

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01J 37/304 (2006.01)

H01J 37/317 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02818571.4

[45] 授权公告日 2009 年 1 月 28 日

[11] 授权公告号 CN 100456416C

[22] 申请日 2002.7.10 [21] 申请号 02818571.4

[30] 优先权

[32] 2001.8.30 [33] US [31] 09/943,625

[86] 国际申请 PCT/US2002/021751 2002.7.10

[87] 国际公布 WO2003/021630 英 2003.3.13

[85] 进入国家阶段日期 2004.3.22

[73] 专利权人 瓦里安半导体设备联合公司

地址 美国马萨诸塞州

[72] 发明人 特伦斯·肖恩·萨利文

戴维·S·霍布鲁克

克里福德·A·拉丁

[56] 参考文献

US5653811A 1997.8.5

JP10-134745A 1998.5.22

EP0986091A2 2000.3.15

US4595837A 1986.6.17

CN1155152A 1997.7.23

WO00/38486A1 2000.6.29

US5861632A 1999.1.19

审查员 王晓峰

[74] 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

代理人 杨生平 杨红梅

权利要求书 10 页 说明书 40 页 附图 18 页

[54] 发明名称

用来统调离子注入机的方法和装置

[57] 摘要

这些方法和装置是为自动统调诸如离子注入机之类带电粒子束系统准备的。在一个实施方案中，调整位于目标部件上游的控制部件的控制参数，并且测量目标部件下游的射束电流。射束电流的测量结果提供某种信息，该信息被用来评估统调，而且如果必要被用来统调目标部件。目标部件通常是诸如磁体之类响应缓慢的部件。在另一个实施方案中，统调的评估是通过调整目标参数和监视这种调整对射束电流的影响完成的。在进一步的实施方案中，带电粒子束的斑点大小是借助射束扫过小孔的边缘和评估射束焦点的锐度来评估的。统调算法优选在用于高速操作的本地电源接口中实现。

1. 一种用来评估带电粒子束系统中的目标部件的目标参数的统调的方法，其中带电粒子束是穿越所述的目标部件传送的，所述方法包括下述步骤：

(a) 改变位于目标部件上游的控制部件的控制参数，其中，所述的带电粒子束穿越所述的控制部件，并且在随着所述的控制参数变化时而受到影响，所述的控制参数与所述的目标部件有预定的关系；

(b) 在改变所述的控制参数的同时测量在所述带电粒子束系统的所述目标部件下游的射束电流；

(c) 基于射束电流测量结果和预定的目标部件和控制参数之间的关系评估所述目标参数的统调；以及

(d) 基于所述目标参数的统调的评估结果调整所述目标参数。

2. 根据权利要求1的方法，其中所述控制参数具有初始值，并且其中评估所述目标参数的统调的步骤包括确定射束电流是否至少是当所述的控制参数处在其初始值的时候实测的最大射束电流的预定部分。
3. 根据权利要求2的方法，进一步包括以下步骤：对全部步骤执行两次以上的叠代直到满足预定的标准。
4. 根据权利要求3的方法，其中所述预定的标准包括在至少预定的叠代次数中射束电流超过最大的实测射束电流的预定部分。

5. 根据权利要求1的方法，其中所述控制参数具有初始值，并且其中评估所述目标参数的统调的步骤包括确定最大射束电流是在将所述控制参数被偏移至初始值以上还是以下时测量的。
6. 根据权利要求1的方法，其中评估所述目标参数的统调的步骤包括：基于射束电流的测量结果以及预定的所述目标部件和所述控制参数之间的关系，确定所述的目标参数究竟被统调到比将导致依据所述的目标参数在下游实测到最大射束电流的数值高还是低的数值。
7. 根据权利要求1的方法，进一步包括在实测的射束电流满足预定的标准之前完成将全部步骤叠代两次以上的步骤。
8. 根据权利要求7的方法，其中所述控制参数的变化幅度在叠代期间小于在先前叠代中的变化幅度。
9. 根据权利要求7的方法，其中所述控制参数具有初始值，并且其中所述的预定标准是射束电流至少是当所述控制参数处在其初始值的时候实测的最大射束电流的预定部分。
10. 根据权利要求1的方法，其中调整所述目标参数的步骤包括分析射束电流的测量结果以确定目标参数调整和用所确定的目标参数调整来调整所述的目标参数。
11. 根据权利要求10的方法，其中分析射束电流测量结果的步骤包括确定目标参数调整方向和幅度以使峰值射束电流向所述控制参数的所需值移动。

12. 根据权利要求 1 的方法，其中所述的目标部件包括作为对电流的响应产生磁场的磁体，而且所述的目标参数包括供应给所述磁体的电流。
13. 根据权利要求 12 的方法，其中控制部件包括一个作为对控制电压的响应产生电场的静电部件，而且改变控制参数的步骤包括改变控制电压。
14. 根据权利要求 12 的方法，其中所述的控制参数包括带电粒子束进入所述磁体的进入角。
15. 根据权利要求 12 的方法，其中所述的控制参数包括带电粒子束进入所述磁体的进入速度。
16. 根据权利要求 12 的方法，其中所述的目标部件包括质量分析器的弯曲磁体。
17. 根据权利要求 12 的方法，其中所述的目标部件包括带电状态分辨磁体。
18. 根据权利要求 12 的方法，其中所述的目标部件包括用来把所述射束的轨道转换成基本上平行的轨道的平行化磁体。
19. 根据权利要求 1 的方法，其中所述的目标部件包括作为对电压的响应产生电场的静电部件，而且所述的目标参数包括施于所述静电部件的电压。
20. 根据权利要求 1 的方法，其中所述的控制参数包括供给所述控制部件的电源输出的值。

21. 根据权利要求 20 的方法, 进一步包括在改变所述的控制参数期间测量所述电源输出值的步骤。
22. 根据权利要求方法 21 的方法, 进一步包括步骤: 在由集合的极端成员界定的数值范围内确定所述电源的次要数值, 所述集合包括与所述射束电流的至少一个测量结果、实测峰值射束电流的至少预定部分几乎同时记录的所述控制参数读回的至少一个测量结果。
23. 根据权利要求 22 的方法, 进一步包括在开始改变所述的控制参数之前读出名义控制参数读回数值的步骤和依据其初始值借助所述电源的所述次要数值和所述的名义控制参数读回数值之间的带符号的差值的预定的函数调整所述的目标参数的步骤。
24. 根据权利要求 1 的方法, 其中改变所述的控制参数的步骤包括用周期性的波形调制控制参数。
25. 根据权利要求 1 的方法, 其中改变所述的控制参数的步骤包括使控制参数一步一步地通过预定的离散数值图案。
26. 根据权利要求 1 的方法, 其中改变所述的控制参数的步骤包括使控制参数比所述的电源输出能够作为对每个设定的响应稳定更快地一步一步地通过预定的离散数值图案。
27. 根据权利要求 1 的方法, 其中测量射束电流的步骤包括借助位于所述目标部件下游的法拉第射束传感器测量射束电流。
28. 根据权利要求 1 的方法, 其中测量射束电流的步骤包括借助位于所述目标部件下游的参量变流器测量射束电流。

29. 根据权利要求1的方法，其中测量射束电流的步骤包括针对所述控制参数的不同数值测量射束电流样本。
30. 根据权利要求1的方法，进一步包括把所述的控制参数恢复到它的初始值的步骤。
31. 根据权利要求1的方法，其中所述的控制参数对调整的响应比所述的目标部件对调整的响应更快。
32. 根据权利要求1的方法，其中评估所述目标参数的步骤包括执行关于测量的射束电流波形的傅立叶分析。
33. 根据权利要求1的方法，其中所述的带电粒子束系统包括离子注入机。
34. 根据权利要求1的方法，其中所述的带电粒子束系统包括粒子加速器。
35. 根据权利要求1的方法，其中所述的带电粒子束系统包括质量分析器。
36. 一种用来统调带电粒子束系统中的目标部件的目标参数的方法，其中带电粒子束是穿越所述的目标部件传送的，该方法包括下述步骤：
- (a) 确定名义目标参数值；
 - (b) 测量所述目标参数的名义读回数值；(c) 按照关于所述的名义目标参数值的预定图案改变所述的目标参数；
 - (d) 在改变所述的目标参数时测量在所述的带电粒子束系统的所述目标部件下游的射束电流以及目标参数读回数值；

(e)在由集合的极端成员界定的数值范围内确定最佳的读回数值,所述集合包括与所述射束电流的至少一个测量结果、实测峰值射束电流的至少预定部分几乎同时记录的所述目标参数读回数值的至少一个测量结果;

(f)用所述的名义读回数值和所述的最佳读回数值之间的带符号的差值的预定的函数调整名义目标参数值;以及

(g)完成至少包括步骤(b)、(c)、(d)和(e)的两次以上叠代,直到所述的射束电流测量结果满足预定的标准为止。

37. 根据权利要求 36 的方法,其中所述目标参数的变化幅度在叠代期间等于或小于在先前叠代中的变化幅度。
38. 根据权利要求 36 的方法,其中所述的预定标准是当所述的最佳读回数值和所述的名义读回数值之间的绝对差值在幅度方面小于预定的门限值的时候,测量的射束电流至少是实测的最大射束电流的预定部分。
39. 根据权利要求 36 的方法,其中所述的目标部件包括作为对电压的响应产生电场的静电部件,而且所述的目标参数包括施于所述静电部件的电压。
40. 根据权利要求 36 的方法,其中改变所述目标参数的步骤包括用周期性的波形调制目标参数。
41. 根据权利要求 36 的方法,其中改变所述目标参数的步骤包括使目标参数一步一步地通过一系列离散的数值。
42. 根据权利要求 36 的方法,其中所述的目标参数包括供给所述目标部件的电源输出的近似数值。

-
43. 根据权利要求 42 的方法，其中改变所述目标参数的步骤包括使目标参数比所述电源输出作为对每个设定的响应能够稳定更快地一步一步地通过一系列离散的数值。
44. 根据权利要求 36 的方法，其中测量射束电流的步骤包括借助位于所述目标部件下游的法拉第射束传感器测量射束电流。
45. 根据权利要求 36 的方法，其中测量射束电流的步骤包括借助位于所述目标部件下游的参量变流器测量射束电流。
46. 根据权利要求 36 的方法，其中测量射束电流的步骤包括针对所述目标参数的不同数值测量射束电流的样本。
47. 根据权利要求 36 的方法，其中调整名义目标参数值的步骤包括执行关于测量的射束电流波形的傅立叶分析。
48. 根据权利要求 36 的方法，其中所述的带电粒子束系统包括离子注入机。
49. 根据权利要求 36 的方法，其中所述的带电粒子束系统包括粒子加速器。
50. 根据权利要求 36 的方法，其中所述的带电粒子束系统包括质谱仪。
51. 一种在带电粒子束系统中用来评估目标部件的目标参数的统调的方法，其中带电粒子束是穿越所述的目标部件传送的，而且所述的目标参数确定所述带电粒子束的近似的下游焦点，所述方法包括下述步骤：

(a) 确定名义目标参数值, 其中所述的目标参数确定在所述的带电粒子束系统之内所述的带电粒子束在位于所述目标部件下游的射束电流感测元件平面的位置;

(b) 在围绕着所述名义目标参数值的预定图案中改变所述的目标参数, 以致所述的带电粒子束交替地投射到所述的射束电流感测元件上和不投射到所述的射束电流感测元件上;

(c) 在改变所述的目标参数时用所述的射束电流感测元件测量射束电流;

(d) 确定所述的带电粒子束投射到所述的射束电流感测元件上和不投射到所述的射束电流感测元件上之间的转变锐度; 以及

(e) 至少部份地基于所述的锐度评估所述目标参数的统调。

52. 根据权利要求 51 的方法, 其中确定锐度的步骤构成, 当所述的带电粒子束横越所述的射束电流感测元件的边缘时, 将射束电流的导数确定为所述目标参数的函数。

53. 根据权利要求 51 的方法, 其中评估所述目标参数的统调的步骤进一步包括评估至少采用所述的锐度和实测最大射束电流作为输入的预定的函数。

54. 根据权利要求 51 的方法, 包括完成至少包括步骤(b)、(c)、(d)和(e)的两次以上叠代, 直到所述目标部件的经过评估的统调满足预定的标准为止。

55. 根据权利要求 54 的方法, 其中所述控制参数的变化幅度在叠代期间等于或小于在先前叠代中的变化幅度。

56. 根据权利要求 54 的方法，其中所述的预定标准是当最佳读回数值和名义读回数值之间的绝对差值在幅度方面小于预定的门限值的时候，测量的射束电流至少是实测的最大射束电流的预定部分。
57. 根据权利要求 51 的方法，其中所述的目标部件包括作为对电压的响应产生电场的静电部件，而且所述的目标参数包括施加给所述静电部件的电压。
58. 根据权利要求 51 的方法，其中改变所述目标参数的步骤包括用周期性的波形调制目标参数。
59. 根据权利要求 51 的方法，其中改变所述目标参数的步骤包括使目标参数一步一步地通过一系列离散的数值。
60. 根据权利要求 51 的方法，其中改变所述目标参数的步骤包括使目标参数比所述的目标参数作为对每个设定的响应能够稳定更快地一步一步地通过一系列离散的数值。
61. 根据权利要求 51 的方法，其中测量射束电流的步骤包括借助位于所述目标部件下游的法拉第射束传感器测量射束电流。
62. 根据权利要求 51 的方法，其中测量射束电流的步骤包括借助位于所述目标部件下游的参量变流器测量射束电流。
63. 根据权利要求 51 的方法，其中测量射束电流的步骤包括针对所述目标参数的不同数值测量射束电流的样本。
64. 根据权利要求 51 的方法，其中所述的带电粒子束系统包括离子注入机。

65. 根据权利要求 51 的方法，其中所述的带电粒子束系统包括粒子加速器。

66. 一种用来在带电粒子束系统中评估目标部件的目标参数的统调的装置，其中带电粒子束是通过目标部件传送的，所述装置包括：

用来改变位于目标部件上游的控制部件的控制参数的装置，其中，所述的带电粒子束穿越所述的控制部件，并且随着所述的控制参数变化而受到影响，并且所述的控制参数与目标部件有预定的关系；

用来在改变控制参数时测量目标部件下游的射束电流的装置；

用来基于射束电流的测量结果和目标部件和控制参数之间的预定的关系评估目标参数的统调的装置；以及

用来基于所述目标参数的统调的评估结果调整所述目标参数的装置。

用来统调离子注入机的方法和装置

本发明的技术领域

本发明涉及带电粒子束系统，更具体地说，涉及用来统调包括但不限于离子注入机的带电粒子束系统的方法和装置。

本发明的现有技术

离子注入是用来把改变导电率的杂质引入半导体晶片的标准的工业技术。在传统的离子注入机中，所需的杂质材料在离子源中被电离，离子被加速成具有规定能量的离子束，而且离子束被引向晶片表面。射束中的高能离子射入那块半导体材料并且嵌入半导体材料的晶格，形成具有所需导电率的区域。

关于注入晶片的累积离子剂量、注入深度、晶片表面上的剂量均匀性、表面损伤和不受欢迎的污染的严格要求被放在涉及离子注入的半导体加工工艺中。注入剂量和深度决定注入区域的电活性，而剂量均匀性是保证半导体晶片上全部器件的操作特性都在规定限度范围内必不可少的。

为了在半导体晶片上形成各种器件，在不同的深度注入杂质往往是必要的。在射束中离子的能量决定离子在进入并固定在半导体晶格中之前在半导体的晶片之内行进的深度。对于特定的电子器件给定的处方可能需要一些使用不同的离子种类、不同的能量和不同的剂量的离子注入步骤。每逢改变一个或多个离子束参数

的时候，例如，在改变离子束能量的时候，为了优化射束的传送和对晶片的递送，统调离子注入机是必要的。

统调传统的离子注入机是比较费时的过程。最初，控制离子注入机操作的计算机被编程，以便取回与新的射束分布图相关联的常规统调参数并且把那些参数应用于离子注入机。一旦离子注入机的各种不同的部件拥有关于适合特定的射束处方的近似值的常规统调参数，操作员将优化这些设定，以便完成统调程序。为了通过手操作将射束统调到可接受的水平以致离子注入机可以被用来把离子注入晶片，有经验的操作员可能需要花费五到三十分钟或者更多的时间。这个比较长的统调时间至少部份地由于离子注入机的一个或多个部件（例如，大的磁性部件）可能有比较长的稳定时间而且可能呈现磁滞现象这一事实而成为必要的。自动统调（自动统调）技术也已被利用。然而，现有技术的自动统调技术不比手动统调技术快。因此，统调传统的离子注入机是一项费时的的工作。由于离子注入机在统调之前不能够被用于把离子注入晶片，所以统调过程是提高离子注入机生产能力的障碍。

除此之外，传统的统调程序可能需要关于磁体产生的磁场强度的精确知识。因此，高灵敏度的高斯探头可能被用于传统的离子注入机的统调过程。令人遗憾的是高灵敏度的高斯探头通常非常昂贵，大约数万美元。因此，取消这些高斯探头或用较便宜的低灵敏度的高斯探头代替它们将是符合要求的。

因此，需要一些用来统调包括但不限于离子注入机的带电粒子束系统的改进方法和装置。

本发明的概述

本发明通过提供用来自动统调带电粒子束系统的一个或多个部件的方法和装置，借此减少统调系统所需要的时间和至少部份地取消在统调过程中对人类专长的需要，从而克服这些和其它方面的不足。

