

230 GHz 接收机准光学元件 的测试与评价*

(详细摘要**)

王 士 杰

G. A. Ediss, N. J. Keen

(中国科学院上海技术物理研究所) (联邦德国马普学会射电天文研究所)

摘要——本文对 230GHz 接收机的准光学元件：馈源喇叭、透镜、分束片、双工器和混频器进行了测试和评价。波纹馈源喇叭具有低的插入损耗、高的束效率和在 E、H 平面高斯束分布的良好对称特性，且消除了旁瓣。在 230GHz 时测得的双工器和 Teflon 透镜的损耗为 1.5 dB；可采用钨丝线栅组成的 Martin-Puplett 双工器以减小插入损耗和非交迭损耗。

一、引 言

由于在短毫米和亚毫米波段，单模波导的损耗随频率升高而增大，加工精度又难以控制，而传统的光学传输方法在该波段的衍射损耗显著增大，因而这一波段的电磁辐射传输和探测兼容了微波和光学技术而发展成为准光学理论和技术。

鉴于这一波段的元件尺寸与辐射波长可相比拟，因此采用高斯束理论进行计算和分析比较理想。

高斯束是指垂直于传输轴的辐射呈高斯强度分布，其基本性质由一定尺寸的束的衍射特性所决定。高斯束的理论可用于分析短毫米波和亚毫米波的聚束能量流、接收机和天线间的耦合特性。在组成准光学系统时往往需要合理设计各种元件以变换其束腰，从而充分利用传输的能量流。图 1 是 230GHz 致冷型接收系统输入端的方框图。

二、接收系统的准光学元件

1. 馈源喇叭

对于波纹馈源喇叭，由波纹壁产生的理想边界条件能得到对称的 E、H 平面的电磁场辐射图形，并消除了旁瓣，十分接近高斯模。与一般锥形馈源喇叭相比，它们的电磁场辐射图

本文 1984 年 9 月 19 日收到。

* 本工作是王士杰作为联邦德国马普学会射电天文研究所的访问学者与 G. A. Ediss 和 N. J. Keen 共同完成的。

** 全文将发表于《红外研究》英文版(1985)。

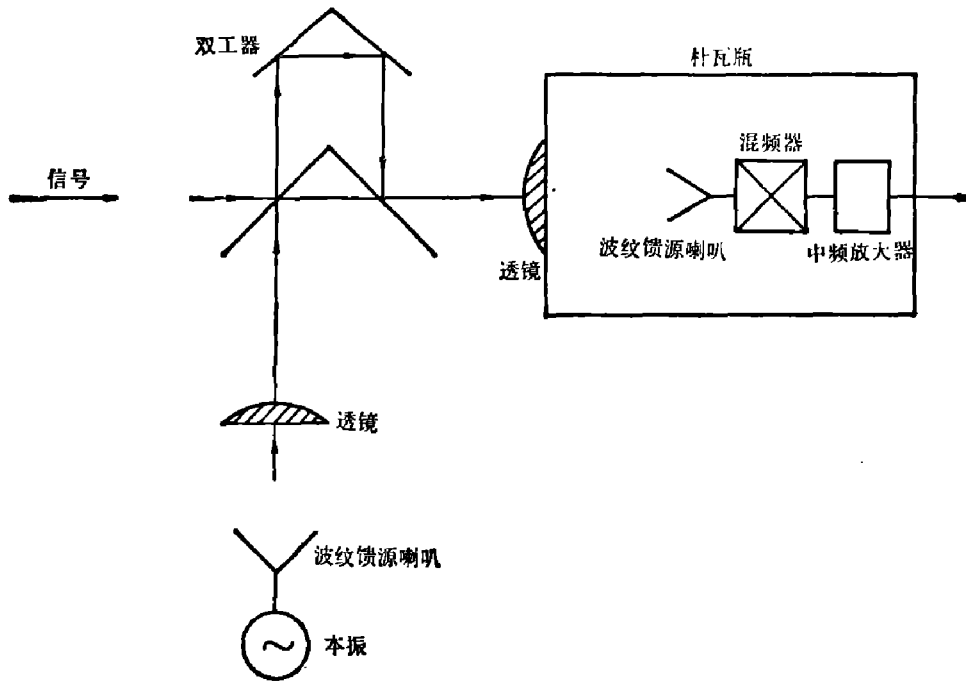


图1 230GHz 致冷型接收系统输入端的方框图
 Fig. 1 A block diagram of the input section of the 230GHz cooled receiver system

