

文章编号 1004-924X(2016)增-0353-08

镀金属膜与非镀膜角锥棱镜远场衍射性能与测试

汤 凯^{1*}, 程志恩^{1,2}, 张海峰^{1,3}, 李 朴¹, 张忠萍^{1,3}

(1. 中国科学院上海天文台, 上海 200030;

2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 中国科学院空间目标与碎片重点实验室, 南京, 210008)

摘要:角锥棱镜的远场衍射特性直接影响地面激光回波探测,为了研究镀金属膜和非镀膜两种角锥棱镜的反射偏振变化特性和远场衍射特性,以应用于不同角锥棱镜设计和卫星激光测距技术,根据角反射器结构和反射机理,利用偏振矢量分析方法和光的衍射理论求解了的反射光场以及远场衍射光强分布,以此建立了角锥棱镜远场衍射模型,并获取不同偏振方位角时的远场衍射仿真图样。通过搭建角锥棱镜远场衍射图样测试系统,进行了实测与仿真结果的远场衍射图样对比分析,最终得到了镀金属膜和非镀膜两种角锥棱镜反射光偏振态变化和远场衍射特性。结果表明:镀金属膜角锥的远场衍射能量更集中,反射光两偏振分量强度差别可达2个数量级,非镀膜角锥的远场衍射能量相对分散,反射光两偏振分量强度接近,仿真与测试结果相符。本文所构建的角锥棱镜远场衍射仿真模型,可用于不同应用的卫星激光反射器设计及激光回波性能评估。

关键词:激光反射器;镀金属膜角锥棱镜;反射光偏振态;远场衍射图样;测试对比分析

中图分类号:O436 文献标识码:A doi:10.3788/OPE.20162413.0353

Far field diffraction performance and testing for metal-coated and uncoated cube corner prism

TANG Kai¹, CHENG Zhi-en^{1,2}, ZHANG Hai-feng^{1,3}, LI Pu¹, ZHANG Zhong-ping^{1,3}

(1. Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Science, Shanghai 200030, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Key Laboratory of Space Object and Debris Observation, Chinese Academy of Science, Nanjing, 210008, China)

* Corresponding author, E-mail: kaitang@shao.ac.cn

Abstract: Far-field diffraction performance of cube-corner prism will directly affect the ground laser echo detection. In order to study the reflection polarization change performance and far-field diffraction performance of metal-coated and uncoated cube-corner prism, and apply them to different cube-corner prism design and satellite laser ranging technology, a far-field diffraction model for cube-corner prism is established and the far-field diffraction simulation patterns in different polarization azimuth angles are obtained based on the light reflected field and far-field diffraction intensity distribution worked out by using the polarization vector analysis method and light diffraction theory. Then a contrastive a-

收稿日期:2016-05-20;修订日期:2016-06-17.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 11303074, No. 11503068);上海市空间导航与定位技术重点实验室资助项目(No. 06D22101)

analysis is conducted in actual measurement and simulation results of the far-field diffraction patterns by establishing a testing system for far-field diffraction patterns of the cube-corner prism, thus obtaining the reflection polarization state change and far-field diffraction performance of metal-coated and uncoated cube-corner prism. It indicates that the far-field diffraction energy of metal-coated cube-corner prism is more concentrated, and intensity of the two reflected light polarization components can reach 2 orders of magnitude; far-field diffraction energy of the uncoated cube-corner prism is relatively scattered, and intensity of the two reflected light polarization components is close to each other; the simulation results are consistent with the test results. The simulation model established for far-field diffraction of cube-corner prism can be applied to the design of satellite laser reflector for different purposes, as well as to the performance evaluation for laser echo.

Key words: laser reflector; metal-coated cube-corner prism; reflected light polarization state; far-field diffraction pattern; test comparison and analysis

1 引言

角锥棱镜是一种被广泛应用于激光测距、激光通信等领域的被动光学元件,可极大地提高激光测距的距离范围和测量精度。目前星载激光反射器的设计多采用角锥棱镜或由角锥棱镜组成的阵列作为核心元件。尽管研究人员设计出如球形反射器、空心角反射器等其他类型^[1],但围绕角锥棱镜的设计仍是目前星载激光反射器应用的主要方法。

对于随卫星高度运行的角锥棱镜,由于星地系统的运动和速度光行差等因素,其反射光束的指向往往较探测方向有所偏离,反射器设计的主要目的是令反射光的远场能量分布更有利于地面探测,因此准确的角锥远场衍射图样仿真对改善角反射器设计具有重要的指导意义。

目前星载激光反射器的角锥棱镜主要分为两类,对于近地卫星多采用镀金属反射膜的角锥棱镜,利用高电导率金属的反射特性产生高激光反射效率;对于远距离的卫星和月球激光反射器多采用非镀膜的角锥棱镜,利用透明电介质的全反射过程来保证高反射效率。由于两种角锥的反射机理不同,其反射光的偏振特性有较大差别,掌握角锥棱镜的光学反射规律对激光回波探测具有重要作用。

