



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103197118 A

(43) 申请公布日 2013. 07. 10

(21) 申请号 201310098417. 1  
 (22) 申请日 2013. 03. 26  
 (71) 申请人 上海理工大学  
 地址 200093 上海市杨浦区军工路 516 号  
 (72) 发明人 雷文锋 焦新兵 马跃 马立新  
 阮长江 张俊杰  
 (74) 专利代理机构 上海德昭知识产权代理有限公司 31204  
 代理人 郁旦蓉

(51) Int. Cl.  
*G01R 19/00* (2006. 01)  
*G01R 15/24* (2006. 01)  
*G01R 3/00* (2006. 01)

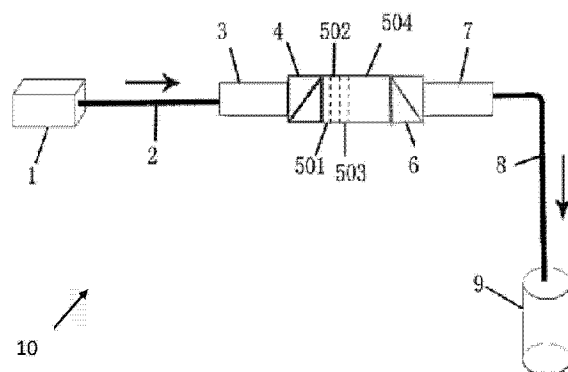
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

## (54) 发明名称

石榴石型电流传感装置以及石榴石模块的制备方法

## (57) 摘要

本发明公开了石榴石型电流传感器以及石榴石模块的制备方法。该传感器由光源、输入保偏光纤、输入光纤准直器、起偏器、石榴石模块、检偏器、输出光纤准直器、输出保偏光纤以及检测器依次连接而成。其中，石榴石模块为该传感器的核心部分，其上涂有能够固化石榴石材料的初始磁化方向的偏磁薄膜层。本发明通过检测器直接检测因电流变化而导致的入射光的法拉第旋转角的变化，间接获得电流参数。因为本发明采用具有较高费尔德常数和透过率，并且具有较低的温度系数以及良好的机械、物理光学性能的石榴石作为核心传感元件，并在石榴石上镀了偏磁薄膜层以矫正系统光路，所以能大幅提高石榴石型电流传感器的灵敏度，减小系统误差。



1. 一种电流传感装置,用于对电力系统高压导线的电流变化进行测量,其特征在于,包括:

光源,用于提供一束自然光;

输入光纤准直器,与所述光源通过输入保偏光纤相连,用于将输入保偏光纤内传输的所述自然光转换为入射平行光;

起偏器,位于所述入射平行光的光路上,用于将所述入射平行光转换为偏振光;

石榴石模块,位于所述偏振光的光路上,用于加大偏振光振动面的旋转角度;

检偏器,用于检测所述偏振光是否发生偏振化;

输出光纤准直器,用于将检偏器内传输的所述偏振光转换为出射平行偏振光;

检测器,与所述输出光纤准直器通过输出保偏光纤相连,用于检测所述出射平行偏振光法拉第旋转角度的变化值。

2. 根据权利要求 1 所述的电流传感装置,其特征在于:

其中,所述光源为点光源和面光源中的一种。

3. 根据权利要求 1 所述的电流传感装置,其特征在于:

其中,所述石榴石模块包括石榴石层、缓冲层、偏磁薄膜层以及保护层,

复数个所述缓冲层在所述石榴石层上为条状间隔分布,

每个所述缓冲层上均有一层对应的偏磁薄膜层,

每个所述偏磁薄膜层上均有一层所述保护层。

4. 根据权利要求 3 所述的电流传感装置,其特征在于:

其中,所述缓冲层由 Cr、Ta、Ag 和 Al 中一种或几种构成,厚度为 5nm ~ 10 $\mu$ m。

5. 根据权利要求 3 所述的电流传感装置,其特征在于:

其中,所述偏磁薄膜层由钕铁硼(NdFeB)、钐钴(SmCo)和铝镍钴(AlNiCo)中一种或几种构成,厚度为 500nm ~ 20  $\mu$ m。

6. 根据权利要求 3 所述的电流传感装置,其特征在于:

其中,所述保护层由 SiN、SiO<sub>2</sub> 和 Ta 中一种或几种构成,厚度为 5nm ~ 100nm。

7. 根据权利要求 1 所述的电流传感装置,其特征在于:

其中,所述起偏器和所述检偏器为平板型偏振器和格兰偏振棱镜中的一种。

8. 一种石榴石模块的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1). 采用超声波清洗石榴石材料,烘干后将所述石榴石材料放置于夹具上作为石榴石层;

(2). 将所述石榴石层置于薄膜生长系统中,抽真空,使所述薄膜生长系统的系统本地真空度为  $1.0 \times 10^{-4}$ Pa;

(3). 加热所述石榴石层,使所述石榴石层的表面温度达到 200 ~ 500 $^{\circ}$ C,进行第一次回火;

(4). 将工作气压调至 0.2 ~ 5Pa,生长缓冲层,使所述缓冲层的厚度达到 500nm ~ 20  $\mu$ m,保温 1h;

(5). 在所述缓冲层上生长偏磁薄膜层,使所述偏磁薄膜层的厚度达到 5nm ~ 10 $\mu$ m,保温 1h;

(6). 继续加热所述石榴石层,使所述石榴石层的表面温度达到 550 ~ 800 $^{\circ}$ C,进行第二

次高温回火；

(7). 将所述石榴石层冷却至室温,在所述偏磁薄膜层上生长保护层,使所述保护层的厚度达到 5nm ~ 100nm,得到石榴石半成品；

(8). 将所述石榴石半成品从所述薄膜生长系统中取出,使用充磁机对所述偏磁薄膜层进行充磁,得到石榴石模块。

9. 根据权利要求 8 所述的石榴石模块的制备方法,其特征在于：

其中,所述薄膜生长系统为电子束蒸发系统和磁控溅射仪中的一种。

10. 根据权利要求 8 所述的石榴石模块的制备方法,其特征在于：

其中,所述保护层由 SiN、SiO<sub>2</sub> 和 Ta 中一种或几种构成,厚度为于 5nm ~ 100nm。

## 石榴石型电流传感装置以及石榴石模块的制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种石榴石型电流传感装置以及石榴石模块的制备方法。

### 背景技术

[0002] 石榴石型电流传感器(Garnet type current sensor)是以法拉第磁光效应为基础,间接对电流进行测试的装置。

[0003] 与传统电磁式电流传感器相比,石榴石型电流传感器具有更明显的优势。

[0004] 首先,从结构上来看,石榴石型电流传感器不含铁心、交流线圈等结构,使得测量时高低压完全分离,绝缘性能好,不存在输出端开路危险,不仅安全性能高,而且还能同时能消除传统电磁式电流互感器中存在的磁饱和、磁滞等现象。

[0005] 其次,从材料上来看,石榴石型电流传感器采用全光学器件的结构,体积小、重量轻、易安装,抗电磁干扰能力好。

[0006] 最后,石榴石型电流传感器的响应频域宽、测量精度高,便于遥感和遥测,有利于变电站综合自动化水平的提高。

[0007] 与有源型光电式电流传感器相比,石榴石型电流传感器耗能更低、体积更小、取样信号结构更简单。

[0008] 与无源型光电式电流传感器相比,石榴石型电流传感器具有易加工、传感头耐用、成本低、精度高、稳定性好、温度影响小等优点。

[0009] 与全光纤型光电式电流传感器相比,石榴石型电流传感器具有测量精度高、稳定性好、安装方便等优点。

[0010] 专利申请号为 200610060605、200910056801.9、200910202165.6、200910202166.0、200910183929.1 及 201010168752.0 等的专利公开了多种石榴石型电流传感器。在这些石榴石型电流传感器中,有的采用固定磁畴法减小系统误差,有相当的优点,但系统测量误差较大。有的采用方位探测器检测偏振光法拉第旋转角度的变化,从而实现了对电流的测量,但器件结构方面有待进一步优化,传感器成本有待进一步降低。

[0011] 此外,专利申请号为 US6756781 的美国专利中提及采用小尺寸磁光材料和光学元件共同构成自由空间的光探头。然而,该方案中没有采取相应措施固定磁光材料的磁化方向,引起的偏振态的漂移将影响整个系统的测量精度和稳定性。专利申请号为 200910056802.3 的中国专利采用磁光记录方式,利用光学刻蚀方法得到了永久磁畴,但该方法工艺过程复杂、能源消耗高、生产率低、实用性不强。