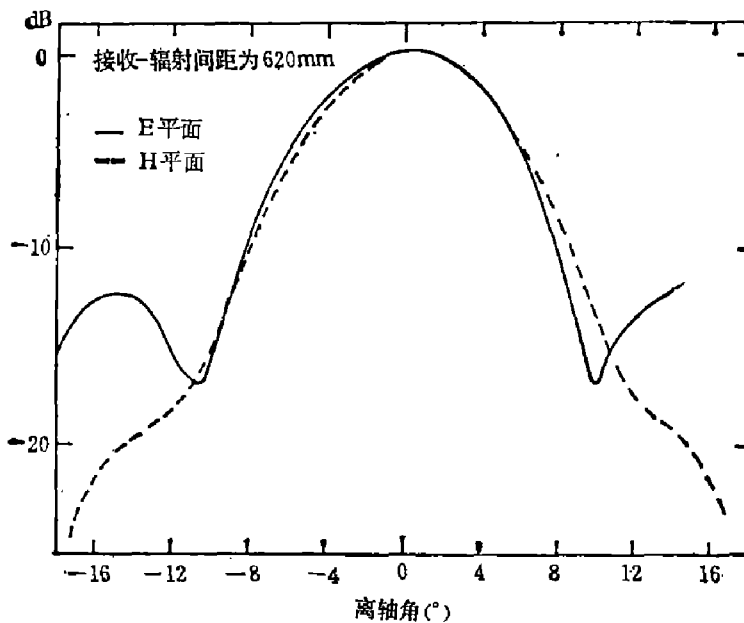


图2 锥形馈源喇叭的E、H平面电磁场辐射图形
 Fig. 2 E and H plane patterns of MPIfR pyramidal feed horn

形有显著的差别。图2、图3分别是马普学会射电天文研究所研制的锥形馈源喇叭和波纹馈源喇叭在230GHz测得的E、H平面的电磁场辐射图形。

几种喇叭的远场束角的测试值和计算的束腰半径如表1所示。

测得的波纹馈源喇叭的插入损耗比锥形喇叭低0.6 dB。

2. 透镜

为了减小透镜的反射，在两个表面上均车制槽纹。对焦距为110 mm、膜孔直径为75 mm的Rexolite和Teflon透镜在230GHz时进行测试，前者的损耗为1.14 dB，后者损耗为0.63 dB，因此230GHz接收机使用Teflon透镜。

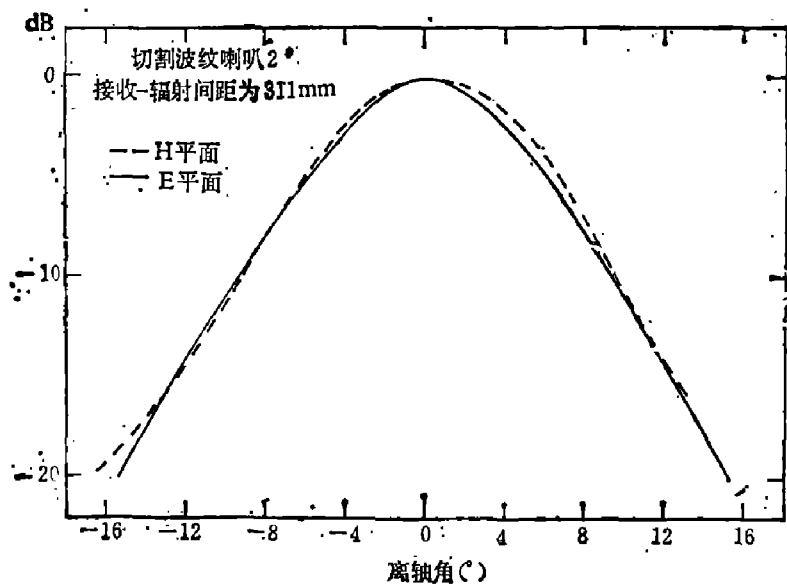


图3 切割波纹馈源喇叭的E、H平面电磁场辐射图形

Fig. 3 E and H plane patterns of cut scalar feed horn

表1 $1/e^2$ (-8.7 dB) 远场束角测量值和束腰半径计算值

Table 1 Measured $1/e^2$ (-8.7 dB power) far field beam angles and derived beam-waist radii (field)

| | 波 纹 喇 叭 | | | | | | | | 锥 形 喇 叭 | | | |
|----------|---------|------|------|------|------|------|-----------|------|----------------|------|-----------|------|
| | 0** | | 2** | | 3* | | Millitech | | 7G-67/25 | | M P I f R | |
| | E | H | E | H | E | H | E | H | F ₁ | H | E | H |
| 远场束角(°) | 8.29 | 8.10 | 8.21 | 8.50 | 7.40 | 7.40 | 8.00 | 8.00 | 7.00 | 7.54 | 7.50 | 7.55 |
| 束腰半径(mm) | 2.88 | 2.97 | 2.91 | 2.83 | 3.20 | 3.20 | 3.00 | 3.00 | 3.44 | 3.19 | 3.23 | 3.21 |

