



ZKY-CSG

晶体声光效应实验仪

实验指导及操作说明书

四川世纪中科光电技术有限公司

地址：四川省成都经济技术开发区(龙泉驿区)南二路 309 号 邮编：610100

电话：(028) 61430706 61430729 传真：(028) 64082508

网址：WWW.ZKY.CN

E-mail: ZKY@ZKY.CN

2017-09-04

晶体声光效应

声光效应是指光通过某受到超声波扰动的介质时发生衍射的现象，这种现象是光波与介质中超声波相互作用的结果。

1922 年，布里渊预测：若液体有弹性波存在，当光束垂直于弹性波传播方向并且以一定的角度入射时，经过液体后将产生类似于光栅衍射的实验现象，这种现象被定义为**声光效应**。1932 年，德拜和席尔斯、卢卡斯和比夸特分别观察到了这种声光衍射现象，布里渊理论上的预测得到了实验验证。后来，通过多次实验，人们不仅在液体中，而且在透明的固体中也发现了这种现象：利用压电晶体的反压电效应激发超声波，产生的超声波将在与压电晶体相连的声光晶体中传播，让光通过声光晶体，将产生光的衍射现象。

60 年代激光器的问世为声光现象的研究提供了理想的光源，促进了声光效应理论和应用研究的迅速发展。声光效应为控制激光束的频率、方向和强度提供了一个有效的手段。利用声光效应制成的声光器件，如声光调制器、声光偏转器和可调谐滤光器等，在激光技术、光信号处理和集成光通讯技术等方面有着重要的应用。

本实验采用中心频率为 100MHz 的声光器件、宽调频范围功率信号源和分辨率达 14 μ m 的 CCD 光电转换器等。

实验目的

1. 理解声光相互作用的原理。
2. 学习掌握 CCD 的基本工作原理
3. 了解一种外调制技术
4. 测量声光偏转曲线，做出偏转量与超声频率之间的关系曲线。
5. 计算超声在声光晶体中的传播速度。
6. 测量声光器件的 3dB 带宽。
7. 测量衍射效率与超声功率之间的关系，绘制声光调制曲线。
8. 观察喇曼-奈斯衍射现象。

实验原理

1. 声光效应

当超声波（纵向应力波）通过晶体中时，会改变晶体的光学特性，使其折射率 n 发生改变，形成随超声波强度而变化的分布，整个晶体相当于一个位相光栅，位相光栅的光栅常数等于声波波长 λ_s 。光波通过此晶体时，会产生光的衍射，衍射光的强度、频率、方向等都随着超声的变化而变化，这种现象称为**声光效应**。通过控制超声波的频率和强度可以达到控制光的偏转方向和强度的目的，基于这一原理可以制作成声光偏转器和声光调制器等器件，在光电子和光通讯等领域具有广泛的应用。

设声光介质中的超声行波是沿 y 方向传播的平面纵波，角频率为 ω_s ，波长为 λ_s ，波矢为 k_s 。

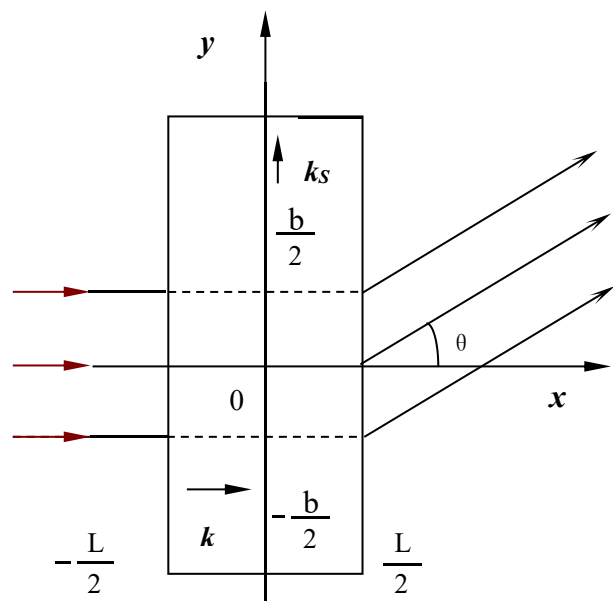


图 1 声光衍射

入射光为沿x方向传播的平面波，其角频率为 ω ，在介质中的波长为 λ ，波矢为 \mathbf{k} （如图 1）。介质内的弹性应变也以行波形式随声波一起沿 y 方向传播。由于光速大约是声速的 10^5 倍，在光波通过的时间内介质在空间上的周期变化可看成是固定的。

由应变引起的介质折射率的变化由下式决定：

$$\Delta\left(\frac{1}{n}\right)=P \cdot S \tag{1}$$

式中， n 为介质折射率； P 为光弹系数； S 为应变。通常， P 和 S 为二阶张量。当声波在各向同性介质中传播时， P 和 S 可作为标量处理，如前所述，应变也以行波形式传播，所以可写成

$$S = S_0 \sin(\omega_s t - k_s y) \tag{2}$$

S_0 表示静止时的应变。当应变较小时，折射率作为 y 和 t 的函数可写成

$$n(y,t)=n_0 + \Delta n \sin(\omega_s t - k_s y) \tag{3}$$

式中， n_0 为无超声波时的介质折射率； Δn 为声波折射率变化的幅值。其中

$$\Delta n = -\frac{1}{2} n_0^3 P S_0 \tag{4}$$

声光效应主要有两种不同的分类方式。①按入射光和衍射光的偏振特性分，可以分成正常声光效应和反常声光效应两类。正常声光效应中衍射光的偏振方向与入射光相同，因而折射率也相同，即如果入射光是 o 光（寻常光），则衍射光也是 o 光，反之入射光是 e 光（非寻常光），衍射光也是 e 光。正常声光效应一般是由超声纵波引起的。反常声光效应中衍射光的偏振方向与入射光不同，因而折射率也不同，即若入射光是 o 光，则衍射光变成 e 光，反之入射光是 e 光，衍射光变成 o 光。反常声光效应一般由超声切变波，也就是横波引起。本实验讨论的是正常声光效应。②按声光互作用的长度分，可以分成喇曼-奈斯声光效应和布拉格声光效应两类。喇曼-奈斯声光效应的声光互作用区域比较短，声光晶体相当于一个平面光栅，它对入射光方向要求不严格，垂直入射或斜入射都可以，并且能产生多级衍射光。布拉格声光效应的声光互作用区域比较长，整个声光晶体相当于一个体光栅，对入射光方向要求很严格，只有满足布拉格条件的入射光才能产生衍射光，并且往往只有一级衍射光。总体上，仪器是按照布拉格衍射的标准设置的，可以演示一下喇曼-奈斯衍射现象。

