



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 95196237.X

[43]公开日 1997年11月26日

[11] 公开号 CN 1166145A

[22]申请日 95.9.15

[30]优先权

[32]94.9.19 [33]US[31]08 / 306,431

[86]国际申请 PCT / US95 / 11993 95.9.15

[87]国际公布 WO96 / 09128 英 96.3.28

[85]进入国家阶段日期 97.5.15

[71]申请人 大锅有限合伙入公司

地址 美国马利兰州

[72]发明人 A·C·恩格斯伯格

D·R·费兹帕特克

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

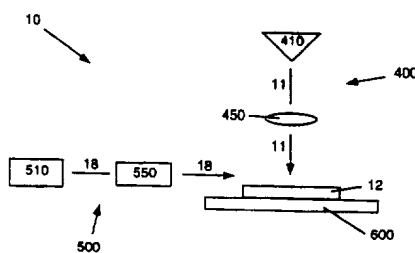
代理人 程天正 萧掬昌

权利要求书 2 页 说明书 25 页 附图页数 6 页

[54]发明名称 用辐照方法选择性清除物质

[57]摘要

一种用来从衬底表面选择性地消除不希望有的材料的设备和方法，它在不希望有的材料衬底表面上提供一个惰性气体流，同时用载能光子辐照不希望有的材料。本发明使得有可能清除不希望有的材料而不改变被清除的不希望有的材料下方或附近的材料的物理性质。本发明可用来产生表面形貌的改变（包括纳米结构和表面整平）。



# 权 利 要 求 书

1.一种用来从衬底被处理表面选择性地清除基本连续的不希望有的材料层而不影响待要留在不希望有的材料附近或下方的被处理表面上的所需要材料的物理性质的方法, 包含下列步骤:

5 横跨上述不希望有的材料, 引入一个基本上对上述衬底呈惰性的气体流; 以及

用空间和时间浓度足以从被处理表面释放不希望有的材料而不足以改变所需材料的物理性质的载能光子, 辐照上述不希望有的材料。

10 2.一种用来从衬底被处理表面选择性地清除基本连续的不希望有的材料层而不影响待要留在不希望有的材料附近或下方的被处理表面上的所需材料的物理性质的方法, 包含下列步骤:

横跨上述不希望有的材料, 引入一个基本上对上述衬底呈惰性的气体流; 以及

15 用能量和功率流水平足以击断不希望有的材料的形成键而不足以使所需材料的温度升高到可能改变所需材料的物理性质的程度的载能光子, 辐照上述不希望有的材料。

3.一种借助于从被处理表面选择性地清除不希望有的材料而不影响待要留在不希望有的材料附近或下方的被处理表面上的所需材料的物理性质, 从而在衬底的被处理表面上产生组构的方法, 包含下列步骤:

20 横跨上述不希望有的材料, 引入一个基本上对上述衬底呈惰性的气体流;

用功率和能量流水平足以从被处理表面清除不希望有的材料而不足以改变所需材料的物理性质的载能光子, 选择性地辐照上述不希望有的材料; 以及

25 从被处理表面清除形成所需结构所要求的空间图形中一定厚度的不希望有的材料。

4.如权利要求3的方法, 其特征在于, 还包含下述步骤:

在上述不希望有的材料上产生一个尺度适合于形成所需结构的辐照入射区; 以及指引上述入射辐照区横跨上述空间图形。

30 5.权利要求3的方法, 其特征在于, 还包含下述步骤:

在被处理表面和上述载能光子源之间安置一个对应于上述空间图

形的掩模；以及

通过上述掩模，基本上均匀地辐照被处理表面上的上述空间图形。

- 5 6.一种借助于从每个区域选择性地清除不同厚度的材料而不影响留下的材料的物理性质，从而使带有多个材料厚度不同的相邻区域的衬底的被处理表面实现整平的方法，包含下列步骤：

对各区确定其中材料的现有厚度；

将各个现有材料厚度与所需的材料厚度进行比较，并由此确定不希望有的材料的厚度；以及

- 10 对每个带有不希望有的材料厚度的区域，用空间和时间浓度足以从该区域清除上述厚度的材料而不足以改变留下的材料的物理性质的载能光子，选择性地辐照上述区域。

7.权利要求 1、2、3 或 6 的方法，其特征在于，其中所述的要保留在被处理表面上的材料是一种金属，而所述的待要清除的材料是上述金属的氧化物。

- 15 8.权利要求 1、2、3 或 6 的方法，其特征在于，其中所述的要保留在被处理表面上的材料是无机的，而上述要清除的材料是有机的。

9.权利要求 1、2、3 或 6 的方法，其特征在于，其中所述的要保留在被处理表面上的材料以及所述的要从被处理表面清除的材料，具有基本相同的化学组成。

- 20 10.权利要求 1、2、3 或 6 的方法，其特征在于，其中所述的要保留在被处理表面上的材料是石英，而上述要清除的材料是多晶硅。

11.一种用来减小带有平均表面平面并带有对此平均表面平面以一定角度排列的分立表面组成部分的被处理表面的粗糙度而不影响被处理表面物理性质的方法，它包含下列步骤：

- 25 横跨上述被处理表面，引入一个基本上对上述被处理表面呈惰性的气体流；以及

用能量和功率流水平足以击断被处理表面材料的形成键从而从被处理表面释放该材料而不足以改变留下的被处理表面材料的物理性质的载能光子，辐照上述被处理表面，上述光子是以倾斜于被处理表面的平均表面平面的角度加至上述被处理表面的。

30

# 说明书

## 用辐照方法选择性清除物质

### 发明的背景

5       本申请是1993年4月12日提交的美国专利申请 No. 08/045,165(此处将其结合进来作为参考并称为“母申请”)的部分继续申请,该申请是1992年3月31日提交的美国专利申请 NO. 07/865,039 的部分继续申请(此处将其结合进来作为参考并称为该“039 申请”),该申请是1990年11月9日提出的美国专利申请 NO. 07/611,198 而现为美国专利  
10 NO.5,099,557 (“557 专利”)的部分继续申请,该申请本身又是1988年7月8日提交的美国专利申请 NO. 07/216,903 而现为美国专利 NO.5, 024,968 (“968 专利”)的分案申请。

      本发明涉及到从表面清除物质。更确切地说,本发明涉及到用辐照的方法从衬底表面清除物质而不改变处于被清除物质下方或附近的待  
15 要保留在衬底上的物质的物理性质。

      从衬底表面有效地清除不希望有的物质,是许多重要的材料加工和产品制造工艺的一个关键步骤。如在本专利申请中所述,不希望有的物质(也可认为是沾污物)包括颗粒、不希望有的化学元素或化合物以及材料薄膜或材料层。颗粒可以是尺寸从亚微米到肉眼可见的细粒的分立  
20 物质。不希望有的化学物包括清除工序执行时不希望有的任何元素或化合物。例如,羟族(-OH)在某一工序阶段可以是一种衬底表面上需要的反应助催化剂,而在另一阶段可能是一种不希望有的沾污物。材料薄膜或层可以是诸如来自指纹的人体油、油漆和环氧树脂之类的有机物,或诸如衬底材料的氧化物或者衬底暴露于其中的其它无机物。

25       为使衬底更好地达到其使用目的,可能需要清除这类不希望有的物质。例如,在某些精密科学测量器件中,当器件中的光学透镜或平面镜被微细的表面沾污物覆盖时,其精度就受到损失。同样,在半导体中,由少量分子沾污物造成的表面缺陷常常使半导体掩模或芯片变得毫无用处。在石英半导体掩模中,即使少许降低分子表面缺陷的数量,也可以大大改善半导体芯片的成品率。同样,在片子上沉积电路层之前或在  
30 各层沉积之间,从硅片表面清除掉诸如碳或氧之类的分子表面沾污物,

也可显著地改善制得的计算机芯片的质量。

可做到衬底材料层的选择性清除，从而在衬底表面上形成极小尺寸的结构（所谓“纳米结构”）。无论是衬底材料、氧化层或其它的材料层，还可沿衬底表面按不同的量作选择性清除，从而改变衬底的表面形貌（诸如使粗糙的表面变平滑）。

5

材料加工设备需要经常处理以清除不希望有的物质，从而防止该设备所加工的产品受到沾污。例如，在生产过程中最终沾污硅片的大部分不希望有的物质从诸如放置片子的加工室、用来支持片子以通过石英炉管的石英装片舟（及炉管本身）以及使工艺气体进入工作室的气体管道之类的生产设备中放出。因此，定期清洗这些设备就能够显著地降低生产过程中片子所受的沾污水平。

10

通常，用来从衬底清除物质的任何工序都应该不影响需要保留的材料的物理性质。需保留不受影响的物理性质一般包括晶体结构、导电率、密度、介电常数、电荷密度、霍尔系数以及电子/空穴的扩散系数。在特殊的半导体应用中（诸如金属氧化物半导体（“MOS”）；场效应晶体管（“Fet”）；和双极结（“BJT”）），这些性质可包括 MOS 中的单位面积电容；结电容；Fet 中从漏到源的沟道电流；BJT 中从收集极到基极和从发射极到基极的电压；Fet 中从漏到源和从栅到源的电压；MOS 阈值电位；MOS 单位面积表面态电荷；以及存储延迟时间。而且，改变留下的材料的形貌（如表面粗糙度）可能是不可取的。

15

20

如在本专利申请中详细描述的那样，已提出了并正在使用着许多用来清除不希望有的物质的方法。这些方法包括湿法化学清洗（RAC 工艺）、稀释氢氟酸、强声与超声、超临界流体清洗、紫外和臭氧清洗、刷扫清洗、气相 HF、激光增强液体清洗（包括 Allen 工艺和 Tam 工艺）、表面熔化、退火、以及烧蚀。

25

另一种方法是等离子清洗，此法可在反应离子刻蚀（RIE）设备完成一定数量工序（例如一定数目的片子）之后用来清洗 RIE 的工作室。最佳等离子物质是氧、二氧化碳和氮，它们可用于各种不同的质量克分子浓度来清洗光学元件和硅表面。基于电子回旋共振（ECR）的等离子体是当前的工艺。这种清洗的效果局限于颗粒—清除薄膜看来有困难而且对电学参数有损害。

30

干冰（CO<sub>2</sub>）清洗（即所知的雪洗和 CO<sub>2</sub> 喷洗）是通过带有各种

喷孔的手持工具提供 CO<sub>2</sub> 雪花以清洗表面的方法。此法受限于颗粒在 CO<sub>2</sub> 雪花中的溶解度，例如，若该颗粒不溶于 CO<sub>2</sub>，则此颗粒就不会从表面被清除掉。而且，此法不能清除氧化物和聚合物薄膜。

5 所有这些方法都有一些缺点，包括：不能清除非常小的颗粒；引起下方衬底物理性质不希望有的变化；耗费大量超纯水和气之类的昂贵材料；以及产生有毒废品（为氢氟酸）。

10 薄膜，特别是氧化膜是一种需要从衬底清除的普通而麻烦的材料。暴露于氧化气氛（如空气）中的大多数材料都形成一个覆盖表面的天然氧化物。这种氧化层通常是一种基本上连续的氧化材料分子层。在大多数情况下，这种天然氧化层都是有害的，依赖于衬底材料如何使用。解决此问题的一个途径是使衬底材料保持在真空中以防止氧化物生长。已知的清除氧化膜的方法包括用王水、硫酸和氢氟酸之类的强酸对它们进行处理。

15 在半导体制造过程中，由于工艺图形不断变小，故从硅衬底清除天然氧化物（氧化硅）受到极大的关注。清除氧化物的现行方法是采用液相 HF，并正实验采用气相卤素和结合紫外辐照的气相卤素。见 B.Van Eck, S.Bhat, V.Menon 的“SiO<sub>2</sub> 的气相腐蚀及清洗”（Proceedings, Micro-contamination 92, Santa Clara, CA, Oct. 27-30, 1992, P694）； J.de Larios, W.Krusell, D.Mckean, G.Smolinsky, B.Doris, M.Gordon 的“从片子气相清洗痕量金属和有机沾污物：紫外辐照氧基和氯基化学”（Proceedings, Microcontamination 92, Santa Clara, CA, Oct.27-30, 1992, P.706; M. Miyashita, T.Tusga, K.Makihara, T.Ohmi 的“CZ、FZ 和 EPI 片子表面微粗糙性对湿法化学工艺的依赖”（J.Electrochem. Soc., 139(8), P. 2133(1992)); 以及 T.Ohmi 的“通过超净加工的 VLSI 可靠性”（Proceedings IEEE, 81(5), P716）。采用卤基化学由于是一种整体而非定点的清除方法，因而会损害相邻的电路。

