



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03807162.2

[43] 公开日 2005 年 7 月 20 日

[11] 公开号 CN 1643750A

[22] 申请日 2003.3.26 [21] 申请号 03807162.2

[30] 优先权

[32] 2002. 3. 28 [33] FR [31] 02/03964

[86] 国际申请 PCT/FR2003/000956 2003. 3. 26

[87] 国际公布 WO2003/084014 法 2003. 10. 9

[85] 进入国家阶段日期 2004. 9. 27

[71] 申请人 法国原子能委员会

地址 法国巴黎

[72] 发明人 P·Y·思罗

J·-M·沃伊勒尔泽

M·吉尔贝特

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

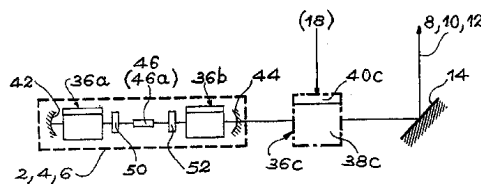
代理人 苏娟

权利要求书 2 页 说明书 17 页 附图 4 页

[54] 发明名称 激励紫外线范围光发生器大峰值功率激光腔及其连接结构

[57] 摘要

本发明涉及具有大的峰值能量的激光腔以及多个这样的激光腔的连接结构，特别是用于紫外线范围内的光生成器。该激光腔(2, 4, 6)设置在固体放大器中。所述激光腔是脉冲的并且被连续工作的二极管泵浦，其特征在于，该激光腔包括：至少两个激光棒(36a, 36b)；位于使激光束分散最小的激光腔部分中的至少一个光脉冲启动装置，和限定了所述激光腔的两个镜子(42, 44)，其中一个镜子是高度反射的，而另一个镜子是部分反射的。



1. 具有固体放大器介质的激光腔，该激光腔是脉冲的并且被连续工作的二极管泵浦，其特征在于，该激光腔包括：

- 至少两个激光棒，

5 - 至少一个光脉冲启动装置，该启动装置位于空腔的部分中，在这里空腔产生的激光束发散最小，和

- 两个限定了该空腔的镜子，其中一个高度反射的，另一个镜子部分反射。

2. 根据权利要求 1 所述的激光腔，其中，这些激光棒是由例如
10 Nd: YAG 或者 Yb: YAG 的各向同性的材料构成，该空腔还包括在光束路径上，在每个由两个连续棒构成的空间中的偏振旋转装置，最好旋转 90 度。

3. 根据权利要求 1 所述的激光腔，还包括在两个相邻的棒之间的每个间隙中间的一个最好是发散的透镜。

15 4. 根据权利要求 1 所述的激光腔，其中，由激光棒构成的激光材料选自：Nd: YAG, Nd: YLF, Nd: YALO, Yb: YAG, Nd: ScO₃ 和 Yb: Y₂O₃。

20 5. 根据权利要求 1 和 2 中的任一项所述的激光腔，包括：两个激光材料大致相同的棒（38a, 38b），在两个棒之间的空腔中设置的偏振旋转装置。

6. 根据权利要求 3 所述的激光腔，其中，每个脉冲激光腔包括的启动装置包含有两个设置在空腔中的启动装置，位于偏振旋转装置的两侧，在偏振旋转装置和激光棒之间。

25 7. 根据权利要求 1-4 中的任何一项所述的激光腔，其中，启动装置（50, 52）是声学-光学类型。

8. 根据权利要求 1 所述的激光腔，其后面有一个或者多个带有简单通道的放大器。

9. 激光装置，其特征在于，包括：

30 - 至少 3 个根据权利要求 1-3 和 8 中任一项所述的脉冲激光腔（2, 4, 6），和

- 大致在靶子（16）的相同的地方并在该地方在相同的时刻发射光脉冲的发射装置，

该装置还包括一些控制脉冲激光腔的控制装置(18),这些控制装置用于使所有的该装置所包括的启动装置同步工作。

10. 根据权利要求9所述的装置,包括至少10个平行的脉冲激光腔。

5 11. 根据权利要求9-10中任一项所述的装置,其中,发射光脉冲的装置包括一些用于沿相同的路径发射光脉冲到靶子(16)上的装置(80, 82, 90, 92)。

10 12. 根据权利要求9-11中任一项所述的装置,还包括一些改进光脉冲空间分布的装置(74, 76, 78),所述的空间分布的改进是由激光腔提供的光脉冲的加入导致的。

13. 根据权利要求9-12中任一项所述的装置,其中激光腔的控制装置(18)还能够改进光脉冲的时间分布,所述的时间分布的改进是由激光腔提供的光脉冲的加入导致的,从而建立了复合脉冲。

15 14. 根据权利要求13所述的装置,其中每个复合脉冲的曲线包括第一脉冲,时间间隔,然后是第二脉冲,所述第一脉冲点燃了等离子体,通过光脉冲与靶子相互作用而建立等离子体,在时间间隔内激光器所发射的光能量在等离子体增加期间是最小的,而第二脉冲根据等离子体增加的函数序列包括多个基本脉冲。

20 15. 根据权利要求9-14中任一项所述的装置,还包括一些改进激光腔发射的光脉冲的循环速度和改进激光腔发射的光脉冲的序列的装置(18)。

16. 根据权利要求13所述的装置,能够发射第一非常聚焦的光束(F1)到该靶子上,然后能够将在复合脉冲中所含的剩余部分的光能量以较宽的聚焦施加在靶子上。

25 17. 根据权利要求9-16中任一项所述的装置,其中,该靶子(16)用于通过与激光腔(2, 4, 6)发射的光脉冲相互作用,提供在紫外线范围内的光。

激励紫外线范围光发生器大峰值功率激光腔 及其连接结构

5 技术领域

本发明涉及一种激光腔，其具有大的峰值功率和高平均功率以及高循环率，并且同时其成本和复杂性减小。还涉及多个这样的空腔的连接结构，特别是用来激励紫外线范围内光线的发生器。

本发明还用于生成紫外线范围内的光线。

10 背景技术

属于这个领域的称作“EUV 光线”的光线的波长为 8 纳米 - 25 纳米。

通过使光脉冲相互作用而获得 EUV 光线具有许多应用，特别用于材料科学，显微镜检查，特别是微型光刻印刷技术，以便生产出高集成度的集成电路，其中该 EUV 光线是通过本发明的目标装置而获得的。为了后者的应用，最好具有高循环率，但是对于大的峰值功率的激光器来说是难于做到的。

