



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111029231 B

(45) 授权公告日 2021.09.07

(21) 申请号 201911240974.6

H01J 25/34 (2006.01)

(22) 申请日 2019.12.06

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 110021511 A, 2019.07.16

申请公布号 CN 111029231 A

CN 103094025 A, 2013.05.08

CN 103050356 A, 2013.04.17

(43) 申请公布日 2020.04.17

JP H02223134 A, 1990.09.05

(73) 专利权人 中国电子科技集团公司第十二研究所

US 4507586 A, 1985.03.26

US 2009261925 A1, 2009.10.22

地址 100015 北京市朝阳区酒仙桥路13号

诸葛天祥. 新型平面型级联行波管研究. 《中国博士学位论文全文数据库》. 2016, 第一、六章.

(72) 发明人 瞿波 郭晨 胡明辉 梁潇

审查员 黄宇

(74) 专利代理机构 北京正理专利代理有限公司
11257

代理人 张雪梅

(51) Int. Cl.

H01J 23/24 (2006.01)

H01J 23/26 (2006.01)

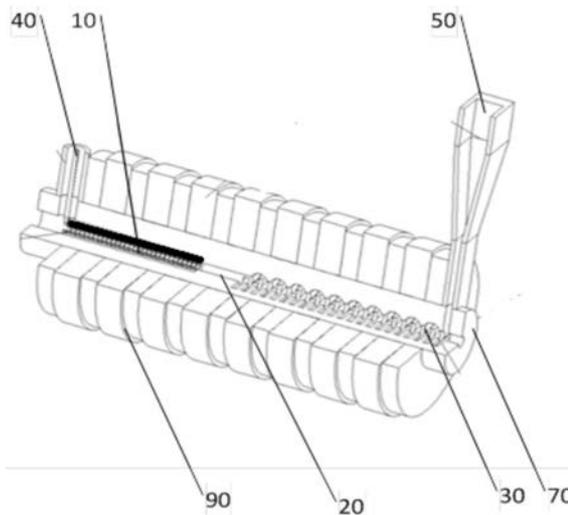
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于螺旋线的混合慢波结构及其设计方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于螺旋线的混合慢波结构及其设计方法。具体地,本发明公开一种行波管慢波结构、行波管慢波系统、行波管及行波管慢波结构的设计方法,该慢波结构包括同轴且分开设置的输入侧螺旋线慢波结构和输出侧折叠波导慢波结构,二者之间距离为 $(1/2-3/2)\lambda$, λ 为该行波管工作波长。本发明提供的行波管慢波系统可使螺旋线慢波结构的高增益、高效率、体积重量小等优势 and 折叠波导结构的功率容量大、易匹配和散热效率高等优势充分互补,在毫米波段上实现频带更宽,功率更大的微波射频输出;同时防止现有螺旋线行波管的功率损耗大、散热性能差的缺点。



1. 一种行波管慢波系统,其特征在于,该行波管慢波系统包括同轴设置的输入侧螺旋线慢波结构、电子注通道结构和输出侧折叠波导慢波结构,所述折叠波导慢波结构的电子注通道直径大于等于所述电子注通道结构的直径大于等于所述螺旋线慢波结构的内径:

该慢波系统包括输入侧的同轴换能结构和输出侧的渐变波导换能结构;

