

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2019 年 1 月 31 日 (31.01.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/019449 A1

(51) 国际专利分类号:
G01T 1/202 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/108097

(22) 国际申请日: 2017 年 10 月 27 日 (27.10.2017)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201710631228.4 2017 年 7 月 28 日 (28.07.2017) CN

(71) 申请人: 苏州瑞派宁科技有限公司 (RAYCAN TECHNOLOGY CO., LTD.(SUZHOU)) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市高新区锦峰路 8 号 17 栋, Jiangsu 215163 (CN)。

(72) 发明人: 牛明(NIU, Ming); 中国江苏省苏州高新区锦峰路 8 号 17 栋, Jiangsu 215163 (CN)。 刘彤(LIU, Tong); 中国江苏省苏州高新区锦峰路 8 号 17 栋, Jiangsu 215163 (CN)。 华越轩(HUA, Yuexuan); 中国江苏省苏州高新区锦峰路 8 号 17 栋, Jiangsu 215163 (CN)。 孙意成(SUN, Yicheng); 中国江苏省苏州高新区锦峰路 8 号 17 栋, Jiangsu 215163 (CN)。 谢庆国(XIE, Qingguo); 中国江苏省苏州高新区锦峰路 8 号 17 栋, Jiangsu 215163 (CN)。

(74) 代理人: 北京博华智恒知识产权代理事务所 (普通合伙) (INTEWIG & PARTNERS); 中国北京市海淀区北三环西路甲 18 号院大钟寺中坤广场 E612, Beijing 100098 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,

(54) Title: NUCLEUS DETECTOR

(54) 发明名称: 一种核探测器

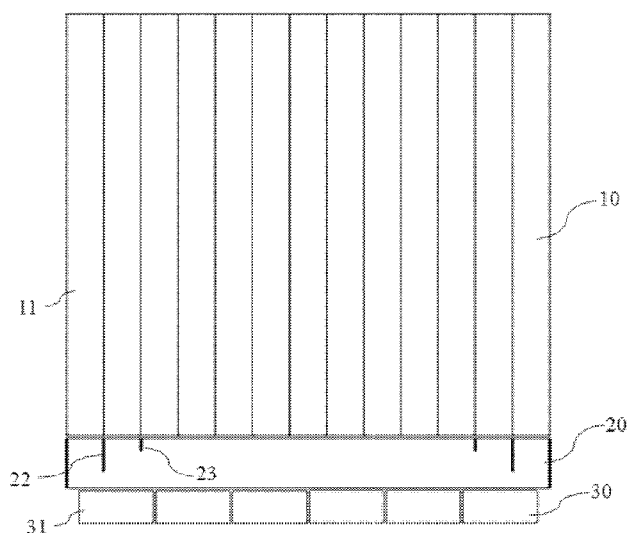


图 1

(57) Abstract: Disclosed is a nucleus detector, comprising a scintillation crystal array (10), a light guide (20) and a photoelectric detector array (30), wherein the scintillation crystal array (10) comprises several scintillation crystal strips (11) closely arranged in sequence and of the same size, the photoelectric detector array (30) comprises several photoelectric detectors arranged in sequence, the cross sectional area of the photoelectric detectors is greater than the cross sectional area of the scintillation crystal strips (11), the light guide (20) comprises a top face and a bottom face opposite each other and side faces, the top face of the light guide (20) is coupled



WO 2019/019449 A1

BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

with the scintillation crystal array (10), the bottom face of the light guide (20) is coupled with the photoelectric detector array (30), and the thickness of the light guide (20) is 0.1 mm to 40 mm. The light guide (20) further has slots (22, 23) provided near an edge of the light guide (20), the slots (22, 23) extend from the top face to the bottom face of the light guide (20), and the depth of the slots (22, 23) is 0.1-0.5 times the thickness of the light guide (22, 23).

(57) 摘要: 一种核探测器包括闪烁晶体阵列(10)、光导(20)和光电探测器阵列(30), 闪烁晶体阵列(10)包括若干个依序紧密排列且尺寸相同的闪烁晶体条(11), 光电探测器阵列(30)包括若干个依序排列的光电探测器, 光电探测器的横截面积大于闪烁晶体条(11)的横截面积, 光导(20)包括相对的顶面、底面和侧面, 光导(20)的顶面与闪烁晶体阵列(10)耦合, 光导(20)的底面与光电探测器阵列(30)耦合, 光导(20)的厚度介于0.1mm-40mm之间; 光导(20)还具有设置于靠近所述光导(20)的边缘处的切缝(22, 23), 切缝(22, 23)自光导(20)的顶面向底面延伸, 切缝(22, 23)的深度介于光导(22, 23)的厚度的0.1-0.5倍之间。

一种核探测器

技术领域

本发明涉及一种辐射探测设备，更具体地涉及一种核探测器。

背景技术

在 γ 照相机、正电子发射计算机断层成像（简称 PET，Positron Emission Tomography）系统、辐射探测仪和晶体性能检测装置等核探测设备中，核探测器的空间分辨率是体现核探测设备性能的一个重要指标。比如在 PET 系统中，空间分辨率体现了 PET 系统对细微组织的空间辨识能力，是 PET 系统中最为重要的两个指标之一，也同时是评价 PET 图像质量的重要指标之一。PET 系统作为一种影像系统最根本的评价标准是重建图像的质量，高质量的重建图像要求有良好的分辨率，空间分辨率是过去十多年来 PET 系统开发中一直重点优化的对象。特别是在动物 PET 系统中，由于动物大小的原因，对系统成像空间分辨率的要求远高于临床 PET 系统。

现有技术中通常将晶体条切细至小于 2.0 mm 的核探测器称为高空间分辨率核探测器，目前的高空间分辨率核探测器通常采用以下几种设计方案：

第一种，通过位置敏感型光电倍增管（简称 PSPMT）耦合闪烁晶体阵列的方式实现高空间分辨率，位置敏感型光电倍增管具有增益高（ 10^6 ）、噪声低的特点，能够实现非常高的空间分辨率，已经有团队通过该耦合方式实现了空间分辨率要求很高的小动物 PET 系统（参考文献 Luyao Wang, Jun Zhu,

Xiao Liang, Ming Niu, Xiaoke Wu, Chien-Min Kao, Heejong Kim and Qingguo Xie, "Performance evaluation of the Trans-PET® BioCaliburn® LH system - A large FOV small-animal PET system", Physics in Medicine and Biology [J], 2014), 达到了较好的系统性能。

第二种, 通过雪崩光电二极管阵列(简称 APD array)与相同尺寸的闪烁晶体阵列直接耦合的方式实现高空间分辨率, 位置敏感型雪崩光电二极管体积小, 正常工作时需求的电压不高, 搭建 PET 探测器具有较强的灵活性, 也可降低一部分系统集成工程难度, 已有团队通过该耦合方式实现了较高空间分辨率的小动物 PET 探测器(参考文献 Bergeron M, Cadorette J, Beaudoin J F, et al. Performance Evaluation of the LabPET APD-Based Digital PET Scanner[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2009, 56(1):10-16)。

