

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G01N 21/63

G01N 29/24

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 99803134.8

[43] 公开日 2001年4月11日

[11] 公开号 CN 1291284A

[22] 申请日 1999.10.21 [21] 申请号 99803134.8

[30] 优先权

[32] 1998.10.21 [33] US [31] 09/176,174

[86] 国际申请 PCT/EP99/08231 1999.10.21

[87] 国际公布 WO00/23790 英 2000.4.27

[85] 进入国家阶段日期 2000.8.18

[71] 申请人 皇家飞利浦电子有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

[72] 发明人 M·福克斯 M·约菲

M·巴尼特

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

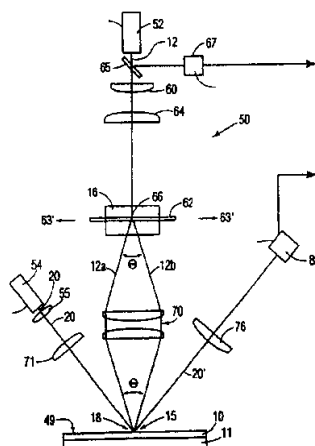
代理人 梁永傅康

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图页数 5 页

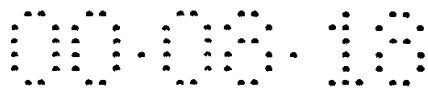
[54] 发明名称 改进的薄膜厚度测量方法和装置

[57] 摘要

所述的是测量样品性质的一种方法和装置:用具有至少一个空间相位和空间周期的激发图样照射样品的一部分;一部分探测光束从样品表面衍射;用光学探测器检测探测光束的衍射部分,产生光诱导的信号;处理光诱导的信号,确定样品的性质。通过调节激发图样的空间位相和重复照射、衍射和检测步骤,能产生至少一个附加光诱导信号,本方法有相当大的改进。



ISSN 1008-4274



权 利 要 求 书

1. 一种测量样品性质的方法，包括下列步骤：

- 用具有至少一个空间位相和空间周期的激发图样照射样品的一部分；

5 - 从样品表面衍射一部分探测光束；
- 用光学探测器检测探测光束的衍射部分，产生光诱导的信号；

- 处理光诱导的信号，确定样品的性质。

- 调节激发图样的空间位相；

10 - 重复照射、衍射和探测步骤，产生至少一个附加光诱导信号；
- 处理全部光诱导的信号，确定样品的性质。

2. 权利要求 1 所述的方法，其中衍射图样通过叠加从初始光脉冲中导出的至少两个光脉冲形成。

15 3. 权利要求 1 或 2 所述的方法，其中调节步骤包括沿垂直于初始光脉冲的传播方向的方向移动样品照射系统的一个元件。

4. 权利要求 1, 2 或 3 所述的方法，其中处理步骤进一步包括平均化多个光诱导信号。

20 5. 权利要求 1, 2, 3 或 4 所述的方法，其中处理步骤进一步包括确定每一个光诱导信号或多个光诱导信号的平均值的傅立叶变换 (101)。

6. 权利要求 1, 2, 3, 4 或 5 所述的方法，其中本方法进一步包括分析步骤，以确定样品的性质，该分析步骤包括用计算机或微处理器分析光诱导信号。

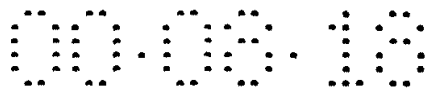
7. 实现权利要求 1 所述方法的装置，包括：

25 - 产生光激发脉冲的第一光源；
- 一个光学系统，被对准以接收光激发脉冲，并把它分成至少两个光脉冲，然后聚焦两个光脉冲到样品表面上，形成具有至少一个空间位相和空间周期的激发图样；

- 产生探测光束的第二光源，探测光束从样品上衍射；

30 - 一个光探测器，检测探测光束的衍射部分，产生光诱导信号；

- 一个处理器，配置成能够处理光探测器产生的光诱导信号，并确定样品的性质，其特征在于用于调节激发图样的空间位相的一



个位相调节元件。

8. 权利要求 7 所述的装置，其中光学系统包含衍射元件，用于形成所述的至少两个光脉冲。

5 9. 权利要求 7 或 8 所述的装置，其中位相调节元件由光学系统中的可移动元件组成。

10. 权利要求 7 或 8 所述的装置，其中位相调节元件由电光调制器、声光调制器，移动的玻璃幻灯片或它们的组合组成。

11. 权利要求 9 所述的装置，其中给可移动元件提供驱动器，驱动器由压电器件、马达、机械平台或它们的组合组成，并由电信号控制。

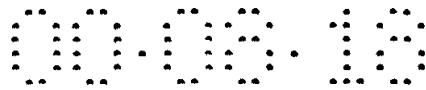
10 12. 权利要求 11 所述的装置，其中电信号是方形、锯齿形、随机或正弦波形。