在卫星以及行星间的尺度上,角锥棱镜反射回探测点的光场分布已经不能用纯几何光学方法研究,应以光的衍射理论对角锥棱镜的远场衍射图样(Far Field Diffractive Pattern, FFDP)进行分析。对此国内外研究者做了很多重要工作^[2-8],全面分析了非镀膜角锥棱镜的反射规律以及在各

种条件下的远场衍射特性,但是对同样应用广泛的镀金属膜角锥的远场衍射特性及其与非镀膜角锥的对比分析未见报导。

本文计算并模拟了线偏振光在正入射情况下经过镀金属膜的角锥和非镀膜角锥反射后的偏振态变化以及远场衍射分布图样,进行了角锥远场衍射图样测试实验,通过仿真结果和实验结果的对比得到两种角锥的不同远场衍射性能,并检验了仿真模型的合理性,为不同应用的激光反射器设计提供了依据。

2 非镀膜角锥棱镜的偏振和远场衍射特性

由于非镀膜角锥具有全反射效率高、无膜层损坏影响等特点,所以在远地合作目标中被广泛使用。

一束线偏振光可分为振动方向平行于入射面和垂直于入射面两部分。全反射会对两个分量产生不同的相位突变 δ_s (垂直)和 δ_p (平行)^[9],

$$\begin{cases} \tan\left(\frac{\delta_p}{2}\right) = -\frac{\sqrt{\sin^2\theta_i - n^2}}{n^2 \cos\theta_i}, i = 1, 2, 3 \\ \tan\left(\frac{\delta_s}{2}\right) = -\frac{\sqrt{\sin^2\theta_i - n^2}}{\cos\theta_i}, i = 1, 2, 3 \end{cases}, (1)$$

其中: n ($n = n_2 / n_1$, $n_2 < n_1$) 为光疏介质到光密介质的相对折射率, θ_i 为第 i 次反射的入射角。

建立直角坐标系,以理想角锥的三条棱为 x, y, z 轴,设第 i 个全反射面的单位法线矢量为 \mathbf{n}_i , 第 i 个入射面单位法线矢量为 \mathbf{m}_i ,入射光单位方向

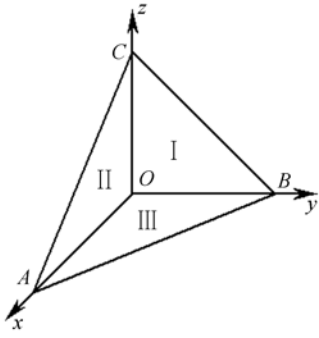


图 1 角锥棱镜坐标系

Fig.1 Coordinate system of cube corner

矢量为 \mathbf{A}_0 ,第 i 次反射光单位方向矢量为 \mathbf{A}_i ,有:

$$\mathbf{A}_i = \mathbf{A}_{0i-1} - 2(\mathbf{A}_{i-1} \cdot \mathbf{n}_i) \mathbf{n}_i, i = 1, 2, 3. \quad (2)$$

入射面单位法线矢量 \mathbf{m}_i 有:

$$\mathbf{m}_i = \frac{\mathbf{A}_{i-1} \times \mathbf{n}_i}{|\mathbf{A}_{i-1} \times \mathbf{n}_i|}, i = 1, 2, 3, \quad (3)$$

入射角 θ_i 满足:

$$\sin \theta_i = |\mathbf{A}_{i-1} \times \mathbf{n}_i|, i = 1, 2, 3. \quad (4)$$

设入射光偏振方向单位矢量为 \mathbf{E}_0 ,可根据第一个入射面将其分解为垂直偏振分量 \mathbf{E}_{0S} 和平行偏振分量 \mathbf{E}_{0P} ,有:

$$\begin{cases} \mathbf{E}_{0S} = (\mathbf{E}_0 \cdot \mathbf{m}_1) \mathbf{m}_1 \\ \mathbf{E}_{0P} = \mathbf{E}_0 - (\mathbf{E}_0 \cdot \mathbf{m}_1) \mathbf{m}_1 \end{cases}. \quad (5)$$

经过第一次反射,令反射光垂直和平行偏振分量分别为 \mathbf{E}_{1S} 、 \mathbf{E}_{1P} ,由于全反射过程振幅反射率为 1,所以有:

$$\begin{cases} \mathbf{E}_{1S} = \mathbf{E}_{0S} \\ \mathbf{E}_{1P} = 2(\mathbf{E}_{0P} \cdot \mathbf{n}_1) \mathbf{n}_1 - \mathbf{E}_{0P} \end{cases}, \quad (6)$$

此时反射光成为第二次反射的入射光,再根据第二个反射面将入射光分解为垂直偏振分量 \mathbf{E}_{1SS} 、 \mathbf{E}_{1PS} 和平行偏振分量 \mathbf{E}_{1SP} 、 \mathbf{E}_{1PP} ,有:

$$\begin{cases} \mathbf{E}_{1SS} = (\mathbf{E}_{1S} \cdot \mathbf{m}_2) \mathbf{m}_2 \\ \mathbf{E}_{1PS} = (\mathbf{E}_{1P} \cdot \mathbf{m}_2) \mathbf{m}_2 \\ \mathbf{E}_{1SP} = \mathbf{E}_{1S} - (\mathbf{E}_{1S} \cdot \mathbf{m}_2) \mathbf{m}_2 \\ \mathbf{E}_{1PP} = \mathbf{E}_{1P} - (\mathbf{E}_{1P} \cdot \mathbf{m}_2) \mathbf{m}_2 \end{cases}. \quad (7)$$