第三种, 通过硅光电倍增管阵列(简称 SiPM array)与相同尺寸的闪烁晶体阵列 1:1 直接耦合的方式来搭建 PET 探测器。硅光电倍增管增益为 10^6 , 与光电倍增管媲美, 噪声低, 体积小, 排列紧实, 时间性能良好。使用 SiPM array 搭建 PET 探测器时, 前端探测器输出信号的信噪比高, 探测器灵敏性强, 也可降低系统集成的工程难度。由于是半导体器件, 具有大量生产时价格低廉的优势, 尤其适合在 PET 这种探测器数量众多的仪器设备中。已有团队通过 SiPM 阵列和闪烁晶体阵列 1:1 直接耦合的方式实现了 PET 探测器的设计、生产, 并且完成了系统集成, 得到了 2.5 mm 左右的 PET 系统空间分辨率(参考文献 Daoming Xi, Jingjing Liu, Yanzhao Li, Jun Zhu, Ming Niu, Peng Xiao, Qingguo Xie, "Investigation of continuous scintillator/SiPM detector for local extremely high spatial resolution PET", in Conference Record of the 2011 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference [C], pp. 4429 - 4432, 2011)。

然而，上述的核探测器设计中还存在诸多不足之处，比如第一种基于 PSPMT 耦合阵列闪烁晶体的核探测器，首先，其光电倍增管十分昂贵，对于通道数成千上万的 PET 系统而言，使用的探测器数量相当多，设备成本太高；其次，光电倍增管本身体积较大，不利于灵活的搭建系统；再次，光电倍增管运行时一般需要一千伏左右的高压，这会增加 PET 系统集成时的工程难度。对于第二种通过 APD 阵列耦合阵列闪烁晶体的核探测器，由于雪崩光电二极管有着天然的缺陷，增益不够高，噪声也较大，会造成前端探测器产生的电脉冲信号的信噪比将低，影响电子学读出效果，最终降低 PET 探测器的性能。对于第三种通过硅光电倍增管阵列和相同尺寸的阵列闪烁晶体 1:1 直接耦合的方式组成的 PET 探测器，虽然其能够获得较好的能量分辨率和时间分辨率，但是在该耦合方式下其空间分辨率受限于硅光电倍增管的尺寸，难以通过切细阵列晶体中晶体条的尺寸进一步提高 PET 探测器的空间分辨率。

综上所述，现有技术中基于 PSPMT 耦合阵列闪烁晶体的核探测器不仅成本太高，而且系统集成灵活度不高和工程难度较大，虽然在高空间分辨率的 PET 系统中可以采用，但付出的研发成本和生产成本都比较高。基于 APD 阵列耦合闪烁晶体阵列的核探测器，其雪崩光电二极管增益较低，信号的信噪比不好，会降低高空分辨率 PET 系统的性能。基于 SiPM 阵列 1:1 直接耦合闪烁晶体的 PET 探测器兼有上述两种方式的优点，但是受限于 SiPM 阵列中单颗 SiPM 的尺寸，难以获得晶体条切细至 2 mm 以下的高空间分辨率核探测器。

因此，针对上述技术问题，有必要提出一种成本低廉、系统集成灵活度高且空间分辨率更高的核探测器以克服上述缺陷。

发明内容

本发明的目的是提供一种核探测器，从而解决现有技术中核探测器的成本高、系统集成灵活度低且空间分辨率不高的问题。

为了解决上述技术问题，本发明的技术方案是提供一种核探测器，所述核探测器包括闪烁晶体阵列、光导和光电探测器阵列，所述闪烁晶体阵列包括若干个依序紧密排列且尺寸相同的闪烁晶体条，所述光电探测器阵列包括若干个依序排列的光电探测器，所述光电探测器的横截面积大于所述闪烁晶体条的横截面积，所述光导包括相对的顶面、底面和侧面，所述光导的顶面与所述闪烁晶体阵列耦合，所述光导的底面与所述光电探测器阵列耦合，所述光导的厚度介于 0.1mm-40mm 之间；所述光导还具有切缝，所述切缝设置于靠近所述光导的边缘处，所述切缝自所述光导的顶面向所述光导的底面延伸，所述切缝的深度介于所述光导的厚度的 0.1-0.5 倍之间。

根据本发明的一个实施例，所述光导呈长方体形状，所述切缝的延伸方向垂直于所述光导的所述顶面和所述底面。

根据本发明的一个实施例，所述切缝距离所述光导的所述侧面的距离介于所述闪烁晶体条的宽度的 1.1-1.9 倍之间。

根据本发明的一个实施例，所述光导呈锥形台形状，所述光导的顶面面积大于所述光导的底面面积，所述切缝的延伸方向平行于所述锥形台的侧面。

根据本发明的一个实施例，所述切缝包括第一切缝和第二切缝，所述第一切缝距离所述光导的所述侧面的距离等于所述闪烁晶体条的宽度，所述第二切缝距离所述光导的所述侧面的距离等于所述闪烁晶体条的宽度的两倍，

所述第一切缝的深度大于所述第二切缝的深度。

根据本发明的一个实施例，所述切缝的数量介于 1-40 之间，所述切缝自所述光导的侧面向所述光导的中心依次分布，所述切缝的深度自所述光导的侧面处向所述光导的中心依次递减。

根据本发明的一个实施例，所述闪烁晶体条的宽度介于 0.5mm-4mm 之间。

根据本发明的一个实施例，所述闪烁晶体条的侧面涂覆有不透光物质。

根据本发明的一个实施例，所述不透光物质为硫酸钡粉末或者镜面反射膜。

根据本发明的一个实施例，所述切缝中和所述光导的侧面涂覆有不透光物质。

根据本发明的一个实施例，所述不透光物质为黑色油漆。

根据本发明的一个实施例，所述光导的层数介于 1-4 层之间，各层所述光导的累计厚度介于 0.1mm-40mm 之间。

本发明提供的核探测器，在闪烁晶体阵列中闪烁晶体条的尺寸明显小于光电探测器尺寸时，也就是无法实现闪烁晶体条和光电探测器 1:1 直接耦合的情况下，在两者之间加入具有切缝的光导，从而能够实现高空间分辨率的核探测器。由于光导的厚度较小，对闪烁晶体每次的闪烁光子损失较小，几乎不损失闪烁光子的信噪比，不仅能够实现核探测器的高空间分辨率，而且不会恶化核探测器的性能，使得该核探测的能量分辨率、符合时间分辨率均满足高空间分辨率 PET 探测器的需要，并且生产方便，制造便捷，成本低廉。

附图说明

图 1 是根据本发明的一个优选实施例的核探测器的正面示意图；

图 2 是根据图 1 的核探测器的光导的立体示意图；

图 3 是根据图 1 的核探测器的复用电路的示意图；

图 4 是根据图 1 的核探测器的晶体位置谱的示意图；

图 5 是根据图 1 的核探测器的能量谱的示意图；

图 6 是根据图 5 的核探测器的中心闪烁晶体条的能量谱的示意图；

图 7 是根据图 5 的核探测器的边缘闪烁晶体条的能量谱的示意图；

图 8 是根据图 5 的核探测器的闪烁晶体条的平均能量谱的示意图，其中闪烁晶体条的平均能量分辨率为 14.8%；

图 9 是根据图 5 的核探测器的符合时间分辨率的示意图，其中符合时间分辨率为 941.4ps；

图 10 是根据本发明的另一个实施例的核探测器的正面示意图；

图 11 是根据本发明的又一个实施例的核探测器的正面示意图。

具体实施方式

以下结合具体实施例，对本发明做进一步说明。应理解，以下实施例仅用于说明本发明而非用于限制本发明的范围。

图 1 为根据本发明的一个优选实施例的核探测器的正面示意图，图 2 为根据图 1 的核探测器的光导的立体示意图，由图 1 结合图 2 可知，本发明提供的核探测器包括闪烁晶体阵列 10、光导 20 以及光电探测器阵列 30，光导 20 设置于闪烁晶体阵列 10 和光电探测器阵列 30 之间且分别与闪烁晶体阵列 10 和光电探测器阵列 30 耦合。具体地，闪烁晶体阵列 10 包括 $m \times n$ 个依序紧密排列且尺寸相同的闪烁晶体条 11， m 、 n 均为不小于 5 的自然数，单个的闪烁晶体条 11 为六面抛光的长方体，单个的闪烁晶体条 11 的侧面涂抹不透光的漫反射物质，比如 BaSO_4 粉末或者镜面反射膜，单个的闪烁晶体条 11 的底面组合形成了闪烁晶体阵列 10 的底面；如图 2 所示，光导 20 包