### 发明内容

[0012] 为了解决上述问题,本发明的第一个目的在于提供一种灵敏度高且系统误差小的石榴石型电流传感装置。

[0013] 本发明的另一个目的是提供一种简便的石榴石模块的制备方法。

[0014] 为了实现第一个目的,本发明采用了以下结构:

[0015] 本发明提供一种电流传感装置,用于对电力系统高压导线的电流变化进行测量,其特征在于,包括:光源,用于提供一束自然光;输入光纤准直器,与光源通过输入保偏光纤相连,用于将输入保偏光纤内传输的自然光转换为入射平行光;起偏器,位于入射平行光的光路上,用于将入射平行光转换为偏振光;石榴石模块,位于偏振光的光路上,用于加大偏振光振动面的旋转角度;检偏器,用于检测偏振光是否发生偏振化;输出光纤准直器,用于将检偏器内传输的偏振光转换为出射平行偏振光;检测器,与输出光纤准直器通过输出保偏光纤相连,用于检测出射平行偏振光法拉第旋转角度的变化值。

[0016] 另外,本发明电流传感装置中,光源为点光源和面光源中的一种。

[0017] 另外,本发明电流传感装置中,石榴石模块包括石榴石层、缓冲层、偏磁薄膜层以及保护层,复数个缓冲层在石榴石层上为条状间隔分布,每个缓冲层上均有一层对应的偏磁薄膜层,每个偏磁薄膜层上均有一层保护层。

[0018] 另外,本发明电流传感装置中,缓冲层由 Cr、Ta、Ag 和 Al 中一种或几种构成,厚度为 5nm ~ 10 $\mu$ m。

[0019] 另外,本发明电流传感装置中,偏磁薄膜层由钕铁硼(NdFeB)、钐钴(SmCo)和铝镍钴(AlNiCo)中一种或几种构成,厚度为 500nm ~ 20  $\mu$ m。

[0020] 另外,本发明电流传感装置中,保护层由 SiN、SiO<sub>2</sub> 和 Ta 中一种或几种构成,厚度为 5nm ~ 100nm。

[0021] 进一步,本发明电流传感装置中,起偏器和检偏器为平板型偏振器和格兰偏振棱镜中的一种。

[0022] 为了实现第二个目的,本发明采用了以下方法:

[0023] 本发明提供一种石榴石模块的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0024] (1). 采用超声波清洗石榴石材料,烘干后将石榴石材料放置于夹具上作为石榴石层;

[0025] (2). 将石榴石层置于薄膜生长系统中,抽真空,使薄膜生长系统的系统本地真空度为  $1.0 \times 10^{-4}$ Pa;

[0026] (3). 加热石榴石层,使石榴石层的表面温度达到 200 ~ 500 $^{\circ}$ C,进行第一次回火;

[0027] (4). 将工作气压调至 0.2 ~ 5Pa,生长缓冲层,使缓冲层的厚度达到 500nm ~ 20  $\mu$ m,保温 1h;

[0028] (5). 在缓冲层上生长偏磁薄膜层,使偏磁薄膜层的厚度达到 5nm ~ 10 $\mu$ m,保温 1h;

[0029] (6). 继续加热石榴石层,使石榴石层的表面温度达到 550 ~ 800 $^{\circ}$ C,进行第二次高温回火;

[0030] (7). 将石榴石层冷却至室温,在偏磁薄膜层上生长保护层,使保护层的厚度达到 5nm ~ 100nm,得到石榴石半成品;

[0031] (8). 将石榴石半成品从薄膜生长系统中取出,使用充磁机对偏磁薄膜层进行充磁,得到石榴石模块。

[0032] 步骤(2)中,薄膜生长系统为电子束蒸发系统和磁控溅射仪中的一种。

[0033] 步骤(7)中,保护层由 SiN、SiO<sub>2</sub> 和 Ta 中一种或几种构成,厚度为 5nm ~ 100nm。

[0034] 发明作用与效果

[0035] 根据本发明石榴石型电流传感装置,因为本发明采用镀有偏磁薄膜层的石榴石模块作为本石榴石型电流传感装置的核心,能够得到光学系统中偏振态的初始零点并强化了偏振光传播方向上的磁场强度,使得磁场的方向和线偏振光的传播方向平行度变得更好,偏振光经过石榴石模块后的旋转角变大,所以提高了传感器的测量精度,便于安全监控高压线路和测量高压线路的电流。