该慢波系统包括分别位于所述电子注通道结构邻近所述螺旋线慢波结构处和所述电子注通道结构邻近所述折叠波导慢波结构处的衰减器。

2. 根据权利要求1所述的行波管慢波系统,其特征在于,所述螺旋线慢波结构和折叠波导慢波结构具有匹配的基频相速。

3. 根据权利要求1所述的行波管慢波系统,其特征在于,所述电子注通道结构的长度为 $(1/2-3/2)\lambda$, λ 为所述行波管慢波系统的工作波长。

4. 根据权利要求1所述的行波管慢波系统,其特征在于,所述螺旋线慢波结构的管壳与所述电子注通道结构和折叠波导慢波结构为一体化结构。

5. 一种行波管,该行波管包括电子枪、慢波系统、磁聚焦系统和收集极,其特征在于,所述慢波系统为根据权利要求1所述的行波管慢波系统。

6. 根据权利要求5所述的行波管,该行波管的工作频段为50GHz-90GHz。

7. 一种如权利要求1所述的行波管慢波系统的设计方法,其特征在于,该行波管慢波系统包括同轴且分开设置的输入侧螺旋线慢波结构和输出侧折叠波导慢波结构,设计所述螺旋线慢波结构和折叠波导慢波结构以使二者具有匹配的基频相速。

一种基于螺旋线的混合慢波结构及其设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及微波真空电子技术领域。更具体地,涉及一种行波管慢波结构、行波管慢波系统、行波管及行波管慢波结构的设计方法。

背景技术

[0002] 行波管作为微波放大器广泛应用于雷达、通讯、电子战等电子装备中。行波管作为一种重要的真空电子器件,主要包括五个关键部件,分别是电子枪组件、高频慢波系统、磁聚焦系统、收集极以及输能装置。行波管工作原理是利用电子枪阴极发射出来的电子注与电磁场发生互作用,电子注产生群聚现象并进行能量交换,将一部分电子能量转化成微波能量进行输出,实现信号放大功能。在超高频SHF领域(3~30GHz)和部分极高频EHF领域(30~50GHz),慢波系统通常采用螺旋线慢波结构,其具有宽频带、高效率、高增益、体积小、重量轻的特点;而在先进极高频AEHF领域(50GHz以上),螺旋线慢波结构存在功率容量小、损耗大、散热性能差的不足。折叠波导行波管慢波结构具有大功率容量、耐高温等优势,但由于色散曲线和耦合阻抗的限制,行波管很难做到工作频段更宽的大功率输出。

[0003] 目前折叠波导结构和螺旋线结构在AEHF先进极高频段均有广泛的应用。但是,为了满足受保护军事通信卫星提出的大容量、高生存能力、抗干扰、全球范围的安全通信应用能力的要求,特别是针对“60GHz大气衰减吸收峰”的频谱特性,需要提供一种频带宽、传输特性好、功率容量大、结构紧凑且散热性能好的行波管慢波结构。

发明内容

[0004] 根据本发明的一个方面,提供一种行波管慢波结构,该慢波结构包括同轴且分开设置的输入侧螺旋线慢波结构和输出侧折叠波导慢波结构,二者之间距离为 $(1/2-3/2)\lambda$, λ 为该行波管工作波长。

[0005] 根据本发明的另一方面,提供一种行波管慢波系统,该行波管慢波系统包括同轴设置的输入侧螺旋线慢波结构、电子注通道结构和输出侧折叠波导慢波结构,所述折叠波导慢波结构的电子注通道直径大于等于所述电子注通道结构的直径大于等于所述螺旋线慢波结构的内径。

[0006] 优选地,所述螺旋线慢波结构和折叠波导慢波结构具有匹配的基频相速。

[0007] 优选地,所述电子注通道结构的长度为 $(1/2-3/2)\lambda$, λ 为该行波管工作波长。

[0008] 优选地,该慢波系统进一步包括输入侧的同轴换能结构和输出侧的渐变波导换能结构。

[0009] 优选地,该慢波系统进一步包括所述电子注通道结构分别邻近所述螺旋线慢波结构和折叠波导慢波结构处设置的衰减器。

[0010] 优选地,所述螺旋线慢波结构的管壳与所述电子注通道结构和折叠波导慢波结构为一体化结构。

[0011] 根据本发明的又一方面,提供一种行波管,该行波管包括电子枪、慢波系统、磁聚

焦系统和收集极,其中所述慢波系统采用如上所述的行波管慢波系统。

[0012] 优选地,该行波管的工作频段为50GHz~90GHz。

[0013] 根据本发明的再一方面,提供一种行波管慢波结构的设计方法,该行波管慢波结构包括同轴且分开设置的输入侧螺旋线慢波结构和输出侧折叠波导慢波结构,其中设计所述螺旋线慢波结构和折叠波导慢波结构以使二者具有匹配的基频相速。