依照本发明的第一方面，提供一种用来评估带电粒子束系统中的目标部件的目标参数的统调的方法，其中带电粒子束是通过目标部件传送的。该方法包括下述步骤：(a) 改变位于目标部件上游的控制部件的控制参数，其中，带电粒子束穿越控制部件，并且随着控制参数变化而受到影响，控制参数与目标部件有预定的关系，(b) 在改变控制参数时测定目标部件下游的射束电流，和(c) 基于射束电流的测量结果和目标部件与控制参数之间的预定的关系评估目标参数的统调。如果被评估的统调不满足预定的标准，目标参数可能被调整。在优选的实施方案中，带电粒子束系统包括离子注入机。

目标部件可以包括作为对磁体电流的响应产生磁场的磁体。调整目标参数的步骤可以包括调整磁体电流。控制部件可以包括作为对控制电压的响应产生电场的静电部件。控制部件可以改变带电粒子束的能量或者可以改变带电粒子束进入磁体的进入角。改变控制参数的步骤可以包括改变控制电压。目标部件通常是响应缓慢的部件。

评估目标参数的统调的步骤可以包括分析射束电流的测量结果以确定目标参数的统调方案。目标参数可以用被确定的目标参数调整方案进行调整。分析射束电流测量结果的步骤可以包括确定使峰值射束电流向所需要的控制参数值偏移的目标参数调整方向和幅度。

该方法可以进一步包括执行跟随有目标参数的调整的步骤 (a)、(b) 和 (c) 的两次以上的叠代的步骤, 直到实测的射束电流满足预定的标准。

依照本发明的另一方面, 提供一种用来统调带电粒子束系统中的目标部件的目标参数的方法, 其中带电粒子束是通过目标部件传送的。该方法包括下述步骤: (a) 确定名义目标参数值, 其中目标参数包括供给目标部件的电源输出的近似值, (b) 测量电源输出的名义读回数值, (c) 按照围绕着名义目标参数值的预定图案中改变目标参数, (d) 在目标部件发生变化时, 测量在带电粒子束系统中目标部件下游的射束电流和电源输出的目标参数读回数值, (e) 在受至少几乎与至少一个射束电流测量结果同时记录预定的一小部分实测峰值射束电流的一组包括至少一个目标参数测量结果的读回数值的极端成员束缚的数值范围内确定最佳的读回数值, (f) 用名义读回数值和最佳读回数值之间的带符号的差值的预定的函数调整名义目标参数值, 和 (g) 完成至少包括步骤 (b)、(c)、(d) 和 (e) 的两次以上的叠代, 直到射束电流的测量结果满足预定的标准为止。

依照本发明的第三方面, 提供一种用来评估带电粒子束系统中的目标部件的目标参数的统调的方法, 其中带电粒子束是通过目标部件传送的, 而且目标参数决定带电粒子束的近似的下游焦点。该方法包括下述步骤: (a) 确定名义目标参数值, 其中目标参数决定带电粒子束在位于目标部件下游的射束电流感测元件平面的近似位置, (b) 在围绕着名义控制参数值的预定图案中改变目标参数, 以致带电粒子束交替地投射到射束电流感测元件上和不投射到射束电流感测元件上, (c) 在改变目标参数时用射束电流感测元件测量射束电流, (d) 确定带电粒子束投射到射束电流感测元件上和不投射到射束电流感测元件上之间的转变的锐度, 以及 (e) 至少部份地基于转变的锐度来评估目标参数的统调。

依照本发明的第四方面，提供一种用来评估带电粒子束系统中的目标部件的目标参数的统调的装置，其中带电粒子束是通过目标部件传送的。该装置包括用来改变位于目标部件上游的控制部件的控制参数的装置，其中，带电粒子束穿越控制部件，并且随着控制参数变化而受到影响，控制参数与目标部件有预定的关系，用来在改变控制参数时测量目标部件下游的射束电流的装置，和用来基于射束电流的测量结果和目标部件与控制参数之间的预定的关系评估目标参数的统调的装置。

依照本发明的第五方面，提供一种带电粒子束装置。该带电粒子束装置包括受目标参数控制的目标部件、位于目标部件上游并且受控制参数控制的控制部件、位于目标部件下游用来检测通过控制部件和目标部件传送的带电粒子束的射束传感器、以及用来改变控制参数并且基于目标部件和控制参数之间的预定的关系根据从射束传感器收到的射束电流的测量结果评估目标参数的统调的控制器。

依照本发明的第六方面，提供一种带电粒子束系统。该带电粒子束系统包括一个或多个通过它传送带电粒子束的射束线路部件、用来控制该系统的中央控制器、和装有用来作为对来自中央控制器的统调指令的响应自动统调选定的一个射束线路部件的统调算法的本地控制器。

依照本发明的第七方面，提供一种用来统调带电粒子束的焦点的方法。该方法包括下述步骤：(a)使带电粒子束偏转越过小孔的边缘，(b)在使射束偏转越过小孔的边缘时确定小孔下游的射束电流的变化率，(c)针对带电粒子束的不同的焦点设定重复步骤(a)和(b)，以及(d)选择随着射束偏转越过小孔的边缘在小孔下游给出最高的射束电流变化率的焦点设定。

依照本发明的第八方面，提供一种用于包括许多通过它传送带电粒子束的射束线路部件、中央控制器和一个或多个用来分别控制射束线路部件的电源控制器的带电粒子束系统的统调方法。该方法包括下述步骤：中央控制器把统调指令发送给选定的一个电源接口，以及被选中的电源控制器根据统调指令自动执行统调算法。

附图简要说明

当连同附图一起采用的时候，通过查阅下面的详细描述可以较好地理解本发明。在这些附图中，在不同的附图中举例说明的每个相同的或几乎相同的部件是用同样的数字表示的。为了清楚起见，并非在每张附图中把每个部件都标注出来。在这些附图中：

图 1 是适合实现本发明的离子注入机的实施方案的方框图；

图 2 是在图 1 的离子注入机中控制系统的实施方案的方框图；

图 3 是图 2 的电源接口的实施方案的方框图；

图 4 是可以在图 2 的中央控制器和电源接口中实现的控制程序的实施方案的状态图；

图 5 是依照本发明的特征与统调程序相关联的射束线路部件的方框图；

图 6 是图 5 所示的目标部件和控制部件的实例的示意方框图；

图 7 是在图 6 的配置中在分辨狭缝下游的射束电流随磁场 B 变化的曲线图；

图 8 是在图 6 的配置中在分辨狭缝下游的射束电流随射束能量 E 变化的曲线图；

图 9 是依照本发明的特征用来统调目标部件的示范统调程序的流程图；

图 10 是展示在调制控制参数时实测的读回电压的实例的电压随时间变化的曲线图；

图 11 是在图 1 的离子注入机中第一电源接口和各个部件的第一子集的实施方案的方框图；

图 12 是图 11 的电源接口执行的程序的实施方案的流程图；

图 13 是在图 1 的离子注入机中第二电源接口和各个部件的第二子集的实施方案的方框图；

图 14 是图 13 的电源接口执行的程序的实施方案的流程图；

图 15 是在图 1 的离子注入机中第三电源接口和各个部件的第三子集的实施方案的方框图；

图 16 是图 15 的电源接口执行的程序的实施方案的流程图；

图 17 是在图 1 的离子注入机中第四电源接口和各个部件的第四子集的实施方案的方框图；

图 18 是图 17 的电源接口执行的程序的实施方案的流程图；而

图 19 是电压随时间变化的曲线图，它举例说明对于不同的射束尺寸随着射束相对于小孔偏转变化的法拉第读回电压。

本发明的详细描述

本发明提供用来自动统调包括但不限于离子注入机的带电粒子束系统的方法和装置。当离子注入机所产生的离子束参数（例如，离子种类和/或离子能量）改变的时候，统调是必要的。除此之外，为了补偿可能影响离子束的漂移和其它的变化，在操作期间可能不时地需要统调。本发明提供用比现有技术的手动的和自动的统调技术更快的速度统调的方法和装置。本发明对于统调响应缓慢的部件（例如，磁性部件）是特别有用的，但是不局限于响应缓慢的部件。适合实现本发明的离子注入机将在下面描述。然而，本发明可应用于任何离子注入机，更一般地说，可应用于任何带电粒子束系统，例如，带电粒子加速器或质谱仪。

如图 1 所示，离子注入机 10 包括离子源 12。来自离子源 12 的离子通过施加抽提电压被加速成阳离子束 14。离子束在这个阶段包括被电离的原始材料的多种元素和多种同位素。特定的同位素是借助质量分析器 16 选定的。然后，离子束 14 在进入加速器 20 之前在低能量磁性四极 18 中进行调节，从而使射束聚焦和处于中心位置。离子束 14 被加速器 20 加速到预期的能量。

离子束 14 离开加速器 20 之后，它再一次借助高能磁性四极 22 进行调节，从而将射束 14 聚焦在扫描器 24 的入口上。射束 14 从高能四极 22 通过将带电状态不符合要求的离子除去的带电状态分辨磁体 23 传送到扫描器 24。扫描器 24 使射束扫过终点站 28 中的晶片 27 的表面。提供平行化磁体 26 是为了使射束 14 在照射到在终点站 28 中的晶片 27 上之前变成平行的，以保证射束 14 以恒定不变的角度入射到晶片 27 的表面上。可移动的法拉第杯是沿着射束路径提供的，以便帮助离子束 14 的统调。

控制系统

控制系统 29 是为控制离子注入机中的每个部件 12、16、18、20、22、23、24、26 而提供的。如 2 图所示，控制系统 29 可以包括中央控制器 30 和一个或多个分散的电源接口。中央控制器 30 可以与分散的电源接口结合起来使用，以便设定用于这些部件的通用参数（例如，工作电压和电流）和统调各个部件以优化离子束。

在一个实施方案中，中央控制器 30 是为接收来自离子注入机的使用者的输入和使用那个输入控制和统调离子注入机而配置的计算机系统的硬件、固件和软件的组合。在这个例证中，计算机系统可以是独立运行使离子注入机能够在除了最初输入所需要的射束参数之外没有使用者的重大干预的情况下产生预期的射束分布而配置的。本发明不局限于所揭示的实施方案，而且可以采用许多不同的形式，取决于控制系统的特殊要求、离子注入机中各个部件的实际的相互关系和所使用的计算机设备的类型。例如，控制系统可以非必选地但是并非必定需要完成附加的功能（例如跟踪个别的晶片、在注入操作期间调节施加给晶片的剂量水平）和由与离子注入机相关联的控制系统共同完成的任何其它功能。

适当的控制系统的例子的方框图展示在图 2 中。离子注入机的控制系统 29 包括中央控制器 30 和与离子注入机的个别部件或部件群体相关联的电源接口。中央控制器 30 通过第一串行链路 32 和第二串行链路 33 与质量分析器的电源接口 34、低能量四极的电源接口 36、高能量四极的电源接口 38 和平行化磁体的电源接口 40 耦合。每个串行链路 32 和 33 都连接环路中的电源接口。控制系统 29 可以包括用串行链路 32 和 33 的虚线部分指出的附加的电源接口。按相反的方向与电源接口连接的两个串行链路是为留有余地而被利用的。如同技术上已知的那样，串行链路 32

和 33 可以利用光纤通信而且可以利用 SDLC 连续性协议。电源接口 34-40 如同下面描述的那样与离子注入机的各个部件和中央控制器 30 通信。

应该理解：可以利用不同的控制系统体系结构。例如，串行链路 32 和 33 可以利用光学信号或电信号。此外，串行链路 32 和 33 可以被并行总线或任何其它适当的通信技术代替。中央控制器 30 可以被直接连接到每个电源接口上，而不是通过环路配置。

控制系统的功能性可以以不同的方式区分。在优选的实施方案中，电源接口 34-40 有足以完成下面描述的统调算法的智能。这种体系结构在中央控制器 30 并非频繁地与各个电源接口通信的情况下具有提高统调速度的优势。在另一种体系结构中，电源接口的功能性大部分或全部被并入中央控制器 30。这种方式有增加中央控制器 30 的复杂性的缺点。

中央控制器 30 可以是包括微处理器、诸如 RAM、ROM 和磁盘存储器之类的存储装置、用户界面和用来与电源接口 34-40 通信的通信口的通用计算机。用户界面可以包括技术上已知的视频监视器、键盘和定点设备。计算机系统也可以是用专门编程的专用硬件、特定用途集成电路或硬件部分和软件部分的任何其它组合实现的。

质量分析器电源接口 34 的实施方案的方框图展示在图 3 中。通用硬件配置可以被利用，而且电源接口 36-40 可以有相同的硬件配置。电源接口 34 包括通过总线 156 互相连接的处理器(CPU) 150、随机存取存储器(RAM) 152 和只读存储器(ROM) 154。中央控制器接口 160 提供串行链路 32、33 和总线 156 之间的接口。模/数转换器 162 接收来自离子注入机部件的模拟输入并且把对应的数字信号提供给总线 156。数/模转换器 164 接收总线 156

上的数字信号并且把模拟输出提供给离子注入机的部件。与总线 156 耦合的数字输入/输出接口 166 接收来自离子注入机的数字输入并且把数字输出供应给离子注入机。电源接口是为了实现各种各样的操作、调整和诊断功能（尤其是为了执行下面描述的统调算法）而编程的。应该理解：电源接口并非仅限于图 3 的实施方案，而且各种各样通用和专用的处理器配置都可以在本发明的范围内被利用。

控制程序

用图 2 的离子注入机的控制系统实现的示范控制程序是在图 4 中图解说明的。在一个实施方案中，一个处理步骤子集是由中央控制器 30 实现的，而其它的处理步骤子集是由电源接口 34-40 实现的。在图解说明的实施方案中，控制程序在中央控制器 30 和电源接口 34-40 之间的这种分割有利于解放中央控制器 30，以便承担附加的工作。此外，这种配置使中央控制器 30 能够把对部件的定域子群的控制委托给电源接口，借此把计算机所需要的通信信道的数目减到最小。此外，通过把一部分控制功能性放在电源接口 34-40 中，离子注入机的统调速度与现有技术的离子注入机的体系结构（其中计算机以大约 10 赫兹到 20 赫兹的速率接收来自电源接口的更新）相比能够有所增加。在用图 4 图解说明的实施方案中，步骤 200-216 和 220-224 是由中央控制器 30 执行的，而步骤 218 和 226-238 是由电源接口 34-40 中的一个或多个执行的。然而，本发明在这方面不受限制，因为控制程序在中央控制器 30 和电源接口 34-40 之间的任何方便的分割都可以被利用。的确，本发明不局限于利用以这种方式分割控制程序的系统，因为如果需要，中央控制器 30 可以是为了执行控制程序的全部步骤而配置的。为了实现这一系列步骤每个电源接口采用的程序将在下面予以详细讨论。

在图 4 所示的实施方案中，中央控制器 30 在步骤 200 开始等待输入。当中央控制器 30 在步骤 208 中收到来自使用者的关于离子注入机 10 产生的预期的射束分布的输入的时候，中央控制器 30 在步骤 210 中从数据库取回与预期的射束分布对应的信息。然后，中央控制器 30 在步骤 212 中把最初的参数值输出给电源接口 34-40 建立射束，而且在步骤 214 和 216 中通过把统调指令发送给电源接口命令第一电源接口 34 统调相关的部件。当中央控制器 30 在步骤 218 中收到来自电源接口 34-40 之一指出该电源接口已统调了它在离子注入机 10 中相应的部件的响应的时候，中央控制器 30 在步骤 220 中进行检验，以确定是否所有的电源接口都已统调它们各自的部件。如果在步骤 222 中并非所有的部件都已被统调，那么中央控制器 30 在步骤 214 和 216 中把统调指令发送给下一个电源接口 34-40。当所有的部件已被统调的时候，中央控制器 30 在步骤 224 返回，在步骤 200 中等待附加的输入。离子注入机通常是以离子源为起点朝晶片逐步向下游统调的。然而，本发明在这方面不受限制。

离子注入机 10 的操作员可以非必选地在这个过程中按一个或多个时间间隔被更新。优选的是，当离子注入机已完成统调的时候，离子注入机 10 的操作员至少在步骤 224 中得到通知。

在步骤 216 中收到统调指令的时候，相应的电源接口把初始的控制电压输出给在步骤 226 中它控制的离子注入机 10 的一个或多个部件。为了使部件的统调能够发生，电源接口在步骤 226 中也把调制信号输出给控制部件，如同下面详细讨论的那样。为了监视目标部件对离子束的影响并借此确定应该怎样调整影响目标部件的目标参数，调制信号被用来调制控制参数（例如，控制部件的工作电压或工作电流）。

在设定初始控制电压之后，电源接口调制控制参数，并且在调制期间，在步骤 228 中接收代表射束电流或感兴趣的另一个射束参数的读回信号。电源接口使用读回信号在步骤 230 中确定目标部件是否得到充分的统调和目标参数的变更是否有可能改善目标部件的统调。确定目标部件是否得到充分的统调将在下面予以描述。由于读回信号反映调制信号对离子束的影响，所以电源接口在某个数值范围上监视离子注入机 10 的操作并且由此推断为了实现目标部件的统调应该按哪个方向调整目标参数。

如果在步骤 232 中目标部件没有得到充分的调整，电源接口在步骤 234 中把输出新的目标参数。新的目标参数可以用任何适当的算法（例如，依据当前的目标参数增减某个固定或可变的数量）计算出来的。如果被增减的数量改变，特定的数量可以被确定，例如，借助使用插值算法、整合算法或有可能使目标参数以有效的方式会聚到最佳数值的其它算法的电源接口，如同下面讨论的那样。

