

文章编号: 2095-4980(2018)02-0187-04

140 GHz 宽带窗的设计及实验

蒋 艺, 雷文强, 胡林林, 阎 磊, 胡 鹏, 马国武, 陈洪斌

(中国工程物理研究院 应用电子学研究所 自由电子激光与太赫兹技术部, 四川 绵阳 621999)

摘 要: 输入输出窗是行波管(TWT)的重要部件, 其性能将直接影响行波管的整体性能指标, 宽带窗的设计一直是其重要发展方向。对 140 GHz 行波管的窗结构进行设计, 焊接出样窗部件, 并进行测试。测试结果表明, 宽带窗结构在 130~150 GHz 范围内, 反射系数 S_{11} 小于 -13.6 dB, 传输系数 S_{21} 小于 -0.8 dB, 验证了宽带窗设计的可行性。

关键词: 宽带窗结构; 行波管; 太赫兹

中图分类号: TN124

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201802.0187

Design and experiment study of 140 GHz broadband window

JIANG Yi, LEI Wenqiang, HU Linlin, YAN Lei, HU Peng, MA Guowu, CHEN Hongbin

(Department of Free Electron Laser and Terahertz Technology, Institute of Applied Electronics,
China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

Abstract: Input/output window is one of the important parts of the Traveling Wave Tube(TWT), which directly influences the capability of the TWT. The broadband window is one of the important development directions. Broadband window for 140 GHz TWT is designed, fabricated and tested. Test results show that the S_{11} parameter is less than -13.6 dB, and the S_{21} parameter is no more than -0.8 dB when the broadband window is between 130 GHz and 150 GHz, which verifies the feasibility of broadband window design and lays a foundation for the development of broadband TWT.

Keywords: broadband window; Traveling Wave Tube; terahertz

输入输出窗结构是行波管(TWT)的重要部件, 其性能的好坏将影响行波管的带宽与增益等指标。目前, 采用较为广泛的输入输出窗结构为盒型窗结构, 特别是目前发展较快的折叠波导行波管, 如中电集团第 12 研究所研制的 W 波段宽带折叠波导行波管便采用的是盒型窗结构, 可以在较宽的频带内实现良好匹配^[1-2]。

随着在太赫兹远距离高速通信与太赫兹高分辨力雷达等系统对宽带太赫兹行波管应用需求的迫切, 中国工程物理研究院已经开展了 140 GHz 行波管的研制工作^[3-5], 其中宽带窗结构是重要的研究内容。

本文对 140 GHz 行波管的宽带窗结构进行设计, 充分考虑现有工艺所带来的误差与影响, 完成了宽带窗的样窗工艺设计, 成功焊接出样窗, 并利用矢量网络分析仪对宽带样窗进行测试。

1 模拟与设计

宽带窗结构采用改进型波导盒型窗结构, 增大窗片结构与金属铜的焊接面积, 增加焊接强度, 保证气密性的同时增加其抗振动强度。同时选取具有较高的机械强度(弯曲强度 895 MPa)、较低的损耗角正切(0.000 2)和较高的导热系数(24 W/m·K)的蓝宝石材料作为窗片材料^[6-8]。考虑实际加工过程所涉及的焊料与工艺过程, 在宽带窗结构建模时进行适当的简化, 将焊料与金属化层视为同一材料, 由同一块金属环替代, 矩形波导采用标准的 WR6 波导尺寸, 在 CST 中的模型如图 1 所示。

考虑在进行金属化时采用人工涂覆金属钼锰膏料, 在尺寸精确度的控制与同一批次金属化窗片的一致性上可能存在一定差异的现状, 在设计宽带窗结构时还应充分考虑金属化尺寸带来的影响。通过前期对金属化蓝宝石窗片尺寸参数进行测量, 差异较大的尺寸参数有金属化内环半径 r_3 、金属化外环半径 r_2 和金属化层厚度 d 。而这几

收稿日期: 2016-11-08; 修回日期: 2017-01-06

基金项目: 中国工程物理研究院资助项目(2016CPH01)

