



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02807825. X

[45] 授权公告日 2007 年 4 月 18 日

[11] 授权公告号 CN 1311716C

[22] 申请日 2002.3.23 [21] 申请号 02807825. X

[30] 优先权

[32] 2001. 4. 6 [33] DE [31] 10117377. 6

[32] 2001. 8. 11 [33] DE [31] 10139677. 5

[32] 2001. 10. 29 [33] EP [31] 01125762. 3

[86] 国际申请 PCT/DE2002/001085 2002. 3. 23

[87] 国际公布 WO2002/082872 德 2002. 10. 17

[85] 进入国家阶段日期 2003. 10. 8

[73] 专利权人 弗劳恩霍弗实用研究促进协会

地址 德国慕尼黑

共同专利权人 皇家飞利浦电子有限公司

[72] 发明人 J·克莱恩 W·内夫 S·赛维特

K·伯格曼 J·潘克特 M·罗肯

[56] 参考文献

US5050178A 1991. 9. 17

US4201921A 1980. 5. 6

WO0101736A1 2001. 1. 4

US4596030A 1986. 6. 17

审查员 杜江峰

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 吴立明 张志醒

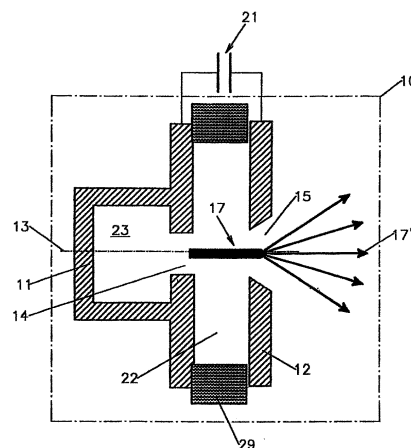
权利要求书 3 页 说明书 15 页 附图 11 页

[54] 发明名称

产生远紫外辐照和软 X 射线辐照的方法和装置

[57] 摘要

本发明涉及用于以在巴申曲线的左分支上工作的
气体放电产生远紫外辐照和软 X 射线辐照的方法，尤其是用于 EUV 光刻，其中在放电空间(10)中采用预定的气体压力和两个电极(11、12)，所述的两个电极各有一个在同一对称轴(13)上的开口(14、15)，并且在电压上升(16)的过程中在达到预定的起辉电压(U_z)时构成处在其开口(14、15)区域中的等离子体(17)，所述的等离子体是要产生的辐射(17')的源，其中通过对气体压力施加影响和/或通过触发进行等离子体(17)的起辉，并且其中在等离子体(17)起辉时储能器借助于电极(11、12)向等离子体(17)中馈入储存的能量，其特征在于，在使用预定的起辉延迟(18)的条件下进行等离子体(17)的起辉。



1. 利用工作在巴申曲线的左分支上的气体放电来产生远紫外辐照和软 X 射线辐照的方法,

其中在放电空间 (10) 中采用预定的气体压力和第一 (11) 电极与第二电极 (12), 所述的两个电极 (11、12) 各有一个位于同一对称轴 (13) 的开口 (14、15), 并且在电压上升 (16) 的过程中在达到预定的起辉电压 (U_z) 时形成处在其开口 (14、15) 区域中的等离子体 (17), 所述的等离子体是要产生的辐射 (17') 的源,

其中通过对气体压力施加影响和/或通过触发来起辉等离子体 (17),

并且其中在等离子体 (17) 起辉时储能器借助于第一电极 (11) 和第二电极 (12) 向等离子体 (17) 中馈入储存的能量,

其特征在于,

采用其电位在触发过程开始前高于用作阴极的第一电极 (11) 和第二电极 (12) 中的第一电极 (11) 的触发电极 (19) 进行等离子体 (17) 的起辉。

2. 如权利要求 1 所述的方法,

其特征在于,

相对于用作阴极的第一电极 (11) 来调节触发电极 (19) 的电压和第一电极 (11) 与第二电极 (12) 上的电压和放电空间 (10) 的气体压力, 使得在施加触发电压时不进行等离子体 (17) 的起辉, 而通过关断触发电压才引起等离子体的起辉。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的方法,

其特征在于,

用 $>0\text{Hz}$ 和 100kHz 之间的重复频率实施所述方法。

4. 如权利要求 1 或者 2 所述的方法,

其特征在于,

用通过可调节接通长度和可调节关断长度的运行间期运行, 而与之相应地采用固定的重复频率。

5. 利用工作在巴申曲线的左分支上的气体放电来产生远紫外辐照和软 X 射线辐照的装置,

其中在放电空间 (10) 中有预定的气体压力和第一电极 (11) 与第二电极 (12), 所述的两个电极各有一个位于同一对称轴 (13) 上的开口 (14、15), 并且在电压上升 (16) 的过程中在达到预定的起辉电压 (U_z) 时具有处在其开口 (14、15)

区域中的等离子体(17)，所述的等离子体是要产生的辐射(17')的源，

其中在与第一电极(11)相邻的空间(23)中有触发电极(19)用于通过触发进行等离子体(17)的起辉，

并且其中具有借助于所述第一电极(11)和第二电极(11)把储存的能量馈入进等离子体(17)中的储能器，

其特征在于，

把触发电极(19)安排在沿对称轴(13)产生的粒子辐射之外，或者具有阻止后者的屏蔽(35)。

6. 如权利要求5所述的装置，

其特征在于，

把触发电极(11)沿所述第一电极(11)和第二电极(12)开口(14、15)的对称轴(13)安排并且向着开口(14、15)的正面(34)至少在形成粒子辐射的区域内具有绝缘体作为屏蔽(35)。

7. 如权利要求6所述的装置，

其特征在于，

把所述的绝缘体构成为敷设在触发电极(19)的正面(34)上的层。

8. 如权利要求6所述的装置，

其特征在于，

把所述的绝缘体构成为可以装进触发电极(19)的正面(34)中的体。

9. 如权利要求8所述的装置，

其特征在于，

所述的绝缘体有一个凹陷(36)，凹陷(36)有调准到粒子辐射上的截面。

10. 如权利要求9所述的装置，

其特征在于，

圆锥汇聚地构成所述绝缘体的凹陷(36)。

11. 如权利要求5至10之一所述的装置，

其特征在于，

把触发电极(19)至少对与第一电极(19)交界的空间(23)完全绝缘。

12. 如权利要求5至10之一所述的装置，

其特征在于，

触发电极(19)的屏蔽(35)具有消除表面电荷并阻止第二电极(12)与触

发电极(19)影响放电的电流的剩余导电性。

13. 如权利要求5所述的装置,

其特征在于,

把触发电极(19)构成为围绕对称轴的空心圆柱。

14. 如权利要求13所述的装置,

其特征在于,

所述空心圆柱的触发电极(19)有一个背离第一电极(11)和第二电极(12)的底,所述的底用绝缘体构成,或者是具有第一电极(11)和第二电极(12)之一电位的金属底,而且所述的底与触发电极(19)绝缘。

15. 如权利要求5所述的装置,

其特征在于,

触发电极(19)是环形片或者至少是相对于第一电极(11)和第二电极(12)对称轴(13)横向嵌入第一电极(11)中的电极杆。

16. 如权利要求5至10之一所述的装置,

其特征在于,

把触发电极(19)绝缘嵌入在第一电极(11)中。

17. 如权利要求5至10之一所述的装置,

其特征在于,

屏蔽(35)用耐热的绝缘材料制造。

18. 如权利要求5至10之一所述的装置,

其特征在于,

屏蔽(35)与触发电极(19)良好导热地连接。

19. 如权利要求5至10之一所述的装置,

其特征在于,

屏蔽(35)具有至少与开口(14、15)的直径相当的直径。

产生远紫外辐照和软X射线辐照的方法和装置

本发明涉及利用工作在巴申曲线的左分支上的气体放电来产生远紫外辐照和软X射线辐照的方法。

包括如上所述的方法步骤的方法公知于 DE-A-197 53 696。所述方法用一种具有构成放电空间的电极系统的装置实施。用这种电极系统产生特别是用于 EUV 光刻的远紫外辐照和软X射线辐照。所述的电极系统由两个电极组成，即一个阴极和一个阳极，所述的阴极和阳极由一个开口各构成。所述的开口实质上是一个孔中，并且两个开口都在一个公共的对称轴上。阴极构成为空心的阴极，也就是具有一个空心腔。这用于按预定的方式构成电场。尤其是所述的电极安排得使电力线在腔孔区域内充分地延伸，从而相应于高于一定电压的击穿条件。在所述的放电空间中充有气体，并且气体压力至少在电极系统范围内是 1Pa 到 100Pa 的数量级。选择电极的几何条件和气体的压力，使得在巴申曲线的左支进行等离子体放电，并且从而在开口之外电极之间不发生介电击穿。由于起辉导电的等离子体隧道构成为轴对称形，也就是在电极的开口范围内。此外借助于储能器通过所述隧道发送电流。由此产生的洛伦兹力束缚所述的等离子体。由于这种束缚作用并且通过欧姆加热在等离子体中出现非常高的温度，并且产生波长非常短的辐射。该公知的装置可以产生 10-20nm 波长范围的 EUV 光。

对于此方法重要之处在于可以省去电极系统和储能器之间的开关元件。在此一种可以达到把储存的电能在低电感性地和有效地接入到电极系统中。几个焦耳的脉冲能够触发数千安培以至万安培的电流脉冲。在调准到预定起辉电压的条件下，向受控制的或者以自击穿方式运行的放电中接入能量。所述的起辉电压例如受气体成分、温度、预电离、电场分布和其它的量的影响。可以相应于巴申曲线借助于放电空间的气体压力调节起辉电压。还必须对储能器充电到此起辉电压，以在起辉时能够把尽可能多的能量馈入到等离子体中。

本发明任务在于，改善具有前序部分所述的方法步骤的方法，提高对辐射的利用，也就是尤其是提高对单脉冲 EUV 光的利用，并且还改善用运行实施的产生 EUV 光的方法中利用多个相继放电的脉冲至脉冲间的稳定性。

用起辉延迟的方法导致延长导电等离子体建立。从而达到改善放电所需要的低欧姆的起始等离子体的圆柱形对称，所述起始等离子体也就是达到起辉电压后在电极的开口区域中建立的等离子体。因此起辉延迟导致 EUV 利用/脉冲和脉冲

至脉冲间稳定性的改善。在一种方法中选择约 1ms 的延迟可以观察到在 50Hz 至 500Hz 的脉冲工作范围内把 EUV 的利用提高约 10%。

这样地进行对起辉延迟的影响：通过提高气体压力减少起辉延迟或者通过降低气体压力增加起辉延迟。如果所述气体流过电极系统的区域就可以特别容易地改变这种的气体压力，例如为了影响重复频率，即为了能够实施有较高脉冲频率的方法。

