

图3 $\text{Na}_3\text{Zr}_{1-x}\text{Yb}_x\text{Si}_{2-x}\text{P}_{1+x}\text{O}_{12}$ 晶内电导的 $\lg(\sigma T) \sim 1/T$ 图

测定了各种温度下 $\text{Na}_3\text{Zr}_{1-x}\text{Yb}_x\text{Si}_{2-x}\text{P}_{1+x}\text{O}_{12}$ ($x = 0.2-1.2$) 系统的离子电导。 $x = 0.8$ 的组成有最佳电导率, 在 294°C 时为 $1.39 \times 10^{-1} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, 高温时电导活化能为 0.22eV , 与至今已知的最好的钠离子导体 $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和 Nasion 可以相比拟。

参 考 文 献

- [1] H. Y-P. Hong, *Mat. Res. Bull.*, **11**(1976), 173.
- [2] J. B. Goodenough, H. Y-P. Hong and J. A. Kafalas, *Mat. Res. Bull.*, **11**(1976), 203.
- [3] 田顺宝, 林祖纘, 硅酸盐学报, **9-4** (1981).

Raman-Nath 衍射与 Bragg 衍射的判据

于 连 生

(国家海洋局海洋仪器研究所)

1982年1月11日收到

一、前 言

声光衍射现象依据其工作条件的不同可分为 Raman-Nath 衍射与 Bragg 衍射。Raman-Nath 衍射是入射光通过声光互作用介质后形成多级衍射光的衍射; Bragg 衍射是以 Bragg 角 θ_B 入射的光束, 通过声光互作用介质后衍射光只有零级和一级的衍射。满足什么条件才产生上述两种不同的衍射? 所应满足的这种条件即称为 Raman-Nath 衍射和 Bragg 衍射的判据。很显然, 这一判据对于设计各种声光器件都是很重要的。以前人们曾普遍采用 Klein 和 Cook^[1] 提出的 Q 判据。这一判据指出, $Q \ll 1$ 为 Raman-Nath 衍射; $Q \gg 1$ 为 Bragg 衍射。其中 $Q = 2\pi\lambda L/\Lambda^2$, λ 为介质中的光波长, L 为声光互作用长度, Λ 为超声波长。后来 Moharam 和 Young^[2] 指出了 Q 判据存在的问题。他们指出,

当 Q 很大时也产生 Raman-Nath 衍射, 因此建议采用 Nath^[3] 首先提出的参量 ρ ($\rho = \lambda^2/\Lambda^2 n_1$, n_1 是声致折射率改变幅值) 作为上述两种衍射状态的判据。当 $\rho \leq 1$ 为 Raman-Nath 衍射, $\rho \gg 1$ 为 Bragg 衍射。本文指出, 上述判据虽对区分两种不同的声光衍射给出了定量标准, 但是它们的推导过程都是从耦合波方程出发的, 因此较繁, 物理意义不甚直观明确。在此我们将根据声光衍射的基本概念, 利用几何作图法, 简明地导出具有普遍意义的判据。

二、理 论

根据声光效应, 当超声波传过介质时, 介质内各处将发生形变, 使得介质的折射率将发生周期性时空变化, Raman-Nath^[4] 假设它为可变的相位光栅, 光栅常数即超声波长 Λ 。

(1) 当光束垂直于超声传播方向通过声光介质时, 不论声光相互作用长度 L 如何, 同一时刻沿不同位置通过的光波具有不同的传播速度或不同的光程, 出射光波的相位不同, 具有皱折波面 (图 1). 按照惠更斯-菲涅尔原理^[5], 波阵面上每一点都可视为一个新的波源, 由它发出次波, 沿波面法线传播, 在空间相遇相干, 形成对称于零级的多级衍射光. 此种衍射即称为 Raman-Nath 衍射. 通常规定入射光波的传播方向与声波波阵面间的交角 θ 为入射角, 则

$$\theta = 0 \quad (1)$$

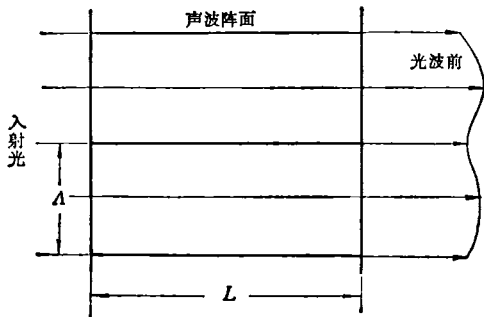


图 1

可为 Raman-Nath 衍射的判据. 此时 Q 可以远大于 1.

