



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 96194313.0

[43]公开日 1998年7月1日

[11] 公开号 CN 1186565A

[22]申请日 96.5.31

[30]优先权

[32]95.5.31 [33]US[31]08 / 455,077

[32]95.5.31 [33]US[31]08 / 455,221

[86]国际申请 PCT / US96 / 08175 96.5.31

[87]国际公布 WO96 / 38848 英 96.12.5

[85]进入国家阶段日期 97.12.1

[71]申请人 电子能量系统公司

地址 美国马萨诸塞州

[72]发明人 D克林特·塞沃德 陈齐平

理查德J·特姆金

[74]专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

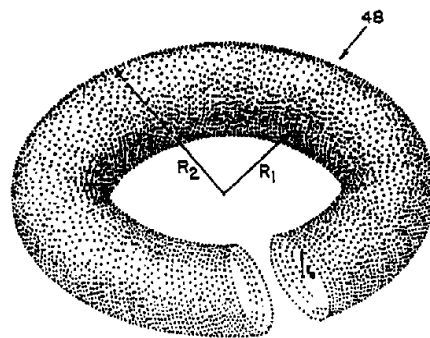
代理人 程伟

权利要求书 3 页 说明书 42.0 页 附图页数 2 页

[54]发明名称 能量储存装置

[57]摘要

在真空中使电子沿着的螺旋路径形成环流。该路径具有由环表面定义的空心的对称形状。该形状受磁场控制，并且能够将电子包容在其中。包容力 (containing force) 可以由外部的电磁场、真空中的离子、或轨道上的电子本身的相互作用提供。利用被容纳的电子储存能量以备以后恢复。





## 权利要求书

---

1. 一种能量储存装置，包括：  
    储能圈闭层；  
    在储能圈闭层内的轨道层中的大量的携带单一电荷的粒子；以及  
    相对轨道层定位的电荷中和层。
2. 根据权利要求1所述的装置，其中，所述粒子轨道定义一螺环。
3. 根据权利要求1所述的装置，其中，所述粒子是电子。
4. 根据权利要求1所述的装置，其中，所述轨道中的粒子被耦合  
成点阵。
5. 根据权利要求4所述的装置，其中，所述粒子温度基本上在绝对零度以上。
6. 根据权利要求1所述的装置，其中，所述粒子排列在许多轨道层上，并且每个轨道层中的粒子具有基本相同的能量。
7. 根据权利要求1所述的装置，其中，所述电荷中和层是相对粒子轨道对称排列的电荷存储器。
8. 根据权利要求1所述的装置，其中，所述电荷中和层是在金属上形成的镜象电荷。
9. 根据权利要求1所述的装置，其中，所述电荷中和层是离子化的气体。



10. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中, 所述电荷中和层在空间上与轨道层分开。
11. 根据权利要求 1 所述的装置, 其中, 进一步包括给粒子添加能量的能量补给器。
12. 根据权利要求 11 所述的装置, 其中, 所述能量补给器包括微波发生器。
13. 一种单一电荷的等离子体, 该等离子体具有大量的单个的荷电粒子, 并且这些荷电粒子耦合成封闭的表面。
14. 根据权利要求 13 所述的等离子体, 其中粒子的总电荷被电荷中和层中和。
15. 一种单一电荷等离子体, 该等离子体具有等离子体频率( $\omega_p$ )和回旋频率( $\Omega_0$ ), 并且比值 $(\omega_p/\Omega_0)^2$ 大于 1。
16. 一种储能方法, 该方法包括下述步骤:
  - 提供储能圈闭层;
  - 在储能圈闭层内形成大量的单个荷电粒子;
  - 将粒子排列在轨道层中; 以及
  - 将电荷中和层相对轨道层定位。
17. 根据权利要求 16 所述的方法, 其中进一步包括提供给粒子添加能量的能量补给器。
18. 根据权利要求 17 所述的方法, 其中所述能量补给器包括微波发生器。



19. 根据权利要求 16 所述的方法,其中所述排列粒子的步骤包括将粒子排列到许多轨道层中,并且每个轨道层中的粒子具有基本相同的能量。
20. 根据权利要求 16 所述的方法,其中进一步包括耦合步骤,在该步骤中轨道层中的粒子耦合起来,形成封闭表面。

# 说明书

## 能量储存装置

### 本发明的相关技术

本专利申请是美国专利申请（申请号 U.S. 08/455,221（1995年5月31日提交）和 U.S. 08/455,071（1995年5月31日提交）的部分继续申请，而那两份专利申请又是美国专利申请（申请号 U.S. 07/996,752（1992年10月24日提交））的部分继续申请；这些文献的全部内容通过在此引述并入本发明。

### 本发明的背景技术

现在，等离子体很难包容和利用。一项著名的用途是在聚变反应堆中利用带相反的电荷的等离子体，在聚变反应堆中携带双重电荷的等离子体被提升到高能级并且被包容在强磁场之内。这种双重电荷的等离子体没有固定的形状，借助磁场将它作为就地保持的环形密集区包容起来，并且在环形区内等离子体包括带不同电荷的粒子，这些粒子的路径（即轨道）是不固定的，即未明确定义的。

以前，已经研究过具有单一电荷符号的等离子体（例如参阅“Non-neutral Plasma Physics”，AIP Conference Proceedings 175，Am. Inst. Physics，New York (1988)，由 C.W.Roberson 和 C.F.Driscoll 编辑）。这类等离子体有若干个不同的名字，如“未中和的等离子体”或“单一成分的等离子体”。在未中和的等离子体的研究当中，研究工作是非常稳定的等离子体区中进行，在该区域中每个粒子的速度能量低并且密度低于适中的等离子体密度。

未中和的等离子体研究的主要动力是实现等离子体的长期禁锢和研究象波动现象那样的性能。为了实现长期禁锢，这些等离子体被储存在各种阱（如 Penning 阱）中，并且被冷却到超低温温度。以使等离子体的自由能最小。每个粒子的可利用能量通常是一个电子伏特左右或更少。被研究的典型密度对于大约 700 高斯的常规磁场大约是  $10^{13} \text{ m}^{-3}$ 、对于强磁场（如 80 千高斯（8 特斯拉））可以高达  $4 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$ 。这些等离子体的等离子体频率与回旋频率的比值非常低。这些等离子体的密度比较低而且它的每个粒子存储的能量比较低，这表明单位体积存储的总能量非常低，其中单位体积存储的总能量是单位体积中的粒子数与每个粒子的能量的乘积。

未中和的等离子体的传统应用是在粒子加速器中，例如在回旋加速器中荷电粒子被提升到高能级并且被复合磁体包容。荷电粒子团的形状基本上是无定形的。荷电粒子的第三种用途是用于电子束。这些电子束对于焊接和沉积是有用的，但是本质上是透明的并且简单地呈现线素几何性质。

## 本发明概述

就本发明而论，单一电荷等离子体即携带单一电荷的等离子体的定义为携带同种电荷的带电粒子的集合。这就是说，携带单一电荷的等离子体（即大量的荷电粒子）可以全部带负电荷，或者全部带正电荷。

本发明为等离子体提供固定的而不是无定形的几何形状，并且在本发明中粒子按可定义的路径运动。在这样的形态下，单一电荷等离子体的可包容性和可控制性都远远大于无定形的等离子体。所以，单一电荷等离子体可以用明确而简单的受控的方式补充能量，或者从中提取能量，从而开辟新的储能可能性。



这个系统提供单一电荷等离子体生成器，该等离子体具有固定几何形状，即特殊的螺环。这个系统利用带电粒子束、单根导线、导体螺线管或其它方法产生环形磁场使等离子体呈环形。

单一电荷等离子体被定形成固定的稳定的几何形状，在该形状中荷电粒子的轨道是可定义的和可预测的。等离子体的几何形状将是环形、拉长的环形、8字形、或任何希望的形状。该环形将是空心环，并有在轨粒子形成的薄“壳”。依据粒子的能级粒子将在各个不同的轨道层中的轨道上运行。这就是说，能量较低的粒子的轨道半径比能量高的粒子的轨道半径小。在室温下，每条轨道内毗邻的粒子耦合在一起形成点阵。

固定几何形状等离子体生成器可以包括真空舱、电场、带电粒子源、和环形磁场。在一个固定几何形状等离子体生成器的实施方案中，用单根导线产生环形磁场。在另一个实施方案中，用荷电粒子束产生环形磁场。在第三个实施方案中，用导体螺线管产生环形磁场。还可以输入微波能量，提高粒子能级。在本发明的一个优选的实施方案中，为了产生无数族固定几何形状单一电荷等离子体，对螺线管作了改进。

电荷中和器被用于中和系统的总电荷。该电荷中和器可以是离子的集合、金属表面上的镜像电荷或离子电荷储存器。电荷中和器在空间上与轨道层及环壳分开。

本发明进一步的实施方案涉及真空管系统，该系统利用将电荷中和后的环储存能量。为了控制电子注入，可以将电子源组合件密封在真空管管口。



## 附图的简要说明

本发明有各式各样的新颖的结构细节和零部件组合，下面将参照附图更具体地介绍上述内容和本发明的其它特征。人们将会理解体现本发明的电子螺环仅仅是一种说明方式，并不是对本发明的限制。本发明的具体特征能够在不脱离本发明的范围的前提下在各种各样的实施方案中使用。

图 1 是本发明的一个优选实施方案的示意图，该视图与引发导体正交。

图 2 是图 1 中环形磁场的截面示意图，该视图与导体垂直。

图 3 是电子螺旋轨道示意图。

图 4 是图 1 中等离子体环俯视示意图。

图 5 是图 1 中等离子体环沿着图 4 中 A-A 线剖视示意图。

图 6 是用放大的尺度说明四条毗邻电子轨道的示意图。

图 7 是电子轨道周围的磁力线示意图。

图 8A 是在电子螺环中电子轨道示意图。

图 8B 是电子在图 8A 轨道附近运动的示意图。

图 9A 至图 9E 是在轨道上方或下方各点上作用于电子的力的图解说明。

图 10 是导体螺线管线圈的俯视示意图。





图 11 是图 10 的导体螺线管线圈以及内部的螺旋形等离子体沿着 B-B 线剖视的示意图。

图 12 是图 10 的导体螺线管线圈以及内部的螺旋形等离子体细节沿着 C-C 线切开的俯视示意图。

图 13 是等离子体螺旋形几何形状的局部切开的透视图。

图 14 是等离子体螺线管局部切开的透视图。

图 15 是图 14 的等离子体螺线管切开的俯视图。

图 16 是等离子体螺线管系统的电路示意图。

图 17 是本储能系统使用的控制系统示意图。

图 18A 是真空舱示意图，在真空舱的周围有许多对称排列的电子源。

图 18B 和图 18C 灯丝式电子源的俯视截面示意图和标明的截面示意图。

图 19 是适合引发和包容电子螺环的电极和单匝线圈的示意图。

图 20A 和 20B 是依据本发明产生小型未被捕获的电子螺环的方法示意图。

图 21 是用于中和螺环电荷的电荷存储器的示意图。

图 22 是用于从螺环提取电荷的局部磁场系统的示意图。

图 23 是借助磁感应提取电荷系统的示意图。



图 24 是利用气流系统从真空管系统提取能量的系统的示意图。

图 25 是图 24 中气流系统的微波能量补给器的示意图。

图 26 是将提取的热能转换成电能的磁流体动力系统的示意图。

图 27 是依据本发明的电力运输车辆的示意图。

图 28 依据本发明的电力飞机示意图。

图 29 是依据本发明的便携式电源的示意图。

## 本发明的详细描述

本文中单一电荷等离子体即单电荷等离子体的定义为携带同种电荷的粒子的集合。带电粒子的实例是电子和离子。在本文中环（toroid）的定义是借助平面封闭曲线绕着平面中的轴线旋转产生的表面。典型的环是三维形态的环。

依据本发明的优选实施方案，利用按电子螺环（EST）排列的电子来储存能量。另一种替代方法是将离子按离子螺环（IST）排列，以便储存能量。因为离子的质量比电子大，所以，离子运动比电子缓慢并且能够提供更稳定的几何形状。但是，实际上由质子获得大电流比由电子获得大电流要困难得多。因此，本发明的优选实施方案是以使用电子存储能量来描述的。

图 1 是本发明的一个优选的实施方案的示意图，该视图与启动导体正交。引发电子等离子体环所需的要素是电子束 14、环形磁场、电场、以及真空舱，其中电场由场电极或离子累积或局部离子提供。环形磁力线 10 采用常规的符号表示，“x”表示磁力线方向



指向纸内，“●”表示磁力线方向从纸面向外。图 2 是图 1 中垂直于导体的环形磁场的截面示意图。

产生环形磁场的方法示于图 1，利用通电的电导体 11 产生磁场，电流 12 的方向如图所示。只要有足以建立强大的环形磁场的电流存在，导体 11 可以是单根导线、一系列导体、或带电的粒子束。

注入带电粒子的舱室可以抽真空，而且为了克服粒子的漂移速度还需要小电场。另一种办法是，在使用电子的情况下，给舱室部分抽真空，其真空压力要足够高，允许离子发展到足够的数量以对抗漂移速度。

用电子束源 13 引发电子束 14。由于有磁场存在，电子束 14 如图 1 所示弯曲，依据物理学的基本定理， $\bar{F} = q\bar{V} \times \bar{B}$ ，其中  $\bar{F}$  是力， $\bar{B}$  是磁场强度  $\bar{V}$  是粒子速度， $q$  是粒子的电荷。尽管用矢量方程表示力，但是，由于环形几何形状的对称性，在这里矢量力可以简化成标量方程。电子束 14 可以用带电粒子束代替，无论是带正电荷还是带负电荷，但是在依据物理定律确定粒子束在磁场中的旋转方向是必须要仔细。轨道形状由力的平衡定义：

$$F = qVB \text{ , 以及}$$

$$F = ma$$

其中：  
 $q$  是粒子的电荷；  
 $V$  是粒子的速度；  
 $B$  是磁场强度；  
 $m$  是粒子的质量；  
 $a$  是粒子的加速度。



如果与回旋加速器相似，环形磁场力和带电粒子的旋转力平衡，电子束 14 将形成图示的轨道 15。

当电子在磁场中旋转时，形成许多条轨道。这许多轨道由于同种电荷互斥作用扩展成螺旋形。电子束 14 可以与导体轴线形成一个小角度，这有利于电子的散布和盘旋。

为了使电子保持在轨道中需要进一步的回复力。这是对抗漂移速度的需要，并且能够借助提供电场来对抗漂移速度。场电极没有示出，但是下面将对其进行讨论。

对抗漂移速度的另一种办法是利用离子。在部分真空舱室中的轨道电子与舱室中的气体分子碰撞，产生离子。如果作得正确，离子场使电子的漂移速度偏转方向，这也将下面给予更为详细的讨论。

