

# 研究毫米波细胞生物效应的新装置

王宝明

(天津医学院生物医学工程系, 天津, 300070)

**摘要** 介绍一种研究毫米波酵母细胞生物效应的新装置. 它应用锁相技术使输出频率保持长期的高度的稳定度 ( $\pm 10$  kHz), 并配有确定场强分布 (衰减变化达 9 位) 的矩形辐照室, 实现了对单个细胞场强作用的精确控制, 并自动跟踪观察和记录了它们的生长参数.

**关键词** 毫米波, 酵母细胞, 生物效应.

## 引言

我们研究毫米波的细胞非热共振效应, 研究证明它存在着相干激发. 一般胞膜 (如酵母) 厚度约为  $10^{-2}$   $\mu\text{m}$ , 是带有电偶极矩的液晶双脂膜, 受外界电磁场作用产生电振动. 设电振动在膜内的传播速度为声速 ( $\sim 10^2 \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), 膜厚度为声波波长, 膜振动频率的数量级在微波范围 ( $10^{11} \sim 10^{12} \text{Hz}$ ), 波长为毫米量级. 人们推测毫米波可能引起细胞膜的相干电振动, 从而对细胞物质代谢 (如离子传输) 及发育产生明显影响. 原苏联、德国等不少微波生物学实验都证明了上述的推测, 用本实验装置测量毫米波对酵母细胞生长率和取向的强度及频率的影响也是一个证明<sup>[1~3]</sup>.

最初曾使用光电测量法, 对比经毫米波 (约 41 GHz) 辐照的与不受辐照的酵母细胞悬浮液的透光量, 测定出细胞的生长繁殖能力. 毫米波功率密度  $\ll 10 \text{mW}/\text{cm}^2$ , 排除了任何生物效应的热机制. 在光电法中采用了叉状和管状两种不同形状的介质聚四氟乙烯天线, 分别浸入细胞培养悬浮液, 毫米波辐射作用于被搅拌的酵母细胞. 毫米波能量在水中传播深度约为 0.2 mm, 天线设计成具有较大的辐射表面. 两种天线的辐射生物效应给出重复性相当好的结果, 并实验观察到频率宽度窄至 8 MHz 的毫米波对细胞的影响<sup>[4]</sup>.

由于细胞生物效应是恒定频率不同强度 (相差 3 个量级) 统计的平均, 采用天线浸入法不能测定毫米波作用于单个细胞的确切功率密度. 为研究具体细胞的作用机制并验证有关理论, 必须严格控制实验参数 (如频率, 特别是强度) 并对单个细胞跟踪观察.

## 1 波源与实验装置

产生高  $Q$  值毫米波源的方框图如图 1 所示. 速调管毫米波辐射频率  $f_K$  为 41.652 GHz,

其中小部分 (1%) 与本机振荡器频率  $f_{LO}$  ( $=13.894$  GHz) 的 3 次谐波在混频器混频后控制速调管的输出, 利用锁相技术, 这种回波振荡器 (BWO) 可使输出  $\Delta f/f$  达到  $10^{-7} \sim 10^{-6}$ , 频率稳定度可达  $\pm 10$  kHz. 速调管绝大部分 (99%) 的输出通过波导管对细胞进行辐照.

为定量确定单个细胞毫米波辐射的强度, 我们研制了观察单个细胞生长的实验装置 (见图 2), 用该装置对一组细胞进行辐照和观察.

用一个灵活的波导管把毫米波引入辐照细胞室, 细胞室装于扫描显微镜的载物台上, 该台能在固定的照明和记录系统之间沿水平面自由移动. 每隔相等时间 (例如 7.5 min) 入选细胞被逐一扫描一遍. 镜头聚焦每个细胞时, 细胞及其胞芽的形态和取向可在黑白或彩色萤光屏上被清晰地识别, 并可由 CCD 成像系统储存处理. 把相邻两代出现胞芽的时间差定义为细胞生长周期, 全部观察时间长达 4~5 h. 被辐照和对照的细胞 (每组约 20 个) 两代的生长周期的几率分布由成像处理程序给出, 每个细胞存储在数据文件中的 3 个量为: (1) 细胞的  $X$ 、 $Y$  坐标, 据此可求出单个细胞所在处电场强度  $E$  的大小 (参见图 4); (2) 细胞主轴相对  $E$  的方向; (3) 细胞投影面积 (与处于  $G_1$  相单个细胞的体积成正比). 为防止电磁干扰, 整个装置置于透明的屏蔽网内.