(2) 光束以 Bragg 角 θ_B 入射, 且 $L = \Lambda \operatorname{tg} \theta_B = L_0$. 此时介质中将有两部分光束, 一部分是由超声波面反射的光束, 一部分是穿过超声波面的透射光束. 由图 2 可知, 不论是反射光束还是透射光束中各条光线在声光介质中的光程均相等, 并且来自相邻两声波波阵面上的光为相干光, 且满足相干加强条件. 这种情况与熟知的晶体对 X 射线的衍射相似, 因此称为 Bragg

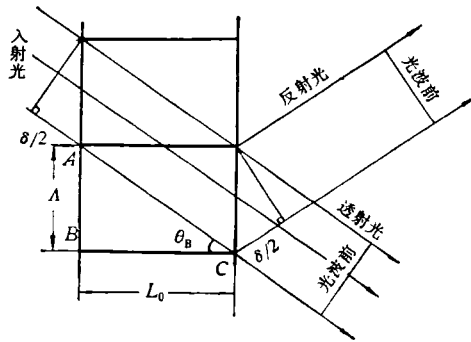


图 2

衍射. 在 Bragg 衍射状态下, 衍射光只有零级和一级.

由图 2 中三角形 ABC 得

$$\sin \theta_B = \frac{\Lambda}{\sqrt{L_0^2 + \Lambda^2}}, \quad (2)$$

由相干加强条件得相邻两声波波面上的反射光束的光程差为

$$\delta = 2\Lambda \sin \theta_B = m\lambda \quad (m = 1, 2, \dots), \quad (3)$$

比较(2),(3)两式得

$$\frac{m\lambda}{2\Lambda} = \frac{\Lambda}{\sqrt{L_0^2 + \Lambda^2}},$$

由于 $L_0 \gg \Lambda$, 上式近似为

$$\frac{m\lambda L_0}{2\Lambda^2} = 1. \quad (4)$$

当 $m = 1$ 时, 一级 Bragg 衍射为

$$\frac{\lambda L_0}{2\Lambda^2} = 1, \quad (5)$$

此即 Klein 和 Cook 关于 Bragg 衍射状态的判据. 由图 2 可知, 在此情况下, 一级衍射光为一次反射光形成.

(3) 光束以 θ 角入射但 L_0 不变, 由图 3 中三角形 ABC 得

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\overline{AB}}{BC} = \frac{\overline{AB}}{L_0},$$

令 $\overline{AB} = \alpha\Lambda$, 有

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\alpha\Lambda}{L_0} = \theta, \quad (6)$$

由于 $\operatorname{tg} \theta_B = \Lambda/L_0 = \sin \theta_B = \lambda/2\Lambda = \theta_B$, 因此近似有

$$\theta = \frac{\alpha\lambda}{2\Lambda} = \alpha\theta_B, \quad (7)$$

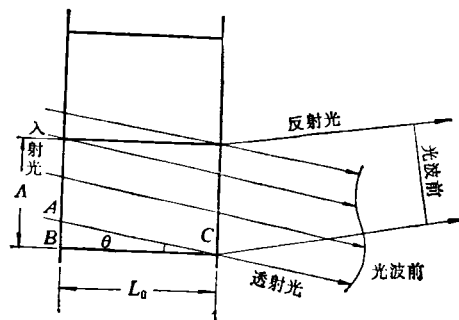


图 3

当 $\alpha < 1, \theta < \theta_B$ 时, 反射光束减弱, 透射光束增强, 透射光束具有皱折波面, 因而产生高级衍射光. α 越小, 高级衍射光越强. $\alpha = 0$ 对应于垂直入射的情况. 当 $\alpha > 1, \theta > \theta_B$, 相邻超声波面上反射的光束不满足相干加强条件, 同时 θ 增大也会引起光束的多次反射. 另外透射光束中的各条光线有不同的光程 (图 4), 因而会产生高级衍射光. 随着 θ 的增大 (3) 式中的 m 趋近 2, 这时出现二级 Bragg 衍射. 由此可推得, 当 θ 继续增大, 会出现更高级 Bragg 衍射. 此时 Q 可以远小于 1.