图 3 是螺旋形电子轨道示意图。如图所示，由于磁场力  $q\bar{V} \times \bar{B}$  的作用，电子 e 围绕磁场的中心轴线盘旋，旋转半径是  $r_0$ 。

电子轨道通常是圆形的，但是，随着离开导体距离增加磁场强度变化，该环形轨道形状可能略有变化。在典型的形态中，电子速度  $V$  近似为  $5 \times 10^7$  m/sec.，只要保持力的平衡，这个速度  $V$  可以从高向低变化。所有的电子的速度基本上是一致的。在优先选择的实施方案中，环形磁场通常是由近似 1000 安匝的线圈产生。为了电流可以作为保持电子在轨道中运行的力的函数从高向低变化。

图 4 是图 1 所示等离子体环的俯视示意图。当电子散开时，由于磁场力作用它们保持在轨道 31 中，而且散布成如图所示的环 32。这导致形成电子等离子体环。轨道 31 连接起来形成一个大螺旋，



并且轨道数量可以变化。如果用带电粒子代替电子，结果是带电粒子等离子体环。

图5是图1所示的等离子体环沿着图4中A-A线的截面示意图。注意导体33和电子束生成器34。在图4和图5中，省略了环形磁场的细节，以便清楚地画出环，而且它们与图1和图2所示的环是类似的。

环形磁场可以用许多方法产生。原则上，导体方法似乎是最简单的方法。但是，导体可以用带电粒子束代替。最好在真空中产生和保持粒子束和等离子体，在真空中，降低的大气压力减少了气体分子与粒子的碰撞。与空气或其它分子碰撞将缩短等离子体的寿命。建立粒子束所需的真空度是已知的。作为一条规律，真空度越高，碰撞越少，等离子体的寿命越长。但是为了克服漂移速度需要电场。

优先选择高真空度，因为借此能够最大限度地减少碰撞，从而增加平均束长和减少维持电子束所需的能量。更优先选择超高真空度，即在 $10^{-7}$  Pa范围内或更高。在引发电子螺环时，采用较高的真空压力。在这个实例中，电子与气体分子（如氢）碰撞，形成离子。离子反过来抵销电子的漂移速度。氢是优先选择的气体，因为氢具有只电离一次的优点，这提供了有用的碰撞特征。下面介绍真空度接近0.1 Pa的真空管。在高达一个大气压（100,000 Pa）的压力下已经观察过一些环，而例行的观察在2,500 Pa进行。

在引发电子等离子体环之后，可以用几种外部施力机理就地保持电子等离子体环。第一，保持环形磁场，第二，采用适当的电场，第三，在某些环境中真空舱中的带相反电荷的离子将提供适当的回复力。如果在等离子体中有充足的电子并且有足够的离子或适当的

电场存在，可以撤销原始的环形磁场，电子等离子体环仍然能基本上保持其形态。

## 引 发

引发电子螺环 ( EST ) 要求在电子螺旋和环形磁场之间保持力的平衡。所用公式与回旋加速器所用公式一样。

为了引发 EST，首先将电子束注入环形磁场。在有磁场存在的情况下，电子束以适当的角度注入磁场，于是，电子束开始盘旋。参照图 3，注入的电子束在磁场 B 中盘旋。电子速度 V、磁场 B 和得到的力 F 三者彼此正交。如果磁场是圆形的，电子围绕磁场沿着磁力线盘旋。在适当的初始条件下，盘旋着的电子束本身围绕着环形磁场弯曲随后重聚。因此重聚的盘旋电子形成电流环。为了将碰撞降到最低限度，引发过程在真空中完成。这个引发过程在上述引用的文献 U.S.5,175,466 中曾经介绍过，已将其内容全部并入本发明。

电子的螺旋运动是由引发线圈引起的。当电子束首次进入引发线圈时，它切割磁力线，引起束中电子盘旋。在初始瞬间，电子的运动由四个力促成：来自磁场的力、电子的旋转力、来自束中其它电子的库仑力、以及由于 EST 附近的离子产生的力。

旋转力和库仑力倾向于使电子脱离初始的电子束。引发线圈的磁场必须足够强，足以与库仑力和旋转力相抗衡。在这种情况下，离子力非常小，可以忽略。在电子束中的这种平衡证明如下：



旋转力由下式给出:

$$F_r = \frac{mV^2}{R_0}$$

其中:  $m$  是电子的质量;

$r_0$  是轨道半径;

$V$  是电子速度。

束中的库仑力由下式给出:

$$F_l = q(I)(1/(2 \pi \epsilon_0 r_0))$$

其中:  $q$  是粒子的电荷;

$I$  是单位长度上电子束的电荷;

$\epsilon_0$  是介电常数。

引发线圈的作用力由下式给出:

$$F_L = q V B$$

其中:  $B$  是引发线圈的磁场 (强度)。

施于环的磁场可以表示为:

$$B_r = \frac{\mu_0 i_r n_r}{2 \pi r_r}$$

其中:  $\mu_0$  磁导率常数;

$n_r$  是匝数;



$i_T$  是每匝的电流;

$r_T$  是环的半径, 它是从环的中心到粒子轨道轴线的距离。

当  $F_R + F_I = F_L$  时, 在螺旋电子束中的电子与引发线圈的磁场之间实现力的平衡。在优先选择的实施方案中, 这些力是:

在  $V=9.37 * 10^7$ ;  $r_0 = 0.122$  m 时,  $F_R = 6.6 * 10^{13}$  牛顿;

在束流  $i=1000$  安培时,  $F_I = 2.5 * 10^{12}$  牛顿;

在 20,600 安匝,  $r_T = 0.196$  m 时,  $F_L = 3.17 * 10^{12}$  牛顿。

引发线圈可以是通大电流的单根导线, 或者包括一系列线圈。电子束沿着磁力线绕环盘旋。引发线圈的参数设定通常使  $r_0$  的大小与稳定状态的 EST 相同。所示的力是引发过程中主要的力。在引发过程中为了提供平衡进一步需要力时, 可以借助外部电场或离子提供力, 下面将更详细地解释。

### 稳定状态的力

#### 磁场力和库仑力:

一旦建立起 EST, 可以把它看作是电流环路的集合。电子按照相同的方向围绕着环路行进。在环的外表面任意一点 P 上的电子所承受的所有电荷的作用力的合力是库仑力:

$$F_c = \frac{n_p e^2}{(2\pi)^2 \epsilon_0 r_T r_0}$$

其中:  $n_p$  是带电粒子数;

$e$  是电子的电荷。





库仑力使所有电子向 EST 的表面运动，在那里它们变成表面电流。

因为 EST 是一个环，所以有内部磁场。运动到 EST 中心的电子承受下述磁力：

$$F_M = qVB$$

其中  $B_r = \frac{i_0 \mu_0 n_0}{2\pi r_r}$ ，式中  $n_0$  是轨道数， $i_0 = q(2\pi r_0/V)^{-1}$ 。

### 作用在电子上的轨道力：

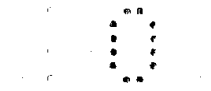
在对 EST 计算力的平衡之前，必须考虑作用在单个电子上的各种力。

在引发期间，电子从电子束形态进入平行的电子轨道。这个新的形态在轨道和个体电子之间建立新的场相互作用。电子在平行轨道中行进，其中轨道起着与电流环路相同的作用。轨道建立起磁场，如图 7 所示。

当电子通过这些磁场时，磁场和静电场协同扰动这些电子，使电子在束轨道附近振荡。图 8A 表示在 EST 中的一个完整的电子轨道。电子轨道的一小段被放大成图 8B，图 8B 表示电子本身在振荡中前进。

### 电子的近场方程

一旦建立了 EST，并且假设电子形成表面电流，电子与轨道磁场的相互作用如力图 9A 至图 9E 所示。图 9A 表示在电子轨道上方和下方的磁场，并且可以把图 9A 看作是图 7 的侧视图。



当电子在轨道上方运动时，图 9B 表示磁场、速度和作用于单个电子的力的水平分量之间的矢量关系。

在 EST 中，考虑作用在电子上的合力时，还有所有所电子产生的库仑力。这个力只在竖直方向作用于电子，并且只在电子位于轨道上方时才起作用。当电子在轨道上方运动时，作用在电子上的诸力分量如图 9C 所示。

当单个电子在轨道上方运动时，在表面上的其它电子的电荷的斥力作用在该电子上。磁场力也作用在该电子上，该力使该电子的轨道弯曲，使电子转向并向下降。

一旦低于轨道，电子遇到反向的磁场，该磁场迫使电子转向，返回轨道的上方。在轨道以下，没有空间电荷的作用力。作用在电子上的水平反向的力和垂直方向的力分别示于图 9D 和图 9E。

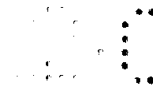
下面给出电子的运动方程。请注意，脚标 A 和 B 分别表示在轨道上方和轨道下方时的作用力；因为两者是有差别的，下面将解释。从图 9C 和 9D 得出：

$$\begin{aligned} F_{xA} &= eV_{yA}B_A = \frac{mdV_{xA}}{dt} & F_{xB} &= -eV_{yB}B_B = \frac{mdV_{xB}}{dt} \\ F_{yA} &= -eV_{xA}B_A + F_C = \frac{mdV_{yA}}{dt} & F_{yB} &= eV_{xB}B_B = \frac{mdV_{yB}}{dt} \end{aligned}$$

其中： e 是电子电荷；

$F_C$  是来自 EST 总体的库仑力。

为了完整，还必须把旋转力包括进来。但是，这些力比磁场力和库仑力小许多个数量级，所以为了简化将它们排除在外。



在轨道上方,  $B_A$  随着在轨道上方的距离增加而增加, 增加至某个点后开始下降。在轨道下方, 如果只考虑轨道电流产生的磁场,  $B_B$  与  $B_A$  大小相等, 方向相反。但是, 在轨道下方有 EST 产生的附加磁场分量。因为  $B_B = B_A + B_T$ , 这个附加分量的作用是使  $B_B$  在数量上大于  $B_A$ , 即  $B_B > B_A$ 。

求解上述的微分方程组, 得到:

$$V_{xB} = V_{\parallel} \cos \omega_B t;$$

$$V_{yB} = V_{\perp} \sin \omega_B t;$$

$$V_{xA} = C \cos \omega_A t + F_C / (\omega_A m);$$

$$V_{yA} = -D \sin \omega_A t;$$

$$\omega_A = eB_A / m;$$

$$\omega_B = eB_B / m$$

其中:  $V_{\parallel}$  是注入电子的初始速度在平行于轨道方向上分量;

$V_{\perp}$  是注入电子的初始速度在垂直于轨道方向上分量;

$C$  和  $D$  都是常数, 是与电子跨越平均轨道的时刻有关的常数;

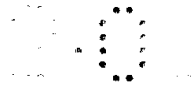
$\omega_A$  和  $\omega_B$  分别是在轨道上方和轨道下方的振荡频率。

电子不是在正弦的零点跨越轨道, 而是在周期的中间点跨越轨道。求解常数得到:

$$C = (V_{\parallel} \cos \omega_B T_1 - F_C / \omega_A m) / (\sin \omega_A T_2)$$

$$D = (V_{\perp} \sin \omega_B T_3) / (\cos \omega_A T_4)$$

上述方程表明在轨道上方的电子速度与在轨道下方的电子速度不同。差值是库仑力  $F_C$  以及  $B_A$  和  $B_B$  之差的函数。轨道是一个平均位置, 电子在其上下跨越运动。跨越轨道没有不连续性, 因为轨



道上各点的磁场是零。电子基本上“惯性滑行通过”零磁场区。图 8B 近似地表示了这种振荡运动。

只要振荡是稳定的，电子的振荡运动就是连续的。大体上，如果电子在轨道上方的漂移变得太大，电子将无限地散开，不再存储在轨道之中。必须满足的稳定性条件是：

$$F_C / eV_{\parallel} B_A = \cos \omega_B T_1$$

其中  $T_1$  是电子到达轨道上方最远点的时间。

这个比值是漂移速度，它必须小于稳定性允许的速度。用外部电场或外部的离子保持稳定的漂移速度。在电荷中和系统中， $F_C$  等于零，以保证稳定性。

EST 的表面由密集的电子平行轨道组成。正弦运动被叠加在这些轨道上。正是这些与 EST 的磁场相互作用的正弦运动保持着轨道中的电子。结果是一个表面，该表面显示为如图 6 所示的许多有振荡的密集排列的平行轨道。

### 引发过程的另一个优先选择的实施方案

图 10、图 11 和图 12 表示一种建立单电荷等离子体粒子环的替代方法。图 10 是导体螺线管的俯视图；图 11 是图 10 的导体螺线管与内部的等离子体环沿着 B-B 线的截面剖视图；图 12 是图 11 的导体螺线管以及内部环形等离子体的细节沿着 C-C 线切开的俯视图。利用导体螺线管引发环形磁场，该螺线管包括电导体 40 和壳 42，电导体 40 围绕着壳 42 缠绕成螺线管 41。壳 42 用能够承受真空的适当的材料制作，如玻璃。壳 42 如图 11 和图 12 所示。图 11 和图 12 所示的环形磁场是在电流通过电导体 40 时建立的。



需要缠绕的匝数需要的环形磁场强度和通过导体 40 的电流强度的函数。用 1,000 匝的导体螺线管，由 3 至 6 安培电流建立的环形磁场与用单根导体通过 3,000 至 6,000 安培产生的环形磁场相当。

在图 10 和图 11 中示意地表示了缠绕匝数，这个数值是可以变化的，这取决于每根导体的电流和需要的磁场。电子束源 44 用于建立电子束 45。电子束散开进入导体螺线管内部的电子等离子体环。如前面结合图 3 和图 4 所述，典型的轨道 46 展开形成螺旋。

图 13 是局部切开的等离子体环几何形状透视图。当适当地建立引发条件时，盘旋着的电子束围绕着环形磁场弯曲随后重聚。因此重聚的电子沿所示环形路径 48 盘旋，形成电流环。一旦开始盘旋，电子向外散开，形成薄薄的空心的表面。电子全部在平行轨道中运动，并以相同的速度行进。因为电子来自同一电子束，所以，电子具有基本相同的能量。此外，在磁场中大量的盘旋轨道保证具有较高或较低的速度电子借助旋转力分别进入较高或较低的轨道运行。所以，毗邻的每条轨道包含相同能量的电子。再有，这个过程保证毗邻轨道上具有基本相同的电流。

