

铝质紫外闪耀光栅衍射效率的模拟计算 及其与实验结果的对比

齐文宗, 刘颖, 李志刚, 李福田

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

摘要: 为了考查实际导体紫外闪耀光栅在不同安装条件下各级次及总的衍射效率随入射波长变化情况, 在互易定理及等效场原理支持下, 利用我们提出的数值求解金属闪耀光栅的多次 Kirchhoff 积分方法, 分别计算了不同参数的铝质紫外闪耀光栅在不同安装条件下的衍射效率曲线, 并与本课题组早期完成的有关实验结果进行了对比, 表明入射光的偏振特性对闪耀光栅衍射效率的影响是很大的。

关键词: 铝质紫外闪耀光栅; 近 Littrow 安装; 固定偏向角安装; 多次 Kirchhoff 积分

中图分类号: O436.1 文献标识码: A

1 引言

多年来, 有关可见、紫外、真空紫外及软 X—射线光栅的工作一直引起大家广泛的兴趣^[1,2,3], 但多以 Petit 的积分理论及微分理论^[4]、模式理论^[5]等为理论支撑。而 McPhedran^[6,7]及 M. C. Hutley^[7]的早期工作已表明, 传统波动光学中广泛应用的单次 Kirchhoff 积分^[8]方法无良好的自恰性, 不能预计衍射光栅的异常衍射行为, 无法处理光栅的衍射效率问题。

我们已经利用由 Jackson 给出的平面电磁波在金属介质表面散射场(通过 fresnel 反射率联系于入射场)的边界条件^[10,11]、互易定理^[9]及等效平面波场替换原理, 拓宽了 Palmer 及 LeBrun 处理理想导体闪耀光栅异常衍射行为的工作成果^[9]的可应用范围, 得到了计算任意实际金属闪耀光栅衍射效率的多次 Kirchhoff 积分公式。

本文中, 我们首先给出铝质紫外闪耀光栅在 Littrow 安装及固定偏向角安装条件下对于不同偏振态入射光衍射效率曲线的多次 Kirchhoff 积分计算结果; 然后计算了近 Littrow 安装及自然光入射条件下几个实际铝质紫外闪耀光栅的-1级衍射效率曲线, 并与王淑红同志在本课题组攻读硕士学位时的早期实验结果^[12]进行了对比。

2 计算结果与实验结果的对比

我们首先在图 1-2 中给出了两种典型安装条件下铝质紫外闪耀光栅对于 S、P 偏振态入射光衍射效率的计算曲线; 然后于图 3-6 中给出了自然光入射(综合考虑 S、P 两种偏振态衍射效率

的平均效应)及近 Littrow 安装(即偏向角为 10° 的固定小偏向角安装)条件下铝质紫外闪耀光栅衍射效率的计算曲线及实验结果。

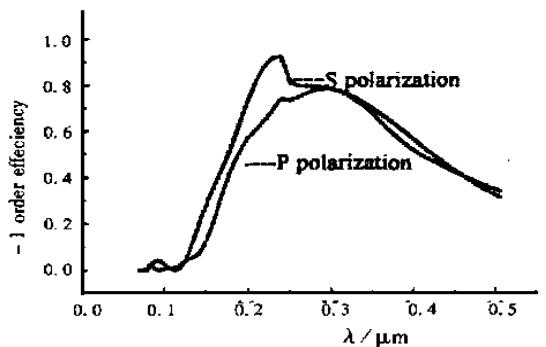


Fig. 1 The -1 order efficiency curves for a 16.74° blaze angle, 2400-groove/mm UV aluminium blazed grating, used in Littrow mounting

