[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02807812.8

[51] Int. Cl.
H01S 3/22 (2006.01)
H01S 3/223 (2006.01)
H01S 3/14 (2006.01)
H01S 3/10 (2006.01)
H01S 3/00 (2006.01)
H01S 3/097 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009 年 7 月 1 日

[11] 授权公告号 CN 100508308C

[22] 申请日 2002.3.29 [21] 申请号 02807812.8

[30] 优先权

[32] 2001. 4. 9 [33] US [31] 09/829,475

[32] 2001. 5. 3 [33] US [31] 09/848,043

[32] 2001. 5.11 [33] US [31] 09/854,097

[32] 2001. 5.14 [33] US [31] 09/855,310

[86] 国际申请 PCT/US2002/009625 2002.3.29

[87] 国际公布 WO2002/082601 英 2002.10.17

[85] 进入国家阶段日期 2003.10.8

[73] 专利权人 西默股份有限公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 R·L·桑德斯特伦 R·M·内斯 W·N·帕特洛 A·I·叶尔绍夫 E·D·昂科尔斯 吴忠勋

[56] 参考文献

US6151346A 2000.11.21

WO99/01915A1 1999.1.14

US5978394A 1999.11.2

US5142166A 1992.8.25

WO99/60674A1 1999.11.25

US6212271B1 2001.4.3

WO01/24327A1 2001.4.5

US6018537A 2000.1.25

US3531737 1970.9.29

审查员 肖 霞

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司

代理人 陈 斌

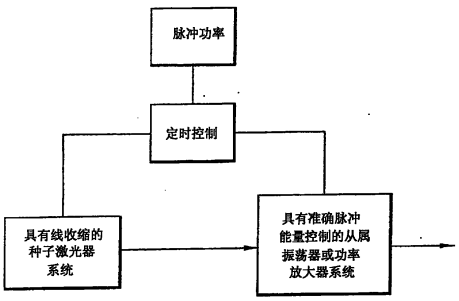
权利要求书 3 页 说明书 18 页 附图 37 页

[54] 发明名称

带有波长控制的注入种子的 F2 激光器

[57] 摘要

本发明提供了一种具有两个激光器子系统的窄带激光器系统。 第一激光器子系统(种子激光器)提供了非常窄带脉冲光束，它用于把种子注入第二激光器子系统(从属振荡器或功率放大器)，其中窄带脉冲种子光束被放大以产生窄带脉冲输出光束。脉冲电源(脉冲功率)对两个激光器子系统内的放电进行精确定时，使得这两个放电被适当同步。 激光器气体包括 F_2，其分压强低于约 1%，缓冲气体由氦、氖或它们的组合组成。 通过调整第一激光器子系统内下列参数的一个或多个而提供对输出光束中心波长的控制：总激光器气压、氦或氖的相对浓度、F_2分压强、激光器气体温度、放电电压和脉冲能量。



1．一种注入种子的窄带气体放电脉冲激光器系统，包括：

A)第一放电激光器子系统，包括：

1)包含激光器气体的第一激光器室，以及定义第一放电区域的第一组电极，其中放电在所述激光器气体内产生增益媒质，用于产生带有一带宽的第一激光光束，以及

2)光线变窄装置，用于减少所述第一激光光束的带宽以产生窄带第一激光器子系统输出光束；

B)第二放电激光器子系统，包括：

包含循环激光器气体的第二激光器室，以及定义第二放电区域的第二组电极，其中放电产生增益媒质，用于放大所述第一激光器子系统的输出光束；

C)中心线波长控制装置，用于控制所述激光器系统的输出光束的中心线波长；以及

D)脉冲功率系统，包括：

1)脉冲变压器系统，包括：

a)第一脉冲变压器，包括：

i)定义N个核心的第一组变压器核心，每个核心都具有一个初级绕组，

ii)至少一个第一次级导体，通过所有所述的第一组变压器核心，

b)第二脉冲变压器，包括：

i)定义M个核心的第二组变压器核心，每个核心都具有一个初级绕组；

ii)至少一个第二次级导体，通过所有所述的第二组变压器核心，

2)高压脉冲功率源，用于产生相对长持续时间的高压电脉冲，

3)上游电脉冲压缩电路，用于压缩所述高压电脉冲以产生具有相对短持续时间的经压缩的高压脉冲，所述上游电脉冲压缩电路用于并行地提供所述经压缩的高压脉冲：

a)提供至每个所述第一组变压器核心的所述初级绕组，以及

b)提供至每个所述第二组变压器核心的所述初级绕组，

从而在所述第一次级导体上的输出处产生非常高电压的第一脉冲，并且用于在所述第二次级导体上的输出处产生非常高电压的第二脉冲，

4)第一下游电子电路，用于把所述第一非常高电压的脉冲提供给所述第一组电极，从而在所述第一放电区域内建立放电，以及

5)第二下游电子电路，用于把所述第二非常高电压的脉冲提供给所述第二组电极，从而在所述第二放电区域内建立放电，

其中所述第一激光器子系统输出光束在所述第二放电区域内被放大，从而在所述第二放电激光器子系统的输出处产生经放大的激光器光束。

2．如权利要求1所述的激光器系统，其特征在于，所述中心线波长控制装置包括用于调整一组激光器参数的一个或多个的装置，参数包括：激光器气压、缓冲气体混合、F_2分压激光器气体温度、放电电压和脉冲能量。

3．如权利要求1所述的激光器系统，其特征在于，所述中心线波长控制装置包括用于控制激光器气压的装置。

4．如权利要求1所述的激光器系统，其特征在于，N等于M。

5．如权利要求1所述的激光器系统，其特征在于，N不等于M。

6．如权利要求1所述的激光器系统，其特征在于，N和M各自约等于23。

7．如权利要求1所述的激光器系统，其特征在于，所述至少一个第一次级导体是单导体，所述至少一个第二次级导体也是单导体。

8．如权利要求1所述的激光器系统，其特征在于，所述至少一个第一次级导体是多个同轴导体，所述至少一个第二次级导体是多个同轴导体。

9．如权利要求1所述的激光器系统，其特征在于还包括一脉冲延时装置，用于把所述非常高电压的第一脉冲和非常高电压的第二脉冲中的一个相对于另一个而加以延时。

10. 如权利要求 9 所述的激光器系统，其特征在于，所述脉冲延时装置包括传导通路的延长。

11. 如权利要求 9 所述的激光器系统，其特征在于，所述延时装置包括可饱和电感器上的可调整偏置。

12. 如权利要求 1 所述的激光器，其特征在于还包括带有可调整前向偏置的经滤波的可饱和电感器。

13. 如权利要求 1 所述的激光器，其特征在于还包括用于检测抖动的装置和抖动控制反馈环路。

带有波长控制的注入种子的F2激光器

本申请是下列申请的部分延续：2001 年 5 月 14 日提交的序列号 09/855310“Injection Seeded F_2 Laser with Wavelength Control”、2001 年 5 月 11 日提交的序列号 09/854097 “Four KhZ Gas Discharge Laser”、2001 年 5 月 3 日提交的序列号 09/848043“Injection Seeded Laser with Precise Timing Control”、2001 年 4 月 9 日提交的序列号 09/829475“Injection Seeded F_2 Laser with Pre-Injection Filter”、1999 年 12 月 28 日提交的序列号 09/473795“Very Narrow Band Injection Seeded F_2 Lithography Laser”、1999 年 12 月 10 日提交的序列号 09/459165“Injection Seeded F_2 Lithography Laser”、1999 年 11 月 12 日提交的序列号 09/438249“F_2 Laser with Visible and IR Control”、1999 年 10 月 20 日提交的序列号 09/421701“Single Chamber Gas Discharge Laser with Line Narrowed Seed Beam”、以及 1999 年 9 月 27 日提交的序列号 09/407120“Line Narrowed Laser with Etalon Output Coupler”。本发明涉及激光器，尤其涉及对于集成电路光刻有用的注入种子激光器。

发明背景

现有技术光刻激光器

KrF 激发物激光器是集成电路光刻的现代化的光源。这种激光器在美国专利号 4959840、美国专利号 5991324 和美国专利号 6128323 中已作描述。激光器工作在约 248nm 的波长。有了 KrF 激光器以后，可以产生尺寸小到 180nm 的集成电路。可以用工作在约 193nm 的 ArF 激光器或者工作在约 157nm 的 F_2激光器来提供较精细的尺寸。这些激光器、KrF 激光器、ArF 激光器和 F_2激光器都非常相似，实际上可以用与制造 KrF 激光器相同的基本设备来产生 ArF 激光器或 F_2激光器，仅需通过改变气体浓度、增加放电电压并且修改控制和仪表来容纳细微不同的波长。

图 1、1A 和 1B 中说明了产生集成电路中所用的典型现有技术 KrF 激发物激光器。图 1B 示出这个现有技术激光器的激光器箱的横截面。如图 1A 所示，由高电压电源 3 供电的脉冲功率系统 2 把电脉冲提供给位于放电箱 8 内的电极 6。典型的目

前工艺光刻激光器工作在约 1000 到 2000Hz 的速率下，脉冲能量约为每个脉冲 10mJ。约为 3 个大气压的激光器气体(对于 KrF 激光器，约为 0.1%氟、1.3%氪以及充当缓冲气体的其余的氖)以每秒约 1000 到 2000cm 的速度循环通过电极间的空间。这用位移激光器放电箱内的正切鼓风机 10 来完成。激光器气体用也在箱内的热交换机 11 和安装在箱外面的冷却台(未示出)进行冷却。激发物激光器的自然带宽由线收缩模块 18(有时称为线收缩包即 LNP)进行收缩。商业的激发物激光器系统一般由几个模块组成，它们可被迅速地替换而不打扰系统的其余部分。主要模块包括：

激光器箱模块，
高电压电源模块，
高电压压缩头模块，
交换器模块，
输出耦合器模块，
线收缩模块，
波长计模块，
计算机控制模块，
气体控制模块，
冷却水模块

电极 6 由阴极 6A 和阳极 6B 所组成。阳极 6B 在现有技术实施例中由阳极支持棒 44 所支持，这在图 1B 的横截面中已示。该图中流向是逆时针方向。阳极支持棒的一角和一边充当导向叶片，推动空气从鼓风机 10 在电极 6A 和 6B 间流动。46、48 和 50 处示出这个现有技术激光器中的其它导向叶片。穿孔的电流回流板 52 帮助把磨光阳极 6B 放在箱 8 的金属结构上。该板用位于激光器气体流通路径中的大孔(图 3 未示出)来穿孔，使得电流回流板不会实质上影响气体流动。由一组单独电容器 19 组成的脉冲修尖电容器集在脉冲功率系统 2 的每个脉冲前被充电。在脉冲修尖电容器上的电压建立期间，一个或两个预离子发生器 56 微弱地电离电极 6A 和 6B 间的激光气体，并随着电容器 19 上的电荷达到约 16000 伏，产生跨电极的放电，从而产生激发物激光器脉冲。在每个脉冲后，由鼓风机 10 建立的电极间的气流约为每毫秒 1 到 2cm，足以在半毫秒至一毫秒后发生的下一脉冲前提供电极间新的激光器气体。

在典型的光刻激发物激光器内，反馈控制系统测量每一脉冲的输出激光器能量，确定与理想脉冲能量的偏离程度，然后把一信号发送至控制器以调整电源电压，使得随后脉冲的能量接近于理想能量。这些激发物激光器一般需要若干月每周七天、每天连续工作 24 小时，仅为安排好的维修短暂中断。

注入种子

用于减少气体放电激光器系统(包括激发物激光器系统)带宽的著名技术包含把窄带“种子”光束注入增益媒质。在一种这样的系统中，设计一称为“种子激光器”或“主振荡器”的激光器来提供非常窄的激光器波段光束，该光束被用作为第二激光器内的种子光束。如果第二激光器充当功率放大器，则系统一般被称为主振荡器、功率放大器(MOPA)系统。如果第二激光器自身具有一谐振腔，则系统通常被称为注入种子的振荡器(ISO)，而种子激光器通常被称为主振荡器，下游激光器通常被称为功率振荡器。

抖动问题

在上述类型的气体放电激光器中，放电持续时间非常短，一般约为 20 到 50 ns(20 到 50 纳秒)。而且，由放电建立的粒子数反转非常非常快地被耗尽，使得粒子数反转仅在放电期间有效存在。在这两个激光器系统中，当来自上游激光器的光束达到第二激光器时，下游激光器内的粒子数必需反转。因此，这两个激光器的放电对于激光器系统的适当操作必需适当地被同步。这可能是个问题，这是因为典型脉冲功率系统内有几个潜在原因，造成放电定时中的偏差。两个最重要的定时偏差缘由是脉冲功率电路中所用的饱和电感器的电压偏置和温度偏差。监视器已知脉冲功率充电电压和电感器温度，以及用来自测量和延时电路的数据来把放电定时归一化为理想值。一种现有技术示例已在美国专利号 6016325 中描述，该专利通过引用被结合于此。现有技术中的定时误差可以被减少，但它们不会被消除。这些最终产生的误差称为“抖动”。

激光器波长和带宽

典型的 KrF 激光器的自然带宽约为 300pm(FWHM)，中心约为 248nm，对于光刻使用而言，它一般线收缩为约 0.6pm。ArF 激光器具有自然带宽约 500，中心约为 193 nm 并且一般被线收缩为约 0.5pm。这些激光器可以用图 2 所示的线收缩模块

18 在它们的自然带宽上相对容易地被调谐。同样对于 KrF 和 ArF 激光器而言，可以通过在激光器操作期间比较输出光束的光谱与原子基准线而精确地确定输出光束的绝对波长。F_2激光器一般产生大多数能量都在以约 157.63 和 157.52 为中心的两条窄线上的激光光束。通常，这两条线中强度较小的(即，157.52 线)被抑制，并且迫使激光器工作在 157.63nm 的线上。157.63nm 的线的自然带宽是依赖于压强的，并且从约 0.6 到 1.2pm 变化。具有该范围内带宽的 F_2激光器可以与光刻装置一起使用，该光刻装置使用利用折射和反射光学元件的兼反射光与折射光的透镜设计，但对于全折射透镜设计而言，激光光束应具有产生理想结果的带宽。还知道，输出光束的中线波长会根据放电区域内的条件而稍微改变。

光刻设备的激光器是非常复杂且昂贵的。带宽的进一步减小会大大简化光刻设备的透镜设计并且/或者导致由设备产生的集成电路的改进了的质量。这样，存在对带宽实质减少的光刻激光器(包括 KrF、ArF 和 F_2激光器)的需求。

带宽控制

KrF 和 ArF 激光器的波长相对容易地控制在相应于它们自然带宽的几百皮可米范围上。由于大部分 F_2激光器的输出集中在两条窄线上，因此 F_2激光器或其它方面已经部分被考虑为不可调谐的。已经为选择一根线并消除另一个线中的能量而准备了几种技术。

光学滤波器

有许多用于选出光束中光的狭窄范围的光学滤波器。一种这样的滤波器是单色仪，其中通过第一隙缝的光照准透镜、被诸如棱镜或光栅这样的发散元件所光谱发散，然后经发散的光聚焦到焦平面上，其光谱范围是由位于本地平面处的隙缝采集的。

需要减少带宽并控制 F_2激光器系统的中心波长的技术。还需要一种用于准确确定 F_2激光器系统的绝对中心线波长的方法。

发明概述

本发明提供了一种具有两个激光器子系统的窄带激光系统。第一激光器子系统用于提供非常窄带脉冲的输出光束，它用于把种子注入第二激光器子系统，在第二激光器子系统中窄带脉冲种子光束被放大以产生窄带脉冲输出光束。提供了脉冲

功率源，它特别用于对两个激光器子系统内的放电进行定时，使得这两个放电被适当同步。激光器气体包括 F_2，其分压强低于约 1%，缓冲气体由氦、氖或它们的组合组成。通过调整第一激光器内下列参数的一个或多个而提供对输出光束中心波长的控制：总激光器气压、氦或氖的相对浓度、F_2 分压强、激光器气体温度、放电电压和脉冲能量。

为了优选实施例中的精确抖动控制而包括一脉冲功率系统，它带有一脉冲变换器单元，该单元有两组变换器内核。单独的上游脉冲压缩电路把高电压脉冲并行地提供给两组中所有内核的主线圈。分开的次级导体(一个通过一组内核，另一个通过另一组内核)分别把很高的电压脉冲提供给分开的下游电路，把放电脉冲提供给两个分开激光器箱中每一个内的电极。在优选实施例中，线收缩在种子激光的谐振腔内实现，并且/或者种子激光的输出会用预增益滤波器来进行线收缩。

附图简述

图 1 是现有技术商用激发物光刻激光器图。

图 1A 是示出为集成电路光刻所用的现有技术商用激发物激光器的某些主要元件的框图。

图 1B 是图 1 激光器的激光器箱的图。

图 2 是示出本发明特征的框图。

图 3 是示出本发明优选实施例特征的电子电路图。

图 3A 是脉冲变换器的图。

图 3B 是示出图 3A 特征的图。

图 3C 是提供可调整延时的图 3 电路的修改。

图 3C1 是 B-H 曲线。

图 3D 示出替代的滤波器调整技术。

图 4 和 5 是 F_2 激光器系统的框图。

图 6 和 6A 示出第一光栅单色仪的特征。

图 7 示出第二光栅单色仪的特征。

图 8 示出校准滤波器的特征。

图 9 和 10 是功率增益级的图。

图 11、11A、11B 和 11C 示出脉冲功率系统的特征。

图 12 示出反馈控制系统内的脉冲能量检测器。

图 13 示出用于确定中线波长绝对值的装置。

图 13A 到 13D 是光谱数据图。

图 14 示出用于测量中心线波长和带宽上参数变化效应的装置。

图 14A 至 14H 是光谱数据图。

优选实施例的详细描述

申请人的实验

为了理解和表征中心线波长以及 F_2激光器系统带宽上的各种 F_2激光器工作参数中的偏差效应，申请人已经实施了下述仔细的实验。

F_2激光器绝对波长

图 13 示出用于测量 F_2激光器绝对波长的装置。如图 13 所示，F_2激光器 100 的输出有 0.5%的 F_2和平衡氦的总气压为 200kPa，该输出与氖灯 102 的输出组合。这两个光束用 0.1pm 分辨率的光栅分光计 104 来监控。时间门控信号多路复用器 106 允许分开地记录灯信号和激光信号。时间门控用来对 F_2测量测量激光脉冲附近很短间隔期间的组合信号，而在较长时段的时间间隔上采用 D_2测量。

图 13A 示出光谱结果，F_2光谱曲线在顶部位置上，测得的 D_2光谱曲线在其次，而基准 D_2光谱可用而(美国)国家标准技术学会提供的基准 D_2光谱。约为 157.63 nm 的强 F_2激光器光线在 F_2曲线上清晰可见。由于来自激光器测量的同一残留物在对 F_2测量加光栅后留下，因此光线也出现在 D_2曲线中。图 13A 所示的 NIST 数据用不同于那些由申请人所采用的技术来获得，这些技术记录了 NIST 数据上的光栅级。在图 13B 中，申请人包括了 NIST 数据上的附加光栅顺序，其结果显示在图 13B 的底部。该数据示出了与由申请人记录的 D_2数据光谱特征的紧密吻合性，确认申请人数据至少相对于接近两条主 F_2光线的重要 D_2光谱线的位置的准确性。

图 13C 是强 F_2光线附近光谱的放大部分，其中 NIST D_2数据叠加在申请人的 D_2数据上。数据示出，在测试激光器气压 2000kPa 的条件下，且具有氦气缓冲和百分之 0.5 的 F_2，强激光光线就以 157.63070 nm 为中心，其估计误差为±0.1pm。

弱光线类似地在图 13D 示出，且在这些条件下以 157.5218 nm 为中心，其估计误差为±0.1pm。

这两个结果在图 13D 与下述结果作比较，即由 NIST 和 Lambda Physik 的实验结果在 Samsonetti 等人所著的“Applied Optics”，第 40 册，第 12 号，1974-1978

页(2001，四月)中示出。

波长偏移的测量

图 14 示出申请人所使用的装置，用于测量由于激光器工作参数的变化所引起的中心波长偏移。这种情况下，参考 F_2激光器 100 保持在 D_2实验(图 13)中所使用的相同条件下。用同一分光计 104 把该激光器的输出与参数变化的 F2 激光器 108 的输出相比较，该输出由数据捕获计算机监控，该计算机用特殊的 Lab View 数据捕获程序来编程。

图 14A 示出某典型的光谱数据，其值激光器 108 压强被保持在 200kPa。中心线和带宽上的光谱偏移清楚可见。

图 14B 示出一致性检验的结果，其中激光器 108 和激光器 100 都工作在 200kPa。中心到中心的一致性在+/-10fm 内。如图 14C 所示，用 13 次测量作出另一个一致性检验来估计中心线偏移和带宽偏移(FWHM)的标准方差，所测得的标准方差值为对于 0.2035 平均中心线偏移为 3.8fm，而对于 0.83pm(FWHM)的平均带宽为 5.8fm。这些数据在图 14C 中绘出。

图 14D 示出中心线偏移曲线图，它是把氦气和氖气作为缓冲气体时全压强的函数，单位为 kPa。结果是直线偏差，压强系数为对氖气 1.84 fm/kPa。两条曲线显示出共同的截距。斜率大致与两气体质量的平方根成正比。

图 14E 示出用于确定零压强波长的技术。

图 14D1 和图 14D2 示出氦氖混合物的压强偏移系数是纯气体偏移系数的简单加权和，因此混合物的偏移等于：

偏移(混合物)＝(1.84fm/kPa)(%氦)+(0.81fm/kPa)(%氖)

图 14E 示出中心波长的偏差，其中 F_2分压强用 500kPa 氦气缓冲并且在 850v 充电电压下测得。当通过如能量曲线所示改变 F_2分压强而影响恒定充电电压时，F_2引起的中心线偏移约为-20fm/kPa F_2脉冲能量。

图 14F 比较了 300kPa 和 500kPa 激光器气压下中心线偏移上的电压变化效应。结果是两种情况下均约为 0.1 fm/v。

申请人改变谐振器镜面反射率而保持所有其它参数恒定，以试图获得脉冲能量的中心线偏差。如图 14G 所示，结果约为 2.2fm/mI。

图 14H 示出温度在 500kPa 和 200kPa 下的中心线偏移的偏差。结果从-0.8 改变至 1.3fm/°c。

下表 1 示出这里提出的所有环境数据概述。

表 1

- 绝对波长(D2 参考光谱，200kPa 氦气缓冲)：

  强光线： 157.63090 nm

  弱光线： 167.52418 nm

- 压强偏移系数：

  氦气： 1.84 fm/kPa

  氖气： 0.81 fm/kPa

- 任意氦/氖缓冲下的中心波长：

  $\lambda = 157.63053 + 1.84 * 10^{-6} P_{He} + 0.81 * 10^{-6} P_{Ne}$ <nm>

- 参数灵敏度：

		预期效应
HV：	1 fm/V	20 fm
F_2：	-20 fm/kPa F_2	1 fm
温度：	10.6 到-1.3 fm/°C	4-8 fm
能量：	2.2 fm/mJ	5 fm