25 清除表面氧化物对于制备在空间、汽车和建筑结构应用中用来替代焊接的金属衬底来说也是重要的。在修复风化了的金属表面和改进流通货币的质量方面也有用处。

30 另一重要处理工艺是在诸如压力传感器、加速计、原子力显微探针和微电机之类的衬底材料上或其中产生纳米结构（极小的物理结构）。所提出的产生纳米结构的一种方法涉及到结合掩模技术的化学腐蚀（可

用于大块微加工，其中的材料结构层建立在片子上，然后将牺牲层腐蚀掉），见 J.Bryzaek,K.Peterson,W.McCulley,IEEE Spectrum, 1994 年 5 月， P.20 。提出的另一方法涉及到材料的激光聚焦沉积，见 J.J.McClelland, R.E.Scholten,E.C.Palm,R.J.Celotta 的“激光聚焦原子沉积”（ Science, 262,P.877(1993)）。

5 另一重要处理工艺是平整化以消除或减小衬底表面的不均匀性。一个常用的整平方法是化学机械抛光（CMP），它采用专利悬浮混合液通过抛光垫将表面研磨成平坦水平。这一表面抛光提供了改进芯片性能的优点。CMP 整平是由“腐蚀停止层”和工序定时来控制的，因此不会发生过量抛光。这种工艺产生大量的沾污物（由悬浮液残留）而且很昂贵（每个片子平均成本约 \$ 35 ），这是由于悬浮液、水、抛光垫和刷扫清洁器所用刷子的消耗所造成的。与 CMP 相关的另一问题是从片子表面清除悬浮液残留物。用现今的刷扫清除工艺只对大约 0.5 $\mu\text{m}$  的颗粒有效。CMP 整平工艺的另一额外缺点是它不能同现今其它清洗方法组合到一起。

#### 发明概要

20 本发明借助于用具有足以清除不希望有的物质而不足以改变其下方衬底物理性质的空间和时间浓度（能量和功率流）的载能光子（energetic photon）来辐照不希望有的物质，而从衬底的处理表面选择性地清除不希望有的物质，从而解决了现有技术的问题并避免了现有技术的缺点。最好将气体连续地流过其表面以带走被清除的物质从而避免此物质重新沉积在被处理的衬底上。此气体最好对该衬底及对要清除的物质是惰性的。而且，为了最大限度地避免气流夹带的沾污物在被处理表面上沉积的可能性，气流最好是处于片流状态。

25 辐照源（载能光子的）可以是本技术领域所知的任何一种提供所需能量水平的光子的装置，包括脉冲或连续波激光器和高能灯。在诸如其其中感兴趣的键（bond）要求几乎同时加上多个光子的某些应用中，最好采用脉冲紫外激光器之类的大功率输出光源。

30 本发明表明可用来清除不希望有的基本上连续的有机和无机膜层。有机膜的清除包括从不锈钢或石英衬底上清除油漆和印记。无机氧化膜的清除包括从铬、钼合金、镍/铁合金、不锈钢、钽、钨、铜、铟、和锆上清除氧化物以及从石英上清除多晶硅。根据不希望有的物质和衬

底的性质和厚度，以及可获得的辐照源的性质，可能需要在连续处理中清除不希望有的物质。

表面形貌也可借助于适当采用处理工艺来加以修正。例如，在材料厚度较大的区域中可清除较多的材料，而在厚度较小的区域中可清除较少的材料，从而得到更为均匀的材料厚度。这可以有效地降低材料的表面粗糙度。光子源可在控制回路中与一个椭圆仪或其它表面计量器相耦合，以便提供反馈来监控各个区域中的材料清除。同样，以较小的角度辐照一粗糙表面可在表面更突出的部位提供更大的光子入射浓度，而不很突出的部位被隐藏从而接收到较少的光子浓度。因此从突出部位清除掉较多的材料，从而降低了表面粗糙度。

借助于选择性地辐照表明以从选定的区域将材料清除到选择的浓度，可得到纳米结构。

图 1 是根据本发明原理用来从衬底上清除不希望有的物质的方法和设备的示意图。

图 2A - B 是用来从选定衬底清除物质的二个测试设备的示意图。

图 2C 是第三设备的示意图，它相似于图 2A - B 中的设备，但带有一个更简单的光学系统。

图 3 是由图 2A - C 中任一设备在衬底上产生的入射辐照区图形的示意图。

图 4 是从衬底上选择性地清除物质以产生纳米结构的方法的示意图。

图 5 是整平工序之前的衬底示意图。

图 6 是用于图 5 衬底整平工序中的第一设备的示意图。

图 7 是倾斜地辐照表面所引起的衬底表面粗糙度选择性降低的示意图。

现详细参照本发明的最佳实施例，其例子示于附图中。所有附图中的相似参考号用来表示相似的组成部分。

### 1.基本的处理方法和设备

图 1 示出了用来从被处理的衬底表面清除不希望有的物质而不改变衬底物理性质的方法和设备。如图 1 所示，用来处理其中不希望有的物质要被清除的衬底 12 的设备 10，包括一个辐照系统 400、一个气体系统 500 和一个相对运动系统 600。辐照系统 400 包括一个辐射 11（由



载能光子组成)的激光器之类的源 410 和将辐射 11 引向衬底 12 被处理表面的适当的发送镜 450。气体系统 500 包括一个气体 18 的源 510 和一个用来使气体 18 至少流过加有辐射 11 的衬底表面的一部分的相关输送系统 550。气体 18 最好对衬底 12 是惰性的且流过衬底 12 以便在非反应性气氛中冲洗衬底 12。气体 18 最好是氩、氮或氦之类的化学惰性气体。相对运动系统 600 提供被处理衬底 12 表面部位和辐射 11 (还可以是气体 18) 之间的相对运动。

设备 10 的每一组成部件 (辐射源 410、发送光学部件 450、气源 510、气体输送系统 550 以及相对运动系统 600) 可以如本专利申请所述, 而且很容易由工作者选择来组成根据本发明原理的设备。例如, 发送镜 450 可包括平面镜、透镜、光纤、平行光管、光圈和其它元件。气体输送系统 550 可包括导管、工作室、气路、阀门、过滤器、流量计和其它元件。相对运动系统 600 可以是任何一个用来使衬底 12 相对于辐射 11 和气体 18 作平移和旋转运动的适当系统, 而且可包括一个用于衬底平面移动的平移台、一个用来旋转衬底的旋转装置, 或者在发送镜中使辐射 11 沿衬底扫描的可动元件。下面更详细地描述设备 10 的实施例。

根据本发明的方法, 载能光子以足以从衬底被处理表面上清除不希望有的物质而不足以改变希望留在衬底表面上的材料的物理性质的空间和时间浓度 (能量和功率流) 照射在衬底被处理的表面上。

为了清除不希望有的物质, 必须击断使其附着于被处理表面下方和邻近物质 (可以是同一材料、衬底材料或一种第三材料) 的键。借助于引入至少等于键的形成能的能量来击断每个这种键。普通衬底材料的键形成能 (即形成键时释放的能量) 示于下表 1a。所示键能处于材料元件本身 (如 Cr-Cr) 之间和材料元件与氧之间 (如 Cr-O)。下表 1b 示出了各种碳化合物的键形成能。

表 1a

元素	键形成能 (eV/键)	
	本身	氧 (O)
O		52
Cr	1.6	4.5
Si	34	8.3
Mo	42	5.8
Fe	1.0	4.1
Ni	2.1	4.0
Er		6.4
Zr		8.1
Ta		8.3
W		7.0

表 1b

元素	键形成能 ( eV/键 )
C	6.3
Cl	4.1
F	5.7
H	3.5
Mo	5.0
O	11.2
Si	4.7
Zr	5.8

5

当光子携带的能量以大于键形成能的量传给键时，此键就被击断。据信在这种键击断过程中存在着固有的能量无效性，因此，所需的光子能量约为键形成能的二倍。如从表 1a 可见，氧化物键合能约为 4.0-8.3eV，而有机（碳）键合能约为 3.5 - 11.2eV。这样就需光子能量约为 7 - 22eV。

10

光子的能量依赖于其波长，关系如下：

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

其中  $c$  是光速 (  $3.00 \times 10^8 \text{m/s}$  )， $\lambda$  是波长 (  $\text{m}$  )，而  $h$  是普朗克常数 (  $4.14 \times 10^{-15} \text{eVsec}$  )。因此，光子源的选择依赖于所需的光子能量，因而依赖于所需的波长。下面表 1c 中示出了各种激光器。表中示出了激光器介质（且示出了介质是气体(g)、液体(l)、固体(s)或等离子体(P)）、光子波长 $\lambda$  ( nm ) 以及光子能量  $E_{ph}$  ( eV )。对于连续波激光器，还示出了平均功率  $P_{ave}$  ( W )，而对于脉冲激光器，示出了单位脉冲能量  $E_{pulse}$  ( J )、典型脉冲持续时间  $t_{pulse}$  ( ns ) 以及脉冲峰值功率  $P_{peak}$  ( MW )。

15

20

表 1c

介质	$\lambda$ (nm)	$E_{ph}$ (eV)	$E_{pulse}$ (J)	$t_{pulse}$ (ns)	$P_{ave}$ (W)	$P_{peak}$ (MW)
C(6+) (p)	18	68.242	2.00E-03	50		4.00E-02
ArF 多激准分子 (g)	193	6.435	5.00E-01	50		1.00E+01
KrF 多激准分子 (g)	248	5.008	5.00E-01	34		1.47E+01
He-Cd (g)	442	2.810			1.00E-02	
Ar+ (g)	515	2.412			1.00E+01	
若丹明 - 6G 染料 (l)	560	2.218			1.00E-01	
	640	1.941			1.00E-01	
He-Ne (g)	633	1.962			1.00E-03	
Kr+ (g)	647	1.920			5.00E-01	
红宝石 (s)	693	1.792	5.00E+00	50		1.00E+02
Ti(3+):Al2O3 (s)	660	1.882			1.00E+01	
	1180	1.053				
Nd(3+):玻璃 (s)	1060	1.172	5.00E+01	50		1.00E+03
Nd(3+):YAG (s)	1064	1.167			1.00E+01	
KF 色心 (s)	1250	0.994			5.00E-01	
	1450	0.857			5.00E-01	
He-Ne (g)	3390	0.366			1.00E-03	
FEL (LANL)	9000	0.138	1.00E-03	50		2.00E-02
	40000	0.031	1.00E-03	50		2.00E-02
CO2 (g)	10600	0.117			1.00E+02	
H2O (g)	118700	0.010			1.00E-05	
HCN (g)	336800	0.004			1.00E-03	

25

30

5 将上述激光器的光子能量与普通衬底材料的上述所需能量进行比较（并考虑到预计的无效性），显然在大多数情况下，单个光子的能量不足以击断有关的键。但相信若多个光子在极短的时间内即几乎同时地冲击键，则可由多个光子来提供这一断键能量。

10 由于为了击断每个键而需要一定量的能量，故为了从衬底被处理的表面清除给定数量的不希望有的物质所需的总能量（因而也是给定能量的光子的总数）一般正比于该数量物质中的键数。相信光子只在被处理表面的界面区（即最顶部一二个原子或分子层（单层））中与键发生相互作用。因此，为了清除基本上连续的材料层（如氧化物层），考虑单层中的材料的单位表面面积和厚度是有帮助的。于是，对于一个给定的  
15 表面面积，清除一定厚度材料（或单层数）就要求有效地利用给定量的能量（光子数）。当然，不是所有撞击衬底被处理表面的光子都对键击断有贡献—相信只有小部分光子有助于键击断。据信这至少部分地是因为光子能量吸收的有效位置（键或其部分）只占据少部分的表面面积。但至少对于给定的材料，相信在所要求的光子实际数目和基于要击断的  
20 键数的理论数目之间存在相对恒定的关系。因此，要考虑的相关参数是加至衬底被处理表面的能量流（单位面积的能量，即单位面积的光子数），它对应于清除的不希望有的材料的厚度。

如上所述，有些情况下，有关的键所需的能量比选定辐射源发射的单个光子所携带的能量更多。此处将这种键称为“多光子键”。如上所  
25 述，若多个光子同时撞击键，相信二个或更多个光子的能量会被加在一起以提供击断一个多光子键所需的能量。这意味着键位处光子的到达率，这是一个功率流（单位时间单位面积的能量）。而且，相信对多光子键击断有一个几率性。对于衬底面积上一个给定的平均功率流，在任一给定的键位处存在一个平均光子到达率。但实际的光子到达率应该围  
30 绕此平均值随机分布。因此，若存在一个光子能量可发生相加以击断多光子键的最小光子到达率（光子之间的最大时间间隔），则加于给定面积的对应于最小到达率的平均功率流将冲击暴露于所需到达率（或更