为了影响起辉延迟，可以按以下方式实施所述方法：通过引起触发脉冲进行起辉，所述的触发脉冲是加在对等离子体的起辉区域施加影响的触发器电极上的。用触发影响等离子体的起辉区域中的电荷束的分布，从而还有效地影响起辉的时间点。

结合使用气体压力的压力间期进行触发以达到预定的起辉延迟，这样的进行是合适的。在这种情况下既调节压力也调节触发时间点，因为放电也只有用在一定的压力间期内的触发运行才稳定或者才能够进行。

在上述的触发关系中可以这样地进行触发：采用预定的触发延迟进行触发。可以与之相应地扩大起辉延迟。

用击穿，也就是用等离子体起辉自动地，把储存的能量馈入对自动击穿的放电中，其中应当设法达到，考虑脉冲运行的情况在成功起辉前对储能器充电。这就要求具有电压上升和达到预定的起辉电压的信息。因此可以这样地实施该方法：借助测量技术手段采集电压上升和/或达到预定的起辉电压，并且考虑该测量结果对气体压力和/或触发施加影响。如果在不断调节的框架内施加影响，就采用气体压力及触发延迟作为调节量。从而可以达到所希望的起辉延迟或测量技术监视。

还可以用测量技术采集起辉时间。从而可以采集达到起辉电压的时间点与有效起辉的时间点之间的时间，所述的时间相应于起辉延迟。

为了利用测量技术手段采集起辉时间点可以按以下方式进行：借助于测量电极电压的电压差和/或借助于测量电极电流的电流差测量起辉时间点。在起辉的开始时突然改变电极上的电压，同样也突然改变放电过程中流动的电流。电压下跌而电流猛涨，两者都可以可靠地采集。

可以通过测量达到预定的起辉电压和起辉时间点之间的时间并且借助于测量结果对预定起辉延迟相应地调节气体压力来调节起辉延迟。达到预定的起辉电压和起辉时间点之间的时间例如模拟地借用于积分器或者数字地借助于计数器测量。把该时间输送到控制器用作控制量，所述的控制器相应地调节气体压力以

稳定起辉延迟。这可以对一系列放电过程，也就是通过预定的脉冲数量，求平均值。

一个特定方法的特征在于，在预定的时期从电压上升开始利用测量技术手段采集电极上的电压，所述的预定的时期包含可能的起辉时间点，其中利用测量技术手段的采集最好采用起辉电压积分器。也就是所述的时期超过充电过程或者说电极上的电压上升所需要的持续时间。因此可以得出关于起辉电压的信息和关于相同信号中的起辉延迟的信息。起辉电压积分器使之可以从同一测量信号得到众多的信息。

此外可以相反地修改方法，使得利用测量技术手段采集电极上的电压包括对所达到的起辉电压值进行存储直至后续的电电压上升开始。所述的存储例如用采样保持电路进行。

适当地可以这样地进行：在电压上升过程中连续监视用作储能器直接连接在电极上的电容器组的充电状态，并且在达到预定的起辉电压后按需要用预定的触发延迟进行触发。关于电容器组的充电状态的信息可以用适当的电子电路得到和分析。所述的信息为能够按上述的策略运行所述方法提供基础，其中对气体的压力和/或引发触发脉冲施加影响。

在有些高压电容器中，其容量与温度有很大的关系。在这样的情况中应当注意把电容器的能量在起辉时间点保持恒定。在此会出现起辉电压不恒定，相应地必须要通过校正计算校正预定的起辉电压。为了进行这样的校正计算可以在其上的充电电压充电上升的过程中测量电容器的温度或容量，以进行相应的校正。

一种特定的方法的特征在于，借助于作用在电极之间空间的载流子上的触发电极进行触发，其中减少其相对于阴极构成的截止电压。以此方式触发脉冲可以达到预定的时间点，以对起辉延迟施加影响。

对于高的 EUV 光利用率可以这样地进行：在等离子体熄灭之后不进行完全成功重组气体的条件下把储能器充电到预定的起辉电压。由此可以特别地提高重复频率，其中可以用较短的时间间隔重新充电储能器。

其中还可以在两个电极之间在两个产生辐射的时间范围内构成的等离子体放电之间能够进行高欧姆等离子体炽燃。高欧姆等离子体导致较好的大电流放电的起始等离子体的条件。

在自击穿运行的放电过程中利用击穿馈入储存的能量，也就是用等离子体的起辉自动地进行。在此要考虑，未触发的放电系统只有单个的击穿点，所述的单个的击穿点由巴申曲线的条件确定。该点并不稳定。如果电极系统特别是在放电

区间被加热，就不再在同一电压产生击穿。

此外击穿以较快的序列重复，以产生持续的辐射。在两个击穿之间系统需要一定的时间重组放电区的气体。而在这段时间内气体至少部分地重新返回其出发状态，从而可以重新充电储能器并且在其电极上建立所要求的电压。因此系统的状态还取决于上次击穿所发生的时间，以及以什么样的重复频率产生辐射。在巴申曲线上的较高重复频率比在较低重复频率的工作点易于改变。实际上，这意味着重复频率可能严重地受到限制，因为不再能够找到更稳定的工作点。由此存在以下问题，不能够快速地从一個重复频率转换成另一个重复频率，并且在一定的重复频率下不能够重复地接通和断开。运行光刻装置时，接通和断开是特别重要的，其中在辐照过程中必须插入暂停，以在装置上进行调整。

因此本发明补充的任务是，利用工作在巴申曲线的左分支上的气体放电来产生远紫外辐照和软X射线辐照的，从而可以在用脉冲运行方式产生 EUV 光的方法中达到对脉冲的准确控制，特别是在放电过程的其它参照范围中，以从而在上述任务方面上还能够改善对 EUV 光辐射的利用。

在所述方法中，在放电空间中采用预定的气体压力和第一电极与第二电极，所述的两个电极各有一个位于同一对称轴的开口，并且在电压上升的过程中在达到预定的起辉电压时形成处在其开口区域中的等离子体，所述的等离子体是要产生的辐射的源，其中通过对气体压力施加影响和/或通过触发来起辉等离子体，并且其中在等离子体起辉时储能器借助于第一电极和第二电极电极向等离子体中馈入储存的能量，其特征在于，采用其电位在触发过程开始前高于用作阴极的第一电极和第二电极中的第一电极的触发电极进行等离子体的起辉。

利用触发影响等离子体的起辉条件。特别是用触发影响等离子体的起辉区域中载流子分布，并且从而影响有效地进行起辉的时间点。在此，在触发过程开始前触发电极的电位高于阴极的电位。因此在放电空间中对电场构成施加影响，使电场不发生击穿。只有在取消了阻碍击穿的电位后才能够击穿。

用特定的方式这样地实施所述方法：调节触发电极对用作阴极的电极的电压、两个电极上的电压和放电空间的气体压力，使得在加上触发电压时不进行等离子体的起辉，用关断触发电压才引入等离子体的起辉。关断触发电压使得能够在放电空间中构成满足击穿条件的电场。击穿的时间点可以通过触发信号，也就是触发电压的关断准确地确定。重要的还有，可以显著地扩展放电的参数范围。可以依据触发电压不同地选择气体空间中的压力、电极间距和电极上的电压。尽管非触发的情况下的击穿仅由巴申曲线上的单个点确定，但是在触发的情况能够

确定大的电压范围 ΔU 或者压力范围 ΔP ，其中在触发后构成击穿。

可以调节参数使得用 $>0\text{Hz}$ 和 100kHz 之间的重复频率实施所述的方法。在 10kHz 的重复频率显示出良好的结果。

此外还可以这样地实施所述的方法：用通过可调节接通长度和可调节关断长度的运行间期运行，而与之相应地采用固定的重复频率。运行间期以接通开始而以关断终止。在运行间期中例如在部分区域中曝光墨滚（Waver）。为此曝光所需要的辐射按照上述的方法进行，但是却具有固定的重复频率。在运行间期后可以进行曝光装置和/或墨滚的调节，以在重新曝光同一墨滚或者另一个墨滚后用预定的重复频率重新地实施所述的方法。

本发明还涉及特别适用于实施上述的方法的装置，在保证高的寿命和良好的电极冷却可能性上进行改进。把触发电极的构成为壁保证了在温度决定的和等离子体决定的材料损耗情况下还有长的耐久性并且大面积良好地冷却，这又导致高的寿命。同时在第一开口的预定的间隔中安排触发电极确保可以借助于第一电极保证电场构成所要求的电场造型。

在上述的意义上这样地构成所述装置是有利的：把第一电极构成为空心电极，并且把触发电极构成为该空心电极的几何状态中的壁或者壁段。这样相应简化了电极结构。

如果把触发电极构成为平行于空心电极的，与其开口相对设置的后壁，就尤其促进电极构造的简化。这尤其能够达到关于电极的膛孔（Bohrungen）的对称轴的电极系统对称的构形。

优选地触发电极具有安排在所述对称轴上的通孔。从而可以避免在放电时出现的粒子辐射和与之相关的以不利的方式在触发电子电路中通过触发电极流入典型地数10安培的脉动的电流。

对于构成空心电极，这样地构成所述装置是有利的：盆形地构成触发电极，并且在与盆底垂直的盆轴与电极的对称轴同轴。

通过触发电极经由一个绝缘体与第一电极组装在一起构成简化结构。所述的绝缘体使得以第一电极为一方而触发电极为另一方保持不同的电位。

把上述的装置构形规定成第一电极具有与其开口同心的环形，它与所述绝缘体重迭并邻接在触发电极或者插入触发电极的环形凹陷中，分别地维持电位分隔的间距。以此方式可以避免绝缘体蒸发和短路。

本发明还涉及具有用于以工作在巴申曲线的左分支上的气体放电产生远紫外辐照和软X射线辐照的装置。通过这种装置可以在放电空间中出现电离。处在

电场中运动的离子落在触发电极上并且一般地有足够大的能量从电极的金属表面上击出二次电子。电位差使这些电子能够抵达阳极。因此在阳极和触发电极之间可以出现导电的隧道，不需要在电极的开口区域已经发生所希望的击穿。在此储能器的相当的部分可能通过触发电路放电，这会带来损坏该电路的风险。

此外可能会在以下方面出现问题，触发电极的电位因构成导电隧道而下降到阴极的电平，由此对阴极构成高电压。因此可能在阴极与触发电极之间出现不利的放电，它同样地对装置的完美的功能起干扰作用。

最后离子或粒子辐射可能导致由于其高能量使这种发射喷向至少阴极的部分。这导致不利的磨损，并且导致喷出的颗粒沉积在周围的表面上。

针对于此本发明的任务是构成带有上述特征的装置，达到高的寿命而不干扰其功能。

上述的任务通过所述装置得以解决。如果将触发电极安排在沿对称轴形成的粒子辐射以外，在该轴中加速的粒子或离子就不在落到触发电极上。由此至少显著地减少了上述的故障作用。这同样地适用于触发电极具有屏蔽时，所述的屏蔽阻止在触发电极和阳极之间建立导电隧道。

