

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G03F 1/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 97194798.8

[45] 授权公告日 2007 年 4 月 18 日

[11] 授权公告号 CN 1311292C

[22] 申请日 1997.5.9 [21] 申请号 97194798.8

[30] 优先权

[32] 1996. 5. 20 [33] US [31] 60/017,989

[32] 1997. 2. 10 [33] US [31] 08/797,443

[86] 国际申请 PCT/US1997/007956 1997. 5. 9

[87] 国际公布 WO1997/044710 英 1997. 11. 27

[85] 进入国家阶段日期 1998. 11. 20

[73] 专利权人 杜邦光掩公司

地址 美国德克萨斯州

[72] 发明人 P·F·卡思尔 R·H·弗伦奇

[56] 参考文献

EP 0620497A 1994. 10. 19

EP 686876A 1995. 12. 13

EP 0567169A 1993. 10. 27

GB 2284070A 1995. 5. 24

审查员 方慧聪

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 魏金玺 周慧敏

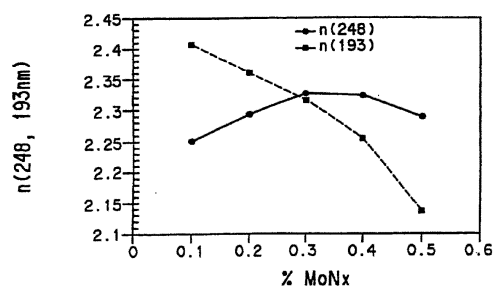
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 8 页

[54] 发明名称

衰减镶嵌相移光掩模空白片

[57] 摘要

一种可以按照选定的 $<400\text{nm}$ 的蚀刻波长以至少 0.001 的透光率产生 180° 相移的衰减镶嵌式相移光掩模空白片, 所述的光掩模空白片包括若干或者是周期性、或者是非周期性交错排列的光学透明材料层和光学吸收材料层。所述的光学透明材料层和光学吸收材料层优选是通过用蒸气沉积法交替地将光学透明材料层和光学吸收材料层沉积在片基上而制成的。



1. 一种可以按照选定的 $<400\text{ nm}$ 的蚀刻波长以至少0.001的透光率产生 180° 相移的衰减镶嵌式相移光掩模空白片, 所述的光掩模空白片包括光学透明材料和光学吸收材料的交替层, 其中所述的光学透明材料和光学吸收材料都选自金属氧化物、金属氮化物以及它们的混合物; 所述的光掩模空白片包括至少两层光学透明材料和至少两层光学吸收材料。

2. 根据权利要求1所述的光掩模空白片, 其中所述的光学透明材料选自由下列材料组成的一组: (a) Hf、Y、Zr、Al、Si、或Ge的氧化物; (b) Al、Si、B、或C的氮化物; 以及(d) 它们的混合物。

3. 根据权利要求1所述的光掩模空白片, 其中所述的光学吸收材料选自由下列材料组成的一组: (a) Cr、Ti、Fe、In、Co、Bi、Mn、Cu、Sn、Ni、V、Ta、Mo、Ru、镧系金属或W的氧化物; (b) Ti、Nb、Mo、W、Ta、Hf、Y、Zr或Cr的氮化物; 以及(c) 它们的混合物。

4. 根据权利要求1所述的光掩模空白片, 其中所述的交替层是周期性排列的。

5. 根据权利要求1所述的光掩模空白片, 其中所述的交替层是非周期性排列的。

6. 一种制造可以按照选定的 $<400\text{ nm}$ 的蚀刻波长以至少0.001的透光率产生 180° 相移的衰减镶嵌式相移光掩模空白片的方法, 该方法包括将光学透明材料和光学吸收材料的交替层沉积在一个基底上的若干步骤, 其中所述的光学透明材料和光学吸收材料都选自金属氧化物、金属氮化物以及它们的混合物; 其中, 沉积了至少两层光学透明材料和至少两层光学吸收材料。

7. 根据权利要求6所述的方法, 其中所述的交替层是周期性排列的。

8. 根据权利要求6所述的方法, 其中所述的交替层是非周期性排列的。

9. 根据权利要求6所述的方法, 其中所述的光学透明材料选自由下列材料组成的一组: (a) Hf、Y、Zr、Al、Si、或Ge的氧化物; (b) Al、Si、B、或C的氮化物; 以及(d) 它们的混合物。

