

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H01J 37/32 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02817870. X

[45] 授权公告日 2009 年 8 月 5 日

[11] 授权公告号 CN 100524603C

[22] 申请日 2002.7.12 [21] 申请号 02817870. X

[30] 优先权

[32] 2001. 7. 13 [33] US [31] 09/905,032

[86] 国际申请 PCT/US2002/023234 2002. 7. 12

[87] 国际公布 WO2003/007327 英 2003. 1. 23

[85] 进入国家阶段日期 2004. 3. 12

[73] 专利权人 艾克塞利斯技术公司

地址 美国马萨诸塞州

[72] 发明人 A·卡多索 A·贾诺斯

[56] 参考文献

US5877032A 1999. 3. 2

JP2001 - 217227A 2001. 8. 10

US5405488A 1995. 4. 11

US6054333A 2000. 4. 25

CN1380541A 2002. 11. 20

US5362356A 1994. 11. 8

JP2001 - 210629A 2001. 8. 3

US6204922B1 2001. 3. 20

审查员 刘 琼

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 张雪梅 张志醒

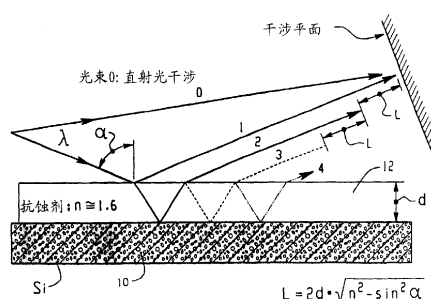
权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 6 页

[54] 发明名称

用于确定实时蚀刻速率的浅角干涉工艺及装置

[57] 摘要

一种用于确定等离子体媒介蚀刻过程期间的实时蚀刻速率的工艺过程和装置。实时蚀刻速率确定包括监测由直射光束和从晶片表面反射的光束产生的干涉图样。用于记录干涉图样的观察角度几乎平行于晶片平面,并处于将被去除的层上的固定焦点处。直射光束和反射光束是在等离子体处理期间在原处生成的。其中,根据下述关系式计算实时蚀刻速率 R : $R = \lambda / (2T\sqrt{n^2 - 1})$, 式中 λ 是通过等离子体、或通过光致抗蚀剂和活性反应物种之间的反应、或通过用于加热晶片的内部灯在原处产生的光束的波长; T 是干涉图样中两个连续最小值之间的时间周期间隔; n 是在 λ 处测量的光致抗蚀剂的折射率。



1. 一种用于测量实时等离子体蚀刻速率的装置, 所述装置包括:
包含端口的等离子体反应室;

反应室中的原位光源, 用于照明衬底的预定表面, 其中该光源产生相同波长的直射光束和多个反射和折射光束;

耦合到端口的光探测器, 所述光探测器包括以几乎平行于用以接收由直射、经晶片反射和折射的光束产生的干涉光信号的平面的角度聚焦于预定表面上的接收光学系统; 以及

与接收光学系统通信的计算装置, 用于从由直射、反射和折射光束产生的干涉光信号中计算实时蚀刻速率, 其中该计算装置基于由干涉光信号产生的干涉图样、要被去除的材料的折射率以及直射、反射和折射光束的波长计算实时蚀刻速率,

其中, 根据下述关系式计算实时蚀刻速率 R :

$$R = \lambda / (2T\sqrt{n^2 - 1}),$$

式中 λ 是通过等离子体、或通过光致抗蚀剂和活性反应物种之间的反应、或通过用于加热晶片的内部灯在原处产生的光束的波长; T 是干涉图样中两个连续最小值之间的时间周期间隔; n 是在 λ 处测量的光致抗蚀剂的折射率。

2. 根据权利要求 1 的装置, 还包括反应室中的辐射热源。

3. 根据权利要求 1 的装置, 还包括用于计算蚀刻终点的第二计算装置, 所述第二计算装置包括从在实时蚀刻速率计算期间生成的干涉光信号强度的变化中计算终点。

4. 根据权利要求 1 的装置, 其中光源的波长是选自由等离子体生成的物种发出的光的波长。

5. 根据权利要求 1 的装置, 其中光源的波长是选自由等离子体和衬底之间的反应生成的物种发出的光的波长。

6. 根据权利要求 1 的装置, 其中光探测器的观察角度不垂直于晶片表面的平面。

7. 根据权利要求 1 的装置, 其中光源的波长是选自由一个辐射热源发出的光的波长。

8. 一种用于测量实时等离子体蚀刻速率的装置，该装置包括：

包含端口的等离子体反应室；

光源，其中所述光源包括在蚀刻过程期间发出的光，其中所述光源包括相同波长的直射光束和多个反射和折射光束；

耦合到端口的接收光学系统，包括几乎平行于晶片平面和焦点的观察角，其中焦点设置在晶片平面上的一个点处，使得对由直射光束和多个反射和折射光束产生的、并由光学系统接收的干涉光信号有影响的光具有定位源；以及

与接收光学系统通信的计算装置，用于从由直射、反射和折射光束产生的干涉光信号中计算实时蚀刻速率，其中该计算装置基于由干涉光信号产生的干涉图样、要被去除的材料的折射率以及直射、反射和折射光束的波长计算实时蚀刻速率，

其中，根据下述关系式计算实时蚀刻速率 R：

$$R = \lambda / (2T\sqrt{n^2 - 1}),$$

式中 λ 是通过等离子体、或通过光致抗蚀剂和活性反应物种之间的反应、或通过用于加热晶片的内部灯在原处产生的光束的波长；T 是干涉图样中两个连续最小值之间的时间周期间隔；n 是在 λ 处测量的光致抗蚀剂的折射率。

9. 根据权利要求 8 的装置，其中在蚀刻过程期间发出的光由等离子体产生。

10. 根据权利要求 8 的装置，其中在蚀刻过程期间发出的光是在等离子体与衬底发生反应期间生成的光。

11. 根据权利要求 8 的装置，其中在蚀刻过程期间发出的光是由辐射加热灯系统产生的。

12. 根据权利要求 8 的装置，还包括多个多重探测器，其中该多个多重探测器的每个包括设置在晶片平面上不同点处的焦点，使得对由直射光束和多个反射和折射光束产生的、并由光学系统接收的干涉光信号有贡献的光具有定位源。

13. 根据权利要求 8 的装置，其中直射光的入射角度小于 88.5 度。

用于确定实时蚀刻速率的浅角干涉工艺及装置

技术领域

本发明涉及半导体工艺，更具体地，涉及用于测量实时蚀刻速率的装置和方法

背景技术

在集成电路制造中，半导体衬底或晶片经受到多道工艺步骤。其中一种工艺步骤包括蚀刻在晶片上构建的材料以便有选择地去除某些部分，以形成在集成电路制造中利用的各种特征。去除的部分通过通常采用有机光致抗蚀剂掩模形成的图案来限定。一种类型的蚀刻工艺采用干法化学处理，其通常指使用具有与要被蚀刻的材料发生反应的活性反应物种的等离子体，以便挥发并有选择地去除暴露的部分。另一种类型的蚀刻工艺（有时称为灰化）与光致抗蚀剂发生反应，以便从晶片挥发和剥离光致抗蚀剂掩模。

与等离子体蚀刻（灰化）工艺相关的一个问题在于难以确定蚀刻步骤何时完成。这种困难的发生是因为基于预定的蚀刻速率，等离子体技术通常是时控的工艺。预定的蚀刻速率通过执行校准步骤来识别，其中基于在已知的时间间隔中去除的衬底量来确定相对的蚀刻速率。由于对于实际器件制造期间的蚀刻步骤，在校准步骤期间使用的精确条件（即，压强、气流、电场等）会在某种程度上发生变化，因此时控工艺是不精确的，且仅能提供关于等离子体蚀刻过程何时完成的一个估计。基于时间的工艺不能提供实时的蚀刻速率。

作为蚀刻晶片所需时间上的不确定性的结果，采用了过蚀刻。这通常定义为在蚀刻被认为完成之后的一固定时间量，以便保证在整个晶片上完成蚀刻。此外，基于时间的工艺通常要求使用专用设备用于厚度测量，例如椭圆偏振计。为了确定相对蚀刻速率，在之前和之后必须进行厚度测量，由此要求操作者的干预。由于这并非蚀刻速率的实时测量，因此更多的问题在于该工艺引入了晶片到晶片的可变化性。

