



# (12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 205376240 U

(45) 授权公告日 2016. 07. 06

(21) 申请号 201521074119. X

(22) 申请日 2015. 12. 21

(73) 专利权人 中国科学院上海应用物理研究所  
地址 201800 上海市嘉定区嘉罗公路 2019 号

(72) 发明人 何永周 周巧根

(74) 专利代理机构 上海智信专利代理有限公司  
31002  
代理人 邓琪 余中燕

(51) Int. Cl.  
H01F 7/02(2006. 01)  
G21K 1/00(2006. 01)

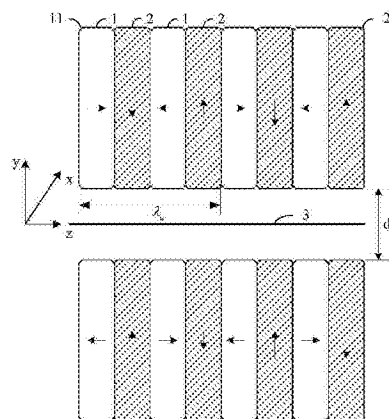
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

## (54) 实用新型名称

一种纯永磁型永磁波荡器的磁结构

## (57) 摘要

本实用新型提供一种纯永磁型永磁波荡器的磁结构,包括周期性排列在电子束传输路径两侧的两排永磁体组,两排之间形成磁间隙,每个波荡器周期长度内包括两个间隔设置的水平磁场源和垂直磁场源,水平磁场源由第一永磁体构成,垂直磁场源由第二永磁体构成,其中,所述第一永磁体的内禀矫顽力比所述第二永磁体的内禀矫顽力高,而所述第一永磁体的剩磁比所述第二永磁体的剩磁低。本实用新型可以在保证纯永磁型波荡器安全运行的同时,较大幅度提高波荡器磁场强度。



1. 一种纯永磁型永磁波荡器的磁结构,包括周期性排列在电子束传输路径两侧的两排永磁体组,两排之间形成磁间隙,每个波荡器周期长度内包括两个间隔设置的水平磁场源和垂直磁场源,其特征在于,水平磁场源由第一永磁体构成,垂直磁场源由第二永磁体构成,其中,所述第一永磁体的内禀矫顽力比所述第二永磁体的内禀矫顽力高,而所述第一永磁体的剩磁比所述第二永磁体的剩磁低。

2. 根据权利要求1所述的纯永磁型永磁波荡器的磁结构,其特征在于,所述第二永磁体的内禀矫顽力为所述第一永磁体的内禀矫顽力的75-85%。

3. 根据权利要求1所述的纯永磁型永磁波荡器的磁结构,其特征在于,所述第二永磁体的剩磁为所述第一永磁体的剩磁的115-125%。

4. 根据权利要求1所述的纯永磁型永磁波荡器的磁结构,其特征在于,当磁间隙与波荡器周期长度之比大于0.3时,所述第一永磁体和所述第二永磁体切割有倒圆角。

5. 根据权利要求4所述的纯永磁型永磁波荡器的磁结构,其特征在于,所述倒圆角为0.2-0.5rad。

6. 根据权利要求1所述的纯永磁型永磁波荡器的磁结构,其特征在于,当磁间隙与波荡器周期长度之比小于0.3时,所述第一永磁体和所述第二永磁体切割有线性倒角。

7. 根据权利要求1所述的纯永磁型永磁波荡器的磁结构,其特征在于,所述第一永磁体为纯钕铁硼永磁体、纯镨铁硼永磁体、钕镨铁硼永磁体、钕钴永磁体或铁氧体永磁体。

8. 根据权利要求1所述的纯永磁型永磁波荡器的磁结构,其特征在于,所述第二永磁体为纯钕铁硼永磁体、纯镨铁硼永磁体、钕镨铁硼永磁体、钕钴永磁体或铁氧体永磁体。

## 一种纯永磁型永磁波荡器的磁结构

### 技术领域

[0001] 本实用新型涉及波荡器领域,尤其涉及一种纯永磁型永磁波荡器的磁结构。

### 背景技术

[0002] 永磁波荡器是一种用以产生周期磁场以使高能电子束在其中进行周期性运动的元件,是同步辐射装置和自由电子激光装置中的核心部件,其主要分为纯永磁型(PPM)和混合型(Hyb)两大类。如图1所示,传统PPM永磁波荡器的磁结构包括周期性排列在电子束3'传输路径两侧的若干永磁体组,各永磁体组均包括间隔设置的两个水平磁场源1'和两个垂直磁场源2',其中垂直磁场源2'既作为磁场源也作为磁极,以聚焦磁力线。