本发明用于任何与微型光刻技术所需要的激光器同样类型的激光器。

20 所述的 EUV 光刻技术在微电子中是必须的，以便实现尺寸小于 0.1 微米的集成电路。在 EUV 光线源中，其中的多个光线源使用了由激光器产生的等离子体。

特别致力于通过强激光源激励氙的流束而产生波长在 13nm 的紫外线。

25 为了这样的激光源在经济上令人满意，必须具有 3 个条件：

- 激光的峰值功率必须非常大 ($10^{11}\text{W}/\text{cm}^2$) 以便建立在 13nm 周围充分发射的等离子体，

- 循环率必须足够高 (几千赫)，以便实现每小时最大数量的晶片，和

30 - 所述激光源必须是简单的，具有合理的投资成本和小的运行成本。

为了产生等离子体，必须设置一个产生大的照度峰值的激光器。

因此使用了脉冲激光器，例如通过脉冲产生了 300mJ 或更大的能量。

下面将指出：本发明使用了例如掺有钕的 YAG 激光器，该激光器公知在工业领域中具有许多改进。然而，在本发明中可以使用其它的固体激光器，即其放大介质是固体的。

5 下面将描述这一点。

为了获得每次发射的良好的能量稳定性，已知使用二极管泵浦装置。

另外，为了获得对于生成用于光刻技术的 EUV 光线所必须的峰值功率，已知使用了脉冲二极管。

10 对于这个主题，引用了下面的文献：

(1) H.Rieger 等的文章，High brightness and power Nd:YAG ,
Advanced solid-state lasers, 1999, Boston MA, P.49-53.

该文献披露了一种用于光刻技术的装置，该装置产生一些大峰值激光脉冲，所述激光脉冲具有较低的循环率。

15 同样，为了获得必须的峰值功率，已知使用一种振荡器和放大器。从而导致一种复杂和昂贵的激光器。

对于这个主题，引用了下面的对比文献：

(2) G. Holleman 等人的文章，Modeling high brightness kW
solid-state laser, SPIE Vol.2989 p.15-22.

20 这个文献提到了对具有与两种相反技术对应的功率的激光器的两种需要：

一方面，焊接，材料加工或者材料处理的应用，这些应用所需的激光器，发射长脉冲，并且通过非常简单的技术获得，和

25 另一方面，光刻的应用需要简短的脉冲，并且如果可能，该脉冲具有高周期性，并且是通过非常复杂的并且成本高昂的技术获得，使用了 2 级光放大器。

还引用了下面的文献，该文献用于获得大的峰值功率的激光装置：

30 (3) G.Kubiak 等人的文章，Scale-up of a cluster jet laser plasma source for Extreme Ultraviolet lithography, SPIE Vol. 3676, p. 669-678.

该装置描述在该文献 (3) 中，使用了一些掺有钕的 YAG 激光器，

并且这些激光器用脉冲二极管泵浦，正如涉及光刻技术的现有技术所述那样。另外还使用了复杂和昂贵的光放大器。而且，在该文献(3)中所针对的该循环率是6kHz，以便每个脉冲280mJ的能量。

这个激光器的一个改进的变体是下面讨论的文献(6)的目标。

5 还参考下面的文献：

(4) H. Rieger 等人的文章，High brightness and power Nd:YAG laser, OSA Trends in Optics and Photonics, Vol. 26, from the topical Meeting January 31, February 3 1999 at Boston, Optical Society of America, p49-53.

10 该文献简要描述了一种装置，该装置具有功率非常小的主振荡器，该主振荡器产生最大频率为1kHz的1mJ的脉冲（因此平均功率最多为1W），随后进行复杂并且成本高昂的放大链。该文献的实质在于研究了在放大链中的光束品质的恶化。所述的装置具有的性能与对于用于微型光刻技术的EUV光线源来说及同时对于平均功率和循环频率来说所必须的性能相去甚远。

事实上，能够激励EUV光线的强光线源的激光装置所必须的特征已经在国际范围内被标准化为技术规范的形式，该装置可以用于半导体工业的要求，并且进行许多尝试来使得该技术规范令人满意。

然而，到目前为止，所有的尝试都是失败的。

20 在技术规范的最大缺陷中给出了用非常高的循环率产生大的峰值强度的能力。但是还存在获得良好品质的光束的要求，其特征在于，用 M^2 表示大小的可能的最低的值非恒定地限定为光束直径与其发散角度的乘积。

用 M^2 表示的理论下限值等于1，但是该激光器功率越大，用 M^2 表示的值增加的越多。对于掺有钕的YAG激光器，也称为Nd:YAG激光器来说，该下限值目前达到几十。

对上述的技术规范要求为 $M^2 \leq 10$ 。

最近的其它文献披露了一些满足了所述的技术规范的装置：

30 (5) K. Nicklaus 等人的文章：Industry-Laser Based Short Pulse Diode Pumped Solid State Power Amplifier With kW Average Power, OSA Trends in Optics and Photonics, Vol. 50, Advanced Solid-State Lasers, Christopher Marshall, ed., Optical Society of America,

2001, p388-391.

该文献描述了一种装置, 其激光腔在具有双通道的两个预放大器组件处产生了具有 2kHz, 4mJ 的脉冲。光束的返回路径通过一个偏振立方块向两个放大器的线路折射, 该放大器的出口产生出 76mJ 的脉冲 (这样的装置的结构称为 MOPA: 主振荡器功率放大器)

(6) D.A.Tichenor 等人的文章: EUV Engineering Test Stand, Emerging Lithographic Technologies IV, Elisabeth A. Dobisz, Editor, Proceedings of SPIE Vol. 3997 (2000), p. 48-69.

这篇文章描述了一种使用 3 个平行设置的相同的模块的激光装置, 每个模块包括由 TRW 公司实施的激光器, 该激光器在下面的文献中描述:

(7) Randall St. Pierre 等人的 Active Tracker Laser (ATLAS), OSA TOPS, Vol. 10, Advanced Solid State Lasers, 1997, p. 288-291.

在文献 (7) 中描述的具有 Nd: YAG 的固体激光腔提供了具有 2.5kHz, 1.6mJ 的脉冲, 所述的脉冲在具有双通道的结构中被放大, 在出口处所述通道产生出 276mJ 的脉冲。TRW 激光器的略微早一些的形式已经在文献 (3) 中进行了描述。

根据文献 (5) 和 (6), 为了获得具有较小的 M^2 值的高功率和非常短的脉冲, 在包括了具有弱能量 (每个脉冲具有小于 10mJ 的能量) 和小的平均功率 (小于 15W) 的一个非常小的振荡器的基础激光器中产生了光脉冲, 并且通过在具有棒或者板的放大级中的多个通道将所述的光脉冲放大。

然而遇到的问题, 当入射光功率在所使用的激光棒的饱和流动之前是非常小的 (特别是用于小于 200mJ/cm² 的入射流动) 时候, 由棒导致的放大是非常小的。因此需要很多的非常昂贵的放大棒, 和几十个也是非常昂贵的二极管, 该组件具有非常小的能量输出。

为了限制设备成本, 所述的一个或者多个第一级一般被经过两次 (往返路径, 因此称为双通过放大器), 从而要求与偏振光束工作并且使用偏振装置 (例如偏振立方体), 以便该返回路径不回到振荡器上, 而是朝向另一个光学路径引导, 在这里将进行放大。