大)的该面积中大约一半的键位。相反,即使平均功率流稍低于产生最低要求的光子到达率所需的功率流,也可望光子会在所要求的时间间隔内到达某些键位。

5 总之,为了从衬底被处理的表面清除给定厚度的不希望有的物质,必须将最小总能量流(单位面积给定能量水平的光子总数)加至不希望有的物质。若涉及到多光子键,则也要求一定的功率流,而且功率流越高,每个键位承受所需的光子到达率的机会就越大。因此,恰当的载能光子源的选择就要求评估所需的光子能量,而且对于多光子键还要评估可利用的功率。从下面提出的数据能明了,为了清除氧化物和有机膜(它们具有高的多光子键能),最佳的光子源是脉冲紫外激光器,这种激光器具有最高的峰值功率电平和高的光子能量。

10 一个对抗性考虑限制了能够加到衬底被处理表面上的能量和功率流,即需要避免改变待要留在表面上的材料的物理性质。通常,材料物理性质的改变由材料的温度升高到某一阈值以上而引起。由辐射能量引起的材料表面温度的改变依赖于材料热传导特性和所加辐射的功率和能量流。需要进行实验才能找出可以加到给定衬底材料的最大功率和能量流。依赖于蒸发、烧蚀或表面熔化的现有技术激光清洗技术在引起衬底材料状态改变所需能量和功率流方面提供了一些指南。

20 通常,光子最好垂直指向被处理衬底部位的表面,以便来自光子源的给定输出在表面上的功率和能量流尽可能大。但为了在特殊情况下实现工艺的方便和必要,光子也可相对于衬底以一定角度导入。当然,表面处的能量和功率流会随光子相对于表面的入射角的正弦而改变,在选择光子源的输出时必须考虑这一点。在某些情况下,可能最好以一倾斜角将辐射引到衬底,以便最佳地辐照从而清除材料中的尖峰从而使材料平滑。

## 2.测试设备

25 在下列例子中采用了二组测试设备(此处称为设备A和B)。图2A示意地示出了设备A。在此设备中(图中示为10A),辐射源是Lambda Physik出售的LEXtra 200型脉冲KrF准分子激光器411。此激光器的波长为248nm(对于5.01eV的光子能量),每脉冲的最大输出能量为600mJ,固定脉冲时间长度为34ns(对于17.65MW的单位脉冲最大功率)。最高脉冲重复速率为30Hz,它产生18W的最大平均功

率。在激光输出处的辐射束为  $23\text{mm} \times 13\text{mm}$ 。

按辐射束 11 离开激光器 411 的顺序，辐射发送系统 450 包括一个光圈板 452、 $45^\circ$  旋转平面镜 453、454、455 和 456 以及可调焦透镜 457。光圈板 452 是一个带有 6mm 宽和 25mm 长的矩形光圈的平板，  
5 用来挡去发自激光器 411 的光子的高斯分布的“拖尾”，使辐射束 11 的能量空间分布沿垂直于束的平面大致均匀。旋转平面镜 453 和 454 都是 500mm 平面镜，而 455 和 456 是 25mm 平面镜。可调焦透镜 457 是一个 25mm 宽、37mm 长、焦距为 75mm 的柱形透镜。借助于选择聚焦透镜 457 到衬底 12 表面的高度以及透镜的方位（凹侧向上或向下），  
10 可调节衬底表面处束斑的宽度。所有光学元件都涂覆有对 248nm 光的抗反射膜。

第二设备（即图 2B 所示设备 B）的发送系统 450 除略去了第一旋转平面镜 453（同时激光器 411 和光圈板 452 相应地重新定向  $90^\circ$  以直指旋转平面镜 454）以及旋转平面镜 455 为 50mm 而不是设备 A 中的  
15 25mm 之外，其它都与设备 A 完全相同。带有更简单的因而也是最佳的光路的第三设备（不用于本实验）示于图 2C。

辐射束 11 被大致垂直于其上安装有衬底 12 的平台 610 而发送。如图 3 所示，平台 610 可沿 X 和 Y 方向平移（平行于平台表面，在图 3 中由箭头 X 和 Y 示出）。辐射束 11 产生一个大致矩形的入射辐照区  
20 611，其宽度为 W，长度为 L。由平移平台 610 将区域 611 扫过衬底 12 的表面。

气体输送系统 500 包括一个串接于双级调节器的 4500 升容量液氮柱瓦瓶、一个潮气/氧吸附器（MG Industries Oxisorb 型，吸附浓度到 0.01ppb）、一个 Millipore 304 型颗粒过滤器（过滤到  $0.003\mu\text{m}$ ）、  
25 一个流量计、一个美国 Filter Membralox 过滤器（过滤到  $0.001\mu\text{m}$ ）、然后到喷嘴 551，终止于区域 611 附近。喷嘴 551 在区域 611 上放出气流 18 且相对于区域 611 保持固定，以便平台 610 和衬底 12 相对于它平移。此气体输送系统可用于对典型的大气气体不敏感的材料，而且比需要在处理过程中将衬底隔离于大气的设备（如本专利申请所公开的）更简  
30 单。

安装了一个摄象机 700 以观察区域 611 从而提供处理结果的视频数据。

在所示实施例中，当辐射束 11 加至衬底 12 表面时，平台 610 先沿 X 方向纵向平移，在衬底 12 上产生一个暴露于辐射束 12 的拉长了的矩形幅区 612。平台 610 可转回到起始位置，沿 X 方向再平移，使辐射束 12 在幅区 612 上再通过一次。在通过一次或更多次之后，平台 610 可沿 Y 方向横向平移一个大约等于长度 l 的距离，然后再通过 X 方向形成邻近于先前幅区 612 的另一个幅区。于是，待要处理的衬底 12 表面就相继暴露于辐射束 11 和气体 18 的气流。

在激光器 411 的每个脉冲过程中，由辐射束 11 加至衬底 12 表面上任何一点的能量流（单位面积的能量），等于表面处的脉冲能量除以此能量所分布的面积。可表为：

$$F_{eps} = \frac{E_{ps}}{l \cdot W}$$

其中  $F_{eps}$  是表面处单位面积的脉冲能量流（ $J/cm^2$ ）， $E_{ps}$  是表面处的脉冲能量（ $J$ ）， $l$  和  $w$  是区域 611 的长度和宽度（ $cm$ ）。同样，脉冲功率流（ $F_{pps}$ ）可计算为：

$$F_{pps} = \frac{F_{eps}}{t_p}$$

其中  $t_p$  是激光脉冲持续时间。

存在着与辐射束 11 通过光路和光圈板相关的能量损耗。于是，表面处的激光脉冲能量（ $E_{ps}$ ）小于发射的激光脉冲能量。LEXtra200 激光器包括一个带有可用来记录实验过程中激光器能量输出的脉冲能量计的微型控制器。但此内置脉冲能量计不很准确。为了提供更准确的能量测定，测试设备要校准以提供一个加至内置脉冲能量计读数从而得到更准确读数的修正因子。因此，用 Molelectron J50 探测头和置于被处理表面位置处的 JD1000 焦耳计来测量表面处的激光脉冲能量（ $E_{ps}$ ），并将测得的能量读数与该内置计的脉冲能量读数（ $E_{pm}$ ）进行比较。这样就得出了包括光路损耗和仪表不准确性二者在内的修正因子（ $R_{correction}$ ）。

$$E_{ps} = E_{pm} \cdot R_{correction}$$

此修正因子不是常数，已发现它随激光器的输出电平大致线性变化。脉冲能量依赖于激光器的电压输入（ $V_I$ ），此电压可调节到约

17-22KV 之间。对于一个给定的电压设定，激光器输出能量（如内置计所指示的）依赖于诸如激光器气体供应水平之类的因素而变化，致使此电压不能直接用作脉冲能量的度量，而代之以读取内置计。为方便起见，修正因子计算成电压设定的函数，然后加至读自内置计的能量。修正因子有下列形式。

$$R_{correction} = \frac{1}{m \cdot V_1 + b}$$

其中  $m$  是线性关系的斜率， $b$  是截距。

二种测试设备的  $m$  和  $b$  值示于下面的表 2a。

表 2a

因子	设备 A	设备 B
$b$	1.20	0.74
$m$	0.029	0.066

10 于是，被处理表面处的单位脉冲能量为：

$$E_{ps} = \frac{E_{pm}}{m \cdot V_1 + b}$$

在所示实施例中，幅区 612 由一系列分立的区域 611 组成（如图 3 中剖示图所示第二区 611' 所示）。611' 区偏离 611 区的距离  $\Delta X$  是激光脉冲之间的时间（即激光脉冲重复速率  $RI$  的倒数）与平台 610 平移速度（即扫描速度  $V_s$ ）的乘积。因此，传给衬底上一给定点的能量流是单位脉冲能量流（ $F_{eps}$ ）和此点暴露到的激光脉冲数（ $N_{pe}$ ）的乘积。脉冲数  $N_{pe}$  等于 611 区的宽度除以脉冲之间平台移动的距离  $\Delta X$ 。当然，若  $W$  不是  $\Delta X$  的整数倍，而每个点必须接收整数个数的脉冲，则不是每个点都接收相同个数的脉冲。但上述关系可较准确地确定加至各幅区 612 的平均能量。而且，在开始另一幅区之前，平台可不横向移动位，而可保持在同一横向位置，并在同一位置加另一幅区 612，这样就在衬底上作出另一“通过”。因而传送的总能量流（ $F_{et}$ ）等于每次通过的能量流（ $F_{epa}$ ）乘以通过的次数（ $N_{pa}$ ）。

于是，加至衬底 12 表面的平均能量流可计算为：

$$25 \quad F_{epa} = \frac{F_{eps} \cdot R_I \cdot W}{V_s}$$

将单位通过的能量流 (  $F_{epa}$  ) 乘以通过次数, 就得到加于给定点的总能量流:

$$F_{et} = F_{epa} \cdot N_{pa}$$

在下列实验数据中, 测试参数如下面表 2b 所示。

5

表 2b

参数	项目	单位
$E_{pm}$	脉冲能量 (表指示)	mJ
$E_{ps}$	脉冲能量 (表面上实际值)	mJ
$F_{eps}$	单位脉冲能量流 (表面处)	J/cm <sup>2</sup>
$F_{pps}$	单位脉冲功率流 (表面处)	MW/cm <sup>2</sup>
$F_{epa}$	每次通过的平均能量流	J/cm <sup>2</sup>
$F_{et}$	总能量流 (总通过次数的)	J/cm <sup>2</sup>
$I$	611 区的长度	mm
$N_{pl}$	撞击该点的有效脉冲数	--
$N_{pa}$	通过次数	--
$R_g$	气体供应速率	ml/s
$R_1$	激光重复速率	s <sup>-1</sup>
$V_s$	激光扫描速度	km/s
$V_1$	激光器电压	KV
$W$	611 区的宽度	mm

在所有的测试中, 被处理表面上的氮气流量在 250 - 500ml/s 之间。

### 3. 清除氧化膜的例子

10 在下列例子中说明了上述基本处理方法和设备在氧化膜上的应用。在各个例子中, 在一个或更多个氧化衬底材料的样品上进行了一系列处理“操作”。每个操作由处理衬底表面上单个幅区 612 (在幅区上通过一次或更多次) 组成。除非另有说明, 样品都是在平坦表面上处理 (如溅射靶的平坦面上)。

根据六个点清洗率 (  $R_c$  ) 标度, 将处理效率分类如下面表 3a 所示。

表 3a

$R_c$	含意
1	完全清除



2	要求额外的通过
3	要求多次通过
4	清除不良, 要求改变工艺条件
5	勉强够格的条件
6	未清除

在这些试验中, 目的是以尽量少的通过 (最好是一次通过) 和尽量高的平台速度将所有的氧化物清除掉而不损伤被处理表面。这相当于商业应用的最大处理速率, 即在尽量短的时间内处理一个衬底。如上所述, 相信关键的工艺参数是单位脉冲的能量流 ( $F_{eps}$ )、直接相关 (34ns 固定的脉冲持续时间) 的单位脉冲功率流 ( $F_{pps}$ ) 和总能量流 ( $E_{ft}$ )。借助于调节脉冲能量 ( $E_{ps}$ )、激光脉冲重复速率 ( $RI$ )、平台速度 ( $V_s$ ) 和入射区宽度 ( $W$ ), 可改变这些工艺参数。

#### a. 铬溅射靶

在本例中, 用设备 B 来处理氧化了的铬溅射靶。此溅射靶 (以及下述各实验中所用的其它溅射靶) 长约 21cm, 形状稍许椭圆, 最大宽度为 9cm。进行了一系列 9 个操作, 其结果总结于下面的表 3b 中。