* 为切割喇叭。

作者采用逐次逼近法对透镜焦距进行了验证,在230GHz时测试和计算得到的Rexolite透镜的焦距为106.85mm,与设计值110mm相比,其误差为3%,在工程设计的容许范围之内。误差来源除由机械加工和测试过程引入外,主要是为了简化加工,由球面替代抛物面所致。

描绘准光学系统和元件的高斯束方程仅在远场有效。图4给出了未满足远场条件的喇叭计算值与测试值。当切割喇叭缩小其孔径以减小远场距离时,则计算值与测试值逐渐吻合,如图5所示。表2给出了测试结果。由此可见,在设计、测试和整机调试中必须满足远场条件。

此外,尚须注意输入束和输出束参量在某些区域的明显的依赖关系,如图6和图7所示。

3. 分束片和双工器

作为弱信号接收,要求分束片的损耗尽可能低,并使它的功率反射率和透射率各接近50%,以抑制本振噪声。聚合物薄膜和石英薄片的分束片和由它组成的双工器是属于窄带的。根据Born和Wolf的原理,近似算得212 μ m厚的Mylar薄膜在230GHz时的功率反

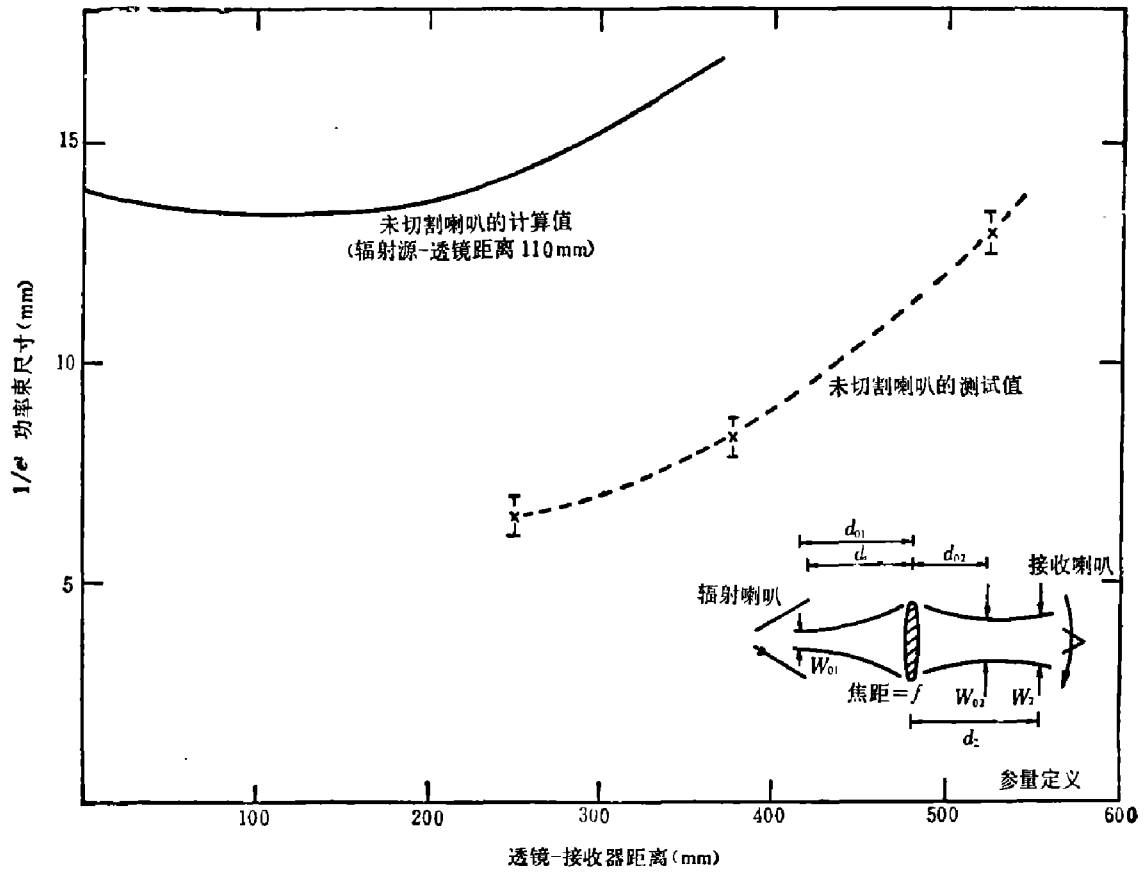


图4 未切割喇叭的束腰尺寸与透镜-接收器距离的测试和计算值

Fig. 4 Predicted and measured uncut horn beamsize as a function of lens-receiver distance