(4) 光束以 Bragg 角 θ_B 入射, L 变化的情

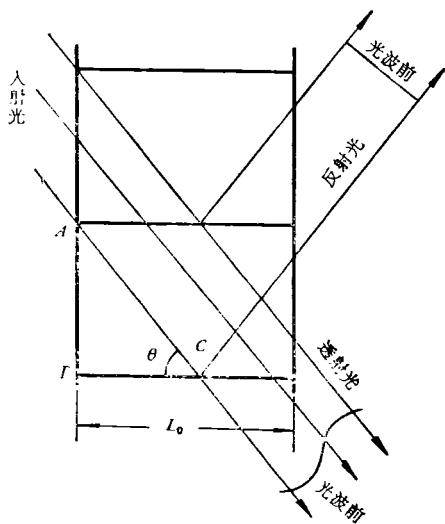


图 4

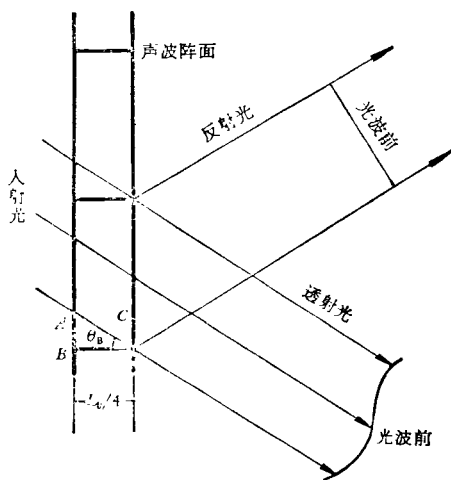


图 5

况如图 5 所示. 设 $L = \alpha L_0$, 有

$$L = \frac{2\alpha\Lambda^2}{\lambda} = \alpha L_0, \quad (8)$$

当 $\alpha < 1$, 入射光中有部分光束不能与介质中超声阵幅所在的声波波面相遇, 因此反射减弱, 透射增强. 透射光有皱折波面产生的高级衍射光. 反射光束将加强一级衍射光强度. 总的衍射光谱是这两部分光束的共同效果. 特别当 $\alpha = 1/4$ 时, $L = \Lambda^2/2\lambda$, 此即对应于 Klein 和 Cook 关于 $Q = \pi$ 的情况. 由图 5 可知, 这时不能与超声振幅所在处的声波波面相遇, 故近似为入射光束的 $3/4$. 当 $\alpha > 1$ (图 6), 入射光束都能与声光介质中的超声振幅所在的声波波面相遇, 因此反射较强, 透射较弱. 反射光束在介质中各条光线的光程相等, 且满足相干加强条件, 形成 Bragg 衍射, 但此时仍可有透射光形成较弱的高级衍射. 随着 L 的加大, 一级衍射光将由多次反射光形成.

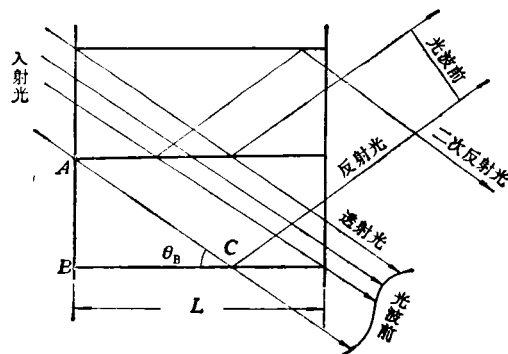


图 6

三、小 结

综上所述, 同时考虑到实际声光器件中光束和声束都有一定的发散角, 我们认为在 Raman-Nath 状态下工作应使入射角尽可能小, 这样可以通过加大 L 来减小输入声功率^[6]. 当 $L = L_0$ 时, 应保证 $\theta < \theta_B/4$. 如果光束发散角较大, 例如发散角接近 $\theta_B/4$, 只要 $L < \Lambda^2/2\lambda$, 也可以认为是 Raman-Nath 衍射. 在 Bragg 状态下, 一般采用一级 Bragg 衍射, 因此在保证入射角为 θ_B 的情况下, 只要使 $L \gg 2\Lambda^2/\lambda$, 就

(下转第 770 页)