为了避免使用基于时间的工艺来确定蚀刻步骤的结束点，开发出了分析发生在反应室中的工艺的诊断技术。其中一项称为光发射光谱

学的这种技术，监视从晶片表面上的反应和等离子体中的光发射强度。光发射强度涉及生成的分子物种的浓度。当观察到光发射强度改变时，确定蚀刻过程的完成。当所监视的特定分子物种的浓度不再出现（或急剧下降），表示负责与等离子体发生反应以生成特定所监视物种的层已经被去除时，观察到光发射强度的改变。例如，来自在光致抗蚀剂层的蚀刻/灰化期间所创建的氢氧基物种的发光信号可以被监测以确定光致抗蚀剂层何时已被去除。光发射技术要求反应室配备有用于监测光发射的光学端口。

终点系统的一个缺点在于瞬时灰化速率是未知的。此外，终点确定中的不确定性还要求过蚀刻。

当前系统的另一个缺点在于无法预测终点。这种应用要求蚀刻过程在恰恰未达到终点时停止。这对于制造薄栅氧化物是尤其重要的。除非知道瞬间实时蚀刻速率，否则无法在终点系统刚完成之前停止。

光干涉是另一种已知的用于蚀刻速率测量的技术。具有薄层材料的衬底或晶片用已知光谱的光进行照射。从表面和材料界面反射的光引起由光探测器捕获的干涉图样。干涉图样行为由折射率的差异、被去除的材料厚度、入射波长和角度来确定。随着衬底厚度的改变，干涉图样也发生改变。该方法要求使用外部光源，通常为诸如激光的单色光源，专用的设备来收集、处理和将光干涉图样转换为厚度测量，以及反应室中用于入射和反射/折射光的专用观察端口。但是，这种系统所包含的可能不是具有成本效益的解决方案，最通常是这种情况，即观察端口不能任意地位于反应室中，因为这可能对严格的反应室几何形状产生影响。例如，入射光和在垂直与晶片平面的角度上的收集要求观察端口位于和等离子体/气源的相同的位置。此外，在使用辐射加热以维持晶片处在高处理温度下的处理室中，对于光干涉诊断的入射光需要相当大的功率，以便反射光充分地地位于由辐射加热源发出的强背景等级之上。但是，使用这种激光可以导致衬底表面局部过热，使得局部反应速率偏离晶片平均值一个不可忽略的量。在这种意义上，该技术不再被认为是非破坏性。

现在参考图 1，示出了描述对于在反射衬底材料上的薄膜涂层的光干涉的普遍原理。涂敷有具有厚度 d 和折射率 n 的光致抗蚀剂层 12 的半导体晶片 10。

当外部光束 λ 投射到光致抗蚀剂表面上时, 光从表面被反射和折射。反射光束(1)和折射光束(2、3、4......)根据包括表面的材料的折射率和光致抗蚀剂层厚度穿过不同的距离。假定厚度 d 在整个相关的折射长度中为常数, 连续的折射光束(2、3、4......)所穿过的距离中的差异为 L 。这一关系可以以数学形式如方程(1)和(2)所描述。对于单色光源 λ , 根据公知的光学原理, 距离 L 对应于连续光束之间的相移 $\Delta\phi$ 。应当注意到, 真正的问题在于“光”路长度中的差异, 而不是几何路径长度, 这是由于光线在更高折射率的材料中传播得更慢。光路长度取决于几何路径长度和沿该路径的折射率。

$$(1) \quad L = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}$$

$$(2) \quad \Delta\phi = 2\pi (L/\lambda)$$

如果光束 1 和 2 在探测器上彼此同相, 则光束产生相长干涉图样, 即 $\phi = 2k\pi$ (k 为整数)。相反地, 如果光束为异相, 则光束将提供相消干涉图样, 即 $\Delta\phi = (2k+1)\pi$ 。即, 其中一个光束的最小值与另一个光束的最大值相一致, 反之亦然, 由此使得彼此抵消或消除。

当光束投射到例如光探测器或光纤的目标上时, 相移 $\Delta\phi$ 将引起反射光强度从 0 (相消干涉) 变化到最大值 (相长干涉)。光强度将取决于不同光束的相位在 0 和最大值之间变化, 并创建干涉图样。干涉图样将提供相长和相消干涉的证据。在数学上, 相长干涉由方程(3)定义。相对比, 考虑异相光相消干涉可以由方程(4)定义。

$$(3) \quad L = k\lambda, k \in \mathbb{N}$$

$$(4) \quad L = k\lambda + \lambda/2, k \in \mathbb{N}$$

对于入射角接近直角的情况, 来自 3 阶和更高阶的反射的贡献相比较于 1 阶和 2 阶反射来说非常地小, 为了实际应用目的, 由于这些更高阶的反射不会影响干涉图形, 因此可以将其忽略。例如, 对于 $\Delta\phi = (2k+1)\pi$ 的相移, 连续反射光束 1 和 2、2 和 3、3 和 4 等将

是异相的，而光束 1 和 3、2 和 4 等将是同相的。但是，由于连续反射的强度呈指数性下降，因此占优势的干涉位于光束 1 和 2 之间，其如所示将为异相的，这将产生相消干涉图样。

相移的确定比由反射光线和折射光线的交替路径所施加的延迟更加复杂。在每个界面，都有反射和折射光线。根据在每个界面上的入射角、相对折射率和电场极化，施加了附加相移，其可以从 0 到 π 弧度发生变化。光源由具有所有偏振方向的光线组成。具体地，存在具有电场矢量垂直于入射平面的 s 波，以及具有电场矢量平行于入射平面的 p 波。入射平面由包含入射和反射（折射）波传播矢量的平面定义。注意，s 波的电场有时称为 $E_{\perp}$ ，而 p 波的电场有时称为 $E_{\parallel}$ 。在每个界面处的相位改变可以对于 s 波和 p 波是不同的。因此，每个相位需要单独计算。正如实际应用的，在探测器上，最终结果的相位改变将是由于光路长度差异和沿光路长度在每个界面上的相位变化这两个原因导致的相位改变的结果。

图 2 (a 到 d) 示出了对于光从低折射率材料到高折射率材料 (图 2a 和 2b)，以及光从高折射率材料到低折射率材料 (图 2c 和 2d) 的情况，对于电场每个分量的相位改变。(注意，这些附图恰好对于高折射率材料的折射率为 1.5 的情况)。可以看出，根据相对折射率、电场极化和到每个界面的入射角，在行为上有很大变化。对于这两种情况，极化角 θ_p 和 θ'_p 定义为 $\arctan(n_{rel})$ ，这里 $n_{rel}=n_2/n_1$ 是这两种材料之间的相对折射率或折射率之比，这里 n_1 是光从其中入射的材料的折射率。临界角 θ_c 定义为 $\arcsin(n_{rel})$ 。

图 3(a、b、c) 示出了对于从低折射率材料到高折射率材料 (图 3a 和 3b) 传播的光、以及从高折射率材料到低折射率材料 (图 3c) 传播的光，对于反射和透射波的振幅系数。

例如在等离子体媒介剥离 (mediated stripping) (蚀刻或灰化) 过程期间，随着光致抗蚀剂厚度 d 下降，在相长干涉图样和相消干涉图样之间的干涉图样周期性变化。两个连续最小值或两个连续最大值 ($\Delta\phi = 2\pi$) 之间的距离，对应于厚度 $[\Delta d]_{\text{一个干涉周期}}$ 的改变，并可以如所示的方程 (5) 进行数学描述。

$$(5) \quad [\Delta d]_{\text{一个干涉周期}} = \frac{\lambda}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}$$

因此,对于垂直于晶片平面的入射光 ($\alpha = 0$),厚度的改变 $[\Delta d]_{\text{一个干涉周期}}$ 通过方程 (6) 给出。

$$(6) \quad [\Delta d]_{\text{一个干涉周期}} \approx 8/2n \quad \text{对于} \quad \alpha \approx 0$$

厚度改变对于小角度变化的灵敏度非常低。例如,如果光致抗蚀剂的折射率等于 1.6 ($n = 1.6$),则角度 (α) 上 1° 的变化导致小于 0.006% 的误差。厚度改变 $[\Delta d]_{\text{一个干涉周期}}$ 对于小角度变化的灵敏度在数学上如方程 (7) 所示。观察角度中的变化可以作为例如晶片未对准或倾斜的结果发生。

$$(7) \quad Q_a^{\Delta d} = \frac{d(\Delta d)}{d\alpha} \cdot \frac{1}{\Delta d} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sin(2\alpha)}{n^2 - \sin^2 \alpha}$$

$$\text{对于 } \alpha \approx 0, Q_a^{\Delta d} = \frac{\alpha}{n^2}; \quad \text{对于 } \alpha \approx \frac{\pi}{2}, Q_a^{\Delta d} = \frac{\pi/2 - \alpha}{n^2 - 1}$$

