

声光效应

实验者：余钊焕 合作者：朱 可
(中山大学理工学院，物理学专业 2006 级，学号 06324043)
2008 年 12 月 16 日

【实验目的】

1. 理解声光效应的原理，了解 Raman-Nath 衍射和 Bragg 衍射的区别。
2. 测量声光器件的衍射效率和带宽等参数，加深对概念的理解。
3. 测量声光偏转和声光调制曲线。
4. 模拟激光通讯。

【实验原理】

(一) 声光效应的物理本质——光弹效应

介质(无论是各向同性或各向异性)的光学性质通常用折射率椭球方程 $\eta_{ij}x_ix_j = 1$ 描述，

其中系数 $\eta_{ij} = \varepsilon_{ij}^{-1} = (n^2)_{ij}^{-1}$ ， $i, j = 1, 2, 3$ ， ε_{ij} 是介质的介电张量， η_{ij} 是 ε_{ij} 的逆张量，它们都是二阶对称张量。介质中存在声场时，介质内部会受到应力，发生声应变，从而引起介质光学性质发生变化，这种变化会反映在介质光折射率或折射率椭球方程系数的变化上。在一级近似下， $\Delta\eta_{ij}$ 与应变 S_{kl} 存在线性关系

$$\Delta\eta_{ij} = P_{ijkl}S_{kl} \quad i, j, k, l = 1, 2, 3 \quad (1)$$

其中 P_{ijkl} 是介质的四阶光弹张量。这就是著名的 Pockels 效应。只考虑各向同性介质中声纵波的情况时，折射率 n 和光弹系数 P 都可以看作常量，(1) 式化为

$$\Delta\eta = \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right) = PS \quad (2)$$

其中应变

$$S = S_0 \sin(kx - \Omega t) \quad (3)$$

表示在 x 方向传播的声应变波， S_0 是应变的幅值， $k = \Omega / v_s$ 是介质中声波数， $\Omega = 2\pi f$ 为角频率， v_s 是介质中的声速， $\Lambda = v_s / f$ 为声波长。 P 表示单位应变所引起的 $(1/n^2)$ 的变化，称为光弹系数。由 (2) 式，得

$$\Delta n = \frac{1}{2}n^3 PS_0 \sin(kx - \Omega t) = \mu \sin(kx - \Omega t) \quad (4)$$

于是

$$n(x) = n + \Delta n = n + \mu \sin(kx - \Omega t) \quad (5)$$

其中 $\mu = n^3 PS_0 / 2$ 是“声致折射率变化”的幅值。考虑如图 1 的情况，压电换能器将驱动

电信号 $U(t)$ 转换为声信号，入射平面波与声波在介质中（共面）相遇，当光通过线度为 l 的声光相互作用介质时，其位相改变为

$$\Delta\phi(x) = n(x)k_0l = \Delta\phi_0 + \mu k_0l \sin(kx - \Omega t) \quad (6)$$

其中 $k_0 = 2\pi/\lambda_0$ 为真空中的光波数， λ_0 是真空中的光波长， $\Delta\phi_0 = nk_0l$ 是光通过不存在超声波的介质后的位相滞后， $\mu k_0l \sin(kx - \Omega t)$ 项是由于介质中存在超声波而引起的光的附加位相延迟。它在 x 方向周期性地变化，犹如光栅一般，故称为“位相光栅”。这使得光波阵面由原先的平面变为周期性的“位相衍折”，从而改变了光的传播方向，也就是产生了所谓的衍射。与此同时，光强分布在时间和空间上又作了重新分配，衍射光强受到了声调制。

（二）声光光偏转和光频移

从量子力学的观点考虑光偏转和光频移的问题十分方便。把入射单色平面光波近似地看作动量为 $\hbar k_i$ 、能量为 $\hbar\omega_i$ 的光子，把超声波看作动量为 $\hbar K$ 、能量为 $\hbar\Omega$ 的声子。其中

$\hbar = h/2\pi$ ， h 为普朗克常数， k_i 、 ω_i 和 K 、 Ω 分别为入射光和声波的波矢量和角频率。声光相互作用可以归结为光子和声子的弹性碰撞，这种碰撞过程应当遵守动量守恒和能量守恒定律，前者导致光偏转，后者导致衍射光的频移。这种碰撞存在着两种可能的情况——声子的吸收过程和声子的受激发射过程，如图 2 所示。在声子吸收的情况下，每产生一个衍射光子，需要吸收一个声子。这导致式（7）中正号的情况。在声子受激发射的情况下，一个入射光子激发一个散射光子和另一个与之具有相同动量和能量的声子的发射，这相当于式（7）中取负号的情况。式（7）中 d 表示相应的衍射量。式（7a）表征声光偏转，式（7b）表征衍射光频移，+、-号分别表示上、下频移。

