



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108398449 A

(43)申请公布日 2018.08.14

(21)申请号 201810366332.X

(22)申请日 2018.04.23

(71)申请人 浙江工业大学

地址 310014 浙江省杭州市下城区朝晖六
区潮王路18号

(72)发明人 乐孜纯 董文

(74)专利代理机构 杭州斯可睿专利事务有限
公司 33241

代理人 王利强

(51)Int.Cl.

G01N 23/223(2006.01)

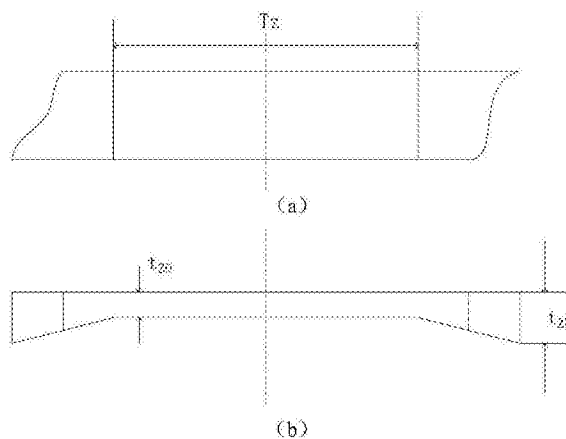
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

用于微型化X射线阵列组合折射透镜集成组件的X射线折光器

(57)摘要

一种用于微型化X射线阵列组合折射透镜集成组件的X射线折光器,所述X射线折光器与X射线阵列组合折射透镜贴近放置,所述X射线折光器具有用于实现入射X射线光束整形的整形结构,所述整形结构是指X射线折光器对X射线阵列组合折射透镜中的正负一级组合透镜折光 θ 角度,对X射线阵列组合折射透镜中的正负二级组合透镜折光 2θ 角度,依此类推,最终实现对X射线阵列组合折射透镜中每一个单一组合折射透镜的类平行光入射。本发明应用于微型化X射线阵列组合折射透镜集成组件,可同时实现高微区分辨率和高灵敏度,并可进行现场分析。



1. 一种用于微型化X射线阵列组合折射透镜集成组件的X射线折光器,其特征在于,所述X射线折光器与X射线阵列组合折射透镜贴近放置,所述X射线折光器具有用于实现入射X射线光束整形的整形结构,所述整形结构是指X射线折光器对X射线阵列组合折射透镜中的正负一级组合透镜折光 θ 角度,对X射线阵列组合折射透镜中的正负二级组合透镜折光 2θ 角度,依此类推,最终实现对X射线阵列组合折射透镜中每一个单一组合折射透镜的类平行光入射。

2. 如权利要求1所述的用于微型化X射线阵列组合折射透镜集成组件的X射线折光器,其特征在于,所述X射线折光器选择折射特性满足下列公式的任何单质或化合物材料,

$$\text{X射线波段材料的折射系数: } \delta = \sum_i \frac{N_A r_0 \lambda^2}{2\pi} \frac{Z_i}{A_i} \rho_i = \frac{N_A r_0 \lambda^2}{2\pi} \cdot \frac{\sum_i v_i Z_i}{\sum_j v_j A_j} \quad (1)$$

其中, N_A 代表阿伏伽德罗常数, r_0 代表电子半径, λ 代表波长, A 代表原子质量,下标*i*表示化合物中的元素种类,下标*j*为正整数, ρ 代表电子密度,下标*i*表示化合物中的元素种类,当材料为单质时*i*=1, v 代表原子个数,下标*i*表示化合物中的元素种类,下标*j*为正整数, Z 代表原子序数,下标*i*表示化合物中的元素种类。

3. 如权利要求1或2所述的用于微型化X射线阵列组合折射透镜集成组件的X射线折光器,其特征在于,所述X射线折光器的非折光区材料厚度用 t_{z0} 表示,所述X射线折光器的非折光区宽度尺寸 $T_z = T_0 + 2G_2$, T_0 为零级透光带的宽度; t_{z0} 为非折光区的材料厚度,折光区的材料厚度 t_{zM} 由下列公式计算得出:

$$t_{zM} = t_{z0} + T_M \cdot \tan(0.5M \cdot \theta) \quad (2)。$$

其中, G_2 为正负二级阻光带的宽度, T_M 为透光带的宽度。

用于微型化X射线阵列组合折射透镜集成组件的X射线折光器

技术领域

[0001] 本发明涉及X射线探测和成像领域,尤其是一种用于微束X射线荧光分析系统的X射线阵列组合折射透镜集成组件的X射线折光器。

背景技术

[0002] X射线荧光(XRF,X-Ray Fluorescence)分析系统能在常压下对各种形态(固态/液态/粉末等)样品进行简单快速、高分辨率和无损的元素定量测量分析。而微束X射线荧光分析系统(micro-XRF)因其具有更高的微区分辨率而受到广泛关注。