申请人从这些测试得到的总结结论如下：

1)“零压强”波长和压强偏移系数的确定允许中心波长的通用规范。

2)可以把中心波长推断至不需要波长计的足够准确性。

3) 由激光器工作参数中正常变化所引起的 F_2 激光器中心波长的偏差性限于 0.02pm。

注入种子的 F_2 激光器系统

种子激光器

图 2 至图 11D 描述了各种用于设计和操作注入种子的 F_2 激光器系统的技术。优选的第一 F_2 注入种子光源可能是常规 F_2 激光器，或使用平行面板的光学谐振器，或使用不稳定的谐振器配置。两种激光器子系统的脉冲电源最好用上述技术之一来提供。这确保了每个激光器子系统的放电得到充分地同步。在优选的 F_2 实施例中，种子激光光束在种子激光器的下游被滤波。种子激光器最好会产生足够的能量，使得在滤波后有 10-100μJ 的窄带能量可用于对 F_2 功率增益级进行引种。不稳定谐振器相比稳定谐振器会产生较低发散度、较空间相干的光束，这可能是通过注入光谱

滤波器耦合能量的某些好处。例如，如果滤波器是简单的单色仪，则较低发散度的光束会更容易地聚焦到单色仪的输入缝隙。另一种设计选项是以相对低的压强(≈100-200 kPa)操作第一 F_2光源激光器。这产生实质减少的光谱带宽：0.3-0.6 pm。较低的光谱带宽意味着进入后增益滤波器的较大部分的能量会使其通过滤波器。来自第一 F_2光源的原始输出能量会更低，但这可能不是实践上的缺点，因为注入滤波器的最大能量同样是受限的。

优选实施例中用作第一 F_2光源的常规 F_2激光器，修改标准 KrF 光刻激光器系统用于作为 F_2激光器而工作。这些 KrF 光刻激光器是众所周知的，并且当今有不止 1000 个这样的单元工作在集成电路制造工厂中，作为集成电路光刻机器的光源。这些激光器以每秒 1000 到 2000 脉冲范围内的速率产生激光器脉冲，并且由诸如 Cymer 公司这样的供应商所提供，该公司办公室在 San Diego，California(加利福尼亚)。这些光刻激光器在许多专利中有详细描述，譬如美国专利号 5991324 和美国专利号 6128323，这两者都通过引用被结合于此。作为 F_2激光器工作所需的主要修改是要把气体混合物改变为约百分之 0.1 的氟和剩余的氦(虽然也可以使用氖或氦和氖的组合)，放电电压的上限最好从约 26000 伏增加到约 36000 伏。下面在题为“F_2激光器系统设计”的部分内描述第一 F_2光源和功率增益级的基本原型 F_2激光器系统。该部分描述了对现有技术 KrF 激光器系统的重要改进以产生 F_2激光器。

预功率增益滤波器

参考图 6 描述了优选的常规光栅一单色仪预功率增益滤波器。当这个滤波器与自由振荡的 F_2激光器一起作为主振荡器使用时，最好必需从主振荡器的自由振荡光谱部分分出 0.1pm 带宽，这个滤波器能够产生随后的放大器级所需的 10—100μJ 的窄带能量。图 6 所示的该第一滤波器是常规光栅单色仪。来自主振荡器的光首先聚焦在输入缝隙 50 上。通过输入缝隙的光最好由曲面镜 52 照准，曲面镜可能是简单的球面镜，或者是离轴的抛物面，而被照准的光直接进入光栅 54。光栅是高发散型(如，阶梯光栅)，被选择用来发散 157nm 波长范围内的光。光栅是 Lithrow 结构。所选择的非常窄带范围内的光沿着光束通路被反射回来，它根据光束分裂器 56 的帮助重新成像在出口缝隙 57 上。排列的各种几何和光学参数(即，缝隙宽度、光束发散、曲面镜焦距)确定了离开出口缝隙的光的带宽。一种必需克服的设计问题是高峰值强度，当试图通过单色仪耦合所需的能量数目时在输入和出口缝隙处达到该峰值。处理这些高强度的一种方法是使用折射缝隙，即使用把不需

要的光折射至另一方向而不吸收能量的刀口楔。图 6A 示出这种缝隙结构。

除了其作为滤波器的功能之外，图 6 的结构包括附加的光束分裂器 58 和位于出口图像平面上的线性检测器阵列 60。这种附加解决了一个重要的剩下的问题：怎样把(可调谐的)注入滤波器保持在期望的波长。如果光栅角的误差大于几十微弧度，则种子光束会错过出口缝隙，且不会有窄带能量来锁定随后的功率放大器级。如果角度误差极小，则被放大的光谱不会在期望的波长上。幸运的是，单色仪基本上可以自我监控。由光栅和曲面镜形成的图像是进入单色仪的光的发散光谱。第二光束分裂器产生两个相同的图像(光谱)，一个在出口缝隙处，一个在线性检测器阵列处。线性检测器阵列感应到来自自由振荡主振荡器的相对宽的光谱，并将其转换成表示阵列每点处光谱强度的视频信号。由于自由振荡的波长是稳定的且众所周知的，因此它作为单色仪的校准标准。控制器 66 读出线性检测器阵列，并且调整光栅角以便把光谱图像的中心放在阵列上的期望点处，譬如接近中点。这样，单色仪自稳定至主振荡器的自由振荡光谱上。由于出口缝隙和线性阵列一般是重复的图像平面，因此出口缝隙位置对应于特定的位置，从而对应于线性阵列上的波长。因此，用来自主振荡器的自由振荡光谱作为参考，可以准确地确定离开出口缝隙的光的波长。

一种校准该结构的方法是把光束分裂器 62 放在离开单色仪的光束通路上，并且用能量检测器 64 监控该光束能量。由于需要监控注入种子的能量，因此这种检测器在任何情况下都是所需的。

校准

校准序列如下进行：(1)将光栅放在开始角处，激发激光器并且监控出口缝隙的输出能量，以及落在线性阵列上的光谱图像。光谱峰值用阵列上的位置来确定，单位为像素。(2)光栅角渐增，测量重复。(3)在经过一范围扫描了光栅角之后，所产生的数据被检查。光谱在阵列上输出能量最大的位置(单位为像素)对应于缝隙的等价位置。

一旦确定了这个经校准的位置，则可以用单色仪的已知发散把光栅重新调谐至其它波长。例如，假定单色仪发散为 0.1 pm/像素，且进一步假定出口缝隙被校准的位置为像素 300。如果输出所期望的波长为 157.6299 nm(157629.9pm)，它是自由振荡光谱的中心，则调整光栅角使得图像的中点落在像素 300 上。如果期望波长离中点 (157.6301 nm) 为+0.2pm，则移动光栅，使得图像的中点落在像素 302

上。由于自由振荡光谱的中心是取决于压强的，因此进一步的微调包括校准中的主振荡器的压强以及单色仪的随后使用。这种压强依赖性必需包括在校准中，特别是如果主振荡器的压强可以大大改变时。已经确定，当用氦作为缓冲时，自由振荡激光器的中心波长的压强偏移系数在约 1 到 2 fm/kPa 的范围内。对于任何给定的压强而言，波长的良好估计为 157.6309+0.00000192* P nm，其中 P＝单位为 kPa 的压强。如果使用其它缓冲气体(比如氖，或者氦和氖的混合物)，则可以使用其它压强偏移系数。

经修改的光栅单色仪

另一种用于产生窄带光的方法使用图 7 所示的经修改的光栅单色仪完成的。这种滤波器对主振荡器的输出光束进行滤波，产生良好照准的、接近衍射受限的相干波束，这样可以消作单色仪的入口缝隙。

光束扩展器 70 用来减少来自主振荡器的发散并且把来自主振荡器的波束尺寸与光栅 54 物理地匹配。来自光栅的被发散的光通过曲面镜(或透镜)聚焦至出口缝隙 72，在那里选择期望的波长。线性检测器阵列 60 和控制器 66 的操作与前述相同。这种结构的缺点是它消除了对入口缝隙的需求以及与高峰值强度相关的问题。这种结构的优点在于，主振荡器的指示稳定性现在是图像在阵列上位置的因素，也是波长选择过程的因素。为了缓慢地改变来自主振荡器的输入角内的变化，控制器可以重新调谐光栅并保持波长恒定。

标准具滤波器

如图 8 所示，标准具滤波器 78 也可以被用作带通滤波器。如同单色仪滤波器一样，期望标准具对主振荡器的自由振荡光谱是自参考的，它用作原子标准。来自主振荡器的光束首先用光束扩展器 70 来扩展，既用于降低其发散性，又用于减少标准具上的功率密度。在扩展之后，光束通过特殊的“部分扩散器”74，它是发射大多数不变光的光学元件，但把一小部分散射至某一角度范围。这个的例子是具有低衍射强度的衍射光学器件，或者非常轻微和精细地磨光的光学平板。然后，光接近于垂直入射地通过标准具。标准具的带通特征由其自由光谱范围(FER)和精密度来确定。例如，FSR 为 2pm、精密度为 20 的标准具的带宽会是 0.1 pm FWHM。然后，标准具会从自由振荡的主振荡器发出 0.1pm 的光谱片。如同单色仪一样，可能有利于以低压操作主振荡器，从而减少了带宽，以便限制标准具上的功率负载。此外，

较窄的起始光谱会减少标准具的相邻传输级内(从中心波长起±1FSR)的能量数目。在通过标准具之后，透镜 76(或曲面镜)把光聚焦到一点，该点上有一小孔。光束的一部分由光束分裂器 80 所分裂，并且由光电二极管阵列 82 监控，后者把中心波长和带宽信号提供给控制器 66，控制器 66 用该信息来控制标准具 78。小孔的目的在于正好堵塞除了光束的同轴、非漫射分量之外的所有光。此光线是窄带光线，它接着被发送至功率放大器级上。光束分裂器和光学检测器跟随小孔来监控离开注入滤波器的能量。

通常，标准具带通的中心波长不会与自由振荡主振荡器的光谱中心对齐。标准具需要被调谐。四种方法是可行的，取决于标准具是固体板型还是空气间隙型。对于固体标准具而言，标准具可以关于进入光束而倾斜，或者可以改变标准具的温度，这有效地改变了板的光学厚度。对于空气间隙标准具而言，可以改变角度，可以改变板间距(例如，用 PZT 传动器)，或者可以通过改变气体密度而改变板间气体的折射率。

在优选实施例中，标准具是空气间隙型，它密封在如图 8 所示的密闭容器 84 中。压力控制器用来改变容器内的气压(以恒定的温度)，从而压力调谐该标准具。由于所需调谐量很小(约为±0.2 到±0.5 pm)，因此所需的气压变化也很小，用氮作为气体时约为±3 到±8 托。这可以或通过改变(密闭)容器的体积、或通过从适当的供给源主动地引入或抽入气体而实现。当标准具是气压调谐时，输出强度会另外增加并且当带通波长扫过来自自由振荡主振荡器的光谱时消失。

对标准具调谐的控制通过包括把标准具调谐至其自身标准具分光计的附加光学元件来保持。附加光束分裂器位于出口小孔之前，并且形成透镜的第二焦平面。在该焦平面内(如在第一个中)，强度分布包括在焦点中心处的强度点加上很弱的常规标准具环形图案。强度点由通过标准具的光束的非漫射部分所形成，而标准具环形图案由光束的漫射部分所形成。强度中心点在此未被使用，并且由光束中止 81 所堵塞。然后，把线性检测器阵列 82 放在焦平面内以读出标准具环形图案。这种结构非常类似于平板印刷(lithographic)激光器内电流波长计的设计。对于给定的光学结构而言，标准具环的直径和标准具带通的中心波长之间存在直接关系。

结构的校准以与前面为单色仪滤波器所述步骤类似的方式来完成。校准顺序如下进行：(1)随着标准具压强被调谐至起始波长，激光器被激发，且测得来自出口小孔的输出能量，以及落在线性阵列上的标准具环形图案。确定最里面的、完全形成的环形直径。(2)压强控制器使标准具内的压强递增，并且重复测量。(3)在标

准具通过一个自由光谱范围被调谐之后，检查所产生的数据。输出能量最大的最里面的环形的直径对应于一条件，该条件中标准具的带通被正好调谐至自由振荡光谱的峰值，该光谱来自取决于压强的主振荡器。

一旦确定了这个被校准的直径，就可以通过改变标准具内的压强来稳定标准具带通滤波器的波长，以便保持该直径。作为进一步的微调，可以通过采用平板印刷波长计内所使用的相同非线性标准具公式而把标准具环形图案直接转化成“波长”。这允许带通函数从主振荡器光谱的峰值失调一个已知量。进一步的微调包括校准中的主振荡器的压强和标准具的随后使用，如前所述。

调谐

通常为激光器系统的操作所选的窄光谱带(约为 0.1pm 或更少)会是具有最大输出脉冲能量的满足期望带宽规定的窄带。然而，对上述预增益滤波器可能有有限量的波长调谐。申请人预期能相当容易地实现至少约 1.2pm 的调谐范围。附加的调谐对于输出脉冲能量的某些重要折衷是可行的。如上所述，调谐范围是激光器气压的函数。因此，可以通过调整激光器内的气压而实现较大的总范围。

功率增益级

参考图 9 和 10 描述两个优选功率增益级。

功率振荡器

功率增益级可以用图 9 所述的功率振荡器来配置。可以为 PO 设计使用许多不同的谐振器，这取决于期望的输出。在优选实施例中，谐振器是离轴混合的不稳定谐振器，由两个分裂涂覆镜所形成，以上都在图 9 所示。

注入的种子光束 90 与沿不稳定谐振器 92 顶部的中心轴对齐，并且首先通过 50%部分反射器 93A。后谐振器光学部件 94 是零功率新月型，它不打扰注入光束的照准。注入的光束填充谐振器的 Fresnel 内核，建立对空腔间场的控制(这种情况下的 Fresnel 内核是在 50% R 镜 93A 和 100% R 镜 94A 间形成的体积)。在把放大传递至前部光学部件后，光束从 100%反射的、凸表面反射。光束扩展并且在它通过后部光学部件时被放大，在其中一部分从 100%反射的、凹表面 93B 反射，一部分从表面 93A 反射。这重新照准光束，光束进一步由第三次通过增益而放大。输出耦合器的较低部分 94B 是抗反射涂覆的，允许光束用最小的损失而离开。如同后

部光学部件一样，前部光学部件是零功率新月型，用于保存输出光束的校准。由于50％和100％反射表面把反馈提供回谐振器的Fresnel内核，因此这种类型的谐振器形成功率振荡器。这种类型谐振器的好处在于(1)光束中没有中心暗淡或者小孔，以及(2)它需要极少的种子能量来把功率振荡器锁定至种子。

功率放大器

图10示出形式为功率放大器的功率增益级。在这种情况下，谐振器类似于图9所示的谐振器，除了反馈已经通过把50％反射表面93A变成抗反射表面而被消除之外。这种结构产生离轴的、多通道的功率放大器。

F_2激光器系统设计

申请人及其工作伙伴建立并测试了若干原型F_2激光器系统，充当第一F_2光源和功率增益级的增益媒质。

这些系统大大基于目前生产的KrF和ArF激光器，结合了对现有技术激发物激光器系统的几个重大改进，使用了高效率室和固态的脉冲功率激发。放电被电晕预电离以使气体杂质最小。整个光学光通路是氮清除的，以避免氧气的光吸收以及避免对光学组件的损害。所有谐振器光学部件都在带有激光器室的有角度室窗外部。气体混合物是4个大气压的氦中有0.1％的氟，电极间隙被减小为10mm。

在这些原型单元中，对于第一F_2光源和功率增益级两者而言，使用经修改的脉冲功率系统，图11以及图2和3中示出该系统的电路图。这些实施例的脉冲功率系统和现有技术KrF激光器的相应系统间的主要差异是脉冲变压器56，F_2激光器为此提供较高的输出电压，以及如上所述，变压器电路上游部分是单独电路，而变压器下游部分是分流电路。在该脉冲变压器中，充当次级线圈的单独四部分不锈钢钢条(在上面所引用的美国专利号6128323中描述)由变压器次级导体所替代，变压器次级导体由内部圆柱条和两个共轴管所组成，如图11A、11B和11C所示，它们都串联并且彼此隔绝。次级导体由两个共轴部件(图11B和11C所示的横截面)组成，它们通过302所示的母线和304所示的HV电缆相连。图14D示出与图11B和11C相同的横截面，以及由Metglas™和聚酯薄膜组成的层306，这些层回绕在形成初级线圈的圆柱部分308上。图11D中还标识了形成脉冲变压器次级部分的中心电线310以及中空圆柱导体312和314。Metglas™和聚酯薄膜层未在图11A、11B和11C中示出。电压峰值约为1000伏的电流脉冲(如316所示)会在次级HV终端处

产生约 36000 伏的脉冲，如图 11A 中 318 所示。这样，馈给两个激光器的两个脉冲变压器部分的每一个都包括 12 个电感单元(而非图 3HB 所示的 23)。然而，通过 12 个电感单元的三个次级导体产生 36 的电压放大。

参考图 8E，通过包覆上述 Metglas™和聚酯薄膜而提供初级圆柱和三个共轴次级导体间的耦合。在该实施例中，提供了额外的压缩级(具有一个附加电容器组 C_{p-1})。该实施例的电容器组具有以下值：

C_0＝约 12.1 μF

C_1＝约 12.4 μF

C_{p-2}＝约 8.82 nF

C_{p-1}＝约 8.4 nF

C_p＝约 10 nF

该原型实施例中经修改的脉冲功率系统产生进入峰值电容器组的输出上升时间约 80ns。脉冲变换器的升压比是 36X(与前面详述的 24X 相比)。这使激光器能工作在实质上较高的电压，与未修改的脉冲变换相比具有相应较低的 F_2 浓度。申请人已确定，较高的电压操作改进了放电稳定性，并且允许较高的重复率。如上所述，在该实施例中提供了两个分开的变压器，每个都由来自图 3B 所示共用源的主电流供电，但每个变压器都如图 11A、B、C 和 D 被配置以提供 36X 的升压，而非图 3B 所示的 24X 升压。

后输出滤波器

如上所述，本发明优选实施例的功率增益级输出会具有约 0.1 pm 或更小的紫外线带宽，以及中心在标称 F_2 157.63nm 光线内的光线，覆盖标称波长周围约±0.5 pm 的光谱范围。如下面部分中所述，F_2 激光器内产生其它光谱范围内的少量光能量，特别是在使用氦时的红光和红外光。如果这种红光是一个问题，则它可以用公知光学滤波器容易地消除，设计光学滤波器来发射 157nm 的 UV 光并吸收或反射(不是反射回激光器)红光。而且，可以添加上述类型之一的后输出滤波器，以进一步使 UV 范围内的输出光束变窄。然而，当用作后输出滤波器时，滤波器的组件需要被设计成处理能量更高的光束。

脉冲定时

本发明的优选实施例使用脉冲功率系统，用于控制两个激光器系统的放电定

时以产生期望的输出脉冲激光光束。这些实施例利用分数匝绕组脉冲变换器设计，类似于美国专利号 5142166 中所描述的分数匝绕组脉冲变换器。在这些实施例中，两个激光器系统的脉冲功率电路部分是脉冲变压器系统的分开的下游，而脉冲变压器系统的脉冲功率电路上游部分对于两个激光器系统而言是共用的。

图 3 示出优选脉冲功率系统主要元件的电气结构。脉冲变压器系统的系统上游部分非常类似于图 11 所示的电路，这在美国专利号 6151346(通过引用被结合于此)中详细描述。单独电容器组定义了充电 C_0 电容器组 42。电脉冲由开关 S_1 46 的闭合所产生，开关包括并联安装的两个 IGBT 开关。L_0 电感器 48 阻挡流经 S_1 的电流，因此开关能闭合而不会使 C_1 电容器组 52 的充电恶化。L_1 可饱和的电感器阻挡了流经脉冲变压器系统 56 的实质电流，直到电容器 L_1 饱和，此时用短约 0.5 微秒的 1000 伏脉冲向分数匝绕组脉冲变换器系统 56 的初级绕组施加脉冲。在该实施例中，变压器系统 56 包括两个分开的变压器单元 56A 和 56B，它们在这种情况下基本相同。

每个脉冲变压器单元 56 都类似于美国专利号 6151346 中所描述的脉冲变压器。本实施例的脉冲变压器在次级绕组中的单匝绕组仅具有以及 23 个电感单元。图 3B 所示配置成自耗变压器的变换器提供 1:24 的升压比。23 个电感单元的每一个都包括一铝线圈 56A，它具有两个凸缘(各具有螺栓孔的平边缘)，这两个凸缘沿着图 3A 所示的底边缘被栓至印刷电路板 56B 正端和负端。(负端是 23 个初级绕组的高电压端。)绝缘体 56C 把每个线圈的正端与相邻线圈的负端分开。在线圈的凸缘之间有中空柱体 1，它有 1/16 英寸长，具有 0.875 OD，且壁厚约为 1/32 英寸。线圈用 1 英寸宽、0.7 密耳厚的 Metglas™ 2605 S3A 以及 0.1 密耳厚的聚酯薄膜缠绕，直到绝缘 Metglas™ 包覆的 OD 为 2.24 英寸为止。美国专利号 6151346 的图 5 中示出形成一个初级线圈的单独包覆线圈的透视图。

每个变压器的次级是单个 OD 不锈钢钢条，它安装在紧配合的 Teflon®(PTFE)绝缘管内。变压器单元是如图 3A 所示的四个部分。图 3A 中 56D 所示的不锈钢次级的低压系在 56E 处印刷电路板 56B 的初级 HV 引线上，高压端在 56F 示出。结果，变换器采取自耦变换器结构和升压比成为 1:24，而不是 1:23。这样，电感单元的+和-端间大致－1400 伏的脉冲会在次级侧的端子 56F 处产生大约－35000 伏的脉冲。1000 伏的初级脉冲在两个变压器的次级侧产生约 24000 V 的脉冲。这种单匝次级线圈设计提供了非常慢的漏电感，导致极快的输出上升时间。

图 3B 示出脉冲变压器系统的一般结构。如图所示，由脉冲功率系统上游部分所产生的约 1000 V 初级高压脉冲几乎同时到达每个脉冲变换器，因此每个变换器

的相应的输出脉冲的形状和时间实质上相同。申请人估计两个变压器输出处的抖动会低于 1 纳秒。

如图 3 所示，在该实施例中，脉冲变换器的下游的脉冲功率电路部分是分开的，但实质上相等，因此电极 83 和 84 处的抖动 A 和 B 被估计为低于 3 ns。因此，两个激光器内的增益媒质同时产生，偏差小于约 3 ns。每个脉冲的持续时间约为 20 到 50 ns，使得第一激光器内产生的激光器脉冲适当地在第二激光器内被放大。最好为电路提供偏置电路以加偏所有可饱和的电感器，使得它们在每个脉冲前反向导电。设计偏置电路使得在脉冲后紧接着的短时间内，可饱和电感器保持正向导电，使得从电极反射的脉冲能量可以如美国专利号 5729562 中详述的被恢复。

在本发明的优选实施例中，第一激光器的输出耦合器位于第二激光器输入窗的下游约一英尺处。因此，为此或为其它原因，可能期望延时第二激光器相对于第一激光器的放电。由于电脉冲以约 ins/20 cm 的速率通过良导体，因此这可以通过使导体携带比第一激光器的相应导体长的第二激光器（例如，20 到 40cm）脉冲而容易地完成。

