



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103236389 B

(45) 授权公告日 2015. 10. 07

(21) 申请号 201310114698. 5

CN 201877392 U, 2011. 06. 22, 说明书第  
0023-0030 段, 说明书附图 1-2.

(22) 申请日 2013. 04. 03

审查员 陈刚

(73) 专利权人 西南应用磁学研究所

地址 621000 四川省绵阳市高新区滨河北路  
西段 268 号

(72) 发明人 王林梅 张明 王敬东 李汴  
王磊 袁涛 邹杨 徐亮

(74) 专利代理机构 深圳市科吉华烽知识产权事  
务所(普通合伙) 44248

代理人 胡吉科

(51) Int. Cl.

H01J 23/087(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 201893314 U, 2011. 07. 06, 说明书附图  
1.

CN 203325830 U, 2013. 12. 04, 1-5.

US 4137482, 1979. 01. 30, 全文.

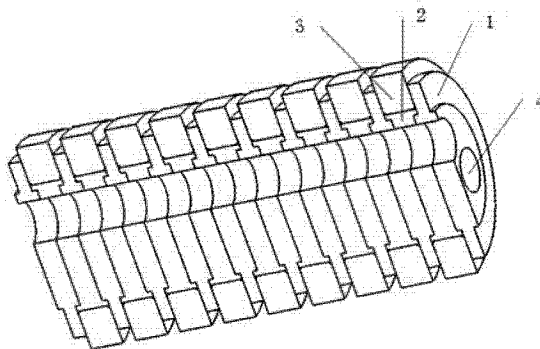
权利要求书1页 说明书4页 附图6页

(54) 发明名称

周期永磁结构

(57) 摘要

本发明公开了一种周期永磁结构,属于微波真空电子器件领域,其包括极靴(1)、定位环(2)、永磁磁环(3)和电子注通道(4),所述极靴(1)、定位环(2)以及永磁磁环(3)按周期性排列形成一种周期永磁结构。本发明的有益效果是:本发明基于螺旋线行波管小型化目的,所述周期永磁结构的优点是径向磁通密度峰值  $B_{r0}$  与轴向磁通密度峰值  $B_{z0}$  之比可做到优于1%。该周期永磁结构的性能优异,且有利于微波真空电子器件的小型化,具有很强的实用价值。



1. 一种周期永磁结构,包括极靴(1)、定位环(2)、永磁磁环(3)和电子注通道(4),其特征在于:所述极靴(1)为圆盘形,所述极靴(1)设有上下对称的台阶,在极靴(1)台阶上设置有电子注通道(4),所述电子注通道(4)沿极靴(1)中心旋转对称;所述定位环(2)上设有与所述极靴(1)相同的电子注通道(4),所述定位环(2)上有凹槽,所述凹槽内径与极靴(1)台阶外径配合,用于极靴(1)和永磁磁环(3)的定位;所述极靴(1)、定位环(2)以及永磁磁环(3)按周期性排列形成周期永磁结构;每个所述电子注通道(4)中心轴线上的的径向磁通密度峰值  $BR_0$  与轴向磁通密度峰值  $BZ_0$  之比,随电子注通道(4)直径、电子注通道(4)数量以及电子注通道(4)中心轴线与周期永磁结构中心轴线之间的距离增加而增大。

2. 根据权利要求1所述的周期永磁结构,其特征在于:所述电子注通道(4)为柱形通孔,所述柱形通孔为圆柱形。

3. 根据权利要求1所述的周期永磁结构,其特征在于:所述电子注通道(4)的通孔数量不小于3个,该通孔直径不小于2mm。

4. 根据权利要求1所述的周期永磁结构,其特征在于:每个所述电子注通道(4)中心轴线上的轴向磁通密度的方向与电子注通道(4)中心轴线平行,其峰值的位置处于每个所述电子注通道的中心轴线与所述永磁磁环(3)的厚度中心线的交点;每个所述电子注通道(4)中心轴线上的径向磁通密度方向指向周期永磁结构的中心轴线,径向磁通密度峰值位置处于每个所述电子注通道(4)的中心轴线与所述极靴(1)厚度中心线的交点。

5. 根据权利要求1所述的周期永磁结构,其特征在于:所述极靴(1)为软磁合金材料,所述永磁磁环(3)为与软磁合金材料相匹配的永磁材料。

6. 根据权利要求1所述的周期永磁结构,其特征在于:所述电子注通道(4)为三个圆形通孔时,每个所述电子注通道(4)中心轴线上的径向磁通密度峰值  $BR_0$  与轴向磁通密度峰值  $BZ_0$  之比优于1%;所述电子注通道(4)为四个圆形通孔时,每个所述电子注通道(4)中心轴线上的径向磁通密度峰值  $BR_0$  与轴向磁通密度峰值  $BZ_0$  之比优于1.5%;所述电子注通道(4)为五个圆形通孔时,每个所述电子注通道(4)中心轴线上的径向磁通密度峰值  $BR_0$  与轴向磁通密度峰值  $BZ_0$  之比优于2%。

