(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 1864447 B
(45)授权公告日 2011.03.23

(21)申请号 200480028985.3

(22)申请日 2004.08.04

(30)优先权数据
60/492,353 2003.08.04 US

(85)PCT申请进入国家阶段日
2006.04.04

(86)PCT申请的申请数据
PCT/US2004/025113 2004.08.04

(87)PCT申请的公布数据
WO2005/018289 EN 2005.02.24

(73)专利权人 X射线光学系统公司
地址 美国纽约

(72)发明人 伊恩·拉德利 迈克尔·D·莫勒
马克·菲茨杰拉德

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002
代理人 夏青

(51)Int.Cl.
H05G 1/36(2006.01)
H05G 1/34(2006.01)

(56)对比文件
WO 03/049510 A2,2003.06.12, 全文.
CN 1031787 A,1989.03.15, 全文.
CN 1144571 C,2004.04.07, 全文.
US 4172223 A,1979.10.23, 全文.

审查员 叶红学

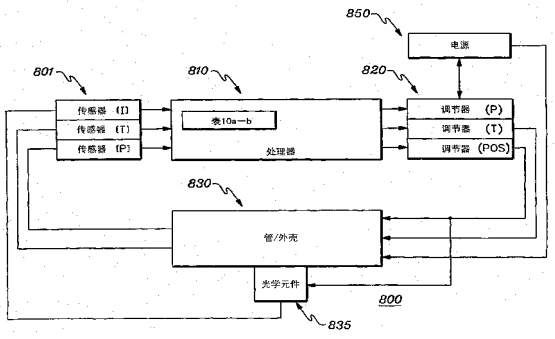
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 14 页

(54)发明名称

X射线源组件及其操作方法

(57)摘要

一种X射线源组件，包括：具有斑点的阳极，基于提供给该组件的功率电平以电子撞击在该斑点上；以及光学元件，被耦合而用以接收在该斑点处产生的发散X射线，并从该组件发射输出X射线。提供控制系统，用以通过改变提供给该组件的功率电平，在该X射线源组件的操作过程中动态维持输出X射线的强度，尽管该X射线源组件的至少一个工作条件有变化。该控制系统可包括至少一个调节器，用于例如通过控制与该组件相关的电源来改变提供给该组件的功率电平。该控制系统还可改变阳极的温度和/或位置来维持输出强度。



CN 1864447 B

1. 一种 X 射线源组件，包括：

X 射线管，其包括具有斑点的阳极，基于提供给该 X 射线管的功率电平以电子撞击在该斑点上；

光学元件，被耦合而用以接收在该斑点处产生的发散 X 射线，并从该组件发射输出 X 射线；以及

控制系统，用以在该 X 射线源组件的操作过程中动态维持该输出 X 射线的强度，来补偿阳极斑点和所述光学元件之间的未对准，其中，尽管该 X 射线源组件的至少一个工作条件有变化，该控制系统通过改变提供给该 X 射线管的功率电平来维持该输出强度。

2. 根据权利要求 1 所述的 X 射线源组件，其中，该控制系统包括至少一个调节器，用于实现提供给该组件的功率电平的改变。

3. 根据权利要求 2 所述的 X 射线源组件，其中，该至少一个调节器包括功率控制调节器，用于控制与该组件关联的电源。

4. 根据权利要求 2 或 3 所述的 X 射线源组件，其中，该控制系统还改变该阳极的温度和 / 或位置，用以维持该输出强度，该至少一个调节器包括另一个调节器：

用于调节该阳极源斑点和输出结构中的至少一个的位置；和 / 或

用于执行加热该阳极和冷却该阳极中的至少之一，以实现该阳极相对该光学元件的调节。

5. 根据权利要求 1-3 中任一项的 X 射线源组件，其中，该控制系统还包括至少一个传感器，用于提供与输出强度相关的反馈。

6. 根据权利要求 5 所述的 X 射线源组件，其中，该至少一个传感器包括用于监测该输出强度的传感器。

7. 根据权利要求 6 所述的 X 射线源组件，其中，该至少一个传感器包括至少一个附加传感器，用于：

监测阳极功率电平；和 / 或

直接或间接监测该阳极温度。

8. 根据权利要求 1-3 中任一项所述的 X 射线源组件，其中，该光学元件包括聚焦光学元件和准直光学元件中的至少之一。

9. 根据权利要求 8 所述的 X 射线源组件，其中，该光学元件包括多毛细管光学元件或双弯曲晶体。

10. 根据权利要求 1-3 中任一项所述的 X 射线源组件，其中，该至少一个工作条件包括非故意改变的阳极功率电平、该 X 射线源组件周围的环境温度、以及该 X 射线源组件的外壳温度中至少之一。

11. 根据权利要求 1-3 中任一项所述的 X 射线源组件，其中，提供给该 X 射线管的功率电平是通过控制管毫安来改变的。

12. 一种包括 X 射线管的 X 射线源组件的操作方法，它包括：

基于提供给该 X 射线管的功率电平使电子撞击在阳极斑点；

利用光学元件接收在该斑点上产生的发散的 X 射线，并从该组件上发射输出 X 射线；以及

通过改变提供给该 X 射线管的功率电平，尽管该 X 射线源组件的至少一个工作条件有

变化，在该 X 射线源组件的操作过程中动态维持该输出 X 射线的强度，来补偿阳极斑点和所述光学元件之间的未对准。

13. 根据权利要求 12 所述的方法，还包括：

调节该阳极源斑点和输出结构中至少之一的位置；和 / 或

执行加热该阳极和冷却该阳极中的至少之一，以便实现该阳极相对于该光学元件的调节。

14. 根据权利要求 12 或 13 所述的方法，其中，该光学元件包括聚焦光学元件和准直光学元件中的至少之一。

15. 根据权利要求 14 所述的方法，其中，该光学元件包括多毛细管光学元件或双弯曲晶体。

16. 根据权利要求 12 或 13 所述的方法，其中，该至少一个工作条件包括非故意变化的阳极功率电平、该 X 射线源组件周围的环境温度、以及该 X 射线源组件的外壳温度中至少之一。

17. 根据权利要求 12 或 13 所述的方法，其中，提供给该 X 射线管的功率电平是通过控制管毫安来改变的。

18. 根据权利要求 12 或 13 所述的方法，使用权利要求 1-3 之任一项的 X 射线源组件。

X 射线源组件及其操作方法

[0001] 相关的申请信息

[0002] 本申请包含与以下申请的保护主题相关的主题，以下这些申请同样转让给了该申请的受让人。下列这些申请全部结合在此作为参考。

[0003] Radley 等人在 2001 年 12 月 4 日申请的“利用 X 射线分析流体流的 X 射线管、方法和装置”，其美国序列号是 60/336584，PCT 申请是 PCT/US02/38792。

[0004] Radley 等人在 2002 年 7 月 26 日申请的“具有增强的输出稳定性的 X 射线源组件”，其美国序列号是 60/398965，PCT 申请是 PCT/US02/38493。

[0005] Radley 在 2002 年 7 月 26 日申请的“用于冷却和电绝缘高压、发热部件的方法和装置”，其美国序列号是 60/398968，PCT 申请是 PCT/US02/38803。

[0006] Radley 等人在 2002 年 7 月 26 日申请的“用于 X 射线源组件的诊断系统”，其美国序列号是 60/398966，PCT 申请是 PCT/US03/23129。

技术领域

[0007] 本发明总体涉及 X 射线源，具体涉及具有聚焦或准直 X 射线束输出的 X 射线源组件，它利用根据理想强度调节管功率的控制回路，在一定工作条件范围内具有增强的稳定性并实现自动校正。

技术背景

[0008] 在工业、医疗和牙科应用广泛领域内，用于 X 射线荧光 (XRF) 光谱和 X 射线衍射 (XRD) 的仪器中广泛采用小巧而紧凑的 X 射线管。X 射线管通常以发散方式发出辐射。要获得足够强度的亮斑尺寸一般需要昂贵、高功率源。近来聚焦 X 射线辐射技术能缩小 X 射线源的尺寸、降低其成本，因此 X 射线系统在各个应用领域都得到应用。通过多毛细管聚焦与准直光学元件可以具体实现 X 射线束的产生和发射，并且可以实现在光学元件 / 源组合中，如共同转让给 X 射线光学系统公司的美国专利 5192869、5175755、5497008、5745547、5570408、5604353 中所记载的内容，上述美国专利申请都全部结合在此作为参考。

[0009] 虽然近来 X 射线聚焦技术在不断进步，但仍需对 X 射线源组件做进一步改良。例如，改善在各种工作条件下 X 射线束的输出稳定性，以及在已知条件下校正其操作。本发明就是针对这些需求。

发明内容

[0010] 在上述 X 射线源中利用撞击阳极的电子束来产生 X 射线，由此会产生的热量足以引起支撑 X 射线管并使其定位在 X 射线源内的元件发生热膨胀。该热膨胀可能导致阳极发散出的 X 射线和例如用于控制 X 射线方向的元件之间未对准。结果，在不同功率下操作 X 射线源可能导致在发散出的 X 射线与聚焦光学元件之间有一定范围的未对准。该未对准可能使得 X 射线源的输出功率强度大范围变化。对某些类型的射束控制元件，如针孔或单反射镜来说，未对准还可引起 X 射线输出点或 X 射线束的位置发生改变。因此，在一方面，在此

提供了一种 X 射线源组件，它具有在操作功率电平范围内增强的输出稳定性，以及增强的 X 射线斑点或 X 射线束位置的稳定性。具体而言，依照本发明一个方面的 X 射线源组件提供一种 X 射线束输出强度，该强度能够保持相对恒定，尽管 X 射线源的一个或多个工作条件（例如阳极功率电平、组件周围的外壳温度和环境温度）有变化。

[0011] 依照本发明的 X 射线源组件包括具有斑点的阳极和耦合的光学元件，基于提供给该组件的功率电平以电子撞击在该斑点上，而所述光学元件用于接收斑点上产生的发散 X 射线，并从该组件发出输出 X 射线。提供一种控制系统，用以在 X 射线源组件的操作过程中动态维持输出 X 射线的强度，其中，通过改变提供给该组件的功率电平，该控制系统维持输出强度，尽管 X 射线源组件的至少一个工作条件有变化。

[0012] 控制系统可包括至少一个调节器 (actuator)，用以通过例如控制与该组件关联的电源，实现提供给该组件的功率电平的变化。

[0013] 控制系统还可改变阳极的温度和 / 或位置来维持输出强度。可以设置若干个调节器来调节阳极源斑点的位置和输出结构中至少一个的位置；和 / 或执行加热阳极和冷却阳极中的至少之一，以便实现阳极相对光学元件的调节。