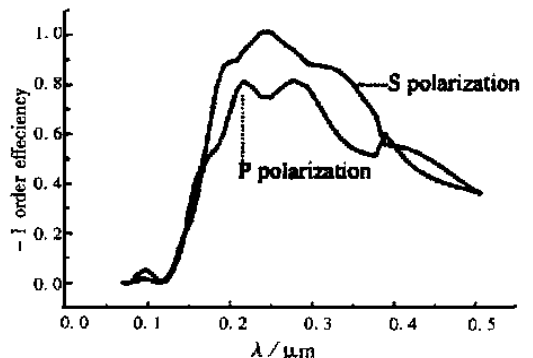


Fig. 2 The -1 order efficiency curves for a 8.28° blaze angle, 1200-grooves/mm UV aluminium blazed grating, used with 45° fixed angular deviation between incident and diffracted beams

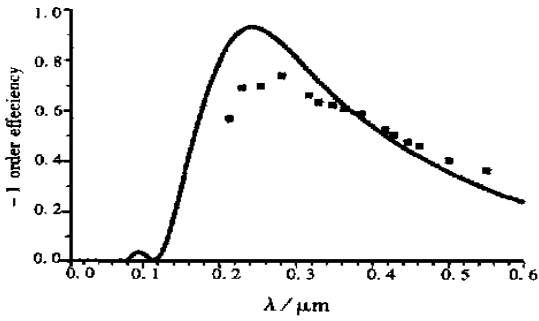


Fig. 3 The -1 order efficiency for a 0.24 μm blazed wavelength, 2400-groove/mm UV aluminum blazed grating, used in near Littrow mounting. The solid curve is from the calculation, and the dot is from the experiment

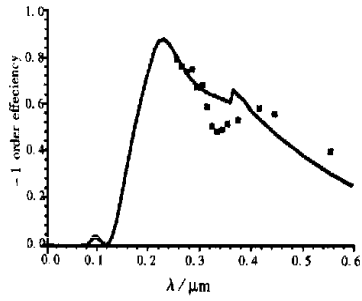


Fig. 4 Same as Fig. 3 except blazed wavelength is 0.25 μm

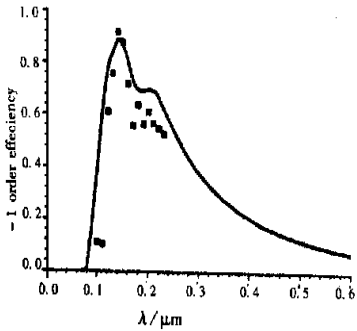


Fig. 5 Same as Fig. 3 except blazed wavelength is 0.15 μm

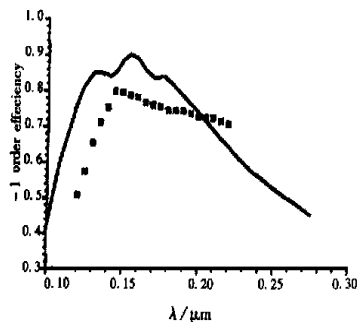


Fig. 6 Same as Fig. 3 except blazed wavelength is 0.15 μm and groove number is 1200/mm

从理论计算及实验数据对比中, 我们可以发现, 衍射效率的实验值普遍小于理论值, 经分析, 其原因有以下几点:

首先, 计算中的闪耀光栅槽形为标准的等周期分布的直角三角形, 而实际光栅表面必然存在一定的面形偏差及随机的粗糙分布, 而这是造成杂散光并导致光栅衍射效率降低的主要来源。

其次, 实验中的光栅为平面光栅, 实验装置中又没加聚焦装置, 导致探测器不能接收到相应级次的全部衍射光。这是实验值偏低的主要另一原因。

最后, 为克服铝的极易氧化性, 实际的铝质闪耀光栅表面镀有一层 MgF_2 保护膜, 而理论计算中没有顾及此保护膜的影响。

考虑到以上几点导致实验值偏低的实际因素, 为了更便于分析实验数据及理论计算结果之间的拟合情况, 我们在图 3-6 中, 已将具体的实验数据分别乘了一个大于 1 的线性因子, 各图中因子的具体值如下表:

Table 1 The linear factors used in Fig. 3 to Fig. 6

Fig.	3	4	5	6
Linear Factor	1.17	1.55	1.90	1.66

由模拟计算及实验结果的对比中, 我们可以看出: 图 4、图 5 中异常衍射现象的位置符合的比较好; 但图 6 的实验中并没有发现理论计算预示的异常衍射现象。经分析, 我们认为, 造成理论与实验值不能很好拟合的主要原因是计算中考虑的为 S 偏振及 P 偏振各占 1/2 的完全非偏振的自然平行光入射, 而实验中经 Seya-Namioka 单色仪之内部光栅分光后获得的紫外平面电磁波实际上是部分偏振的。而由图 1、图 2 可以看出, 具体实验中, 光源偏振特性对光栅衍射效率分布特性的影响是很大的。

3 结 论

本文利用多次 Kirchhoff 积分法, 完成了不同安装及不同偏振态入射条件下铝质紫外闪耀光栅衍射效率的计算, 并将近 Littrow 安装及自然光入射条件下铝质紫外光栅衍射效率的计算结果及相应的实验结果进行了对比, 验证了此理论模型在处理金属紫外闪耀光栅衍射特性方面的可行性。

参考文献:

- [1] Kowalski M P, Seely J F, et al. Comparison of the calculated and the measured efficiency of a normal-incidence grating in the 125–225-Å wavelength range[J]. Appl Opt, 1997, 36(34): 8939 ~8943.
- [2] Goray L I. Numerical analysis for relief gratings working in the soft x-ray and XUV region by the integral equation method[A]. Proc SPIE[C], 1994, 2278: 168 ~172.
- [3] Goray L I, Chernov B C. Comparison of rigorous method for x-ray and XUV grating diffraction analysis[A]. Proc SPIE[C]. 1995, 2515: 240 ~245.
- [4] Petit R. Electromagnetic theory of gratings[M]. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1980.
- [5] 杨宝成, 庄松林, 周学松. 矩形槽光栅的矢量模式理论[J]. 光学学报, 1989, 9(3): 270–276.
- [6] McPhedran R C. Ph D Thesis[D]. University of Tasmania, 1973.
- [7] Hutley M C. Diffraction Gratings, Techniques of Physics[M]. London, New York, etc: Academic Press, 1982. 181
- [8] 波恩 M, 沃耳夫 E. 光学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1978. 489–498.
- [9] Palmer C Harvey, LeBrun Howard W. Anomalous behavior of blazed gratings[J]. Appl Opt, 1972, 11(4): 907–913.
- [10] Holzer James A, Sung C C. Scattering of electromagnetic waves from a rough surface: III[J]. J Appl Phys, 1978, 49(3): 1002 ~1011.
- [11] Jackson J D. Classical Electrodynamics(2nd ed)[M]. New York: Wiley, 1975. 437, 447.
- [12] 王淑红. 硕士学位论文[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械研究所, 1997.

Comparison of calculated and measured diffractive efficiencies of UV aluminum blazed gratings

Qi Wen-zong, Liu Ying, Li Zhi-gang, Li Fu-tian

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China)

Abstract: In order to determine every order's or total diffractive efficiencies of real conductor UV blazed gratings under different mounting conditions, supported by the Reciprocity Theorem and the Equivalent Field Principle, one Multiple Kirchhoff Integral Method for solving the efficiencies of metal blazed gratings is developed in our laboratory. Using this method, the efficiency curves of different parameter UV aluminum blazed gratings under different mounting conditions are calculated and compared with the experimental result. The comparison shows that the polarization of the incident beam has a great impact on the diffractive efficiencies of gratings.

Key words: UV aluminum blazed grating; near Littrow mounting; fixed angular deviation mounting; multiple Kirchhoff integral.

作者简介: 齐文宗(1967–), 男, 1989年毕业于吉林大学理论物理专业, 1993年入长春光机所读硕士学位, 课题为混沌催化神经网络学习方面的研究, 现攻读博士学位的课题为短波段随机粗糙表面及紫外光栅衍射特性的研究。