环是电流层，是中空的薄薄的电子盘旋层。电子盘旋半径为  $r_0$ 。如图所示，环是圆环，它有内半径  $R_1$  和外半径  $R_2$ ，其中：

$$R_2 = R_1 + 2 r_0$$

线圈可以拉长变成椭圆，仍然能维持几何形状固定的等离子体，尽管不再是圆环。线圈可以有无数种微小的变化，但仍然维持固定的等离子体几何形状（略有变化的环）。

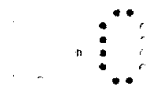


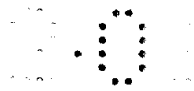
图 14 是局部切开的环状等离子体管 100 的透视图。该管有玻璃封头 101。该玻璃封头由适合保持良好真空的真空管材料制作。在这个实施方案中，管 100 的直径为约 10cm。轨道腔沿着内壁和外壁的高度为 3.75cm。优先选择的真空度大约是 0.1Pa，以提供近似 10cm 的电子束长度。管 100 的直径取决于具体的应用。

真空口 102 用于给管 100 抽真空，象典型的真空管那样除去所有的气体。管 100 抽真空之后，将口 102 密封以保持真空。此外，也可用常规的真空法兰安装到真空口来进行抽真空。玻璃底座 103 用于给电子源组合件定位和将导线从管 100 外引入真空室。

象许多真空管那样，提供灯丝并给它加热，以促进电子流动。电源通过导线 104、电阻线（见图 15）和接地返回线 105 给灯丝供电。这样，就提供了热并由其在阴极产生自由电子（见图 15）。这是已知的技术，能以许多种方式实现。

借助阳极 106 给电子加速。阳极 106 是有狭缝 107 的管状电极，电子通过狭缝射出，形成电子束 108。阳极 106 通过导线 109 与外部的电路相连，提供加速电压。在 50V 至 300V 直流电压下，阳极 106 很容易形成电子束，电压越高，电子的加速度越大，电子的运动也越快。借助绝缘体 110 阳极 106 与阴极绝缘。

线圈 111 用于产生磁场。线圈匝数是示意的，实际需要的比所示的多得多。线圈产生环形磁场，并且该环形磁场通过线圈覆盖的真空管部分。所有的线圈都按相同方向缠绕，并且连接成一个大螺旋，即螺线管。线圈两端引出第一接线 112 和第二接线 113，连接到外部的供电电源上。对于这种类型的环形等离子体管，3 至 25 安培的电流使电子束按变化的轨道直径盘旋。象常规的制作方法那样，线圈缠绕在管外，但是，它也可以在管内，只要电子束有空间盘旋即可。环形等离子体管的基本特征是有一个允许线圈缠绕成环



形的中心孔 114 。这个特征允许产生环形磁场。由于这种管结构，线圈不对称，所以在需要的地方放置辅助的小磁体，以调整电子束的轨道形状。

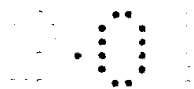
图 15 是切开的环形等离子体管的俯视图。在图 14 中没有显示的一个辅助细节是阴极 117 ，它在阳极组合件之内。在金属线 117 上涂覆阴极材料。

在切开的视图中，阴极金属线 117 借助绝缘体 110 与阳极 106 绝缘。图中用电子束完整的路径 118 表示电子束螺线。图中给出了线圈线 111 ，匝数是代表性的，而不用总数表示，因为总数太大以致不能清楚地全面表示。类似地，电子束螺线也是示意的，因为实际出现的轨道比可能示出的轨道多得多。电流方向按标准的惯例表示。

图 16 是电路示意图，它表示环形等离子体管的电路连接。用灯丝电源 121 给灯丝 122 加热。阴极 123 产生电子。阳极电源 124 将电子加速电压提供给阳极 125 ，阳极使电子加速形成电子束。阴极 123 、阳极 125 和灯丝 122 都在真空管 126 内。线圈电源 127 给环形线圈 128 提供电源。环形线圈产生环形磁场。

储存在环形中的能量的大小可以利用物理学定理计算。每个电子都储存能量。在环形中所有的电子基本上具有相同的速度和基本相同的能量。所以，储存的总能量是电子总数与每个电子的能量的乘积。

最初的样机使用 50 至 150 电子伏特 ( eV ) 的低能电子。电子可以被加速到接近 25,000eV ，而且没有重大的同步辐射损失，还可以达到更高的水平，且损失是可被接受的。储存的电子总数可以很大，因为增加电子数量将增加磁回复力并且保持力的平衡。最初的



样机已经具有小的总电荷。已经观察到电荷总量超过 10 库仑。似乎还可能更大。

### 引发与收集

引发与维持的控制如图 17 所示进行，图 17 是用于本储能系统的控制系统 170 的示意图。如参照图 16 所述，控制器 171 设置电源电压，该电源电压用于引发等离子体环。先接通引发线圈电源 127，然后接通灯丝电压电源 121，最后逐步增加栅极电源 124 电压，引发等离子体环。当等离子体环准备好自维持时，控制器 171 在需要的时候关闭这些电源。在需要磁场时使用辅助磁场 115 和 116。

等离子体环传感器 175 感受粒子存在与否。这借助单独的敏感线圈进行。在需要时，能量提取电路 176 发挥作用。显示计算机 177 向操纵者提供指令、状态、以及可选的手动控制。

有许多种产生电子的方法。电子枪是一种已知的方法，它被示于图 14。此外，可以使用多个电子枪或电子源，以便增加最初为了引发等离子体环而注入的电子数量。这种情况示于图 18A。每个电子枪具有一套图 14 和图 15 所示的元件和功能。图 18A 表示有许多电子枪 181，每个电子枪都注入电子。为了清楚，引发线圈没有表示出来，但将与图 14 和 15 所示的相似。

另一种电子源可以是环绕着真空舱展开的连续的灯丝或一系列灯丝。图 18A 是真空舱的示意图，有许多电子源对称地排列在舱室的周围。也可以使用俯视剖视图(图 18B)中示出的连续的灯丝 183，它附着在舱室表面上，位于引发线圈的内侧(为了清楚该线圈没有示出)。当电源给灯丝引线 184 供电时，沿着灯丝长度产生电子。如图 18C 所示，提供电子屏障 185，该屏障给电子适当的偏压使它





朝栅极 186 方向运动。栅极使电子加速，当如上所述施加磁场时，该电子将沿着轨迹 187 弯曲。

图 19 是引发和收集实验电子螺线环的电极和单匝线圈的示意图。为了获得高能型等离子体环，需要高能电子束源。高能电极包括一对电极线 231，它们被间隙隔开，并且经由较长的导线 233 连接到两个接线端子 232 上。每个电极都依次通过适当的导线与接触器 234 连接到高流电源上。这些电极安装在框架 235 上，该框架由底座和适合电极的单独支撑组成。这些支撑与管 236 绝缘。非常细的导线 237 跨过两条电极线 231 之间的间隙焊接在电极线上。

单匝线圈 238 与电极线 231 隔开，用于建立环形磁场。线圈 238 可以是直导线或一个环形导线。在优先选择的实施方案中，线圈 238 是一根跨过电极 232 之间间隙的黄铜条。具体地说，该黄铜条 238 直径大约 1/3 cm.，并且与电极线 231 分开，间距大约是 1cm。采用实心条保证线圈 238 在电极 232 之间是直线，以此避免电磁场不正常。

当高压高流电源与电极连接时，细导线 237 迅速蒸发，给电极线 231 的末端加热，并一直完全熔蚀到与电极 232 的粗导线 233 相连的一端。在电极线 231 被熔蚀之后，电子继续从一个电极 232 通过间隙流向另一个电极。

更具体地说，采用非常细的 AWG38 号线。尽管有从 AWG24 至 AWG18 各种尺寸的线都可以利用，电极线用的是 AWG22 号线。在电极上的粗线用的是 AWG10 号线，以阻止过热。在每根导线连接点采用焊接，以保证良好的连接。电极不焊接，采用机械固定。所用的绝缘材料是聚四氟乙烯 (Teflon<sup>®</sup>) 管。

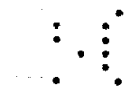
电极 232 和线圈 238 结合使用。一旦电极连接的时间足以在间隙中建立电子束，线圈 238 接通电源，建立磁场，使电子束绕线盘旋。在线圈维持导通时，电子束形成环 239。线圈 238 继续维持导通，包容环 239。一旦形成环 239，可以切断电极 232 的电源。

引发周期的时间是重要的。电极线 231 必须给以足够时间全部熔蚀，形成等离子体。这个时间大约是 60 毫秒 ( msec. )。然后线圈 238 可以与电源接通。

线圈 38 的磁场强度也是重要的。如果磁场强度太大，将摧毁电极，这个现象是在机械继电器上与磁性毁坏有关的已知现象。如果线圈磁场不够强，电子束将继续但不盘旋。通常，电极的引发电压与电流分别是 175V ( 直流 ) 和 750 安培。线圈在 2.5cm 距离上需要 750 安培电流。真空压力是变化的，但是，通常从低于 10,000Pa 开始，正常时在大约 100 至 1,000Pa 之间。

如果不用引发线圈而单独使用电极，可能产生自由环。在没有被线圈捕捉的意义上，这些环是自由的。通常在 1,000Pa 的真空压力下借助 170V 直流电压点燃电极，将产生这样的自由环。当已经完成电极线的熔蚀，并且电子束本身处于熄灭的过程中时，曾经观察到这些环的发生。

图 20A 至 20B 是依据本发明产生小的未被捕捉的电子螺环 ( EST ) 的示意图。参照图 20A，显示了跨越大约 15cm 的间隙建立的大约 600 安培的电子束 281。电子从负电极 283 流向正电极 284。真空压力大约是 1,000Pa 至 10,000Pa。电极间电压正常情况是 200V，但是至少可以在 150V 至 500V 之间变化。电压和电流由电池电源提供。



电极 283 和 284 由多股绞合线组成 (图 20B)，这就是说，它们由许多条导线制成。它的表面不平滑，但是可以从许多凸起的点发射电子束。在图 20B 中显示了放大的多股绞合线 285 和电极 283。与已知的阴极发射发射方式相似，典型的电子束从电极上随机的一点发射。当发射点太热时，电子束跳到新的发射点，这是又一个已知的阴极现象。在该跳跃中间，有一个时间周期，在这个周期中，第一电子束湮没并处于终止过程中，而第二电子束 287 则正在建立起来。恰好在第一电子束即将熄灭时，第二电子束建成上述的引发磁场，于是，第一电子束被引发磁场捕获。结果形成一个小 EST288。

当真空压力为 1 至 10,000Pa、电压为 80 至 500V 以上、实测电流为 200 至 1300 安培时，曾经引发过这样的等离子体环。并且对观测到的环进行了测量，其直径大约是 5mm、轨道直径大约是 1.5mm。这些环的形状与图 13 所示的一般形状相似，并且有平滑的表面。

图 21 是用于中和环上电荷的电荷存储器的示意图。在采用电子时，环的轨道由在轨电子构成。环上总电荷对于环的包容是一个问题。电荷存储器 310 处于相对环的中心位置，并且保持电荷，该电荷与环上的电荷数量相等符号相反，以便中和环上电荷。对于外面的观察者而言，环上电荷似乎全部在环的中心  $C_T$ 。理论上，位于环中心  $C_T$  的相反符号的总电荷将中和环上电荷。如果离子的数量与环上电子数量相等，并且位于环的中心  $C_T$ ，那么电荷能够被中和，允许包容环 320。

实际上不能象点电荷那样存储电荷。但是，只要电荷存储器对于环是对称的，环就能定位在电荷存储器中。电荷存储器的位置必须让它的中心位于环 320 的中心  $C_T$ 。使它定位于环的中心并不困难，因为环上电荷本身试图使各种力最小，因此正在努力将自己的



中心对准电荷存储器 310 的中心。电荷存储器 310 的形状有许多种选择，包括但不限于球形、圆柱形。盘形、或任何相对中心轴线对称的复杂形状。尺寸需要小于环 320 的中心开口尺寸。

另一种办法是借助在环的中心  $C_T$  在金属导体上产生镜象电荷来中和 EST 的电荷。

借助施加微波功率可以将能量添加给 EST。如果在低于需要的能态下已经引发 EST，为了增加 EST 储存的能量需要补充功率，那么这种办法是适当的。另一种可能是借助一种方法，如注入电子束来引发 EST，并利用微波源提供补充能量，以使电子束的能量更高。

微波功率是一项有吸引力的补充能量技术，因为它的成本低并且功率容易跨越磁力线传送到 EST 中。微波束可以透过标准的陶瓷窗送进环形真空器皿。所以，从工程角度看，微波功率的耦合是简单的。当前，已知有两种应用采用微波功率给电子束添加能量，它们是：射频（RF）电子加速器和等离子体加热。

在加速器中，微波与电子束耦合是在超高真空腔体中或在超高真空行波结构中完成的。耦合要求电子束的速度与微波的相位速度同步或匹配。微波谐振腔为实现同步条件创造了条件。借助一个或多个微波谐振腔包围 EST，也能够 EST 形态中实现同步条件。微波还被用于加热等离子体，包括用于熔融研究的高温等离子体，以及在半导体工业中制作半导体层和涂层中使用的小型实验室等离子体。

在将微波施加给 EST 时，理想的是获得类似于电子加速器中的条件，即能量增加速度对于所有的电子大体上是相同的。以这种方式将电子作为集合群维系在一起。电子可以在微波谐振腔中加速。



另一种可能性是电子在电子回旋响应条件下(无论有无腔体)加速。这种途径被称为电子回旋响应加热( ECRH )。

在 ECRH 中,电子在与磁场垂直的方向上加速。电子回旋响应条件由下式给出:

$$\omega_c = eB/m$$

其中 $\omega_c$ 是电子回旋频率,弧度/秒;  $e$ 是电子电荷;  $m$ 是电子质量;  $B$ 是磁场(强度)。例如,采用 1GHz 的微波源,电子回旋响应需要的磁场是 360 高斯( 0.036T )。

使用 ECRH 保证把能量添加给电子束速度分布的横向分量。在为实现 EST 平衡创造条件时,这是有利的。但是,也有可能独立地将能量添加给环向运动。利用微波谐振腔结构能做到这一点。

### 能量交换

EST 包括电子轨道,该轨道能够就地长时间地持有电子。一旦形成 EST,它包含着两种能量,电子的动能和 EST 内部磁场的磁场能量。EST 有若干种性质,这些性质使它成为有效的储能设备。例如,EST 能够储存大量的携带同种电荷的粒子。EST 还能储存高能粒子。