在所述装置中，在放电空间中有预定的气体压力和第一电极与第二电极，所述的两个电极各有一个位于同一对称轴上的开口，并且在电压上升的过程中在达到预定的起辉电压时具有处在其开口区域中的等离子体，所述的等离子体是要产生的辐射的源，其中在与第一电极相邻的空间中有触发电极用于通过触发进行等离子体的起辉，并且其中具有借助于所述第一电极和第二电极把储存的能量馈入进等离子体中的储能器，其特征在于，把触发电极安排在沿对称轴产生的粒子辐射之外，或者具有阻止后者的屏蔽。

所述装置的一个有利的提高在于，把触发电极沿电极对称轴安排并且向着开口的正面至少在形成粒子辐射的区域内具有作为屏蔽的绝缘体。把触发电极沿对称轴安排可以使得较可靠地使电力线在放电空间中产生均匀影响。绝缘体对触发电极提供了所希望的保护，而不会明显地放电空间中的电力线畸变。

把所述的绝缘体敷设在触发电极的正面是有利的。在这种情况下用最小的材料耗费充分地保护触发电极。

还可以把所述装置构成得绝缘体构成为可以装进触发电极的正面中的体。在此情况下可以用通常的机加工方法把触发电极与绝缘体组装在一起。

所述装置的一个有利发展的特征在于，所述的绝缘体有一个带有调准到粒子辐射截面的凹陷。在此情况下粒子辐射落在凹陷的底上。因此出现的喷射产物完

全地沉积在所述凹陷的内壁上，从而极少干扰安排的其余的表面。

如果圆锥性汇聚构成绝缘体的凹陷，就把离子发射的能量分布在较大的表面上，并且从而避免局部的加热。相应地较少地构成喷射产物。

另外一种可能性是，把所述装置构成得使把触发电极至少对与第一电极交界的空间完全地绝缘。这样的装置的触发电极的制造可以通过完全绝缘或者覆层有利地加以影响。还消除了在触发电极的表面上绝缘和不绝缘的金属表面之间的过渡区中构成场或放电时的不均匀性。

对完全绝缘的触发电极可能不利之处在于，在某种放电条件下电荷聚集在绝缘的表面上，可能会起到遮蔽触发电位的作用。为了避免这种作用可以把装置构成得使触发电极的屏蔽有去除表面电荷却抑制第二电极与触发电极影响放电的电流的剩余导电性。在这种消除表面电荷的屏蔽的情况下，把触发电极完全绝缘也是有利的，以避免附加的漏电途径。

如果触发电极不应当处于对称轴上，优选地把所述装置构成得使触发电极构成为围绕对称轴空心圆柱。

尤其是可以把所述的装置构成得使空心圆柱的触发电极有一个与两个电极相背离的底，所述的底用绝缘体构成，或者是具有电极之一电位的金属底，而且所述的底对触发电极绝缘。所述的绝缘体可以承担上述的绝缘体的作用，特别是在对可能发生的粒子辐射方面。如果所述的底是金属的底，可以对它施加阳极电位，从而因为等电位的关系而不出现导电隧道。也可以对所述金属底施加阴极电位，以吸收出现的载流子。

有利地把所述装置构成得，触发电极是环形片或者至少相对电极的对称轴横向嵌入第一电极中的电极杆。用环形片或者电极杆可以影响放电空间中的电场或者与电极交界的空间中的电场，以影响装置的放电性能。为了达到上述的目的，把触发电极绝缘地嵌入在第一电极中。

所述的装置在其工作过程中发出大量的热。因此把所述装置设计成用耐热的绝缘材料制造是适宜的。

由于上述的发热所述屏蔽与触发电极良好导热地连接以导出热量也是重要的。

为了拦截在对称轴的区域达到屏蔽上的载流子的大部分，把所述的装置构成得使屏蔽具有至少与开口的直径相当的直径。

下面借助于附图说明本发明。在附图中：

图1、电极系统的示意图，

图 2、图 3 图解地示出脉冲运行中等离子体起辉过程的电极系统的电极的电极特性曲线，

图 4、图 5 示出不同设计的电极结构，

图 6、电极系统的示意图，与图 1 类似，

图 7、大致示出电极系统的起辉电压与放电空间中的压力的依从关系，而

图 8 至图 18 是具有不同结构的触发装置的电极系统的示意图。

图 1 示意地示出安排在放电空间 10 中的电极系统的构成。放电空间 10 充以预定压力的气体并且可以由适当设计的电极系统的电极本身构成。气体的压力是可以调节的。调节放电空间 10 的气体压力所需要的装备和未在图中示出的为此确定的电极系统的构成。

有两个电极第一电极 11、第二电极 12。第二电极 12 构成为带有中心开口 15 的阳极，所述的开口 15 从电极中间空间 22 起向外圆锥形地扩展。

第一电极 11 构成为阴极，并且是带有中空空间 23 的空心阴极，所述的中空空间 23 通过阴极的开口 14 连接在电极的中间空间 22 上。开口 14 和 15 对齐并且构成电极系统的对称轴 13。第一电极 11、第二电极 12 相互绝缘。起绝缘作用的绝缘体 29 确定电极间隔。

由于上述实施例所述电极系统在施加例如几十千伏的高压时能够构成电力线，所述的电力线在任何情况下都在电极中间空间 22 中直线地平行于对称轴 13 走行。如果把电压从预定的低值开始以脉冲方式升高，就出现图 2、3 所示的充电斜坡或者说电压上升 16。发生由于场强特性而集中在电极中间空间的电离过程。为此相互协调电压上升 16 和气体压力使得由于电离在巴申曲线的左分支上出现气体放电，其中不通过单个的短时间电子雪崩构成等离子体隧道或者其等离子体，而是以多级方式通过二次电离过程构成。因此等离子体分布在起始阶段就已经在较大的程度上是圆柱形对称的，如图 1 中的等离子体示意图所示。形成的等离子体 17 是要产生的辐射 17' 的源。

显然只有在达到起辉电压 U_z 时才能起辉等离子体 17。在本发明中现在争取引起出现起辉延迟 18。因此在起辉时间点 t_z 虽然有起辉电压但相应地被延迟。起辉延迟的大小通过控制气体压力调节。起辉延迟的大小在典型的时间上是几个微秒到几个毫秒的范围。所述的起辉延迟导致建立导电等离子体的延长。由此可以达到改善等离子体 17 的圆柱形对称。

在起辉延迟以后构成的等离子体可以称为起始等离子体。它可以用于从储能器向自击穿运行中馈入能量。图 1 中示出作为储能器的电容器组 21，所述的电

容器组在达到预定的起辉电压和延迟后放电，从而可以向等离子体中馈入两位数的千安培范围的电流脉冲。因此构成的磁场洛伦兹力约束等离子体，从而出现高的光密度，尤其是构成远紫外辐照和软 X 射线辐照，所述的辐射特别地具有 EUV 光刻所需要的波长。

代替通过气体压力对起辉延迟 18 施加影响还可以另外通过触发电极 19 施加影响。用触发电极 19 可以达到，尽管达到预定的起辉电压 U_z ，还不发生引发放电的第一电极 11、第二电极 12 之间的击穿。在图 3 中示出可以使用图 4、5 示出的触发电极 19 达到的触发延迟 20。该延迟添加在起辉延迟 18 上。因此通过触发延迟 20 来影响对总延迟是特别有利的，因为可以利用测量技术达到准确的起辉时间点 t_z 。不论在自击穿的气体放电运行还是在电极系统与电容器组之间使用开关元件的情况下这都是适用的。开关元件使得能够在电极系统连接高于自击穿运行所需要的起辉电压 U_z 的电压。在最后所述情况中可以用较高的气体压力工作，这可以达到较高的发射辐射强度。

测量起辉时间点适当的，特别是在充电装置可以在电极系统上加以高于预定的起辉电压 U_z 的电压时。可以采集加在电极系统上的电压，也就是说采集电压上升 16 的过程，例如通过采集加在第一电极 11、第二电极 12 上的电压的时间变化。实施一种 dU/dt 测量。还可以进行 dI/dt 测量，这就是采集放电电流的时间变化。在达到起辉时间点 t_z 时电压和电流突然发生改变。在此可以例如借助于积分器以模拟方式或者借助于计数器测量以数字方式达到预定的起辉电压 U_z 与起辉时间点之间的时间。把该时间作为测量量输送到控制器，所述的控制器以此在稳定起辉延迟的意义上影响气体压力。在这也适用于采用触发延迟 20 的情况。

测量例如可以用起辉电压积分器进行，所述的起辉电压积分器承担串联测量高压或加在电极系统或电容器组上的电压处理。在此起辉电压积分器积分加在第一电极 11、第二电极 12 上的被分压的高压并且通过采样保持寄存其终末值到下一个充电过程。积分过程以充电过程开始，也就是以加在第一电极 11、第二电极 12 上的电压的上升开动，并且持续到通过定时器确定的持续时间。所述的持续时间一般地比充电过程本身长，从而可以得出所希望的关于起辉延迟大小的信息。附加地可以使用非线性的元件，譬如开方器，以改善传输特性。由此得到关于延迟的信息，以及关于起辉电压的信息，尽管是用同一个测量信号。与测定起辉电压的峰值检测器相反，所述的方法对例如由高压发生器引起的干扰尖峰完全不敏感。不需要识别起辉时间点的电子电路。

如果不用触发电极实施此方法，起辉时间点 t_z 可以只由气体压力的高度确

定。在用触发电极的方法中可以利用上述的触发延迟，按需要与选择适当的气体压力相结合确定起辉时间点。在此通过分析电子电路确定电容器组 21 的充电状态，例如借助于上述的起辉电压积分器。借助于触发电极的触发导致，尽管达到了起辉电压 U_z 还是不进行电容器组 21 放电引起的等离子体构成。只有在触发的情况下，也就是在预定的触发延迟 20 后发出触发脉冲的情况下才起辉。调节量在此也可以是气体压力，所述的气体压力例如可以通过电子的进气阀调节。如果在预定的读出时间后达不到保持电压，就必须降低气体压力。在另外情况下如果触发脉冲后没有起辉就必须提高气体压力。在此用触发电极的方法中控制量归根结底是起辉延迟，也就是发出触发脉冲与电压跌落之间的时间。调节压力值使得起辉延迟在一定的容差内保持恒定。

在图 3 中说明的触发延迟 20 是关于在此举例说明的达到预定的起辉电压 U_z 的时间点的。原则上也可以事先选择每个可以用适当的电子电路确定的时间点，例如充电过程的开始或者达到预定的充电电压值。