10. 根据权利要求6所述的方法, 其中所述的光学吸收材料选自由下列材料组成的一组: (a) Cr、Ti、Fe、In、Co、Bi、Mn、Cu、Sn、Ni、V、Ta、Mo、Ru、镧系金属或W的氧化物; (b) Ti、Nb、Mo、W、Ta、Hf、Zr或Cr的氮化物; 以及(c) 它们的混合物。

11. 根据权利要求 6 所述的方法, 其中所述的交替层是通过蒸气沉积方法沉积的。

12. 根据权利要求 6 所述的方法, 其中所述的层是通过溅射沉积方法沉积的。

衰减镶嵌相移光掩模空白片

发明背景

本发明涉及一种使用短波长（例如， $< 400\text{ nm}$ ）光的光蚀刻技术中的相移光掩模空白片。更具体讲，本发明涉及一种使透射光的相位相对于在空气中传播相同的路径长度的光衰减并改变 180° 的相移光掩模空白片。这样的光掩模空白片在该技术领域通常被称为衰减（镶嵌）相移光掩模空白片或半色调相移光掩模空白片。再具体一些讲，本发明提出了一种新颖的衰减镶嵌相移光掩模空白片，其光学特性可以通过使超薄紫外透射层与超薄紫外吸收层周期性的或非周期性的交替叠成多层的方式按照任意波长加以设计。

电子工业寻求将制造高密度集成电路的光蚀刻技术扩展到 $0.25\text{ }\mu\text{m}$ 或更小的极限尺寸。为了实现这一目的，蚀刻光掩模空白片将需要利用短波长，例如 $< 400\text{ nm}$ ，的光。被当作未来光蚀刻技术目标的两个波长是 248 nm （KrF 激光器波长）和 193 nm （KrF 激光器波长）。相移掩膜增强了小电路特性的由破坏性光干扰构成图案的对比度。

H.I.Smith 在美国专利 US 4,890,309（“Lithography Mask with a π -Phase Shifting Attenuator”）中揭示了使光衰减并改变它的相位的相移光掩模空白片的概念。已知的衰减镶嵌相移光掩模空白片主要分为两类：（1）含有 Cr、Cr-氧化物、Cr-碳化物、Cr-氮化物、Cr-氟化物或者它们的组合的铬基的光掩模空白片；以及（2）含有 SiO_2 或 Si_3N_4 以及明显不透明的材料，例如 MoN 或 MoSi_2 ，的以 SiO_2 或 Si_3N_4 为基的光掩模空白片。通常，一般将后面几种材料称为‘MoOSiN’。以 Cr 基的光掩模空白片的优点在于它们具有化学耐久性并且可以使用大多数为不透明的 Cr 光掩模空白片所设计的处理步骤。第二类以 SiO_2 或 Si_3N_4 为基的光掩模空白片将它们的透明性能运用于深度 UV 和容易利用更为无害的氟基化学进行干式蚀刻。然而，对发展更短波长（ $< 200\text{ nm}$ ）的光掩模空白片的需求使 Cr 化学更不理想，这是因为单独基于 Cr（例如氧化物、氮化物、碳化物、氟化物或者它们的组合）的光掩模空白片在这样一些波长下的光学吸收太多。这种短波区域的‘MoSiON’

光掩模空白片的缺点在于它们含 Si 量太高并因此相对于石英 (SiO_2) 基底来说其蚀刻选择性太差。因此, 它们需要一种蚀刻阻止器, 即一个由氟蚀刻性能差的材料构成的附加层。

此外, 在文献中还提及一些衰减镶嵌相移光掩模空白片, 包括氢化无定形碳层, 带有一层 Cr 金属的钽或它的一些化合物, 或由钪化合物构成的一层或多层。

实际的相移光掩模空白片要求在操作波长 ($< 400 \text{ nm}$) 和字检查波长 (一般为 488 nm) 下的可修整传播性能。另外一些理想的性能包括允许电子束构图的导电性能, 对光刻胶和石英基底具有选择性的干式蚀刻性能, 以及环境、化学和辐射的稳定性。如果能将同样的工艺用于制造在不同的波长下具有所需要的光学性能的光掩模空白片, 也将是很有利的。