13. 权利要求 9, 11 或 12 所述的装置，其中可移动元件是衍射元件。

15 14. 权利要求 9, 11 或 12 所述的装置，其中可移动元件是平面镜、透镜或棱镜。

15. 权利要求 9, 11 或 12 所述的装置，其中第一光源是可移动的激光器，其构成可移动元件。

16. 权利要求 7 或 8 所述的装置，其中位相调节元件由支持样品的可移动底板组成。



说明书

改进的薄膜厚度测量方法和装置

本发明涉及一种测量样品性质的方法，包括下列步骤：

- 5 - 用具有至少一个空间位相和空间周期的激发图样照射样品的一部分；
- 一部分探测光束从样品表面衍射；
- 用光学探测器检测探测光束的衍射部分，产生光诱导的信号；
- 10 - 处理光诱导的信号，确定样品的性质。

本发明也涉及实现该方法装置。

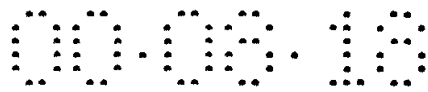
一种全光学测量技术称为脉冲激励热散射 (ISTS)，能测量各种不同的材料性质，如薄膜厚度。在 ISTS 中，从一个激发激光器发出两个或更多个激光束，在时间和空间上叠加在样品表面上，形成光干涉图样。激发激光束由一系列短的（例如几百皮秒）光脉冲组成，波长在样品的吸收范围内。激发图样的特点是交替变化的‘亮’（也就是相长干涉）和‘暗’（也就是相消干涉）的区域，间隔取决于激光束的波长和它们之间的角度。图样的亮区加热样品，引起它热膨胀。这样发出相干的、反向传播的声波，其波长和方向与上述图样相匹配。

20 对于不透明的膜（如金属膜），声波在膜层表面上产生依赖时间的‘波纹’图样，该表面在一个或多个声频上振荡（典型为几百兆赫）。该声频取决于薄膜性质如厚度、密度和弹性模量。探测光束然后从波纹衍射，形成一系列信号光束，每一个代表至少一个不同的衍射级（例如 +1, -1, +2 或 -2 等衍射级）。信号光束在该声频或其倍数频率上振荡，

25 或者如果有几种频率时，在声频的和频或差频上振荡。一个或多个信号光束被检测和监视，以测量样品的性质。

使用 ISTS 测量薄膜厚度和各种其他性质有许多描述，例如在美国专利 5,633,711（题目是：用光学引发的声子测量材料的性质）；5,546,811（题目是：薄膜样品中的应力的光学测量）；和 U.S.S.N.08/783,046（题目是测量薄膜厚度的方法和器件，7/15/96 提出申请）中，这里作为参考。

30 ISTS 测量薄膜厚度能用作微电子器件制作过程中和/或之后的质量控制参数。在这些器件中，金属和金属合金的薄膜沉积在硅片上，并用



作导电体、粘附促进层和扩散势垒。例如铜、钨和铝金属薄膜用作导电体和互相连接；钛和钽作为粘附促进层；和氮化钛和氮化钽作为扩散势垒。金属薄膜的厚度变化能改变它们的电学和机械性质，从而影响使用它们的器件的性能。为了在制造过程中有效监控金属薄膜，ISTS 薄膜

5 厚度测量必须高度可重复，精确和准确。

本方法的特征作用以下附加的步骤：

- 调节激发图样的空间位相；
- 重复照射、衍射和探测步骤，产生至少一个附加光诱导信号；
- 处理全部光诱导的信号，确定样品的性质。

10 通过调节激发图样的空间位相和对激发图样的每一个位相进行测量，本方法可获得相当大的改进。空间位相的调节能通过‘抖动（dither）’用于 ISTS 的系统中的光学或机械元件实现。在这种情况下，‘抖动’定义为一个元件的移动或调制，其改变了激发图样的空间图样。在首选实例中，该图样由如上所述的近似平行的亮和暗交替区域

15 组成。改变激发图样的空间位相，意味着激发图样的亮区和暗区的位置相对于样品表面协调移动。空间位相的改变，作为抖动的结果，倾向于与椭圆的亮和暗区的长轴方向垂直。在这里关于激发图样的术语位相和空间位相可互换使用。

本发明也涉及实现该方法的装置，包括：产生光激发脉冲的第一光源；对准的一个光学系统，用于接收光激发脉冲并把它分成至少两个光

20 脉冲，然后聚焦两个光脉冲到样品表面上，形成具有至少一个空间位相和空间周期的激发图样；产生探测光束的第二光源，探测光束从样品上衍射；检测探测光束的衍射部分以产生光诱导信号的一个光探测器；和一个处理器，配置成能够处理光探测器产生的光诱导信号并确定样品的

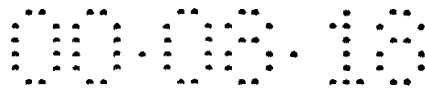
25 性质，其特征在于用于调节激发图样的空间位相的位相调节元件。

本发明实例的进一步优点在从属权利要求中叙述。

本发明有许多优点。总的来说，使用抖动在测量过程中改变激发图样的位相，能提高基于 ISTS 的厚度测量的精度：即使非常粗糙的薄膜，或包含能散射光束的区域的薄膜，都能准确测量。在这个应用中，ISTS

30 检测薄膜厚度的很小的变化，这变化能影响薄膜在微电子器件中的功能。

精度的提高在多点测量时特别明显。这些测量涉及在给定区域内用



多点测量厚度。多点测量的例子包括：1) ‘线扫描’，沿薄膜表面的一条线测量多于一个点，例如沿着薄膜的直径或边缘；2) ‘轮廓图’，基于二维点阵在薄膜上一个区域（例如圆、方形或矩形）进行测量。在这些多点测量过程中，抖动光学系统中的一个元件，会减少每一点测量厚度的标准偏差，从而提高总的测量精度。