在使用一种各向同性的材料如 Nd: YAG 或者 Yb: YAG 作为放大栅

格进行双通过放大时，必须使光束偏振导致了另外的问题。上述这样的材料保证了在泵浦时可以改变其各向同性，从而使得入射光束的偏振恶化。

5 因此，如果这些复杂的装置没有设置用来限制这种现象，那么所述偏振将不能被充分地保持，当返回光束进入到偏振装置时，光束能量中的大部分（对于 Nd: YAG 来说大约 25%）将损失并且可能损坏该振荡器。

10 这些复杂装置，即合适设置的偏振旋钮开关和相波簧片的连接结构，使返回到振荡器的光束功率限定为一个很小的值（对于 Nd: YAG 来说大约为 2.4%）。

15 因此，为了解决一种激光装置的制作问题，该激光装置能够激励 EUV 光线的强光线源，该激光装置与半导体工业的要求兼容，文件（5）和文件（6）和（7）的作者设计了可能是最完美的而能量最小的脉冲，然后增加了放大器的数目，并且将注意力倾注于研究允许在这些放大器中通过去除偏振限定损失的装置。

这种方法给出了一些复杂，昂贵，能量输出小的装置。另外，对于在文件（5）和（7）中描述的装置来说，主要的元件是串连设置的。因此其中一个元件的任何故障都会影响该装置的整体。

在下面的文件中给出了另一种方法：

20 （8）在 Conference on Lasers and Electronics (CLEO 2001) 6-11 mai 2001, Technical Digest, pp421-422, OSA trends in Optics and Photonics (TOPS), Vol. 56, Oliver Mehl 等人的 Compact 300-W diode-pumped oscillator with 500kW pulse peak power and external frequency doubling.

25 该文件描述了一种 Nd: YAG 激光器，在一个激光腔中，该激光器包括两个 Nd: YAG 棒，在这些棒之间的偏振旋钮，分别在两个棒两侧的两个声学 - 光学模块和在每个模块与相应的棒之间的一个发散透镜。

激光腔的平均输出功率为 260W，循环率为 10kHz。

30 然而在这个文件中描述的实施例并没有考虑与光脉冲的启动装置相连的重要的问题，特别是用于上述文件描述的激光器中的声学 - 光学系统：它们的功能取决于激光束的发散。

声学-光学系统的启动装置主要包括一个声学-光学晶体和一个控制装置，其按照下述工作。

5 当接受到电信号时，控制装置在晶体中发出无线电频率的激励波，在该晶体中这种波产生了 Bragg 光栅。在缺少激励时，该晶体使得入射光线通过，在正常工作情况下，所述入射光线并没有按照与晶体的进入表面垂直的方式到达，而是与其成 Bragg 角。

当开始控制时，无线电频率波产生了 Bragg 光栅，然后该 Bragg 光栅使入射光线偏转；偏转角足够用于这些光线从激光腔出来，从而对于该激光器来说这对应于切断光束。

10 当光线以与 Bragg 角偏离的方式到达晶体的进入表面时，所述光线不再能够被满意地偏转，特别是如果它们与 Bragg 角偏离了限定的角度或者偏离了大于该限定角度。

这个限定角度值一般与具有第一级和第二级的衍射方向之间存在的角度值相同（一般为约 4mrad），其中的衍射是在 Bragg 光栅被激励
15 时由形成在该晶体中的 Bragg 光栅导致的。

入射角接近这个角度的光线在晶体没有被激励时并没有被正确截获。入射角超出这个角度的光线并不是不再被满意地偏转，而是它们还返回到激光腔的中央部分，因为它们的入射角被包含在所述空腔的成角度的接收结构中。

20 然而，使得该空腔以非期望的方式发射，从而在出口产生一定能量的连续激光发射。该工作变得是间歇性，并且在这个连续激光发射时，在空腔出口叠置一些幅度和期限不稳定的脉冲。

确信在所述空腔所期望的脉冲功率增加时同样的光束发散是不稳定的。

25 发明内容

本发明用于同时解决在文件（5）-（7）的实施例中实施的 MOPA 结构所具有的问题和带有振荡器的结构本身所具有问题，其中该振荡器产生高功率，但是其稳定性受到声学-光学启动装置限制的影响，正如文件（8）中描述的实施例。

30 本发明用来通过激光腔和通过该激光腔与其它的相同的激光腔相连接结构解决这些问题，该激光腔能够具有强的峰值功率和高的循环速度，该连接结构用于构成一种激光装置，该激光装置允许峰值功率达

到更高的性能，与文件（5）-（8）披露的装置相比是不复杂的，成本低并且工作更可靠。

另外应该注意文件（5）所披露的激光装置用于获得短的脉冲期限，5-20ns，这是本领域技术人员优选考虑用来获得发射的等离子体。

本发明精确地说用于具有固体放大介质的激光腔（也称为“光学谐振器”），该激光腔是脉冲的并且由连续工作的二极管泵浦，其特征在于，该激光腔包括：

- 至少两个激光棒，
- 至少一个光脉冲的启动装置，这个启动装置位于空腔的大部分中，在这里由该空腔产生的激光束分散最少，和
- 两个镜子，所述镜子限定了该空腔，一个镜子是高度反射的，另一个镜子是部分反射的。

在具有两个激光棒的空腔的最简单的情况中，光束分散最小的空腔的部分是位于两个棒之间的部分。

相反，位于这些棒外部在一个棒和一个空腔的镜子之间的空腔的部分是使光束发散最大的部分。

文件（8）描述的实施例在使光束发散最大的部分中设置了光脉冲的启动装置，因而使它们受到现有技术所公开的机能障碍的影响。

如果这些激光棒使用如 Nd: YAG 或者 Yb: YAG 的各向同性的材料制成，为了获得微型光刻技术所要求的光束品质必须在空腔中在光束的路径上加入一个偏振旋转装置，在包括两个连续棒的每个空间中，旋转角最好是 90 度。

最好通过在光束上两个相邻棒间的每个间隙中间，设置一个具有对汇聚起相反作用的透镜修正由某些特别是 Nd: YAG 构成激光棒产生的轻微的汇聚。

根据本发明的装置的优选实施例，构成激光棒的激光器材料选自：Nd: YAG, Nd: YLF, Nd: YALO, Yb: YAG, Nd: ScO₃ 和 Yb: Y₂O₃。

最好本发明的空腔包括：激光材料构成的两个棒，最好基本上相同；在空腔中设置的在两个棒之间的偏振旋转装置；和两个启动脉冲的装置，其位于两个棒之间，在偏振旋转装置两侧。

最好，启动装置是声学-光学系统类型。

根据一种实施例的变形，本发明的激光腔可以与一个或者多个具有简单通道的激光放大器相连，这些放大器由二极管泵浦，使每个放大器的棒在其整个长度上产生棒材料的饱和流动或者该饱和流动之上。