[0014] 控制系统还可包括：至少一个传感器，用以提供与输出强度相关的反馈；若干个附加传感器，用以监测阳极的功率电平和 / 或直接或间接监测阳极温度。

[0015] 在此还描述并要求保护对应于上述方法的系统和计算机程序产品。

[0016] 另外，其它特征和优点也可通过本发明的技术实现。在此详细描述了本发明的其它实施例和方面，它们也被认为是要求保护的发明的一部分。

附图说明

[0017] 在说明书后面的权利要求书中具体指出并清楚要求保护的本发明的主题。通过下面结合附图进行的详细描述，将使本发明的前述和其他目的、特征以及优点变得清楚，其中：

[0018] 图 1 描绘了依照本发明一个方面的 X 射线源组件的一个实施例的 剖视图；

[0019] 图 2 描绘了依照本发明一个方面的用于图 1 所示 X 射线源的源扫描曲线的一个例子，它绘制出了输出强度对位移的曲线；

[0020] 图 3 描绘了图 1 中 X 射线源组件的剖视图，图中示出依照本发明的一个方面来解决的源斑点与光学元件未对准；

[0021] 图 4 描绘了图 3 的 X 射线源组件的剖视图，它表示依照本发明一个方面、用于监测源斑点相对光学元件的位移的不同传感器布置；

[0022] 图 5 是依照本发明一个方面、图 1、3 和 4 中描绘的阳极基座组件的一个实施例的剖视图；

[0023] 图 6 是依照本发明一个方面的图 1、3 和 4 的阳极组的剖视图；

[0024] 图 6A 是依照本发明一个方面、对应于不同阳极功率电平在阳极组元件两端的温度变化的曲线图；

[0025] 图 6B 是依照本发明一个方面、作为阳极功率电平的函数的参考温度的变化图。

[0026] 图 7 描绘了依照本发明一个方面、增强型 X 射线源组件的一个实施例的剖视图；

[0027] 图 8 描绘了依照本发明一个方面、用于 X 射线源组件的控制系统的一个实施例的

方框图；

[0028] 图8A是依照本发明一个方面、由图8的控制系统的处理器所实施的处理的一个实施例的表示图；

[0029] 图9-9a是依照本发明一个方面、用于X射线源组件的控制处理的实施例的流程图；以及

[0030] 图10-10a是依照本发明一个方面、可由图9-9a的控制处理所采用的示范性参考温度和最大强度表格。

[0031] 发明详述

[0032] 按照上面的概括描述，本发明在一个方面提供了一种X射线源组 件，该组件例如提供聚焦的X射线束或准直的X射线束，并在工作条件的范围内具有稳定的输出。，该稳定输出通过控制系统来实现，所述控制系统在一个方面中控制提供给源的功率，尽管一个或多个工作条件有变化。

[0033] 控制系统采用了可以实现必要变化的一个或多个调节器。例如，一个调节器可包括：功率调节器，它（与电源协作）改变提供给管的功率；温度调节器，提供对阳极的加热/冷却处理，以此实现阳极源斑点位置相对输出结构的调节；或者机械调节器，它根据需要物理调节阳极源斑点或输出结构的位置。再有一个调节器可通过静电方式或磁力方式移动电子束。控制系统可采用一个或多个传感器来提供有关阳极源斑点位置相对输出结构的反馈。这些传感器可包括若干个温度传感器，例如直接或间接测量阳极温度的传感器，以及外壳温度传感器和环境温度传感器。这些传感器还可包括用于获得阳极功率电平、或直接或间接测量光学元件输出强度的反馈机构。

[0034] 此处所用的术语“输出结构”是指包括部分X射线源组件或与X射线源组件关联的结构。举例说明，该结构可包括X射线发射窗或光学元件（如聚焦或准直光学元件），它们可以、或不必固定在该组件内X射线管周围的外壳上。

[0035] 图1表示依照本发明一个方面的X射线源组件100的剖面正视图。X射线源组件100包括X射线源101，它包括拥有发射窗107的真空密封的X射线管105（一般由玻璃或陶瓷制成）。X射线管105容纳电子枪115，电子枪115与高电压(HV)阳极125相对布置。正如本领域所公知的，在施加电压时，电子枪115发出电子流形式的电子，即电子束(e束)120。HV阳极125用作具有源斑点的靶，电子流撞击源斑点产生X射线辐射，即X射线130。

[0036] 举例说明，电子枪115可保持在接地电位（零伏），而HV阳极125保持高电压电位，一般在50kv左右。结果，从接地电位的电子 枪115发出的电子束120被电吸到HV阳极125的表面，由此从阳极上电子束120撞击阳极处的源斑点产生X射线130。接着X射线130通过真空密封的X射线管105的发射窗107射出。制造发射窗107一般采用允许基本上不受阻碍地发射X射线、同时保持X射线管105内的真空的材料，如铍(Be)。

[0037] 外壳110至少部分地包围X射线管105。外壳110可包括一个与X射线管105的发射窗107对齐的孔隙112。例如，孔隙112可包括外壳110中的开口孔隙或限定空气隙的封闭孔隙。X射线130一旦通过发射窗107和孔隙112射出，就被光学元件135聚集。该例子中示出的光学元件135以外壳110中的孔隙112为中心。光学元件135可贴到外壳110的外表面上，或者可部分地布置在外壳110内部，从而位于孔隙112内（例如贴在发射窗

107 上），或者与外壳 110 相分离地被支撑，但是它与外壳 110 中的孔隙 112 对齐。

[0038] 要注意的是，作为示例，光学元件 135 可包括聚焦光学元件或准直光学元件。图 1 中示出的光学元件 135 是聚焦元件，当 X 射线源 100 用于需要高强度、小直径斑点 145 的应用时该元件很有用。聚焦光学元件 135 会聚 X 射线辐射 130，并将辐射聚焦成会聚的 X 射线 140。当 X 射线源 100 与需要低功率源的 X 射线荧光系统结合使用时，聚焦光学元件很有益处。可以选择的是，光学元件 135 可包括准直光学元件，用于需要从光学元件输出平行的 X 射线辐射束的应用中（未示出）。在采用准直光学元件的情况下，X 射线 140 是平行的，而不是象图 1 所示的那样会聚到斑点 145 上。

[0039] 光学元件 135 包括能聚集或操纵 X 射线（如聚焦或准直）的任何光学元件。例如，光学元件 135 可包括多毛细管组（例如可从纽约 Albany 的 X 射线光学系统公司获得）、双曲面镜光学元件或其它光学元件形式，如滤光器、针孔或狭缝等。（多毛细管光学元件是一束纤细的中空管，这些中空管能通过全反射发射光子。例如，在美国专利 证书 5175755、5192869 和 5497008 中描述了这样的光学元件。例如在美国专利证书 6285506 和 6317483 中描述了双曲面光学元件。所有这些专利都全部结合进来作为参考。）对 X 射线源组件 110 校正后，光学元件 135 相对 X 射线源 101 保持静态（在一个实施例中），直到执行 X 射线源组件 100 的进一步校准为止。

[0040] HV 阳极 125 与撞击面相对的端部突出并通过 X 射线管 105 的主体，并与基座组件 150 机械和电学连接。基座组件 150 包括第一导电盘 155，它通过介电盘 160 与基板 165 电绝缘。最后得到的阳极 125 与基座组件 150 结构在此被称为阳极组，它在上面结合的名称为“用于冷却并电绝缘高压、发热部件的方法及装置”的申请中已经详细描述过。尽管其中已有详细描述，但下面还要简要讨论基座组件 150 的结构和功能。

[0041] 例如，导电盘 155 和基板 165 的直径例如为几个英寸，它们是由高导电性和高导热性材料（例如铜）制成的盘形板。例如，导电盘 155 和基板 165 的厚度范围可以是 0.1 到 0.5 英寸，在一个具体例子中是 0.25 英寸。基板 165 还可进一步包括用以容纳 X 射线源 101 的整个结构的构造零件。

[0042] 介电盘 160 的直径例如为 1.5 英寸，它是由在高电压下提供高介电强度的材料制成的盘形板，如氧化铍陶瓷或氮化铝陶瓷。另外，虽然不象导电盘 155 或基板 165 的导热性那样好，这些材料也要表现出较好的导热性。介电盘 150 的厚度范围可以是 0.1 到 0.5 英寸，在一个具体例子中是 0.25 英寸。

[0043] 导电盘 155 通过适当的高电压引线 170 与高电压源（未示出）机械并电学连接。这样，就将高电压电位提供给导电盘 155，进而提供给 HV 阳极 125。相反，基板 165 保持接地电位。介电盘 160 提供了高电压导电盘 155 与接地基板 165 之间的电绝缘。在上面结合的名称为“用于制造高压装置的高压电连接的电连接器、电缆套及方法”的 专利申请描述了用于连接高电压引线 170 与导电盘 155 的组件的例子。

[0044] X 射线管 105、基座组件 150 和 HV 引线 170 可被封装在封装件 175 中。封装件 175 可包括刚性或半刚性的材料，例如硅酮，其具有足够高的介电强度以避免电压击穿。另外，因为在基座组件 150 中贯穿有优选的导热通道，因此封装件 175 不必是好的导热体。作为具体的一个例子，封装件 175 可通过以下方式形成：在 X 射线管、基座组件和高电压引线周围模塑硅酮弹性体（例如陶氏化学公司的 DowSylgard ® 184），由此形成不含气穴的结构，

而所述气穴可能提供不希望的对地电压击穿通道。

[0045] 图 2 用图示方式表示源扫描曲线 200，其中示出了输出强度例如斑点 145（图 1）强度相对阳极源斑点和输出光学元件之间的位移或未对准的曲线。斑点强度源自穿过光学元件（135）的焦点的扫描 X 射线（130）。图中示出高斯图结果，其中通过 X 射线 130（以及阳极源斑点）准确对准光学元件的焦点而获得最大强度。

[0046] 如图所示，在半最大值的全宽 W1(FWHM) 约等于 200 微米。200 微米的 FWHM 表示，作为 X 射线 130（也就是阳极源斑点）从光学元件 135 的焦点位移 100 微米的结果，斑点 145 上的 X 射线强度降低 50％。经过准确校准后，X 射线源组件 100 在靠近图 2 的源扫描曲线的顶部附近的给定功率下工作，在该处的斜率约等于零，这样使得 x 射线 130 相对光学元件 135 位移的微小波动（例如 5 微米或更小）产生可忽略的强度下降。例如，X 射线 130 相对光学元件 135 的位移的允许波动范围用 W2 表示，它表示 X 射线 130 与光学元件 135 的焦点之间的位移小于 5 微米是可接受的。但是，当 X 射线源的操作功率从 0 变到 50W 时，HV 阳极 125 和基座组件 150 的元件中可能发生 50 微米那么大的热膨胀差异。