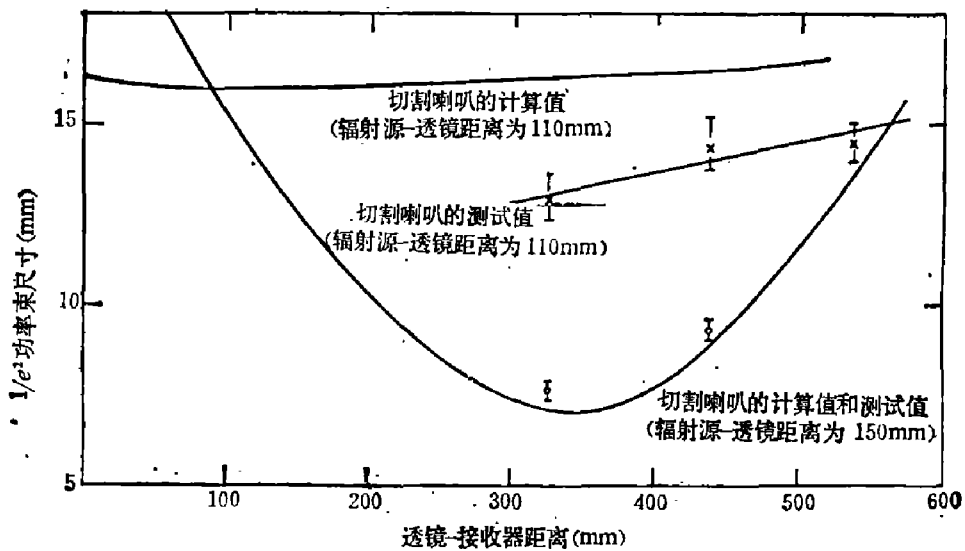


图5 切割喇叭的束腰尺寸与透镜-接收器距离的测试和计算值

Fig. 5 Predicted and measured cut horn beamsize as a function of lens-receiver distance.

射率为42%，损耗为6.5%；而425 μm厚的石英薄片的损耗仅0.54%，功率反射率接近50%。作者曾测量了190 μm厚Mylar薄膜在230GHz时的功率反射率和透射率，其结果

表 2 焦距为 110 mm 时 0[#] 波纹馈源喇叭与 Teflon 透镜的束腰测试值和计算值
 Table 2 Comparison between measured and calculated beamwaists for a combination of scalar-feed horn 0[#] and Teflon lens (calculated $f=110$ mm)

| | | 测 试 值 | 计 算 值 |
|---|--------------------------|-------------|-------------|
| 未切割喇叭 $D^2/\lambda=253.3$ mm $d_1=110$ mm | d_2 (mm) W_2 (mm) | 250 6.5 | 250 14.3 |
| | 误差(%) | 55.0 | |
| 切割喇叭 $D^2/\lambda=82.3$ mm $d_1=110$ mm | d_2 (mm) W_2 (mm) | 325 12.8 | 325 16.5 |
| | 误差(%) | 22.4 | |
| 切割喇叭 $D^2/\lambda=82.3$ mm $d_1=150$ mm | d_2 (mm) W_2 (mm) | 325 7.5 | 325 7.1 |
| | 误差(%) | 5.6 | |

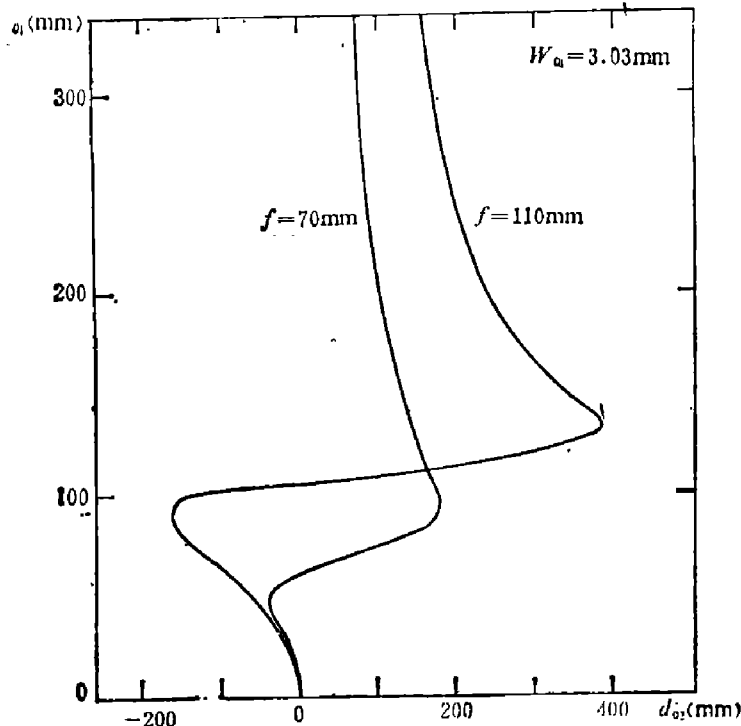


图 6 高斯束输出束的束腰位置 d_{o2} 与输入束的束腰位置 d_{o1} 的关系

Fig. 6 Variation in output waist position d_{o2} as a function of the location of the input waist d_{o1} for a Gaussian beam

