[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H01S 3/23 (2006.01)

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01816232.0

[45] 授权公告日 2006 年 10 月 11 日

[11] 授权公告号 CN 1279666C

[22] 申请日 2001.9.19 [21] 申请号 01816232.0

[30] 优先权

[32] 2000. 9.27 [33] FR [31] 00/12286

[86] 国际申请 PCT/IB2001/001714 2001.9.19

[87] 国际公布 WO2002/027872 英 2002.4.4

[85] 进入国家阶段日期 2003.3.25

[71] 专利权人 法国原子能委员会

地址 法国巴黎

[72] 发明人 J·-M·沃伊莱尔斯

V·勒弗兰彻克 M·吉尔伯特

审查员 肖 霞

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 王 岳 张志醒

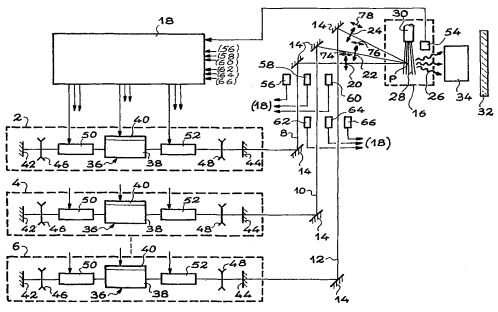
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 3 页

[54] 发明名称

高峰值功率激光设备及其在产生远紫外光中的应用

[57] 摘要

该设备包括至少一个固体激光器(2、4、6)，用于提供光脉冲，和装置(14)，用于将这些光脉冲引导到目标(16)的基本同一点上，且基本上同时到达该点。 所述激光器由连续工作的二极管(40)泵送。



1. 激光设备，其特征在于其包括:

用于提供光脉冲的至少三个脉冲固态激光器（2、4、6），由连续工作的二极管（40）泵送，和

用于将这些光脉冲同时引导到目标（16）的同一点的装置（14）。

2. 根据权利要求 1 的设备，其中所述由连续工作的二极管（40）泵送的激光器被安装为没有放大器的振荡器。

3. 根据权利要求 1 的设备，还包括用于修改由于加入由激光器提供的光脉冲而导致的光脉冲的空间分布的装置（74、76、78）。

4. 根据权利要求 1 的设备，还包括装置（18），用于控制所述激光器，其用于修改由于加入由激光器提供的光脉冲而导致的光脉冲的时间分布，从而产生合成脉冲，所述装置（18）根据由光脉冲传感器提供的信号控制所述激光器。

5. 根据权利要求 4 的设备，其中每个合成脉冲的形状包括用于点燃由光脉冲与目标相互作用而产生的等离子体的第一脉冲，一个时间间隔，其中当等离子体生长时能量最低，然后是第二脉冲，由几个单元脉冲根据由等离子体的生长决定的顺序构成。

6. 根据权利要求 1 的设备，还包括装置（18），用于修改由激光器发出的光脉冲或这些由激光器发出的光脉冲的顺列的重复速率。

7. 根据权利要求 4 的设备，能够将第一个高度聚焦的光束（F1）引导到目标上，并能够然后以更宽的聚焦将光能量的其余部分施加到目标上。

8. 根据权利要求 1 的设备，其中所述激光器（2、4、6）为 YAG 激光器。

9. 根据权利要求 1 的设备，其中提供目标（16），以便通过与由激光器（2、4、6）发出的光脉冲相互作用而提供远紫外区域的光。

高峰值功率激光设备及其在产生远紫外光中的应用

发明领域

本发明涉及高峰值功率、平均功率、和高重复速率，同时造价和复杂程度最低的激光设备。

本发明特别可以用于在远紫外区中产生光。

属于该区域的辐射，又称“EUV 辐射”，其波长范围为 8－25 纳米。

可以通过使利用作为本发明主题的设备产生的光脉冲与合适的目标相互作用而获得的 EUV 辐射具有众多的应用，特别是在材料科学、显微术中、以及最特别地在为了制作具有很高集成度的集成电路的微刻技术中。对于该最后的应用，具有高重复速率特别有利，而这对于高峰值功率激光来说很难获得。