[0047] 图 3 描绘了上面结合图 1 所述的 X 射线源 100。但是，在该例子 中，撞击 HV 阳极 125 的电子束 120 产生的热量已使 HV 阳极 125、导电盘 155、基板 165、以及（更小程度上）介电盘 160 都发生膨胀。该膨胀的结果是产生了 X 射线 310 的发散束，它位于在垂直方向上相对图 1 所示的 X 射线 130 的位置。例如，如果 X 射线管或电子枪 115 的靶在 50w 的功率下工作，可将 X 射线 310 的焦点从 0W 时的位置移动多达 50 微米。X 射线 310 与光学元件 135 未对准，结果 X 射线 315 的会聚射束产生强度显著降低的斑点 320。

[0048] 其他环境条件也会引起这种移动。如下所述，本发明涉及通过动态改变提供给管的功率来补偿这种移动。

[0049] 由于准直光学元件和聚焦光学元件（如双弯曲晶体和多毛细管束）的物理性质，对于 X 射线 315 的优化准直或聚焦而言，光学元件 135 相对阳极源斑点的精确定位是很理想的。结果，如图 2 的图表所示，X 射线 310 相对光学元件 135 的移动（例如可能由 HV 阳极 125 和基座组件 150 的热膨胀引起），可能导致斑点 320 的强度明显降低。

[0050] 阳极源斑点相对输出结构的偏移可利用各种方法测量。例如，可在阳极组的基部采用温度传感器 400 来测量阳极组温度的变化，如下面进一步所述，在校准过程中该温度变化可与阳极源斑点相对光学元件的偏移相关。图 5 表示可选择的温度传感器实施方案。

[0051] 如图 5 所示，将基座组件 150（又包括导电盘 155、介电盘 160 和基板 165）改为包括温度传感器 400，该温度传感器装在基板 165 中，并与基板 165 保持良好的热接触。为了说明起见，图 5 绘出了代表热量从阳极传过基座组件的若干波形。这些波形代表图 4 中所示的通过电子束撞击 HV 阳极 125 所产生的热。

[0052] 图 4 中也描绘了一种 X 射线强度测量装置 410。除了（或者作为可以选择的方案）通过检测温度来确定偏移以外，还可测量 X 射线源 101 或光学元件 135 的 X 射线输出强度。例如，在衍射应用中，可将离子腔或正比计数器用作强度测量装置 410，用以提供位置控制系统 的所需反馈，如此处所述。在衍射应用中，感兴趣的能量一般仅在一个波长上，因此布置在 X 射线通路中的正比计数器仅吸收少量的感兴趣的 X 射线。本领域普通技术人员可以认识到，还可采用其他强度测量方法，直接或间接确定由 X 射线源组件 100 输出的 X 射线的强度。温度检测、X 射线强度检测等的目标是提供有关阳极源斑点与输出结构之间对准的

反馈信息。下面还将参照图 7-10 进一步描述控制系统和控制过程。

[0053] 参照图 6-6B 能更好地理解阳极组温度和阳极源斑点与输出结构的对准之间的相关关系。

[0054] 在图 6 中，所示出的阳极组包括阳极 125 和基座组件 150。组件 150 包括导电盘 155、介电盘 160 和基板 165，在该例子中示出的基板 165 里嵌有温度传感器 400。阳极组水平设置，以便与在图 6A 的图中的距离轴（X 轴）关联。

[0055] 如图 6A 所示，阳极组具有在包含该组的各个部件上的不同的温降。对于 50W 和 25W 的例子，在阳极 125 最右端的起始处，所示出的温降的斜率例如比导电盘 155 上的温降略陡。尽管阳极 125 和盘 155 都是导电的，盘 155 的横截面较大意味着从一个主表面到另一个主表面间的温降小。另外如图 6A 所示，阳极组上的温度变化与阳极功率电平相关。温度（y 轴）的变化是指阳极组高于室温的变温偏移。因此，在施加的零阳极功率电平处，假定该偏移为零。

[0056] 作为进一步的改进，依照本发明一个方面的 X 射线源组件可被调整为适应室温或环境温度的变化。为了使 50W 射束流条件下有助于膨胀的各元件总热膨胀与 0W 射束流条件下的相同，可将板 165 的 0W 基部温度（由此是相连的元件）升高例如 40 摄氏度。这在图 6A 中用虚线表示。

[0057] 图 6B 描绘了对于 0 到 50W 之间的阳极功率电平、低于阳极组的部件环境温度的参考温度的例子。具体而言，图 6B 描绘了用于各个 管工作功率的参考温度（导出并表示在图 6A 中的 0W）。另外，通过在该参考温度上加一个额外的温度偏差，就能让同一系统适应环境温度的变化。例如，在 50W 和 20 摄氏度条件下，获得 0 摄氏度参考德尔塔温度。如果该参考德尔塔温度升高到 5 摄氏度，就提供额外加热，以便将该德尔塔温度维持在 20 摄氏度。但是在 25 摄氏度条件下，就不再需要额外加热了。按照这种方式，例如在 20 度就需要该参考德尔塔温度的偏移，这允许在较高的环境温度下进行补偿。

[0058] 如图 7 表示依照本发明又一方面的 X 射线源组件的一个实施例的剖面正视图，总体用 700 表示。X 射线源组件 700 包括 X 射线源 705 和输出光学元件 135。光学元件 135 与真空 X 射线管 105 的 X 射线发射窗 107 对齐。X 射线管 105 又容纳电子枪 115，电子枪 115 与高电压阳极 125 对置。在施加电压时，电子枪 115 发射电子流形式的电子（即上面描述的电子束 120）。HV 阳极 125 作为相对源斑点的靶，电子流撞击靶，产生 X 射线辐射 130，X 射线辐射 130 穿过窗 107，并由光学元件 135 会聚。电子枪 115 和阳极 125 按照上面结合图 1、3 和 4 的实施例描述的方式工作。

[0059] 阳极 125 也与基座组件以物理和机械方式连接，基座组件包括导电板 155，它通过介电盘 160 与基板 165 电绝缘。基座组件的结构和功能与上面结合图 1、3 和 4 描述的基座组件类似。高电压引线 170 与导电板 155 相连，用以向阳极 125 提供理想功率电平。电子枪 115、阳极 125、基座组件 150 和高电压引线 170 被封装件 175 包封起来，所有这些部件都藏在外壳 710 内部。外壳 710 包括与 X 射线管 105 的 X 射线发射窗 107 对齐的孔隙 712。在工作过程中，X 射线辐射 130 被光学元件 135 会聚，在该例子中，被聚焦 740 到斑点 745 上。如上所述，光学元件 135 可包括各种光学元件之任一种，包括多毛细管束和双弯曲晶体。另外，光学元件 135 例如可包括聚焦光学元件或准直光学元件，这取决于 X 射线源组件的应用。

[0060] 依照本发明的一个方面，控制系统被实现在 X 射线源组件 700 内。该控制系统例如包括处理器 715（表示为嵌在外壳 710 中）、一个或多个传感器、以及一个或多个调节器（例如温度传感器 / 调节器 720 ；和 / 或位置调节器 730 ；和 / 或强度传感器 711 ；和 / 或功率调节器 726），它们与处理器 715 相耦合（耦合未示出）。X 射线源组件 700 中的这个控制系统包括补偿功能，例如通过改变电源 725 施加给管的功率、和 / 或 X 射线 130 相对光学元件 135 的机械对准、和 / 或阳极组的温度来补偿 HV 阳极 125 和基座组件的热膨胀。这使得 X 射线源组件 700 能在阳极工作电平的范围内保持斑点尺寸 745，并使强度稳定。

[0061] 图 8 描绘了依照本发明一个方面的功能控制回路的一个实施例，而图 8A 描绘了控制函数的一个例子。如图 8 所示，例如，一个或多个传感器 801 提供管 / 外壳 830 的温度 (T)、和 / 或光学元件 835 的 X 射线输出强度（“I”）、和 / 或被监测的管功率（“P”）的反馈。该反馈被提供给执行控制功能的处理器 810。图 8A 通过举例方式描绘了控制函数，其中确定来自温度传感器 (TS) 的值与参考温度 (R) 之间的温度偏差，由此可以确定当前位置 (K)、变化速度 (d/dt) 和累积历史（ Σ ）。然后将该比例积分导数函数的结果求和，并提供作为时间的函数的输出 (O(t))。将该输出提供给一个或多个调节器 820，它们自动改变电源 850 提供给管的功率（“P”）、和 / 或阳极温度（“T”）的变化、和 / 或输出结构 835（例如光学元件）的位置（“Pos”）中的任何一个，由此来维持阳极源斑点相对输出结构的位置、和 / 或光学元件的输出强度，即使出现未对准。X 射线源组件的控制系统可不断重复该监测和调节过程。

[0062] 在温度控制方面的一个改进方案中，控制操作可包括利用 PID 型控制器的连续输出，以及启动一个或多个单独的温度控制元件，如加热元件（加热器）和冷却元件（风扇），使得一个或多个元件的总体热响应成为各元件的作用之混合，由此为整个热控制产生最精确而又 及时的响应。混合两种或多种作用能够解决整个系统对若干元件个别响应的差别或完全不同的幅度的问题，但这不是必需的。因此总体热和功率响应是均匀和可精细控制的，这避免了整个系统响应中不连续的控制动作和摆动极限周期。混和一种或多种作用的方法可以（但不是必须）包括将系统对每个元件的响应独立地模型化、及组合每个调节器的模型，以便模拟单个虚拟元件的存在，单个虚拟元件由控制器（如 PID 控制）的单输出变量来调制。该多元件的虚拟调节可包括，利用一个或多个正向和反向命令，由总命令在任意给定时间将全部命令指定给虚拟调节器，并被个别施加给每个物理元件，以便在控制响应中产生总体的同步连续结果。

[0063] 虽然上述例子适用于完全不同的温度控制元件，相同原理可应用于控制此处所讨论的其它类型的可控激励源的调节器，包括功率和物理位置。这可以实现在某种程度，即，可以采用独立元件共同控制输出参数（即温度或功率）。