经过第二次反射,令反射光垂直和平行偏振分量分别为 \mathbf{E}_{2SS} 、 \mathbf{E}_{2PS} 和 \mathbf{E}_{2SP} 、 \mathbf{E}_{2PP} ,有:

$$\begin{cases} \mathbf{E}_{2SS} = \mathbf{E}_{1SS} \\ \mathbf{E}_{2PS} = \mathbf{E}_{1PS} \\ \mathbf{E}_{2SP} = 2(\mathbf{E}_{1SP} \cdot \mathbf{n}_2) \mathbf{n}_2 - \mathbf{E}_{1SP} \\ \mathbf{E}_{2PP} = 2(\mathbf{E}_{1PP} \cdot \mathbf{n}_2) \mathbf{n}_2 - \mathbf{E}_{1PP} \end{cases}. \quad (8)$$

此时反射光成为第三次反射的入射光,再根据第三个反射面将入射光分解为垂直偏振分量 \mathbf{E}_{2SSS} 、 \mathbf{E}_{2PSS} 、 \mathbf{E}_{2SPS} 、 \mathbf{E}_{2PPS} 和平行偏振分量 \mathbf{E}_{2SSP} 、 \mathbf{E}_{2PSP} 、 \mathbf{E}_{2SPP} 、 \mathbf{E}_{2PPP} ,有:

$$\begin{cases} \mathbf{E}_{2SSS} = (\mathbf{E}_{2SS} \cdot \mathbf{m}_3) \mathbf{m}_3 \\ \mathbf{E}_{2PSS} = (\mathbf{E}_{2PS} \cdot \mathbf{m}_3) \mathbf{m}_3 \\ \mathbf{E}_{2SPS} = (\mathbf{E}_{2SP} \cdot \mathbf{m}_3) \mathbf{m}_3 \\ \mathbf{E}_{2PPS} = (\mathbf{E}_{2PP} \cdot \mathbf{m}_3) \mathbf{m}_3 \\ \mathbf{E}_{2SSP} = \mathbf{E}_{2SS} - (\mathbf{E}_{2SS} \cdot \mathbf{m}_3) \mathbf{m}_3 \\ \mathbf{E}_{2PSP} = \mathbf{E}_{2PS} - (\mathbf{E}_{2PS} \cdot \mathbf{m}_3) \mathbf{m}_3 \\ \mathbf{E}_{2SPP} = \mathbf{E}_{2SP} - (\mathbf{E}_{2SP} \cdot \mathbf{m}_3) \mathbf{m}_3 \\ \mathbf{E}_{2PPP} = \mathbf{E}_{2PP} - (\mathbf{E}_{2PP} \cdot \mathbf{m}_3) \mathbf{m}_3 \end{cases}. \quad (9)$$

经过第三次反射,反射光垂直和平行偏振分量分别为:

$$\begin{cases} \mathbf{E}_{3SSS} = \mathbf{E}_{2SSS} \\ \mathbf{E}_{3PSS} = \mathbf{E}_{2PSS} \\ \mathbf{E}_{3SPS} = \mathbf{E}_{2SPS} \\ \mathbf{E}_{3PPS} = \mathbf{E}_{2PPS} \\ \mathbf{E}_{3SSP} = 2(\mathbf{E}_{2SSP} \cdot \mathbf{n}_3) \mathbf{n}_3 - \mathbf{E}_{2SSP} \\ \mathbf{E}_{3PSP} = 2(\mathbf{E}_{2PSP} \cdot \mathbf{n}_3) \mathbf{n}_3 - \mathbf{E}_{2PSP} \\ \mathbf{E}_{3SPP} = 2(\mathbf{E}_{2SPP} \cdot \mathbf{n}_3) \mathbf{n}_3 - \mathbf{E}_{2SPP} \\ \mathbf{E}_{3PPP} = 2(\mathbf{E}_{2PPP} \cdot \mathbf{n}_3) \mathbf{n}_3 - \mathbf{E}_{2PPP} \end{cases}. \quad (10)$$

最后将出射光的 8 个分量再次按照入射偏振方向矢量 \mathbf{E}_0 分解为垂直和平行于入射光偏振方向的分量 \mathbf{E}_\perp 、 \mathbf{E}_\parallel ,同时加入累积的相位突变因子,有:

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_\perp = & \mathbf{E}_{3SSS} \cdot (\mathbf{A}_0 \times \mathbf{E}_0) e^{i(\delta_{1S} + \delta_{2S} + \delta_{3S})} + \mathbf{E}_{3PSS} \cdot (\mathbf{A}_0 \times \mathbf{E}_0) e^{i(\delta_{1P} + \delta_{2S} + \delta_{3S})} + \\ & \mathbf{E}_{3SPS} \cdot (\mathbf{A}_0 \times \mathbf{E}_0) e^{i(\delta_{1S} + \delta_{2P} + \delta_{3S})} + \mathbf{E}_{3PPS} \cdot (\mathbf{A}_0 \times \mathbf{E}_0) e^{i(\delta_{1P} + \delta_{2P} + \delta_{3S})} + \\ & \mathbf{E}_{3SSP} \cdot (\mathbf{A}_0 \times \mathbf{E}_0) e^{i(\delta_{1S} + \delta_{2S} + \delta_{3P})} + \mathbf{E}_{3PSP} \cdot (\mathbf{A}_0 \times \mathbf{E}_0) e^{i(\delta_{1P} + \delta_{2S} + \delta_{3P})} + \\ & \mathbf{E}_{3SPP} \cdot (\mathbf{A}_0 \times \mathbf{E}_0) e^{i(\delta_{1S} + \delta_{2P} + \delta_{3P})} + \mathbf{E}_{3PPP} \cdot (\mathbf{A}_0 \times \mathbf{E}_0) e^{i(\delta_{1P} + \delta_{2P} + \delta_{3P})} \end{aligned}, \quad (11)$$

$$\begin{aligned}
 E_{//} = & \mathbf{E}_{3SSS} \cdot \mathbf{E}_0 e^{i(\delta_{1S} + \delta_{2S} + \delta_{3S})} + \mathbf{E}_{3PSS} \cdot \mathbf{E}_0 e^{i(\delta_{1P} + \delta_{2S} + \delta_{3S})} + \\
 & \mathbf{E}_{3SPS} \cdot \mathbf{E}_0 e^{i(\delta_{1S} + \delta_{2P} + \delta_{3S})} + \mathbf{E}_{3PPS} \cdot \mathbf{E}_0 e^{i(\delta_{1P} + \delta_{2P} + \delta_{3S})} + \\
 & \mathbf{E}_{3SSP} \cdot \mathbf{E}_0 e^{i(\delta_{1S} + \delta_{2S} + \delta_{3P})} + \mathbf{E}_{3PSP} \cdot \mathbf{E}_0 e^{i(\delta_{1P} + \delta_{2S} + \delta_{3P})} + \\
 & \mathbf{E}_{3SPP} \cdot \mathbf{E}_0 e^{i(\delta_{1S} + \delta_{2P} + \delta_{3P})} + \mathbf{E}_{3PPP} \cdot \mathbf{E}_0 e^{i(\delta_{1P} + \delta_{2P} + \delta_{3P})}
 \end{aligned} \tag{12}$$

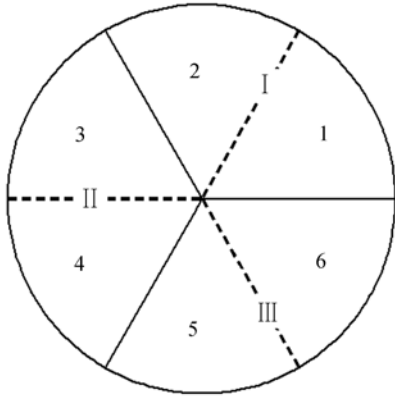


图 2 圆切割角锥的 6 个反射区

Fig. 2 6 Reflection areas of circle cutting cube corner

对于角锥的正入射情况,主要包括 6 种反射顺序,分别对应图 2 中的:

1. I → III → II 2. I → II → III
3. II → I → III 4. II → III → I
5. III → II → I 6. III → I → II

某一反射次序有唯一的法线矢量取值组合,将 \mathbf{E}_\perp 、 \mathbf{E}_\parallel 表示成复数形式即可得到两偏振分量的复振幅:

$$\begin{cases} \tilde{\mathbf{E}}_{\perp j} = |\tilde{\mathbf{E}}_{\perp j}| e^{i\phi_{\perp j}} \\ \tilde{\mathbf{E}}_{\parallel j} = |\tilde{\mathbf{E}}_{\parallel j}| e^{i\phi_{\parallel j}} \end{cases}, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6. \tag{13}$$

利用基尔霍夫衍射公式,分别计算出远场复振幅分布:

$$\begin{cases} \tilde{\mathbf{E}}_\perp = -\frac{i}{\lambda z} \sum_{j=1}^6 \iint_{S_j} \tilde{\mathbf{E}}_{\perp j} e^{ikr} ds \\ \tilde{\mathbf{E}}_\parallel = -\frac{i}{\lambda z} \sum_{j=1}^6 \iint_{S_j} \tilde{\mathbf{E}}_{\parallel j} e^{ikr} ds \end{cases}, \tag{14}$$

其中: z 为角锥底面到接收面的距离, k 为反射光波数, λ 为反射光波长, r 为波面上某点到接受面某点的距离, S_j 为第 j 个反射区的波面, ds 为积分面元。

3 镀金属膜角锥棱镜的偏振和远场衍射特性

对于近地卫星激光反射器,为了保证更大的有效入射角范围,需对角锥棱镜的三个背面镀反射金属膜。

光在金属表面上的反射与电介质界面的情况相似,但反射系数则需引入复折射率和复折射角的概念进行处理^[10]。

设金属表面反射的 s 和 p 分量反射系数 r_s 和 r_p 分别为:

$$\begin{cases} r_s = -\frac{\sin(\theta_i - \theta_t)}{\sin(\theta_i + \theta_t)} = |r_s| e^{i\varphi_{rs}} \\ r_p = -\frac{\tan(\theta_i - \theta_t)}{\tan(\theta_i + \theta_t)} = |r_p| e^{i\varphi_{rp}} \end{cases}, \tag{15}$$

