[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl[6]
H05B 41/36

[12]发明专利申请公开说明书

[21]申请号 98119447.8

[43]公开日 1999年4月7日

[11]公开号 CN 1213264A

[22]申请日 98.9.28 [21]申请号 98119447.8
[30]优先权
[32]97.9.26 [33]JP [31]261668/97
[71]申请人 松下电器产业株式会社
地址 日本国大阪府
[72]发明人 宫崎光治 小南智 堀井滋

[74]专利代理机构 上海专利商标事务所
代理人 沈昭坤

权利要求书2页 说明书9页 附图页数10页

[54]发明名称 放电灯工作设备

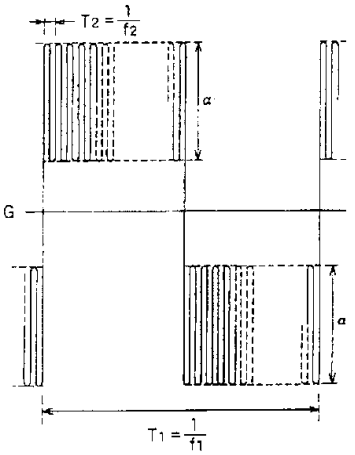
[57]摘要

一种用于使具有限定放电空间的玻璃壳和一对密封在所述玻璃壳内并相互面对 的电极的放电灯工作的放电灯工作装置,具有:

产生电路,用于产生具有熄灭在所述电极对之间有的放电弧模式的声共振频率 的频率成分的波形信号;及

调制电路,用于调制所述波形信号,从而所述波形信号中心线的极性以具有低 于所述声共振频率的频率成分的频率的调制频率交替变化,其中

存在有一时间间隔,其中,假定所述波形信号的峰—峰值为α,而所述调制信 号的有效值为β,则在工作开始时调制深度α/β等于或小于在额定条件工作 的调制深度α/β。Q



ISSN1008-4274

权 利 要 求 书

1.一种用于使具有用于限定放电空间的玻璃壳，以及一对密封在所述玻璃壳中并相互面对的电极的放电灯工作的放电灯工作装置，其特征在于包括:

用于产生波形信号的发产生装置，所述波形信号具有用于熄灭在所述电极对之间产生直的放电弧模式的声共振频率的频率成分；及

调制装置用于调制所述波形信号，从而所述波形信号的中心线的极性交替地以比所述声共振频率的频率成分存在低的调制频率变化，其中，

有一时间间隔，其中，假设所述波形信号峰-峰值为α，而所述调制信号的有效值为β，在工作开始时调制深度α/β 等于或小于在额定条件下工作的调制深度α/β。

2.如权利要求 1 所述的放电灯工作装置，其特征在于

所述波形的中心线保持在恒定值。

3.如权利要求 1 或 2 所述的放电灯工作装置，其特征在于

所述声共振频率由放电灯的放电空间媒质中的声速，及放电空间的长度决定，所述长度和所述放电弧相交。

4.如权利要求 1 或 2 所述的放电灯工作装置，其特征在于

所述放电灯在所述玻璃壳中至少密封地填充了金属卤化物或汞作为填充物。

5.如权利要求 1 或 2 所述的放电灯工作装置，其特征在于

所述放电灯在工作开始时的所述调制深度α/β 等于或小于在在额定条件下工作的调制深度α/β 的时间间隔实际上是达到在额定状态下工作之前的整个时间间隔。

6.如权利要求 1 或 2 所述的放电灯工作装置，其特征在于

在工作开始时所述放电灯的调制深度α/β 等于或小于在额定条件工作的调制深度α/β 的时间间隔为 10ms 或更小。

7.如权利要求 1 或 2 所述的放电灯工作装置，其特征在于

在工作开始时有这样一个时间间隔，其中所述调制深度α/β 具有 0.3 或更小的值。

8.如权利要求 1 或 2 所述的放电灯工作装置，其特征在于

所述放电灯工作装置具有检测装置，用于检测所述放电灯的灯特性，并响应于所述灯特性的改变来改变所述调制深度α/β。

9.如权利要求 7 所述的放电灯的工作装置，其特征在于

作为灯特性所述检测装置检测灯泡温度、灯电压、灯阻抗、或光输出。

10.如权利要求 1 或 2 所述的放电灯工作装置，其特征在于

在工作开始时所述放电灯的所述调制深度α/β 具有一段调制深度α/β 逐渐增加的时间间隔。

11.如权利要求 1 或 2 所述的放电灯的工作装置，其特征在于

所述放电灯在工作开始的所述调制深度α/β 具有一段调制深度α/β 逐步增加的时间间隔。

12.如权利要求 1 或 2 所述的放电灯的工作装置，其特征在于

所述产生装置具有频率改变装置，用于响应于激励直的放电弧模式的所述声共振频率的频率成分的变化，产生具有频率成分的波形。

13.如权利要求 1 、 2 或 11 所述的放电灯的工作装置，其特征在于

所述调制装置具有有效值变化装置，用于改变所述调制信号的有效值。

14.如权利要求 1 到 13 任何一条所述的放电灯工作装置，其特征在于

用于熄灭在所述电极对之间产生有的放电弧模式的所述声共振频率的频率成分是所述放电灯在熄灭后重新点燃的时间间隔足够长情况下得到的频率。

说　明　书

放电灯工作设备

本发明涉及一种放电灯工作设备，它能够减小放电弧的曲率，这种放电弧的弯曲由于当放电灯，尤其是 HID 灯(高强度放电灯)水平点亮时由重力引起的对流造成的。

近年来，HID 灯因为具有效率高和寿命长的特点，已经广泛地用于户外照明等领域中，对这些，金属卤化物灯具有良好的显色性，并且通过最佳地使用其特性，不但在室外的照明领域，也在室内照明领域中广泛使用，并且作为视频设备的光源和车辆的前灯的光源亦受到关注。

