

目录

1	实验综述	3
2	实验内容	4
2.1	实验数据	4
2.1.1	声速与波长的测量	4
2.1.2	LED 光源波长的测量	4
2.1.3	实验数据汇总	7
2.2	实验结果与误差分析	7
2.2.1	声速与波长的测量	7
2.2.2	LED 光源波长的测量	7
3	实验拓展	8
3.1	声光效应的基本原理	8
3.2	利用超声光栅测量液体浓度的方法设计	8
3.2.1	测量浓度的基本原理	8
3.2.2	系统框图设计	8
3.2.3	实验测量方法解释	8
4	参考文献	9

1 实验综述

压电陶瓷片 (PZT) 在高频交变电场下产生超声波, 导致液体中形成周期性的密度分布和折射率变化。在有限液槽中通过稳定驻波条件观察超声场的层次结构, 平行光通过超声光栅时产生明暗条纹, 条纹间距为声波波长的一半。本实验旨在研究超声场对光的衍射影响及超声光栅的性质。

对于光栅, 可列出等式:

$$d \sin \theta = k \lambda \quad (1)$$

而在本实验中, 光栅常数 d 就是声波波长 λ_s , 所以有:

$$\lambda_s \sin \theta = k \lambda_{\text{光}} \quad (2)$$

实际上 θ 很小, 因此有:

$$\sin \phi_k = \frac{l_k}{f} \quad (3)$$

其中为 l_k 衍射零级光谱线至第 k 级光谱线的距离, f 为 L2 透镜的焦距, 所以超声波的波长:

$$\lambda_s = \frac{k \lambda_{\text{光}} f}{l_k} \quad (4)$$

超声波在液体中的传播速度为:

$$v = \lambda_s \nu \quad (5)$$

我们在实验中使用 ΔL 来表示 $\frac{l_k}{k}$

本实验共有两个部分:

- 第一部分: 使用钠灯作为光源, 测量出液体中的声速与波长 λ_s , 并通过声速与频率的关系计算出声波的频率。
- 采用 λ_s 为已知量, 测量出各色 LED 光源 (红、橙、黄、绿、青、蓝、紫) 的波长。

2 实验内容

2.1 实验数据

2.1.1 声速与波长的测量

表 1: 声速与波长的测量数据, $\lambda_{\text{光}} = 589.3\text{nm}$, $\nu = 10.28\text{MHz}$, $f = 157\text{mm}$

K	2	1	0	-1	-2
条纹位置 (mm)	18.967	18.380	17.752	17.154	16.529
L_k	1.215	0.628	0	0.598	1.223

ΔL 可由以下的式子计算:

$$\Delta L = \frac{1}{6} \sum_{k=0}^{k=2} [(L_k - L_{k-1}) + (L_k - L_{k-2})/2] \quad (6)$$

通过计算得到 $\Delta L = 0.6075\text{mm}$

因此 λ_s 可由公式 (4) 计算得到:

$$\lambda_s = \frac{\lambda_{\text{光}}}{\Delta L} f = 152.3\mu\text{m} \quad (7)$$

通过公式 (5) 可计算得到声速:

$$v = \lambda_s \nu = 1566\text{m/s} \quad (8)$$

$$\text{相对误差 } E = \frac{|v_{\text{理论}} - v|}{v_{\text{理论}}} \times 100\% = 5.811\%$$

2.1.2 LED 光源波长的测量

绿光:

表 2: LED 绿光测量

K	2	1	0	-1	-2
条纹位置 (mm)	11.365	11.905	12.399	12.940	13.459
L_k	1.034	0.494	0	0.541	1.060

ΔL 可由以下的式子计算:

$$\Delta L = \frac{1}{6} \sum_{k=0}^{k=2} [(L_k - L_{k-1}) + (L_k - L_{k-2})/2] \quad (9)$$