表 3b

Run	VI	Epm	Eps	RI	vs	l	w	Feps	Fpps	Npl	Fepa	Npa	Fet	评价	Rc
2	18	275	143	20	5	23	2.90	0.21	6.3	11.6	2.48	1	2.48	未观察到清除	6
3	18	273	142	30	5	23	2.90	0.21	6.2	17.4	3.69	1	3.69	与 R2 相同, 改变参数	6
4	18	279	145	30	5	23	2.05	0.31	9.0	12.3	3.78	1	3.78	未观察到清除	6
5	19	348	175	30	5	23	2.05	0.37	10.9	12.3	4.55	1	4.55	未观察到清除	6
6	20	390	189	30	5	23	2.05	0.40	11.8	12.3	4.94	1	4.94	勉强够格的/窄的宽度	5
7	20	390	189	30	5	23	0.90	0.91	26.9	5.4	4.94	1	4.94	清除了	1
8	19	348	175	30	5	23	0.90	0.84	24.8	5.4	4.55	1	4.55	清除了	1
9	19	351	176	30	10	23	0.90	0.85	25.0	2.7	2.30	1	2.30	清除了, 但需提高 E	5
10	20	396	192	30	7	23	0.90	0.93	27.3	3.9	3.58	1	3.58	清除了/指纹	1

15

20

这些数据表明, 加于各操作的单位脉冲的功率流水平跨越了对于多光子键的一个阈值水平。对于大于约 12MW/cm<sup>2</sup> 的  $F_{pps}$  值, 甚至对于  $F_{epa}$  的恒定值 (例如操作 5 - 7) 然后对较低的  $F_{epa}$  值 (为操作 8 - 10), 都得到了良好的清除。

#### b. 铈溅射靶

25

在本例中, 用设备 B 处理氧化了的铈溅射靶。结果总结在下面的表 3C 中。

表 3c

Run	VI	Epm	Eps	Rl	vs	l	w	Feps	Fpps	Npl	Fepa	Npa	Fet	评价	Rc
1	18	303	157	20	5	23	2.90	0.24	6.9	11.6	2.73	1	2.73	一次通过后留下浅蓝色氧化物	1
1a	18	303	157	20	5	23	2.90	0.24	6.9	11.6	2.73	1	2.73	一次已够, 作了二次通过	1
2	19	354	178	20	10	23	2.90	0.27	7.8	5.8	1.54	1	1.54	一次通过清除了氧化物	1
3	20	390	192	20	15	23	2.90	0.29	8.5	3.9	1.12	1	1.12	一次通过清除了氧化物	1
5	20	414	201	20	20	23	2.90	0.30	8.9	2.9	0.87	1	0.87	一次通过清除了氧化物	1
6	20	414	201	20	25	23	2.90	0.30	8.9	2.3	0.70	1	0.70	一次通过清除了氧化物	1
7	20	423	205	30	50	23	2.90	0.31	9.1	1.7	0.54	1	0.54	形成衍射图形	5

5

所观察到的蓝色氧化物据信是氧化铯或溅射靶相互作用的某些其它副产品。所有操作都由相同的 2.9mm 束宽度进行, 而激光脉冲能量 Eps (即脉冲功率流 Fpps) 由一个操作到下一操作稍许增大而扫描速率显著提高。前二个操作得到部分清洗, 而后续的各操作 (Fpps 值稍大, 约为 8MW/cm<sup>2</sup>), 以不断降低的总能量流 Fet 而得到良好的清洗, 0.7J/cm<sup>2</sup> 仍提供了良好的清洗。这再次表明 Fpps 的多光子键阈值在操作 2 和 3 之间。

10

15

在操作 7 中, 为使总能量流降低到不足以清除氧化物的水平, 平台速度 Vs 被提高到 50mm/s。此操作产生沿 X 方向的残留氧化物线的“衍射”图形, 表明保留有氧化物的那些区域与中间清洗过的区域所受能量或功率流的暴露不一样。虽然速度没有高到相继入射区 (611) 不重叠 (在 30/s 的激光重复速率下, 脉冲之间衬底移动 1.6mm 距离, 这小于入射区的宽度 2.8mm), 但观察到的效应可能有光子沿入射区 611X 方向的高斯分布的特征。

20

**c. 铯溅射靶**

在本例中, 用设备 B 处理氧化了的铯溅射靶。结果总结在下面的表 3d 中。

25

表 3d

Run	VI	Epm	Eps	Rl	vs	l	w	Feps	Fpps	Npl	Fepa	Npa	Fet	评价	Rc
1	18	279	145	20	3	23	2.90	0.22	6.4	19.3	4.19	1	4.19	一次通过清除了	1
2	18	279	145	20	5	23	2.90	0.22	6.4	11.6	2.52	1	2.52	一次通过清除了	1
3	18	279	145	20	5	23	2.90	0.22	6.4	11.6	2.52	2	5.03	一次通过已够, 作了二次通过	1
4	19	366	184	20	5	23	2.90	0.28	8.1	11.6	3.19	1	3.19	一次通过清除了	1
5	19	366	184	20	8	23	2.90	0.28	8.1	7.3	2.00	1	2.00	一次通过清除了	1
6	19	366	184	20	10	23	2.90	0.28	8.1	5.8	1.60	1	1.60	一次通过清除了	1
7	20	417	202	20	15	23	2.90	0.30	8.9	3.9	1.17	1	1.17	一次通过清除了	1
8	20	417	202	20	20	23	2.90	0.30	8.9	2.9	0.88	1	0.88	一次通过清除了	1

30

如前例, 所有操作都以 2.9mm 的相同束宽进行, 而由一个操作到

下一个操作的脉冲能量  $E_{ps}$  (也是脉冲功率流  $F_{pps}$ ) 稍许增大, 而扫描速率显著提高。总能量流相继降低时, 每一操作都得到良好的清洗, 大约  $0.9J/cm^2$  仍提供良好的清除。

#### d. 钽夹具

- 5 在此例中, 用设备 B 处理氧化了的钽圆筒形夹具。由于夹具是圆筒形, 故处理表面为弯曲面, 且平台的线性平移能力不适于在表面上平滑地扫描束入射区 611。因此, 手动地转动夹具, 其转速使入射区不重叠。因此, 下面表 3e 所示的数据可用于孤立的入射区。

表 3e

10

Run	VI	Epm	Eps	HI	vs	l	w	Feps	Fpps	Npl	Fepa	Npa	Fel	评价	Rc
1	19	315	158	30	m	23	0.57	1.20	35.4	1	1.20	1	1.20	清除了氧化物, 有些损伤	5
2	19	291	148	30	m	23	0.57	1.13	33.3	1	1.13	1	1.13	清除了氧化物, 有些损伤	5
3	18	264	137	30	m	23	0.57	1.04	30.7	1	1.04	1	1.04	清除了氧化物, 有些损伤	5
4	18	267	138	30	m	23	1.2	0.50	14.8	1	0.50	1	0.50	清除了氧化物, 无损伤	1
5	19	327	164	30	m	23	1.2	0.59	17.5	1	0.59	1	0.59	清除了氧化物, 无损伤	1
6	20	351	173	30	m	23	1.2	0.63	18.5	1	0.63	1	0.63	清除了氧化物, 无损伤	1
7	20	414	201	30	m	23	1.2	0.73	21.4	1	0.73	1	0.73	清除了氧化物, 无损伤	1

15

此数据表明约为  $0.5J/cm^2$  的能量流适合于从下方的钽衬底清除氧化钽。在大于约  $22MW/cm^2$  的功率流下 (在操作 1 - 3 中), 产生了一些损伤, 观察到了衬底表面的变黑。

#### e. 钨坩埚

- 20 在此例中, 用设备 B 处理氧化了的钨坩埚。此坩埚长约  $10cm$ , 宽  $2.5cm$ , 为细长的碟形 (在区域中约半个圆筒被处理)。表 3f 所示的数据包括在内侧凹面上的操作 1 - 3 和在外侧凸面上的操作 4 - 7。

表 3f

25

Run	VI	Epm	Eps	HI	vs	l	w	Feps	Fpps	Npl	Fepa	Npa	Fel	评价	Rc
1	19	330	165	30	5	23	0.63	1.14	33.6	3.8	4.32	1	4.32	一次通过清除了	1
2	19	330	165	30	5	23	0.63	1.14	33.6	3.8	4.32	2	8.63	一次通过清除了, 作了第二次通过	1
3	19	330	165	30	8	23	0.63	1.14	33.6	2.4	2.70	1	2.70	一次通过清除了	1
4	21	414	195	30	8	23	0.63	1.34	39.5	2.4	3.17	1	3.17	一次通过清除了	1
5	21	405	190	30	12	23	0.63	1.31	38.7	1.6	2.07	1	2.07	一次通过清除了	1
6	22	438	200	30	15	23	0.63	1.38	40.6	1.3	1.74	1	1.74	一次通过清除了	1
7	22	429	196	30	20	23	0.63	1.35	39.7	0.9	1.28	1	1.28	一次通过清除了	1

30

这些数据表明在低达约  $1.3J/cm^2$  的能量流下可清除氧化钨, 而衬底在高达约  $41MW/cm^2$  的功率流速率下不受损伤。

#### f. 钼合金掩模

在此例中，用设备 A 来处理钼合金制成的三个氧化了的掩模（用于生产硅芯片的布线图形封装区）。掩模处理的数据总结在下面的表 3g

表 3g

Run	VI	Epm	Eps	RI	vs	t	w	Feps	Fpps	Npl	Fepa	Npa	Fet	评价	Rc
样品 1 = 125mm 掩模 nask															
4	22	528	285	30	5	23	1.3	0.95	28.1	7.8	7.45	2	14.89	要求二次通过	2
5	22	528	285	30	2	23	1.3	0.95	28.1	19.5	18.62	2	37.23	要求二次通过	2
6	20	450	251	30	2	23	1.3	0.84	24.7	19.5	16.39	2	32.77	要求二次通过, 棕色残留物	4
7	18	324	187	30	2	23	1.3	0.63	18.4	19.5	12.20	2	24.40	要求二次通过	4
8	20	528	295	30	5	23	1.3	0.99	29.0	7.8	7.69	2	15.38	要求二次通过, 无残留物,	2
9a	20	528	295	30	2	23	1.3	0.99	29.0	19.5	19.23	1	19.23	一次通过, 棕色残留物	4
9b	20	528	295	30	5	23	1.3	0.99	29.0	7.8	7.69	2	15.38	要求二次通过	2
样本 2 = 82mm 掩模 ask															
1	22	525	284	30	2	23	0.6	2.06	60.5	9.0	18.51	1	18.51	一次通过清除了	1
样本 3 = 82mm 掩模 ask															
1	22	525	284	30	5	23	0.6	2.06	60.5	3.6	7.40	1	7.40	一次通过清除了	1

从用作样品 1 的较大的掩模清除氧化物所需的总能量流 (Fet) 比从其它二个掩模清除氧化物所需的更大。在第一掩模上, 第 6 和 9a 操作处理后留下棕色残留物, 这可能是对留下材料有损伤的特征。此数据还表明样品 1 中的 Fpps 不超过多光子键功率阈值 (其中 Fpps 小于约 30MW/cm<sup>2</sup>), 但在样品 2 和 3 中确实超过了阈值 (其中 Fpps 超过约 60MW/cm<sup>2</sup>)。

g. 钢尺

在此例中, 用设备 A 处理氧化了的钢尺, 处理钢尺的数据总结在下面的表 3h 中。

表 3h

Run	VI	Epm	Eps	RI	vs	t	w	Feps	Fpps	Npl	Fepa	Npa	Fet	评价	Rc
1	17	168	99	30	1	23	3	0.14	4.2	90.0	12.87	1	12.87	清除了	1
2a	17	180	106	30	5	23	3	0.15	4.5	18.0	2.76	1	2.76	部分清除	3
2b	18	303	175	30	5	23	3	0.25	7.5	18.0	4.56	1	4.56	部分清除	3
2c	20	441	246	30	5	23	3	0.36	10.5	18.0	6.42	1	6.42	清除了	2
3	19	387	220	30	3	23	3	0.32	9.4	30.0	9.55	1	9.55	清除了	1
4	19	396	225	30	10	23	3	0.33	9.6	9.0	2.93	1	2.93	清除了	1
5	19	396	225	30	20	23	3	0.33	9.6	4.5	1.47	1	1.47	清除很少	4
6	19	385	219	30	15	23	3	0.32	9.3	6.0	1.90	1	1.90	部分清除	3
7	19	390	221	30	12	23	3	0.32	9.4	7.5	2.41	2	4.81	要求二次通过	2