括光导本体 21、第一切缝 22 和第二切缝 23，光导本体 21 呈长方体形状，光导 20 的顶面与闪烁晶体阵列 10 的底面耦合，光导 20 的顶面面积等于闪烁晶体阵列 10 的底面面积，光导 20 的顶面上还设置有四条第一切缝 22 和四条第二切缝 23，四条第一切缝 22 分别平行于光导 20 的顶面的四条边，四条第二切缝 23 也分别平行于光导 20 的顶面的四条边，第一切缝 22 和第二切缝 23 均自光导 20 的顶面沿着光导 20 的厚度方向向光导 20 内部延伸，四条第二切缝 23 与四条第一切缝 22 相比更靠近光导 20 的中心。在图 1 的实施例中，第一切缝 22 距离光导 20 边缘的距离等于单个闪烁晶体条 11 的宽度，第一切缝 22 和第二切缝 23 之间的距离等于单个闪烁晶体条 11 的宽度，第一切缝 22 的深度大于第二切缝 23 的深度。光电探测器阵列 30 的顶面与光导 20 的底面耦合，光电探测器阵列 30 包括 $x \times y$ 个依序排列且尺寸相同的光电探测器 31， x 、 y 均为自然数，单个光电探测器 31 的横截面积大于单个闪烁晶体条 11 的横截面积，光电探测器阵列 30 的顶面面积小于光导 20 的底面面积。

更具体地，在图 1 的实施例中，闪烁晶体阵列 10 由 13×13 个单独的闪烁晶体条 11 形成，闪烁晶体条 11 的材质为硅酸钪镨闪烁晶体(简称 LYSO)，单根闪烁晶体条的尺寸为 $1.89\text{mm} \times 1.89\text{mm} \times 13\text{mm}$ ，闪烁晶体阵列 10 的整体尺寸为 $26.5\text{mm} \times 26.5\text{mm} \times 13.3\text{mm}$ ，各个闪烁晶体条 11 之间涂抹 BaSO_4 粉末。光导 20 的厚度为 1.4mm ，第一切缝 22 的宽度为 0.2mm ，深度为 1.0mm ，第二切缝的宽度为 0.2mm ，深度为 0.4mm ，第一切缝 22 和第二切缝 23 中均填充不透光物质，比如黑色不透光的油漆。值得注意的是，为了实现更好的导光效果，光导 20 的侧面也涂抹了不透光物质。光电探测器阵列 30 采用 6×6 个硅光电倍增管 31，单个硅光电倍增管 31 的尺寸为 $4\text{mm} \times 4\text{mm} \times 0.65\text{mm}$ ，相邻的硅光电倍增管 31 之间具有缝隙，缝隙的宽度为 0.2mm 。

图 3 为根据图 1 的核探测器的复用电路的示意图，由图 3 可知，本发明的核探测器的复用电路采用了均衡电荷分配电路，该电路包括 16 个通道，

每个通道的硅光电倍增管 31 的闪烁脉冲信号先经过两个电阻 40 均衡分配电荷以产生 8 路加权信号 50，电阻 40 的阻值为 220 欧姆；通过该均衡电荷分配电路可使 $x \times y$ 路的硅光电倍增管 31 的闪烁脉冲信号减少为 $x+y$ 路，最后通过 Anger 算法产生位置谱。值得注意的是，Anger 算法为本领域的常用技术手段，在此不再赘述。

图 4 是根据本发明的一个实施例的核探测器的能量谱的示意图，由图 4 可知，硅光电倍增管 31 产生的闪烁脉冲信号经过复用电路处理后，进一步采用多阈值（MVT）数字化方法处理。不同于传统的固定时间进行电压采样的 ADC 方法，MVT 数字化方法预先在系统中设置多个电压阈值，记录闪烁脉冲信号到达各个电压阈值时对应的时间，进一步借助于闪烁脉冲模型的先验知识，通过拟合即可得到闪烁脉冲信号的时间、能量、基线漂移和衰减时间信息，进一步通过能量信息可获得位置信息，图 4 即为通过 MVT 数字化方法获得的图 1 的核探测器的位置谱图像，由图 4 可见，该核探测器的 13×13 个晶体的位置谱清晰可见。

图 5 示出了根据图 1 的基于 SiPM 的核探测器在应用了位置查表算法后获得的 13×13 个闪烁晶体条的能量谱，从图 5 中可知，通过对能量谱中光电峰进行高斯拟合可得每个闪烁晶体条上的能量分辨率，单个闪烁晶体条的能量分辨率介于 12.9%-30.1% 之间。图 6 是根据图 5 的核探测器的中心闪烁晶体条的能量谱的示意图，图 7 是根据图 5 的核探测器的边缘闪烁晶体条的能量谱的示意图，由图 6 对比图 7 可知，位于核探测器边缘的闪烁晶体条的能量分辨率与位于核探测器中心的闪烁晶体条的能量分辨率相比更差。图 8 为根据图 5 的核探测器的闪烁晶体条的平均能量谱的示意图，由图 8 可知， 13×13 个闪烁晶体条的平均能量分辨率为 14.8%。

图 9 是根据图 5 的核探测器的符合时间分辨率的示意图，由图 9 可知，对正对放置的基于 SiPM 的核探测器抽取 4573 对相邻的响应线（简称 LOR，Line of Response）统计符合时间分布谱，所有的事件均经过 350-650keV 的

能量窗筛选，通过高斯拟合后获得的符合时间分辨率为 941.4ps。

图 10 为根据本发明的另一个实施例的核探测器的正面示意图，在图 10 的实施例中，核探测器的闪烁晶体阵列 110 和光电探测器阵列 130 均与图 1 所示的实施例相同，在此不再赘述。不同之处为，图 10 的实施例中，光导 120 的顶面上仅设置有四条第一切缝 122，该第一切缝 122 的分别平行于光导 120 的顶面的四条边切割，第一切缝 122 自光导 120 的顶面沿着光导 120 的厚度方向向光导 120 内部延伸，四条第一切缝 122 距离相应的光导 120 的边缘的距离介于闪烁晶体条宽度的 1.1-1.9 倍之间，第一切缝 122 的深度介于光导 120 的厚度的 0.1-0.5 倍之间。比如，在图 10 的实施例中，第一切缝 122 距离相应的光导 120 的边缘的距离为闪烁晶体条的宽度的 1.5 倍，第一切缝 122 的深度为 0.4mm，光导 120 厚度为 1.4mm。

图 11 是根据本发明的又一个实施例的核探测器的正面示意图，在图 11 的实施例中，核探测器的闪烁晶体阵列 210 和光电探测器阵列 230 均与图 1 所示的实施例相同，在此不再赘述。不同之处为，图 11 的实施例中，光导 220 呈锥形台状，包括相对的顶面、底面和四个侧面，光导 220 的顶面面积大于底面面积，光导 220 的底面面积等于光电探测器阵列 230 的顶面面积；光导 220 的顶面上设置有四条第一切缝 222 和四条第二切缝 223，第一切缝 222 和第二切缝 223 所在的平面的分别平行于光导 220 的四个侧面，四条第一切缝 222 距离相应的光导 220 的侧面的距离等于单个闪烁晶体条的宽度，第二切缝 223 距离相应的光导 220 的侧面的距离等于单个闪烁晶体条的宽度的两倍；第一切缝 222 的深度大于第二切缝 223 的深度。比如，在图 10 的实施例中，第一切缝 222 的宽度为 0.2mm，深度为 1.0mm，第二切缝 223 的宽度为 0.2mm，深度为 0.4mm。