本发明可以用于要求与微刻中所需的相同类型激发激光的任何领域。

相关技术描述

在微电子学中需要 EUV 光刻，以制造尺寸小于 0.1 微米的集成电路。在 EUV 辐射源中，几种这样的源采用借助于激光产生的等离子体。

为了产生这样的等离子体，必须能够获得产生高峰值照度的激光。为此，采用了脉冲激光器，传递例如大约每个脉冲 300mJ 或更多的能量。

由于激发波长的作用不是很重要，所以应当指出，从现在起，本发明将采用例如 YAG 激光器，该种激光器在许多工业领域得到了大量的开发。但是，其它固态激光器，即，其放大介质是固体，也可以用于本发明。

为了逐个脉冲获得很高的能量稳定性，已知采用激光二极管泵送。

此外，为了获得产生用于光刻的 EUV 辐射所需的峰值功率，已知使用脉冲二极管。

关于该主题，可以参考下列文献:

（1）H.Rieger 等的文章“High brightness and power Nd:YAG laser”，Advanced solid-state lasers,1999,Boston MA, 第 49

－53 页。

该文献公开了一种用于光刻的设备，在相对较低的重复速率下产生高峰值幅度的激光脉冲。

而且，为了获得要求的峰值功率，已知采用振荡器和放大器。其结果是一种复杂而昂贵的激光器。

关于该主题，可以参考下列文献:

（2）G.Holleman 等的文章，“Modeling high brightness kW solid-state lasers”，SPIE 卷 2989，第 15－22 页。

该文献提到对应于两种对立技术的功率激光器的两种要求:

一方面，焊接、加工或处理材料的应用，其要求发长脉冲的激光器，通过非常简单的技术获得，和

另一方面，光刻应用，其要求既短，而且如果可能的话，还要高速的脉冲，通过特别地使用两个光学放大级的非常复杂且昂贵的技术获得。

还可以参考下列文献，其目的是获得高峰值功率的激光设备:

（3）G.Kubiak 等的文章，“Scale-up of a cluster jet laser plasma source for Extreme Ultraviolet lithography”，SPIE，卷 3676，1999，第 669－678 页。

该文献（3）中描述的设备使用由脉冲二极管泵送的 YAG 激光，就像在涉及光刻的其它现有技术中一样。此外，它还采用复杂而昂贵的光学放大器。而且，该文献（3）中预定的重复速率为 6kHz，获得每个脉冲 280mJ 的能量。

发明内容

本发明的目的是通过提出一种能够具有一定峰值功率的激光设备来克服缺陷，该峰值功率至少与上述已知的激光设备的峰值功率一样高，同时该激光设备比上述已知的激光设备简单且便宜。

具体地，本发明的主题是一种激光设备，其特征在于包括:

至少三个脉冲固态激光器，由连续工作的二极管泵送，用于提供光脉冲，和

用于基本上同时将这些光脉冲引导到目标的基本上同一个点上的装置。

根据本发明设备的一个优选实施例，所述激光器被安装为振荡器中，没有放大器。

本发明设备包括至少三个脉冲激光器，但是最好包括三个以上。

根据本发明设备的一个特定实施例，该设备另外还包括用于改变由于附加了由激光器提供的光脉冲而产生的光脉冲的空间分布的装置。

根据另一个特定实施例，该设备另外还包括用于控制激光器的装置，其能够改变由于附加了由激光器提供的光脉冲而产生的光脉冲的时间分布，从而产生合成脉冲。

根据本发明的一个特定实施例，每个合成脉冲的形状包括用于点燃由光脉冲与目标相互作用而产生的等离子体的第一脉冲，一个时间间隔，其中当等离子体生长时，能量最低，然后是第二脉冲，由几个单元脉冲根据由等离子体的生长决定的顺序构成。