7. 根据权利要求1所述的周期永磁结构,其特征在于:所述电子注通道(4)为七个圆柱形通孔,分布在内外两个同心圆上;所述定位环(2)与极靴(1)的七个圆柱形通孔为双层结构,分布在内外两个同心圆上,内层电子注通道(4)中心轴线上的径向磁通密度理论上为0,外层电子注通道(4)中心轴线上的径向磁通密度峰值  $BR_0$  与轴向磁通密度峰值  $BZ_0$  之比优于3%。

## 周期永磁结构

### 技术领域

[0001] 本发明属于微波真空电子器件领域,具体涉及到用于螺旋线行波管的一种周期永磁结构,通常称周期永磁聚焦系统,或称行波管永磁组件。

### 背景技术

[0002] 微波真空电子器件是国防装备的一类重要电子器件,是雷达、通信、电子对抗,遥测遥控和精密制导设备的核心。它利用电子在真空中与电磁场发生相互作用,将电子的直流能量转换为另一种形式的微波能量。行波管作为微波真空功率放大器件,具有频带宽、增益大、效率高、输出功率大等优点,在各类军用微波发射机中有着广泛的应用。随着固态微波放大器的竞争越来越激烈,对小型化的行波管需求越来越大。

[0003] 为了使行波管小型化,受到多注速调管的启发,人们将多电子注技术和行波管技术相结合,研制出了多电子注行波管。多电子注行波管中需要用一套磁系统来同时聚焦多个电子注。目前应用于多注行波管的磁聚焦方式主要是均匀场永磁聚焦和周期永磁聚焦。均匀场永磁聚焦的缺点是:为了使电子注获得良好的通过率,通常设计慢波系统的长度与永磁聚焦系统内径大致相等,这导致永磁聚焦系统体积增大,不利于行波管的小型化。周期永磁聚焦目前多用在多注耦合腔行波管,其主要问题是,极靴上的腰形槽对各个电子注通道的磁通密度分布不一样,对各个电子注的影响也不一样,导致电子注通道中心径向磁通密度增加时电子注的通过率降低。

[0004] 在专利 CN201210122202 一种集成行波管放大器中,提到集成行波管放大器的结构及组合方式,并说明其电子注聚焦方式是在同一个系统中提供多个并列的电子注的磁聚焦。但该专利并未对磁聚焦系统结构进行详细说明。

### 发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是,提供一种周期永磁结构,其特点是体积小,使处于电子注通道的磁通密度径向分量低,且易于加工,适合用于多注螺旋线行波管的电子注聚焦。

[0006] 本发明解决技术问题的技术方案如下:

[0007] 设计、制造一种周期永磁结构,包括极靴、定位环和永磁磁环;所述极靴、定位环以及永磁磁环按周期性排列形成周期永磁结构。所述极靴为圆盘形,在所述圆盘形极靴上设有上下对称的台阶,所述台阶上设有柱形孔,作为电子注通道,所述电子注通道沿所述极靴的中心旋转对称;所述定位环上设有与所述极靴相同的电子注通道,所述定位环上设有对所述极靴和所述永磁磁环进行定位的凹槽结构。

[0008] 本发明的所述电子注通道为圆柱形通孔。

[0009] 本发明的所述电子注通道的数量不小于 3 个,按中心旋转对称分布,每个电子注通道的直径不小于 2mm。

[0010] 本发明的每个所述电子注通道中心轴线上的轴向磁通密度的方向与电子注通道

中心轴线平行,其峰值的位置处于每个所述电子注通道的中心轴线与所述永磁磁环的厚度中心线的交点;每个所述电子注通道中心轴线上的径向磁通密度方向指向周期永磁结构的中心轴线,径向磁通密度峰值位置处于每个所述电子注通道的中心轴线与所述极靴厚度中心线的交点。

[0011] 本发明的每个所述电子注通道中心轴线上的的径向磁通密度峰值  $B_{r0}$ 与轴向磁通密度峰值  $B_{z0}$ 之比,随电子注通道直径、电子注通道数量以及电子注通道中心轴线与周期永磁结构中心轴线之间的距离增加而增大。