在传统的放电灯工作设备中，当用几 KHz 或更高的频率工作时，会发生有害的声共振现象，并发生放电弧变化、弧焰中断等等。作为解决这一问题的方法，在 1983 年照明学会东京分会的论文集第 10 中描述了一种方法。该方法揭示，放电灯工作设备能够防止由于 HID 灯(它是放电灯)特有的，声共振现象引起的放电弧的变化、弧焰中断和灯的损坏，并且通过将低频(几百 Hz)矩形波电流提供给 HID 灯)使其稳定工作。

但是，当 HID 灯在这种工作装置中水平点亮时，可以稳定地工作，但是在放电空间中在由于温度分布造成的重力引起的对流的影响下，像弓那样朝上弯曲。这大大增加了放电空间上部的温度，引起石英玻璃(它是用于限定放电空间的玻璃壳材料)的显著的退化，即，失去透明性，或变形，因此引起减短灯的寿命的问题，并且灯的效率将因为放电空间下部降低了的最冷点温度而降低。

尤其近年来，在金属卤化物灯(它们作为用于视频设备的光源和用于车辆的前灯的光源而受关注)，继续使用更短的弧，因而需要进一步增加压力，这是当灯工作时，由放电空间中填充物的材料造成的。压力的增加使重力引起的对流增加，使放电弧的曲率变大，更加损害了灯的寿命和效率。

在日本第 7-9835 号专利公报中揭示了一种作为解决这个问题的放电灯工作设备。下面将参照图 10，描述这种放电灯工作设备。

图 10 是示出当放电灯在如上所述传统的放电灯工作设备(第 7-9835 号日本专利公报)中点亮时，灯电流波形关于工作后经过的时间的变化的图。这是通过将

AC 波形 52 叠加在 DC 波形 51 上得到的。AC 波形 52 的工作引起规定方式的声共振，以减少放电灯中填充材料由重力引起的对流，结果，放电弧变为直线的。

作为此物理背景，人们考虑，由 AC 波形 52 决定的一频率的压缩波从放电弧产生，以产生驻波，该驻波强制地使要弯曲的放电弧变直。

当使放电弧变直时，有这样一些优点，即，可以降低在放电空间上部的石英玻璃的温度(这是减短放电灯寿命的原因)，以延长放电灯的寿命，并通过增加放电空间下部中的最冷点的温度，而提高了照明效率。

还有，在图 10 中，如果在放电灯达到额定条件的工作之前一段时间间隔，预先使 DC 波形 51 的值较高，则将可以在工作后马上得到预定的光输出。与此同时，将可以把在直到放电灯在额定条件下工作之前的时间间隔中发生在 AC 波形 52 中的脉动对 DC 波形 51 的值的比值（通过把从 AC 波形 52 的最大值中减去最小值得到的值除以 DC 波形 51 的值而得到的值)减小。因此，它提出放电弧不变得是不稳定，但是即使放电空间中的气体温度变化，它可以从放电灯开始工作就得到稳定的放电弧，并且使放电弧成为直的频率在放电灯达到在额定条件工作之前的时间间隔中变化。

但是，在上述的传统的放电灯工作设备中，由于电流沿一个方向流过放电灯，故虽然在放电灯的放电空间中电场强度时间间隔地变化，但是总是出现沿一个方向的电场。因此，产生在放电弧中出现不规则的颜色(由于填充材料朝一侧移动造成的电泳现象)的问题。还有，由于电极轴上的温度是不对称分布的，其中，阳极一侧的温度高，而在阴极一侧的温度低，即使叠加了激励直放电弧模式的频率，放电弧的曲率也只是或多或少地变小，但是不会变直。

本发明的发明者参考了第 8-220938 、 9-69502 和 9-225001 号日本专利申请或第 08/915641 号美国专利申请。

内容如下：用于使放电灯工作的放电灯(它具有用于限定放电空间的玻璃壳和一对密封在玻璃壳中并且相互面对电极)工作设备包括:

用于产生波形信号的产生装置，该信号具有激励在一对电极之间产生直的放电弧模式的声共振频率的频率成分，并且其波形小的中心线为恒定值；及

调制装置，用于调制波形信号，从而极性以调制频率交替的变化，波形信号中心线的频率比声共振频率的频率成分低。

根据在先申请的发明，可以实现足够直的放电弧。甚至在在先申请的发明

中，也考虑到:

即，在放电灯在足够长时间的熄灭之后工作的情况下，放电空间具有均匀的温度分布，其大致上和放电灯周围的温度一致，因此，放电不极大地变形，但是，非常容易在一对电极之间发生，即，当开始放电时，在介质击穿处直的轨迹，而在此后该放电可以演变为放电弧，用于得到稳定的、直的放电弧。

相比之下，在熄灭足够长之前再次工作的情形下，能够预料到这样一个缺点，即出现不能得到稳定的、直的放电弧的情况。

这归于这样的事实：在放电灯工作时的放电空间中温度分布(存在放电弧的位置处：大约 5000K 到 7000K，对于玻璃壳附近处：大约 1000K)的影响下，预定的时间间隔，即使光被输出，有放电弧放电空间中心附近的温度高于玻璃壳附近的温度。

当来自放电灯的放电在放电空间中的温度分布不均匀的状态下开始时，在放电空间有放电弧的高温部分具有相当大的粒子动能，它大大弯曲，以避免放电，并且，由于弯曲的放电成为起点，故变形的放电弧形成在电极对之间。

一当放电弧(它是用于产生压缩波的源)弯曲和产生时，从弯曲状态产生压缩波，并且照原样在弯曲状态下变为稳定。

本发明已经解决了上述问题，并且其目的是提供一种放电灯工作设备，该设备能够稳定地产生直的放电弧，而不必顾及放电灯的熄灭等等。

本发明是一种放电灯工作设备，用于使具有确定放电空间的玻璃壳以及一对密封在所述玻璃壳中并相互面对的电极的放电灯工作，该设备包括：用于产生波形信号的发生装置，该波形信号具有激励所述电极对之间产生直的放电弧模式的声共振频率的频率成分；及调制装置，用于调制所述波形信号，从而所述波形信号的中心线的极性以频率低于所述声共振频率的频率成分的调制频率交替变化，其中，有这样一个时间间隔，其中，假定所述波形信号的峰-峰值为α，而所述调制信号的有效值为β，在工作开始时的调制深度α/β 等于或小于在额定条件工作的调制深度α/β。