本发明设备还可以包括用于修改激光器发出的光脉冲的重复速率或这些由激光器发出的光脉冲的顺序的重复速率的装置。

在产生合成脉冲的情况下，本发明设备最好能够首先将高度聚焦的光束引导到目标上，还能够然后以较宽的聚焦将光能量的其余部分作用到目标上。

本发明中应用的激光器是固态激光器，如 YAG 激光器。

由本发明设备的激光器发出的光脉冲被引导到其上到目标可以通过与这些光脉冲相互作用而提供远紫外区域的光。

但是，本发明设备不限于获得 EUV 辐射。它可以用于需要引导到目标上的高峰值功率激光束的任何领域。

在本发明中，使用了空间叠加，在特定实施例中，还使用了时间排序。

术语“空间叠加”表示多个激光束基本上同时在目标的基本上同一点上的叠加，“基本上同时”表示由激光设备的固态激光器分别提供的不同单元脉冲之间的时间偏移与这些激光器的重复周期相比很小。该叠加使得有可能增加每个脉冲的能量和峰值功率。

本发明中，下面的四点（a）-（d）非常重要。

（a）空间叠加

这使得可以增加峰值功率和具有改变由于增加由激光器发出的单元光脉冲所导致的光脉冲的空间分布的显著的自由度。

例如，使用比其它更集中的光脉冲，其在本发明的一个优选实施例中实现，使得可以获得局部较大的照度，如图 1 和 2 中所示，其中为简单起见，只考虑两个光束。

在图 1 中可同时看到第一光束 F1 和第二光束 F2，在由两个相互垂直的轴 Ox 和 Oy 定义的平面内，两个光束公用的轴是 Oy 轴。

该两个光束基本上关于该 Oy 轴轴对称，并聚焦在点 O 附近，基本上在观察平面内，该观察平面由 Oy 轴和垂直于 Ox 轴和 Oy 轴且穿过点 O 的轴定义。

两个光束的焦点不同，第一光束 F1 比第二光束 F2 更集中。

图 2 示出在观察平面内亮度 I 的变化，其是在 Ox 轴上的横坐标的函数。

如果光束 F1 比光束 F2 集中 5 倍，当两个光束具有相同功率时，由光束 F1 在 Oy 轴上产生的照度是由光束 F2 产生的照度的 25 倍。但是，应当注意，在本发明中，可以使用功率相同的光束，相反，也可以使用功率相互不同或甚至很不同的光束。

几个光束同时在相同目标上的“空间叠加”允许每个单元激光的脉冲的瞬时在更短的时间比例上的偏移。

（b）不同激光脉冲的时间排序

（b1）第一模式

当几个激光聚焦在同一目标上时，已知以基本上规则的方式使其脉冲的发射交错，这样增加了重复速率而不增加峰值功率。

（b2）第二模式

还有另一种可能性：产生脉冲爆发，其中两个单元激光的两个脉冲之间的时间偏移与两个爆发之间的重复时间相比很小。这样的爆发可以认为是合成脉冲。

在该第二模式中，借助于光脉冲的时间偏移，还可以产生一个预脉冲。

关于该主题，可以参考下列文献，其提到了产生相应点燃等离子体而产生预脉冲的可能性：

（4）M.Berglund 等的文章，“Ultraviolet prepulse for enhanced X-ray emission and brightness from droplet-target laser plasma”，Applied Physics Letters，卷 69，1996，第 1683

页。

本发明仍然使用模式（b2），其可以在特定实施例中与模式（b1）一起使用。在该情况下，定义了在模式（b2）中产生合成脉冲的激光器组，然后，几个这样的组用模式（b1）合并。

因此，本发明提供了单元光脉冲排序的相当的灵活性，特别是以下认为是优点的排序（b2）。

高度聚焦在目标上的第一个脉冲(该脉冲的类型是例如图 1 所示的光束 F1）点燃等离子体，然后，在等离子体生长期间，目标经历最小或零照度，当等离子体达到光束 F2 的直径时，目标经历最大光功率。所以，最好分配给第一个脉冲的能量比分配给合成脉冲的剩余部分的能量少，如图 3 所示。

在该图 3 中，光脉冲的幅度 A 表示为时间 t 的函数。示出合成脉冲 I1 的一个例子。后者包括一个预脉冲 I2，然后是第一组同时发生的单元脉冲 I3，与预脉冲间隔时间 T，以便等离子体生长，然后是第二组同时发生的单元脉冲 I4，紧跟第一组。