[0036] 另外,偏磁薄膜层的存在提高了本石榴石型电流传感装置的稳定性,降低了双折射对偏振态的影响。同时本发明设计的光路更加简练,光学元件更少、系统设计更简便,可靠性更高。

### 附图说明

[0037] 图 1 为本发明石榴石型电流传感装置的结构示意图。

[0038] 图 2 为本发明石榴石模块的结构示意图。

### 具体实施方式

[0039] 下面结合附图对本发明涉及的石榴石型电流传感装置以及石榴石模块的制备方法进行详细地说明。

[0040] 实施例一

[0041] 图 1 为本发明石榴石型电流传感装置的结构示意图。

[0042] 如图 1 所示,石榴石型电流传感装置由光源 1、输入保偏光纤 2、输入光纤准直器 3、起偏器 4、石榴石模块 5、检偏器 6、输出光纤准直器 7、输出保偏光纤 8 以及检测器 9 等元器件依次相连而成,达到较高的集成度。

[0043] 其中,光源 1 为点光源,用于提供一束自然光。

[0044] 输入保偏光纤 2 连接光源 1 和输入光纤准直器 3,用于保证自然光在输入保偏光纤 2 内传输时偏振方向不发生改变。

[0045] 输入光纤准直器 3 用于将自然光转变为入射平行光后平行入射入起偏器 4。

[0046] 起偏器 4 为平板型偏振器,位于入射平行光的光路上,用于将入射平行光转换为偏振光后平行入射入石榴石模块 5。

[0047] 图 2 为本发明石榴石模块的结构示意图。

[0048] 如图 2 所示,石榴石模块 5 包括石榴石层 504、缓冲层 503、偏磁薄膜层 502 以及保护层 501。

[0049] 其中,石榴石层 504 由石榴石材料制成,用于加大偏振光振动面的旋转角度。该石榴石材料具有较高费尔德常数和透过率,并且具有较低的温度系数以及良好的机械、物理光学性能。

[0050] 缓冲层 503 有复数个,在石榴石层 504 上呈条状间隔分布,用于提高偏磁薄膜层 502 的磁性能。缓冲层 503 全部由 Cr 构成,厚度为 5nm。

[0051] 偏磁薄膜层 502 全部由钕铁硼(NdFeB)构成,厚度为 500nm,用于固化石榴石材料的初始磁化方向。这样可以矫正系统光路,大幅提高石榴石型电流传感装置 10 的灵敏度并减小系统误差。

[0052] 保护层 501 全部由 SiN 构成,厚度为 5nm,用于防止偏磁薄膜层 502 发生氧化,保持

偏磁薄膜层 502 的磁性。

[0053] 检偏器 6 为平板型偏振器,用于检测偏振光是否发生偏振化。如果未检测出该偏振光发生偏振化,则说明起偏器 4 发生故障,需要维修或更换。

[0054] 输出光纤准直器 7,用于将检偏器 6 内传输的偏振光转换为出射平行偏振光。

[0055] 输出保偏光纤 8 连接探测器 9 和输出光纤准直器 7,用于保证出射平行偏振光在输出保偏光纤 8 内传输时偏振方向不发生改变。

[0056] 探测器 9 用于检测出射平行偏振光的法拉第旋转角度的变化值和光强度的变化值。当石榴石型电流传感装置 10 的周围有高压线路时,该高压线路产生的磁场会使起偏器 4 产生的偏振光的振动面的旋转角度在经过石榴石模块后发生改变,使得偏振光在通过检偏器 6 后的光强发生改变,探测器 9 通过检测光强变化得到旋转角度,该旋转角度即为法拉第旋转角。

[0057] 高压线路的电流越大,旋转角度越大,检测器 9 就越容易测出。

[0058] 法拉第旋转角的计算公式为:  $\theta = V \int H \cdot dl$ 。

[0059] 其中,  $V$  是材料的菲尔德常数;  $H$  是磁场强度;  $l$  是光在磁光材料中通过的长度;