5 最好，这种流动至少达到材料的饱和流动的3倍。

所述激光腔在功能上的特征在于，其能够稳定地产生高流动，而不必使该激光腔产生的光束汇聚。该激光腔可以保持该光束的平行度并且在棒整个长度上达到或者超过饱和流动。

在后面详细描述的首选实施例中，这种流动甚至为材料饱和流动的十几倍。

本发明还涉及至少3个平行设置的上述类型的空腔的连接结构，这些空腔产生的光束朝向同一个靶子。

由这些空腔的该连接结构导致的激光装置的特征在于，该装置包括：

15 - 至少3个脉冲激光腔（“光学谐振器”），其具有固体放大介质，这些空腔与本发明的激光腔一致，和

- 一些大致在靶子的同一个位置并且大致在该位置同时发射这些光脉冲的光学装置。

其特征还在于，该装置还包括一些脉冲激光腔的控制装置，这些控制装置设置用来使所有的脉冲几乎是按照期望瞬时到达靶子，同时具有比5ns更好的精确度，并且最好优于1ns。

根据一个变形，这些激光腔与带有简单通道的一个或者多个放大器相连。

25 本发明的装置的一个特别的实施例中，每个脉冲激光腔的启动装置包括两个设置在这个空腔中在偏振旋转装置两侧并且在偏振旋转装置和激光材料构成的棒之间的两个启动装置。

根据本发明的一个特定实施例，这些发出光脉冲的装置包括一些用于按照相同的路径向靶子发射光脉冲的装置。

30 根据本发明的装置的一个特定的实施例，该装置还包括一些对由于激光腔提供的光脉冲的增加导致的光脉冲的空间分布进行调整的装置。

根据另一个特别的实施例，激光腔的控制装置还能够改变由于激

光腔提供的光脉冲的增加导致的光脉冲的暂时的分布，从而建立复合脉冲。

5 根据本发明的一个特别实施例，每个复合脉冲的曲线包括一个第一点燃等离子体的脉冲和时间间隔，然后是第二脉冲，该等离子体用于通过光脉冲与靶子相互作用而建立，在时间间隔处，激光器发射的光能在等离子体增加期间是最小的，根据等离子体增加的顺序函数，该第二脉冲包括多个基本脉冲。

10 在建立了复合脉冲的情况下，本发明的装置最好能够在该靶子上发射非常聚焦的第一光束，然后在靶子上以更宽的聚焦度施加其余的光能。

在其上发射由本发明装置的激光腔发射的光脉冲的靶子可以设置用来通过与光脉冲的相互作用提供在紫外线范围内的光。

然而，本发明并不限制于获得 EUV 光线。本发明用于需要峰值功率的指向靶子的激光光束的领域。

15 在本发明中，使用了空间叠加，并且在这个特定实施例中，使用时间序列。

“空间叠加”应该理解为在与靶子的位置大致相同、大致在同一时刻的多个激光光束的空间叠加。

20 “大致在同一时刻”指的是在不同的基本脉冲之间分别由激光装置的激光腔提供的时间偏差在这些激光腔的循环期间之前是很小的。这种叠加允许使得脉冲能量和峰值功率加倍。

正如下面将看到的那样，应用的灵活性可以通过几乎在相同的位置和几乎相同的时间叠加激光束而获得。这种应用的灵活性允许调整产生等离子体的激光束。

25 在本发明中，后面的一些特点 (a) - (c) 是重要的。

a) 空间叠加

该空间叠加增加了峰值功率并且提供了改变光脉冲的空间分布的大自由度，该光脉冲是由激光腔发射的基本光脉冲的增加而导致的。

30 例如使用比其它更加聚焦的光脉冲，在本发明优选实施例中进行的应用，能够获得更加大的局部照度，正如图 1 和 2 简示出的那样，其中为了简化仅仅考虑两个光束。

第一光束 F1 和第二光束 F2 在图 1 中为截面图，在两个垂直轴 Ox

和 Oy 限定的平面中，两个光束的公共轴是轴 Oy 。

两个光束大致具有围绕轴 Oy 的旋转对称性，并且在点 O 附近聚焦，大致在由 Oy 轴与垂直于轴 Ox 和 Oy 的轴限定的观察平面中，该观察平面经过点 O 。

5 两个光束的聚焦是不同的，第一光束 $F1$ 比第二光束更加聚焦。

图 2 示出了在观察平面中根据在 Ox 轴上记录的 x 坐标表示的照度的变体。

如果光束 $F1$ 比光束 $F2$ 多聚焦 5 倍，则当两个光束 $F1$ 和 $F2$ 具有相同的功率时，光束 $F1$ 在轴 Oy 上产生的照度相对光束 $F2$ 产生的照度加大 25 倍。但是应该注意到，在本发明中，可以使用功率相同的光束，或者相反，功率彼此不同的光束，功率彼此不同的光束最好。

多个光束在同一靶子上在同一时刻的“空间叠加”以更小的时间刻度导致了每个基本激光腔的脉冲瞬时的偏差。

(b) 不同的激光脉冲时间序列 (“复合”脉冲)

15 可以建立一些连续脉冲，其中在两个连续脉冲之间的循环时间之前，两个基本激光腔的两个脉冲之间的时间偏差是非常小的。这样的连续脉冲可以作为复合脉冲。

通过光脉冲的时间偏差可以建立一个预脉冲。

20 对于这个主题，将参考后面的文件，该文件提到了可以建立用于点燃等离子体的预脉冲：

(9) M. Berglund 等人的文章，Ultraviolet prepulse for enhanced X-ray emission and brightness from droplet-target laser plasma, Applied Physics Letters, Vol.69, 1996, page 1683.

本发明最好使用多个激光脉冲的时间序列。

25 例如本发明允许了下面所述的序列。

在靶子上非常聚焦的第一脉冲 (这个脉冲例如是图 1 的光束 $F1$ 类型的) 点燃了等离子体，然后在等离子体增加期间，靶子受到了最小的照度或者零照度，并且当等离子体达到光束 $F2$ 的直径时，靶子受到最大的光功率。最好赋予第一脉冲以小于赋予图 3 的其余复合脉冲的能量的能量。

30 根据图 3，光脉冲的幅度 A 作为时间 t 的函数被表示。可以看到复合脉冲实例 $I1$ 。这个复合脉冲 $I1$ 包括预脉冲 $I2$ ，然后是同时的基

本脉冲 I3 的第一组合, 这些基本脉冲 I3 通过等离子体增加所必须的时间 T 与预脉冲分离, 然后是在第一组合之后的同时的基本脉冲 I4 的第二组合。

(c) 用于泵浦激光材料的连续二极管的应用

5 在使用了一种掺有钕的 YAG 材料的激光腔并且在连续泵浦情况下, 该激光腔的接近 250 微秒的高的持续期间要求以高于 5kHz 的速度工作, 以便很好地取出提供的光功率。

本发明与现有技术相反, 通过对峰值功率不利的特点 (特点 c) 和其因为增加了基本激光腔的数目而更加重要的有利的特点 (特点 a) 10 相连, 允许获得峰值功率。