本发明还使得可能以多倍于单元激光的重复频率的重复频率重复该序列。可以定义激光器组，每组产生一个爆发或合成脉冲，由一个聚焦脉冲和一个或多个在时间上偏移的其它脉冲构成。然后，几个这样的组可以被组合，以便使其合成脉冲交错，如对于单元脉冲已知的那样。不同组激光器安装在与同组的激光器相同的任何点。只有由用于控制激光器的装置（图 4 中的装置 18）产生的触发时间改变。

（c）用于泵送激光材料的连续二极管的使用

对于使用 YAG 材料掺杂钕且连续泵送的激光器，该激光器的上层的寿命，在 250 微妙附近，要求高于 5kHz 的速率，以便正确抽取存储的光功率。

（d）激光器被安装为振荡器，没有放大器

与现有技术不同，本发明要通过组合对该峰值功率不利的点（点 c 和 d）与有利的点（点 a）来获得高峰值功率。

当然，点（b1）、（c）和（d）不利于获得高峰值功率，但是采用点（a）和（b2）使得可以克服该缺陷。

在本发明中，点（a）、（b2）和（c）同时使用，在获得高峰值功率中组合有利和不利的点与现有技术不同。在点（d）发现优选实施

例与现有技术更不同。

除了产生高功率和高速率激光脉冲，本发明的优点在以下描述。

当恒定平均功率的二极管连续运行时，其成本相当低。

此外，根据本发明的激光设备比现有技术的简单得多，因为该设备不用串联布置的放大器。

该激光设备的开发和维护较便宜，因为使用了较少的光学元件。

并联布置若干个振荡器使得使用更灵活。

激光器数量的增加还使得根据本发明的设备可能对与一个激光器的瞬时性能有关的事件较不敏感。

根据本发明提供了一种激光设备，其特征在于其包括:

用于提供光脉冲的至少三个脉冲固态激光器，由连续工作的二极管泵送，和

用于将这些光脉冲同时引导到目标的同一点的装置。

附图简述

通过阅读以下参考附图给出的单纯为了说明而不是用于限制的实施例的描述可以更好地理解本发明。

图 1 和 2 简单示出两个不同聚焦的激光束的使用，以获得相当的局部照度，以上已经对其进行了描述，

图 3 简单示出能够用于本发明中的组合光脉冲的实例，以上已经对其进行了描述，

图 4 是本发明主题设备的特定实施例的简化图。

发明详述

根据本发明的设备如图 4 所示，包括三个以上脉冲激光器，例如八个，但是图 4 中只示出其中的三个，其标号分别为 2、4 和 6。

分别由脉冲激光器 2、4 和 6 提供的光束 8、10 和 12（更准确地说是光脉冲）通过一组反射镜 14 被引导到目标 16 上的基本上同一点 P，并基本上同时到达该点 P。

还示出用于控制激光器的装置 18，使得可以获得所述光脉冲。

图 4 还示出聚焦装置 20、22 和 24，用于分别将光束 8、10 和 12 聚焦到目标 16 的点 P 上。

在所述例子中，选择激光器和目标，以便通过光束与该目标的相互作用来提供EUV辐射26。为此，所述目标包括例如聚集体(aggregate)流28（例如氙），其来自喷嘴30。

该EUV辐射26用于例如集成电路32的微刻。图4的块34表示各种光学装置，用于在EUV辐射到达集成电路32之前调整其形状。

激光器2、4、和6相同。它们各自包括一个YAG泵送结构36，其象差和双折射很小。该结构36包括一个棒状激光器38，其由连续工作的一组激光二极管40泵送。但是，最好选择一个激光器与其它激光器不同，以产生第一个“预脉冲”脉冲。

每个激光器被安装为振荡器，没有光放大。

每个激光器在由第一高反射镜42和部分反射的反射镜44限定的腔中形成，以便允许由激光器产生的光束穿过。

该腔被设计为允许该光束在短的腔长度上具有1.2-10倍于衍射限制的小散度，从而获得5－100纳秒短持续时间的光脉冲。

在棒状激光器38的两侧使用了两个散射透镜46和48，其布置在反射镜42和44之间。

光学元件之间的距离调节为使得在所述腔中存在的各种透镜给出所述腔的基本模型，其直径比放大棒或棒状激光器的直径小1.5-10倍。对于该调节，可以通过本领域的技术人员熟知的方法考虑热聚焦。