在该领域中, 一般要改善一个两元的或者相移光掩模空白片的最顶层的化学性能, 或者将一层加到一个两元的或者相移光掩模空白片之上, 结果使的它具有抗反射性能或更强的化学耐用性。尽管在它至少两层这个意义上来讲这些光掩模空白片包含“多”层, 但是这些附加层不能改变所述的光掩模的光学透明性和传播相位。

一方面, 本发明包括一种可以按照选定的 $< 400 \text{ nm}$ 的蚀刻波长以至少 0.001 的透光率产生 180° 相移的衰减镶嵌式相移光掩模空白片, 该片包括若干交错排列的光学透明材料层和光学吸收材料层。

另一方面, 本发明包括一种制造可以按照选定的 $< 400 \text{ nm}$ 的蚀刻波长以至少 0.001 的透光率产生 180° 相移的衰减镶嵌式相移光掩模空白片的工艺方法, 该方法包括将若干交错排列的光学透明材料层和光学吸收材料层沉积在一个基底上的若干步骤。

参照附图进一步阅读本说明书及其权利要求书, 将使本发明的这些和其他的特性变得更为清楚。

附图简述

图 1 是一幅显示在本发明的 $\text{AlN} / \text{MoN}_x$ 光掩模中折射率 (n) 和 % MoN_x 之间的关系的曲线图。

图 2 是一幅显示在本发明的 $\text{AlN} / \text{MoN}_x$ 光掩模中消光系数 (k) 和 % MoN_x 之间的关系的曲线图。

图 3 是一幅显示在本发明的 $\text{AlN} / \text{MoN}_x$ 光掩模中做为 % MoN_x 的

函数的透光率（% T）的曲线图。

图 4 是幅显示在本发明的 AlN / TiN 光掩模中折射率（n）和 % TiN 之间的关系的曲线图。

图 5 是幅显示在本发明的 AlN / TiN 光掩模中消光系数（k）和 % TiN 之间的关系的曲线图。

图 6 是一幅显示在本发明的 AlN / TiN 光掩模中做为 % TiN 的函数的透光率（% T）的曲线图。

图 7 是幅显示在本发明的 RuO₂ / HfO₂ 光掩模中折射率（n）和 % RuO₂ 之间的关系的曲线图。

图 8 是幅显示在本发明的 RuO₂ / HfO₂ 光掩模中消光系数（k）和 % RuO₂ 之间的关系的曲线图。

图 9 是一幅显示在本发明的 RuO₂ / HfO₂ 光掩模中做为 % RuO₂ 的函数的透光率（% T）的曲线图。

图 10 是一幅显示在本发明的 RuO₂ / ZrO₂ 光掩模中折射率（n）和 % RuO₂ 之间的关系的曲线图。

图 11 是一幅显示在本发明的 RuO₂ / ZrO₂ 光掩模中消光系数（k）和 % RuO₂ 之间的关系的曲线图。

图 12 是一幅显示在本发明的 RuO₂ / ZrO₂ 光掩模中做为 % RuO₂ 的函数的透光率（% T）的曲线图。

图 13 是一幅显示做为根据本发明的 AlN / MoN_x 光掩模的能量（E）的函数的透光率（% T）的曲线图。

图 14 是一幅显示做为根据本发明的 AlN / MoN_x 光掩模的能量（E）的函数的反射率（% R）的曲线图。

实施方案的详细描述

如在已有技术中所已知的那样“光掩模空白板”不同于“光掩模”之处在于后者通常在它被成象后用于描述光掩模空白片。虽然每一次尝试都遵循本文所述的常规，但该领域普通技术人员将鉴别出区别不在于本发明的材料方面。因此，在本文“光掩模空白板”这个术语当然常常按照最广泛的意义用于包括已被成象的和未被成象的光掩模空白板。

本发明的光学多层体是由若干光学透明层（T）和光学吸收层（A）连续交替叠置而成的，被设计用于以至少 0.001 的透射率产生 180° 的相移。这些多层体可以是周期性的（在整个叠层体中 T 和 A 的厚度保

持相同),也可以是非周期性的(在整个叠层体中 T 和 A 的厚度改变)。做为一个例子,本发明的多层体可以用 $20 \times (35\text{\AA} \text{ AlN} + 15\text{\AA} \text{ CrN})$ 表达,这表示厚度为 $35\text{\AA}$ 的 AlN 层 (UV 透射层) 和厚度为 $15\text{\AA}$ 的 CrN 层 (UV 吸收层) 周期性地交替叠置,重复 20 次,模的总厚度为 $1000\text{\AA}$ 。

