

也谈透射全息图的反射再现

看了蔡、吕两同志的文章^[1],同意他们有关透射全息图(银盐干板全息图)的反射象形成之机理的解释(即银颗粒的后向散射,参见[2])。这里,我们仅对此问题作进一步的探讨。为突出主要问题,我们把讨论范围限制在最简单的全息图-全息光栅的范围之内,且只考虑入射面平行于光栅矢量、入射波电场矢量垂直于入射面的情况。此外,为节省篇幅,我们将尽量避免理论推导而直接给出结果。

一、光栅衍射的严格解

目前在国际上,对全息光栅的衍射的研究已相当深入,在各种衍射理论中,适用范围最广,且具有较明确物理意义的莫过于严格的耦合波理论(或二阶耦合波理论)^[3]。由于这一理论直接建立在定态麦氏方程的基础之上,故其结果是严格的。由这一理论可知,对目前常用的任何一种全息光栅,不论它是透射还是反射型、折射率调制或吸收率调制(或二者间有),要想全面地描述其衍射特性,必须采用下述几个物理量:

1) 横向光栅矢量 \mathbf{K}_ρ , 即通常所说的光栅矢量 \mathbf{K} 在平行于光栅表面方向的分矢量。在 \mathbf{K}_ρ 已知的情况下,通过光栅方程:

$$k_{m\rho} = k_{0\rho} + mK_\rho \quad (m=0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (1)$$

可确定各级衍射光波的传播方向(如图1所示)。(1)式中 $k_{m\rho}$ 为第 m 级反射、透射衍射光波的波矢 k_m^R 、 k_m^T 的横向分矢量(请注意同级反射、透射光之传播方向的对称性)。

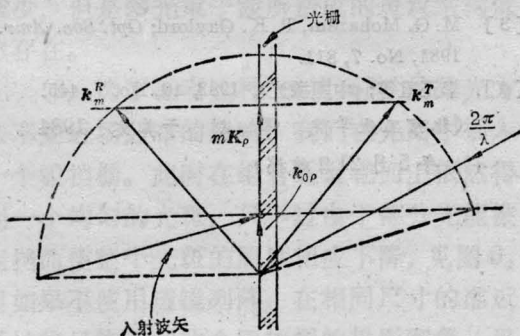


图 1

由光栅方程(1)可以推知,文献[1]中有关再现象1、2、3、4的数学分析是正确的(至于另外两个象,我们同意文献[4]的观点),只是文献[1]中的图2还不够确切,应如本文图2所示。值得一提的是,对应于前面提到的同级反射、透射光的对称性(见图1),对于更一般的全息图,反射原始象与透射原始象、反射共轭象与透射共轭象互为镜象(如图2)。

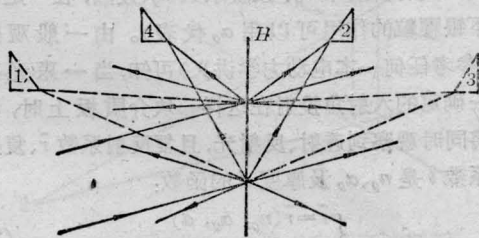


图 2

2) 各级复透射系数 $\tilde{t}_m (m=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ 。

\tilde{t}_m 表示第 m 级透射光复振幅与入射光复振幅之比。

3) 各级复反射系数 $\tilde{r}_m (m=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ 。

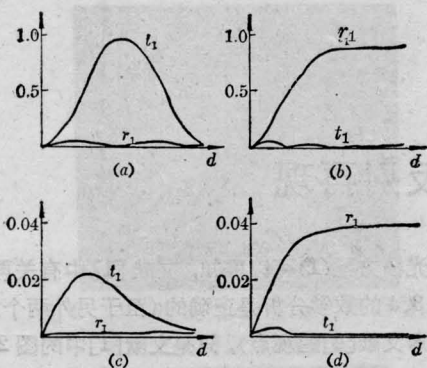
\tilde{r}_m 表示第 m 级反射衍射光之复振幅与入射光复振幅之比。

二阶耦合波理论表明,原则上 \tilde{r}_m 、 $\tilde{t}_m \neq 0$, 因此可知,同时具有透射、反射衍射光是各种类型全息光栅的共同特性,并不需要假定全息光栅内存在银粒子^[1]。只是对于不同类型的光栅,各反射系数、透射系数的相对大小和位相不同罢了。