表 3 在 230 GHz 时测得的 190 μ m 厚 Mylar 薄膜的功率反射率和透射率
 Table 3 Measured reflection and transmission of 190 μ m Mylar film at 230GHz

| 测 量 值 | | | 计 算 值 | | |
|-------|-------|------|-------|-------|------|
| R | T | A | R | T | A |
| 41.0% | 54.0% | 5.0% | 41.0% | 53.5% | 5.5% |

如表 3 所示。

直径为 20 μ m、间距为 50 μ m 的镍铬丝线栅在 230GHz 的隔离度大于 35 dB。作者曾用傅里叶光谱仪对入射角为 0^o、33^o、90^o、135^o 的上述线栅进行测试(非极化辐射源),其功率反射率和透射率接近 50%,损耗为 2.4% 左右。测试结果如图 8、图 9 所示。

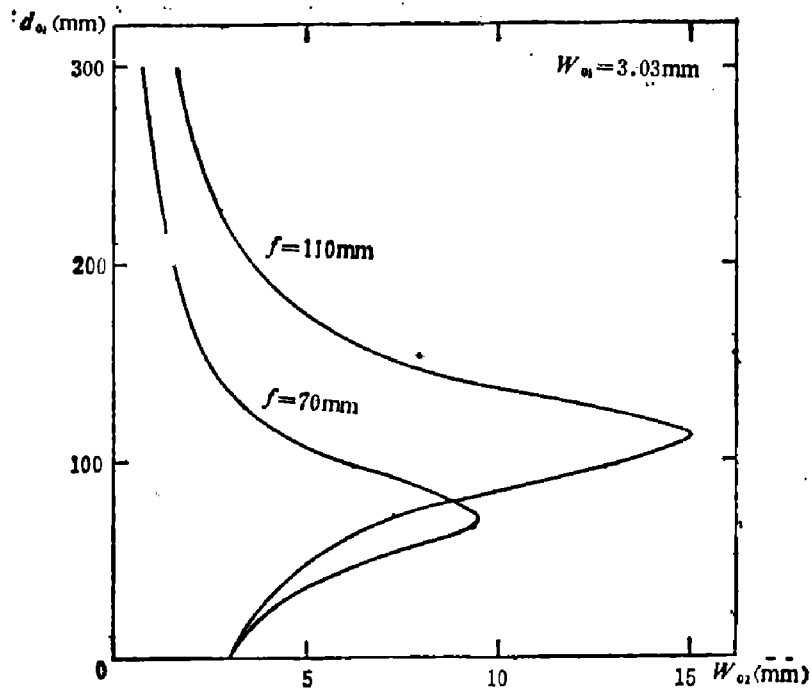


图7 高斯束输出的束腰直径 W_{02} 与输入束的束腰位置 d_{01} 的关系
 Fig. 7 Variation in diameter of output waist W_{02} as a function of the location of the input waist d_{01} for a Gaussian beam

