

文章编号: 1004-2474(2004)02-0152-03

利用声致发光成像技术测量液体中的声场

丁春峰, 邢达

(华南师范大学 激光生命研究所, 广州 510631)

摘要: 利用自行改进的增强型 ICCD 成像系统记录水在超声作用下的声致发光图像, 并且分析了声致发光的分布和强度与作用超声的关系, 结果发现超声作用下的发光图像能够近似地反映该作用超声在水中的分布情况, 从而提出了一种测量液体中超声场分布的新方法。该文从实验上证明了此方法的可行性。

关键词: 声致发光; 声场; 成像

中图分类号: O4 **文献标识码:** A

Real Time Measurement of Ultrasound Field Distribution in Liquid with Sonoluminescence Imaging Technology

DING Chun-feng, XING Da

(Institute of Laser Life Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: In this paper, we recorded the image of sonoluminescence resulted from ultrasonic cavitation by the ICCD imaging system which was modified by ourselves. In the mean time, we analyzed the relation between the distribution and intensity of sonoluminescence and the ultrasound. The result showed that the sonoluminescence image could reflect the distribution of ultrasound in liquid. Consequently, a new method of measuring ultrasonic distribution was provided. In this paper, we validated the feasibility of this method by experiment.

Key words: sonoluminescence; sound field; imaging

1 引言

自 1934 年 Frenzel^[1]等发现水溶液在超声场作用下有可见光发射出来以后, 声致发光现象就引起了人们的重视, 声致发光、声化学、声物理已经在化学、医学和工业检测等领域里的研究和应用中展开^[2,3]。随着研究的深入, 如何了解和控制超声场的分布已成为研究人员亟待解决的问题, 虽然现有的测量超声场分布的方法很多, 如: 量热法、腐蚀法和化学计量法等^[4], 但是此方法在实际应用中都较麻烦, 误差较大且不能从整体上描述超声场的分布, 这阻碍了人们对超声作用效应的进一步研究和应用。本文作者利用增强型 ICCD (增强型 CCD) 成像系统研究超声作用下的发光现象时发现, 声致发光图像随着超声的变化而改变, 声场强度的改变或范围的改变都能通过声致发光图像的变化反映出来。进而提出用声致发光图像可近似的描述超声场的分布,

这为超声场分布的实时测量提供了一种简单、方便的新方法。

2 成像装置及成像原理

2.1 增强型 ICCD 成像系统

图 1 为 ICCD 图像探测系统原理图。整套装置

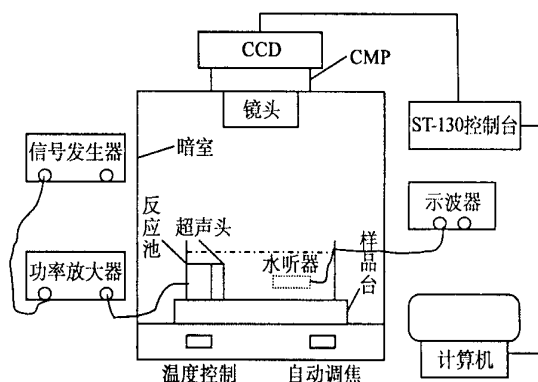


图 1 ICCD 图像探测系统原理图

收稿日期: 2002-11-06

基金项目: 国家重大基础研究前期研究专项资助项目(2002ccc00400); 广东省自然科学基金团队资助项目(015012); 国家自然科学基金资助项目(6037843)

作者简介: 丁春峰(1978-), 男, 河南省鄆城县人, 硕士, 研究方向: 声致发光。责任作者: 邢达, Tel: 020-85210089; Fax: 020-85216052; E-mail: Xingda@snu.edu.cn

放置在暗室里, 样品室内部涂黑, 反应池放在三维可调架上。光电探测系统是以微通道板像增强器为核心的超高灵敏度的成像系统。该系统是由变焦物镜、微通道板像增强器、中继镜(相对孔径 1: 1.4)、CCD 探测系统、控制器及计算机组成。其中, 照像镜头选用适用于弱光拍摄的 Nikon 公司制造的大数值孔径镜头(50mm, $f/1.8$ 型), 探测器选用美国 Princeton Instruments 公司制造的 ICCD-576-S/1, 模数转换器选用美国 Princeton Instruments 公司制造的 ST-130 型控制器, 计算机选用 Intel 公司的 Pentium III 型微机, 数据处理软件选用 W N V I E W。