通过计算得到 $\Delta L = 0.5233mm$

因此绿光波长可由公式 (4) 计算得到:

$$\lambda_{\text{绿}} = \frac{\Delta L \lambda_s}{f} = 507.6nm$$

橙光:

表 3: LED 橙光测量

K	3	2	1	0	-1	-2	-3
条纹位置 (mm)	10.380	11.011	11.669	12.211	12.910	13.530	14.139
L_k	1.831	1.200	0.542	0	0.699	1.319	1.928

ΔL 可由以下的式子计算:

$$\Delta L = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{k=3} [(L_k - L_{k-1}) + (L_k - L_{k-2})/2 + (L_k - L_{k-3})/3] \quad (10)$$

通过计算得到 $\Delta L = 0.6301mm$

因此橙光波长可由公式 (4) 计算得到:

$$\lambda_{\text{橙}} = \frac{\Delta L \lambda_s}{f} = 611.2nm$$

紫光:

表 4: LED 紫光测量

K	2	1	0	-1	-2
条纹位置 (mm)	11.471	11.913	12.393	12.842	13.322
L_k	0.922	0.480	0	0.449	0.929

ΔL 可由以下的式子计算:

$$\Delta L = \frac{1}{6} \sum_{k=0}^{k=2} [(L_k - L_{k-1}) + (L_k - L_{k-2})/2] \quad (11)$$

通过计算得到 $\Delta L = 0.4602mm$

因此紫光波长可由公式 (4) 计算得到:

$$\lambda_{\text{紫}} = \frac{\Delta L \lambda_s}{f} = 446.4nm$$

红光:

表 5: LED 红光测量

K	3	2	1	0	-1	-2	-3
条纹位置 (mm)	10.250	10.949	11.603	12.262	12.930	13.630	14.287
L_k	2.012	1.313	0.659	0	0.668	1.368	2.025

ΔL 可由以下的式子计算:

$$\Delta L = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{k=3} [(L_k - L_{k-1}) + (L_k - L_{k-2})/2 + (L_k - L_{k-3})/3] \quad (12)$$

通过计算得到 $\Delta L = 0.6884mm$

因此红光波长可由公式 (4) 计算得到:

$$\lambda_{\text{红}} = \frac{\Delta L \lambda_s}{f} = 667.8nm$$

黄光:

表 6: LED 黄光测量

K	2	1	0	-1	-2
条纹位置 (mm)	11.165	11.739	12.390	13.022	13.649
L_k	1.225	0.651	0	0.632	1.259

ΔL 可由以下的式子计算:

$$\Delta L = \frac{1}{6} \sum_{k=0}^{k=2} [(L_k - L_{k-1}) + (L_k - L_{k-2})/2] \quad (13)$$

通过计算得到 $\Delta L = 0.6234mm$

因此黄光波长可由公式 (4) 计算得到:

$$\lambda_{\text{黄}} = \frac{\Delta L \lambda_s}{f} = 604.8nm$$

蓝光:

表 7: LED 蓝光测量

K	3	2	1	0	-1	-2	-3
条纹位置 (mm)	10.970	11.469	11.910	12.407	12.906	13.411	13.892
L_k	1.437	0.938	0.497	0	0.499	1.004	1.485

ΔL 可由以下的式子计算:

$$\Delta L = \frac{1}{12} \sum_{k=0}^{k=3} [(L_k - L_{k-1}) + (L_k - L_{k-2})/2 + (L_k - L_{k-3})/3] \quad (14)$$

通过计算得到 $\Delta L = 0.4857mm$

因此蓝光波长可由公式 (4) 计算得到:

$$\lambda_{\text{蓝}} = \frac{\Delta L \lambda_s}{f} = 471.2nm$$

2.1.3 实验数据汇总

1. 超声波波长: $152.3\mu m$
2. 声速: $1566m/s$
3. 相对误差: 5.811%

表 8: LED 光源波长

颜色	红光	橙光	黄光	绿光	蓝光	紫光
波长 (nm)	667.8	611.2	604.8	507.6	471.2	446.4

2.2 实验结果与误差分析

2.2.1 声速与波长的测量

实验中计算得到的声速与理论值存在一定偏差,但相对误差在 5% 左右,可以接受。本实验中的误差主要来自于:

