

半导体激光器的衍射准直透镜的优化设计*

陈颖** 杨华军 邱琪 安晓强

(电子科技大学通信与信息工程学院 成都 610054)

【摘要】针对国内外现有半导体激光器准直器件的缺点，提出了一种用于半导体激光器准直的相位型二元菲涅耳衍射透镜的优化方法。该方法在现有衍射透镜加工设备分辨率条件下，可提高衍射透镜的衍射效率，增大衍射透镜的数值孔径。

关键词 半导体激光器；衍射理论；二元菲涅耳衍射透镜；准直；优化设计

中图分类号 TN364+.2 文献标识码 A

Optimal Design of Fresnel Diffractive Lens Using in Light Beam Collimation of Laser Diode

Chen Ying Yang Huajun Qiu Qi An Xiaoqiang

(College of Communication and Information Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract In this paper, we bring forth a new optimal design method of fresnel diffractive lens using in light beam collimation of laser diode. By this way we can design high diffraction efficiency, as well as lager numerical aperture diffractive lens under current machine fabrication condition.

Key words laser diode; diffractive theory; binary fresnel diffractive lens; light beam collimation; optimal design

半导体激光器由于其体积小、重量轻、功耗低和可直接调制等优点，在激光雷达、激光通信、固体激光器的抽运等方面得到了广泛的应用^[1,2]。但半导体激光器也存在出射光束发散角较大，在垂直和平行于发光面方向的光束发散角相差很大，会形成固有像散的缺点。所以在应用半导体激光器时必须对其出射光束进行消像散、准直。

1 二元菲涅耳衍射透镜的标量衍射理论

振幅型菲涅耳衍射透镜是一个具有一系列同心圆环的二元振幅图形，其振幅透过率如图1所示。

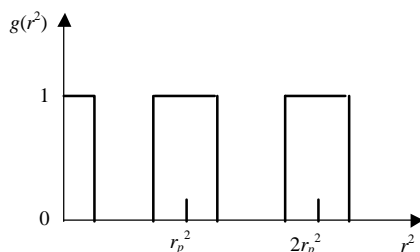


图1 振幅型菲涅耳衍射透镜的振幅透过率

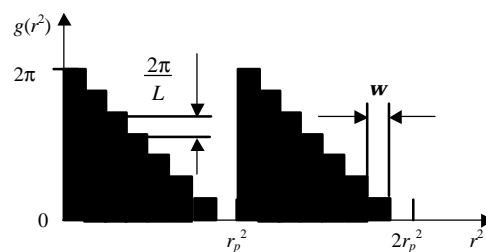


图2 相位型菲涅耳衍射透镜的振幅透过率

2002年9月5日收稿

* 电子科学研究所预研基金资助项目

** 男 24岁 硕士生 主要从事激光雷达、激光通信方面的研究

图中,当平行光束入射到振幅型菲涅耳衍射透镜时,形成多个焦点,不透光部分遮挡了一半的光,使光能利用率较低。若把振幅型菲涅耳衍射透镜换成相位型菲涅耳衍射透镜,则可增加透光强度,提高器件的衍射效率。如图2所示为八台阶的相位型菲涅耳衍射透镜,其复振幅透过率函数为^[3]:

$$g(r^2) = \sum_{k=0}^{N(L-1)} \exp\left(\frac{-j2k\pi}{L}\right) \text{rect}\left[\frac{r^2 - (kr_p^2/L) - (r_p^2/2L)}{r_p^2/L}\right] \quad (1)$$

式中 L 为相位阶数; r_p^2 为相位周期。当平行光束入射到相位型菲涅耳衍射透镜时,采用标量衍射理论的傅里叶分析可以得到第 n 级衍射光波的复振幅值

$$A_n = \int_0^{L-1} \sum_{k=0}^{L-1} \exp\left(\frac{-j2k\pi}{L}\right) \text{rect}\left[\frac{r^2 - (k/L) - (1/2L)}{1/L}\right] \exp(-j2\pi nr^2) d(r^2) = \frac{\exp\left(-\frac{jn\pi}{L}\right) \sin c(n/L)}{L} \sum_{k=0}^{L-1} \exp\left[-\frac{j2k(n+1)\pi}{L}\right] \quad (2)$$

式中

$$\sum_{k=0}^{L-1} \exp\left[-\frac{j2k(n+1)\pi}{L}\right] = \begin{cases} L & n = jL - 1 \quad j \in \mathbb{Z} \\ 0 & n \neq jL - 1 \quad j \in \mathbb{Z} \end{cases}$$

由式(2)可知在 $z_n = -r_p^2/2nL$ 处有一系列焦点,且产生会聚和发散两种作用。各焦点处的光强为:

$$I_n = |A_n|^2 = \sin^2(n/L) \quad (3)$$

定义菲涅耳衍射透镜的衍射效率 h 为集中于主焦点 ($n = -1$) 的光强度值,则有

$$S = |A_{-1}|^2 = \sin^2(1/L) \quad (4)$$

衍射效率与量化台阶、衍射级次与衍射光强的关系曲线如图3、4所示。由式(4)及图3、4可知,随着相位阶数 L 的增加,相位型菲涅耳衍射透镜的衍射效率 S 也随之增加,同时光能量越来越多的集中于主焦点上,所以多台阶的相位型菲涅耳衍射透镜能提高器件衍射效率。既要达到高的衍射效率,又不使加工太复杂,选择 $L=8$ 较合适。