2. 喇曼-奈斯衍射

当超声波频率较低，光波平行于声波面入射，声光互作用长度 L 较短时，在光波通过介质的时间内，折射率的变化可以忽略不计，声光介质可近似看作为相对静止的“平面位相栅”，产生喇曼-奈斯衍射。由于声速比光速小得多，故声光介质可视为一个静止的平面位相光栅。而且声波长 λ_s 比光波长 λ 大得多，当光波平行通过介质时，几乎不通过声波面，因此只受到相位调制，即通过光密（折射率大）部分的光波阵面将延迟，而通过光疏（折射率小）部分的光波波阵面将超前，于是通过声光介质的平面波波阵面出现凹凸现象，形成一个折皱曲面，如图 2 所示。与一般的光栅方程相比可知，超声波引起的有应变的介质相当于一个光栅常数为超声波长 λ_s 的光栅。

在光束垂直入射（ $\mathbf{k} \perp \mathbf{k}_s$ ）时，各级衍射

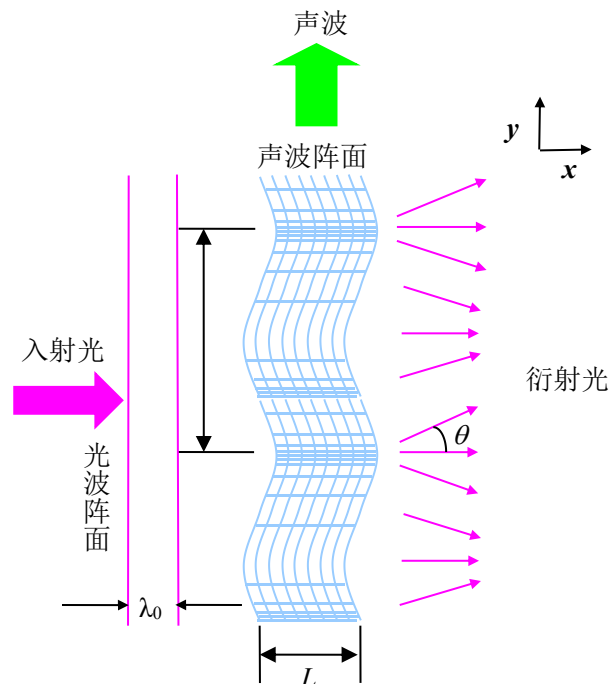


图 2 喇曼-奈斯衍射图

方位角由下式决定

$$\sin \theta_m = m \frac{k_s}{k_0} = m \frac{\lambda_0}{\lambda_s} \quad (5)$$

式中, m 表示衍射级次, $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$, λ_0 为真空中光的波长, λ_s 为介质中超声波的波长。由 (5) 可知, 各级衍射极大的方位角 θ_m 由下式决定

$$\theta_m \approx \sin \theta_m = m \frac{\lambda}{\lambda_s} \quad (6)$$

第 m 级衍射光的频率 ω_m 为

$$\omega_m = \omega - m\omega_s \quad (7)$$

可见, 衍射光仍然是单色光, 但发生了**多普勒频移**。由于超声波的频率为 10^7Hz 左右, 而光波的频率高达 10^{14}Hz , 即 $\omega \gg \omega_s$, 这种频移是很小的, 可以忽略不计。

第 m 级衍射极大的强度 I_m 可表示为

$$I_m = E_0 E_0^* = C^2 b^2 J_m^2(\delta\Phi) = I_0 J_m^2(\delta\Phi) \quad (8)$$

式中, E_0^* 为 E_0 的共轭复数, $I_0 = C^2 b^2$ 。第 m 级衍射光的衍射效率 η_m 定义为该级衍射光的强度与入射光强度之比。由 (8) 式可知, η_m 正比于 $J_m^2(\delta\Phi)$ 。当 m 为整数时, $J_{-m}(\alpha) = (-1)^m J_m(\alpha)$ 。由 (6) 式和 (8) 式表明, 各级衍射光相对于零级对称分布。

综述以上分析, 喇曼-奈斯声光衍射的结果: 光波在声场外分成一组离散型的衍射光, 他们分别对应于确定的衍射角 θ_m (即传播方向) 和衍射强度 I_m 。由于 $J_{-m}^2(\alpha) = J_m^2(\alpha)$, 故同级次衍射光的强度相等, 这是喇曼-奈斯衍射的主要特征。无吸收时衍射各级极值光强之和应等于入射光强, 即光功率是守恒的。对于一级衍射光有 $\eta_1 = J_1^2(\delta\Phi)$, 当 $\delta\Phi = 1.84\text{rad}$ 时, η_1 取最大值 $\eta_{1\text{max}} = 33.9\%$, 即喇曼-奈斯衍射效率最大也只能是 33.9%, 入射光的利用率很低。在激光调制、激光偏转系列中一般不用喇曼-奈斯声光器件, 但在调 Q 激光器和锁模激光器中, 声光器件只是用作损耗器件, 通过控制声光器件是否产生衍射光来达到控制 Q 开关打开是否与否的目的, 并不是特定使用某级衍射光, 因此可以使用喇曼-奈斯器件。

3. 布拉格衍射

当声波频率较高, 声光相互作用长度 L 满足条件 $L > 2L_0$ (L_0 为声光衍射的**特征长度**, 定义式表

$$\text{示为 } L_0 \approx \frac{\lambda_s^2}{\lambda} = \frac{nv^2}{\lambda_0 f^2}, \lambda_0 \text{ 为真空中光的波长),}$$