个参量中金属化内环半径 r_3 与金属化外环半径 r_2 改变量均在 ± 0.04 mm 的公差范围内, 金属化层厚度 d 的误差量在 ± 0.02 mm 的公差范围内。通过分析发现, 金属化外环的公差较大, 会影响相应的金属零件, 使其按照最大公差加工零件时, 在放置较小公差的窗片时, 窗片与圆柱波导平移位置变量 y_i 存在一定的改变, 从而影响宽带窗的性能; 金属化内环公差 r_3 较大, 会导致金属零件与窗片的金属化层存在台阶, 影响宽带窗性能; 金属化层厚度公差较大, 会影响圆柱形波导的长度 l_1 , 从而影响宽带窗的性能。图 2~图 4 为通过仿真软件分析金属化所影响参数(金属化内环半径 r_3 、平移位置变量 y_i 和圆柱形波导长度 l_1)对宽带窗性能的影响。影响较大的是平移位置变量 y_i 与圆柱形波导长度 l_1 , 因此在进行宽带窗设计时, 应多考虑降低与控制该 2 项参数的影响。

通过仿真计算, 优化宽带窗的尺寸参数, 降低金属化引入误差所带来的影响, 降低对窗片的金属化尺寸精确度要求, 可以使用人工涂覆的蓝宝石窗片作为宽带窗的介质材料。通过优化计算, 最终得到宽带窗在 130~150 GHz 间反射系数 S_{11} 均小于 -35 dB, 如图 5 所示, 实现了良好的宽带匹配。

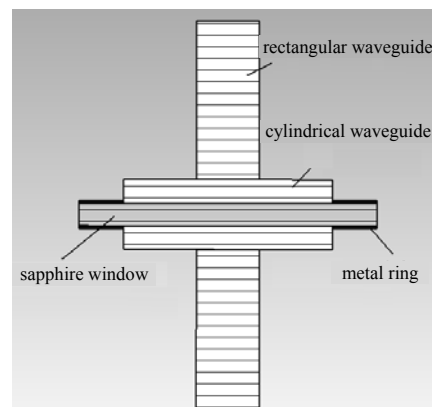
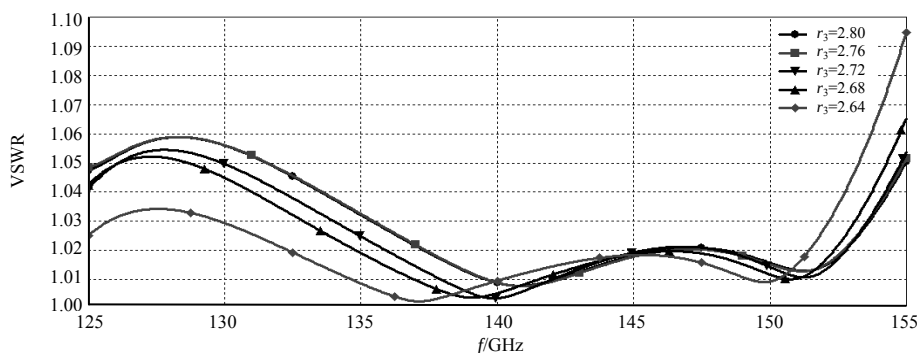
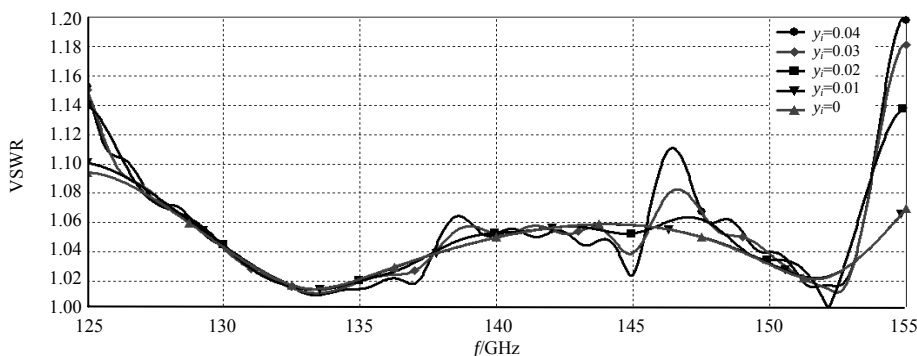
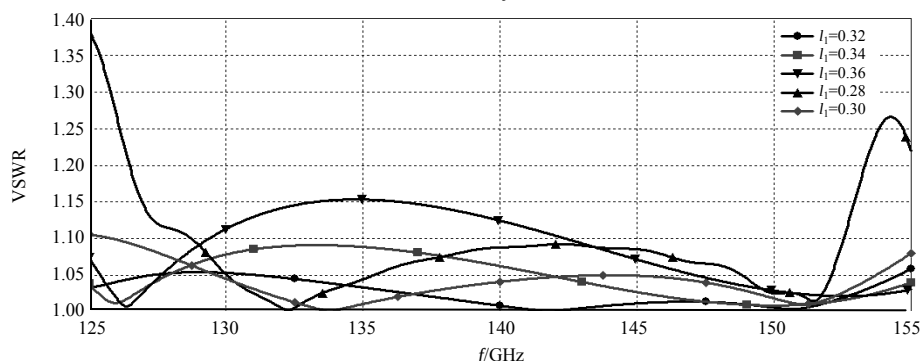