这里 Δd 假设为代表 $[\Delta d]_{\text{一个干涉周期}}$ 。

厚度改变速率是通过测量两个连续的最小值或最大值之间的时间而计算的。因此,对于垂直于晶片平面的入射光 ($\alpha = 0$),如果时间 “T” 是干涉周期,则剥离速率 “R” 可以由方程 (8) 确定。

$$(8) \quad R = \left[\frac{[\Delta d]_{\text{一个干涉周期}}}{T} \right] = \lambda/2nT \quad \text{对于} \quad \alpha \approx 0$$

如所期望的,由于每个时间单位上可以观测更多的干涉周期,因此剥离速率 R 的时间分辨率对于短波长增加。

光干涉通常要求使用外部光源用于提供入射光束。典型地,光源包括使用发射波长大于 600nm 的单色辐射的激光器二极管。在辐射加热反应室中,由于用于加热晶片的辐射能量源通常发出竞争辐射 (competing radiation),因此该特定波长范围是不适合的。例如,钨灯发出辐射的范围从 500nm 到约 $2 \mu\text{m}$,因此与入射光发出的辐射光发生竞争。由辐射能量源贡献的背景噪声影响了由衬底表面的入射光产生的干涉图样。为了使该背景噪声的影响最小化,入射光强度必须具有足够大的幅度以克服系统中的噪声电平。但是,增加光束强度可以改变入射光的焦点处的温度。温度的增加会影响剥离速率,因此体

光致抗蚀剂 (bulk photoresist) 的实时等离子体媒介剥离速率将不精确。

该问题在低温剥离工艺过程中加剧，其中剥离速率具有强温度依赖性。提高温度来克服背景辐射可以导致局部剥离速率显著高于整个晶片上的晶片平均剥离速率，在观测速率中引入额外的故障源。

应当注意到，现有技术工艺无法精确描述实时蚀刻速率。相反地，现有技术工艺通常提供平均剥离速率。因此，在现有技术中存在对具有成本效率的改进的且稳固的工艺的需求，能够精确描述实时蚀刻速率，并使专用于执行速率测量的设备最小化。

发明内容

本发明旨在用于确定从晶片上剥离光致抗蚀剂涂层的实时剥离速率的工艺。该工艺包括将其上具有光致抗蚀剂涂层的晶片放置在等离子体反应室中，其中该等离子体反应室包括端口。光探测器耦合至该端口，其中光探测器包括处于几乎平行于晶片表面平面的观察角的接收光学系统，并固定地聚焦于光致抗蚀剂表面上的焦点处。生成包括活性反应物种的等离子体，并将光致抗蚀剂暴露于该活性反应物种。通过光探测器监测并接收干涉光信号，其中干涉光信号是从直射光束和通过晶片反射和折射的光束中产生的。该直射、反射和折射光束是在反应室中产生的，并在相同的波长下监测。从干涉光信号中提取干涉图样，并根据下述关系从干涉光信号中计算出实时蚀刻速率 R:

$$R = \lambda / (2T\sqrt{n^2 - 1}),$$

其中 λ 是通过等离子体、或通过光致抗蚀剂和活性反应物种之间的反应、或通过用于加热晶片的内部灯在原处产生的光束波长；T 是干涉图样中两个连续最小值之间的时间周期间隔；n 是在 λ 处测量的光致抗蚀剂的折射率。

一种用于测量实时等离子体蚀刻速率的装置包括一个包含端口的等离子体反应室。在反应室中的原位光源照射衬底的预定表面，其中该光源产生相同波长的直射光束和多个反射和折射光束。光探测器耦合到该端口，并包括以几乎平行于平面的角度聚焦于预定表面上的接收光学系统，用于接收由直射、经晶片反射和折射的光束产生的干

涉光信号。该装置包括与接收光学系统通信的计算装置，用于从由直射、反射和折射光束生成的干涉光信号中计算实时蚀刻速率。该计算装置基于由干涉光信号中产生的干涉图样、要被去除的材料的折射率以及直射、反射和折射光束的波长计算实时蚀刻速率 R ：

$$R = \lambda / (2T\sqrt{n^2 - 1})。$$

本发明还提供了一种用于测量实时等离子体蚀刻速率的装置，该装置包括：

包含端口的等离子体反应室；

光源，其中所述光源包括在蚀刻过程期间发出的光，其中所述光源包括相同波长的直射光束和多个反射和折射光束；

耦合到端口的接收光学系统，包括几乎平行于晶片平面和焦点的观察角，其中焦点设置在晶片平面上的一个点处，使得对由直射光束和多个反射和折射光束产生的、并由光学系统接收的干涉光信号有影响的光具有局部化来源；以及

与接收光学系统通信的计算装置，用于从由直射、反射和折射光束产生的干涉光信号中计算实时蚀刻速率，其中该计算装置基于由干涉光信号产生的干涉图样、要被去除的材料的折射率以及直射、反射和折射光束的波长计算实时蚀刻速率 R ：

$$R = \lambda / (2T\sqrt{n^2 - 1})。$$

本发明的其他实施例设计为提供该基本要素的特定特征和结构变形。当结合下述的详细说明和附图加以考虑时，所涉及的具体实施例和可能的变形以及本发明的各种特征和优势将得以更好地理解。

附图说明

图 1 是反射衬底上的透光薄膜中多个反射/折射的干涉的示意性表示，其为现有技术的表示。

图 2 (a - d) 示出了对于 $n_{rel} = n_1 / n_2$ ： $n_{rel} > 1$ 和 $n_{rel} < 1$ 这两种条件下，s 波和 p 波的相移。

图 3 (a - c) 示出了对于两个界面，在 $n_{rel} = n_1 / n_2$ ： $n_{rel} > 1$ 和 $n_{rel} < 1$ 这两种条件下，s 波和 p 波反射和透射的振幅系数。

图 4 是包括反射衬底上的透明薄膜中直射光源和多个反射/折射的干涉的示意性表示。

图 5 是示出作为时间和干涉周期的函数的单色光强度的图。

图 6 是示出由直射光源产生的模型化干涉图样的图。

图 7 示出实时蚀刻速率的典型输出轨迹，和示出作为时间函数的 309nm 处的发光辐射强度的同时终点探测器轨迹。

具体实施方式

用于实时蚀刻速率测量的工艺过程和装置包括在蚀刻或灰化（剥离）期间测量浅角干涉图样。用于浅角干涉测量的光源是在蚀刻过程期间发射的光。该发射的光或是通过等离子体、通过等离子体与衬底的反应期间生成的发光物种、或通过辐射加热灯系统原位产生的。具有优势地，该工艺过程和装置可以适用于现有的观察端口、光学系统和通常在蚀刻设备中发现的终点探测设备。此外，该工艺过程和装置可以配置为与终点探测过程和装置同时操作，以便以非常好的成本效率方式同时提供实时蚀刻速率测量和终点探测。

在美国专利申请序列号 No. 09/449,338 中给出了这种装置的一个示例，通过在此引用其整体以供参考，其描述了设计用于高级终点探测和浅角测量的硬件。该硬件系统对于本发明的应用是理想的。

应当注意，尽管至今为止的分析一次考虑了一个入射光束方法，接收光学系统实际接收了在由该接收光学系统的大小限定的锥形中的各种角度的光线。因此，在限定一组入射角的标称角附近存在锥形角。

该工艺过程和装置将公知的光学干涉原理应用于测量原位实时蚀刻速率。具体地，该工艺过程和装置利用浅角光干涉技术，其中观察角度几乎平行于晶片。即，接收光学系统的干涉平面相对于晶片的法线接近 90 度。装置的接收光学系统的焦点设置在晶片表面上，以便由接收光学系统捕获的用于干涉图样的光具有定位源（localized origin）。聚焦的收集点通常可以被认为是仿效在背景技术部分中描述的传统干涉方案中的激光入射点。由于光探测器的观察角度几乎平行于晶片平面，因此由辐射加热源引起的背景辐射的效应是最小的。浅角干涉还允许使用高级终点系统硬件（在美国专利申请序列号 No. 09/449,338 中描述的），其使得辐射加热灯光减小到足够低，以便避免探测系统（例如，分光计）中的杂散光问题。杂散光可以破坏波长的光谱分离，高光照明度可以使探测器饱和。（杂散光是一个波长的光，其由于从大量光学表面上散射，因此没有按意图在