而且光束相对于超声波波面以某一角度斜入射时, 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。当入射光与声波波面间满足一定条件时, 介质内各级衍射光会相互干涉, 各高级次衍射光将互相抵消。在理想情况下除了 0 级之外, 只出现 1 级或者 -1 级衍射, 如图 3 所示。这种衍射与晶体对 X 光的布拉格衍射很类似, 故称为布拉格衍射。能产生这种衍射的光束入射角称为布拉格角。

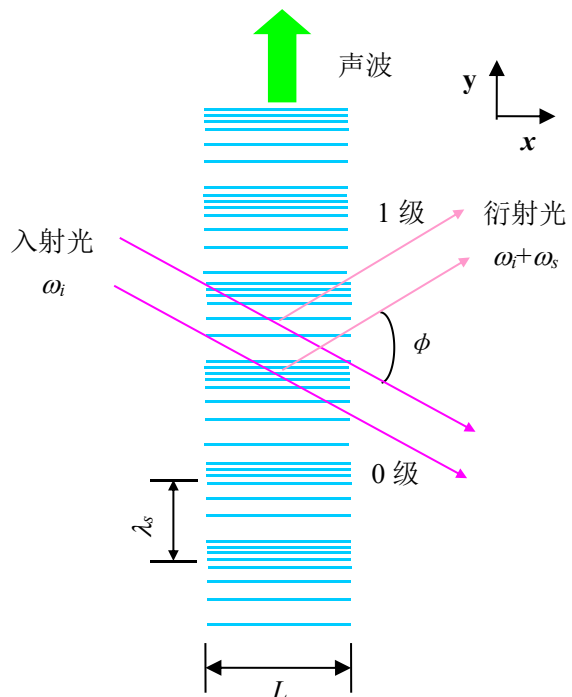


图 3 布拉格衍射

可以证明，布拉格角 i_B 满足

$$\sin i_B = \frac{\lambda}{2\lambda_s} \quad (9)$$

式 (9) 称为**布拉格条件**， λ 为介质中光的波长。因为布拉格角一般都很小，故衍射光相对于入射光的在晶体外的偏转角 ϕ 为

$$\phi = 2i_B \approx \frac{\lambda}{\lambda_s} = \frac{\lambda_0}{v_s} f_s \quad (10)$$

式中， v_s 为超声波波速， f_s 为超声波频率，其它量的意义同前。从式 (10) 可以看出，偏转角 ϕ 随超声频率而变，改变驱动电信号的频率，就可以控制衍射光的偏转方向。这就是**声光偏转**的原理。

在布拉格衍射的情况下，一级衍射光的衍射效率为

$$\eta = \sin^2 \left(\frac{\pi}{\lambda_0} \sqrt{\frac{M_2 L P_s}{2H}} \right) \quad (11)$$

式中， P_s 为超声波功率； L 和 H 为超声换能器的长和宽； M_2 为反映声光介质本身性质的常数，称为

声光优值；定义为 $M_2 = \frac{n^6 P^2}{\rho v_s^3}$ ， ρ 为介质密度， P 为光弹系数。在布拉格衍射下，衍射光的频率也由

(7) 式决定。

由式 (11) 可以得出以下结论：①为了在一定的声功率 P_s 条件下使衍射效率尽量大，要求选择声光优值 M_2 大的晶体，尽量将换能器制作成长而窄的形状，并选择短波长激光。②当声功率足够大，

使得 $\frac{\pi}{\lambda_0} \sqrt{\frac{M_2 L P_s}{2H}} = \frac{\pi}{2}$ 时， $\frac{I_1}{I_i} = 100\%$ 。但是如果继续加大声功率，衍射效率不但不会继续增大，反

而会减小，这在实际工作中是必须避免的。③衍射效率随声功率而变化，因此通过控制加在换能器上驱动电信号的功率，可以达到控制衍射光强度的目的，这便是**声光调制**的原理。特别是，当弱声光相互作用时，一般是在 $\eta < 50\%$ 的条件下，利用泰勒近似计算 $\sin x \approx x$ ，公式 (11) 可以简化为

$$\eta = \frac{\pi^2 M_2 L}{2\lambda^2 H} P_s \quad (12)$$

衍射效率与声功率成正比，也就是衍射光强与驱动电信号功率成正比，这可以保证信号不失真。

由 (10) 式和 (11) 式可看出，通过改变超声波的频率和功率，可分别实现对激光束方向的控制和强度的调制，这是声光偏转器和声光调制器的物理基础。从 (7) 式可知，超声光栅衍射会产生频移，因此利用声光效应还可制成频移器件。超声频移器在计量方面有重要应用，如用于激光多普勒测速仪等。

以上讨论的是超声行波对光波的衍射。实际上，超声驻波对光波的衍射也产生喇曼-奈斯衍射和布拉格衍射，而且各衍射光的方位角和超声频率的关系与超声行波时的相同。

表 1 喇曼-奈斯衍射和布拉格衍射的区别

参数 \ 类型	喇曼-奈斯衍射	布拉格衍射
声光互作用长度	短	长
超声波频率	低	高
入射方向	光波垂直于声场传播的	光束与声波波面间以

	方向	一定的角度斜入射
“光栅”类型	声光晶体相当于一个“平面光栅”	声光晶体相当于一个“立体光栅”
衍射效率	低（最大 33.9%）	高（最大 100%）

4. 声光器件

目前市面上常用的两片换能器声光器件的结构示意图如图 4 所示。总体上，由压电换能器、声光介质和外部电路图组成。在制作上，先将已镀金属层的换能器晶片和声光相互作用晶体黏合在一起，称为键合工艺；然后将已键合在声光相互作用介质上的换能片进一步减薄到所需的厚度，称为减薄工艺。将介质的端面磨成斜面或成牛角状，可达到吸收通过声光介质传播到端面的超声波以形成超声行波的作用。声光器件有三个重要的参量：一是**中心频率 f_c** ；二是**带宽**；三是**损耗**。