在图 4、5 中举例地示出触发电极的安排。触发电极 19 与阴极第一电极 11 相邻，但是是在阴极的背离阳极第二电极 12 的一侧。在此触发电极与阴极通过绝缘体 26 组装在一起，其中把第一电极 11、绝缘体 26 和触发电极 19 装配在一起的装置没有在图中示出。

触发电极的所有实施形式共同之处在于它们相对于对称轴 13 对称布置。所有的实施形式具有与对称轴 13 对齐的轴。在此把触发电极 19 构成为壁或者壁段。触发电极与第一电极 11 的开口 14 有预定的距离。从而可以同时达到，把第一电极 11 构成为空心电极，例如构成为空心阴极。这样触发电极 19 实质上构成阴极的后壁。这样的后壁在图 4 的情况下是壁 29，而在图 5 的情况下是盆形触发电极 19 的盆底 19'。

盆形地构成触发电极 19 示出，它不仅可以是第一电极 11 的后壁，而且也可以是该空心电极的环绕的空间 23 的侧壁。还可以理解，触发电极 19 完全是第一电极 11 的侧壁段，此外它处于电极电位或阴极电位。

图 4 示出，触发电极可以设有通孔 24，它起通过粒子辐射的作用，所述的粒子辐射按照电极的构成首先是在对称轴的区域中形成。用这样的通孔可以把触发电极的负荷保持在可接受的范围内。粒子辐射由电极系统的处于阴极电位的部分接受。在图 5 的情况下也可以采用通孔 24。

在图 4 中示出通孔 24 平行于膛孔 24'。所述的膛孔 24' 可以起气体膛孔的作用，也就是在进气的意义上用于通过气体。在这样的气压流的意义上或者在进气

的意义上也可以利用通孔 24。如果电极系统本身构成放电空间这两者都是特别有利的。

在突入到空间 23 中气体放电的情况下用要考虑金属蒸汽对绝缘体 26 的蒸镀。这样的蒸镀会导致绝缘体 26 短路，为了把它对到来的金属蒸汽进行屏蔽，第一电极 11 设有环形圈 27。所述的环形圈 27 与开口 14 同心并且与环面形的绝缘体重迭。此外触发电极 19 设有环形的凹陷 28。将环形圈 27 装入环形凹陷 28 中。由此维持电位分隔的距离，由于在阴极 11 与触发电极 19 之间一般地很小的电位只需较小电位分隔距离。

图 4、5 的触发电极也可以与空心的阳极连接。在此种情况下等离子体 17 的光必须从第一电极 11 或者从空心的阴极输出。然而较有利的是光从阳极方输出，如图 1 所示，而用负的高压驱动阴极，因为这样可以较好地使电极系统的向着观察者的部分中避免喷射和高压放电发出的碎屑。

在发出触发脉冲前从而在触发低欧姆的等离子体放电前选择触发电极 19 的电位，使得从空心电极或空心阴极和腔孔区域中的电极中间空间中抽出载流子。这例如通过在触发电极 19 上对阴极电位施加通常为 100V 的正电位进行。然后发出触发脉冲，其中触发电极的电位下降到阴极电位，或者其中在触发电极 19 上加负的电位。改变触发电极 19 的电位的典型的时间常数在此有利地在数纳秒至数百纳秒的范围。

为了达到高的光利用率，追求把放电的重复频率保持得尽可能地高，也就是在多个 kHz 的范围，并且优选地在 10kHz 以上。在此所要求的重复频率或者说等离子体的重组时间达到极限。该极限取决于用之运行所述方法的气体类型。为了在 EUV 范围内获得高辐射率人们特别地考虑使用氙。在采用纯氙工作时，在 1 焦耳至 10 焦耳的脉冲能量范围内自击穿很少达到约 1kHz 以上的重复频率。因此追求实行加速重复频率的措施。

一种可能性是采用混合气体。可以通过混合气体达到在电容器组放电后较快地重组等离子体，例如混合空气、合成气体、氮气、氧气或者卤素。

此外可以通过适当的气流支持从开口 14、15 的区域输送出带电的粒子。在此有利的是用通过阴极和/或通过电极中间空间的进气气流和用通过阳极，即图 1 中向着观察者的电极，抽气的气流。用这样的气流可以在阳极区域或者空心电极区域产生压力下降。用这样的压力梯度可以延长等离子体 17，以由此达到较高的在抵达使用者的观察路径中的 EUV 辐射传送。

其它的提高重复频率的措施可以结合电容器组 21 进行。在此可以从根据条件

把低欧姆等离子体持续到数百微秒着手。现在可以比低欧姆等离子体的建立时间相应较快地对电容器组充电。因此可以放弃完全重组等离子体。此外还甚至可以在两个放电之间在开口 14、15 之间点燃高欧姆等离子体，这可以导致高电流放电的起始等离子体的较好的条件。

图 6 示意地示出安排在放电空间 10 中的电极系统。放电空间 10 充以预定气体压力的气体，并且可以由适当地构成的电极系统的电极本身构成。气体的压力是可以调节的。但是在图中没有示出已有的放电空间 10 的调节气体压力所需要的装备和为此确定的电极系统。

有第一电极 11 和第二电极 12。第二电极 12 构成为带有中心开口 15 的阳极，所述的开口 15 从电极中间空间 22 起向外圆锥形地扩展。

第一电极 11 构成为阴极，并且是带有中空空间 23 的空心阴极，所述的中空空间 23 通过阴极的开口 14 连接在电极的中间空间 22 上。开口 14 和 15 对齐并且构成电极系统的对称轴 13。第一电极 11、第二电极 12 相互绝缘。起绝缘作用的绝缘体 29 确定电极间隔。

由于上述的构形，所述电极系统在连接例如数十千伏的高压时能够构成电力线，所述的电力线在任何情况下都在电极中间空间 22 中直线地平行于对称轴 13。如果把电压从预定的低值开始以脉冲方式上升，就出现充电斜坡或者说电压上升。发生由于场强特性而集中在电极中间空间的电离过程。为此相互协调电压上升和气体压力使得由于电离出现在巴申曲线的左分支上的气体放电，在此不通过单个的短时间电子雪崩构成等离子体隧道或者其等离子体，而是多级地通过二次电离过程构成。因此等离子体分布在起始阶段就已经在较大的程度上是圆柱形对称的，如图 6 中的等离子体示意图所示。形成的等离子体 17 是要产生的放射 17' 的源，即一种电子放射的源。

构成的等离子体可以称为起始等离子体。它可以用将能量从储能器向自击穿运行中馈入。图 6 中示出作为储能器的电容器组 21，所述的电容器组在达到预定的起辉电压和延迟后放电，从而可以向等离子体中馈入两位数字千安培范围的电流脉冲。因此构成的磁场洛伦兹力约束等离子体，从而出现高的光密度，尤其是构成远紫外辐照和软 X 射线辐照，所述的辐射特别地具有 EUV 光刻所需要的波长。

图 6 中示出的电极系统在第一电极 11 的电极区域中设有触发装置。为此第一电极 11 沿电极对称轴 13 有触发电极 19，所述的触发电极 19 由绝缘体 26 保持在第一电极 11 的底 30 中。绝缘体 26 的起作用是，可以为触发电极 19 施加与第一

电极 11 不同的电位。在此触发电极 19 具有关于第一电极 11 的并联于开关 32 测量到的寄生电容 31, 用所述的开关 32 可以把所述触发电极 19、第一电极 11 带到相同的电位。

一般地, 第二电极 12 构成为阳极并且如图所示地接地。相反阴极处在负电位 $-V$ 而触发电极 19 处于电位 $-V+V_t$ 。触发电极的电位在触发过程的开始前比第一电极 11 高些。为了触发的目的, 通过接通开关 32 发出触发脉冲, 如此把触发电极的电位降低到第一电极 11 的电位。在此触发电极 19 的电位改变的典型时间常数在几个纳秒到几百纳秒的范围是有利的。

在图 6 中示意地示出的电极安排通常为, 在第一电极 11、第二电极 12 之间有 1 至 10 毫米的距离。开口 14、15 的最小隧道典型地在 1 至 10 毫米。在构成为空心阴极的第一电极 11 中的空间 23 的容量典型地在 1 至 10 立方厘米。气体压力在 0.01 至 1 毫巴之间。电极电压一般在 3 至 30kV, 而触发电极 19 与第一电极 11 之间的电位差在 50 伏特至 1000 伏特之间。

原则上起辉电压, 也就是在第一电极 11、第二电极 12 之间发生击穿的电压, 和相应于图 7 中所示曲线的压力是相互依从的。对此在图 7 中示出巴申曲线的左分支。

图 7 的左曲线适用于非触发的装置的运行。在此 $V=0$ 的曲线上只有单个的击穿点, 所述的击穿点例如在 7Pa 的气体压力下约 8kV。空间 23 中的其它压力引起相应地有其它的起辉电压。然而触发电压, 也就是触发电极 19 与第一电极 11 之间的电位差也可以偏离于 0。在此情况下 V_t 不等于 0 而是例如等于 V_1 或者 V_2 。因此可以通过对触发电压 V_t 的适当测量达到用不同的参数运行所述装置。对于第一电极 11、第二电极 12 上的预定的电压得到图 7 所示的压力变化的可能性。以类似的方式也是对预定的压力有图 2 所示的电压变化。然而相应地也可以用触发信号准确地确定击穿的时间点, 而不由此出现在其中发生上述的困难的工作范围。尤其是可以按所要求应用的需要选择重复频率, 例如在 10 至 20kHz 的范围。还可以是针对预先固定的重复频率的工作间期, 由此可以在工作间期之间节省产生所希望的辐射所需要的能量。可以显著地改善工作点的稳定性。

触发通过图 6 中所示的电路达到。对电容器组 21 充电, 其中第一电极 11 接负电压而第二电极 12 接地。第一电极 11、第二电极 12 的连接都通过低电感性电路与电容器组 21 进行连接。高欧姆电路把触发电极 19 与第一电极 11 连接, 在此所述的连接可以通过开关 32 断开。在断开的情况下, 触发电极 19 对第一电极 11 有电位差 V_t 。对于这种情况, 调节第一电极 11、第二电极 12 上的电压以及电极

中间空间或第一电极 11 的空间 23 的气体压力,使得在接入触发电压 V_t 时不能够进行等离子体 17 的起辉。相反如果闭合开关 32,就消除了电位差 V_t 并且触发电极 19 得到第一电极 11 的电位,其中,保护电阻 33 保护触发电压的电压源。

在断开开关 32 时,却有可能在图 6 的触发电极 19 与起阳极作用的电极 12 之间用相应的粒子辐射构成导电隧道,该导电隧道可以排放电容器组 21 的能量并且还可能导致损坏触发电路。因此在图 8 至 18 示出示意地示出的主电极 11、12 的系统中以不同方式构成的触发电极,这些触发电极可以对装置的完善的功能起作用。