能量交换可以用几种方式进行。第一种方法借助碰撞移动能量。当粒子逼近环时,被静电推开,它们在这个过程中吸收能量。借助阀打开真空舱,允许增加粒子的数量,粒子通过碰撞从环上取走能量。被加热的粒子可以通过受控的方式从真空舱中取出,在其它地方使用该热能。



环的几何形状致使所有的电子一起做功推开气体分子。既然与气体分子碰撞是集体碰撞，所以，在碰撞期间和碰撞后所有的电子仍然维系在轨道中。在推开入侵的分子时电子失去动能。

当气体分子接近环时，气体分子遇到的是荷电表面，而不是个体电子。每个入侵的分子由于表面电荷的作用象弹性碰撞那样被静电推开。其原因是环的几何形状。轨道中每个电子都有回复力使它保持在原位。这些力还在电子之间转移能量。因此每次推开气体分子都是从整个环上取走能量，而不是从单个的电子取走能量。环一直坚持着，直至发生多次碰撞以致没有足够的能量推开碰撞分子为止。在这个时刻，碰撞将电子撞离轨道，EST 寿终正寝。

在含有 100 库仑的电荷和每个电子有 25,000V 能量的 EST 中包含的能量是 2.5 兆瓦。借助控制压力可以从 EST 中取出能量。能量的取出率与 EST 周围的压力成正比。

第二种方法是改变局部磁场来放掉一部分或全部的电子。借助在环附近引入局部磁场，环上某个点的磁场被抵销，引起电子束中的电子射出，并击中靶。利用局部电场也能做到这一点。

图 22 是从环上提取电荷的局部场系统的示意图。典型的轨道用 340 表示。操作局部电磁体 342 可以建立足以抵销环磁场的局部磁场。当满足这个条件时，电子形成与轨道相切的电子束 344。电子与靶 346 碰撞，并且在这样作时转移它们的能量。维持局部磁场的长短决定着改变方向的电子的多寡。一旦电子从 EST 中被取走，它们可以被引向线圈 347，在那里它们产生感应电压，并利用已知的技术可以进行发电。借助切换电磁体 342 的通断能够使许多电子束改变方向，从而产生交流电。



适合能量转换的局部场系统能够提供大约 95% 的能量转换效率。只有大约 5% 的能量损失，这部分能量本身通常表现为热能。在某些应用中，如军用车辆，这个损失可以处在背景水平以下。传统的车辆产生可探测的红外特征，依据本发明的车辆与传统车辆不同，它能够在不产生高于背景噪声的可探测红外特征的条件下行驶。

第三种提取能量方法是通过磁感应。图 23 是借助磁感应提取电荷的系统示意图。环中电子在固定的轨道中运行。如图所示，将磁头 350 置于轨道附近，则在磁头中引起感应电压，就象磁头感受到电子 352 通过一样。磁头 350 是已知的设备，如线圈或导线，它们切割磁力线并在线圈或单根导线上产生电压。这个磁头的功能象发电机中的定子一样借助电子产生感应电压和感应电流。

揭示的第四种提取能量方法是通过热电效应。借助外部的场可以改变环的位置。利用外部的磁场和电场能够将环移动到表面附近，引起对表面加热。可以利用现有的技术由热表面发电。

图 24 是利用气流系统从真空管系统 100' 提取能量的系统 360 的示意图。惰性气体的气源 361 经由管线 362 和入口阀 363 装配到真空舱 101' 上。打开入口阀 363 并控制气流速度，将气体注入舱室 101'。气体与环发生弹性碰撞，获得热量。灼热的气体 364 从出口 365 流出，在出口有与入口阀 363 类似的出口阀 366。电子等离子体环在推开气体分子时失去能量。需要采取正常的预防措施，以安全地释放压力（未示出）。

图 25 是适合图 24 所示气流系统的微波充电器的示意图。微波源 376 连接到或直接安装在系统 370 的真空封头 101' 上，该微波源类似于在微波炉中找到的微波管。用动力线 374 给微波源 376 供电。微波源 376 将电力转变成微波能量 378，用于照射电子。典型的微

波源能够提供 1kw 的微波能量，但是，为了加快充电速度，可以提高功率。适合真空口 102' 的控制阀 367 也得到图示说明。

### 电功率发生器

一旦环建立起来并在其中存储能量，可以将环与热电发电机或热化学发电机结合使用。这些装置的原理是已知的，在此不详细说明。热电设备的实例是来自 Global Thermoelectric 公司的平板热电堆。热化学发电器的实例是来自 Advanced Modular Power System 有限公司的 AMTEC 电池，该电池利用液态钠循环发电。

这类发电机都需要热源。这种必要的热量可以由电子螺环产生。利用图 24 叙述的灼热气体发生器 360，受热气体可以直接供给热电设备或热化学设备，以产生电力。

储存在环上的能量还可以与磁流体动力系统（MHD）结合产生电力。MHD 技术是已知的，但是由于缺乏便携式高能动力源尚未在便携式应用中使用。等离子体环能够提供这种便携式动力源。

全世界广泛使用 MHD。在 Robert F. Grundy 的“Magnetohydrodynamic Energy for Electric Power Generation”和 McGray Hill 的“Engineering Magnetohydrodynamic”是解释 MHD 系统的文献。MHD 系统是一种紧凑、简单、高能量密度系统，这使它在便携式应用中颇具吸引力。尽管本文没有提供完整的 MHD 系统设计，但是，每个 MHD 系统都需要高温热源，下面叙述适合 MHD 系统的热源。

图 26 是 MHD 系统 380 的示意图，它适合将来自环的能量转变成电能。等离子体环 320 被包容在气氛受控的舱室 381 中。气氛受气源 387 控制。与结合图 24 所述的情况相似，由环 320 给气体加



热。借助控制舱室 381 中的压力和温度，按照需要从环中取出能量。这里所用的气体优先选择二氧化碳或类似的气体，该气体要能够在不电离的情况下加热到 3,000K 或 3,000K 以上。需要避免电离是为了延长环 320 的寿命。

对于 MHD 系统 380，产生电离的 MHD 气体 383 是必要的。采用氮或氢或类似的气体，用碱金属，例如钾使气体活化，以保证气体在比较低的温度（2500K）电离，这样就能产生电离的 MHD 气体 383。为了产生电离的 MHD 气体 383，用泵 389 或类似的设备将来自环舱的气体输送到热交换器 382，加热 MHD 气体 383。用这种方式，能够使 MHD 气体被加热并且电离，而环舱中的气体保持不电离。热交换器是一种在高温热交换器中使用的已知技术，在此不进一步介绍。为了适应这种高温，用耐热金属，例如钛制造热交换器。

用泵 266 或喷管组合件输送 MHD 气体。MHD 气体 383 通过由永久磁体（未示出）产生 MHD 磁场 384。电离气体流过磁场，引起离子和电子分别向极性相反的电极移动，因此，在 MHD 电极 385 处产生电力。MHD 气体 383 通过辐射器 388 冷却，然后，通过热交换器 382 反复循环。

### 电子螺环的平衡性质

电子螺环的平衡性质已经利用 Vlasov-Maxwell 分子运动理论进行了计算。这种理论方法对于自洽地精确处理电子等离子体的热效应是必要的。在这种方法中，粒子（电子）的分布函数由  $f: f(\bar{x}, \bar{p}, t)$  给出，其中  $f$  是实空间  $(\bar{x})$ 、动量空间  $(\bar{p})$ 、以及时间  $(t)$  的函数。在非相对论性的理论中，可以用速度空间  $(\bar{v})$  代替动量空间。在平均电场  $\bar{E}(\bar{x}, t)$  和平均磁场  $\bar{B}(\bar{x}, t)$  的影响下，自洽地展开粒子分布函数。



通过将电磁理论中著名的 Maxwell 方程与等离子体动力学理论中的 Vlasov 方程合并, 得出粒子分布时间展开式的解。Vlasov 方程由下式给出:

$$\left\{ \frac{\delta}{\delta t} + \bar{v} \frac{\delta}{\delta x} + e(\bar{E} + \bar{v} \times \bar{B}) \frac{\delta}{\delta p} \right\} f(\bar{x}, \bar{p}, t) = 0$$

在这个方程中, 粒子的位置由  $x$  给出, 粒子的速度由  $\bar{v}$  给出, 粒子的电荷由  $e$  (电子电荷) 给出, 粒子的动量由  $\bar{p}$  给出。对分布函数  $f$  进行归一化处理, 以使在实空间和动量空间中的整数都是 1。必须采用这个动力学模型精确处理借助电磁力彼此相互作用的粒子总体的自洽时间展开式 (the self consistent time evolution of an ensemble of particles)。在标准的等离子体教科书中讨论过 Vlasov-Maxwell 方程。这些方程假定: 作为无碰撞无中和的等离子体通过平均场粒子相互作用; 作为这种理论方法的延伸, 可以处理碰撞, 但是要求碰撞的影响比较弱。

这些计算为电子螺环提供了精确的模型。

### 模型叙述

模型包括含相互作用空间的圆环几何学, 该相互作用空间是由主半径  $r_t$  和小半径  $a$  定义的。坐标系选用柱面坐标系, 它包括圆环轴线  $z$ , 径向距离  $r$  和环向的角度  $\theta$ 。

在这种情况下, 磁场由下式给出:

$$\bar{B} = B_0(r_t) \frac{r_t}{r} \bar{e}_\theta$$

其中磁场指向环体的周围，并且随着主半径  $r$  上的距离增加而下降。考虑的是小“纵横比”情况，即  $a/r_t \ll 1$ 。

电子密度是假定的，由下式给出：

$$n_b(r) = \begin{cases} r_{b1} \hat{n}_b / \rho & \text{如果 } r_{b1} < \rho < r_{b2} \\ 0 & \text{除 } r_{b1} < \rho < r_{b2} \text{ 外} \end{cases}$$

其中  $r_{b1}$  和  $r_{b2}$  是电子螺环的内小半径和外小半径，而且  $r_{b2}$  必须小于圆环舱的小半径  $a$ 。

常数  $\hat{n}_b$  隐含依据粒子总数的定义（见下文）。粒子距主半径  $r_t$  的距离  $\rho$  由下式给出：

$$\begin{aligned} (r - r_t)^2 + z^2 &= \rho^2 \\ r_{b1} &\leq \rho \leq r_{b2} \\ \rho &\ll r_t \end{aligned}$$

在电子螺环（EST）中的电子总数  $N_b$  由下式给出：

$$N_b = (2\pi^2) r_t \int n_b(\rho) \rho d\rho$$

假定电子的运动是非相对论性的。在电子螺环区中引入背景离子密度。该密度被认为是一个叠加在电子体积上的常数，离子密度  $n_i$  由下式给出：

$$n_i = \frac{f N_b}{2\pi^2 r_{b2}^2 r_t}$$

其中  $f = N_i / N_b$  是一个常数，并且  $N_i$  是电子螺环内的离子总数。

另一个假设是离子处于静止状态并且携带一个正电荷。因为离子重并且它们的运动对于电子的运动方程没有重大的修正，所以这个假设是有效的。按照上述假设，可以获得许多种情况。例如，假设有外部施加的磁场  $B_0$ 。但是，参数  $B_0$  的数值可以等于零。以这种方式，可以处理外部施加的磁场为零的重要情况。定义电子（轨道）半径在内半径  $r_{b1}$  至外半径  $r_{b2}$  的范围内。如果限定  $(r_{b2} - r_{b1})$  趋于零，那么就能处理理想的电子螺旋薄环。借助让上述方程中的离子密度趋于零，还可以处理没有离子背景的情况。

### 解的特征

现在扼要的叙述求解上述的 Vlasov-Maxwell 方程的特征。求解的方法涉及运用描述粒子运动的 Hamilton 方程。这种方法提供一个方程组，这是一个典型的非定常角动量方程组。它还直接得到一些粒子运动常数（如果有）。对于这种情况，这些常数是：

(i) 能量(H)，这是运动常数；

(ii) 标准角动量常数 ( $P_\theta$ )，其中

$$P_\theta = r [p_\theta - eA_\theta^s(r, z)] = \text{常数}$$

(iii) 典型的“poloidal”角动量  $P_\phi$ ，在限定大纵横比(即  $r_{b2} \ll r$ )时，这是一个近似的常数：

$$P_\phi = P \left\{ P_\phi - \frac{e}{2} [B_0(r_i) + B_\theta^s(r_i, 0)] \rho \right\} \cong \text{常数}$$

其中： $\rho$  是从环体的小轴线测量的径向距离；

$P_\theta$  是在圆环方向的机械动量；

$A_\theta^s$  是由于电子和离子分布的自场 (self field) 造成的矢量势；

$P_\phi$  是围绕小轴线在  $\Phi$  方向上的动量；以及

$B_\theta^s$  是在  $\theta$  方向上的自磁场 ( magnetic self field ) 。

利用边界条件和上述的三个运动常数可以获得 Vlasov-Maxwell 方程的平衡解。

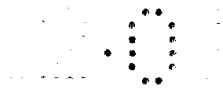
任何方程组的通解都能够容纳各种各样的特殊情况。一般的说，只有在受到某种限制（如限定求解区域）才能获得有用的结果。可以提出几点评述。为了平衡呈现有限数量的残留离子是必要的。提出这种看法是因为如果没有回复力存在电子将沿着轴线  $z$  漂移。而离子可以提供这种回复力。此外，正电极能够在垂直方向上（沿  $z$  轴线）起限制电子环的作用。这可以消除对离子背景的需要。

但是，现在的分析假设有离子背景存在。对于大多数情况，离子背景密度 ( $n_i$ ) 应当大于电子密度 ( $n_e$ )。离子背景的存在还可能有助于径向限制。如果电子螺环是在中性气氛中引发的，离子背景可能是电子螺环中的自然成分。在有背景气体存在的条件下形成最初的非中性电子螺环（即带负电荷）之后，通过电离过程也可能出现离子背景。那种背景气体可能是有意引入的或者是作为杂质被带入的。

### 空心的动态电子螺环的平衡

针对电子螺环的自洽平衡已经求解了 Vlasov-Maxwell 方程。在这里“自洽 ( self-consistent )”的定义是计算螺环自身的电场和磁场，并且在粒子平衡计算中将它们包括在内。离子背景也被包括在内。

上面给出了计算所用的假设。这些假设包括存在离子背景、电子做非相对论性的运动、离子保持静止，以及施加环形磁场  $B_0$ 。假



设电子螺环占据一个薄环，并以内半径  $r_{b1}$  和外半径  $r_{b2}$  为边界，而且内外半径与环半径  $r_t$  相比都是非常小的。计算的细节非常长，在这里仅仅扼要地叙述。考虑两种情况的结果：施加的磁场为零和施加有限的磁场  $B_0$ 。