可调整延时

另一种控制一个激光器内相对于其它的放电定时的方法是，把图 3 所示电路内的可饱和电感器插入变压器 56 下游支路之一，譬如在图 3C 所示的位置 63。该可饱和电感器与可调整前向偏置适配。选择所施加的前向偏置，使得完成电感器前向饱和的时间大致等于所期望的延时时间。延时时间是可饱和电感器内匝数、其磁心的横截面、以及电感器的磁通量摆幅ΔB 的函数。由于所需的延时很小，因此如图 3C2 所示，匝数可以为 1，磁心可能很小(譬如 2 英寸直径)，且通量摆幅ΔB 也会很小。通过调整偏置可以调整相对延时。延时控制可以被结合在反馈环路设计中来控制抖动。由于预期振荡器/放大器结构所需的延时很小(在 ns 或几十 ns 的数量级上)，因此可以使延时电抗线圈很小。此外，可以选择核心材料来使电路内引入的损耗最小，同样由于伏秒要求很可能远小于功率脉冲抑制电路内所需的伏秒要求。图 3D 示出另一种用于提供可调整延时的技术。在这种情况下，把脉冲传播至激光器之一的导体 101 按排成单回路线圈 102，具有高导磁性的棒 103 可以被移入或移出该线圈。棒可以用快速驱动来定位，譬如步进马达或压电驱动器。

图 3E 示出还有一种提供可调整延时的方式。在该技术内，使用脉冲电流源 86 来提供电感器 L_4的次级脉冲电流。该电流源 86 由触发器电路 86 触发，触发器电

路还闭合开关。电流脉冲 I_s 大约在开关 S 闭合的同时开始，并且在主要压缩电流脉冲传播至电容器 C_4 和 C_4' 后持续一段时间 t_d。次级脉冲电流用来提供电感器 L_4 的饱和。通过改变该电流，电感器 L_4 的 BH 曲线上饱和点会改变，也造成延时改变。放电电路内的相应电感器 L_4 用不可调整的偏置电流 I_{bias} 加偏。该技术的其它实施例也是可行的，譬如为电感器 L_4 和 L_4' 提供两个脉冲电流源。

其它脉冲变压器结构

图 3B 所示的脉冲压换器结构的许多不同变化都是可行的。两个激光器系统的较佳输出电压可能不同。如果需要不同的电压，则这可以通过为相对于其它变压器的一个变压器提供较少或较大量的电感单元而容易地完成。而且，可以在一个变压器内包括开关来切除某些电感单元，以减少该变压器相对于另一变压器的放电电压输出。可以在任一变压器的四个变压器部分的任意两者间提供抽头，从而把次级电压减弱至减少的电平。

控制中线波长

申请人已经作出广泛测试来探索上述 F_2 激光器系统的中心线波长控制的技术。申请人已确定，在主振荡器中，在种子光束在 20μJ 到 50μJ 范围内或更大的功率放大器结构处，种子光束的中心波长和带宽几乎完全确定了输出光束的中心波长和带宽。申请人还精确地测量了激光器气压、缓冲气压混合物、分压、激光气体温度、放电电压和脉冲能量对中心波长和带宽上的影响。然后，申请人用这些结果通过改变一个或多个上述参数而控制中心波长。上面所示及在图中示出的压强偏移系数指明了得到中心线波长所需参数的程度。

申请人相信，总激光器气压会是控制中心线波长更容易被使用的参数，但是也可以使用其它参数，或者可以使用不止一个参数的组合。

尽管已经用特定的实施例描述了本发明，然而读者应该立即，本发明的范围由所附权利要求及它们的法律上等价物来定界。

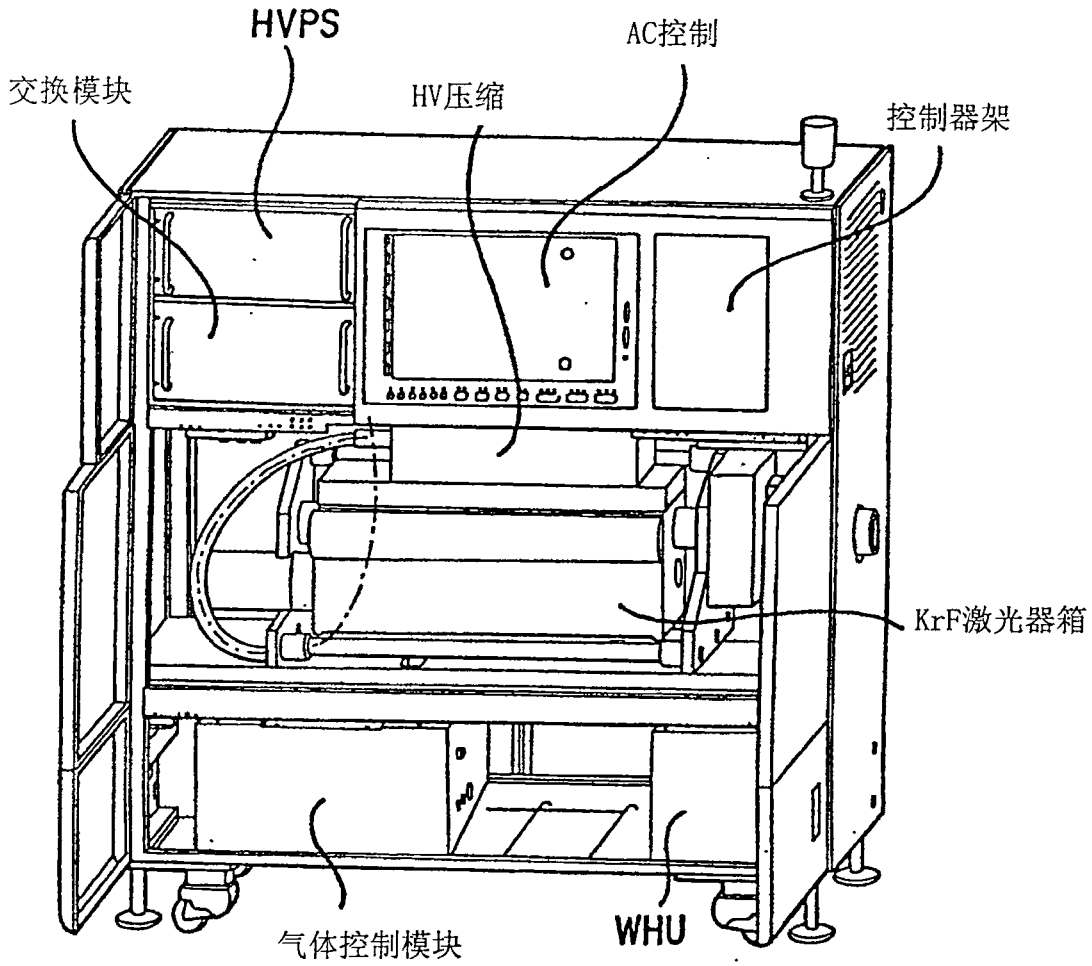


图 1
现有技术

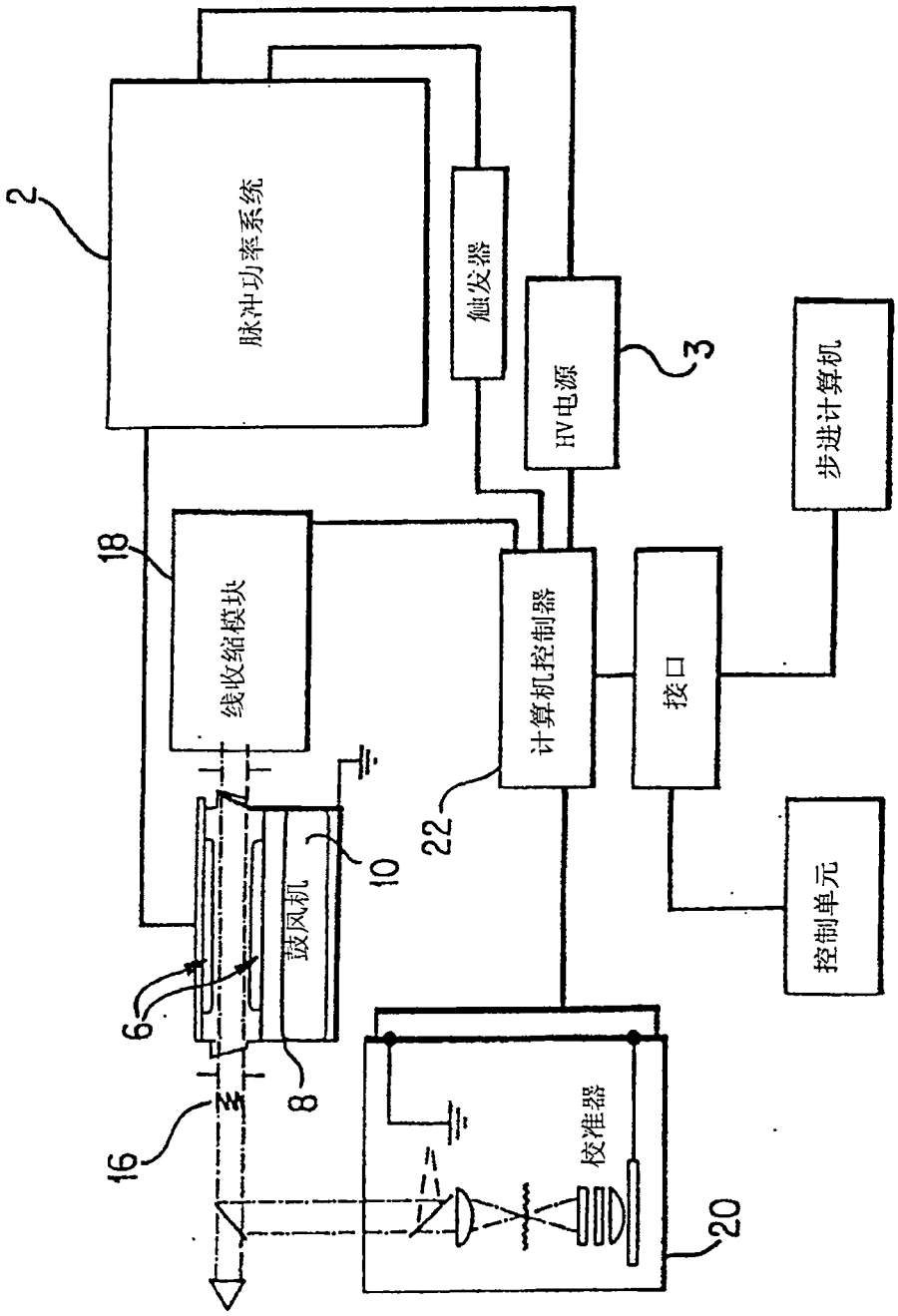

2
脉冲功率系统
触发器
HV电源
3
步进计算机
18
线收缩模块
计算机控制器
接口
22
10
鼓风机
6
8
16
校准器
20
控制单元

图 1A
现有技术

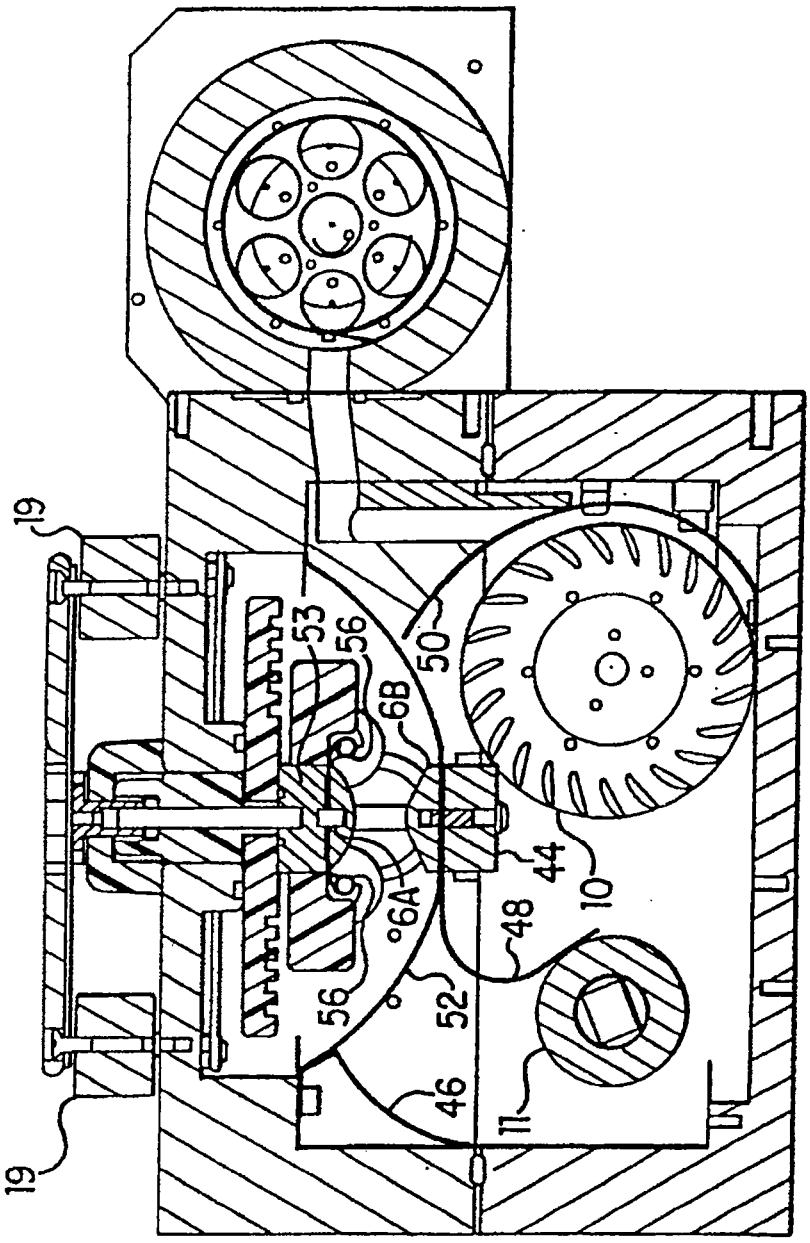


图 1B
现有技术

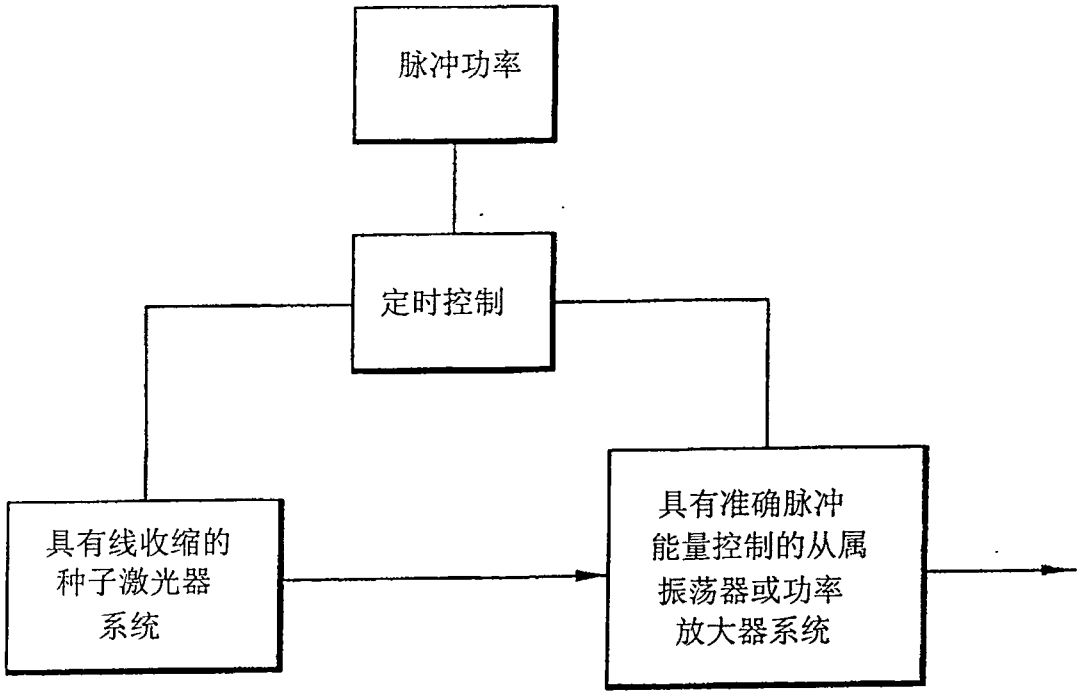


图 2

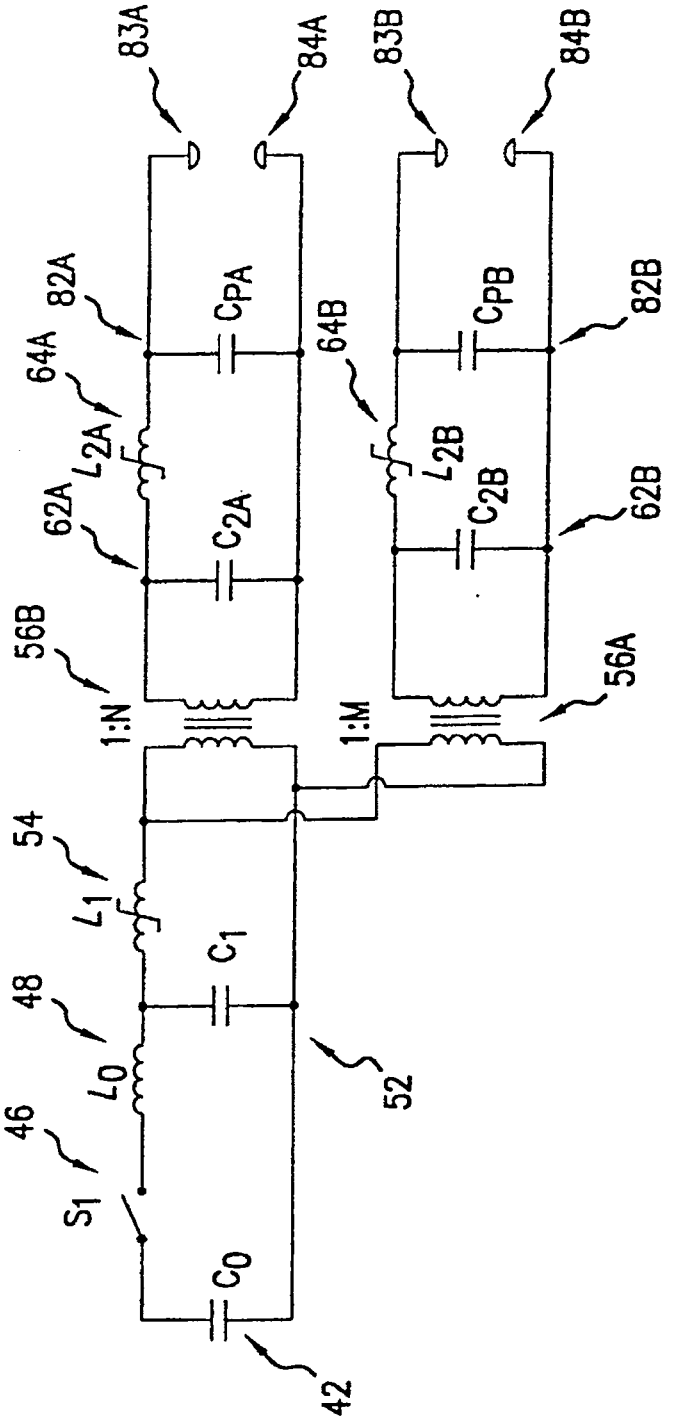
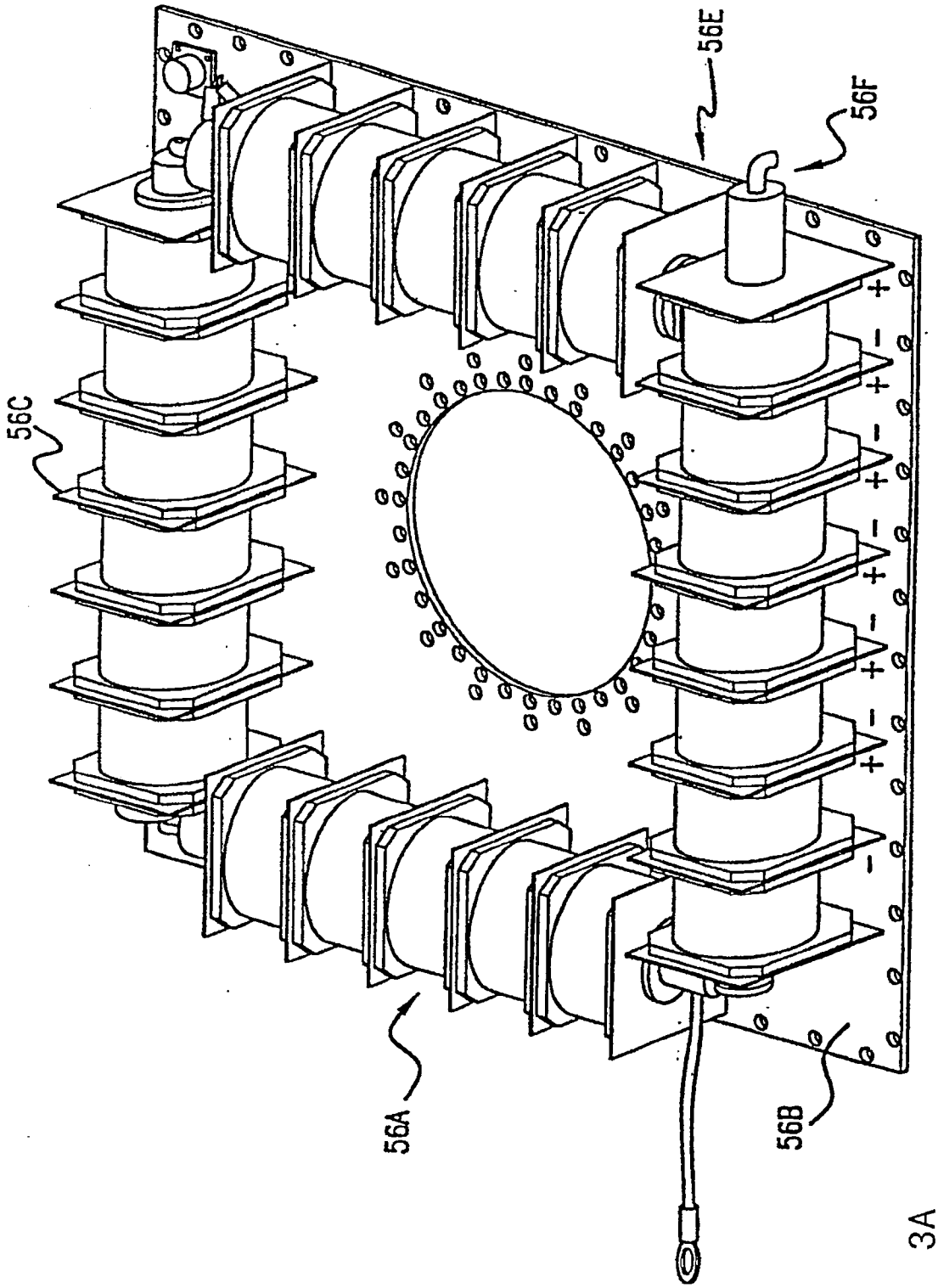