利用二阶耦合波理论,我们计算了四个典型的光栅(吸收型、位相型及透射、反射型的不同组合)的 -1 (或 $+1$)级透射、反射系数 \tilde{t}_{-1} (或 \tilde{t}_{+1}), \tilde{r}_{-1} (或 \tilde{r}_{+1}) (如图3,为简单起见,我们没有给出各光栅的详细参数,因为这已超出本文的研究范围)。由图3可见,不论是哪一种类型的光栅,都同时具有透射、反射衍射作用,但一般讲透射光栅有较大的透射系数,而反射光栅有较大的反射系数。

二、薄透射光栅

当全息光栅足够薄时,透射光栅的反射作用将



(a) 折射率调制透射型; (b) 折射率调制反射型;
(c) 吸收率调制透射型; (d) 吸收率调制反射型

图 3

变得十分容易理解。试想如图 4 的一块均匀介质板。假设其具有折射率 n_g 、吸收系数 α_g (显然,在一定条件下银颗粒的作用可以用 α_g 代表)。由一般观察 (或参考任何一本电动力学讲义) 可知,当一束光以某一确定的入射角投射在这样一块介质板上时,我们将同时观察到透射、反射光,且复反射系数 \tilde{r} 、复透射系数 \tilde{t} 是 n_g 、 α_g 及厚度 d 的函数:

$$\begin{cases} \tilde{r} = \tilde{r}(n_g, \alpha_g, d) \\ \tilde{t} = \tilde{t}(n_g, \alpha_g, d) \end{cases} \quad (2)$$

对于一块足够薄的全息光栅,我们完全可以把它当作这样一块介质板来处理,只是此时 n_g 、 α_g 、 d 中起码有一个是位置 x 的周期性函数 (图 5):

$$\begin{cases} \tilde{r} = \tilde{r}[n_g(x), \alpha_g(x), d(x)] \\ \tilde{t} = \tilde{t}[n_g(x), \alpha_g(x), d(x)] \end{cases} \quad (3)$$

因此,当有光波入射此“板”时,反射光、透射光的复振幅都将受到调制 (沿 x 方向),并导致反射和透射衍射光的产生。

实际上,即使厚光栅,也是不难理解的,因为不

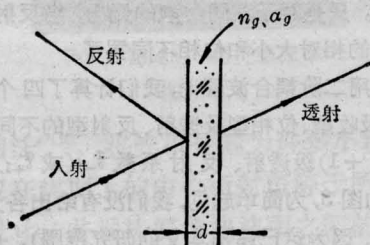


图 4

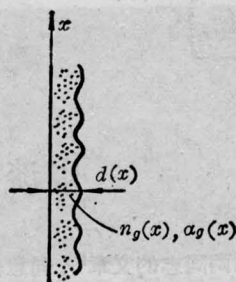


图 5

论光栅介质是厚是薄,属于光栅介质的任意一种能够影响光波的传播 (包括向前、向后),并受到空间周期性调制的因素 (包括银粒子的散射、表面浮雕、折射率变化等) 都必然导致反射、透射光的空间周期性变化 (包括位相和强度),从而导致反射、透射衍射的发生。只是比起薄光栅来讲,厚光栅介质中影响光波传播的机制要复杂得多。

三、结论

显然,认为透射全息图只有透射衍射,反射全息图只有反射衍射这样一种观念是不正确的。但这种观念并不是本来就有的。笔者认为,其形成的原因在干: 1) 对于透射 (反射) 型全息图我们一般只需考虑其透射 (反射) 光。因为通常只有这一部分衍射光由于具有较强的强度而最有实用价值。2) 当以原参考光束照明再现时,透射 (反射) 衍射光所形成的原始象与原物重合,因而最能说明全息学的基本原理。

由本文的讨论可知,原则上,任何一种类型的全息图都同时具有透射、反射衍射作用,只是两种衍射光的强度分配不同罢了。

参 考 文 献

- [1] 蔡履中, 吕良晓;《激光》, 1982, 9, No. 10, 621.
- [2] R. S. Sirohi; *Optica Acta*, 1974, 21, No. 1, 75~76.
- [3] M. G. Moharam, T. K. Gaylord; *Opt. Soc. Amr.*, 1981, No. 7, 811.
- [4] 李正直等;《中国激光》, 1983, 10, No. 7, 445.

(北京工业学院 浑刚 于美文 1984年5月21日收稿)