

文章编号:1004-4213(2011)06-0828-3

液体表面波振幅与激发深度的关系

苗润才, 李能能, 高美玲, 韩鹏斌

(陕西师范大学 物理学与信息技术学院, 西安 710062)

摘 要:研究了液体表面波振幅随激发深度的变化特性. 采用探针式激发器激发, 观察到液体表面波的衍射图样; 改变激发深度, 得到不同激发深度处的衍射图样; 根据衍射图样分布与表面波振幅之间的关系并进行计算机编程, 获得表面波振幅与激发深度之间的关系. 用最小二乘法拟合, 发现: 液体表面波振幅随激发深度的增加而减小, 并呈指数规律.

关键词:表面波; 声光效应; 激发深度; 振幅

中图分类号: O436; O357.4+3

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20114006.0828

0 引言

自激光问世以后, 很快被用于声光效应研究. 在声光效应研究中, 表面声光效应是一种特殊的研究领域. 传统的表面声光技术均采用超声波, 且多发生在固体表面. 1979 年, G. Weisbuch 等人首次研究液体表面上的低频声光效应, 并用这种方法测量了液体表面张力^[1]. 随后液体表面声波 (Surface Acoustic Waves, SAW) 声光效应及其应用研究取得了许多研究结果^[2-6]. 文献^[7-8]用衍射的方法研究了频率为几百赫兹频率的液体 SAW, 同时也用干涉的方法研究了频率在几十赫兹范围内的 SAW^[9-10]. 并且研究了液体 SAW 衰减系数及其与频率之间的关系^[11-13]. 上述液体表面声光效应研究中, 均采用探针式激发器产生表面波. 即探针插入液体后, 探针振动, 引起液体表面振动, 从而产生液体表面波. 但是, 所有上述研究, 均没有考虑激发深度对实验结果的影响. 在实验过程中, 本文发现: 液体表面附近, 激发深度不同, 液体表面波声光衍射图样不同. 因此激发深度不仅影响实验结果, 而且是声光效应理论中的重要参量. 对它的研究具有理论及使用价值. 本文将对激发深度与液体表面声光衍射进行系统的研究. 实验上通过改变激发深度, 观察不同激发深度处的衍射图样, 进一步确定表面波的振幅. 根据表面声光衍射理论和实验数据, 通过最小二乘法处理, 得出激发深度与液体 SAW 振幅之间的关系.

1 实验装置及现象

实验装置如图 1, 由五部分组成: 激光光源, 低频信号发生器, 表面波激发器, 样品池, 光电数据采集及数据处理系统. 低频信号发生器输出的信号驱动表面波激发器, 使得在液体表面产生表面波. 本次实验中, 低频信号发生器的输出频率为 100 Hz, 选择适当的功率, 使得衍射图样清晰. 表面波激发器固定在上下左右可移动的支架上, 以便调节表面波激发器距激光入射点的距离和激发深度, 表面波激发器距入射点的距离为 6 cm. 未扩束的激光光束经滤光片斜入射到液体表面, 激光光斑的直径大约为 2.5 mm, 入射角 α 大约为 0.059 4 rad, 由于激光斜入射到液体表面, 所以液体表面入射光斑为一椭圆形, 长轴与表面波的传播方向平行, 光斑大约照亮 2~3 个波形. 入射光经液体表面波衍射后到达观察

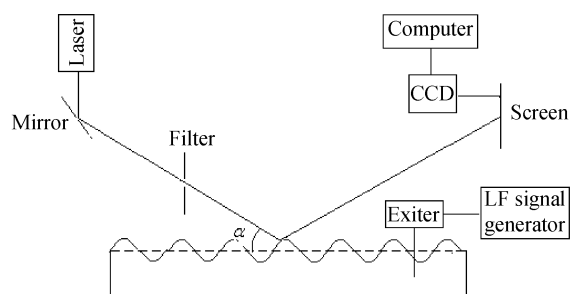


图 1 实验装置

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

基金项目: 陕西省重大科技创新专项基金 (No. 2010VKC01-18) 和陕西省自然科学基金 (No. 2010JM1003) 资助

第一作者: 苗润才 (1957-), 男, 博导, 博士, 主要研究方向为声光理论及技术. Email: rcmiao@snnu.edu.cn

通讯作者: 李能能 (1983-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为液体表面波的光学检测. Email: lineng123@163.com

收稿日期: 2010-11-01; 修回日期: 2011-03-01

屏,并用 CCD 采集衍射图样,且将数据输入到计算机进行处理.入射点到观察屏的距离为 240 cm.本实验中采用的液体为纯净水,液体温度为 20 °C.