[0064] 回到图 7，传感器 / 调节器 720 可包括与基板 165’物理耦合的温度调节器。该温度调节器 720 例如可包括用于向基板 165’加热和 / 或冷却、以便为基板添加 / 除去热量的任何装置。例如，加热元件可包括 10 欧姆的功率电阻器，例如加利福尼亚 Caddock Electronics ofRiverside 公司的功率电阻器，型号为 MP850，而适当的冷却元件可包括强制通风散热器或基于液体的散热器。在 X 射线源组件的操作过程中，可采用温度调节器来维持阳极 X 射线斑点位于相对一个或多个输出结构（如 X 射线会聚光学元件）的最佳方位。对基板进行加热或除热，使得在 X 射线源组件的整个工作过程中，在整个阳极组上维持

一致的平均温度，尽管该组件的一个或多个工作条件有变化。

[0065] 具体而言，在一个实施例中，基座组件和 HV 阳极的热膨胀被保持在一个容差范围内，该容差使得在 X 射线源组件的整个操作范围内，所产生的 X 射线例如可与会聚光学元件一直对齐。增加施加的热 例如可发生在 X 射线源组件的操作功率降低时，从而使得 HV 阳极和基座组件元件不再经受由于通过其中的热耗散降低而导致的尺寸缩小，由此能够维持 X 射线与会聚光学元件的最佳对准。在一个实施例中，可将加热元件包含在基板之内，而冷却元件可与基板的暴露表面热耦合。

[0066] 尽管在此结合维持阳极组上一致的平均温度做了描述，但本领域普通技术人员可以认识到，还有用于维持阳极源斑点与输出结构之间理想对准的其它机构。

[0067] 例如，可采用一个或若干个机械调节器 730 来物理调节会聚光学元件相对阳极源斑点的方位和定位。这些调节器可以手动调节或自动调节，以便响应从处理器 715 接收的信号。对于本领域普通技术人员来说，其它调节控制机构也是显而易见的，并且被此处所附的权利要求所涵盖。控制系统的目的是维持阳极源斑点相对例如会聚光学元件输入（即焦点）的理想方位。通常，该理想的方位将包括确保最高强度斑点 745 的最佳方位。

[0068] 另一个例子是，可将电源 725 提供给 X 射线管的功率改为用于补偿射束 130 与光学元件 135 之间的内部未对准。调节器 726（受处理器 715 控制）向可控电源 725（它控制提供给 115 电子枪和阳极 125 的电压和电流）发出控制命令并接收来自可控电源 725 的状态信号。于是，电源的电压和电流输出都能得到控制。在该优选实施例中，功率可仅通过控制电流（在本领域称为“管毫安 (tube milliamps)”）来改变，它与所产生的电子数量（因此还有 X 射线束强度）直接成正比。

[0069] 按照上面详细讨论的，小的未对准也会引起输出强度成比例变化，这取决于沿着图 2 的源 / 扫描曲线的操作位置。对于位置上的较小变化，可以调节管电流（例如对于未对准向上），以补偿所损失的强度，同时允许小的未对准。该调节可单独适用，或者与上面所讨论的其他温度和机械调节一起使用，这一点将在下面结合图 9a 进行讨 论。

[0070] 改变阳极与阴极间的电压（称为“KeV”）对于改变管输出功率而言是不太可取的方法，这是因为（为本领域的普通技术人员所公知）电压变化将影响输出 X 射线光谱的形状。由于 XRD 和 XRF 系统一般需要可预测的光谱形状和内容，这还可能会对系统做出的测量带来显著影响。但是，在一般采用单色光学元件作为输出光学元件（例如双弯曲晶体）的单色应用中，仅使用一根特定的 X 射线进行测量。改变电压虽然会影响不感兴趣的其它谱线，但它会理想地影响感兴趣谱线的强度。

[0071] 图 8 的“闭环回路”控制假设检测相关管参数（功率、温度和 / 或强度）的能力。也可实现“开环回路”实施例，其中基于其它测量特性曲线，将某些参数模型化，并根据先有的校准或试验来假设得到某些值。然后将模型用于调节反馈回路，而不是采用实际的检测参数或其组合。

[0072] 图 9 是可由图 7 的处理器 715 实现的过程的一个实施例的流程图。图 9 表示在 X 射线源组件的操作过程中该处理器定期重复的循环。这可以例如响应于一个或多个工作条件（例如施加给阳极的功率电平）的变化，为基座组件加热或除热，由此维持在阳极组上的一致的平均温度，从而使得所发出的 X 射线相对会聚光学元件的输入实现最佳对准。

[0073] 如图 9 所示，该过程由读取阳极功率电平 900 开始。在一个实施例中，阳极功率电

平可由两个模拟输入来确定，这些模拟输入的信号范围例如在 0 到 10V 之间。一个输入传递向电子枪 115（图 7）供电的电源的工作电压，第二输入传递回到电源的电流。通过这两个输入，就能确定电子枪 115 的工作功率，它同时也是阳极的功率电平。

[0074] 过程接着读取阳极组以及源外壳的温度910。按照上面所指出的，阳极组的温度可利用温度传感器由基座组件的基板获得，所得信号反 馈给嵌入该组件内部的处理器。外壳温度还可包括温度传感器，在一个实施例中该传感器与外壳表面热耦合，以测量外壳的膨胀或收缩。测量外壳温度的客观需要假定被监测的光学元件或其它输出结构与外壳机械耦合。

[0075] 接着，过程要确定对于读取的功率电平的参考温度 920。该参考温度是阳极组在所测阳极功率电平下的理想预定温度。参考温度可在 X 射线源组件的校准过程中确定，对于特定组件它可以是唯一的，或者对于多个相同制造的 X 射线源组件而言是通用的。图 10 描绘了为查找对于读取功率电平的参考温度而采用的图表的一个实施例。如图所示，图 10 的表格也采用外壳温度作为确定阳极组的理想参考温度时要考虑的另一工作条件。由此，根据 X 射线源组件的外壳温度和阳极功率电平，获得对于阳极组的理想参考温度。

[0076] 参考温度和读取温度被反馈给例如结合图 8 所述的位置、速率和累积历史控制算法。该算法被用来计算提供给一个或多个调节器的输出 930。本领域普通技术人员能够很容易执行比例积分导数运算并实现该功能。一旦得到了该输出，就将该输出提供给调节器，以便例如维持阳极源斑点相对光学元件输入的位置 940。

[0077] 作为一个具体例子，处理器可输出包含脉冲宽度调制信号的信号，该信号能让冷却风扇在转速范围内工作，由此以适当的速率除掉阳极组的基板中的热量。工作循环是通过阳极的工作功率可确定脉冲宽度调制输出。第二输出能让提供给加热元件的功率发生变化，由此改变加给阳极组的基板的热量。在一个实施例中，在执行了比例积分微分 (PID) 算法后，处理器可利用公式或查询表确定对于阳极当前工作的具体功率电平、阳极组的基板应当维持的温度（即参考温度）。

[0078] 作为上述基于反馈的算法的可选择方案，处理器可执行（例如）基于模型或推测的算法。作为基于推测的算法的例子，可将源和光学元件故意未对准，以便识别已知的源扫描曲线上的精确起始位置。例 如，源和光学元件对准可被错放在源扫描曲线上的高斜率位置，由此精确地测量或推测出位移。之后，利用该确定了的位移，可以利用源扫描曲线进行调节，使其回到曲线的峰点。

[0079] 图 9a 是本发明的改进实施例的流程图，它包括用于检测输出强度、并进行相应功率调节的闭合循环。

[0080] 输出强度一开始由例如图 7 的传感器 711 的读取 950。为了避免失控状态，可向先前存在的表格（图 10a）查询960，以便根据用户的电压和电流设置确定最大理想强度。（最终电压和电流设置可能与用户“选择”的设置略微不同，这是因为本发明潜在实现的功率调节）。基于读取的强度，可以可选地调取包括步骤 901-941 的“内部循环”，以便让一定的附加温度、束电流和位置发生变化。步骤 901-941 与上面参照图 9 描述的步骤 900-940 类似，但是在该实施例中这些步骤本身都得到了增强。在此，图 10 的图表还补充了预测 / 模型化 / 先验的束电流调节参数，它们被导出为外壳温度和管功率的函数。之后，根据该增强的表格进行必要的调节 941。

[0081] 外部循环 980 还可以继续工作，用以基于步骤 950 中读取的实际输出强度进行另一次功率调节 990。通过这种方式，内部循环根据读取功率使用模型表 10，以进行温度、位置和 / 或束电流调节 901；而外部循环进行最后的功率调节来满足理想强度电平，它受图 10a 的最大理想强度表固定。

[0082] 虽然该图中将该示例性的强度调节描述为外部循环 (950-990)，但本领域普通技术人员可以认识到，这个特殊系列的步骤可选择地构成用于温度 / 位置调节的内部循环 (901-941)。

[0083] 本发明的功率调节（由用户或所公开的控制系统实现）可以认为是故意的变化。该系统认为管功率也是潜在改变的工作条件，而控制系统虽然在某些环境下有效地改变了功率，但也补偿了功率的无意变化，并校正功率或位置或温度。这些故意的功率变化可根据预定标 准来固定，从而避免了控制环在响应非故意功率漂移时的摆动行为。通过该方式，组合的控制响应将不会使用户设定的功率设定点不稳定。

[0084] 因此，本发明采用了多种调节器和传感器，目的就在于考虑到改变的工作条件而维持系统的输出强度恒定。这对于许多依赖于恒定、平稳的 X 射线束的测量仪器来说尤其重要。

[0085] 尽管此处详细描述了优选实施例，但对于本领域普通技术人员显而易见的是，可在不脱离本发明的精神的情况下做出各种改进、添加和替换等，因此也应将它们考虑在由以下权利要求所限定的发明范围内。

[0086] 本发明可包含在例如具有计算机可用介质的制造产品（例如一个或多个计算机程序产品）内。该介质例如里面包括计算机可读的程序代码工具，用以提供并提高本发明的性能。该制造产品也被包含而作为计算机系统的一部分，或者可单独销售。

[0087] 另外，本发明还提供了至少一种能被机器读取的程序存储装置，该机器实施可被机器执行、以便实现本发明的性能的至少一个指令程序。

[0088] 在此描述的流程图仅是例子。在不脱离本发明的精神的情况下可对此处描述的这些图或步骤（或操作）作出许多变化。例如，这些步骤可按不同的顺序执行，或者可加入、删除或修改若干个步骤。所有这些变化都应认为是要求保护的发明的一部分。

[0089] 尽管在此详细描述了优选实施例，但对于相关技术领域的普通技术人员来说显而易见的是，可在不脱离本发明的精神的情况下作出各种修改、添加、替换等，因此应认为它们是在由以下权利要求限定的发明范围内。