2.2 ICCD 成像原理

待测超声对水空化产生的发光经变焦物镜成像在微通道板像增强器的光阴极上, 光阴极的光敏波长在 330~930 nm 范围内, 透过输入窗口在像增强器光阴极上的光子由于光电效应转换成电子图像。电子透镜将电子图像藕合到微通道板上, 在像增强器微通道板的每一个光纤通道内, 电子经过不断地撞击, 每个入射电子产生约 100 个电子, 并保持图像的空间分布信息不丢失。从微通道板出射的电子撞击荧光屏, 重新激发出光子图像, 再经中继镜投射到 CCD 上, 数据经控制器采集到计算机里, 再由计算机进行处理。

2.3 超声场的产生

超声发生组件由信号发生器、功率放大器和超声头组成。其中, 信号发生器选用美国 Tektronics 公司生产的 AFG320 信号发生器, 功率放大器选用英国 EN I 公司生产的 2100L 变频功率放大器; 超声头由广州明珠超声仪器公司生产的换能器加工而成。反应池为 30 cm × 10 cm × 15 cm 的玻璃器皿, 反应池里装有蒸馏水, 水位要求能浸没超声头, 由信号发生器发出的正弦信号经功率放大器放大后加到超声头的压电陶瓷晶片上, 陶瓷晶片将电信号转换成超声波。

3 实验结果与分析

实验选用信号发生器发出的频率为 500 kHz, 幅度为 4.2 V 的正弦信号, 经功率放大器放大 31 倍后驱动超声头, 超声头产生的超声对水进行空化作用产生发光信号, 经过 ICCD 成像探测系统得到水在超声作用下的发光图像, 如图 2 所示, 图中明亮的圆斑是由超声在玻璃池中形成的驻波场产生的。图像采集时间为 5 s。

为了寻找声致发光的强度和声压的关系, 将水听器置于水中超声场某点处, 逐步改变输入信号的大小, 每改变一次, 用 ICCD 记录该点的发光, 同时用水听器记录该点的相对声压。得到发光强度、水中相对声压随输入信号变化关系曲线, 如图 3、4 所示。

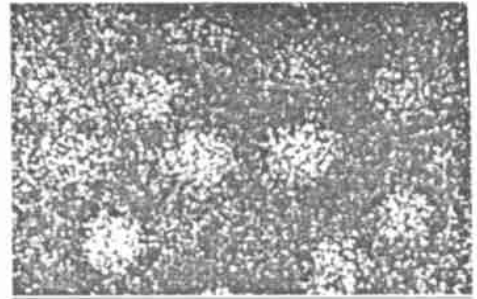


图 2 水在超声作用下的发光图像

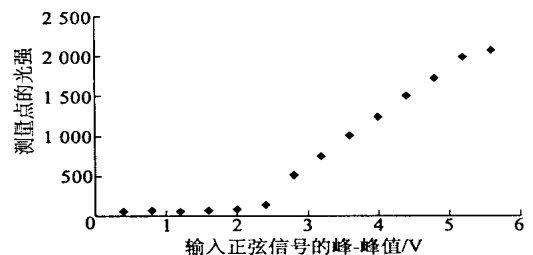


图 3 测量点的发光强度随输入信号变化关系曲线

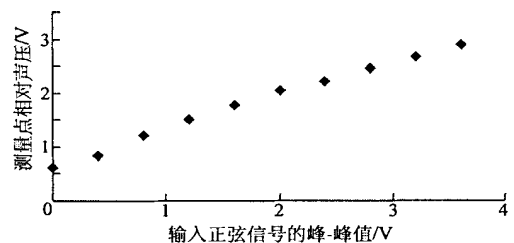


图 4 测量点的相对声压随输入信号变化关系曲线

超声头发射的超声波在水中传播时, 随着传播距离的增加, 传播范围的扩大, 其强度也将逐渐减弱。因此, 水中不同位置的超声强度分布不相同。又因为超声对水有空化作用, 并且, 当声压超过某一定值后, 在一定范围内发光强度随声压的增加而增加^[5~7], 所以, 在超声作用下, 水中不同位置的发光强度也不相同。图 2 中的声致发光图像是由共振频率为 500 kHz 圆形超声换能片发出的超声产生的, 该声源的特点是: 近声源处声场起伏大, 远场区声压逐渐减少, 声压随侧向距离变化也有起伏, 除声轴上有最大值外, 还有旁瓣。水中的一个个圆形光斑正是