一旦目标参数在步骤 234 中被输出，电源接口就在步骤 228 中接收读回信号并且在步骤 230 中再一次确定该部件是否得到充分的统调。电源接口重复包括步骤 228、230、232 和 234 的统调程序直到它在步骤 236 中确定目标部件已得到充分的统调，如同下面讨论的那样。一旦电源接口已完成这个统调程序，它在步骤 238 中结束调制信号并且在步骤 218 中把统调后的响应输出给中央控制器 30。电源接口可以负责统调一个或多个的部件，或给定部件的一个或多个参数，在这种情况下电源接口针对每个部件或参数执行步骤 228、230、232 和 234 的统调程序。

统调程序

统调程序的一个目标是实现预期的离子种类的最大离子束电流通过离子注入机射束线路。对于磁性部件，例如质量分析器 16 和平行化磁体 26，现有技术的统调程序通常涉及在某个数值范围内改变磁体电流和监视射束电流。磁体电流被设定在产生最大射束电流的数值。然而，在离子注入机和其它带电粒子束系统中使用的磁性部件通常是大型的而且对改变磁体电流的响应原本就缓慢。因此，统调程序原本是缓慢的。

参照图 5，依照本发明的某个方面，通过调制控制部件 300 的控制参数和观察对目标部件下游的离子束的影响，统调程序的速度相对于现有技术的统调程序得到增加。调制实际上是使控制参数连续地或一步一步地扫过某个数值范围。例如，调制可以是周期性的波形或一系列离散的数值。因为控制部件 300 和目标部件 310 之间的特殊关系，目标部件 310 通常对离子束有因控制参数被改变或调制而变化的影响。

在图 5 中，目标部件 310 是需要统调的部件，而控制部件 300 是用来协助统调目标部件 310 的部件。离子束电流可以被观测，例如，借助位于目标部件 310 下游的诸如法拉第射束传感器之类的射束传感器 312。控制参数和目标参数是由电源接口 314 产生的，而从射束传感器 312 读回的射束电流是受电源接口 314 监视的。

经过调制的控制参数对目标部件 310 下游的离子束的影响被用来评估对调整目标部件 310 的目标参数的需求。在目标部件 310 的统调的评估结果指出某种失调条件的情况下，为了改善统调，可以调整目标参数。通常，目标部件 310 是诸如磁性的部件之类响应缓慢的部件，而控制部件 300 是诸如静电射束加速器或静电射束偏转器之类响应迅速的部件。统调程序倚赖已知的控制

部件 300 和目标部件 310 的关系和目标部件 310 下游的离子束电流是目标参数和控制参数两者的函数这一事实。

如同前面提到的那样，离子束电流可以用法拉第射束传感器监测。在其它的实施方案中，离子束电流可以用诸如皮尔森线圈之类感知线圈监测。在一个特殊的实施方案中，离子束电流可以用购自 Bergoz 公司的模块式参量变流器监测。一般地说，任何能够感知离子束电流的器件都可以利用。

电源接口 314 依照统调算法调制控制参数并且作为对射束电流读回的响应评估目标参数的统调。如果观测到某种失调条件，可以调整目标参数。电源接口 314 接收来自中央控制器的统调指令并且可以作为对统调指令的响应独立执行统调算法。

在图 5 的实施方案中，在本文中被称为“图像”法的统调方法使用目标部件 310 和位于目标部件 310 上游的控制部件 300。在另一个实施方案中，在本文中被称为“搜索”法的统调方法不使用分开的控制部件，而且统调的评估是通过调制目标参数和监视这样的调制对目标部件下游的离子束电流的影响完成的。在进一步的实施方案中，离子束的斑点尺寸是通过让射束扫过小孔的边缘和评估射束焦点的锐度评估的。

对于任何射束线路部件，例如目标部件 310，都有函数 F1 把用于那个部件的目标参数和射束电流关联起来。这个函数可以被绘制成曲线图，目标参数在 X 轴上，射束电流在 Y 轴上。当正确的统调对应于最大射束电流（对于大多数射束线路部件这是真实的），统调程序的目标是在这张曲线图上确定全程峰值的位置和调整目标参数使射束电流最大。

在许多情况下,控制部件 300 之类的第二部件与目标部件 310 有特定的关系。明确地说,当系统处在给定状态的时候,通过把目标部件 310 的目标参数调整到数值 A 或通过把控制部件 300 的控制参数调整到数值 B 引起射束产生相同的变化是可能的。如果调整控制部件 300 的控制参数比调整目标部件 310 的目标参数容易,这是有用的,因为类似的统调信息可以通过调整任何一个参数获得。在数学上,这被表示成传递函数 T,它把目标部件 310 的目标参数和控制部件 300 的控制参数这样联系起来,以致把控制部件 300 的控制参数调整到数值 B 将导致与把目标部件 310 的目标参数调整到数值 A 相同的射束电流。实际上,对于目标部件 310 可能的设定范围与对于控制部件 300 可能的设定范围呈映射关系。这意味着关于正确设定目标部件 310 的目标参数的信息可以通过改变控制部件 300 的控制参数获得。

有利的是,如果传递函数 T 是单调函数,不必知道传递函数 T 的精确形式。明确地说,只要已知目标部件 310 和控制部件 300 之间的方向关系,这种关系就可以被充分利用。因此,确定究竟是在其基线数值的上方还是下方调整控制部件 300 的控制参数才能产生最佳的射束电流将提供关于必须按哪个方向调整用于目标部件 310 的目标参数的信息(假定控制部件 300 的控制参数返回到它的基线数值)。

作为实例,偏转磁体造成的带电粒子束的偏转是磁体产生的磁场和带电粒子束中带电粒子的能量的函数。用来从离子束中选择所需要的种类的质量分析器 16 被扼要地展示在图 6 中。质量分析器 16 包括磁体 332,分辨掩模 334 和磁体电源 336。磁体 332 包括其间有用作离子束 14 的通道缝隙的被隔开的磁体极靴和磁体线圈(未示出)。磁体电源 336 把磁体电流提供给磁体线圈以便在磁体极靴之间的缝隙中产生磁场 B。分辨掩模 334 包括用来传送所需离子种类的分辩狭缝 338。

离子源 12 包括电弧室 340、抽提电极 342 和抽提电源 346。电弧室 340 产生离子束 14，而抽提电极 342 把离子束 14 加速到预期的能量。离子束 14 的能量是由抽提电源 346 施加在抽提电极 342 上的抽提电压决定的。

当质量分析器 16 得到适当的统调的时候，离子束 14 中需要的离子种类被磁体 332 偏转已知的角度并且通过分辨狭缝 338。不需要的离子种类被偏转不同的角度并且被分辨掩模 334 拦截。磁体 332 造成的需要的离子种类的偏转是在磁体极靴之间的缝隙中的磁场 B 的函数，而后者本身又是磁体电源 336 供应的磁体电流的近似函数。除此之外，磁体 332 造成的离子束 14 的偏转是离子束能量的函数，而后者本身又是离子源 12 的抽提电极 342 施加的抽提电压的函数。

在这个例子中，磁场 B 对磁体电流的变化呈现缓慢的响应，然而射束能量对抽提电压的变化呈现快速的响应。为了快速地统调响应缓慢的磁体 332，磁体被指定为目标部件，而离子源 12 的抽提电极 342 被指定为控制部件。抽提电压（控制参数）围绕着预期的基线值进行调制，而分辨狭缝 338 下游的射束电流被监测，通常用法拉第射束传感器 350。法拉第射束传感器 350 优选包括作为对感测到的射束电流的响应提供法拉第读回电压的电流/电压转换器。因此，读回电压代表离子束电流。

电源接口获得一组控制参数和对应的射束电流的成对的数值。控制参数的数值可以是预定的调制值或实测值。这个成对的数值是同时或几乎同时获得的。数组成对的数值被用来评估目标部件的统调。

如图 7 所示，曲线 360 表示分辨狭缝 338 下游的射束电流 I 随磁体 332 产生的磁场 B 变化。射束电流在磁场 B_1 有峰值。假

定磁场有初始值 B_0 而必要的射束能量是 E_1 ，如同按注入程序的要求所建立的那样。统调程序的目标是把磁场调整到数值 B_1 ，以致在分辨狭缝 338 下游的峰值射束电流 I 发生在必要的能量 E_1 。如图 8 所示，分辨狭缝 338 下游的射束电流也是射束能量 E 的函数。曲线 362 表示对于磁场为 B_0 而且峰值射束电流不发生在能量 E_1 的失调情况射束电流随射束能量的变化。曲线 364 表示对于统调后磁场为 B_1 而且峰值射束电流发生在能量 E_1 的情况射束电流随射束能量变化。

为了保证在能在能量 E_1 产生峰值射束电流的磁场 B_1 下操作用来快速统调质量分析器磁体 332 的程序的例子是参照图 9 的流程图描述的。响应缓慢的磁体 332 被指定为目标部件，而离子源 12 中响应迅速的抽提电极 342 被指定为控制部件。在步骤 370 中，控制参数（抽提电压）是通过调制供给抽提电源 346 的抽提控制电压围绕着预期数值进行调制的。在图 6-8 的例子中，抽提电压是为了围绕着需要的射束能量 E_1 调制射束能量而被调制的，如同在图 8 中用箭头 366 指示的那样。

在步骤 372 中，边调制控制参数，边测量目标部件下游的射束电流。在图 6-8 的例子中，分辨狭缝 338 下游的射束电流是用法拉第射束传感器 350 测量的。因此，射束电流是在预期的偏转角下测量的。图 10 是电压随时间变化的曲线图并且举例说明在调制控制参数期间法拉第读回电压随时间变化的例子。在图 10 中，曲线 390 表示经过调制的控制参数，而曲线 392 表示被抽样的法拉第读回电压。控制参数的调制中心发生在时间 t_1 ，而峰值读回电压发生在时间 t_2 ，从而指出一种失调情况。射束电流的测量结果在步骤 374 中被分析，具体地说，峰值射束电流可以与在预期的射束能量 E_1 下的射束电流进行比较。峰值射束电流和在能量 E_1 下的射束电流之间的差异指示目标部件的统调或失调。

换言之，在峰值射束电流和在能量 E_1 下的射束电流不一致的情况下，目标部件是失调的。

在步骤 376 中，确定目标参数是否充分接近代表最佳统调的预期值。确定目标参数是否充分接近预期值将在下面讨论。然而，这个确定可以基于射束电流能量 E_1 下应在规定的峰值射束电流范围之内的决定。

当在步骤 376 中确定目标参数不充分接近预期值的时候，在步骤 378 中确定目标参数调整方案。调整方向和增量大小两者都与目标参数调整方案有关。调整方向通常基于曲线 362（图 8）离开能量 E_1 的位移方向和控制部件和目标部件两者的操作特性是已知的。调整方向可以作为对在步骤 372 中获得的射束电流的测量结果的响应被预先编程放进控制器中。目标参数的统调幅度也能以关于控制部件和目标部件的知识和峰值射束电流与在能量 E_1 下的射束电流之间的差异为基础。然而，精确的调整幅度不是必要的，因为调整能在统调程序的一次或多次叠代中完成。在一种方法中，调整增量在统调程序的起点比较大，但在后面的叠代中逐渐减小。在步骤 380 中，目标参数按照选定的方向被调整选定的调整增量。然后，程序返回步骤 370 以便完成统调程序的另一次叠代。如果在步骤 376 中确定目标参数充分接近预期值，那么用于目标部件的统调程序完成。

电源接口

各个电源接口 34-40 和受相应的电源接口 34-40 影响的部件是用图 11、13、15 和 17 举例说明的。离子注入机 10 的部件控制将结合实现本文中描述的统调算法的电源接口 34-40 进行讨论。电源接口 34-40 完成的统调程序的实施方案的流程图被分别展示在图 12、14、16 和 18 中。

在图 11、13、15 和 17 中，离子注入机的各个部件的操作所需要的电源被包括在各自的模块之中，而电源接口把控制信号提供给各自的电源。因此，例如在图 11 中，离子源 12 包括抽提电源 346（图 6），而质量分析器 16 包括磁体电源 336。

如图 11 所示，质量分析器的电源接口（PSI）34 与离子源 12、质量分析器 16 和低能量法拉第射束传感器 58 对接。如同技术上已知的那样，法拉第射束传感器是作为对离子束的响应产生电流的器件。法拉第射束传感器 58 优选用来包括用来作为对感测的射束电流的响应产生法拉第读回电压的电流-电压转换器。PSI34 在线路 72 上输出抽提控制电压以便控制离子源 12 中的抽提电源，并且在线路 74 上输出质量分析器控制电压以便控制质量分析器 16 中的质量分析器电源。PSI34 借助线路 82 上的控制输出信号与计算机 32 通信。作为输入，PSI34 还接收在线路 76 上的来自计算机 32 的控制输入信号、线路 78 上的抽提读回电压和线路 80 上的低能量法拉第读回电压。抽提读回电压代表抽提电源的输出，而法拉第读回电压代表质量分析器 16 下游的射束电流。

在操作中，如图 12 所示，中央控制器 30 在步骤 400 中为统调质量分析器组装离子注入机。这包括把低能量法拉第射束传感器 58 移到适当的位置。在步骤 402 中，中央控制器 30 把统调指令发送给质量分析器 PSI34。用于选定的射束分布的控制电压近似值是由中央控制器 30 在系统数据库中存取的并且被发送给质量分析器 PSI34。质量分析器 PSI34 在步骤 404 中使用这个近似值设定最初的控制电压。具体地说，质量分析器 PSI34 设定线路 72 上的初始抽提控制电压和线路 74 上的初始质量分析器控制电压。然后，在步骤 406 中质量分析器 34 执行质量分析器统调算法。在图 5-10 中展示的并且在前面描述过的统调算法被利用。质量分析器 PSI34 调制供给离子源 12 的抽提控制电压并且监测

低能量法拉第读回电压。如同前面详细描述过的那样对读回电压数值进行分析，以便确定必要的质量分析器控制电压调整方案。为了实现预期的统调，统调算法可能需要叠代若干次。在完成质量分析器的统调之后，在步骤 408 中统调后的响应被发送到中央控制器 30。

通过调制线路 74 上的质量分析器控制电压统调质量分析器 16 将是费时的，因为质量分析器 16 中的磁体在改变线路 74 上的控制电压时可能要花费若干秒到 1 分钟以上的时间才能稳定。

为了实现更快的统调，质量分析器 16 是通过调制线路 72 上的抽提控制电压和在质量分析器 16 下游监测低能量法拉第射束传感器 58 处的离子束统调的。为了改变离子束能量调制线路 72 上的抽提控制电压等价于调制质量分析器 16 中磁体的磁场而且使 PSI34 能够确定较强或较弱的磁场对离子束 14 的影响。

现在参照图 13 和 14 描述低能量磁性四极 18 的统调。如图 13 所示，低能量磁性四极的电源接口（PSI）36 与低能量磁性四极 18 和高能量法拉第 62 对接。明确地说，PSI36 在线路 84 上输出低能量磁性四极的控制电压。在这个实施方案中，低能量磁性四极 18 具有若干对电极，每对电极都接收来自电源的它自己的工作电压。因此，线路 84 上的控制电压被用来控制低能量磁性四极 18 的多个参数，包括左/右平衡、上/下平衡、强度和纵倾。

作为输入，PSI36 还接收线路 86 上的低能量磁性四极读回电压、线路 88 上的高能量法拉第读回电压和线路 90 上的控制器输入。低能量四极读回电压代表低能量四极的电源输出，而高能量法拉第读回电压代表带电状态分辨磁体 23 下游的射束电流。当低能量磁性四极 18 得到全面统调的时候，PSI36 在线路 92 上输出统调后的响应。

在操作时，如图 14 所示，中央控制器在步骤 500 为统调低能量四极组装机离子注入机。组装包括把高能量法拉第射束传感器 62 移动到适当的位置。在一个实施方案中，高能量法拉第射束传感器 62 位于扫描器 24 的偏转板之间。在另一个实施方案中，高能量法拉第射束传感器 62 定位在用于平行化磁体 26 的射束收集器。在这个实施方案中，平行化磁体 26 为了用高能量法拉第射束传感器 62 进行射束电流测量被关掉。在步骤 502 中，中央控制器 30 把统调指令发送给低能量四极 PSI36。用于选定的射束分布的控制电压的近似值是由中央控制器 30 在系统数据库中存取的并且被发送给 PSI36。在步骤 504 中，PSI36 使用这个近似值设定用于选定的射束分布的初始控制电压。具体地说，PSI36 在线路 84 上设定用于低能量四极 18 的每组电极的低能量四极控制电压。然后，PSI36 在步骤 506 中针对峰值射束电流调整选定的一组电极的控制电压。这个调整可以通过调制被选定的电极的控制电压和观测提供峰值射束电流的控制电压值来完成。然后，控制电压被设定在提供峰值射束电流的数值。在步骤 508 中，对低能量四极 18 的每组电极重复该统调程序。在每组电极都针对峰值射束电流进行调整之后，统调后的响应在步骤 510 中被发送到中央控制器 30。

然后，高能量法拉第射束传感器 62 可以移出离子束的路径（如果需要）或者留在适当的位置供统调后面的射束线路要素（例如，带电状态分辨磁体 23 或高能量磁性四极 22）的其它的电源接口使用。

为了统调低能量磁性四极 18，PSI36 把交流分量叠加在选定的线路 84 的直流控制电压上，形成经过调制的控制电压。出现在低能量磁性四极 18 的电极上的实际电压是借助线路 86 上的低能量磁性四极读回电压输入 PSI36 的。PSI36 接收线路 88 上的高