$$k_{d\pm} = k_i \pm K \quad (7a)$$

$$\omega_{d\pm} = \omega_i \pm \Omega \quad (7b)$$

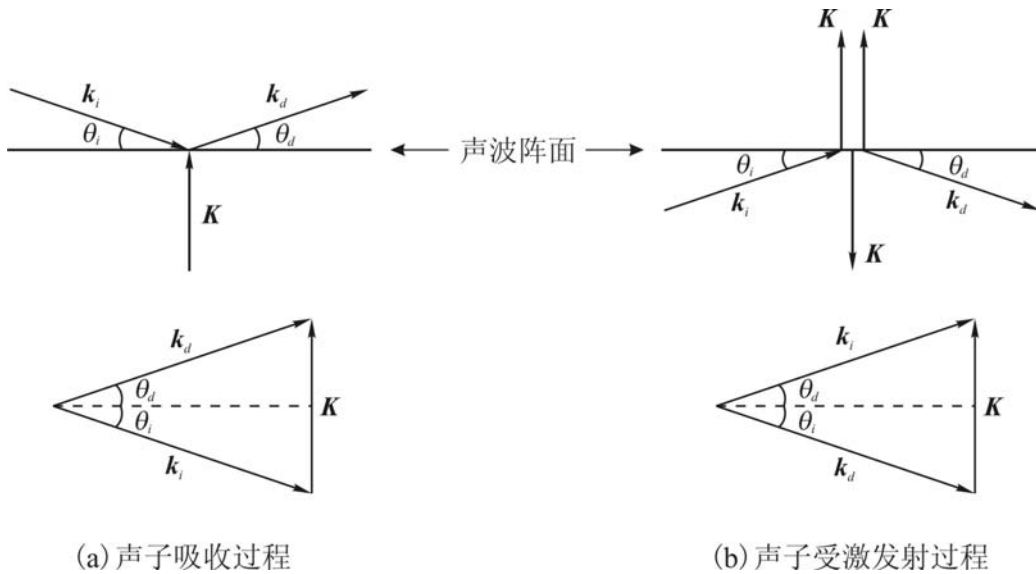


图 2 声子的吸收过程和受激发射过程

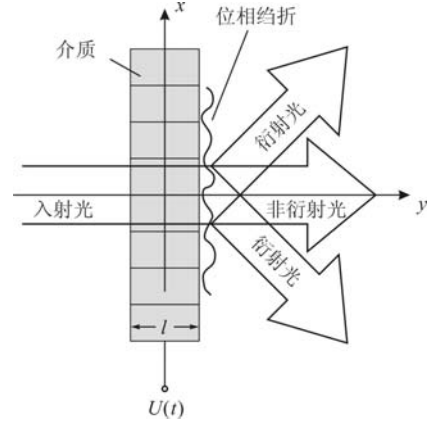


图 1 超声波引起的位相光栅对入射光的衍射

声光效应可划分为正常声光效应和反常声光效应两种。入射光和衍射光处于相同的偏振状态，相应的折射率相同，即 $n_d = n_i = n$ ，称为正常声光效应。入射光处于某种偏振状态（或为 o 光或为 e 光），经声光相互作用，衍射光的偏振状态变为另一种偏振态，称为反常声光效应。这里主要介绍正常声光效应。

在正常声光作用情况下， $n_d = n_i = n$ ，从而 $k_d = k_i = nk_0$ ，则图 2 给出一等腰三角形，故有 $\theta_d = \theta_i = \theta_B$ ， θ_B 称为 Bragg 角，于是

$$\sin \theta_B = \frac{|K|}{2|k|} = \frac{\lambda_0}{2\Lambda} = \frac{\lambda_0}{2nv_s} f \quad (8)$$

与描述 X 光晶格衍射的 Bragg 定律对比， λ 相当于介质中 X 光波长， Λ 相当于晶格常数，所以人们沿用这一名称，称 (8) 式为 Bragg 条件。满足 Bragg 条件时，只有唯一的衍射级，上移的或下移的，但不同时存在，如图 3 所示。注意到衍射光相对于入射光的偏转角

$$\alpha = \theta_i + \theta_d = 2\theta_B \approx \frac{\lambda}{\Lambda} = \frac{\lambda_0}{nv_s} f \quad (9)$$

或
$$\Delta\alpha = \frac{\lambda_0}{nv_s} \Delta f \quad (10)$$

其中 $\Delta\alpha$ 是与声频变化范围 Δf 相应的衍射光扫过的角度。通常把衍射光强从极大值下降 3 dB（或半功率）所相应的频率定义作半功率带宽或 Bragg 带宽，记作 Δf_B 。

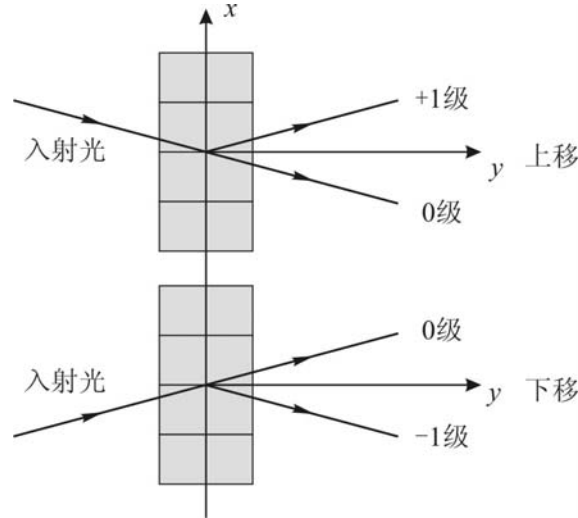


图 3 Bragg 衍射示意图

此外，还存在另一类所谓的 Raman-Nath 衍射。相当于一个入射光子连续同几个声子相互作用的情形，可近似地用图 4 (a) 表示。有

$$\begin{aligned} k_d^{(m)} &= k_i + mK \\ \omega_d^{(m)} &= \omega_i + m\Omega \end{aligned} \quad (11)$$