是我工作的主要推动力,它不同于 Hevesy 开创的放射性同位素稀释技术(《放射性指示剂》一书对这项技术推崇备至),但是两者又有许多共同之处。

Arono A. Penzias

1939年,我被迫逃离纳粹德国,这对我的一生事业产生了决定性的影响。在德国,我本来可以靠着家产在我父亲的企业里过上舒适安宁的生活。但是,家产被抢劫一空,我们只好逃到美国,开始了新的生活。

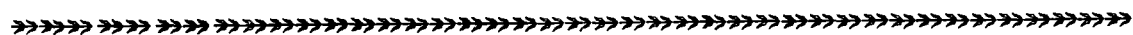
我本应该去上大学学习科学,而且是去学习化学,化学是当时我们了解较多的唯一学科。这里的“大学”指的是地方资助的纽约市立大学。那时这所大学成立刚过一百年,自成立以来,它就不断地把纽约贫苦移民的子弟输送到美国的中产阶级中去。大学一年级时,我发现了物理学,于是就将专业由化学工程改为物理。毕业以后我结了婚,并在美国通讯兵部队服役两年。1956年秋,我申请去哥伦比亚大学。我的服役经历帮助我得到了哥伦比亚辐射实验室助教奖学金,之后我就在 I. I. Rabi, P. Kusch 和 C. H. Townes 的指导下主要研究微波物理。经过一段艰苦而又成功的学习和资格考试

以后,我和 Townes 开始了射电天文的研究。

1961年,我做完了论文就到了霍尔姆德尔的贝尔实验室,想寻找一个临时性的工作。贝尔实验室具有独特的仪器设备,是完成我做论文时就开始的一些观测的理想之地。当时的无线电研究实验室主任 R. Kompfer 对我说:“你为什么不找个固定工作,反正你随时都可以离开。”我听从了他的建议,从此就留在贝尔实验室。这里的工作环境应该说既有利于基础物理研究,又有利于应用物理研究。我就在这种环境中从事基础和应用物理的研究。

我个人的经历与其他无数难民大体上一样,只是在细节上有所不同。三代“遗传不良”的物理学家——从身居学术高位的著名科学家到惊恐万状的学龄前儿童——一起被赶出了30年代的欧洲,到美国落了户。过去40多年来,他们在美国的物理学发展中所起的作用是近半个世纪以来美国科学取得的历史性成就中的一个不可分割的部分。

(韩建国、齐志英译自“Physics today”, 1981年11月号, 247—261页, 原题: Looking back on books and other guides)



(上接第731页)

可进入 Bragg 衍射,但应该指出的是,最佳 Bragg 衍射应该使声光互作用长度 L 为 L_0 的整数倍,这样可保证不出现高级衍射。

参 考 文 献

[1] W. R. Klein, B. D. Cook, *IEEE Trans. Sonics*

and *Ultrasonics*, SU-14 (1967), 123.

[2] M. G. Moharam, L. Young, *Appl. Opt.*, 17 (1978), 1757.

[3] N. S. N. Nath, *Proc. Indian Acad. Sci.*, 8 (1938), 499.

[4] C. V. Raman, N. S. N. Nath, *Proc. Indian Acad. Sci. A*, 2 (1935), 406.

[5] 母国光, 战元令著, 光学, 人民教育出版社, (1978), 267.

[6] 于连生, 激光, 6-6 (1979), 33.

(上接第738页)

参 考 文 献

[1] TFR. Group, *Phys. Rev. Lett.*, 36 (1976), 1306.

[2] P. Grove et al., Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research 1976. Sixth Conference Proceedings, Berchtesgaden, 6-13 October (1976). By International Atomic Energy Agency, Vienna, (1977), 21.

[3] S. A. Chohen et al., *Phys. Rev. Lett.*, 35 (1975),

1507.

[4] M. Nagami et al., *Nucl. Fus.*, 18 (1978), 1217.

[5] M. Shiho et al., *Nucl. Fus.*, 18 (1978), 1705.

[6] M. G. Kaganskij et al., Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research (1976). Sixth Conference Proceedings Berchtesgaden, 6-13 October (1976). By International Atomic Energy Agency, Vienna, (1977), 387

[7] T. Tazima, *Nucl. Fus.*, 17 (1977), 173.

[8] Kjell Bockasten, *J. Opt. Soc. Am.*, 51 (1961), 943.