为被测样品的厚度 t 。

3) 转动螺母使上极板略微上升, 取出被测材料, 待万用电桥示数稳定后记录读数 C_1 , 同时记下此时的千分表读数 D 。保持螺母不动, 重新将被测材料平行放入上极板与下极板之间, 待万用电桥示数稳定后记录读数 C_2 。

4) 重复第 3 步 5 次, 分别测出上下极板不同 D 状态下的 C_1 、 C_2 值。

4. 实验结果分析

将实验数据代入公式(4)、(5)式, 即可算出被测介质的相对介电常数。某次实验原始数据和处理结果如表 1、表 2 所示。其中, 被测样品为有机玻璃板, 上下极板直径均为 100.00 mm, 有机玻璃板厚度 $t = 2.612$ mm。

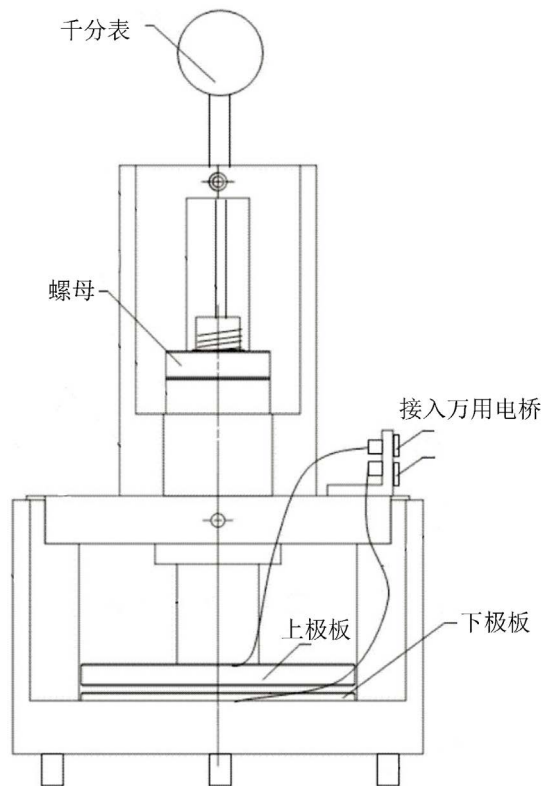


Figure 2. The device of solid material relative dielectric constant measurement

图 2. 固体材料相对介电常数测量装置

Table 1. The measurements of the relative dielectric constant of organic glass**表 1.** 有机玻璃相对介电常数测量

测量次数	D (mm)	C_1 (pF)	C_2 (pF)	ϵ_0 (F/m ²)	C_0 (F)	$C_2 - C_1$ (pF)	$C_{\#}$ (F)
1	3.004	31.7	66.2	8.8538E-12	2.31366E-11	34.5	5.76366E-11
2	3.220	30.1	57.2	8.8538E-12	2.1846E-11	27.1	4.86846E-11
3	3.585	27.8	47.2	8.8538E-12	1.9387E-11	19.4	3.8787E-11
4	3.869	26.2	41.8	8.8538E-12	1.79639E-11	15.6	3.35639E-11
5	4.085	25.3	38.7	8.8538E-12	1.7014E-11	13.4	3.0414E-11

Table 2. The data processing results of the organic glass relative dielectric constant measurement data**表 2.** 有机玻璃相对介电常数测量数据处理结果

测量次数	计算得到 ϵ_r	平均值	相对误差
1	3.209		0.22%
2	3.187		-0.48%
3	3.190	3.202	-0.40%
4	3.210		0.23%
5	3.216		0.42%

根据以上数据, 数据处理计算得到结果如表 2 所示, 可以看出, 改进后的装置测量的数据重复性非常好, 由测量数据计算出来结果的相对误差很小。

5. 结论

改进后的实验装置测量的数据重复性非常好, 其结构具有如下优点:

- 1) 保证了系统误差恒定, 改进后的装置因上极板上下移动时不再发生转动;
- 2) 保证了电极板直径远大于电极板间距的实验模型, 极板的大小不再受到结构的限制, 做得更大, 本装置中极板的直径为 100.00 mm, 样品厚度可在 2~4 mm 内, 都可以有比较好的精度;
- 3) 提高了样品厚度的相对测量精度, 样品厚度在 2~4 mm 间, 相对测量厚度精度提高, 且样品的平行度更容易保证。

利用该设备, 有兴趣的学生还可以做一些扩展性实验, 如空气的介电常数测量、探究两极板间距对测量结果的影响等实验内容, 有利于学生更加了解该实验的设计思想, 掌握其实验方法和技术特点。

参考文献

- [1] 任忠明, 等, 主编. 大学物理实验第二册[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 55-57.
- [2] 叶伟国. 有电介质时平行板电容器电容计算问题的讨论[J]. 物理与工程, 2008, 18(3): 63-64.
- [3] 浦天舒, 杨旭方, 郭程, 等. 电容器边缘效应对介电常数测量的影响及修正[J]. 大学物理实验, 2013, 26(3): 46-47.
- [4] 朱兆青. 利用单片机测量介电常数[J]. 实验室研究与探索, 2005, 24(6): 48-50.
- [5] 何捷. 空气介电常数 ϵ_0 的测定[J]. 南京师大学报(自然科学版), 1986, 1(1): 86-88.
- [6] 唐海燕, 等, 主编. 工科物理教程上册[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 240-249.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2332-6980，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：iae@hanspub.org