[0014] 根据本发明的慢波结构,在毫米波工作频段下,以螺旋线慢波线为输入系统,微波信号在输入系统内与电子注先经过一段时间的相互作用使电子注得到调制,利用切断和集中衰减器防止毫米波沿螺旋线反馈而引起自激振荡,再通过良好的传输匹配的波导同轴转换结构后进入后置的折叠波导结构与调制后的电子注再次发生相互作用放大信号功率,可以在毫米波频段实现频带更宽,功率更大微波射频输出,行波管的整体参数包括功率、增益和效率等可以得到进一步的改善。

附图说明

[0015] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步详细的说明。

[0016] 图1示出根据本发明实施方式的行波管慢波系统的示意图;

[0017] 图2示出根据本发明实施方式的行波管慢波系统的工作原理示意图;

[0018] 图3示出根据本发明实施方式的螺旋线慢波结构的结构剖面图;

[0019] 图4示出根据本发明实施方式的行波管慢波系统的色散曲线示意图;

[0020] 图5示出根据本发明实施方式的行波管慢波系统的耦合阻抗示意图。

[0021] 图6示出根据本发明实施方式的行波管慢波系统中的螺旋线慢波结构的工作温度分布图。

具体实施方式

[0022] 为了更清楚地说明本发明,下面结合优选实施例和附图对本发明做进一步的说明。附图中相似的部件以相同的附图标记进行表示。本领域技术人员应当理解,下面所具体描述的内容是说明性的而非限制性的,不应以此限制本发明的保护范围。

[0023] 为克服上述技术缺陷,本发明的一个具体的实施方式中,提供一种行波管慢波结构,该慢波结构包括同轴且分开设置的输入侧螺旋线慢波结构和输出侧折叠波导慢波结构,二者之间距离为 $(1/2-3/2)\lambda$, λ 为该行波管工作波长。

[0024] 本发明的另一个实施方式中,提供一种行波管慢波系统,如图1-3所示,该行波管慢波系统包括同轴设置的T型加载的输入侧螺旋线慢波结构10、电子注通道结构20和输出侧折叠波导慢波结构30,电子注通道结构20位于螺旋线慢波结构10和折叠波导慢波结构30之间。如图1、3所示,螺旋线慢波结构10包括管壳11以及通过三根T型夹持杆12加载固定在管壳11上的螺旋线13。折叠波导慢波结构30的电子注通道直径大于等于电子注通道结构20的直径大于等于所述螺旋线慢波结构10的内径,即折叠波导慢波结构30的电子注通道的直径大于或等于电子注通道结构20的直径,电子注通道结构20的直径大于或等于螺旋线慢波结构10的内径。螺旋线慢波结构10的内径即为通过夹持杆12加载固定在管壳11上的螺旋线13的内径。

[0025] 图2为该另一实施方式中的行波管慢波系统的工作原理图。如图2所示,以螺旋线

慢波结构10作为高频慢波系统的输入系统,螺旋线慢波结构10的一端用于接收毫米波信号进入慢波系统,在螺旋线慢波结构10中,电子注与毫米波信号实现基波相速同步,从而产生耦合相互作用使输入的毫米波信号的能量交换给电子注,电子注向行进进入电子注通道结构20,此时电子注能量达到最大,输入的毫米波信号在电子注通道结构20内的能量最小,大量电子在电子注通道结构20内发生群聚现象。电子注继续向行进进入折叠波导慢波结构30。在折叠波导慢波结构中30,电子注与毫米波信号实现基波相速同步作用,由此电子注与衰减后的毫米波信号激励再次发生相互作用的能量交换,最终毫米波信号被放大并被传输出去实现该行波管慢波系统的毫米波输出信号放大功能。本发明的行波管慢波系统将螺旋线慢波结构、折叠波导慢波结构结合起来,使螺旋线慢波结构的高增益、高效率、体积重量小等优势 and 折叠波导结构的功率容量大、易匹配和散热效率高等优势充分互补,在毫米波频段上实现频带更宽,功率更大的微波射频输出;同时克服了现有螺旋线行波管的功率损耗大、散热性能差的缺点。