83A
84A
83B
84B
82A
64A
C_{PA}
64B
C_{PB}
82B
L_{2A}
62A
C_{2A}
L_{2B}
C_{2B}
62B
56B
1:N
1:M
56A
54
L_1
C_1
48
L_0
52
46
S_1
C_0
42

图 3



3A

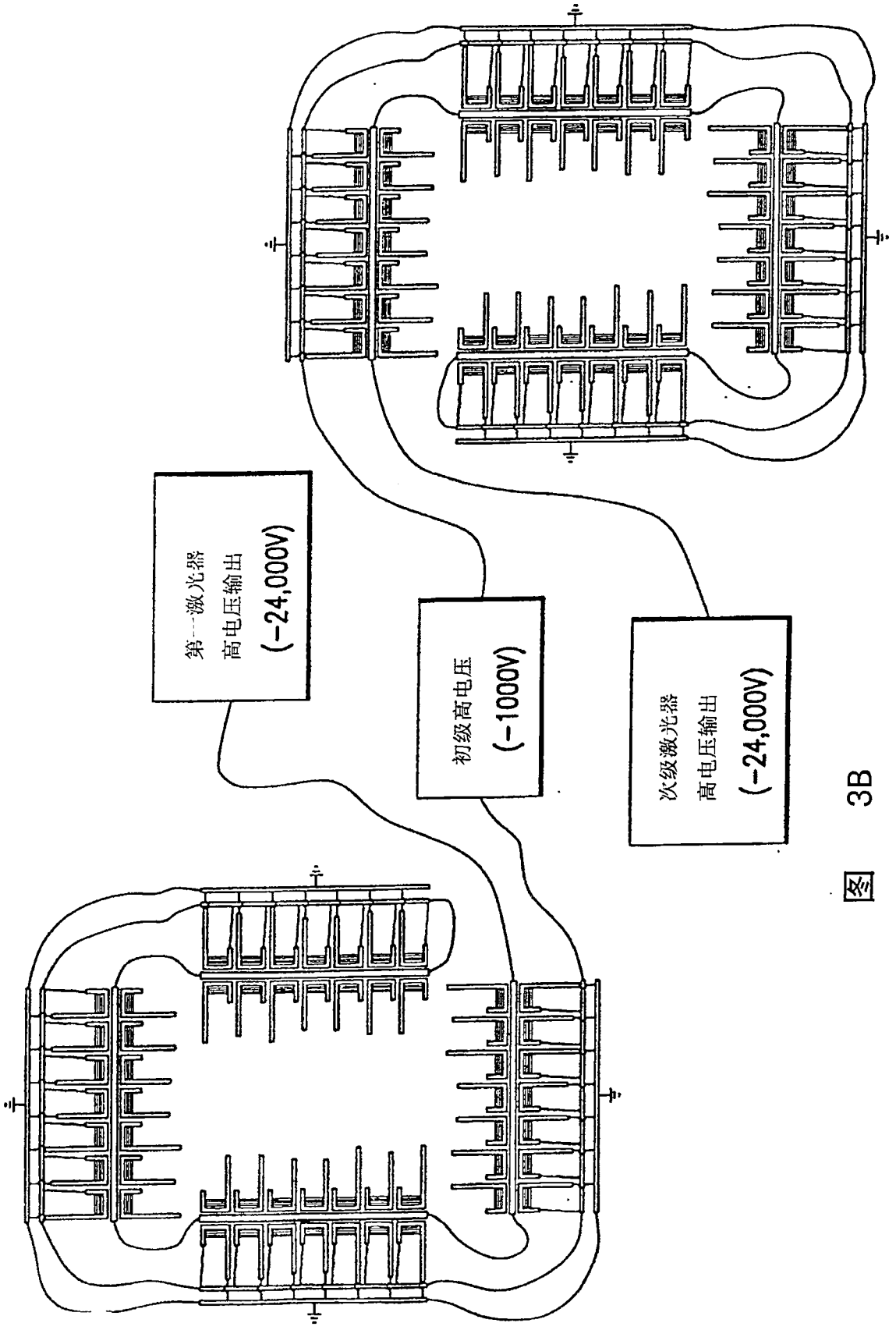


图 3B

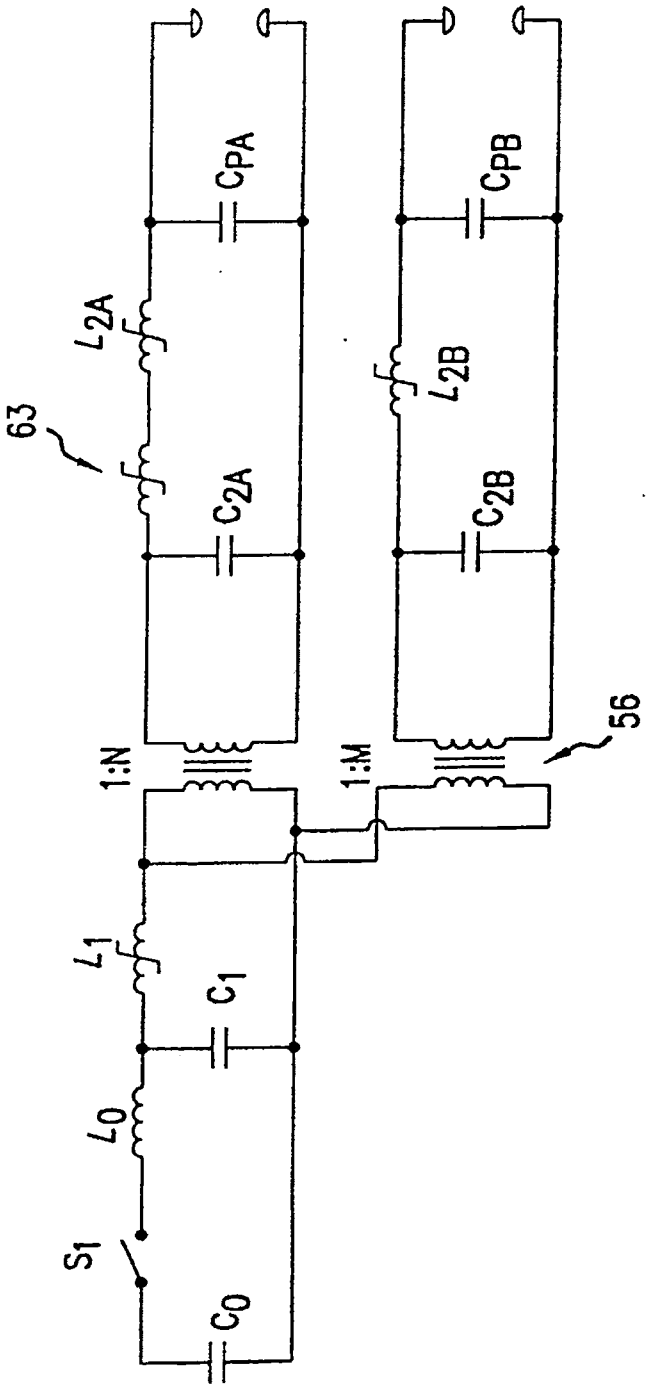


图 3C

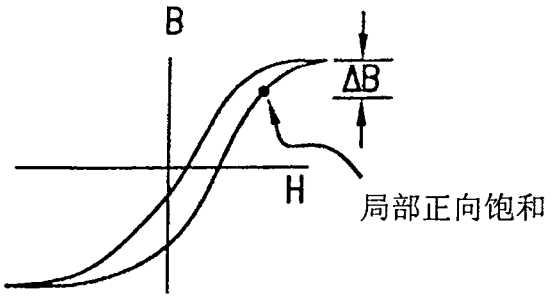


图 3C-1

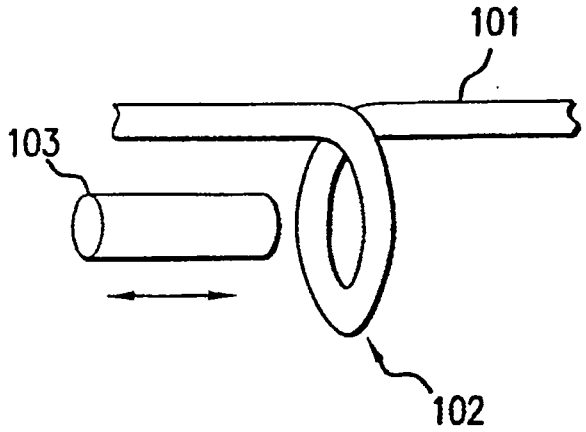


图 3D

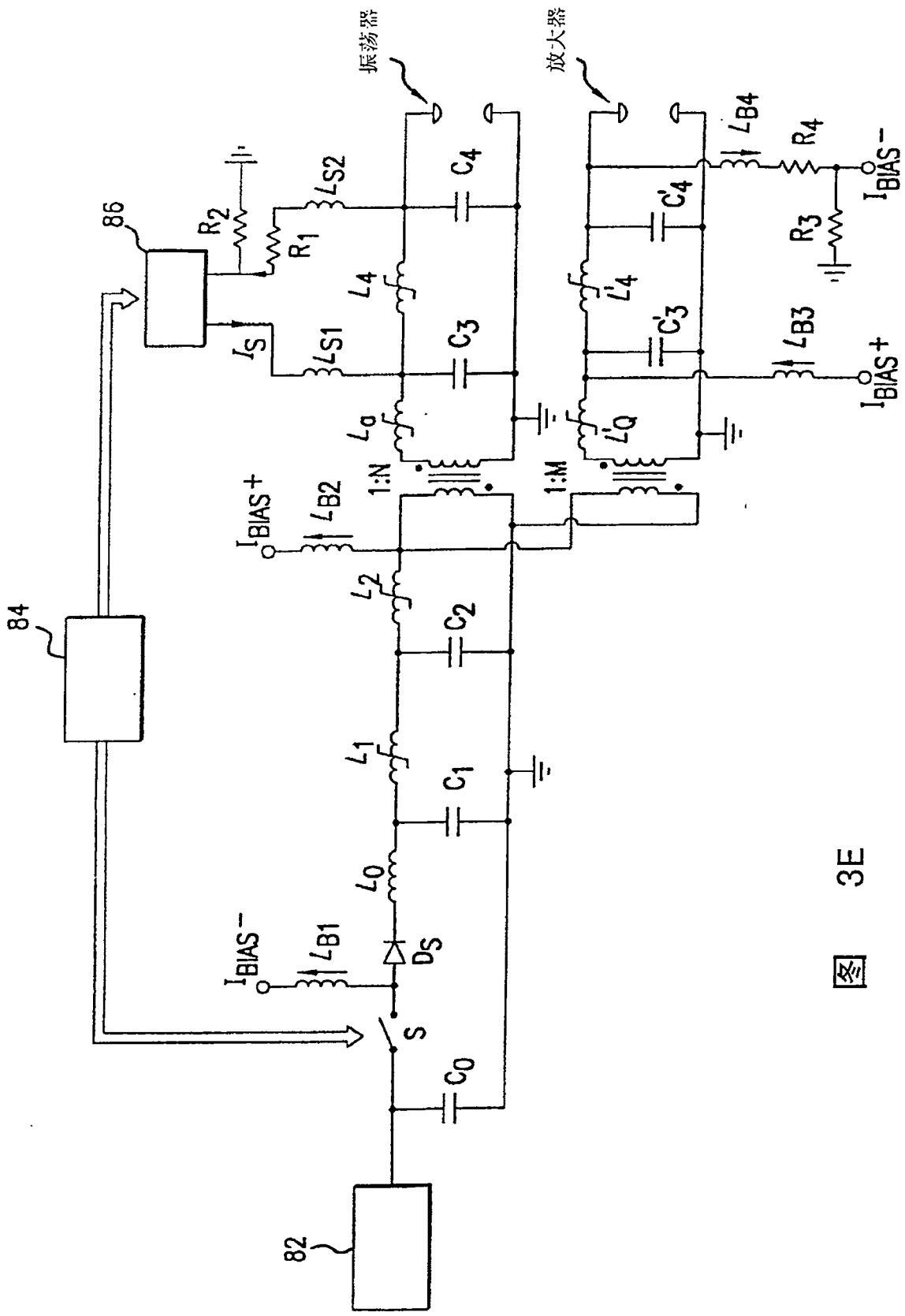

振荡器
放大器
86
84
82
R2
R1
LS2
LS1
LS
C4
C3
L4
La
C'4
C'3
L'4
L'Q
LB4
R4
R3
LB3
IBIAS+
IBIAS-
LB2
LB1
1:N
1:M
L2
C2
L1
C1
L0
C0
DS
S

图 3E

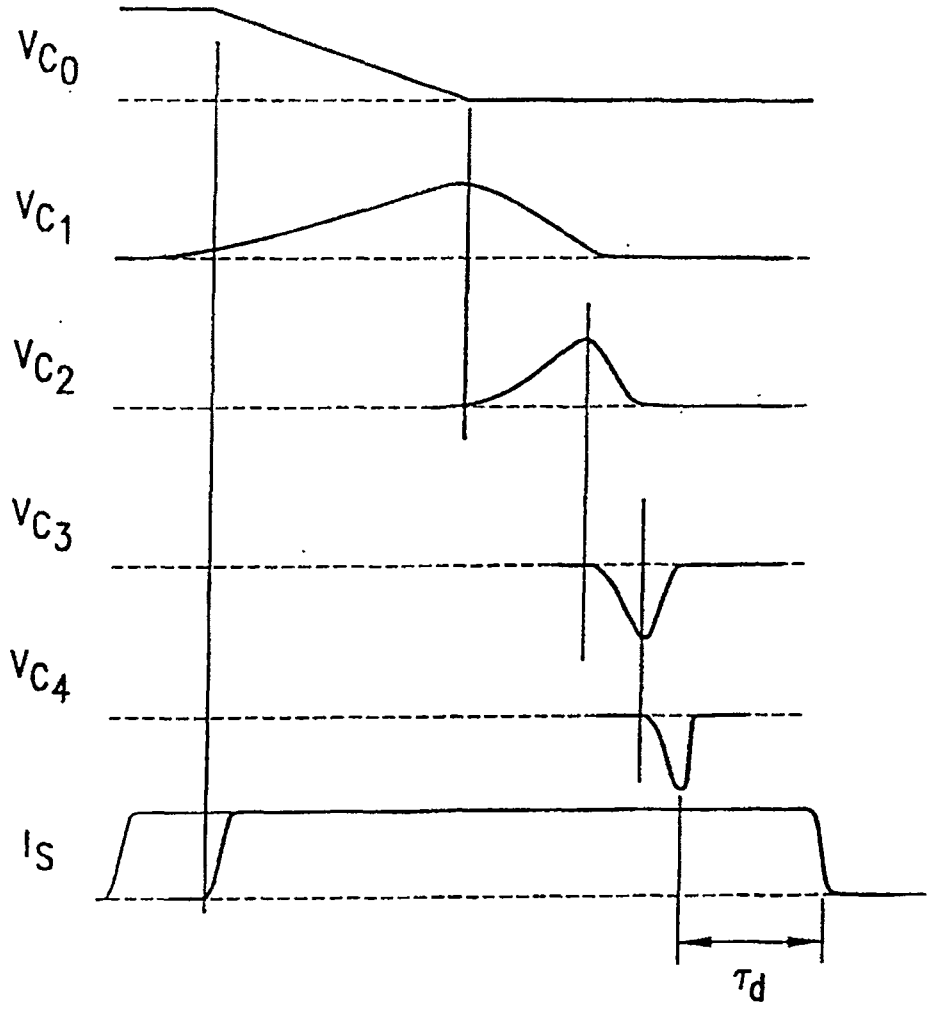


图 3F

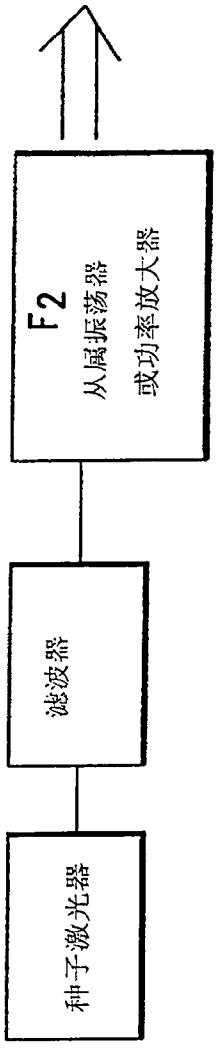


图 4

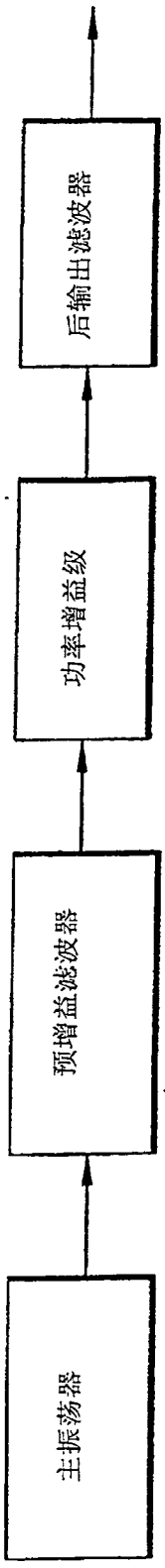


图 5

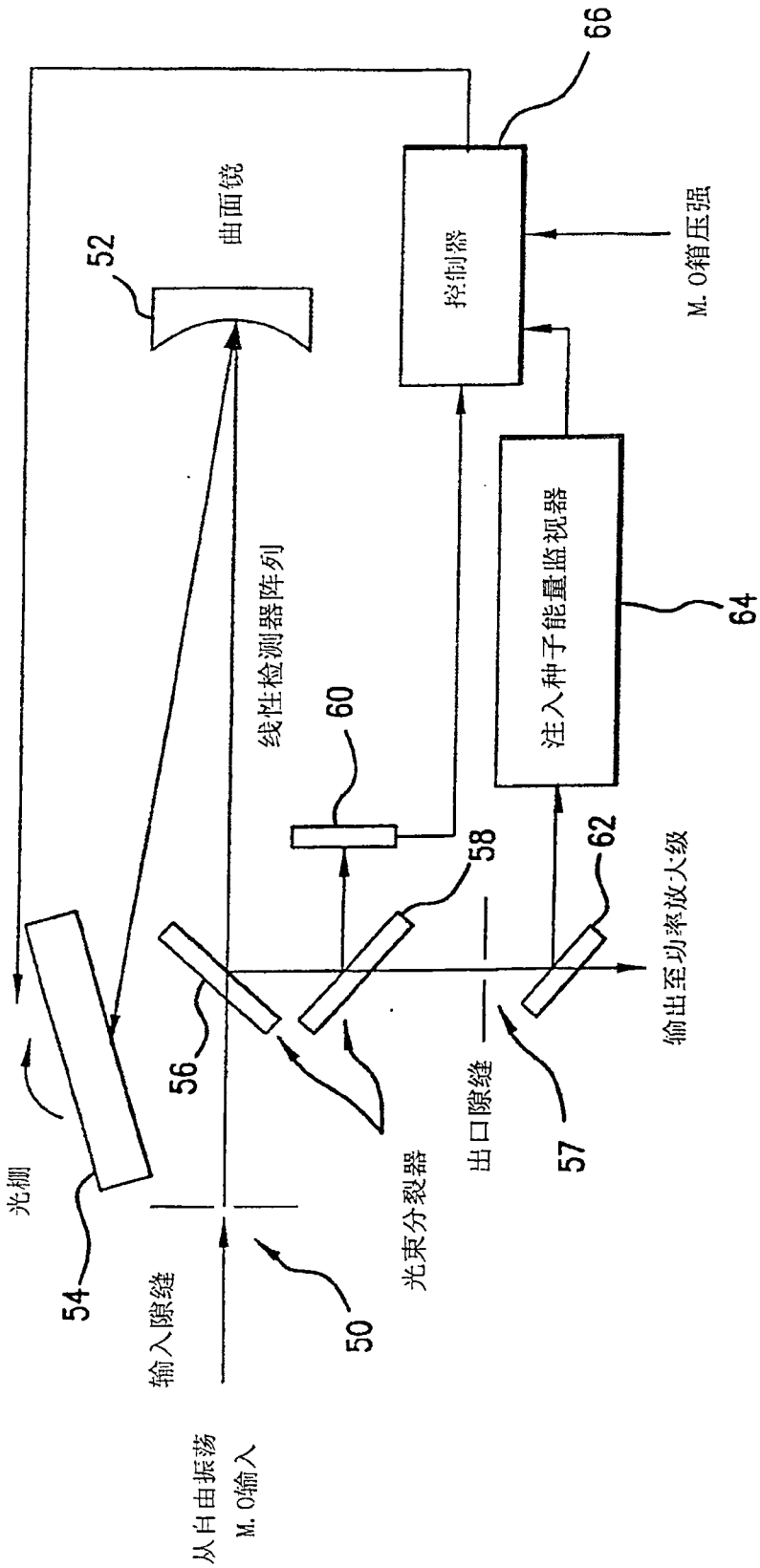

从自由振荡
M. O输入
输入隙缝
光栅
54
50
56
光束分裂器
线性检测器阵列
60
58
出口隙缝
57
62
注入种子能量监视器
64
输出至功率放大级
曲面镜
52
控制器
66
M. O箱压强