探测器仪器中的光路进行发送。当强度相对于正在观测的信号电平来说非常大时，这个问题变得十分显著。）因此，该工艺过程和装置可以被用于包括辐射加热源的那些蚀刻系统中。

如图 4 所示，使用浅角干涉允许使用直射光来提供干涉图样，即光束 0。假设晶片表面上的光收集区域很大，则来自该区域中的每个基本点的光强度总和会平均化并抵消干涉图样。因此，接收光学系统聚焦于晶片上的一小点。注意，可以用多个探测器通道同时监测多个点。在这种方案中，入射光起源于（1）等离子体与表面上或紧邻晶片表面之上的光致抗蚀剂 a 之间的反应，或者（2）等离子体本身，或者（3）来自内部辐射加热系统灯。干涉图样随着抗蚀剂膜变薄而变得更明显（如图 5 所示），高阶折射也变得明显。（尽管不想受到理论的约束，但这可能是由于减少的通过薄膜引起的光吸收）。

参考上述讨论，本发明的各种折射率的标称值如表 I 所示。

表 I

材料	折射率
工艺室气氛	1.0
抗蚀剂	1.6
硅晶片	3.87

对于反应室气氛到抗蚀剂界面的相应的特殊角（参加附图）如表 II 所示。

表 II

特殊角	值（度）
θ_p	57.99
θ'_p	32.01
θ_c	38.68

对于抗蚀剂到 Si 晶片界面的相应特殊角如表 III 所示。

表 III

特殊角	值（度）
θ_p	67.54

注意，尽管在本处理中，抗蚀剂下面的衬底假设为硅，也可以存在其他的衬底材料，本发明所产生的操作也将是类似的。

注意，任何的到晶片上的入射浅角大于约 88.5° 的情况将会导致

极少的光进入抗蚀剂，对于进入抗蚀剂内部的少量光，在抗蚀剂内部的总的光内部反射将对于非吸收抗蚀剂而发生。如果这将要发生，将不会产生干涉图样。实际上，抗蚀剂具有少量的吸收。

从这些图表中，可以看出界面上的所有相移或是 0（或接近 0）或 π （或接近 π ）弧度，导致了对称的信号波形。（但是，参见下面的直射光贡献。）

因此，对于本发明，仅仅由于界面引起的净相移如表 IV 所示。

表 IV

	s 波	p 波
反射光线 (1)	π	π
第一折射光线 (2)	π	0
第二折射光线	2π	0

因此，对于本发明，相位或者是同相的，或者是异相的。对于探测器上的净信号，对于各种光线所有上述相移和反射/折射系数都应当考虑，以便能够预测所产生的在时间上的信号波形。由于光通过不同材料而引起的非零吸收也应该考虑，其将改变如上述表中所显示的系数。这一行为可以导致探测器上外形非常复杂的净波形。每个波（s 波和 p 波）除了具有由于膜厚度变化引起的基波和二次谐波外，还有其各自的相移。然而，底线在于净波形可以被分解为基波和二次谐波。当然，可以通过将电场的两种极化其中之一滤波来简化波形。

使用直射光分量（光束 0）来改变对于固定几何形状和位置的光源的信号行为。在探测器上，在直射分量和所有其他分量之间存在相位差 δ ，这仅仅是因为几何路径长度中的差异。尽管该相位差在直射光和所有其他光束之间为相同的常数，但该差对其他光束的影响对于某些光束是有区别的，这是由于其增加到其他的相移上，且由于抗蚀剂膜厚度的改变引起的相位变化速率对于第二折射光束是第一折射光束的两倍。对于探测器上的信号的净效应是相对于非直射光情况的相移，而且还通常是波形的改变。在两种情况中，由于膜厚度变化引起的频率分量是相同的；即，存在基本频率和二次谐波频率的分量，尽管在程度上是不同的。干涉周期仍然由反射和折射光束之间的相移差异所控制。

通过所探测信号的建模，由直射光和所有其他光束之间的几何路

径长度中的差异引入的附加相移被估算为大致为 $0.2-0.8$ 弧度。对于 88.5° 的入射角，这对应于 $10-40\text{nm}$ 距离的差异。接着，这对应于光源位置距离反射点 $10-30$ 微米。因此，光源非常接近于晶片（特别考虑浅入射角），对于附图中给出的具体示例，使用来自晶片表面的反应的光。因此，该附加相移可以被用于帮助确定用于干涉分析的光源的起源。事实上，对于该浅角操作，不同时探测直射光是很难的。

图 5 示出了第二叠加干涉，其振荡在工艺过程的约一半大约 125 秒处变得可见，并随着过程的进展而增大强度。该图暗示出该附加振荡具有两倍的基本干涉频率（类似于二次谐波），其最小值几乎和基本干涉的最小值和最大值重合。由于相移 δ 因此该最大值和最小值不精确重合。由于路径长度对于给定的膜厚度为 $2L$ ，因此该双倍频率振荡产生于光束 1 和 3 之间的干涉。即，厚度变化产生了两倍于光束 1 和 2 之间的相移的相移。一旦该振荡变为可见，优选测量基本主频率的两个最小值之间的干涉周期，以避免对于这里给出的情况的测量误差。测量两个最大值之间的干涉周期更倾向于引起由于接近于主最大值的位置存在二次谐波的测量误差。可替换地，可以跟踪二次谐波并得到两倍的时间分辨率。

图 6 描述了采用直射光干涉的模型化干涉图样。在该干涉图样中，考虑了光束 3（参见图 1 和 2）。对于描述直射光的干涉图样的模型，其假设光束 0 和 1 之间的路径差异将引入 0.75 弧度的相移。

对应于两个最小值 $[\Delta d]_{\text{一个干涉周期}}$ 之间的距离的厚度变化由方程 (9) 给出，这是由于对于浅观察角度 ($\alpha \approx 90^\circ$)， $\sin^2 \alpha$ 接近 1。如果使用“T”定义干涉周期，则剥离速率 R 可以由方程 (10) 给出。如同在垂直入射的情况下，厚度变化 $[\Delta d]_{\text{一个干涉周期}}$ 对于小角度变化的灵敏度有利地是非常小的。例如，对于 1.5° 的偏离 ($\alpha = 88.5^\circ$)，将引入小于 0.04% 的误差。同样的，由于波长 λ 变化引起的误差也是很小的，这是由于对于任意给定过程的特定波长可以通过传统方法很容易并完全地进行描述。

$$(9) \quad [\Delta d]_{\text{一个干涉周期}} = \lambda / (2\sqrt{n^2 - 1}) \quad \text{对于} \quad \alpha \approx 90^\circ$$

$$(10) \quad R = \lambda / (2T\sqrt{n^2 - 1}) \quad \text{对于} \quad \alpha \approx 90^\circ$$

在计算剥离速率 R 中的误差来源是折射率 n 和连续最小值 T 之间时间变化的确定。光致抗蚀剂或将从晶片上去除的材料的折射率要求在过程中监视的光束波长上进行仔细的确定。本领域技术人员理解，折射率在整个给定波长范围上并不是恒定的，因此，要求在过程中使用的光波长上进行确定。例如，如果对于 309nm 的波长，折射率相对于 1.60 被确定为 1.64 将导致灰化速率中 4% 的误差。

在短干涉周期（高剥离速率）的情况下，优选提高采集频率（acquisition frequency），以便维持很好的精度水平。如果不能设置足够高的采集速率，则干涉最小值最可能落在两个数据采集点之间（栅栏效应），则最小值的时间准确度可能不够。在这种情况下，可以采用插值技术来估计两个数据点之间的最小值的时间位置。例如，如果相对于 0.01 秒将数据采集间隔设置为 0.1 秒，则灰化速率中引入的误差仅为 0.5%。

使用以直射光源的浅角干涉原理来进行速率确定的过程的优势如下：

1. 消除了对于外部单色光源的需要，由此消除了对于反应室中附加观察端口的需要。优选地，该过程利用具有通常目前用于终点探测光学设备的观察端口的反应室。优选地，该端口的观察角度为几乎平行于晶片表面平面的角度。

2. 光源具有已知且稳定的光谱。该光谱根据气体化学成分对于每个蚀刻过程是唯一的，并且对于绝大多数情况是被完全表征的。例如，对于基于氧气的等离子体，与基于酚的光致抗蚀剂的反应产生了对应于 309nm 的 -OH 发射信号和 431nm 的 -CH 发射信号的强发射。可替换地，该过程可以利用选自在任何反应或暴露给衬底之前、由等离子体产生的光谱的波长。可替换地，该过程可以利用选自用于加热晶片的灯的光谱的波长。

3. 由反应副产物产生的可用波长可以通常在 UV 区域中发现。紫外区域此后定义为包括可见光和 X 射线之间的电磁光谱的区域。优选地，由反应副产物产生的波长在大约 200nm 到大约 400nm 的范围内。相对于通常利用大于 600nm 波长的传统激光工艺，使用更短的波长提供了明显更高的分辨率。使用更短的波长提供了更大的每个时间单位的干涉周期。然而，可以使用更长的波长；特别对于更厚的膜、更慢