特点 (b) 仅仅包括一种是本发明更好地适应于其应用的可能情况。

为了应用于微型光刻技术, 这种可能情况允许了优化 EUV 源的表现, 该 EUV 源被激光装置泵浦, 可满足等离子体的要求。

15 然而在已知的现有技术中, 最好考虑使所有的脉冲以相同瞬时到达, 最好相差 5ns, 特别是相差 1ns。

在本发明中, 可以同时使用特点 (a), (b) 和 (c), 这些有利于和不利于高的峰值功率的所获得的特点的结合将与现有技术不同。

本发明的优点, 除了生成大功率和高速度的激光脉冲以外, 其他 20 如下面所述。

具有恒定的平均功率的二极管的成本非常低, 同时这些二极管连续工作。

另外, 根据本发明的激光装置比现有技术的装置简单得多, 因为该装置可以不用串连多个放大器进行工作。

25 这种激光装置的实施和维护是不昂贵的, 因为减少了使用的光学器件的数目。

多个振荡器的并联允许了更加灵活的应用。

激光腔数目的增加还允许本发明的装置对与一个空腔的瞬时表现有关的事不敏感。

30 附图说明

将借助完全指示性的并且非限定的实施例和说明书使读者理解本发明, 附图包括:

- 图 1 和 2 简示出应用两个不同聚焦的激光束, 以便局部获得大的照度, 它们已经在前面描述过;

- 图 3 简示出用在本发明中的复合光脉冲的实例, 已在前面描述过;

5 - 图 4 是本发明的多个激光腔的连接结构, 从而建立了在紫外线范围内的光源的激励装置;

- 图 5 简示出了本发明的激光腔的特别的实施例; 和

- 图 6 和 7 简示并且部分地示出了本发明的其它实例, 允许了基本激光束的空间多路转换, 这些基本激光束分别由多个激光腔产生。

10 具体实施方式

本发明的激光腔由图 5 示出, 其中下面再回到图 5。该激光腔在一个或者多个具有简单通道的放大器后面。

多个本发明的脉冲激光腔的连接结构是为了在紫外线范围内建立激励光源的装置, 图 4 示出了该连接结构。

15 图 4 的装置包括多于 3 个的脉冲激光腔, 还称为脉冲腔, 例如 10 个, 但是其中仅仅 3 个在图 4 中示出, 并且分别用附图标记 2, 4 和 6 表示。

20 分别由脉冲激光腔 2, 4 和 6 提供的光束 8, 10 和 12 通过一组镜子 14, 被发射到靶子 16 的大致相同的点 P 上并且在大致相同时间到达该点 P。

还示出了激光控制装置 18, 用于允许获得光脉冲。

在图 4 中还看到了一些聚焦装置 20, 22 和 24, 它们例如是消色差双透镜, 设置用于分别将光束 8, 10 和 12 聚焦在靶子 16 的点 P 上。

25 在所述实施例中, 激光器和靶子选择为可以通过光束与靶子相互作用提供 EUV 光线 26。因此, 该靶子包括例如来自一个喷管 30 的集结物流束 28 (例如氩)。

例如使用该 EUV 光线 26 用于对集成电路 32 进行微型光刻。图 4 的方块 34 代表了用于在到达集成电路之前形成 EUV 光线的多种光学装置。

30 激光腔 2, 4 和 6 是相同的或者近似相同并且能够提供光脉冲。

其中每一个都包括两个泵浦装置 36a 和 36b, 它们的像差和双折射是很弱的。

结构 36a (或者 36b) 包括一个激光棒 38a (或者 38b), 所述激光棒被一组连续工作的激光二极管 40a (或者 40b) 泵浦。

用于试验的所选择的材料是 Nd: YAG, 其饱和流动为 $200\text{mJ}/\text{cm}^2$; 然而, 最好选择一种不同于其它的激光器, 用于建立称为“预脉冲”的第一脉冲。

每个激光腔直接产生 300W, 10kHz 的功率, 光束的品质适于多路转换, 脉冲期限为 50ns 并且其能量为 300mJ。光束在腔出口的流动为 $2, 3\text{J}/\text{cm}^2$, 即接近 Nd: YAG 材料的饱和流动的 10 倍。

由每个激光腔 2, 4 和 6 在靶子的直径 50 微米的区域上产生光束聚焦, 因此导致了 $3 \times 10^{10}\text{W}/\text{cm}^2 - 6 \times 10^{10}\text{W}/\text{cm}^2$ 的峰值功率。

然而, 为了获得在流体氙的靶子上足够的发射率, 一般需要获得的目标值是 $5 \times 10^{11}\text{W}/\text{cm}^2$ 。

因此通过结合 10 个具有上述的性能的激光器, 获得了上述的要求。

在图 4 的实例中, 没有与激光器 2, 4 和 6 一起使用任何光放大器。

然而, 如果证明对于调整峰值功率到由经验所确定的优选值是必须的话, 可以在每个激光腔之后加入一个这样的放大器, 尤其是多个放大器。

考虑到本发明的激光腔的特征, 这些放大器以相对小的增益工作, 但是因为接近 10 倍的高于棒的材料的饱和流动, 所以优化的取出了在放大器的棒中发出的能量。

图 5 简示出一种本发明的激光腔。该激光腔构造为任何一个腔 2, 4 和 6 并且因此包括结构 36a 和 36b 以及镜子 42 和 44, 偏振旋钮 46 和/或者透镜 46a 和脉冲启动装置 50 和 52, 这些将在下面讨论。

在一个实施例的变形中, 在这个激光腔的出口设置了光放大器 36c。这个放大器 36c 包括具有简单通道的激光棒 38c, 其通过一组连续工作的激光二极管 40c 泵浦。

控制装置 18 因此设置用于控制这个放大器 36c。该放大器 36c 与结构 36a 和 36b 大致相同, 并且其激光棒 38c 最好使用与激光棒 38a 和 38b 相同的激光材料制成。

该激光材料选自 Nd: YAG (优选材料), Nd: YLF, Nd: YALO, Yb:

YAG, Nd: ScO₃和 Yb: Y₂O₃.