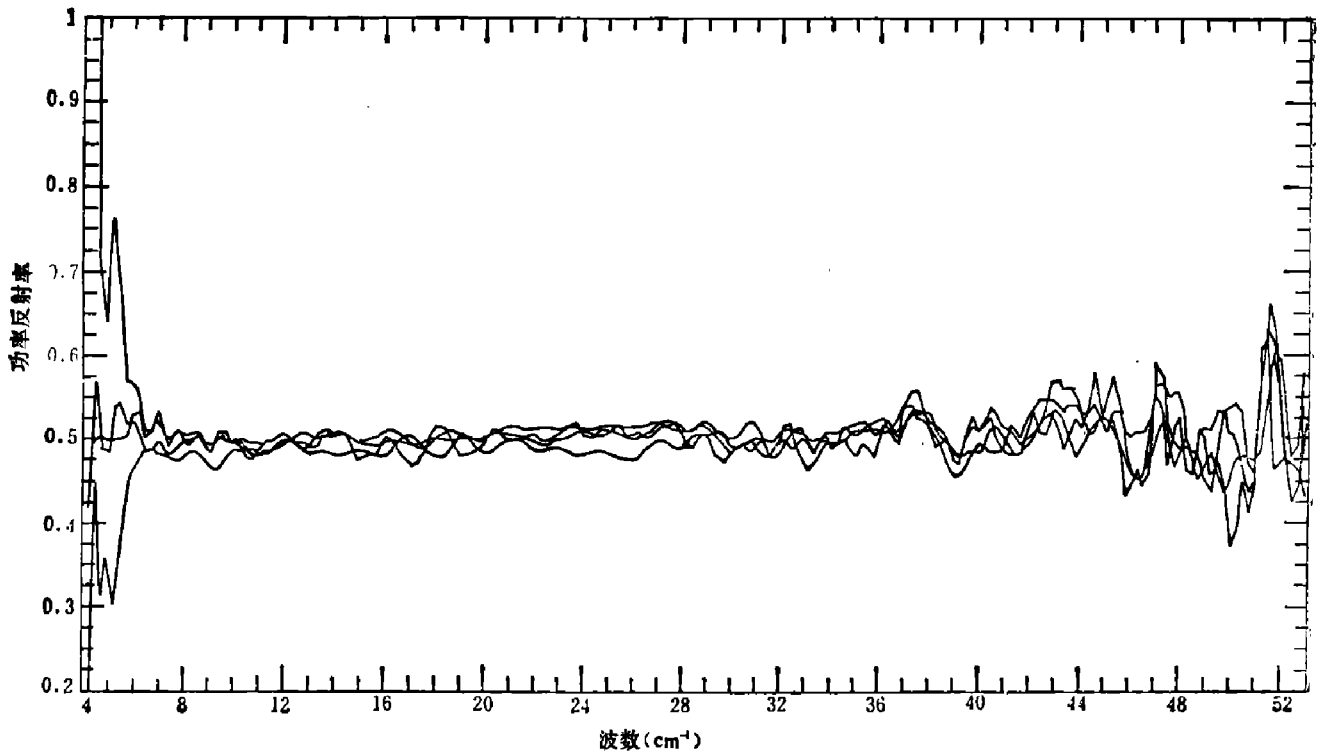


图8 用傅里叶光谱仪测定直径为 $20\ \mu\text{m}$ 、间距为 $50\ \mu\text{m}$ 的线栅的功率反射率(入射角分别为 0° 、 33° 、 90° 、 135°)
 Fig. 8 Fourier transform spectrometer measurement of the reflection of $20\ \mu\text{m}$ wire grid with $50\ \mu\text{m}$ spacing (curves as shown for incidence angles of 0° 、 33° 、 90° 、 135°)

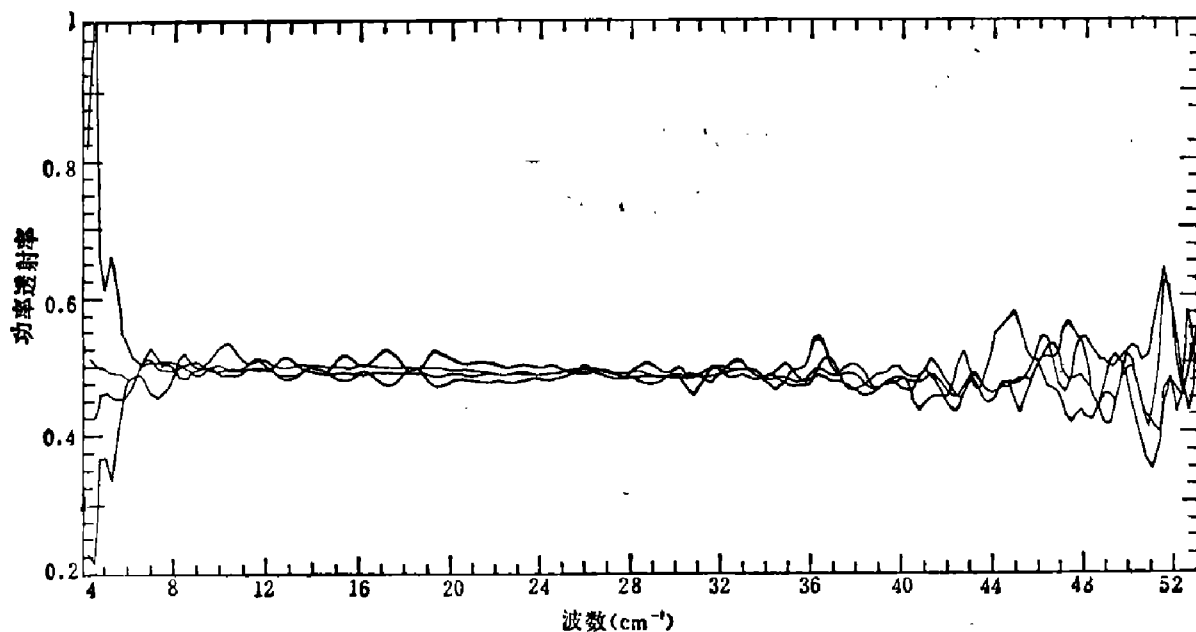


图9 用傅里叶光谱仪测定直径为 $20\ \mu\text{m}$ 、间距为 $50\ \mu\text{m}$ 的线栅的功率透射率(入射角为 0° 、 33° 、 90° 、 135°)