能量法拉第读回电压的样本，将建立那些电压样本与在低能量磁性四极 18 的各个电极处的电压之间的相关关系，并且确定提供最大射束电流的控制电压。然后，针对低能量磁性四极 18 的每组电极完成同样的程序。

高能量磁性四极 22 的统调类似于用来统调低能量磁性四极的程序。同样，统调带电状态分辨磁体 23 在概念上类似于前面结合图 11 和 12 讨论过的用来统调质量分析器 14 的程序。现在参照图 15 和 16 描述这两个部件的统调。

如图 15 所示，高能量磁性四极电源接口 (PSI) 38 与高能量磁性四极 22、带电状态分辨磁体 23 和高能量法拉第射束传感器 62 对接。如同前面提到的那样，高能量法拉第射束传感器 62 可以位于扫描器 24 之中或者可以位于平行化磁体 26 的下游。PSI38 在线路 94 上输出高能量磁性四极控制电压并且在线路 96 上输出带电状态分辨磁体控制电压。在这个实施方案中，高能量磁性四极类似于低能量磁性四极 18 有若干对电极，每对电极接收来自电源的它自己的工作电压。在这个实例中，高能量磁性四极 22 的每个电极控制若干射束参数之一，例如，左/右平衡和上/下平衡。高能量磁性四极 22 如果需要可以控制附加的射束参数，例如，强度和纵倾。

作为输入，PSI38 接收线路 98 上的高能量磁性四极的读回电压、线路 100 上的高能量法拉第读回电压和线路 102 上的控制输入。高能量四极的读回电压代表高能量四极电源的输出，而高能量法拉第读回电压代表带电状态分辨磁体 23 下游的射束电流。在统调高能量磁性四极 22 和带电状态分辨磁体 23 之后，PSI38 在线路 104 上输出统调后的响应。

在操作中,如图 16 所示,中央控制器 30 为统调高能量四极和统调带电状态分辨磁体在步骤 600 组装离子注入机。组装包括把高能量法拉第射束传感器 62 移入适合射束感测的位置。在步骤 602 中,中央控制器 30 把统调指令发送给高能量四极 PSI38。用于选定的射束分布的控制电压的近似值是在系统数据库中存取的并且被发送给 PSI38。在步骤 604 中,PSI38 依照来自中央控制器 30 的近似值设定初始控制电压。具体地说,PSI38 设定线路 94 上的高能量四极控制电压和线路 96 上的带电状态分辨磁体控制电压。在步骤 606 中,PSI38 针对峰值射束电流调整选定的高能量四极 22 的一组电极的控制电压。如同前面关于低能量四极 18 的描述,PSI38 把交流分量叠加到选定的一组电极的直流控制电压上,以便提供经过调制的控制电压。高能量法拉第读回电压是在调制四极控制电压时监测的,而且控制电压被调整到提供峰值射束电流的数值。在步骤 608 中,对高能量四极 22 的每组电极重复这个调整。

在步骤 610 中,执行带电状态分辨磁体统调算法。带电状态分辨磁体 23 通过使离子按照带电状态发生不同的偏转把带电状态不同的离子分开。用于带电状态分辨磁体 23 的统调算法对应于前面结合图 5 和 9 描述的统调算法。在这个算法中,目标部件是带电状态分辨磁体 23,目标参数是带电状态分辨磁体控制电压,控制部件是高能量四极 22 的选定的一组电极,而且控制参数是选定的那组高能量四极电极的控制电压。高能量四极 22 是这样设计的,以致选定的那组电极作为对控制电压的响应引起离子束的偏转。这种偏转使离子束以随射束偏转变化的进入角进入带电状态分辨磁体 23。离子束进入带电状态分辨磁体 23 的角度不同将造成离子束在不同的位置射出带电状态分辨磁体 23。射束电流是作为进入角的函数变化的。如果峰值射束电流发生在不同于预期的进入角的进入角,对带电状态分辨磁体控制电压的调整

方案被确定。被确定下来的调整方案被应用于带电状态分辨磁体，而且测量被重复。统调程序被继续进行，直到峰值射束电流发生在预期的射束进入角。在这个统调算法中，离子束进入带电状态分辨磁体 23 的进入角是被调制的控制参数。

通过调制线路 96 上的控制电压统调带电状态分辨磁体 23 将是比较费时的，因为磁体 23 有比较长的响应时间而且一旦改变线路 96 上的控制电压就可能要花费大量的时间才能稳定。

为了快速统调带电状态分辨磁体 23，供给高能量四极的控制电压之一被调制，以便模拟带电状态分辨磁体控制电压的调制。高能量四极的控制电压的调制引起离子束的偏转和离子束进入带电状态分辨磁体 23 的进入角的变化。高能量磁性四极 22 的控制电压的调制使 PSI38 能够在调制期间使离子束成像和使用这个图像如同前面讨论的那样统调带电状态分辨磁体 23。在这个意义上，调制线路 94 上的高能量磁性四极的控制电压可以被处理成等价于调制带电状态分辨磁体 23 的磁场，因为任何一种调制都使 PSI38 能够确定较强的或较弱的磁场怎样影响离子束 14。如果 PSI38 确定带电状态分辨磁体未被统调，它确定线路 96 上的控制电压应该在哪个方向上调整并且进行适当的调整。

在步骤 612 中，用来使高能量四极 22 聚焦的聚焦算法被执行。聚焦算法包括把经过调制的控制电压应用于选定的高能量四极 22 的一组电极。调制引起离子束缓慢地扫过扫描器入口板 108 之间的小孔 106。

高能量法拉第射束传感器 62 位于小孔 106 后面，因此仅仅在射束不被扫描器入口板 108 阻挡时才检测射束 14。申请者已确定把法拉第读回电压的变化率和在小孔 106 处离子束 14 的斑点大小联系起来是可能的。明确地说，申请者已确定如果扫掠速率

不变，直径较小的离子束比直径较大的离子束更快地越过小孔 106 的边缘。因此，通过在射束扫过法拉第射束传感器 62 的时候搜索最大的读回电压一阶导数，统调高能量磁性四极 22 的控制电压使斑点尺寸减到最小并因此使射束 24 聚焦在扫描器的入口是可能的。

当离子束扫过小孔 106 的时候，对于不同的斑点尺寸，法拉第读回电压随时间变化的例子是用图 19 举例说明的。曲线 630、632 和 634 分别代表大、中、小射束直径。如同举例说明的那样，代表小射束直径的曲线 634 很快地越过小孔 106 的边缘而且有最大的读回电压一阶导数。

在步骤 612 中执行聚焦算法之后，PSI38 在步骤 614 中把统调后的响应发送给中央控制器 30。

现在参照图 17 和 18 描述平行化磁体 26 的统调和高能量磁性四极 22 的非必选的最后统调。如图 17 所示，平行化磁体电源接口 40 接收线路 110 上的控制输入，并且在线路 112 上把控制电压输出给高能量磁性四极 22，在线路 114 上把控制电压输出给扫描器 24 和在线路 116 上把控制电压输出给平行化磁体 26。PSI40 还接收线路 118 上的高能量磁性四极读回电压和线路 120 上的求分布法拉第读回电压。高能量四极读回电压代表高能量四极电源的输出，而求分布法拉第读回电压代表平行化磁体 26 下游的射束电流。求分布法拉第射束传感器 68 位于终点站 28 中并且优选被放置在其行程的中心。

PSI40 通过用扫描器 24 使离子束偏转和监测偏转对求分布法拉第读回电压的影响来统调平行化磁体 26。明确地说，与扫描器 24 的响应时间相比，平行化磁体 26 比较缓慢地响应线路 116 上的控制电压的变化。因此，为了模拟平行化磁体控制电压的调制，

用扫描器 24 使离子束 14 偏转是比较快的。PSI40 使用来自求分布法拉第射束传感器 68 的读回电压来确定平行化磁体的控制电压应该按哪个方向调整。

在操作中,如图 18 所示,中央控制器 30 在步骤 700 中为统调平行化磁体 26 组装离子注入机。这包括把求分布法拉第射束传感器 68 移到其行程的中心。在步骤 702 中,中央控制器 30 用适合选定的射束分布图的控制电压近似值把统调指令发送给平行化磁体 PSI40。在步骤 704 中,PSI40 设定与来自中央控制器 30 的近似值相对应的初始控制电压。具体地说,PSI40 设定线路 112 上的高能量四极的初始控制电压、线路 114 上的扫描器控制电压和线路 116 上的平行化磁体控制电压。然后,PSI40 在步骤 706 中执行平行化磁体统调算法。具体地说,线路 114 上的扫描器控制电压被调制,以引起离子束 14 的偏转。这使离子束进入平行化磁体 26 的进入角依照偏转改变。进入角的变化引起离子束在平行化磁体 26 的输出端的位置的变化。当射束被扫描器 24 偏转的时候,求分布法拉第射束传感器 68 感测该射束并且把法拉第读回电压提供给 PSI40。产生峰值射束电流的偏转角被用来确定对于平行化磁体控制电压 116 必不可少的调整。该程序被一直重复到因扫描器 24 使离子束实现预期的偏转而获得峰值射束电流为止。

如上所述,平行化磁体统调算法类似于用来统调带电状态分辨磁体 23 的算法。具体地说,磁体是目标部件,而磁体控制电压是目标参数。控制部件是作为对调制扫描器控制电压的响应引起离子束偏转的扫描器 24。在这个算法中,离子束进入平行化磁体 26 的进入角的变化等价于改变平行化磁体 26 的磁场。然而,改变进入角可能比改变磁场快得多,因此如此允许更快的统调。完成了步骤 706 中的平行化磁体统调算法之后,PSI40 在步骤 708 中把统调后的响应发送给中央控制器 30。

前面的描述集中在离子注入机和用来统调离子注入机的方法和装置上。然而，本发明在这方面不受限制，因为本发明能更广泛地适用于统调任何带电粒子束系统。

统调程序

现在更详细地描述统调程序的一个实施方案。图 2 所示的控制系统实现取决于将要统调的部件的类型的专用程序。然而，该控制系统实现的统调程序通常可以被分成三种方法：图像、搜索和斑点尺寸统调。

图像法被用来统调响应缓慢的部件，例如磁体。在这种方法中，静电部件被这样调制，以致当磁体或其它响应缓慢的部件被调整到正确设定的时候，射束有效地连续“成像”（见图 12）。

可仿效的图像的一个实施方案发表在图 10 中。如图 10 所示，在图像统调法中，施加在诸如静电部件之类的控制部件上的控制电压被改变，而用通常借助法拉第射束传感器获得的读回电压表示的响应在调制期间被记录下来。这形成出现在磁性部件中的射束空间分布的“图像”。磁性部件的控制电压可以为了使射束中最强的部分从磁性部件向外正确地准直而被调整。

搜索法可以被用来统调响应迅速的静电部件。在这种方法中，将要统调的部件是为了使当前值周围的区域有效地“成像”而被调制，调制的中心点被向峰值调整。这提供对抗射束起伏的健壮性，而且能用与图像法一样的统调算法实现。

斑点尺寸统调可以被用来统调影响射束焦点的高能量磁性四极 22 和任何其它的部件。反之，搜索法和图像法寻求使射束电流最大，这个步骤还监测射束斑点尺寸。这个参数的统调是这

样完成的，即评估用随射束位置变化的射束电流的一阶导数指出
的射束焦点的锐度。

在这个一般化的框架之内，控制系统必须进行专门的测量并且从这些测量结果得出关于用来统调射束14的最佳参数的结论。现在描述控制系统用以得出它的结论的方法的若干方面。

入口条件

控制系统通过建立某些初始条件开始统调程序。例如，当没有射束的时候，或者当射束由于温度上升或种类变化不稳定的时候，统调不能进行。一般地说，假定注入机正在以稳定的射束运行，而且控制系统已将射束线路控制参数初始化到对于将受影响的给定的注入程序近似正确的数值。

当然，一般不指望控制系统能把射束线路初始化到全面统调的数值。在那种情况下，统调将是不必要的。所以，术语“近似正确”在这个意义上意味着意谓对于被统调的每个部件都存在一个俘获范围，如果初始值和统调后的数值之间的差异是在这个范围内，则统调能够完成。一般地说，控制系统接受为形成适当的俘获范围而被调整的参数。

固件参数

本文中揭示的调制统调程序是叠代程序，其中核心算法被一直重复到完成统调。每次叠代本质上是独立的程序。在每次叠代期间，程序都收集数据，分析数据，和调整统调。明确地说，通过一系列步骤（在名义值之上和之下两者）改变控制参数，监测射束电流，而且储存相关的数据。在循环的终点，分析被储存的数据，以确定应该怎样调整目标参数。最后，将目标参数向它的统调数值调整。

在每次叠代中必须考虑各种不同的条件。例如，在一些硬件中，最值得注意的是在电源中，存在相位滞后。这些相位滞后可能破坏算法的单纯性，即来自一个循环的控制参数实际上可能落入下一个循环的周期。这通常是较小的问题，因为所有的循环都包括这样的调制而且算法倚赖读回（而不是指令）确定电源实际上怎样运行。

同样，来自单一循环的数据可能不足以断言装置已被最佳地统调。所以，来自许多循环的数据可以被收集起来并且建立起与先前的循环或前一个循环的相关关系，以便确认暂时性的成功。

最后，随着统调程序继续进行，目标部件被调整得更接近统调条件。在一个实施方案中，循环级的参数在这个阶段被改变。在这个实施方案中，早期的循环具有宽阔的俘获范围，能够排除假峰值并且仅仅设法把峰值放进中心区域以致可以减小被检验的区域。在这个实施方案中，后期的循环具有较小的俘获范围（取决于目标部件接近统调的输入条件）而且特别注意指示最佳统调的结束条件。

数据收集

影响数据收集阶段的主要因素包括控制参数调制的形状和速度。假定射束电流的读回和控制参数的真实值在固件限制范围内被尽可能频繁地完成，所以没有读回参数需要从中央控制器 30 传输到电源接口，尽管如果需要，读回频率参数可能被包括在内。

一般地说，任何需要的波形都可以连同控制参数调制一起使用。然而，由于引起任何参数快速变化通常都是不希望的，围绕着名义值前后逐渐变化是优选的。这可能是正弦波、三角波或类似的波形。三角波是当前想像的最佳波形，因为它将使控制参数的最大变化率减到最小。

由于对于特定的波形没有特殊的要求，所以，在一个实施方案中，软件是为在给定预期的控制参数调制幅度的情况下产生它自己的控制参数电压序列而配置的。在另一个实施方案中，为了在不引入大量的参数的情况下取得最大的适应性，附属参数被用来通过列举详细说明在一组预定的选项（正弦、三角形、渐升-然后-下降等）中哪种类型的曲线形状是符合需要的。

然而，控制参数调制的速度不同于形状通常是重要的。如果调制与幅度相比太快，则驱动控制参数的电源可能不能维持。如果调制与控制参数变化速度的固件限制相比太快，指令参数曲线可能是高低不平的。如果调制与射束电流读回的采样速度相比太快，在由此产生的射束图像中可能存在间隙，从而导致遗漏真实峰值的数据收集。反之，如果调制太慢，整个统调过程可能是慢得难以接受。

两种类型的速度变量将被涉及。一个变量是完整循环的持续时间，而另一个是控制参数指令之间的间隔。如果假定可以按固件规定的限制发送指令，那么在给定预期的循环周期的情况下算法可以自动形成间隔大小适当的步骤序列。在这种情况下，唯一的速度参数是循环周期。一些限制可接收的数值的因素取决于固件的操作速度（例如，读回速率），而其它因素取决于物理时间（例如，电源）。

数据分析

在数据分析阶段，PSI 确定目标参数究竟是太高、太低、还是在可接受的范围之内。现在讨论数据分析阶段的各个方面，例如，优化、确定是否足够接近目标参数和误差检测。

优化

开始时，PSI 必须确定用于最佳控制参数设定的数值。一种途径是记录对应于曾经观测到的最高射束电流的控制参数读回。

采用这种途径可能存在的问题是可能不考虑到末端情况的区别。峰值可能不在定义的单一的控制参数设定值——在某个范围可能存在有最佳射束电流的平坦的平稳段，而且统调程序可能使寻找那个范围的中心变成符合需要的。简单地选择观测到的最好的射束电流在每个循环中把程序拉向这个平稳段中的某个任意点。如果该算法被要求在它观察某个平稳段时进行精细水平的调节，那么这些虚幻的拉来拉去使算法进入无休止的微调寻觅在平稳段上从头至尾移动的“最佳”点。

在一个实施方案中，为了寻找这个问题的症结所在，用来自展示最佳射束电流的全部读数的控制参数读回计算平均值。这个方法瞄准平稳段中心。这需要一个作为在那个循环中观测到的峰值射束电流的一小部分断言接近最佳的组成是什么的参数。从概念上说，这个参数可以被看作是与平稳段的高度有关的门限值。为了返回到向单一的最佳射束电流观测值驱动的简单情况，这个参数能被设定为 100%，而且只使用峰值读数。

当（因为控制参数调制使射束脱离平稳段的一边，但不脱离其它部分）部分的而不是全部的平稳段可见的时候，计算平均值技术仍然产生关于目标参数的最佳设定方向的正确结果。明确地说，如果只有一个平稳段边缘是可见的，目标将不被明确地统调到峰值中心，因为控制参数的对称变化仅仅到达平稳段的一个边缘。在这种情况下，中心点远离平稳段看得见的边缘。