回到图 4, 每个激光腔由高度反射(反射系数 R 等于 100%, 例如等于 1064nm)的第一镜子 42 和第二反射镜子 44 限定, 该第二镜子 44 是部分反射的(R 的大小为 70% - 80%), 从而使得由这个激光腔 5 生成的光束通过。

这些镜子最好是弯曲的, 并且其弯曲半径被计算为允许光束具有小的发散, 例如参数 M² 约为 10。

另外, 空腔的长度根据脉冲的期限进行选择。

这两个弯曲镜子可以由两个组件代替, 这些组件分别包括一个发 10 散透镜和一个平面镜子。

在每个激光腔 2, 4 和 6 中, 最好使用相同的泵浦结构, 以便补偿多种能够出现的热效应。但是应该在两个激光棒 38a 和 38b 之间的任何位置上设置一个 90 度的偏振旋钮 46。

可以使用一个略微发散的透镜 46a 代替旋钮 46, 特别是位于两个 15 棒之间的中间位置。

另外, 可以使用这样设置的透镜和旋钮 46, 该旋钮还在两个棒之间, 在透镜附近。

这些激光棒的直径为 3mm - 6mm。

在试验中使用了一些直径为 4mm 由掺有 1.1% 的 Nd: YAG 制成的 20 棒。

另外, 在图 4 的实例中, 每个 Nd: YAG 棒被 40 个激光二极管泵浦, 每个二极管的功率为 30W 并且以 808nm 发射。

为了减小球形像差, 最好使每个棒的泵浦均匀。

为了提供每个脉冲激光, 在空腔中在光束路径上, 在最小发散的位置, 即在每个棒和偏振旋钮之间设置一些声学 - 光学脉冲启动装置, 从而可以以高速度启动这些脉冲。 25

每个声学 - 光学启动装置使用一种硅晶体, 其以压缩方式以 90W, 27MHz 的无线电波频率的功率进行工作, 这个功率通过一个 4mm 变换器使用在该晶体上。

在图 4 的实施例, 使用 2 个上述类型的声学 - 光学偏置装置 50 和 52, 它们受到控制装置 18 的控制并且设置在由激光棒 38a 和 38b 限制的空间内, 在偏振旋钮 46 两侧。 30

使用这两个声学-光学偏置装置 50, 52, 以便堵住具有对应于上述的平均功率的增益的该空腔。

控制装置 18 启动 EUV 源的工作, 并且允许按照微型光刻技术的要求调整其特征。如果需要, 在靶子处确定了激光腔 2, 4 和 6 的光脉冲的同时性。

如果光学路径的长度显著不同, 则特别允许了补偿这些差别并且产生对图 4 的装置所包含的所有的声学-光学偏置装置的启动, 以便实现用于光脉冲的同步性。

控制装置 18 包括:

10 - 向泵浦激光二极管 40a 和 40b (如果可能还有 40c) 供应电流的电流生成装置 (未示出) 和

- 一些模块化的无线电波频率的电流生成装置 (未示出), 用于以近似同步的方式控制每对声学光学偏置装置 50 和 52, 所述偏置装置的偏差最好小于 1ns。

15 另外, 这些控制装置 18 用于根据测量等离子体 (通过激光光束与靶子 16 相互作用产生的) 的光线的测量信号控制激光腔 2, 4 和 6, 这些测量信号是由一个或者多个合适的传感器, 例如传感器 54, 例如一个或者多个可以光谱过滤的快速硅光电二极管提供; 对于 EUV 光线来说, 该过滤可以通过铍以及通过钼-硅的多层镜子实现, 最好是双
20 层; 在观察等离子体的增加速度情况中, 应该改进过滤, 或者加入一个或者多个其它的快速光电二极管, 其过滤更加靠近可见光谱。

控制装置 18 还用于控制激光腔 2, 4 和 6, 由下面的情况决定:

25 - 测量激光腔 2, 4 和 6 的光脉冲能量的测量信号, 所述信号分别由合适的传感器 56, 58 和 60 提供, 例如具有积分装置的快速硅光电二极管, 和

- 测量激光腔 2, 4 和 6 的光脉冲的时间形式的测量信号, 这些信号分别由 3 个合适的传感器 62, 64 和 66 提供, 例如快速硅光电二极管, 这些传感器是与传感器 56, 58, 60 相同的传感器, 除此以外, 所述信号是从积分装置的上游取出的。

30 这些由偏置镜子 14 和聚焦的消色差的双透镜形成的光学装置选则用于使得与一些位置偏移空间叠加, 这些位置偏移小于一个占焦点 (点 P) 的直径很小的百分率, 例如 1% - 10%。

图 4 示出的激光器装置还包括一些用于改进脉冲的空间分布，脉冲的空间分布是由增加激光腔 2, 4 和 6 发射的光脉冲而导致的。用箭头 2, 4 和 6 表示的装置例如用于使消色散的双透镜 20, 22 和 24 移动，以便改进由双透镜提供的焦点的尺寸。

5 控制装置 18 可以用于彼此在时间上偏置，通过以合适的方式使激光腔的启动彼此偏置，激光腔 2, 4 和 6 发射光脉冲。

应该注意到图 4 的激光器装置没有被极化，与其它已知激光器装置相反，例如在文献 (5) 中描述的激光器装置。

事实上，用一些以 Nd: YAG 为基的激光器保持偏振是很困难的并且使得该装置复杂。然而，本发明的具有多路转换的模块化概念并不要求该激光器装置被偏振。

如果希望最高的循环速度，高于或者等于 10kHz，则最好放弃使用时间多路转换的变形实施例。这些来自 N 个激光器的脉冲 (N=10) 以精确相同的时间到达靶子。

15 本发明的实施例的变体在图 6 中被简示和部分示出。在这个变体中，使用了在将其在靶子 P 上聚焦之前，激光光束 8, 10 和 12 的空间多路转换。

为此，用两个穿孔的镜子 80 和 82 替换了两个最后的镜子 14 (图 4 的上面)，这两个最后的镜子 14 与光束 10 和 12 相连，两个穿孔镜子 80 和 82 与连接到光束 8 的最后的镜子 14 对齐 (图 4 的上部)。

因此，所述穿孔的镜子 80 使一部分光束 8 朝向靶子穿过并且反射一部分光束 10 向该靶子。设置一个光束停止装置 84 用于停止其余的光束 10 (没有朝向靶子反射)。

25 同样，其穿孔大于镜子 80 的穿孔的穿孔镜子 82 使一部分光束 8 和 10 朝向靶子通过，并且向靶子反射一部分光束 12。光束的停止装置 86 设置用于停止其余的光束 12 (没有向靶子反射)。

聚焦的消色差的双透镜 88 用于将来自对齐的镜子 14, 80 的光束聚焦在该靶子上。

30 本发明的另一个实施例的变体在图 7 中简示和部分示出。在一个变形中，一个用于反射的具有尖边缘的镜子 90 代替穿孔镜子 80。一个光束的停止装置 94 用于停止其余的光束 10 (不向靶子发射)。

还用具有尖边缘的另外的镜子 92 替换穿孔镜子 82，该另外的镜

子 92 用于朝向靶子反射一部分入射光束 12，使得一部分光束 8 和 10 在镜子 92 的周边通向该靶子。光束停止装置 96 用于停止其余的光束 12（没有朝向靶子反射）。