根据本发明的一个实施例，光导采用的材料为普通无机玻璃、有机玻璃或者闪烁晶体等透明元件。

根据本发明的一个实施例，光导的层数介于 2-4 层之间，所有光导的累

计厚度介于 0.1mm-40mm 之间。

根据本发明的一个实施例，光导还可为圆锥台、圆柱体或者类锥形多面体等形状，光导的宽度或者直径介于闪烁晶体阵列的宽度和光电探测器阵列的宽度之间。

根据本发明的一个实施例，光导的第一切缝或者第二切缝中填充的不透光物质还可以为镜面反射膜（简称 ESR，Enhanced Specular Reflector）。

根据本发明的另一个实施例，光导的切缝数量还可大于 2，光导的切缝数量不超过 40 个。

根据本发明的一个实施例，闪烁晶体条为无机闪烁晶体，包括锗酸铋、硅酸镓、溴化镧、硅酸钇镓、硅酸镓、氟化钡、碘化钠和碘化铯等。

根据本发明另外的实施例，闪烁晶体阵列中的单个闪烁晶体条的宽度介于 0.5mm-4mm 之间。

根据本发明的一个实施例，光电探测器阵列中的光电探测器还可采用雪崩光电二极管（APD）、多像素光子计数器（MPPC）和盖革模式雪崩光电二极管（G-APD）。

本发明提供的核探测器，在闪烁晶体阵列中闪烁晶体条的尺寸明显小于光电探测器尺寸时，也就是无法实现闪烁晶体条和光电探测器 1:1 直接耦合的情况下，在两者之间加入具有切缝的光导，从而能够实现高空间分辨率的核探测器。由于光导的厚度较小，对闪烁晶体每次的闪烁光子损失较小，几乎不损失闪烁光子的信噪比，不仅能够实现核探测器的高空间分辨率，而且不会恶化核探测器的性能，使得该核探测的能量分辨率、符合时间分辨率均满足高空间分辨率 PET 探测器的需要，并且生产方便，制造便捷。

以上所述的，仅为本发明的较佳实施例，并非用以限定本发明的范围，本发明的上述实施例还可以做出各种变化。即凡是依据本发明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，皆落入本发明专利的权利

要求保护范围。本发明未详尽描述的均为常规技术内容。

权 利 要 求 书

1.一种核探测器，所述核探测器包括闪烁晶体阵列、光导和光电探测器阵列，所述闪烁晶体阵列包括若干个依序紧密排列且尺寸相同的闪烁晶体条，所述光电探测器阵列包括若干个依序排列的光电探测器，所述光电探测器的横截面积大于所述闪烁晶体条的横截面积，所述光导包括相对的顶面、底面和侧面，所述光导的顶面与所述闪烁晶体阵列耦合，所述光导的底面与所述光电探测器阵列耦合，其特征在于，

所述光导的厚度介于 0.1mm-40mm 之间；

所述光导还具有切缝，所述切缝设置于靠近所述光导的边缘处，所述切缝自所述光导的顶面向所述光导的底面延伸，所述切缝的深度介于所述光导的厚度的 0.1-0.5 倍之间。

2.根据权利要求 1 所述的核探测器，其特征在于，所述光导呈长方体形状，所述切缝的延伸方向垂直于所述光导的所述顶面和所述底面。

3.根据权利要求 2 所述的核探测器，其特征在于，所述切缝距离所述光导的所述侧面的距离介于所述闪烁晶体条的宽度的 1.1-1.9 倍之间。

4.根据权利要求 1 所述的核探测器，其特征在于，所述光导呈锥形台形状，所述光导的顶面面积大于所述光导的底面面积，所述切缝的延伸方向平行于所述锥形台的侧面。

5.根据权利要求 2 或 4 所述的核探测器，其特征在于，所述切缝包括第一切缝和第二切缝，所述第一切缝距离所述光导的所述侧面的距离等于所述闪烁晶体条的宽度，所述第二切缝距离所述光导的所述侧面的距离等于所述

闪烁晶体条的宽度的两倍，所述第一切缝的深度大于所述第二切缝的深度。

6.根据权利要求 1 所述的核探测器，其特征在于，所述切缝的数量介于 1-40 之间，所述切缝自所述光导的侧面向所述光导的中心依次分布，所述切缝的深度自所述光导的侧面处向所述光导的中心依次递减。