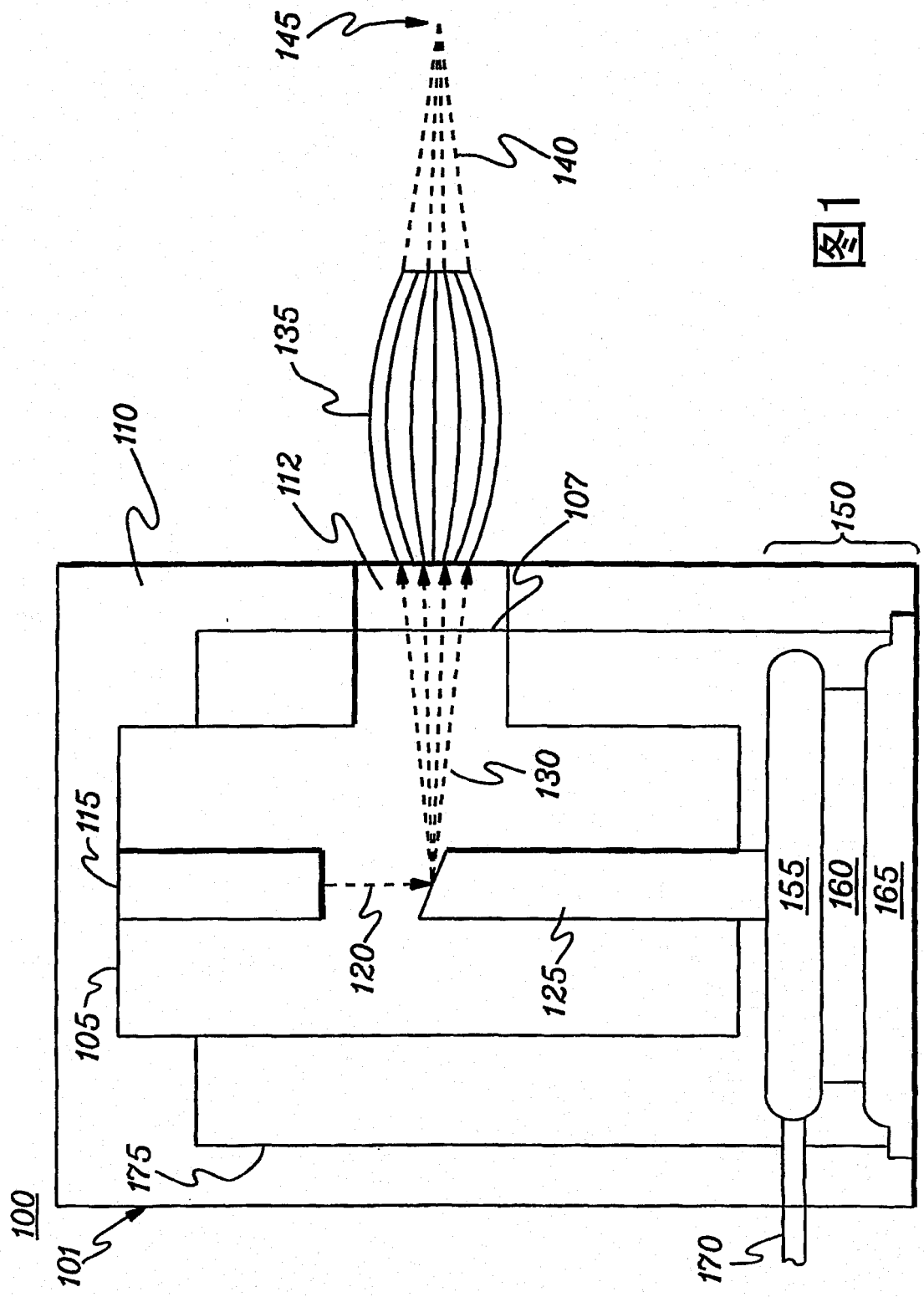

145
140
135
110
112
107
150
130
115
155
160
165
120
125
105
175
100
101
170

图 1

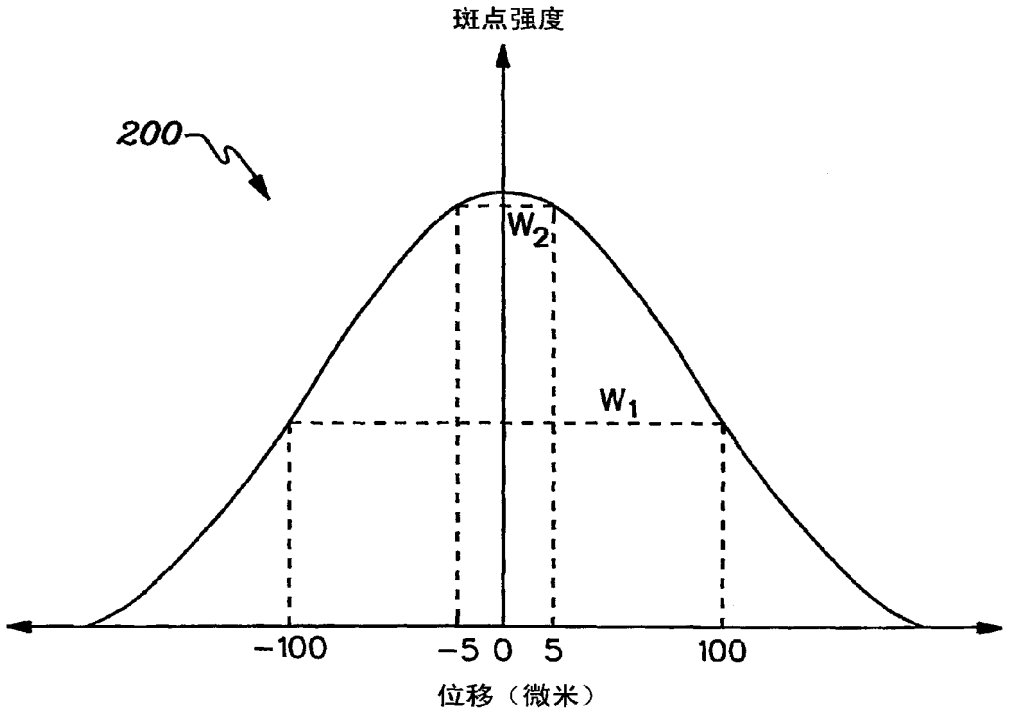


图2

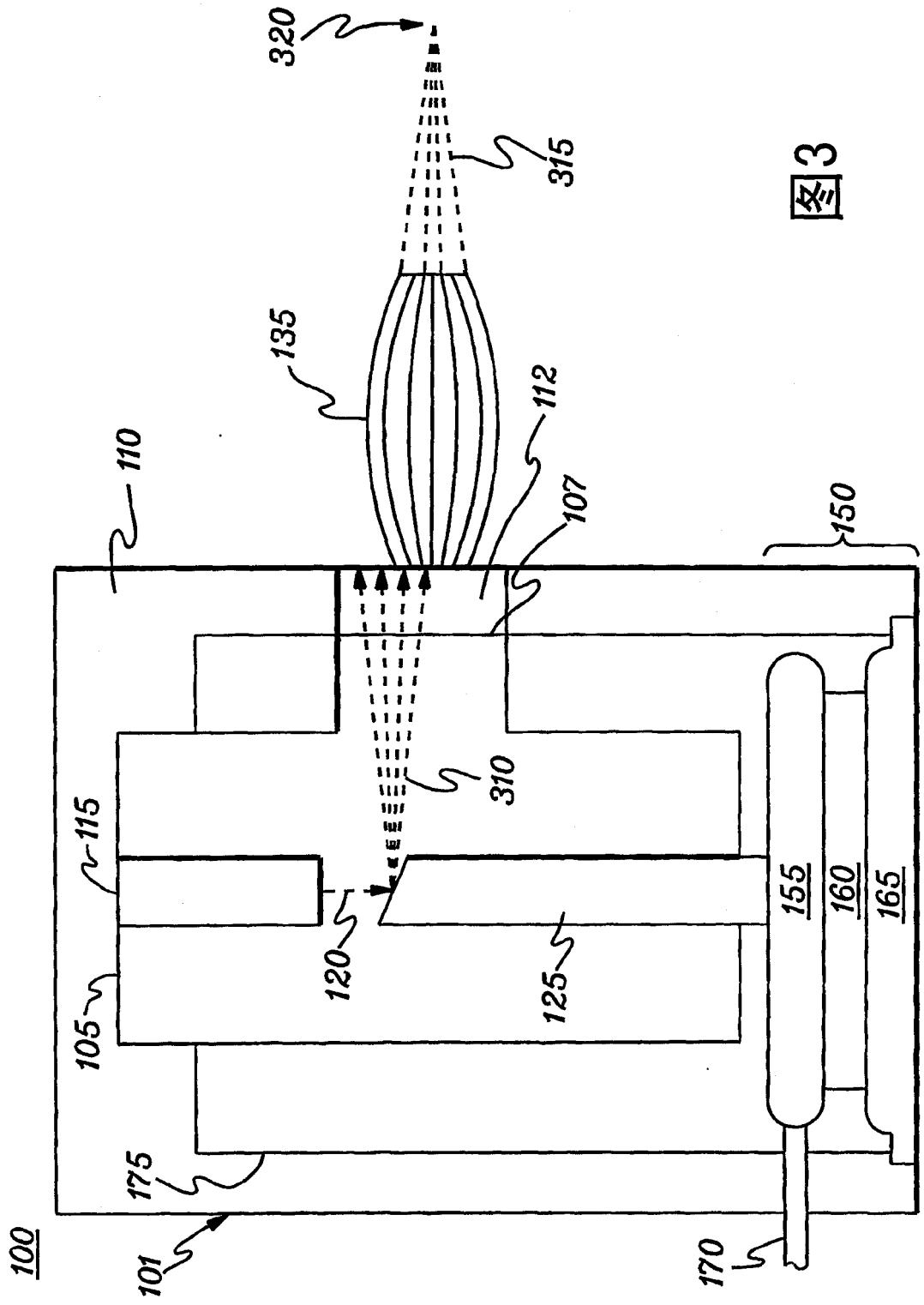

320
315
135
112
110
107
150
310
115
155
160
165
120
125
105
175
100
101
170

图3

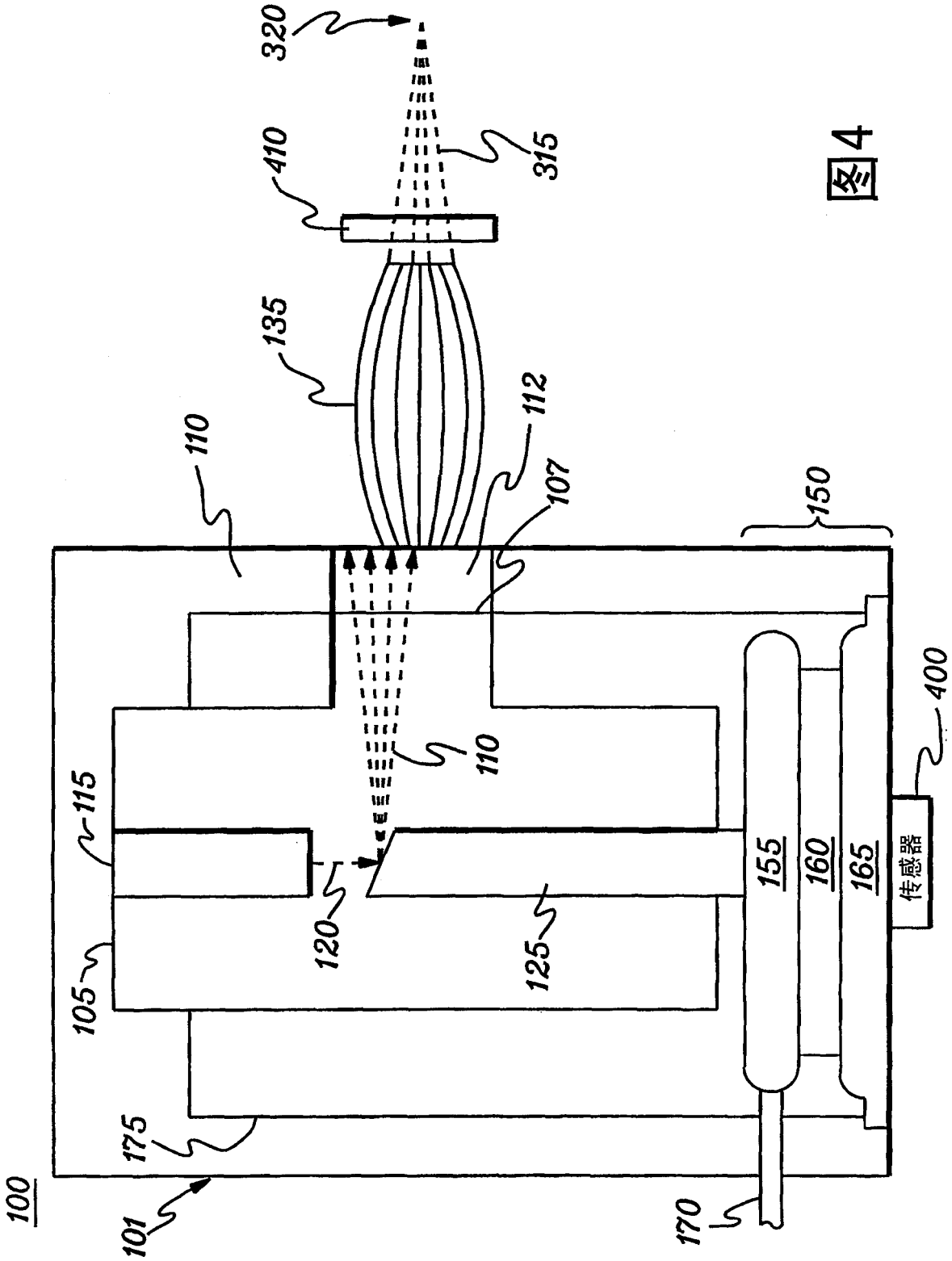

320
315
410
135
112
110
107
150
400
110
115
120
125
105
155
160
165
传感器
175
100
101
170