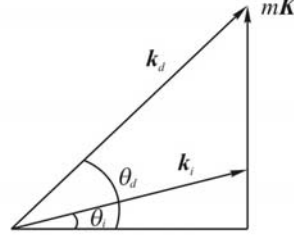
上标 (m) 表示 m 级衍射，m 取正、负整数。同样可近似认为 $k_d^{(m)} \approx k_i = k$ ，于是有

$$\sin \theta_d^{(m)} = \sin \theta_i + m \frac{\lambda}{\Lambda} \quad (12)$$

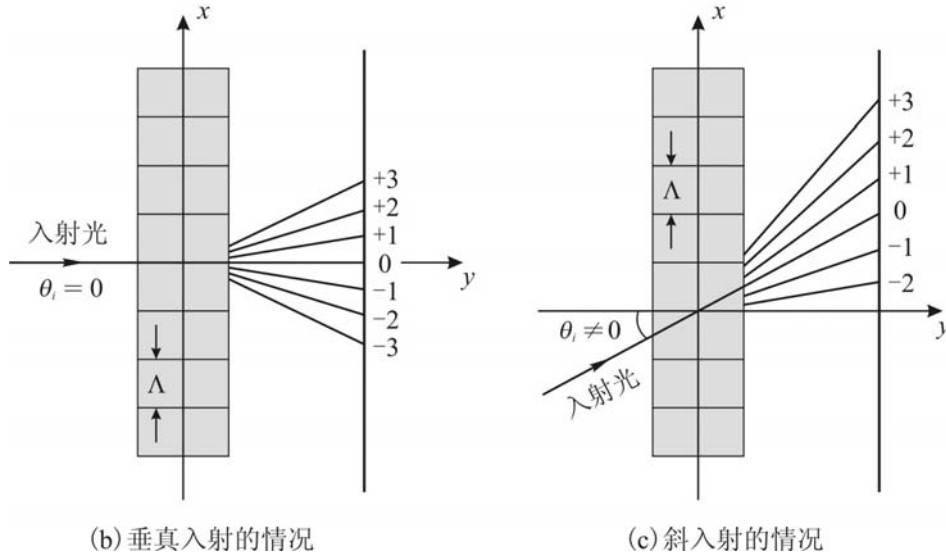
如图 4 (b)、(c) 所示，Raman-Nath 衍射是多级衍射，(b) 是垂直入射的对称衍射，(c)

是斜入射的非对称衍射。事实上，当 $m = 1$ 时，(12) 式就变为 Bragg 条件 (8) 式。

从光栅的角度来说，Raman-Nath 衍射是当超声波频率较低，光线平行于声波面入射（即垂直于声场传播方向）时，光波通过声光介质过程中几乎不经过（或很少经过）声波波面，因此它只受到相位调制，声波的作用可视为一个平面相位光栅。故平行入射光束通过时，将产生多级衍射光。而 Bragg 衍射，是当超声波频率较高，声光作用长度 L 较大，而且光束与声波面间以一定角度斜入射，光波在介质中要穿过多个声波面，故介质具有“体光栅”的性质，不能用平面相位光栅来描述。



(a) 一个入射光子连续同几个声子相互作用



(b) 垂直入射的情况

(c) 斜入射的情况

图 4 Raman-Nath 衍射示意图

(三) 衍射效率

在 Raman-Nath 近似下，有

$$\frac{K^2 L}{2k} \ll \pi \quad \text{或} \quad \frac{\lambda L}{\Lambda^2} \ll 1 \quad (13)$$

其中 L 为声光相互作用长度。第 m 级衍射光的振幅为

$$E_m(y) = E_0 \exp\left(-i \frac{1}{2} m K y \tan \theta_i\right) J_m \left\{ 2 \zeta y \sin c \left[\frac{KL}{2 \cos \theta_i} \left(\sin \theta_i + m \frac{K}{k} \right) \right] \right\} \quad (14)$$

m 级衍射效率即 m 级衍射光强同入射光强之比为

$$\eta_R^{(m)} = \frac{I_m}{I_0} = \frac{|E_m(L) E_m^*(L)|}{|E_0(0) E_0^*(0)|} = J_m^2 \left\{ 2 \zeta L \sin c \left[\frac{KL}{2 \cos \theta_i} \left(\sin \theta_i + m \frac{K}{k} \right) \right] \right\} \quad (15)$$

其中 E_0 为入射光的振幅, $\zeta = \frac{\varepsilon_1 K}{4\varepsilon_0 \cos \theta_i}$, ε_0 为介质中无声场时的介电常数, ε_1 为声致介

电常数变化的幅值, $\sin c \chi = \frac{\sin \chi}{\chi}$, J_m 为 m 阶 Bessel 函数。如所预期, Raman-Nath 衍射

为对称多级衍射, 相邻衍射级间角差为 $\sin^{-1}(K/k) = 2\theta_B$ 。此外, 根据 Bessel 函数表, 一级衍射光强的极大值约为入射光强的 34 %。

在 Bragg 衍射情况下, 与式 (13) 相反, 要求

$$\frac{K^2 L}{2k} \gg \pi \quad \text{或} \quad \frac{\lambda L}{\Lambda^2} \gg 1 \quad (16)$$