其中: θ_i 为入射角, θ_t 为复折射角, φ_{rs} 和 φ_{rp} 分别为 s 和 p 分量反射的相位突变量。复折射角 θ_t 为:

$$\begin{cases} \tilde{k} \sin \theta_t = k \sin \theta_i \\ \tilde{k} = \tilde{n} k \\ \tilde{n} = n' + in'' \end{cases}, \tag{16}$$

其中: \tilde{k} 为复波数, \tilde{n} 为复折射率, n' 与 n'' 分别为复折射率的实部和虚部。

镀金属膜角锥棱镜的偏振态变化规律和远场衍射图样可同样采用本文第 2 节方法,只是注意(6)、(8)、(10)式等号右侧应引入振幅反射率 $|r_s|$ 或 $|r_p|$,同时将全反射相位突变因子 δ_s 、 δ_p 替换为金属面反射相位突变因子 φ_{rs} 、 φ_{rp} 即可。

4 镀金属膜和非镀膜角锥棱镜的 FFDP 仿真与测试

根据以上算法对非镀膜角锥和镀金属膜的角锥进行了 FFDP 仿真,并利用远场光斑成像系统进行了实验验证。实验系统光路如图 3 所示, CCD 摄像机采集到的图像即垂直偏振分量的 FFDP 图像。

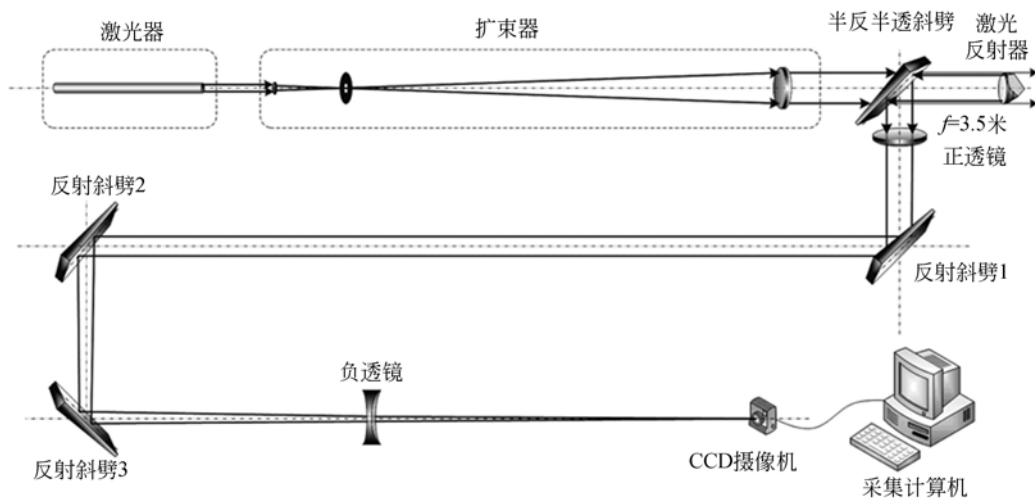


图 3 角锥棱镜远场衍射图样测试系统光路
Fig. 3 Cube corner FFDP detecting system

表 1 FFDP 实测角锥参数

Tab. 1 Specifications of cube corner for FFDF testing

测试角锥编号	1#	2#
口径	33 mm,圆切割	33 mm,圆切割
材料	熔融石英 ($n=1.45@1064\text{ nm}$)	熔融石英 ($n=1.45@1064\text{ nm}$)
镀膜情况	背面镀银膜 ($n'=0.2; n''=3.44$)	未镀膜
二面角偏差	1.4"/1.1"/1.0"	1.7"/1.9"/1.6"
测试光源	1064 nm 线偏振激光	1064 nm 线偏振激光

图 4 所示为镀银膜角锥的 FFDP,图 5 所示为镀银膜角锥的仿真 FFDP,图 6 所示为非镀膜角锥的 FFDP,图 7 所示为非镀膜角锥的仿真 FFDP.仿真与实验结果吻合良好。

以入射光偏振方向与入射方向和角锥某一条棱决定的平面的夹角为偏振方位角,对镀金属膜和非镀膜角锥分别在不同偏振方位角做 FFDP 仿真。选用 33 mm 口径圆切割角锥,考虑正入射且二面角偏差为 0 的情况,偏振方位角具有 60°的旋转周期性,在 0~30°与 30~60°具有对称性,因此仅就 0~30°进行分析,分为出射光偏振态垂直于入射光偏振态和平行于入射光偏振态两个分量,如图 8、图 9 所示,其中 φ 为偏振方位角,第一、二、三行分别为反射光中偏振方向平行于入射光偏振方向的分量 FFDP、垂直分量 FFDP 以及总 FFDP。



图 4 角锥 1# 的实测远场衍射图样(白圈角直径 22",红圈角直径 30")
Fig. 4 FFDP of CCR 1 # (white ring for 22", red ring for 30")

