

文章编号: 2095-4980(2013)05-0675-03

0.22 THz 折叠波导行波管盒型窗设计及实验

阎磊, 胡林林, 徐翱, 雷文强, 陈洪斌

(中国工程物理研究院 应用电子学研究所, 四川 绵阳 621999)

摘要: 针对 0.22 THz 折叠波导行波管设计了一款高频输入输出结构—盒型窗, 并对其进行了理论分析和数值计算, 通过 CST2010 微波工作室和 Ansoft HFSS11 进行模拟仿真验证。这种盒型窗不但降低了加工焊接难度, 而且保证了较大带宽。本文得到了 0.02 THz 带宽, 在 0.21 THz~0.23 THz 范围内反射系数都小于 0.08。最终通过加工和实验测试对盒型窗进行了验证, 实验测试和理论计算基本一致, 满足了 0.22 THz 折叠波导行波管的需要。

关键词: 0.22 THz; 折叠波导行波管; 盒型窗; 反射系数

中图分类号: TN124

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201305.0675

Design and test pillbox output window for 0.22 THz folded waveguide traveling-wave tubes

YAN Lei, HU Lin-lin, XU Ao, LEI Wen-qiang, CHEN Hong-bin

(Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

Abstract: A kind of pillbox output window for 0.22 THz folded waveguide traveling-wave tubes is designed. By through theoretical analysis and numerical calculation in CST2010 and Ansoft HFSS11, this new kind of pillbox output window is verified. This pillbox output window adopts non-standard rectangular waveguide which can not only lower the difficulty of processing, but also increase the bandwidth. The results indicate that, the bandwidth can reach about 0.02 THz, from 0.21 THz to 0.23 THz, under the reflection coefficient<0.08. Some key dimensions which have significant effect on the pillbox output windows are also analyzed, and the tolerance in processing is given. The pillbox output window is validated through fabrication and tests. It proves out that the output window can be used for 0.22 THz folded waveguide traveling-wave tubes.

Key words: 0.22 THz; folded waveguide traveling-wave tube; pillbox output window; reflection coefficient

太赫兹(THz)波是指频率在 0.1 THz~10 THz 范围内的电磁波, 它介于毫米波与红外辐射之间, 是宏观经典理论向微观量子理论的过渡区, 也是电子学向光子学的过渡领域。由于太赫兹波所处的特殊位置, 它有很多优越的特性和非常重要的学术研究和应用价值, 使得世界各国都给予极大关注^[1]。太赫兹频段的电磁波在通信、宇航、安全、医学成像、生物化学以及制造等行业具有非常广阔的应用前景^[2]。1987 年, Northrop 公司最先提出一种将矩形波导像曲折线一样弯曲而形成的新型慢波结构——折叠波导。这种慢波电路的特点是其由全金属构成, 而且是整体结构, 功率容量大, 热稳定性好; 色散比较平坦, 工作频带比较宽; 输入/输出耦合匹配好, 且结构简单; 电路制造容易, 加工精确度高, 能够投入批量生产^[3]。通过引入最新的微细加工技术, 并与微波功率模块组合, 折叠波导行波管完全可以实现微型化, 成为工作在太赫兹的一种大功率、小型化辐射源, 在军事电子系统以及通信等领域有很好的应用前景。输入输出窗作为真空电子器件的重要组成部分, 其好坏直接影响到整管的性能和使用寿命^[4]。因此, 在 0.22 THz 折叠波导行波管的研究中输入输出窗的设计是相当重要的环节。对于此波段的行波管输出窗而言: 一方面由于频率的增大, 介质窗片变得非常薄(通常都低于 0.5 mm), 给设计和加工带来了很大的困难; 另一方面, 要求较宽的带宽也是人们一直努力要解决的问题。本文将为 0.22 THz 折叠波导行波管设计

收稿日期: 2012-11-12; 修回日期: 2013-06-28

基金项目: 中国工程物理研究院科学技术发展基金资助项目(2008A0402018); 科技部创新工作方法基金资助项目(2010IM031400)

一套反射系数低于 0.08, 且带宽为 0.02 THz 的输入输出窗, 并通过仿真模拟和实验进行验证。

1 理论分析与仿真

传统的盒型窗见图 1, 这种盒型窗是依靠介质窗片的侧壁和波导壁焊接密封的, 通过理论计算, 0.22 THz 折叠波导行波管盒型窗的介质窗片侧壁厚度在 0.1 mm~0.2 mm 之间, 即焊接面只有 0.1 mm~0.2 mm, 无论是气密性还是焊接牢固度都很难得到保证。

