

## (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  
2008年12月31日 (31.12.2008)

(10) 国际公布号  
WO 2009/000154 A1

- (51) 国际专利分类号:  
G01T 1/202 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2008/001197
- (22) 国际申请日: 2008年6月19日 (19.06.2008)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:  
200710117692.8  
2007年6月21日 (21.06.2007) CN
- (71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): 清华大学(TSINGHUA UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清华大学, Beijing 100084 (CN)。同方威视技术股份有限公司(NUCTECH COMPANY LIMITED) [CN/CN]; 中国北京市海淀区双清路同方大厦A座2层, Beijing 100084 (CN)。
- (72) 发明人; 及  
(75) 发明人/申请人 (仅对美国): 康克军(KANG, Kejun) [CN/CN]; 中国北京市海淀区双清路同方大厦A座2层, Beijing 100084 (CN)。胡海峰(HU, Haifeng) [CN/CN]; 中国北京市海淀区双清路同方大厦A座2层, Beijing 100084 (CN)。杨祎罡(YANG, Yigang) [CN/CN]; 中国北京市海淀区双清路同方大厦A座2层, Beijing 100084 (CN)。陈志强(CHEN, Zhiqiang) [CN/CN]; 中国北京市海淀区双清路同方大厦A座2层, Beijing 100084 (CN)。苗齐田(MIAO, Qitian) [CN/CN]; 中国北京市海淀区双清路同方大厦A座2层, Beijing 100084 (CN)。程建平(CHENG, Jianping) [CN/CN]; 中国北京市海淀区双清路同方大厦A座2层, Beijing 100084 (CN)。李元景(LI, Yuanjing) [CN/CN]; 中国北京市海淀区双清路同方大

[见续页]

(54) Title: GAMMA RAY DETECTOR

(54) 发明名称: 一种 $\gamma$ 射线探测器

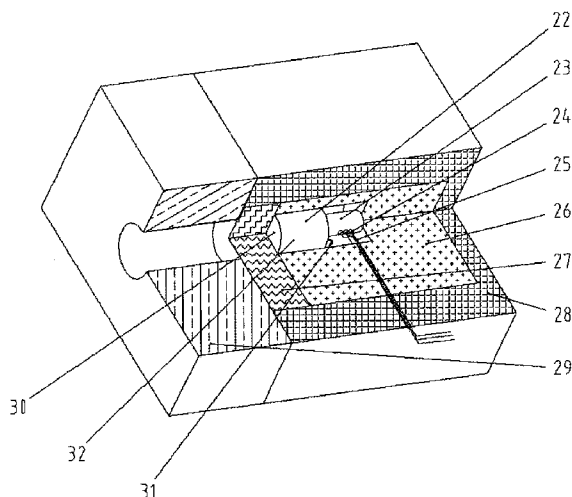


图 4 Fig. 4

(57) Abstract: A gamma ray detector comprises a detector crystal (22); a photomultiplier tube (23); a X/γ ray shielding body (26), said X/γ ray shielding body (26) at least surrounds the circumference surface (32) of said detector crystal (22), and exposes the front end side (30) of said detector crystal (22); a neutron shielding body (28), said neutron shielding body (28) is located at the outside of said X/γ ray shielding body (26), and at least surrounds the circumference surface (32) of said detector crystal (22), and exposes the front end side (30) of said detector crystal (22).

(57) 摘要:

一种 $\gamma$ 射线探测器, 包括探测器晶体(22); 光电倍增管(23); X/ $\gamma$ 射线屏蔽体(26), 该X/ $\gamma$ 射线屏蔽体(26)至少包围该探测器晶体(22)的周向表面(32), 并且暴露出该探测器晶体(22)的前端面(30); 中子屏蔽体(28), 该中子屏蔽体(28)位于该X/ $\gamma$ 射线屏蔽体(26)的外侧, 并至少包围该探测器晶体(22)的周向表面(32), 并且暴露出该探测器晶体(22)的前端面(30)。

WO 2009/000154 A1



厦A座2层, Beijing 100084 (CN)。刘以农(LIU, Yinnong) [CN/CN]; 中国北京市海淀区双清路同方大厦A座2层, Beijing 100084 (CN)。彭华(PENG, Hua) [CN/CN]; 中国北京市海淀区双清路同方大厦A座2层, Beijing 100084 (CN)。李铁柱(LI, Tiezhu) [CN/CN]; 中国北京市海淀区双清路同方大厦A座2层, Beijing 100084 (CN)。赵自然(ZHAO, Ziran) [CN/CN]; 中国北京市海淀区双清路同方大厦A座2层, Beijing 100084 (CN)。刘耀红(LIU, Yaohong) [CN/CN]; 中国北京市海淀区双清路同方大厦A座2层, Beijing 100084 (CN)。吴万龙(WU, Wanlong) [CN/CN]; 中国北京市海淀区双清路同方大厦A座2层, Beijing 100084 (CN)。

(74) 代理人: 中国专利代理(香港)有限公司(CHINA PATENT AGENT (H.K.) LTD.); 中国香港特别行政区湾仔港湾道23号鹰君中心22号楼, Hong Kong (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, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧洲 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告。

## 一种 $\gamma$ 射线探测器

### 技术领域

本发明一种 $\gamma$ 射线探测器，特别是用于违禁品检测系统中的 $\gamma$ 射线探测器。

### 背景技术

目前，恐怖主义对国际和国内社会的安定构成了极大的威胁，各国政府都在致力于解决反恐问题。而违禁品如爆炸物的检测技术是反恐问题的核心。

一种现有的违禁品检测技术是X射线成像检测技术。X射线成像检测技术是一种已经得到广泛应用的安检技术，在机场、火车站能够看到很多基于X射线成像检测技术的设备。由于X射线主要是与原子核外的电子发生反应，对原子核的特性没有区别能力，因此利用X射线只能测量被检测物体的密度（质量厚度），而无法判断被检测物体的元素种类。在实际中，当违禁品与日常用品混合放置且密度难以区分的时候，利用X射线成像检测技术就很难发现它。虽然一些新型的X射线成像检测技术，如：双能X射线、CT技术等，在识别能力上有所提高，但是仍然无法克服不能识别元素种类的固有缺点。