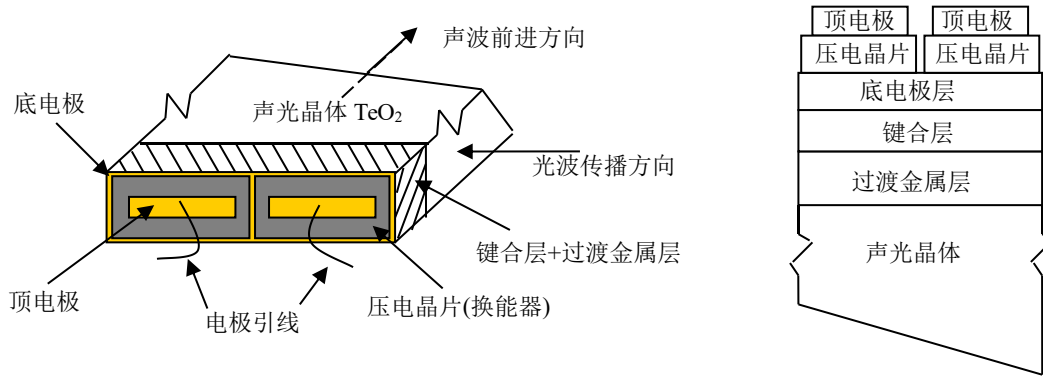


图 4 声光器件结构示意图

压电换能器又称超声发生器，由铌酸锂晶体或其它压电材料运用反压电效应制成。它的作用是将电功率换成声功率，并在声光介质中建立起超声场。压电换能器既是一个机械振动系统，又是一个与功率信号源相联系的电振动系统，或者说是功率信号源的负载。为了获得最佳的电声能量转换效率，换能器的阻抗与信号源内阻应当匹配。**压电现象**是指，当晶体受到压力作用时，会出现电荷或产生电场的现象；**反压电效应**则是在晶体两端加电压，会产生应力或应变的现象。并不是所有的晶体都具有压电、反压电性质，只有结构上无对称中心的晶体才可能具有这些性质。利用压电晶体的反压电效应可以实现电能与机械能之间的相互转换，这是声光器件中非常重要的压电换能器的基本工作原理。如果加在压电晶片上下晶面的电压是交变电压，则晶片就会发生方向随时改变的应变，也就是超声波，将超声波引入声光晶体中，就可以与入射激光实现声光互作用，从而通过控制加在换能器上的交流电的参数来控制激光的方向、强度等参数。仪器中用到的声光器件采用的铌酸锂（化学分子式为 LiNbO_3 ）晶体具有非常好的压电性能，是制作声光器件换能器的最佳晶体。压电晶片的厚度决定声光器件的中心频率，压电晶片越薄，对应的中心频率越大。

常见的声光晶体有钼酸铅（化学分子式为 PbMoO_4 ，缩写为 PM）和氧化碲（化学分子式为 TeO_2 ），这两种晶体属于单轴声光晶体，具有较大的弹光系数及高的折射率，因而有很高的品质因子，是应用最广泛的声光晶体。声光器件中使用的声光晶体为氧化碲，透明区域为 $0.35\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ ，在整个可见光范围内全部透明，属于四方晶系的 422 晶类。表 2 中列出了氧化碲晶体的主折射率，其声光优值见表 3。

表 2 氧化碲主折射率

波长/ μm	1.064	0.6328	0.5145	0.4880	0.4416
n_o	2.2068	2.2597	2.3111	2.3299	2.3759
n_e	2.3507	2.4119	2.4732	2.4958	2.5494

表 3 氧化碲正常声光效应的声光优值(对 $0.6328\mu\text{m}$ 激光)

声光互作用工作模式	声速 V	入射光折	衍射光折	有效声光	声光优值 M_2
-----------	------	------	------	------	------------

声	光	($\times 10^3\text{m/s}$)	射率 n_i	射率 n_d	系数 p	($\times 10^{-15}\text{s}^3/\text{kg}$)
正常:沿 z 纵波	o	4.203	$n_o=2.26$	$n_o=2.26$	$p_{13}=0.34$	34.7
	e	4.203	$n_e=2.412$	$n_e=2.412$	$P_{33}=0.24$	25.6

在声光器件的设计中，尤其是声光偏转器的设计中，带宽是一个非常重要的问题。带宽越宽，偏转器工作的频率范围越大。声光器件中存在两种转换，每一种转换都有相应的带宽问题。

首先，压电换能器把电振荡转换成超声振荡，形成超声波，能够在多大频率范围内有效地将电功率转换成超声功率，称为换能器带宽。

我们的超声驱动电源能在宽的频率范围内与声光器件匹配，驱动声光器件。

其次，在声光介质中通过声光互作用，超声波将引起入射光的布拉格衍射产生衍射光，在实际工作时声光器件往往是入射角保持不变，超声频率不同时会引起不同程度的失配，能够在多大频率范围内有效地完成布拉格衍射称为声光互作用带宽，或布拉格带宽。换能器带宽和布拉格带宽形成了声光器件的综合带宽。一般定义声光衍射效率从最大值下降一半时的频率宽度为声光互作用 3dB 带宽。

单片压电换能器的声光器件，布拉格带宽窄。为克服单片结构的缺点，将换能器分成多片，使合成声波的方向随频率改变，在较宽的频率范围内都能实现布拉格匹配，这种结构的器件叫做超声跟踪声光器件。

目前市面上常用的两片平面结构换能器的声光器件，虽然不能在所有频率实现超声跟踪，但设计合理时能在两个频率处实现超声跟踪，获得比单片结构大得多的布拉格带宽。常用的两片结构换能器声光器件的布拉格损耗 BL 与超声相对频率 F 之间关系的理论计算值如图 5 所示。