实验中,通过调节表面波激发器的上下调节旋钮,改变表面波激发器的深度.在不同的激发深度,观察相应的衍射图样,并用 CCD 采集,结果如图 2.

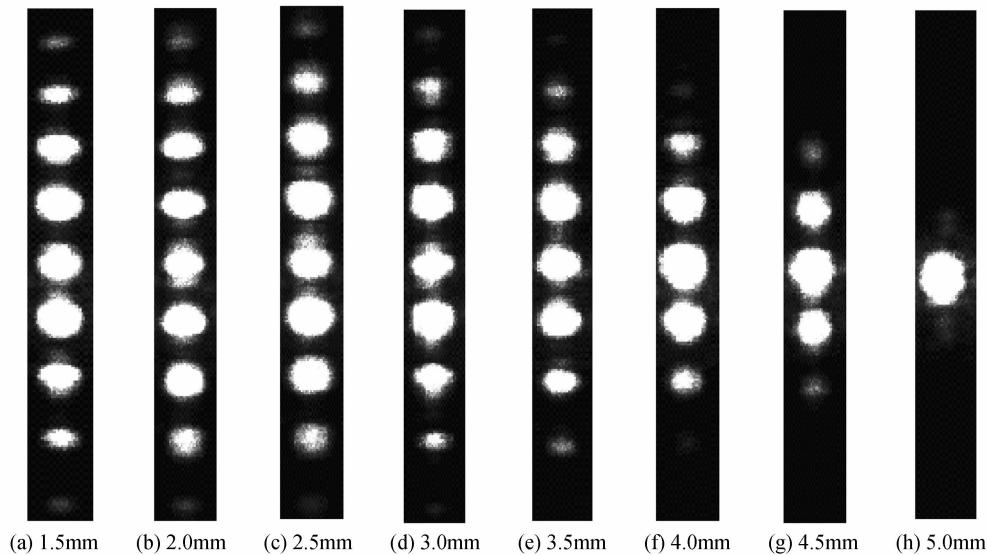


图 2 不同激发深度处表面波的衍射图样

Fig. 2 Diffraction patterns from SAW surface with different exited depth

2 理论分析

实际中,液体表面粒子的运动较为复杂,但在振幅较小的情况下,常把这种运动近似为正弦波,其表面波的函数可用正弦函数表示

$$Y = h \sin(\omega t - kx) \quad (1)$$

式中, Y 为表面波振动方向的纵坐标, x 为沿表面波传播方向的坐标, h 为表面波振幅, ω 为角频率, k 为波矢量, $k = 2\pi/\Lambda$, Λ 为表面波波长.未扩束的激光光束以入射角 α 斜入射到液体表面,经过液体表面时发生衍射作用,在观察屏上可观察到衍射图样,其衍射光场分布为^[14]

$$I(x') = \sum_n J_n^2 \left(\frac{4\pi h \sin \alpha}{\lambda} \delta^2 \left(\frac{x'}{\lambda z'} - \frac{n}{\Lambda \sin \alpha} \right) \right) \quad (2)$$

式中, x' 为观察屏上的坐标, z' 为入射点到观察屏之间的垂直距离, λ 为入射光的波长, J_n 为 n 阶第一类贝塞尔函数, δ 为脉冲函数. δ 函数决定了衍射图样的位置,贝塞尔函数 $J_n^2 \left(\frac{4\pi h \sin \alpha}{\lambda} \right)$ 决定了衍射图样中各级条纹的相对强度大小.对于给定的 α, λ ,该相对强度只是振幅 h 的函数.根据贝塞尔函数,通过任一级衍射光强度与零级衍射光强度相比较,可求出不同衍射图样对应的表面波振幅.对于不同深度处的衍射图样,根据此方法,求出与之相对应的表面波振幅,进而得出振幅与激发深度之间的关系.