另一类现有的危险品检测技术是中子类检测技术。对于中子类检测技术，中子能够与物质的原子核发生反应，放出具有特征性的 $\gamma$ 射线，根据 $\gamma$ 射线的能谱，则可判断被分析的物质元素种类。中子类检测技术的缺陷在于其较低的成像分辨率，目前最好也只能达到 $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$ 的空间分辨率，这远低于X射线成像的 $\text{mm}$ 级分辨率。而且，单独的中子源通常价格昂贵，使用时间有限，且所产生的中子强度不高。

因此，就希望能够有一种方法和/或系统能够组合如上所述的X射线成像检测技术和中子类检测技术，以获得X射线成像检测技术的高分辨率以及中子类检测技术的元素识别能力这些优点。美国专利No. 5078952公开了一种组合了多种检测手段的爆炸物检测系统，其中包括X射线成像装置以及中子检测装置，以实现较高的检测概率以及较低的误报率。并且，该美国专利还公开了将由X射线成像装置获得的数

据与由中子检测装置获得的数据相关联，以使用高分辨率的X射线图像来弥补中子类检测技术分辨率不高的缺陷。但是，在该美国专利中使用了彼此独立的X射线源和中子源，其成本较高。

值得注意的是，有一种产生中子的方式是用X射线轰击转换靶，并从该转换靶中产生中子，这样产生的中子可称为光中子。这种中子产生方式提供了在一个源中产生X射线和中子这两者的可能，这比分别用两个源来分别产生X射线和中子要节省成本。

在国际申请公开WO 98/55851中公开了一种利用光中子和X射线成像来检测和识别违禁品的系统。该系统采用两步式方式来工作。具体地，该系统首先用直线加速器X射线源产生X射线束，并用X射线成像对被检物体进行检测，如果没有发现异常，则让被检物体通过，如果发现嫌疑区域，则临时将一光中子转换靶（铍）插入X射线束中，以产生光中子，并根据光中子与物质原子核发生辐射俘获反应所放出的特征性 $\gamma$ 射线对嫌疑区域进行进一步的检测。该系统仅用X射线进行第一步检测，由于如上所述的X射线成像检测技术的识别能力的限制，因此其具有较低的概率（probability of detection, PD）。而且，该系统并不同时产生用于检测的X射线和光中子，而是在两个步骤中分别产生用于检测的X射线和光中子，即，在一个步骤中仅产生X射线而不产生光中子，而在另一个步骤中是用X射线产生光中子，但该X射线仅用于产生光中子而并不用于检测目的。进一步地，其产生的光中子仅用于检测被检物体的嫌疑区域，并不用于对被检物体进行总体检测。

在本申请人的中国专利申请No. 200510086764.8中公开了一种用快中子和X射线进行材料识别的方法。在该申请中描述了一种同时产生X射线和光中子的方法和装置，其将加速器产生的X射线分成两束，其中一束用于产生光中子。然而，在该申请中，对于中子来说，其是利用光中子透射过被检物体的强度来进行检测的，而并非利用中子与被检物体反应所放出的特征性 $\gamma$ 射线。而且，在该申请中，在这样的检测方式中，为了使得X射线束和中子束的检测不互相干扰，通常需要使得X射线束与中子束之间横向隔开一定距离。

上述申请和专利都被全文引入作为参考。

## 发明内容

本发明的目的是提供一种 $\gamma$ 射线探测器，其能够在X射线、中子和 $\gamma$ 射线共存的环境中使用。

本发明提供的一种 $\gamma$ 射线探测器包括：

探测器晶体，用于将入射到该探测器晶体中的 $\gamma$ 射线转换成荧光光子，该探测器晶体具有：用于接收 $\gamma$ 射线的前端面、与该前端面相反的后端面以及周向表面；

光电倍增管，该光电倍增管设置成邻近所述探测器晶体的后端面，用于接收来自所述光电转换材料体的荧光光子，并将其转换为光电子并将光电子倍增；

X/ $\gamma$ 射线屏蔽体，该X/ $\gamma$ 射线屏蔽体至少包围该探测器晶体的周向表面，并且暴露出该探测器晶体的前端面；

中子屏蔽体，该中子屏蔽体位于该X/ $\gamma$ 射线屏蔽体的外侧，并至少包围该探测器晶体的周向表面，并且暴露出该探测器晶体的前端面；

中子吸收体，该中子吸收体设置成邻近所述探测器晶体的前端面，并防止中子从该前端面进入该探测器晶体并且不会产生氦的2.223MeV的特征 $\gamma$ 射线；

准直器，该准直器包括与所述探测器晶体的前面对准的通孔，该通孔限定了一延伸方向，用于仅允许基本上沿着该延伸方向并经由该通孔到达该前端的X/ $\gamma$ 射线进入该探测器晶体。

本发明的 $\gamma$ 射线探测器特别适用于同时利用中子和X射线进行检测的系统中，在这样的系统中，X射线、中子和 $\gamma$ 射线共存。而本发明的 $\gamma$ 射线探测器能够屏蔽掉X射线、中子和无关 $\gamma$ 射线，从而确保检测结果的精度。

## 附图说明

图1示出了按照本发明一个实施例的光中子-X射线违禁品检测系统的结构示意图；

图2示出了图1中的光中子转换靶的放大平面示意图，其中示出了由该光中子转换靶限定的通道；

图3示出了图2中的光中子转换靶的端视图；

图4示出了一种改进的 $\gamma$ 射线探测器。

## 具体实施方式

下面参考附图，对本发明的典型具体实施例作详细描述。以下实施例用于说明本发明，但不用来限制本发明的范围。

参考图1所示的示例，被检物体（例如封闭集装箱8）设置在平台19上。应当注意，在图1中该集装箱8以剖视图显示，以便于显示出其中装载的各种货物10，这些货物10可能包括各种材料，如金属11、木块12和炸药13。该平台19被拖动装置20所牵引，进入本发明的检测系统的检测区域。该集装箱8一般是由波纹钢和铝制造的。其它的集装箱如航空集装箱也可做类似的检测。