图 8 至 18 示出与由第一电极 11、第二电极 12 以及其开口 14、15 构成的对称轴 13 以同轴方式安排的触发电极 19。在此图 8 至 13 的触发电极 19 构成得它们把一个正面 34 向着开口 14。然而至少该正面 34 分别设有相应不同构成的屏蔽 35。每个屏蔽 35 至少大到与开口 14、15 的直径相应。也就是屏蔽 35 在触发电极 19 附近粒子辐射构成的区域内。

在图 8 的情况下,把屏蔽 35 构成为敷设在触发电极 19 的正面 34 的层的形式绝缘体。在图 9 的情况下,同样将屏蔽 35 构成为绝缘体,然而却是构成为装入触发电极 19 的正面 34 中的体。所述体的截面例如是圆柱形,用于以常规的方式装进触发电极 19 的从正面 34 引入的腔孔中。在图 10 和图 11 中触发电极与图 9 中以相同方式构成。然而在其腔孔中却装入不同的屏蔽 35。图 10 的屏蔽 35 还是圆柱形的体,但是却有一个构成为盲孔的同轴凹陷 36。将该盲孔的直径调节到潜在的粒子辐射的直径。图 11 的屏蔽 35 构成背离开口 14、15 远去圆锥形渐细的凹陷 36。构成的粒子辐射击中在屏蔽的相对较大的面上,从而放射的能量分布在较大的表面上,这避免了局部发热。在图 10、11 两种情况下所述的凹陷都适用于吸收由于粒子辐射产生的碎屑产物,这些碎屑产物可以沉积在凹陷 36 的内壁上极少干扰此安排的其余的面。

图 12、13 的触发电极的特征在于,它们用屏蔽至少对与第一电极 11 交界的空间 23 完全地隔离开。所述的屏蔽 35 是一种覆层,所述的覆盖在触发电极 19 的较小的位置上露出其表面。因此可能会出现由这种露出决定的小的电场不均匀性。在一定的放电条件下却可能在屏蔽 35 的表面上聚集电荷,起遮蔽触发电压的作用。遮蔽触发电压会导致装置的功能故障。如果屏蔽 35 具有大到足以中和或者说减少建立的表面电荷的剩余导电性,就可以避免所述的遮蔽作用。这样的剩余导电性不能大到让第二电极 12 与触发电极 19 流过对电容器组 12 显著放电的电流。图 13 示出这样的具有适当的剩余导电性的屏蔽 35。

在所有上述的实施形式中尺度都可以在宽的限度内变化。从而触发电极 19 例如也可以实施为细的线，这适当地根据图 12、13 示出。

图 14 至 16 的触发电极 19 是空心圆柱形的。这种触发电极也是与对称轴 13 同轴地安排的。由于其空心的实施和其余的场构成，在对称轴 13 区域内构成的粒子辐射不抵达触发电极 19 而发生干扰或者破坏。图 14 中触发电极 19 由金属的底 37 封闭，所述的金属底处于地电位并且对空心圆柱形的触发电极 19 绝缘。在底 37 和第二电极 12 之间不能够构成粒子辐射，因为该电极作为阳极同样地处于地电位。

在图 16 中，底 38 被构成为绝缘体，从而对粒子辐射而言起如图 8 至 11 所述屏蔽的同样作用。图 16 中，空心圆柱形触发电极 19 的底 39 被实施为金属的电极，它与第一电极 11，即阴极导电地连接。沿对称轴的粒子辐射的载流子借助于该金属的接线 40 输送到第二电极 12。

图 17 和 18 的安排是图 16 的安排的变通。所有这些情况下处于对称轴 13 及空间 23 中的电荷粒子都输送到第一电极 11。在图 17 中触发电极 19 构成为环形片。所述的环形片对第一电极 11、第二电极 12 的对称轴 13 横向嵌入到第一电极 11 中。在图 17 中其上半部分和下半部分通过用虚线示出的导线 41 连接，因此具有相同的电位。触发电极 19 的安排相对于对称轴 13 是对称的。在图 18 的情况中却不再是这样了。此安排中，一直到导线 41，在侧面上是如图 17 的所示的安排。但是在图 18 中对称轴 13 却垂直于图示的平面，并且图 18 中示出同轴的并且相对于对称轴 13 横向安排的触发电极的两个相同构成的部分 19' 和 19''。部分 19'、19'' 表示电极杆。代替两个部分 19' 和 19'' 所述的电极也可以具有多个部分。

在触发电极 19 处使用的屏蔽 35 由耐热绝缘材料组成，例如 Al_2O_3 、石英或者碳化硅。所述为屏蔽 35 使用的材料都与触发电极 19 良好导热地连接。

此外可以看出触发电极 19 或者说其部分 19' 和 19'' 绝缘嵌入到第一电极 11 中。在图 8 至 18 中所示的绝缘 42 完成与图 6 的绝缘体相同的作用。所涉及的绝缘 42 相应地是耐热的。