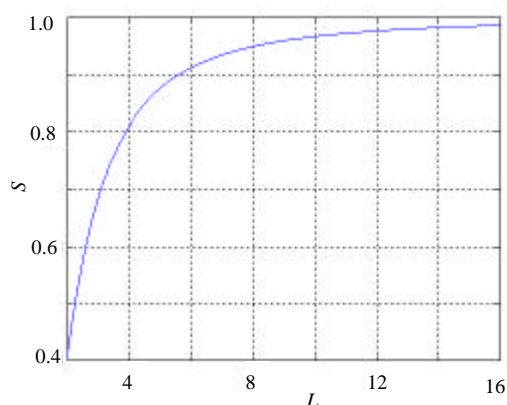


图3 衍射效率与量化台阶的关系曲线

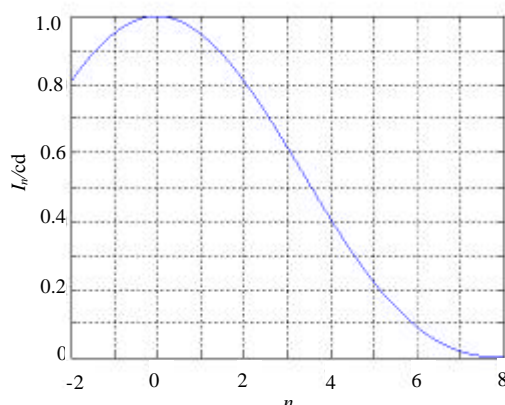


图4 衍射级次与衍射光强的关系曲线

2 二元相位型菲涅耳衍射透镜的优化设计

由多相位台阶菲涅耳衍射透镜的标量衍射理论,如图5所示,可以把一个多相位台阶菲涅耳衍射透镜看成是一个焦距为 f 的衍射透镜。图中,当一束波长为 λ 的平面波入射到焦距为 f 的菲涅耳衍射透镜上,平面波穿过透镜变成一会聚的球面波,在透镜平面的不同位置处,会产生位相延迟^[4]:

$$f(r) = \frac{2\delta}{\lambda} (\sqrt{f^2 + r^2} - f) \quad (5)$$

在实际的优化设计中,为了使菲涅耳透镜的一级衍射效率最高,将相位函数 $f(r)$ 对 2δ 取模,使菲涅耳

衍射透镜的相位 $f_f(r)$ 分布在 $0 \sim 2\delta$ 范围内, 其函数表达式

$$f_f(r) = [f(r)]_{\text{mod}2\pi} = f(r) - 2m\pi \quad (6)$$

式中 $m = 0, 1, 2, \dots$, 表示相位波带片的序列号; $r : r_m < r < r_{m+1}$ 。
令 $f_f(r) = 0$, 推导出第 m 个环带的内半径

$$r_m = \sqrt{2mLf + (mL)^2} \quad (7)$$

定义菲涅耳透镜的最小波带周期 t 为菲涅耳透镜最小特征尺寸, 则最小特征尺寸 t 与数值孔径 u 之间的关系式为

$$t = \frac{L\sqrt{1-u^2}}{u} \quad (8)$$

对二元菲涅耳透镜, 假设量化台阶数为 L , 则

$$t = \frac{L\sqrt{1-u^2}}{uL} \quad (9)$$

由式(9)可知, 随着透镜数值孔径的增大, 其表面的最小特征尺寸会减小。因此, 在设计大数值孔径的菲涅耳透镜时, 会出现最小特征尺寸小于加工设备实际分辨率的情况, 使设计方案难以通过工艺制作过程来实现。为了增大衍射透镜表面的最小特征尺寸, 使衍射透镜所有波带内的最小特征尺寸大于工艺设备实用的分辨率, 在式(6)中引入匹配因子 M , 其取值范围为 $M \geq 1$ 的整数, 则式(6)变化为^[5]:

$$f_f(r) = f(r) - 2M\pi \quad (10)$$

从理论分析可知, 对相同的相位分布函数 $f(r)$, 当 M 参数增加时, 相位分布函数 $f_f(r)$ 每个波带的横向宽度和纵向高度都得到了增加。引入 M 参数后, 菲涅耳透镜表面的最小特征尺寸 t 与数值孔径 u 的关系式为

$$t = \frac{ML\sqrt{1-u^2}}{uL} \quad (11)$$

由式(11)得到: 在量化台阶数 L 相同的情况下, 通过改变参数 M 的大小来调节波带周期, 可以控制元件表面的最小特征尺寸。

在量化台阶数相同时, 既要提高透镜的数值孔径, 又使透镜的最小特征尺寸大于加工设备实际分辨率, 提出一种优化的设计方法: 当衍射透镜表面某一个局部区域的最小特征尺寸小于加工设备实际分辨率时, 通过增加该区域内 M 的值, 来扩大该区域的横向宽度, 使区域内的最小特征尺寸大于加工设备的实际分辨率。