当位置传感器（未示出）检测到集装箱8移动到预定位置时，该位置传感器可触发本发明系统中的X射线发生器开始工作。在一个实施例中，该X射线发生器包括电子加速器（未示出）以及电子靶2。该未示出的电子加速器产生射向电子靶2的电子束1。电子靶2通常是由原子序数较高的物质如钨、金构成的，电子在被钨或金的原子阻挡以后，会因为轫致辐射而放出X射线主束3。如下文将要描述的那样，将要从该X射线主束3中分出第一X射线束和第二X射线束，其中，第一X射线束用于X射线成像检测，而第二X射线束用于中子检测。在本文中，X射线成像检测是指X射线透射被检物体，并通过探测X射线的衰减来检测被检物体的密度信息；中子检测是指中子与被检物体的原子发生反应从而放出特征性 $\gamma$ 射线，并通过探测该特征性 $\gamma$ 射线来检测被检物体的元素种类信息。应当注意的是，在本发明中的系统和方法中，是同时利用X射线成像检测和和中子检测对被检物体进行检测的。

在图1中，以局部剖视图示出了光中子转换靶4。X射线主束3轰击光中子转换靶4来获得光中子6，并利用该光中子6对集装箱8进行中子检测。特别是，在该实施例中，该光中子转换靶4还用来从X射线主束3中分出第一X射线束和第二X射线束。

图1中的光中子转换靶4在图2和图3中放大示出。如图2所示，该光中子转换靶4包括本体401。在一个实施例中，该本体401为沿着X射线主束3的传播方向延伸的长型本体，其具有第一端部402和第二端部403。该本体401内具有贯穿该本体401的通道404，该通道404从第一端部402延伸至第二端部403。该图2和图3的实施例中，该通道404形成为

在平面P（垂直于图2和图3的纸面）内充分延伸的缝隙，以致于将该本体401分成两个相互分离的部分。优选是，该通道404穿过该本体401的对称中心，而将其分成两个对称的部分。该通道404被限定在这两个分离部分之间。当X射线主束3朝着光中子转换靶4的本体401入射时，一部分X射线束405经由该通道404直接穿过该光中子转换靶4，而不与该光中子转换靶4发生任何反应，这部分X射线束被限定为第一X射线束405。另一部分X射线束406进入该本体401内，并朝着从第一端部402至第二端部403的方向传播，并在传播过程中与该光中子转换靶4的原子核发生反应，从而放出光中子，这部分X射线束406被限定为第二X射线束406。可以看出，该通道404事实上起到了分束器的作用，用于从X射线主束3中分出第一X射线束和第二X射线束。在其它未示出的实施例中，该通道404也可以采用其它形式，例如，该通道也可以并不将该本体401分成两部分，而是形成为贯穿该本体401的通孔（未示出），或者形成为由本体401限定的其它通道形式，只要保证用于X射线成像的扇形X射线束能够穿过该本体401即可。

为了充分利用从电子靶2出射的X射线主束3，以提高该光中子转换靶4的光中子产量，该光中子转换靶4的形状可以设计成与X射线主束3的强度分布基本上相匹配，即，使得强度大的X射线能在光中子转换靶4的本体401内传播更远的距离。参考图1和图2，从电子靶2出来的X射线主束3通常具有成轴对称的强度分布，其强度分布对称轴线沿着电子束1的方向，并且，通常越靠近该强度分布对称轴线，X射线的强度越大。相应地，在忽略该光中子转换靶4中的通道404的情况下，该光中子转换靶4总体上可具有轴对称形状并限定了一靶对称轴线409，并且该光中子转换靶的轴对称形状与X射线主束3的轴对称分布基本上相匹配。在该使用时，该靶对称轴线409与X射线主束3的强度分布对称轴线重合。优选地，该光中子转换靶4的至少一部分最好为朝着第二端部403渐缩的渐缩部分，以便使得光中子转换靶4在更靠近该靶对称轴线的地方具有更长的长度。在图2所示的实施例中，该光中子转换靶4包括邻近第二端部403的渐缩部分408和邻近第一端部402的圆柱体部分407，该圆柱体部分407可与该渐缩部分408一体成形。该渐缩部分408可终止于第二端部403。图2中所示的该渐缩部分408为截头圆锥形。该圆柱体部分407与该渐缩部分408具有共同的纵向中心轴线，并与该靶对称轴

线重合。在其它实施例中，该渐缩部分408也可以为非截头的锥形，或者以其它方式渐缩（例如以曲线方式渐缩）。在另一些实施例中，该光中子转换靶4也可以从第一端部402开始渐缩到第二端部403。

尽管在图1~图3中示出了由光中子转换靶4限定的通道404作为分束器，但是，本领域的普通技术人员可以理解，也可以采用其它形式的分束器，用于从X射线主束3中分出第一X射线束和第二X射线束。例如，可以采用在本申请人的中国专利申请No. 200510086764.8中公开的双通道分流准直器。该双通道分流准直器可将X射线主束3分成相互间隔开的两束，并将光中子转换靶设置在其中一束的传播路径上以产生光中子。

还应当注意，该光中子转换靶4具有渐缩部分的这一特征不局限于用于本发明实施例所述的场合。该特征还适用于使用X射线束轰击光中子转换靶而产生光中子的任意其它场合，例如可应用于国际申请公开WO 98/55851以及中国专利申请No. 200510086764.8所述的场合中，以提高光中子的产量。在这些其它应用场合中，该光中子转换靶可以有或没有用作分束器的前述通道。

