

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



# [12] 发明专利申请公布说明书

G01T 1/16 (2006.01)  
G01T 1/20 (2006.01)  
G01T 1/29 (2006.01)  
G01T 1/36 (2006.01)

[21] 申请号 200680021706. X

[43] 公开日 2008年6月11日

[11] 公开号 CN 101198886A

[22] 申请日 2006.11.27

[21] 申请号 200680021706. X

[30] 优先权

[32] 2005.11.30 [33] JP [31] 346308/2005

[86] 国际申请 PCT/JP2006/323544 2006.11.27

[87] 国际公布 WO2007/063790 日 2007.6.7

[85] 进入国家阶段日期 2007.12.17

[71] 申请人 独立行政法人放射线医学综合研究所

地址 日本千叶县

共同申请人 阿洛卡株式会社

[72] 发明人 白川芳幸 小林祐介 山野俊也

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

代理人 戈 泊

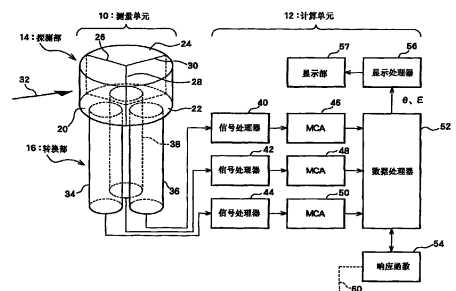
权利要求书 3 页 说明书 16 页 附图 14 页

## [54] 发明名称

放射线测量装置及数据处理方法

## [57] 摘要

一种能够识别放射线的入射方向以及能量(间隔)的放射线测量装置。多个探测器的方向特性彼此不同。针对对应于多个探测器的多个光谱分别设置多个能量间隔,计算实际测量比值信息(多个实际测量计数比),该信息表示针对每一个能量间隔的综合计数值之间的相互比值。实际测量比值信息同多个响应函数相比较,当特定的实际测量比值信息与特定的理论比值信息之间的兼容性关系确定时,根据该关系识别放射线的入射方向和能量间隔。



1、一种放射线测量装置，包括：

探测部，包括多个具有彼此不同的方向特性的探测器，探测部利用探测器探测放射线；

计算部，用于在多个探测器得到的多个探测数据的基础上，针对多个能量间隔的每一个能量间隔，计算实际比值信息，该信息代表对应于多个探测器的多个单独计数的相互比值；

产生部，用于针对每一个能量间隔产生响应函数，该函数提供随入射方向变化的理论比值信息；以及

比较部，用于比较对应于多个能量间隔的多个实际比值信息与对应于与多个能量间隔的多个响应函数，以及当特定的实际比值信息与特定的理论比值信息之间的匹配关系确定后，根据匹配关系识别被探测部探测到的放射线的入射方向以及能量间隔的至少其中之一。

2、如权利要求1所述的放射线测量装置，其中

比较部识别被探测部探测到的放射线的入射方向以及能量间隔。

3、如权利要求1所述的放射线测量装置，其中

针对每一个能量间隔的实际比值信息包括利用单独计数的总和归一化多个单独计数确定的多个实际计数比，以及

基于入射方向的理论比值信息包括与多个实际计数相比较的多个理论计数比。

4、如权利要求3所述的放射线测量装置，其中

计算部包括：

光谱生成部，用于根据多个探测数据生成对应于多个探测器的多个光谱；

第一计算部，用于为多个光谱设置多个能量间隔，并且为每一个能量间隔确定对应于多个探测器的多个单独计数；以及

第二计算部，通过将多个单独计数除以总计数为每一个能量间隔

确定多个实际计数比，所述总计数为单独计数的总和。

5、如权利要求1所述的放射线测量装置，其中  
由产生部产生的针对每一个能量间隔的响应函数为表达式或表格，为每一个入射方向提供理论比值信息。

6、如权利要求5所述的放射线测量装置，其中  
每一个能量间隔的响应函数作为模拟操作的结果被事先生成，在模拟中，通过使用用于探测部的虚拟模型，从每一个方向虚拟入射具有预定能量的放射线。

7、如权利要求1所述的放射线测量装置，其中  
在探测部中，多个探测器包含  $n$  个围绕中心轴放置的闪烁体块 ( $n \geq 3$ )。

8、如权利要求2所述的放射线测量装置，其中  
当来自多个放射源并且具有彼此不同的能量的放射线入射到探测部时，比较部确定对应于多个放射线的多个匹配关系，并且  
针对每一个确定的匹配关系，识别入射方向和能量间隔。

9、如权利要求2所述的放射线测量装置，还包括：  
生成部，在由比较部识别的入射方向和能量间隔的基础上，生成部通过映射标记到预定的坐标系中生成图表，以及  
显示部，用于显示该图表。

10、如权利要求9所述的放射线测量装置，其中  
在预定坐标系中的周向代表入射方向，在预定坐标系中的径向代表能量间隔。

11、如权利要求9所述的放射线测量装置，其中  
生成部根据剂量信息改变标记的显示形式。

12、如权利要求 11 所述的放射线测量装置，其中剂量信息代表针对由比较部识别的能量间隔计算的剂量。

13、如权利要求 11 所述的放射线测量装置，其中标记显示形式的变化包括标记大小变化、形状变化、颜色相位变化以及亮度变化的至少其中之一。

14、一种放射线测量装置中的数据处理方法，该测量装置包含具有  $n$  个探测器 ( $n \geq 3$ ) 的探测部，这些探测器具有彼此不同的水平方向特性，所述数据处理方法包括：

在  $n$  个探测器得到的  $n$  个探测数据的基础上，针对  $m$  个能量间隔中 ( $m \geq 2$ ) 的每一个能量间隔计算实际比值信息，该信息代表对应于  $n$  个探测器的  $n$  个单独计数之间的相互比值；

针对每一个能量间隔，产生响应函数，该函数提供随入射方向变化的理论比值信息；

比较对应于  $m$  个能量间隔的  $m$  个实际比值信息与对应于  $m$  个能量间隔的  $m$  个响应函数，以及当特定实际比值信息与特定理论比值信息之间的匹配关系确定时，根据匹配关系识别探测部探测到的放射线的入射方向和能量间隔。

15、如权利要求 14 所述的数据处理方法，还包括：

通过将代表已经识别的入射方向和能量间隔的标记映射到极坐标系中来生成图表，其中入射方向与周向关联，能量间隔与径向关联。

## 放射线测量装置及数据处理方法

### 技术领域

本发明涉及一种放射线（radiation）测量装置以及一种数据处理方法，更具体地，涉及一种识别放射线的入射方向或诸如此类的技术。

### 背景技术

本发明是一家日本公司 ALOKA Co., Ltd.开展的“寻向伽玛射线探测器”项目的一项研发产品，该项目由日本政府的日本科学技术振兴机构（Japan Science and Technology Agency）资助。

监测柱（monitoring posts）被普遍用来作为放射线测量装置，例如设置在核电站、核燃料处理工厂等设施的周围或者当地政府确定的测量点，并在安装地点持续进行放射线测量。借助于这一系统，反常情况的出现或消失始终都可以得到监视。在这样的监测柱，通常希望能够自动识别任何探测到的放射线的辐射方向。作为用于识别放射线的入射方向的方法，一种已知的方法是旋转方向探测器。在一个典型的方向探测器中，准直器和防护件（shielding member）包含铅（lead）以及类似物质，因此旋转探测器需要庞大的而且相对复杂的机械装置。此外，也希望能够识别除了监测柱以外的放射线测量装置（例如，地面固定的测量监测器）的入射方向。参考文献 1（JP2004-191327A）、参考文献 2（JP2004-361290A）、以及参考文献 3（Yoshiyuki SHIRAKAWA, “Development of nondirectional detectors with NaI (Tl)”, RADIOISOTOPES, Vol. 53, No. 8, pp. 445-450, Aug. 2004）都公开了在利用多种类型的闪烁物得到的多个光谱的每一个光谱中识别峰值，测定多个峰值的计数比（ratio of counts），然后根据该比值识别放射线的入射方向（来向）。日本发明专利申请 2005-014578 与本申请相关。

然而，当使用以上所述的在光谱中识别峰值的方法时，如果峰值不清晰或者峰值识别的精度有问题，计算的可靠性就会降低。尽管可以等待以及不执行计算直到峰值清晰地出现，但这样就阻碍了快速处

理。人们希望能够将来自多个辐射源并同时入射到探测器的放射线区分开来。而且，人们还希望除了入射方向之外还能够识别放射线的能量、级别（level）以及/或者能量间隔（energy interval）。

## 发明内容

本发明的目的之一是在不识别光谱峰值的情况下分析放射线的入射方向和/或能量。

本发明的另一目的在于识别来自多个辐射源的放射线，即使它们同时入射。

本发明的目的还在于提供一种显示方法以使放射线的入射方向和能量可以得到直观识别。

根据本发明的一个方面，本发明提供一种放射线测量装置，包括探测部，其中包括多个具有彼此不同方向特性的探测器，探测部利用探测器探测放射线；计算部，用于在多个探测器得到的多个探测数据的基础上，针对多个能量间隔的每一个能量间隔，计算实际比值信息，该信息代表对应于多个探测器的多个单独计数的相互比值；产生部，用于针对每一个能量间隔产生响应函数，该函数提供随入射方向变化的理论比值信息；以及比较部，用于比较对应于多个能量间隔的多个实际比值信息与对应于与多个能量间隔的多个响应函数，以及当特定的实际比值信息与特定的理论比值信息之间的匹配关系确定后，根据匹配关系识别被探测部探测到的放射线的入射方向以及能量间隔的至少其中之一。

根据这一结构，放射线（例如 $\gamma$ 射线以及 $\beta$ 射线）可以通过具有彼此不同的方向特性的多个探测器探测到。例如，通过合理安排多个探测器的相对位置，可以提供具有彼此不同的方向特性的探测器。此外，也可以利用例如屏蔽元件使探测器的主要灵敏方向（primary sensitivity direction）彼此不同，从而使探测器的方向特性彼此不同。理想地，每一个探测器由闪烁体元件构成。在这一结构中，探测器可以是同种材料以及同一形式，也可以是不同材料或者不同形式。任何一种情况都足以使探测器的灵敏特性具备方向依赖性。

以上所述的计算部，在多组探测数据的基础上，针对多个能量间

隔计算多组实际比值信息。多个能量间隔可以具有均匀的间隔宽度，也可以具有非均匀的间隔宽度。例如，对于需要详细识别的能量区域，就可以设置具有更小间隔宽度的更精细的能量间隔（在这种情况下，其它区域的能量间隔就被粗分）。然而，原则上，作为确定实际比值信息的前提的单独的能量间隔必须与作为产生多个响应函数的前提的单独的能量间隔匹配或者一致。通过确定对应于多个探测器的多个单独计数的相互比值，可针对每一个能量间隔确定实际比值信息。例如，如以下即将描述的，可以通过利用单独计数的总和归一化多个单独计数来确定多个计数比（count ratio）（多个实际计数比），还可以形成实际比值信息作为多个计数比的组合或序列。在任一情况下，对于每一个能量间隔，都期望计算与计数的比值相关的信息，该信息反映了探测器在方向特性方面的差异。对于探测器，单独的计数可以是例如在能量间隔内的综合计数（integrated count）、计数百分比（count percentage）等等。

另一方面，针对多个能量间隔预先准备多个响应函数。理想地，响应函数根据实验或模拟预先生成，并且作为模板与实际比值信息相互比较。换句话说，针对每一个能量间隔的响应函数是代表了随放射线入射方向变化的理论比值信息的函数。理论比值信息是同实际比值信息相比较的信息，并且被认为是相对于实际值的理论值。产生部作为存储器产生代表响应函数的数据，计算部处理响应函数的方程式或者其它方式（means）。

前述的比较部比较对应于多个能量间隔的多个实际比值信息与对应于与多个能量间隔的多个响应函数。更具体地说，对于每一个能量间隔，在由响应函数代表的每一个入射方向上比较实际比值信息与理论比值信息。在这种情况下，当特定实际比值信息与特定理论比值信息的匹配关系确定时，即实际值与理论值匹配时，就可以在匹配关系的基础上对入射方向和能量间隔的至少其中之一做出估计。换句话说，可以根据匹配关系建立时理论比值信息的属性（对应于理论比值信息的入射方向和/或对应于代表理论比值信息的响应函数的能量间隔）识别入射放射线的入射方向和/或能量间隔。这里，比较部优选能够同时识别由探测部探测到的放射线的入射方向和能量间隔。