其中图 2 中各图分别对应激发器距液体表面深度为 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm, 3.5 mm, 4.0 mm, 4.5 mm, 5.0 mm 处的衍射图样.由衍射图可以看出,激发深度变化时,衍射图样的光强度分布也发生变化,且衍射出现的级数不同.用 CCD 检测后,可以得到各界衍射相对强度的实验值.

3 数据分析

对图 2 中的衍射图样进行扫描,读出各级条纹的相对强度,并求出任一级相对强度与零级相对强度的比值,再根据贝塞尔函数的性质,将入射角,入射光波长代入式(2),求出图 2 中各图样对应的振幅值(即不同激发深度对应的液体表面波振幅值).最后,以激发深度为横坐标,表面波振幅为纵坐标,用最小二乘法拟合,得到振幅随激发深度变化的拟合曲线,如图 3.

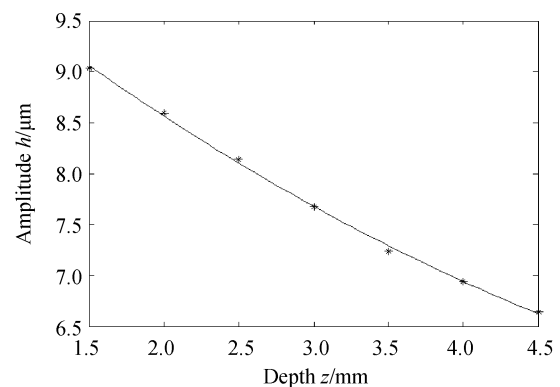


图 3 表面波振幅与激发深度的关系

Fig. 3 Dependence of the SAW amplitude on the exited depth

由图 3 可以看出,液体表面波振幅随激发深度的增加而减小,也就是说,随激发深度的增加,表面

波存在明显的衰减。

为了进一步掌握液体表面波振幅随激发深度的衰减特性,首先对表面波振幅取对数,然后以取对数后的振幅为纵坐标,以激发深度为横坐标,再用最小二乘法进行拟合,其结果如图4。

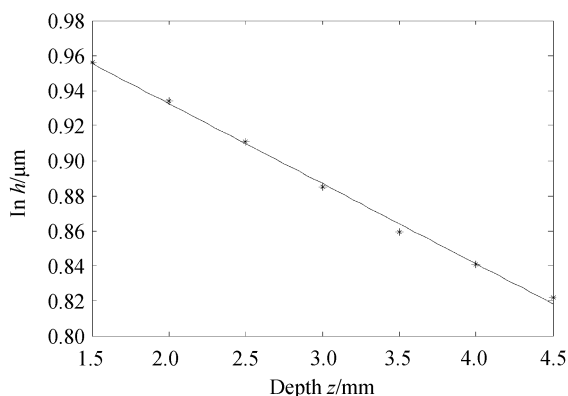


图4 取对数后的振幅与激发深度的关系

Fig. 4 Logarithm of the SAW amplitude versus depth

由图4可知,取对数后的表面波振幅与激发深度之间存在着线性关系.由此可进一步证明:在以纯净水为样品的实验中,液体表面波振幅随激发深度的增加以指数的规律变化.除纯净水外,实验中还选择了煤油,甲苯作为样品,均发现与纯净水类似的实验结果.即随激发深度的增加,表面波振幅减小。

4 结论

1)用探针式激发器激发液体表面,激发频率为100 Hz,在液体表面上产生低频表面波,用激光照射液体表面波,观察到清晰的衍射图样;2)调节激发器探针的深度,观察不同深度处表面波的衍射图样,当探针深度不同时,衍射光强度分布不同,衍射图样中衍射级次不同;3)用CCD采集不同激发深度处的衍射图样,再根据衍射图样分布与表面波振幅之间的关系进行计算机编程,得到不同激发深度时的表面波振幅;4)利用最小二乘法进行曲线拟合,得到表面波振幅随激发深度变化的关系曲线.由拟合曲线