- 信号源频率的显示值与实际值的偏差
- 透镜焦距的实际值与理论值的偏差
- 条纹位置使用卡尺读数,存在偶然误差
- 光斑有一定宽度,可能导致读数不准确

2.2.2 LED 光源波长的测量

在测得的数据中,除黄光相对于理论值偏大外,其他颜色的波长均在理论范围内。说明本实验的测量结果还是比较准确的。本实验中的误差主要来自于:

- 条纹位置使用卡尺读数，存在偶然误差
- 光斑有一定宽度，可能导致读数不准确
- 使用的超声波长为上一个实验计算值，存在传递误差
- 透镜焦距的实际值与理论值的偏差

3 实验拓展

3.1 声光效应的基本原理

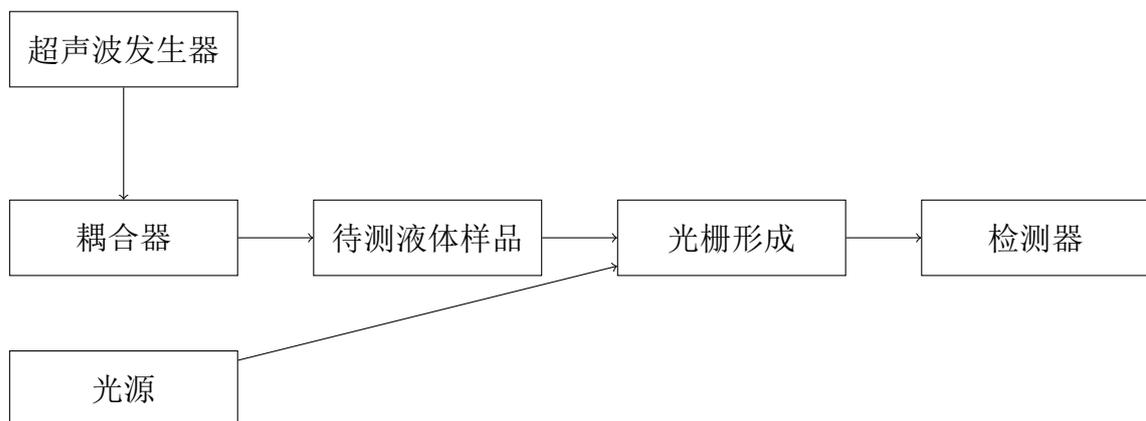
声光效应是指声波与光波在介质中相互作用时产生的现象。当介质中含有声波时，声波引起介质的折射率发生周期性变化，形成了所谓疏密波，亦即光栅。入射光与光栅相互作用，产生衍射，形成衍射光斑。

3.2 利用超声光栅测量液体浓度的方法设计

3.2.1 测量浓度的基本原理

我设计的方法基于声波在不同浓度液体中的传播速度变化。当液体浓度变化时，介质的声速和密度发生变化，导致声波在液体中的传播的波长与周期等发生变化。因此，形成的光栅的光栅常数也会发生变化，从而影响衍射光斑的位置。通过测量衍射光斑的位置，可以计算出液体的浓度。

3.2.2 系统框图设计



3.2.3 实验测量方法解释

实验中，首先使用先前使用过的压电陶瓷产生稳定的超声波，放入待测液体样品。液体中的超声波形成光栅，入射光通过光栅发生衍射。检测器接收衍射光，根据 ΔL 的

大小，结合已知的浓度- ΔL 关系曲线，计算出液体的浓度。

因此，本方法还需要取一系列已知浓度的液体，测量出 ΔL 与浓度的关系曲线。

4 参考文献

本实验无参考文献。