如上所述，根据本发明的各个方面，由于它不需要识别光谱的峰值进而利用所得峰值进行计算处理，因此即使峰值不清晰也可以进行计算处理，而且计算处理不依赖于峰值识别精度。另外，由于不需要延迟开始计算直到光谱峰值被清晰地识别，因此可以实现快速计算。

针对每一个能量间隔的实际比值信息优选地包括由利用单独计数的总和归一化的多个单独计数所决定的多个实际计数比，基于入射方向的理论比值信息优选地包括将与多个实际计数比相互比较的多个理论计数比。多个实际计数比（实际计数比序列）对应于代表多个探测器中的内分（internal dividing）计数比的序列。多个理论计数比（理论计数比序列）是与实际计数比序列相对照的或相比较的序列。

计算部优选地包括：生成部，其根据多个探测数据生成对应于多个探测器的多个光谱；第一计算部，为多个光谱中的每一个光谱设置多个能量间隔，并且为每一个能量间隔确定对应于多个探测器的多个单独计数；第二计算部通过将多个单独计数除以总计数（单独计数的总和）为每一个能量间隔确定多个实际计数比。产生部可以通过能够为每一个能量间隔计算综合计数的多通道分析仪（MCA）或者其它器件（例如，单通道分析仪（SCA））构成。优选多个分析仪并行工作，然而也可以以时分的方式使用单个分析仪。可以将第一计算部和第二计算部集成为单个计算部。其它部也可以这样。每一个部可以用一个专用硬件实现，或者作为一个软件功能。

由产生部产生的针对每一个能量间隔的响应函数优选地为表达式或表格，为每一个入射方向提供理论比值信息。优选地，每一个能量间隔的响应函数作为模拟操作的结果被事先生成，在模拟操作中，通过使用用于探测部的虚拟模型，具有预定能量的放射线从每一个方向虚拟入射。预定的能量优选地设置为每一个能量间隔的中心能量，例如，在虚拟模型中在该能量具有光电峰值的 $\gamma$ 射线被虚拟入射。在这种情况下，入射方向连续变化或者以预定的间隔变化。

在探测部中，多个探测器优选包含  $n$  个围绕中心轴放置的闪烁体块（ $n \geq 3$ ）。通过沿圆周方向放置三个或更多的闪烁体块，闪烁体块的方向特性得以区分，从而可以区分在水平方向上从四周入射的放射线的入射方向。



优选地，当来自多个放射源并且具有彼此不同的能量的放射线入射到探测部时，比较部确定对应于多个放射线的多个匹配关系，并且针对每一个确定的匹配关系，识别入射方向和能量间隔。如上所述，因为针对对应于多个能量间隔的多个响应函数，对应于每一个能量间隔的实际比值信息都单独比较，因此即使当来自多个放射源并且具有彼此不同的能量的放射线同时入射的时候，放射线也可以被各自区分并处理。对于来自多个放射源并且沿同一方向入射的放射线，情况也是如此。当希望区分来自多个放射源的放射线，甚至是来自多个放射源并且具有相同能量（能量间隔）的放射线入射时，另一种识别方法可进一步与上述方案结合使用。

优选地，放射线测量装置还包括：生成部，其在由比较部识别的入射方向和能量间隔的基础上通过映射标记到预定的坐标系中生成图表（chart）；以及用于显示图表的显示部。通过该图表，可以同时并且直观地了解入射方向和能量间隔。

优选地，在预定坐标系中的周向（circumferential direction）代表入射方向，在预定坐标系中的径向代表能量间隔。优选地，图表生成部根据剂量信息改变标记的显示形式。通过该结构，可以同时直观地识别剂量的大小（magnitude）（或者剂量速率（dosage rate））。优选地，剂量信息代表针对由比较部识别的能量间隔计算的剂量。优选地，所述标记显示形式的变化包括标记大小变化、形状变化、颜色相位（color phase）变化以及亮度变化的至少其中之一。上述的图表显示技术可应用于计算并显示放射线的入射方向和能量（或者能量间隔）的其它放射线测量装置。在这种情况下，也可以得到与上述类似的优点。

根据本发明的另一个方面，提供一种放射线测量装置中的数据处理方法，该测量装置包含具有  $n$  个探测器（ $n \geq 3$ ）的探测部，这些探测器具有彼此不同的水平方向特性，本方法包括以下步骤：在使用  $n$  个探测器得到的  $n$  个探测数据的基础上针对  $m$  个能量间隔中（ $m \geq 2$ ）的每一个能量间隔计算实际比值信息，该信息代表对应于  $n$  个探测器的  $n$  个单独计数之间的相互比值；针对每一个能量间隔，产生响应函数，该函数提供对应于入射方向的理论比值信息；比较对应于  $m$  个能量间隔的  $m$  个实际比值信息与对应于  $m$  个能量间隔的  $m$  个响应函数；

以及当特定实际比值信息与特定理论比值信息之间的匹配关系确定时，根据匹配关系识别由探测部探测到的放射线的入射方向和能量间隔。

优选地，本方法还包括通过将代表已经识别的入射方向和能量间隔的标记映射到极坐标系中生成图表的步骤，其中入射方向与周向关联，能量间隔与径向关联。

如上所述，利用上述的结构，无需识别光谱中的峰值就可以计算入射放射线的入射方向和能量间隔或者其中之一。此外，利用上述的结构，可以识别来自多个放射源的放射线，即使放射线同时入射。而且，利用上述的结构，可以实现一种显示方法，其中可以直观地识别入射放射线的入射方向和能量间隔或者其中之一。

#### 附图说明

图 1 是根据本发明的放射线测量装置的一个优选实施例的框图。

图 2 是图 1 所示数据处理器的处理内容的流程图。

图 3 说明了光谱中多个能量间隔的设置方法。

图 4 是数据处理器的处理内容的概念图。

图 5 显示了第一响应函数。

图 6 显示了第二响应函数。

图 7 显示了第三响应函数。

图 8 显示了第四响应函数。

图 9 显示了第五响应函数。

图 10 显示了实际计数比序列与理论计数比序列的匹配。

图 11 显示了第一响应函数以及显示示范结果的第一函数。

图 12 显示了第二响应函数以及显示示范结果的第二函数。

图 13 显示了第三响应函数以及显示示范结果的第三函数。

图 14 显示了第四响应函数以及显示示范结果的第四函数。

图 15 显示了第五响应函数以及显示示范结果的第五函数。

图 16 是产生响应函数的过程的流程图。

图 17 是第一示例显示。

图 18 是第二示例显示。

图 19 是第三示例显示。

### 具体实施方式

现结合附图对本发明的一个优选实施例予以说明。

图 1 显示了根据本发明的放射线测量装置的一个优选实施例。根据本发明的放射线测量装置做成监测柱的形式，连续测量环境中的放射线（特别是 $\gamma$ 射线）。本发明也可以应用在其他放射线测量装置中，如测量计。

在图 1 中，放射线测量装置包括测量单元 10 以及计算单元 12。测量单元 10 包括探测部 14 以及转换部 16。在本实施例中，探测部 14 包含三个闪烁体块（三个探测器）20、22 以及 24。三个闪烁体块 20、22 以及 24 在水平面上围绕探测部 14 的垂直中心轴以均匀间隔放置，闪烁体块 20、22 以及 24 的每一个从顶部看（或者从底部）都是  $120^\circ$  的扇形。探测部 14 的总体形状为管形或盘形。举例来说，探测部 14 的直径可以为 7.62 厘米（3 英寸），高度可以为 7.62 厘米（3 英寸）。

因为探测部 14 以上述形式构造，所以闪烁体块 20、22 以及 24 的方向特性彼此不同。举例来说，当放射线特定地从附图标记 32 所示方向入射时，位于前面的闪烁体块 20 相对于放射线的灵敏度最高，因为闪烁体块 20 位于闪烁体块 22 和 24 的前面，所以处于后面的闪烁体块 22 和 24 的灵敏度相对较低。在这种方式下，当三个闪烁体块 20、22 以及 24 沿周向放置时，由于探测部独特的结构，闪烁体块 20、22 以及 24 的方向特性彼此不同。

在本实施例中，闪烁体块 20、22 以及 24 由同种材料构成，并且具有相同的外形。闪烁体块 20、22 以及 24 也可以由彼此不同的材料构成，或者具有彼此不同的外形。在任一情况下，多个探测器都要被构造成多个探测器的方向特性彼此不同。例如，放置具有不同主灵敏方向的探测器，同时利用屏蔽材料为多个探测器提供方向性。在这种情况下，多个探测器可沿垂直方向放置。

在三个闪烁体块 20、22 以及 24 之间提供反射层 26、28 以及 30。在闪烁体块 20、22 以及 24 之间的光衍射被反射层 26、28 以及 30 阻止。也可以使用反射材料在底面将除了光发射区以外的整个闪烁体块

20、22 以及 24 覆盖。

转换部 16 包含对应于三个闪烁体块的三个光探测器（光电倍增管作为光电转换器）34、36 以及 38。光探测器 34、36 以及 38 的光接收表面与对应的闪烁体块 20、22 以及 24 的下表面相连。因此，当放射线入射到某一闪烁体块并且产生光发射时，光就会被与闪烁体块相连的光探测器探测到。在光探测器中，光信号转换为电信号。

如果需要，也可以在闪烁体块 20、22 以及 24 的下表面与光探测器 34、36 以及 38 的光接收表面之间提供光导（light guide）或类似结构。在任一情况下，都优选地形成测量单元 10 以使由放射线入射导致在闪烁体块中产生的光可以尽量有效地被引导至对应于该闪烁体块的光探测器。

尽管在测量单元 10 中的探测部 14 以及转换部 16 被储存在一个容器中，然而该容器并未在图 1 示出。借助于本实施例中的测量单元 10，因为无需提供如相关技术中的旋转探测部的机械装置或者庞大的保护结构，测量单元 10 的尺寸和重量都可以减小。

接下来介绍计算单元 12。在图 1 的示例结构中，对应于三个放射线探测器（即三个闪烁体块 20、22 以及 24）提供三个信号处理器 40、42 和 44 以及三个多通道分析器（MCA）46、48 和 50。每一个信号处理器 40、42 和 44 包括用于放大从光探测器 34、36 以及 38 输出的信号的放大器、用于将放大后的模拟信号转换为数字信号的 A/D 转换器、以及其它必要的电路。多通道分析器 46、48 和 50 根据使用三个探测器得到的信号（探测数据）产生三个光谱。换句话说，多通道分析器 46、48 和 50 作为光谱产生器。或者，也可以用三个单通道分析器（SCA）代替多通道分析器。或者，也可以提供电路为每一个能量间隔确定计数以取代形成完整的光谱。从示意性的角度看，这样的电路对应于光谱产生电路以及光谱分析电路。

数据处理器 52 包括，例如，微处理器。数据处理器 52 的特定处理过程将在以后详细描述。本实施例中的数据处理器 52 为多个光谱设定多个能量间隔，针对每一个能量间隔进行预定的计算，并将计算结果与响应函数作比较（将在以后说明）以识别入射放射线的入射方向  $\theta$  以及能量（能量间隔） $E$ 。在这里，响应函数储存在与数据处理器 52

相连的存储器 54 中。如随后将要描述的，可通过执行预定的模拟来确定响应函数。附图标记 60 指明了将代表响应函数的数据存入存储器 54。

当入射放射线的入射方向  $\theta$  以及能量（能量间隔） $E$  已经如上所述在数据处理器 52 中确定时，显示处理器 56 执行预定的显示流程将这些信息以一种易于理解的方式提供给用户。如随后将要描述的，在这种情况下，生成预定的图形并将其显示在显示部 57 上。或者，也可以通过网络将由数据处理器 52 确定的入射方向  $\theta$  以及能量  $E$  输出到外部设备。

接下来，将详细描述图 1 所示的数据处理器 52 的处理内容。图 2 是在数据处理器 52 中处理内容的流程图。该流程图将参考图 3 至 10 予以描述。

S101、S102、以及 S103 代表对应于三个探测器的三个步骤，在每一个步骤中针对为每一个探测器产生的光谱设置多个能量间隔，并且针对每一个能量间隔  $i$  确定综合计数  $N_{1i}$ 、 $N_{2i}$ 、以及  $N_{3i}$ 。这里， $N_1$ 、 $N_2$ 、以及  $N_3$  代表针对探测器的综合计数，下标  $i$  是正整数（1、2、3、4、以及 5），代表能量间隔的编号。