### 空心的自由电子螺环的平衡 ( $B_0 = 0$ )

根据转换量  $H_0$  和  $P_\phi$ ，对于螺环的内半径  $r_{b1}$  和外半径  $r_{b2}$  的解可以分别写成：

$$\frac{r}{b1} = \frac{|P_{\phi 0}|}{2mH_0^{1/2}} \left[ 1 - \frac{r_e N_b}{2\pi r_t} \right]$$

$$0 = 1 - \left[ \frac{r_{b1}}{r_{b2}} \right]^2 \left[ 1 - \frac{\omega_p^2 r_{b1}^2}{2c^2} \left[ \frac{r_{b1}}{r_{b2}} - 1 \right] \right]^2 - \frac{f}{2} \left[ \frac{m\omega_p^2 r_{b1}^2}{H_0} \left[ \frac{r_{b1}}{r_{b2}} \right]^2 \left[ \frac{r_{b2}^2}{r_{b1}^2} - 1 \right] + \left[ \frac{m\omega_p^2 r_{b1}^2}{H_0} \left[ \frac{r_{b2}}{r_{b1}} - 1 - \ln \frac{r_{b2}}{r_{b1}} \right] \right] \right]$$

这个解用下述三个参数表示其特征：

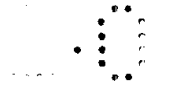
$$f = \frac{N_i}{N_b}, \frac{\omega_p^2 r_{b1}^2}{c^2}, \text{ 以及 } \frac{H_0}{mc^2}$$

在电子螺环中的电子数由  $N_b$  给出；

$$N_b = \pi \left[ \frac{\omega_p^2 r_{b1c}^2}{c^2} \left[ \frac{r_t}{r_e} \right] \left[ \frac{r_{b2}}{r_{b1}} - 1 \right] \right]$$

其中  $r_e$  等于  $2.8 \times 10^{-15} \text{ m}$ ， $\omega_p$  是等离子体频率。

有外加磁场  $B_0$  时空心电子螺环的平衡



在这种情况下，解由下式给出：

$$\frac{r_{b1}}{r_b} = 1 - \left[ 1 - \frac{2P_{\phi 0}}{m\Omega_0 r_b^2} \right]^{1/2}$$

$$0 = \left[ \frac{r_b}{r_{b1}} \right]^2 - \left[ \left[ \frac{r_b}{r_{b1}} - \frac{1}{2} \left[ \frac{r_{b1}}{r_{b2}} \right] + \frac{1}{2} \left[ \frac{r_{b2}}{r_{b1}} \right] \right]^2 - \frac{f\omega_p^2}{\Omega_0^2} \left[ \frac{r_{b1}}{r_{b2}} \right]^2 \left[ \frac{r_{b2}}{r_{b1}} - 1 \right] \left[ \left[ \frac{r_{b2}}{r_{b1}} \right]^2 - 1 \right] + \frac{2\omega_p^2}{\Omega_0^2} \left[ \frac{r_{b2}}{r_{b1}} - 1 - \ln \frac{r_{b2}}{r_{b1}} \right] \right]$$

这个解用下式三个参数表示其特征：

$$f = \frac{N_i}{N_b}, \frac{\omega_p^2}{\Omega_0^2}, \text{ 以及 } \frac{r_b}{r_{b1}}$$

数量 $\Omega_0$ 是电子回旋频率，由 $eB_0/m$ 给出。在这种情况下，电子螺环存储的电子数由 $N_b$ 给出：

$$Nb = 2\pi \left[ \frac{\omega_p^2}{\Omega_0^2} \left[ \frac{r_i}{r_e} \left[ \frac{r_{b1}}{r_{b2}} \right]^2 \left[ \frac{r_{b2}}{r_{b1}} - 1 \right] \frac{\langle V_{\phi} \rangle^2(r_{b1})}{2c^2} \right] \right]$$

其中 $\frac{\langle V_{\phi} \rangle^2(r_{b1})}{2c^2}$ 是在 $\rho = r_{b1}$ 处垂直于环的电子横向动能与电子静止能量（511keV）之间的比值。

### 理论计算结果

针对电子螺环的情况，已经求出描述粒子分布平衡的精确的方程（即 Vlasov-Maxwell 方程）的解。这些解表明：在非常普通的条件下，无论有无外加磁场的电子螺环都存在着平衡解。背景离子分布可以使电子螺环克服沿圆环轴线的运动趋于稳定。无论有无外加磁场都详细地求解了空心薄环，依据储藏量（能量和标准角动量）

计算了储存的电荷分布。这些计算允许估计在电子螺环中可能储存的电荷与能量。

未中和的等离子体与电子螺环 ( EST ) 的条件不同。在 EST 中每个电子能够储存的能量大约是 100 伏, 优先选择每个电子能够储存的能量在数百伏到至少 25,000 伏的范围内。在大约 25,000 伏以上, 在一个狭窄的能带中产生来自非放射性源的 x-射线。能带宽度取决于轨道中粒子的速度差。

对于在  $0.1 \text{ m}^3$  中存储 10,000 库仑电荷的 EST, 单位体积的粒子数是  $6 \times 10^{23} \text{ m}^{-3}$ , 这个数值比未中和的等离子体实例要大得多。在 EST 中等离子体频率可能超过在任何感性趣的磁场 ( 小于 10 千高斯 ) 中的回旋频率。在 EST 中能量密度与常规的未中和等离子体相比至少超过后者一个数量级, 优先选择超过多个数量级。确实, 对于 EST 而言, 理想的在单位体积中尽最大可能存储能量。

对于传统的等离子体, 比值  $[\omega_p/\Omega_0]^2$  被限制小于 1。这在 R. Davidson 的 “Physics of Non-neutral plasma” 已有说明。这意味着带电粒子的总数受施加的外磁场的限制。在 EST 中, 这个比值被颠倒过来。该比值  $[\omega_p/\Omega_0]^2$  可以比 1 大得多, 已经计算出来的这个比值可以高达 500。这意味着在 EST 中储存的总电荷是巨大的。

### 电子螺环的电子点阵壳

电子螺环有一个薄薄的电子外壳。这发生在形成 EST 期间, 由于电子在施加的磁场中旋转造成的。当电子旋转时, 能量几乎一致的电子几乎都移到半径几乎一致的轨道上。因此, 形成轨道级, 每个轨道级具有能量几乎一致的电子。能量较高的电子迁移到较高的轨道级。



当电子继续旋转时，由于电子寻找它们各自的轨道级，而发生迁移。这可以看作是离心过滤。最终在一个轨道级中的电子的能量变得接近起来。

当毗邻的电子之间能量足够接近而且电子密度足够高时，电子耦合成点阵。形成许多点阵，每个能级一个点阵。这些点阵的总体形成 EST 的外壳。由于点阵的轨道差异非常小，所以外壳的厚度不大。

电子点阵的条件是已知的，并且被定义为耦合因子  $\Gamma$ 。点阵的耦合因子是：

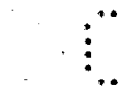
$$\Gamma = (1/k_B T) (q^2 / 4\pi \epsilon_0) [4\pi n_b / 3]^{1/3}$$

其中  $T$  是电子之间的能量差； $n_b$  是电子密度。因为迄今在电子点阵方面所作的大量工作都是在绝对零度附近完成的，所以，值得注意的是  $T$  与能量差有关，而与绝对能量无关。

为了形成电子点阵，需要满足两个条件。第一个条件是每个轨道级中的电子要满足电子之间能量差小的条件。第二个条件是电子密度要足够大，大到足以建立电子点阵。

因为旋转力与磁场平衡，所以，独特的引发束盘旋的方法使电子分成同心的轨道级。在毗邻电子之间能量充分接近的场合，存在着一种电子结构。毗邻电子之间的能量差可以作如下估计：

由环形引发磁场引起的盘旋效应使所有的电子寻找单一能量的轨道。旋转力 ( $F = mV^2 / r$ ) 将电子按照它们的能级分开，能量较高的电子留在较高的轨道级中，而能量较低电子则在较低的轨道



级中。在引发期间，电子开始成批地形成薄薄的空心环壳。电子盘旋越长，“离心过滤”越甚，毗邻电子之间的能级就越接近。

能量条件是毗邻电子的能级差小于热能（thermal energy）。对于 EST 中的电子，估计这个条件在 300K。在这个能级，壳间的距离是：

$$mV^2(D)/r = 4.73 \cdot 10^{21} \text{ 焦耳}$$

其中：r 是轨道半径，以及

D 是同心的单一能量轨道之间的距离。

当时  $r = 0.01\text{m}$ ， $V = 4.6 \cdot 10^7$  (24,000 伏) 时， $D = 2.26 \cdot 10^{-8}\text{m}$ 。为了将这个结果与 Gilbert 报告的耦合进行比较，为了将电子质量校正成离子质量需要有关校正因子（参见 Gibert, S.L., Bollinger, J.J. 和 Wineland, D.J. 的 “Shell-Structure Phase of Magnetically Confined Strongly Coupled Plasma”，Physical Review Letters，Vol.60, No.20，(16, May, 1988)）。用电子的质量除 D，然后再乘以离子质量，得到：

$$D = (2.26 \cdot 10^{-8}) (1.67 \cdot 10^{-27}) / (9.11 \cdot 10^{-31}) = 41.4 \cdot 10^{-6} \text{ m.}$$

Gilbert 报告说离子壳是等间隔的，间隔为  $40\mu\text{m}$ ，即  $40 \cdot 10^{-6}\text{m}$ 。这与 EST 的要求非常接近，并且证明了 EST 能使相邻电子的能量接近程度足以形成电子点阵。

由于电子层的厚度小，层中的电子密度非常高。利用电子在 EST 外壳中正弦运动理论，能够计算该密度。计算结果如下：



$D_e$ =电子距离 =  $(0.5)h/m_e V$  = Broglie 波长的一半 =  $8.88 * 10^{-11}m$  (电子能量为 100V)

$$D_0=30 D_e$$

$$A_e=\text{每个电子的面积}=2.29 * 10^{-19} m^2$$

$$T_s=\text{电子壳的厚度}=10 * 10^{-10} m$$

$$V_e=\text{每个电子的体积}=A_e \times T_s=2.29*10^{-29} m^3$$

$$n_b=\text{电子壳的密度}=4.4 * 10^{28} \text{ 个电子}/m^3 = 4.4 * 10^{22} \text{ 个电子}/cm^3$$

注意： $D_e$ 、 $D_0$ 和 $T_s$ 是依据轨道级中的电子作正弦运动的理论估算的。

耦合进电子点阵所需要的耦合因子 ( $\Gamma$ ) 大约是 200。利用上述的电子密度和能量差计算为：

$$\text{当 } T=300, n_b=4.4*10^{28} \text{ 个电子}/m^3 \text{ 时, } \Gamma=317$$

这样高的耦合因子表明点阵能够在 EST 表面形成。这个结果证实强耦合发生在 EST 的每个轨道级当中。

### 实际应用

电子螺环适合在各式各样的储存和回收的应用中使用。依据本发明的系统能够用于一切需要轻型能源或高功率能源的场合。这种系统的体积大约是 63 升，质量大约是 1.4 千克（包括壳体）。下表对优选的 EST 系统与铅酸蓄电池和锂电池的技术性能作了比较。

	铅酸蓄电池	锂电池	EST
比能量(瓦特-小时/千克)	25	200	28,000
峰值功率(瓦特/千克)	150	400	>100,000
再充电时间(小时)	6-8	3-6	<0.1
寿命(年)	3-5	10	>10
能量密度(瓦特-小时/升)	80	300	1274
寒冷气候(性能)下降	高达 90%	高达 90%	无
环境(污染)	危险	危险	无

具体地说，依据本发明的系统非常适合在电力运输工具、加热系统和军用系统中使用。可以使用 EST 系统的运输工具的类型包括小汽车、卡车、大客车、火车、飞机（包括直升飞机）和航天器。这种系统重量轻使它作为个人便携式动力源也是有吸引力的。

在本发明优先选择的实施方案中，电力运输工具采用 EST 电池作为储能源。EST 电池与化学电池相比具有巨大的潜在性能优势。EST 电力运输工具与内燃机相比具有巨大的性能优势。

图 27 是依据本发明的 EST 电力运输车辆 400 的示意图。EST 电池内藏在盘形真空舱 405 中。储存的总能量最少大约是 40 千瓦小时，但是可以依据应用做得更大或更小。

当操作员旋转通断开关 410 时，控制系统 415 激活电力提取单元 420。在一个实施方案中，电力提取单元 420 可以使用灼热气体提取能量。在灼热气体型中，气体被送入 EST 电池，在那里气体被加热。然后，将受热气体通过能量管 425 送到发电机 430。发电机 430 将灼热的气体转变成适合给电机 435 供电的电力。电机 435 驱



动行星齿轮 440，为车轮提供动力。该气体可以是空气、氮气或任何类似的气体。

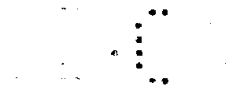
为了中断 EST 供电，操作员通过通断开关 410 使 EST 电池失去活性，使电力提取单元 420 失去能力。发电机 430 还能给小型蓄电池 450 供电，以使操作员在 EST 失去活性时可以运行各种附件。提供真空泵和传感器单元 455，以便在需要时维持 EST 电池的真空度。

在第二个实施方案中，电子电力提取单元成批的从 EST 本身提取电子，就象前面叙述的那样。然后，发电机 430 可以利用这一批批的电子产生电力。

利用充电器 460 给 EST 充电，可以补充电力。充电器 460 从外部电源连接器 465 获得电力。在运输工具停驶时，操作员通常将外部电源连接器 465 与电源插座相连接。如上所述，充电器 460 可以是适合给 EST 充电的微波设备。

图 28 依据本发明的电力飞机 500 的示意图。与图 27 的电力运输工具 400 一样，EST 电池内藏在盘形真空舱 505 内。当飞行员旋转通断开关 510 时，控制系统 515 激活电力提取单元 520。如上所述，电力提取单元 520 可以利用灼热气体提取能量或者成批地提取电子。

在灼热气体型中，气体（如空气或氮气）被送入 EST 电池，在那里给气体加热。然后，将受热气体通过能量管 525 送到发电机 530。发电机 530 将灼热的气体转变成适合给电机 535 和飞行控制系统 570 供电的电力。电机 535 驱动螺旋桨轴 540，为螺旋桨 545 提供动力。



发电机 530 还可以给小型蓄电池 550 供电，以使飞行员在 EST 失去活性时运行各种附件。提供真空泵和传感器单元 555，以便在需要时维持 EST 电池的真空气度。