一旦确定了最佳控制参数设定，确定目标参数究竟是太高还是太低是必不可少的。这取决于指出控制参数的变化和相应的对射束的影响之间的符号关系的极性。

确定“足够接近”

与确定最佳控制参数有关，确定目标参数是否足够接近正确的统调是必不可少的。如果在控制参数和射束电流之间存在直接的可靠的关系，一个参数就足以指出怎样接近才是足够接近。例如，这可以要么作为控制参数变化的几个单位要么作为整个控制参数调制范围的一小部分被提供。

然而，存在一些复杂因素。首先，射束电流是有噪声的，而且在几个不改变目标参数的循环中证明“足够接近”的条件情况是可靠的可能是必不可少的。其次，如同前面提到的那样，在某个范围内可能存在有最佳射束电流的平坦的平稳段。第三，采用某些参数，在峰值中心登陆并非确实理想，但是向峰值的一侧移动是优选的。这些问题中的第一个意味着某种受统计学驱动的参数，而第二个和第三个需要某些关于可能遇到的一些可能的曲线形状的假设。

解决统计问题的最简单的途径是需要一系列全部指出“足够接近”的连续的读数。更精细的方法或许考虑到落在这个窗口（例如，3/4 表决规则）外面的偶然读数。然而，采用允许来自某个循环的越轨结果的方法将存在混乱。明确地说，如果某个循环呈现并非足够接近，这个算法的正常反应是命令对目标参数进行调整。因为目标部件现在被不同地统调，所以早期读数不再与新的统调精确性的统计确定直接有关。所以，考虑在“足够接近”范围之外的读数的统计方法必须在表决正在进行的时候禁止统调操作。

连续读数方式可以被看作是这种表决法的基本情形，有几分像 3/3 规则。在这种方式下，单一的越轨循环引起统调重新开始。所以，为了考虑最大的适应性，把表决方法纳入固件可能是有利的。

错误检测

几种类型的错误可以被考虑，以便捕捉它们。例如，在某些情况下，假峰值可能出现在读回电压中。假峰值代表由于带电粒子束系统被统调到不符合需要的同位素或元素在射束电流中造成的峰值。如果真峰值高于假峰值（凭借足够的余量使假峰值在平稳段高度门限值以下），那么假峰值被简单地忽略。但是如果真峰值低于假峰值，为了消除假峰值，某事是需要的。可任选择的是，参数和初始条件的明智选择可能防止假峰值被 PSI 检测。然而，在其它的情况下，为了消除假峰值，更精细的程序是需要的。

在一个实施方案中，假峰值是通过在有严重越轨结果的循环中触发表决的尽早终止消除的。这是前面描述过的基本方法的延伸，它不理睬来自每个循环的结果的幅度；而是简单地确定结果究竟在边界范围之内还是在边界范围之外。为了实现这种方法，提供详细说明循环在特定的范围外面时停止表决并且将程序返回到统调的参数（有类似于“足够接近”门限参数的单位）。

在另一个实施方案中，（射束电流对控制参数）曲线的形状在可能遇到的曲线类型和算法怎样响应这些有效地和精确地统调注入机的条件两个方面具有附加的定义。明确地说，在这种情况下，正确的统调不可能朝向最佳的射束电流或在平稳段的中心，而是从这个位置偏移。

统调调整

一旦数据分析阶段已确定目标参数应该如何（和是否）被调整，最后的步骤是朝正确的统调实际调整目标参数。一个问题是应该如何控制变化幅度。

依据可用的数据计算必要的统调变化幅度可能是不容易的，或者甚至是不可能的。然而，确定调整目标参数的方向以便接近它的最佳值通常是快速的和可能的。

在统调程序中的给定点，例如在给定的循环，通常在用控制参数扫掠的范围和对目标参数预期的调整的补偿程度之间存在某种关系。这种知识可以被储存在外部，而且通常不需要被传送到固件。因此，在一个实施方案中，固件具有预期的目标参数步长。如果统调是借助数据分析指示的，目标参数将在指示的方向上按步长进行调整。

然而，在可能使用一些较高级别的智能的时候，本发明不局限于使用固定步长。例如，如果数据分析表明目标刚好在“足够接近”范围之外，目标参数方面较小的改变可能是符合要求。存在两种接近这种估计的基本途径。一种是有一些用它来调整目标参数的有不同幅度数值的“箱柜”；另一种是有用它计算幅度的线性函数或多项式函数。如果需要，两种方法都可能变成可用的。在这些方法之中，正的和负的变化幅度不需要对称。

目标参数的转换速率

前面的章节集中在目标参数的变化幅度上，没有论及控制这些变化的速率。在采用控制参数时，就调整目标参数的速度而言可能存在上限。

为了将诸如电源中的延迟之类时间变动的影响减到最小，它对控制参数在统调程序各处继续循环是符合要求的。此外，如果存在相移，则突然开始和停止的调制波形可能难以利用。进而，电源可能对这样的输入响应欠佳。

由于算法使用来自一个循环的信息来学习目标参数必须被怎样调整，所以假定目标参数每个循环被调整一次。如果那样太快，那么一个解决方案是简单地放慢循环，以致循环持续较长的时间。较慢的循环的一个不利的结果是统调花费的时间比较长。然而，如果限制速度的原因是涉及目标参数调整速度的限制，这不应该是限制原因。所以，在优选的实施方案中，不必包括用于目标参数调整速度的独立参数。

多个循环

前面的考虑集中在个别统调循环的水平。然而，完整的统调是跨越许多循环的叠代过程。当使用更精细水平的间隔尺寸的时候，循环级的参数在统调序列期间可能改变。如同前面讨论的那样，中央控制器 30 的统调指令启动多循环统调程序，在此期间 PSI 中的固件本质上是自治的。所以，固件为每个统调阶段确定适当的循环级参数是必要的。

在优选的实施方案中，统调是一系列不连续的阶段，每个阶段都以入口条件、出口条件和统调策略为基础。入口条件涉及所需要的“俘获范围”，即在那个阶段开始时目标部件可能多么严重失调。出口条件与在那个阶段所需要的统调精确性有关（早时阶段仅仅需要在下一个阶段的俘获范围内，而最后的统调必须在操作上令人满意）。策略是用为从进入状态前进到出口状态选择的参数范围表达的。

在一个预期阶段数目很少（即介于大约 1 和 10 之间）的实施方案中，固件可以是参数的阵列，每个阶段一个元素。

失败响应

统调尝试有时失败。如果射束未被优化，系统能够发现失败，用第二次统调尝试适当地响应和把失败报告给中央控制器 30。

即使射束被发现，统调程序也可能由于许多原因失败：

（1）电源可能不容易稳定。因此，经过统调的射束可能在统调“成功”之后的数秒内可能漂移到统调状态之外。在这种情况下，统调程序应该变得比较慢，例如通过加长循环时间，或者变化应该变得不那么极端，即，应该减小控制参数的调制幅度，或者应该减小目标参数的调整幅度。

（2）算法可能由于某种原因远离射束徘徊。如果就当前水平的间隔尺寸而言，算法在“俘获范围”之内，那么再次俘获射束通常是可能的。然而，如果射束已离开俘获范围，系统将反应，仿佛射束未被发现。

（3）算法可能过早地断言统调完成。在这种情况下，用来结束最后的统调叠代的“终止条件参数”是不适当的。

（4）系统可能发现假峰值并且优化那个峰值。

在一个实施方案中，预期的最小射束电流参数被用来减少在噪声范围内寻找假峰值或统调的危险。最小电流参数告诉算法期待什么类型的信号。如果最小的射束电流未被检测，那么某事是错误的足以阻挠统调。机器的初始状态可能在统调算法的“俘获范围”之外，或射束可能完全没有出现。

为了允许对没有射束电流的某种反应，在一个实施方案中，统调算法可能在这种情况下尝试比较宽的统调扫描，因为这种类型的错误通常表明射束在当前的统调阶段的范围之外。由于这个错误可能在任何阶段遇到，简单地回到第一个统调阶段是最合理的（除了在真正的第一阶段中，当这是不可能的时候）。这允许系统采用较宽的检查和在较宽的搜索期间适当地管理系统的行为。非必选的是，如果这个错误发生在第一阶段，通常被跳过的范围异常宽广的“零阶段”可以被尝试。

在替代实施方案中，评估当前的离子束统调的步骤（图 4 中的步骤 230）可以包括射束电流读回的傅立叶分析。控制参数的调制导致在该控制参数下游射束电流的调制。如果射束线路得到正确的统调，射束电流的波形将在控制参数调制的频率下有规则的峰。然而，如果射束线路被不正确地统调，那么射束电流的波形将有“双重凸起”图案，这将把杂质（包括这两个峰之间的间隔产生的高频分量）引入射束电流读回的频谱。这些频率杂质指示目标参数的统调不正确。这些杂质的频率分析与所用的特殊波形的知识结合可以被用来确定目标参数究竟应该增加还是减少才能改善统调。

统调指令

统调程序是借助包含前面讨论过的使 PSI 能够统调射束的参数的指令启动的。在可仿效的统调指令中，第一数据结构被传输，包括几个与循环无关的参数，例如：

- （1）最小的射束电流；
- （2）目标参数-最小值；
- （3）目标参数-最大值；

(4) 控制参数-最小值; 和

(5) 控制参数-最大值。

除此之外, 作为第六元素, 第一数据结构可以包括第二数据结构的数组, 每个统调阶段一个数组元素。这个第二数据结构可以包括一些参数, 例如:

(1) 控制参数调制的幅度。

(2) 控制参数调制的波形类型。

(3) 控制参数调制的循环周期。

(4) 用来确定所需的调制的符号的关系的极性。

(5) 用来选择用来寻找峰值的平均中心的数据的平稳段高度门限值。

(6) 用来确定适当的统调、终止某个阶段的“足够接近”门限值。

(7) 用于极端正向非峰值条件的目标调整幅度。

(8) 用于靠近-中心条件的目标调整幅度。

(9) 用于极端负向非峰值条件的目标调整幅度。

(10) 用于发现不可靠的用来断言成功的数据的终止表决门限值。

(11) 为了断言成功必须“足够接近”的尝试次数。

(12) 在其范围之内必须取得前一个数值的尝试次数。

这些参数目录不是无遗漏的, 因为附加的参数可能是需要的或必需的, 取决于所使用的协议或控制系统和特定的硬件或固件的配置。例如, 为了详细说明输入/输出线路或者为了使硬件和固件之间的相互关系变得灵活, 附加参数可能是必不可少的。

统调确认

在离子注入机的标准应用中，硅晶片被连续地送到射束线路作为供离子注入机处理的晶片 27 (图 1)。在延长的时间范围内，射束线路部件中的漂移可能使经过正确统调的射束变得略微失调。为了保证适当的质量，定期评估射束的统调可能是符合需要的，以便在处理追加的晶片之前发现任何正在发展的失调。

在不启动标准的统调程序的情况下评估射束的统调可能是符合要求的。完成射束评估比完成射束统调加得多，所以评估可以在不影响晶片的吞吐量的情况下在晶片处理期间被更频繁地完成。如果发现射束严重失调，提醒操作员、中止晶片处理和非必选地启动完整的射束统调程序是符合需要的。

为了就这个目的评估射束，完整的调整方法的一部分可以被使用。明确地说，可以围绕着目标参数的初始值调制它，然后恢复到那个数值，同时在控制部件下游抽取射束电流样本。为了证实射束得到正确的统调，在统调程序结束时使用的标准的射束评估程序可以被用来评估射束质量。

应该理解用附图展示的和用这份说明书描述的实施方案的各种不同的变化和修正可以在不脱离本发明的精神和范围的情况下完成。因此，我们打算在举例说明意义上而不是在限制的意义解释在前面的描述中包含的和用附图展示的全部内容。本发明只受权利要求书及其等同物定义的内容的限制。