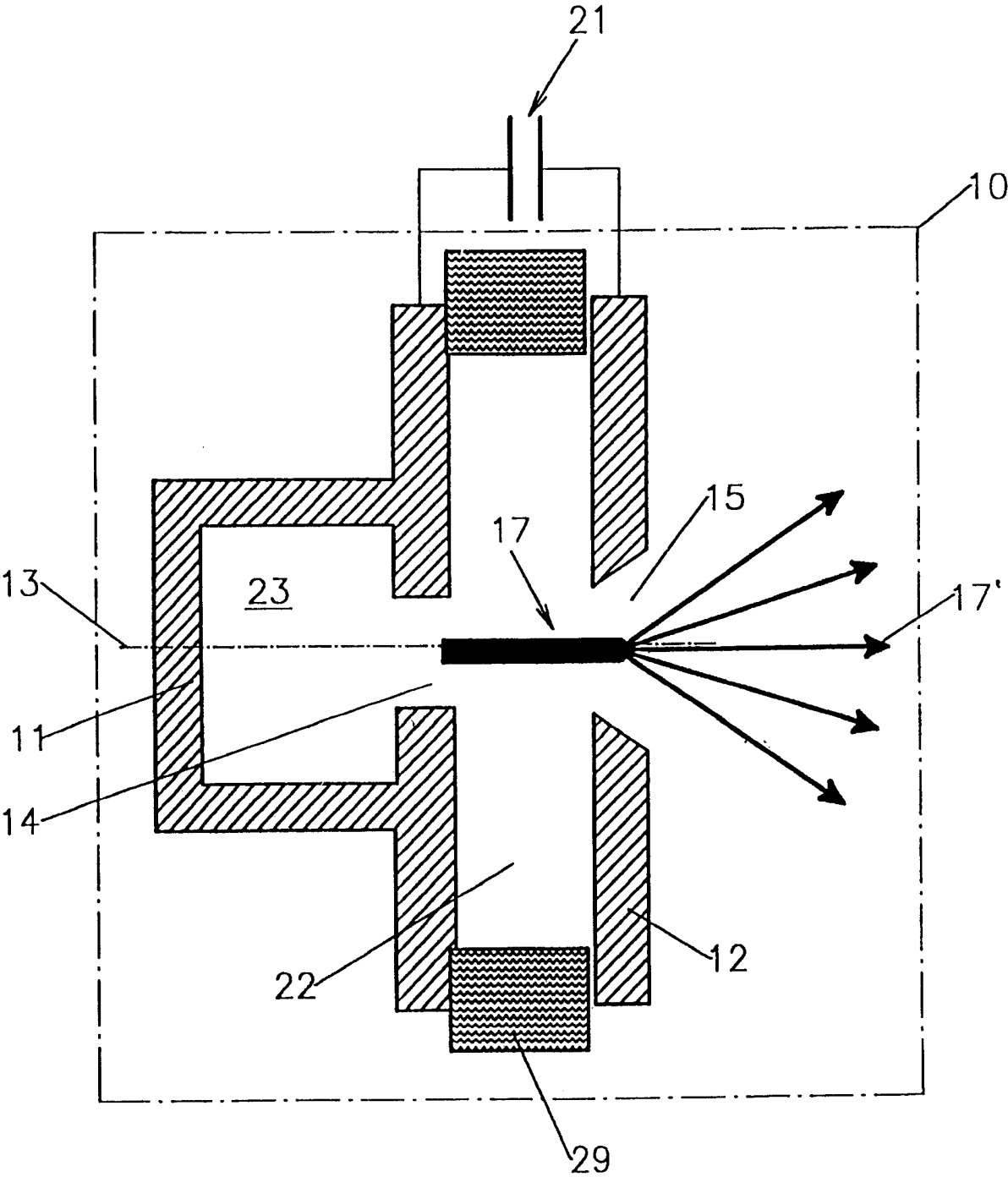


图 1

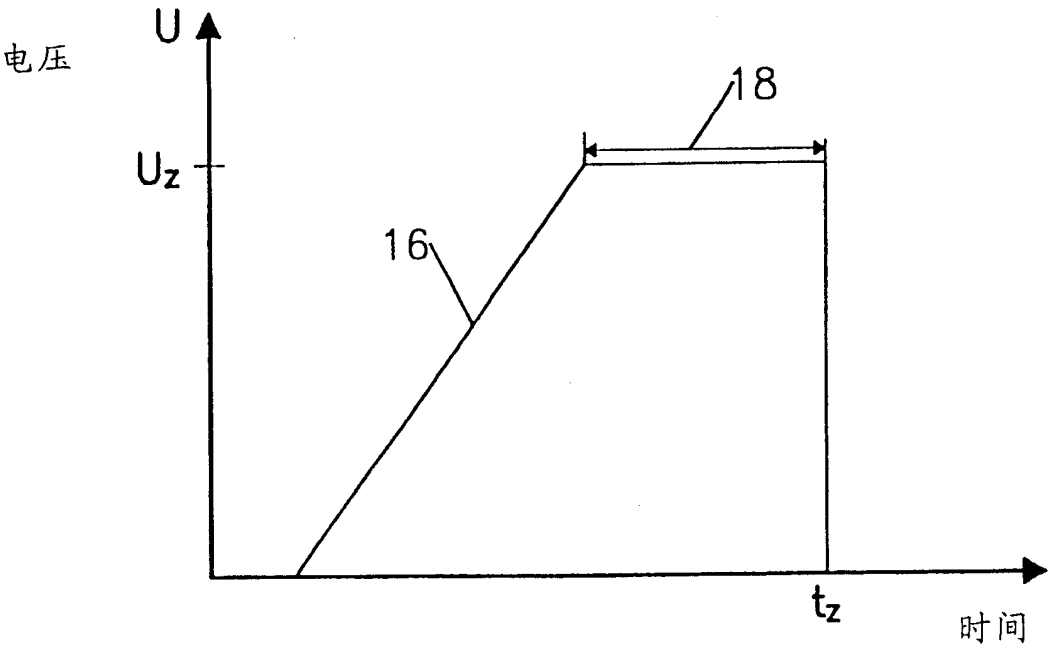


图 2

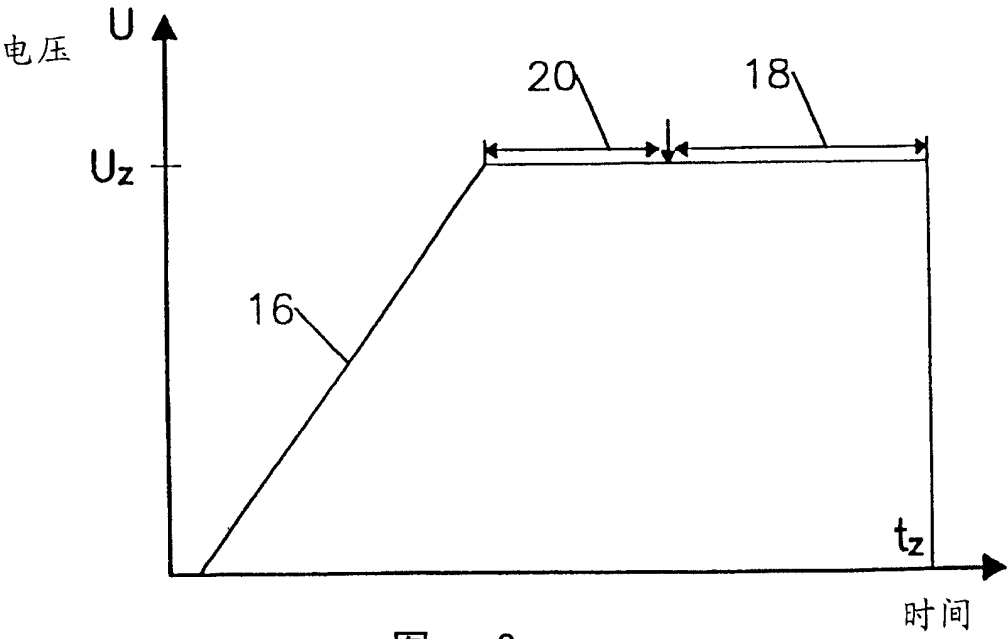


图 3

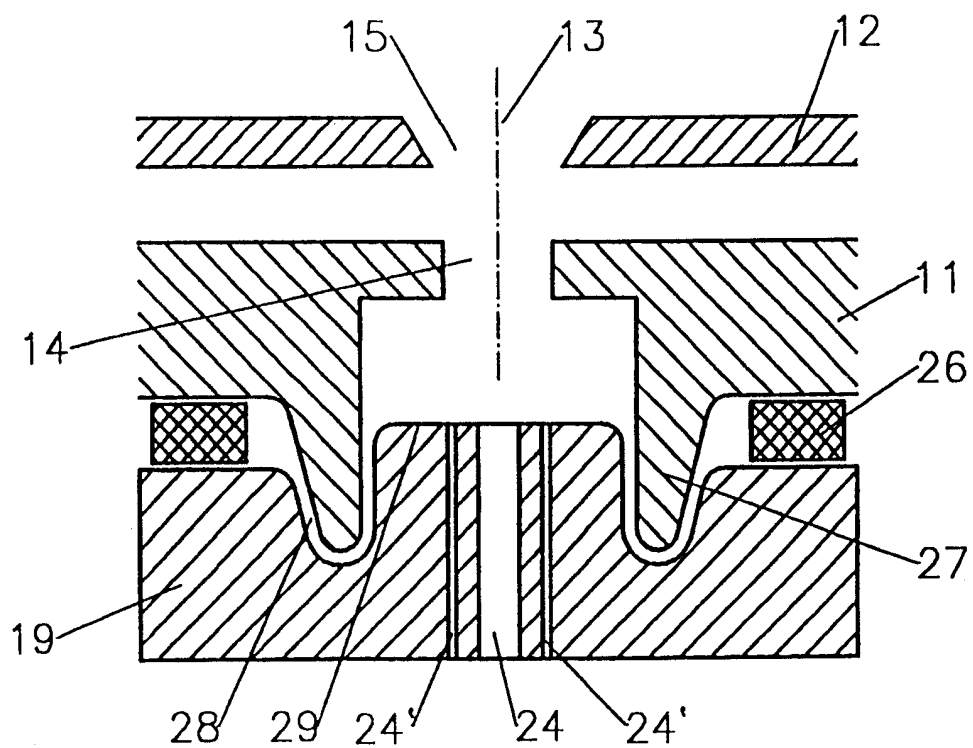


图 4

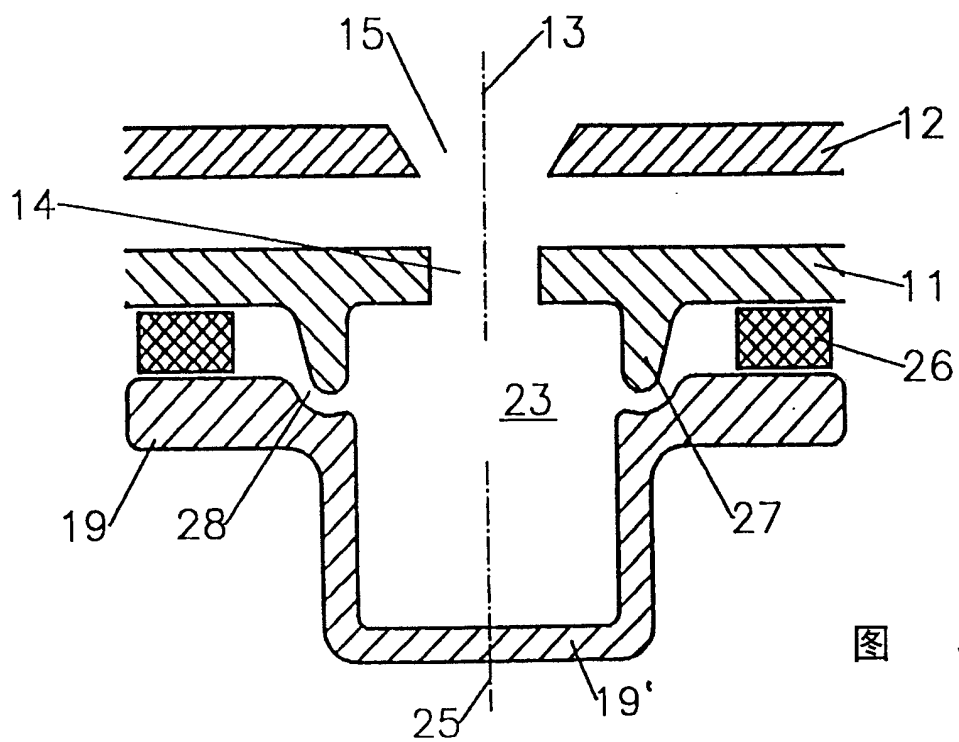


图 5