此数据表明多光子键功率流阈值在操作 2b 和 2c 与操作 7 之间 (因而在约 7.5 和 9.3MW/cm<sup>2</sup> 之间)。而且, 虽然 Fpps 在操作 5 - 7 中足够高, 总能量流 Fet 却没有高到足以清除所有的氧化物 (约为 1.5-1.9J/cm<sup>2</sup>)。

### h. 镍/铁合金溅射靶

在此例中，用设备 B 来处理溅射靶。此溅射靶由镍和约 19 % 的铁所构成的合金组成。靶的处理数据总结在下面的表 3i 中。

表 3i

5

Run	VI	Epm	Eps	RI	vs	l	w	Feps	Fpps	Npl	Fepa	Npa	Fet	评价	Rc
1	18	267	136	30	7	23	0.9	0.67	19.7	3.9	2.58	2	5.16	二次通过, 全部清除	2
3	20	354	175	30	7	23	0.9	0.84	24.8	3.9	3.25	2	6.51	二次通过, 全部清除	2
4	20	354	175	30	7	23	0.9	0.84	24.8	3.9	3.25	3	9.76	二次通过, 全部清除	3
5	20	363	176	30	10	23	0.9	0.85	25.0	2.7	2.30	3	6.90	二次通过, 全部清除	3
7	20	387	188	30	12	23	0.9	0.91	26.7	2.3	2.04	4	8.17	四次通过, 粉红色表面	5
8	20	375	182	30	12	23	2.5	0.32	9.3	6.3	1.98	2	3.96	二次通过, 全部清除	2
9	20	387	188	30	15	23	2.5	0.33	9.6	5.0	1.63	1	1.63	一次通过, 全部清除	1
10	21	426	200	30	20	23	2.5	0.35	10.2	3.8	1.31	1	1.31	一次通过, 全部清除	1

10

在操作 1、3、4、5 和 7 的处理过程中，观察到粉红色光的相互作用，而在操作 7 中，表面留有浅粉红色特色。一个可能的解释是衬底在约为 20 - 26 MW/cm<sup>2</sup> 的较高脉冲功率流下被损伤了。或者是，较高的流可能引起氧化层的组分改变到了更难以清除的一种组分（即具有更高的键能）。这与观察到在这些操作中为了清除全部氧化层所要求的总能量流更大是一致的。相反，在操作 8 - 10 中，约 9 - 10 MW/cm<sup>2</sup> 范围内的较低的脉冲功率流适合于清除氧化（以约 1.3 J/cm<sup>2</sup> 或更大的总能量流 Fet）。

15

### i. 镍合金带

20

在此例中，用设备 A 来处理氧化了的镍合金带。镍合金的组分未确定。处理带的的数据总结在下面的表 3j 中。

表 3j

25

Run	VI	Epm	Eps	RI	vs	l	w	Feps	Fpps	Npl	Fepa	Npa	Fet	评价	Rc
1	20	397	224	30	2	23	0.5	1.94	57.2	10.0	19.44	1	19.4	一次通过	5
2	22	485	262	30	2	23	0.5	2.28	67.1	10.0	22.80	1	22.8	一次通过	5
3	22	489	264	30	2	23	0.5	2.30	67.6	10.0	22.99	1	23.0	一次通过	5
4	22	489	264	30	1	23	0.5	2.30	67.6	15.0	34.48	3	103.4	三次通过, 棕色残留物	5
5	19	378	215	30	1	23	0.5	1.87	54.9	15.0	27.99	1	28.0	一次通过, 部分清除	5
7	20	414	231	30	1	23	0.82	1.23	36.1	24.6	30.15	7	211.1	七次通过, 清除几层	2
6a	20	438	243	30	1	23	0.82	1.29	38.0	24.6	31.74	1	31.7	一次通过, 部分清除	3
6b	21	462	254	30	1	23	0.82	1.35	39.6	24.6	33.10	1	33.1	一次通过, 氧化物保留(6a)	2

30

肉眼观察操作 4 发现一种棕色残留物，可能是留下材料受到损伤的特征。在各次通过之间肉眼检查操作 7 表明氧化物在各次通过中不断被清除。而且，看来多光子键功率流阈值约为 50 MW/cm<sup>2</sup>，即在较低 Fpps 下得到一些清洗，但为了清除全部氧化物则要求更高的 Fet 值。

### j. 铜质分币

在此例中，用设备 B 来处理氧化了的美国分币（铜）。处理了三个分币，一个操作在每个分币的正反二侧进行（操作对每一硬币成对，即操作 1 和 2 是对同一个硬币进行的，操作 3 和 4 则对下一硬币进行，等等）。分币的处理数据总结在下面的表 3k 中。

表 3k

Run	VI	Epm	Eps	RI	vs	I	w	Feps	Fpps	Npl	Fepa	Npa	Fet	评价	Rc
1	20	348	169	30	5	23	2.1	0.35	10.3	12.6	4.41	4	17.6	四次通过中清除	3
2	18	243	126	30	5	23	2.1	0.26	7.7	12.6	3.29	4	13.2	四次通过中清除	3
3	19	306	153	30	5	23	2.1	0.32	9.3	12.6	4.00	15	60.0	15 次通过/很好的铜锈	3
4	20	351	170	30	5	23	2.1	0.35	10.4	12.6	4.44	30	133.3	30 次通过/很好的铜锈	3
5	20	348	169	30	5	23	1.1	0.67	19.6	6.6	4.41	15	66.1	15 次通过/很好的铜锈	3
6	20	348	169	30	5	23	1.1	0.67	19.6	6.6	4.41	15	66.1	受损伤/15 次通过	6

10

这些数据表明，在约为 8 - 20 MW/cm<sup>2</sup> 的脉冲功率流下，得到了氧化铜的有效清除（为消除全部或几乎全部氧化物，需要约 13 - 30J/cm<sup>2</sup> 的能量），而较高的脉冲功率流（操作 6 中的 20 MW/cm<sup>2</sup>）可能损伤表面。

15

### k. 镍合金 25 美分硬币

在此例中，用设备 B 来处理氧化了的 25 美分硬币（带镍合金表面层）。处理了二个 25 分硬币，在每硬币的正反面各做一个操作（如上，操作 1 和 2 对一个硬币的二面，而 3 和 4 对其它硬币的二面）。处理的数据总结在下面的表 3l 中。

20

表 3l

Run	VI	Eom	Eps	RI	vs	I	w	Feps	Fpps	Npl	Fepa	Npa	Fet	评价	Rc
1	21	384	181	30	5	23	2.1	0.37	11.0	12.6	4.71	2	9.4	一次通过清除了，不要求二次通过	1
2	21	378	178	30	5	23	2.1	0.37	10.8	12.6	4.64	4	18.6	四次通过中清除	3
3	21	348	164	30	5	23	2.1	0.34	10.0	12.6	4.27	3	12.8	三次通过中清除	3
4	21	348	164	30	5	23	2.1	0.34	10.0	12.6	4.27	3	12.8	三次通过中清除	3

25

这些数据表明在约为 10 - 11 MW/cm<sup>2</sup> 的脉冲功率流下，在 1 - 4 次通过中，有效地清除了 25 分硬币镍合金表面上的氧化层。

### 4. 有机膜的清除

在下列例子中说明了上述处理方法和设备对有机膜的应用。除非另有说明，所有测试都以与氧化物清除例子相同方法进行，且所示数据的格式和单位也与氧化物清除例子相同。所有测试都用设备 A 进行。

30

#### a. 不锈钢上的油漆

在本例中一个 Ra20 加工的 304 不锈钢盘用常规金属用油漆（商标为“RUSTOLEUM”）进行喷涂。处理结果总结在下面的表 4a 中。

表 4a

Run	Vt	Epm	Eps	Rt	vs	I	w	Feps	Fpps	Npl	Fepa	Npa	Fet	评价	Rc
1	18	318	183	30	3	23	1.00	0.80	23.4	10.0	7.97	2	15.9	二次通过	2
3	18	315	182	30	3	23	1.00	0.79	23.2	10.0	7.89	2	15.8	二次通过	2
5	22	501	271	30	3	23	1.00	1.18	34.6	10.0	11.78	3	35.3	二次通过	3
8	18	318	184	30	1	23	1.00	0.80	23.5	30.0	23.95	2	47.9	二次通过	2
9	18	318	184	30	1	23	3.00	0.27	7.8	90.0	23.95	7	167.6	七次通过	3.4
10	22	510	276	30	3	23	3.00	0.40	11.8	30.0	11.99	2	24.0	二次通过	2
11	22	510	276	30	2	23	3.00	0.40	11.8	45.0	17.98	2	36.0	二次通过	2
12	22	516	279	30	2	23	3.00	0.40	11.9	45.0	18.19	2	36.4	二次通过	2
13	22	522	282	30	2	23	3.00	0.41	12.0	60.0	24.54	1	24.5	一次通过清除	1
14	22	522	282	30	2	23	3.00	0.41	12.0	52.9	21.65	1	21.7	一次通过清除	1
15	22	522	282	30	2	23	3.00	0.41	12.0	55.3	23.01	1	23.0	一次通过清除	1
16	22	522	282	30	2	23	2.10	0.58	17.2	39.4	23.01	1	23.0	一次通过清除	1
17	22	522	282	30	3	23	2.10	0.58	17.2	21.0	12.27	3	36.8	三次通过	3
18	22	522	282	30	2	23	3.00	0.41	12.0	50.0	20.45	1	20.4	一次通过清除	1

5

10 这些数据表明能够有效地从不锈钢衬底清除相当厚的有机膜而未观察到对衬底的损伤。看来油漆膜要求至少约为  $16\text{J}/\text{cm}^2$  的总能量流（Fet），而且在较低的脉冲功率流的情况下（在操作 9 中约为  $8\text{MW}/\text{cm}^2$ ）要求更高的总能量（ $167\text{J}/\text{cm}^2$ ）。这也可能是  $8 - 12\text{MW}/\text{cm}^2$  的功率流阈值的特征。

15 b. 石英装片舟上的有机膜

在此例中，在通常圆筒形的开槽石英装片舟（用来经过炉子传输半导体片子）的表面上涂了各种有机膜。使用了三类有机膜：指纹（人体油）；油漆（蓝色和红色）以及“万能标志”（magic marker）。然后用设备 A 处理石英装片舟。处理结果总结在下面的表 4b 中。

表 4b

Run	Vt	Epm	Eps	Rt	vs	I	w	Feps	Fpps	Npl	Fepa	Npa	Fet	评价	Rc
样品 1 = 指纹															
7	18	388	224	30	3	23	4.4	0.22	6.5	44.0	9.74	2	19.48	留有残留物	2
8	18	285	165	30	2	23	4.4	0.16	4.8	66.0	10.73	2	21.46	留有残留物	2
9	20	396	221	30	2	23	4	0.24	7.1	60.0	14.42	2	28.84	留有残留物	2
10	22	450	243	30	2	23	4	0.26	7.8	60.0	15.87	1	15.87	指纹清除了	1
12	18	273	158	30	1	23	2.2	0.31	9.2	66.0	20.56	1	20.56	指纹清除了	1
13	18	273	158	30	3	23	2.2	0.31	9.2	22.0	6.85	2	13.71	留有残留物	2
15	18	273	158	30	2	23	2.2	0.31	9.2	33.0	10.28	1	10.28	指纹清除了	1
样品 2 = 油漆（蓝色）															
1	18	300	173	30	2	23	2.2	0.34	10.1	33.0	11.30	1	11.30	红色油漆清除了	1
2	18	300	173	30	2	23	2.2	0.34	10.1	33.0	11.30	1	11.30	红色油漆清除了	1
3	18	300	173	30	6	23	2.2	0.34	10.1	11.0	3.77	1	3.77	红色油漆清除了	1
样品 3 = 标志															
4	18	300	173	30	6	23	2.2	0.34	10.1	11.0	3.77	2	7.53	要求二次通过	2
5	18	300	173	30	4	23	2.2	0.34	10.1	16.5	5.65	2	11.30	要求二次通过	2
6	18	360	208	30	4	23	2.2	0.41	12.1	16.5	6.78	2	13.55	要求二次通过	2
7	22	561	303	30	4	23	3.4	0.39	11.4	25.5	9.89	2	19.78	要求二次通过	2
样品 4 = 油漆（蓝色）															
10	18	300	174	30	7	23	0.5	1.51	44.4	2.3	3.49	1	3.49	蓝色油漆清除了	1
12	18	324	187	30	10	23	0.5	1.63	47.8	1.5	2.44	1	2.44	蓝色油漆清除了	1
样品 5 = 指纹															
13	18	320	185	30	10	23	0.5	1.61	47.2	1.5	2.41	2	4.82	观察到残留物	2
14	18	324	187	30	7	23	0.5	1.63	47.8	2.1	3.49	1	3.49	指纹清除了	1

