

光栅的汇合光谱特性与双光栅成象效应^{*}

张卫平^{**} 何小荣

(广西大学物理科学与工程技术学院, 南宁 530004)

摘要 报道了光栅的一个未被人们关注的特性——汇合光谱特性, 以及基于该特性得到的特别效应——双光栅衍射成象效应. 光栅的汇合光谱特性指的是光栅具有的把按光谱排列的各光束汇合在一起的功能, 而双光栅衍射成象是物光波经过了光栅的色散与汇合光谱的作用后形成的物体虚象. 给出了汇合光谱需满足的条件, 并给出了双光栅成象中两光栅的空间频率、放置方位及衍射光的级数之间的关系方程.

关键词 汇合光谱 双光栅成象 衍射成象

光栅具有良好的色散特性为人们所熟知而被广泛应用, 然而, 随着对光栅的“光谱成象”^[1]的深入研究, 我们认识到光栅除了具有为人们所熟知的色散特性外, 还具有鲜为人知的汇合光谱特性. 我们所述的光栅汇合光谱特性指的是不同入射角的各种光束经光栅衍射后得到有相同(或基本相同)出射角光束的性质, 这与光栅的色散特性正好相反. 虽然很早就有人利用光栅来削弱色散, 在白光再现普通透射全息图中将光栅用于色散补偿^[2~4], 但未能认识到光栅的汇合光谱特性.

分析与应用光栅方程 $d(\sin\theta + \sin\beta) = k\lambda$ 可以理解汇合光谱效应. 该方程反映了一个单色光经过光栅后各级光的衍射角与入射角间的关系, 式中第一项中的 θ 为入射角, 第二项中的 β 为衍射角, k 为级数. 且 $\beta = \beta(k)$. 基于此方程, 我们可以得到反映多波长光束的光栅衍射方程

$$d(\sin\theta + \sin\beta_{ki}) = k\lambda_i, \quad (1)$$

式中 λ_i 为第 i 个波长, β_{ki} 为第 i 个波长的 k 级衍射角, 对于第 m 级光谱有 $\beta_{ki} = \beta_{mi}$. 现考虑某一具体 $k = m$ 级光谱的光逆向回射光栅, 则各色光波以各自的衍射角 β_{mi} 作为入射角射入光栅, 此时方程为

收稿日期: 2006-04-13; 接受日期: 2006-08-18

^{*} 国家自然科学基金(批准号: 10364001)和广西自然科学基金(批准号: 0043001)资助项目

^{**} E-mail: zwp2001@126.com

$$d(\sin\beta_{mi} + \sin\beta'_{ki}) = k\lambda_i, \quad (2)$$

比较(1)和(2)两式可知, 对于此时的 $k = m$ 级衍射光有 $\beta'_{mi} = \theta$. 即有

$$d(\sin\beta_{mi} + \sin\theta) = m\lambda_i. \quad (3)$$

可见在这新的出射光的各级光谱中也有对应的 m 级, 该级的各色光有着共同的出射角 θ . 既光栅有这样的功能: 将一部分按光谱排列的各色光束汇合为一束. 这就是我们定义的汇合光谱(如图 1). 方程(3)反映了汇合光谱的条件, 方程中的 m 级就是汇合级. 一般来说, 透过一个光栅去看一个光谱, (一个按光谱排列的光源或一幅拍摄好的光谱图象), 总可以通过调整光栅与光谱的距离使满足汇合光谱条件, 从而可以看到汇合光谱现象. 如果入射光谱波长范围包含整个可见光波段, 则汇合级是一束白光.

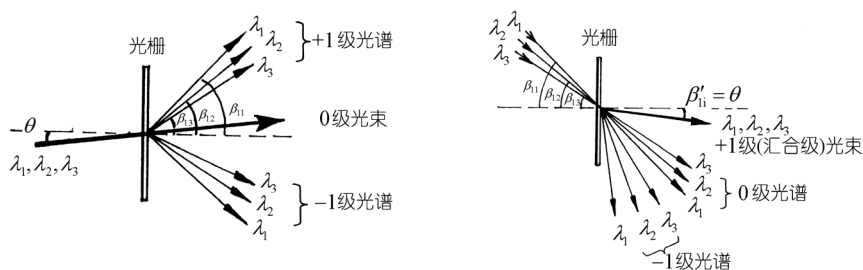


图 1 多波长光束被光栅衍射的示意图

(a) 一三色光束进入光栅后被衍射形成光谱, $k = 1$ 级光谱的各色光的衍射角为 β_{11} , β_{12} 和 β_{13} ; (b) 三色光分别以入射角 β_{11} , β_{12} 和 β_{13} 进入光栅后被衍射形成光谱, 其中 $k = +1$ 级为光谱汇合光束

光栅汇合光谱的一个很有意义的应用是双光栅成像, 利用汇合光谱效应, 可将由于色散形成的物光谱汇合起来, 重新形成清晰的物体图象. 如果让来自某物体的具有不同波长的物光束经过一光栅被色散形成物光谱后, 使其中某一级的按光谱排列的光进入另一光栅并满足光谱汇合条件, 则在汇合光束中可以看到该物体的图象. 这一效应就是本文所述的双光栅成像效应. 因此, 将两片光栅进行组合可以形成一图象传递系统——双光栅成像系统. 分别让它们的色散作用与汇合光谱作用恰当配合, 可使物光波经过两光栅的两次衍射后仍然能形成物体虚象. 显然, 在这里所述的光栅成像并非相干成像与使用单色光的光栅成像^[5,6], 也不是对人们熟悉的Talbot效应^[7]与Lau效应^[8]的研究, 而是光栅色散与汇合光谱两者的组合效应. 我们的成像系统不需要狭缝与针孔, 这与文献[9,10]描述的两光栅及狭缝组成的成像系统也不太一样.