返回图1，电子束1的能量的选取通常需要考虑所需要的X射线束的能量以及光中子转换靶的材料。根据被检测物体的类型、检测速度和环境安全的不同，可以选择不同能量的X射线束来进行穿透。为了安全的原因以及为了节约成本，通常应选择尽可能小的能量。未示出的电子加速器产生的电子束1的能量可在1MeV~15MeV的范围内。光中子转换靶4的理想材料应该具有较小的光中子反应阈值和较大的光中子反应截面，但这二者难以同时满足。对于1MeV~15MeV的X射线来说，由于其能量还不够高，对于截面较大但阈值也高的材料来说光中子产额较低，而铍( ${}^9\text{Be}$ )或者重水( $\text{D}_2\text{O}$ )则是较为理想的材料。 ${}^9\text{Be}$ 的光中子反应阈值仅为1.67MeV， $\text{D}_2\text{O}$ 中D的反应阈值为2.223MeV。进入光中子转换靶4的X射线主束3与其中的 ${}^9\text{Be}$ 或者 ${}^2\text{H}$ 发生光中子反应，放出了光中子6。由于X射线主束3的能谱是连续分布的，因此光中子6的能谱也是连续分布的。另外，当所使用电子加速器能产生能量较高的电子束1时，该光中子转换靶4也可以使用阈值较高但是截面较大的材料，如钨(W)的各个同位素和铀(U)的各个同位素。

在一个实施例中，未示出的电子加速器可以以特定频率产生电子

束1, 这样, 该电子束1则为具有该特定频率的电子束脉冲1. 电子束脉冲1轰击电子靶2后, 产生相同频率的X射线脉冲3. 该特定频率可以根据被检测集装箱8的行进速度来确定, 例如可以在10Hz~1000Hz的范围内. 在一个实施例中, 该特定频率可以为250Hz. 该电子束脉冲1的脉宽范围可为1~10 $\mu$ s.

需要注意的是, X射线主束3轰击光中子转换靶4产生光中子6所用的时间非常短(通常小于1 $\mu$ s), 因此, 可以说, 在本发明中, 用于进行中子检测的光中子6与X射线主束3中用于X射线成像检测的第一X射线束405几乎是“同时”产生的, 这样就允许同时进行X射线成像检测和中子检测, 这明显区别于国际申请公开W0 98/55851.

光中子6在光中子转换靶4内产生时是各向同性的, 因此只有一部分光中子能够射向被检测的集装箱8. 由于光中子转换靶4中的<sup>9</sup>Be和<sup>2</sup>H对中子具有较大的散射截面, 因此, 射出光中子靶4的光中子6总体上会向后(即相反于X射线主束3入射到光中子转换靶4的方向)发射. 为了提高光中子6到达被检测集装箱8的效率, 可以在光中子靶4的后面(邻近于光中子靶4的第一端部402)设置中子反射体(未示出). 该中子反射体用于反射背离该被检集装箱8运动的光中子6, 使其朝着该被检集装箱8运动.

参考图1和图2, X射线准直器5设置在第一X射线束405到达被检物体8之前的传播路径上, 以便将该第一X射线束405准直为平面扇形束. 该X射线准直器5最好设置成邻近该光中子转换靶4的本体402的第二端部403, 并与通道404对准. 这样, 第一X射线束405经由通道404穿过该光中子转换靶4之后, 由X射线准直器5进行准直, 以形成平面扇形束7. 该扇形束7之外的X射线将被X射线准直器5所屏蔽, 这样可以降低X射线对中子检测(尤其是下文所述的 $\gamma$ 射线探测器)的影响.

下面将分别描述用第一X射线束405对集装箱8进行的X射线成像检测以及用由第二射线束406产生的光中子6对集装箱8进行的中子检测. 应当知道, X射线成像检测和中子检测本身分别是本领域普通技术人员所熟知的. 然而, 在本发明中, 由于第一X射线束405和光中子6可以同时(或者说几乎同时)产生, 因此, 射线束X射线成像检测和中子检测可以同时进行.

首先描述X射线成像检测. 参考图1, X射线扇形束7(即, 被准直

的第一X射线束405)射向被检测的集装箱8, 集装箱8中所装载的货物10会对该扇形束7进行衰减。由X射线探测装置来测量这些被衰减的X射线, 该X射线探测装置可以是包括多个X射线探测器的X射线探测器阵列15。X射线的衰减倍数反映了从电子靶2到X射线探测器阵列15中对应X射线探测器的连线上的物质对X射线的吸收能力, 它的大小与集装箱8中所装载的物质密度和组成有关。利用X射线探测器阵列15可以实现对集装箱8的二维X射线成像。该X射线探测器阵列15中的探测器可以是气体电离室、钨酸镭晶体、CsI晶体, 也可以是其它类型的探测器。如前所述, 电子束1以某一个特定频率轰击电子靶2, 从而产生相同频率的X射线脉冲。对于每个X射线脉冲, 探测器15阵列会得到关于集装箱某个断面的一维图像。随着拖动装置20牵引集装箱8前进, 由多次测量得到的多个一维图像就构成了关于集装箱的二维透射图像。

现在描述和X射线成像检测同时进行的中子检测。经由光中子转换靶4产生光中子6之后, 被检集装箱8将沐浴在光中子场中。光中子6射入被检测集装箱8之后, 通过散射(非弹性和弹性散射)而损失能量。没有必要在光中子6进入被检集装箱8之前对光中子6进行准直, 因为它在散射过程中会弥漫到相当宽的区域中。光中子6在产生时是快中子, 然后在几个 $\mu\text{s}$ 的时间内就变为慢中子。之后, 光中子6的能量进入热中子的能区。光中子6从快中子到热中子的时间间隔一般约为1ms。热中子最终会消失, 消失的方法有两种: 被物质所吸收, 或者逃逸。热中子在空间的存在时间为1ms~30ms。中子在快中子和慢中子能区的时候也可以发生俘获反应, 但是截面很小, 当中子能量降低的时候, 由于其俘获截面与中子的运动速度成反比关系, 因此截面迅速上升。由于电子加速器是以连续脉冲方式工作的, 因此不同脉冲之间的热中子场会发生叠加。例如, 当电子加速器以频率约为250Hz、脉宽5 $\mu\text{s}$ 的方式工作时, 最终在空间中形成的中子场将是一个频率为250Hz、脉宽为5 $\mu\text{s}$ 的快中子脉冲, 叠加在一个近似恒定的热中子场上。