25

30

这些数据表明，可用各种能量水平在一次或更多次通过中有效地清除有机膜而不损伤石英衬底。

### c. 在熔炼氧化硅石英窗上的有机膜

在此例中，将各种有机膜涂于通常平坦的熔炼氧化硅石英光学窗的表面。使用了二类有机膜：带有或不带有额外尘埃的指纹（人体油）；以及蓝色油漆。然后用设备 A 处理窗口。处理结果总结在下面的表 4c 中。

表 4c

Run	VI	Epm	Eps	RI	vs	I	w	Feps	Fpps	Npl	Fepa	Npa	Fel	评价	Rc	
样品 1 = 指纹/尘埃																
10	1	18	336	194	30	4	23	3.5	0.24	7.1	26.3	6.33	1	6.33	尘埃清除了，残留指纹	1
	2	19	435	247	30	4	23	3.5	0.31	9.0	26.3	8.05	1	8.05	观察到更好的清除	5
	3	19	400	228	30	4	23	1.8	0.55	16.2	13.5	7.44	1	7.44		6
	1	22	546	295	30	5	23	1.8	0.71	21.0	10.8	7.70	2	15.40	有些残留物	2
	2	22	549	297	30	5	23	1	1.29	38.0	6.0	7.74	2	15.49	有些残留物	2
	4	22	546	295	30	5	23	0.5	2.57	75.5	3.0	7.70	1	7.70	指纹和尘埃都清除了	1
	5	22	529	286	30	10	23	0.5	2.49	73.1	1.5	3.73	2	7.46	有些残留物	2
	6	22	549	297	30	7	23	0.5	2.58	75.9	2.1	5.53	2	11.06	有些残留物，90%清除了	2
	7	22	549	297	30	7	23	0.5	2.58	75.9	2.3	5.96	1	5.96	指纹和尘埃都清除了	1
	8	18	348	201	30	7	23	0.5	1.74	51.3	2.3	4.02	2	8.05	残留指纹	2
15	9a	19	420	239	30	7	23	0.5	2.08	61.2	2.3	4.80	2	9.60	残留指纹	2
	9	20	480	268	30	7	23	0.5	2.33	68.5	2.3	5.38	2	10.76	有些指纹残留	2
样品 2 = 油漆（蓝色）																
	10	18	300	174	30	7	23	0.5	1.51	44.4	2.3	3.49	1	3.49	蓝色油漆清除了	1
	12	18	324	187	30	10	23	0.5	1.63	47.8	1.5	2.44	1	2.44	蓝色油漆清除了	1
样品 3 = 指纹																
	13	18	320	185	30	10	23	0.5	1.61	47.2	1.5	2.41	2	4.82	有些残留物	2
	14	18	324	187	30	7	23	0.5	1.63	47.8	2.1	3.49	1	3.49	指纹清除了	1

这些数据再次表明可用各种能量水平在一次或更多次通过中有效地清除有机膜而不损伤石英衬底。

### 5. 从石英上清除多晶硅

下列例子说明了上述处理方法和设备对石英上多晶硅的应用。对圆筒形石英炉管的内表面进行了处理，以清除通过炉管处理硅管芯过程中重新凝结在表面上的一层多晶硅。管子的部分径向区用设备 A 来处理。进行了一系列的测试操作，其结果示于下面的表 5a。在测试设备中，入射区 611 沿幅区 612 被连续扫描，其宽度（X 尺度）在 0.9 和 2.0mm 之间，扫描时间长达数十分钟。因此，表 5a 中所示的通过次数（Npa）为：

$$N_{pa} = \frac{t_{scan} \cdot V_s}{W_{swath}}$$

其中 Wswath 是幅区 612 的宽度，tscan 是扫描的持续时间，VI



是激光扫描速度。

发现，在高能量和功率流水平下，多晶硅被完全清除因而石英暴露于辐射处的点伴随有石英荧光。这提供了一个表明转折已达到的方便的目测指示。

5

表 5a

Run	VI	Epdm	Eps	RI	vs	l	w	Feps	Fpps	Ndl	Fepa	Npa	Fet	评价	RC
5.67	21	507	280	30	1	23	0.37	3.29	97	22.2	73.01	2595	189438	观察到硅膜减少	5
8	21	507	281	30	1	23	0.37	3.30	97	22.2	73.25	3405	249447	荧光; 表面粗糙了	5
9	22	535	289	30	1	23	0.25	5.13	151	7.4	37.73	14694	554348	从石英清除了几层	5
10	22	540	292	30	3	23	0.25	5.18	152	2.5	12.69	2204	27976		5
11	20	534	298	30	3	23	0.3	4.32	127	3.0	12.96	3000	38892	硅膜变薄	5
11a	20	546	305	30	3	23	0.3	4.42	130	3.0	13.26	4200	55673	6.3 分钟时石英被损伤	5
11b	19	399	227	30	3	23	0.3	3.29	97	3.0	9.88	9000	88932	硅膜变薄	5
11c	19	405	231	30	3	23	0.3	3.34	98	3.0	10.03	1350	13540	有些石英被损伤	5
11d	18	351	203	30	3	23	0.3	2.94	86	3.0	8.81	4350	38326	良好的清除速率	5
12a	18	537	310	30	3	23	0.25	5.50	162	2.5	13.48	1800	24263	良好的清除速率	5
12b	18	450	260	30	3	23	0.25	4.61	136	2.5	11.30	4430	50042		5
12c	18	400	231	30	3	23	0.25	4.10	121	2.5	10.04	3504	35187	荧光	5
12d	18	396	229	30	3	23	0.25	4.06	119	2.5	9.94	1550	15409	显著的硅清除	5
12e	18	375	217	30	3	23	0.25	3.84	113	2.5	9.41	617	5809	有些石英被损伤	5
12f	18	375	217	30	3	23	0.25	3.84	113	2.5	9.41	3130	29461		5
12g	18	375	217	30	3	23	0.25	3.84	113	2.5	9.41	3321	31259		5
12h	18	375	217	30	3	23	0.25	3.84	113	2.5	9.41	367	3458		5
12i	18	375	217	30	3	23	0.25	3.84	113	2.5	9.41	1102	10374		5
12j	18	375	217	30	3	23	0.25	3.84	113	2.5	9.41	1638	15422		5
13a	18	529	305	30	3	15	0.24	8.47	249	2.4	20.32	1275	25911		5
13b	18	452	261	30	3	15	0.24	7.25	213	2.4	17.40	1650	28705	显著的硅清除	5
13c	18	441	255	30	3	15	0.24	7.07	208	2.4	16.97	825	14003		5
13d	18	447	258	30	3	15	0.24	7.17	211	2.4	17.20	1403	24129		5
13e	18	447	258	30	3	15	0.24	7.17	211	2.4	17.20	263	4516		5
13f	18	447	258	30	3	15	0.24	7.17	211	2.4	17.20	2385	41033	显著的硅清除	5
13g	18	372	215	30	3	15	0.24	5.97	175	2.4	14.32	1088	15571		5
13h	18	372	215	30	3	15	0.24	5.97	175	2.4	14.32	1260	18041		5
13i	18	342	197	30	3	15	0.24	5.48	161	2.4	13.16	2228	29321	硅完全被清除	5
14a	23	525	282	30	3	15	0.24	7.82	230	2.4	18.77	1238	23231		5
14b	23	525	282	30	3	15	0.24	7.82	230	2.4	18.77	300	5632		5
14c	23	525	282	30	3	15	0.24	7.82	230	2.4	18.77	323	6054		5
14d	23	525	282	30	3	15	0.24	7.82	230	2.4	18.77	518	9715		5
14e	23	525	282	30	3	15	0.24	7.82	230	2.4	18.77	525	9856		5
14f	23	525	282	30	3	15	0.24	7.82	230	2.4	18.77	150	2816		5
14g	23	525	282	30	3	15	0.24	7.82	230	2.4	18.77	503	9433		5
14h	23	525	282	30	3	15	0.24	7.82	230	2.4	18.77	150	2816		5
14i	23	525	282	30	3	15	0.24	7.82	230	2.4	18.77	630	11827		5
14j	23	525	282	30	3	15	0.24	7.82	230	2.4	18.77	120	2253		5
14k	23	525	282	30	3	15	0.24	7.82	230	2.4	18.77	75	1408		5
14l	23	525	282	30	3	15	0.24	7.82	230	2.4	18.77	83	1549		5
14m	23	525	282	30	3	15	0.24	7.82	230	2.4	18.77	75	1408		5
14n	23	525	282	30	3	15	0.24	7.82	230	2.4	18.77	90	1690	硅完全被清除	5
14a2	19	399	225	30	5	15	0.24	6.26	184	1.4	9.02	1763	15890	大面积硅被清除	5
b2	19	342	196	30	5	15	0.24	5.44	160	1.4	7.83	2500	19579	硅膜变薄	5
c2	18	297	172	30	5	15	0.24	4.77	140	1.4	6.87	7350	50497		5
d2	18	318	183	30	5	15	0.24	5.09	150	1.4	7.33	1650	12097		5
e2	18	318	183	30	5	15	0.24	5.09	150	1.4	7.33	1800	13196		5
f2	18	318	183	30	5	15	0.24	5.09	150	1.4	7.33	2700	19794	硅膜变薄	5

30

此数据表明可从石英衬底清除多晶硅。

### 6.表面形貌修正

从上面的描述和数据显见，从衬底表面可选择性地清除基本上连续

的材料层。从衬底所清除的材料厚度是待清除材料的键能、所用光子的能量（波长）、所用光子的能量流以及多光子键时的功率流的函数。能量流和功率流也可认为是所用光子的空间和时间浓度。因此，对于一个给定的材料，可以确定为了清除一层所需厚度的材料而要求的时间和空间光子浓度。如上所述，对于氧化和有机及无机膜层，借助于跨过衬底表面扫描辐射，可在很广的衬底面积上均匀地清除材料层。但借助于适当地控制清除工序，有可能从相当小的面积中选择性地（例如非均匀地）清除材料以修正衬底表面的形貌。形貌修正可具有微加工的性质以得到纳米结构或用来整平粗糙的表面。

#### 10 a. 产生纳米结构

借助于选择性地清除相对于周围表面待要升高的结构周围的衬底材料，可建立纳米结构。做法有二种。第一种概念上等价于在常规结构尺度上的研磨操作。为了继续这一比拟，入射辐照区 611 可认为是磨具，以区域 611 的尺寸（相当于磨具的尺寸）规定可被清除的材料最小宽度。同样，对区域 611 运动的控制（无论是移动 610 之类的平台或是移动聚焦光路）横向分辨率规定能够产生的结构的尺度和准确性。入射区每次“通过”所得到的“切入”深度由能量流和功率流规定，而所清除的材料总深度进一步由在表面上进行的通过次数来控制。

图 5 示意地示出了一种简单纳米结构的产生。此纳米结构是一个被制作在衬底 12 表面中的沟槽 710 所围绕的岛 720。沟槽 710 是借助于使入射辐照区 611（示意地示为圆形区，虽然也可以是上述实验设备所示的矩形）绕着待要产生岛 720 的区域边缘平移而制作的。区域 611 的移动由沟槽 710 另一部分中的区域（611'）的另一位置表明。

一个变通的微加工技术是使用掩模来确定待要清除的材料区，将掩模重叠在衬底处理表面上或其上方，并使入射辐照均匀地扫过掩模。当然必须选择掩模和衬底材料以及设定光子功率和能量流水平，以便从衬底表面清除不希望有的材料而不使掩模受到大得足以使它在衬底微加工完成之前就变得不能用的损伤。

采用掩模（如光刻中）和控制激光入射区尺寸和位置的技术，在现有技术中已表明在纳米结构微加工有兴趣的空间尺寸上是可以控制的。因此，可用于本发明微加工的方法对工人来说是明白的，此处不再详述。

### b.整平

如图 8 所示, 借助于选择性地使用辐照, 也可以整平衬底表面。如图 8 所示, 若衬底 12 的层 12b (诸如一个氧化层, 尽管此层可以仅仅是衬底的一个表面层) 的厚度不均匀 (区域 12b1、12b2、12b3 等所示), 在某些应用中, 可能希望清除一些 (但不是全部) 氧化层使氧化层厚度更为均匀 (虚线 12c 所示)。借助于将辐照选择性地加于各个区域 12b1 等以清除厚度等于处理前厚度和所需厚度之间的差的材料, 就可做到这一点。可使辐照在衬底表面上以光栅的方式扫描, 则所需数量的材料就从各个区域中被清除掉。