图4

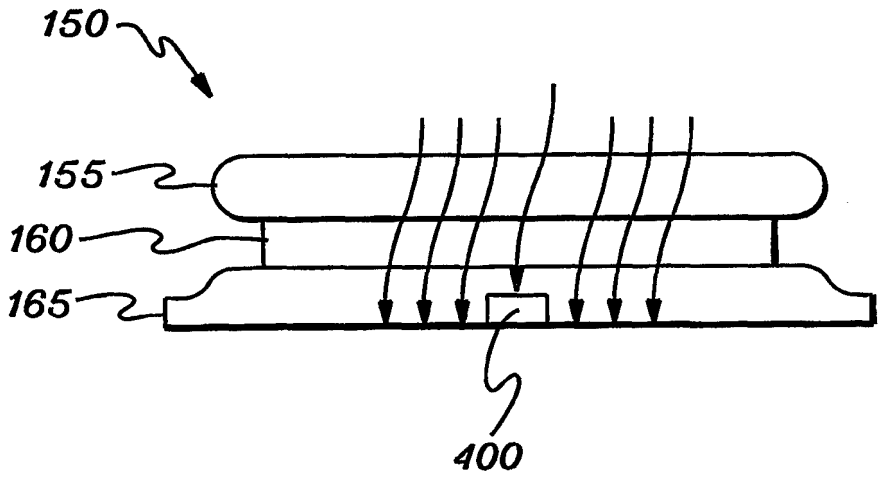


图5

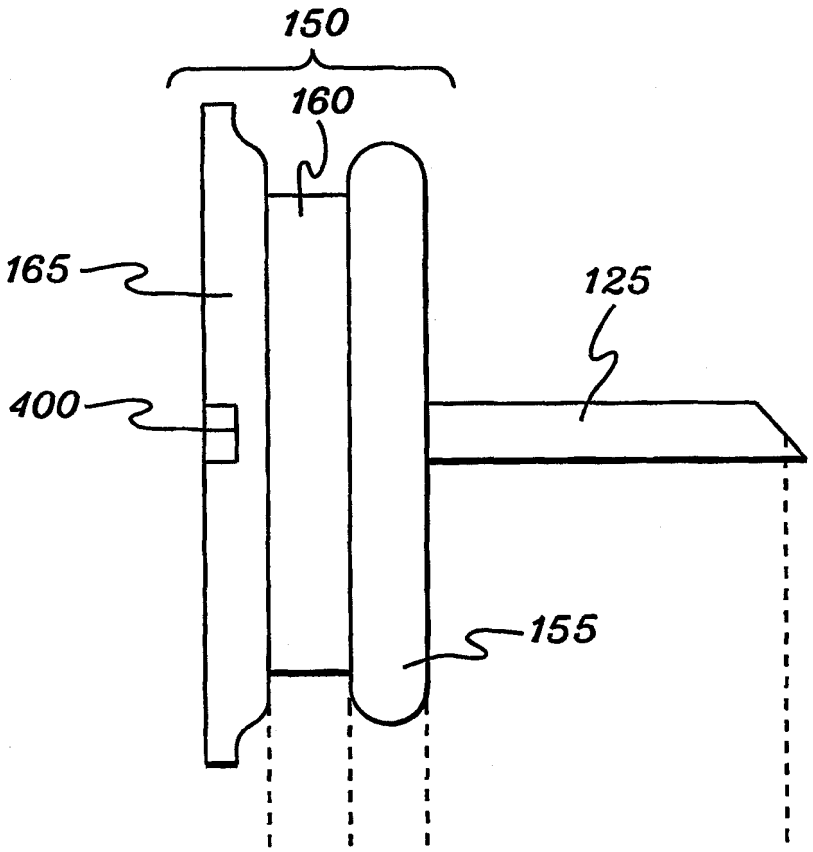

150
160
165
125
400
155

图6

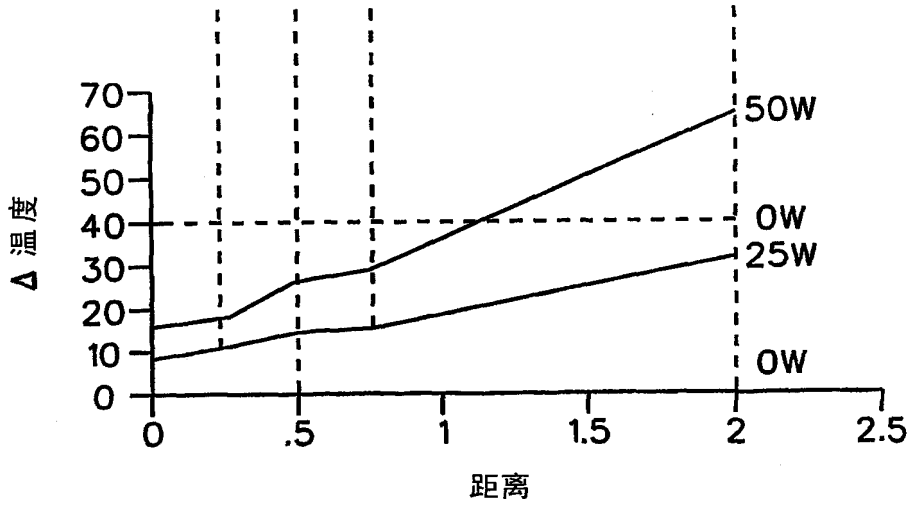

70
60
50
40
30
20
10
0
Δ 温度
0
.5
1
1.5
2
2.5
距离
50W
0W
25W
0W

图6A

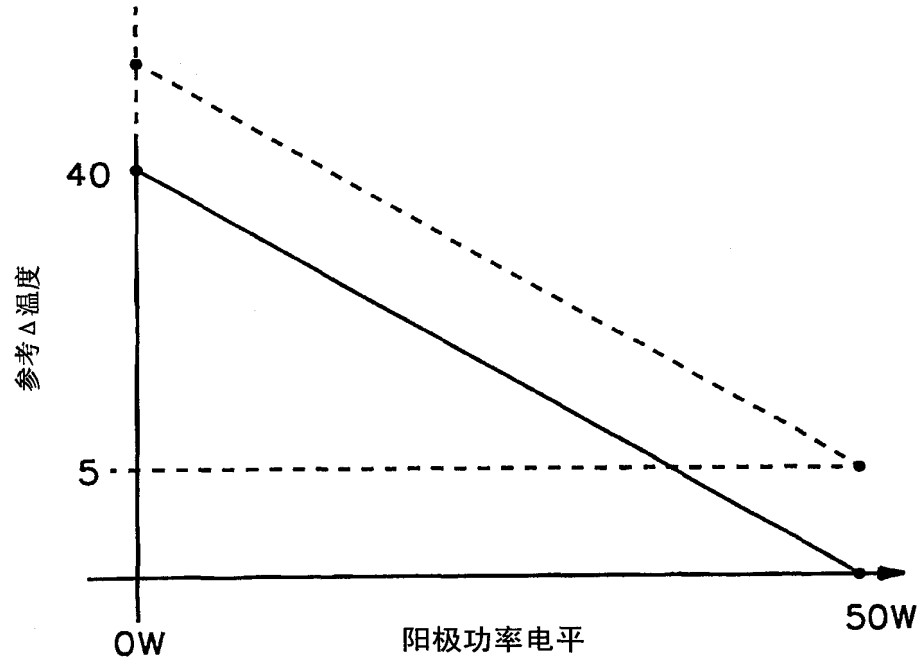


图6B