Fig.1 Simulation model of the window

图1 盒型窗仿真模型

Fig.2 Variation of VSWR with the inner radius r_3 of the metallization layer图2 金属化内环半径 r_3 对窗的影响Fig.3 Variation of VSWR with the movement y_i between the cylindrical waveguide and sapphire图3 平移位置变量 y_i 对窗的影响Fig.4 Variation of VSWR with the length l_1 of the cylindrical waveguide图4 圆柱形波导的长度 l_1 对窗的影响

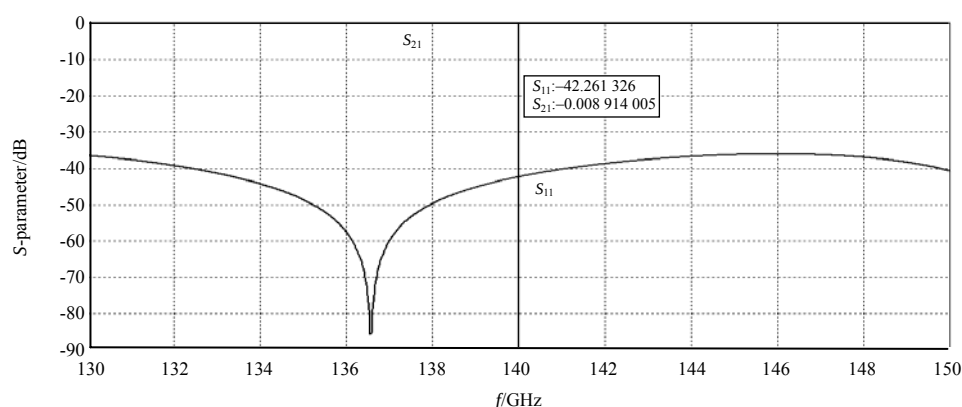


Fig.5 Simulation S parameter curve

图 5 仿真 S 参数曲线图

2 制作及冷测实验

由于在金属化窗片已经有了相当大的余量,因此在进行窗零件加工、焊接夹具制作及窗片封接过程中,需要严格地控制公差范围。在实际的加工中,要求零件及夹具均采用精密机械加工完成,关键尺寸的公差均要求在 ± 0.01 mm 以内。在封接过程中始终使用夹具进行夹持,以保证窗的尺寸公差及同轴度等形位公差满足设计要求。

将焊接好的窗零件利用矢量网络分析仪进行测试,测试时制作了专门的测试法兰与矢量网络分析仪进行匹配,测试照片如图 6 所示。经实验测试,宽带窗在 130~150 GHz 范围内, S_{11} 参数小于 -13.6 dB, S_{21} 参数大于 -0.8 dB,验证了宽带窗的设计可行性,测试结果如图 7 所示。在后续的重复性焊接验证当中,先后焊接了 4 个宽带窗,经过测试,4 个窗 S_{11} 参数均在 $-(13 \pm 1)$ dB 以内, S_{21} 参数均在 $-(0.8 \pm 0.2)$ dB 以内,电性能一致性较好,且焊接后的宽带窗均不漏气。考虑矩形波导段的衰减量为 -0.5 dB,宽带窗的整体损耗能够满足宽带行波管的使用要求。