利用充电器 560 给 EST 充电，可以补充电力。充电器 560 从与电源插座相连接的外部电源连接器 565 获得电力。如上所述，充电器 560 可以是适合给 EST 充电的微波设备。

图 29 是依据本发明的便携式电源的示意图。上述的可充电的 EST 电池内藏在电源箱 600 内。因为 EST 电池重量轻而且紧凑，瘦弱的人也能携带电源箱 600。电源箱 600 可以与外部的电子设备 610 连接，这些电子设备包括通信设备和计算机。

前面具体地介绍了本发明优选的实施方案，这些方案可以变化和改进，而且基本上不改变本发明的性质。在结合具体的实施方案阐述了本发明之后，应当理解的是，本领域的技术人员可以在不脱离本发明的精髓和范围，作各种形式上和细节上的变化，本发明的精髓和范围由权利要求书限定。

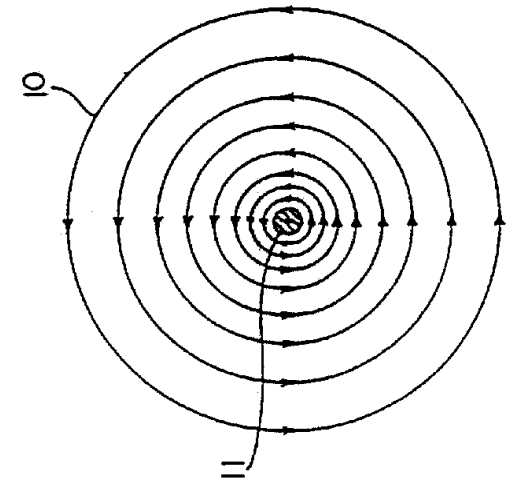


图 2

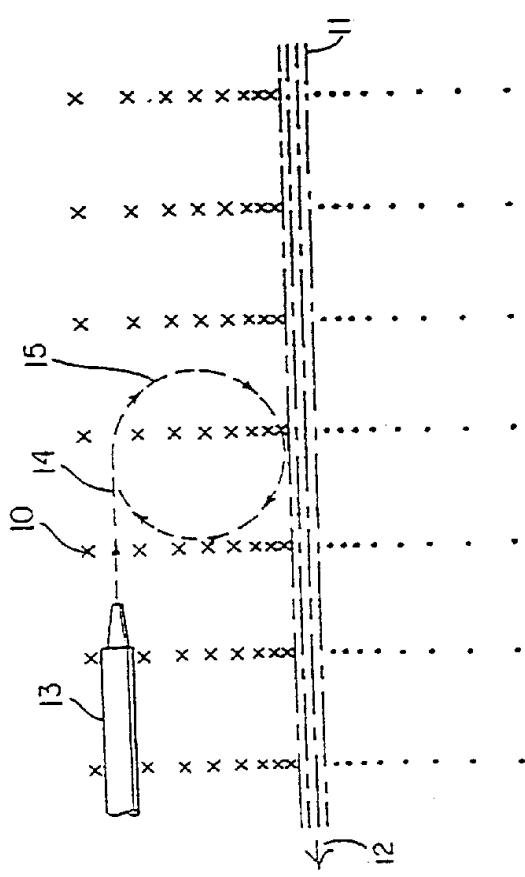


图 1

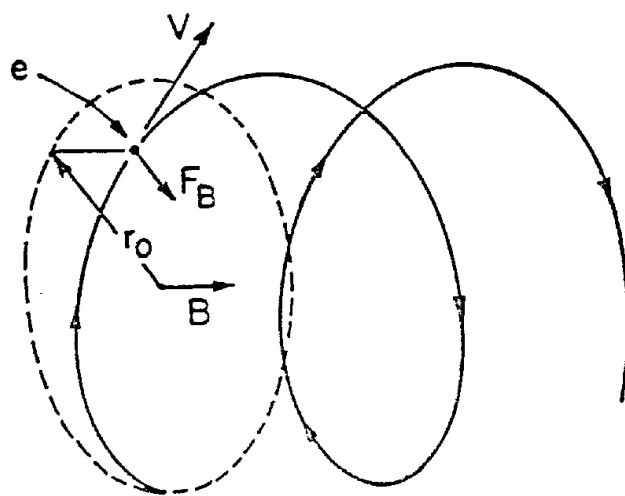
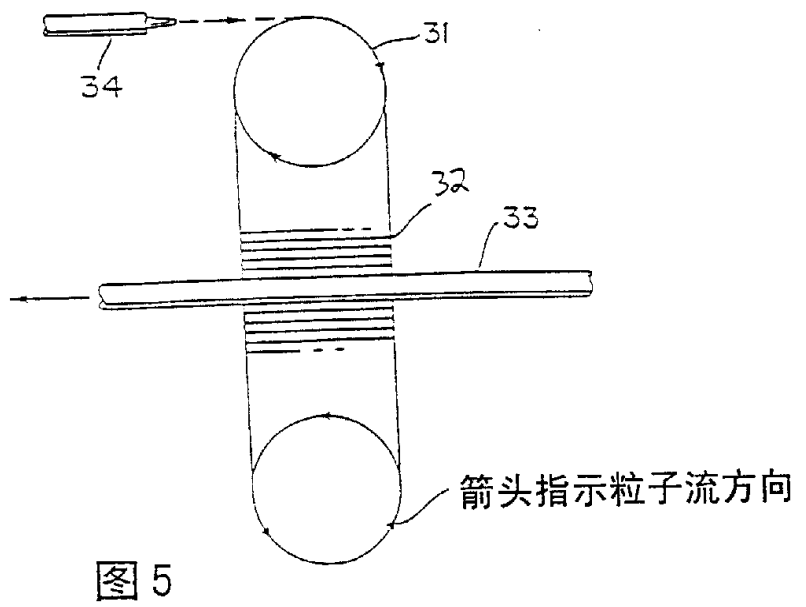
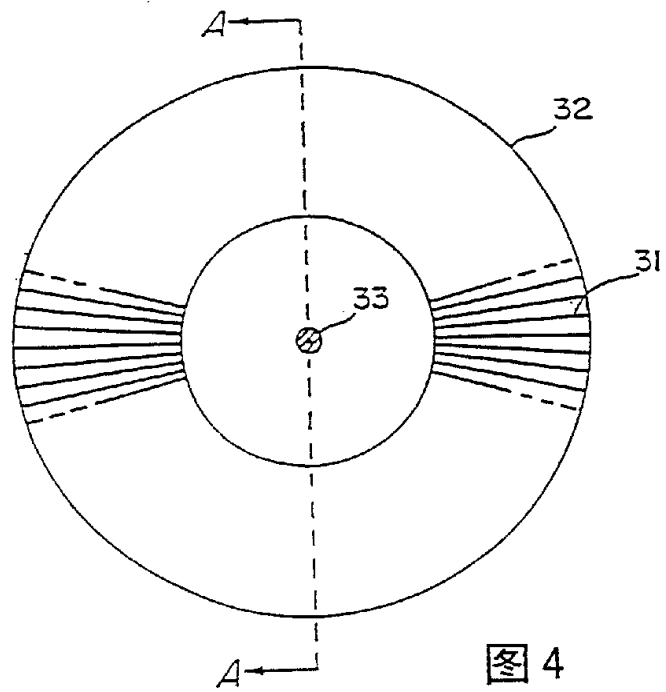