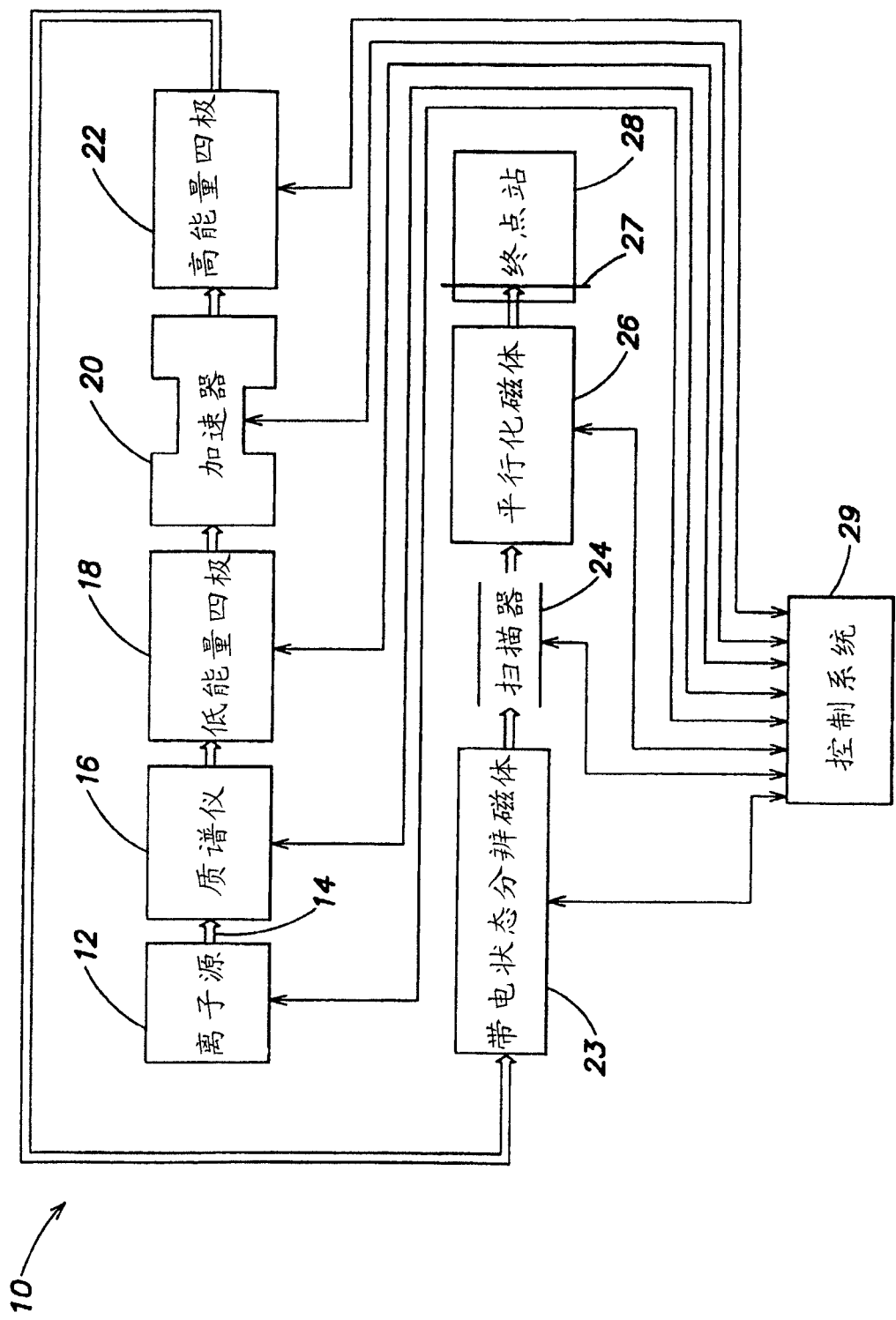


图 1

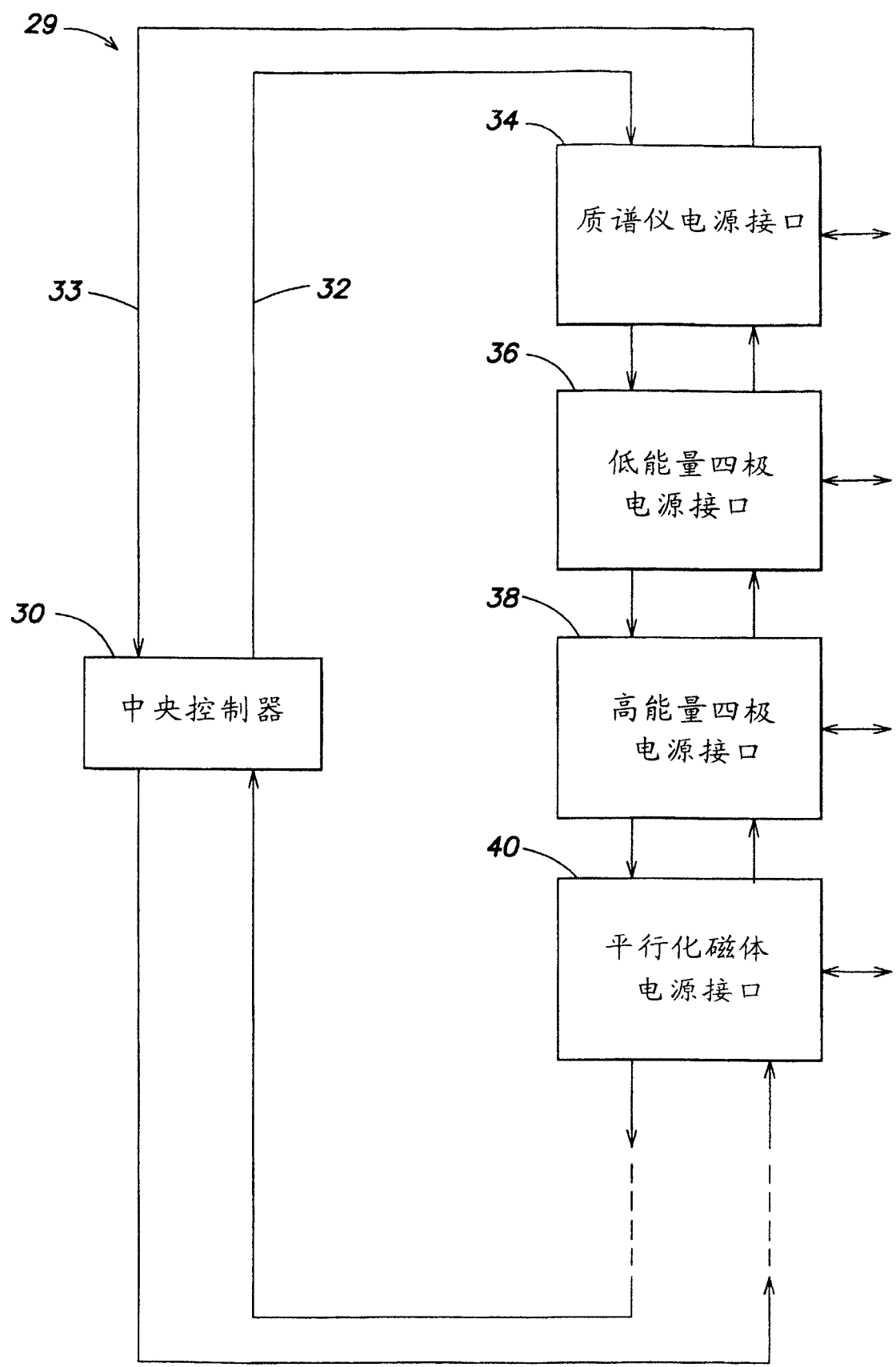


图 2

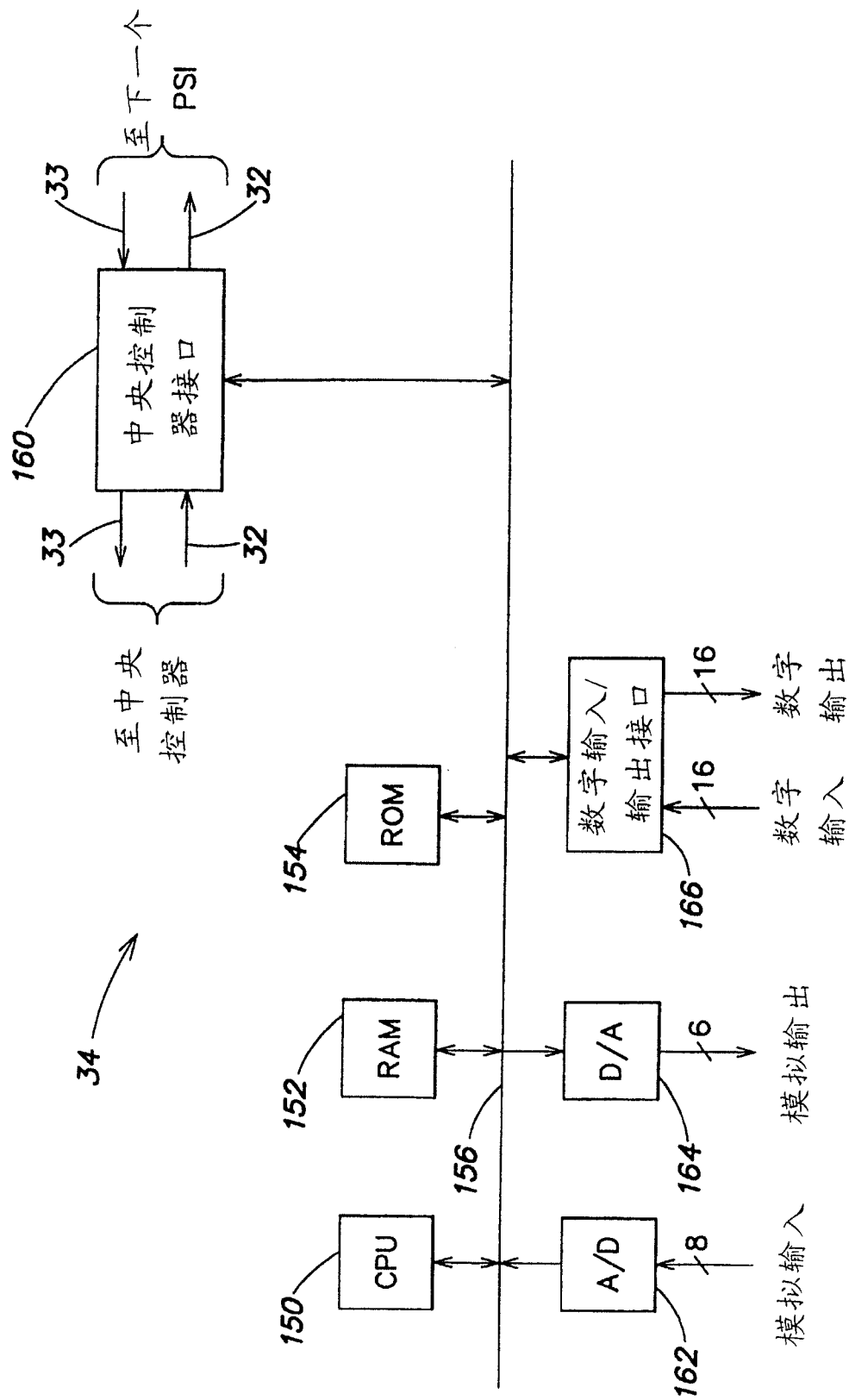


图 3

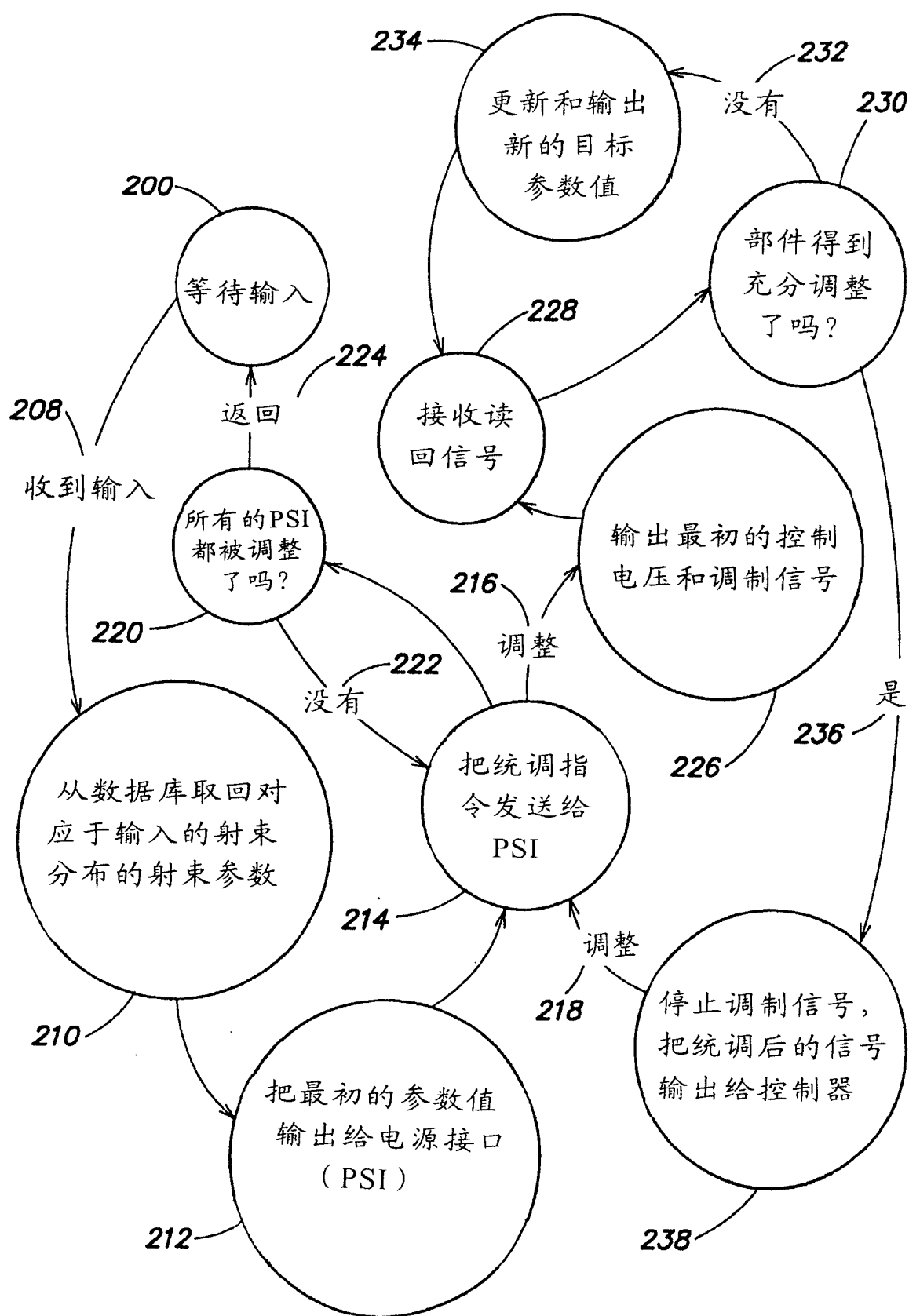


图 4

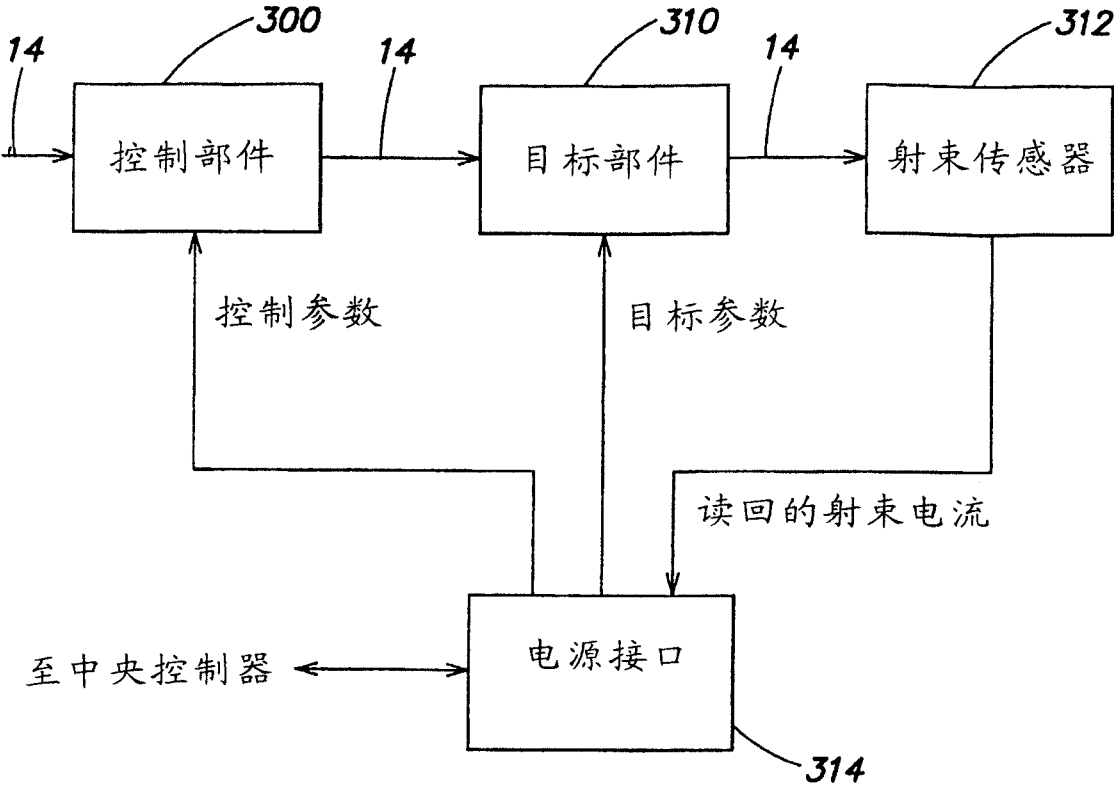


图 5

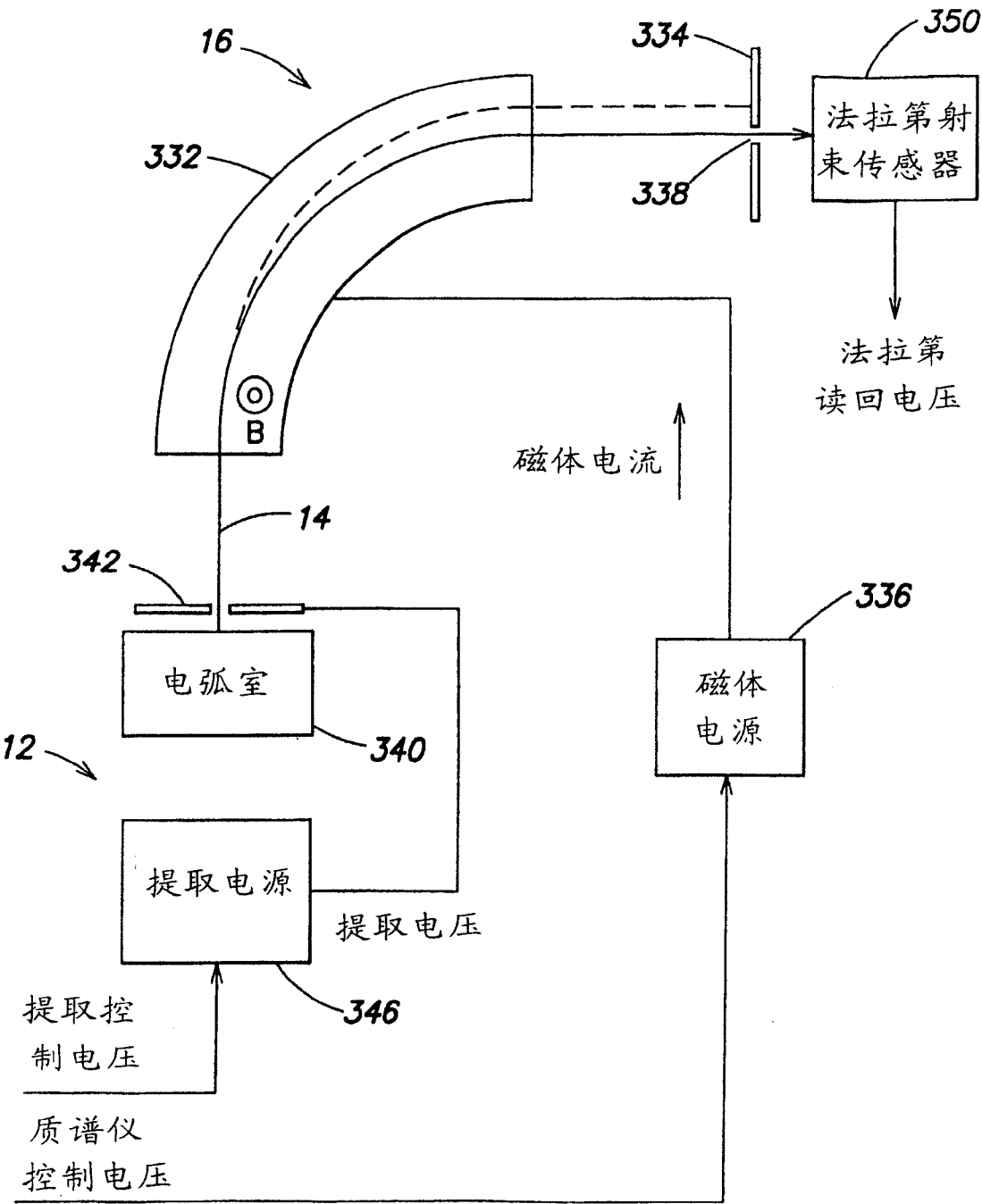


图 6

