

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102655068 A

(43) 申请公布日 2012. 09. 05

(21) 申请号 201110050042. 2

(22) 申请日 2011. 03. 02

(71) 申请人 中国科学院电子学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路 19 号

(72) 发明人 王自成 刘青伦 李海强 徐安玉  
刘韦 黄明光 郝保良

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021

代理人 周国城

(51) Int. Cl.

H01J 9/00 (2006. 01)

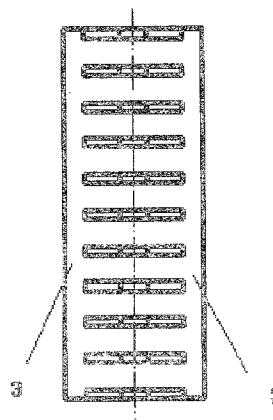
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种双排矩形梳状慢波结构的制造方法

(57) 摘要

本发明公开了一种双排矩形梳状慢波结构的制造方法,涉及真空电子器件技术,其包括步骤:A) 依据要求制造上矩形梳结构、下矩形梳结构和管壳,备用;B) 把下矩形梳结构由上开口挤塞进入管壳内;C) 再把上矩形梳结构由上开口挤塞进入管壳内;D) 使上、下矩形梳结构与管壳内壁紧贴;E) 将上、下矩形梳结构的上下端面与管壳的上下端固接,得所需的双排矩形梳状慢波结构。本发明制造的双排矩形梳状慢波结构可用于微波、毫米波、亚毫米波乃至 THz 行波管、返波管和分布作用速调管 (EIK) 等。



1. 一种双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其特征在于,包括步骤:
  - A) 依据要求制造上矩形梳结构、下矩形梳结构和管壳,备用;
  - B) 把下矩形梳结构由下开口挤塞进入管壳内;
  - C) 再把上矩形梳结构由上开口挤塞进入管壳内;
  - D) 使上、下矩形梳结构与管壳内壁紧贴连;
  - E) 将上、下矩形梳结构的上下端面与管壳的上下端固接,得所需的双排矩形梳状慢波结构。
2. 如权利要求 1 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其特征在于,所述上矩形梳结构和下矩形梳结构的齿间距相同,但梳齿厚度不同,梳齿位置交错或对齐,在长方形板一侧设有多个垂直于板面的矩形梳齿,多个矩形梳齿相互间平行,每一矩形梳齿外端中部有一半圆形缺口,多个半圆形缺口在轴向上共圆心;  
每个矩形梳齿长方向上两端,距长方形板侧缘各有一距离,该距离为定位边沿。
3. 如权利要求 1 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其特征在于,所述管壳,为上下开口的圆管,其中心通孔横截面呈工字型,与上、下矩形梳结构矩形梳齿相对设置时构成的工字型相适配,其中,与定位边沿相适配的四个轴向槽为定位槽。
4. 如权利要求 1 或 2 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其特征在于,所述 A) 步,是用慢速走丝的电加工方法制造上、下矩形梳结构。
5. 如权利要求 1 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其特征在于,所述 B) 步,是将下矩形梳结构的两定位边沿由管壳中心通孔左侧或右侧的两定位槽,轴向挤入管壳内,其多个矩形梳齿朝向圆心。
6. 如权利要求 1 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其特征在于,所述 C) 步,是将上矩形梳结构的两定位边沿由管壳中心通孔剩下的一侧的两定位槽,轴向挤入管壳内,其多个矩形梳齿朝向圆心;  
此时,上、下矩形梳结构的多个半圆形缺口,在圆心位置轴向构成一圆形通道;上、下矩形梳结构的矩形梳齿轴向相对交叉设置,或对齐设置。
7. 如权利要求 1 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其特征在于,所述 D) 步,是上、下矩形梳结构与管壳内壁紧贴连时,上、下矩形梳结构上下端与管壳上下端平齐。
8. 如权利要求 1 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其特征在于,所述 E) 步,是以激光焊接方法固接。
9. 如权利要求 2 或 3 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其特征在于,所述上、下矩形梳结构的定位边沿与管壳的定位槽间相契合,是滑配或紧滑配。
10. 如权利要求 1 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其特征在于,制造的矩形梳状慢波结构用于微波、毫米波、亚毫米波乃至 THz 行波管、返波管和分布作用速调管。