现在参考图 3 对过程 S101、S102、以及 S103 予以描述。作为例子，图 3 显示了基于第一探测器得到的探测数据的光谱 62。如图 3 所示，为光谱 62 设置多个能量间隔 64–72。能量间隔 64–72 可以具有相同的或者不同的间隔宽度。在本实施例中，为所有的能量间隔 64–72 设置相同的间隔宽度，为 200 keV。这仅是示例性的，比如，如果一个能量区域需要更精细的识别，也可以在这个区域内设置更精细的能量间隔，并在其它区域设置更稀疏的能量间隔。

在本实施例中，根据针对每一个能量间隔 64–72 的光谱执行对计数的积分处理。也就是确定综合计数。在图 3 中，综合计数以  $N_{1i}$ – $N_{15}$  表示。尽管在能量间隔 70 中出现光谱 62 的一个峰值，然而在本实施例的方法中，无需区分或识别这样的峰值就可以分析入射放射线。尽管图 3 仅仅显示了针对第一探测器的光谱处理，然而对于其它探测器的光谱可执行类似处理。

在本实施例中，针对三个探测器执行以上所述的过程 S101、S102、

以及 S103, 可以得到如图 4 (A) 所示的结果。这里, 附图标记 74 代表了针对第一探测器进行光谱处理的结果, 即附图标记 74 代表对应于五个能量间隔的五个综合计数  $N_{11}$ – $N_{15}$ 。附图标记 76 代表了针对第二探测器进行光谱处理得到的对应于五个能量间隔的五个综合计数  $N_{21}$ – $N_{25}$ 。附图标记 78 代表了针对第三探测器进行光谱处理得到的对应于五个能量间隔的五个综合计数  $N_{31}$ – $N_{35}$ 。

再参考图 2, 在 S104 中, 针对每一个能量间隔  $i$  确定总计数  $T_i$  作为三个综合计数的总和 (例如,  $T_i = N_{1i} + N_{2i} + N_{3i}$ )。在 S105、S106 以及 S107 中, 将针对每一个能量间隔确定的三个综合计数除以总计数  $T_i$  得到对应于综合计数的计数比。这一过程将参考图 4 予以描述。

图 4 (B) 显示了如上所述 S104–S107 执行的结果。如图 4 (A) 所示, 对于能量间隔 0 keV–200 keV, 当对应于三个探测器的三个综合计数  $N_{1i}$ 、 $N_{2i}$ 、以及  $N_{3i}$  除以 (归一化) 总和  $T_i (= N_{1i} + N_{2i} + N_{3i})$  时, 得到如图 4 (B) 所示的三个计数比  $K_{1i}$ 、 $K_{2i}$ 、以及  $K_{3i}$ 。对于其它能量间隔, 类似地, 可通过归一化计算确定对应于每一个综合计数的计数比。如图 4 (B) 所示, 通过这一处理, 得到对应于三个探测器以及五个能量间隔的 15 个计数比 (参照附图标记 80、82、以及 84)。每一个能量间隔的三个计数比代表三个探测器之间的灵敏度差异或者三个探测器中的探测效率的差异, 即在每一个能量间隔中相对于总计数数的内分比。

再参考图 2, 在 S108 中, 执行将针对于每一个能量间隔  $i$  的三个计数比  $R_i$  (即实际计数比序列) 与每一个能量间隔  $i$  的响应函数 (更特定地, 所有理论计数比序列) 相比较的过程。该过程将参考图 4 (C) 与 4 (D) 予以描述。

如图 4 (C) 所示, 对于能量间隔 0 keV–200 keV, 在该能量间隔确定三个计数比  $K_{1i}$ 、 $K_{2i}$ 、以及  $K_{3i}$ , 定义实际计数比序列  $R_i$  为上述计数比的组合。类似地, 针对其它能量间隔, 定义实际计数比序列  $R_2$ – $R_5$ 。如图 4 (D) 所示, 将实际计数比序列与针对每一个能量间隔的响应函数相比较 (参照附图标记 70-1–70-5)。

在本实施例中, 事先准备对应于五个能量间隔的五个响应函数 (参照附图标记 72)。在本实施例中, 响应函数是通过模拟得到的函数 (随

后将更详细地说明), 代表  $0^{\circ}$ - $360^{\circ}$ 范围内的理论计数比序列。在图 4 中, 五个响应函数以  $I_{1-0\sim 360}$ 、 $I_{2-0\sim 360}$ 、 $I_{3-0\sim 360}$ 、 $I_{4-0\sim 360}$  以及  $I_{5-0\sim 360}$  表示。例如, 在能量间隔 0 keV-200 keV, 实际计数比序列  $R_1$  同响应函数  $I_{1-0\sim 360}$  相比较。对于其它能量间隔也是类似情况。

图 5-9 显示了对应于五个能量间隔的第一至第五响应函数。图 5 显示了对应于能量间隔 0 keV-200 keV 的第一响应函数, 图 6 显示了对应于能量间隔 200 keV-400 keV 的第二响应函数, 图 7 显示了对应于能量间隔 400 keV-600 keV 的第三响应函数, 图 8 显示了对应于能量间隔 600 keV-800 keV 的第四响应函数, 以及图 9 显示了对应于能量间隔 800 keV-1000 keV 的第五响应函数。在以上每一幅图中, 横坐标代表角度 (对应于入射方向), 纵坐标代表理论计数比。这里, 带有圆形符号的线 (点线) 表示对应于第一个探测器的理论计数比的变化, 带有三角符号的线 (点线) 表示对应于第二个探测器的理论计数比的变化, 带有方形符号的线 (点线) 表示对应于第三个探测器的理论计数比的变化。

理论计数比是根据模拟的结果运用与前面类似的计算过程确定的。换言之, 如同随后将要描述的, 在单个能量间隔的中心处具有能量峰值的虚拟的 $\gamma$ 射线照射到探测部的虚拟模型。在这一过程中, 变化 $\gamma$ 射线的照射方向 (角度)。按照这种方法, 针对每一个能量间隔和每一个照射方向, 得到对应于三个探测器的三个光谱。每个光谱都设置多个能量间隔, 对于每一个能量间隔, 确定对应于三个探测器的三个综合计数  $N_1$ 、 $N_2$ 、以及  $N_3$ , 并将综合计数相对于总和  $T$  归一化。经过这一过程, 确定了多个理论计数比 ( $N_1/T$ 、 $N_2/T$ 、以及  $N_3/T$ )。五个响应函数即是描绘了这些计数比的函数。

如图 5-9 所示, 在对应于每一个能量间隔的响应函数中, 三个理论计数比按照角度以类似于正弦曲线的形式变化。图 5-9 的相互比较清楚地表明, 当能量变高的时候, 放射线发射的功率也随之增加, 三个探测器的理论计数比之间的差异减小。在每一种情况下, 事先识别在每一个能量间隔和每一个方向上都不同的理论计数比序列 (三个理论计数比的组合) 并将其作为响应函数。

在图 2 中, 在前述 S108 中, 对于每一个能量间隔  $i$ , 执行比较实

际计数比序列  $R_i$  与响应函数的过程，并在 S109 中，确定匹配关系。更具体地说，判断实际计数比序列与理论计数比序列是否匹配。例如，在这种情况下，可以采用相关或类似运算，当相关值在某一范围内时，即可进行匹配判定。或者，也可以针对每一个理论计数比为执行匹配判定设置一个范围，然后根据实际计数比是否属于该范围进行匹配判定。

当没有与实际计数比序列匹配的理论计数比序列时，即判定没有待测量的某一级别或更高级别的放射线入射。在这种情况下，即认为是自然放射线（环境放射线）的入射。另一方面，当具有相同能量的放射线从多个方向入射的时候，就不能适当地执行计算，判定结果就会出现这个问题，这种情况下，可以如图 2 所示在 S115 中执行错误处理，比如，产生警告。在本实施例的放射线测量装置中，只要能量不同，即使来自多个放射源的放射线从同一方向或不同方向同时入射，也能够识别每个放射线，并且能够识别每个放射线的入射方向和能量（能量间隔）。

在图 2 所示结构中，步骤 S108 和 S109 不必要依序执行，如 S110 所示可以同时执行这些步骤。

图 10 是建立匹配判定的例子。在图 10 的例子中， $R_4$  代表针对第四能量间隔（600 keV–800 keV）计算的实际计数比序列，包括三个实际计数比  $K1_4$ 、 $K2_4$ 、以及  $K3_4$ 。实际计数比序列  $R_4$  与对应于能量间隔的第四响应函数相比较。在图 10 所示的情况下，对应于  $270^\circ$  角度的理论计数比序列  $I_{4-270}$  与实际计数比序列  $R_4$  匹配。当发现这一匹配关系时，就可通过读取匹配关系中的理论计数比序列  $I_{4-270}$  的角度属性（ $270^\circ$ ）识别放射线的入射方向。此外，通过读取能量间隔（600 keV–800 keV）（匹配关系确立所对应的响应函数的属性）可以识别入射放射线的能量间隔。当来自多个放射源具有彼此不同能量的放射线同时入射的时候，在多个能量间隔内会建立多个匹配关系。对于每一个匹配关系，都可以识别入射方向和能量间隔。

图 2 中的 S111 和 S112 表示如上所述的入射方向  $\theta$  以及能量间隔  $E$  的识别。在 S113 和 S114，输出识别的入射方向  $\theta$  的信息以及能量间隔  $E$  的信息。



如随后所述，响应函数是利用在每一个能量间隔的中心处具有光电峰值的 $\gamma$ 射线的模拟照射产生的。因为响应函数以这种方式产生，所以当实际计数比序列与理论计数比序列之间确定匹配关系时，实际计数比序列对应于与三个探测器相对应的三个光谱中的三个峰值。然而，在本实施例中，根本上，在所有能量间隔中进行实际计数比序列的比较，而且不需要在每一个光谱中识别峰值。换言之，尽管峰值可以作为结果，然而在计算过程中不需要识别峰值。因此，即使在光谱中峰值不清晰，还是能够精确判定入射放射线的入射方向和能量间隔。

下面参考图 11-15 对按照本实施例所述方法的模拟结果的例子予以说明。图 11 显示了响应函数(参照图 5)以及针对能量间隔 0 keV-200 keV 的模拟结果，图 12 显示了响应函数(参照图 6)以及针对能量间隔 200 keV-400 keV 的模拟结果，图 13 显示了响应函数(参照图 7)以及针对能量间隔 400 keV-600 keV 的模拟结果，图 14 显示了响应函数(参照图 8)以及针对能量间隔 600 keV-800 keV 的模拟结果，以及图 15 显示了响应函数(参照图 9)以及针对能量间隔 800 keV-1000 keV 的模拟结果。在以上每一幅图中，虚线代表实际计数比序列的变化，即响应函数(RF)。这些响应函数与图 5-9 中所示响应函数相同。另一方面，实线代表利用虚拟放射源( $^{137}\text{Cs}$ )的模拟结果，其中放射的 $\gamma$ 射线的光电峰值位于 662 keV。更具体地说，在模拟中， $\gamma$ 射线的照射方向围绕探测部(虚拟模型)旋转，计数比序列(对应于实际计数比序列)的变化在每一幅图中以实线表示。这里，每一条实线上的圆形符号代表对应于第一探测器的计数比，三角符号代表对应于第二探测器的计数比，方形符号代表对应于第三个探测器的计数比。因为计数比是通过前述的模拟过程得到的，所以这些计数比是模拟的，而不是测量的，然而它们可以像实际计数比一样使用。

因为入射放射线的峰值能量是 662 keV，所以放射线位于 600 keV-800 keV 的能量间隔内。因此，如图 14 所示，模拟中的计数比序列(实际计数比序列)与这个能量间隔内的所有入射方向的理论计数比匹配。另一方面，在其它能量间隔内，对于任何方向都没有建立匹配关系。换言之，通过本实施例所述方法，当探测到放射线时，就可以正确地判定入射放射线的能量间隔以及发射方向。