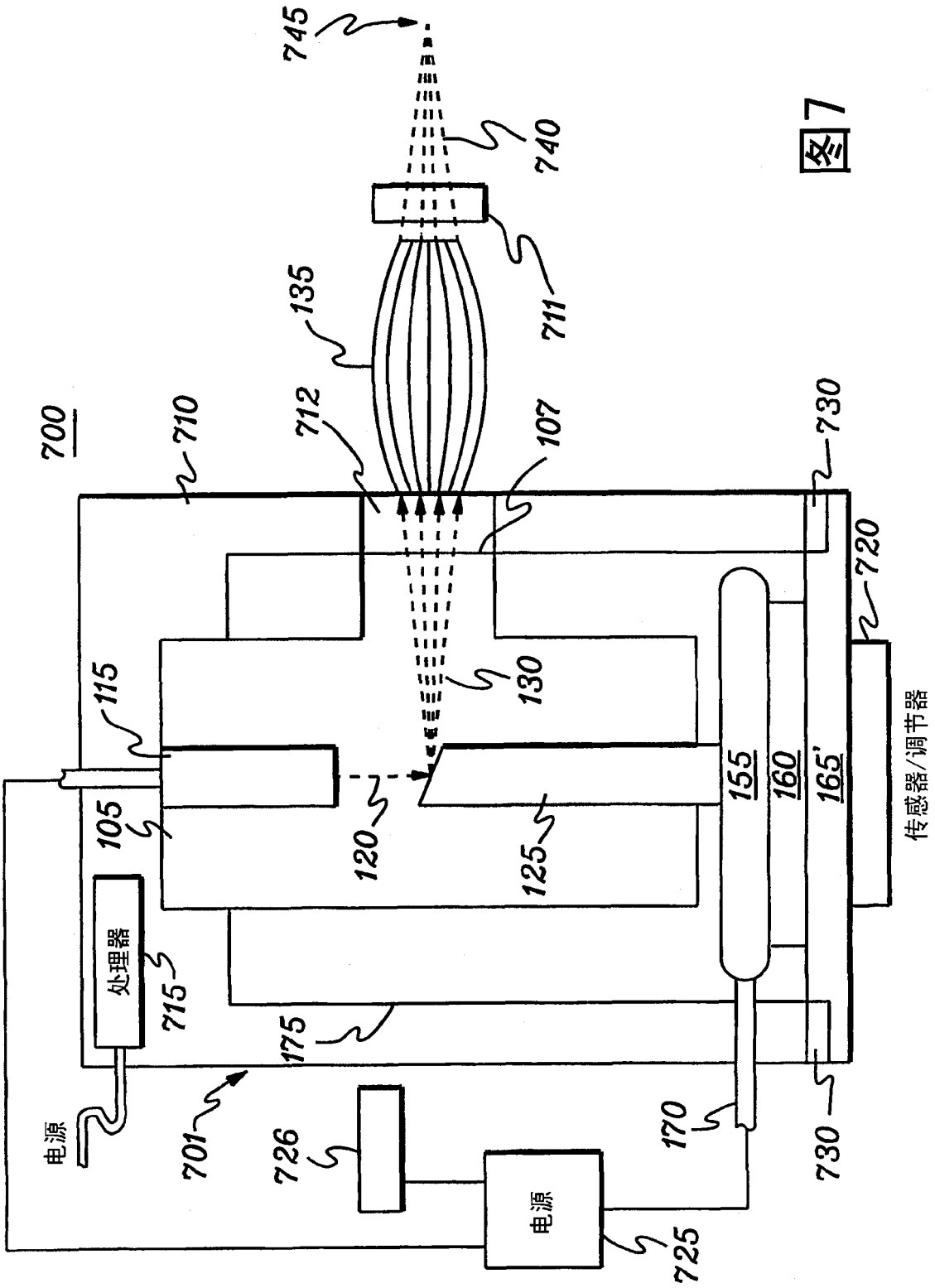

745
740
711
135
712
107
730
700
710
720
115
130
105
120
125
155
160
165'
传感器/调节器
处理器
715
175
电源
701
726
电源
725
170
730

图7

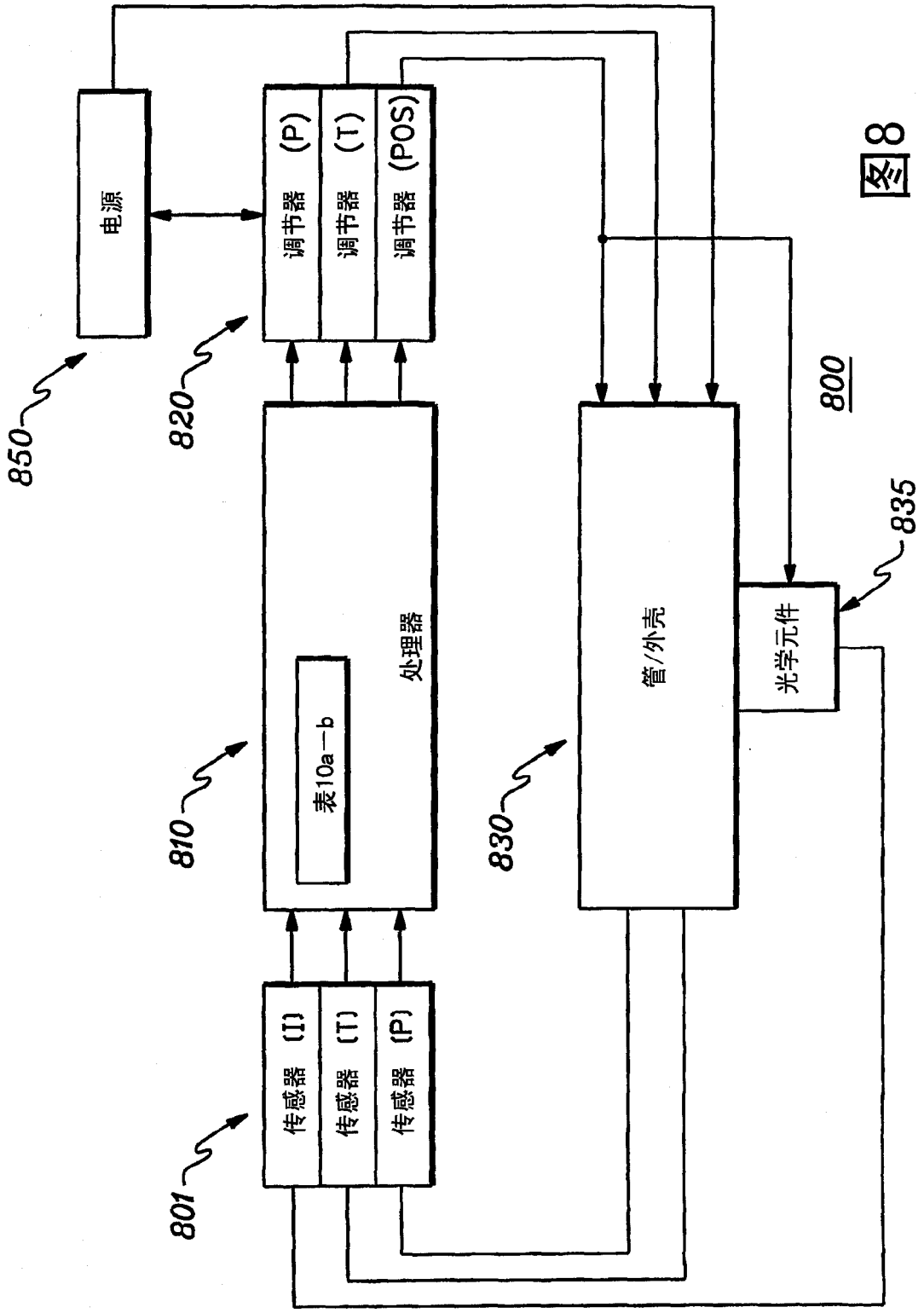

电源
调节器 (P)
调节器 (T)
调节器 (POS)
850
820
800
835
处理器
表10a—b
810
管/外壳
830
光学元件
传感器 (I)
传感器 (T)
传感器 (P)
801