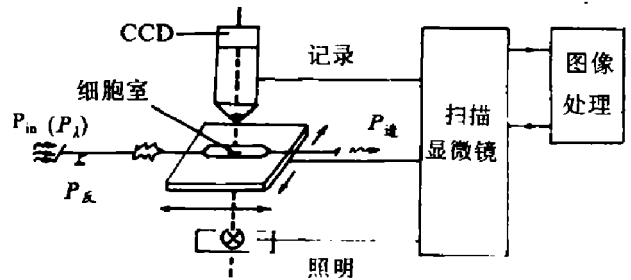


图 2 观察单个细胞生长的实验装置  
Fig. 2 The experimental set-up for observing growth of single cell

## 2 恒温辐照细胞室的分析和实验

恒温辐照细胞室是一个两头尖的石英针, 其两侧被透明的石英载片加宽, 石英针是充有介质金属波导的介电物质, 它是微波回路的重要组成部分 (见图 3). 石英针除两端和上

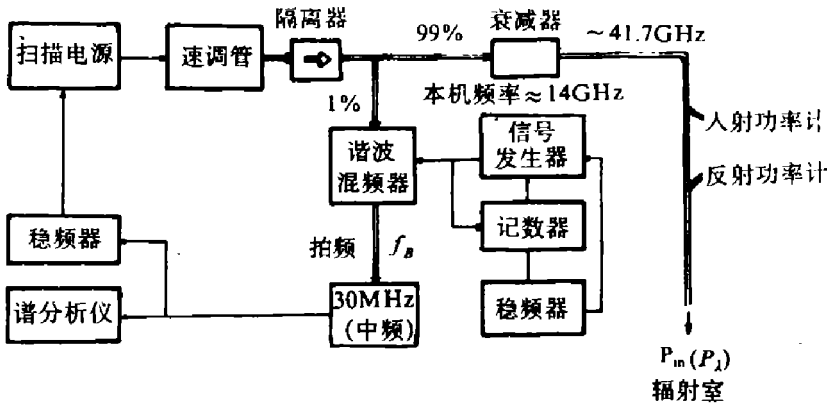


图 1 高  $Q$  值毫米波源方框图  
Fig. 1 Block diagram of the millimeter wave source with high  $Q$  value

表面中部的一个矩形辐射孔 (大小为  $0.4\text{ mm} \times 1.7\text{ mm}$ )，即矩形辐射天线 (见图 4) 外全部镀金以防止毫米波外逸。在与物镜相对的载物台下侧，有一个更宽的矩形开口，上面罩有一层精细的金属网结构，它可抑制 (达  $-50\text{ dB}$ ) 毫米波能量的泄漏。

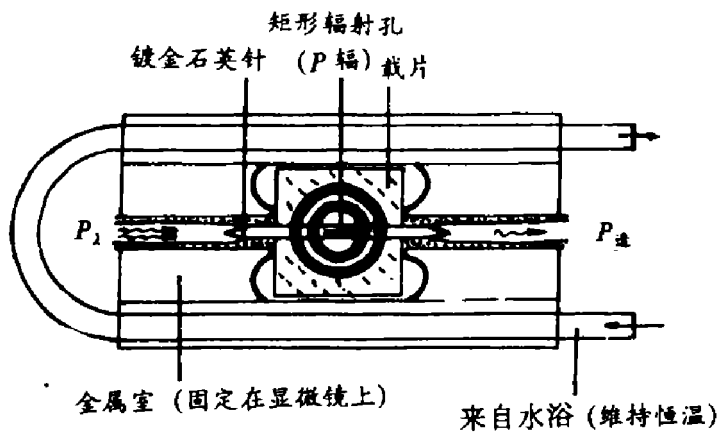


图 3 恒温辐照室 (顶视图) 及其可取下的电介质 (石英针与载片)

Fig. 3 The thermostatic radiation chamber (top view) and the removable dielectric (quartz needle and carrier plate)