此时只有 0 级和 1 级 (+1 级或 -1 级, 但不同时存在) 衍射光存在, 它们的振幅分别为

$$E_0(y) = E_0 \exp \left[-i \frac{\beta L}{2} y \left(\cos \sigma y + i \frac{\beta L}{2\sigma} \sin \sigma y \right) \right]$$

$$E_1(y) = E_0 \frac{\zeta}{\sigma} \exp \left(-i \frac{\beta L}{2} y \sin \sigma y \right)$$

Bragg 衍射效率即 1 级衍射光强同入射光强之比为

$$\eta_B = \frac{I_1}{I_0} = \frac{|E_1(L)E_1^*(L)|}{|E_0(L)E_0^*(L)|} = \left(\frac{\zeta}{\sigma} \right)^2 \sin^2(\sigma L) = (\zeta L)^2 \sin^2(\sigma L) \quad (17)$$

其中 $\sigma^2 = \frac{\beta_1}{2} + \zeta^2$ 。

当 $\beta_1 = \frac{K}{\cos \theta_i} \left(\sin \theta_i + \frac{K}{2k} \right) = 0$, 即 $\theta_i = -\theta_B$ 的严格的 Bragg 衍射时, $\sigma = \zeta$, 则

$$\eta_B = \sin^2(\zeta L) \quad (18)$$

注意到 ζ 的表达式及 $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0} \approx \frac{\Delta \omega}{\omega} = \frac{\Delta n}{n}$, $\Delta n = \frac{1}{2} n^3 P S$, 声功率 $P_a = \frac{1}{2} E |S|^2 v_s \cdot LH$,

其中杨氏模量 $E = \rho v_s^2$, LH 是压电换能器的面积, 因而

$$\eta_B = \sin^2 \left(\frac{\pi}{\sqrt{2} \lambda_0 \cos \theta_i} \sqrt{M_2 P_a \frac{L}{H}} \right) \quad (19)$$

其中声光品质因数 $M_2 = n^2 P^2 / \rho v_s$ 是物质常数。由式 (19) 可知, 对一定的声功率 P_a , 为了尽可能地提高 η_B , 要求选用 M_2 大的材料, 在结构上要求压电换能器的长宽比 L/H 尽可能大。当宗量为 $\pi/2$ 时, $\eta_B = 100\%$, 一般可达 60 % 以上, 所以声光器件以工作在 Bragg 区为佳。此外, 从 (19) 式还可以看出, 对于给定的声光器件, 可通过改变 P_a 使 η_B 达到极大值, 这就是器件的最佳调制声功率。

【实验仪器】

本实验所用仪器为南京浪博科教仪器研究所的 SO2000 声光效应实验仪，由声光晶体和转角平台、激光器、光具座、声光效应功率信号源、GFC8131H 频率计、SO2000 模拟通信接收器和发送器、SS-7802A 型示波器、LM601S CCD 光强分布测量仪和光电池等组成。可完成基本声光效应实验和声光模拟通信实验，如图 5 和图 6 所示。