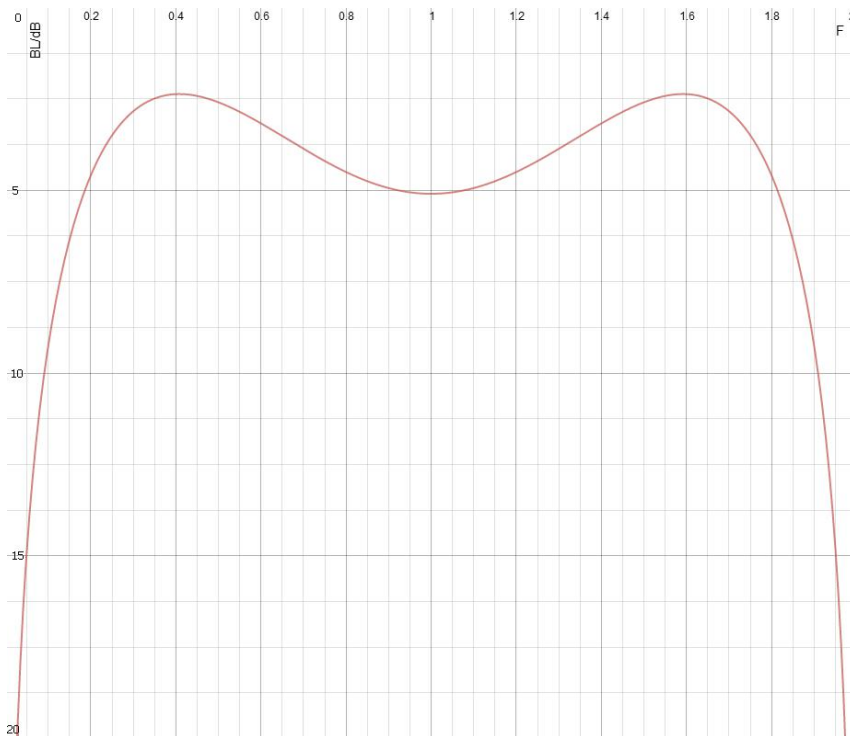


图 5 两片换能器声光器件 BL-F 曲线

从图 5 中可以看出，对于两片结构，BL-F 曲线对中心频率 $F_c=1$ 对称，且布拉格损耗最小的位置不是在中心频率。

5. 线阵 CCD 光电转换器

一个完整的 CCD 器件由光敏单元、转移栅、移位寄存器及一些辅助输入、输出电路组成。图 6 为某型号 CCD 的结构示意图。CCD 工作时，在设定的积分时间内由光敏单元对光信号进行取样，将光的强弱转换为各光敏单元的电荷多少。取样结束后各光敏元电荷由转移栅转移到移位寄存器的

相应单元中。移位寄存器在驱动时钟的作用下，将信号电荷顺次转移到输出端。将输出信号接到计算机、示波器、图象显示器或其它信号存储、处理设备中，就可对信号再现或进行存储处理。由于 CCD 光敏元可做得很小（约 10 μ m），所以它的图象分辨率很高。

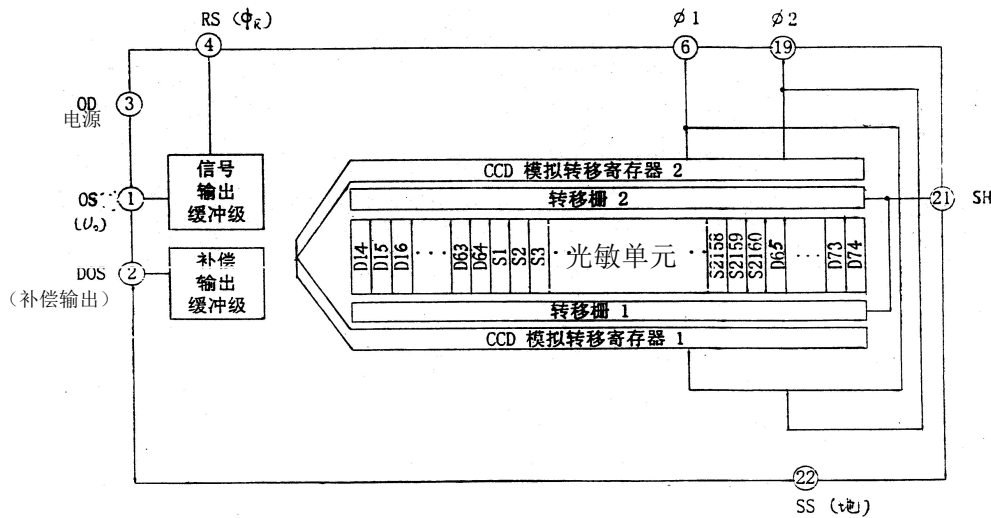


图 6 CCD 的结构示意图

仪器介绍

如图 7 所示，仪器主要是由半导体激光器及相应的激光电源、声光器件、功率信号源、准直屏、线阵 CCD 光电转换器、示波器（自备）及导轨等部件构成。

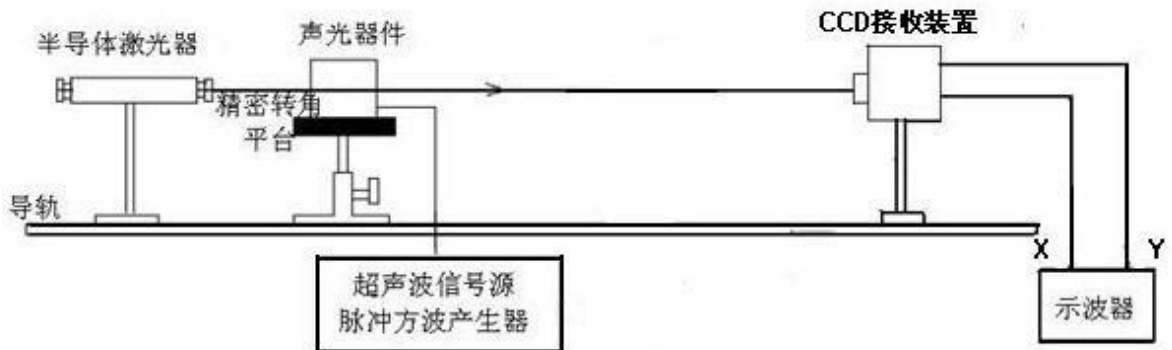


图 7 晶体声光效应结构示意图

(1) **半导体激光器及电源**：激光器置于二维调节架上，其输出中心波长为 650nm，光斑大小可调，激光输出端固定 0.8mm 孔径光阑；激光电源为可调直流源，电流调节范围为 0~16mA。

(2) **声光器件**：采用声光性能好的声光晶体---氧化碲（TeO₂）和压电晶体---铌酸锂（LiNbO₃）高真空钢压焊接而成；工作波长 650 nm；中心频率 100 MHz，3 dB 带宽 50 MHz；有效孔径 1 mm；衍射效率 >85%，驱动功率 ≤1 W。声光器件置于精密转角平台上，其调节精度 <0.5 mrad/转，用于精细地调节光源的对晶体的相对入射角。