图 6

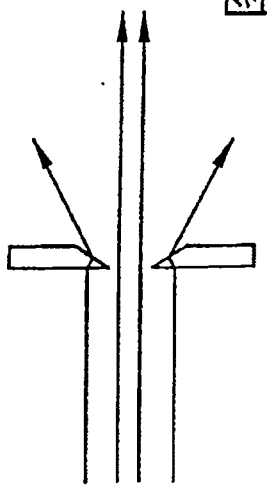


图 6A

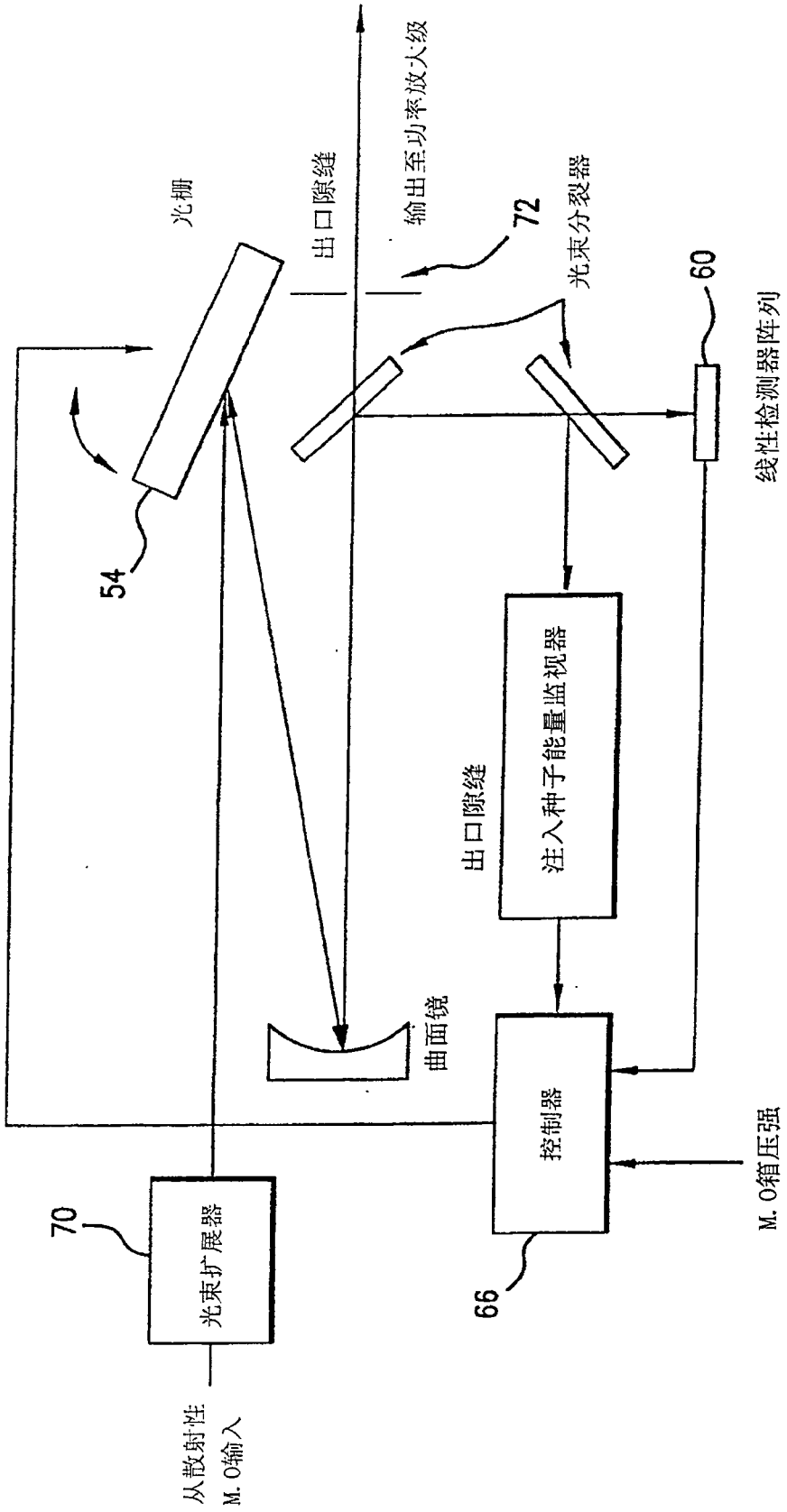

光栅
出口隙缝
输出至功率放大级
72
光束分裂器
60
线性检测器阵列
54
出口隙缝
注入种子能量监视器
曲面镜
控制器
M. O箱压强
66
70
光束扩展器
从散射性
M. O输入

图 7

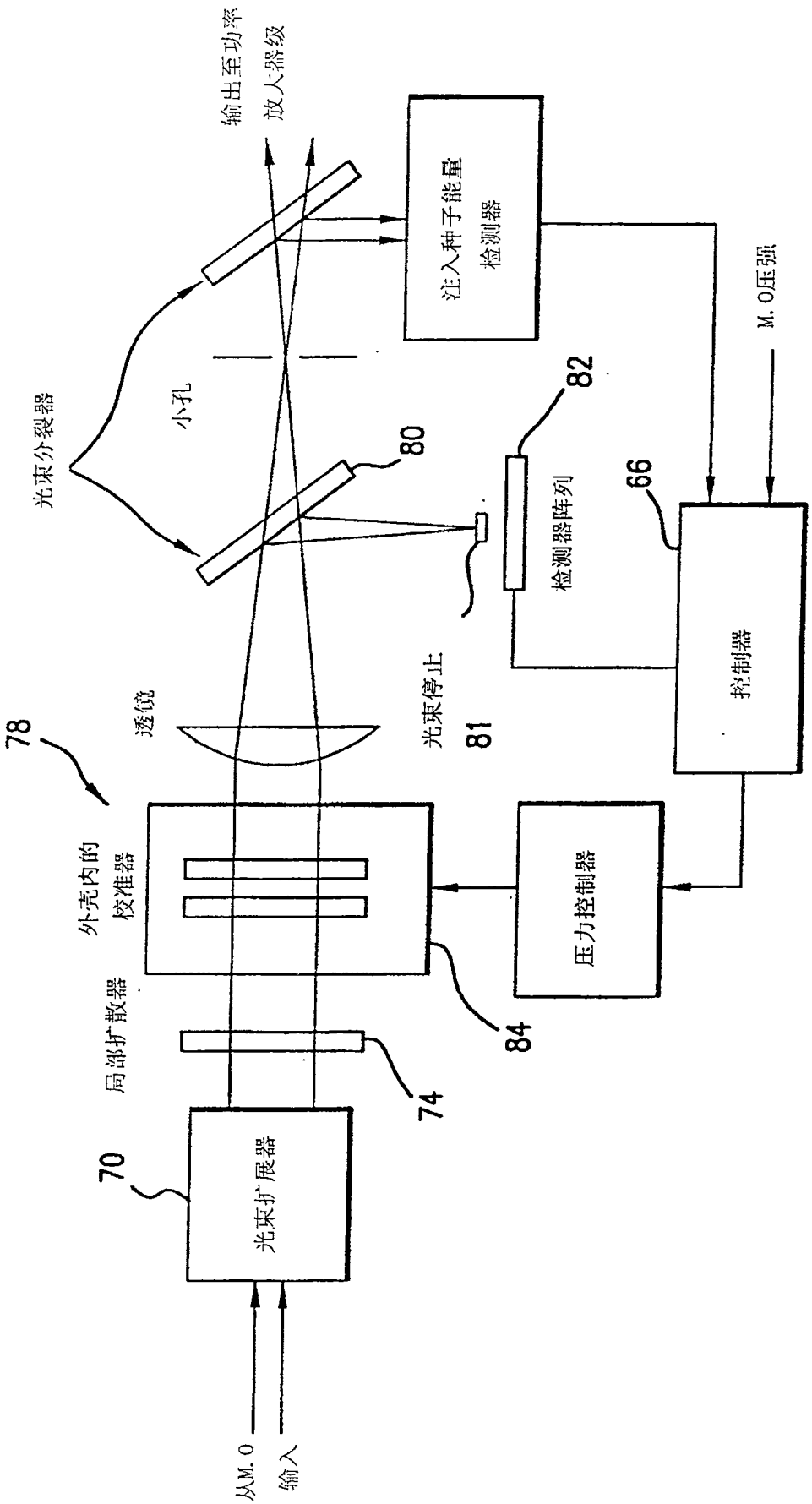

从M.O输入
光束扩展器
70
局部扩散器
外壳内的校准器
78
透镜
光束分裂器
小孔
输出至功率放大器级
注入种子能量检测器
光束停止
81
80
82
检测器阵列
66
M.O压强
控制器
压力控制器
84
74

图 8

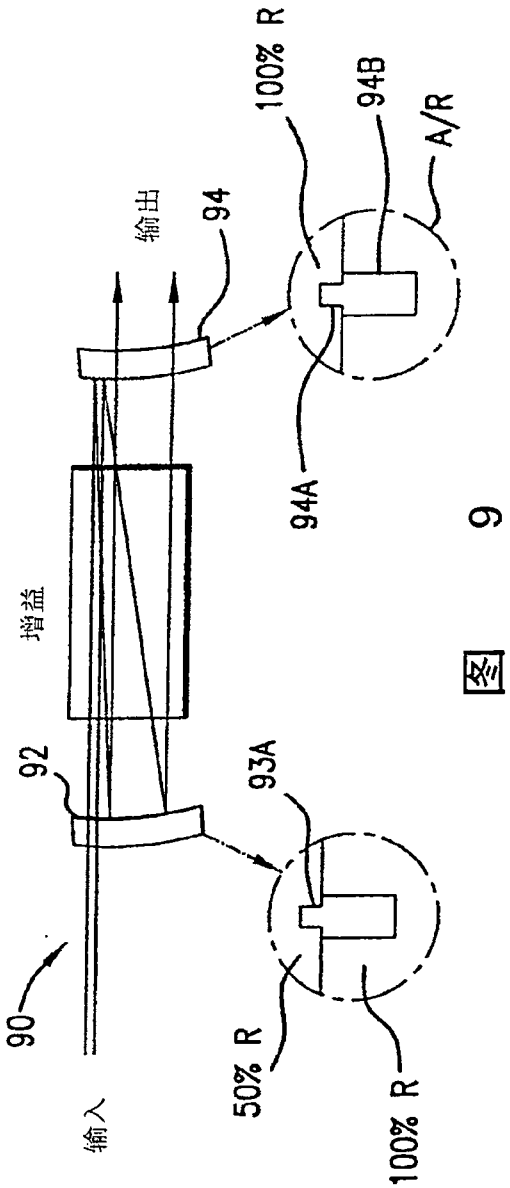

90
92
93A
94
94A
94B
输入
增益
输出
50% R
100% R
100% R
A/R

图 9

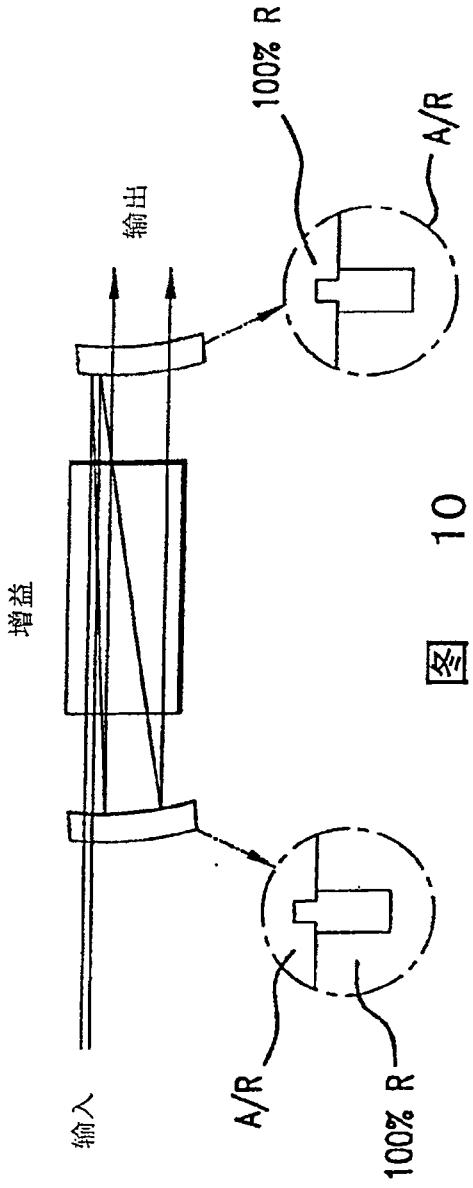

输入
增益
输出
A/R
100% R
100% R
A/R

图 10

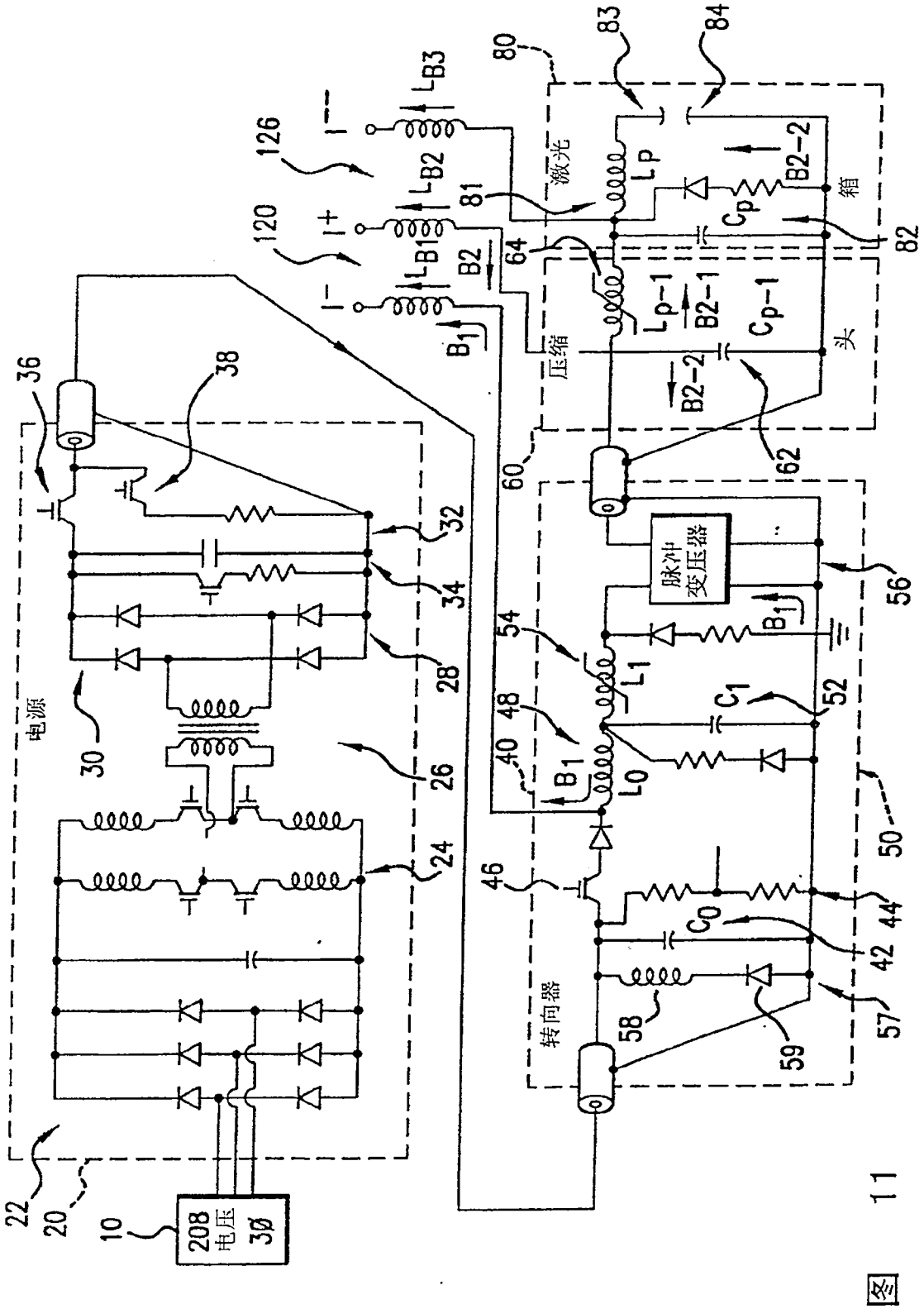


图 11

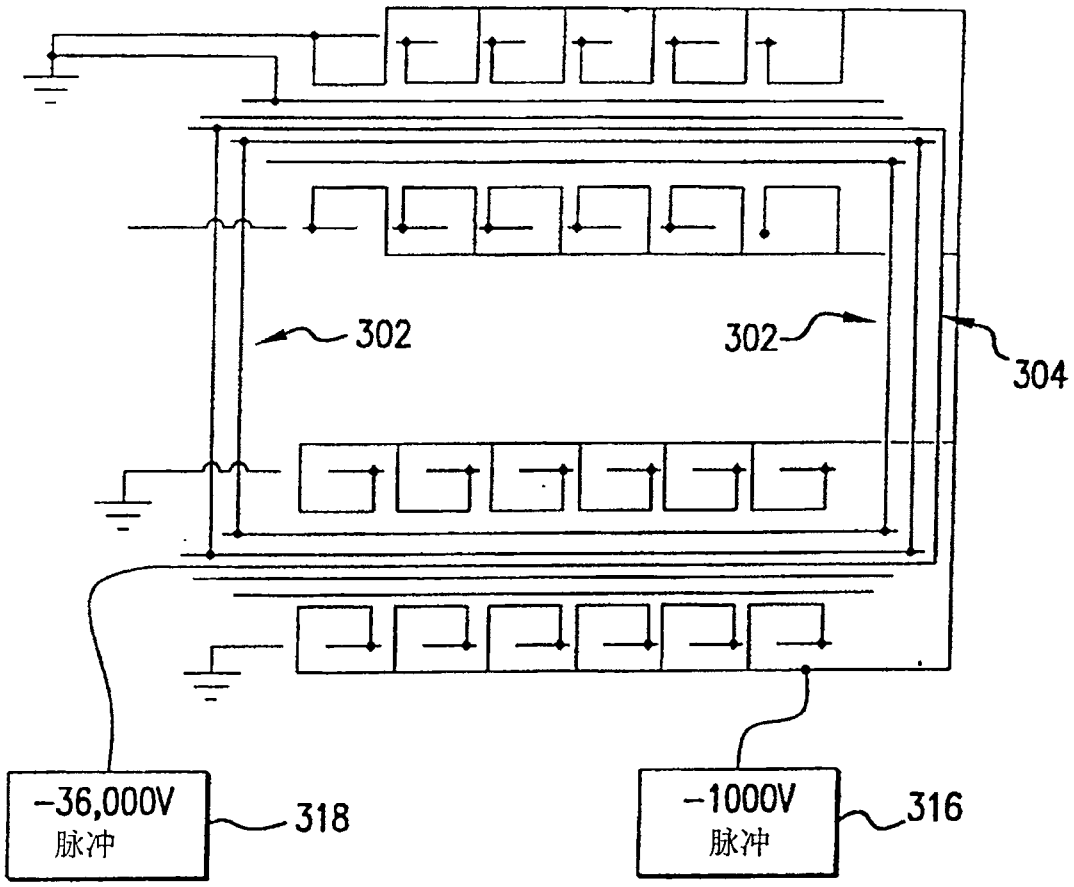


图 11A

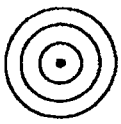


图 11B

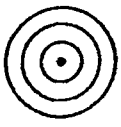


图 11C

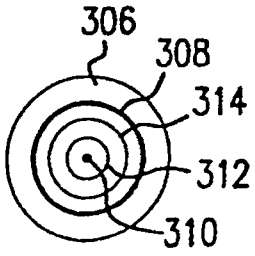


图 11D

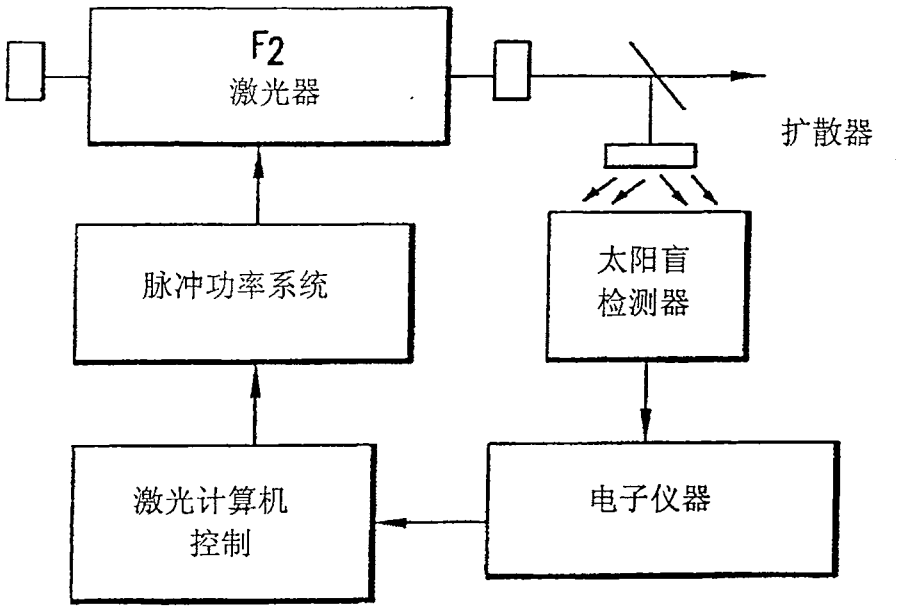


图 12

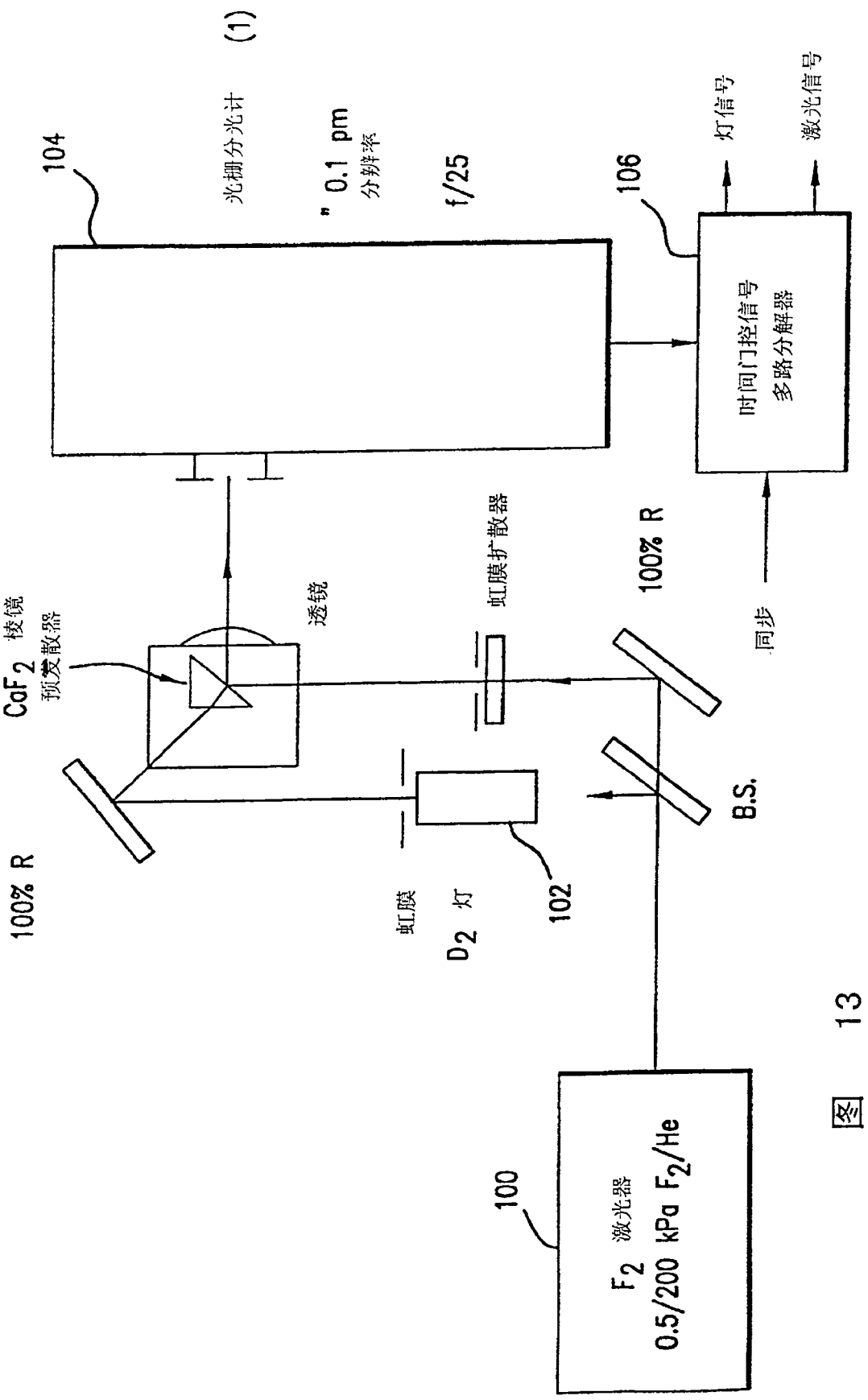

光栅分光计 (1)
0.1 pm
分辨率
f/25
104
106
灯信号
激光信号
时间门控信号
多路分解器
同步
100% R
CaF2 棱镜
预发散器
透镜
虹膜扩散器
100% R
B.S.
虹膜
D2 灯
102
100
F2 激光器
0.5/200 kPa F2/He