在更一般的情况，本发明改善了全光学、非接触测量技术，该技术能有效测量单层或多层结构薄膜的厚度，如 ISTS。厚度值然后能用于控制制作工艺（例如，微电子器件的制造）。该装置具备光学测量的所有优点：每一个测量是非接触、迅速的（典型情况，每点少于 1 或 2 秒）、远距离的（光学系统能离样品 10 厘米或更远），和能在一个小区域内进行（小到大约 20 微米）。除了薄膜厚度的其他性质也可以通过使用抖动进行更精确的测量。

这些和本发明的其他方面是显然的，通过没有限制条件的例子阐明，参考在后面描述的实例。

在附图中：

图 1A 表示执行 ISTS 测量的光学系统，包括按照本发明的抖动位相掩模；

图 1B 表示图 1A 的抖动位相掩模的放大视图；

图 1C 表示图 1A 的位相掩模上的图样的侧面示意图；

图 2A 表示信号强度与时间关系图，对于从沉积在硅片上的铜/钽：氮化物/氧化物结构测量得到的波形；

图 2B 表示图 2A 的傅立叶变换；

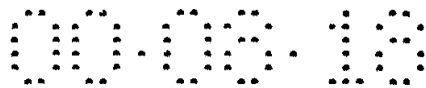
图 3A 和 3B 表示薄膜厚度作为从多点测量产生的位置的函数关系图，分别带有和没有图 1A 的位相掩模；

图 4A 表示按照本发明的抖动的样品底板的侧面示意图；

图 4B 表示按照本发明的抖动的激发激光的侧面示意图；

图 4C 表示按照本发明的抖动激发激光束的声光调制器的侧面示意图。

参考图 1A-C，一个光学系统 50 使用 ISTS 测量沉积在基底 11 上的薄膜 10 的厚度。类似的光学系统在以下专利中有描述，美国专利 5, 633, 711（题目是用光学引发的声子测量材料的性质）；5, 546, 811（题目是薄膜样品中的应力的光学测量）；和 U.S.S.N.08/783,046（题目



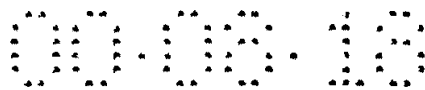
是测量薄膜厚度的方法和器件，7/15/96 提出申请)，它们的内容先前已经作为参考。系统 50 具有激光器 52，发射激发脉冲 12，例如穿过分束器 65。分束器 65 反射一部分脉冲到低速光子探测器 67，产生电脉冲触发数据采集系统（图中未表示）。激发脉冲 12 余下的部分通过分束器 65，照射准直透镜系统 60 和聚焦透镜系统 64，如柱面透镜，聚焦脉冲在位相掩模 62 上。

参考图 1B-1C，按照本发明，位相掩模 62 附加到马达驱动的平台 16 上，在测量过程中，‘抖动’前后水平运动掩模 62，相对于激发脉冲 12 的传播。如箭头 63' 所示，抖动一般为时间相关的、周期性的方式进行（例如正弦方式）。在抖动期间，激发脉冲 12 照射图样 66 在位相掩模 62 上，掩模 62 由玻璃组成，其被刻蚀以包括不同厚度的区域 88a, 88b。由图 1C 中箭头 67 所示，区域 88a, 88b 有一定的间隔（典型为 1 到 50 微米之间），间隔小于激光脉冲 12 在掩模平面内的点的大小。点的尺寸一般为椭圆，近似为 20×200 微米；椭圆的长轴与区域 88a, 88b 的扩展区正交地延伸。在典型的应用中，位相掩模前后运动范围为大约 $0.01\text{mm} - 2.0\text{mm}$ ，速度为大约 50 微米/秒。

抖动的范围一般与位相掩模上图样的间隔相同，如上面所述为在 1 到 50 微米之间。一般来说，优选地抖动位相掩模改变激发图样的空间位相，以增加方式的范围从 0° 到 180° ，或其倍数。因为激发图样优选为一系列平行的亮和暗区，这意味着在抖动期间亮区将移动到暗区的位置，暗区将移动到亮区的位置，如此反复。

在这种配置下，图样 66 衍射脉冲 12 为两个激发脉冲 12a, 12b，从掩模 62 以角度 θ 发散。在操纵期间，位相掩模的抖动引起区域 88a, 88b 的位置相对于椭圆激光点以时间相关方式变化。这个过程调制了每一个激发脉冲 12a, 12b 的光学位相，从而调制当激发脉冲在样品表面重叠时的激发图样的亮区和暗区的位相。在典型的测量中，抖动发生的频率（一般 $100 - 1000\text{Hz}$ ）比 ISTS 测量的数据采集频率高（一般 $10 - 500\text{Hz}$ ），因此在每一个抖动周期内能进行几个 ISTS 测量。

再次参考图 1A，激发脉冲 12a, 12b 从位相掩模 62 上散射，并照射焦距为 f 的消色差透镜对 70。透镜对 70 聚焦脉冲 12a, 12b 在薄膜 10 上，角度与脉冲从位相掩模上散射的角度 θ 相同。透镜对 70 叠加脉冲在薄膜 10 的表面 49 上，以使它们光学干涉形成空间周期激发图样 15。图