$H = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi R}$  其中  $\mu_0$  为真空磁导率,  $R$  为导线与测量点之间的距离,  $I$  为电流大小。

[0060] 本发明采用镀有偏磁薄膜层 502 的石榴石模块 5 作为石榴石型电流传感装置 10 的核心,能够提高该石榴石型电流传感装置 10 的测量精度。其中,石榴石模块 5 的制备方法包括以下步骤:

[0061] (1). 采用超声波清洗石榴石材料,烘干后将石榴石材料放置于夹具上作为石榴石层。

[0062] (2). 将石榴石层置于薄膜生长系统中,抽真空,使薄膜生长系统的系统本地真空度为  $1.0 \times 10^{-4}$  Pa。薄膜生长系统为电子束蒸发系统。

[0063] (3). 加热石榴石层,使石榴石层的表面温度达到  $200 \sim 500^\circ\text{C}$ ,进行第一次回火。

[0064] (4). 将工作气压调至  $0.2 \sim 5$  Pa,生长缓冲层,使缓冲层的厚度达到  $500\text{nm} \sim 20 \mu\text{m}$ ,保温 1h。

[0065] (5). 在缓冲层上生长偏磁薄膜层,使偏磁薄膜层的厚度达到  $5\text{nm} \sim 10\mu\text{m}$ ,保温 1h。

[0066] (6). 继续加热石榴石层,使石榴石层的表面温度达到  $550 \sim 800^\circ\text{C}$ ,进行第二次高温回火。

[0067] (7). 将石榴石层冷却至室温,在偏磁薄膜层上生长保护层,使保护层的厚度达到  $5\text{nm} \sim 100\text{nm}$ ,得到石榴石半成品。

[0068] (8). 将石榴石半成品从薄膜生长系统中取出,使用充磁机对偏磁薄膜层进行充磁,得到石榴石模块。

[0069] 实施例的作用与效果:

[0070] 根据本发明石榴石型电流传感装置,因为将充磁后的石榴石型电流传感装置的核心部件石榴石模块放置于事先搭建的光学系统,当有外界电流或者磁场干扰时,检测器可以测出偏振光在法拉第旋光器中的法拉第旋转角度和光强度的改变,当无外界干扰时,由于偏磁薄膜的存在,整个系统光路的偏振态又恢复到初始位置。该石榴石型电流传感装置镀有偏磁薄膜,设计独特且巧妙,光路简单,使用方便。

[0071] 与全光纤型光学电流传感器在稳定性方面的不足和有源型光学电流传感器结构方面的复杂性相比,本发明在一定程度上克服了上述两种光学电流传感器存在的缺陷。在电力系统的电流检测中该光学电流传感器是相对比较理想的选择。

[0072] 另外,本发明石榴石光电传感器在零电位监测器、磁化强度光栅、光学磁场传感器、光隔离器等领域的也有一定的应用前景。

[0073] 产业上的可利用性

[0074] 本发明石榴石光电传感器不仅适用于电力系统高压环境下对大电流测量,同时还可以在电能计量、继电保护、系统监测诊断等领域中应用。

[0075] 实施例二

[0076] 实施例二中,石榴石型电流传感装置还可以采用如下所述的结构:光源 1 还可以为面光源。起偏器 4 也可以为格兰偏振棱镜。缓冲层 503 由 Ta、Ag 和 Al 构成,厚度为  $10\mu\text{m}$ 。偏磁薄膜层 502 由钕铁硼(NdFeB)和钐钴(SmCo)构成,厚度为  $7\mu\text{m}$ 。保护层 501 全部由 SiN 和 SiO<sub>2</sub> 构成,厚度为 80nm。检偏器 6 也可以为格兰偏振棱镜。

[0077] 在石榴石模块 5 的制备方法中,薄膜生长系统也可以为磁控溅射仪。实施例二的其他结构同实施例一。

[0078] 实施例三

[0079] 实施例三中,石榴石型电流传感装置还可以采用如下所述的结构:起偏器 4 为格兰偏振棱镜。缓冲层 503 还可以由 TAg 和 Al 构成,厚度为  $8\mu\text{m}$ 。偏磁薄膜层 502 全部由铝镍钴(AlNiCo)构成,厚度为  $20\mu\text{m}$ 。保护层 501 由 SiN、SiO<sub>2</sub> 和 Ta 构成,厚度为 100nm。检偏器 6 也可以为格兰偏振棱镜。实施例三的其他结构同实施例一。



