



热透镜效应探究与氯化钠溶液浓度的测量

谢嘉泳

(华南师范大学物理与电信工程学院 广东 广州 510006)

(收稿日期:2022-01-05)

摘要:文章针对热透镜效应进行探究,使用波长为 632.8nm 的低功率($P < 5\text{mW}$) 氦氖激光作为光源,以酱油为材料,通过调节,从两个方面上对热透镜现象进行演示.第一,通过拍摄,从视觉上观察到光斑大小的变化;第二,采用光阑法,使用 RS232 光电型功率计测量样品池放置样品前后,光屏上光斑半径的大小,在本实验中观察到放入样品后光斑半径减小.最后,对热透镜效应的大小与样品池的厚度进行探究,发现在一定范围内,热透镜效应随着样品池的厚度的增加而增强,随着氯化钠溶液浓度的增大也增强.

关键词:热透镜现象 RS232 光电型功率计 光阑法 浓度测量

1 引言

热透镜效应,即样品或光学元件受激光束连续照射较长时间后,由于温度升高产生热变形,从而发生折射率的变化,就像形成了能产生折射效果的普通透镜.

当从高斯光束吸收的能量产生围绕光束轴的吸收介质的局部加热时,发生热透镜或热晕现象.径向的温度分布不同形成温度梯度,并由 $\frac{dn}{dT}$ 因子产生折射率变化,实质上是折射率随温度的变化.这种热透镜效应将介质变成光束的透镜.热透镜效应是在很短的时间内发生的,它需要光束与介质达到热平衡.在大多数液体介质中,折射率的变化是由于密度随温度的升高而降低.在这种情况下, $\frac{dn}{dT}$ 为负值,热透镜为负透镜或发散透镜.

2 实验原理

2.1 热透镜效应的形成

氦氖激光器输出高斯型空间强度的光束.光束穿过会聚透镜,聚焦到腰部.腰部的位置是 z 轴的原点.长度为 l 的样品池位于 z_1 ,光功率计在 $z_1 + z_2$ 位置的光束中居中.其孔径与在该位置处的光束直径相比是小的.激光束到达样品池后,介质被加热,产

生温度的径向分布,它是离光束中心距离 r 和时间 t 的函数.通过折射随温度变化的因子 $\frac{dn}{dT}$,引起折射率的空间变化,此时样品相当于在光路中形成一个透镜,这个透镜在光束和介质达到平衡的短暂时间内形成.实验装置简化图如图 1 所示.

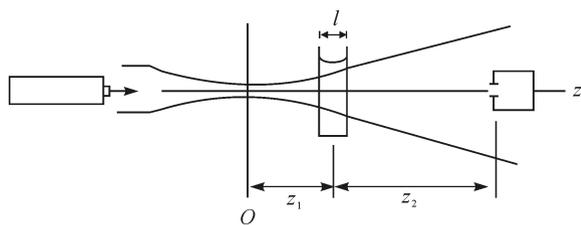


图1 实验装置简化图

2.2 光阑法测量光斑的半径

通常,He-Ne 激光器的光束具有与高斯或 TEM₀₀ 模式相对应的空间轮廓,TEM₀₀ 模式是光学振荡器的基本模式,是几何光学中最接近光线概念的表达.因此,垂直于它的传播方向(z 轴)的截面上的光强数学表达式为

$$I(r, z) = I_0(z) \exp\left[-\frac{2r^2}{\omega^2(z)}\right] \quad (1)$$

其中 r 为距离传播轴的距离, I_0 为该轴上的强度(其中 $r = 0$), $\omega(z)$ 为强度降低到其轴向或峰值(波束半径)的 $\frac{1}{e}$ 时的径向距离,称为光斑半径.对于沿 z 轴传播的聚焦高斯光束,光束半径满足

$$\omega^2(z) = \omega_0^2 \left[1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi \omega_0^2} \right)^2 \right] \quad (2)$$

由式(1),垂直通过半径为 r_1 光阑的激光功率为

$$P_1 = \int_0^{r_1} I(r, z) 2\pi r dr \quad (3)$$

激光束的总功率

$$P = \int_0^{\infty} I(r, z) 2\pi r dr \quad (4)$$

联解上面两式,并令 $\varphi = r_1$,可以得到

$$\omega(z) = \varphi \left[2 \ln \left(\frac{P}{P - P_1} \right) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (5)$$

热透镜效应的相对强度和时间依赖于 z_1 单元相对腰部的位置. 热透镜效应的相对强度可以表达为^[1,2]

$$\frac{\Delta I}{I(\infty)} = \frac{I(0) - I(\infty)}{I(\infty)} \quad (6)$$

2.3 利用热透镜效应测量物质的浓度

一般情况下,热效应强度是物质浓度的函数,一般为线性关系^[3]. 因此,我们可以通过测定同种物质多组不同浓度的热透镜强度来获得该物质热效应强度与浓度的函数,从而可以根据物质的热透镜效应强度获得物质浓度. 具体表示为

$$S = Q_1 C + Q_2$$

其中 Q_1 和 Q_2 为常数, C 为溶液的浓度.

3 实验结果及分析

3.1 热透镜现象

使用“海天酱油”演示热透镜效应,样品池厚度为 $700 \mu\text{m}$,产生热透镜现象如图2和图3所示,可以比较明显地看到光斑变小了,这与理论分析一致,说明样品池中形成了负透镜.