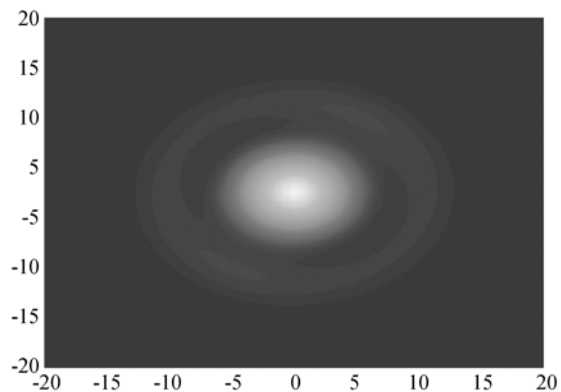


图 5 角锥 1# 的远场衍射图样仿真(单位/角秒)
Fig. 5 FFDP simulation of CCR 1 # (units/")

图 8 所示为 $0\sim 30^\circ$ 偏振方位角下镀银膜角锥的 FFDP 仿真图。镀金属膜角锥的反射光两种偏振分量差别很大,平行分量远场能量分布较为集中,形状接近于爱里斑;垂直分量则较为分散,且

远场能量分为强度接近的 6 个斑。两分量随偏振方位角变化不大。此外,计算得垂直分量的峰值光强较平行分量约弱 2 个数量级。二者叠加后的 FFDP 几乎与平行分量 FFDP 完全一致。

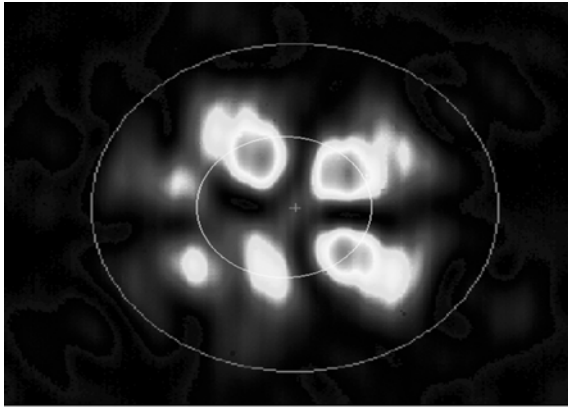


图 6 角锥 1# 的实测远场衍射图样(白圈角直径 $22''$, 红圈角直径 $51''$)

Fig. 6 FFDP of CCR 2 # (white ring for $22''$, red ring for $51''$)

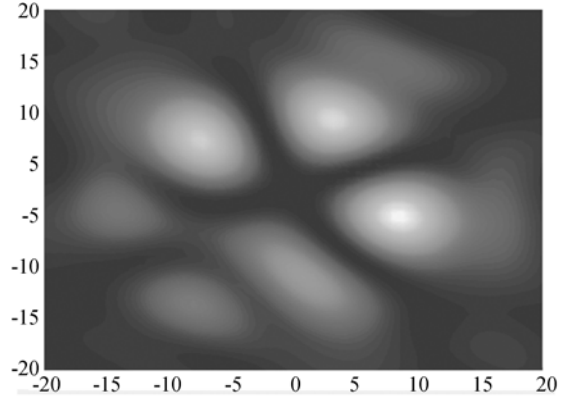


图 7 角锥 1# 的远场衍射图样仿真(单位/角秒)

Fig. 7 FFDP simulation of CCR 2 # (units/'')