热中子在物质发生辐射俘获反应之后, 可以放出具有特征性的 $\gamma$ 射线, 例如 $^1\text{H}$ 与中子反应可以放出2.223MeV的特征 $\gamma$ 射线,  $^{14}\text{N}$ 与中子反应可以放出10.835MeV的特征 $\gamma$ 射线,  $^{17}\text{Cl}$ 与中子反应可以放出6.12MeV的特征 $\gamma$ 射线。通过对这些特征 $\gamma$ 射线的测量可以判断被检测物体中的元素种类。集装箱8中的不同材料在中子的照射下能够放出不同的特征 $\gamma$

射线。根据 $\gamma$ 能谱的不同，可以分析出该物质的类型。例如，如果在集装箱中发现大量N和H元素的信号，那么就有可能存在爆炸物和“肥料炸弹”；如果发现了大量的Cl的 $\gamma$ 射线，则就有可能发现毒品如海洛因和可卡因（它们通常以氯化物的形式的被偷运）。另外，通过测量由光中子俘获所产生的裂变中子，也可以对核材料（如铀和钚）进行检查。

对 $\gamma$ 射线能谱的测量是由 $\gamma$ 射线探测装置来完成的，该 $\gamma$ 射线探测装置可以是一个或多个 $\gamma$ 射线探测器阵列14，每个 $\gamma$ 射线探测器阵列14包括多个 $\gamma$ 射线探测器，并布置成接收该特征性 $\gamma$ 射线。并且，如图1所示，当包括多个 $\gamma$ 射线探测器阵列14时，它们可以布置在集装箱8的行进路径的两侧。并且， $\gamma$ 射线探测器阵列14可布置成远离该X射线探测器阵列15一定距离，也就是偏离该X射线扇形束7（第一X射线束）一定距离，以使得该第一X射线束对 $\gamma$ 射线探测器的影响最小化。对于每个 $\gamma$ 射线探测器阵列，通过分析它的 $\gamma$ 能谱信号，则获得所关心的元素种类的二维分布信息。

$\gamma$ 射线探测器可以选择的种类较多，如：NaI(Tl)，BGO，HPGe，LaBr<sub>3</sub>等。

在本发明中用到了两种类型的探测器：X射线探测器和 $\gamma$ 射线探测器，这两种探测器的工作在X射线、中子和 $\gamma$ 射线共存的环境中。两种射线可能互相形成干扰，特别是X射线相对于中子和 $\gamma$ 射线来说很强，因此它有可能对 $\gamma$ 射线探测的 $\gamma$ 能谱构成干扰。因此，对于 $\gamma$ 探测器来说，非常有必要对X射线和中子射线进行屏蔽。

图4示出了一种改进的 $\gamma$ 射线探测器，其中，NaI晶体22和光电倍增管23构成了该探测器的主体。该NaI晶体22具有用于接收 $\gamma$ 射线的前端面30、与该前端面30相反的后端面31以及周向表面32。当 $\gamma$ 射线射入NaI晶体22的时候，会发生光电效应、康普顿散射或者电子对效应。 $\gamma$ 光子将能量交付给次级电子，次级电子在晶体中发生电离，电离产生的电子-空穴对将会产生荧光。荧光光子在光电倍增管23的光阴极上打出光电子。光电子随后被光电倍增管倍增，通过前放电路形成电压信号。为了向NaI晶体22提供对X射线和中子的屏蔽。图4所示的 $\gamma$ 射线探测器还包括中子屏蔽材料28，该中子屏蔽材料28至少包围了该NaI晶体22的周向表面32，并暴露出该NaI晶体22的前端面30。优选是，该中子屏蔽材料28还包围了该NaI晶体22的后端面31。该中子屏蔽材料28一般由富

含H的物质构成，诸如石蜡、聚乙烯、水都是适用的材料。考虑到结构与防火要求，一般选择聚乙烯。中子屏蔽材料28中的H原子对中子具有很大的散射截面，能够反射中子，并迅速地将中子的能量降低和吸收。但是中子屏蔽材料28在和中子发生辐射俘获之后会放出2.223MeV的特征H $\gamma$ 射线，该特征H $\gamma$ 射线将对探测器所要测量的 $\gamma$ 信号构成干扰。因此，在中子屏蔽材料28的内侧，该 $\gamma$ 射线探测器还包括X/ $\gamma$ 射线屏蔽体26，该X/ $\gamma$ 射线屏蔽体26至少包围该探测器晶体的周向表面，并且暴露出该NaI晶体22的前端面30。优选是，该X/ $\gamma$ 射线屏蔽体26还包围了该NaI晶体22的后端面31。X/ $\gamma$ 射线屏蔽体26不仅能够吸收中子屏蔽材料28在与中子发生反应时放出的 $\gamma$ 射线，还能屏蔽来自电子靶2的绝大部分X射线及其散射射线，使得 $\gamma$ 射线探测器能够处在正常的工作环境中。该X/ $\gamma$ 射线屏蔽体26的材料为原子序数大于或等于74的重金属，例如铅Pb或钨W。在 $\gamma$ 探测器晶体22的前方，面对着NaI晶体22的前端面30，还设有中子吸收体27。与中子屏蔽材料28的要求不同，中子吸收体27不仅要能够吸收中子，而且不能放出H的2.223MeV的 $\gamma$ 射线。中子吸收体27可由石蜡或聚乙烯与具有高强度中子吸收能力的硼<sup>10</sup>B材料构成（如含硼聚乙烯），这使得H不再有机会放出 $\gamma$ 光子。为了使 $\gamma$ 射线探测器只测量它前方的被检测物体区域，而对其它方向来的信号（如X射线散射、空气中N的 $\gamma$ 计数本底）不感兴趣，该 $\gamma$ 射线探测器还包括准直器29。该准直器29设在NaI晶体22与中子吸收体27的前方，用来屏蔽掉周围空间的X射线散射本底、中子在周围物质中产生的 $\gamma$ 本底。该准直器29包括与NaI晶体的前端面30对准的通孔，该通孔限定了一延伸方向，用于仅允许基本上沿着该延伸方向并经由该通孔到达该前端面的X/ $\gamma$ 射线进入该NaI晶体，从而对所探测的 $\gamma$ 射线进行准直。该通孔的直径可与NaI晶体22的直径相同，长度可以根据所需要的准直效果来确定，一般选择5~30cm的长度范围。该准直器29通常可用原子序数大于或等于74的重金属（例如铅Pb或钨W）或者用钢制成。

