

细胞培养皿的介电常数测定

高原慈, 孙嘉鸿, 余国芬

(电子科技大学物理电子学院 成都 610054)

【摘要】针对细胞层次上研究8 mm波生物效应时对细胞培养皿复介电常数测试的要求, 提出了在该频段采用平凹型 Fabry-Perot腔结合标量网络分析仪对玻璃材料和有机材料两类细胞培养皿进行介电常数测量, 测得有机材料培养皿的介电常数比玻璃材料培养皿更接近于空气, 且有机材料的损耗角正切要小一个数量级, 表明有机材料制作的细胞培养皿更便于毫米波能量由空气透射到贴壁细胞上。

关键词 培养皿; 介电常数; 标量网络分析仪(AV3617); 扫频测试
中图分类号 TN99; Q274 文献标识码 A

Measuring the Permittivity of Cell Culture Dishes

GAO Yuan-ci, SUN Jia-hong, YU Guo-fen

(School of Physical Electronics, Univ. of Electron. Sci. & Tech. of China Chengdu 610054)

Abstract The complex permittivity of cell culture dish is required to be measured when we do the bioelectromagnetic researches in cell's level. A dielectrical measurement system that is assembled by the Fabry-Perot resonator and scalar network analyzer is presented. By this system, the cell culture dish that made from glass or plastic was measured. The permittivity of plastic cell culture dish is closer to air than glass cell culture dish and the loss tangent of plastic cell culture dish is also smaller. The result of the experiments proved that the plastic cell culture dish is advantaged for millimetric wave transmission.

Key words cell culture dish; permittivity; scalar network analyzer(AV3617); frequency sweep measurement

随着生物学和电磁学的交叉学科研究的深入, 近来关于细胞和分子层次上的毫米波生物效应试验研究报道较多^[1-2], 而相关实验的电磁剂量学研究正在起步阶段, 培养皿构形、培养皿的介电参数和培养液的电磁参数等多种因素都可能对辐照到细胞上的电磁剂量有显著影响^[3-4]。目前市面上的培养皿种类也较多, 常见制作培养皿的原材料是玻璃材料和有机材料两种。为了准确计算和测定电磁剂量必须针对具体实验用的培养皿进行介电参数测量。测量材料电介质参数的有力工具是谐振腔技术, 随着研究频率升高到毫米波段, 闭腔的尺寸减小到几个毫米量级, 很难确保样品与腔壁不存在缝隙(缝隙对测量误差影响很大), 此外闭腔品质因数(Q 值)与工作波长呈1.5次方关系, 随着波长减小 Q 值很低不能对损耗进行精确测量。准光学开放腔在毫米波段可以避免闭腔的诸多不便, 且具有较高的 Q 值, 在准光腔技术应用到材料电参数测量方面的研究国内外有

成功的经验可以借鉴^[5], 因此本文建立了一套8 mm波准光学开放腔介质测试系统, 测试了玻璃材料和有机材料两类细胞培养皿的介电常数, 整个测量过程无需破坏培养皿的结构。

1 测试原理

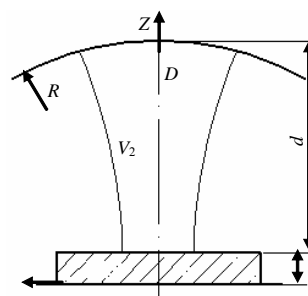


图1 F-P腔介质测试示意图

本文采用半球面准光腔, 如图1、2所示, 它由球面镜和一个平面镜组成, 测试样品置于平面镜上进行测量。空腔基模的谐振频率为^[5-6]:

收稿日期: 2005-01-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60371007)

作者简介: 高原慈(1974-), 男, 博士, 主要从事电磁场与微波技术方面的研究。

$$f_{0,0,q} = \frac{c}{2D} \left[q + 1 + \frac{1}{\pi} \arctan(\sqrt{D/(R-D)}) \right] \quad (1)$$