[0026] 在一种优选的实施方式中,所述螺旋线慢波结构10和折叠波导慢波结构30具有匹配的基频相速。该优选的实施方式可通过对螺旋线慢波结构10和折叠波导慢波结构30的尺寸进行优化从而实现,如图4所示,例如螺旋线慢波结构和折叠波导慢波结构具有匹配的基频相速,从而使得螺旋线慢波结构的色散曲线和折叠波导慢波结构的色散曲线交叉且平坦归一化,进而使得在螺旋线慢波结构和折叠波导慢波结构内,电子注与毫米波基波信号都能实现相速同步,实现电子注与毫米波信号之间的能量互换;同时该优选的实施方式可进一步提高行波管慢波系统的耦合阻抗,使得该优选的实施方式的耦合阻抗能够满足AEHF波功率放大的条件。

[0027] 在一种具体的实施方式中,电子注通道结构20,也即提供的螺旋线慢波结构与折叠波导慢波结构之间的截断,的长度为 $(1/2-3/2)\lambda$, λ 为该行波管工作波长。可理解的是,电子注通道结构20的长度可根据行波管的不同工作波长,进行设计,从而扩大该行波管慢波系统的应用范围;同时,该实施方式可进一步衰减在电子注通道结构中的毫米波信号,有利于进一步提高毫米波信号和电子注之间的相互作用、能量交换的效率;而且,该电子注通道结构的长度范围可确保电子注的群聚,避免电子注由于电子注通道结构的长度过长而导致电子注群聚现象的减弱从而导致影响整个行波管的信号放大的效率;另外,该电子注通道结构的长度可避免电子注通道结构的两端之间的驻波匹配不佳从而导致位于电子注通道结构内的部分毫米波信号反射形成反馈信号,最后形成反射振荡从而导致整个行波管的工作失效的情况。因此,该具体实施方式中的电子注通道结构既可以给毫米波信号提供足够的衰减量使得毫米波信号减弱,同时又不会影响电子注通道结构内的电子注的群聚现象。

[0028] 在进一步的实施方式中,该慢波系统进一步包括输入侧的同轴换能结构40和输出侧的渐变波导换能结构50。如图1-3所示,同轴换能结构40安装在螺旋线慢波结构10的一端,同轴换能结构40用于将毫米波信号引入到螺旋线慢波结构10内;渐变波导换能结构50位于折叠波导慢波结构30的一端,渐变波导换能结构用50于将通过折叠波导慢波结构30放大后的毫米波信号传输出去。

[0029] 在一种优选的实施方式中,该慢波系统进一步包括所述电子注通道结构20分别邻近所述螺旋线慢波结构10和折叠波导慢波结构30处设置的衰减器60。衰减器60可进一步衰减电子注通道结构20内的毫米波信号,同时衰减器可吸收大部分的回波信号,防止毫米波

沿螺旋线慢波结构回馈而产生回波振荡,有助于进一步提高毫米波信号和电子注之间的相互作用、能量交换的效率;另外,衰减器可确保在电子注通道结构的两端加载足够的衰减量使得毫米波的信号减弱,从而防止由于电子注通道结构的两端驻波匹配不佳,部分毫米波信号反射形成反馈信号,最终形成反射振荡导致整个行波管的工作失效;如图1-2所示,进一步地,所述螺旋线慢波结构10的管壳11与所述电子注通道结构20和折叠波导慢波结构30为一体化结构。例如如图1所示,通过采用金属管壳70将螺旋线慢波结构10的管壳11、与电子注通道结构20和折叠波导慢波结构30形成为一体,从而实现一体化。例如将一体形成的管壳11、电子注通道结构20和折叠波导慢波结构沿电子注行进的方向分成两到三部分,通过装配夹持杆和螺旋线并将分割的一体化结构组装为一体,通过焊接得到螺旋线慢波结构、电子注通道结构和折叠波导慢波的一体化结构,从而可有效减小行波管慢波系统的体积,实现慢波系统小型化、紧凑型和一体化的要求。