图 3





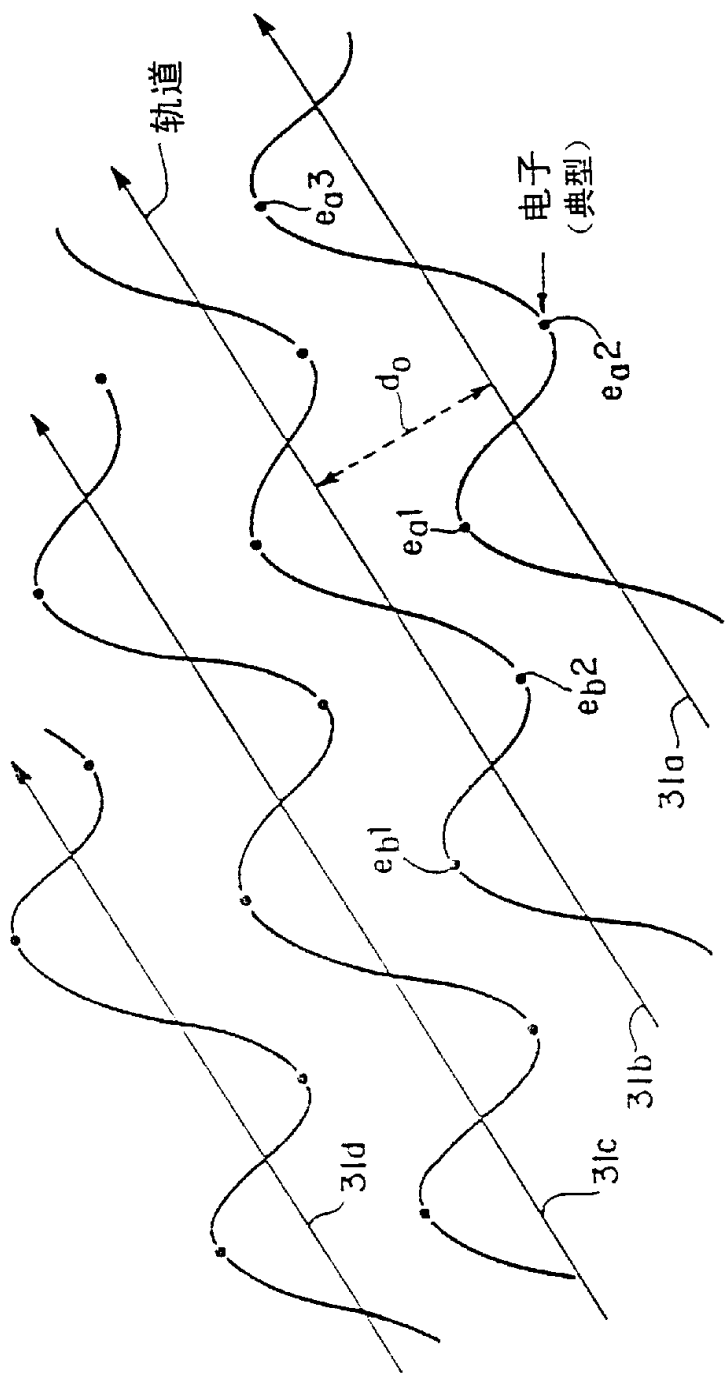


图6

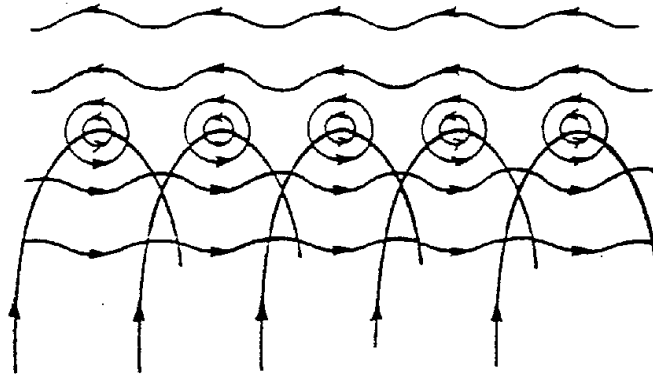


图 7

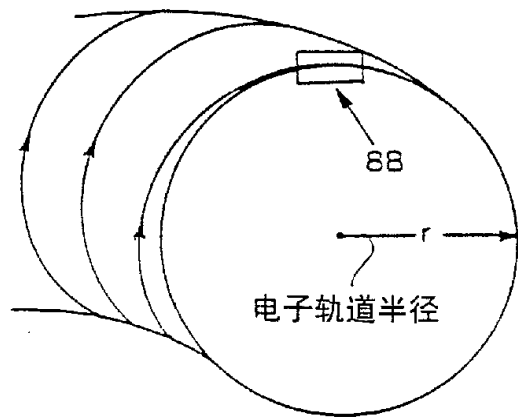


图 8A

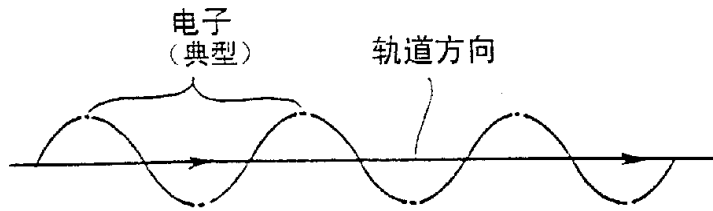


图 8B

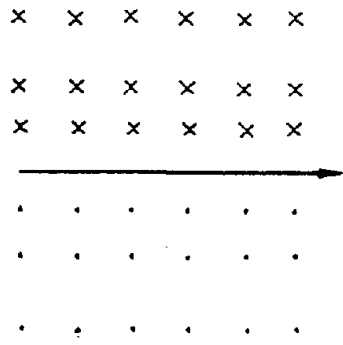


图 9A

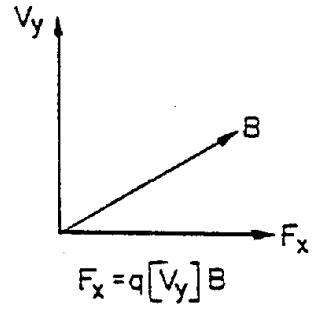


图 9B

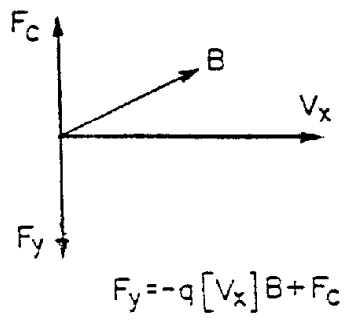


图 9C

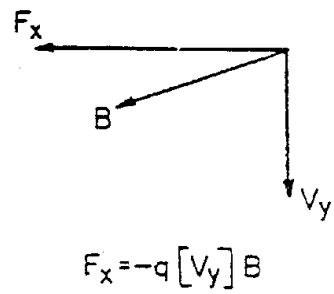


图 9D

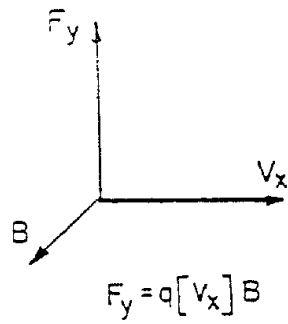


图 9E



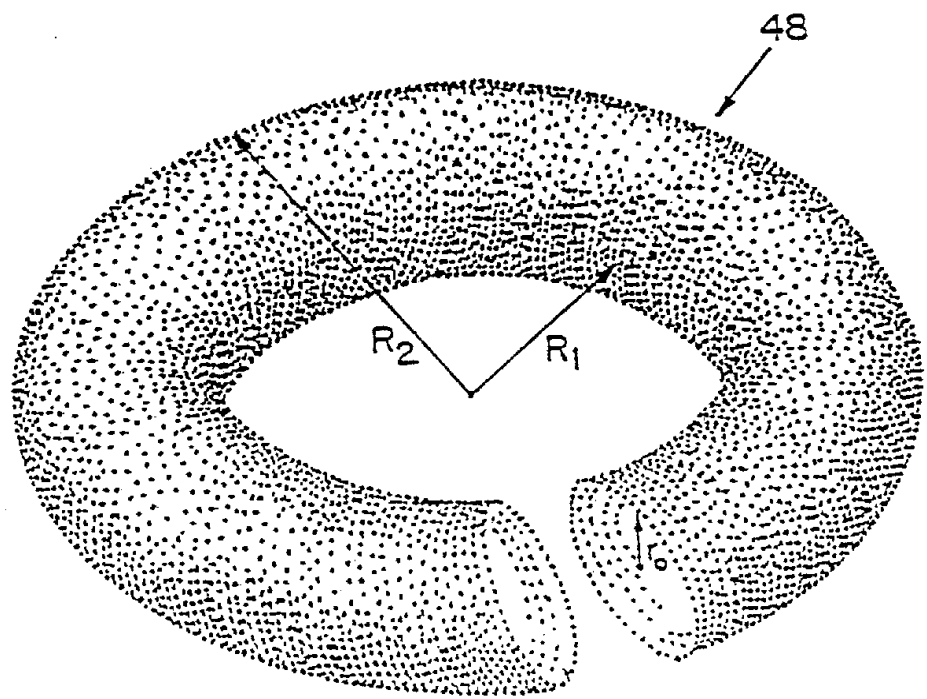


图 13

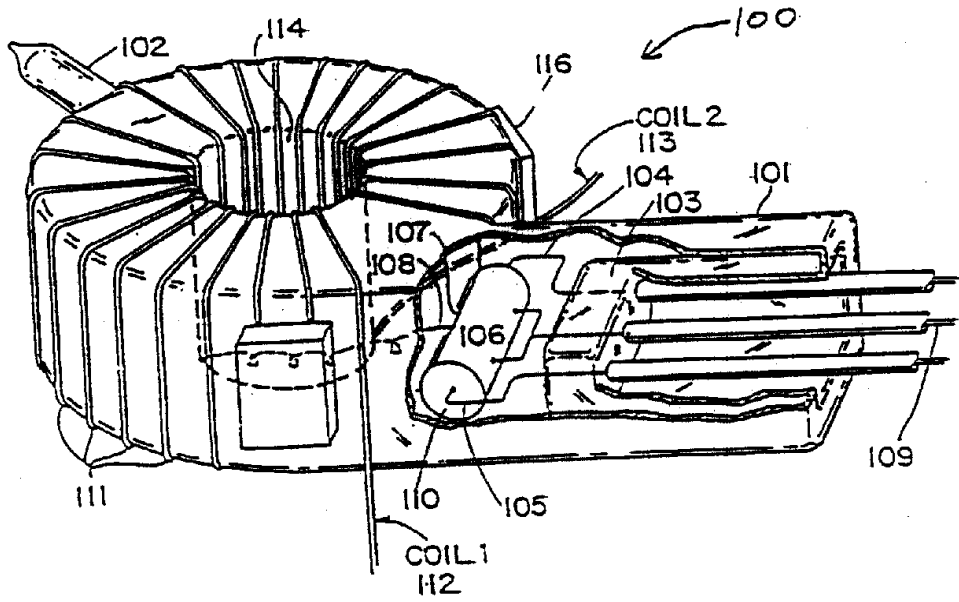


图 14

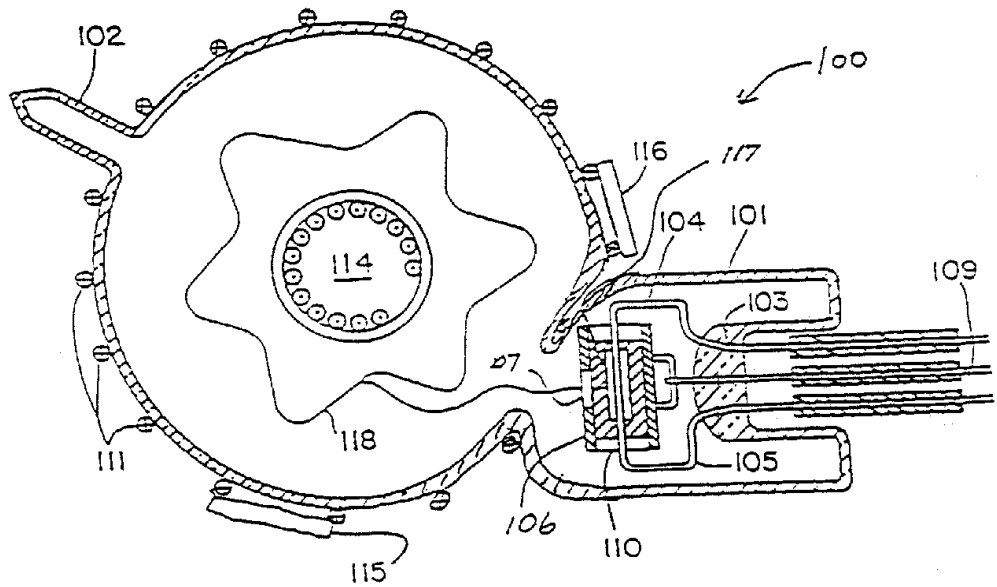


图 15