图 16 所示流程图显示了产生上述响应函数的方法。在本实施例中，响应函数是通过已知的电磁级联蒙特卡罗模拟（EGS）产生的。

在 S201 中，定义了多个能量间隔。在本实施例中，如上所述，设置了五个间隔宽度为 200 keV 的能量间隔，然而，这已经足以在与响应函数的产生相关的多个能量间隔与在光谱分析过程中的多个能量间隔之间进行匹配，进而能量间隔的间隔宽度不必要设置成彼此相同。

在 S202，图 1 所示放射线探测部的结构被几何地定义为一个虚拟模型，然后进行模拟，其中具有预定能量的 $\gamma$ 射线围绕作为模型的放射线探测部入射。在这种情况下，针对每一个能量间隔，照射在能量间隔中心具有峰值能量的 $\gamma$ 射线。此外，入射方向在  $0^\circ$ – $360^\circ$  之间变化。这里，入射方向可以连续变化，也可以以间隔 $\Delta\theta$ 变化。针对图 5–9 所示的响应函数， $\Delta\theta$ 设为  $30^\circ$ 。作为 S202 执行的结果，针对每一个能量和每一个方向，得到了对应于三个探测器的三个光谱。

在 S203 中，为每一个能量和每一个方向上所得到的三个光谱设置了多个能量间隔，并针对每一个能量间隔在三个光谱上确定了综合计数。通过将三个综合计数与综合计数的总和相除，确定了三个计数比（理论计数比）。每一个计数比构成了计数比序列（理论计数比序列）的一部分。将针对每一个能量间隔和每一个方向确定的理论计数比序列描绘在为每一个能量间隔准备的坐标系中。在 S204 中，如有必要，对描绘在坐标系中的多个点执行插值处理，这样就可以确定响应函数。在这一过程中，响应函数可定义为数值序列或者表达式。在任一情况下，通过执行图 16 所示的过程，可以事先产生针对图 5–9 所示的多个能量间隔的多个响应函数。

如上所述，通过在实际测量以前考虑具有不同能量级别的 $\gamma$ 射线从不同方向入射的各种情况，并且通过测量这些情况储存一组理论值（响应函数），当得到实际测量值的时候，可以匹配实际测量值与该组理论值，这样可以识别具有匹配关系的理论值，进而估计作为理论值属性的入射方向和能量间隔。

因此，只要正确地确定了匹配关系，即使放射线来自多个放射源并且从不同方向同时入射，也可以区分不同的放射源，并且测量每个放射线。然而，当来自多个放射源并且属于同一能量间隔内的放射线

同时入射时，也可能无法正确比较实际测量值与理论值。考虑到这一情况，可以执行错误处理以进一步提高判定的可靠性。

图 1 所示的数据处理器 52 也可以根据一个或多个探测器得到的探测数据计算整个能量范围内的剂量以及每一个能量间隔的剂量。例如，如果要计算对应于整个能量范围的剂量时，可以从三个光谱中选择一个光谱，然后在所选光谱的基础上确定剂量。在每一个能量间隔内计算剂量与此相似。或者，也可以考虑所有光谱，然后运用加权相加或类似的操作并计算剂量。

接下来举例说明图 1 所示的显示处理器 56 的工作流程。图 17-19 显示了显示处理器 56 产生的例图。

以上每一幅图都以极坐标显示，其中坐标系的周向对应于放射线的入射方向 $\theta$ ，坐标系中的径向对应于放射线的能量（能量间隔）。

如图 17 所示，当通过前述过程确定入射放射线的入射方向和能量间隔后，标记 M1 显示在极坐标系中对应于已确定的入射方向和已确定的能量间隔的位置。在示例的情况下，入射方向为  $90^\circ$ ，能量间隔为 600 keV-800 keV。此外，在本实施例中，标记 M1 的尺寸大小对应于在标记 M1 所处能量间隔内剂量的强度。换言之，标记 M1 的直径越大代表剂量越高，直径越小代表剂量越低。因此，入射放射线的入射方向、能量间隔、剂量信息都可以通过图 17 所示的图直观地识别，这非常有利。

在上述例子中，标记 M1 的直径大小代表剂量的强度。可选的，剂量的强度还可以通过改变标记的形式、颜色相位以及亮度来表示。例如，当剂量的强度与颜色相位关联的时候，需要在图 17 所示的图的附近显示颜色标尺。

图 18 显示了两个具有不同能量的放射线从同一方向入射的显示示例。在这个例子中，如标记 M2 和 M3 所示，两个放射线从  $120^\circ$  的方向入射，能量分别位于包括能量间隔 600 keV-800 keV 和能量间隔 800 keV-1000 keV 的两个能量间隔内。可选地，能量间隔的宽度也可以设置得更为精细以提高图中的能量分辨率。

图 19 所示的例子显示了两个具有不同能量的放射线从不同方向入射。在这个示例中，标记 M4 表示能量处于能量间隔 600 keV-800 keV

内的放射线从  $30^\circ$  方向入射，标记 M5 表示能量处于能量间隔 800 keV–1000 keV 内的放射线从  $90^\circ$  方向入射。

在上述的实施例中，响应函数通过模拟生成。此外，响应函数也可以通过收集实验数据生成。尽管在上述实施例中放射线处理装置是测量柱，然而本发明也可以应用于其它放射线测量装置中，比如测量计。例如，本发明可以应用于测量 $\beta$ 射线的测量计中。在上述实施例中，放射线探测部包含三个闪烁体块，然而，可选地，放射线探测部也可以包含四个或更多闪烁体块。当提供两个闪烁体块时，即探测器安装了两个从顶部看半圆形的闪烁体块时，尽管可以在  $0^\circ$ – $180^\circ$  以及  $180^\circ$ – $360^\circ$  两个范围内区分入射方向，然而不能像上述实施例一样区分特定的入射方向。因此，理想地应该放置三个或更多闪烁体块。在上述实施例中设置了五个能量间隔，然而也可以设置六个或更多的能量间隔，或者四个或更少的能量间隔。然而，当能量间隔数目较少的时候，难于精确确定匹配关系，因此通常需要设置，例如，四个或更多的能量间隔。

图 1 所示的数据处理器可以由微处理器或类似器件构成。或者，数据处理器也可以由在 CPU 上运行的软件功能实现。在这种情况下，MCA 46、48 和 50 以及随后的结构都可以用计算机代替。