的灰化速率、或对于在紫外区域中不透射的膜。

4. 由于可以使用相同的设备装置，因此用于确定实时蚀刻速率的工艺过程可以结合终点探测，由此使成本和设备空间最小化。

下列示例在上述更一般性描述的本发明范围内，并用于示例说明本发明。提出这些示例仅用于描述目的，而并非限制本发明的范围。

示例 1

在该示例中，使用浅角干涉确定剥离速率。其上具有光致抗蚀剂的晶片被放置于 Gemini ES 等离子体灰化器的反应室中。该晶片暴露在基于氧气的等离子体中。接收光学系统的干涉平面相对于晶片平面的角度大约为 89 度。使用光学系统和配置用于终点探测的观察端口来收集数据。监测对应于 309nm 的 OH 信号的发射信号，其结果如图 5 所示。由光学系统接收的信号被滤波以降低二次干涉的效应。在 309nm，采用传统的椭圆偏光法技术将光致抗蚀剂的折射率确定为 1.6 ($n=1.6$)。两个最小值之间的时间期间去除的光致抗蚀剂量由下式确定：

$$[\Delta d]_{\text{一个干涉周期}} \approx 309 \text{ nm} / (2 \sqrt{1.6^2 - 1}) \approx 124 \text{ nm}$$

考虑最小值之间的连续间隔，如图 5 所示确定剥离速率。剥离速率从大约 225nm/分钟增加到大约 400nm/分钟的最大值。剥离速率提供了实时测量。尽管观察到 OH 信号的强度在剥离过程期间增加，其变化不会影响干涉图样的周期性。如前所述，OH 信号的强度变化是定性的，不和剥离速率成比例。所获得的数据用于确定实时剥离速率和工艺终点 ($t \approx 360$ 秒)。

尽管参考示例性实施例描述了本发明，本领域技术人员将会理解，可以进行各种变化，并可以用等价物代替其元素而不脱离本发明的范围。此外，可以进行各种修改以将特定情况或材料适应于本发明的教导，而不脱离其本质范围。因此，本发明不意在限于这里公开的特定实施例作为执行本发明的最佳模式，而是使本发明包括落在附属权利要求范围之内内的所有实施例。