[0003] 微束X射线荧光分析系统(micro-XRF)通常都需要配备X射线聚焦器件。使用了X射线聚焦器件的X射线荧光分析系统,虽然微区分辨率大幅度提高(通常可以提高一个数量级以上),但计数率会下降,影响了探测灵敏度。已有技术基于X射线毛细管器件的荧光光谱仪(专利号:201010180956.6),使用X射线毛细管器件进行聚焦,微区分辨率通常只能达到几十微米,不仅微区分辨率不够高,且因计数率下降导致探测灵敏度也有一定程度的降低;同时结构复杂、尺寸庞大,无法实现便携。发明人之前也提出了一种便携式微束X射线荧光光谱仪(专利号:201310356270.1,是与本发明最接近的已有技术),用X射线组合折射透镜获得探测微束,虽然微区分辨率大幅度提高,但计数率低,影响了探测灵敏度。

[0004] X射线组合折射透镜是集成型微结构器件,数值口径小,X射线光管发出的光不能全部被组合透镜接收,不仅使得计数率降低、而且浪费了X射线光能量,还增加了噪声。如果能发明新的器件结构,尽可能多的利用X射线光管发出的X射线光,则不仅能大幅度增加计数率、进而提高探测灵敏度,同时还能降低能耗、减小噪声。

发明内容

[0005] 为了克服已有X射线荧光光谱仪微区分辨率还不够高,特别是因计数率低而导致的探测灵敏度不够高,且结构复杂、尺寸庞大、无法实现便携的不足,本发明提供一种微型化X射线阵列组合折射透镜集成组件的X射线折光器,将其应用于小型化微束X射线荧光分析系统,可同时实现高微区分辨率和高灵敏度,并可进行现场分析。

[0006] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:

[0007] 一种用于微型化X射线阵列组合折射透镜集成组件的X射线折光器,所述X射线折光器与X射线阵列组合折射透镜贴近放置,所述X射线折光器具有用于实现入射X射线光束整形的整形结构,所述整形结构是指X射线折光器对X射线阵列组合折射透镜中的正负一级组合透镜折光 θ 角度,对X射线阵列组合折射透镜中的正负二级组合透镜折光 2θ 角度,依此类推,最终实现对X射线阵列组合折射透镜中每一个单一组合折射透镜的类平行光入射。

[0008] 进一步,所述X射线折光器选择折射特性满足下列公式的任何单质或化合物材料,

[0009] X射线波段材料的折射系数:
$$\delta = \sum_i \frac{N_A r_0 \lambda^2}{2\pi} \frac{Z_i}{A_i} \rho_i = \frac{N_A r_0 \lambda^2}{2\pi} \cdot \frac{\sum_i v_i Z_i}{\sum_j v_j A_j} \quad (1)$$

[0010] 其中, N_A 代表阿伏伽德罗常数, r_0 代表电子半径, λ 代表波长, A 代表原子质量, 下标 i 表示化合物中的元素种类, 下标 j 为正整数, ρ 代表电子密度, 下标 i 表示化合物中的元素种类, 当材料为单质时 $i=1$, v 代表原子个数, 下标 i 表示化合物中的元素种类, 下标 j 为正整数, Z 代表原子序数, 下标 i 表示化合物中的元素种类。

[0011] 再进一步, 所述X射线折光器的非折光区材料厚度用 t_{z0} 表示, 所述X射线折光器的非折光区宽度尺寸 $T_z = T_0 + 2G_2$, T_0 为零级透光带的宽度; t_{z0} 为非折光区的材料厚度, 折光区的材料厚度 t_{zM} 由下列公式计算得出:

$$[0012] \quad t_{zM} = t_{z0} + T_M \cdot \tan(0.5M \cdot \theta) \quad (2)。$$

[0013] 其中, G_2 为正负二级阻光带的宽度, T_M 为各级透光带的宽度。

[0014] 本发明的有益效果主要表现在: 1、利用所发明的X射线折光器, 对X射线光束进行整形, 结构简单、可一体化批量制作; 2、X射线阵列组合折射透镜基于折射效应工作, 在对X射线束聚焦时不需要折转光路, 因此所形成的探测装置或仪器结构紧凑、尺寸小、重量轻, 适合制作便携式仪器装置, 可以实现现场分析。