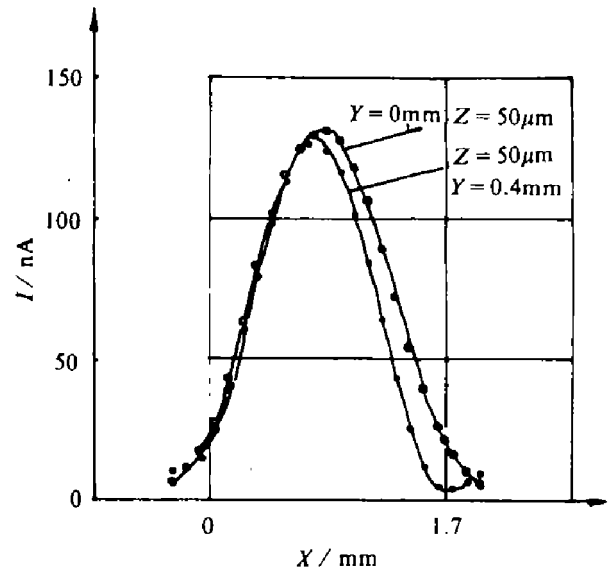


图 4 辐射孔两条长边界 ( $1.7\text{ mm}$ ) 辐射强度分布图

Fig. 4 Intensity distribution of the radiating slot ( $1.7\text{ mm}$  long) at the long boundaries

一薄层透明琼脂 ( $0.2\text{ mm}$ ) 与图 3 较小的塑料园环内部吻合，使处于薄层下面园环内部液体培养基中的酵母细胞得到固定，琼脂层和细胞都在石英针和载片上面。这样，通入镀金石英针的毫米波可从分布有单层细胞 (空间位置确定) 的矩形辐射孔中辐射出来。

理论和实验都证明了辐射孔有单模微波场，电场在  $Y$  方向偏振，磁场在  $X-Z$  平面。对应固定频率为  $41.652\text{ GHz}$ ，恒定输入功率为  $30\text{ mW}$ ，其强度按  $\sin^2$  分布，作用于每个固定细胞的场强时空是恒定的。

$1.7\text{ mm}$  半波长辐射孔发出以  $43\text{ GHz}$  为中心且与频率相关的谐振功率，确保  $41\sim 42\text{ GHz}$  频率连续可调，所产生的辐射强度随频率的变化可小到忽略不计。图 4 给出矩形辐射孔两条长边界辐射强度的空间分布，纵坐标是微型传感探针测量显示的电流强度  $I$  (nA)，大小与测量点电场强度的平方成正比。为了确定功率强度的定量分配，检验波导系统的线性和毫米波辐射整体的准确性，我们测量了  $P_{\lambda}$ 、 $P_{透}$  和  $P_{辐}$  3 个量。改变输入功率  $P_{\lambda}$ ，相应的  $P_{透}$  和  $P_{辐}$  可借助标准的调节程序实现记录。高准确度衰减器能在 9 位数字之间任意控制入射能流密度。

除实验室保持恒温外，辐照细胞室周围还装有水浴调温及温度跟踪反馈系统，细胞室内酵母细胞温度变化不超过  $0.02^{\circ}\text{C}$ 。

大量细胞 (约 20 个为一组) 第一代至第二代，第二代至第三代，以及平均生长周期和胞芽取向的实验数据形成了随毫米波频率、强度和其它变量的统计分布变化 (谱)，据此可作为评价和分析细胞生长繁殖快慢和取向特征的主要参数和指标。

**致谢** 本文是作者在德国 GSF (辐射和环境研究中心) 的工作总结, 工作中曾得到 Dr. W. Grundler 的指导和 I. Zimmermann, O. Lock, L. Mindl 在技术上的支持, 在此表示感谢.

### 参考文献

- 1 Grundler W. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 1992, **27**:361~365
- 2 Grundler W, Kaiser F. *Nanobiology*, 1992, **1**:163~176
- 3 王宝明, Grundler W. *生物化学与生物物理学报*, 1993, **25**(2):159~166
- 4 Grundler W, Keilmann F. *Zeitschrift für Naturforschung*, 1978, **33C**:15~22

## A NEW SYSTEM FOR STUDYING BIOLOGICAL EFFECT OF MILLIMETER WAVE ON CELLS

Wang Baoming

(Department of Biomedical Engineering, Tianjin Medical College, Tianjin 300070, China)

**Abstract** For studying the biological effect of millimeter wave on yeast cells a new system, of which the long-time output frequency stability ( $\pm 10$  kHz) can be achieved by using the phase locked technique, is introduced. In this system, a thermostat irradiation chamber is used which has a radiating slot ( $0.4 \text{ mm} \times 1.7 \text{ mm}$ ) with a definite field intensity distribution (the applied energy flux densities can be varied over nine decades). The field effect on single cells can be exactly controlled and the growth parameters of the scanned cells can be automatically observed and recorded.

**Key words** millimeter wave, yeast cell, biological effect.