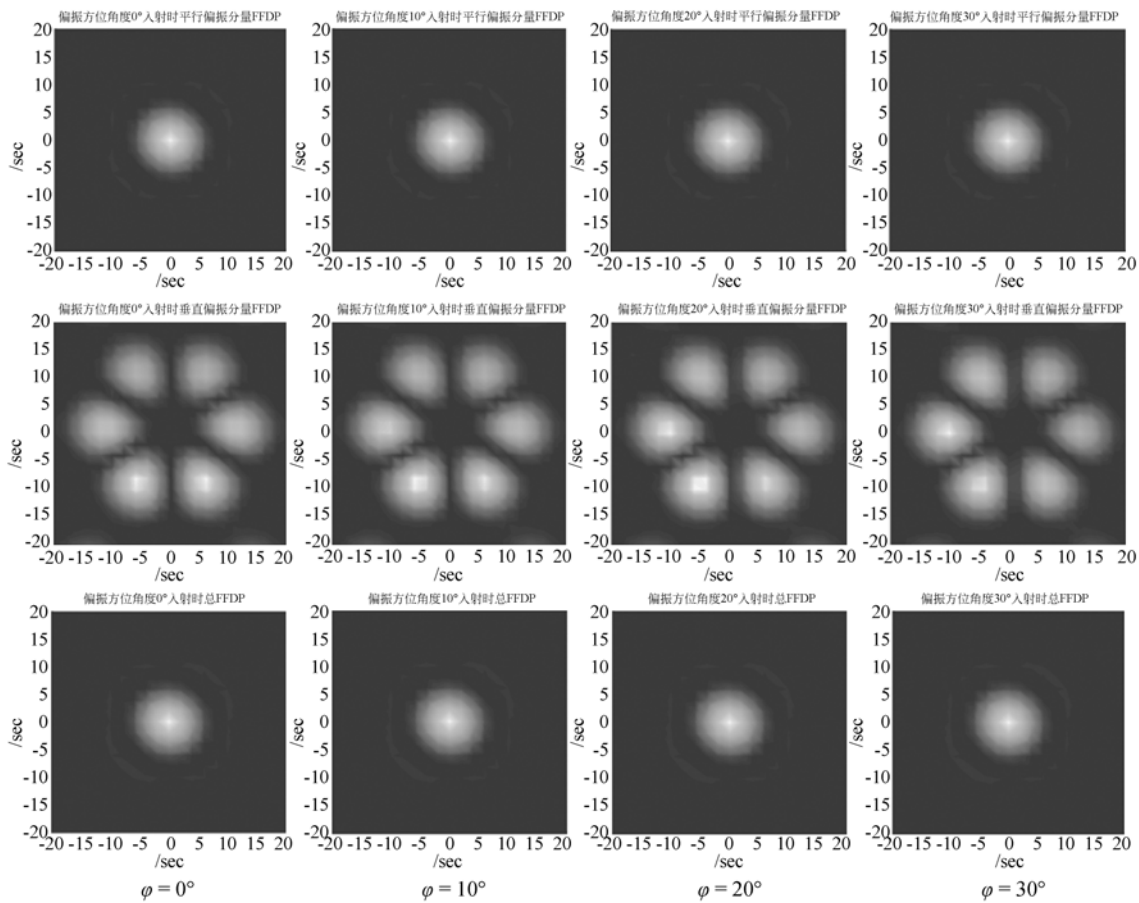


图 8 不同偏振方位角下镀金属(银)膜角锥远场衍射图样仿真

Fig. 8 Metal (Ag) coated cube corner FFDP simulation versus φ

图 9 所示为 $0\sim 30^\circ$ 偏振方位角下非镀膜角锥的 FFDP 仿真图。非镀膜角锥的反射光的两种偏振分量差别较大,平行分量的远场能量分布相对集中,垂直分量较分散,且远场能量分为强度不同的几个斑。两分量的 FFDP 随偏振方位角变化均有明显的变形。此外,仿真计算得垂直分量的峰