另外，尽管在图中未示出，还可以为该 $\gamma$ 射线探测器提供时间门控电路，用于控制 $\gamma$ 射线探测器的测量时间，使得 $\gamma$ 射线探测器的测量时间避开本发明系统中X射线发生器所产生的X射线束的出来时间，这样可以进一步抑制X射线对 $\gamma$ 射线探测器的干扰。

根据来自X射线探测器阵列15和 $\gamma$ 射线探测器阵列14的信号，就可

以分别对被检集装箱8进行X射线成像和中子成像，以便获得X射线图像和中子图像。返回图1，在本发明的系统中，X射线成像信号处理电路17接收来自X射线探测器阵列15的信号，并对其进行处理以获得X射线图像。 $\gamma$ 射线信号处理电路18接收来自 $\gamma$ 射线探测器阵列14的电压信号，并分析 $\gamma$ 能谱，从而得到包含被检物体的二维元素分布信息的二维中子图像。该二维中子图像与所获得的二维X射线图像相结合，实现对集装箱中违禁品的识别与发现。

考虑到在对被检测物体进行检测的时候，由于X射线探测器阵列和 $\gamma$ 射线探测器阵列的安放位置不同，使得被检测物体在行进的过程中，X射线图像和中子图像不能同时得到，且各 $\gamma$ 射线探测器阵列之间由于位置的不同，得到的中子图像也是不同的。为了将X射线图像与中子图像进行合并，以更好地实现违禁品检查，采用了如下办法：

对于不同的 $\gamma$ 射线探测器阵列，由于它们的距离关系是确定的，因此它们的中子图像之间的位置关系也是确定，对于先后获得的中子图像，分别对它们位置进行调整，可以使得处于不同位置处的 $\gamma$ 射线探测器阵列共同形成一幅反映元素分布的中子图像。

对于X射线图像和中子图像，其空间位置关系也是确定的，可以将中子图像和/或X射线图像进行平移并合并成一副图像，使得中子图像和X射线图像中对应于被检测物体同一位置的点完全重合。这样，对于合并后的图像来说，其中每一点都包括了被检测物体的元素分布信息和密度信息。在本发明的系统中，可以采用一图像合并装置（未示出）来实现上述的对X射线图像和中子图像的位置调整，以便将X射线图像和中子图像合并在一副图像内。这样，操作员只需要观察一副图像就能够获得被检测物体的元素分布信息与密度信息，以便对被检物体中的可疑违禁品进行相对准确的定位。

虽然已经描述了本发明的典型实施例，应该明白本发明不限于这些实施例，对本专业的技术人员来说，本发明的各种变化和改进都能实现，但这些都在本发明权利要求的精神和范围之内。

## 权利要求

1. 一种 $\gamma$ 射线探测器，包括：

探测器晶体，用于将入射到该探测器晶体中的 $\gamma$ 射线转换成荧光光子，该探测器晶体具有：用于接收 $\gamma$ 射线的前端面、与该前端面相反的后端面以及周向表面；

光电倍增管，该光电倍增管设置成邻近所述探测器晶体的后端面，用于接收来自所述光电转换材料体的荧光光子，并将其转换为光电子并将光电子倍增；

X/ $\gamma$ 射线屏蔽体，该X/ $\gamma$ 射线屏蔽体至少包围该探测器晶体的周向表面，并且暴露出该探测器晶体的前端面；

中子屏蔽体，该中子屏蔽体位于该X/ $\gamma$ 射线屏蔽体的外侧，并至少包围该探测器晶体的周向表面，并且暴露出该探测器晶体的前端面。

2. 根据权利要求1所述的 $\gamma$ 射线探测器，还包括：

中子吸收体，该中子吸收体设置成邻近所述探测器晶体的前端面，并防止中子从该前端面进入该探测器晶体并且不会产生氦的2.223MeV的特征 $\gamma$ 射线。

3. 根据权利要求1或2所述的 $\gamma$ 射线探测器，还包括：

准直器，该准直器包括与所述探测器晶体的前面对准的通孔，该通孔限定了一延伸方向，用于仅允许基本上沿着该延伸方向并经由该通孔到达该前端面的X/ $\gamma$ 射线进入该探测器晶体。