[0030] 图4为本发明实施方式的行波管慢波系统的色散曲线示意图,其中包括本发明的螺旋线慢波结构和折叠波导慢波结构的色散曲线图,如图4所示,螺旋线慢波结构的色散曲线和折叠波导慢波结构的色散曲线在工作频带内(56.8-60GHz)内进行交叉且带内平坦归一化,相速数值相似,从而可实现螺旋线慢波结构和折叠波导慢波结构的基频相速同步匹配。

[0031] 图5为本发明实施方式的行波管慢波系统的耦合阻抗示意图,其中包括本发明的螺旋线慢波结构的耦合阻抗和折叠波导慢波结构的耦合阻抗示意图,如图5所示,螺旋线慢波结构的耦合阻抗在工作频带内(56.8-60GHz)可达到 $16/0 \cdot \text{hms}$ 以上,折叠波导慢波结构的耦合阻抗在工作频带内(56.8-60GHz)可达到 $5/0 \cdot \text{hms}$ 以上,可满足AEHF波功率放大的条件。

[0032] 图6示出根据本发明实施方式的螺旋线慢波结构的温度分布示意图。如图6所示,本发明的实施方式中的螺旋线慢波结构的输出端的温度分布最高仅为 176.16°C ,输出功率可达142.8W。相比于现有技术中输出功率为30W的螺旋线慢波结构的工作温度最高为 667.2°C ,本发明提供的行波管慢波系统输出的功率更大,工作温度更低。可见,本发明提供的行波管慢波系统的散热能力更强。

[0033] 本发明的另一个实施方式提供一种行波管,如图1-3所示,该行波管包括电子枪80、慢波系统、磁聚焦系统90和收集极100,其中,电子枪80用于向慢波系统发射电子注,慢波系统采用如上所述的行波管慢波系统。另外,磁聚焦系统90用于维持行波管内的电子注形状,同时保持电子注的高流通率,使电子注能够产生群聚现象并进行能量交换。优选地,磁聚焦系统90采用永磁体构成共用的周期永磁聚焦系统分别为螺旋线慢波结构10、折叠波导慢波结构30提供磁聚焦场。通过螺旋线慢波结构和折叠波导慢波结构共用同一个磁聚焦系统,可结合两者优势从而实现EHF波信号放大功能;同时通过共用磁聚焦系统的方式缩小了行波管慢波系统的体积,实现信号放大稳定输出的功能。另外,螺旋线慢波结构10和折叠波导慢波结构30共用使用一个电子枪80和一个收集极100;输入侧输能装置,例如同轴换能结构40,接在螺旋线慢波结构10的一端,使输入信号进入慢波系统,信号通过慢波系统发生电子注-微波相互作用,使信号功率放大后再经输出侧输能装置输出,输出侧输能装置例如为渐变波导换能结构50,剩余失去能量的电子注将通过折叠波导慢波结构30的电子通道出口进入收集极100进行回收,收集极100可以将电子注剩余能量进行回收。该实施方式通过将

不同的慢波结构通过共用电子枪、收集极和输能装置集成一套联动系统,可满足行波管放大器件小型化、紧凑型和一体化要求,同时实现大功率的输出。优选地,该行波管的工作频段为30~150GHz。优选地,为60GHz附近的工作频段内。因为在60GHz附近的工作频段内,螺旋线慢波结构的工作电压合适且耦合阻抗相对折叠波导结构较高,具有高增益、高效率、体积重量小等优点;而折叠波导慢波结构具有简单易加工成型,功率容量大且易匹配等优点,通过该优选实施方式的优化,可使得两种不同结构的慢波系统具有匹配的基频相速,结合两者优势可以在60GHz附近的工作频段内实现EHF波信号放大功能,