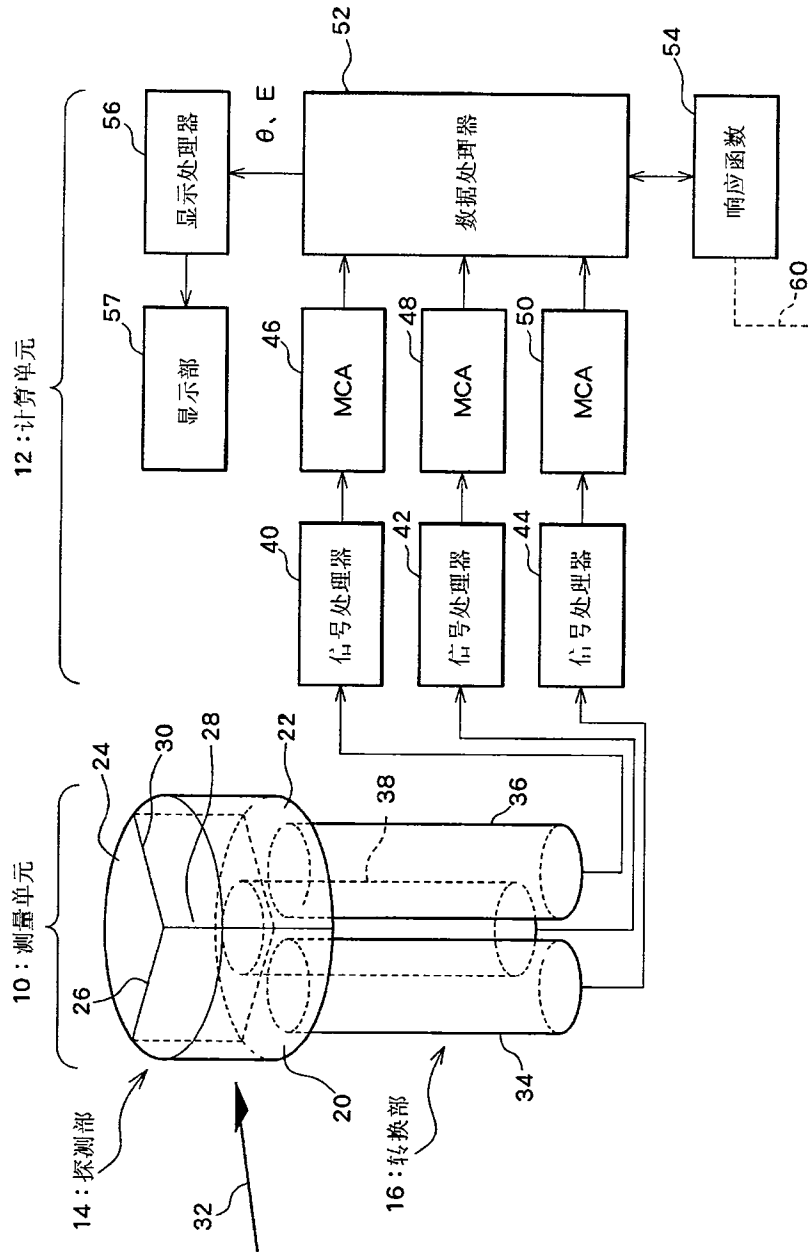


图1

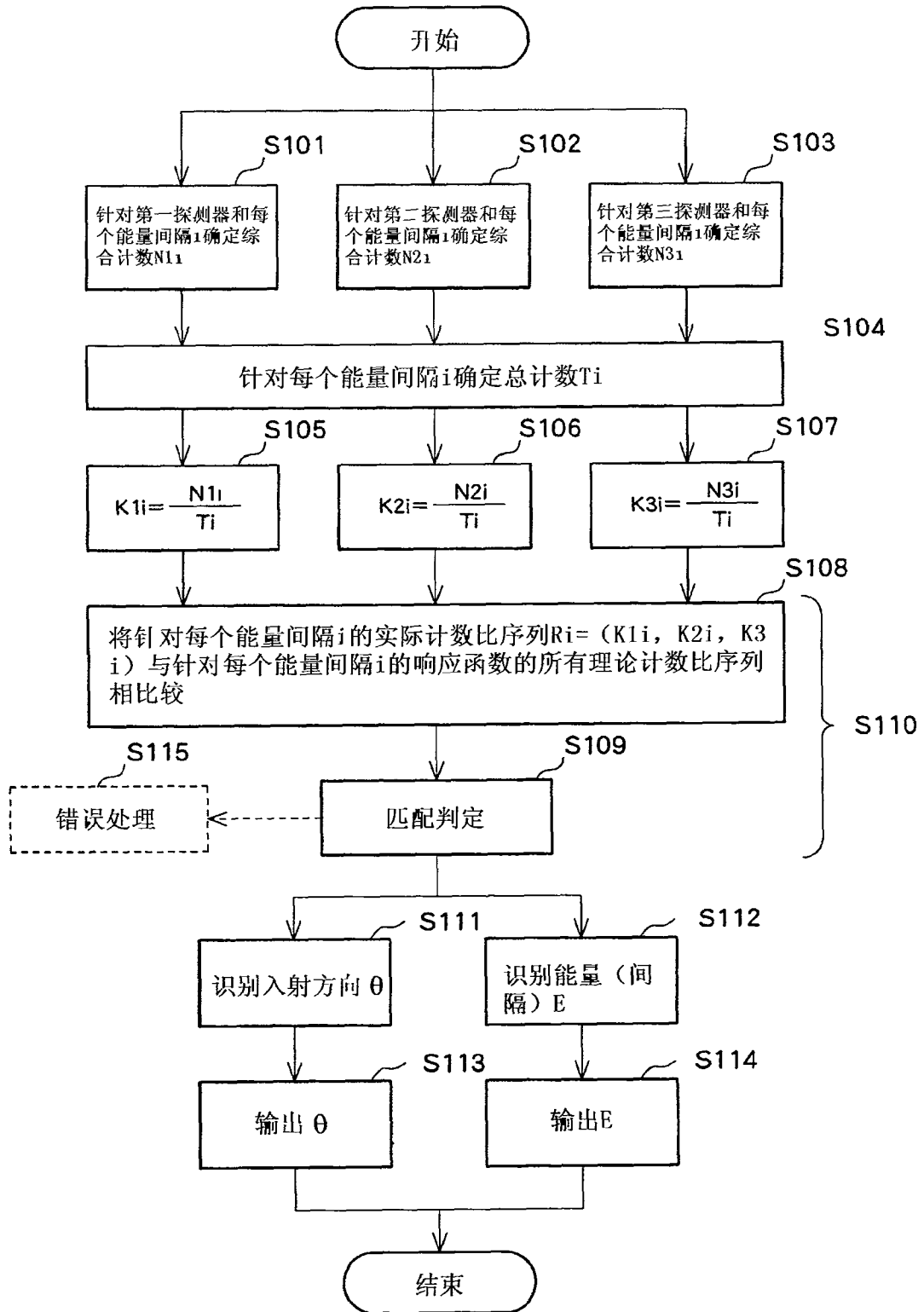


图2

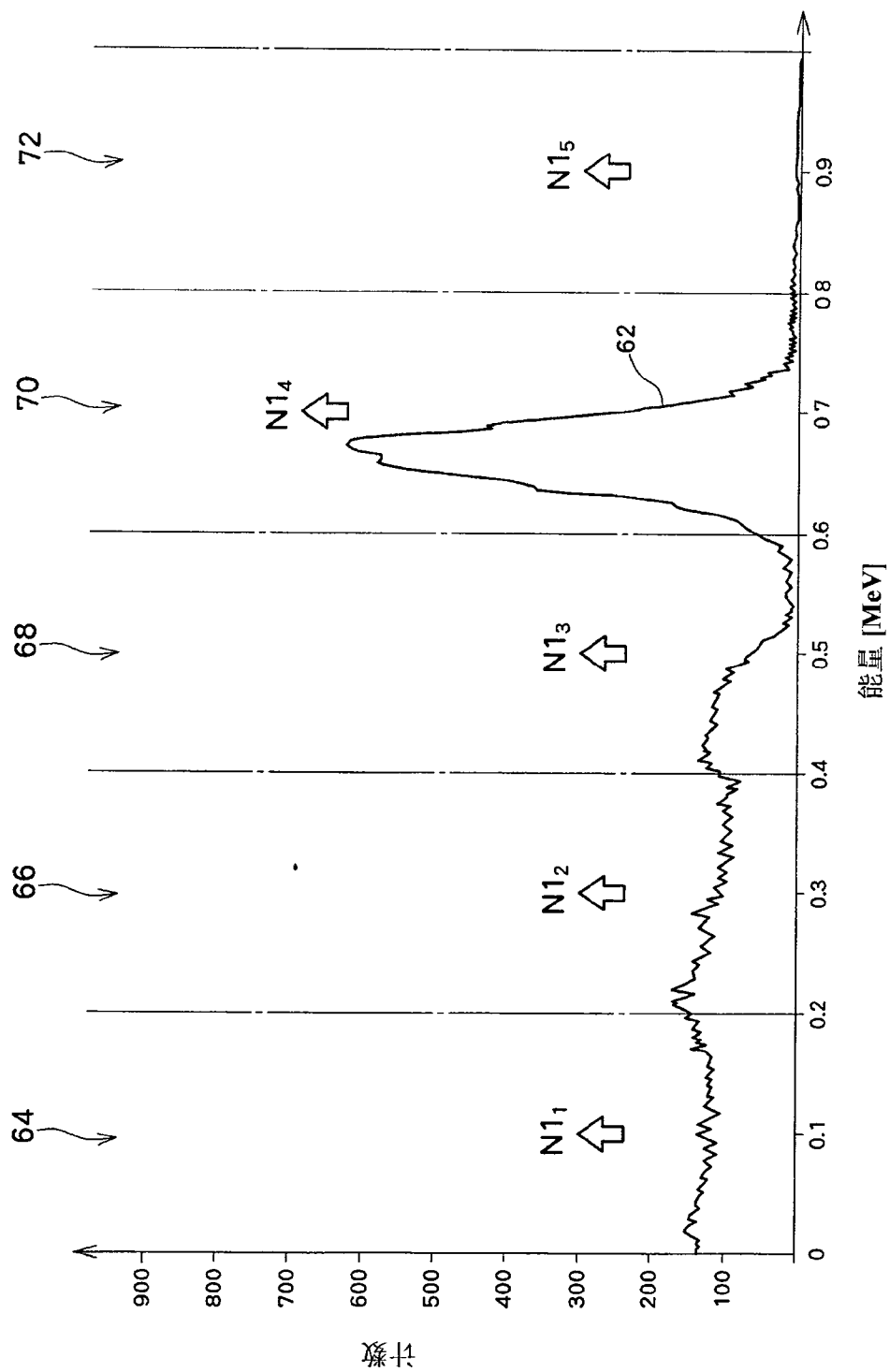


图3

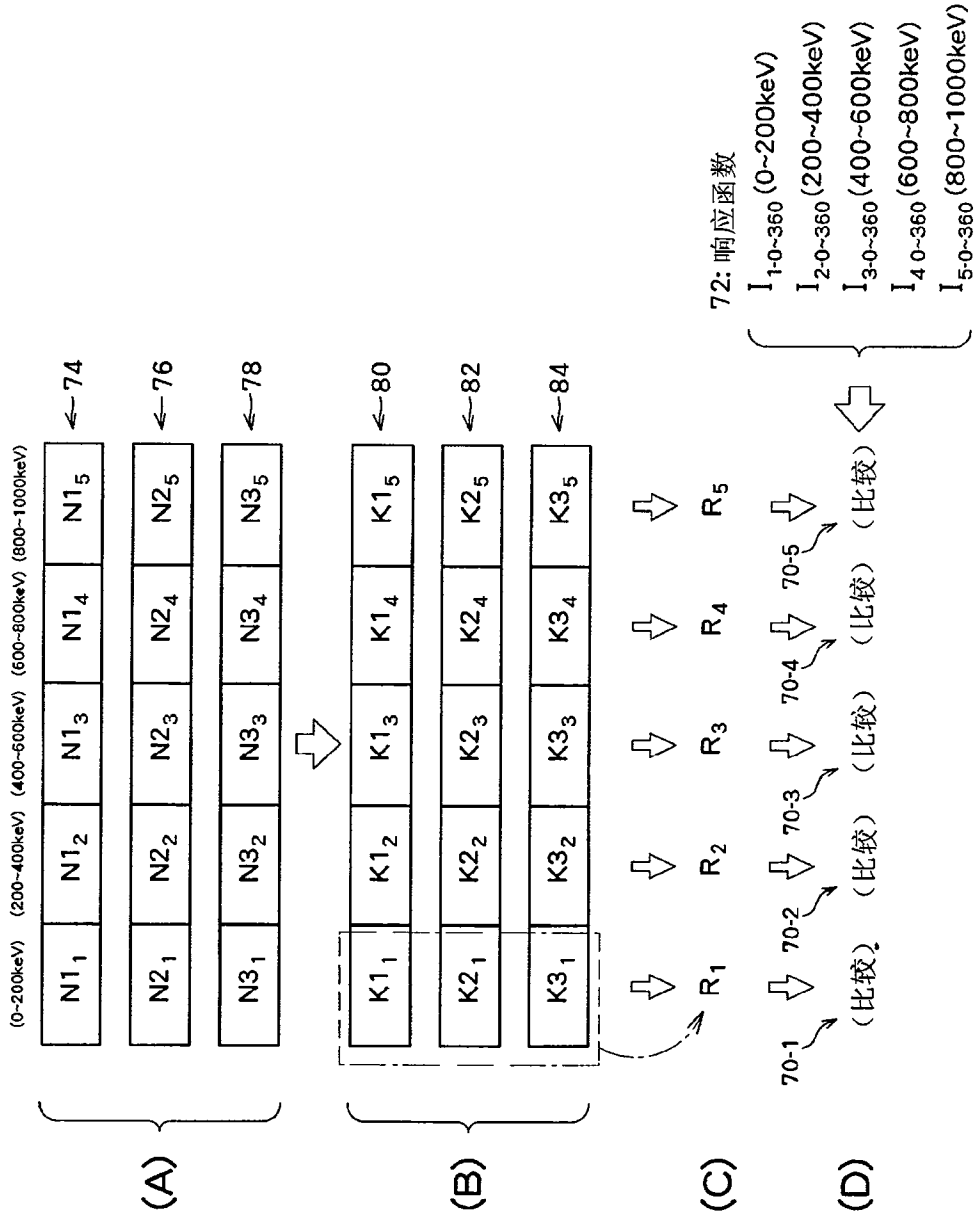


图4



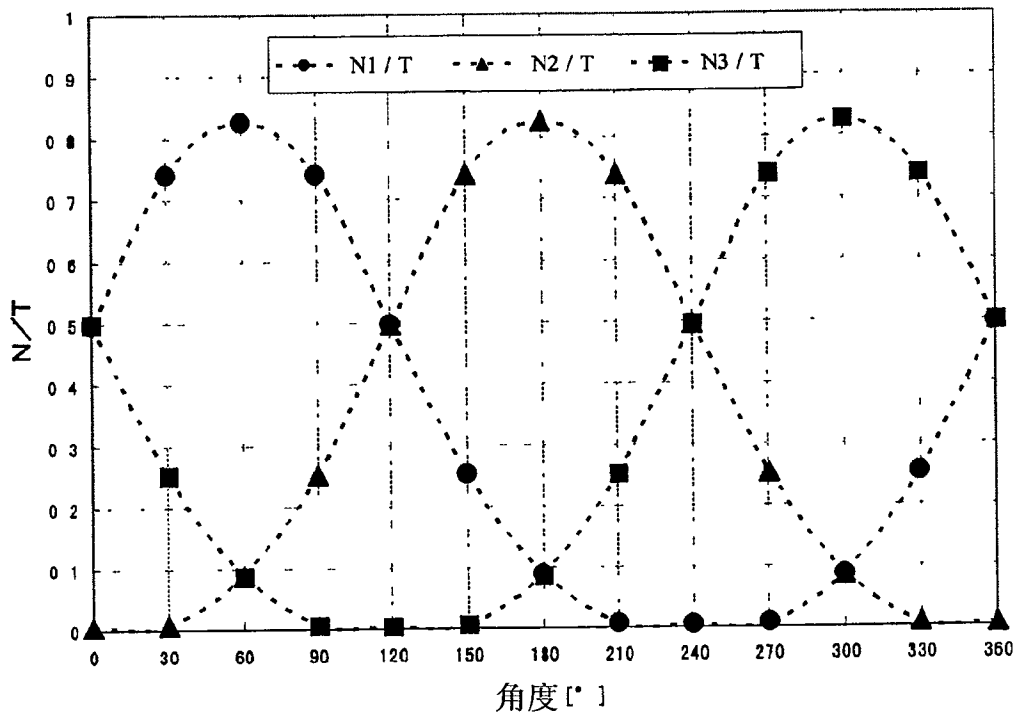