[0003] 众所周知,永磁波荡器参数K是表征同步辐射与自由电子激光的光频谱覆盖范围的重要参数,其值越大,表示光的频谱覆盖范围越广,对用户的各种科学实验越有利,而永磁波荡器参数K的表达式如式(1)所示:

$$[0004] \quad K = \frac{eB_0\lambda_u}{2\pi mc^2} = 0.934B_0\lambda_u [T.cm] \quad (1);$$

[0005] 在上式中, $B_0$ 表示波荡器磁场强度, $\lambda_u$ 表示波荡器周期长度,T表示电子束通过整个波荡器磁结构的时间,c表示光速,m表示电子质量。由式(1)可知,在波荡器周期长度 $\lambda_u$ 不变的情况下,提高磁场强度 $B_0$ 即可提高K值。

[0006] 然而,传统PPM永磁波荡器的磁结构所包含的磁矩沿z轴方向的水平磁场源1'和磁矩沿y轴方向的垂直磁场源2'均采用相同牌号(永磁体的牌号对应不同的性能参数)的永磁体,即,它们的磁性能一致,选择同一牌号的原因是因为可以减少永磁体加工、测量、筛选、安装等工作量。这样设计的缺陷在于:为保证磁结构在常温或者一定高温下不退磁,即作为磁场源又作为磁极的垂直永磁场源2'必须选择内禀矫顽力 $H_{cj}$ 高的永磁体,然而永磁体的剩磁 $B_r$ 与内禀矫顽力 $H_{cj}$ 是一对矛盾的概念,永磁体的内禀矫顽力 $H_{cj}$ 高就意味着必须降低其剩磁 $B_r$ ,但降低剩磁 $B_r$ 又意味着损失永磁波荡器磁场强度 $B_0$ ,因为永磁波荡器磁场强度 $B_0$ 与永磁体剩磁 $B_r$ 之间呈近似线性关系。因此,传统PPM永磁波荡器磁结构的永磁波荡器磁场强度 $B_0$ 较小。

[0007] 此外,传统PPM永磁波荡器磁结构的水平磁场源1'和垂直磁场源2'的极头处因尖角效应退磁场较大,为保证磁结构安全运行,水平磁场源1'和垂直磁场源2'的极头往往切割有适当线性倒角11'和21'(如图1),以降低尖角效应,从而减小退磁场。然而,垂直磁场源2'在其中的作用是聚焦磁力线,对垂直磁场源2'切线性倒角实际上相当于减小了垂直磁场源2'的体积,从而降低了其对磁力线的聚集能力,进而导致磁力线密度降低,而磁力线密度降低意味着永磁波荡器磁场损失。

### 实用新型内容

[0008] 针对上述现有技术的不足,本实用新型提供一种改进的纯永磁型永磁波荡器的磁结构,以在保证波荡器安全运行的同时,较大幅度提高波荡器磁场强度。

[0009] 为实现上述目的,本实用新型采用如下技术方案:

[0010] 一种纯永磁型永磁波荡器的磁结构,包括周期性排列在电子束传输路径两侧的两排永磁体组,两排之间形成磁间隙,每个波荡器周期长度内包括两个间隔设置的水平磁场源和垂直磁场源,水平磁场源由第一永磁体构成,垂直磁场源由第二永磁体构成,其中,所述第一永磁体的内禀矫顽力比所述第二永磁体的内禀矫顽力高,而所述第一永磁体的剩磁比所述第二永磁体的剩磁低。

[0011] 进一步地,所述第二永磁体的内禀矫顽力为所述第一永磁体的内禀矫顽力的75-85%。

[0012] 进一步地,所述第二永磁体的剩磁为所述第一永磁体的剩磁的115-125%。

[0013] 优选地,当磁间隙与波荡器周期长度之比大于0.3时,所述第一永磁体和所述第二永磁体切割有倒圆角。

[0014] 进一步地,所述倒圆角为0.2-0.5rad。

[0015] 优选地,当磁间隙与波荡器周期长度之比小于0.3时,所述第一永磁体和所述第二永磁体切割有线性倒角。

[0016] 进一步地,所述第一永磁体为纯钕铁硼永磁体、纯镨铁硼永磁体、钕镨铁硼永磁体、钕钴永磁体或铁氧体永磁体。

[0017] 进一步地,所述第二永磁体为纯钕铁硼永磁体、纯镨铁硼永磁体、钕镨铁硼永磁体、钕钴永磁体或铁氧体永磁体。

[0018] 综上所述,本实用新型中仅有水平磁场源采用内禀矫顽力 $H_c j$ 较高的永磁体,而垂直磁场源则采用了内禀矫顽力 $H_c j$ 较低的永磁体,与现有技术相比,内禀矫顽力 $H_c j$ 降低就意味着其剩磁 $B_r$ 提高,剩磁 $B_r$ 提高就意味着永磁波荡器磁场强度 $B_0$ 提高。这样设计的依据是:纯永磁型永磁波荡器磁结构中的永磁体的退磁场分布不均匀,作为磁极又作为磁场源的垂直磁场源因用作聚磁元件,其承受的退磁场较小,采用内禀矫顽力 $H_c j$ 较低的永磁体即可;仅作为磁场源的水平磁场源因承受较大的外加反向磁场,从而承受的退磁场较大,则需要采用内禀矫顽力 $H_c j$ 高的永磁体以保证磁结构在常温或者一定高温下不退磁。