[0012] 本发明的所述极靴为软磁合金材料,如 Q235(GB/T700-2006)、DT4 系列(GB/T6983-2008)、1J22(GB/T14968-2008)等,所述永磁磁环为与软磁合金材料相匹配的永磁材料,如稀土钴永磁材料(GB/T4180)、钕铁硼永磁材料(GB/T13560)等。

[0013] 本发明的所述电子注通道为三个圆形通孔时,电子注通道中心轴线上的的径向磁通密度峰值  $B_{r0}$ 与轴向磁通密度峰值  $B_{z0}$ 之比优于 1%;所述电子注通道为四个圆形通孔时,电子注通道中心轴线上的径向磁通密度峰值  $B_{r0}$ 与轴向磁通密度峰值  $B_{z0}$ 之比优于 1.5%;所述电子注通道为五个圆形通孔时,电子注通道中心轴线上的的径向磁通密度峰值  $B_{r0}$ 与轴向磁通密度峰值  $B_{z0}$ 之比优于 2%。

[0014] 本发明的所述电子注通道(4)为七个圆柱形通孔,分布在内外两个同心圆上;所述定位环(2)与极靴(1)的七个圆柱形通孔为双层结构,分布在内外两个同心圆上,内层电子注通道(4)中心轴线上的径向磁通密度理论上为 0,外层电子注通道(4)中心轴线上的径向磁通密度峰值  $B_{r0}$ 与轴向磁通密度峰值  $B_{z0}$ 之比优于 3%。

[0015] 本发明的有益效果是:基于螺旋线行波管小型化目的,在同一个永磁结构下,可对多个电子注聚焦,在相同体积下实现对永磁材料性能的最大化利用;所述周期永磁结构的优点是径向磁通密度峰值  $B_{r0}$ 与轴向磁通密度峰值  $B_{z0}$ 之比可做到优于 1%。该周期永磁结构的性能优异,且有利于微波真空电子器件的小型化,具有很强的实用价值。

## 附图说明

[0016] 图 1 为本发明实施例 1 的三个电子注通道的周期永磁结构图;

[0017] 图 2 为本发明实施例 1 的极靴的结构图;

[0018] 图 3 为本发明实施例 1 的定位环的结构图;

[0019] 图 4 为本发明实施例 1 的电子注通道的中心轴线上磁通密度分布图,  $B_r$ 为径向磁通密度,  $B_z$ 为轴向磁通密度;

[0020] 图 5 为本发明实施例 2 的四个电子注通道的周期永磁结构图;

[0021] 图 6 为本发明实施例 2 的电子注通道中心轴线上的磁通密度分布图,  $B_r$ 为径向磁通密度,  $B_z$ 为轴向磁通密度;

[0022] 图 7 为本发明实施例 3 的五个电子注通道的周期永磁结构图;

[0023] 图 8 为本发明实施例 3 的电子注通道中心轴线上的磁通密度分布图,  $B_r$ 为径向磁通密度,  $B_z/100$ 为轴向磁通密度的百分之一;

[0024] 图 9 为本发明实施例 4 的两层七个电子注通道的周期永磁结构图;

[0025] 图 10 为本发明实施例 4 的内层电子注通道中心轴线上的磁通密度分布图,  $B_r$ 为径向磁通密度,  $B_z/100$ 为轴向磁通密度的百分之一;

[0026] 图 11 为本发明实施例 4 的外层电子注通道中心轴线的上磁通密度分布图,  $B_r$  为径向磁通密度,  $B_z/100$  为轴向磁通密度的百分之一。

### 具体实施方式

[0027] 下面结合附图和具体实例对本发明加以详细说明。

[0028] 一种周期永磁结构, 如图 1 所示, 包括极靴 (1)、定位环 (2)、永磁磁环 (3) 和电子注通道 (4)。所述极靴 (1)、定位环 (2) 以及永磁磁环 (3) 按周期排列形成周期永磁结构; 所述极靴 (1) 为圆盘形, 所述极靴 (1) 设有上下对称的台阶, 所述极靴 (1) 的台阶上设有柱形通孔, 作为电子注通道 (4); 所述电子注通道 (4) 沿所述极靴 (1) 的中心旋转对称; 所述定位环 (2) 上设有与所述极靴 (1) 相同的电子注通道, 所述定位环 (2) 上设有对所述极靴 (1) 和所述永磁磁环 (3) 进行定位的凹槽结构。

[0029] 所述电子注通道 (4) 为柱形通孔, 其方案之一为圆柱形通孔。

[0030] 所述电子注通道 (4) 的数量不小于 3 个, 每个电子注通道的直径不小于 2mm。

[0031] 每个所述电子注通道 (4) 中心轴线上的轴向磁通密度的方向与电子注通道中心轴线平行, 其峰值的位置处于每个所述电子注通道 (4) 的中心轴线与所述永磁磁环的厚度中心线的交点; 每个所述电子注通道 (4) 中心轴线上的径向磁通密度方向指向周期永磁结构的中心轴线, 径向磁通密度峰值位置处于每个所述电子注通道 (4) 的中心轴线与所述极靴厚度中心线的交点。