如本文所使用的那样,“光学透明材料”或者说 (T) 层是在 $3\text{ eV} < E < 7\text{ eV}$ 的范围内消光系数 $k < 0.3$ 的层。光学透明材料的例子包括 Hf、Y、Zr、Al、Si 和 Ge 的氧化物; Al、Si、B、C 的氮化物以及 Mg、Ba 和 Ca 的氟化物。“光学吸收材料”或者说 (A) 层是在 $3\text{ eV} < E < 7\text{ eV}$ 的范围内消光系数 $k > 0.3$ 的层。光学吸收材料的例子包括 Cr、Ti、Fe、In、Co、Bi、Mn、Cu、Sn、Ni、V、Ta、Mo、Ru 和 W 的氧化物; Ti、Nb、Mo、W、Ta、Hf、Zr 和 Cr 的氮化物。

A/T 的厚度比 < 5 , 优选的范围是 $A/T < 1$, 结果使得整个叠层体在光蚀刻波长下的透射率至少为 0.001。选择该叠层体的总厚度 d, 以便于在光蚀刻波长 λ (大致对应于 $2(n-1)d = \lambda/2$ 或它的奇数倍的条件) 下产生 180° 的相移。单独的透射和吸收层的总数 $N > 2$, 相应于至少 4 层。A 和 T 的单独的层厚度与 d 一致并且取决于光学设计。

由光学透明化合物和光学吸收化合物的交替的叠置层构成的光掩模空白片是通过用处在 Ar 分压下的单独的金属靶和诸如 N_2 和 O_2 的其他的反应气进行溅射制成的。这些金属靶被人为地分离开, 结果使得它们的溅射流并不重叠。两个靶是在相同的溅射气体环境下运行, 尽管加在每一个靶上的能量、从而它的溅射速率通常是不同的。通过使基片陆续地停在每一个靶下的可旋转的平台下使多层体生长。模的化学组成由各个单独层的厚度加以调节, 由它们的沉积速率和片基在每一个靶下停留的时间长度进行控制。换句话讲, 片基可以以恒定的速率连续地旋转, 单独一层的厚度由溅射速率确定。在片基停留在靶下时, 可以将它们静止的次数进行编程, 以便形成周期性的或非周期性的多层结构。

光学性能

光学性能 (折射率 n 和消光系数 k) 用分光椭圆对称法按照三个入射角波长为 186 — 800 nm (相应于 1.5 — 6.65 eV 的能量) 结合反射和透射光学数据来确定。利用允许在片基和模的上表面上的较小密度 (50%) 的中间层的该模的光学模型, 使得光学常数同时适合于这些数据。

由光学性能的光谱相关性知识可以计算出相应于 180° 相移的模厚度, 透光率和反射率。

更具体讲, O. Hunderi 在 Wave-Material Interaction, 2 (1987) pp.29-39 中的 Effective Medium Theory and Nonlocal Effect for Superlattices 一文中, 以及在 Physica A, 157 (1989) pp, 309-322, 中的 The Optical Properties of Thin Films and Superlattices 一文中公开了用于计算有序化材料或多层材料的光学性能的一般理论体系, 这些文章的公开内容在这里被引用供参考。按照这种长波长范围, Hunderi 和他的同事发现多层叠合体的性能类似于一个单独的模, 该单层具有一个垂直于该模的光轴, 并具有由式

$$\epsilon_0 = f_a \epsilon_a + f_t \epsilon_t$$

给出的介电常数。

在其中, f_a 和 f_t 分别是吸收和透射层的体积分数, 而 ϵ_a 和 ϵ_t 是它们相应的介电常数。

实例

例 1-5: AlN / MoN_x 光掩模空白片

制备和物理性能

我们通过使片基相继停留在在真空腔中被人为分开的 Mo 和 Al 靶之下的平台上的方式用溅射方法制备 AlN / MoN_x 的周期性交替的多层体, 这些靶在真空腔中被人为分开, 结果使得它们的溅射流不重叠。为了形成 Al 和 Mo 的氮化物, 溅射是在 25 % N₂ / 75 % Ar 的气体混合物 (总压力 1.3×10^{-2} Pa) 中进行的。在这些多层体中, 单独的 AlN 和 MoN_x 的厚度通过利用单独测量的静态沉积速率: 对 Al 来说为 $1.0 \text{ \AA/s}$, 而对 MoN_x 来说为 $0.86 \text{ \AA/s}$ (相应于加到 Mo 靶上的 25w 和 284 伏和加到 Al 靶上的 250w 和 190 伏), 对片基在每一个靶下停留的时间进行编程的方式确定的。对 AlN 由 5 cm 直径的 Al 靶进行 rf 磁控管溅射, 而对 MoN_x 由 7.6 cm 直径的 Mo 靶进行 dc 磁控管溅射。