从式(1)可知基模谐振频率决定于腔内空间的电磁波速度 c , 平凹腔的腔长 D 、球面镜的曲率半径 R 及纵向模式数目 q 。

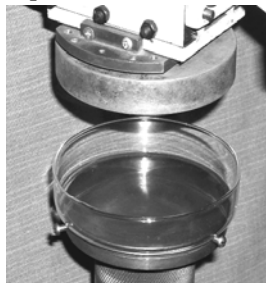


图2 F-P腔测试的实物照片

将待测细胞培养皿(皿壁厚度为 t) 放到平面镜上后, 由于培养皿的介电常数是复数, 故当培养皿放入准光腔后会引引起准光腔的等效轴向距离变化导致谐振频率漂移至 f , 而培养皿的损耗使准光腔的 Q 值下降, 因此可以算出培养皿的复介电常数, 实部由以下方程确定^[5,7]:

$$\frac{1}{n} \tan(nkt - \Phi_1) = -\tan(kd - \Phi_d) \quad (2)$$

式中:

$$n = \sqrt{\epsilon_r}; k = 2\pi f_s \quad (3)$$

$$\Phi_1 = \arctan\left(\frac{t}{nz_0}\right); \Phi_d = \arctan\left(\frac{d'}{z_0}\right) - \arctan\left(\frac{t}{n^2 z_0}\right) \quad (4)$$

$$z_0 = \sqrt{d'(R_0 - d')}; d' = d + \frac{t}{n^2}; d = D - t \quad (5)$$

损耗角直接和腔体的品质因数有关, 由以下关系式计算^[7]:

$$\tan \delta = \frac{2nkt(d + t\Delta)}{Q_e \{2nkt\Delta - \Delta \sin(nkt - \Phi_1)\}} \quad (6)$$

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{Q_d} - \frac{1}{Q_1}; \Delta = \frac{n^2}{n^2 \cos^2(nkt - \Phi_1) + \sin^2(nkt - \Phi_1)} \quad (7)$$

式中 Q_d 为腔体装载待测培养皿后的有载品质因数, Q_1 为加载同体积等实部无耗样品时腔体品质因数的理论值, 其计算公式为:

$$Q_1 = Q_0 \frac{2(t\Delta + d)}{D(\Delta + 1)} \quad (8)$$

式中 Q_0 为腔体空载品质因数, 如果 $\Delta \neq 1$, 则 Q_1 要作一定修正:

$$Q_{1f_s} = Q_0 \frac{(M + 1)(t\Delta + d)}{(M\Delta + 1)D} \quad (9)$$

式中 $M = R_{\text{ping}}/R_{\text{qiu}}$ 为平面镜与球面镜的表面电阻值之比。

2 测试系统

准光腔与自动标量网络测试仪构成的终端反射式测量系统如图3所示^[6]。由扫频源HP83630A提供在一定频带内等功率的信号输入到倍频模块, 该信号驱动倍频模块输出26.5 ~ 40 GHz频带内相应带宽内的扫频信号, 倍频块的输出端由矩形波导接定向耦合器输入到准光腔球面镜上的输入口。从谐振腔反射回的信号经定向耦合器传到检波器, 检波信号传向网络分析仪AV3617进行处理。对培养皿介电常数进行测量前需调整准光腔的球面镜和平面镜之间的间距(即调整腔长), 使得基模谐振峰移动到预定的工作频段上。对系统作单端校准后记录工作基模的谐振频率并测出此时的腔体空载 Q 值^[6], 装载待测培养皿后再记录准光腔相应的工作模式的谐振频率及 Q 值, 通过式(2)、(6)得到测试结果。

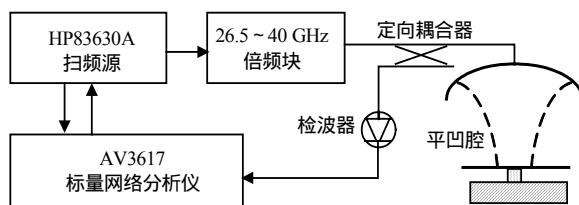


图3 扫频测试系统示意框图

3 测试结果

市面上的细胞培养皿虽然形状和大小各异, 生产厂家繁多, 但常见的制作材料仍是玻璃和有机材料两种, 故本文选用玻璃和有机材料细胞培养皿各三个, 在8 mm波段上的两个频率点上进行了测试。培养皿直径为90 mm, 由于该直径大于平面镜且比测试电磁高斯波束场斑大3倍以上, 故可认为是单层介质的平凹腔测量, 大大简化了测试理论的计算过程。通过系统调试在温度为14 °C、湿度为66.8%RH的环境下测量得到最终的结果如表1、2所示。

表1 玻璃培养皿介电常数测试结果

f_0/GHz	t/mm	f_s/GHz	空载 Q 值 ($\times 10^{-3}$)	载样 Q 值 ($\times 10^{-3}$)	ϵ_r	$\tan \delta$
34.412	1.56	33.283	12.52	1.957	5.50	0.048
34.412	1.52	33.284	11.47	2.080	5.54	0.045
34.412	1.54	33.284	12.31	2.017	5.51	0.048
36.399	1.56	35.269	11.38	2.015	5.42	0.044
36.399	1.52	35.271	11.68	2.138	5.39	0.042
36.399	1.54	35.270	12.06	2.075	5.40	0.043