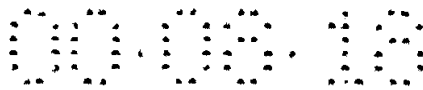


样 15 特征为大约 50 个交替的亮暗区。透镜对 70 离位相掩模距离为 $2f$ ，以使图样 15 的空间频率与位相掩模上的图样 66 的空间频率匹配（也就是消色差透镜对近似 1:1 成像）。如上所述以时间相关的方式相对于样品抖动位相掩模调节激发图样的空间位相，但不改变图样的空间频率。

5 在 ISTS 测量期间，薄膜吸收图样 15 中的亮区，结果发生热膨胀，发射反向传播的声波。声波形成‘瞬间光栅’，以声波的频率改变薄膜的表面（例如通过产生时间相关的表面波纹或折射率变化）。一旦开始，声波用探测激光器 54 发出的探测光束 20 测量。探测光束 20 穿过准直透镜 55 和聚焦透镜 71，照射在薄膜表面上的图样上或图样附近。一部分探测光束从表面波衍射形成衍射信号光束 20'，穿过透镜 76 并进入高速光检测器 80。光检测器 80 检测衍射光束 20'，产生光诱导电信号，由数据采集系统处理并产生声波频率调制的数据扫描。术语‘数据扫描’在这里指单个的测量。

15 在典型的测量中，一台计算机（图中未表示）从单个的点平均多个数据扫描（典型为 50 - 500 个扫描），产生信号波形 100，如图 2A 中所示。这样，在这个应用中，位相掩模在 ISTS 测量中抖动。这种情况下的平均数据扫描使数据具有高的信噪比（典型为 1:100,000）。图 2A 中的信号波形 100 是从标称的沉积在硅片上的 5185 埃铜/250 埃/1000 埃氧化物结构上测量的，表示 ISTS 信号强度 SI（单位为毫伏）作为时间 T（单位为纳秒）的函数。信号波形 100 的傅立叶变换 101 表示在图 2B 的图形中。该图表示功率 P（任意单位）作为频率 Fr（单位 MHz）的函数图。这些数据表示出信号波形的频率，因此声波模式的频率在这种情况下是大约 270MHz。为了确定薄膜厚度，这个声波频率由计算机分析，连同上面提到的参考中描述的激发图样的亮和暗区的间距的倒数（也就是波矢量），和薄膜的密度和声音速度一起。分析过程描述于例如美国专利 5, 633, 711，其内容在这里作为参考。测量能沿样品表面进行单点或多点测量。

30 图 3A 和 3B 表示使用上面描述的方法，通过抖动位相掩模如何提高位置相关的厚度测量。两个图中都沿 y 轴画出厚度 Th（单位为埃），沿 x 轴画出距离（单位为毫米）。图形的数据用图 2 中的样品获得，抖动的直线距离 0.035mm（图 3A）和没有抖动（图 3B）。为了进行位置相关的厚度测量，每 0.5 微米进行一次 ISTS 测量。从数据中清楚看出，



在薄膜厚度的测量中使用抖动位相掩模比没有抖动掩模的类似测量(全部范围大于 2000 埃)更加均匀(全部范围大约 75 埃)。普通技术人员会立即发现图 3b 中的厚度偏离不能准确代表铜薄膜的厚度,而图 3a 中表示的更具有代表性。

5 上面描述的本发明范围内有其他实例。换句话说,光学系统的其他元件能移动和改变,以实现激发图样空间位相要求的变化。在每一种情况下,优先考虑抖动元件能够引起激发图样的空间位相变化在 0° 到 180° 之间。

10 特别的,参考图 4A,激发图样的位相能通过运动样品底板 13 以时间相关方式调节,底板 13 水平地前后抖动(如箭头 14 所示)。该方法是类似于抖动位相掩模,它相对于样品表面 49 调节激发图样 15 的空间位相。在这种情况下,样品底板 13 的运动距离和速度与图 1A 和 1B 中抖动位相掩模的值相似。

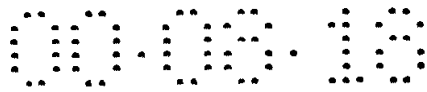
15 参考图 4B,在另一个实例中,激发激光器 52、平面镜(未示出)、透镜(未示出)或者这些的组合或光学系统中其他元件被抖动(如箭头 17 所示),以获得与上面所述抖动位相掩模相同的结果。抖动的范围和速度也与图 1A 和 1B 中所述相似。

20 总的来说,抖动是用马达驱动的平台或接收任何类型电信号的等效物通过移动系统中的任何元件(例如位相掩模)实现的。该信号能是正弦的、锯齿的、方形、随机或任何其他类型波形,在 0.1 - 1000Hz 之间。马达驱动的平台能用任何可移动元件替换,如压电器件。

25 如图 4C 所示,抖动能通过采用电光(例如普克尔盒)或声光调制器(例如布拉格盒) 47 来完成,放置在图 4B 所示激发脉冲的一个路径中。在这种情况下,调制器改变入射脉冲 12 的位相,同时产生两个激发脉冲 12a, 12b。当重叠在样品上时,这些脉冲形成随时间变化的激发图样。