在对多层体进行溅射之前要同时对 Mo 和 Al 靶在 1.3×10^{-2} Pa Ar 中进行大约一小时预溅射, 以便在引入 N₂ 之前形成新鲜的、具有反应活性的金属靶表面。按照 300 W (360 伏) 对 Al 靶进行预溅射, 而按照 150 W (300 伏) 对 Mo 靶进行预溅射。保持接近 $1000 \text{ \AA}$ 的总的模厚度相应于由若干个即 N 个双层叠成的双层厚度 (AlN + MoN_x)。表 1

中汇总了单个层厚度、双层总数 (N)，以及 AlN / MoN_x 多层体的片电阻率。即使对富含 AlN 的结构 (例 3 和例 4)，这些多层模也具有相当低的电阻率，这种低电阻率对于分散 e-束记录过程中的电荷有显著作用。

表 1

例	N	d (AlN), Å	d (MoN _x), Å	% MoN _x	R (Ω/sq)
1	20	45	5	10	
2	20	40	10	20	3M
3	20	35	15	30	120K
4	20	25	25	50	30K
5	20	30	20	60	

光学性能

图 1 和 2 归纳了 AlN / MoN_x 多层体在波长 248 nm 和 193 nm 处做为 MoN_x 的百分率的函数的一些光学常数、折光率 (n) 和消光系数的关系。在这两个波长处，k 几乎单调地随 MoN_x 的厚度的增加而增加，与 MoN_x 的吸收能力高于 AlN 一致。在波长 248 nm 处，折光率几乎与 MoN_x 的百分率无关而在波长 193 nm 处它又使 n 值下降。这与在 MoN_x 的 n 中随能量而出现的类似金属的下降一致。在波长 248 nm 处，AlN 和 MoN_x 的 n 几乎相等，而在波长 193 nm 处，当接近它的带隙能量 (~6.5 eV) 时，对于 MoN_x n 变得较小，但对于 AlN n 变得较大。

在波长 488 nm (2.54 eV)，即通常用于检查光掩模空白片的波长处，例 2 和 3 的透射率分别是 ~47 % 和 ~35 %，这对于检查这些光掩模空白片作用显著。

相移性能

图 3 归纳了对于在波长 193 nm 和 248 nm 处相应于 180°相移的 AlN / MoN_x 多层体的厚度计算出的透光率与 MoN_x 的相对分数的关系。在波长 248 nm 处，在 0.25-0.4 MoN_x 的范围内呈现处可接受的透光率 (5-10 %)，而在波长 193 nm 处它们大约出现在 0.1-0.2 范围内。因此，AlN / MoN_x 多层体在波长 248 nm 和 193 nm 处对于衰减镶嵌相移光掩模空白片来说的确是一种可调谐的系统。

例 6-10: AlN / TiN 光掩模空白片

制备和物理性能

AlN / TiN 多层体是在 Ar 和 N₂ 的活性混合气中通过用 5 cm 直径的 Al 靶进行 rf 磁控管溅射和通过用 7.6 cm 直径的 Ti 靶进行 dc 磁控管溅射的方式制备的。在对片基进行涂覆之前这两种靶都要在 Ar 中进行预溅射, 所述的片基是尺寸为 2.5 cm × 3.8 cm × 2.286 cm 的石英。用于使多层体在 1.3×10^{-2} Pa 的 75 % 的 Ar 和 25 % 的 N₂ 的气体混合物中生长的 AlN 和 TiN 的静态沉降速率分别是 1Å/s 和 1.1Å/s。为了达到这些沉降速率, Al 靶要在 250 W (210 V) 下运行, 而 Ti 靶要在 150 W (322 V) 下运行。表 2 汇总了 AlN / TiN 多层体的单独的层厚度、双层的总数 (N) 以及片电阻率。