图8

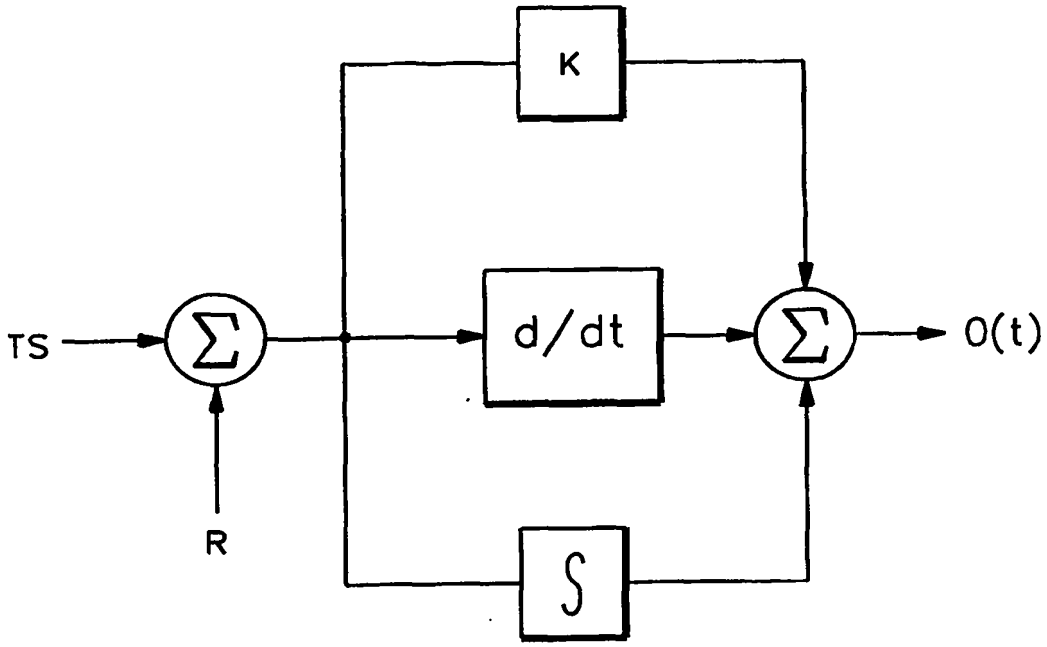


图8A

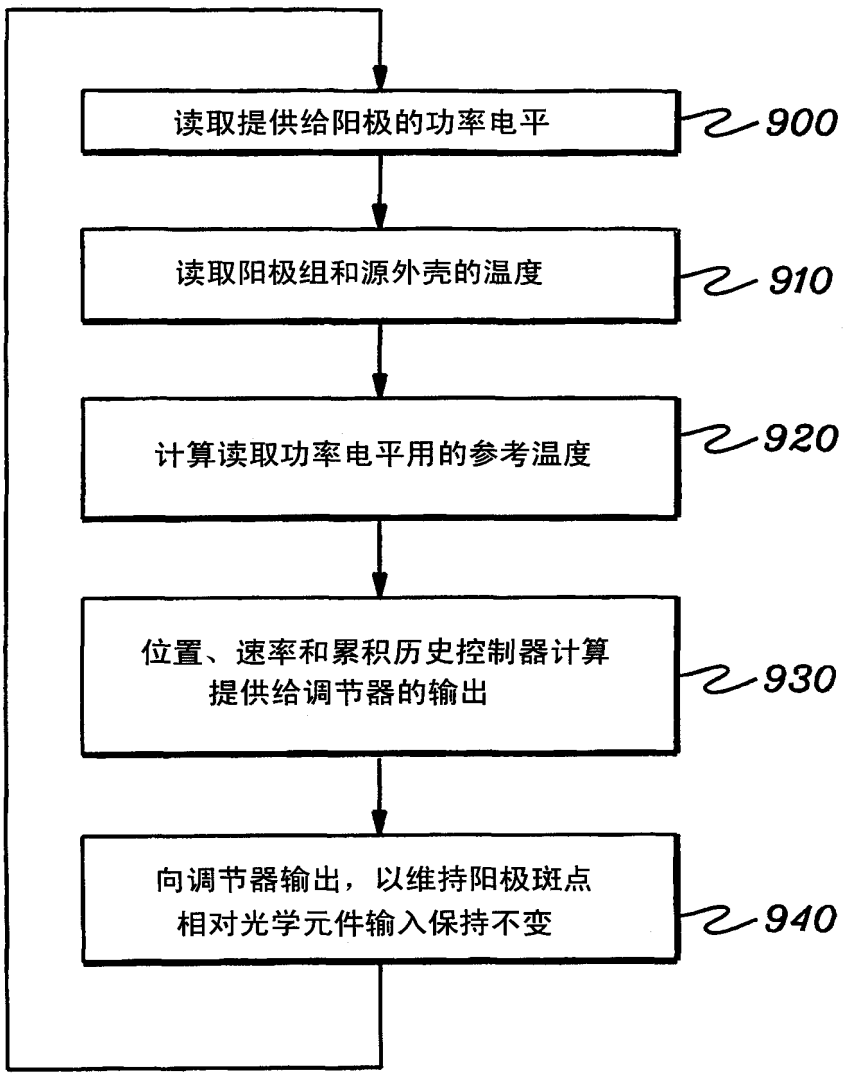

读取提供给阳极的功率电平
900
读取阳极组和源外壳的温度
910
计算读取功率电平用的参考温度
920
位置、速率和累积历史控制器计算
提供给调节器的输出
930
向调节器输出，以维持阳极斑点
相对光学元件输入保持不变
940

图9

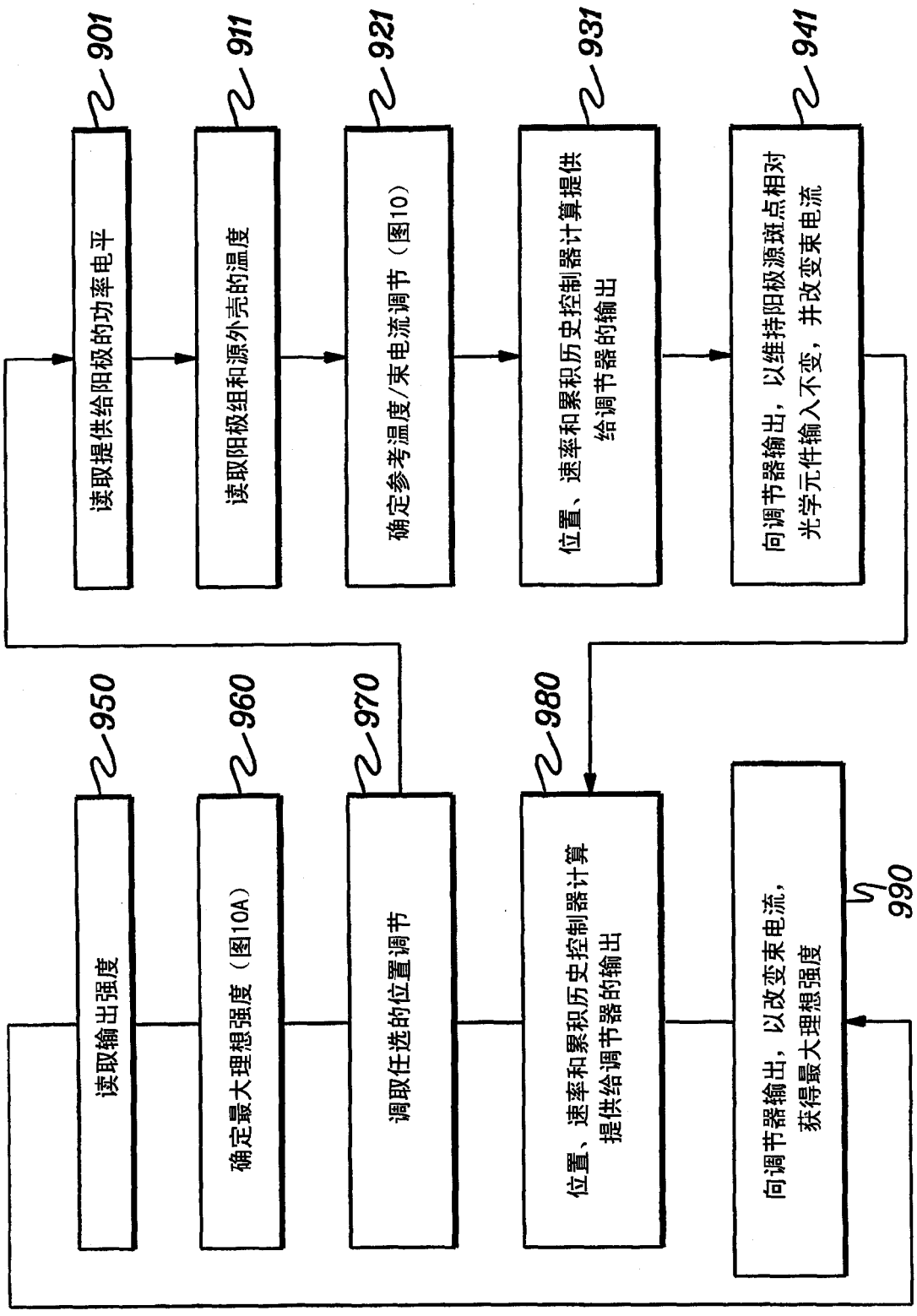
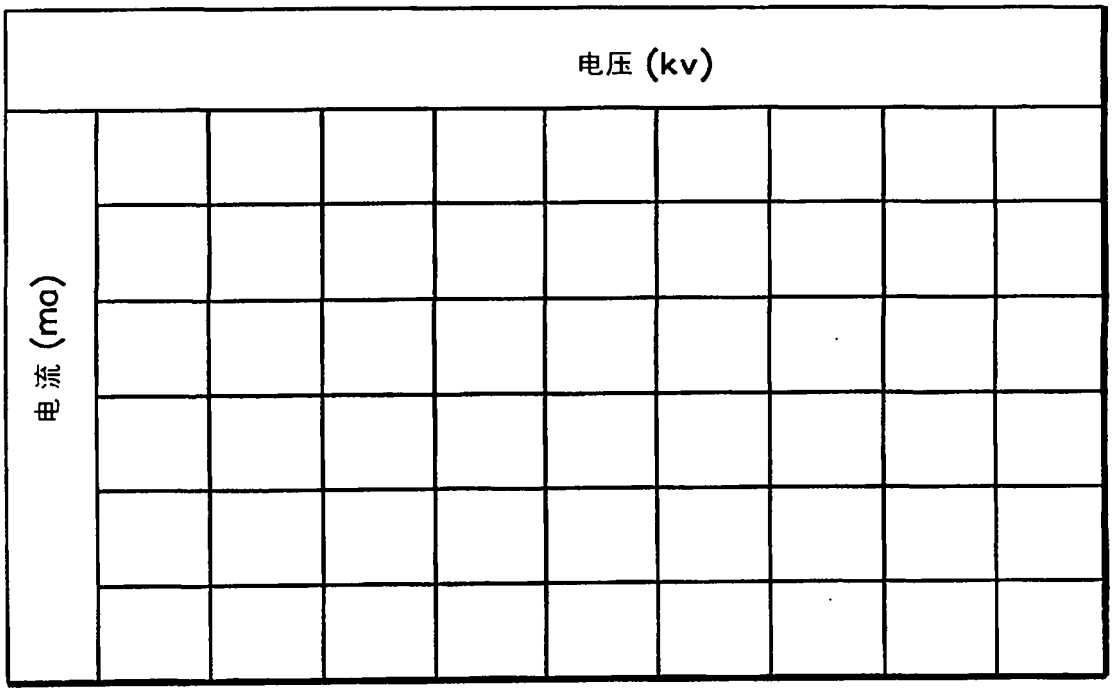

读取输出强度
950
确定最大理想强度（图10A）
960
调取任选的位置调节
970
位置、速率和累积历史控制器计算提供给调节器的输出
980
向调节器输出，以改变束电流，获得最大理想强度
990
读取提供给阳极的功率电平
901
读取阳极组和源外壳的温度
911
确定参考温度/束电流调节（图10）
921
位置、速率和累积历史控制器计算提供给调节器的输出
931
向调节器输出，以维持阳极源斑点相对光学元件输入不变，并改变束电流
941

图9A

	外壳温度										
阳极功率电平	20°	21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°
0W											
10W											
20W											
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
100W											

图10



输入项：最大理想强度

图10A