Fig.6 Photo of the wideband window test

图 6 宽带窗测试照片

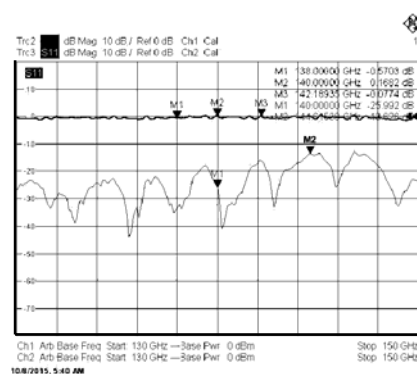


Fig.7 Test results of the window

图 7 宽带窗测试结果

3 结论

对 140 GHz 行波管的窗结构进行改进设计,充分考虑了金属化窗片公差较大所带来的影响并进行了消除。设计出宽带窗结构,并焊接出多件样窗,利用矢量网络分析仪对宽带窗性能进行测试。测试结果表明,宽带窗结构在 130~150 GHz 范围内, S_{11} 参数小于 -13.6 dB, S_{21} 参数小于 -0.8 dB,验证了宽带窗的设计可行性,为宽带行波管的研制奠定了基础。

参考文献:

- [1] HU Yinfu, FENG Jinjun, CAI Jun, et al. A broadband microwave window for W-band TWT[C]// Proceeding of International Vacuum Electronics Conference(IVEC). Monterey, CA, USA: IEEE, 2008: 376-377.
- [2] 杜英华, 胡银富, 郭显平, 等. W 波段行波管金刚石窗的模拟优化与性能测试[J]. 真空电子技术, 2010(4): 81-82. (DU Yinghua, Hu Yinfu, Guo Xianping, et al. Simulation optimization and performance test of diamond window of W-band traveling wave tube[J]. Vacuum Electronics Technology, 2010(4): 81-82.)

- Yinghua, HU Yinfu, WU Xianping, et al. Simulation and test of W-band TWT diamond window[J]. Vacuum Electronics, 2010(4):81–82.)
- [3] 雷文强, 蒋艺, 胡林林, 等. 工艺参数影响的 D 波段行波管盒型窗分析[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2013, 11(6):853–856. (LEI Wenqiang, JIANG Yi, HU Linlin, et al. Analysis of pill-box window for D band TWT considering process parameters influence[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2013, 11(6):853–856.)
- [4] 王亚军, 陈樟, 刘俊. 0.14 THz 折叠波导行波管盒形窗设计与制作[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2013, 11(4):168–170. (WANG Yajun, CHEN Zhang, LIU Jun. Design and fabrication of pill-box window for 0.14 THz folded waveguide traveling wave tubes[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2013, 11(4):168–170.)
- [5] 雷文强, 蒋艺, 胡林林, 等. 0.14 THz 折叠波导行波管设计与实验研究[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2014, 12(3):334–338. (LEI Wenqiang, JIANG Yi, HU Linlin, et al. Design and experiment for 0.14 THz Folded Waveguide Traveling Wave Tubes[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2014, 12(3):334–338.)
- [6] 高源慈, 余国芬, 李恩, 等. D 波段双球镜准光系统测量低耗介质[J]. 强激光与粒子束, 2012, 24(2):445–448. (GAO Yuanci, YU Guofen, LI En, et al. Biconcave quasi-optical resonator system for low loss dielectric measurements at millimeter wave D band[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2012, 24(2):445–448.)
- [7] KRUPNOV A F, MARKOV V N, GOLUGYATNIKOV G Y, et al. Ultra-low absorption measurement in dielectrics in millimeter- and submillimeter-wave range[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory & Techniques, 1999, 47(3):284–289.
- [8] GUI Y F, DOU W B, YIN K. Open resonator technique of non-planar dielectric objects at millimeter wavelengths[J]. Progress in Electromagnetics Research M, 2009(9):185–197.

作者简介:



蒋艺(1985–), 男, 成都市人, 硕士, 助理研究员, 主要从事太赫兹电真空技术研究.
email: babyjjoy@163.com.

雷文强(1972–), 男, 重庆市人, 博士, 副研究员, 主要从事真空电子学和太赫兹技术相关研究.

胡林林(1979–), 男, 湖北省荆州市人, 博士, 副研究员, 主要从事高功率微波器件和太赫兹技术相关研究.

阎磊(1984–), 男, 西安市人, 硕士, 助理研究员, 主要从事太赫兹电真空器件技术研究.

胡鹏(1985–), 男, 四川省绵阳市人, 博士, 助理研究员, 主要从事太赫兹行波管技术研究.

马国武(1981–), 男, 四川省凉山彝族自治州人, 博士, 副研究员, 主要从事高功率微波器件和大功率毫米波器件研究.

陈洪斌(1971–), 男, 重庆市人, 博士, 研究员, 主要从事高功率微波器件和太赫兹器件技术研究.