图 1 是示出使来自根据本发明的一个实施例的放电灯的放电弧变直的波形之一例的图;

图 2(a)到 2(c)是示意地示出在熄灭足够长时间之前，当使放电灯重新以图 1 所示的波形点燃时，观察放电弧成长状态得到的结果的图。

图 3(a)是示出当使调制深度较小时，放电弧形状的图，而图 3(b)是示出当使调制深度在较小之后，又使之较大时，放电弧的形状；

图 4 是结构图，示出根据本发明的第一实施例的放电灯工作设备；

图 5(a)是 DC 电源 13 的输出电流波形图，而图 5(b)是逆变器电路 14 的输出电流波形图；

图 6 是示出电容器 20 的静电电容和调制深度之间的关系的图；

图 7(a)和 7(b)是示出电容器 20 的静电电容关于工作后经过时间的变化特性之一例的图；

图 8 是示出晶体管 17 的通断频率和调制深度之间的关系的图；

图 9 是示出用于使来自根据本发明的一个实施例的放电灯的放电弧变直的波形另一例示图；及

图 10 是当放电灯在传统的放电灯工作设备中点亮时，灯的电流波形图。

下面，将参照附图描述根据本发明的较佳实施例。

在描述根据本发明的较佳实施例之前，将先总结和描述上述发明的在先申请。

图 1 示出使来自从放电灯的放电弧变直的波形之一例。这一波形针对用于激励使放电弧变直的模式的声共振频率的频率成分 f2，它由放电灯在放电空间媒质中的声速和与放电弧相交的放电空间的长度确定。当放电灯熄灭之后重新点燃足够长的时间时，可以得到频率成分 f2。作为波形(其瞬时值以频率成分 f2 时间间隔地波动)，使用通过调制声共振频率的频率成分 f2 的波形，从而使极性以调制频率 f1(该调制频率低于声共振频率的频率成分 f2)改变而得到的波形。

首先，当图 1 所示的电流波形提供给放电灯，并且将调制深度(通过将图 1 的波形(调制信号波形)的α除以有效值β得到的值)设置为预定值，如果放电灯的熄灭时间足够长，则在额定状态下工作时，可以得到稳定的、直的放电弧。

但是，图 2(a)到 2(c)示意地示出当放电灯在熄灭足够长时间之前，以图 1 所示的波形重新点燃时，观察放电弧的成长状态得到的结果的图．图 2(a)中，标号 1 表示一对密封在玻璃壳中，并且相互面对的电极，而标号 2 表示在电极对 1 之间产生的放电弧。图 2(a)是示出当放电灯开始放电时，介质击穿的状态之一例。虽然在电极 1 之间发生放电，图 2(a)示出一例，其中放电具有 S 形结构，但其它放电沿玻璃壳方向是大大弯曲的，并且只有极少数情况是放电直接发生在电极 1

之间最短距离上，即，放电是直的．这可以归于在如上所述地发光后放电空间中不均匀的温度分布。

图 2(b)示出放电开始后，至达到在额定条件下工作前的放电弧的状态，放电弧在保持图 2(a)中所示的放电弧的弯曲状态时成长．还有，图 2(c)示出当达到额定条件下工作时放电弧的状态，并且可以看到不能得到任何稳定的、直的放电弧。

本发明的发明者发现，防止放电弧变形和调制深度紧密相关．图 3(a)示出当通过将图 1 中的α 变得比图 2(b)或图 2(c)中所述的状态中的α 小来使调制深度较小时，放电弧的形状．在图 3(a)中，标号 1 表示一对相互面对的电极，而标号 2 表示如在图 2(a)的情况下那样在一对电极 1 之间产生的放电弧．如果使调制深度变小，则由放电弧发出的压缩波的强度变小，因而声共振的强度也降低。

因此，放电弧的变形主要是在工作期间由在放电空间中的温度分布(放电弧的中心：大约 5,000K 到 7,000K 靠近玻璃壳：大约 1,000K)使因重力引起的对流造成浮力的影响引起的，并且放电弧稍微向上弯曲。

在这方面，调制深度最好设置为 0.3 或者更小，以充分减小声共振的影响。

图 3(b)示出当调制深度一度变得更小，然后再变得较大时，放电弧的形状．可形成稳定的、直的放电弧。

由于在短时间熄灭的情况下有较宽的温度分布，故发生的放电弧大大地弯曲。但是，如果预先使调制深度较小，则只会有由重力引起的对流造成的浮力的影响．因此，放电弧只在由重力引起的对流造成的浮力的影响下弯曲．当调制深度增大时，在该状态下压缩波从该状态下放电弧产生，因此，产生稳定的、直的放电弧。在这方面，如在先申请的发明中所述，在短时间熄灭后重新点燃之时，有较宽的温度分布，而且，当在开始时使调制深度就较大，而产生的放电弧大大地弯曲时，从弯曲的放电弧产生压缩波因此放电弧不会变直。

在这方面，这样的技术分析的确是严格一种假推定，因而且可以认为，根据另一条物理定律，可以得到稳定的、直的放电弧。

下面，参照附图，描述根据本发明的第一实施例．图 4 是示出第一实施例的结构图，其中，标号 11 表示放电灯，其中在用于确定放电空间的玻璃壳中密封了水汞和金属卤化物作为填充物．标号 12 表示操作装置．用于为进行操作将图 1 的波形提供给放电灯 11 。工作装置 12 包括：在足够长时间熄灭后，重新点燃的

情况下， DC 电源 13，它是用于产生波形信号的发生装置该波形信号具有用于激励放电弧是直的，其中心线保持在恒定高度这样一种模式的声共振频率的频率成分)的发生装置；逆变器电路 14 ，它是用于调制波形信号的调制装置，从而极性以调制频率交替地变化波形信号中心线的频率低于声共振频率；及启动装置 15 ，用于向放电灯 11 施加一足以启动它的放电的高压．在这方面， DC 电源 13 产生的波形的中心线可以不总是恒定值。