Fig. 9 Fourier transform spectrometer measurement of the transmission of $20\ \mu\text{m}$ wire grid with $50\ \mu\text{m}$ spacing (curves are shown for incidence angles of 0° 、 33° 、 90° 、 135°)

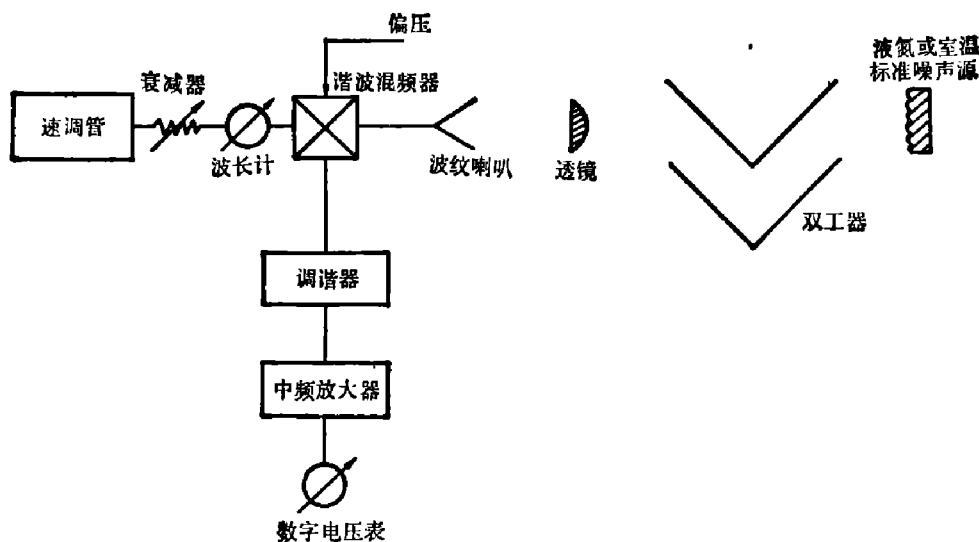


图10 测量透镜和双工器损耗的方框图

Fig. 10 A schematic diagram for measuring the losses of lenses and duplexers

如改用钨丝绕制线栅, 由于它的电阻率较低, 能进一步降低损耗。

双工器的尺寸由束直径决定。双工器分束片与反射器的间隔应满足 $n\lambda_{IF}/4$, 这里 λ_{IF} 是中频波长, n 是奇整数, n 应选择得尽可能小以减小非交迭损耗。因此 Martin-Puplett 双工器较为理想, 它的程差较小, 仅为 $\lambda_{IF}/4$ 。