30 在其他实例中,能使用不是图 1 所示的光学系统,其使用位相掩模产生激发场来激励声波和反射模式结构以测量该声波。这样的系统例如在 U.S.S.N. 08/885,555 中描述(题目是测量材料性质的改进的瞬间光栅方法和装置),这里作为参考。

同样的,位相掩模能用类似的衍射光学元件如振幅掩模、衍射光栅、电光调制器或能产生形成激发图样的光束的一些组合或等效物。衍



射元件能包括同时产生多于一个空间频率的图样，非周期的激发图样，或包含亮区是其他形状而不是平行直线的激发图样。例如衍射光学元件能产生包括一系列同心圆、椭圆或其他形状的激发图样。其他可接受的衍射掩模的图样在美国专利 5,734,470 中描述，题目为时间决定光学测量的器件和方法，其内容在这里作为参考。在这样的情况下，元件的抖动可能导致激发图样的改变，与所描述的平行的亮和暗区有一点不同。然而，这些激发图样的移动频率比数据采集的频率高，能有有益的效果。

同样的，任何适合的激光器能用来产生激发和探测光束。典型的激发和探测激光器分别是二极管泵浦 Nd:YAG/Cr⁴⁺YAG 微片激光器和一个二极管激光器，尽管其他激光器可能被使用。例如激发激光器可能是钛:蓝宝石，铬:LISAF，环形或光纤激光器。

在其他实例中，信号波形能被分析，并确定样品的厚度以外的性质。例如，声波的频率能用于确定薄膜的附着力、密度、硬度、弹性、表面粗糙度和其他力学或物理性质。此外，信号波形的分层而不是频率能被分析以确定样品的其他性质。例如波形的形状能被分析和确定附着力的程度、表面粗糙度或结构中一个或多个薄膜的组分。

从波形中能测量的其他性质包括离子注入硅片的性质，如注入离子的浓度和能量。这些性质的测量在 U.S.S.N. 08/783,406(题目为测量半导体材料中离子注入的方法和装置)和 U.S.S.N. 08/885, 555 (题目为测量半导体材料中离子注入的改进的方法和装置) 中描述，这里作为参考。

本发明的方法和装置能用于测量多种结构。例如本方法在确定微电子工业中使用的金属薄膜厚度上特别有效。这样的金属薄膜包括但不限于铝、铜、钨、钛、钽、氮化钛、氮化钽、金、铂、铌和它们的合金。这些金属可能包括在单层或多层结构中。其他能被测量的材料包括半导体（例如硅、GaAs,和它们的衍生物）聚合物，类金刚石薄膜、和掩埋的透明薄膜。