图5

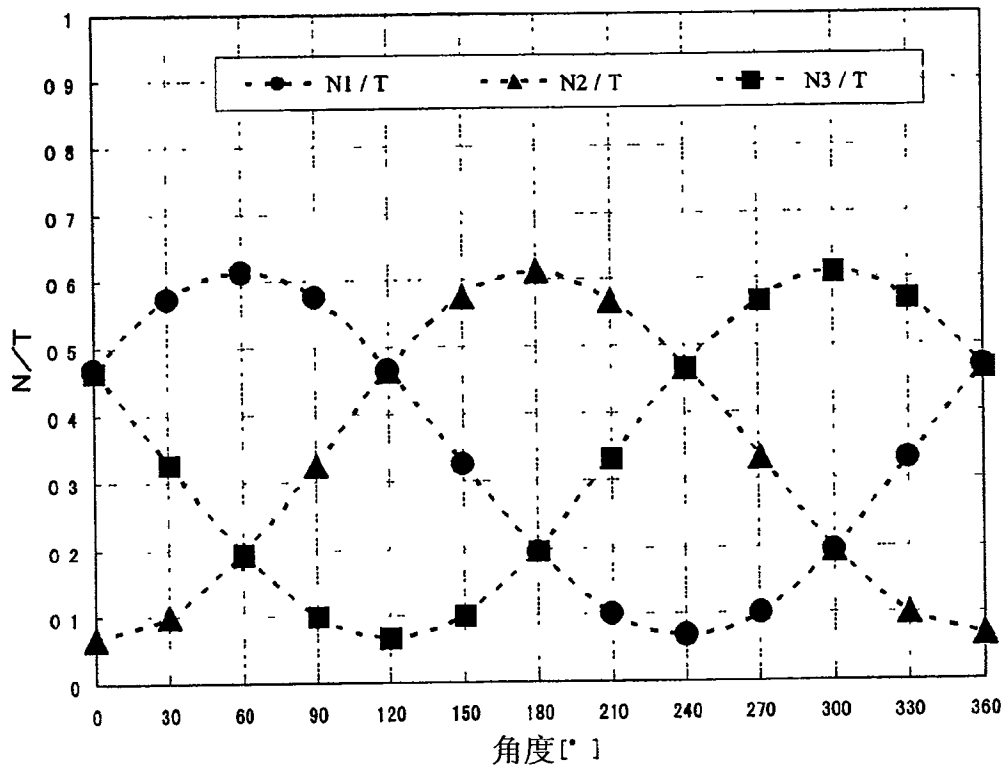


图6

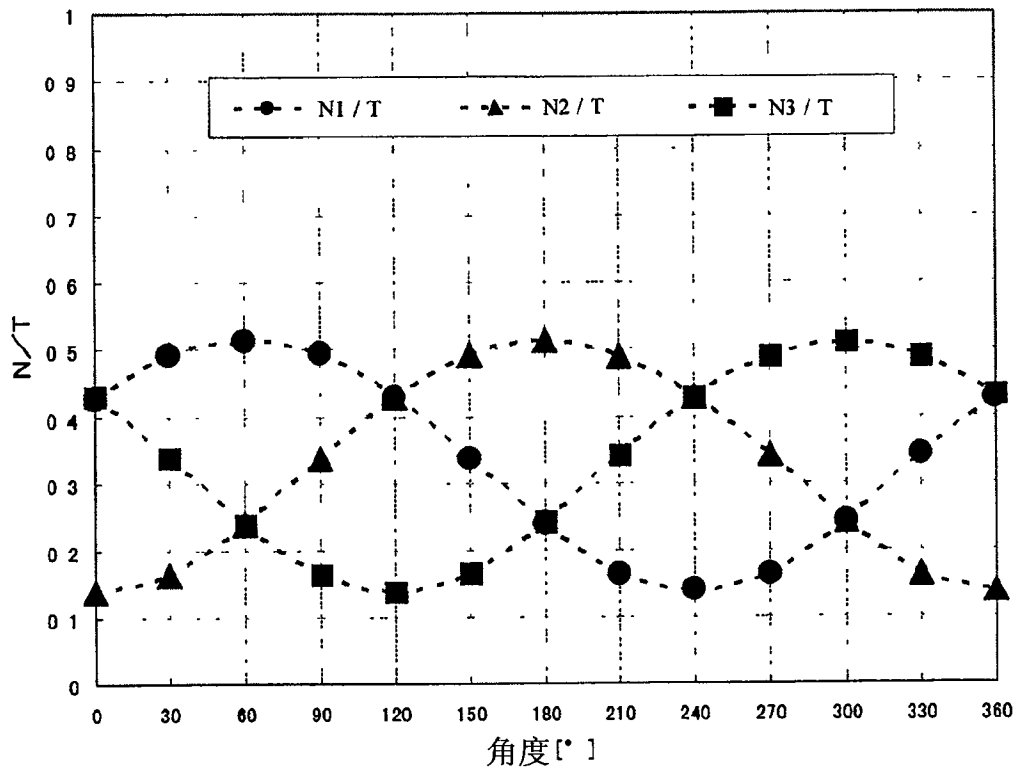


图7

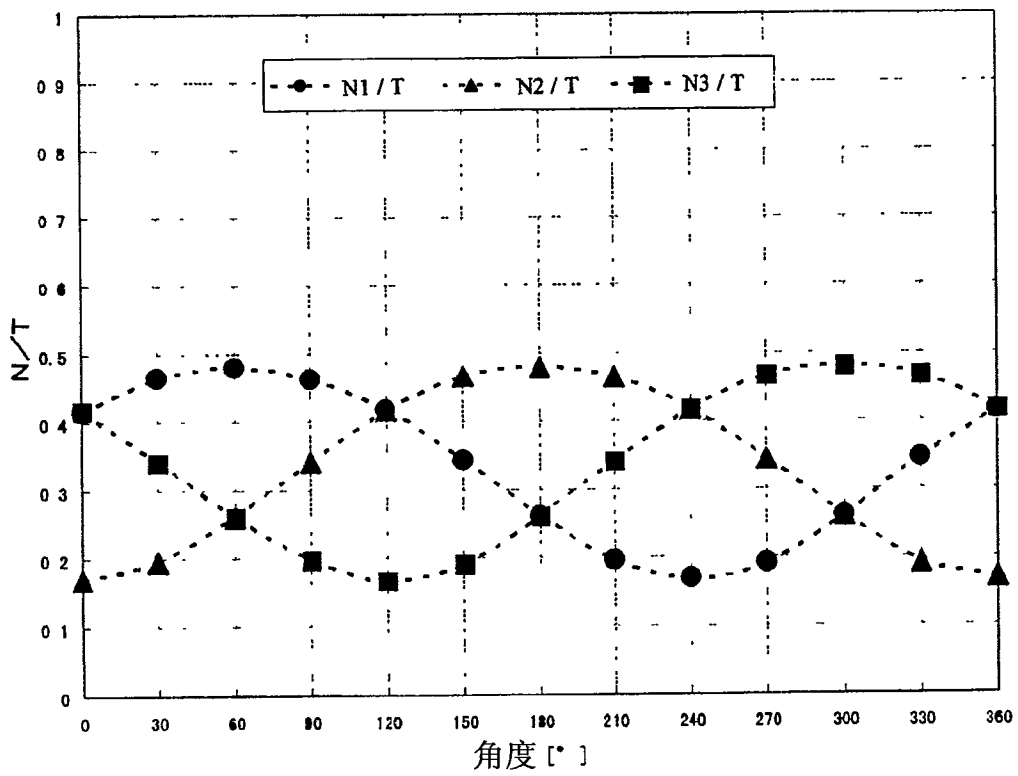


图8

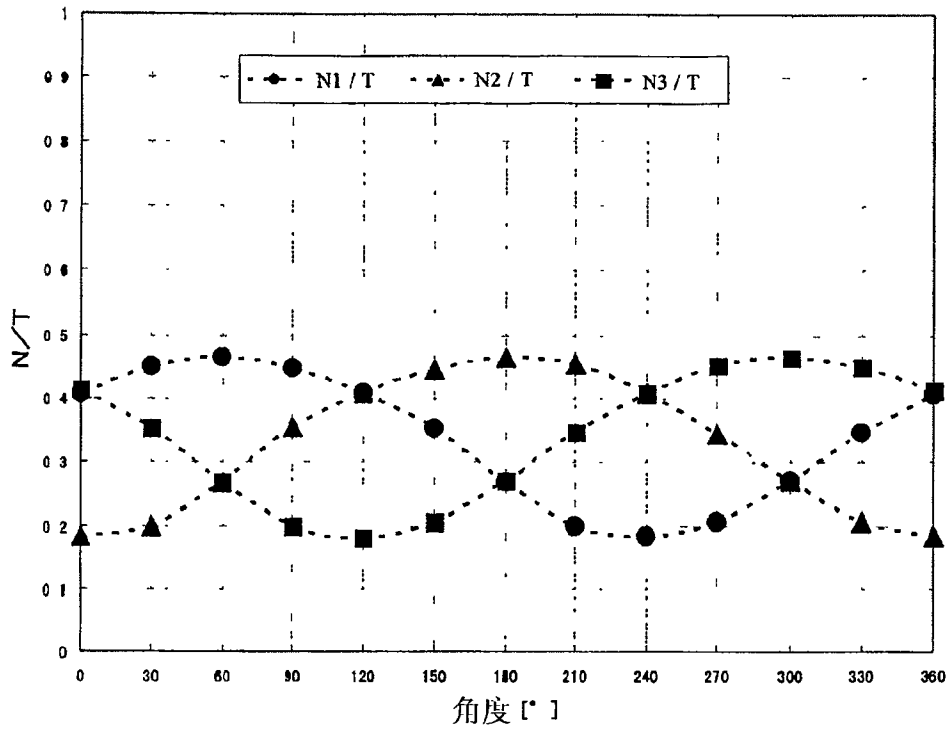


图9

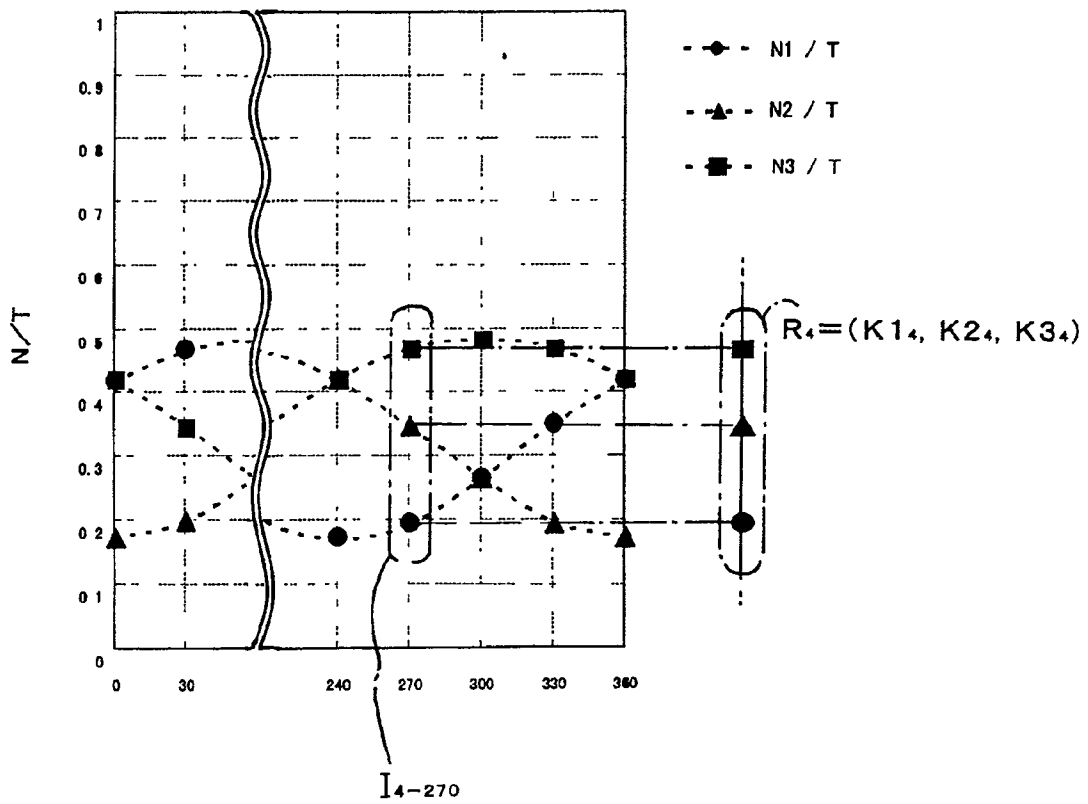