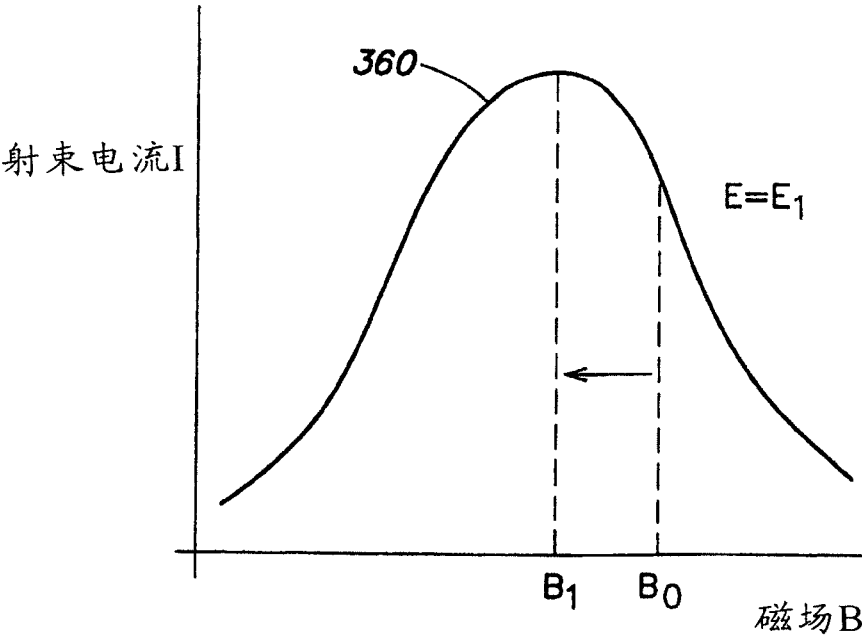


图 7

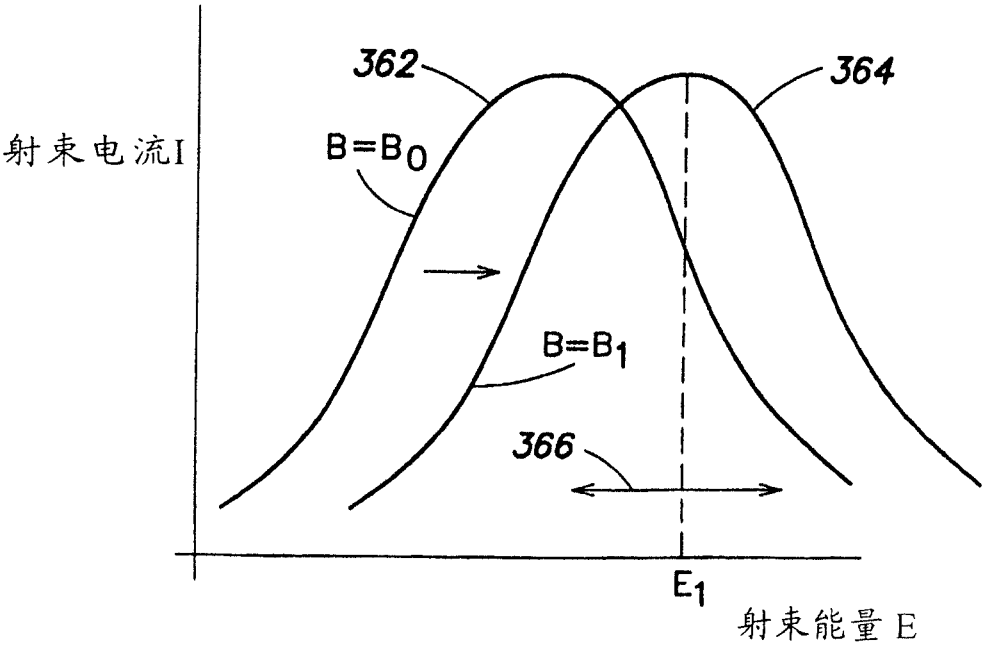


图 8

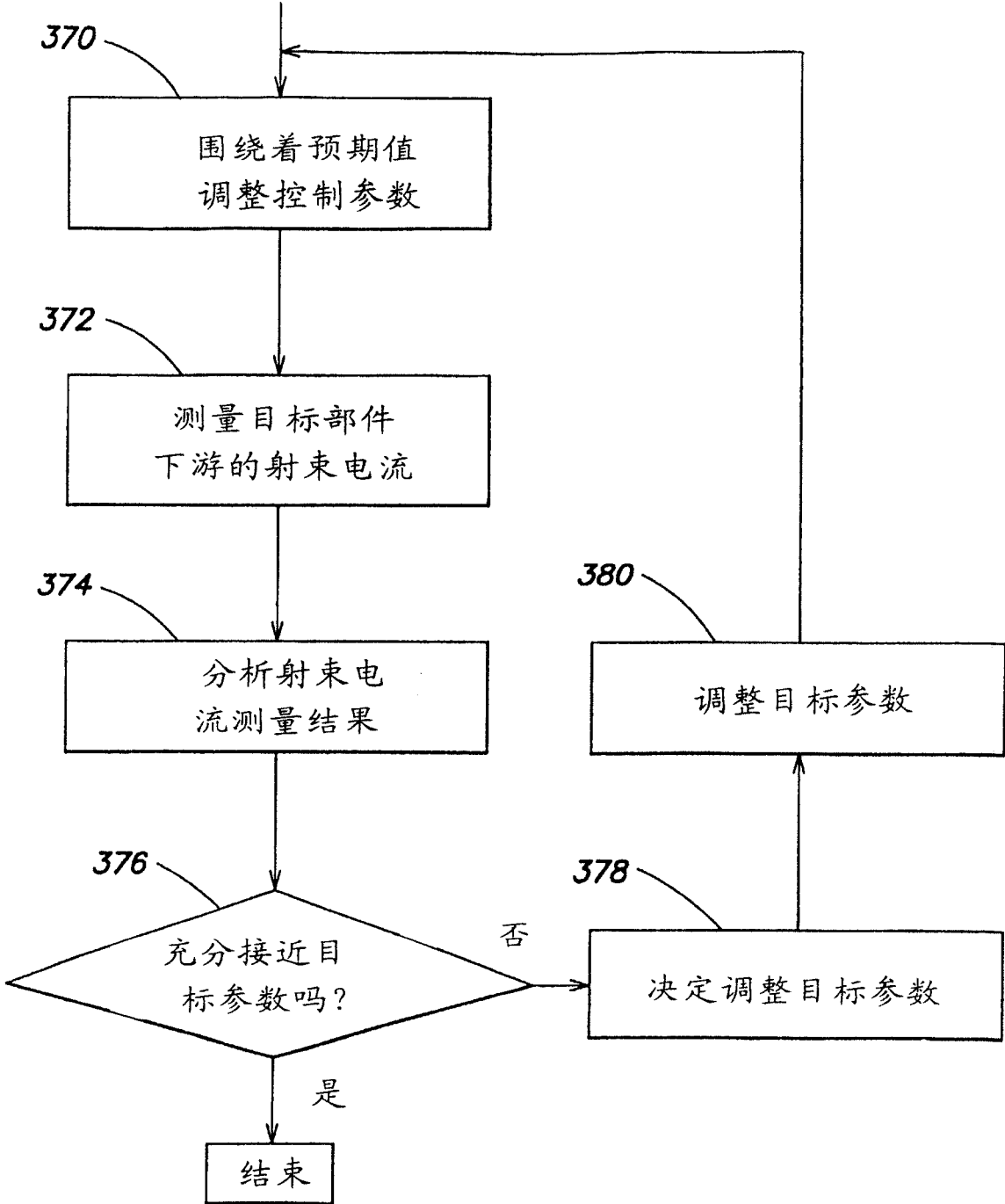


图 9

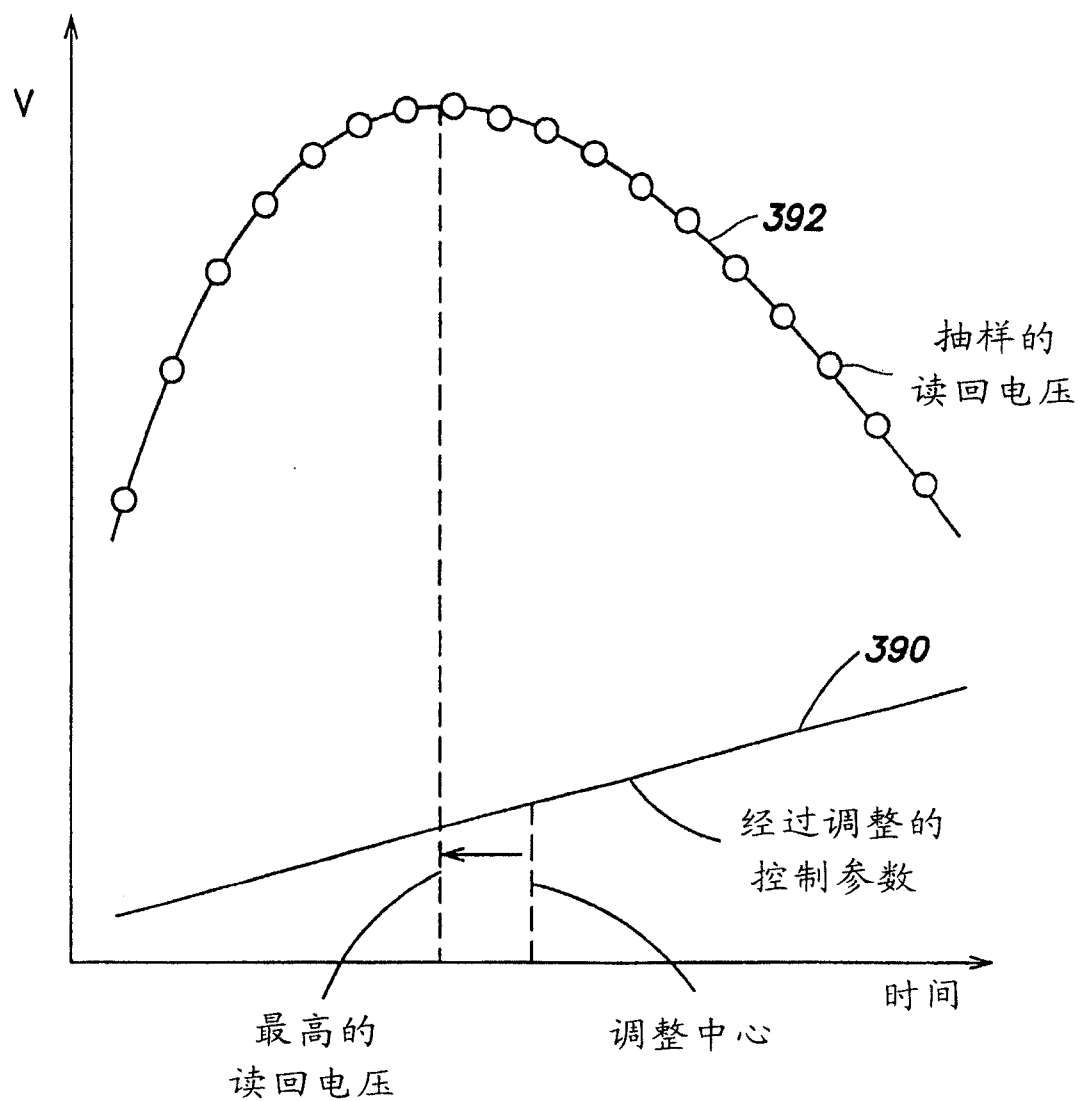


图 10

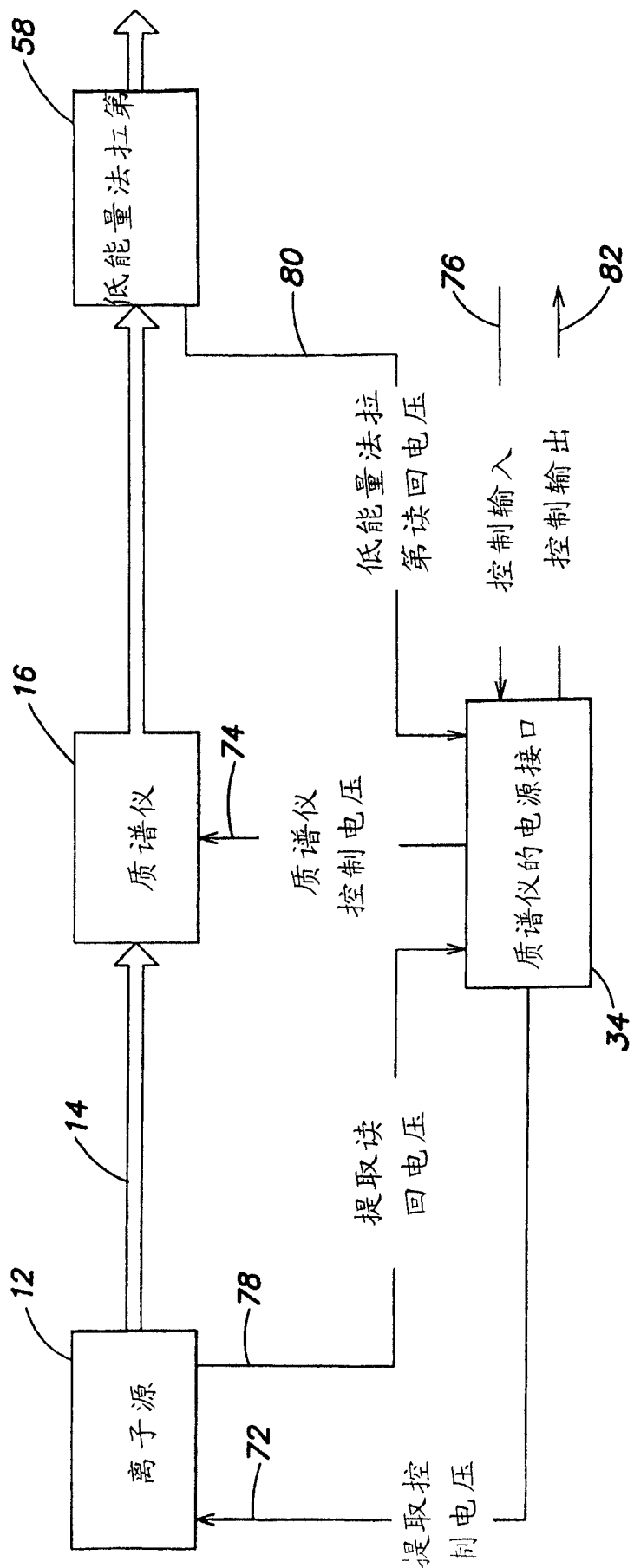


图 11

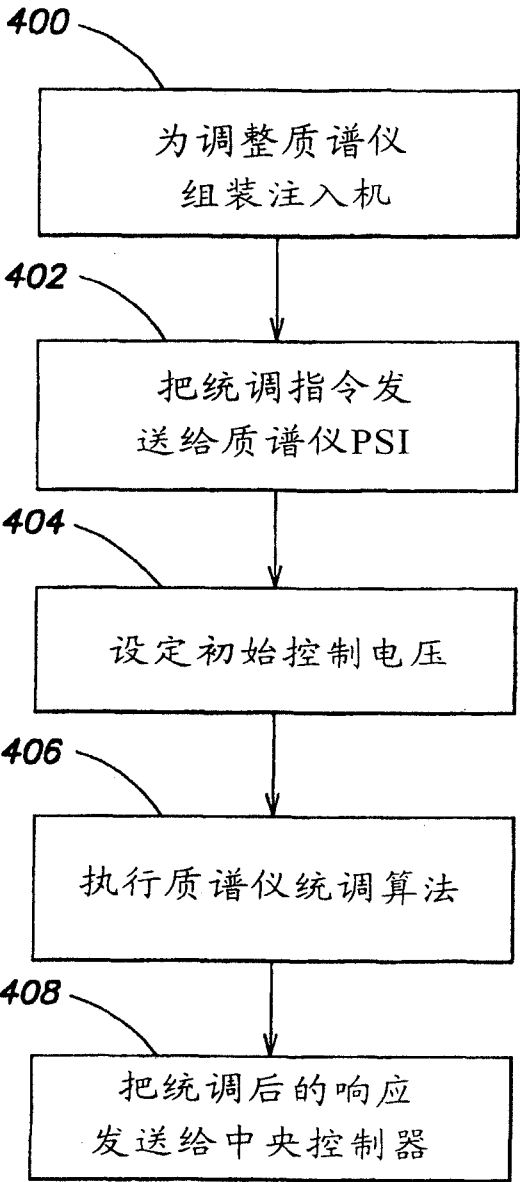


图 12

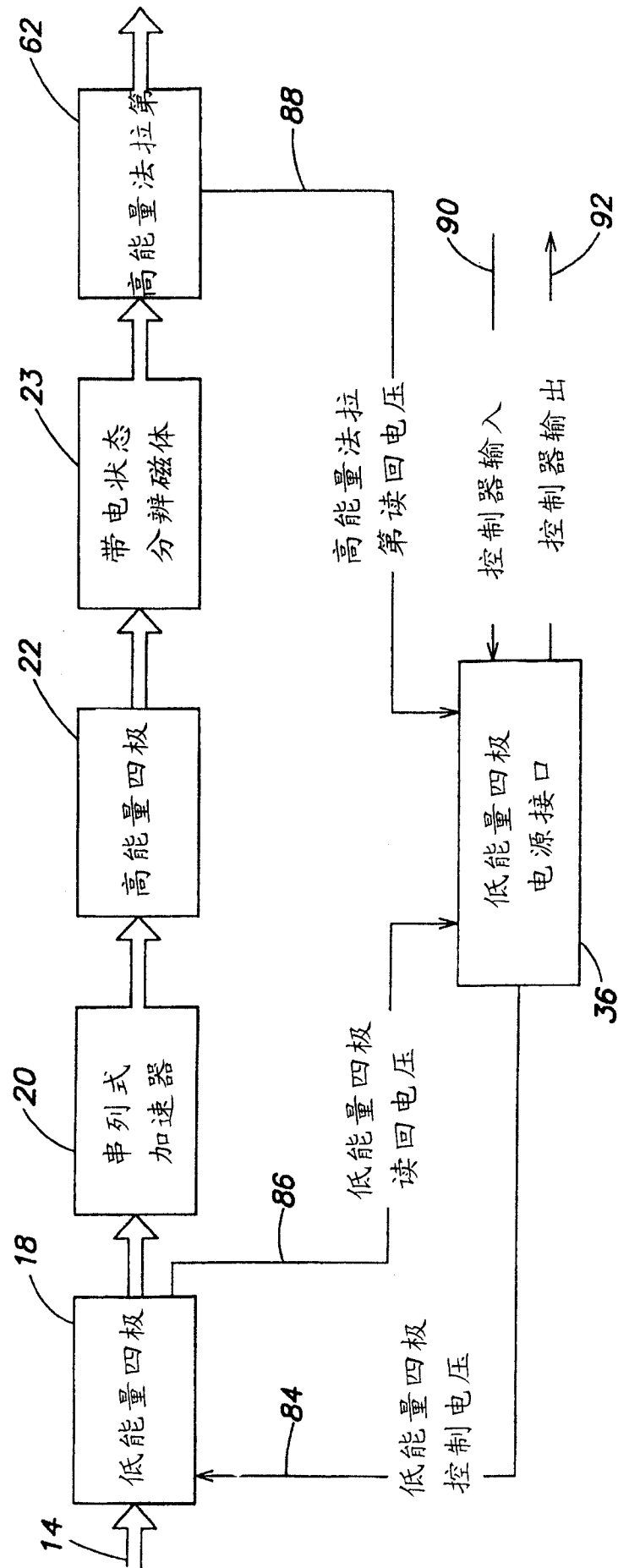