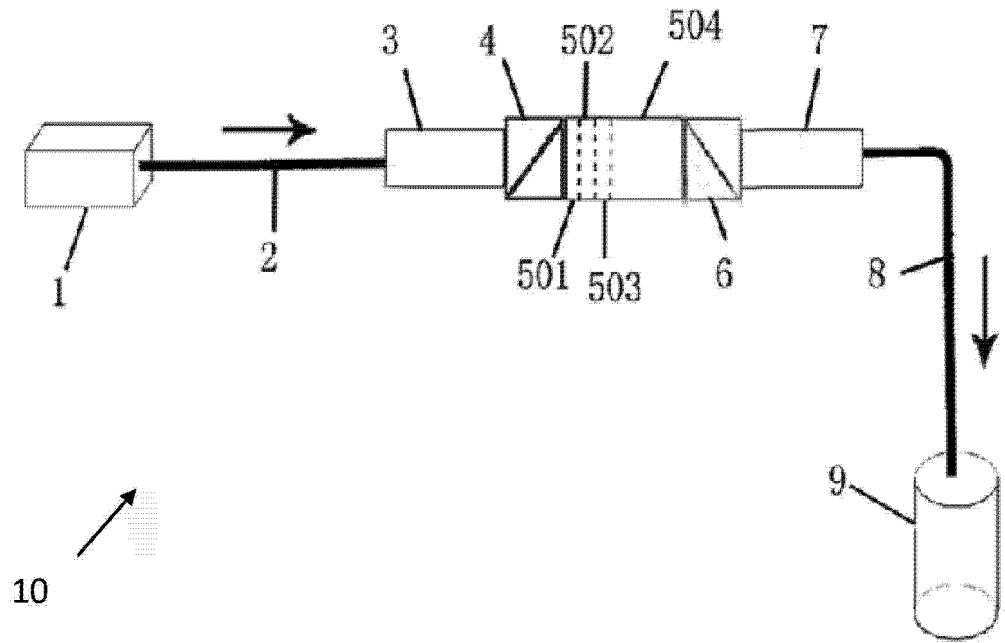


图 1

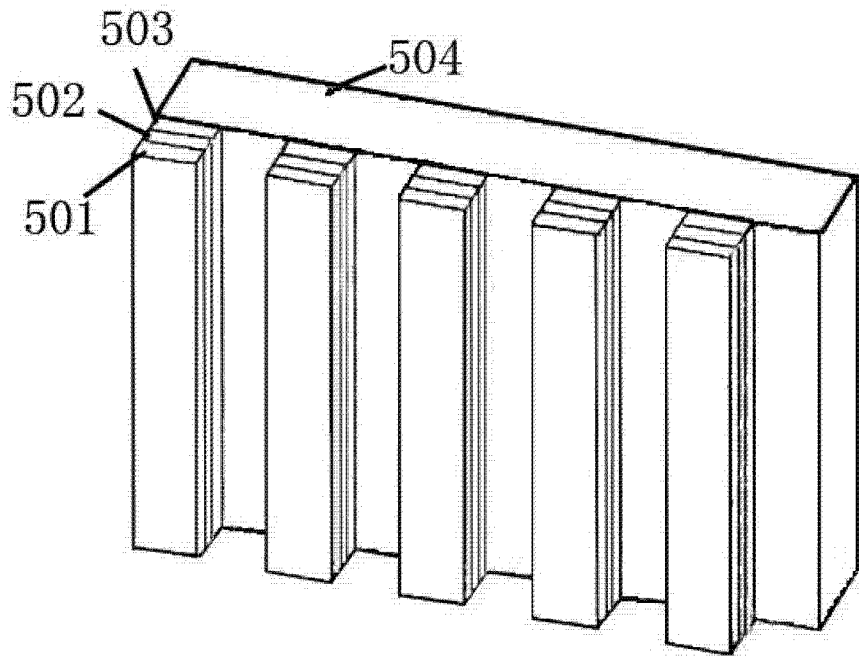


图 2