下面将参照图 5 描述如上所述构成的第一实施例的工作。

在 DC 电源 13 中，降压斩波电路构成如下： DC 电源 16；该电路晶体管 17；二极管 18； 斩波线圈 19； 及能够改变其静电电容的电容器 20 ，以这样的方式构成，即灯的功率由控制电路 24 根据由电阻 21 和 22 测出的相应于灯电压的检测信号以及由电阻 23 测出的相应于灯电流的检测信号计算，还有，晶体管 17 的通断比是可变的，从而灯的功率成为额定值。

如果把晶体管 17 的通断频率设置为用于激励直的放电弧模式的声共振频率，而且使由扼流圈 19 和电容器 20 构成的滤波电路具有特殊性质，(在其中不截止声共振频率的频率成分， DC 电源 13 的输出电流波形将成为将预定的 DC 偏置叠加在瞬时值以声共振频率时间间隔地波动的中心线的波形上，用于激励如图 5(a)所示的直的放电弧为模式。

逆变器电路 14 如此由晶体管 25 、 26 、 27 和 28 ，以及一个驱动电路 29 构成，即，通过来自驱动电路 29 的输出信号使晶体管 25 和 28 导通的时间间隔和晶体管 26 和 27 导通的时间间隔交替地发生，由此来自 DC 电源 13 的输出波形转换为如图 5(b)所示的波形，其极性以低于声共振频率的调制频率交替地变化，以将其提供给放电灯 11 ．已在启动装置 15 的高压下启动放电的放电灯 11 以图 5(b)所示的波形点亮。还有，图 6 示出了电容器 20 的静电电容和调制深度之间的关系，调制深度在电容器 20 的静电电容增加时变小，而调制深度在静电电容减小时变大。

在如上所述构成的第一实施例中，图 7(a)和 7(b)示出电容器 20 的静电电容关于操作后经过的时间的特性变化之例．如果使在工作后反馈电容器 20 预定的静电电容较大，并如图 7(a)所示逐步地减小，则在工作开始时可以逐步增加放电灯 11 的调制深度．这时，放电弧稍微向上地弯曲，同时调制深度较小，然后，切换到直的放电弧。由此，预知由放电弧形状的变化导致看得见的闪烁，但可以通过

设置 10ms 或更小的时间间隔(其中，电容器 20 的静电电容较大)防止闪烁。

还有，图 7(b)示出，在工作后预定的时间间隔期间使电容器 20 的静电电容制得较大，然后逐渐减小，因而在工作开始时放电灯 11 的调制深度可以逐渐增加。

这时，放电弧的形状从弯曲的放电弧逐渐变为直的放电弧，并且不会瞬时地变化。因此，提供了一种显著的效果，即，可以防止看提出的闪烁，并且可以防止放电弧不稳定的工作，这在从弯曲的放电弧切换为直放电弧的瞬变时刻可能发生。

下面，将描述第二实施例。图 8 示出当第一实施例中的电容器 20 的静电电容为恒定时晶体管 17 的通断频率和调制深度之间的关系。当使晶体管 17 的通断频率较高时，调制深度变小，而当使通断频率较低时，调制深度变大。这归于这样的特殊性质，即根据由滤波电路中的扼流圈 19 的电感和电容器 20 的静电电容确定的频率特性使较高的频率成分截止。

当利用图 8 的特殊性质时，通过这样一种简单的结构，(即，晶体管 17 的通断频率只在放电灯 11 的工作的开始时较高)，就可在工作的开始时具有比在额定条件下工作期间低的调制深度，因而工作装置 12 的结构非常简单。还有，可以通过以模拟形式逐步或者逐步地改变晶体管 17 的通断频率而逐步地或逐渐地改变调制深度。另外，在从开始工作到放电灯 11 达到在额定条件下工作的时间间隔内，用于激励放电弧模式的声共振频率是放电空间中气体的温度函数，并且具有特殊性质，即，在气体温度达到在额定条件下工作之前该声共振频率一直减小。因此，使得放电弧为直线的声共振频率具有特殊的性质，即，在到达到在额定条件下工作之前它一直减小。

当结构如此地安排，从而提供频率改变装置(它改变晶体管 17 的通断频率，从而和声共振频率中的变化同步)时，改善了在工作开始时的放电弧的稳定性，并且可以从工作开始至在额定条件下工作时，得到稳定的、直的放电弧，而与放电灯的熄灭无关。

在这方面，在上述实施例中，对于放电灯 11 可以使用诸如高压汞灯、金属卤化物灯和高压钠灯之类的 HID 灯，及诸如荧光灯之类的低压放电灯，并且只要是放电灯，则任何灯都可以使用。

在第一实施例中，如此安排结构，从而使电容器 20 的静电电容随放电灯 11

工作后的经过时间改变，以使调制深度可变，但是可以如此构造，从而提供用于检测灯的特性的检测装置，以检测其是否处于工作开始时刻，并且使电容器 20 的静电电容制得可响应于检测装置的输出而变化。通过这种结构，并于检测灯的特性，可根据放电灯的熄灭等由灯的特性检测灯在工作开始时的不同状态，因此，可以控制调制深度的改变到一个最佳值。还有，作为灯的特性，容易检测放电灯的静电特性，诸如灯电压和灯阻抗，或光输出，或灯泡温度之类的特性，并且结构也是简单的。

还有，在这个实施例中，当调制深度逐步增加时，已经描述了一个例子，其中，以一个阶段增加调制深度，但是可以使用以两个或更多个阶段增加的结构。如果调制深度以多个阶段增加，则结构可以如此安排，从而，放电弧的形状逐渐从弯曲的放电弧改变到直的放电弧，因此，对防止看得出的闪烁是有效的。

还有，虽然逆变器电路 14 调制得如矩形波，但它以如此构成，从而将其调制为接近于具有波形的倾斜的上升和下降边缘的梯形波。还有，可以使用任何能产生调制信号的结构，当调制信号的极性以比用于激励直放电弧的模式的声共振频率更低的调制频率变化时，能够产生除接近矩形波之外的，诸如正弦波、三角波、阶梯波和锯齿波(见图 9)调制信号。另外，即使调制信号或多或少包含 DC 成分，只需改变极性并且可以使用任何正负不对称的波形。