## 一种双排矩形梳状慢波结构的制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及真空电子器件技术领域，是一种双排矩形梳状慢波结构的制造方法。

### 背景技术

[0002] 微波真空器件自 20 世纪 40 年代发明以来，经历了 60 多年的发展历程，目前已在雷达、通信、电子对抗、制导和航空等技术中有着重要的应用。尽管 20 世纪 70 年代以来，半导体器件逐步取代了小功率的微波真空器件，但真空器件在大功率、高频率情况下仍然占有绝对的优势，即使采用功率合成技术，半导体器件在相当长的时期内其输出功率也无法与真空器件相竞争。而现代军事战争的技术需要更是要求功率器件向大功率、宽频带、高效率 and 可靠性的方向发展，这种需求为真空器件提供了良好的发展环境。正是由于真空器件在大功率、宽频带等方面的优势，目前军事上用于通讯以及电子对抗的信号源大多采用了这一类器件。微波管（包括行波管、速调管、磁控管和回旋管等）在大功率、高频率的应用中仍然占有绝对的优势。

[0003] 近年来，真空电子器件继续向大功率和高频段方向发展，目前已经研制成功 W 波段以下毫米波行波管，并且国外开展了基于折叠波导的 THz 行波管的研究。此外，目前已经研制出直到 1THz 的返波管，但功率较小，目前国内外正在展开提高返波管功率的研究。这些研究表明，真空电子器件还是 THz 领域的有力竞争者之一。而人们对 THz 领域的研究在国内外都引起了极高的热情。2004 年，美国技术评论 (Technology Review) 评选“改变未来世界十大技术”时，将 THz 技术作为其中的紧迫技术之一。2005 年元月，日本政府把 THz 相关技术确立为今后十年“国家支柱技术十大战略目标”之首，并列入日本政府的 2006-2010 第三期科学技术基本计划给予支持。在中国大陆，2005 年专门召开过“香山科学会议”，对我国 THz 技术的发展进行了研讨。此后在 973 计划中曾经列项给予了支持。目前，世界上已经有 100 多个研究组织开展了 THz 电磁波相关领域研究，涉及美国、日本、德国、澳大利亚、韩国、中国台湾和中国大陆等。

[0004] 行波管和返波管是两种传统的真空电子器件，目前已经发展出了毫米波行波管和亚毫米波行波管，并且已经研制出直到 1THz 的返波管。行波管和返波管的核心部件都是慢波结构。为了说明这一点，可以用行波管的典型结构进行说明。行波管结构上主要由五部分组成，如图 5 所示。

[0005] (1) 电子枪。它的主要作用是产生参数形状和电流满足整管要求的电子注，并把电子注加速到比在慢波结构上进行的电磁波的相速稍微快一些，以便和电磁场交换能量实现放大。

[0006] (2) 慢波结构。由特定慢波结构使空间电磁波的相速变慢，和电子注的运动速度同步，才能使电子注和电磁波充分交换能量，电磁波能量增强从而放大信号。

[0007] (3) 磁聚焦系统。它的作用是用外加电磁力来约束电子注因空间电荷力而产生的横向扩散，以得到一个性能优良传输稳定的电子注，实现与高频电磁场的有效相互作用和能量交换，达到放大信号的目的。

[0008] (4) 收集极。它用来收集已经和电磁波交换能量之后的无用电子。提高电子效率以及热耗散问题是收集极设计中要解决的问题。

[0009] (5) 输入输出耦合装置。这是行波管信号的入口和出口。其主要作用是实现外馈线和慢波线之间的无反射过渡连接。计算输入输出端口阻抗匹配和减小损耗问题是这一部分要解决的问题。

[0010] 上述部件中处于核心地位的就是慢波结构。目前已经得到广泛应用的慢波结构有螺旋线慢波系统及其变形结构；梳齿形慢波系统及其变形结构；杆线形慢波系统；耦合腔形慢波系统等等。这些慢波电路在不同的工作频段和应用场合各有其优缺点。

[0011] 螺旋线的色散特性平坦，工作频带宽，而且电路结构简单，容易制造，在行波管中得到了广泛应用。但螺旋线行波管的输出功率受到限制，特别是当行波管工作于和毫米波段时，由于螺旋线横向尺寸极小，散热困难，功率容量小。

[0012] 耦合腔是目前大功率行波管中应用得最多的慢波结构，基本特点是散热性能好，功率容量大。但由于耦合腔电路的色散很强，且边频处耦合阻抗很高，易产生带边振荡，故工作频带较窄，一般只有 10%。毫米波耦合腔行波管零件尺寸很小，加工、装配精度要求高，成品率低，成本高。

[0013] 环杆结构是由反绕双螺旋线派生出来的一种慢波结构，其最大特点是基波耦合阻抗高，谐波耦合阻抗低，因此环杆结构行波管可工作于较高的电压（20kv 左右），大大提高了脉冲输出功率的电平。但环杆结构的色散比螺旋线强得多，在工作频带要求不是很宽而脉冲功率要求较大时，往往仍采用环杆结构。