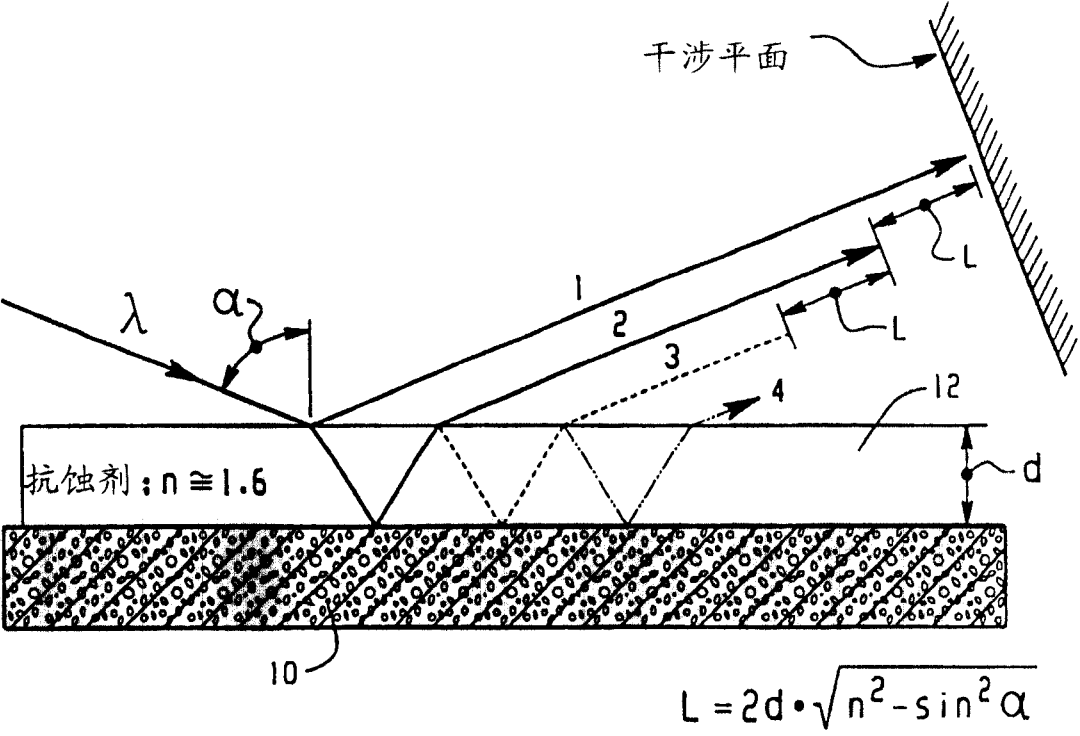


图 1

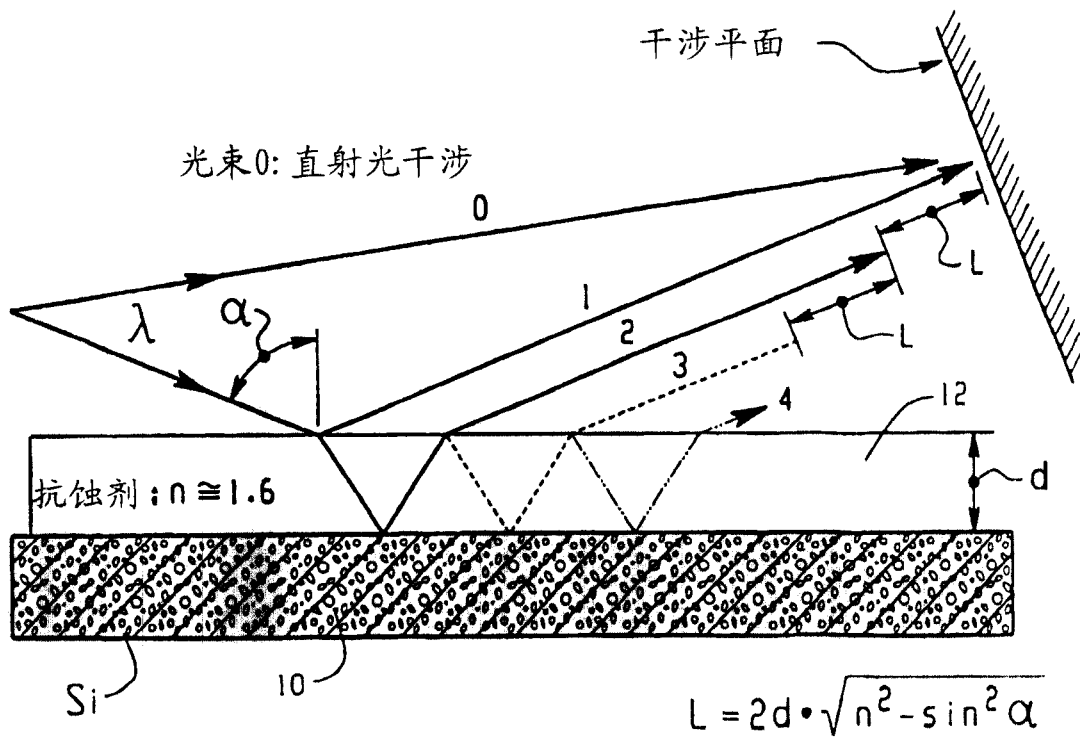


图 4

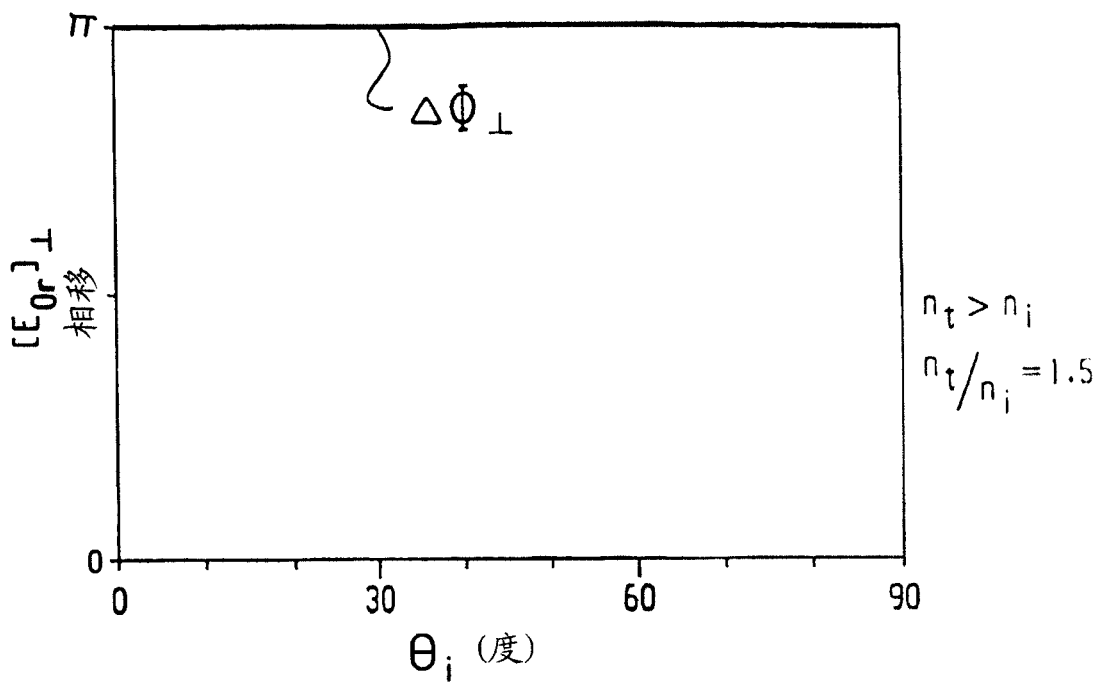


图 2A

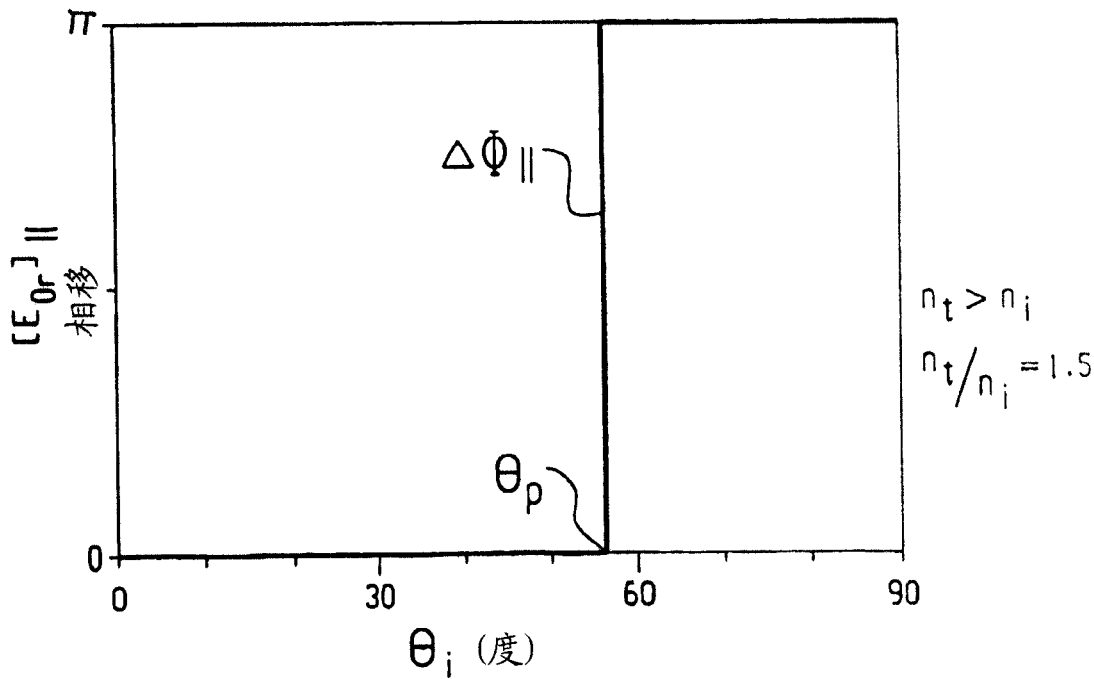


图 2B