泵送结构36包括例如双头，其通过将偏振旋转90度而具有相同的双折射泵送和补偿。

棒状激光器38的直径可以是3－6mm。

首先当平均功率高时，为了不损坏激光器腔的特性，这些特征是有用的。

为了使每个激光器提供脉冲，在该激光器附近布置触发装置，例如声光装置。

在图4所示例子中，使用了两个声光偏转器50和52，其由控制装置18控制，置于由棒状激光器38两侧的散射透镜46和48限定的空间中。

这两个声光偏转器50和52用于在150－600W之间的平均功率用对应的增益（gains）阻塞所述腔。

控制装置18允许EUV源根据微刻和激光器2、4和6的同步的需

要来变化或稳定。

对八个激光器中的每一个来说，重复频率为 10kHz，因为该八个激光器仅仅构成一个组，且因为每个脉冲为合成脉冲，即一个脉冲构成预脉冲，其后是七个附加的单元脉冲。

控制装置 18 包括用于产生为泵送激光二极管 40 供电的电流的装置（未示出）和用于产生用于控制每对声光偏转器 50 和 52 的调制射频电流的装置（未示出）。

此外，这些控制装置 18 还用于根据用于测量等离子体（通过激光束与目标 16 相互作用而产生）辐射的信号控制激光器 2、4 和 6，所述信号由一个或多个合适的传感器提供，例如传感器 54，例如一个或多个具有光谱过滤的快速硅光电二极管；对于 EUV 辐射，该过滤可以由锆执行，也可以由硅化钼（molybdenum-silicon）执行，也可以二者一起执行；在观察到等离子体生长速率的地方，最好或者修改该过滤，或者增加一个或多个快速光电二极管，该光电二极管的过滤靠近可见光谱。

控制装置 18 还用于根据以下信号控制激光器 2、4 和 6:

－用于测量来自激光器 2、4 和 6 的光脉冲的能量的信号，分别由合适的传感器 56、58 和 60，例如具有积分装置的快速硅光电二极管，提供的信号，和

用于测量来自激光器 2、4 和 6 的光脉冲的时间形状的信号，分别由合适的传感器 62、64 和 66 提供的信号，其可以是与传感器 56、58 和 60 相同的传感器，除了该信号在积分装置的上游获得。

据说明，由偏转反射镜 14 和聚焦透镜 20、22 和 24 构成的光学装置被选择为允许具有小于焦点（点 P）直径的小百分比，例如 1％－10％数量级，的位置波动的空间重叠。

图 4 所示的激光器装置还包括被提供用来改变由加上分别从激光器 2、4 和 6 发出的光脉冲而导致的脉冲的空间分布的装置。这些装置分别用箭头 74、76 和 78 表示，被提供用于例如移动透镜 20、22 和 24，从而改变分别由这些透镜提供的焦点的大小。