图 13

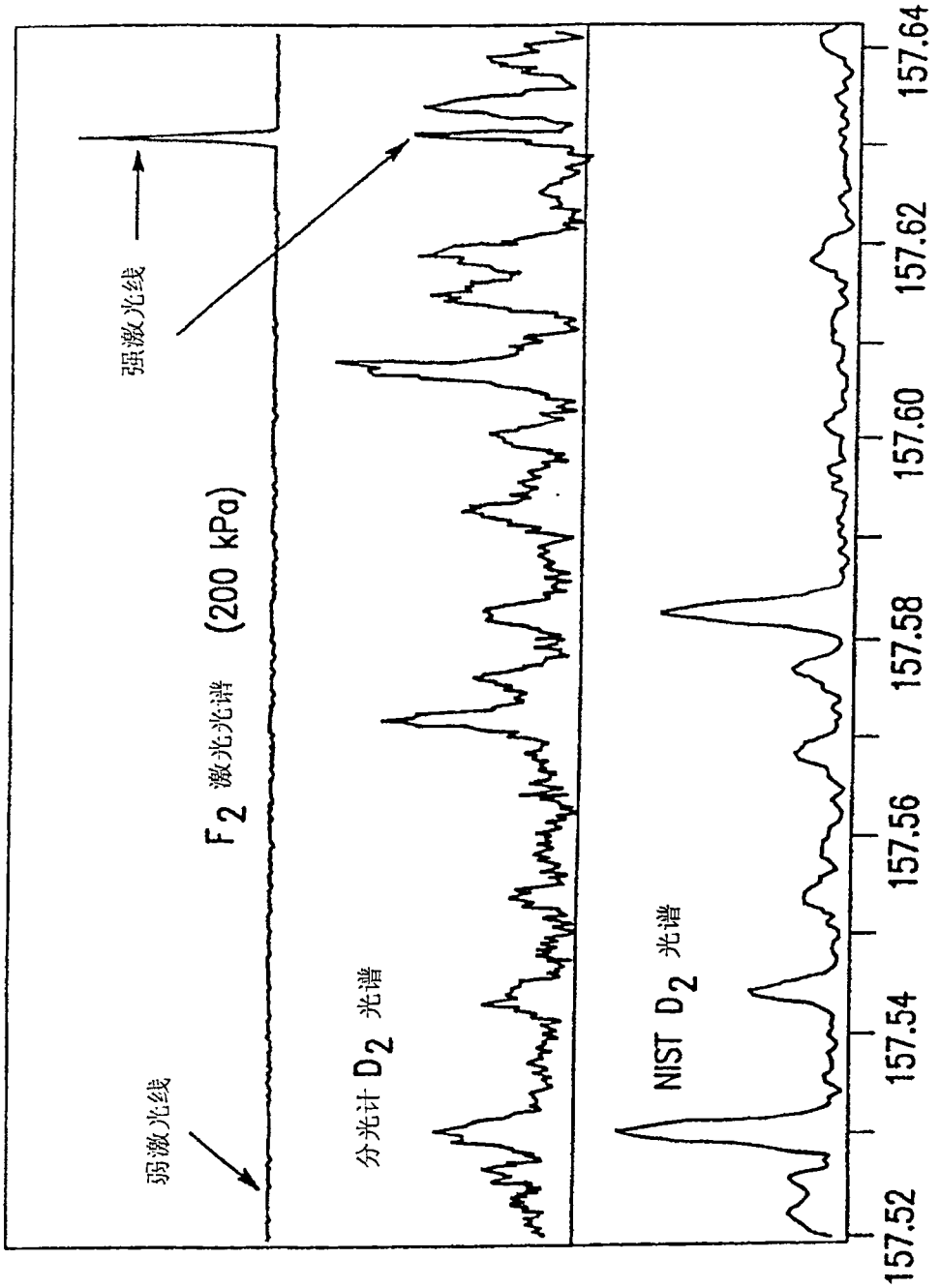


图 13A

■ D_2 光谱具有
额外的光谱特性

D_2 频谱
惯例 JOHN
BURNETT, NIST

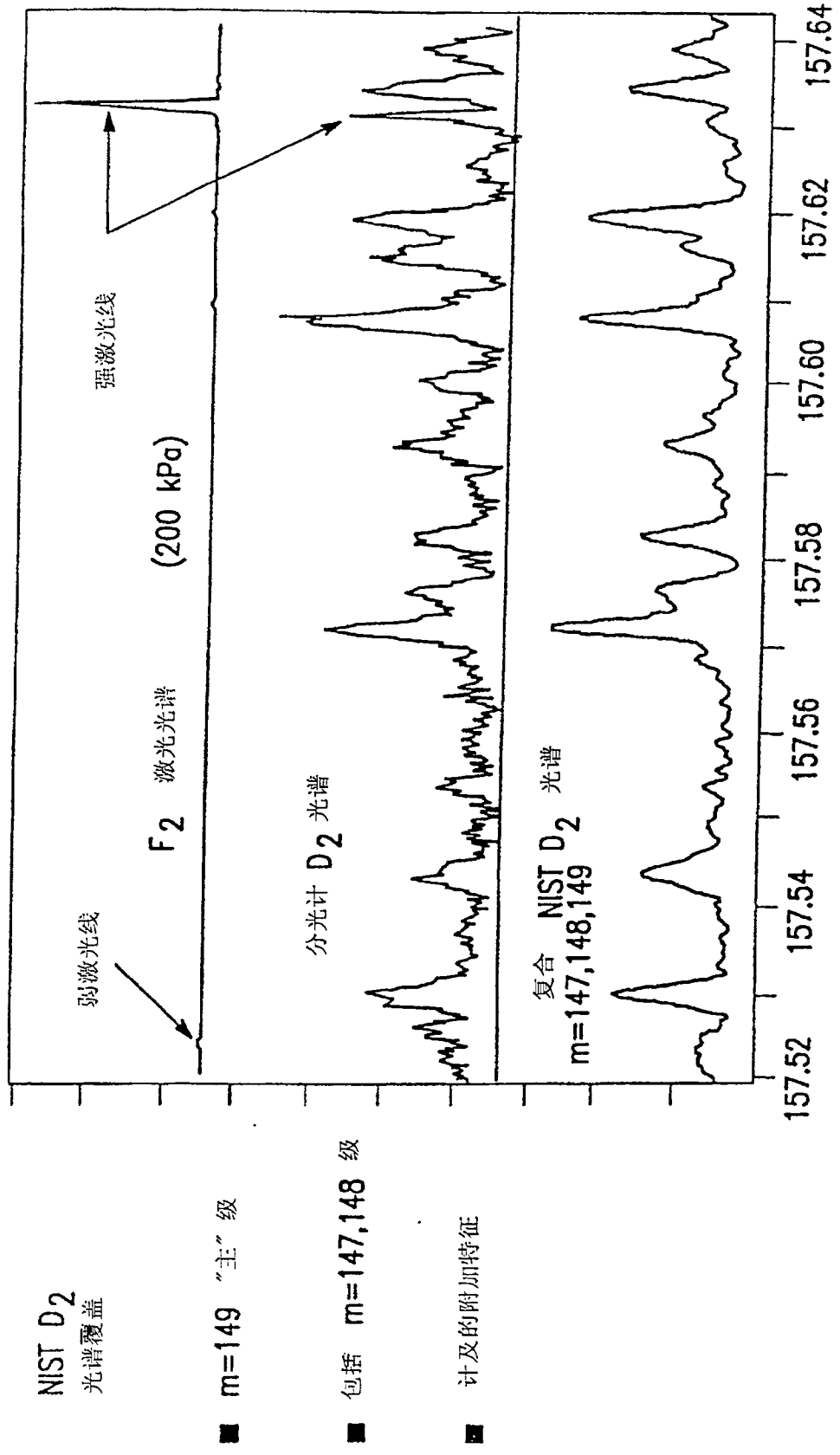

NIST D_2
光谱覆盖
■ m=149 "主"级
■ 包括 m=147,148 级
■ 计及的附加特征
弱激光线
强激光线
F_2 激光光谱 (200 kPa)
分光计 D_2 光谱
复合 NIST D_2 光谱
m=147,148,149
157.52
157.54
157.56
157.58
157.60
157.62
157.64
波长，nm

图 13B

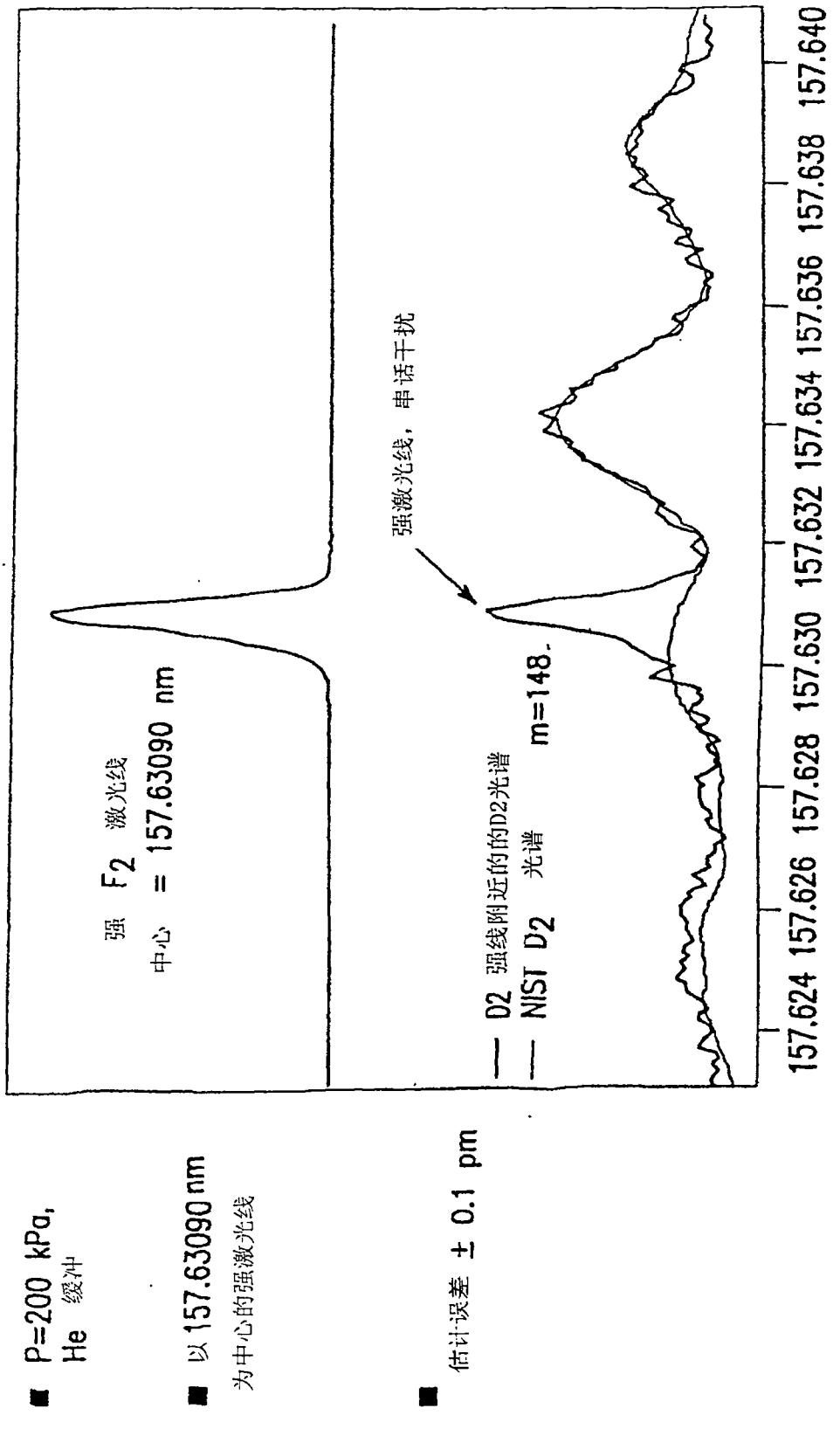

■ P=200 kPa,
He 缓冲
■ 以157.63090 nm
为中心的强激光线
■ 估计误差 ± 0.1 pm
强 F2 激光线
中心 = 157.63090 nm
强激光线，串话干扰
— D2 强线附近的的D2光谱
— NIST D2 光谱 m=148.
157.624 157.626 157.628 157.630 157.632 157.634 157.636 157.638 157.640
波长，nm

图 13C

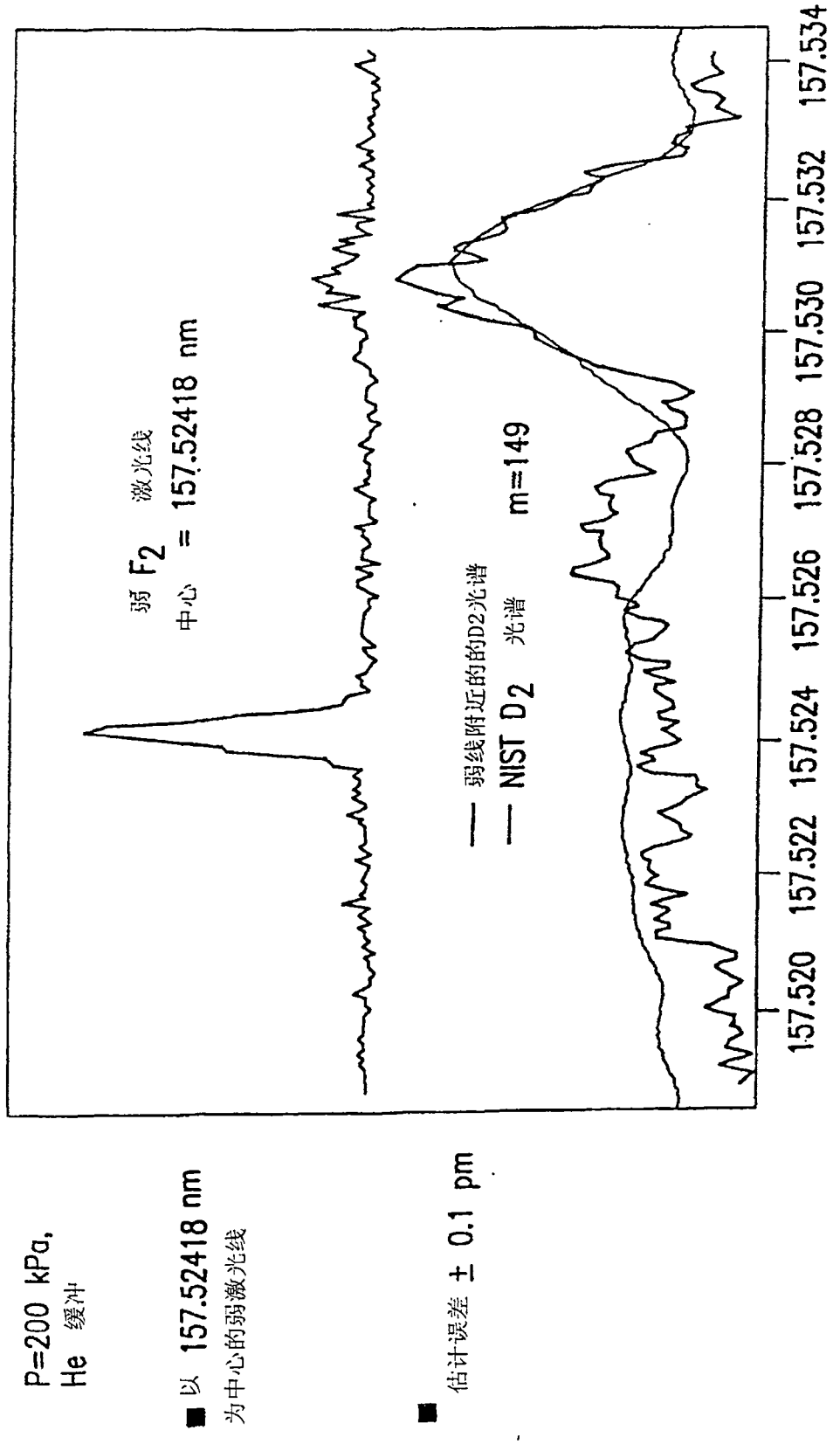

P=200 kPa,
He 缓冲
■ 以 157.52418 nm
为中心的弱激光线
■ 估计误差 ± 0.1 pm
弱 F2 激光线
中心 = 157.52418 nm
弱线附近的D2光谱
NIST D2 光谱
m=149
157.520
157.522
157.524
157.526
157.528
157.530
157.532
157.534
波长，nm

图 13D

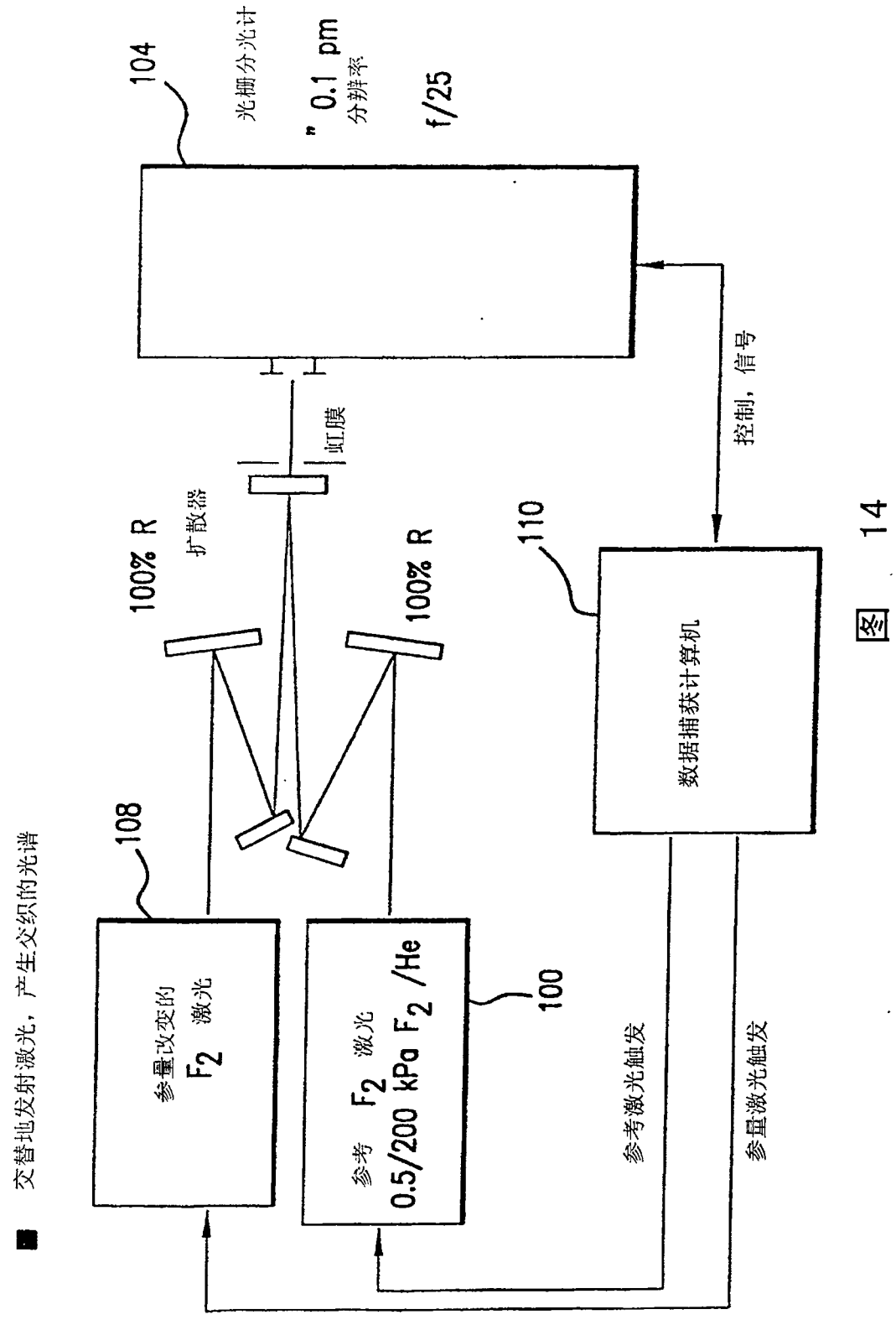

104
光栅分光计
" 0.1 pm
分辨率
f/25
虹膜
100% R
扩散器
100% R
110
数据捕获计算机
控制，信号
108
参量改变的
F2 激光
参考 F2 激光
0.5/200 kPa F2 /He
100
参考激光触发
参量激光触发
交替地发射激光，产生交织的光谱

图 14

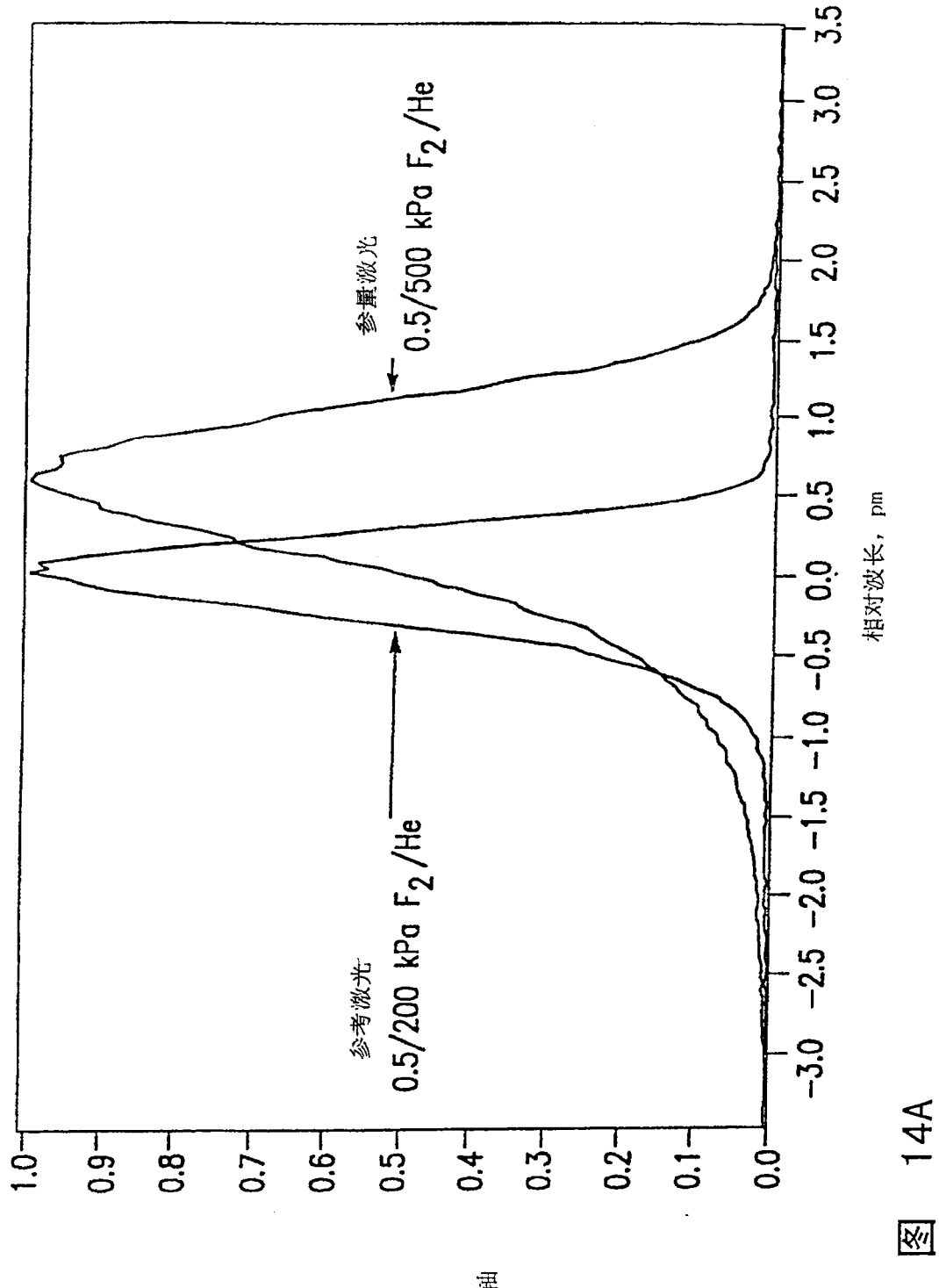

1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
-3.0 -2.5 -2.0 -1.5 -1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5
相对波长，pm
参考激光
0.5/200 kPa F_2/He
参考激光
0.5/500 kPa F_2/He
交织的光谱
标准压强下的参考激光，温度，HV
用于零波长轴的参考光谱的中心