[0014] 环圈结构是由环杆结构演变而来，它是用弧形或  $\pi$  形圈代替环杆结构中的杆，并增大环截面上的宽度。由于圈具有储能作用，环圈的纵向场比螺旋线强，耦合阻抗高，因此环圈行波管的增益和效率较高；其次，环圈工作在对称模时，谐波分量大大低于螺旋线，-1 次谐波几乎为零，不会产生返波振荡；另外环圈行波管的尺寸可以做得较小，相位特性好，输出功率大，在工作频带要求不是很宽的情况下，环圈行波管颇受青睐。

[0015] 梯形线是一种适合于短毫米波段大功率行波管的慢波电路，在结构上可看成是没有突出节的耦合腔结构，虽然耦合阻抗不高，互作用效率和增益不如耦合腔，但它特有的工艺结构，使得它特别适用于 W 波段工作，Varian 公司研制的 Millitron，工作频率为 80-100GHz，连续波功率 100W。

[0016] 从以上讨论可看出，在短厘米和毫米波段，螺旋线能满足宽带的要求，但功率容量不够。耦合腔很适合于大功率应用，但不能满足宽带的要求。其他慢波结构也不能满足宽带大功率的要求，解决毫米波行波管的宽带大功率问题。总体上各种结构各有优劣。

[0017] 梳形线慢波结构虽然耦合阻抗不太高，但与其他慢波结构相比尺寸较大，结构相对简单，加工精度比较容易达到，散热性能好，而且这种结构及其变形结构可用于整个毫米波段，甚至亚毫米波段行波管中。因此，梳形线在毫米波段有着重要的应用前景。但是目前并没有利用梳形线慢波结构研制成功行波管或返波管的相关报道。

## 发明内容

[0018] 本发明的目的是公开一种双排矩形梳状慢波结构的制造方法，制造的梳状慢波结构可用于行波管或返波管。

- [0019] 为达到上述目的,本发明的技术解决方案是:
- [0020] 一种双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其包括步骤:
- [0021] A) 依据要求制造上矩形梳结构、下矩形梳结构和管壳,备用;
- [0022] B) 把下矩形梳结构由下开口挤塞进入管壳内;
- [0023] C) 再把上矩形梳结构由上开口挤塞进入管壳内;
- [0024] D) 使上、下矩形梳结构与管壳内壁紧贴连;
- [0025] E) 将上、下矩形梳结构的上下端面与管壳的上下端固接,得所需的双排矩形梳状慢波结构。
- [0026] 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其所述上矩形梳结构和下矩形梳结构的齿间距相同,但梳齿厚度不同,梳齿位置交错或对齐,在长方形板一侧设有多个垂直于板面的矩形梳齿,多个矩形梳齿相互间平行,每一矩形梳齿外端中部有一半圆形缺口,多个半圆形缺口在轴向上共圆心;
- [0027] 每个矩形梳齿长方向上两端,距长方形板侧缘各有一距离,该距离为定位边沿。
- [0028] 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其所述管壳,为上下开口的圆管,其中心通孔横截面呈工字型,与上、下矩形梳结构矩形梳齿相对设置时构成的工字型相适配,其中,与定位边沿相适配的四个轴向槽为定位槽。
- [0029] 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其所述 A) 步,是用慢速走丝的电加工方法制造上、下矩形梳结构。
- [0030] 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其所述 B) 步,是将下矩形梳结构的两定位边沿由管壳中心通孔左侧或右侧的两定位槽,轴向挤入管壳内,其多个矩形梳齿朝向圆心。
- [0031] 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其所述 C) 步,是将上矩形梳结构的两定位边沿由管壳中心通孔剩下的一侧的两定位槽,轴向挤入管壳内,其多个矩形梳齿朝向圆心;
- [0032] 此时,上、下矩形梳结构的多个半圆形缺口,在圆心位置轴向构成一圆形通道;上、下矩形梳结构的矩形梳齿轴向相对交叉设置,或对齐设置。
- [0033] 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其所述 D) 步,是上、下矩形梳结构与管壳内壁紧贴连时,上、下矩形梳结构上下端与管壳上下端平齐。
- [0034] 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其所述 E) 步,是以激光焊接方法固接。
- [0035] 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其所述上、下矩形梳结构的定位边沿与管壳的定位槽间相契合,是滑配或紧滑配。
- [0036] 所述的双排矩形梳状慢波结构的制造方法,其制造的矩形梳状慢波结构用于微波、毫米波、亚毫米波乃至 THz 行波管、返波管和分布作用速调管 (EIK)。
- [0037] 本发明的一种双排矩形梳状慢波结构的制造方法,制造的行波管或返波管用双排矩形梳状慢波结构,尤其适宜于研制亚毫米波、THz 行波管或返波管的需要。

#### 附图说明

- [0038] 图 1 为本发明一种双排矩形梳状慢波结构的制造方法中的上矩形梳结构示意图;