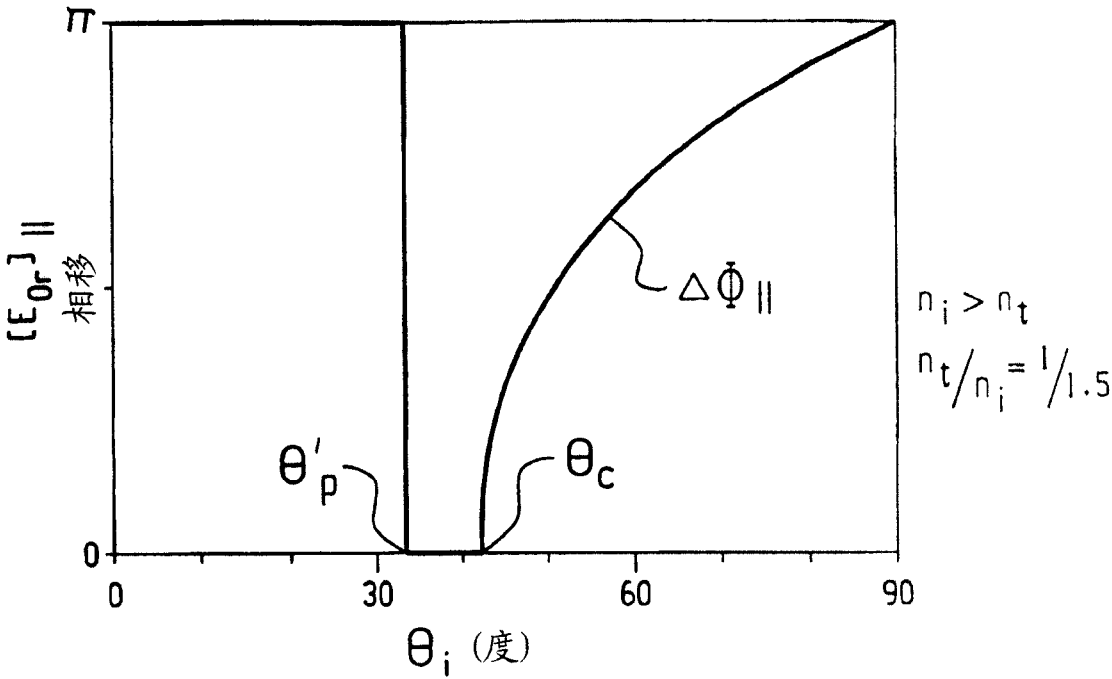


图 2C

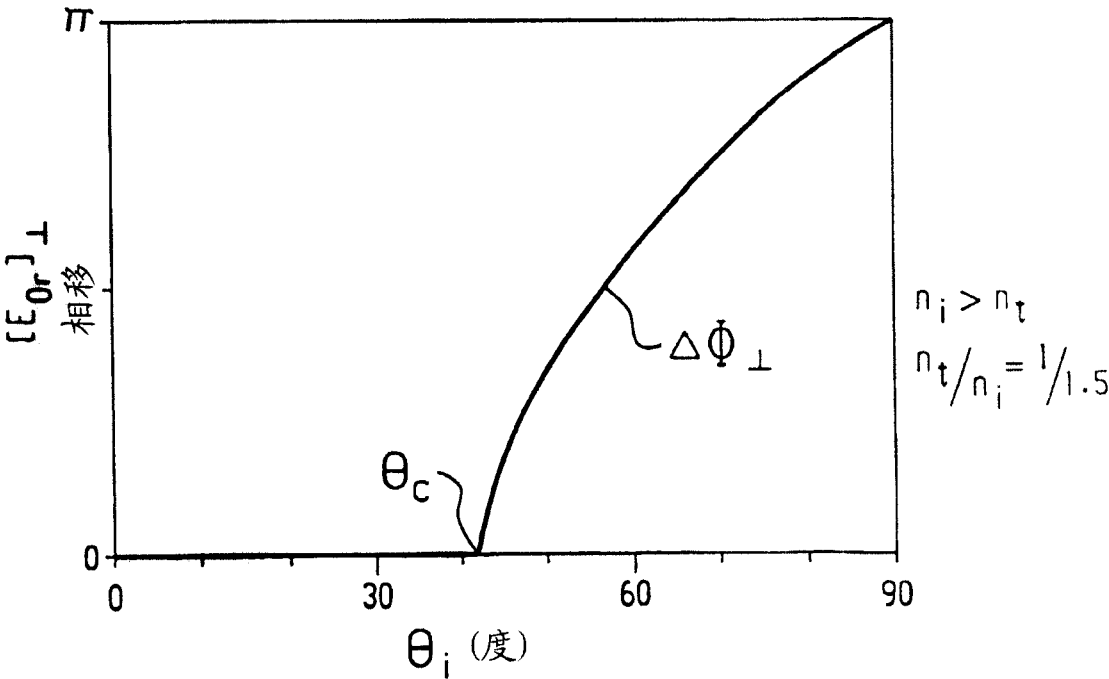


图 2D

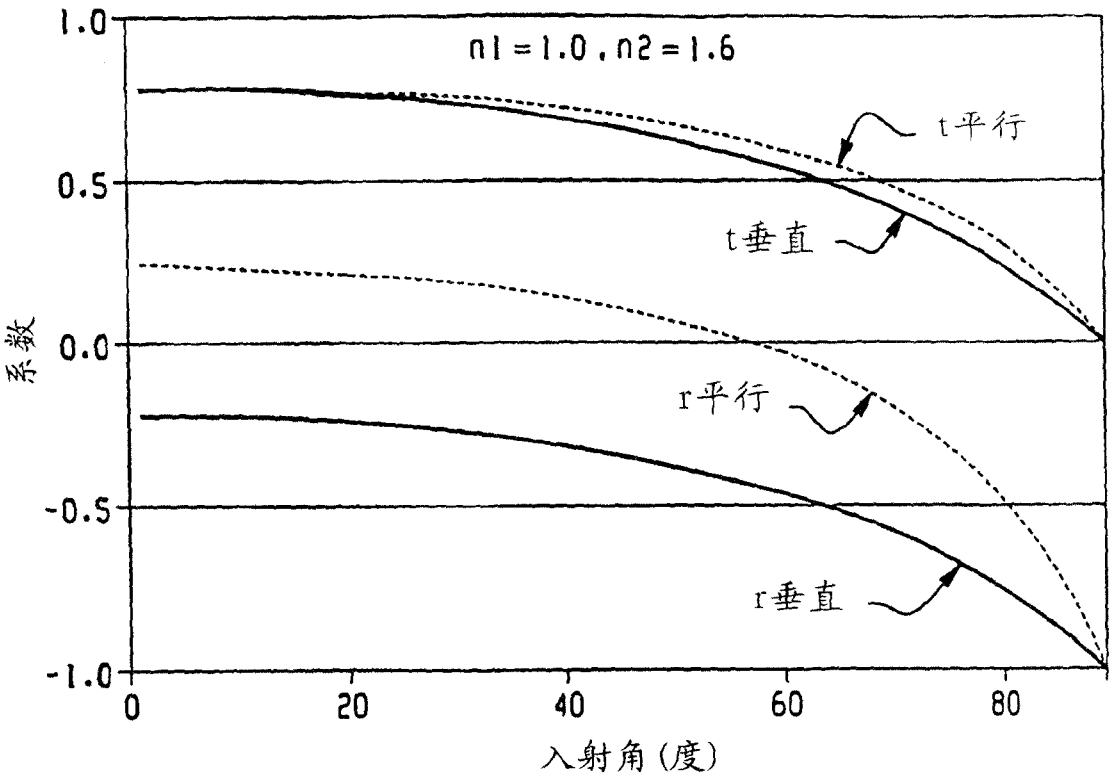


图 3A

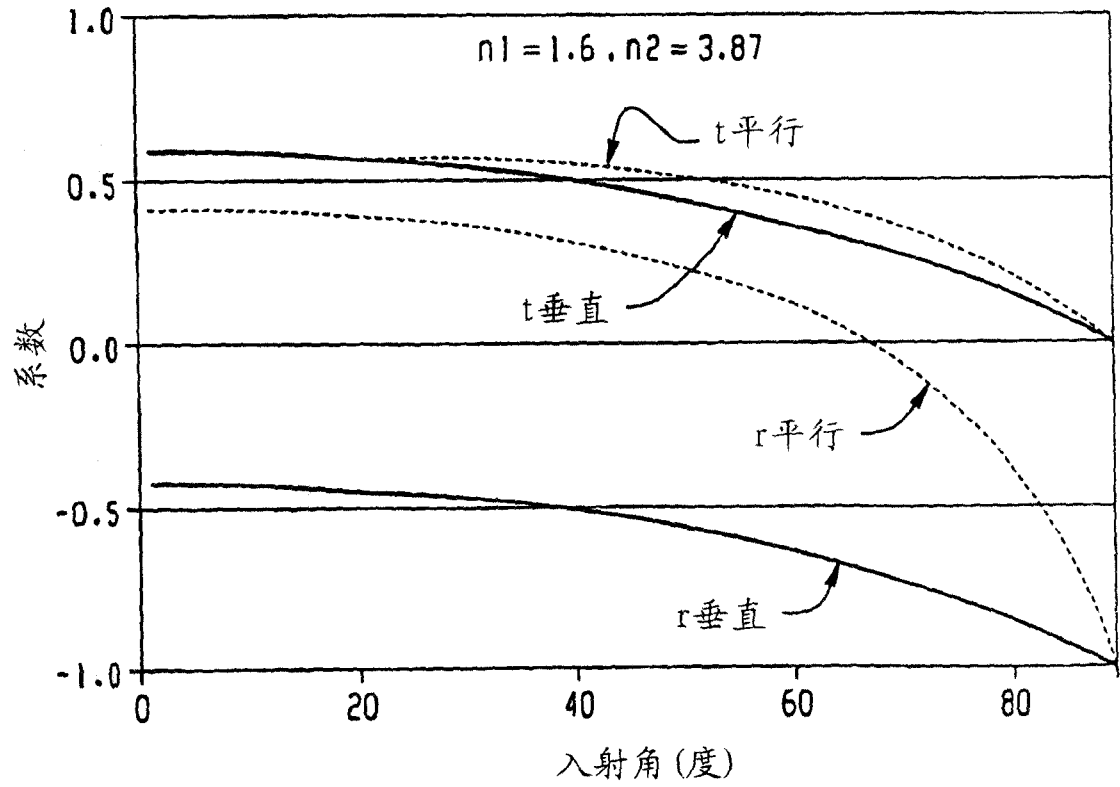


图 3B