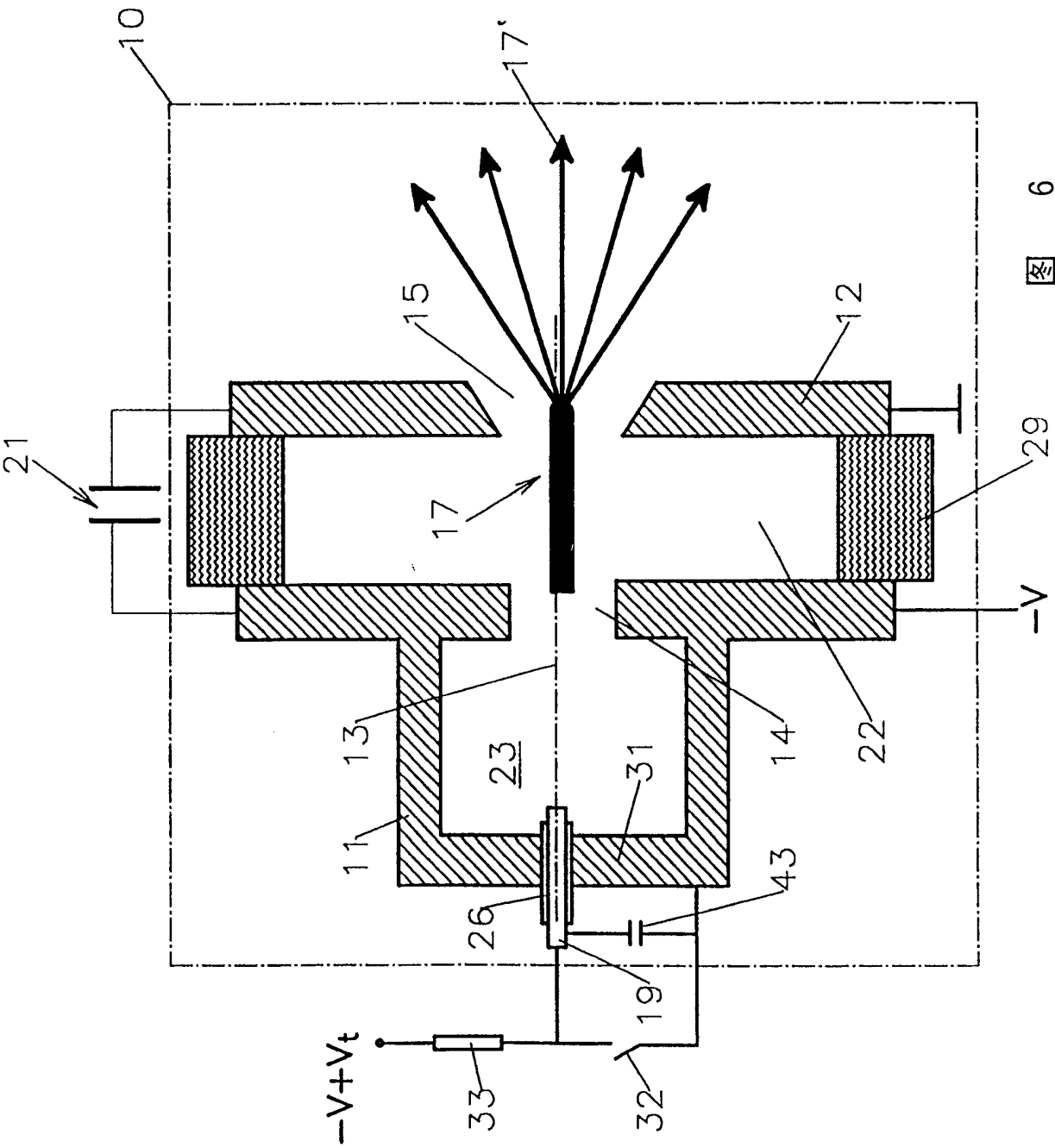


图 6

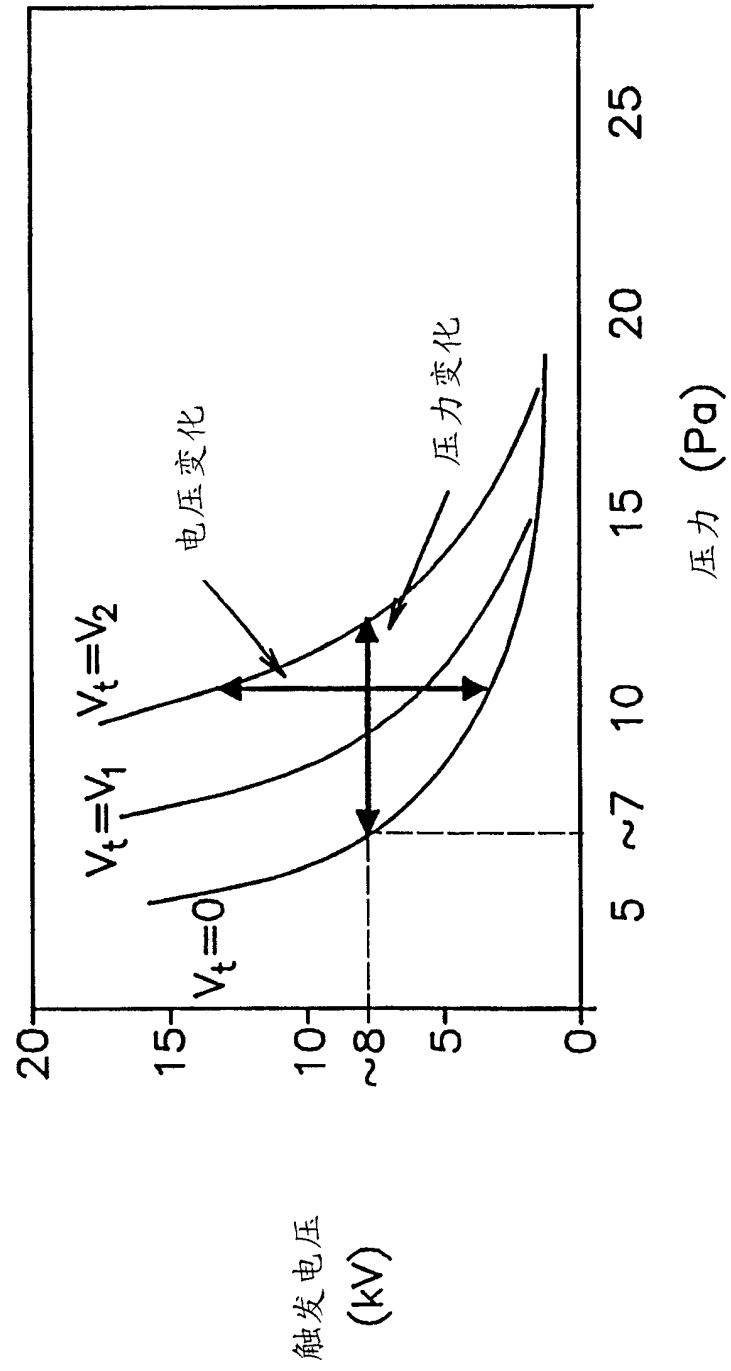


图 7

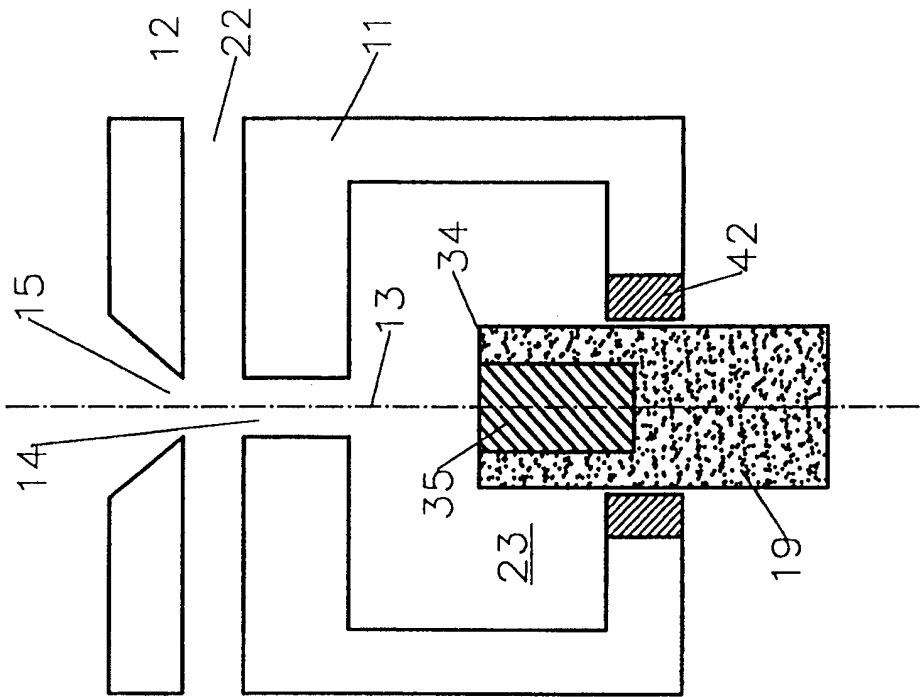


图 8

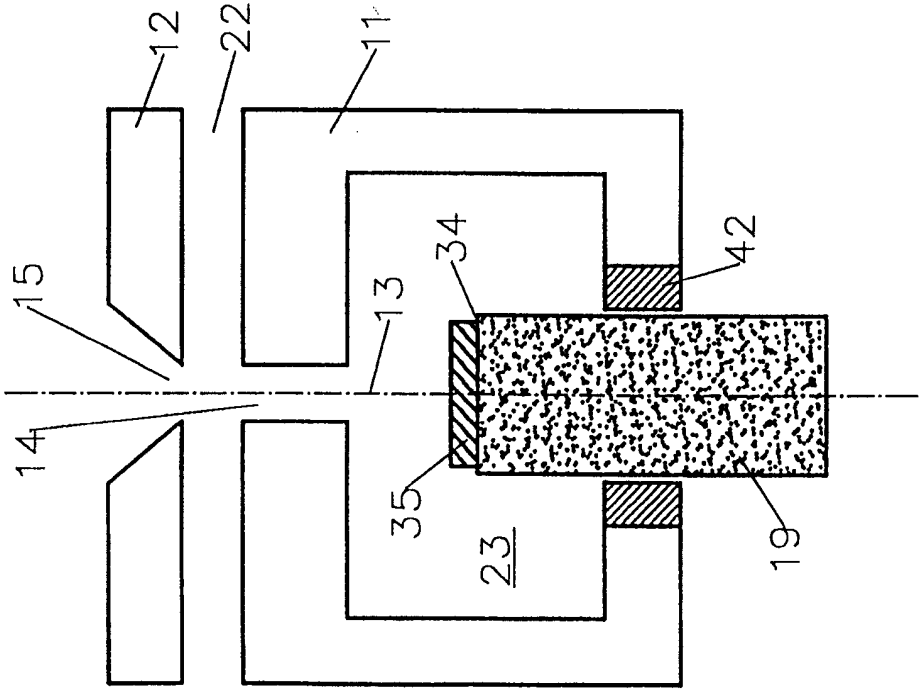


图 9

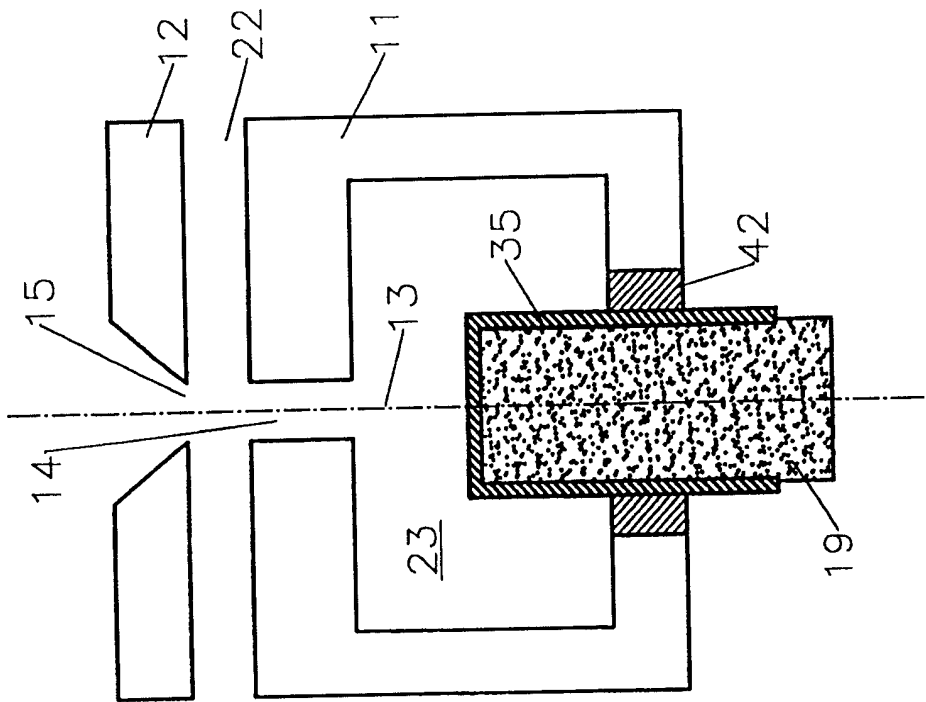


图 12