- 5
- 10
- 15
- 为了准确地确定层 12b 的处理前厚度 (或者为了确认所需的处理后厚度), 采用膜厚原位测量技术是可取的。已知的适用技术包括反射或束分布分光光度测定法或椭圆光度法, 诸如在 P.Burggraaf 的论文“薄膜计量学: 新台阶前沿” (Semiconductor International, 1994 年 3 月) 中所述的那些技术。然后可将各区中的实际厚度与所需厚度进行比较以确定不希望有的材料的厚度。然后可将恰当的辐射能量流和功率流加至该区域以清除不希望有的材料厚度。可进行处理后的厚度测量以确认实际厚度等于所需的厚度, 如有需要则进行额外的处理。此过程可对每个区域反复地进行下去。

图 6 示意地示出了一种适用的设备。衬底 12 被置于可移动的平台 610 上, 来自源 410 的辐射 11 通过发送光学部件 450 被采用。用椭圆仪 810 (或其它适当的厚度量测器件) 收集厚度信息 805。控制器 850 从椭圆仪 810 接收厚度信息 185, 并将辐射控制信号 820 输出到源 410, 而且将位置控制信号 825 输出到平台 610 或将信号 830 输出到可操纵的光学部件 450。

### c.倾斜的辐照

- 25
- 30
- 如图 7 所示, 以一倾斜角将辐射加于劣等衬底表面, 也可使厚度不均匀的衬底被处理表面变平滑。衬底 12 的粗糙表面层 12b 带有许多取向不同的表面组成部分 (即相对于被处理表面的总体平面形成许多不同的角度)。由于来自辐射 11 的入射能量流和功率流随表面组成部分上入射角的正弦而变化, 故最垂直于辐射的组成部分将暴露于比倾斜部分更高的能量流和功率流。而且, 隐藏的 (不暴露的) 组成部分将接收不到能量和功率流。于是, 施加辐射 11 的累积效果将从垂直取向的表面

组成部分清除更多的材料，而从倾斜或隐藏的表面组成部分清除更少的材料（由相继的处理后表面轮廓线 12b' 和 12b'' 示出）。这反过来就减小了表面层 12b 的平均粗糙度。