图 14A

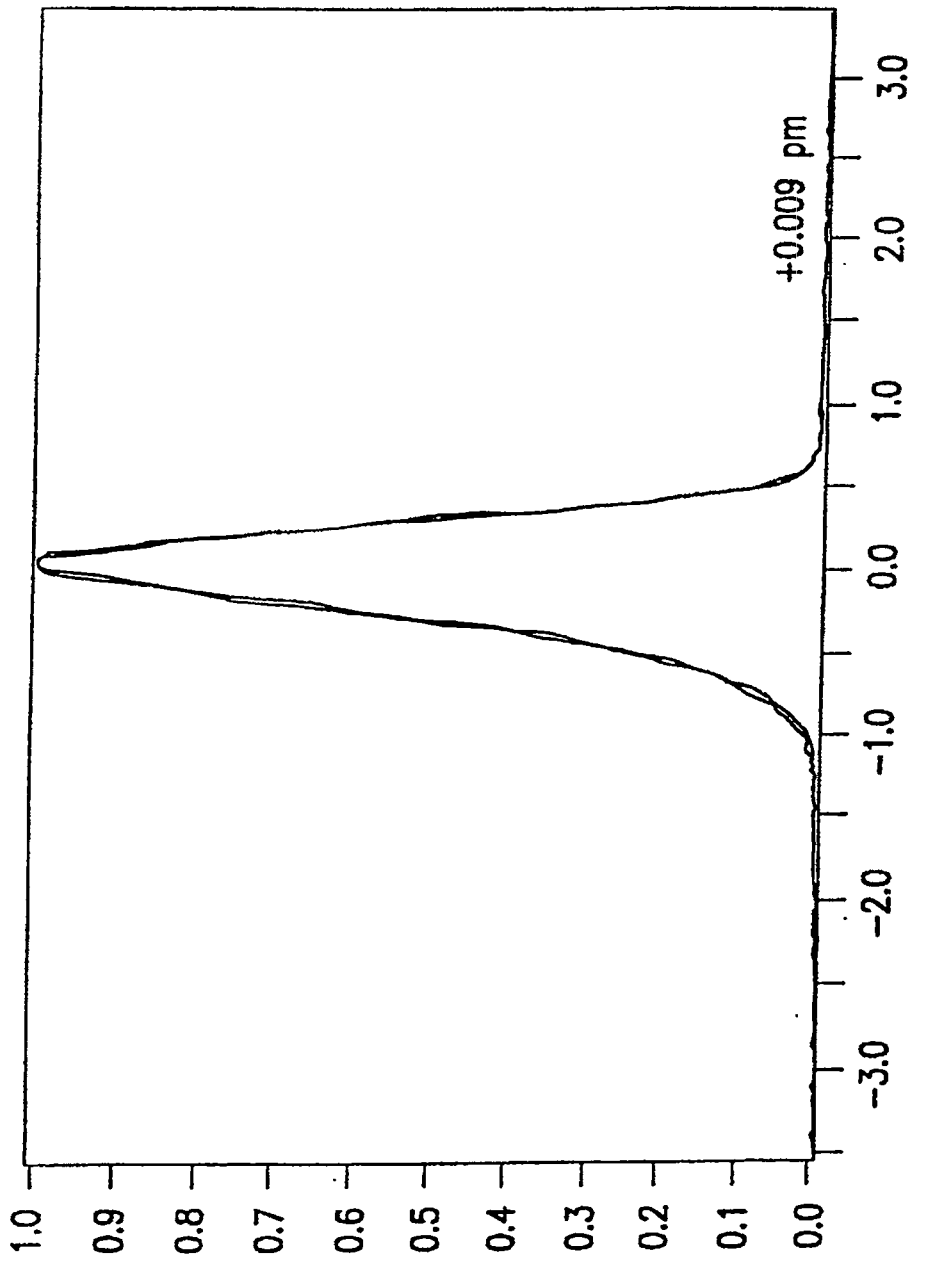


图 14B1

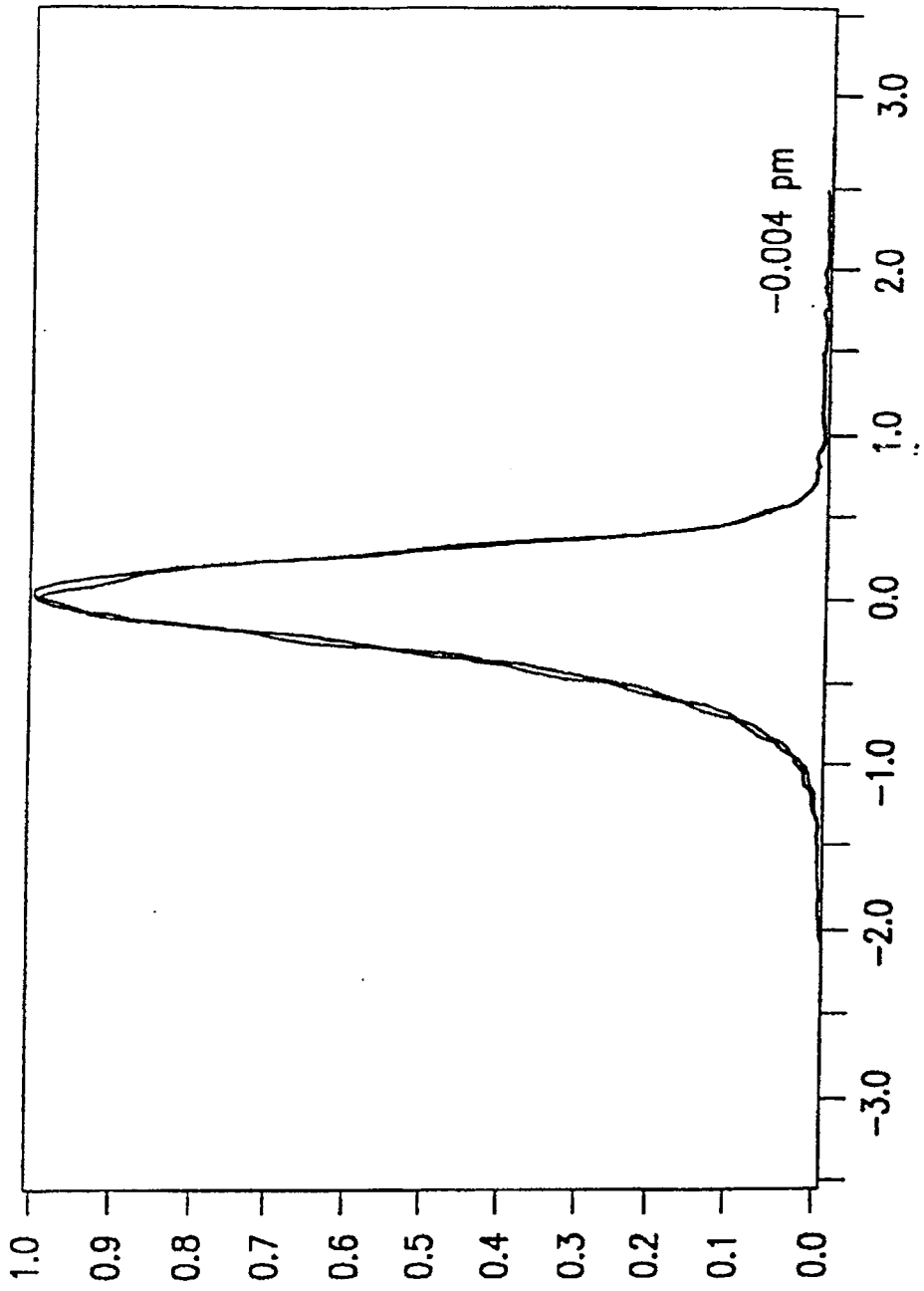


图 14B2

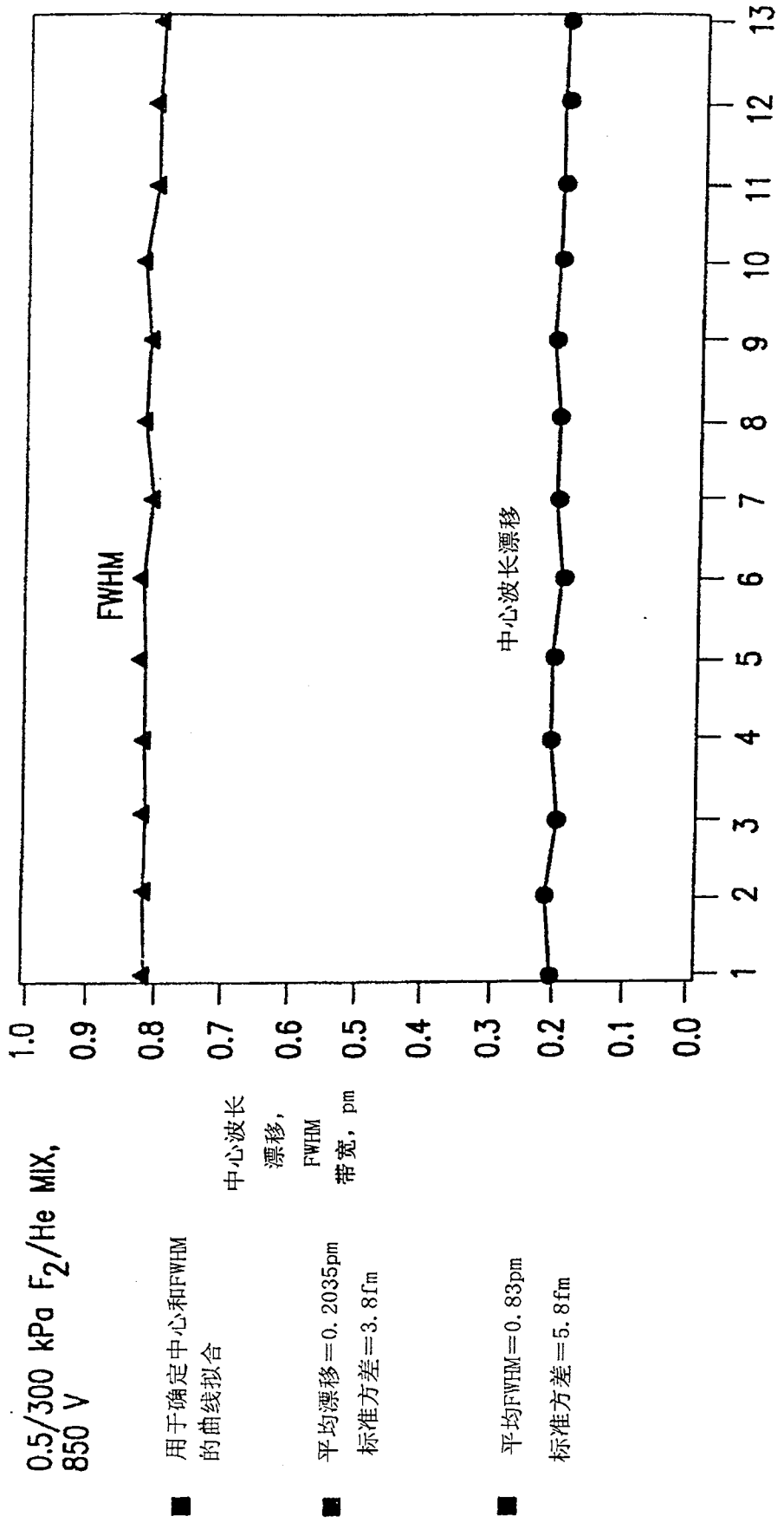

0.5/300 kPa F2/He MIX,
850 V
用于确定中心和FWHM
的曲线拟合
平均漂移=0.2035pm
标准方差=3.8fm
平均FWHM=0.83pm
标准方差=5.8fm
中心波长
漂移，
FWHM
带宽，pm
FWHM
中心波长漂移
重复#
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13

图 14C

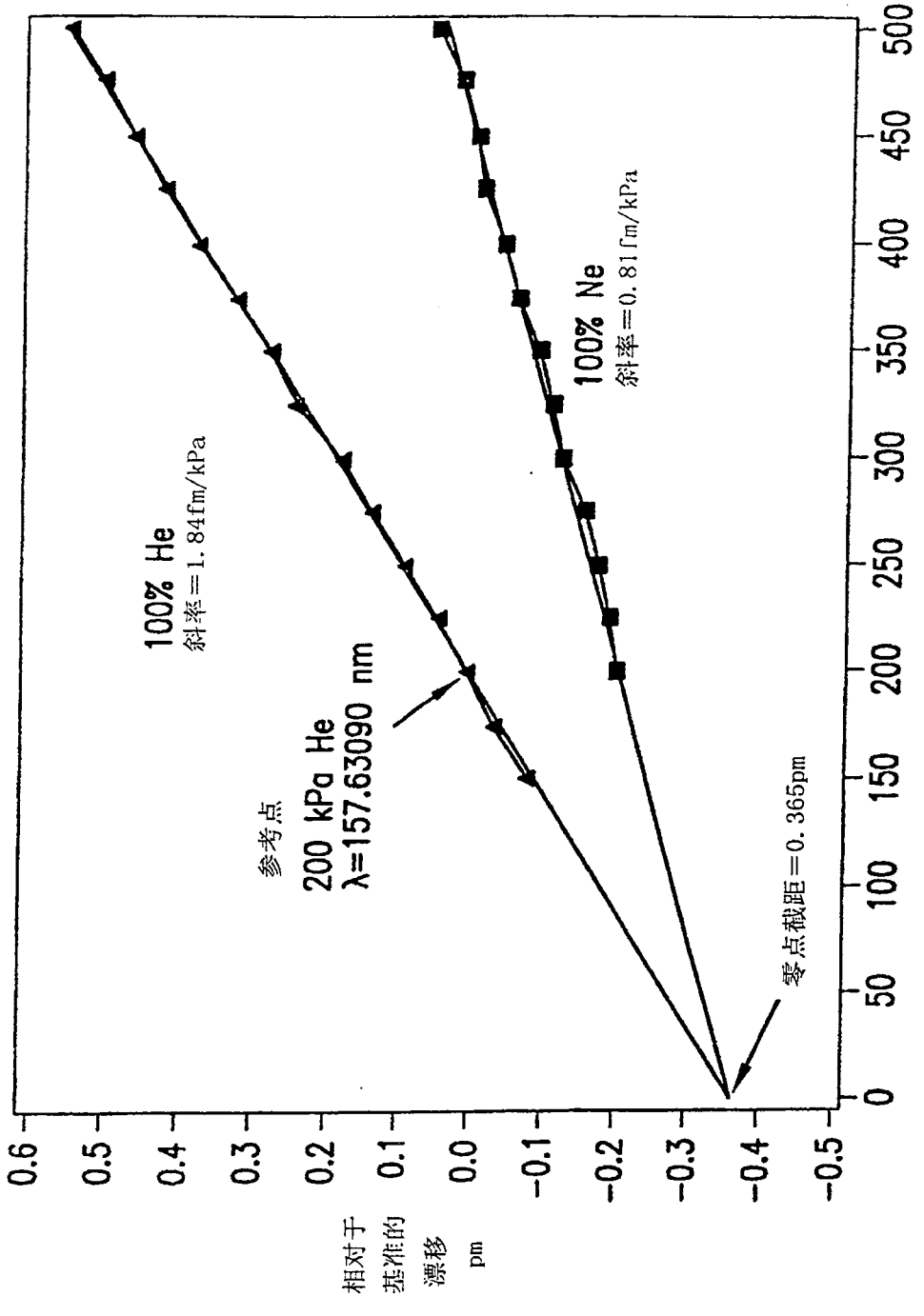

线性压强相关性
压强漂移系数:
He : 1.84 fm/kPa
Ne : 0.81 fm/kPa
与质量平方根成
正比的斜率
1.84/0.81 = 2.27
sqrt(20/4) = 2.24
公共零点
压强截距
相对于
基准的
漂移
pm
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
-0.5
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
总填充压强，kPa
100% He
斜率=1.84fm/kPa
参考点
200 kPa He
λ=157.63090 nm
100% Ne
斜率=0.81fm/kPa
零点截距=0.365pm

图 14D

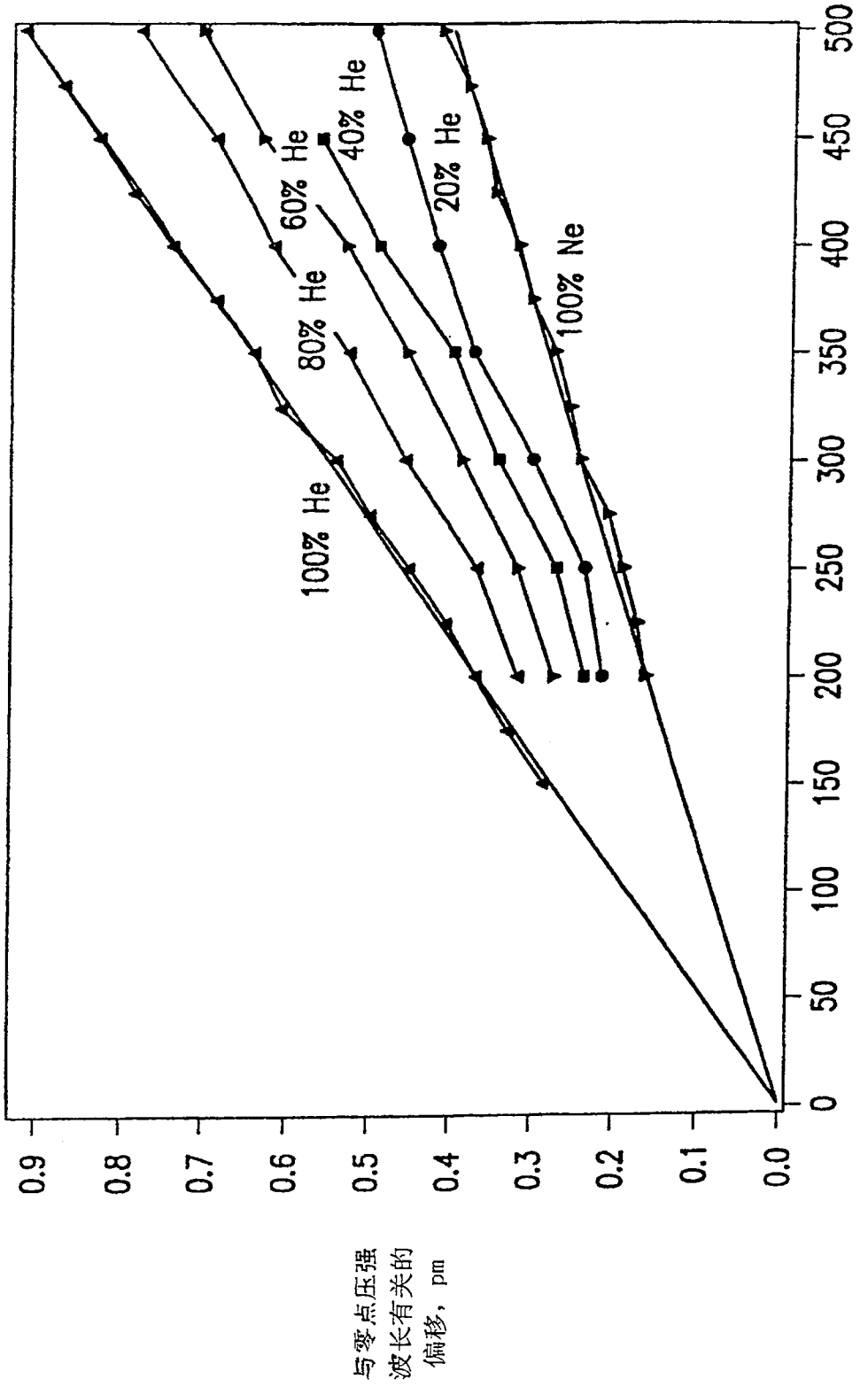

100% He
80% He
60% He
40% He
20% He
100% Ne
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
与零点压强波长有关的偏移，pm
压强，kPa