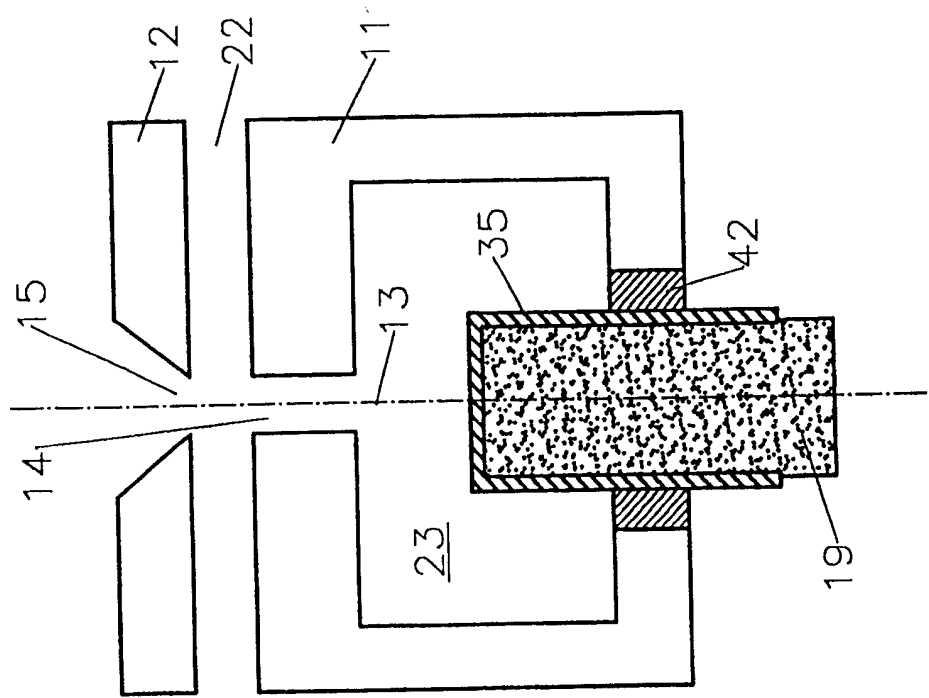


图 13

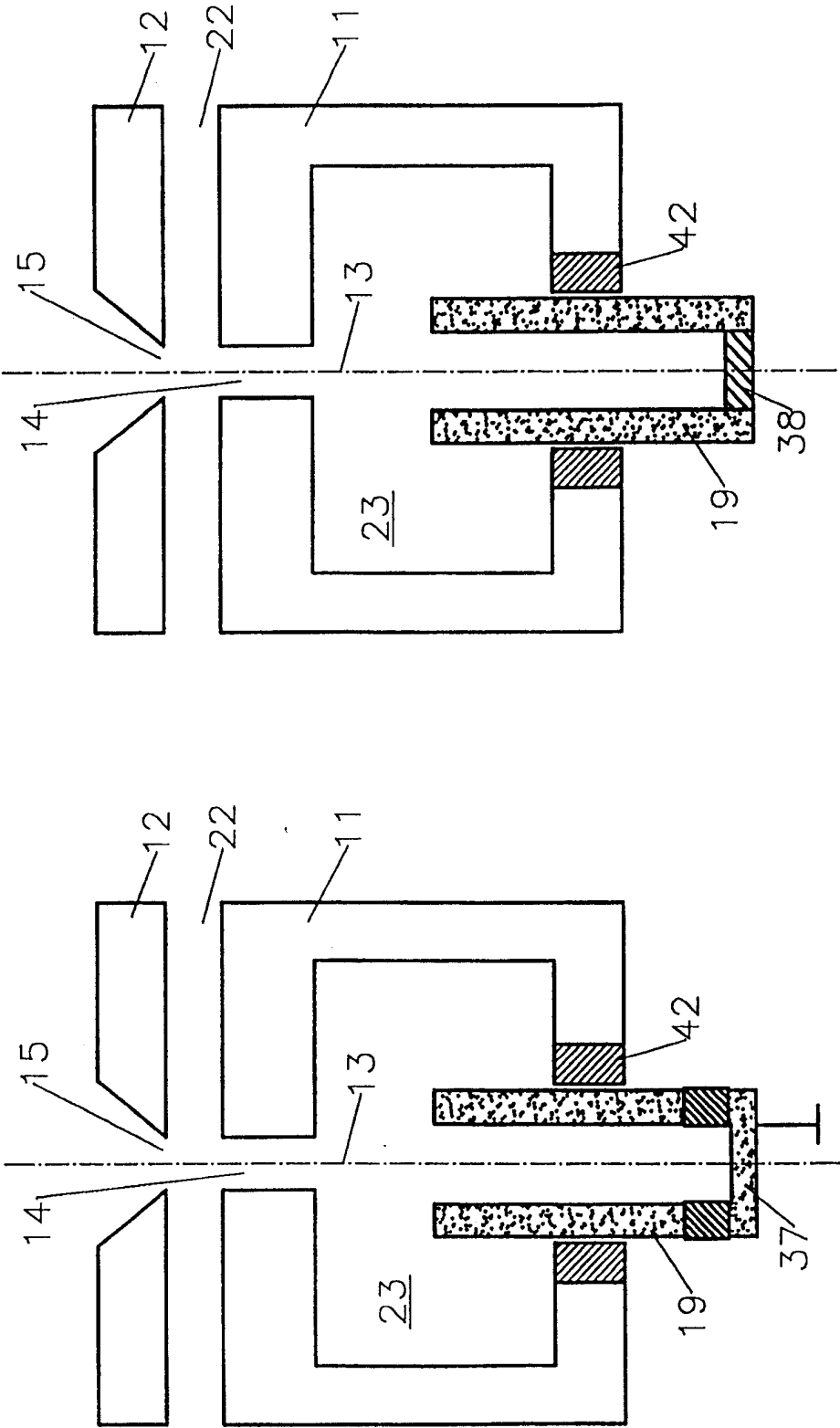


图 15

图 14

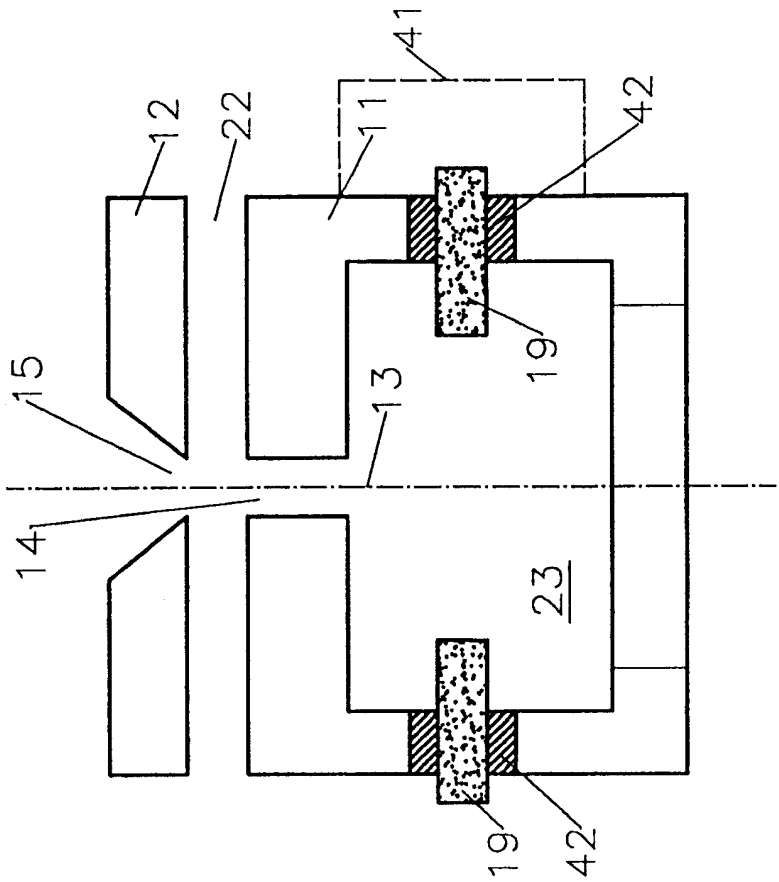


图 16

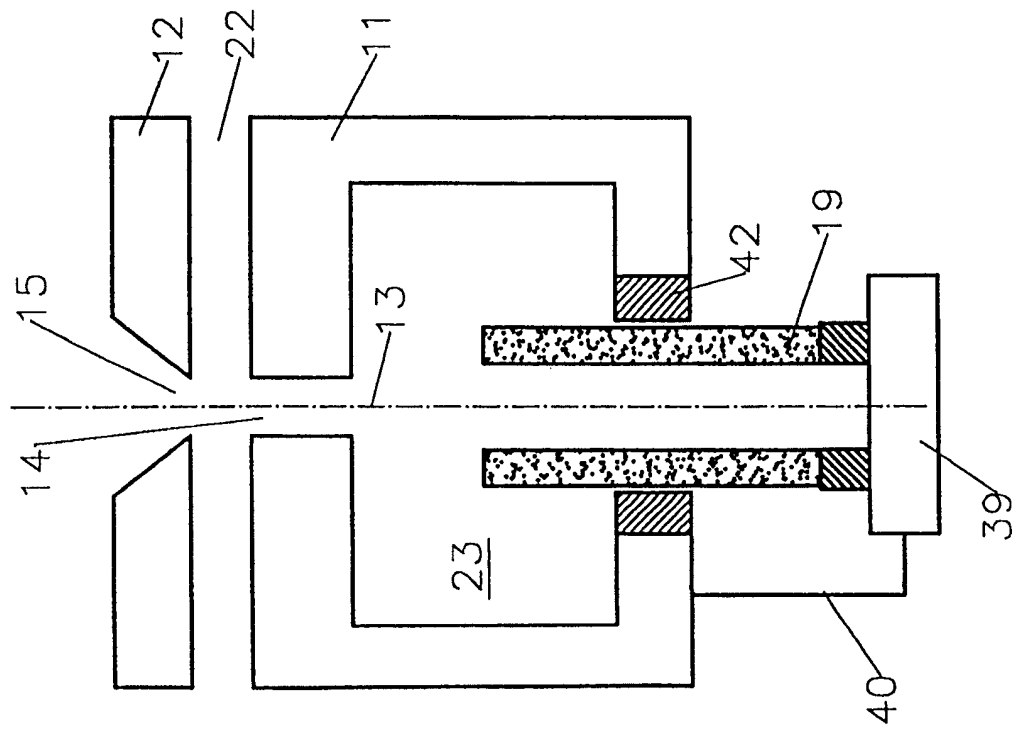


图 17

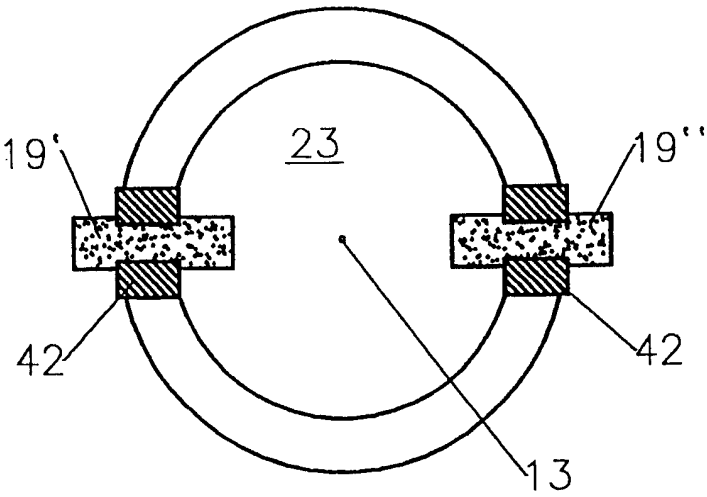


图 18