本文设计的盒型窗见图 2, 与传统盒型窗不同的是焊接时靠窗片表面金属化与波导壁进行焊接密封, 由于焊接面加大, 气密性和牢固度都能得到保证; 另一优点是通过对计算仿真, 这种结构能得到较宽的带宽。

0.22 THz 折叠波导行波管盒型窗对介质材料机械加工性能要求很高, 厚度在 0.1 mm~0.2 mm, 而且加工精确度要求至少达到 0.01 mm, 陶瓷在这个厚度都很难进行机械加工, 更无法保证加工精确度。蓝宝石是目前所有窗片材料中在微波频段损耗最小的材料之一^[5], 也具有良好机械加工强度, 因此最终选择蓝宝石作为介质片的材料。

本文 0.22 THz 折叠波导行波管盒型窗的仿真计算模型见图 3, 包括圆波导(round waveguide)、标准波导(standard waveguide)、渐变波导(transition)和蓝宝石窗片(sapphire), 蓝宝石相对介电常数 $\epsilon_r=10$ 。

图 4 为该盒型窗经过大量模拟优化之后 CST2010 微波工作室和 Ansoft HFSS S_{11} 计算得出的最优结果。

由计算结果可以看出, 设计的盒型窗反射系数小于 0.08 的带宽有 0.02 THz, 从 0.21 THz 到 0.23 THz, 满足 0.22 THz 折叠波导行波管对输入输出窗的要求。

2 实验结果

本文采用传输法测试 S_{21} 参数, 原理见图 5 和图 6, 使用 WR-4 标准波导(standard waveguide)、定向耦合器(directional coupler)、谐波混频器(harmonic mixer)及频谱仪(frequency spectrograph)对 0.22 THz 返波管源(FWG-BWO)的频率进行标定, 即找出不同电压对应的频率点。利用上一步得到的结果将 0.22 THz 返波管调制在某一特定频点下, 先用功率计(power meter)测量不接盒型窗时返波管的输出功率, 然后连接盒型窗(见图 7), 按图 8 连接实验设备测量盒型窗的输出端口的功率, 从而得到盒型窗在此频率点的插入损耗, 可以近似为反射和衰减值, 即 S_{21} 参数。

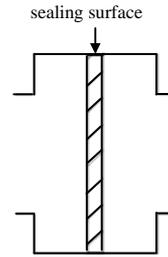


Fig.1 Traditional output window
图 1 传统的盒型窗

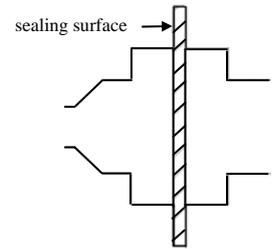


Fig.2 Proposed output window
图 2 本文设计的盒型窗

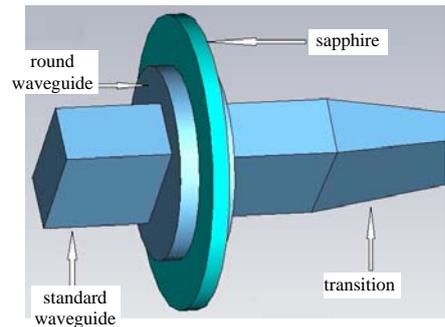


Fig.3 Calculation model of the window
图 3 盒型窗计算模型

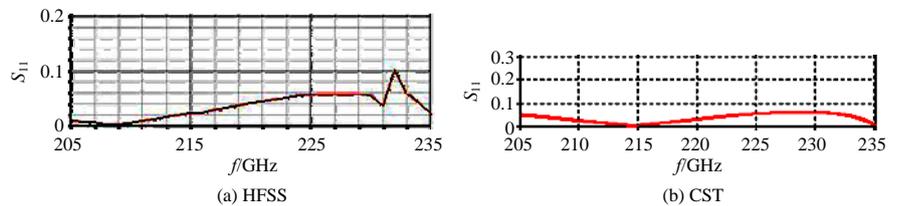


Fig.4 Best results of S_{11} parameter from Ansoft HFSS and CST
图 4 Ansoft HFSS 和 CST 分别计算得到的最优 S_{11} 参数