4. 根据权利要求1所述的 $\gamma$ 射线探测器，其中，所述X/ $\gamma$ 射线屏蔽体还包围了所述探测器晶体的后端面。

5. 根据权利要求1所述的 $\gamma$ 射线探测器，其中，所述中子屏蔽体还包围了所述探测器晶体的后端面。

6. 根据权利要求1所述的 $\gamma$ 射线探测器，其中，所述探测器晶体的材料为NaI。

7. 根据权利要求1所述的 $\gamma$ 射线探测器，其中，所述X/ $\gamma$ 射线屏蔽体的材料为铅。

8. 根据权利要求1所述的 $\gamma$ 射线探测器，其中，所述中子屏蔽体由富含H的材料构成。

9. 根据权利要求6所述的 $\gamma$ 射线探测器，其中，所述中子屏蔽体由

石蜡、聚乙烯或水构成。

10. 根据权利要求2所述的 $\gamma$ 射线探测器，其中，所述中子吸收体由富含H的材料与硼一起构成。

11. 根据权利要求10所述的 $\gamma$ 射线探测器，其中，所述中子吸收体由含硼聚乙烯构成。

12. 根据权利要求3所述的 $\gamma$ 射线探测器，其中，所述准直器的材料为铅。

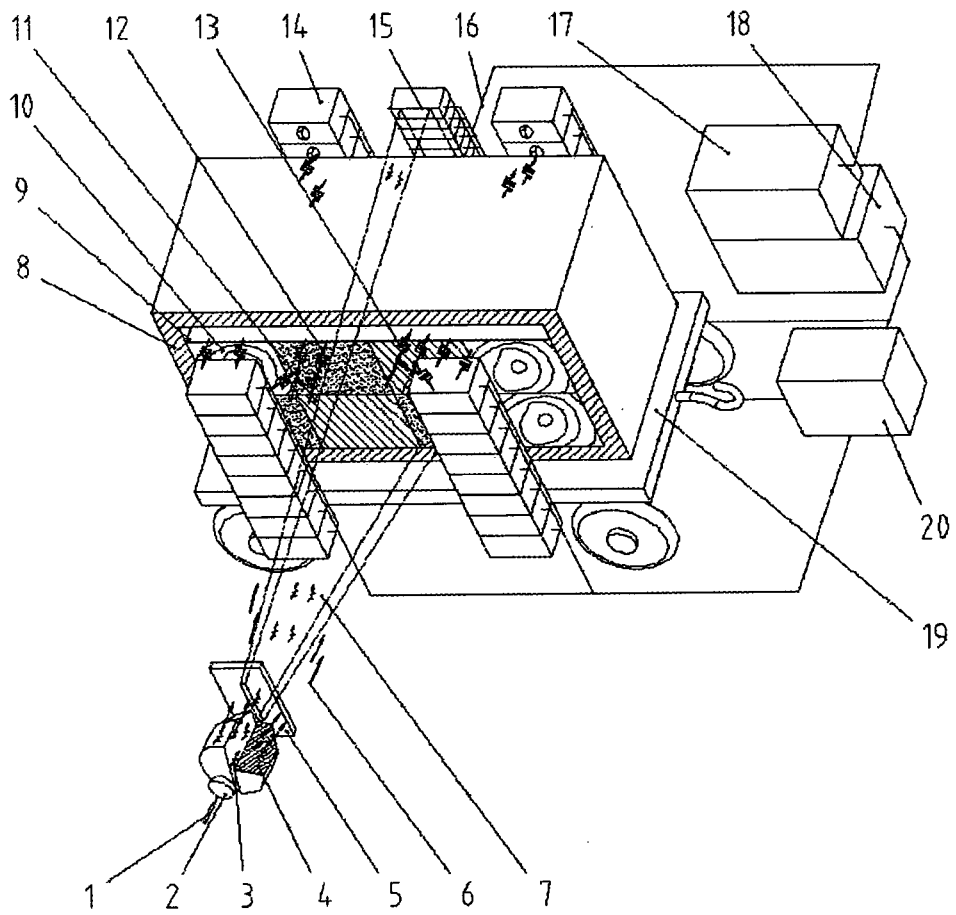


图 1

2/3

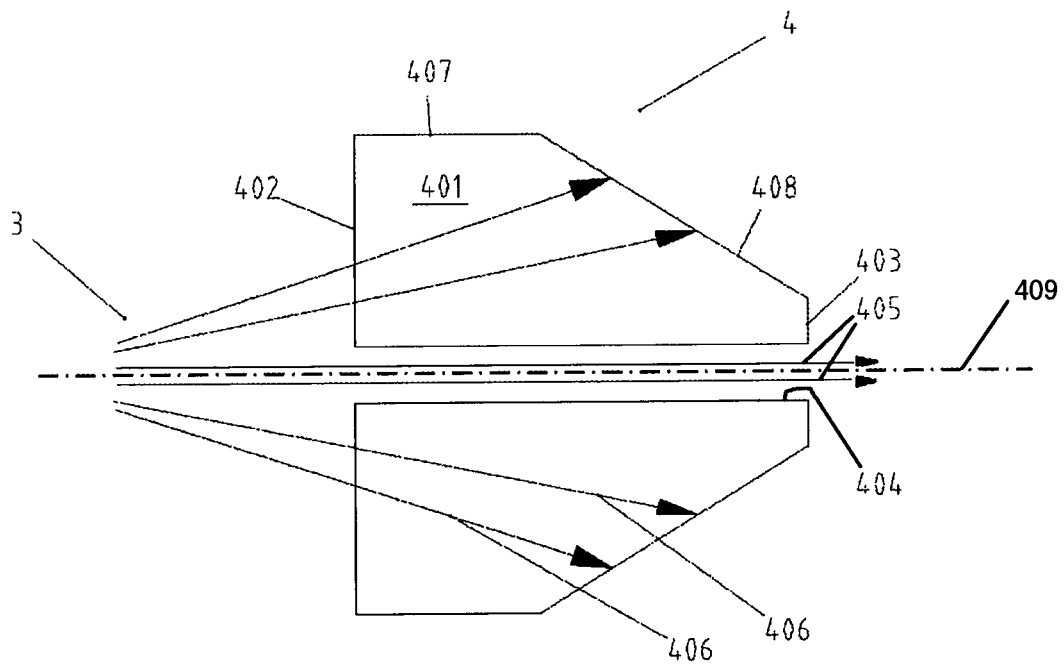


图 2

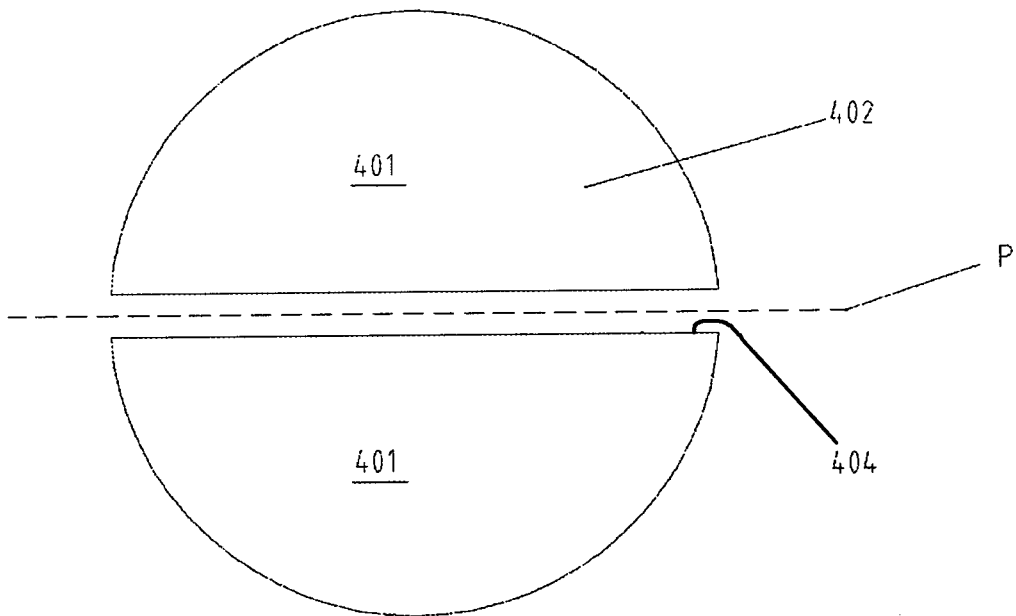


图 3

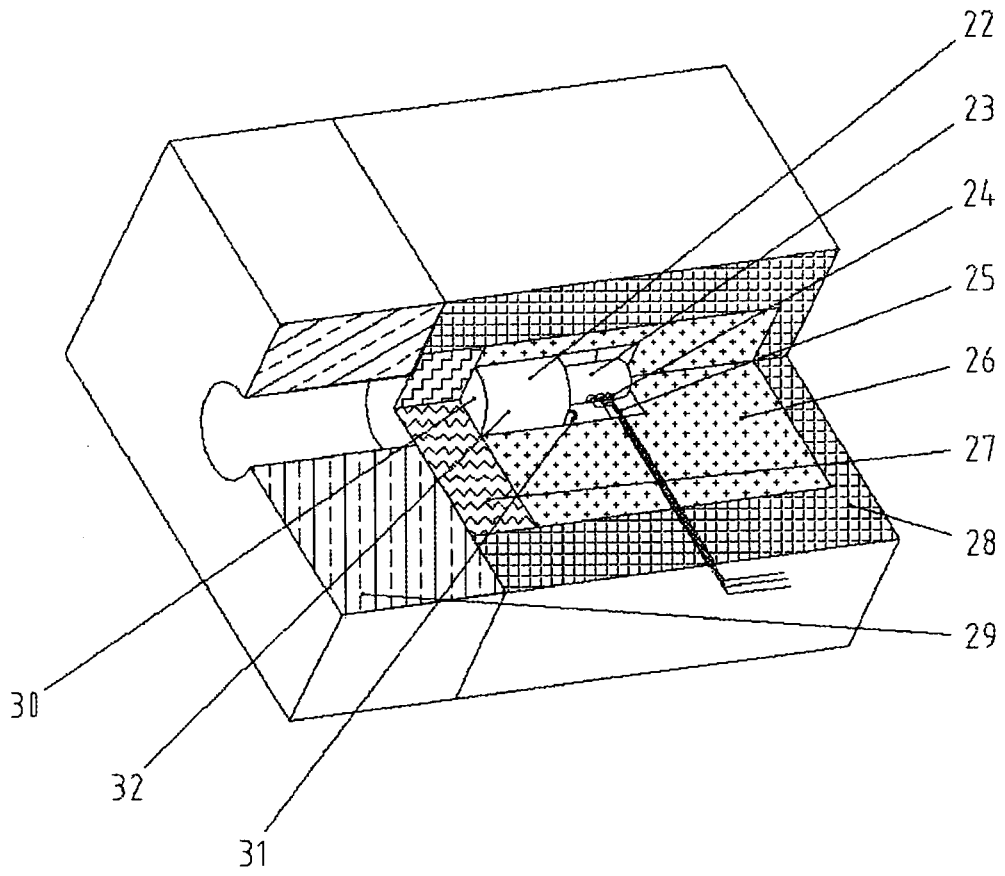


图 4

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/CN2008/001197

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01T1/202(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)

IPC:G01T1/+ G01N23/+ G01V5/+

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)

CNPAT,WPI,EPODOC,PAJ,CNKI: gamma,detector,probe,photomultiplier,crystal,scintillator,neutron,shield,absorb

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN1892252A(GENERAL ELECTRIC CO),10 Jan.2007(10.01.2007), see the whole text	1-12
A	CN2591645Y(CHINA ATOMIC ENERGY SCIENCE IN),10 Dec.2003(10.12.2003), see the whole text	1-12
A	US6373066B1(SAINT-GOBAIN IND CERAMICS INC),16 Apr.2002(16.04.2002), see the whole text	1-12
A	US6011266A(LOCKHEED MARTIN ENERGY RES CORP), 04 Jan.2000(04.01.2000), see the whole text	1-12