说明书附图

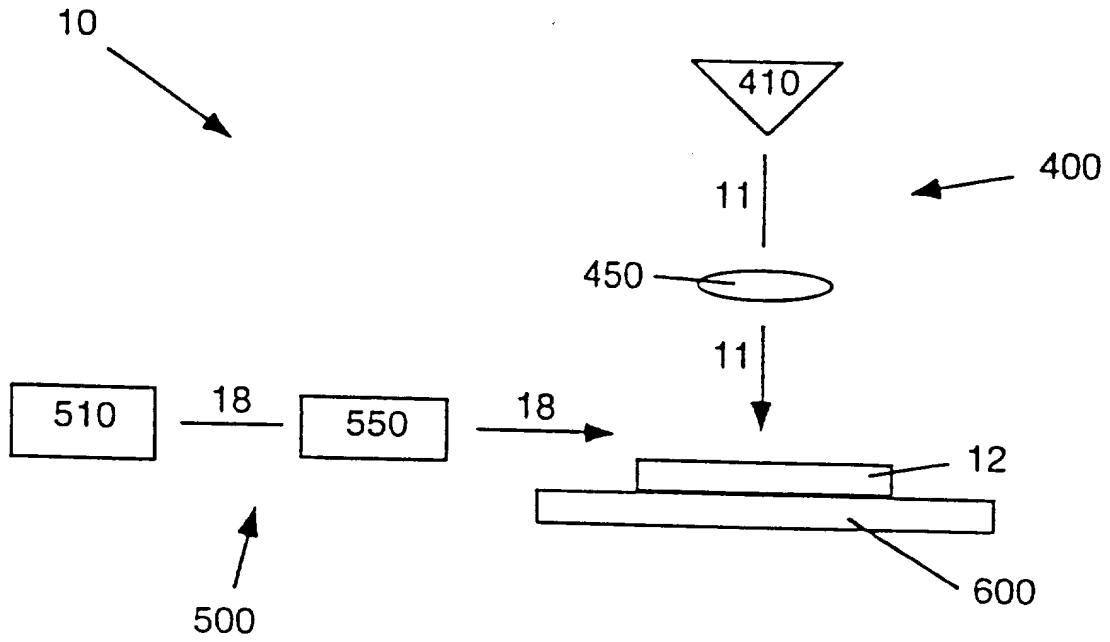


图 1

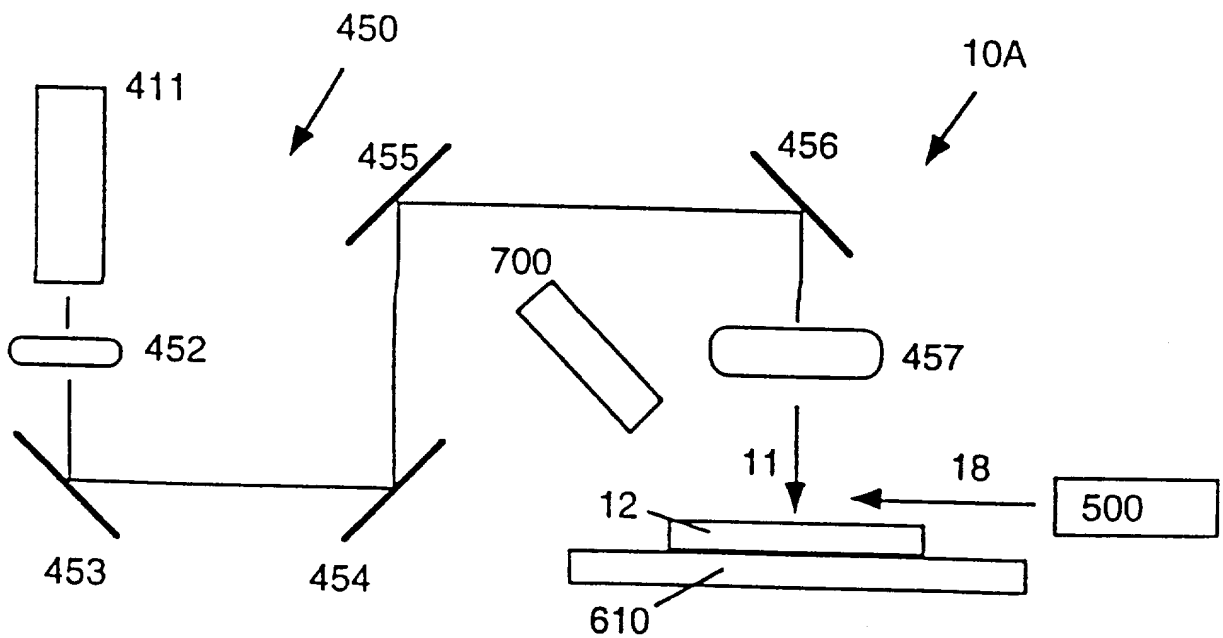


图 2A

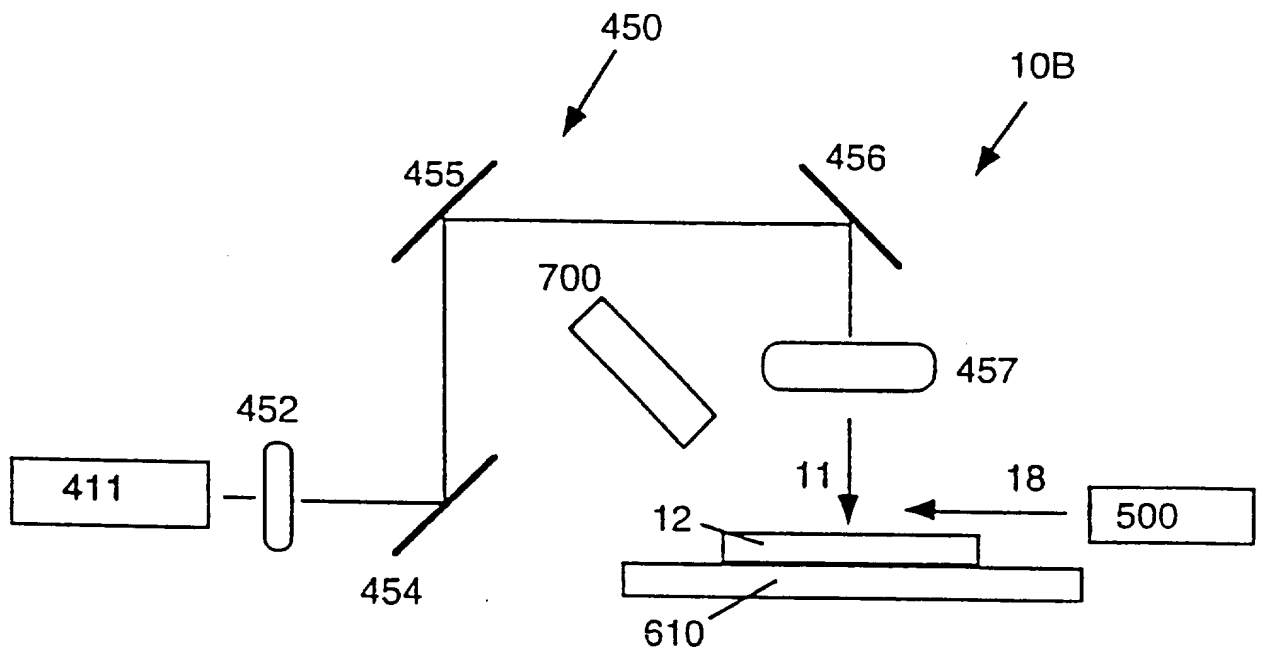


图 2B

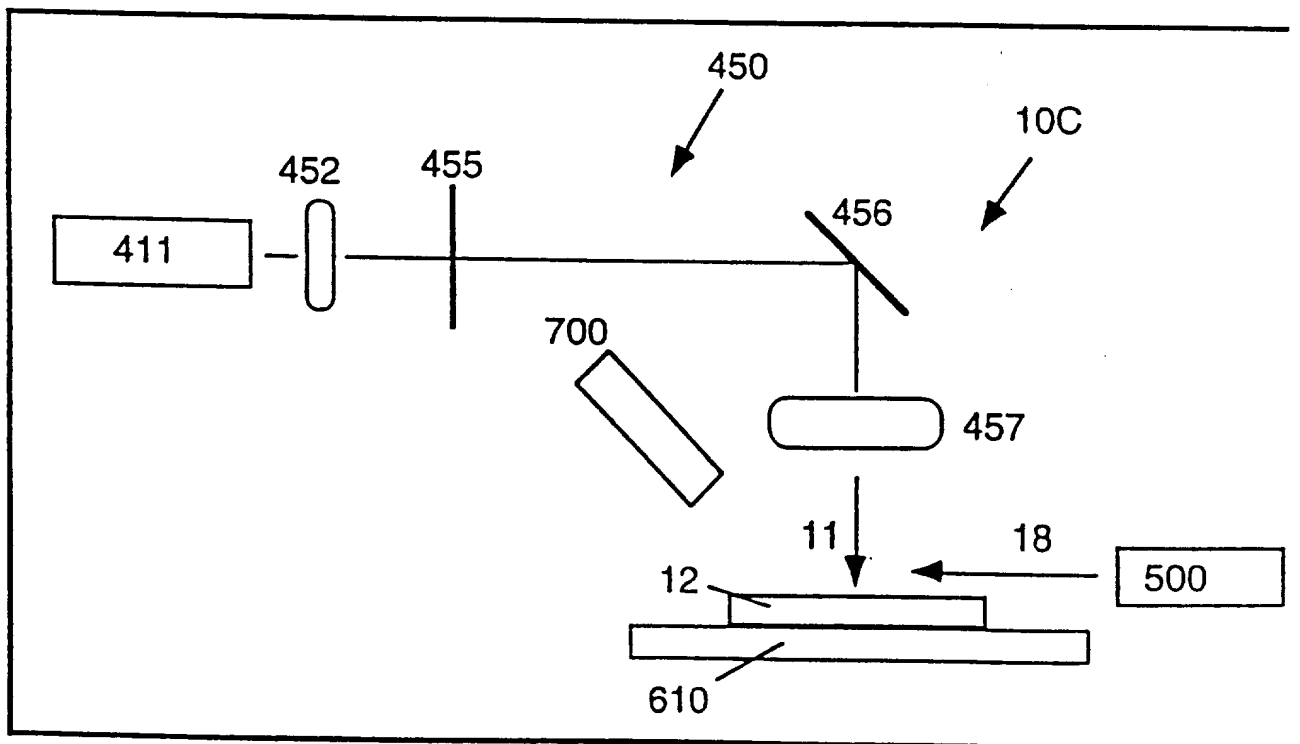


图 2C

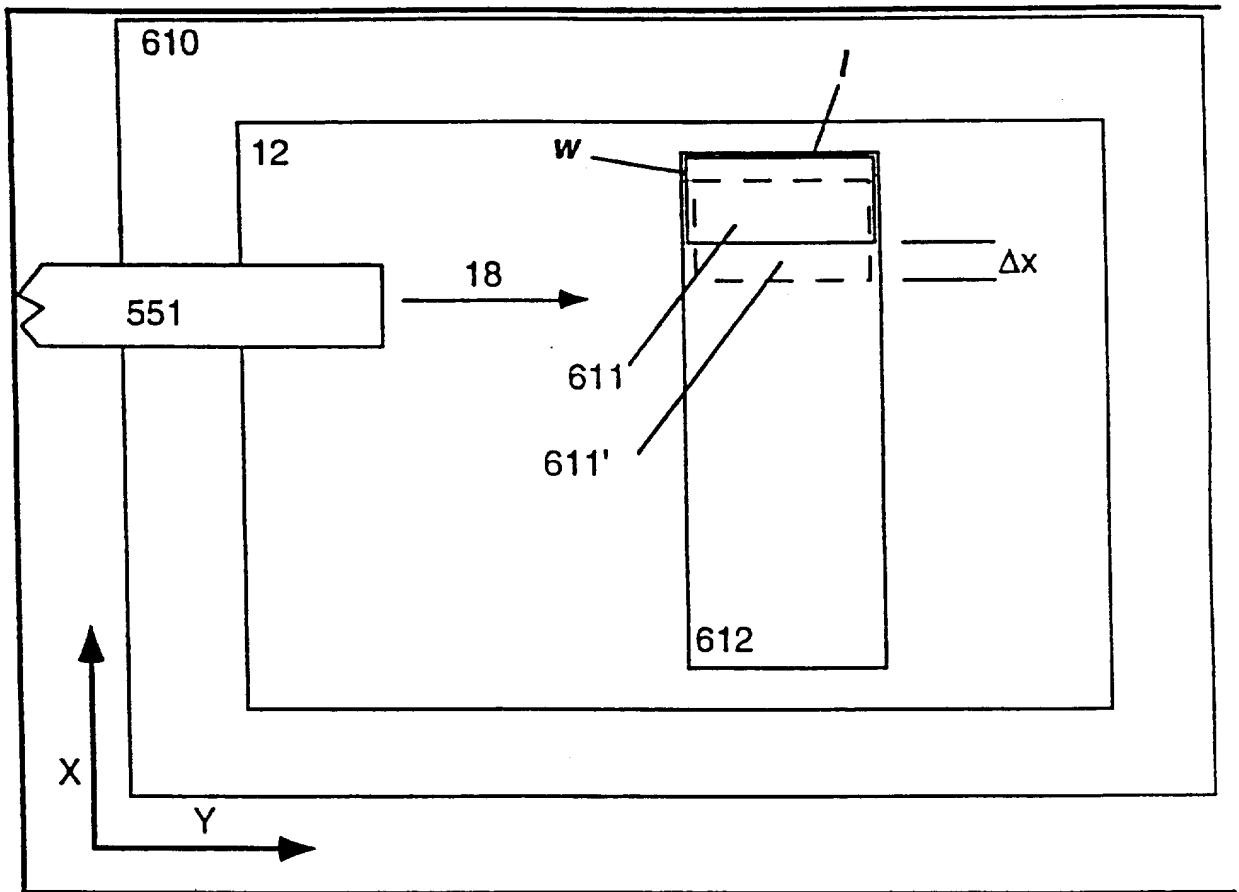


图 3

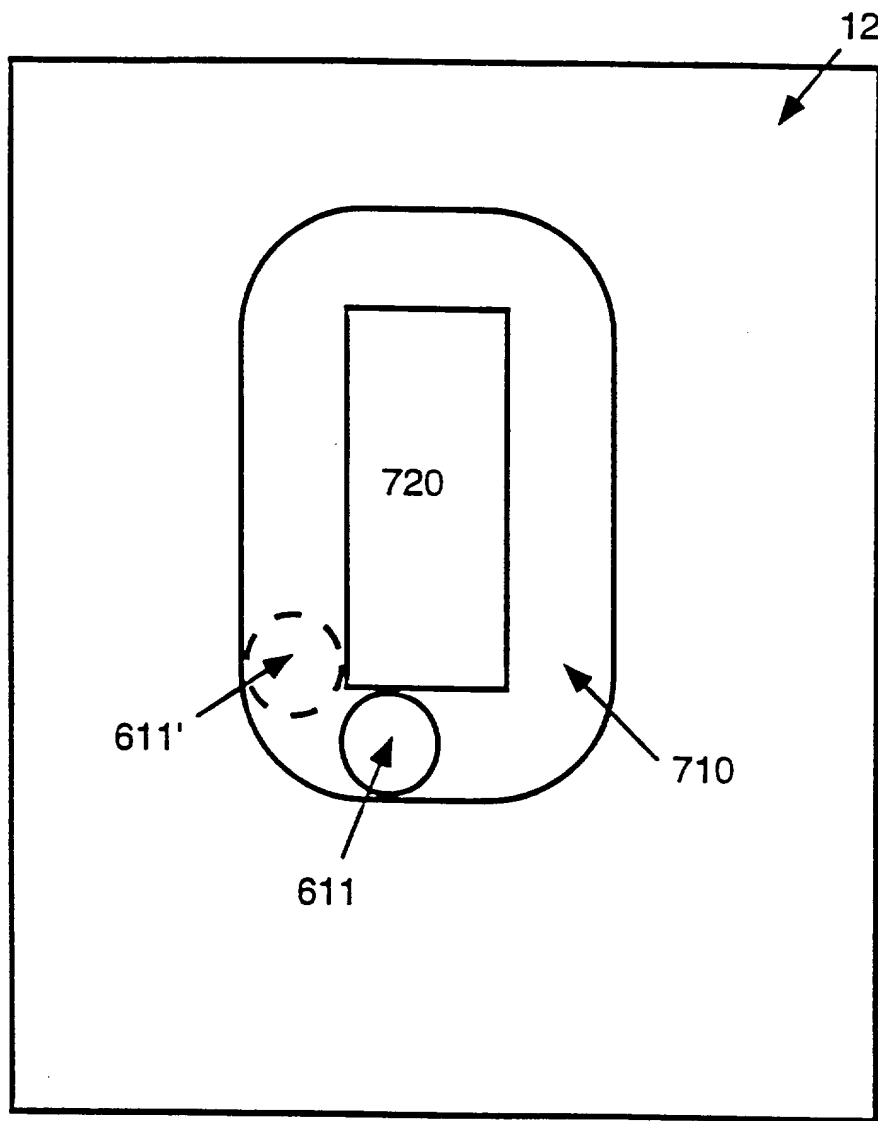


图 4



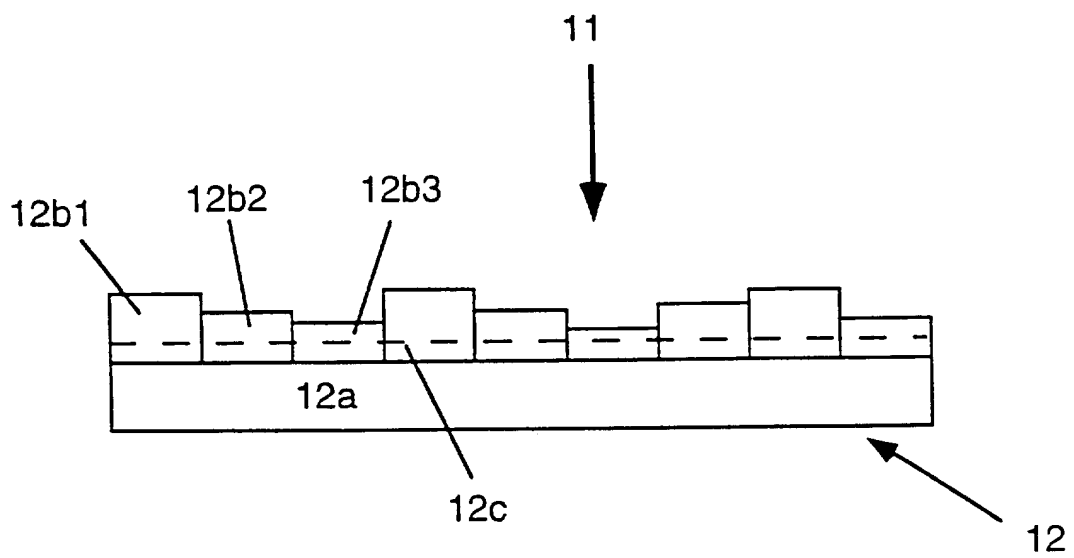


图 5

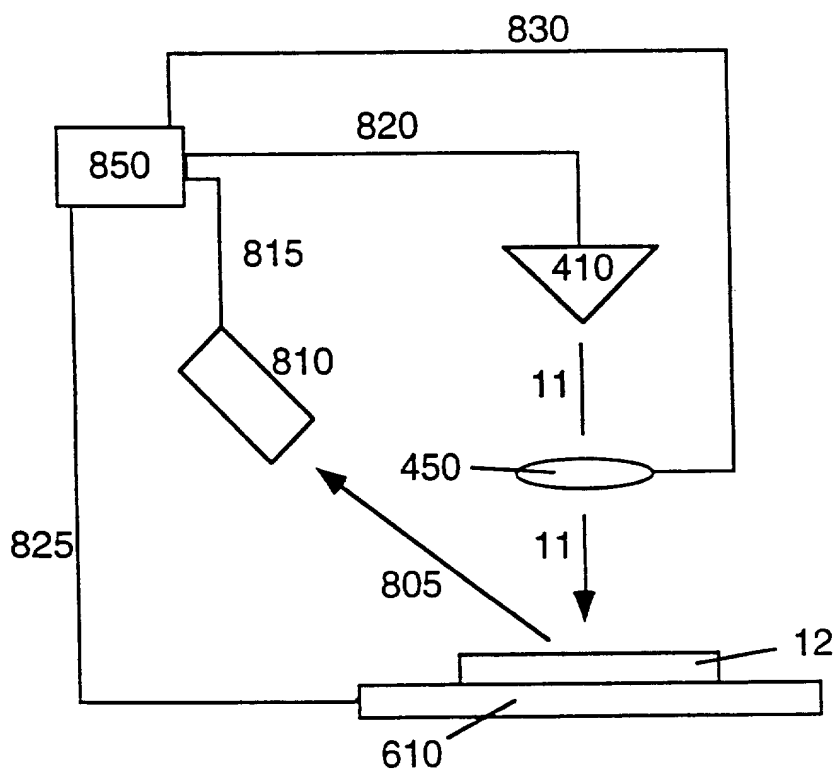


图 6

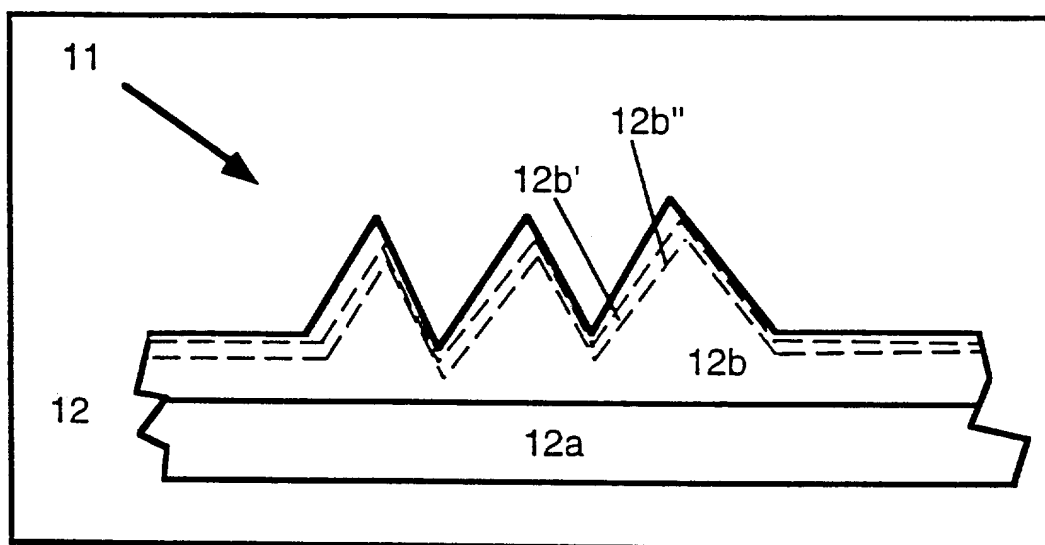


图 7