(3) **功率信号源**：为声光器件提供一定范围的频率和功率信号，并自带频率和功率显示功能。在“等幅”条件下输出的信号频率范围为 60~130 MHz，分辨率为 0.1 MHz；输出功率 0~1000 mW 可调，分辨率 1mW。在“调幅”位置，输出一个 TTL 电平的数字信号，就可以对声功率进行幅度调制，频率范围 0~20 KHz。

(4) **准直屏**：用于实验前激光俯仰等维度的调节。

(5) **线阵 CCD 光电转换器**：采用线阵 CCD 光电传感器，有效光敏单元为 2048 个，空间分辨率 14 μ m。

(6) **通用双踪示波器（需另备）**：20 MHz。

实验内容与步骤

由于声光效应实验仪采用的中心频率高达 100MHz 的声光器件，而喇曼-奈斯衍射发生的条件是声频较低、声波与光波作用长度比较小的情况，因此，本实验主要围绕布拉格衍射展开，对于喇曼-奈斯衍射仅作一般研究。在观察及测量以前，整个光学系统应该共轴。

实验准备：光路共轴调节

1. 调节半导体激光器

1) 将半导体激光器（未加光阑）固定于导轨一端（刻线参考位置 80mm），适当调节半导体激光器高度（勿使其处于最高或最低位置，避免后面的部件无高度调节余地），激光出射方向大致沿导轨并朝向导轨另一端；将准直屏置于导轨上激光出射方向一侧，准直屏上带网格一面朝向半导体激光器，调节准直屏的高度使激光光斑落在准直屏上。

2) 连接半导体激光器与激光电源，打开电源开关，调节电流大小（参考值 8.0mA）使准直屏上出现明显的激光光斑；旋转半导体激光器出光孔端的调焦旋钮，调节出射光束，直到激光大致以平行光出射（即沿导轨前后移动准直屏，屏上光斑大小始终相等或近似相等）。

3) 在半导体激光器上加光阑，用准直屏辅助调节激光沿导轨方向平行出射，具体方法是：将准直屏沿导轨移近光源，观察并记住光斑在准直屏上的位置，然后将准直屏沿导轨尽量远离光源，观察光斑在准直屏上的位置；若两次观察光斑不在同一位置，需要调节激光器的水平调节螺钉或俯仰调节螺钉。不断重复上述操作，直到移近和远离光源时，光斑均处于准直屏上同一位置。下面推荐一种较快调节激光水平和俯仰的方法。设激光器在导轨上的 A 处，准直屏在导轨上的 B 处或 C 处，如图 8：

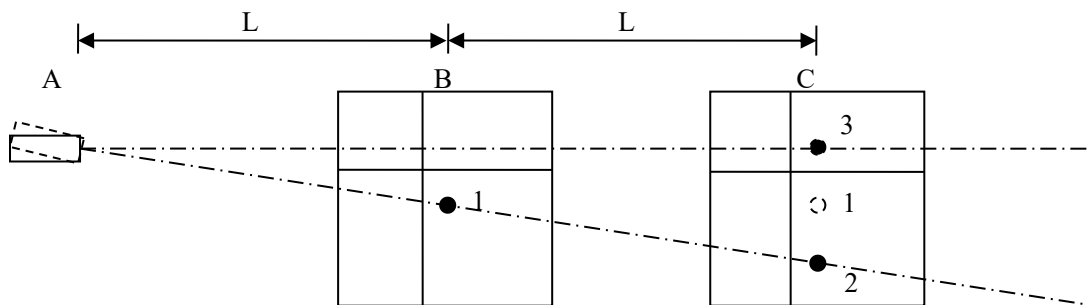


图 8 调节示意图

首先，将准直屏移到距离激光源较近的 B 处，观察并记住此时光斑在准直屏上的位置 1，然后将准直屏移到距离激光源较远的 C 处，使 BC 距离等于 AB 距离，观察并记住此时光斑在准直屏上的位置 2，若图示为俯视图，则 1 和 2 水平方向不重合，需要调节激光器上的水平调节螺钉，使得准直屏在导轨上 C 处时光斑从位置 2 水平移动到其关于位置 1 对称的位置 3，如图 8，俯仰调节亦采用同样的方法。一般重复 2~3 遍即可调好。

至此，对半导体激光器的调节基本完成，实验过程中除小心加取光阑外勿再动激光器。

2. 调节线阵 CCD 光电转换器



1) 将线阵 CCD 光电转换器固定于导轨上（刻线参考位置 850mm），机壳大致沿导轨方向并且进光口朝向激光器一侧。线阵 CCD 光电转换器尾端的电源插孔接 DC12V 直流电源，“信号”接口接示波器 CH1 接口，“同步”接口连接示波器 CH2 接口。

2) 打开示波器电源开关，将示波器设置为：

- a. CH2 上升沿触发。
- b. CH1、CH2 的垂直档位分别为 200mV/格、10.00V/格，水平档位为 100us/格（也可根据具体情况作相应调整，最终效果要使得后面测量激光峰值有较大的分辨力但完整的峰又不超过示波器显示屏；触发信号 CH2 不影响 CH1 信号读数；水平档位使得屏幕显示一个完整周期的信号即可）。
- c. 平均 8 次采样。
- d. CH2 信号和 CH1 低电平信号在示波器屏幕上居中靠下显示。

3) 取下白屏，仔细同时调节线阵 CCD 光电转换器的高度及水平转角，使得 CH1 信号峰位处于示波器屏幕的水平中央，且幅值达到最大。

4) 将声光器件固定在导轨上（刻线参考位置 180mm），连接声光器件与功率信号源，打开功率信号源电源开关，拨到“等幅”方式，调节频率和功率旋钮，输出“100MHz、200mW”信号。然后将准直屏置于导轨上（刻线参考位置 450mm），准直屏上无网格一面朝向半导体激光器。

5) 小心取下半导体激光器上的光阑，注意不要影响激光的出射状态。仔细调节声光器件的高度及水平转角，让激光大致平行通过晶体，直到准直屏上出现“”或“”图像，固定声光器件。然后再在半导体激光器上加光阑，此时，准直屏上图像应变为两个小圆光斑。