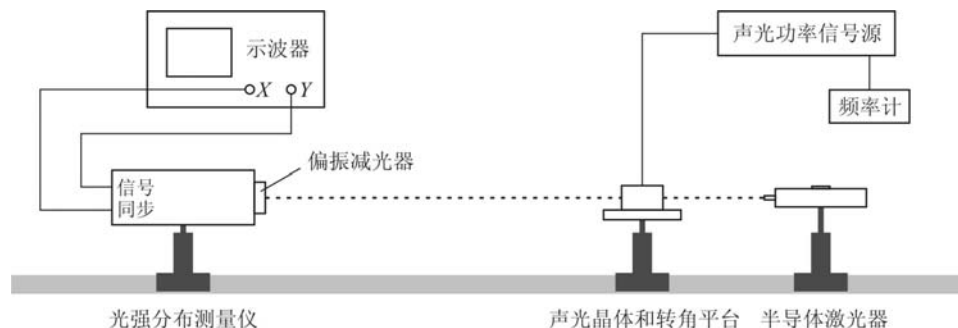


图 5 声光效应实验安装图

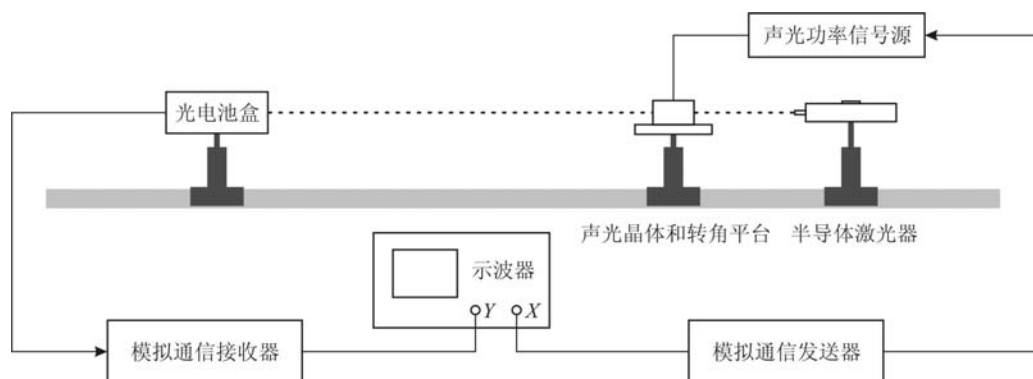


图 6 声光模拟通信实验安装图

【实验内容】

1. 认真阅读声光效应仪的说明书，正确连接各个部件。调节激光器和声光晶体至 Bragg 衍射最佳位置。
2. 观察 Raman-Nath 衍射和 Bragg 衍射，比较两种衍射的实验条件和特点。
3. 调出 Bragg 衍射，对示波器进行定标。
用示波器测量衍射角，先要解决“定标”的问题，即示波器 X 方向上的 1 格等于 CCD 器件上多少象元，从而对应 CCD 的 X 方向上多少距离。
4. 在 Bragg 衍射条件下测量衍射光相对于入射光的偏转角 ϕ 与超声波频率 f_s 的关系曲线，并计算声速 v_s 。测出 5 组 (ϕ, f_s) 值。
5. 在 Bragg 衍射下，固定超声波功率，测量 1 级衍射光与 0 级衍射光的相对强度和超声波频率的关系曲线，并定出声光器件的带宽和中心频率。要测量 10 点以上。
6. 测定 Bragg 衍射下的最大衍射效率 I_1 / I_0 。其中 I_0 为未发生声光衍射时 0 级光的强度， I_1 为衍射 1 级光的强度。
7. 在 Bragg 衍射下，将超声波频率固定在中心频率上，测量衍射光强度与超声波功率的关系曲线。
8. 在光束垂直入射的 Raman-Nath 衍射下，测量衍射角 θ_m ，并与理论值比较。
9. 在 Raman-Nath 衍射下，在声光器件的中心频率上测定 1 级衍射光的衍射效率，并与 Bragg 衍射下的最大衍射效率比较。

10. 进行声光模拟通信实验。观测 0 级和 1 级信号的波形相比于发送信号是同相的还是反相的。改变超声波功率，注意观察模拟通信接收器音乐的变化，分析原因。

【测量数据和数据处理】

1. 定标

测得信号波形一帧对应于示波器的 7.8 格，实验所用的 LM601S CCD 光强分布测量仪的光敏元数为 2700 位，光敏元尺寸为 $11\text{ }\mu\text{m}\times 11\text{ }\mu\text{m}$ 。于是示波器上每格对应实际空间距离为 $d=2700\div 7.8\times 11\text{ }\mu\text{m}=3808\text{ }\mu\text{m}=3.808\text{ mm}$ 。另外，测得声光介质的光出射面至光强仪前面板的距离为 311 mm。从铭牌上得知 CCD 器件光敏面至光强仪前面板的距离为 4.5 mm，因此声光介质的光出射面至 CCD 器件光敏面的距离 $L=(311+4.5)\text{ mm}=315.5\text{ mm}$ 。

2. Bragg 衍射中衍射光相对于入射光的偏转角与超声波频率 f_s 的关系

调出 Bragg 衍射，改变超声波频率 f_s ，测量 0 级光与 1 级光在空气中的偏转距离 x 反映在示波器上格数的变化，计算在介质中衍射光相对于入射光的偏转角 α ，得到表 1。

表 1 偏转角 α 与超声波频率 f_s 的关系

f_s / MHz	偏转距离 x / 格	空气中偏转角 $\phi / 10^{-2} \text{ rad}$	介质中偏转角 $\alpha / 10^{-3} \text{ rad}$
83.130	1.28	1.54	6.47
93.515	1.47	1.77	7.44
106.60	1.64	1.98	8.30
110.14	1.69	2.04	8.55
120.23	1.83	2.21	9.26

上表中，空气中的偏转角 ϕ 由 $\phi = \frac{d}{L} x = \frac{3.808}{315.5} x$ ，介质中的偏转角 α 由 $\alpha = \frac{\phi}{n}$ 计算，

其中声光介质折射率 $n=2.386$ 。在理论上 (9) 式成立，即 $\alpha = \frac{\lambda_0}{nv_s} f_s$ ， α 与 f_s 成线性关系。

描出 (f_s, α) 数据点，并对其进行线性拟合，如图 7 所示。

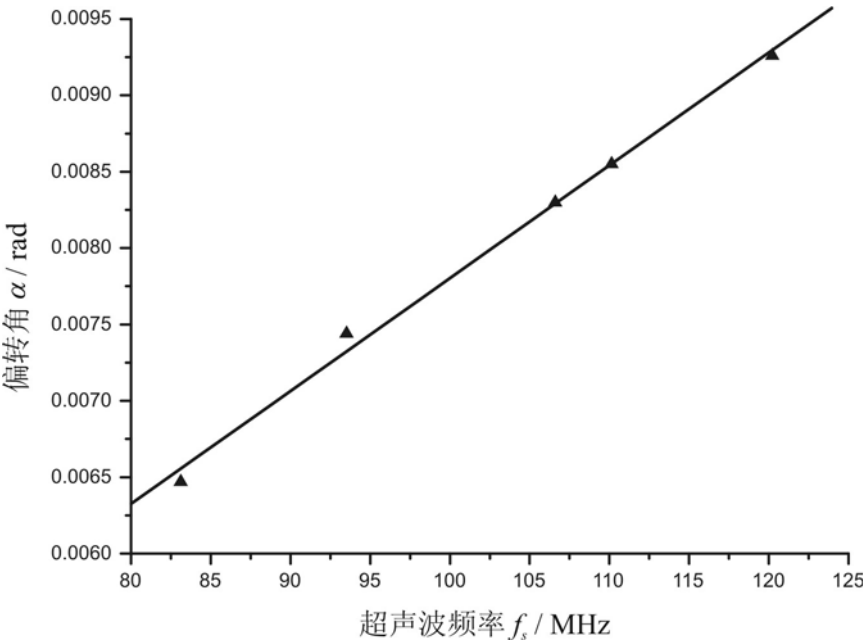


图 7 偏转角 α 与超声波频率 f_s 的关系曲线

线性拟合得到的数据如下。

Linear Regression for Data1_B:

Y = A + B * X

Parameter	Value	Error
A	4.15936E-4	3.08403E-4
B	7.38692E-5	2.97851E-6

R	SD	N	P
0.99757	8.65928E-5	5	1.43728E-4

$\alpha \sim f_s$ 线性拟合的线性相关系数 $R = 99.757\%$ 。

$\alpha \sim f_s$ 拟合直线的斜率 $B = (7.4 \pm 0.3) \times 10^{-5} \text{ MHz}^{-1} = (7.4 \pm 0.3) \times 10^{-11} \text{ s}$ ，而激光波长为 $\lambda_0 = 650 \text{ nm}$ ，声光介质折射率 $n = 2.386$ ，于是介质中的声速

$$v_s = \frac{\lambda_0}{nB} = (3.7 \pm 0.2) \times 10^3 \text{ m/s}$$

3. 在 Bragg 衍射下，固定功率信号源的输出幅值为 60 mA，亦即固定了超声波功率，测量 1 级衍射光与 0 级衍射光的相对强度与超声波频率 f_s 的关系，得到表 2。

表 2 1 级光与 0 级光的相对强度与超声波频率 f_s 的关系

f_s / MHz	0 级光强/格	1 级光强/格	相对强度	f_s / MHz	0 级光强/格	1 级光强/格	相对强度
79.384	2.70	1.25	0.46	99.105	2.30	3.30	1.43
84.438	2.37	2.48	1.05	103.09	2.54	2.83	1.11
89.369	2.05	3.48	1.70	107.36	2.69	1.90	0.71
91.480	1.97	3.70	1.88	111.37	2.88	1.93	0.67
93.518	1.89	3.80	2.01	120.34	3.36	1.13	0.34
95.345	2.04	3.73	1.83				

依据上表绘制 1 级光与 0 级光的相对强度与超声波频率 f_s 的关系曲线，如图 8 所示。

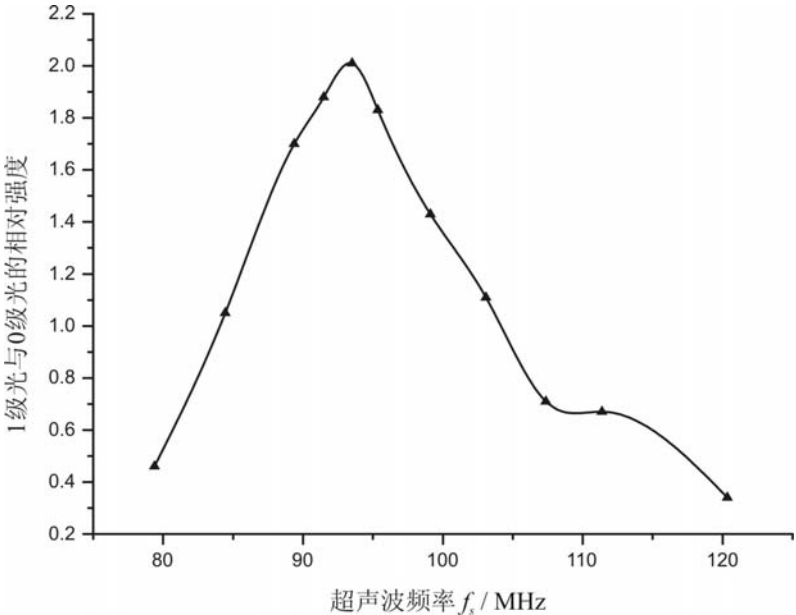


图 8 1 级光与 0 级光的相对强度与超声波频率 f_s 的关系曲线

对上图的数据点进行高斯拟合，如图 9 所示。

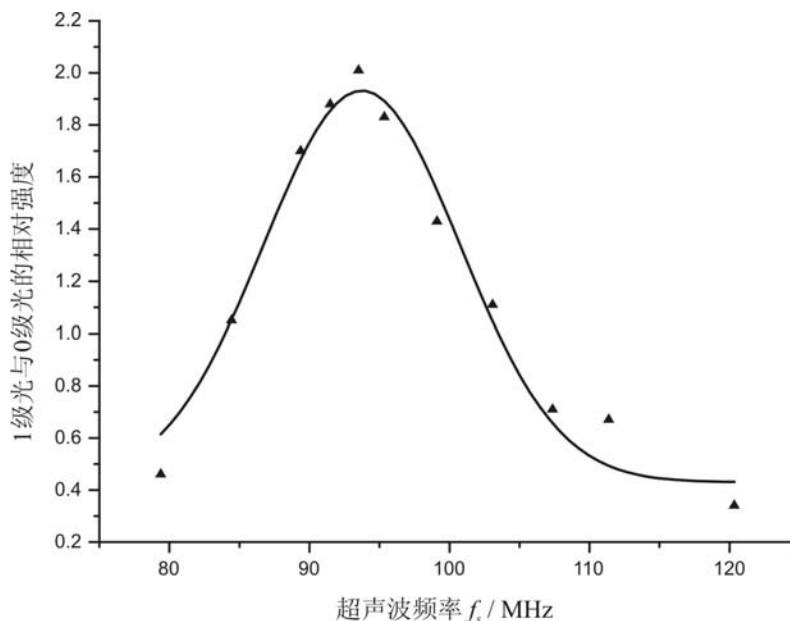


图 9 对 1 级光与 0 级光的相对强度与超声波频率 f_s 的关系曲线进行高斯拟合
高斯线性拟合得到的数据如下。

Gauss fit to Data4_B:

Equation: $y=y_0 + (A/(w*\sqrt{PI/2}))*\exp(-2*((x-xc)/w)^2)$

Chi^2/DoF 0.01378

R^2 0.97362

y0 0.43005 ±0.09066

xc 93.73597 ±0.45019

w 14.00824 ±1.34985

A 26.37063 ±3.59704

Area	Center	Width	Offset	Height
26.371	93.736	14.008	0.43005	1.5020

由此可以定出，声光器件的带宽 $w = (14 \pm 2)$ MHz，中心频率 $f_c = (93.7 \pm 0.5)$ MHz。

4. 测定 Bragg 衍射下的最大衍射效率 I_1 / I_0

发生最大的 Bragg 衍射效率时，1 级衍射光强度 I_1 对应于示波器上的 3.88 格，未发生声光衍射时 0 级光强度 I_0 对应于示波器上的 3.90 格，因此 Bragg 衍射下的最大衍射效率

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{3.88}{3.90} = 99.5\%$$

接近于理论值 100 %。

5. 在 Bragg 衍射下，将超声波频率固定在中心频率（实验时约为 93.5 MHz）上，测量衍射光强度与超声波功率（以功率信号源电流 I 表征）的关系，得到表 3。

表 3 衍射光强度与超声波功率的关系

功率信号源电流 I / mA	16	22	32	37	43	55	67	75
0 级衍射光强 $I_0 / \text{格}$	0.24	0.78	2.07	3.13	4.04	4.33	4.45	4.44
1 级衍射光强 $I_1 / \text{格}$	4.60	4.59	4.56	4.49	4.04	3.34	1.43	0.70