由该超声头发出的超声的一个个驻波节点产生的。这些光斑的发光强度很不均匀,靠近超声头的发光较强,离超声头越远,发光就越弱;超声换能片轴线上的发光较强,随着半径的增加,发光越来越弱。从图3可以看出,输入信号幅度达到某一值后,发光强度随着输入信号的增加而近似线性地增加,而图4则反映出发光点处的相对声压与输入信号也存在着近似的线性关系,由此可知,用水中某点发光的强弱可以来表示该点超声的强弱。

改变信号发生器输出正弦信号的幅度,超声强度相应地要跟着改变,整个声场形成的声致发光现象也会随之改变。图5为信号发生器输出幅度为3.8V、频率为500kHz时的超声产生的发光图像。

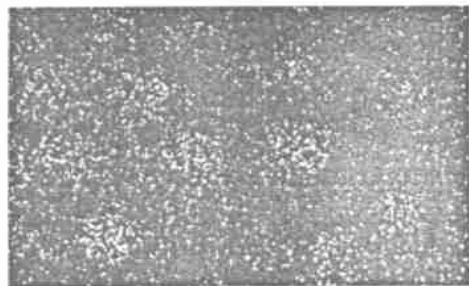


图5 发光图像

与图2相比,图5中的发光强度和范围明显减小,由于超声头输出功率减小,超声强度变小,相应的发光信号要变弱,并且水中某些地方的超声强度已经低于水的空化阈值,所以,这些地方已经没有光信号产生。

综上所述,超声强度超过水的空化阈值以后,声致发光强度与声压呈近似的线性关系,超声的微小改变就会导致与之对应的发光图像的改变,因此用声致发光图像可很灵敏地反映水中作用超声的强弱和分布范围。为验证此法的正确性,选用一已知共振频率为207.7kHz,水中焦距为2.31cm,轴向3dB宽2.11cm,侧向3dB宽0.38cm的环行聚焦超声源为待测超声源在输入信号幅度为3.8V的条件下

对水溶液进行空化实验。实验测得的焦距和图像中焦斑的大小与理论计算所得值基本吻合。

4 结束语

用声致发光图像来表示超声的分布是一种能够动态地测量液体中超声分布的方法,和其他测量超声场的方法相比这种方法操作简单,更清晰,更直观,更形象,并且能从整体上适时地描述声场的分布,在记录发光图像的过程中,我们采用高度灵敏的CCD图像探测系统,可以记录很弱的光信号,因此,即使是很弱的超声信号也能反映在发光图像上,大大提高了超声的测量的范围。另外,根据发光图像还可以很方便地调节超声场使其达到实际应用中所需的强度和范围。用这种方法测量、调控超声场的分布既方便又准确,因此,在超声的应用和研究中将起到很大的作用。

参考文献

- [1] FRENZEL H, SCHULTES H. Luminescenz in ultraschallbeschickten wasser [J]. Z Phys Chem B, 1934, 27B: 421-424.
- [2] CRUM L A. Sonoluminescence [J]. Physics Today, 1994, 47(9): 22-29.
- [3] WANG Lihong V, KU Geng, SHEN Qim in. Combining sound and light in scattering media [C]. SPIE, 1999, 3863(4): 95-104.
- [4] 冯若,李化茂. 声化学及其应用[M]. 安徽: 安徽科学技术出版社, 1992.
- [5] HNTANKA S, YASU IK, TUZUTIT, et al. Tuziuti and m itome. difference in threshold between sono- and sonochemical luminescence [J]. Jpn J Appl Phys, 2000, 39(5): 2962-2966.
- [6] HAMMER D, FROMM HOLD L. Spectra of sonoluminescent rare-gas bubbles [J]. Phys Rev Lett, 2000, 85(6): 1326-1329.
- [7] BARBER B P, HLLER R A. Defining the unknowns of sonoluminescence [J]. Physics Reports, 1997, 281(2): 65-143.