## 附图说明

[0019] 图1为传统纯永磁型永磁波荡器的磁结构的结构示意图;

[0020] 图2为本实用新型纯永磁型永磁波荡器的磁结构的部分结构示意图。

## 具体实施方式

[0021] 下面结合附图,给出本实用新型的较佳实施例,并予以详细描述。

[0022] 如图2所示,本实用新型,即一种纯永磁型永磁波荡器的磁结构,包括周期性排列在电子束3传输路径两侧的两排永磁体组,两排之间形成磁间隙 $d$ ,各永磁体组在每个波荡器周期长度 $\lambda_u$ 内包括间隔设置的两个水平磁场源1和两个垂直磁场源2。在图上,每侧示意出了两个波荡器周期长度 $\lambda_u$ 。其中,水平磁场源1和垂直磁场源2分别由牌号不同的第一、第二永磁体构成,具体来说,第一永磁体的内禀矫顽力 $H_c j$ 比第二永磁体的内禀矫顽力 $H_c j$ 高,而第一永磁体的剩磁 $B_r$ 比第二永磁体的剩磁 $B_r$ 低。优选地,假设第一永磁体的内禀矫顽力 $H_c j$ 和剩磁 $B_r$ 分别为 $M$ 和 $N$ ,则第二永磁体的内禀矫顽力 $H_c j$ 和剩磁 $B_r$ 分别为75-85%\* $M$ 和

115-125%\*N。

[0023] 这样设计的依据在于：在纯永磁型永磁波荡器的磁结构中，永磁体的退磁场分布不均匀，作为磁极又作为磁场源的垂直磁场源因用作聚磁元件，其承受的退磁场较小，采用内禀矫顽力 $H_{cj}$ 较低的永磁体即可；水平磁场源作为磁场来源，它的磁力线通过垂直永磁体汇集，两个相邻水平磁场源极性相对，对单个水平磁场源，相当于承受较大反向退磁场，从而承受的退磁场较大，则需采用内禀矫顽力 $H_{cj}$ 高的永磁体以保证磁结构在常温或者一定高温下不退磁。基于此特性，本实用新型中仅有水平磁场源采用内禀矫顽力 $H_{cj}$ 高的永磁体，而垂直磁场源则采用了内禀矫顽力 $H_{cj}$ 较低的永磁体，与现有技术相比，内禀矫顽力 $H_{cj}$ 降低就意味着其剩磁 $B_r$ 提高，剩磁 $B_r$ 提高就意味着永磁波荡器磁场强度 $B_0$ 提高。

[0024] 另外，在上述由两种永磁体构成的磁结构中，当磁间隙 $d$ 与波荡器周期长度 $\lambda_u$ （即一个永磁体组沿 $z$ 方向的厚度之和）之比大于0.3时，由于磁间隙变大，磁力线将变稀疏，这意味着极头尖角效应明显减弱，退磁场明显减小，因而第一、第二永磁体的极头可不再切割线性倒角，而只需切割0.2-0.5rad的倒圆角 $2\theta$ （见图2）即可；当磁间隙与波荡器周期长度之比小于0.3时，由于磁力线密集，尖角效应明显，第一、第二永磁体需切割适当线性倒角以降低退磁场，切割线性倒角后，第一永磁体极头表面最大退磁场 $H$ 应小于该永磁体 $H_{cj}$ 的80%，因为永磁体 $H_{cj}$ 的80%即为拐点 $H_k$ 值，物理设计时 $H$ 要小于永磁体 $H_k$ 值时磁结构才是安全的。

[0025] 在本实用新型中，第一永磁体和第二永磁体均可采用纯钕铁硼、纯镨铁硼、或各种钕镨比例的钕镨铁硼永磁体材料制成，也可采用钕钴、铁氧体等永磁体材料制成。

[0026] 以上所述的，仅为本实用新型的较佳实施例，并非用以限定本实用新型的范围，本实用新型的上述实施例还可以做出各种变化。即凡是依据本实用新型申请的权利要求书及说明书内容所作的简单、等效变化与修饰，皆落入本实用新型专利的权利要求保护范围。本实用新型未详尽描述的均为常规技术内容。