图10

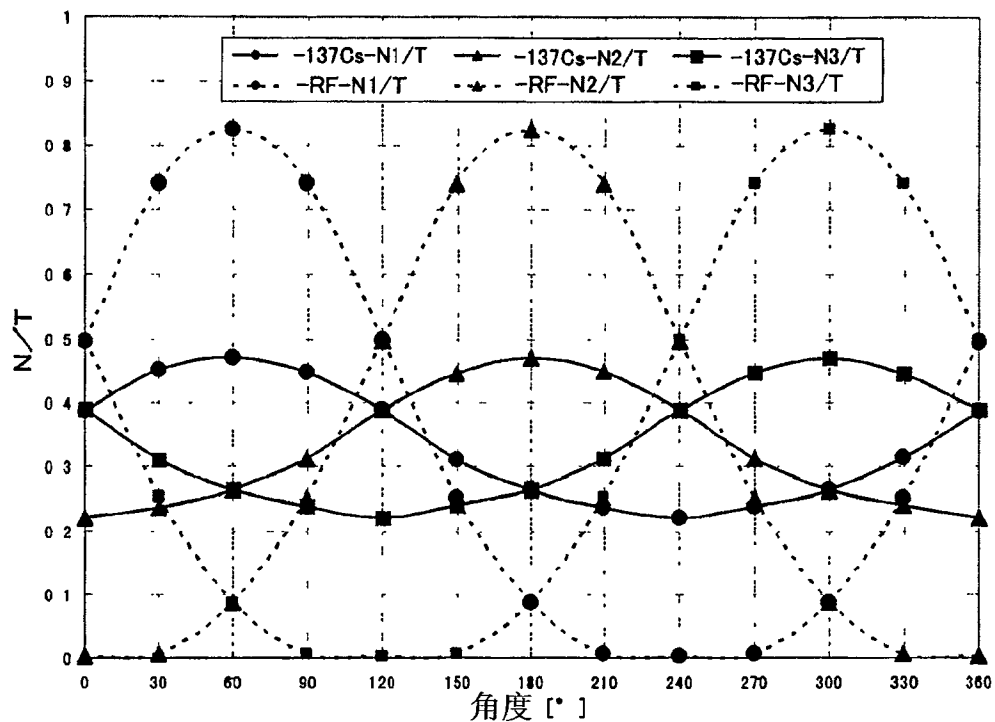


图11

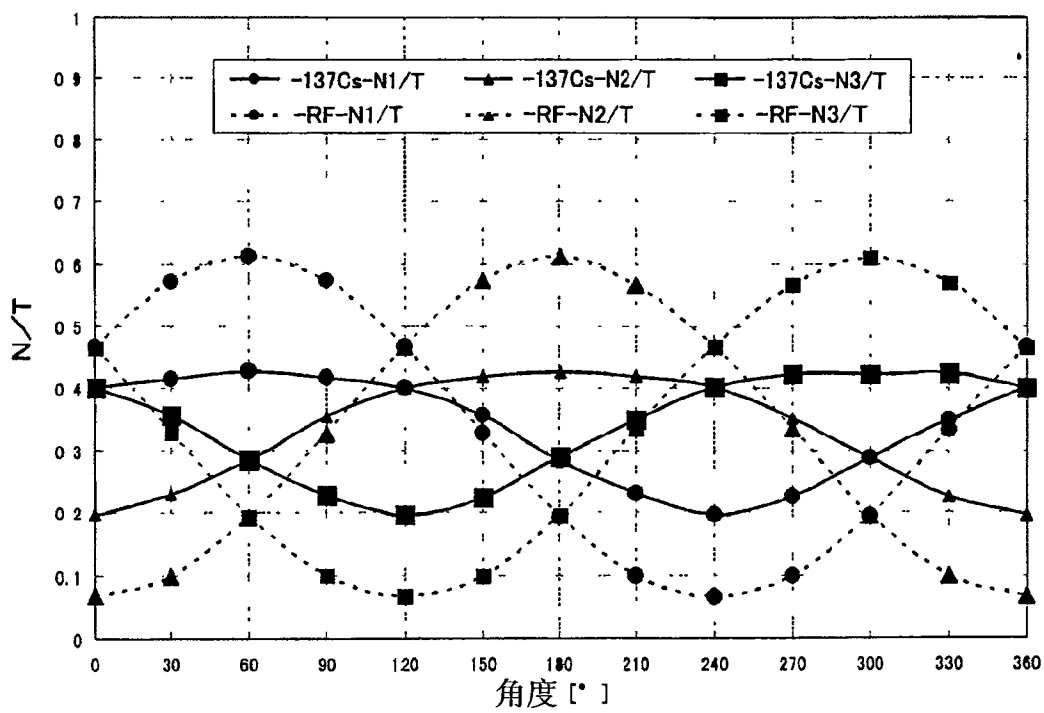


图12

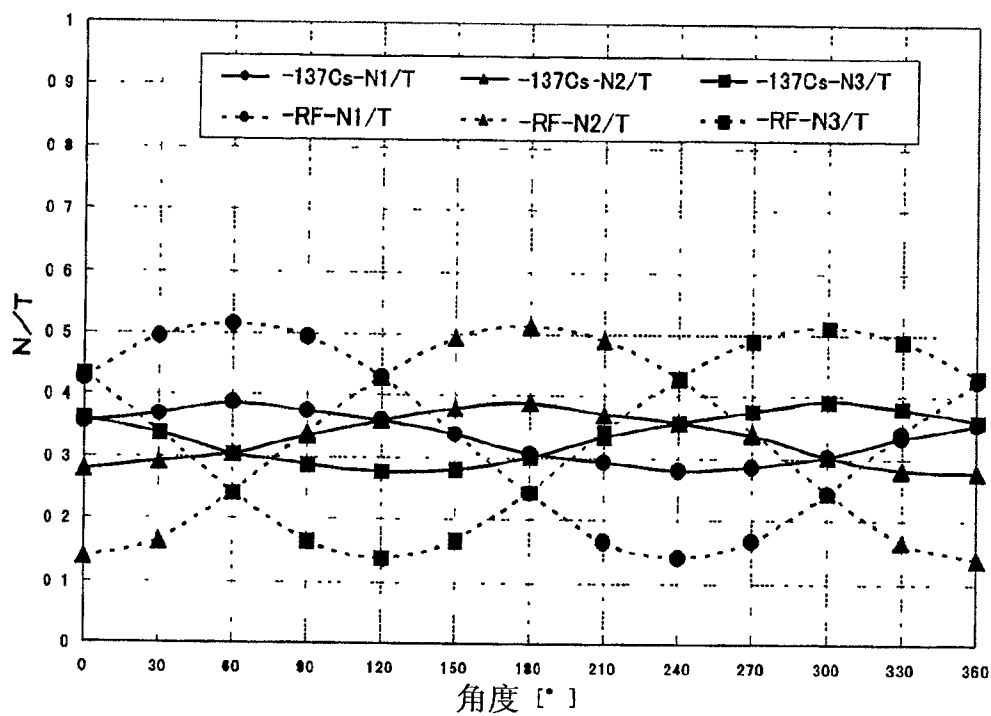


图13

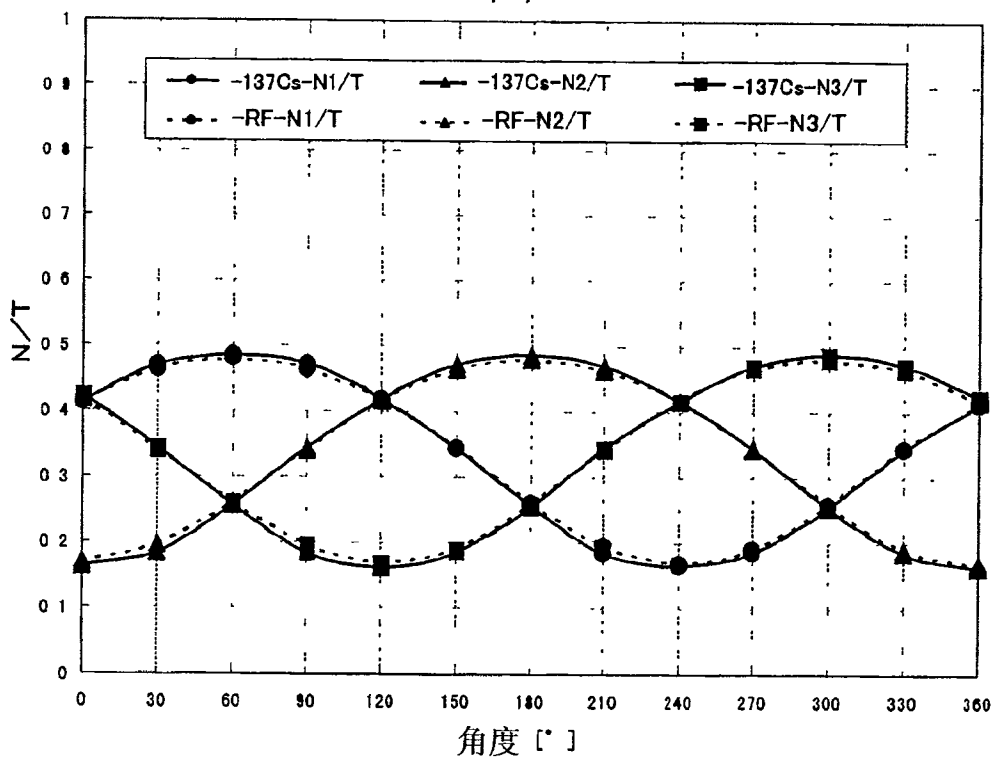


图14