[0032] 每个所述电子注通道 (4) 中心轴线上的的径向磁通密度峰值  $B_{r0}$  与轴向磁通密度峰值  $B_{z0}$  之比, 随电子注通道 (4) 直径、电子注通道 (4) 数量以及电子注通道 (4) 中心轴线与周期永磁结构中心轴线之间的距离增加而增大。

[0033] 所述极靴 (1) 为软磁合金材料, 所述永磁磁环 (3) 为与软磁合金材料相匹配的永磁材料。所述极靴 (1) 为软磁合金材料, 如 Q235 (GB/T700-2006)、DT4 系列 (GB/T6983-2008)、1J22 (GB/T14968-2008) 等, 所述永磁磁环 (3) 为与软磁合金材料相匹配的永磁材料, 如稀土钴永磁材料 (GB/T4180)、钕铁硼永磁材料 (GB/T13560) 等。

[0034] 为了同时满足周期永磁结构的磁性能和温度稳定性的要求, 本发明实例 1~4 的永磁磁环 (3) 所用材料均为稀土钴永磁材料, 但不排除使用其他永磁材料。

[0035] 为了降低各电子注通道 (4) 的径向磁通密度, 本发明实例 1~4 的极靴 (1) 采用高饱和磁通密度的电磁纯铁 DT4 (GB/T6983-2008), 但不排除使用其它软磁合金材料。

[0036] 该周期永磁结构的具体设计步骤如下:

[0037] a. 根据行波管的电子注参数和高频系统要求确定周期永磁结构的周期和轴向磁通密度峰值要求;

[0038] b. 根据高频系统或管壳尺寸确定电子注通道直径和电子注通道数量;

[0039] c. 根据永磁材料性能来分配极靴和永磁磁环的厚度, 前提条件是极靴不能饱和, 即通过极靴的磁通密度应不大于其饱和磁通密度;

[0040] d. 初步设计电子注通道距周期永磁结构中心的距离、以及极靴台阶的外径和永磁磁环的内径;

[0041] e. 通过仿真计算, 根据轴向磁通密度峰值要求来确定永磁磁环的外径、极靴外径和极靴台阶高度;

[0042] f. 通过仿真计算,对周期永磁结构的各组成件的尺寸进行优化,目标是径向磁通密度尽量低。

[0043] g. 根据极靴和永磁磁环尺寸确定定位环的尺寸。

[0044] 实施例 1:图 1 是三个电子注通道的周期永磁结构。图 2 是极靴(1)的结构。图 3 是定位环(2)的结构。本实施例的电子注通道直径为 2.2mm,周期永磁结构的周期为 5.6mm,电子注通道的轴向磁通密度峰值为 218mT,径向磁通密度峰值与轴向磁通密度峰值之比为 0.52%。图 4 是本实例电子注通道在中心轴线上的磁通密度分布图,在图 4 中, $B_r$ 为径向磁通密度, $B_z/100$ 为轴向磁通密度的百分之一。

[0045] 实施例 2:图 5 是四个电子注通道的周期永磁结构,本实施例的电子注通道直径为 2.2mm,周期永磁结构的周期为 5.6mm,电子注通道的轴向峰值磁通密度为 218mT,径向磁通密度峰值与轴向磁通密度峰值之比为 1.02%。图 6 是本实例电子注通道中心轴线上的磁通密度分布图,在图 6 中, $B_r$ 为径向磁通密度, $B_z/100$ 为轴向磁通密度的百分之一。

[0046] 实施例 3:图 7 是五个电子注通道的周期永磁结构,本实施例电子注通道直径为 2.2mm,周期永磁结构的周期为 5.6mm,电子注通道的轴向磁通密度峰值为 220mT,径向磁通密度峰值与轴向磁通密度峰值之比为 1.78%;图 8 是本实例电子注通道中心轴线上的磁通密度分布图,在图 8 中, $B_r$ 为径向磁通密度, $B_z/100$ 为轴向磁通密度的百分之一。

[0047] 实施例 4:图 9 是 2 层七个电子注通道的周期永磁结构,本实施例电子注通道直径为 2.2mm,周期永磁结构的周期为 5.6mm,内层电子注通道的轴向磁通密度峰值为 215mT,径向磁通密度为 0,外层电子注通道的轴向磁通密度峰值为 222mT,径向磁通密度峰值与轴向磁通密度峰值之比为 2.60%;图 10 是本实例内层电子注通道轴线上的磁通密度分布图;图 11 是本实例外层电子注通道轴线上的磁通密度分布图。在图 10 和图 11 中, $B_r$ 为径向磁通密度, $B_z/100$ 为轴向磁通密度的百分之一。