最好研究聚焦的消除色差的双透镜 20，22 和 88 使得可以减小像
5 差，但是它们可以用弯曲的镜子代替。

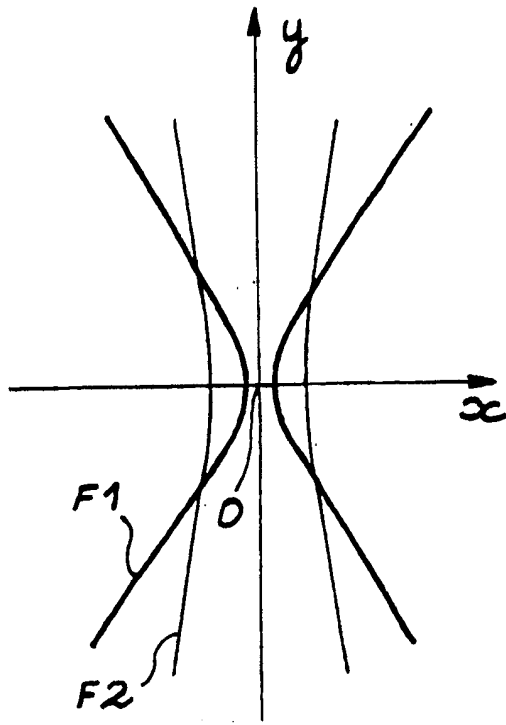


图 1

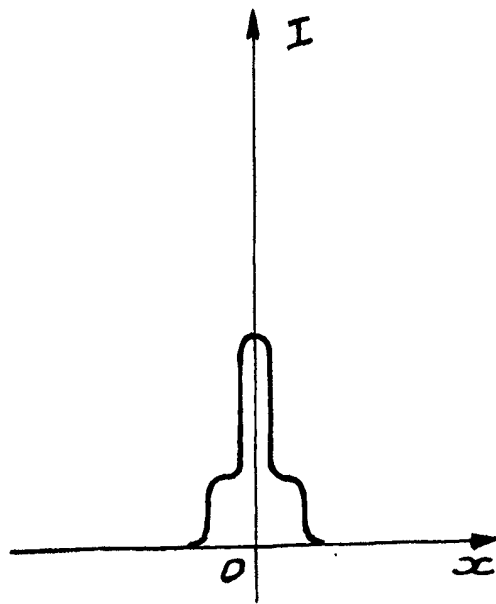


图 2

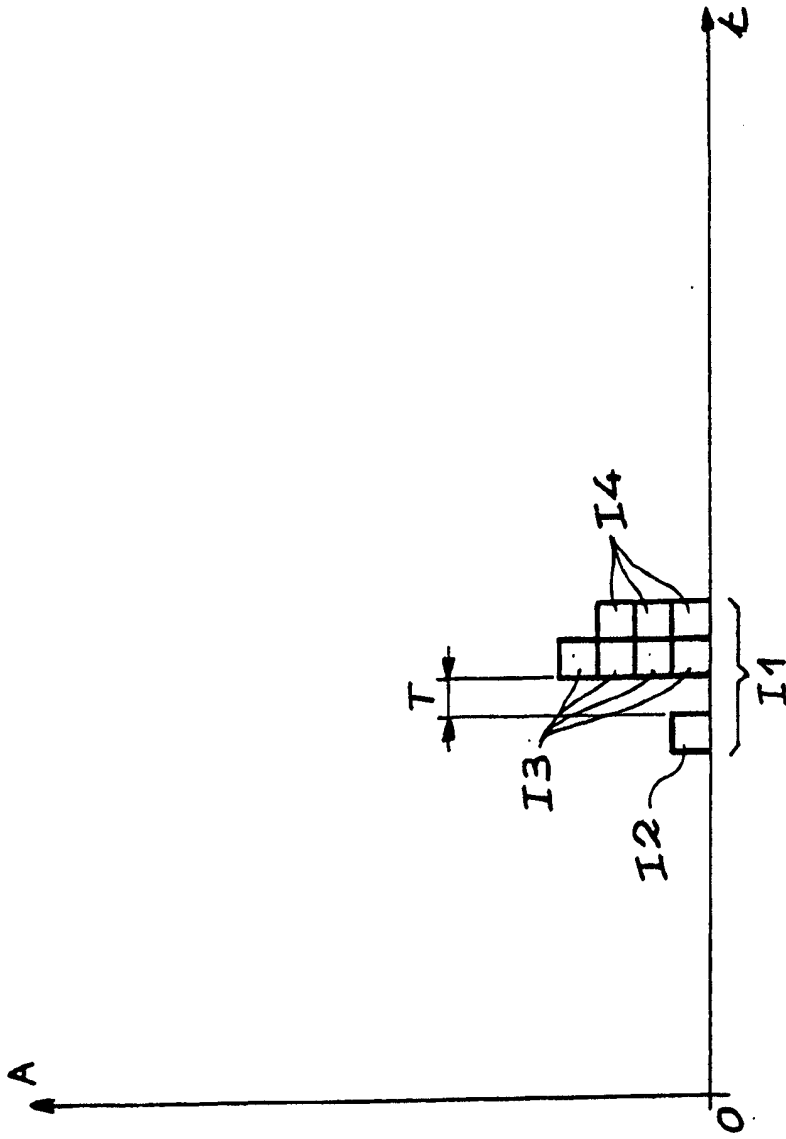