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;”document member of the same patent family</p>
--	--

Date of the actual completion of the international search  
22 Aug.2008(22.08.2008)

Date of mailing of the international search report  
**11 Sep. 2008 (11.09.2008)**

Name and mailing address of the ISA/CN  
The State Intellectual Property Office, the P.R.China  
6 Xitucheng Rd., Jimen Bridge, Haidian District, Beijing, China  
100088  
Facsimile No. 86-10-62019451

Authorized officer  
**DU, Jiangfeng**  
Telephone No. (86-10)62085762

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.  
PCT/CN2008/001197

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN1892252A	10.01.2007	EP1739460A	03.01.2007
		JP2007024875A	01.02.2007
		US2007029493A	08.02. 2007
		INDEL200601511A	31.08.2007
		US7335891B	26.02.2008
		RU2006122745A	10.01.2008
CN2591645Y	10.12.2003	NONE	NONE
US6373066B1	16.04.2002	CA2312593 A1	20.02.2001
		NO20004178A	21.02.2001
		EP1081509A	07.03.2001
		CA2312593C	21.06.2005
US6011266A	04.01.2000	NONE	NONE



国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号  
PCT/CN2008/001197

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN1892252A	10.01.2007	EP1739460A	03.01.2007
		JP2007024875A	01.02.2007
		US2007029493A	08.02.2007
		INDEL200601511A	31.08.2007
		US7335891B	26.02.2008
		RU2006122745A	10.01.2008
CN2591645Y	10.12.2003	无	无
US6373066B1	16.04.2002	CA2312593 A1	20.02.2001
		NO20004178A	21.02.2001
		EP1081509A	07.03.2001
		CA2312593C	21.06.2005
US6011266A	04.01.2000	无	无