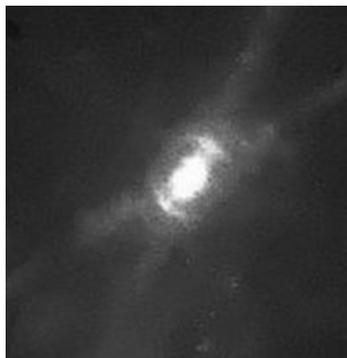


图2 未放样品时的光斑

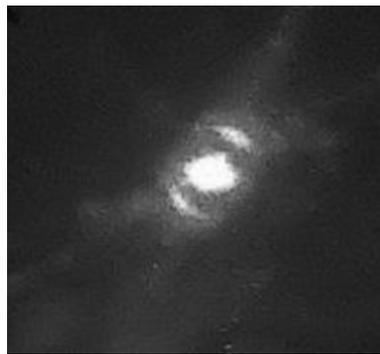


图3 放入样品时的光斑

3.2 测量光斑半径

使用光阑法测量光斑半径的大小,结果如下.

由表1中数据知,放入样品后光斑半径减小,说明样品池中产生了负透镜对激光有发散作用.

表1 光强与光斑半径

样品情况	P_1/mW	P/mW	$\omega(z)/\text{mm}$
未加样品	0.91	2.63	0.3255
加入样品	0.11	0.29	0.3072

3.3 热透镜效应的相对强度与样品池厚度的关系

热透镜效应相对强度与样品池厚度的测量数据与拟合曲线,如表2和图4所示.

表2 热透镜效应的相对强度与样品池厚度的关系

样品池厚度/ μm	145	290	435	580	725	870
$\Delta I/I(\infty)$	0.029	0.044	0.061	0.067	0.101	0.107

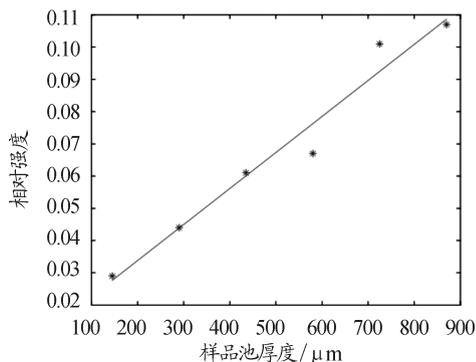


图4 热透镜效应相对强度与样品池厚度拟合曲线

可见:在一定范围内,热透镜效应的相对强度随着样品池的厚度的增加而增大.

3.4 热透镜效应的相对强度与氯化钠溶液浓度的关系

热透镜效应相对强度与氯化钠溶液浓度的关系

数据与拟合曲线如表3和图5所示.

表3 热透镜效应的相对强度与氯化钠溶液浓度的关系

氯化钠溶液浓度 / (g · mL ⁻¹)	1.330	0.665	0.333	0.166	0.083	0.042
$\Delta I/I(\infty)$	0.083	0.080	0.066	0.051	0.035	0.033

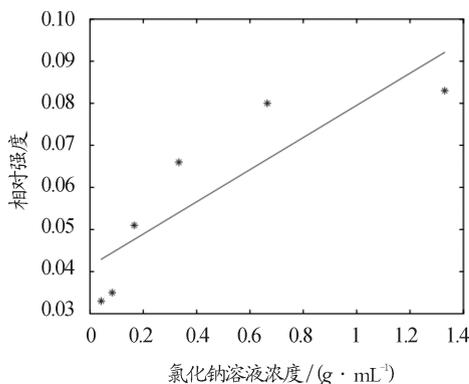


图5 热透镜效应的相对强度与氯化钠溶液浓度拟合曲线

可见,在一定的范围内,热透镜效应相对强度随着浓度的增大而增大.

4 总结

本实验主要是基于热透镜效应,并探究其大小的影响因素.在探究热透镜效应大小与氯化钠溶液浓度的关系上,经过我们多次实验和验证,对两者的关系进行拟合发现,两者出现一个线性关系.因此,可以使用此原理来测量溶液的浓度和溶剂中离子的浓度,可以应用在工业上检测重金属离子浓度,具有很好的发展愿景,而且通过使用更为精密的仪器可以进一步提高对热透镜效应大小的测量精度,从而提高测量重金属离子的精度.

参考文献

- 1 罗泰昭,蔡茂略,梁丽贞.激光热透镜效应的研究[J].应用激光,1984(3):101~104
- 2 邓延倬,盛蓉生,王明胜.激光热透镜效应及其在痕量物质测定中的应用[J].武汉大学学报(自然科学版),1980(4):77~84
- 3 李楠,阎宏涛.分光光度法与激光热透镜光谱分析法测定高散射物质光吸收的比较[J].分析化学,2002(11):1348~1351

Investigation of Thermal Lens Effect and Measurement of Sodium Chloride Solution Concentration

Xie Jiayong

(School of Physics and Telecommunication Engineering, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510006)

Abstract: In order to explore the thermal lens effect, a low power ($P < 5\text{mW}$) He - Ne laser with a wavelength of 632.8nm was used as the light source, and soy sauce was used as the material. The thermal lens phenomenon was demonstrated from two aspects through adjustment. First, the change of spot size can be observed visually through photographing. Second, the aperture method was adopted to measure the radius of spot on the light screen before and after the sample was placed in the sample pool with an RS232 photoelectric power meter. In this experiment, it was observed that the radius of spot decreased after the sample was placed. Finally, we explored the size of the thermal lens effect and the thickness of the sample pool, and found that in a certain range, the size of the thermal lens effect increases with the increase of the thickness of the sample pool, and also increases with the increase of the concentration of sodium chloride solution.

Key words: thermal lens phenomenon; RS232 photoelectric power meter; aperture method; concentration measurement