图10 为测量透镜和双工器损耗的方框图, 将微波吸收材料 (Eccosorb AN-72) 浸渍在

液氮和室温中作为标准噪声源。

在 230GHz 测得的 Teflon 透镜和双工器的损耗为 1.5 dB, Mylar 薄膜的厚度是 190 μm 。

三、混频器变频损耗的测量

图 11 是 230GHz 测试混频器变频损耗的方框图。

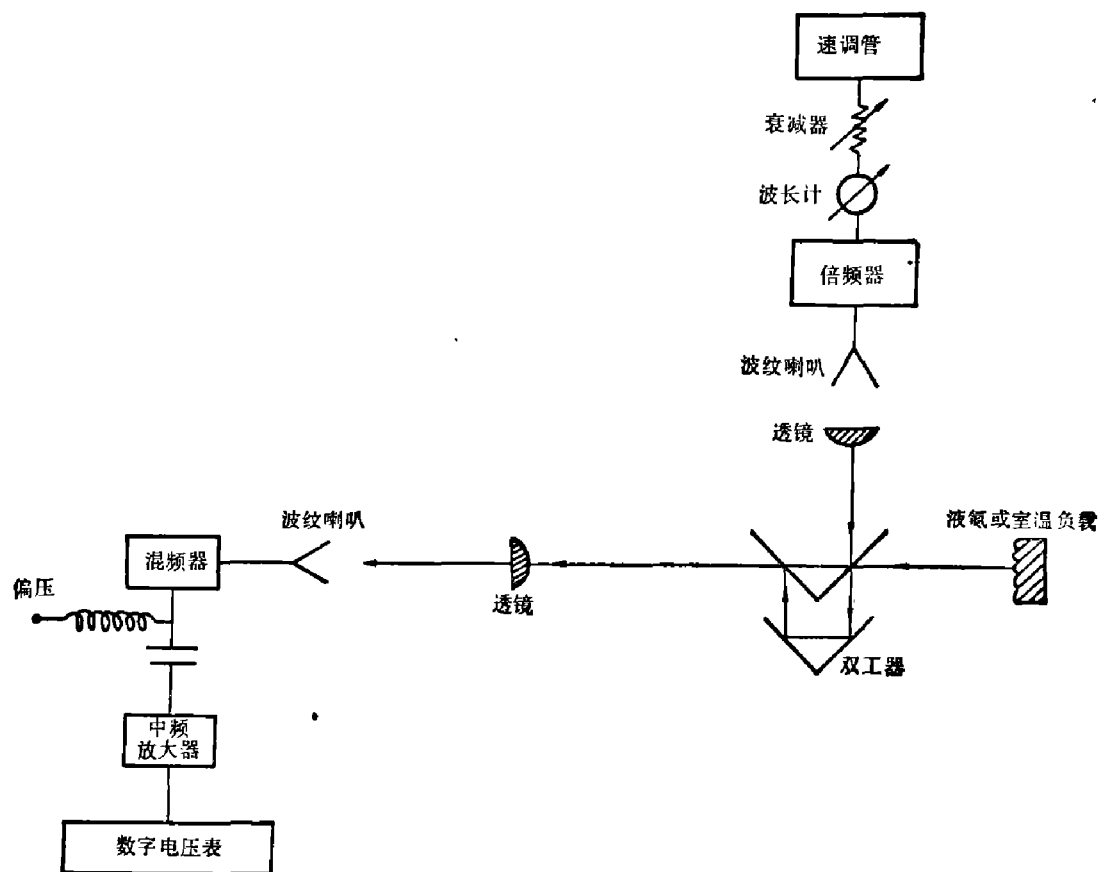


图 11 测试混频器变频损耗的准光学系统方框图

Fig. 11 The block diagram of the quasi-optical system for measuring the conversion loss of uncooled mixer

调节偏置、分束片和反射器间隔距离达最佳值, 在 230GHz 时测试室温 GaAs 肖特基势垒混频器的单边带变频损耗为 6.34 dB。

四、结 语

我们研制并测试了 230GHz 双工器, 它与 Teflon 透镜组合后的损耗为 1.5 dB, 作为弱信号接收系统的准光学部件损耗偏高, 应进一步降低。波纹馈源喇叭具有低的插入损耗、高的束效, 运用在 230 GHz 以下的频段能够加工。用钨丝线栅组成的 Martin-Puplett 双工器与 Teflon 透镜的损耗有可能降至 0.8~1 dB。

致谢——作者对 Albert Korn 在实验中给予的支持、H. P. Röser 和 H. P. Gemünd 对

Mylar 和 Polyethylene 薄膜的高频测试和 G. Bechtold 对分束片的傅里叶光谱测试给予的帮助致以深切谢意。

参 考 文 献

- [1] 王士杰、孔凡平, 第一届全国毫米波和亚毫米波会议论文集(1981), 109~112.
- [2] Goldsmith F., *Infrared and Millimeter Waves*, **6**(1982), 277~338.
- [3] Kogelnik. H., *The Bell System Technical Journal*, **44** (1965), 455~494.
- [4] Southworth G. C., *Principle and Applications of Waveguide Transmission*, D. Van Nostrand Co., 1950.
- [5] Collin and Brown, *Proc. IEE part. C*, (1955~1956), 102~103.
- [6] Morita T. and Cohn S. B., *IRE Trans.*, on *Antennas and Propagation*, 1956, 33~39.
- [7] Chan K. B., *QMC report*, No. KBC/72/6.
- [8] Max Born and Emil Wolf, *Principles of Optics*, Pergamon Press, 1975.
- [9] Martin D. H. and Lesurf J. C. G., *Infrared Phys.*, **18**(1978), 405~412.
- [10] Martin D. H. and Puplett E., *Infrared Phys.*, **10**(1969), 105~109.

THE MEASUREMENT AND EVALUATION OF THE QUASI-OPTICAL COMPONENTS FOR A 230GHz RECEIVER

WANG SHIJIE

(*Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica*)

G. A. EDISS, N. J. KEEN

(*Max-Planck Institut für Radioastronomie, F. R. Germany*)

ABSTRACT

The measurement and evaluation of feed horns, lenses, beam splitter, diplexers and uncooled mixer for a 230GHz receiver are reported. The scalar feed horns have low insertion loss, high beam efficiencies and good symmetrical Gaussian beam patterns with negligible sidelobes in E and H plane. The measured loss of the diplexer with a Teflon lens is 1.5dB at 230 GHz. The insertion and non-overlap loss could be reduced by using Martin-Puplett diplexer with tungsten wire grids.