控制装置 18 可以被提供，以便通过使激光器的触发之间相互适当偏移来使由激光器 2、4 和 6 发出的光脉冲相互在时间上偏移。

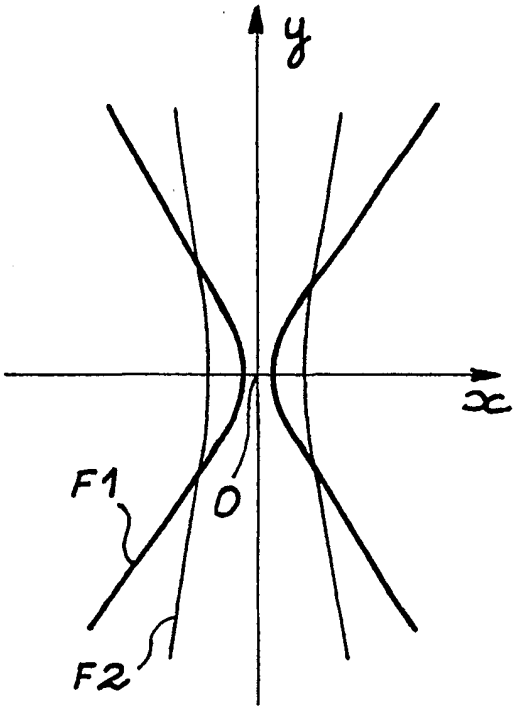


图 1

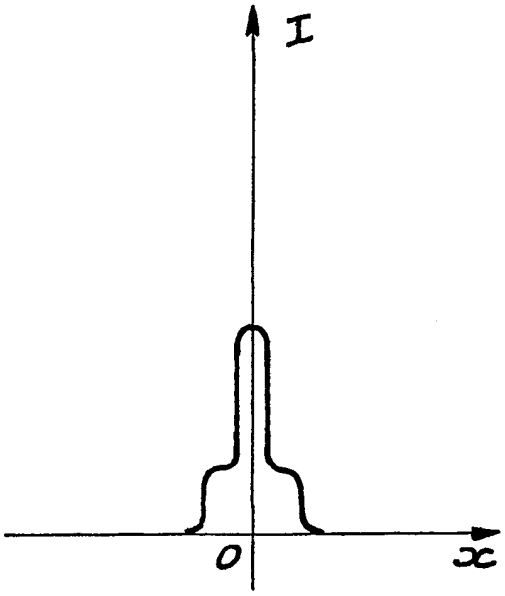


图 2

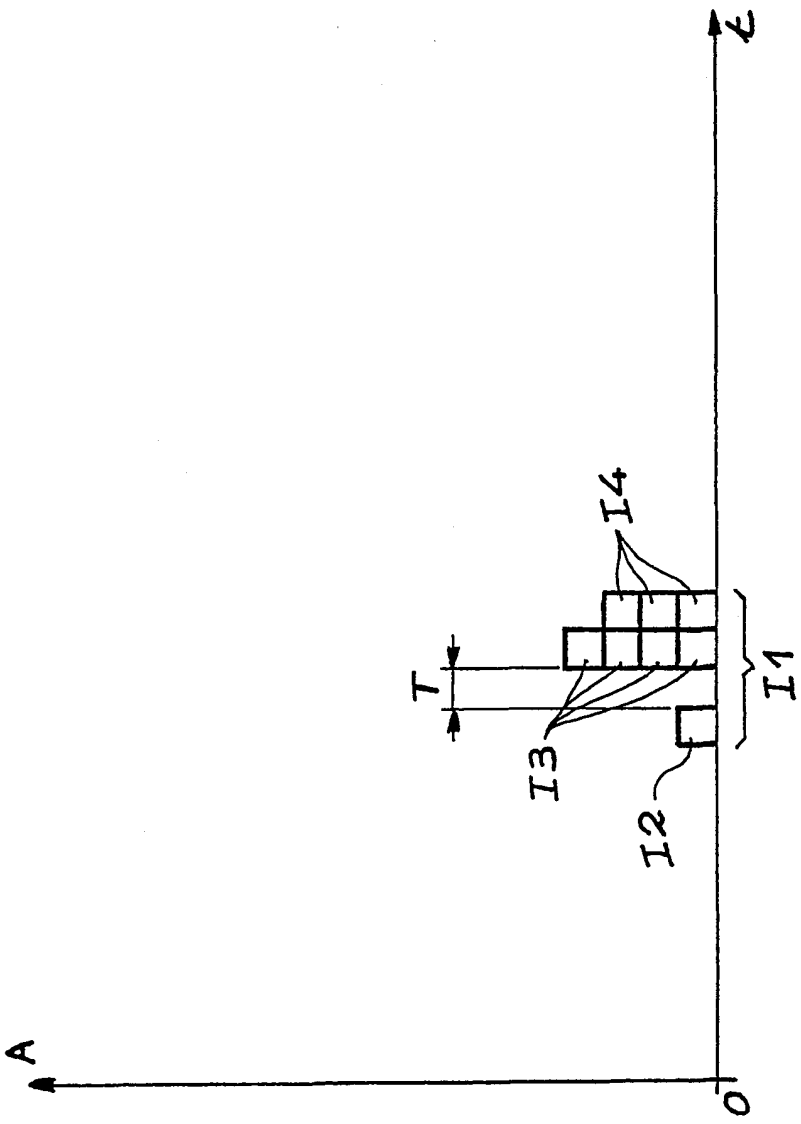