图 14D1

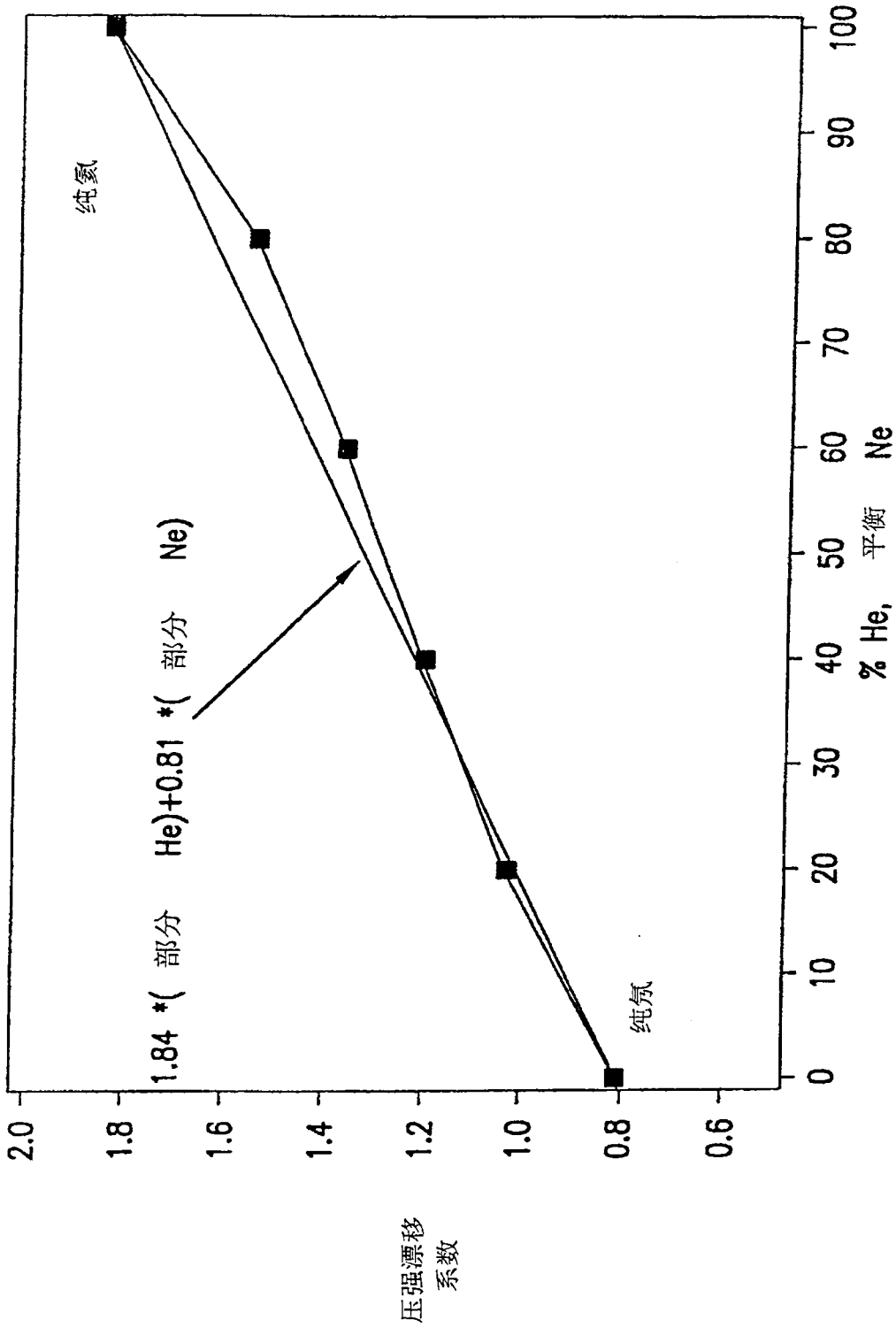

压强漂移
系数
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
% He, 平衡 Ne
纯氖
纯氦
1.84 *(部分 He)+0.81 *(部分 Ne)

图 14D2

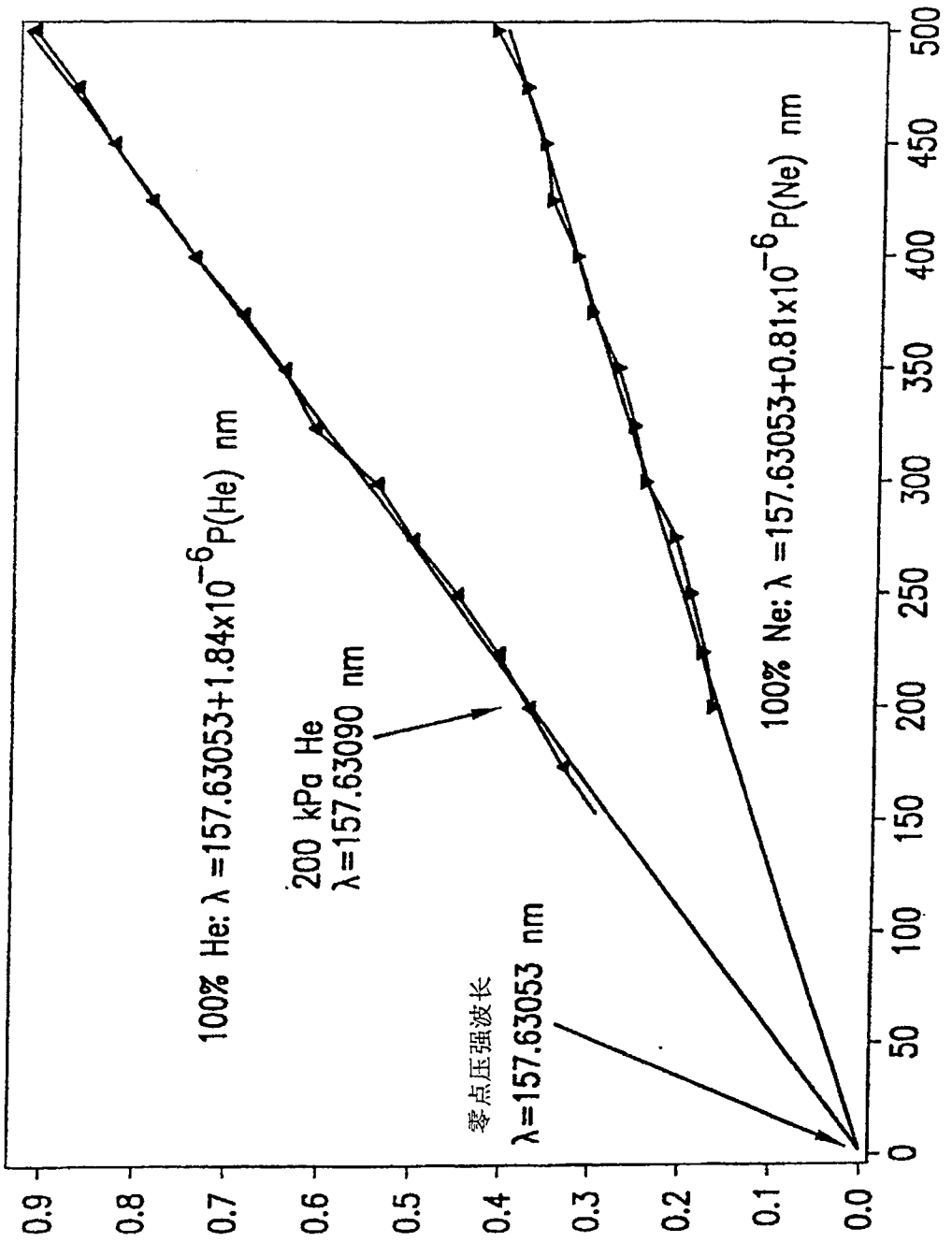

找到的零点
压强波长
λ = 157.63053 nm
激光工作期间
希望的压强波动
" 5 kPa,
=9 fm
有氦缓冲
与零点
压强波长
有关的
漂移，pm
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
100% He: λ =157.63053+1.84x10^{-6}P(He) nm
200 kPa He
λ=157.63090 nm
零点压强波长
λ=157.63053 nm
100% Ne: λ =157.63053+0.81x10^{-6}P(Ne) nm
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
压强，kPa

图 14E

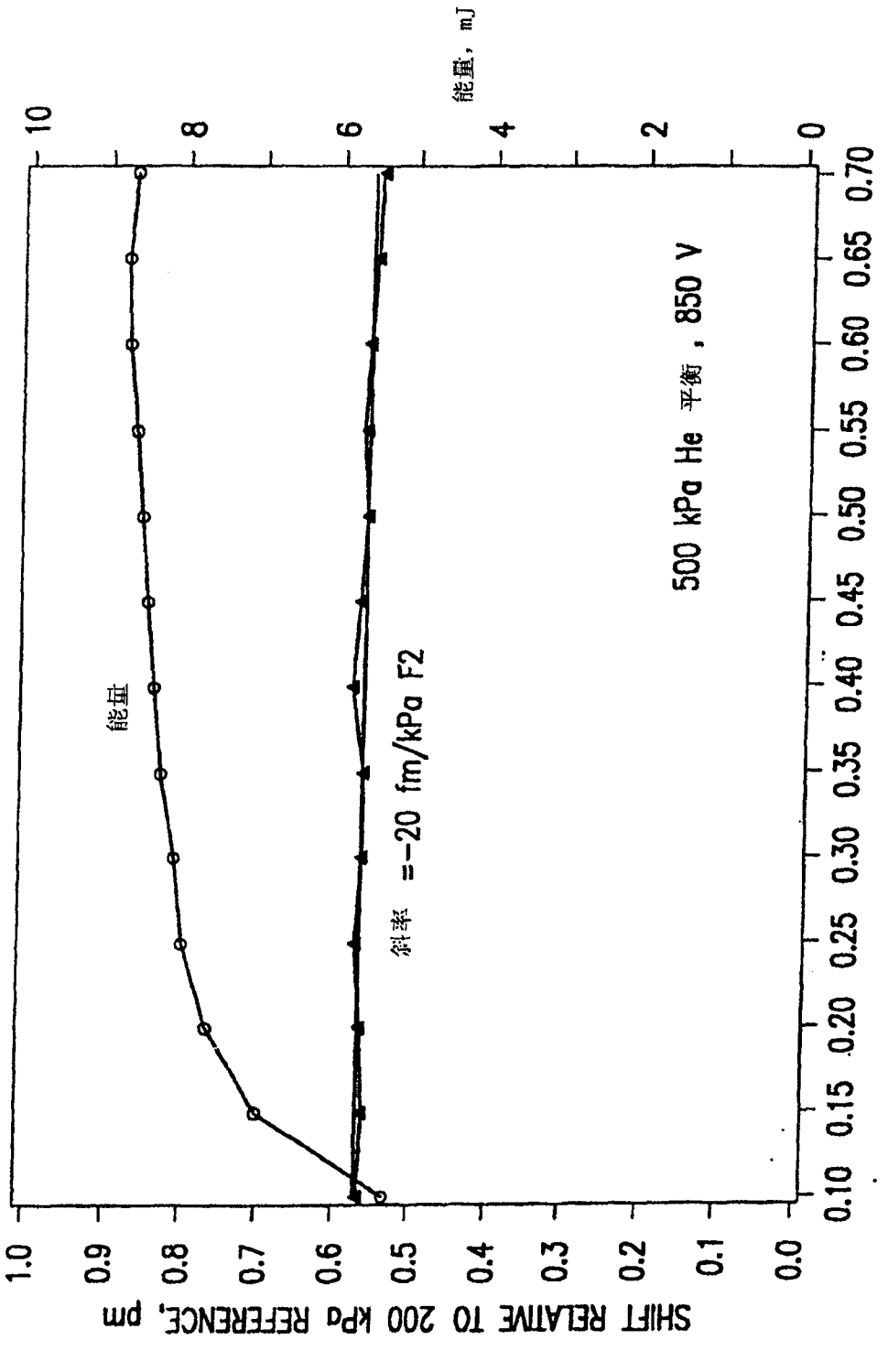

SHIFT RELATIVE TO 200 kPa REFERENCE, pm
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
0.10 0.15 0.20 0.25 0.30 0.35 0.40 0.45 0.50 0.55 0.60 0.65 0.70
F2部分压强，kPa
能量，mJ
0
2
4
6
8
10
能量
斜率 =-20 fm/kPa F2
500 kPa He 平衡，850 V
500 kPa
氦缓冲
850 V
■ F2 - 感生漂移
" -20 fm/kPa
F2
■ 工作压强中
所希望的变化
<0.05kPa
"1fm

图 14E1

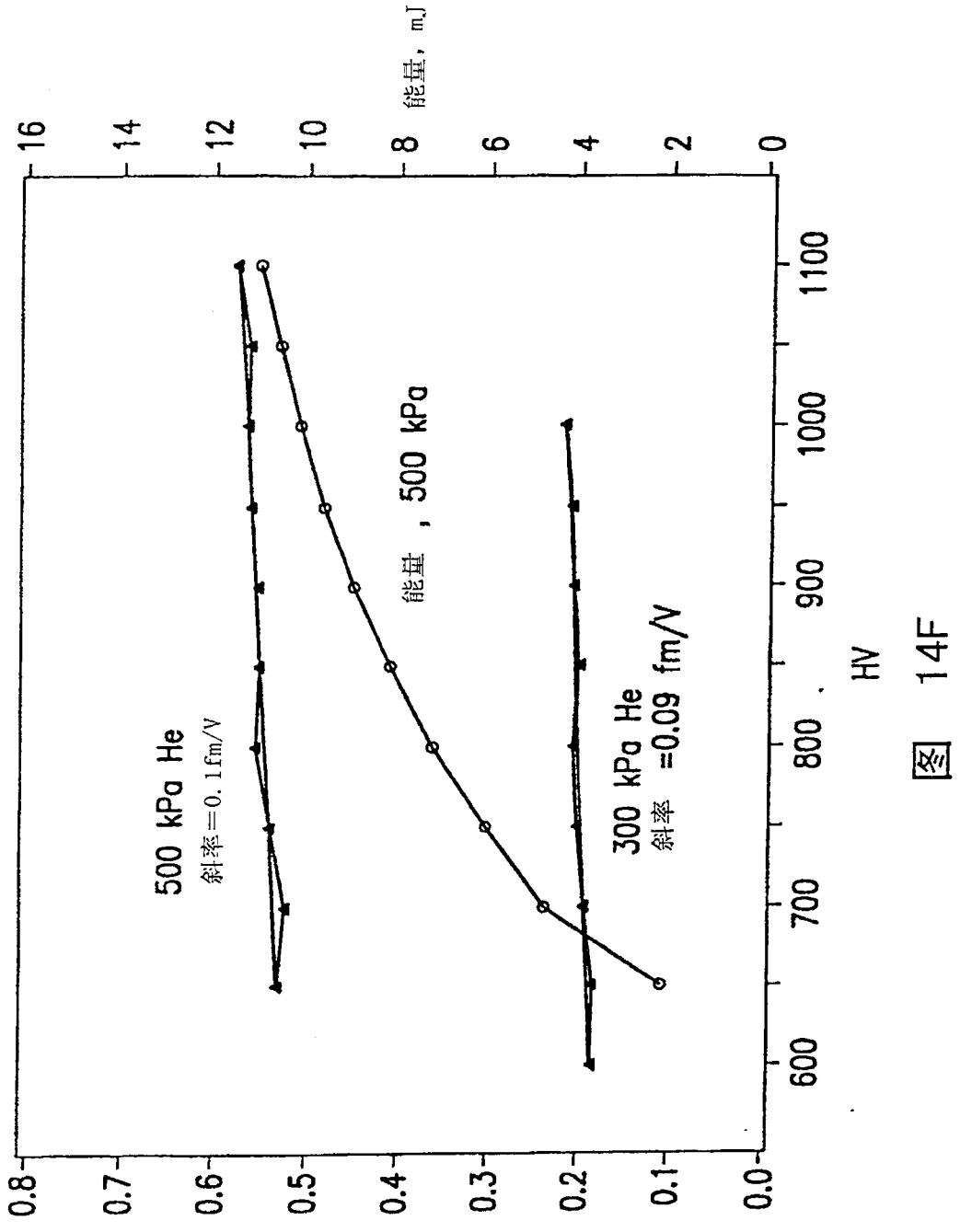

0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
16
14
12
10
8
6
4
2
0
600
700
800
900
1000
1100
HV
能量，mJ
500 kPa He
斜率=0.1fm/V
能量，500 kPa
300 kPa He
斜率 =0.09 fm/V
300，500kPa下的
氦缓冲
感生漂移
0.1 fm/V
工作期间希望
的电压变化
200 V,
20 fm.
输出能量内的变化
可能实际造成HV
变化吗?
与200kPa
参数有关
的漂移，pm

图 14F

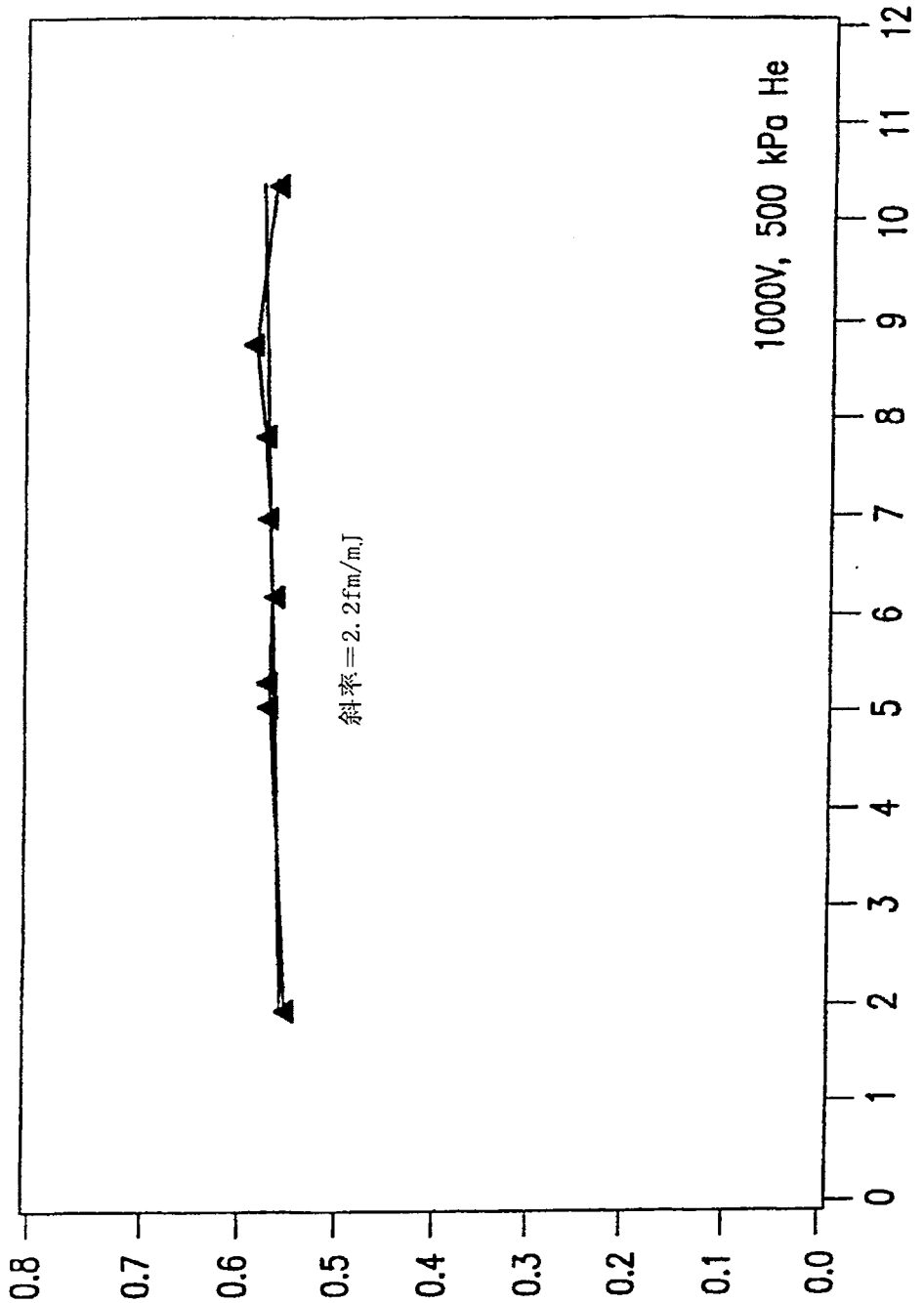

放电参数保持不变
000V,500 kPa He
激光谐振器镜面
反射性改变以
产生能量范围
与能量的弱相关性
2.2 fm/mJ
希望的能量变化
(动态范围)
" 2 mJ,
=5 fm
与200kPa
参考有关
的漂移,
pm
斜率=2.2fm/mJ
1000V, 500 kPa He
能量, mJ
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

图 14G

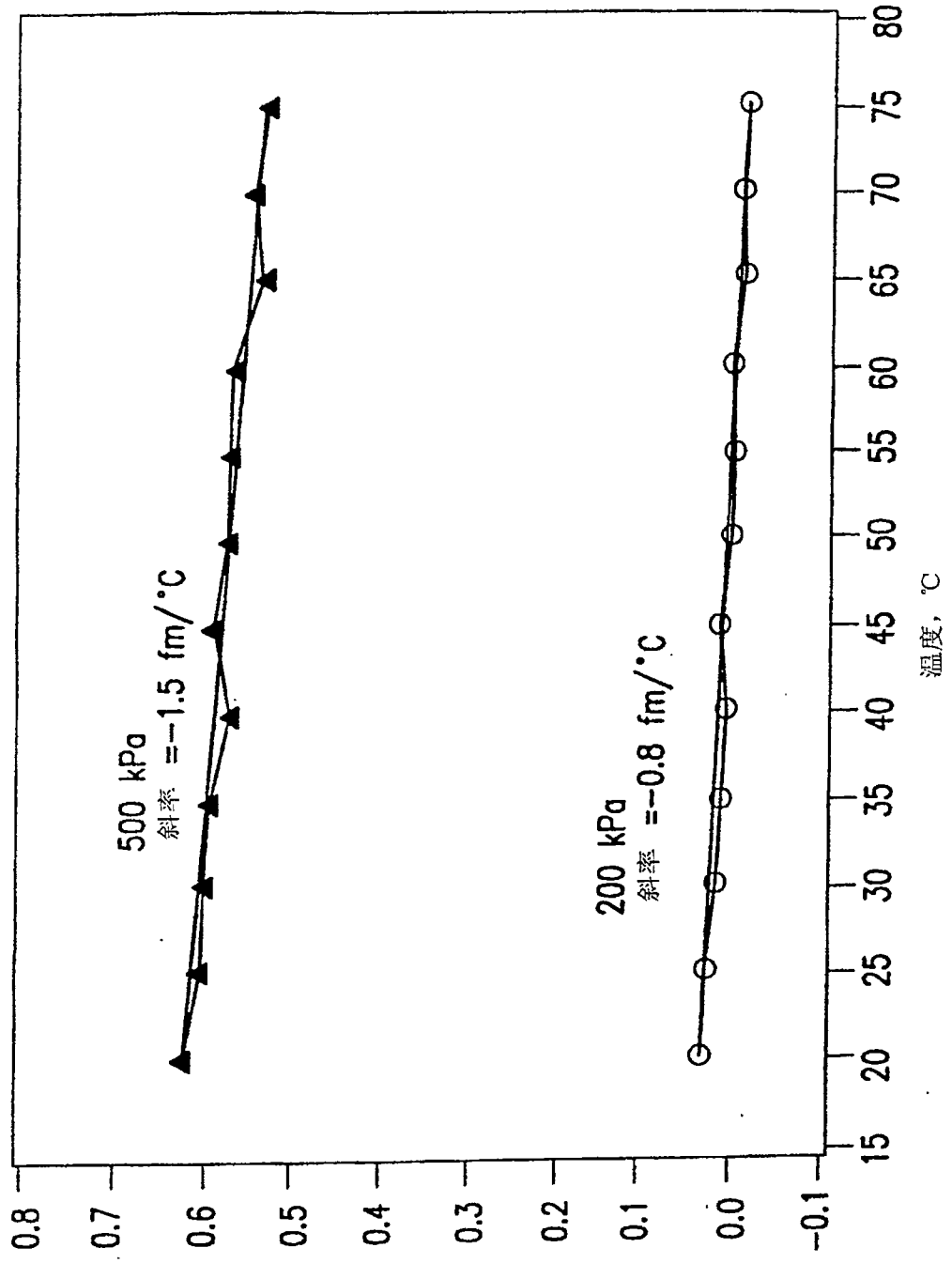

温度增加时压强
保持不变
■ 温度－感生漂移：
-0.8 到 -1.5 fm/°C
■ 工作期间希望
的温度变化
" 5 °C,
=4-8 fm
与200kPa
参考有关
的漂移，
pm
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
-0.1
500 kPa
斜率 =-1.5 fm/°C
200 kPa
斜率 =-0.8 fm/°C
15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80
温度，°C

图 14H