6) 取下准直屏，应能观察到示波器屏幕上出现了两个峰，屏幕中心的为 0 级光，0 级旁边的为+1 或-1 级衍射光。调节声光器件上的水平转角调节螺钉，可观察到两峰幅值发生了此消彼长的变化，且+1 或-1 级衍射光在某水平转角下存在最大衍射强度。若螺钉旋转方向正确，还可看到 0 级光逐渐增强，+1 或-1 级衍射光逐渐减弱直至消失，然后在 0 级光的另一侧出现-1 或+1 级衍射光，并逐渐增强.....的现象。

7) 理论上，+1 级和-1 级衍射光的最大强度是相等的。据此，在晶体均匀、不同 CCD 像元均一致的情况下，可以根据+1 级和-1 级衍射光的最大强度是否相等来判断线阵 CCD 光电转换器的各像元是否在衍射发生面上。具体做法是：当+1 级和-1 级衍射光的最大强度不相等时，调节线阵 CCD 光电转换器上的 CCD 微调旋钮，直到+1 级和-1 级衍射光的最大强度相等。

至此，完成了线阵 CCD 光电转换器的调节，实验过程中勿再动线阵 CCD 光电转换器。

声光器件频率特性测量

注：下面实验中，在不引起混淆的情况下，用 1 级衍射光代替+1 级或-1 级衍射光。在布拉格衍射下，衍射效率指的就是 1 级衍射光的衍射效率。各实验过程中激光器电流调节好后不可再变。

实验步骤：

1) 给激光源通一定电流（如 8mA）产生适当强度的激光使 CCD 不至于饱和，同时峰值曲线占据示波器屏幕约四分之三高度。

2) 将超声信号源频率调到 100MHz 处，驱动功率调到饱和功率（300mW）以下某值（如 200mW）。

3) 调节声光器件的转角使入射角与 100MHz 的布拉格角匹配，具体调节方法：仔细调节声光器件的水平转角，使得从示波器上观察 1 级衍射强度达到最大，此时入射角等于该频率处的布拉格角（若 1 级衍射强度较小不易分辨峰值差异，可适当减小示波器的垂直档位），水平转角调好后示波器需恢复到原档位。

4) 记录 CH2 同步信号高电平占据的横向格数，此即为线阵 CCD 总共占据的水平格数 Y 。

5) 记录 CCD 受光面到晶体中心的距离 D （精确到 1mm）。

6) 保持功率不变，改变超声频率，记录不同频率下 1 级衍射光对 0 级的偏离格数 X 及 0 级光及 1 级光的强度填入表 4。

表 4 声光频率特性数据记录表

线阵 CCD 总共占据的水平格数 $Y =$ _____ div, CCD 受光面到晶体中心的距离 $D =$ _____ mm

超声频率 f (MHz)	60	65	95	100	105	125	130

1 级光对 0 级的 偏离量 X (div)									
0 级光强度									
1 级衍射光强 度									
总强度									
衍射效率 η									

注：表中的总强度为 0 级光强度与 1 级衍射光强度之和。

1. 测量偏离量与超声频率的关系

根据表 4 数据绘制 X - f 关系曲线，并进行线性拟合，得到斜率 K 。

该实验可以说明声光偏转器的工作原理，即在布拉格衍射下，衍射偏转角 ϕ 与超声波频率 f 成正比。图 9 是 1 级衍射极大与 0 极大之间的间距与超声频率之间的关系，可以看出，间距与频率成正比例关系。

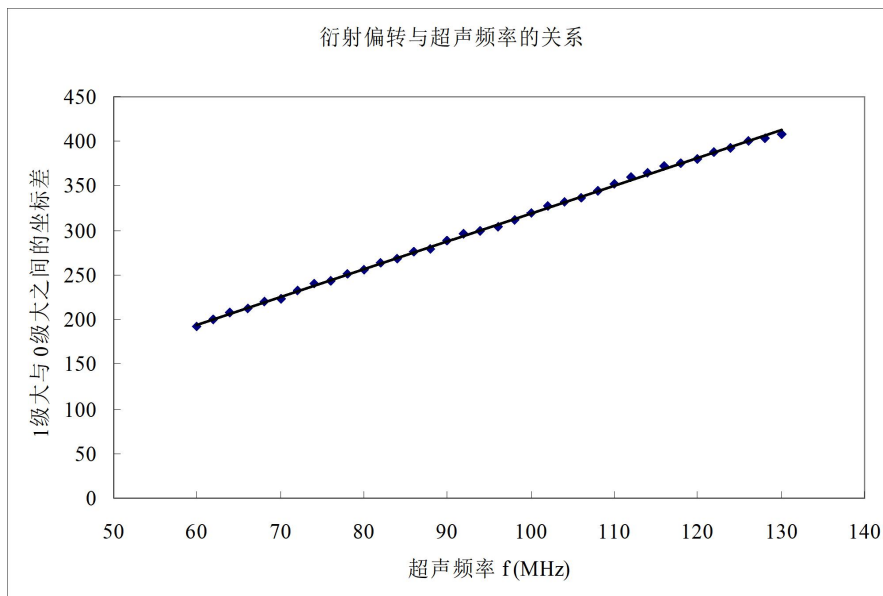
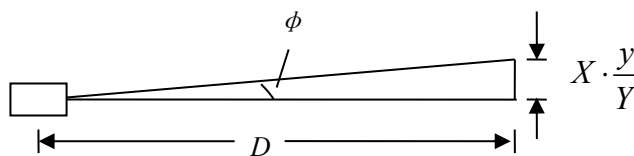


图 9 1 极大与 0 极大之间的间距与超声频率之间的关系

2. 计算晶体中的超声波速

如下面的几何示意图，晶体外的 1 级衍射角 $\phi \approx \left(X \cdot \frac{y}{Y} \right) / D$ ，其中 $y=28.672\text{mm}$ ，是线阵 CCD 有效像元的实际总长度。