绘出 $I_0 \sim I$ 、 $I_1 \sim I$ 关系曲线如图 10、11 所示。

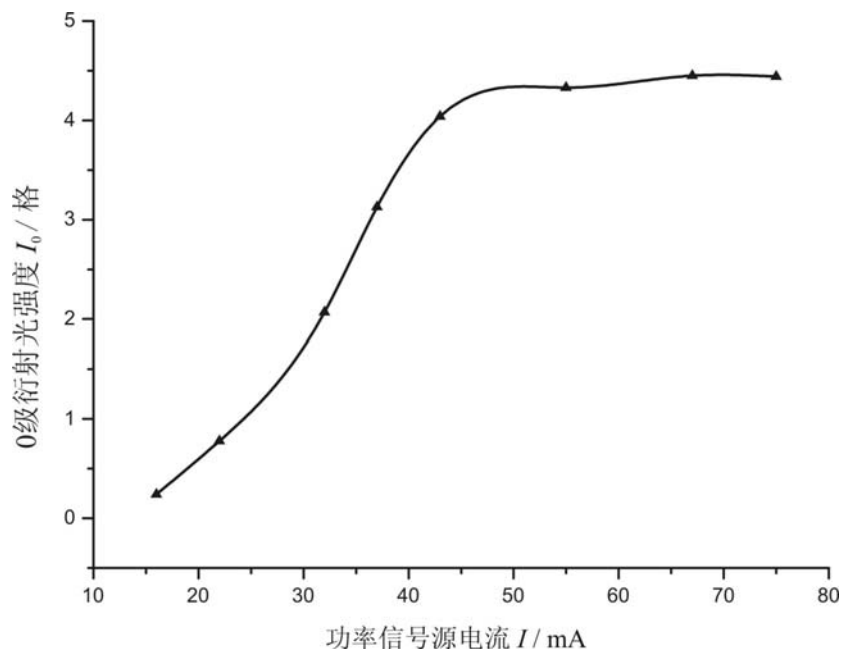


图 10 0 级衍射光强度与超声波功率的关系曲线

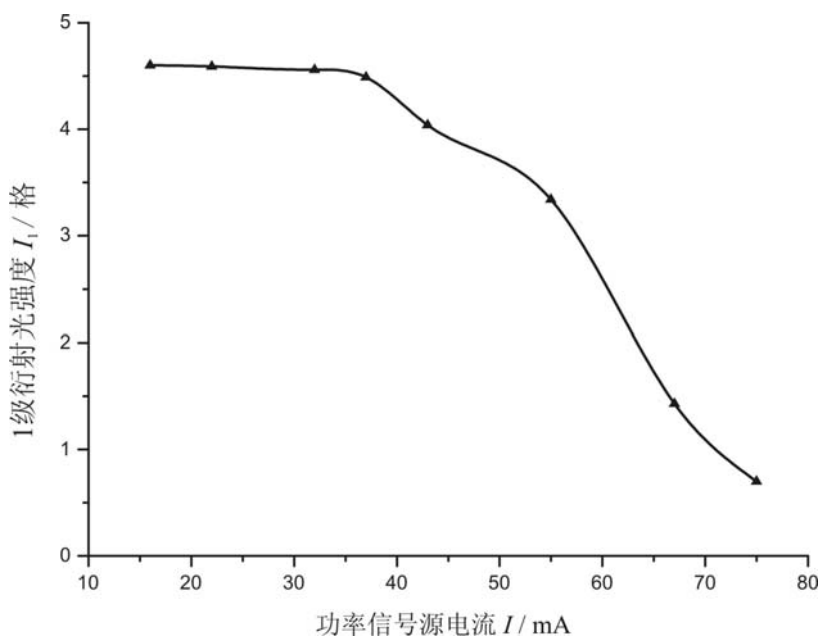


图 11 1 级衍射光强度与超声波功率的关系曲线

可见，随着超声波功率的增大，0 级衍射光逐渐增强，而 1 级衍射光逐渐减弱。

6. 在 Raman-Nath 衍射下，测得在空气中，1 级光衍射角 ϕ_{+1} 对应的示波器格数为 1.42 格，2 级光衍射角 ϕ_{+2} 对应的示波器格数为 2.83 格，换算成弧度（此时 $L = 315.5 \text{ mm}$ ），得

$$\phi_{+1} = 1.71 \times 10^{-2} \text{ rad}, \quad \phi_{+2} = 3.42 \times 10^{-2} \text{ rad}$$

在介质中, 1 级光衍射角 $\theta_{+1} = \frac{\phi_{+1}}{n} = 7.18 \times 10^{-3} \text{ rad}$,

2 级光衍射角 $\theta_{+2} = \frac{\phi_{+2}}{n} = 1.43 \times 10^{-2} \text{ rad}$ 。

理论上, 利用激光波长 $\lambda_0 = 650 \text{ nm}$ 和前面得到的介质中声速 $v_s = 3.7 \times 10^3 \text{ m/s}$, 并取超声波频率 $f_s = 10^2 \text{ MHz}$, 由式 (12) 可以算出

1 级光衍射角 $\theta'_{+1} = 1 \cdot \frac{\lambda}{\Lambda} = \frac{\lambda_0 f_s}{n v_s} = 7.36 \times 10^{-3} \text{ rad}$,

2 级光衍射角 $\theta'_{+2} = 2 \cdot \frac{\lambda}{\Lambda} = \frac{2 \lambda_0 f_s}{n v_s} = 1.47 \times 10^{-2} \text{ rad}$ 。

可见, 实测值与理论值比较接近。

7. 在 Raman-Nath 衍射下, 在声光器件的中心频率 (实验时约为 93.5 MHz) 上, 1 级衍射光强度 I_1 对应于示波器上的 1.53 格, 未发生声光衍射时 0 级光强度 I_0 对应于示波器上的 4.44 格, 因此 1 级衍射光的衍射效率

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{1.53}{4.44} = 34.4\%$$

接近于理论值 34%, 仅仅是 Bragg 衍射下最大衍射效率的约三分之一。可见, 由于产生了多于 1 级的衍射光, Raman-Nath 衍射的 1 级光衍射效率被大大削弱了。

8. 声光模拟通信

按图 6 连接实验仪器, 分别将 0 级光和 1 级光入射到光电池, 观测到 0 级接收信号与发送信号同相, 1 级接收信号与发送信号反相。可见, 1 级光与 0 级光的相位相差 180° 。

超声波的功率增大时, 接收信号的幅度随之增大, 音乐的响度也随之增强。这是因为, 超声波的功率增大时, 介质中的声子数增多, 与声光相互作用的情况的变化, 导致 0 级和 1 级光强发生变化, 从而引起音乐的变化。

【思考与讨论】

1. 为什么说声光器件相当于位相光栅?

声光介质的折射率与应变有关, 当声光介质中存在超声波 (即声应变波) 时, 折射率会按超声波的频率和波数在时间和空间上作周期性的变化, 从而导致激光通过声光介质前后的位相差在时间和空间上作周期性的变化, 使得光波阵面由原先的平面变为周期性的位相干涉, 改变了光的传播方向, 因此, 声光器件就相当于位相光栅。

2. 说明 Bragg 衍射和 Raman-Nath 衍射的实验条件和形成原因。

一般来说, Bragg 衍射的实验条件是超声波频率较高, Raman-Nath 衍射的实验条件是超声波频率较低。从光栅的角度来说, Raman-Nath 衍射是当超声波频率较低, 光线平行于声波面入射 (即垂直于声场传播方向) 时, 光波通过声光介质过程中几乎不经过 (或很少经过) 声波波面, 因此它只受到相位调制, 声波的作用可视为一个平面相位光栅, 故当平行入射光束通过时, 将产生多级衍射光。而对于 Bragg 衍射, 超声波频率较高, 声光作用长度 L 较大, 而且光束与声波面间以一定角度斜入射, 光波在介质中要穿过多个声波面, 故介质具有“体光栅”的性质, 不能用平面相位光栅来描述。

3. 调节 Raman-Nath 衍射时, 如何保证光束垂直入射?

光束垂直入射时, 衍射光对称分布, +1 级衍射光强与 -1 级衍射光强相等。因此, 在利

用转角平台调节声光介质角度时，应注意一边转动一边观察示波器上+1级衍射光与-1级衍射光的高度变化，当二者高度相同时，光束就垂直入射了。

4. 试述声光相互作用的基本效应。可能有什么应用前景？

由于光弹效应，声光介质犹如一种“位相光栅”，从而产生声光相互作用的基本效应光偏转和光频移，导致 Bragg 衍射和 Raman-Nath 衍射。

可能的应用前景主要在声光通信技术中，制作声光调制器进行光信号处理。此外，也可以用来探测材料的声学性质，测量材料中的声速等。