作时,上矩形梳结构和下矩形梳结构各自的定位边沿分别与管壳的相应定位槽相契合,并沿着各自的定位槽被完全挤塞到管壳内。所述上矩形梳结构和下矩形梳结构的定位边沿与管壳的定位槽之间的尺寸配合可以是滑配或紧滑配。挤塞操作中,可以用适当的设备把管壳加热到  $700^{\circ}\text{C}$  - $900^{\circ}\text{C}$ ,即采用所谓“热挤压”工艺,这样可以使操作较为顺利。

[0063] (5) 挤塞操作完成后,可以在所形成的慢波结构的两个端面(如图 4(b)),用激光焊接方法把上矩形梳结构、下矩形梳结构与管壳进一步焊接起来。

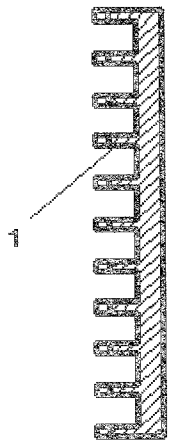


图 1a

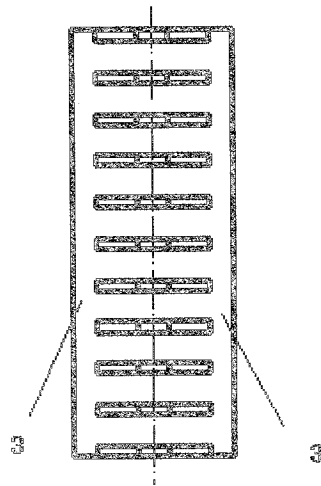


图 1b

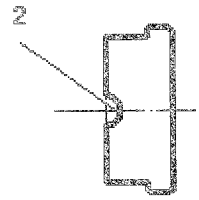


图 1c

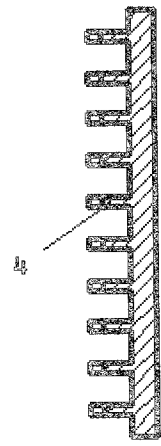


图 2a

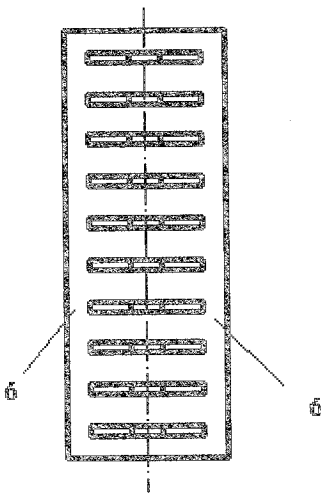


图 2b

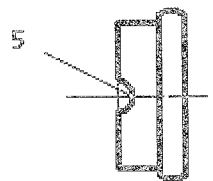


图 2c

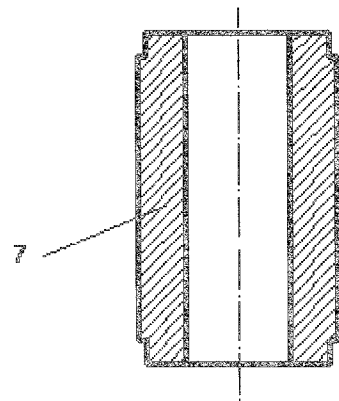


图 3a

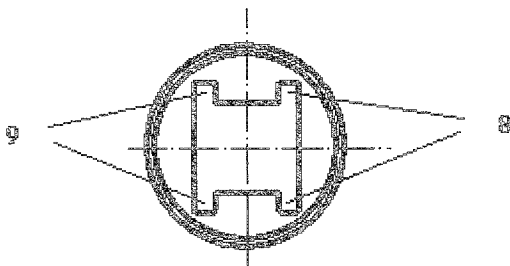


图 3b

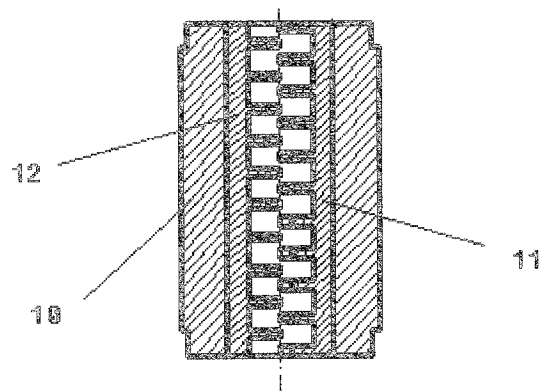


图 4a



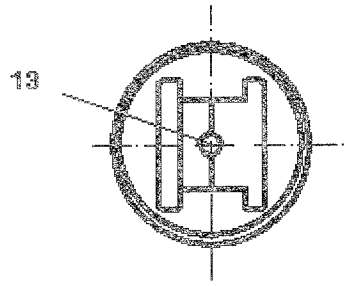


图 4b