表 2

例	N	d (AlN), Å	d (TiN), Å	% TiN	R (Ω /sq)
6	20	29	32	52	160K
7	20	34	26.5	44	1.2M
8	20	44	15.5	26	3.4M
9	20	54	15.5	22	
10	20	54	10	15.5	

光学性能

图 4 和 5 归纳了在 AlN / TiN 多层体中折光率和消光系数与 % TiN 的关系曲线。这些曲线的趋势与在波长 248 nm 和 193 nm 处 TiN 具有较小的 n 和较大的 k 是一致的。在波长 488 nm, 即通常用于检查光掩模空白片的波长处, 例 7 中的透射率显著地低, 为 ~40 %。

相移性能

图 6 归纳了对于在 248 nm 和 193 nm 波长处相应于 180°相移的 AlN / TiN 多层体的厚度计算出的光学透光率对于 % TiN 的关系。在波长 248 nm 处, 在 33-45 % 的范围内呈现出可接受的透光率 (5-10 %), 而在波长 193 nm 处在大约 15-25 % 的范围内出现类似的透光率。因此, AlN / TiN 多层体在波长 248 nm 和 193 nm 处对于衰减镶嵌相移光掩模空白片来说的确是一种可调谐的系统。

例 11-14: RuO_2 / HfO_2 光掩模空白片

制备和物理性能

RuO_2 / HfO_2 多层体是通过用在 1.3×10^{-2} Pa 总压力的 Ar 和 O_2 中的 10 % O_2 分压下具有活性的 5 cm 直径的 Ru 靶进行 dc 磁控管溅射和用在上述分压下具有活性的 7.6 cm 直径的 Hf 靶进行 rf 磁控管溅射的方式制备的。片基是尺寸为 2.5 cm $\times$ 3.8 cm $\times$ 2.286 cm 的石英, 相继在每一个靶下停留以便形成多层体。对于每一个靶测定的静态沉降速率被用于计算为了达到特定的层片基在每一个靶下停留的时间。在例 11-13 中, RuO_2 沉降速率为 0.79 Å/s, 而对于例 14 它是 3.3 Å/s; 这分别对应于加到 Ru 靶上的 25 W (528 V) 和 50 W (619 V)。在全部这些例子中, 加到 Hf 靶上的功率为 300 W (270 V)。在沉积多层体之前, Hf 和 Ru 靶两者都要在 1.3×10^{-2} Pa 压力下的 Ar 中预溅射至少 30 分钟以便在引入 O_2 之前形成清洁的金属表面。表 3 汇总了四个 RuO_2 / HfO_2 多层体的近似的单独的层厚、双层的总数 (N) 和片电阻率。所有的电阻率都充分地低, 以便分散 e-束记录过程中的电荷。

表 3

例	N	d (RuO_2), Å	d (HfO_2), Å	% RuO_2	R (Ω /sq)
11	20	10	40	20	20K
12	20	15	35	30	700
13	20	20	30	40	200
14	20	25	25	50	600

光学性能

图 7 和 8 归纳了在 RuO_2 / HfO_2 中在波长 248 nm 和 193 nm 处折光率和消光系数与 % RuO_2 的关系。总的趋势是随着 RuO_2 的含量的增加 n 降低而 k 增加。然而, 在 50 % RuO_2 和 193 nm 波长下 n 的降低反映了这种 RuO_2 的层的光学性能的差别, 这种 RuO_2 层是按 3.3 Å/s 的沉降速率被溅射的, 而另一层是按 0.79 Å/s 的沉降速率被溅射的, 因为它的消光系数对沉积条件敏感。也就是说, 用更多的 O_2 溅射而成的膜结晶状态较差, 在 193 nm 波长处较在低浓度溅射而成的膜具有较大的消光系数。在保持同样氧分压的同时, 如例 14 那样, 溅射速率的增加等效于在靶

的表面降低氧的分压这个过程消耗了氧。在波长 488 nm，即通常用于检查光掩模空白片的波长处，所有的 $\text{RuO}_2 / \text{HfO}_2$ 多层体的透光率都小于 45 %，这对于检查作用具有重要意义。

相移性能

图 9 归纳了对于在波长 248 nm 和 193 nm 处相应于 180° 相移的 $\text{RuO}_2 / \text{HfO}_2$ 多层体计算出的透光率与 % RuO_2 的关系。在波长 248 nm 处，在 25-30 % RuO_2 的范围内呈现出可接受的透光率（5-12 %），而在波长 193 nm 处在 17-25 % 的范围内出现类似的透光率。因此， $\text{RuO}_2 / \text{HfO}_2$ 多层体在波长 248 nm 和 193 nm 处对于衰减相移光掩模空白片来说的确是一种可调谐的系统。