图 2 是这一系统的示意图, G_1 和 G_2 分别为非倾斜平面透射光栅, O 为被观察的目标物, P 是挡板. 光栅 G_1 的作用是使来自于物体 O 的物光色散为各级物光谱, 为了使被用于汇合的 k_1 级衍射光亮度高、质量好(失真最小), 应将光栅 G_1 置于这

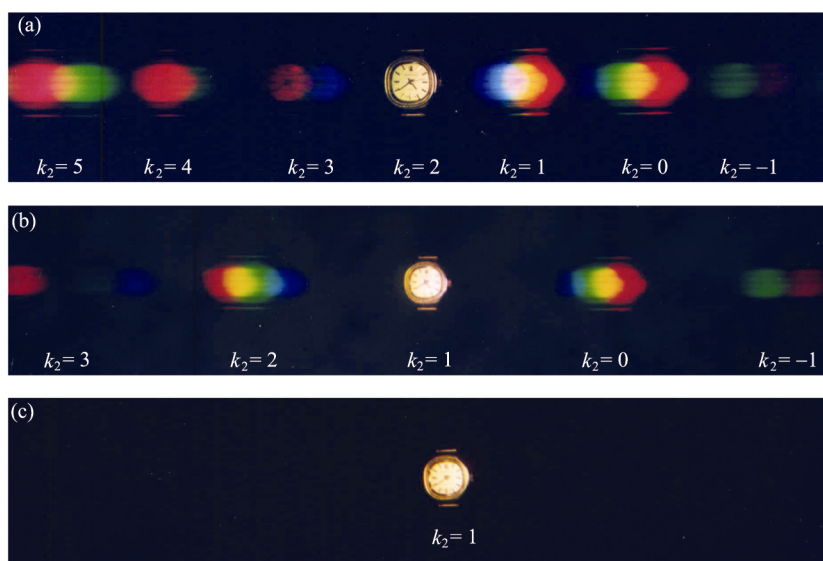


图3 将相机放置在图2中 G_2 后所拍摄的双光栅衍射成像效应的三照片

拍摄图3(c)时 G_1 与 G_2 的空间频率分别为 1000 及 700 L/mm, $k_1 = 1$ 及 $k_2 = 1$. 由于 G_1 与 G_2 的空间频率较高, 衍射角较大, 故相机视场中只看到了 $k_2 = 1$ 级的图象.

本文给出的分析研究是针对非倾斜平面透射光栅的情况, 但文中所述的双衍射成像原理与方法适合于各类光栅, 只是不同的光栅(如反射光栅)其放置方位及虚象位置会有所不同. 该方法还可推广应用于折射与衍射相结合的情况.

光栅的汇合光谱特性与双光栅成像效应有着广泛的应用前景. 光栅汇合光谱特性起到了消色散的作用因而可以用于消色散场合. 我们介绍过的白光——光栅再现普通透射全息图方法^[13]实质上也是光栅汇合光谱特性应用的例子. 而在本文所展示的双光栅成像效应中, 整个过程相当于对物体图象信息进行“调制”与“解调”过程. 我们可以利用这个过程进行光学信息处理. 另外, 双光栅成像系统的作用实际上是绕道传递图象, 因此, 双光栅成像系统可用于需要看清前方目标而有屏障的多种场合.

我们认为, 汇合光谱与色散是光栅最基本的衍射性质用于复色光衍射的两种不同表现, 两者属于同一层次的光栅基本特性, 深入认识光栅的这一特性以及两者的组合效应——双光栅成像, 将给光栅带来一系列新的应用.

参 考 文 献

- 1 Zhang W P, Wei W L. Method for Spectrum Imaging. In: Proceedings of SPIE Vol 4548, Bellingham:

- SPIE, 2001. 99—102
- 2 Burckhardt C B. Display of Holograms in white light. *Bell Syst Tech J*, 1966, 45: 1841—1844
 - 3 De Bitettl D J. Whit-light viewing of surface holograms by simple dispersion compensation. *Appl Phys Lett*, 1966, 9(12): 417—418
 - 4 Boj P G, Pardo M, Quintana J A. Display of ordinary transmission holograms with a white light source. *Appl Optics*, 1986, 25(22): 4146—4149
 - 5 Talbot F. Facts relating to optical science No. IV. *Philos Mag*, 1836, 9: 401—407
 - 6 Lau E. Interference phenomenon on double gratings. *Anu Phys*, 1949, 6: 417
 - 7 Crespo D, Alonso J, Bernabeu E. Generalized grating imaging using an extended monochromatic light source. *J Opt Soc Am A*, 2000, 17(7): 1231—1240
 - 8 Magnusson A, Moud K K, Hard S. Interferometric sensor based on coherent imaging of gratings. *Appl Opt*, 2003, 42(1): 67—70
 - 9 Lunazzi J J, Rivera N I. Pseudoscopic imaging in a double diffraction process with a slit. *Opt Express*, 2002, 10(23): 1368—1373
 - 10 Lunazzi J J, Rivera N I. Pseudoscopic maging in a double diffraction process with a slit: critical point properties. *J Opt Soc Am A*, 2006, 23(5): 1021—1026[DOI]
 - 11 He X R, Zhang W P, Chen M X, et al. Study on astigmatism of the virtual images formed by grating diffraction. In: *Proceedings of SPIE Vol 6027*, Bellingham: SPIE, 2006. 602731—602737
 - 12 张卫平. 衍射成象综合实验仪. 专利号: 02290557.X (2003.12.03)
 - 13 张卫平, 何小荣, 沈晓明. 白光——光栅再现普通透射全息图原理. *广西大学学报*, 2003, 28(4): 293—296