[0034] 本发明的另一个实施方式提供一种行波管慢波结构的设计方法,该行波管慢波结构包括同轴且分开设置的输入侧螺旋线慢波结构和输出侧折叠波导慢波结构,其中设计所述螺旋线慢波结构和折叠波导慢波结构以使二者具有匹配的基频相速。

[0035] 在下述的描述中,出于说明的目的,为了提供对一个或者多个实施方式的全面理解,阐述了许多具体细节。然而,很明显,也可以在没有这些具体细节的情况下实现这些实施方式。

[0036] 显然,本发明的上述实施例仅仅是为清楚地说明本发明所作的举例,而并非是对本发明的实施方式的限定,对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动,这里无法对所有的实施方式予以穷举,凡是属于本发明的技术方案所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明的保护范围之列。

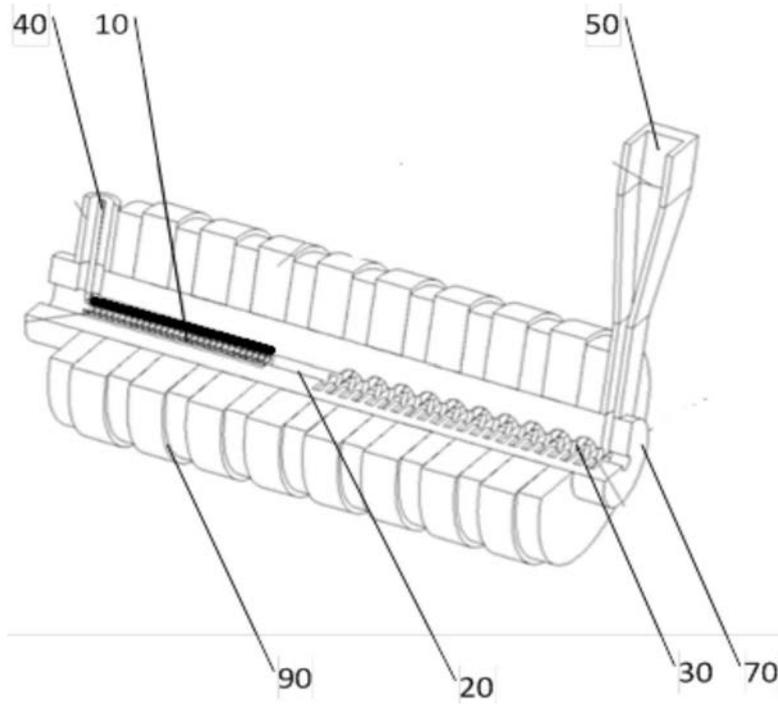


图1