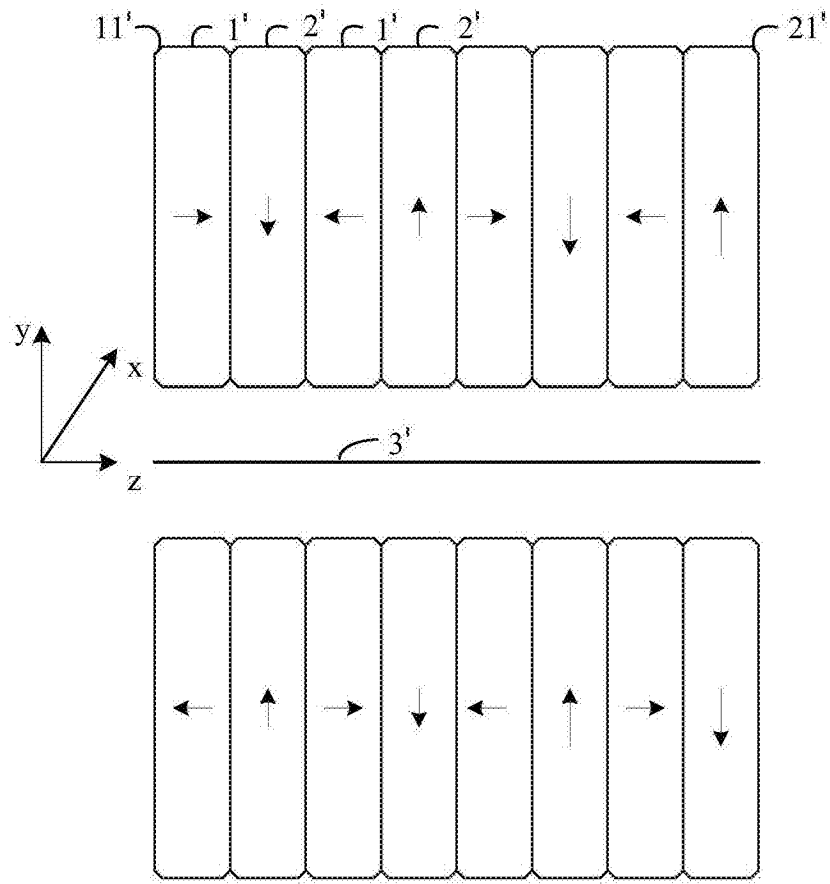


图1

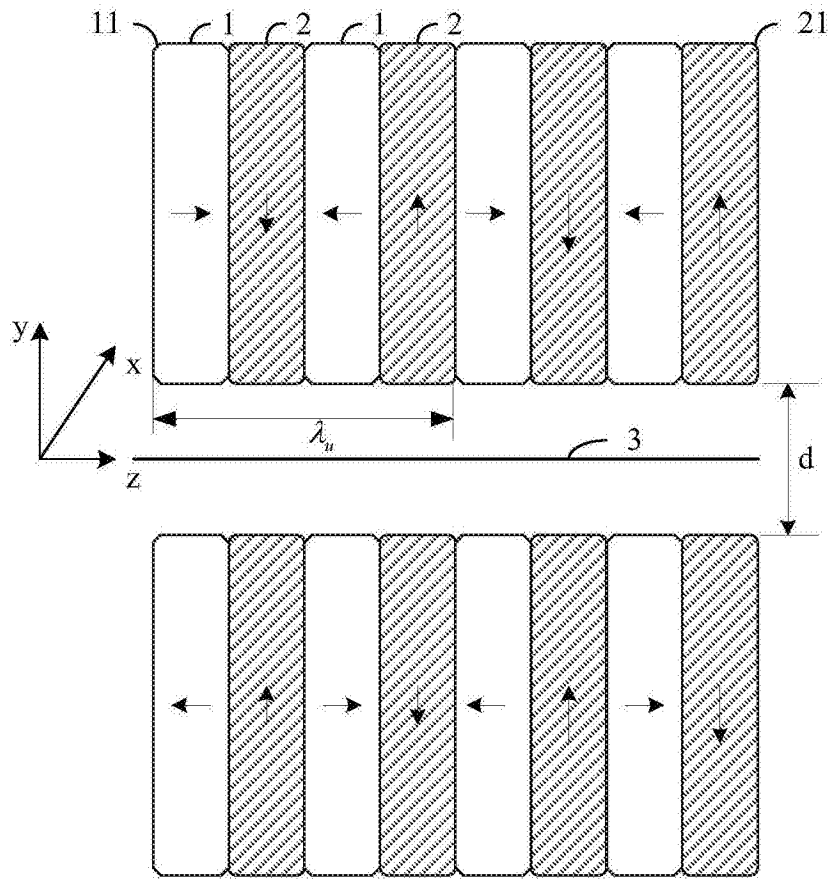


图2