3 准直菲涅耳衍射透镜的优化设计公式

用 $r[m][l]$ 表示第 m 个波带内第 l 个相位台阶所对应的横向位置, 即第 l 个子波带的半径, 第 l 个子波带半径

$$r[m][l] = \sqrt{\left(M \frac{l}{L} + \frac{d_m}{2}\right)^2 L^2 + 2fL \left(M \frac{l}{L} + \frac{d_m}{\pi}\right)} \quad (12)$$

式中 M 为匹配因子, L 为光波长, L 为量化台阶数, f 为透镜焦距, $d_m = f(r_m)$, d_m 表示第 m 波带内对 $f(r)$ 取模 $2M$ 时的相位调制因子。

近似认为半导体激光器垂直方向的发光点 A_y 接近输出窗, 在平行方向发光点 A_x 远离输出窗, 则输出光束的像散

$$A_s = A_x - A_y \quad (13)$$

因此要设计一个在 x 、 y 方向具有不同焦距的菲涅耳透镜, 且 $f_x - f_y = A_s$ (f_x 表示 x 方向的焦距, f_y 表示 y 方向的焦距, A_s 表示半导体激光器的像散值), 才能达到准直的目的。由式(12)、(13)可得到准直、消像散菲涅耳透镜子波带半径分别为

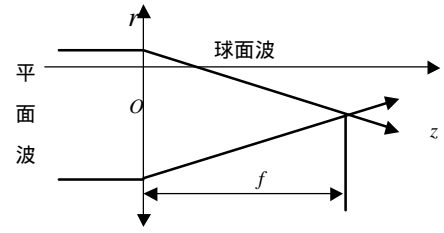


图5 衍射透镜的波面变换

$$r_x[m][l] = \sqrt{\left(M \frac{l}{L} + \frac{d_m}{2\pi}\right)^2 I^2 + 2f_x I \left(M \frac{l}{L} + \frac{d_m}{2\pi}\right)} \quad (14)$$

$$r_y[m][l] = \sqrt{\left(M \frac{l}{L} + \frac{d_m}{2\pi}\right)^2 I^2 + 2(f_x - A_s) I \left(M \frac{l}{L} + \frac{d_m}{2\pi}\right)} \quad (15)$$

4 结束语

通过理论分析,提出了一种用于半导体激光器准直的菲涅耳衍射透镜的优化设计方法,推导出相关的结构参数设计公式。采用此设计方法,可在现有加工设备实际分辨率条件下,提高菲涅耳衍射透镜的衍射效率,增大数值孔径,提高半导体激光器的光能利用率。在Microsoft Visual C++编译环境下,用C/C++语言开发了实现该优化设计方法的二元菲涅耳衍射透镜设计软件,利用该软件可计算各子带的半径,确定相位匹配因子,最小特征尺寸,生成二元菲涅耳衍射透镜所需掩膜图形的标准CIF格式文件。

参 考 文 献

- [1] 葛林,邱昆. 激光空间通信中的天线研究[J]. 电子科技大学学报, 1998, 27(4): 367-370
- [2] 杨春平,吴健,何毅. 激光雷达在空间交会对接中的应用[J]. 电子科技大学学报, 1998, 28(4): 447-451
- [3] Jurgen J, Susam J W. Two-dimensional array of diffractive microlens fabricated by thin film deposition[J]. Applied Opt, 1990, 29(7): 932
- [4] Wolf E. Progress in optics[J]. North-Holland Physics Publishing, 1987, 5(I): 5-9
- [5] Kunz R E, Rossi M. Phase-matched fresnel elements[J]. Opt Comm, 1993, 97(1): 6-10

编辑 漆蓉

上接第120页

4 结 论

本文提出的一种双层小区结构中的切换控制策略,通过对方案的仿真结果表明,方案2既保证了切换呼叫具有接入优先权,又充分考虑了在轻负荷条件下新呼叫使用预留资源的问题,提高了系统的资源利用率,故方案2是WCDMA体制下双层小区结构中一种比较好的切换候选方案。

参 考 文 献

- [1] Ivanov K, Spring G. Mobile Speed Sensitive Handover in a Mixed Cell Environment[C]. In 45th IEEE Vehicular Technology Conference, 1995, 892-896
- [2] Nagate A, Murata M, Miyahara H, *et al.* An integrated approach for performance modeling and evaluation of soft handoff in CDMA mobile cellular systems[C]. IEEE VTC, 2000, 2 605-2 610
- [3] Binucci N, Hiltunen K, Caselli M. Soft handover gain in WCDMA[C]. IEEE VTC, 2000, 1 467-1 472
- [4] M. Shin S, Cho C H, Sung D K. Interference-based channel assignment for DS-SS-CDMA cellular systems[J]. IEEE Trans. Vehic. Tech., 1999, 48(1): 233-239
- [5] Kim Y C, Dong Lee E, Lee B J, *et al.* Dynamic channel reservation based on mobility in wireless ATM networks[C]. IEEE Communications Magazine, 1999, 47-51

编辑 徐培红