还有，在第一实施例中，已经描述了电容器 20 的静电电容变化，以使调制深度可变的结构，但是如果结构如此安排，从而构成滤波电路的扼流圈 19 的电感可以变化，则当电感变大时调制深度变小，而电感变小时调制深度变大，因而可使调制深度可变。因此，可以得到类似的效果，并且当扼流圈 19 和电容器 20 都能变化时，可以使调制深度的变化宽度更大。

还有，虽然 DC 电源 13 由降压斩波电路构成，其它电路系统(诸如升压斩波电路和逆斩波电路)，也可以使用，并且其它结构也可以使用，只要可以输出这样的波形，其中，把预定的 DC 偏置叠加到中心线上，该中心线的瞬时值以用于激励直的放电弧模式的声共振频率时间间隔地波动。

还有，虽然已经构造了控制电路 24，用于控制晶体管 17 的通断比，从而灯的功率变为额定值，但结构可以如此安排，从而提供有效值变化装置，用于变化调制信号的有效值，以改变灯功率。特别地，它对在工作开始时提供超过额定值的功率 ，以在工作开始补充光输出，以及控制调制光是有效的。

如上所述，本发明能够实现极好的放电灯操作装置，该操作装置能够防止诸如放电弧的变形等不稳定现象，并且与放电灯熄灭无关地形成稳定的、直的放电弧。

说 明 书 附 图

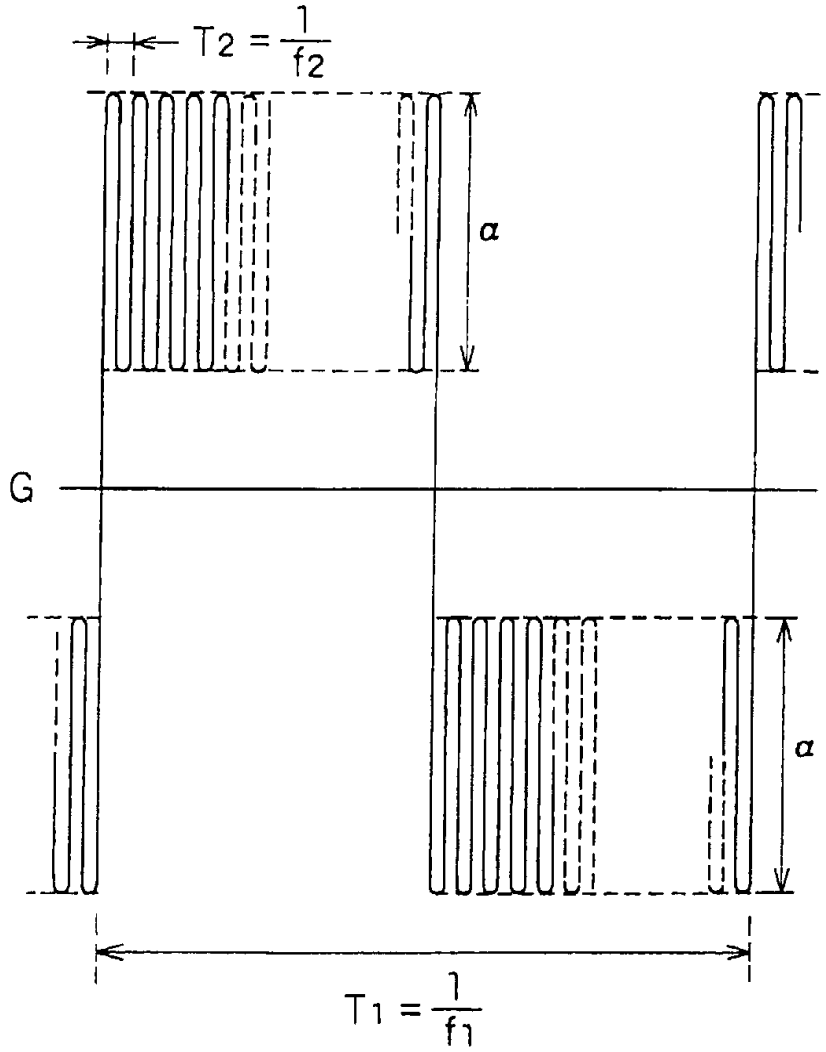


图 1

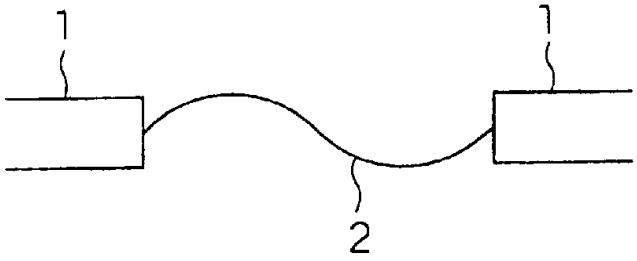


图 2(a)



图 2(b)

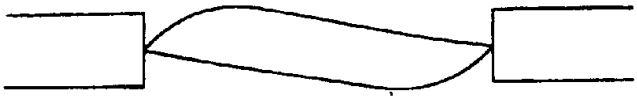


图 2(c)

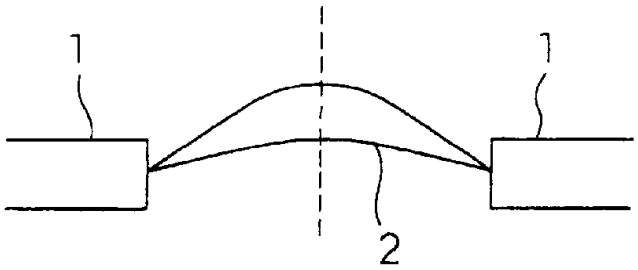


图 3(a)

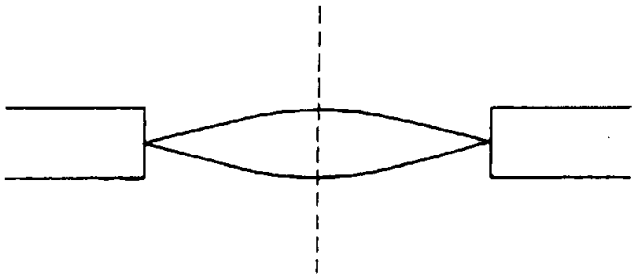


图 3(b)