7.根据权利要求 1 所述的核探测器，其特征在于，所述闪烁晶体条的宽度介于 0.5mm-4mm 之间。

8.根据权利要求 1 所述的核探测器，其特征在于，所述闪烁晶体条的侧面涂覆有不透光物质。

9.根据权利要求 8 所述的核探测器，其特征在于，所述不透光物质为硫酸钡粉末或者镜面反射膜。

10.根据权利要求 1 所述的核探测器，其特征在于，所述切缝中以及所述光导的侧面涂覆有不透光物质。

11.根据权利要求 10 所述的核探测器，其特征在于，所述不透光物质为黑色油漆。

12.根据权利要求 1 所述的核探测器，其特征在于，所述光导的层数介于 1-4 层之间，各层所述光导的累计厚度介于 0.1mm-40mm 之间。

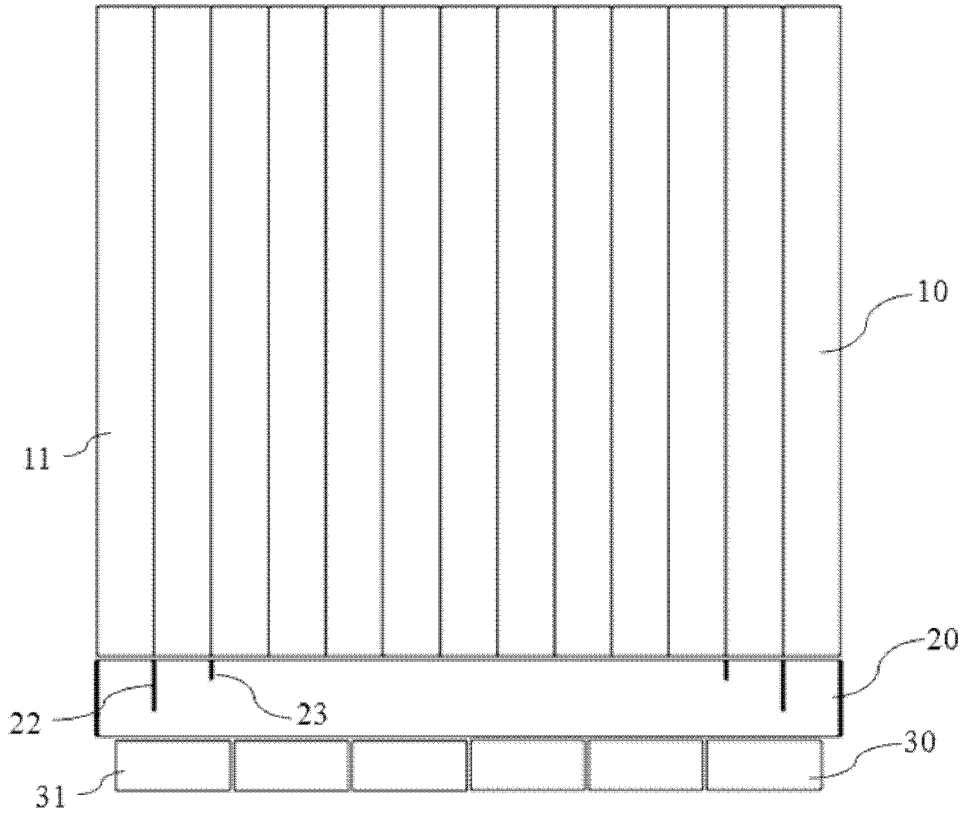


图 1

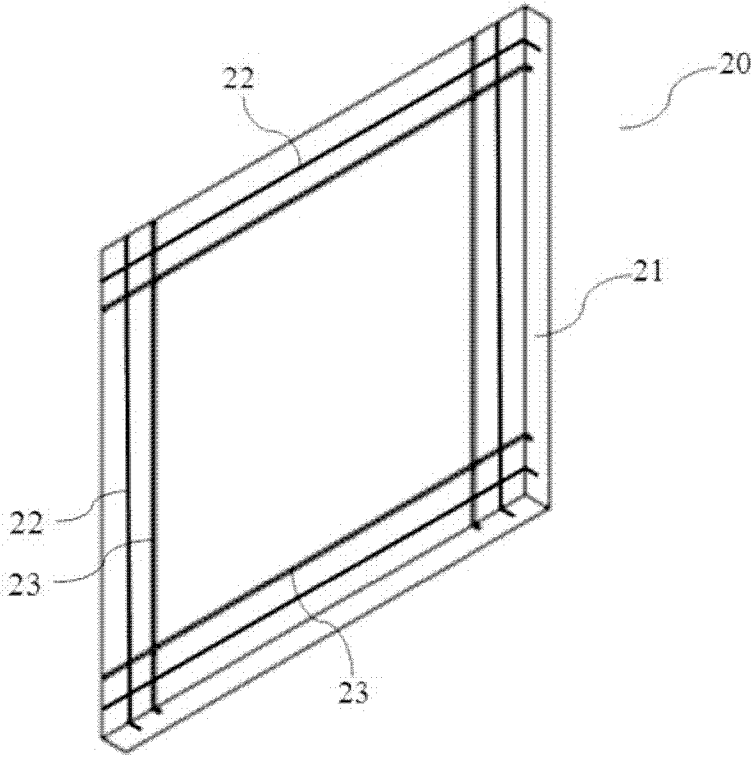


图 2

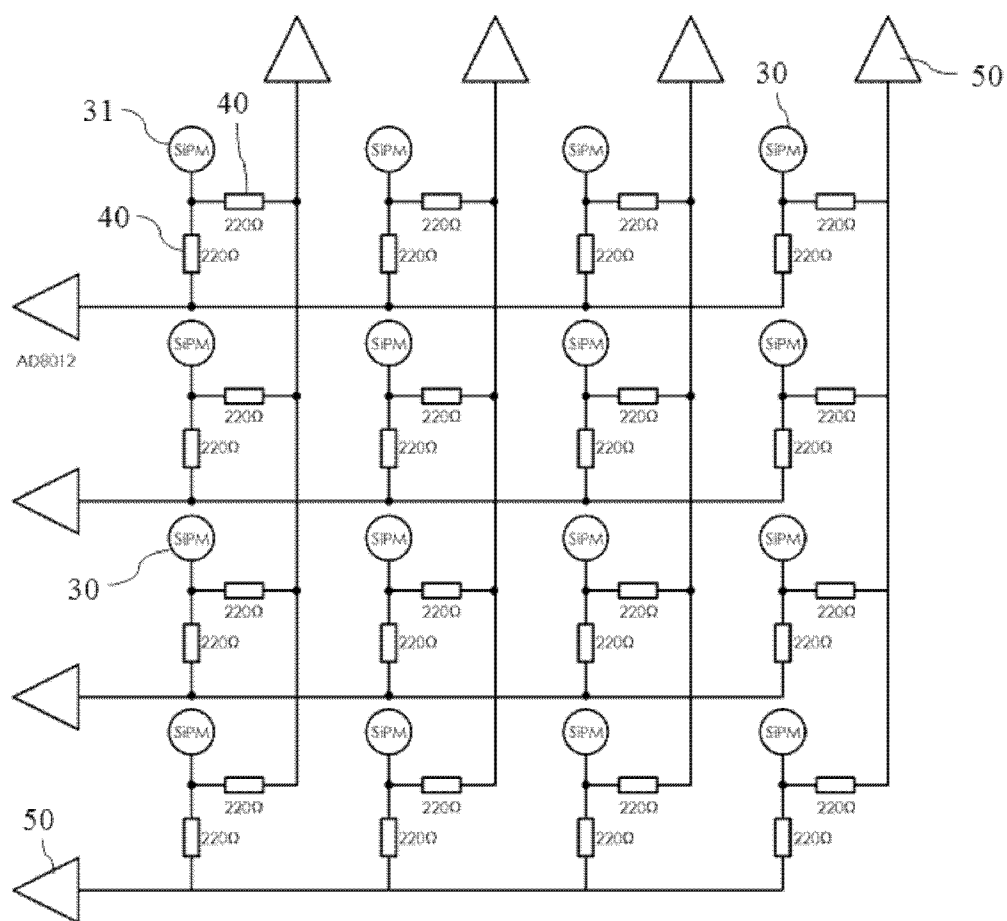


图 3

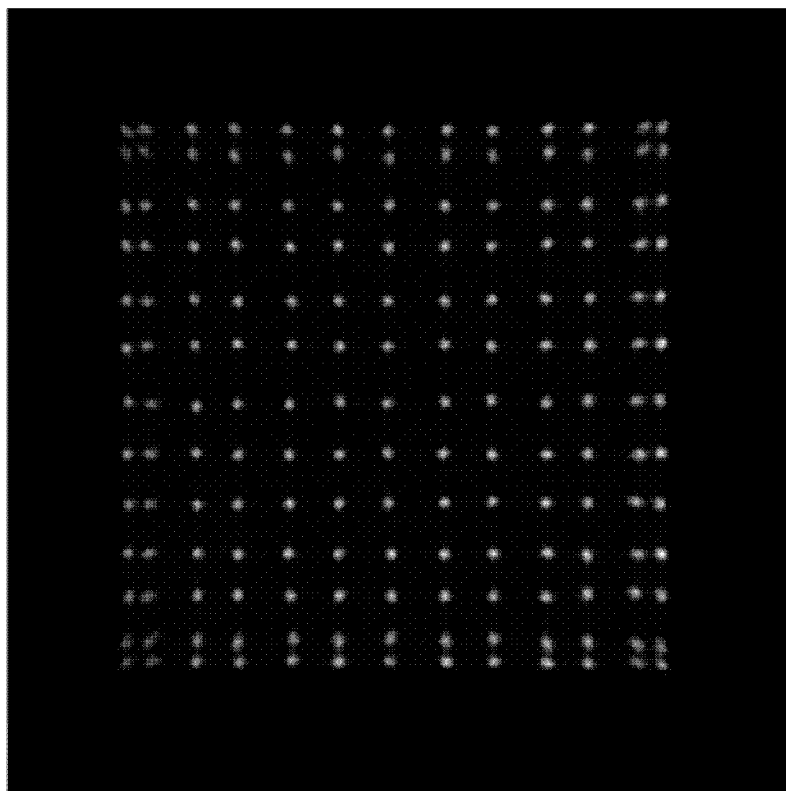


图 4

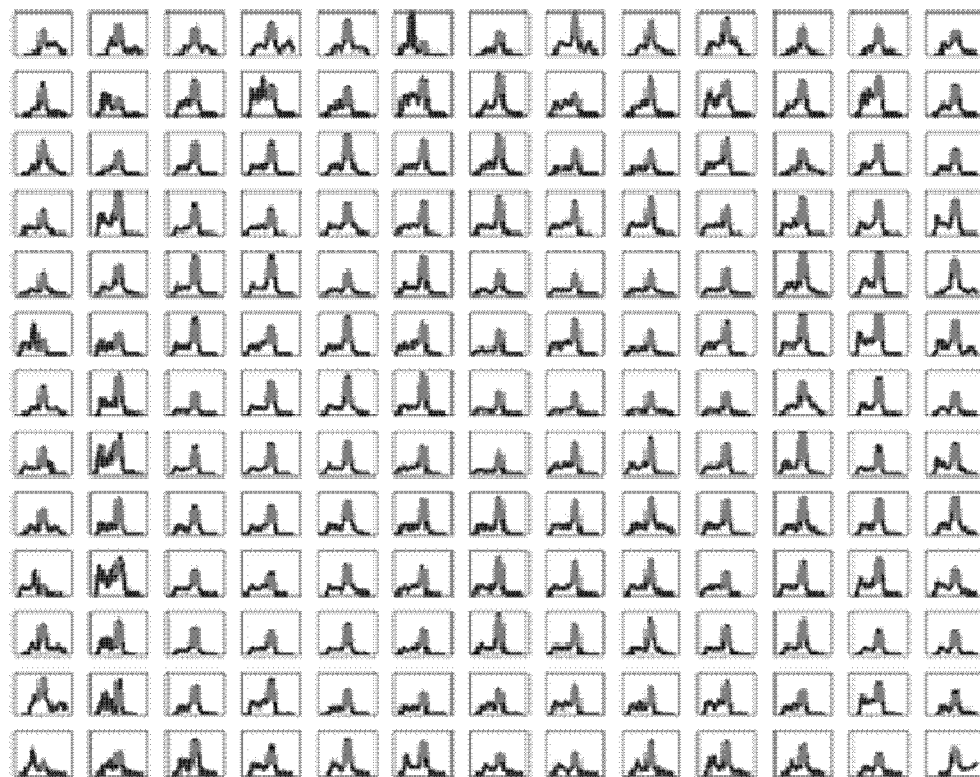


图 5

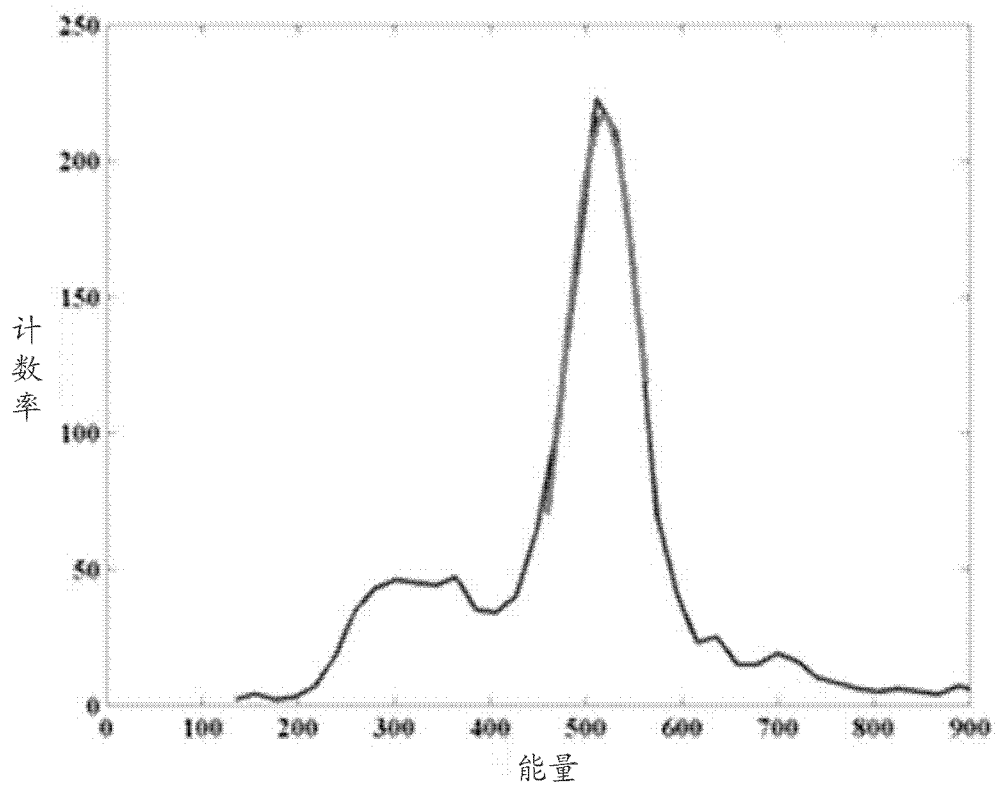


图 6

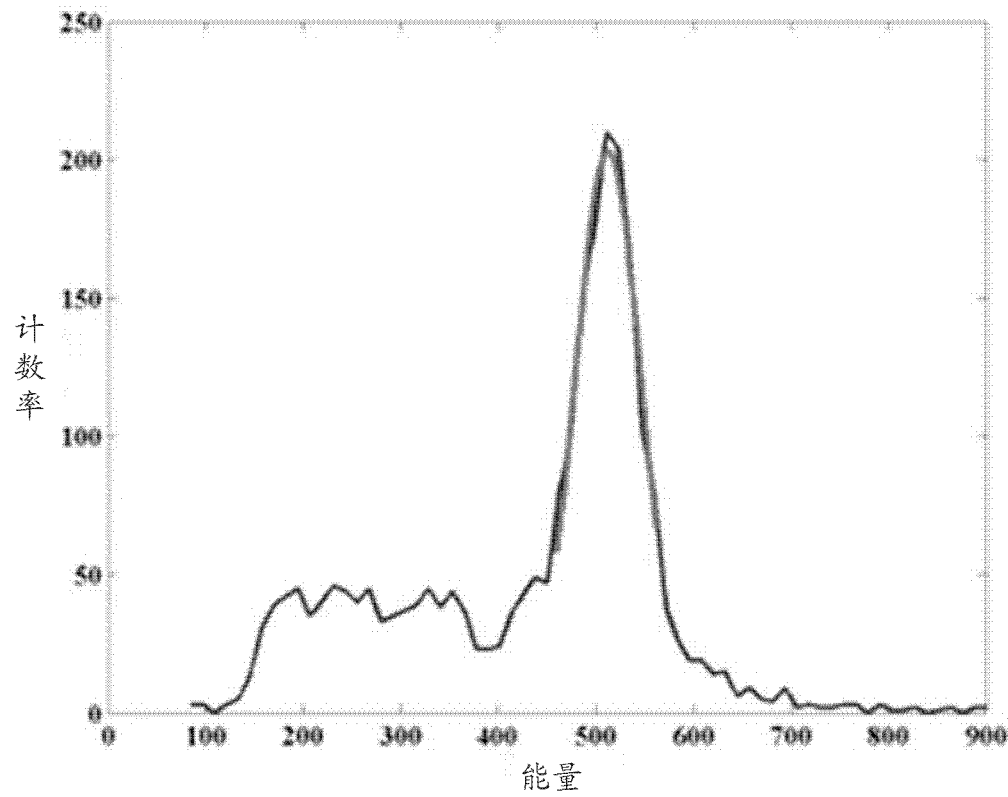


图 7

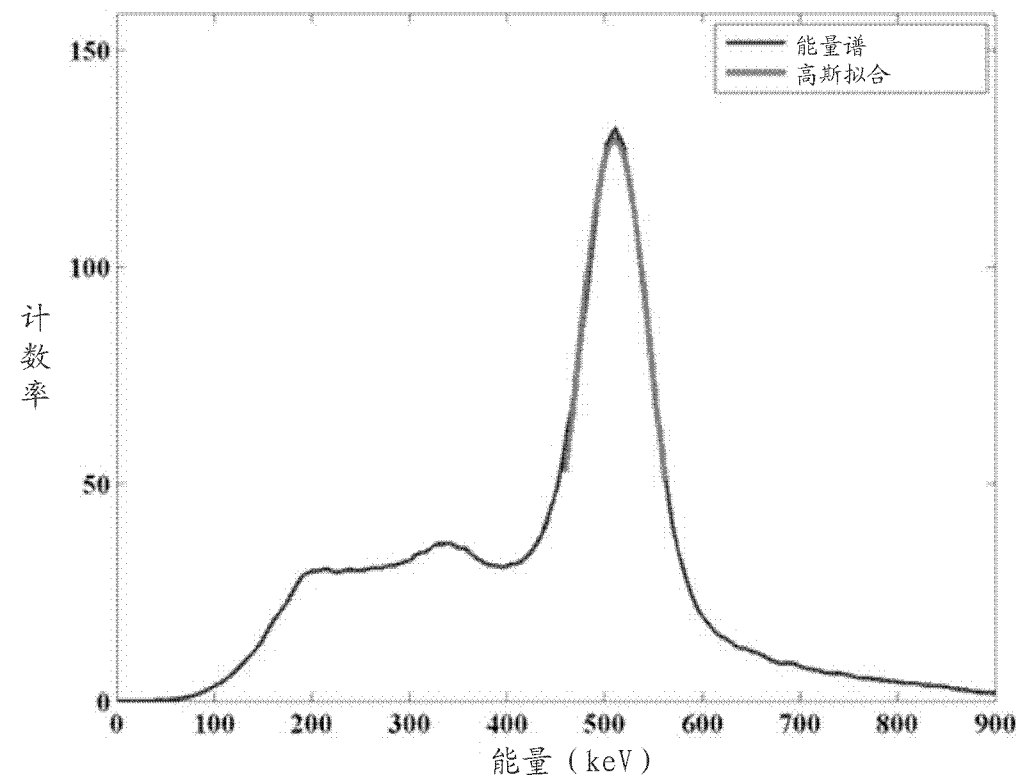


图 8

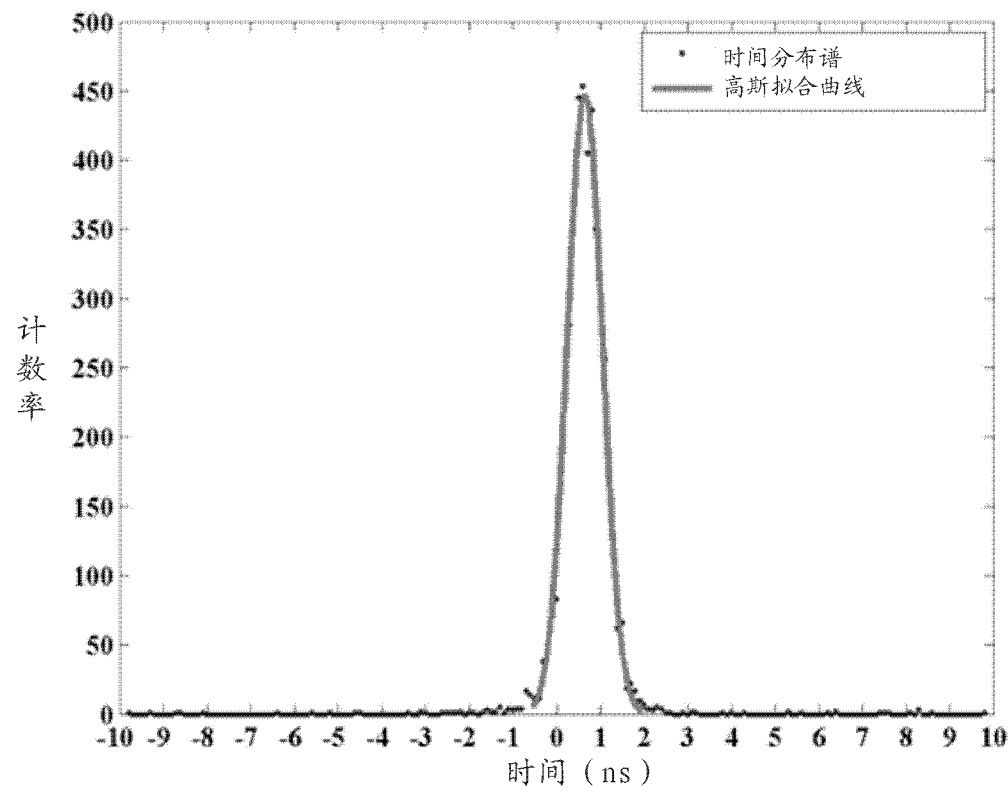


图 9

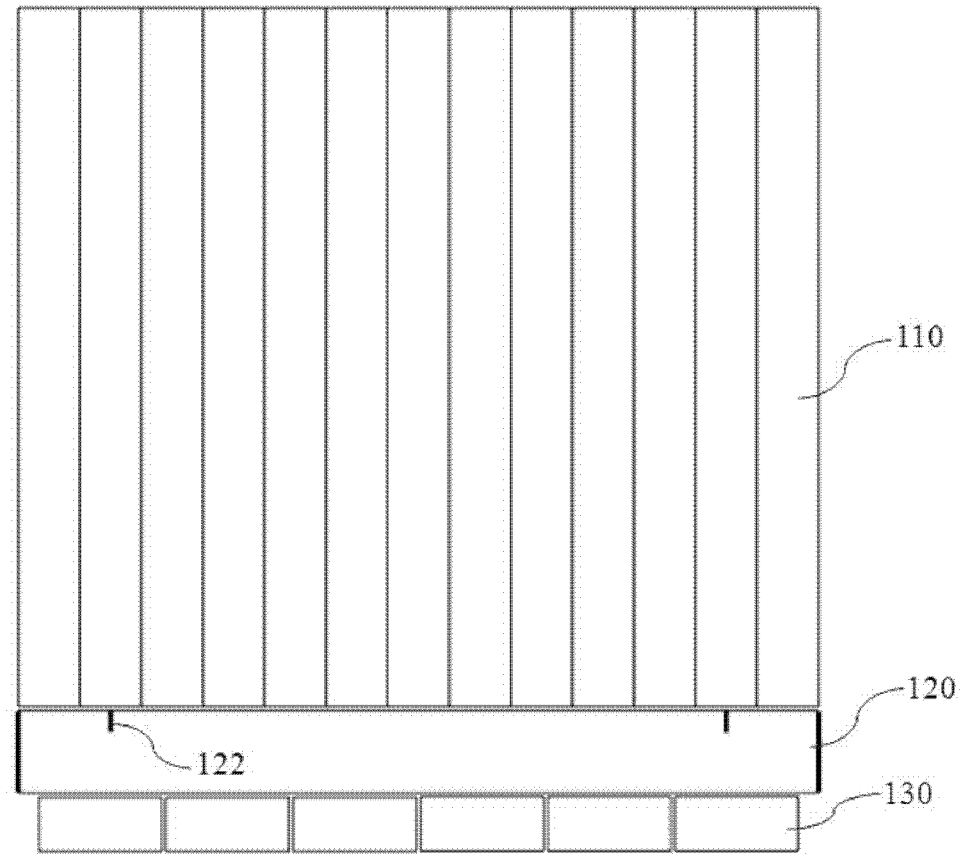


图 10

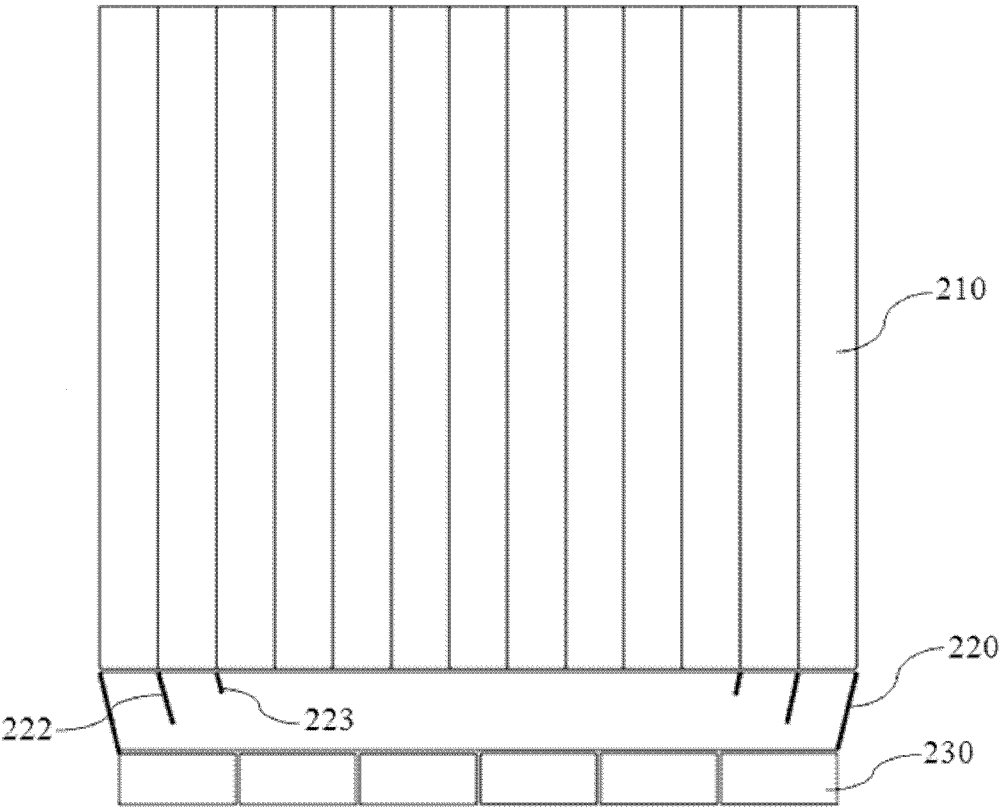


图 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/108097

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01T 1/202 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, CNKI, VEN, Web of Knowledge: 辐射, 核, 探测器, 光导, 切缝, 缝, 分辨率, 反光, radiation, detector, light guide, slit, resolution