(下转第111页)

- [4] RABIN T, BEN-Or M. Verifiable secrets sharing and multiparty protocols with honest majority[C]// In: Proceedings of the 21st Annual ACM Symposium on Theory of Computing, New York, 1989: 73-85.
- [5] 张建中, 肖国镇. 一个可防止欺诈的秘密分享方案[J]. 电子科学学刊, 1999, 21(4): 516-521.
- [6] 费如纯, 王丽娜. 基于RSA和单向函数防欺诈的秘密共享体制[J]. 软件学报, 2003, 14(1): 146-150.
- [7] 王育民, 刘建伟. 通信网的安全—理论与技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999.
- [8] 许春香, 魏仕民, 肖国镇. 定期更新防欺诈的秘密共享方案[J]. 计算机学报, 2002, 25(6): 657-660.
- [9] SMITH P. LUC public-key encryption: A secure alternative to RSA[J]. Dr. Dobbs's Journal, 1993, 18(1): 44-49.
- [10] RIVEST R L, SHAMIR A, ADLEMAN L. A method for obtaining digital signatures and public key cryptosystem[J]. Communication of the ACM, 1978, 21(2): 120-126.

编辑 熊思亮

(上接第71页)

测量玻璃培养皿的厚度时,发现培养皿底表面有很多同心圆纹路且整个面不平整。有机材料的细胞培养皿没有相应的情况而且培养皿底面材料厚度的一致性较好。

表2 有机材料培养皿介电常数测试结果

f_0/GHz	t/mm	f_s/GHz	空载 Q 值 ($\times 10^{-3}$)	载样 Q 值 ($\times 10^{-3}$)	ϵ_r	$\tan \delta$
34.412	0.98	34.211	11.36	8.105	3.07	0.001 8
34.412	1.00	34.210	11.28	8.362	3.09	0.001 6
34.412	1.00	34.210	11.47	8.553	3.11	0.001 6
36.399	0.98	36.159	12.05	9.051	3.01	0.001 5
36.399	1.00	36.160	12.13	9.040	2.99	0.001 5
36.399	1.00	36.160	11.94	8.760	2.97	0.001 6

4 结 论

本文建立的单层平面材料介电常数扫频测试系统为毫米波生物效应相关实验的电磁剂量学研究奠定了基础。通过对有机材料和玻璃制作的两类培养皿在8 mm波段的两个频率点上进行介电常数测试后,结果表明有机材料制作的细胞培养皿具有底部

表面平整、光洁度好、材料对毫米波的损耗小的特点。因此,在做细胞层次上的毫米波生物效应研究时,有机材料的细胞培养皿比玻璃的细胞培养皿更适合被用于对细胞进行毫米波辐照。

参 考 文 献

- [1] PAKHOMOV A G, AKYEL Y, PAKHOMOVA O N, et al. Current state and implications of research on biological effects of millimeter waves:a review of the literature[J]. Bioelectromagnetics, 1998, 19(7): 393-413.
- [2] 廖小丽. 毫米波生物效应的水分子谐振机理[J]. 电子科技大学学报. 2002, 31(1): 80-83.
- [3] ZHAO J X, LI J X. Algorithm analysis of electromagnetic wave power density measurement for millimeter-wave irradiators in bioelectromagnetic experiments[J]. Int.J. IR & MMW, 2003, 24(6): 909-928.
- [4] 赵建勋, 牛中奇, 鲁德强. 辐照到培养皿中细胞单层上的毫米波功率密度分析[J]. 生物医学工程学杂志, 2004, 21(1): 97-101.
- [5] HIRVONEN T M, VAINIKAINNN P, LOZOWSKI A, R, et al. Measurement of dielectrics at 100 GHz with an open resonator connected to a network analyzer[J]. IEEE Trans.Instrum. Meas, 1996, 45(8): 780-786.
- [6] 高源慈, 余国芬, 孙嘉鸿. 准光腔品质因数的标网测量与研究[J]. 强激光与粒子束, 2004, 16(4): 517-520.
- [7] AFSSR, DING Han-yi. A novel open-resonator system for precise measurement of permittivity and loss-tangent[J]. IEEE Trans. Instrum. Meas., 2001, 50(2): 402-405.

编辑 孙晓丹