可知,表面波振幅随激发深度的增加而减小,并呈指数关系,进而得到表面波振幅随激发深度变化的衰减系数。

参考文献

- [1] WEISBUCH G, GARBAY F. Light scattering by surface tension waves[J]. *Am J Phys*, 1979, **47**(4): 355-356.
- [2] BARTER J D, LEE PHY. Real-time wave amplitude spectrum analyzer for air-liquid interfaces[J]. *Appl Phys Lett*, 1994, **64**(15): 1896-1898.
- [3] BARTER J D. Surface strain modulation of insoluble surface film properties[J]. *Phys Fluids*, 1994, **6**(8): 2606-2616.
- [4] KLIPSTEIN W M, RADNICH J S, LAMOREAUX S K. Thermally excited liquid surface waves and their study through the quasielastic scattering of light[J]. *Am J Phys*, 1996, **64**(6): 758-765.
- [5] BARTER J D, LEE PHY. Imaging surface wave analyzer for liquid surfaces[J]. *Appl Opt*, 1997, **36**(12): 2630-2635.
- [6] DUNCAN B D. Visualization of surface acoustic waves by means of synchronous amplitude-modulated illumination[J]. *Appl Opt*, 2000, **39**(17): 2888-2895.
- [7] MIAO Run-cai, TENG Xiao-li, YE Qing. Nonlinear acoustic-optical effect from liquid surface waves at low-frequency[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(10): 1264-1267.
- [8] 苗润才,滕晓丽,叶青.液体表面低频声波的非线性声光效应[J]. *光子学报*, 2003, **32**(10): 1264-1267.
- [9] MIAO Run-cai, YANG Zong-li, ZHU Jing-tao, et al. Visualization of low-frequency liquid surface acoustic waves by means of optical diffraction[J]. *Appl Phys Lett*, 2002, **80**(17): 3033-3035.
- [10] MIAO Run-cai, ZHAO Xiao-feng, SHI Jian. Modulated interference of reflected light from a liquid surface wave at tens hertz frequencies[J]. *Opt Commun*, 2006, **259**(2): 592-597.
- [11] MIAO Run-cai, QI Jian-xia, DONG Jun, LI Fang-ju. The nonuniform distribution of bright fringe intensity in interference patterns[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(1): 156-159.
- [12] MIAO Run-cai, DONG Jun, QI Jian-xia. Measurement of the damping of liquid surface wave by diffraction method[J]. *Brazilian Journal of Physics*, 2007, **37**(3): 1129-1133.
- [13] MIAO Run-cai, SHI Jian, ZHAO Xiao-feng. Determination of the attenuation coefficient of surface acoustic wave by means of the light interference [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(3): 381-385.
- [14] 苗润才,时坚,赵晓凤.干涉法测量低频表面波的衰减系数[J]. *光子学报*, 2005, **34**(3): 382-385.
- [15] MIAO Run-cai, LIU Xiang-lian, LUO Dao-bin. Measurement of the spatial damping of low-frequency liquid surface waves by means of optical diffraction [J]. *Laser Journal*, 2007, **28**(6): 20-21.
- [16] 苗润才,刘香莲,罗道斌.激光衍射法测量表面波的衰减系数与频率的关系[J]. *激光杂志*, 2007, **28**(6): 20-21.
- [17] 玻恩 M,沃耳夫 E. 光学原理[M]. 北京:科学出版社, 1981: 522-529.

Dependence of Liquid Surface Acoustic Waves Amplitude on Exited Depth

MIAO Run-cai, LI Neng-neng, GAO Mei-ling, HAN Peng-bin

(Institute of Physics and information Technology, Shannxi Normal University, Xi'an 710062)

Abstract: It is investigated that the characteristics of the liquid surface wave amplitude change with the exited depth. Diffraction patterns from the liquid surface acoustic waves (SAW), which is produced by the exiting needle, were observed. Diffraction patterns from SAW corresponding different exiting depths were found. The relation between the diffraction pattern distribution and the surface acoustic wave amplitude was achieved and this relation was programmed. Then, the dependence of the amplitude on the exited depth was obtained further. It was found that the surface acoustic waves amplitude decreases exponentially as the exited depth increase based on the least square method.

Key words: Exited depth; Surface acoustic wave; Amplitude