注：CCD 受光面在线阵 CCD 光电转换器的微调螺钉上方附近，与线阵 CCD 光电转换器底座刻线的水平距离为固定值 55mm，计算 D 的时候要考虑该数值。

y 、 Y 、 D 在实验中均不变，故若 X 与 f 是正比关系，说明 ϕ 与 f 成正比关系。

根据公式 (15) 可知： $\left(X \cdot \frac{y}{Y} \right) / D = \frac{\lambda_0}{v_s} f$ ，或 $\left(K \cdot \frac{y}{Y} \right) / D = \frac{\lambda_0}{v_s}$

于是，可得声光晶体中的超声波在 TeO_2 晶体中传播的速度 $v_s = \frac{\lambda_0}{y} \cdot \frac{YD}{K}$ ，求出超声波波速 v_s ，

与公认值 4203m/s 比较，求出相对误差。

3. 测量声光器件的带宽

根据表 4 绘制 η - f 关系曲线，在关系曲线中，衍射效率最大值一半处对应的频率宽度即为该声光器件的带宽。

在功率未饱和的情况下，在超声功率为 200mW 时衍射效率与超声频率的关系曲线如图 10 所示，在调节布拉格入射角与 100MHz 匹配时，若入射角偏离 100MHz 会导致两个波峰的极大值不对等的现象。

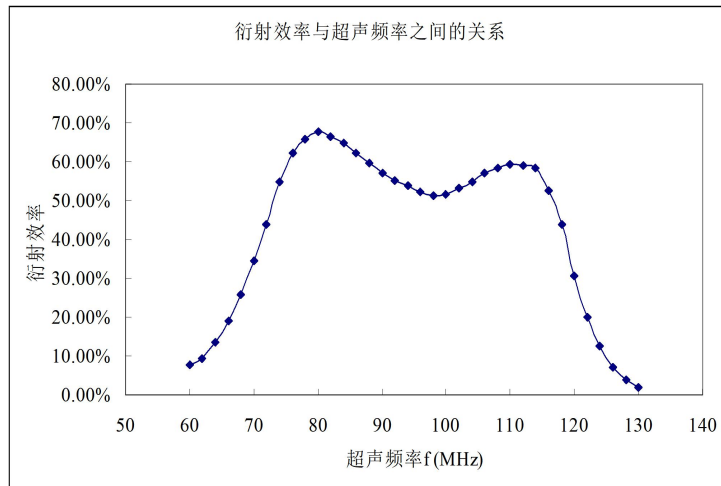


图 10 1 级光衍射效率与超声频率的关系

声光器件功率特性测量

4. 测量声光调制曲线

在一定的驱动功率范围内，驱动功率越大，1 级衍射光的强度越大；当超过这个功率范围后，衍射强度反而随着功率的增加而减小，如图 11 所示，声光调制器工作在线性区域。

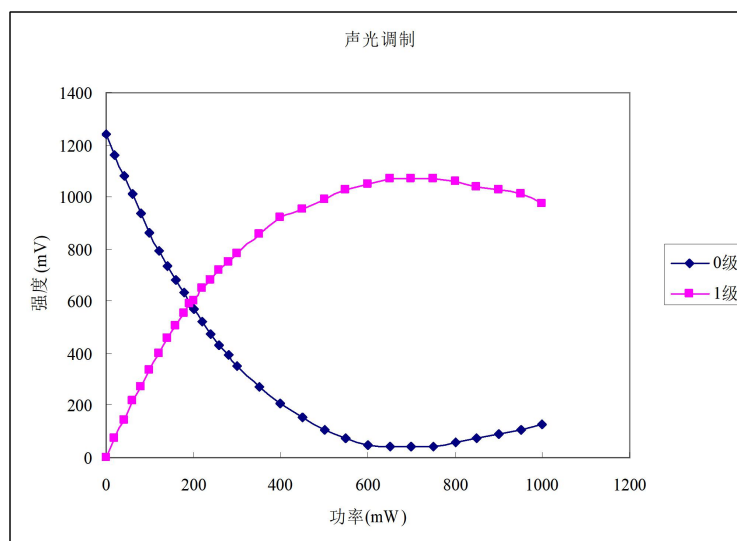


图 11 声光调制

实验步骤：

- 1) 将超声频率调到 100MHz 处, 调节声光器件的转角使入射角与 100MHz 的布拉格角匹配(具体调节方法同实验 1)。
- 2) 保持频率不变, 改变驱动功率, 记录不同驱动功率下 1 级衍射强度和 0 级光强度的纵向格数填入表 5。

表 5 测量衍射强度与驱动功率的关系

驱动功率 P (mW)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
0 级光强度 $I_0(\text{div})$												
1 级衍射强度 $I_1(\text{div})$												
总强度 $I_{\text{总}}$												
衍射效率												

绘制 I_1-P 、 I_0-P 关系曲线, 找出衍射强度最大时的驱动功率, 计算最大衍射效率 $I_{1\text{max}}/I_{\text{in}}$ 。估计该声光器件在多大功率范围内可实现信号不失真传递?

5. 测量喇曼-奈斯条件下的衍射角和衍射效率

实验步骤:

- 1) 将信号源的频率调至 100MHz, 功率输出设置在 200mW。
- 2) 调节声光器件的转角, 使激光在声光晶体表面垂直入射 (即喇曼-奈斯衍射条件), 此时示波器屏幕上观察到的现象是: 在 0 级光两侧出现了强度相等、峰位对称的+1 和-1 级衍射光。
- 3) 记录 CCD 受光面到晶体中心的距离 (精确到 1mm)。
- 4) 记录喇曼-奈斯衍射条件下, +1 和-1 级衍射光对 0 级光的偏离格数和衍射强度格数, 填入表 6。

表 6 测量喇曼-奈斯条件下的衍射角和衍射效率

入射光强 $I_{\text{in}} = \underline{\hspace{2cm}}$ div, CCD 受光面到晶体中心的距离 $D = \underline{\hspace{2cm}}$ mm

	+1 级衍射光	-1 级衍射光
对 0 级光的偏离量 $X(\text{div})$		
衍射强度 $I(\text{div})$		

由 $\phi \approx \left(X \cdot \frac{y}{Y} \right) / D$ 计算出 1 级衍射角, 与公式 (13) 计算的公认值进行比较, 求出相对误差。

计算喇曼-奈斯衍射条件下的 1 级衍射效率 $I_1/I_{\text{总}}$, 并与布拉格衍射条件下的最大衍射效率进行比较。