例 15-18: $\text{RuO}_2 / \text{ZrO}_2$ 光掩模空白片

制备和物理性能

$\text{RuO}_2 / \text{ZrO}_2$ 多层体是通过用在 1.3×10^{-2} Pa 总压力的环境下在 10 % 的 O_2 和 90 % Ar 中的具有活性的 5 cm 直径的 Ru 靶进行 rf 磁控管溅射和用在上述分压下具有活性的 7.6 cm 直径的 Zr 靶进行 dc 磁控管溅射的方式制备的。对于多层体的合成来说，将 25 W（515 V）的功率加到 Ru 靶上，同时将 300 W（280 V）的功率加到 Zr 靶上。对于这些条件来说，片基上的沉降速率对 RuO_2 来说为 $0.79 \text{ \AA/s}$ ，而对 ZrO_2 来说为 $0.77 \text{ \AA/s}$ 。 $\text{RuO}_2 / \text{ZrO}_2$ 多层体的制备是按照通常的方法通过在使 Ru 靶和 Zr 靶在 1.3×10^{-2} Pa 的 Ar 中预溅射之后使石英片基相继在每一个靶下停留的方式制成的。表 4 汇总了 $\text{RuO}_2 / \text{ZrO}_2$ 多层体的构成和片电阻率，测量它的光学性能以便确定它们做为衰减相移光掩模空白片的功效。例 16-18 的片电阻率为 $\leq 1 \text{ MW/sq}$ ，对于分散 e-束记录过程中的电荷作用显著。

表 4

例	N	d (RuO_2), $\text{\AA}$	d (HfO_2), $\text{\AA}$	% RuO_2	R (Ω/sq)
15	20	10	40	20	
16	20	15	35	30	1M
17	20	20	30	40	20K
18	20	25	25	50	1.4K

光学性能

图 10 和 11 归纳了在 248 nm 和 193 nm 波长处在 $\text{RuO}_2 / \text{ZrO}_2$ 多层体中的折光率和消光系数与 % RuO_2 的关系。对于 ZrO_2 来说, 与 RuO_2 类似, 总的趋势是随着 RuO_2 的含量的增加 n 降低而 k 增加。

相移性能

图 12 归纳了对于在波长 248 nm 和 193 nm 处相应于 180° 相移的 $\text{RuO}_2 / \text{ZrO}_2$ 多层体厚度计算出的透光率与 % RuO_2 的关系。在波长 248 nm 处, 在 35-40 % RuO_2 的范围内呈现出可接受的透光率 (5-15 %), 而在波长 193 nm 处在 ~20-35 % 的范围内出现类似的透光率。因此, $\text{RuO}_2 / \text{ZrO}_2$ 多层体在波长 248 nm 和 193 nm 处对于衰减相移光掩模空白片来说的确是一种可调谐的系统。

例 19-20: 周期性的 $\text{AlN} / \text{MoN}_x$ 光掩模空白片

例 19 和 20 说明如何能通过周期性的叠置单独的层使多层光掩模空白片满足使用要求。例 19 的多层体是一种周期性叠置 $\text{AlN} / \text{MoN}_x$ 形成的叠置体: $20X (40\text{\AA} \text{ AlN} + 20\text{\AA} \text{ MoN}_x)$, 而例 20 是由周期性叠置体构成: $[12 \times (40\text{\AA} \text{ AlN} + 20\text{\AA} \text{ MoN}_x) + 5 (40\text{\AA} \text{ AlN} + 30\text{\AA} \text{ MoN}_x) + 3 (40\text{\AA} \text{ AlN} + 50\text{\AA} \text{ MoN}_x)]$, 在膜 / 空气界面上有较厚的 MoN_x 层。两种多层叠合体含有相同数量的 AlN ($800\text{\AA}$) 和 MoN_x ($420\text{\AA}$), 图 13 示出透光率与能量的关系曲线, 从该曲线上可以看出, 它们的透光率在曲线的任何部位几乎相同。然而, 例 21 的反射率 (图 14) 更类似金属, 富含 MoN_x 表面在能量为 ~2.2 eV 处具有 50 % 的较大的反射率 (~15 % 比 10 %), 几乎等于 2.54 eV 的检测能量 (488 nm)。因此, 可以周期性的叠置, 以便满足特殊的光学性能, 例如反射率, 同时保持相同的透光率和相位。