图 3

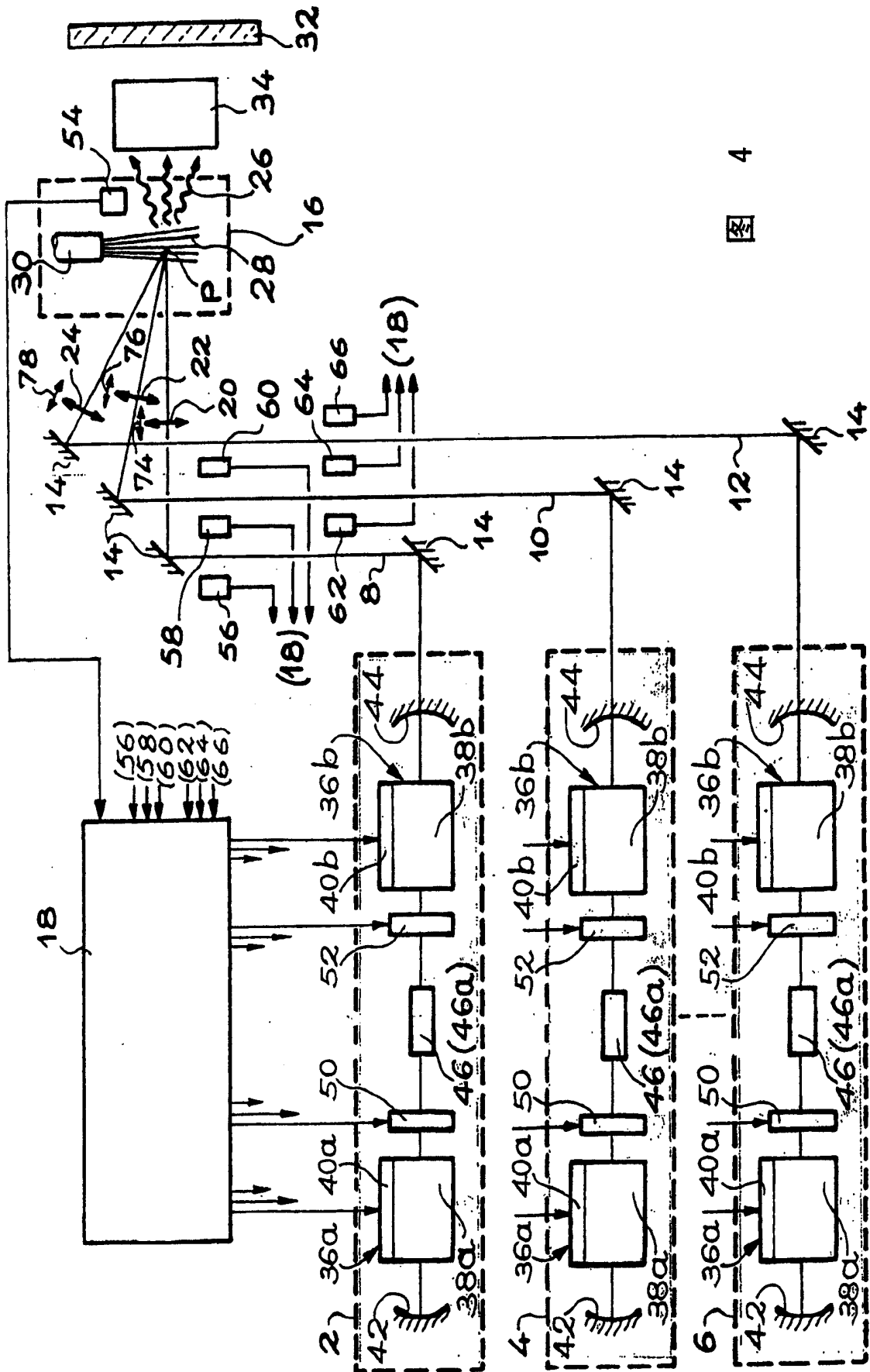


图 4

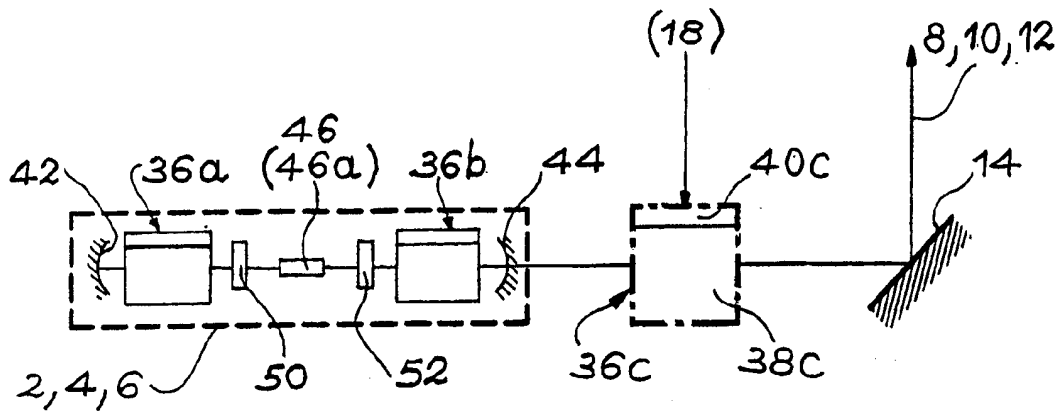


图 5

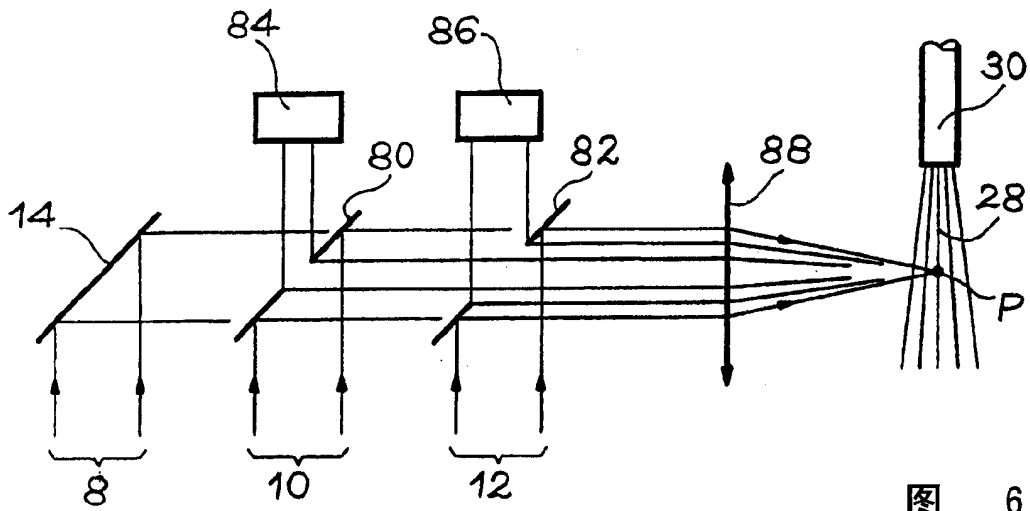


图 6

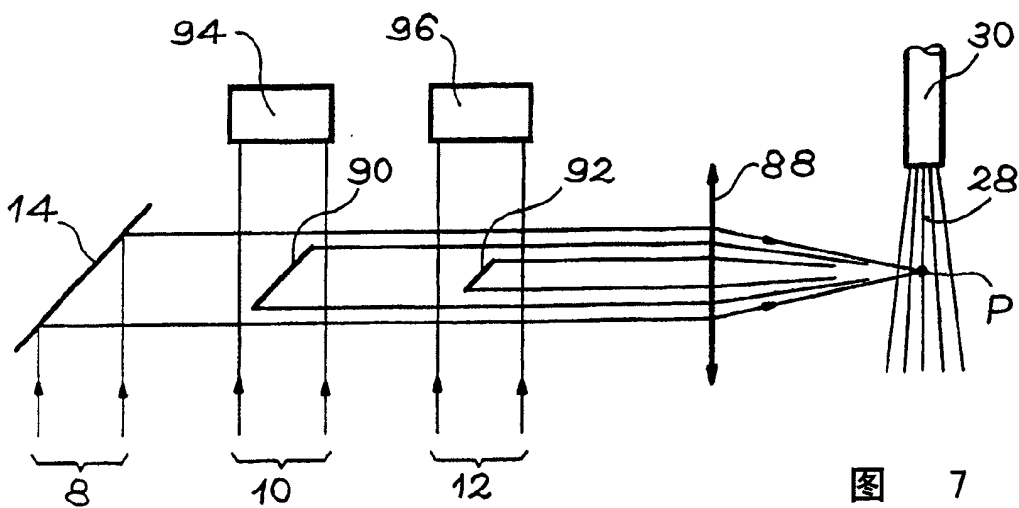


图 7