附图说明

[0015] 图1是本发明用于微型化X射线阵列组合折射透镜集成组件的X射线折光器的结构示意图(只画出了 $M \leq 2$ 的局部结构), 其中 T_z 为非折光区的宽度, t_{z0} 为非折光区的材料厚度、 t_{zM} 为折光区的材料厚度, (a) 正视图, (b) 俯视图。

[0016] 图2是本发明一种微型化X射线阵列组合折射透镜集成组件中X射线光阑的结构示意图(只画出了 $M \leq 2$ 的局部结构), 其中, T_0 为零级透光带的宽度, T_2 为正负一级透光带的宽度, t 为X射线光阑的厚度, (a) 正视图, (b) 俯视图。

[0017] 图3是本发明一种微型化X射线阵列组合折射透镜集成组件的结构示意图, 其中1代表X射线光阑、2代表X射线折光器、3代表X射线阵列组合折射透镜、4代表组件承载台。

[0018] 图4是本发明一种微型化X射线阵列组合折射透镜集成组件中X射线阵列组合折射透镜的结构示意图(只画出了 $M \leq 2$ 的局部结构), 其中 T_0 为折射单元的口径、 l 为折射单元的轴向厚度尺寸。

具体实施方式

[0019] 下面结合附图对本发明作进一步描述。

[0020] 参照图1~图4, 一种用于微型化X射线阵列组合折射透镜集成组件的X射线折光器, 所述X射线折光器与X射线阵列组合折射透镜贴近放置, 所述X射线折光器具有用于实现入射X射线光束整形的整形结构, 所述整形结构是指X射线折光器对X射线阵列组合折射透镜中的正负一级组合透镜折光 θ 角度, 对X射线阵列组合折射透镜中的正负二级组合透镜折光 2θ 角度, 依此类推, 最终实现对X射线阵列组合折射透镜中每一个单一组合折射透镜的类平行光入射。

[0021] 进一步, 所述X射线折光器选择折射特性满足下列公式的任何单质或化合物材料,

$$[0022] \quad \text{X射线波段材料的折射系数: } \delta = \sum_i \frac{N_A r_0 \lambda^2}{2\pi} \frac{Z_i}{A_i} \rho_i = \frac{N_A r_0 \lambda^2}{2\pi} \cdot \frac{\sum_i v_i Z_i}{\sum_j v_j A_j} \quad (1)$$

[0023] 其中, N_A 代表阿伏伽德罗常数, r_0 代表电子半径, λ 代表波长, A 代表原子质量, 下标 i 表示化合物中的元素种类, 下标 j 为正整数, ρ 代表电子密度, 下标 i 代表化合物中的元素种类, 当材料为单质时 $i=1$, v 代表原子个数, 下标 i 表示化合物中的元素种类, 下标 j 为正整数, Z 代表原子序数, 下标 i 表示化合物中的元素种类。

[0024] 再进一步, 所述X射线折光器的非折光区材料厚度用 t_{z0} 表示, 所述X射线折光器的非折光区宽度尺寸 $T_z = T_0 + 2G_2$, T_0 为零级透光带的宽度; t_{z0} 为非折光区的材料厚度, 折光区的材料厚度 t_{zM} 由下列公式计算得出:

$$[0025] \quad t_{zM} = t_{z0} + T_M \cdot \tan(0.5M \cdot \theta) \quad (2)。$$

[0026] 其中, G_2 为正负二级阻光带的宽度, 由公式(8)取 $M=2$ 时计算得出; T_M 为透光带的宽度, 由公式(7)计算得出。

[0027] 将本实施例的X射线折光器应用于微型化X射线阵列组合折射透镜集成组件, 所述集成组件包括X射线光阑1、X射线折光器2、X射线阵列组合透镜3和组件承载台4, X射线光束照射在所述X射线阵列组合折射透镜集成组件上, 首先被X射线光阑接收, 并进行第一次整形和滤波, 所述第一次整形是指依据所述X射线阵列组合折射透镜的数值口径, 对入射X射线光波进行整形; 所述滤波是指将入射X射线光波分裂形成多个子光束, 子光束的数目与X射线阵列组合折射透镜中的组合折射透镜数目相同。已分裂成多个子光束的X射线光波接着入射进所述X射线折光器, 经X射线折光器进行光束第二次整形, 所述光束的第二次整形保证从X射线折光器出射的多个X射线子光束, 均以类平行光的方式入射阵列中对应的X射线组合折射透镜。所述X射线阵列组合折射透镜对入射的多个X射线子光束分别进行聚焦, 所述X射线阵列组合折射透镜的阵列结构布局, 保证每一个子光束所形成的聚焦焦斑在同一位置, 并位于光轴上。所述组件承载台用于承载所述X射线光阑、X射线折光器、X射线阵列组合折射透镜, 并在所述X射线光阑、X射线折光器、X射线阵列组合折射透镜的相对位置和光轴调整完毕后进行固定。

[0028] 进一步地, 所述X射线阵列组合折射透镜中包含 $(M+1)$ 个X射线组合折射透镜, 所述 M 为正整数且为偶数。所述X射线阵列组合折射透镜沿其光轴呈轴对称分布, 所述X射线阵列组合折射透镜的光轴与阵列中零级X射线组合折射透镜的光轴重合, 所述X射线阵列组合折射透镜的光轴与阵列中的正负一级X射线组合折射透镜的光轴夹角为 θ , 所述X射线阵列组合折射透镜的光轴与阵列中的正负二级X射线组合折射透镜的光轴夹角为 2θ , 依此类推。

[0029] 再进一步, 所述X射线阵列组合折射透镜中 $(M+1)$ 个组合折射透镜的布局结构, 使得所有 $(M+1)$ 个X射线组合折射透镜聚焦的焦斑在相同位置, 且位于光轴上。

[0030] 进一步地, 所述 $(M+1)$ 个X射线组合折射透镜的结构和性能参数, 依据下列公式得出:

$$[0031] \quad \text{X射线波段的光学常数: } n = 1 - \delta + i\beta \quad (3)$$

$$[0032] \quad \text{X射线组合折射透镜的焦距: } f = \frac{R}{2N\delta} \quad (4)$$

$$[0033] \quad \text{X射线组合折射透镜的焦斑尺寸: } \Delta p = \frac{\lambda}{\pi\delta} \sqrt{\frac{\ln 2}{2N}} \sqrt{\mu R} \quad (5)$$

$$[0034] \quad \text{X射线组合折射透镜的数值口径: } D_{\text{eff}} = 2R_0 \sqrt{\frac{1 - e^{-a}}{a}} \quad (6)$$

[0035] 其中n代表光学常数,δ代表X射线波段材料的折射,B代表X射线波段材料的吸收,N代表X射线组合折射透镜中折射单元的个数,以抛物面型折射单元为例,组合折射透镜抛物面顶点的曲率半径为R,抛物面的开口尺寸为R₀,f代表X射线组合折射透镜的焦距,λ代表波长,μ代表X射线的线吸收系数, $\alpha = \frac{\mu N R_0^2}{R}$ 。

[0036] 更进一步,所述X射线折光器,与所述X射线阵列组合折射透镜贴近放置,实现入射X射线光束的第二次整形,所述第二次整形,是指X射线折光器可对X射线阵列组合折射透镜中的正负一级组合透镜折光θ角度,对X射线阵列组合折射透镜中的正负二级组合透镜折光2θ角度,依此类推,最终实现对X射线阵列组合折射透镜中每一个单一组合折射透镜的类平行光入射。

[0037] 再进一步,所述X射线光阑的结构尺寸,根据所述X射线阵列组合折射透镜的结构尺寸确定,实现入射X射线光束的第一次整形和滤波,所述光束的第一次整形,是指利用X射线光阑结构阻隔射入X射线阵列组合折射透镜之外的杂散光并对光束进行初步准直的功能;所述滤波是指X射线光阑结构中透光带和阻光带交替布置的滤波结构,并通过滤波结构将X射线光波分裂成多个子光束。

[0038] 所述透光带的数目为(M+1)个,与所述X射线阵列组合折射透镜中组合折射透镜的数目相同。所述透光带和阻光带的宽度分别由下列公式计算得出:

[0039] 零级透光带T₀,与X射线组合折射透镜的数值口径尺寸相同,正负一级透光带、正负二级透光带...,依此类推,透光带宽度表示为:

$$[0040] \quad T_M = \frac{T_0}{\cos(0.5M \cdot \theta)} \quad (7)$$

[0041] 正负一级阻光带、正负二级阻光带...,依此类推,阻光带宽度表示为:

$$[0042] \quad G_M = L \cdot \tan(0.5M \cdot \theta) \quad (8)$$

[0043] 其中L代表X射线组合折射透镜的几何长度,表示为L=N·l,其中l为折射单元轴向厚度尺寸。

[0044] 所述X射线光阑可选择吸收特性满足下列公式的任何材料,通常选择铜、铅等金属材料,

$$[0045] \quad \text{X射线波段材料的吸收系数: } \beta = \sum_i \frac{N_A r_0 \lambda^2}{2\pi} \frac{f_2}{A_i} \rho_i \quad (9)$$

[0046] 其中N_A代表阿伏伽德罗常数,r₀代表电子半径,A代表原子质量,f₂代表原子散射因子,ρ代表电子密度,i代表化合物中的元素种类,当材料为单质是i=1。

[0047] 所述X射线光阑的材料厚度t满足表达式e^{-β·t}<<1。

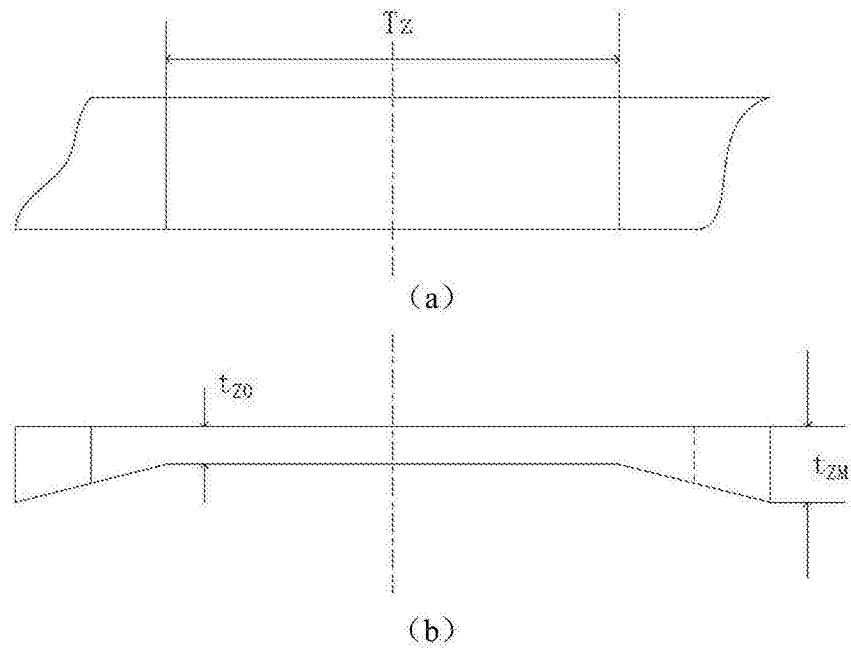


图1

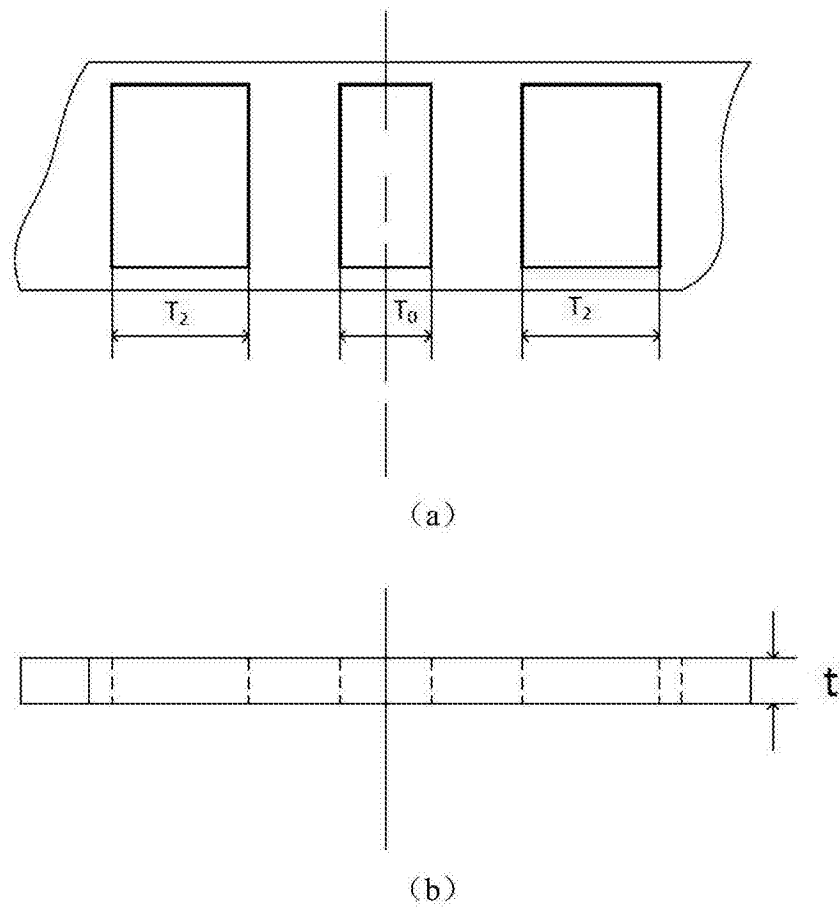


图2

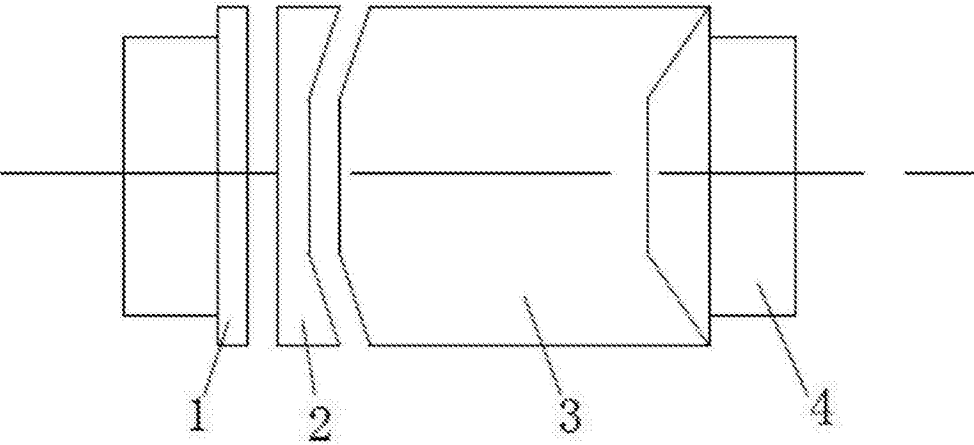


图3

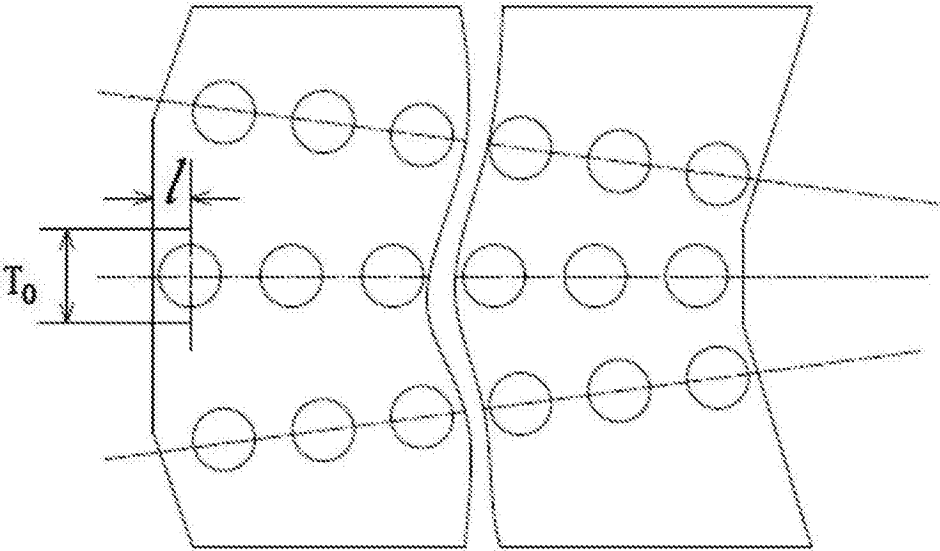


图4