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 104049270 A (SHENYANG NEUSOFT MEDICAL SYSTEMS CO., LTD.) 17 September 2014 (17.09.2014), description, paragraphs [0065]-[0071], [0098], [0158]-[0163], [0166] and [0167], and figures 1-3 and 10	1-12
Y	CN 102879798 A (INSTITUTE OF HIGH ENERGY PHYSICS CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 16 January 2013 (16.01.2013), description, paragraphs [0027]-[0032], and figure 3	1-12
PX	CN 107167832 A (SUZHOU RAYCAN TECHNOLOGY CO., LTD.) 15 September 2017 (15.09.2017), entire document	1-12
A	CN 1673773 A (SHIMADZU CORPORATION) 28 September 2005 (28.09.2005), entire document	1-12
A	CN 105372693 A (SHENYANG NEUSOFT MEDICAL SYSTEMS CO., LTD.) 02 March 2016 (02.03.2016), entire document	1-12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 27 April 2018	Date of mailing of the international search report 04 May 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer WANG, Lei Telephone No. (86-10) 62084134

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/108097

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2004361303 A (SHIMADZU CORPORATION) 24 December 2004 (24.12.2004), entire document	1-12
A	US 2006261279 A1 (CROSETTO D B) 23 November 2006 (23.11.2006), entire document	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/108097

