

体全息图的衍射效率

姜 铃 珍 赵 峰

(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨, 150001)

摘要: 本文研究了考虑到平均介电常数的变化及内外介质的折射率不同情况下的体全息光栅的衍射效率。

关键词: 体全息图 衍射效率

Investigation on diffraction efficiency of volume hologram

Jiang Lingzhen, Zhao Feng

(Dept. of Appl. Physics, Haerbin Institute of Technology, Haerbin, 150001)

Abstract: This paper deals with the problem of diffraction efficiency with the average permittivity in the hologram and the refractive index of the hologram and the surrounding medium. Finally, the expression of diffractive efficiency of volume hologram, which is different from Kogelnik's expression, is derived.

Key words: volume hologram diffraction efficiency

一、引 言

Kogelnik 在 1969 年给出了求解体光栅衍射效率的耦合波方程^[1]及体光栅的衍射效率公式。为使问题简化,上述公式是在体光栅的平均介电常数不变,且光栅外部与光栅内部的折射率相同的情况下导出的,但在实际的实验中记录介质的介电常数与周围介质的介电常数不同,介质的平均介电常数也在变化。关于考虑前者的影响,已发表了文章^[3]。本文在文献^[3]的基础上,考虑介质平均介电常数变化的影响,导出体光栅衍射效率的一个公式。

二、原 理

1. 考虑光栅的平均介电常数的变化

在垂直入射面内,接近布喇格方向,波长为 λ 的一单色光在 $z = 0$ 处照明体全息图,如图 1 所示,在体光栅内考虑仅有两束光,一束是照明光 R ,另一束是信号光 S ,其他偏离布喇格条件的光忽略,在记录介质中设 \vec{k} 是光栅波矢,考虑到平均介电常数的变化,则光栅的相对介电常数为^[2]:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_n + \varepsilon_1 \cos(\vec{k} \cdot \vec{r}) \quad (1)$$

式中, ε_0 是记录材料曝光前的相对介电常数, ε_n 是曝光显影后相对介电常数变化的平均值, ε_1 是变化的调制度,在这种情况下光的传播常数 β 变为 β_n , 则:

$$\beta_n^2 = \beta^2 [1 + (\varepsilon_n / \varepsilon_0)] \quad (2)$$

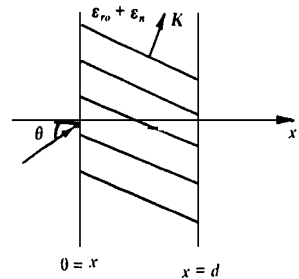


Fig. 1 A beam of single colour light illuminating a volume hologram at $z = 0$

式中, $\beta = 2\pi n / \lambda = 2\pi \sqrt{\epsilon_0} / \lambda$ (3)

此时, 照明光波矢 $\vec{\rho}$ 的大小变为 $2\pi \sqrt{\epsilon_0 + \epsilon_n} / \lambda$ 所以有 $\rho = \rho_n$ (4)

这是因为考虑了曝光引起的 ϵ_n 的影响, 等效于介质在曝光后折射率变大, 使得照明的光波矢值变大, 传播常数变大, ρ, β_n 两值仍然相等。

用波动方程描写波的传播 $\nabla^2 E - \gamma^2 E = 0$ (5)

式中, $\gamma^2 = -\beta_n^2 + 2j\alpha\beta_n - 4k\beta_n \cos(\vec{k} \cdot \vec{r})$ (6)

α 是吸收系数, $\alpha = (\alpha_0 + \alpha_n) / 2 \{ W / [\epsilon_0(\epsilon_0 + \epsilon_n)] \}^{1/2}$ (7)

k 是耦合系数, $k = \epsilon_n / 4 \cdot \frac{\beta_n}{\{ 4(\epsilon_0 + \epsilon_n) + j\sigma_1 \mu / [\epsilon_0(\epsilon_0 + \epsilon_n)] \}^{1/2}}$ (8)

方程(5)解的形式 $E = R(x)e^{-j\vec{\rho} \cdot \vec{r}} + S(x)e^{-j\vec{\sigma} \cdot \vec{r}}$ (9)

将(9)式代入(5)式并考虑慢变化, 略去二阶微商得到耦合波方程

$$\left\{ \begin{aligned} (1 + \frac{\epsilon_n}{\epsilon_0})^{1/2} C_R \frac{dR}{dx} + \alpha R + jKS &= 0 \\ (1 + \frac{\epsilon_n}{\epsilon_0})^{1/2} C_S \frac{dS}{dx} + (\alpha + jv_2)S + jKR &= 0 \end{aligned} \right. \quad (10)$$

$$[\quad (1 + \frac{\epsilon_n}{\epsilon_0})^{1/2} C_S \frac{dS}{dx} + (\alpha + jv_2)S + jKR = 0 \quad (11)$$

式中, $v_2 = v + (\beta/2)(\epsilon_n/\epsilon_0)$ (12)

$$v = (\beta^2 - \sigma^2) / (2\beta), C_R = \rho_n / \beta, C_S = \alpha / \beta.$$