[0048] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明,不能认定本发明的具体实施只局限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干简单推演或替换,都应当视为属于本发明的保护范围。

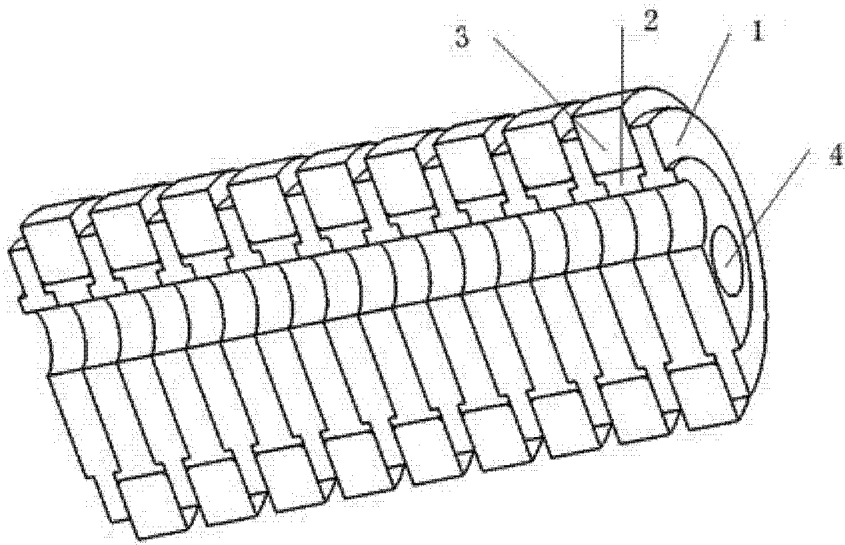


图 1

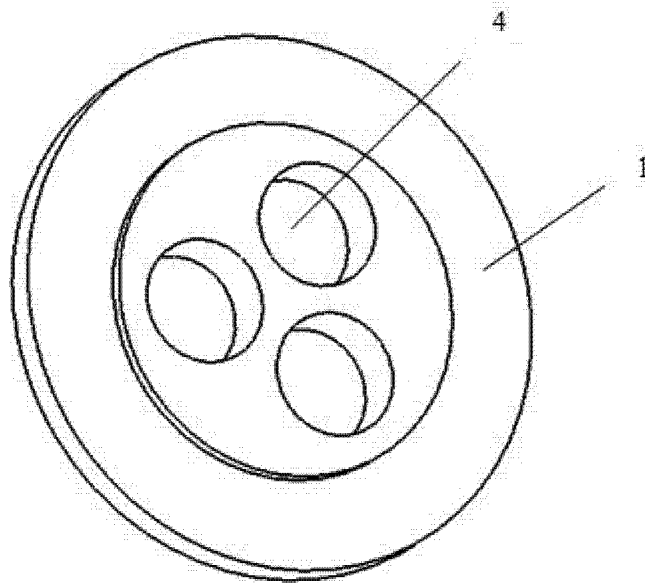


图 2

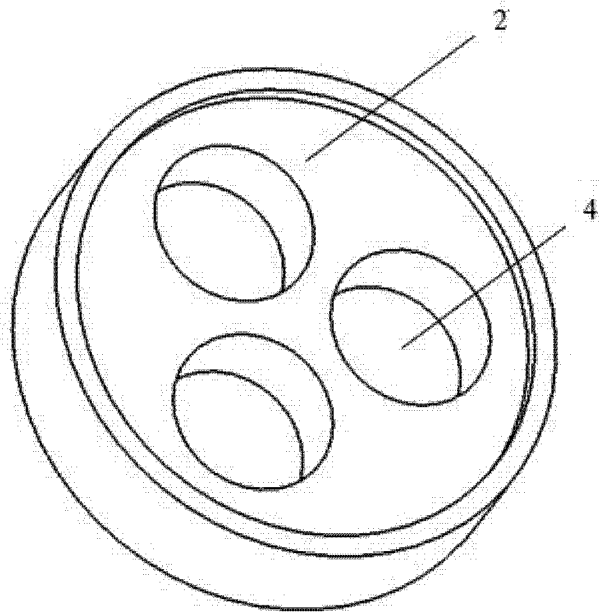


图 3

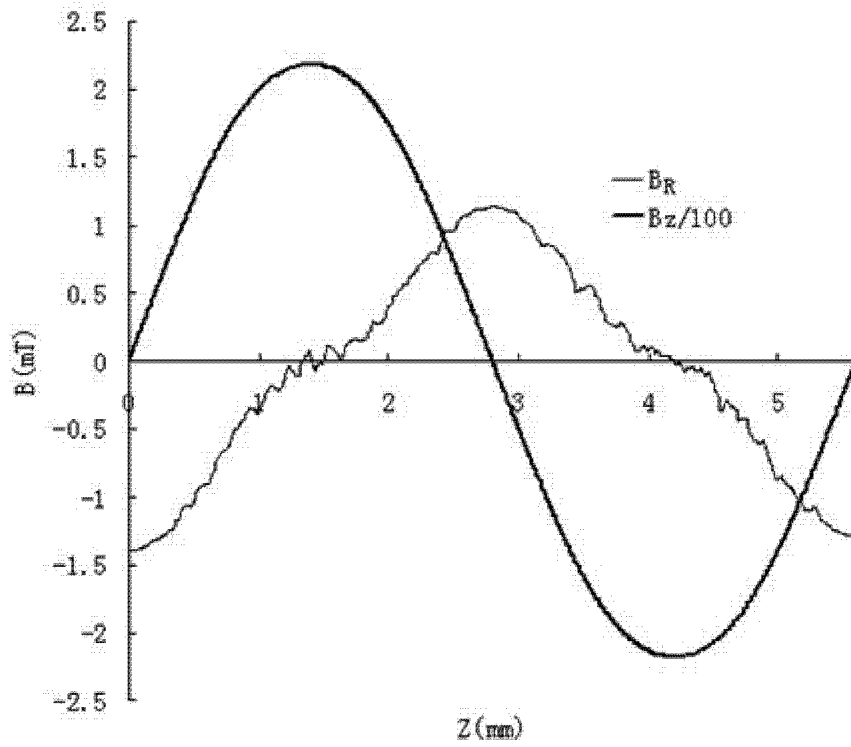