还有其他实例在下面的权利要求的范围中。

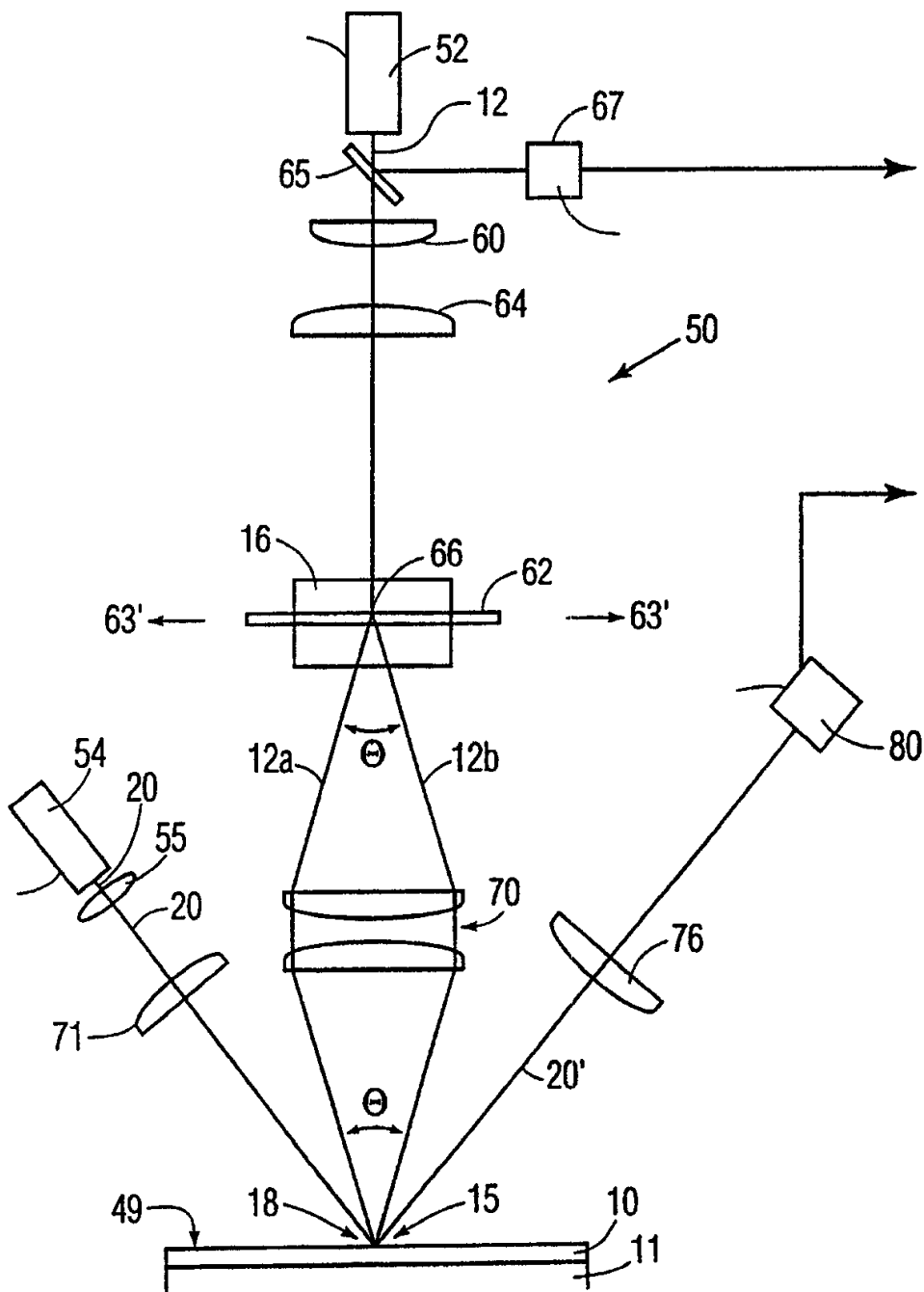


图 1A

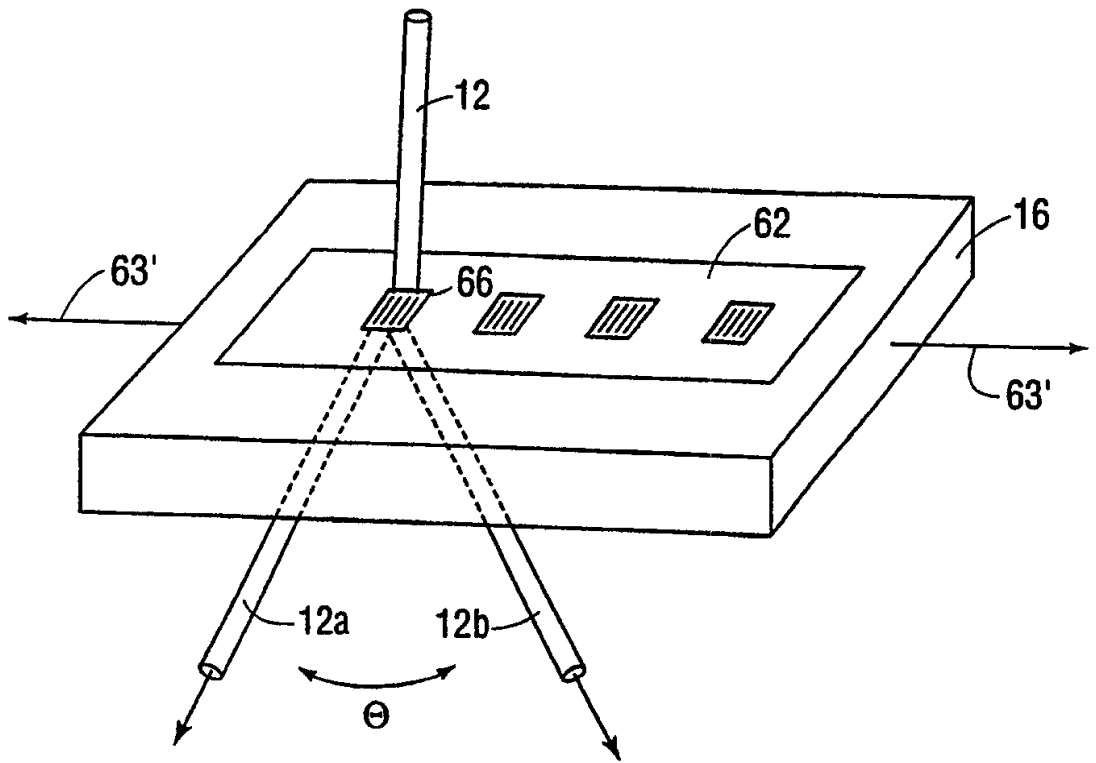


图 1B

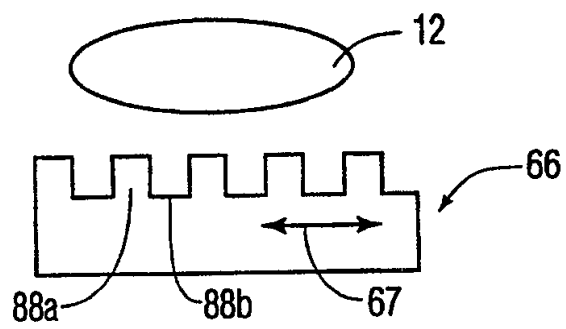


图 1C