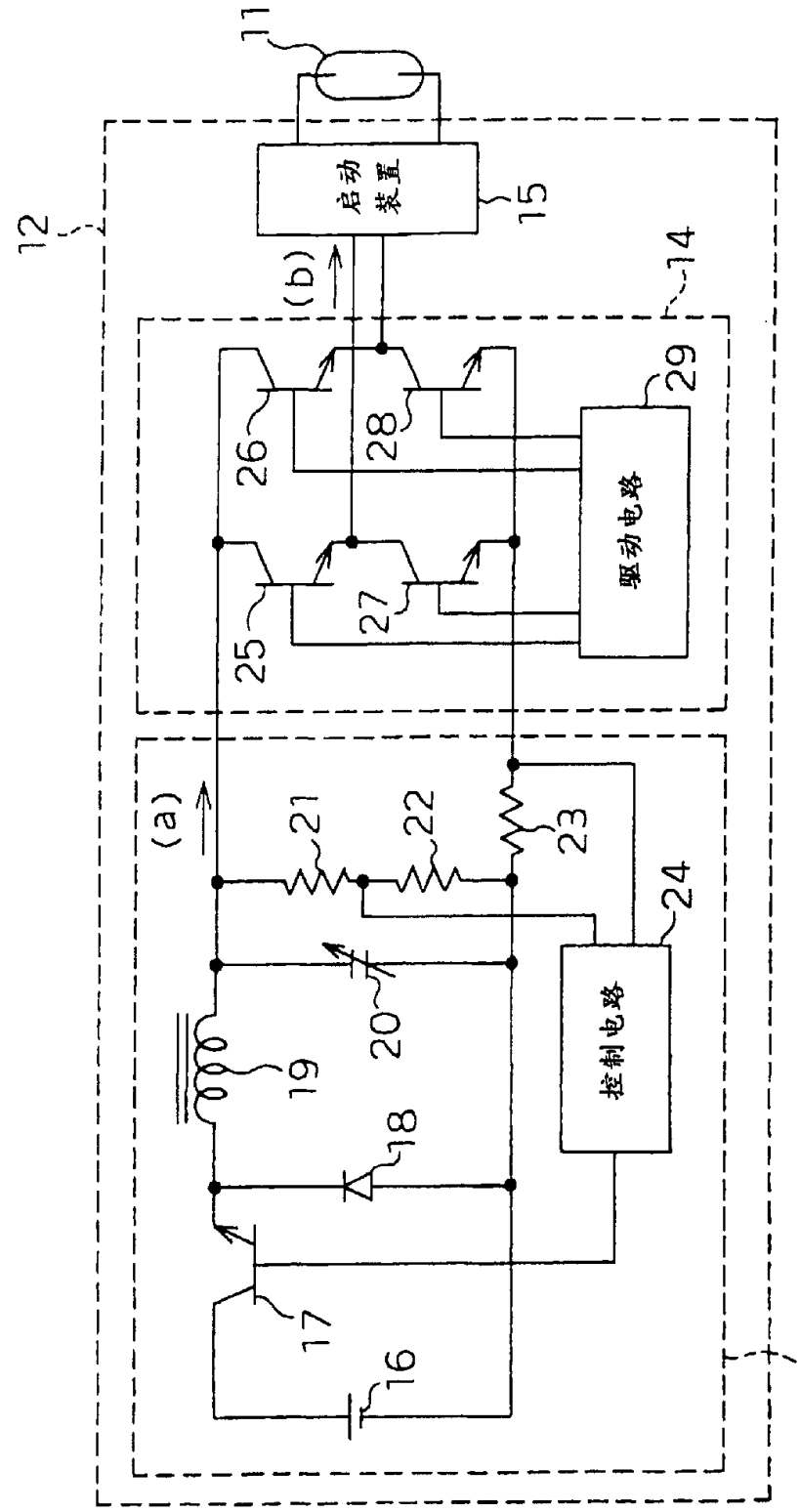

11
12
启动装置
15
14
(b)
29
26
28
驱动电路
25
27
(a)
21
22
23
24
控制电路
20
19
18
17
16
13

图 4

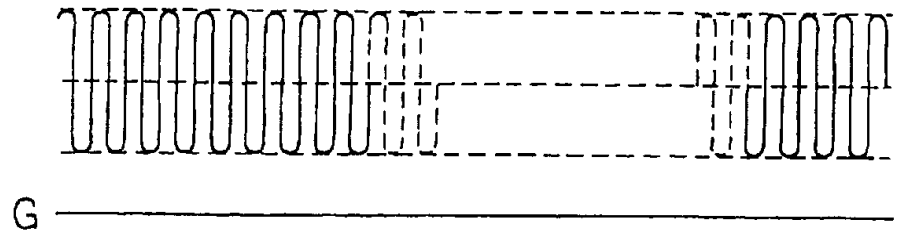


图 5(a)

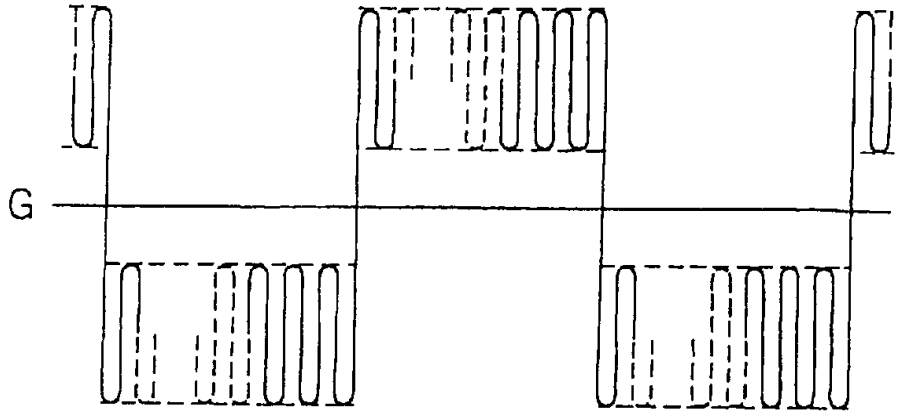


图 5(b)