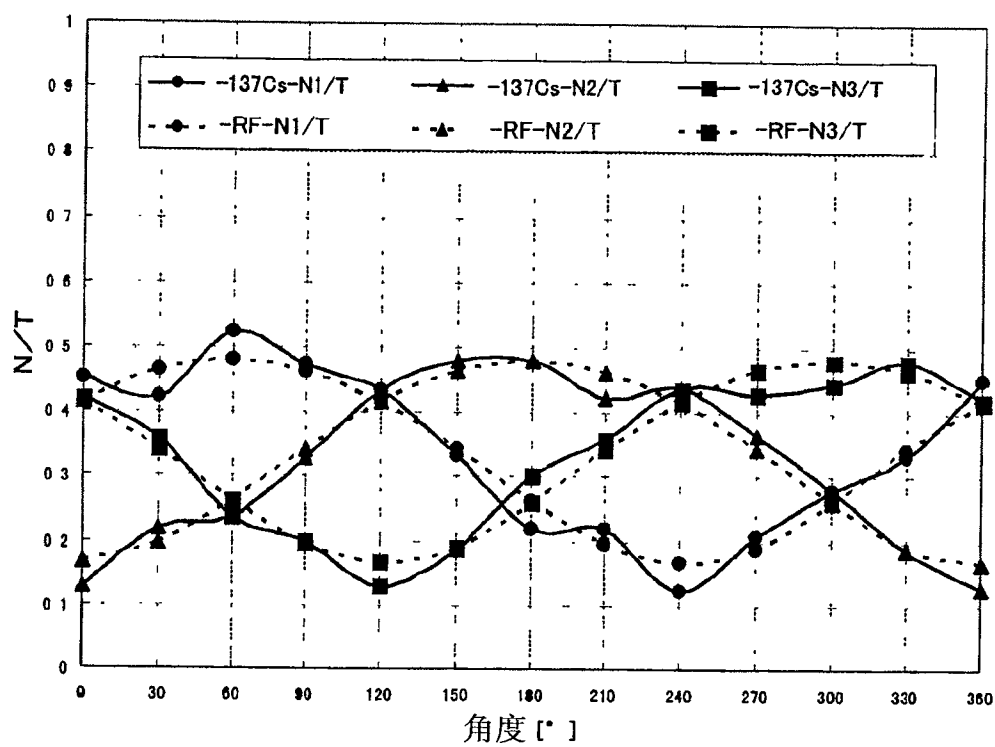


图15

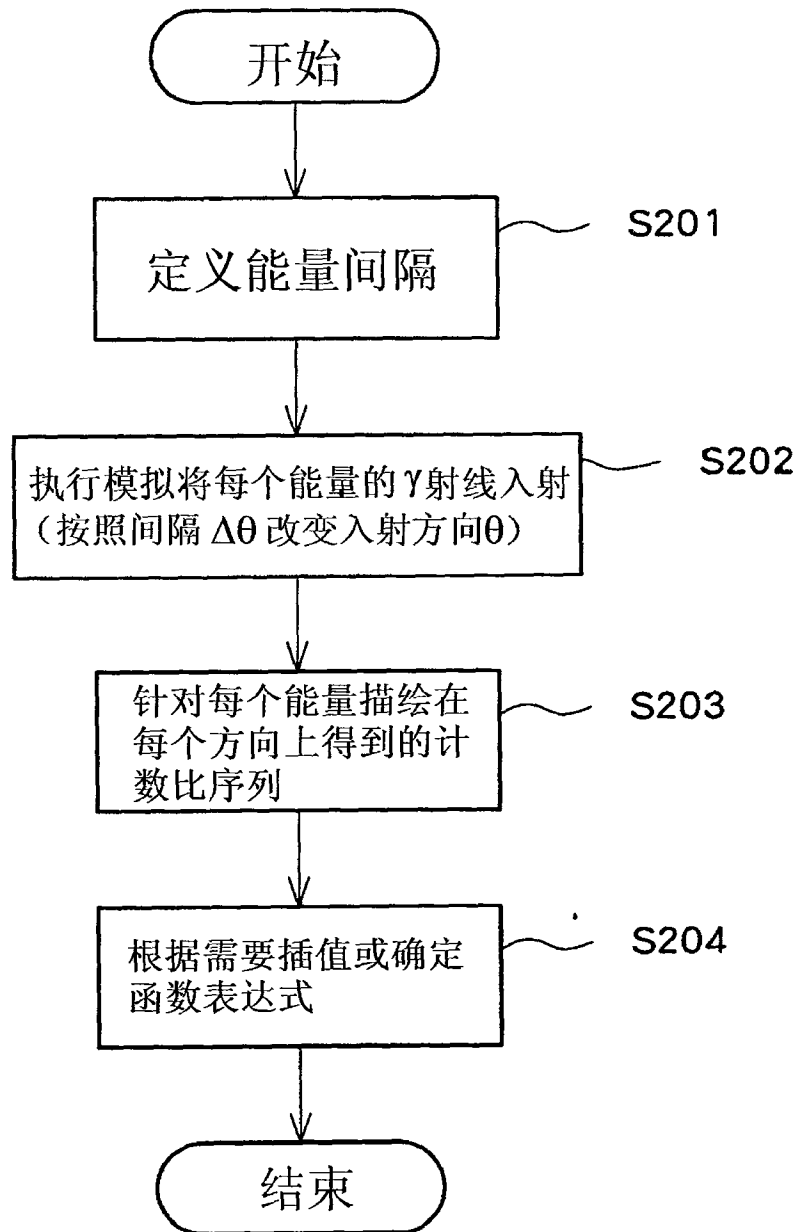


图16

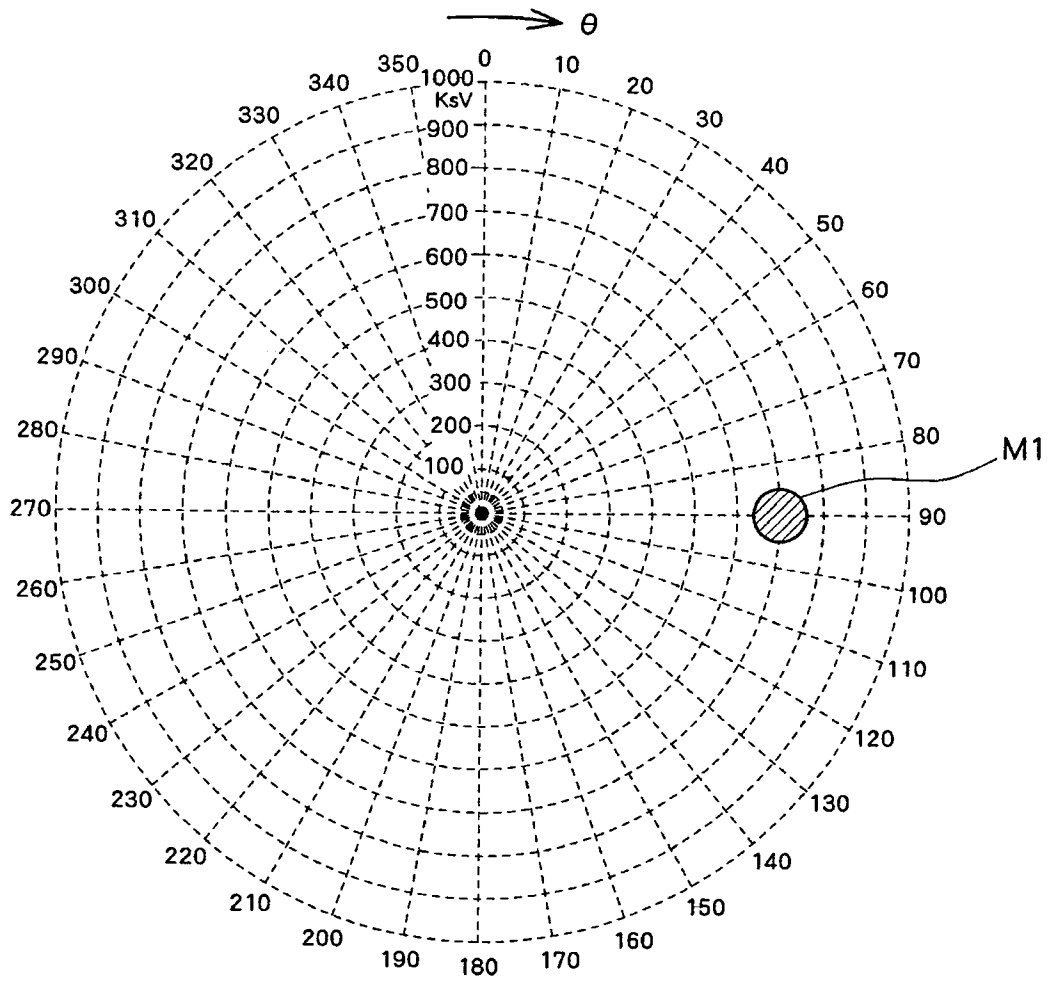


图17



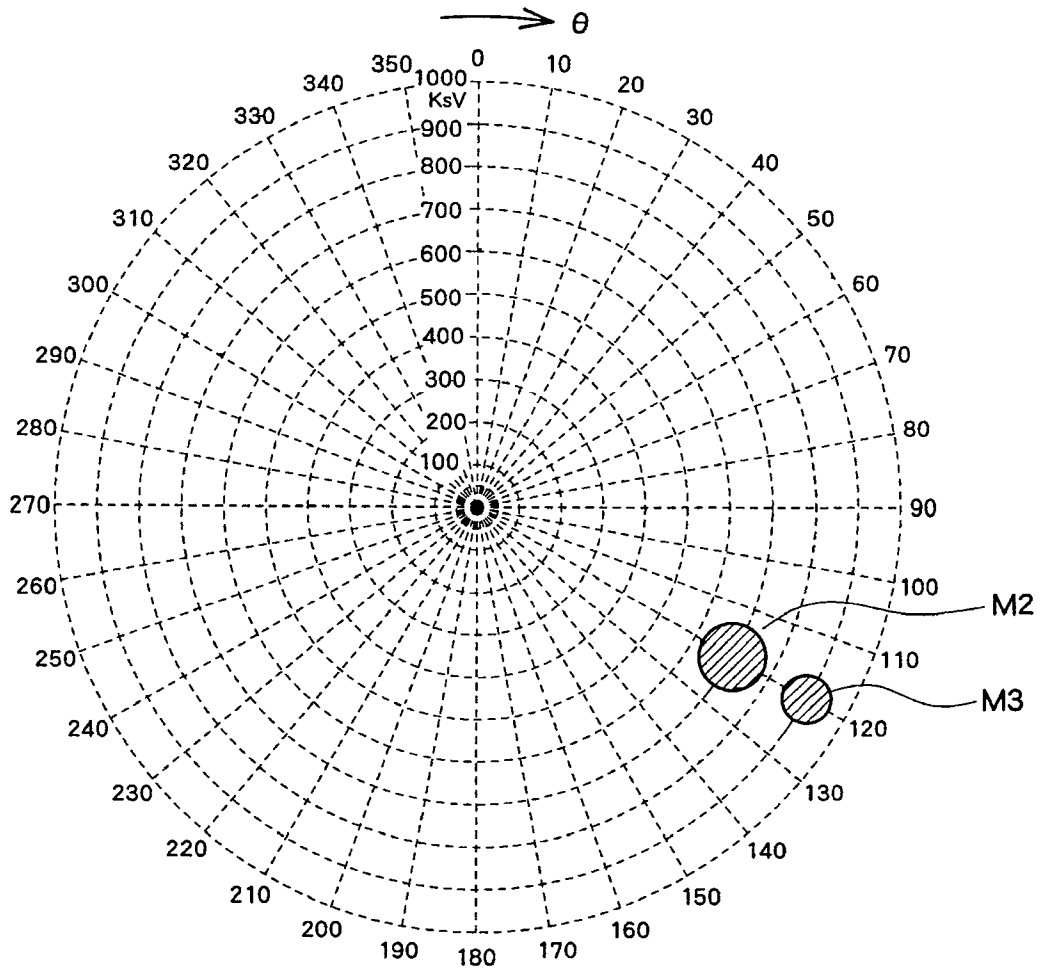


图18

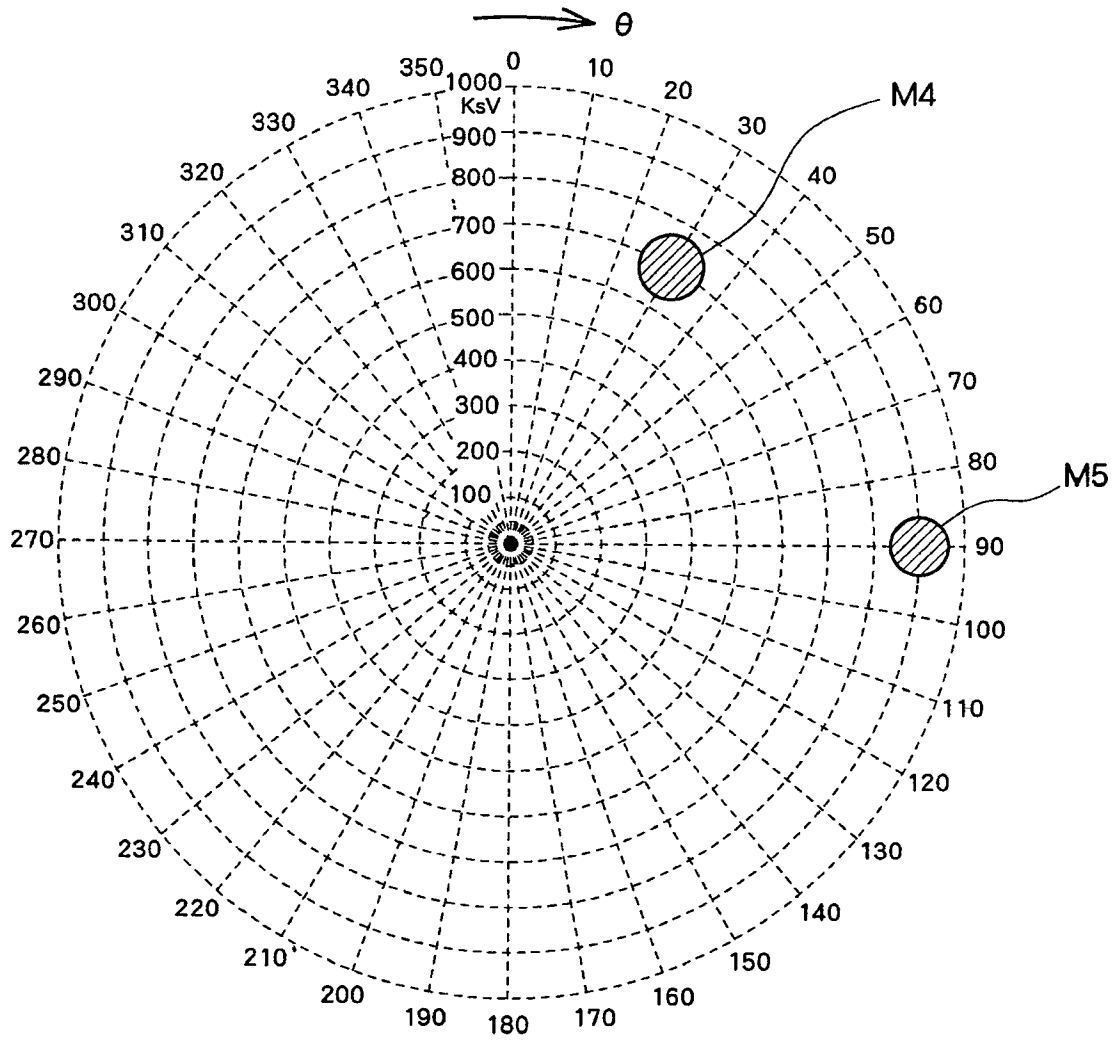


图19