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 104049270 A	17 September 2014	CN 104049270 B	08 February 2017
CN 102879798 A	16 January 2013	CN 102879798 B	06 January 2016
CN 107167832 A	15 September 2017	CN 207020321 U	16 February 2018
CN 1673773 A	28 September 2005	US 2005211906 A1	29 September 2005
		JP 2009031304 A	12 February 2009
		CN 1318858 C	30 May 2007
		JP 2005274526 A	06 October 2005
		JP 4305241 B2	29 July 2009
		JP 4502056 B2	14 July 2010
CN 105372693 A	02 March 2016	None	
JP 2004361303 A	24 December 2004	None	
US 2006261279 A1	23 November 2006	US 7132664 B1	07 November 2006

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/108097

A. 主题的分类

G01T 1/202 (2006.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

G01T

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

CNABS, CNTXT, CNKI, VEN, Web of Knowledge: 辐射, 核, 探测器, 光导, 切缝, 缝, 分辨率, 反光, radiation, detector, light guide, slit, resolution

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	CN 104049270 A (沈阳东软医疗系统有限公司) 2014年 9月 17日 (2014 - 09 - 17) 说明书第65-71、98、158-163、166-167段, 图1-3、10	1-12
Y	CN 102879798 A (中国科学院高能物理研究所) 2013年 1月 16日 (2013 - 01 - 16) 说明书第27-32段, 图3	1-12