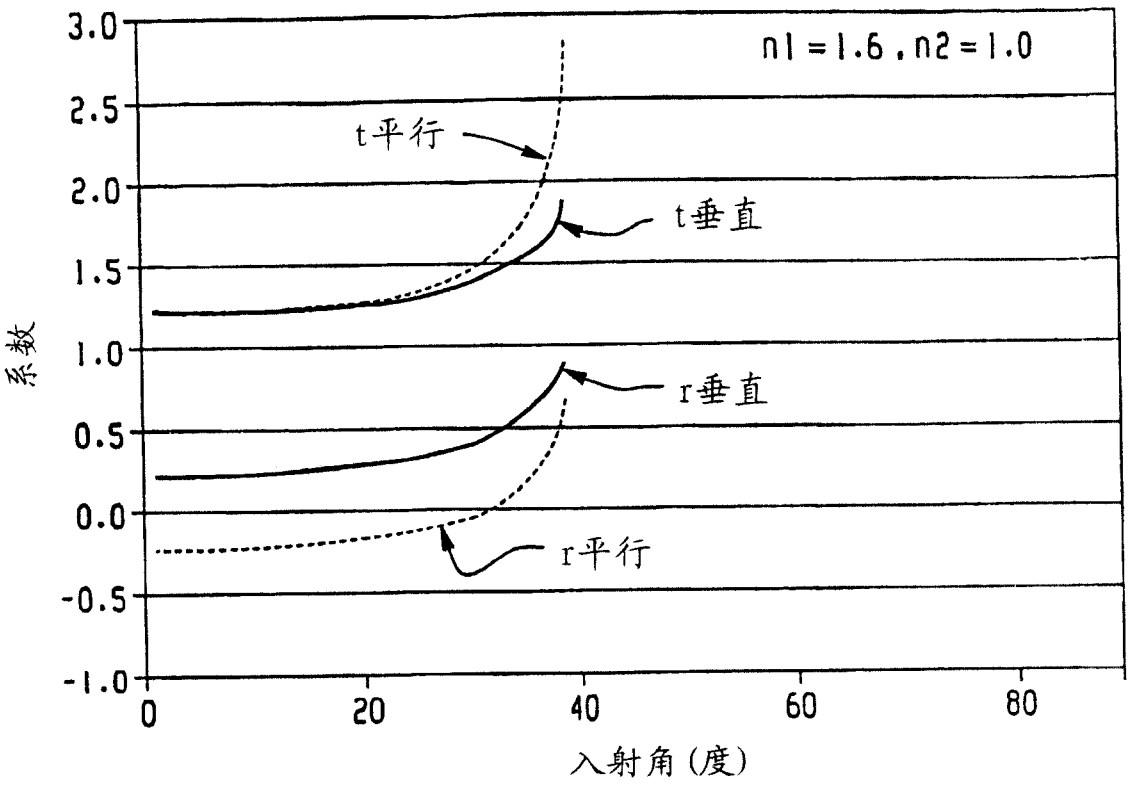


图 3C

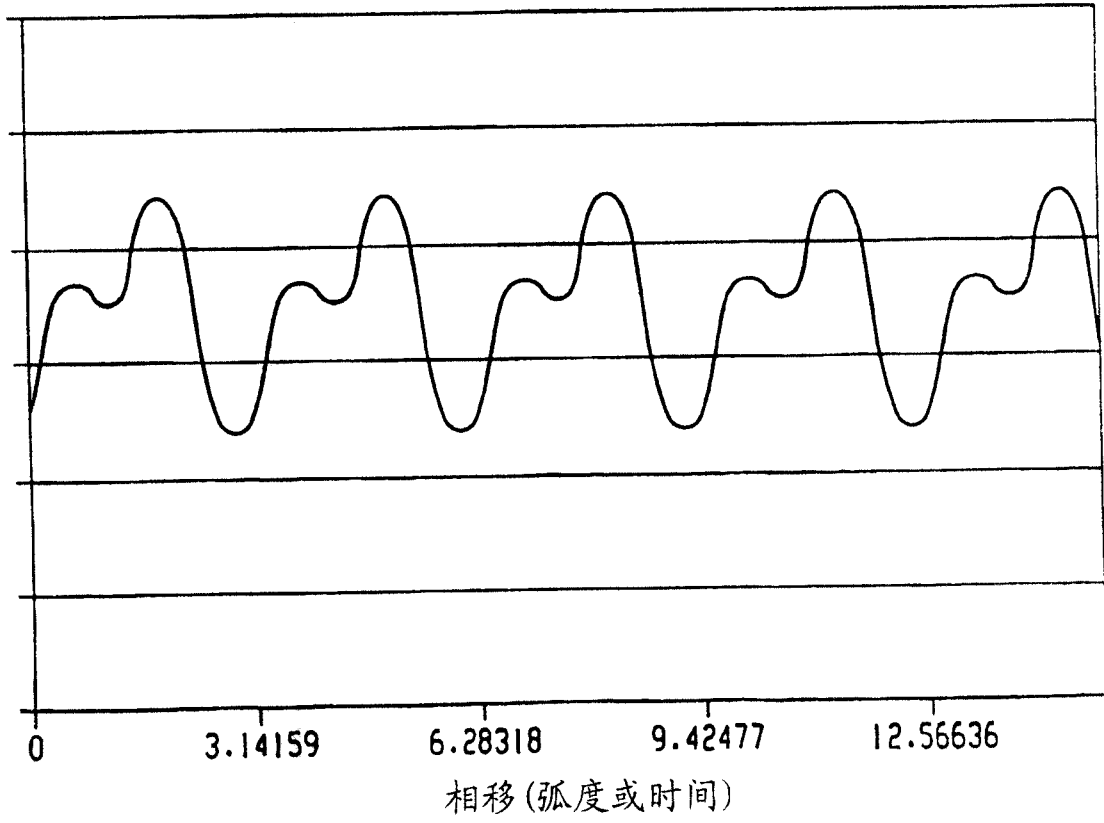


图 6

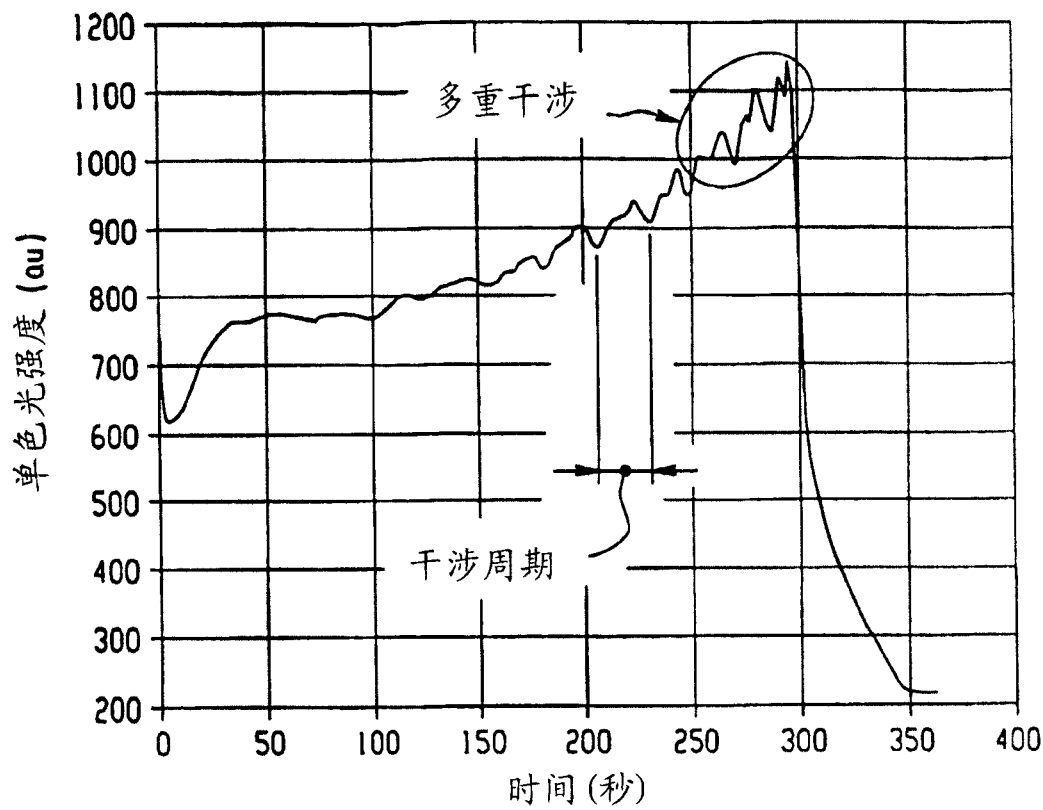


图 5

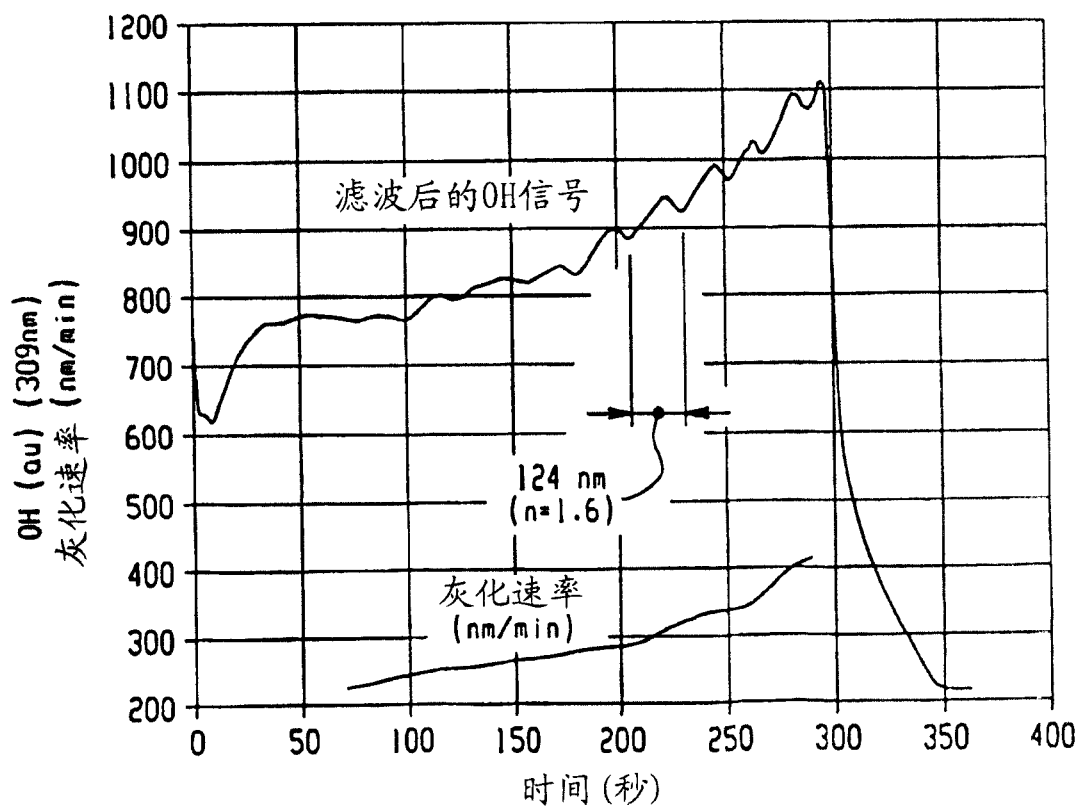


图 7