值光强约有平行分量的约 40%,两偏振分量强度相当。

对比图 8 与图 9 的第三行总 FFDP 分布可知,无二面角偏差、正入射的理想条件下的镀金属膜角锥的远场总能量分布比非镀膜角锥更为集中。

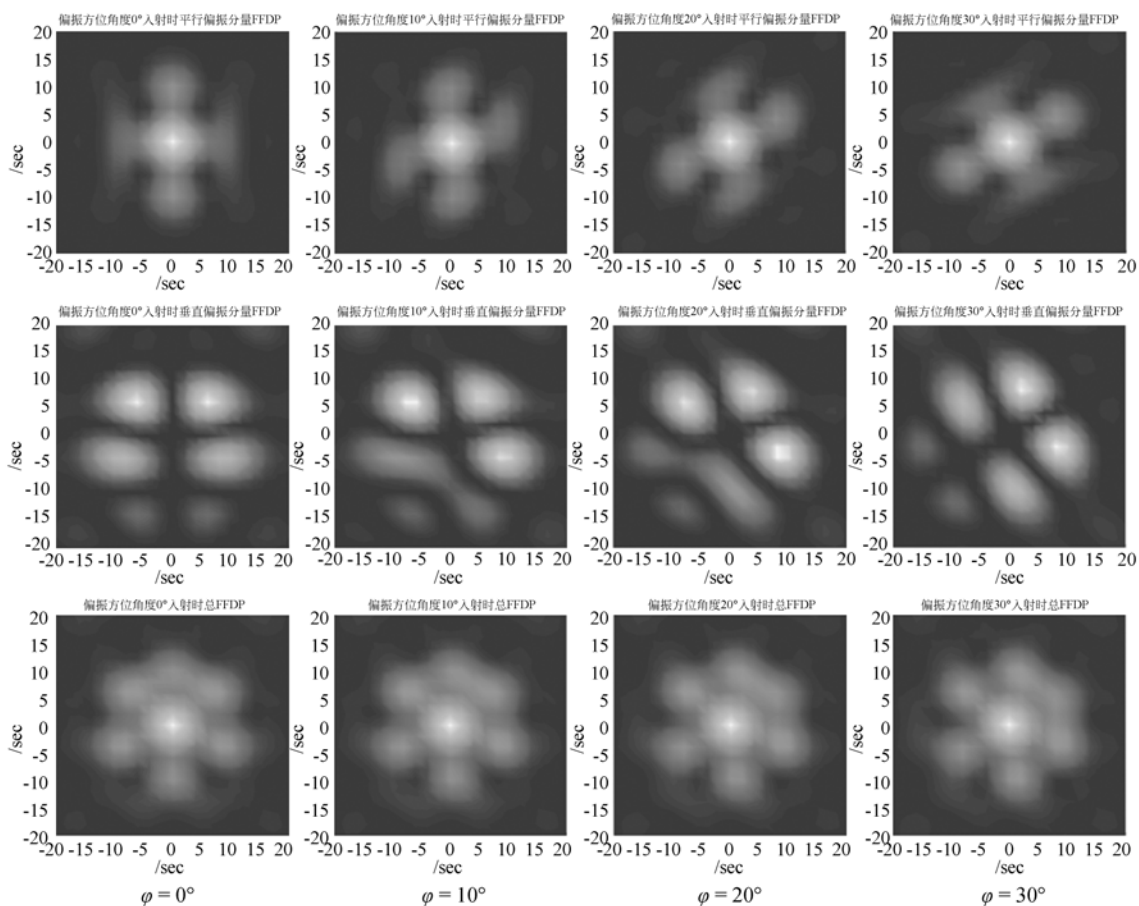


图 9 不同偏振方位角下非镀膜角锥远场衍射图样仿真

Fig. 9 Uncoated cube corner FFDP simulation versus φ

5 结 论

本文根据角锥棱镜的结构特点,利用矢量分析方法对镀金属膜角锥和非镀膜角锥棱镜的反射光光场进行了分析,使用计算机模拟了无二面角偏差、正入射的理想条件下两种角锥的远场衍射图样,并搭建了角锥棱镜远场衍射图样测试系统,

将实测结果与计算机仿真结果进行比对,得到了一致的结论。

在此基础上,给出了镀金属膜和非镀膜角锥棱镜在不同偏振方位角正入射光情况下的远场衍射图样,总结了两种类型角锥的反射光在不同偏振方向的远场能量分布特点,对改进卫星激光反射器设计及地面站观测性能具参考价值。

参考文献:

- [1] 范建兴. 卫星激光反射器的设计和分布效应研究[D]. 杭州: 浙江大学博士论文, 2000.
FAN J X. Research on design and distribution effects of satellite laser retroreflectors[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2000 (in Chinese)
- [2] 钟声远. 关于角体合作目标性质的理论计算[J]. 激光与红外, 1973, 3(12): 1-15.
ZHONG SH Y. Theoretical calculation of corner-cube reflector [J]. *Laser & Infrared*, 1973, 3(12): 1-15.
- [3] 钟声远. 角反射器合作目标的远场衍射能量分布理论分析[J]. 激光与红外, 1975, 10: 645-656.
ZHONG SH Y. Theoretical analysis of far field distribution of diffraction of corner-cube reflector[J]. *Laser & Infrared*, 1975, 10: 645-656.
- [4] 钟声远, 徐广平, 吴健. 卫星激光角反射器的远场衍射光强研究[J]. 激光与红外, 2009, 39(2): 128-132.
ZHONG SH Y, XU G P, WU J. Study of the diffraction light intensity in the far-field on the satellite laser corner-cube reflector [J]. *Laser & Infrared*, 2009, 39(2): 128-132.
- [5] 周辉, 李松, 石岩, 等. 偏振态对角锥棱镜远场衍射分布的影响[J]. 红外与激光工程, 2004, 33(4): 33-35.
ZHOU H, LI S, SHI Y *et al.*. Effect of polarization on the far-field diffraction of ideal cube corner retroreflector[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2004, 33(4): 33-35. (in Chinese)
- [6] 周辉, 李松, 郑国兴, 等. 卫星角反射器精度对远场衍射模式的影响[J]. 光学学报, 2008, 29(1): 60-66.
ZHOU H, LI S, ZHENG G X *et al.*. Influence of satellite retroreflector precision on far-field diffraction pattern [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, 29(1): 60-66. (in Chinese)
- [7] 徐怀方. 玻璃角反射器棱镜的偏振特性[J]. 中国激光, 1986, 13(4): 233-236.
XU H F. Polarization characters of glass cube-corner reflector [J]. *Chin. J. Laser*, 1986, 13(4): 233-236. (in Chinese)
- [8] 聂辉, 翁兴涛, 李松, 等. 角锥棱镜的远场衍射特性[J]. 光学学报, 2003, 23(12): 1470-1474.
NIE H, WENG X T, LI S *et al.*. The far-field diffractive characteristics of cube-corner prism [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, 23(4): 1470-1474. (in Chinese)
- [9] M. 波恩, E. 沃尔夫. 光学原理[M]. 第七版, 北京: 电子工业出版社, 2005.
MAX B, EMIL W. *Principles of Optics*[M]. 7th edition, Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.
- [10] 石顺祥, 王学恩, 刘劲松. 物理光学与应用光学[M]. 第二版, 西安: 西安电子科技大学出版社, 2008.
SHI SH X, WANG X E, LIU J S. *Physical Optics and Applied Optics*[M]. 2nd edition, Xi'an: Publishing House of Xi'an University of Electronic Science and Technology, 2002.

作者简介:



汤凯(1988-), 男, 山东济宁人, 工程师, 2011年于青岛大学获得学士学位, 2014年于中国科学院上海天文台获得硕士学位, 主要从事卫星激光测距研究。E-mail: kaitang@shao. ac. cn



程志恩(1988-), 男, 湖北武汉人, 博士研究生, 2011年于太原理工大学获得学士学位, 主要从事卫星激光测距、激光反射器方面的研究。E-mail: cze@shao. ac. cn