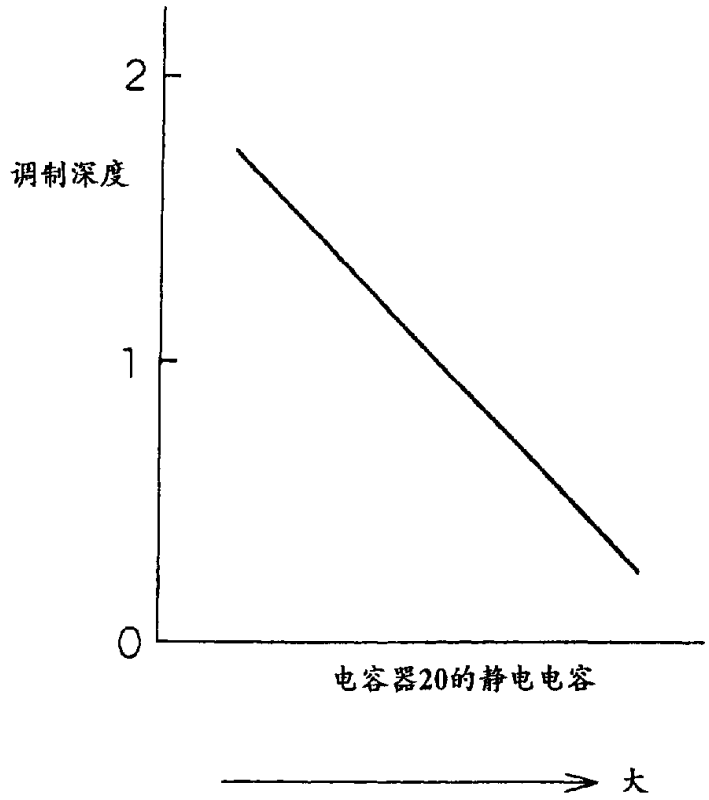


图 6

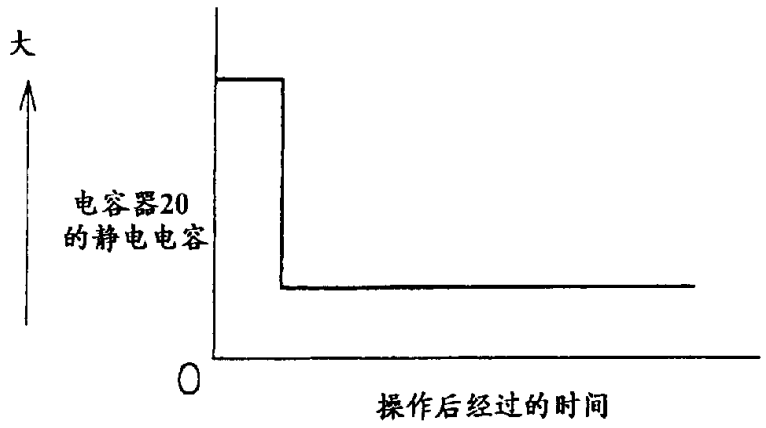


图 7(a)

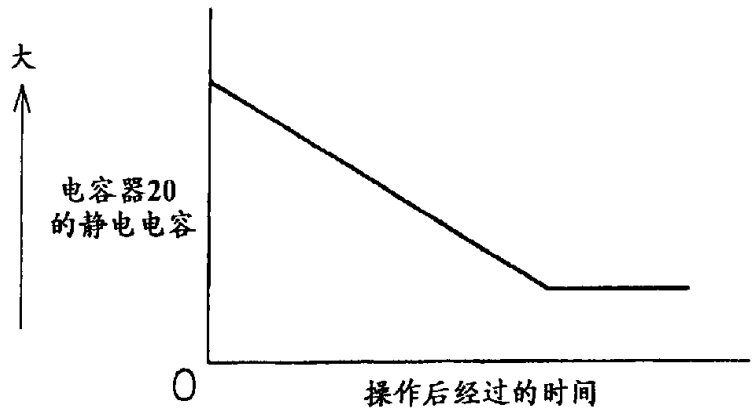


图 7(b)