PX	CN 107167832 A (苏州瑞派宁科技有限公司) 2017年 9月 15日 (2017 - 09 - 15) 全文	1-12
A	CN 1673773 A (株式会社岛津制作所) 2005年 9月 28日 (2005 - 09 - 28) 全文	1-12
A	CN 105372693 A (沈阳东软医疗系统有限公司) 2016年 3月 2日 (2016 - 03 - 02) 全文	1-12
A	JP 2004361303 A (SHIMADZU CORP) 2004年 12月 24日 (2004 - 12 - 24) 全文	1-12
A	US 2006261279 A1 (CROSETTO D B) 2006年 11月 23日 (2006 - 11 - 23) 全文	1-12

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2018年 4月 27日

国际检索报告邮寄日期

2018年 5月 4日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10) 62019451

受权官员

汪磊

电话号码 86-010-62084134

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/108097

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	104049270	A	2014年 9月 17日	CN	104049270	B	2017年 2月 8日
CN	102879798	A	2013年 1月 16日	CN	102879798	B	2016年 1月 6日
CN	107167832	A	2017年 9月 15日	CN	207020321	U	2018年 2月 16日
CN	1673773	A	2005年 9月 28日	US	2005211906	A1	2005年 9月 29日
				JP	2009031304	A	2009年 2月 12日
				CN	1318858	C	2007年 5月 30日
				JP	2005274526	A	2005年 10月 6日
				JP	4305241	B2	2009年 7月 29日
				JP	4502056	B2	2010年 7月 14日
CN	105372693	A	2016年 3月 2日	无			
JP	2004361303	A	2004年 12月 24日	无			
US	2006261279	A1	2006年 11月 23日	US	7132664	B1	2006年 11月 7日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2015年1月)