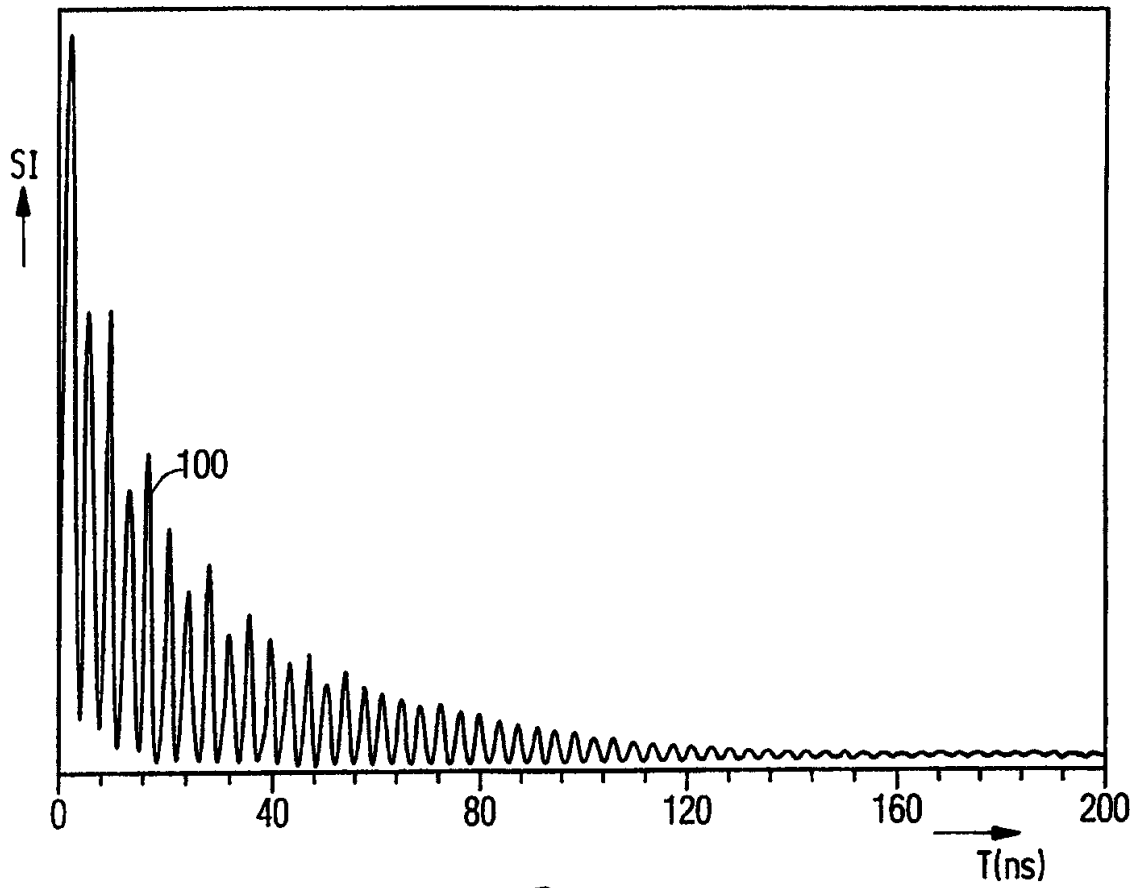


图 2A

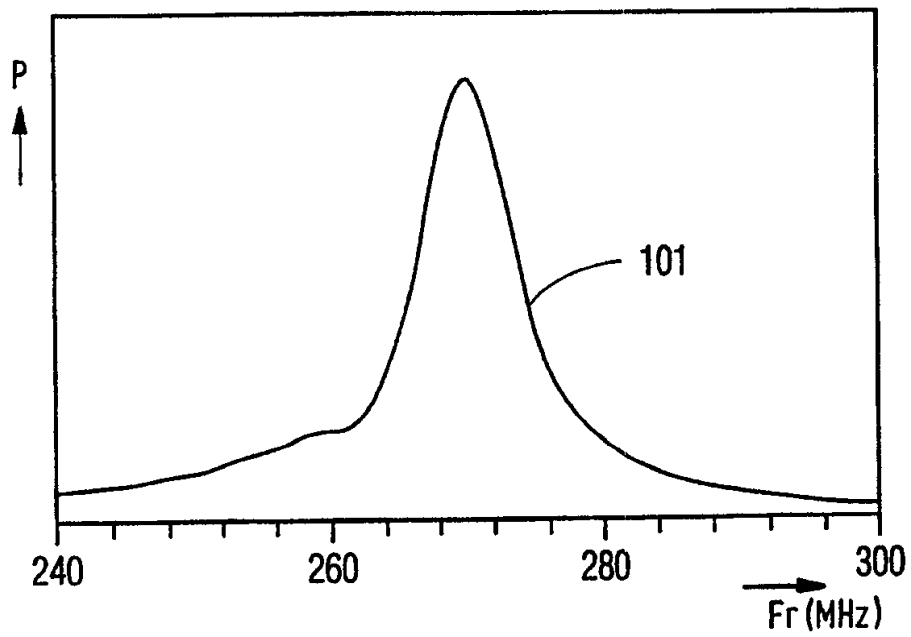


图 2B

00.08.18

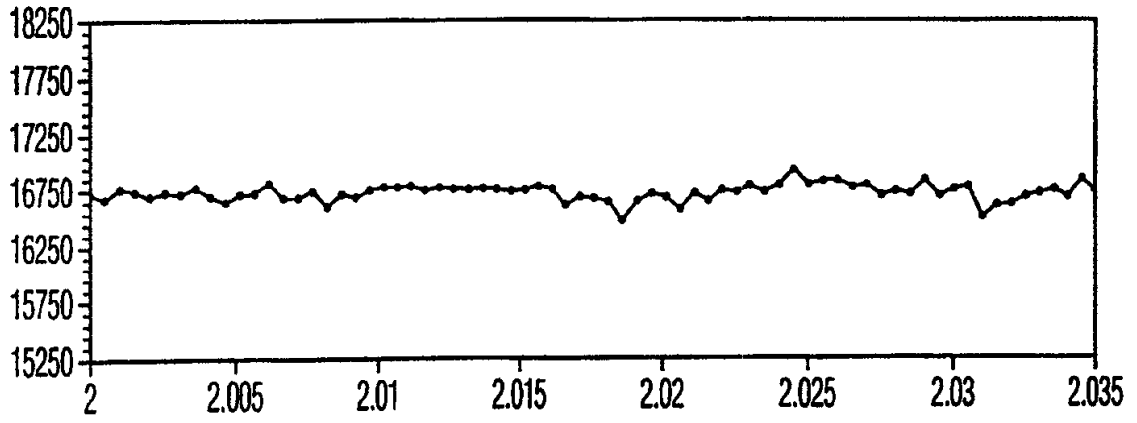


图 3A