图 3

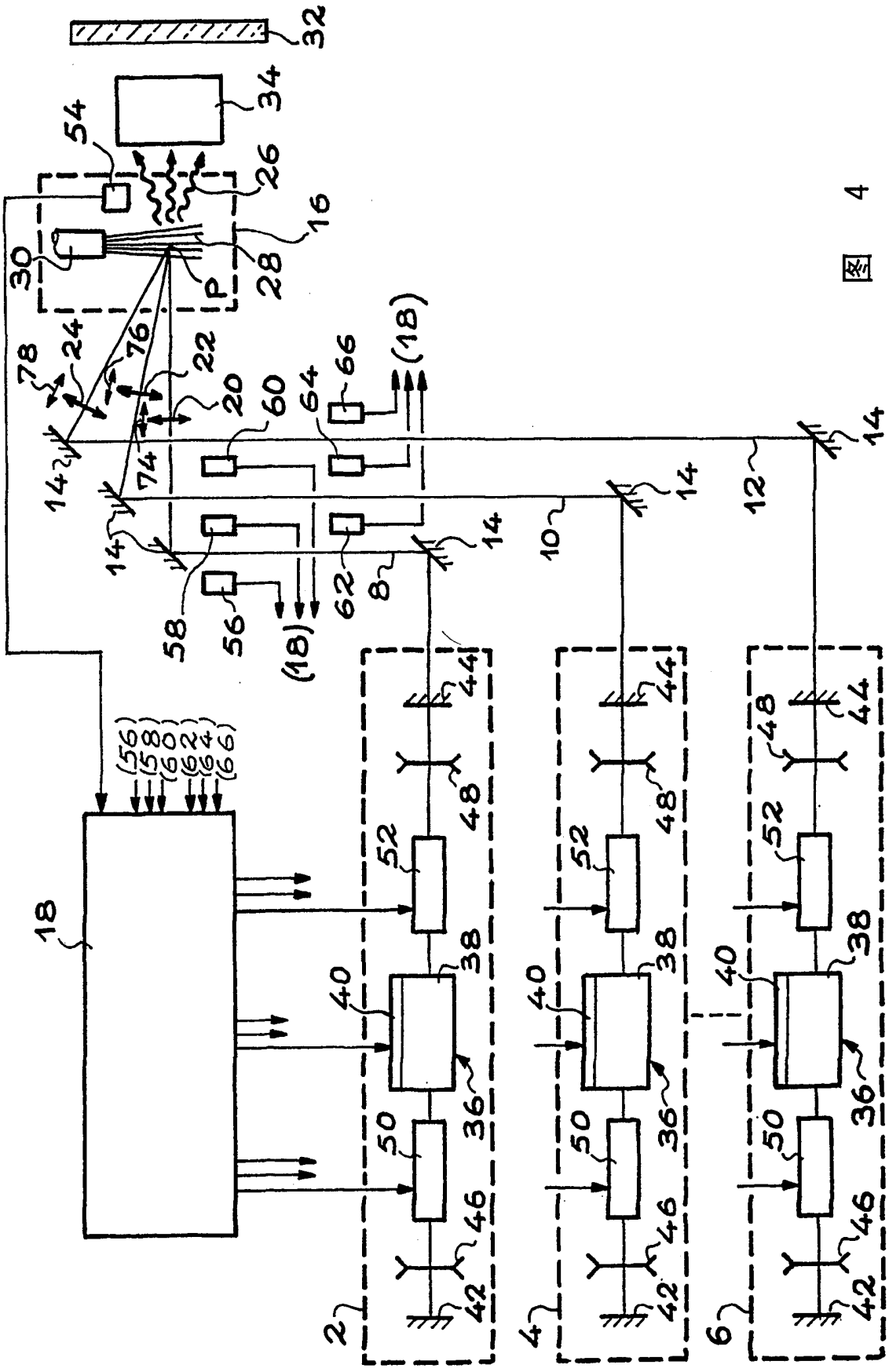

32
34
54
26
16
30
28
P
24
78
76
22
20
60
64
66
(18)
14
74
58
56
62
8
10
12
18
(56)
(58)
(60)
(62)
(64)
(66)
44
48
52
38
40
36
50
46
42
2
4
6

图 4