图 4



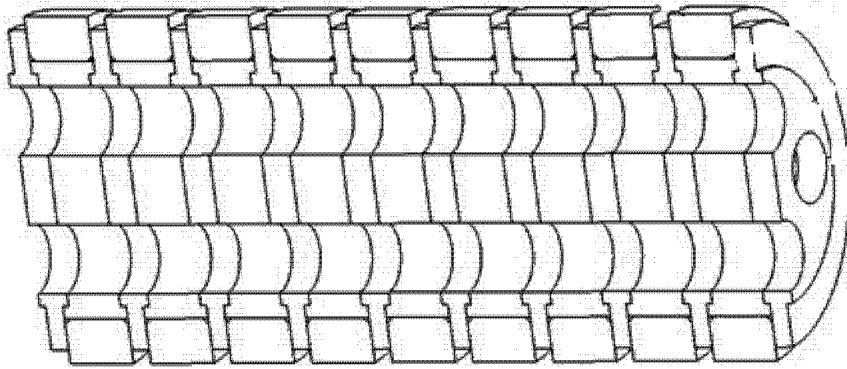


图 5

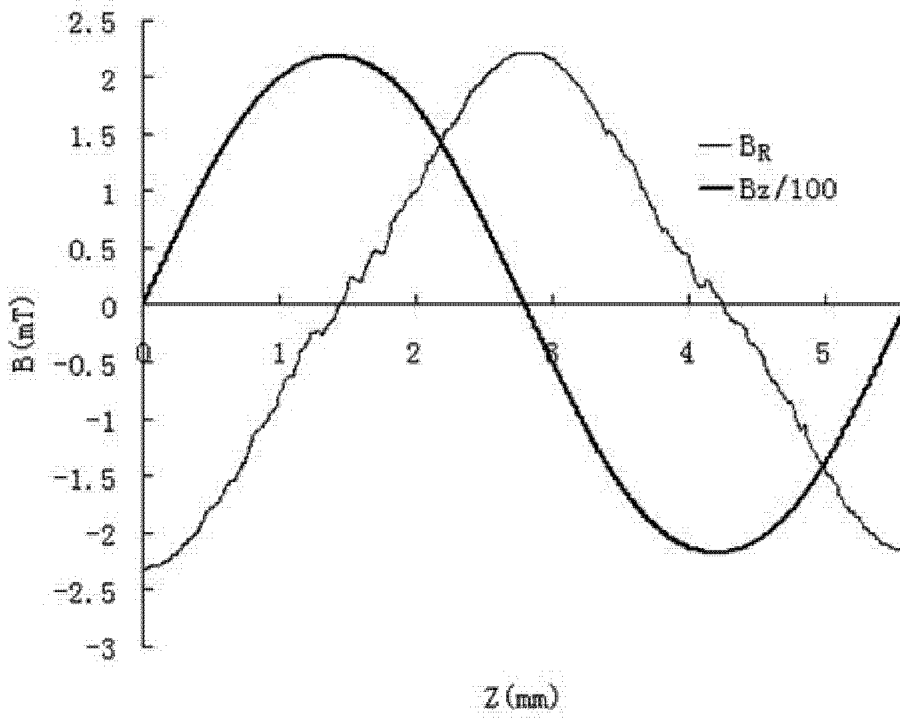


图 6

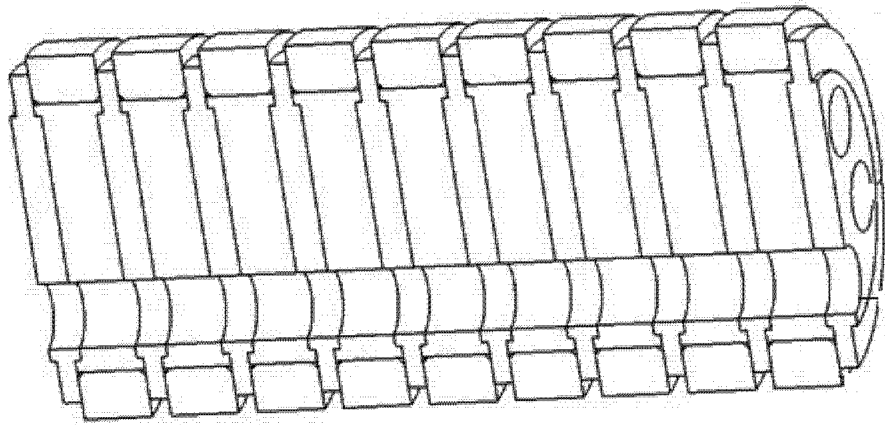


图 7