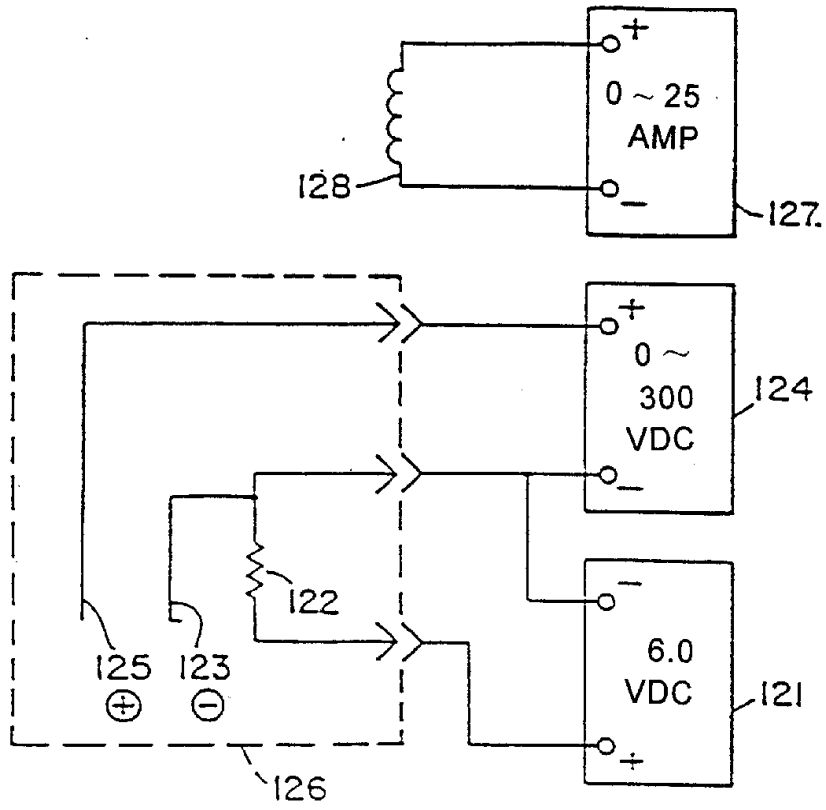


图 16

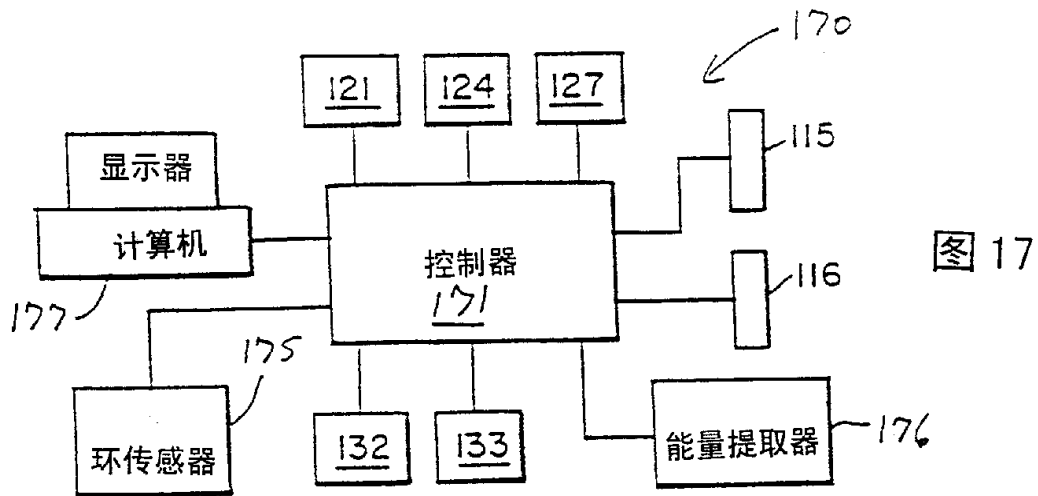


图 17



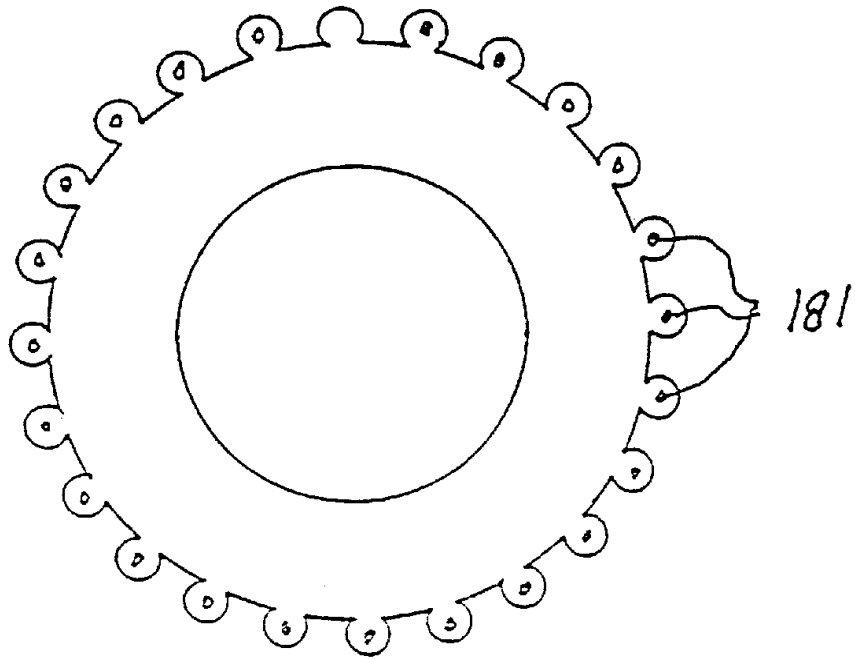


图 18A

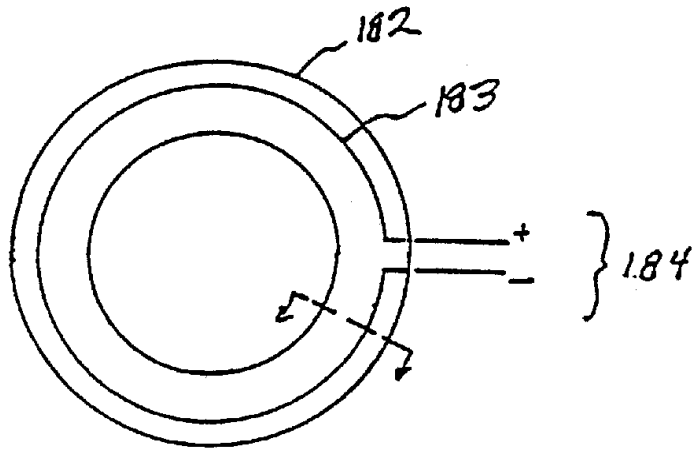


图 18B

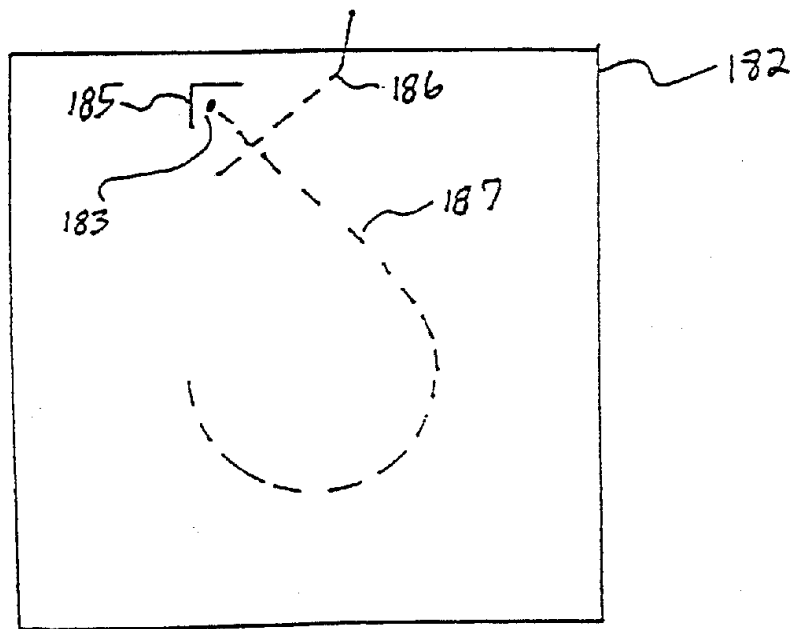


图 18C



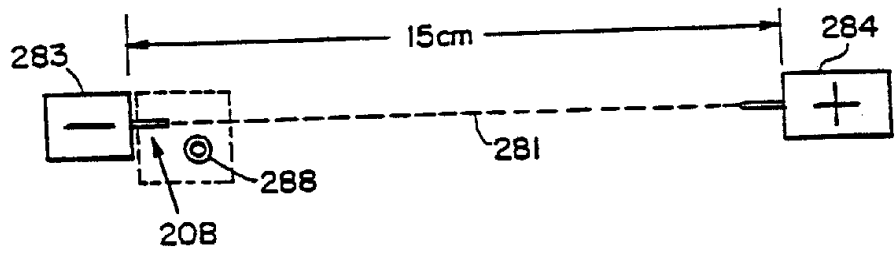


图 20A

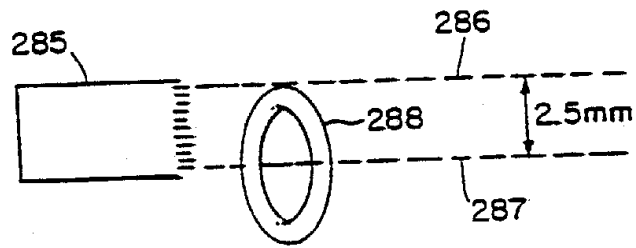


图 20B

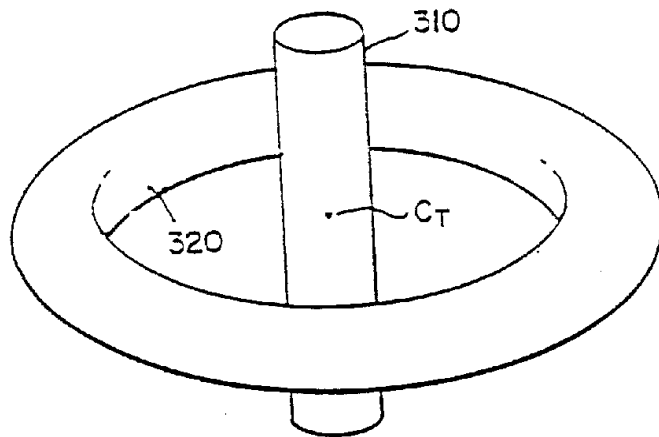


图 21



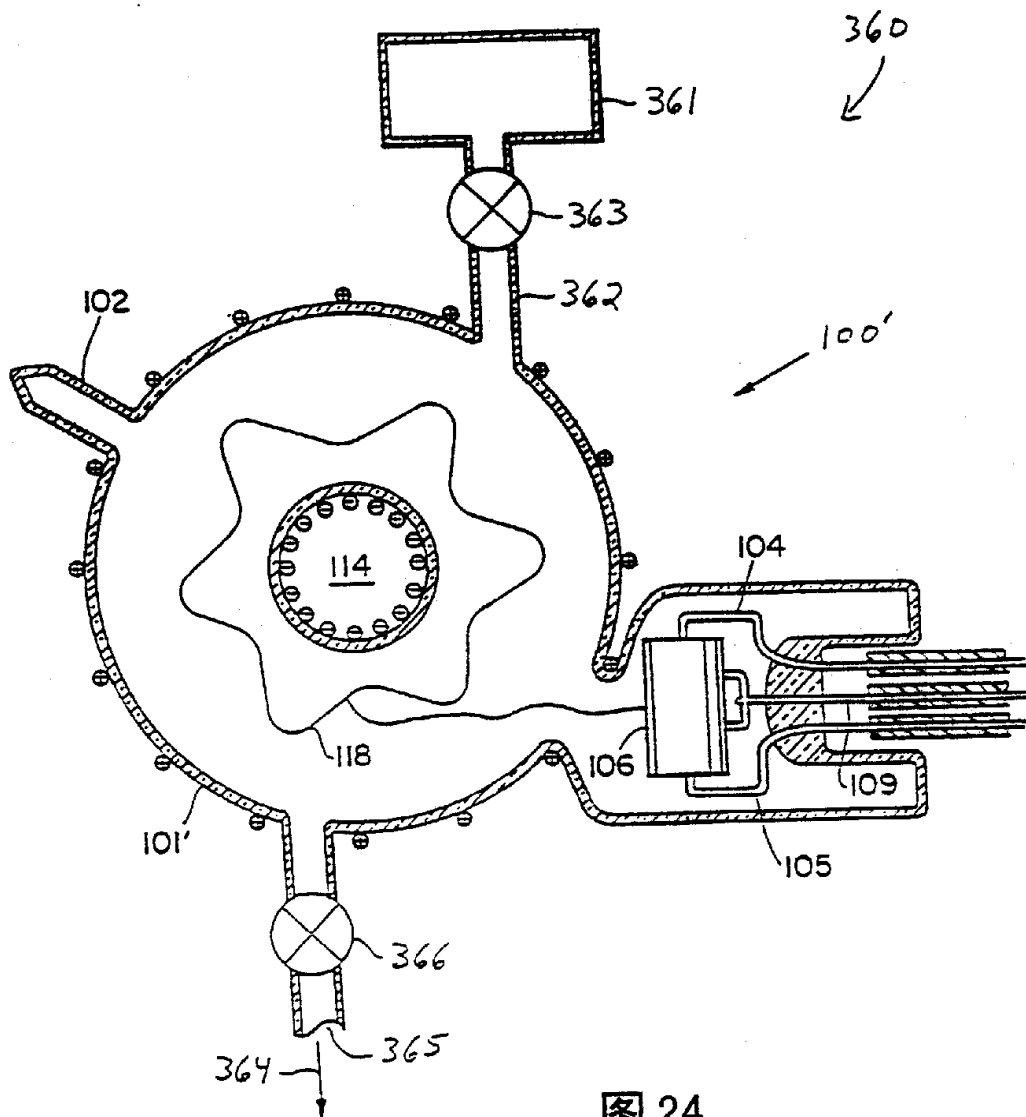


图 24

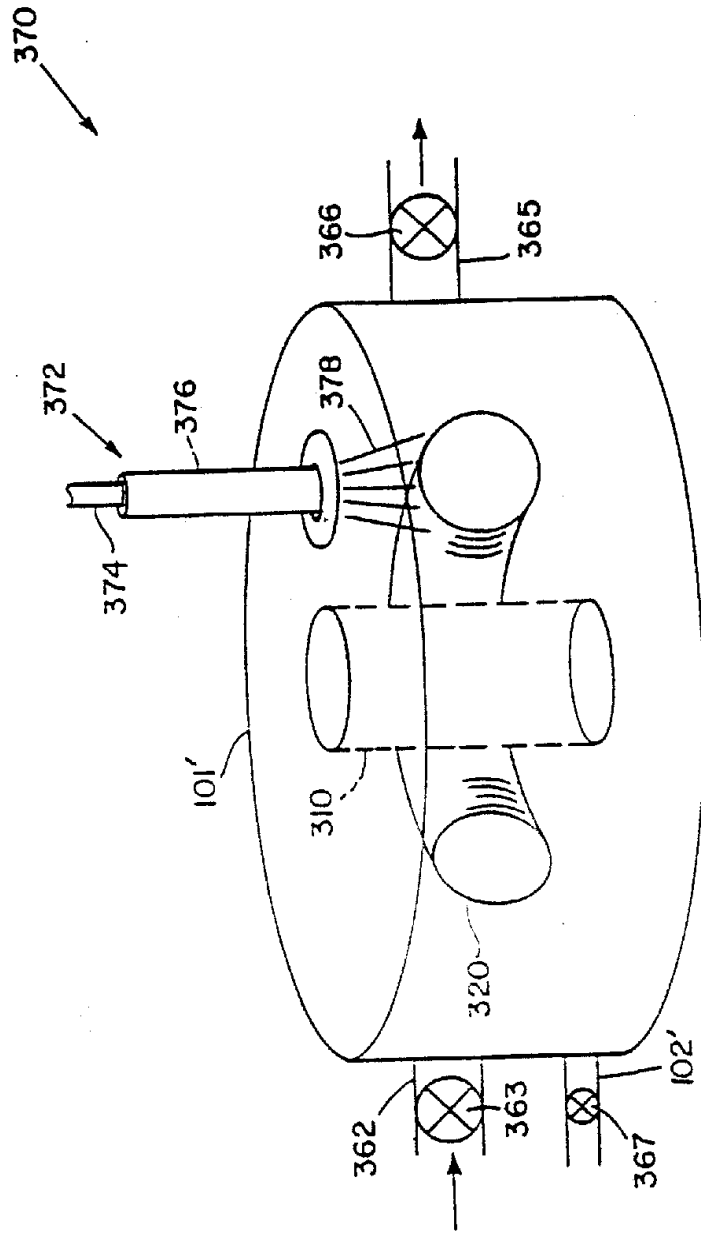


图 25







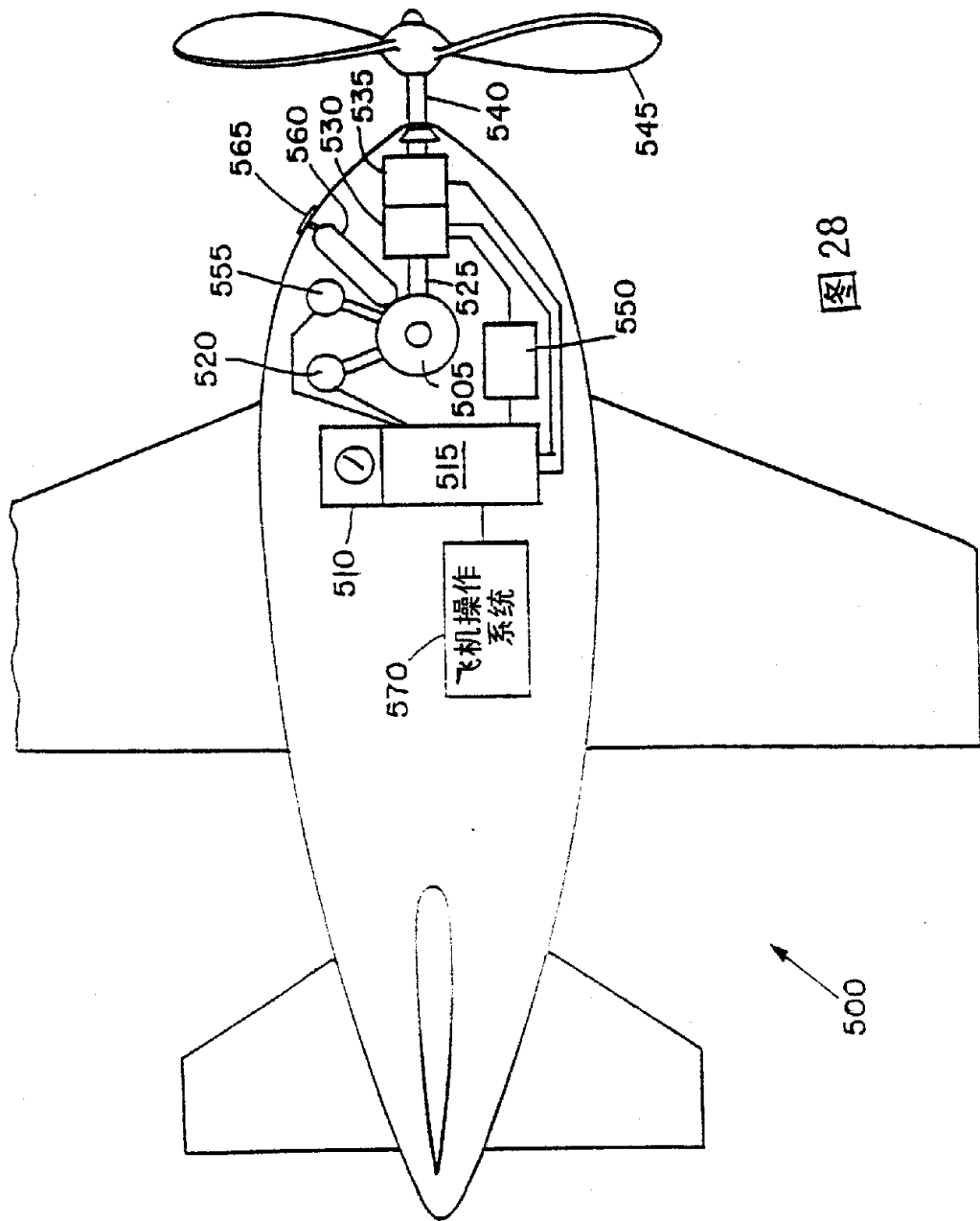


图 28

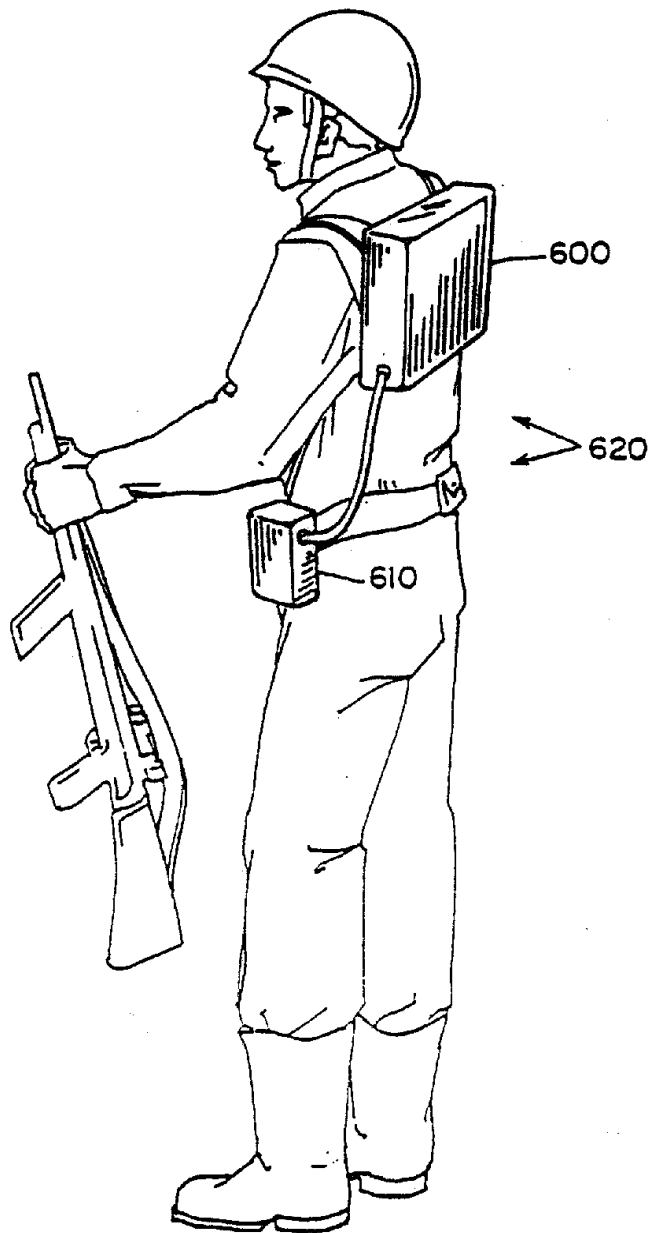


图 29