应用边界条件 $R(0) = 1$ 和 $S(0) = 0$, 对一透射体全息图输出信号光的振幅是:

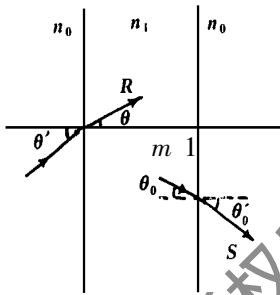


Fig. 2 The scheme of illuminating beam R and signal light S inside and outside volume holographic grating

$$S(\alpha) = -j (C_R / C_S)^{1/2} e^{-j\xi} [\sin \Phi / (\Phi / v)] \quad (13)$$

$$\text{式中, } v = (kd \sqrt{\epsilon_0} / [C_R C_S (\epsilon_0 + \epsilon_n)])^{1/2} \quad (14)$$

$$\xi = j \frac{d}{2} \frac{\sqrt{\epsilon_0}}{\sqrt{\epsilon_0 + \epsilon_n}} \left(\frac{\alpha}{C_R} - \frac{\alpha}{C_S} - j \frac{v_2}{C_S} \right) \quad (15)$$

$$\Phi = (v^2 + \xi^2)^{1/2} \quad (16)$$

据衍射效率的定义 $\eta_1 = |C_S| / C_R SS^*$ 有

$$\eta_1 = (C_R / C_S) [\sin^2 \Phi / (\Phi / v)^2] \quad (17)$$

2. 考虑介质的折射率与周围的折射率不同

在上述讨论的基础上, 再考虑介质内外折射率不同的情况下, 对衍射效率 η_1 进行修正^[3] 得衍射效率 η_2 。

(1) 对非倾斜光栅

$$\eta_2 = \left\{ 4n_1 / [2n_1 + (\cos \theta' / \cos \theta) + n_1^2 (\cos \theta / \cos \theta')] \right\}^2 \eta_1 \quad (18)$$

式中, n_1 是介质的折射率, $\theta', \theta, \theta_0$ 如图 2 所示。

(2) 对倾斜光栅有

$$\eta_2 = C_S' C_S / (C_R' C_R) \{ 4n_1 / [n_1 + \cos \theta_0' / \cos \theta_0] (1 + n_1 \sin \theta / \sin \theta') \}^2 \eta_1 \quad (19)$$

三、结 论

(2) 中导出的 η_2 就是本文要导出的不同于 Kogelnik 的体光栅的衍射效率, 实际上是对 Kogelnik 的衍射效率的一个补充和完善。

湍流大气中激光回波到达角起伏

张逸新

(无锡轻工大学机械系, 无锡, 214036)

摘要: 本文运用几何光学近似, 导出了湍流大气中束状反射回波的到达角起伏表达式。结果表明: 当准直光束和聚焦于反射器的光束照明后向反射器时, 回波不存在到达角起伏, 而当准直光束照明平面反射器时, 到达角起伏是相同条件下视线大气传输光束到达角起伏的一倍。

关键词: 到达角起伏 大气湍流 激光传输 反射效应 几何光学近似

Angle of-arrival fluctuation of reflected laser beam in atmospheric turbulence

Zhang Yixin

(Department of Mechanics, Wuxi University of Light Technology, Wuxi, 214036)

Abstract: Based on geometrical optics formulation, this paper deals with the problem of angle-of-arrival influence of reflected beam by a reflector, and derived the expression of angle-of-arrival variance. The expression shows that: (1) the variance σ_r^2 of angle of arrival is equal to zero, when the back reflector is illuminated by the beam of collimated or focused or spherical light beam; (2) the variance σ_r^2 of angle-of-arrival is twice time of the variance of the line-of-sight path propagating beam when the specular reflector is illuminated by collimated or spherical light beam.

Key words: angle-of-arrival turbulent atmosphere laser propagation reflected effect geometrical optics approximation

一、引 言

在许多情况下, 人们会遇到通过检测照明位于湍流大气中远距离反射器的光束回波参数获取所需要的信息问题。如折迭光路大气光谱仪、合作目标跟踪系统和激光水准仪等仪器在线工作时就遇到这个问题。在这些应用中, 大气湍流导致的接收器处光束到达角起伏是影响系统测量性能的一个重要因素。特别是由于往返光束间随机干涉产生的光束附加到达角起伏更是一个不可忽略的参数^[1]。例如在用光栅光谱仪的大气光谱测量中, 到达角起伏会使光谱

参 考 文 献

1 Kogelnik H. The Bell System Technical Journal, 1969; 48(9): 2909

2 Solymar L, Cooke D J. Volume holography and volume grating. London, Academic Press INC, 1981: 94~ 97

3 姜铃珍, 赵峰, 李成江 *et al.* 中国激光, 1993; A20(3): 230

* * *

作者简介: 姜铃珍, 女, 1940年2月出生。教授。现从事激光应用, 全息学和光学信息处理。多次获部委科技进步奖, 发表学术论文30余篇。