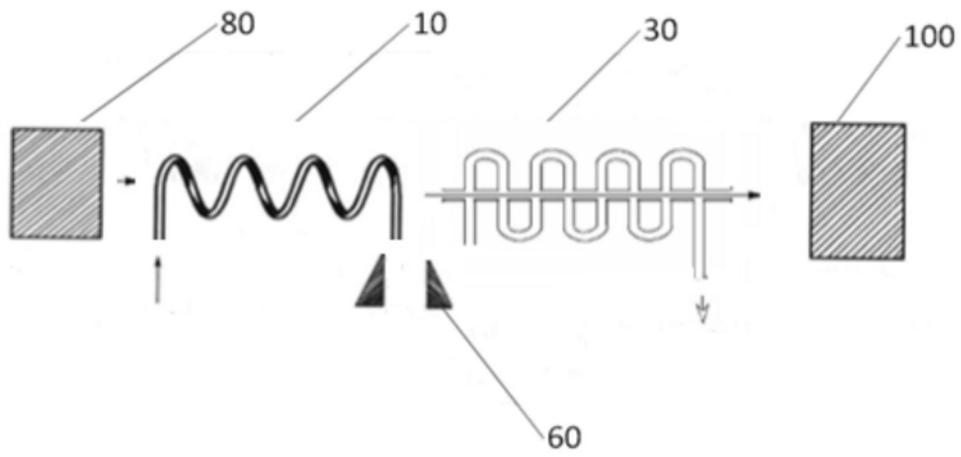


图2

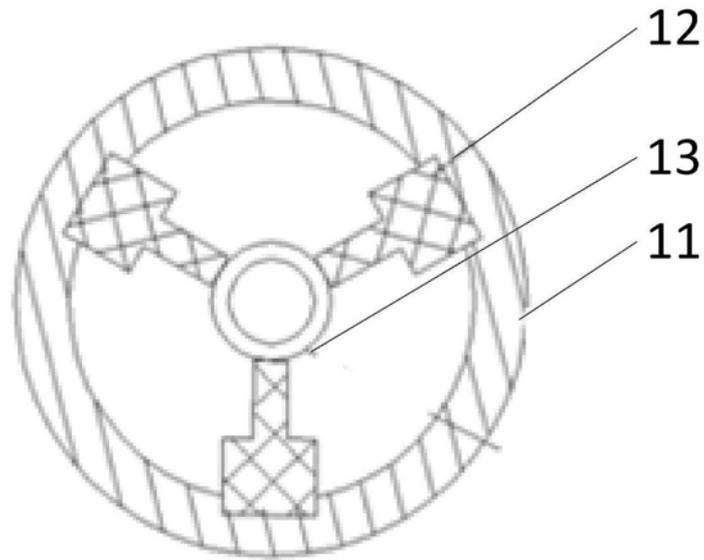


图3

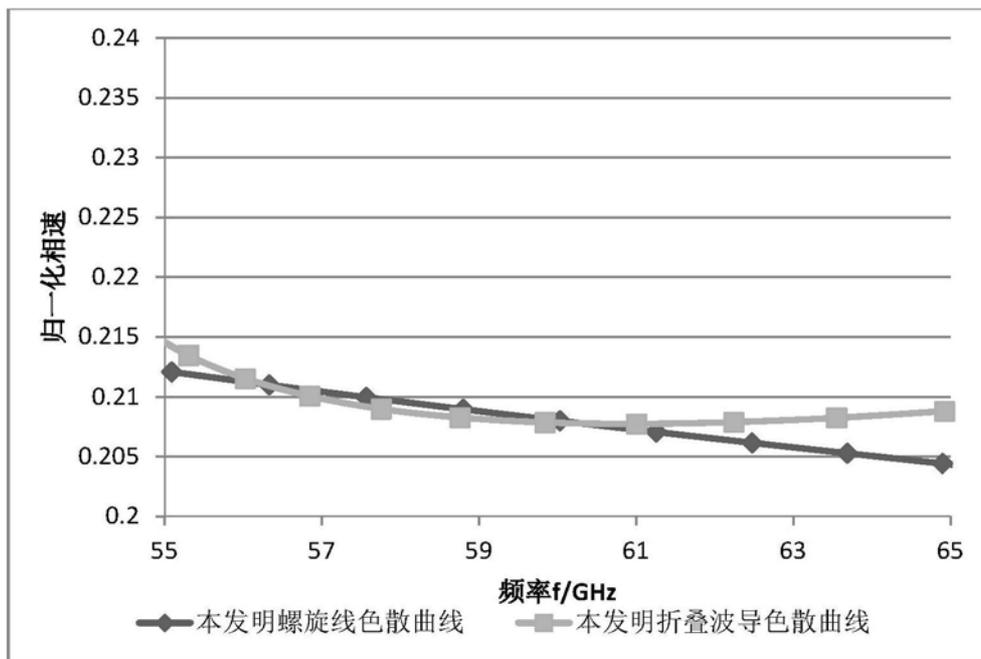


图4

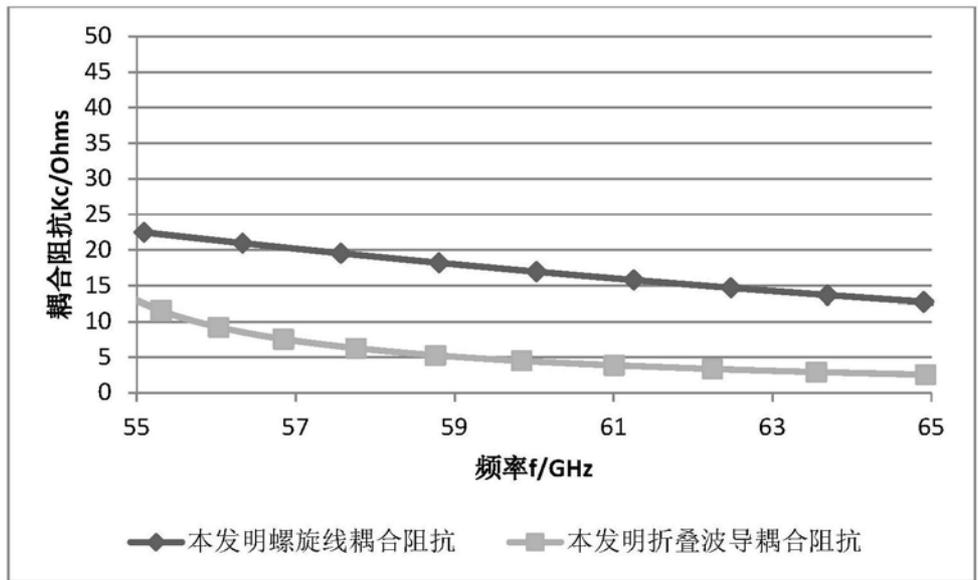


图5

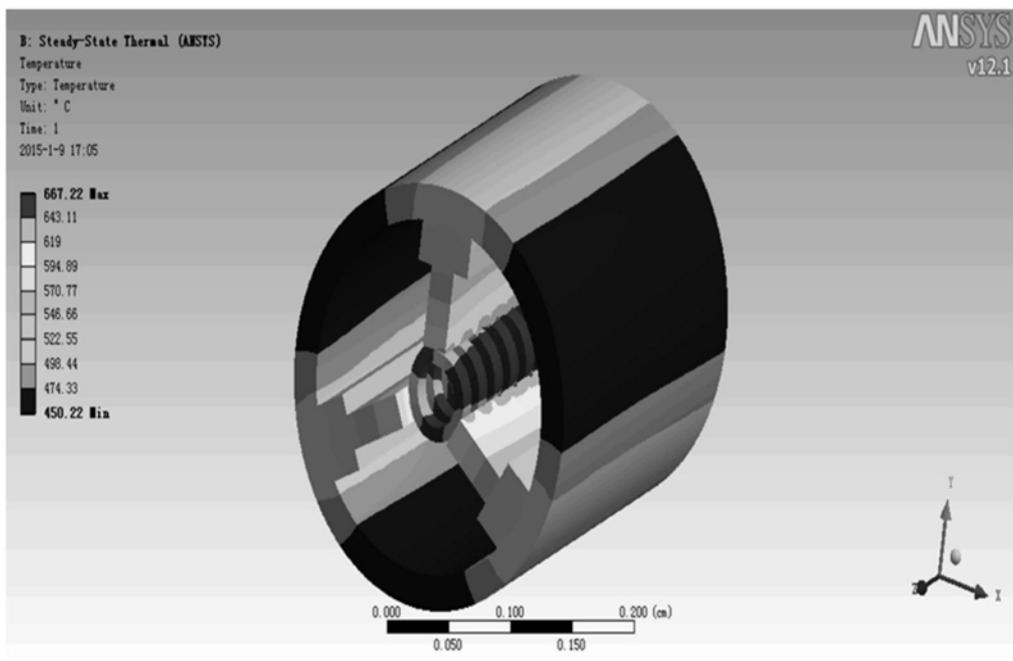


图6