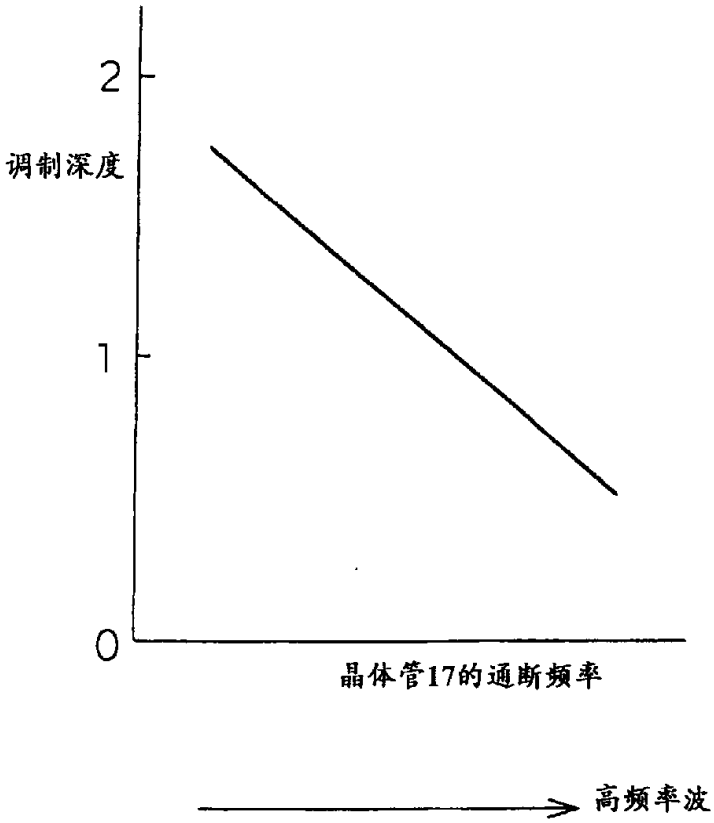


图 8

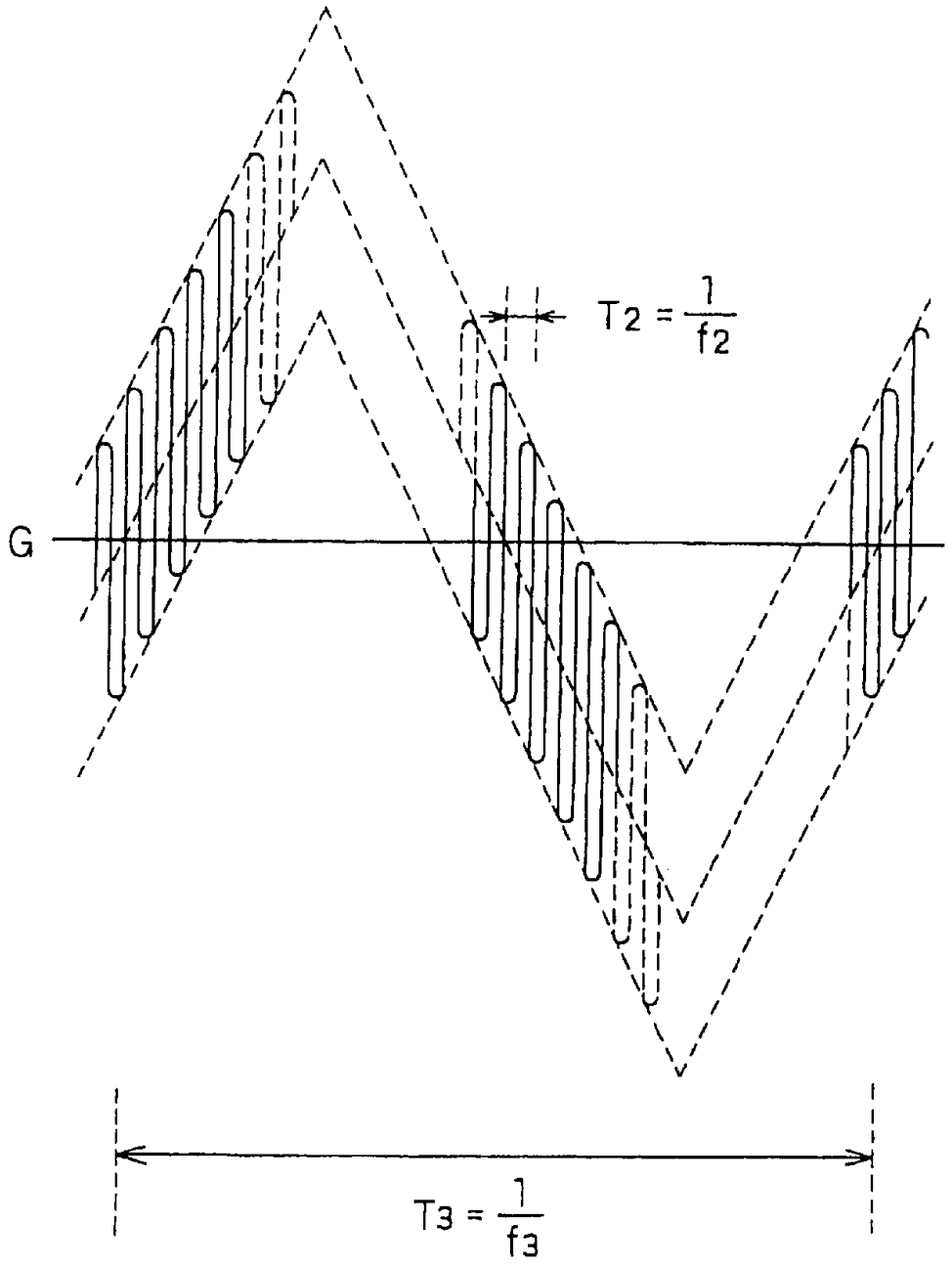


图 9

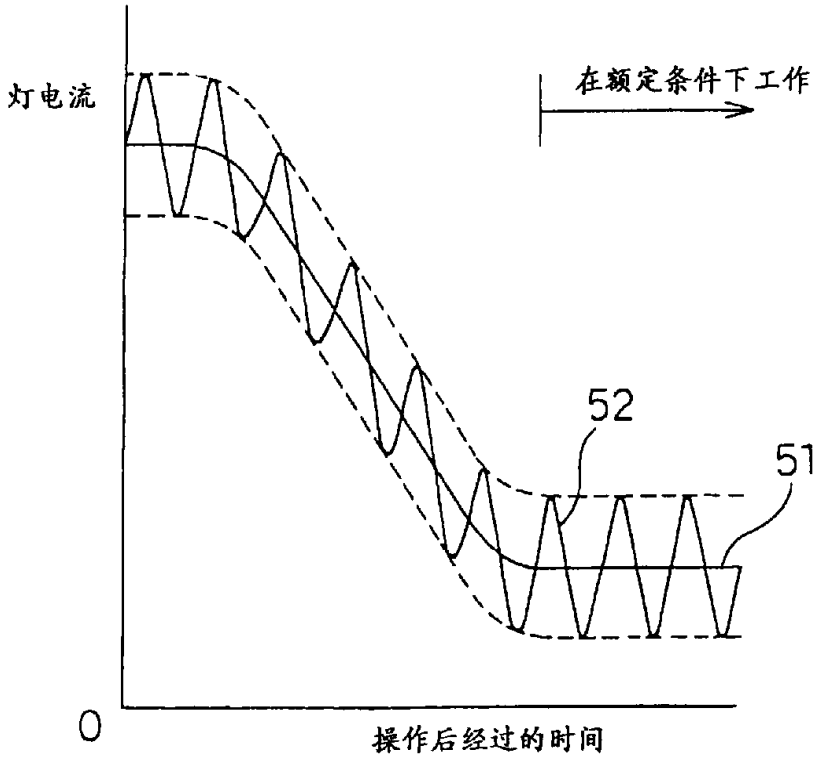


图 10