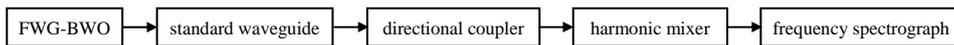


Fig.5 Equipment of assigning frequency
图 5 输出窗频率原理图

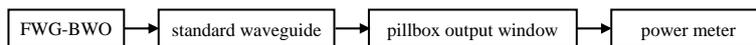


Fig.6 Testing of reflection for the window
图 6 输出窗反射测量图

通过逐个频率点的测量, 得到盒型窗的 S_{21} 参数曲线, 对照 Ansoft HFSS 的计算结果见图 9, 实际测量的 S_{21} 参数比实验值整体偏小 0.04 左右, 而在 0.214 THz, 0.216 THz, 0.226 THz 及 0.23 THz 处结果较一致, 偏差在 0.01 以内。实验结果符合 0.22 THz 折叠波导行波管对盒型窗的要求。



Fig.7 Pillbox output window
图7 加工好的盒型窗

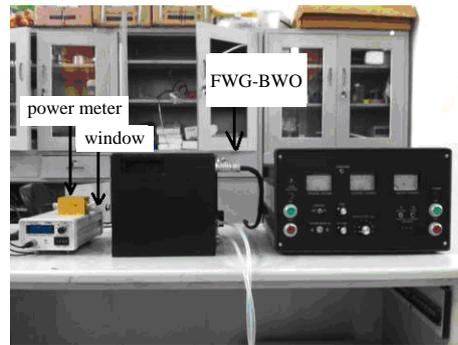


Fig.8 Real measuring equipment
图8 实际测量装置

3 结论

本文对 0.22 THz 折叠波导行波管输入输出窗进行了设计、工艺研究、模拟仿真和实验测试,结果表明设计的盒型窗能达到 0.22 THz 的带宽,且能降低加工和焊接难度,其性能满足 0.22 THz 折叠波导行波管对输入输出窗的要求,为 0.22 THz 折叠波导行波管的研制打下了坚实基础。

参考文献:

- [1] Minami K, Carmel Y, Granatstein V L, et al. Linear theory of electromagnetic wave generation in plasma-loaded corrugated-wall resonator[J]. IEEE Trans. on Plasma Science, 1990, 18(3):537-545.
- [2] 刘盛纲, 钟任斌. 太赫兹科学技术及其应用的新发展[J]. 电子科技大学学报, 2009, 38(5):481-486. (LIU Shenggang, ZHONG Renbin. Recent Development of Terahertz Science and Technology and its Applications[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2009, 38(5):481-486.)
- [3] 欧阳勤. 折叠波导行波管及微加工技术[J]. 真空电子技术, 2003(6):33-38. (OUYANG Qin. Folded waveguide TWT and microfabrication technologies[J]. Vacuum Electronics, 2003(6):33-38.)
- [4] Heidinger R, Dammertz G, Meier A, et al. CVD diamond windows studied with low and high power millimeter waves[J]. IEEE Trans. on Plasma Science, 2002, 30(3):800-807.
- [5] Wade J D, Macphie Robert H. Scattering at Circular-to-Rectangular Waveguide Junctions[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1986, 34(11):1085-1091.

作者简介:



阎磊(1984-),男,西安市人,2008年毕业于北京大学物理学院,学士,研究实验员,主要从事高功率微波器件研究。email: leiy8888@163.com.

徐翱(1982-),男,武汉市人,2009年毕业于电子科技大学,博士,副研究员,主要从事高功率微波器件研究。

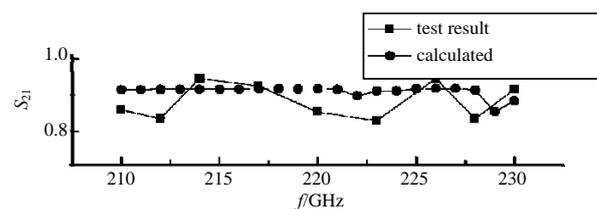


Fig.9 S_{21} from the experiment and Ansoft HFSS
图9 实验测量及 Ansoft HFSS 计算的 S_{21} 参数对照图

胡林林(1979-),男,湖北省荆州市人,硕士,助理研究员,主要从事高功率微波器件、大功率 THz 电真空器件及信号测量方面的研究。

雷文强(1972-),男,四川省绵阳市人,博士,助理研究员,主要从事高功率微波器件、大功率 THz 电真空器件及信号测量方面的研究。

陈洪斌(1971-),男,重庆市人,博士,研究员,主要从事毫米波和太赫兹波器件研究。