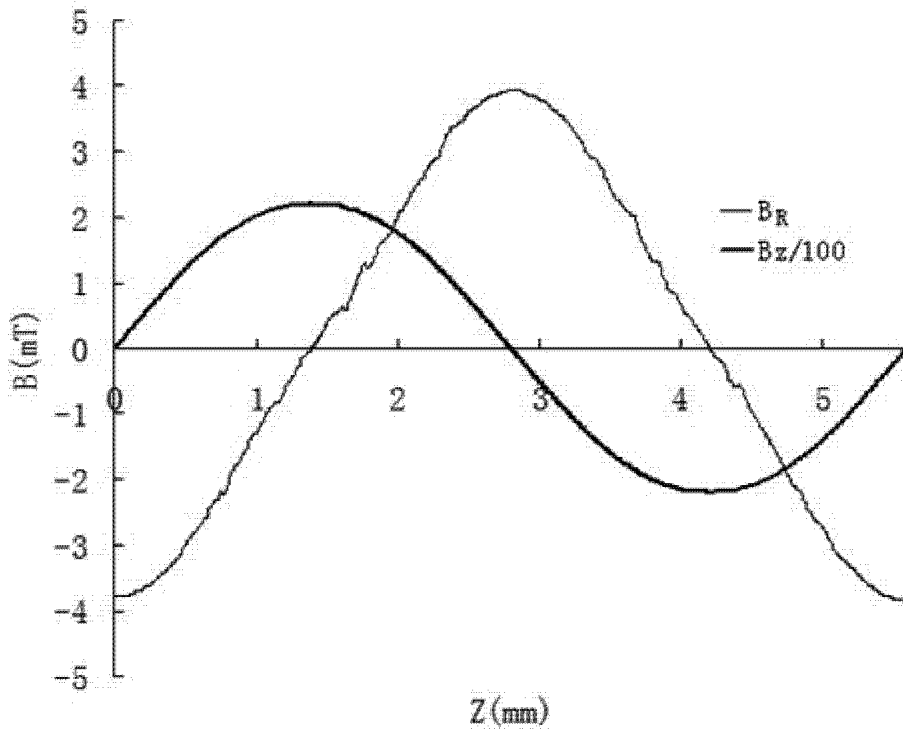


图 8

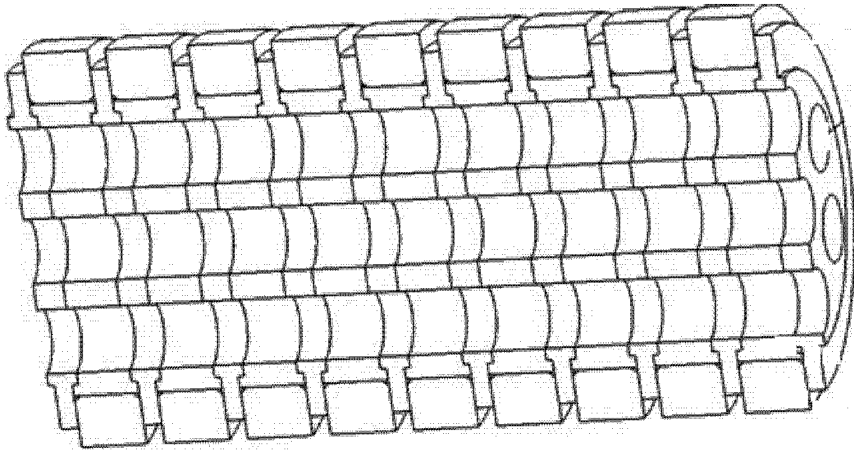


图 9

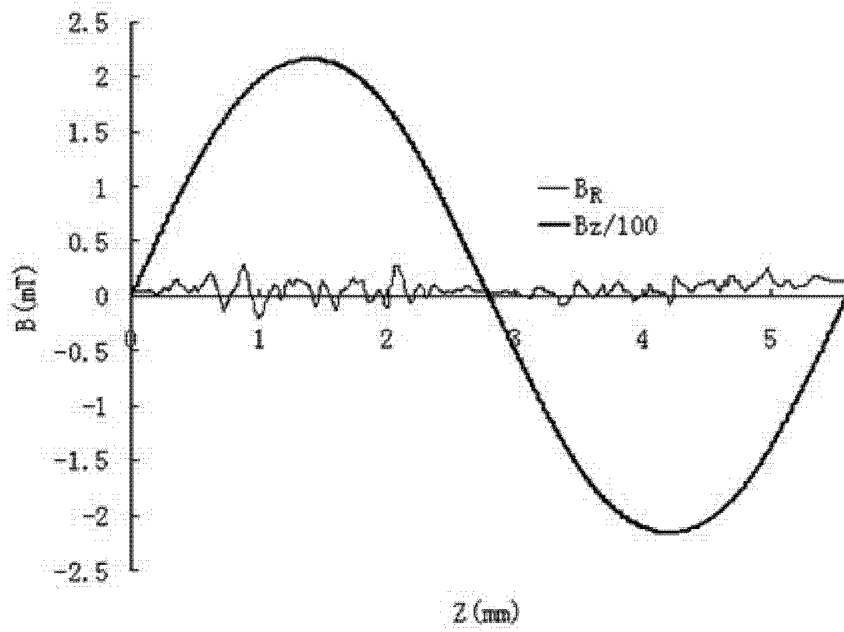


图 10

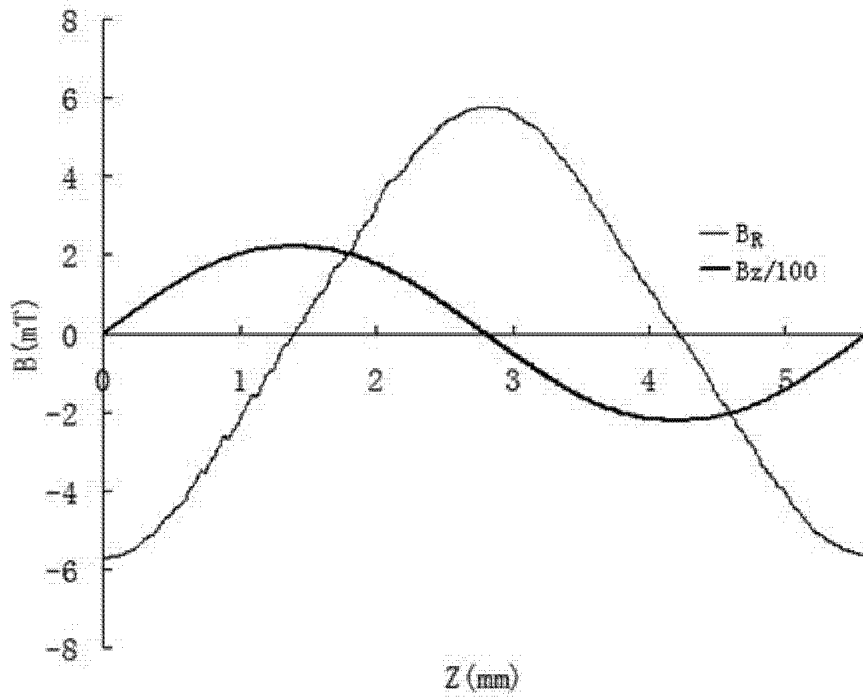


图 11