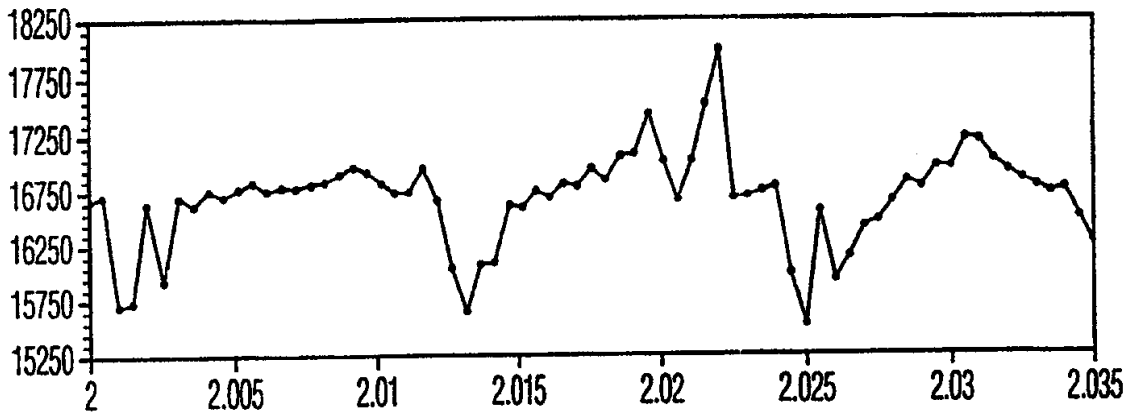


图 3B

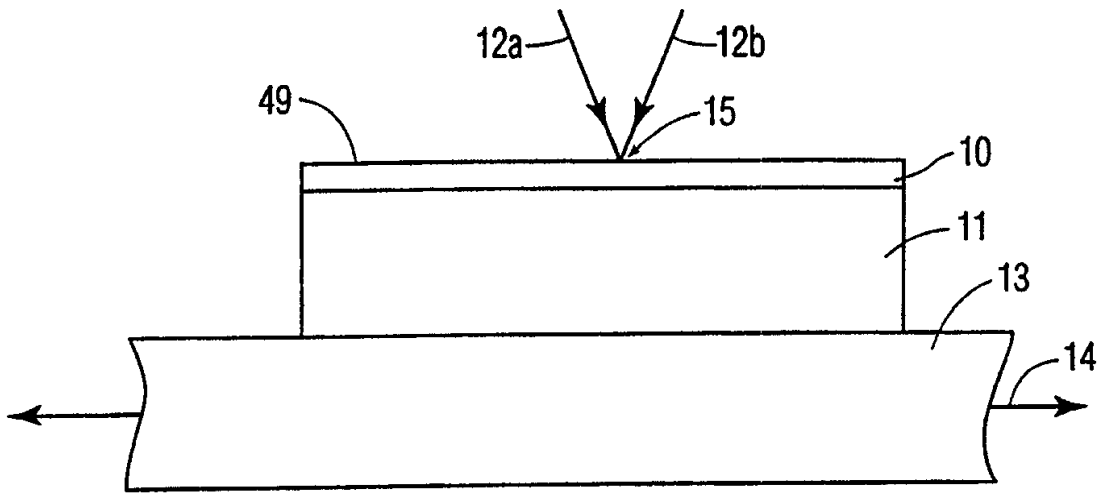


图 4A

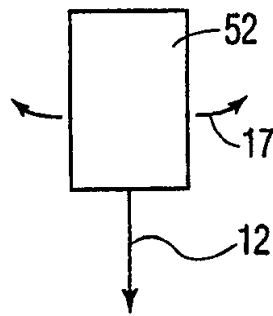


图 4B

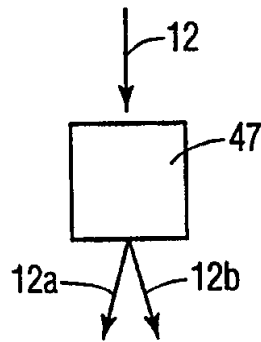


图 4C