图 13

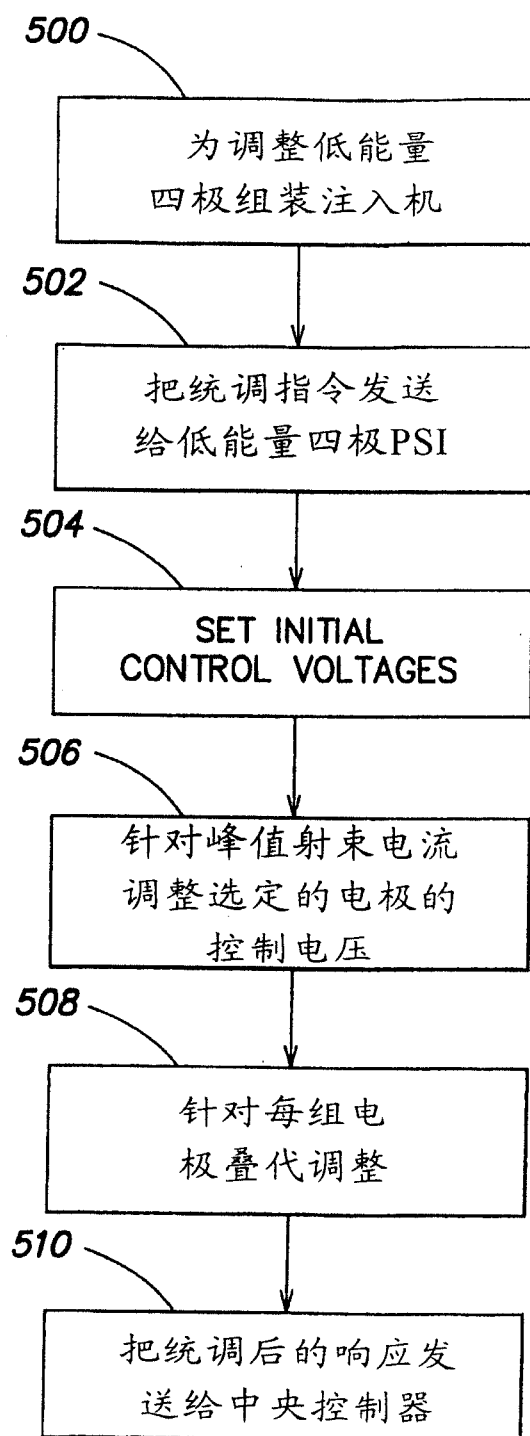


图 14

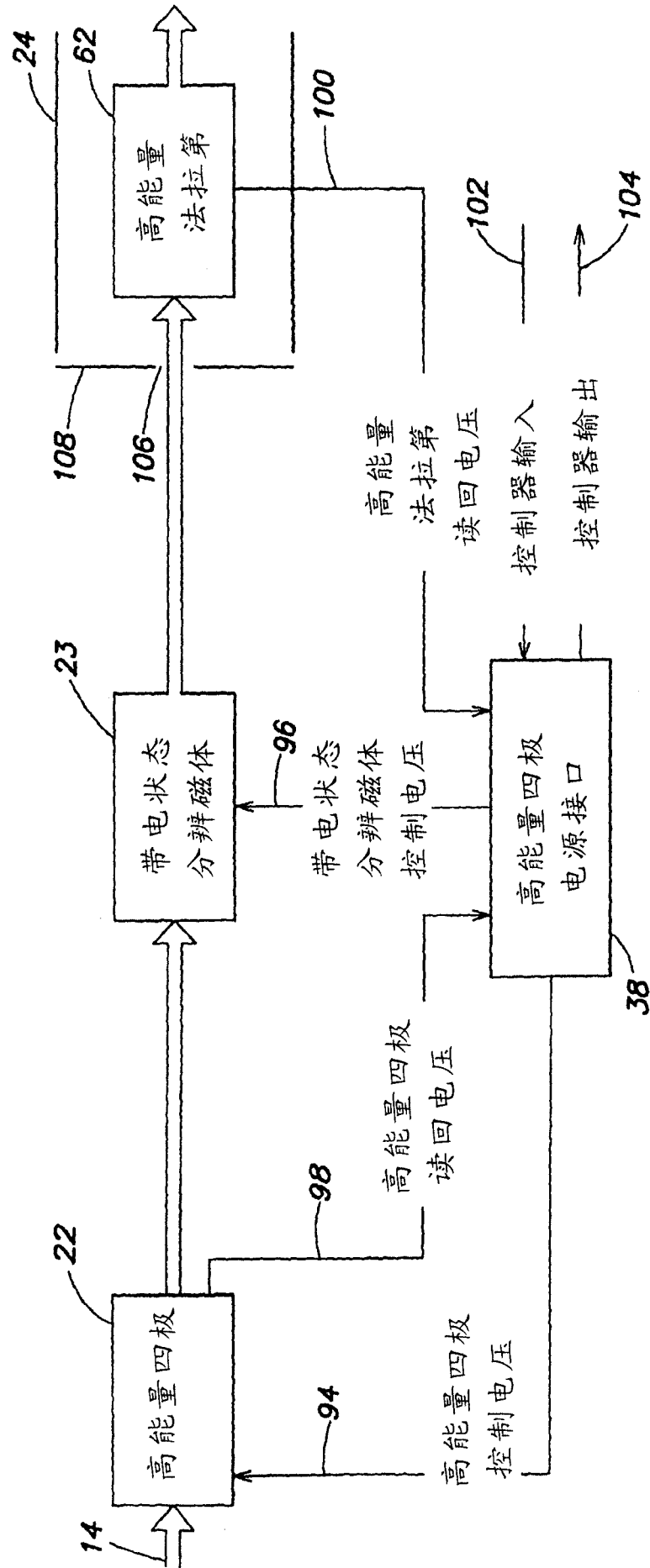


图 15

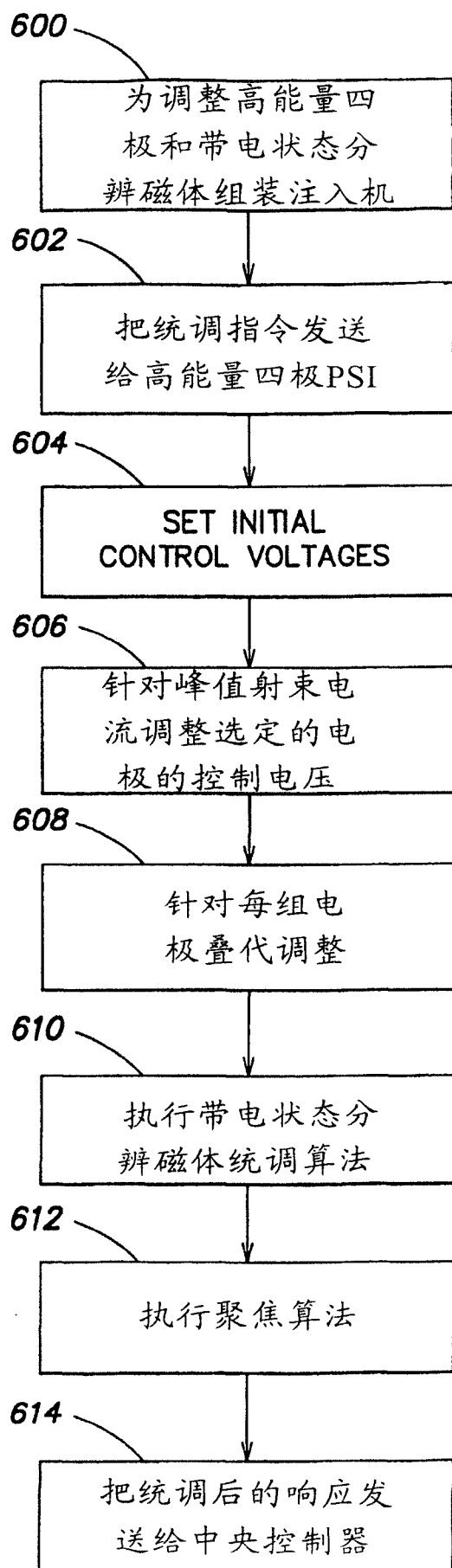


图 16

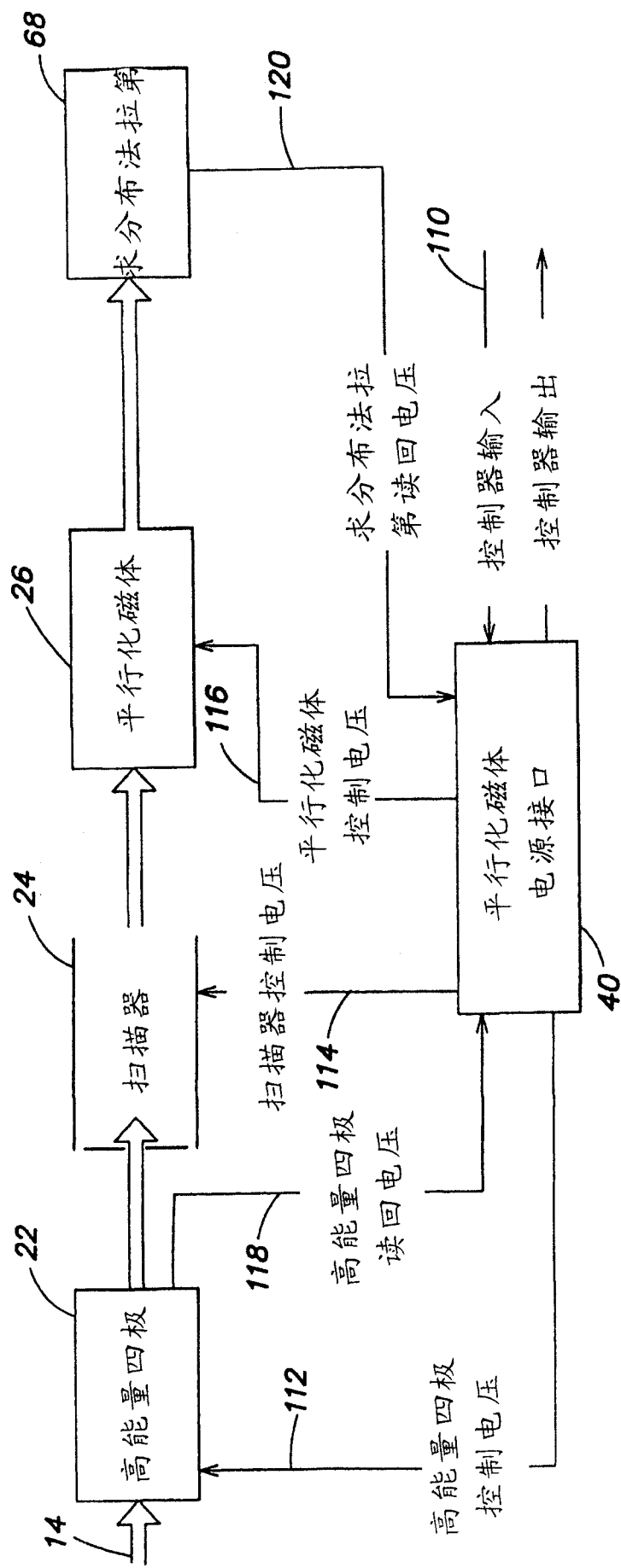


图 17

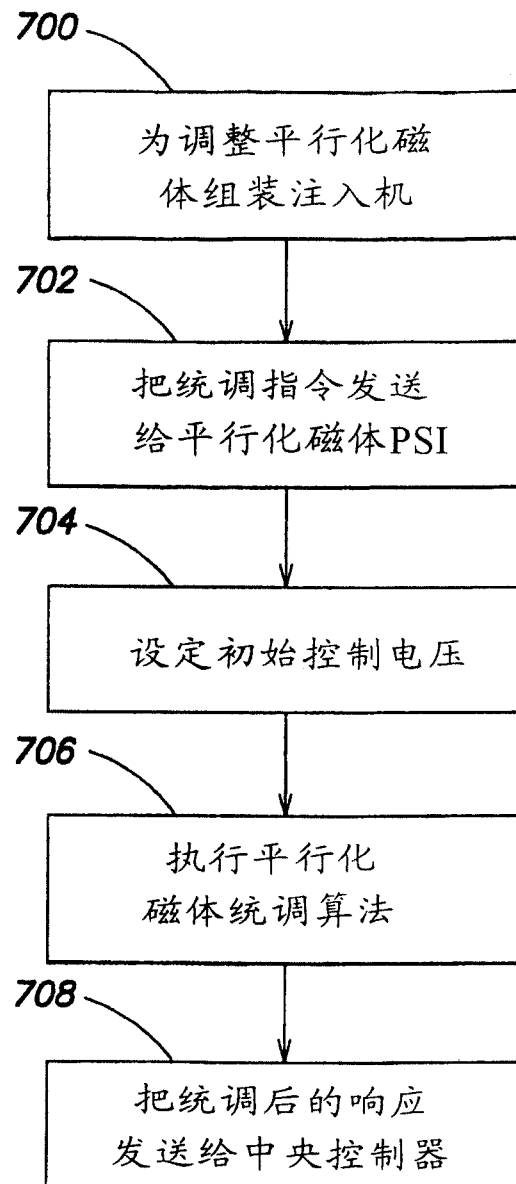


图 18

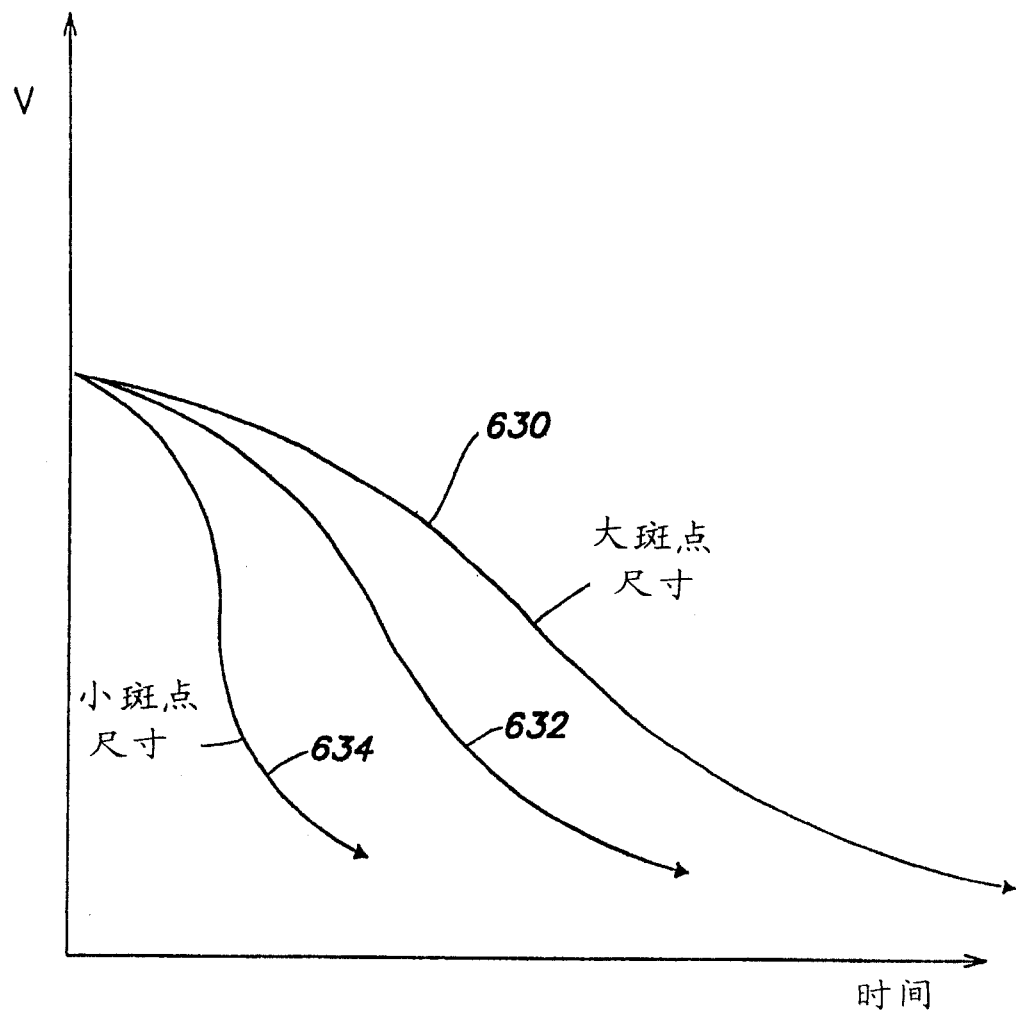


图 19