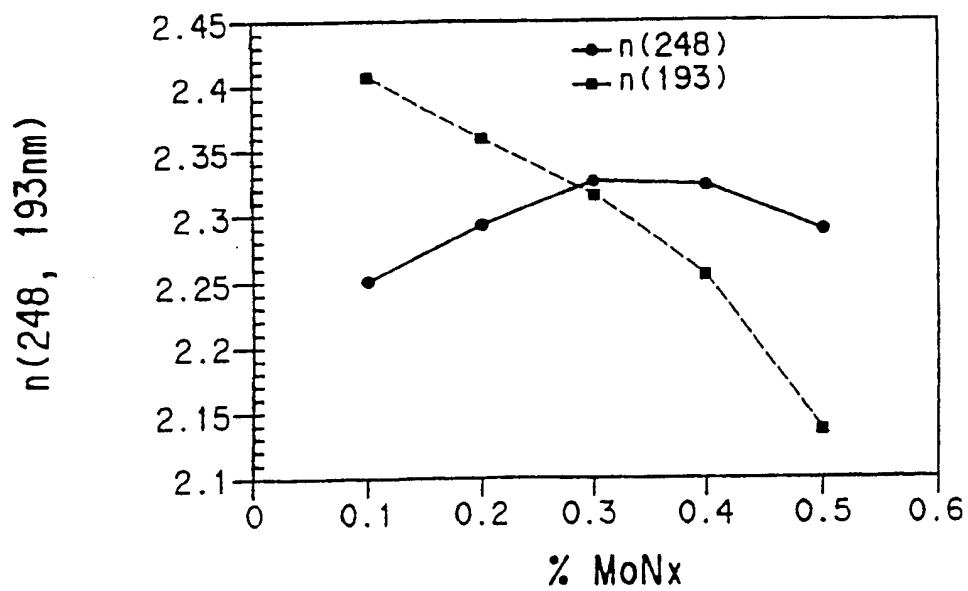


图 1

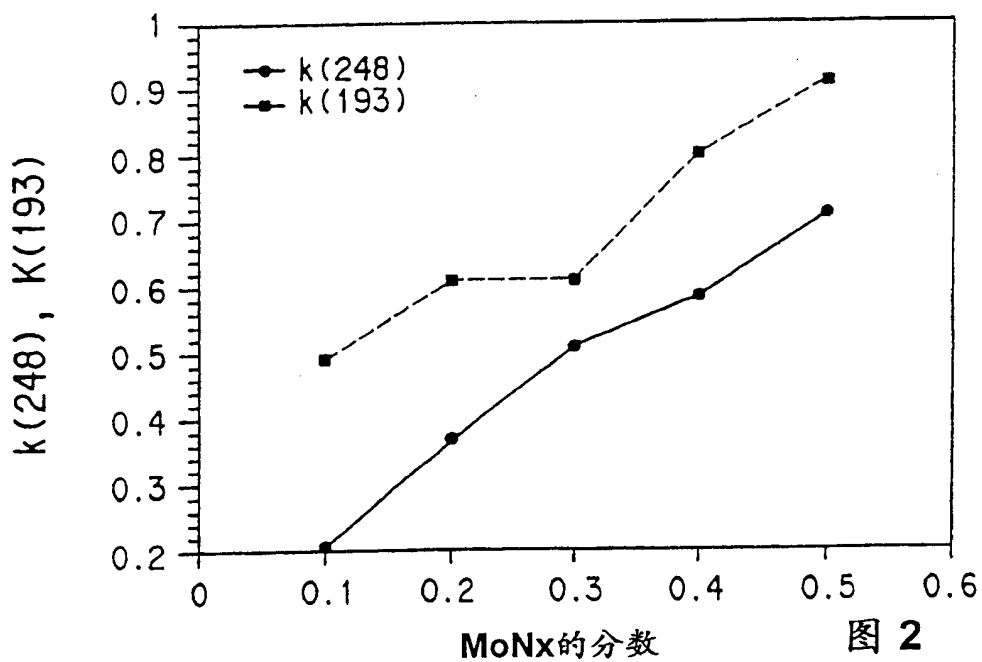


图 2

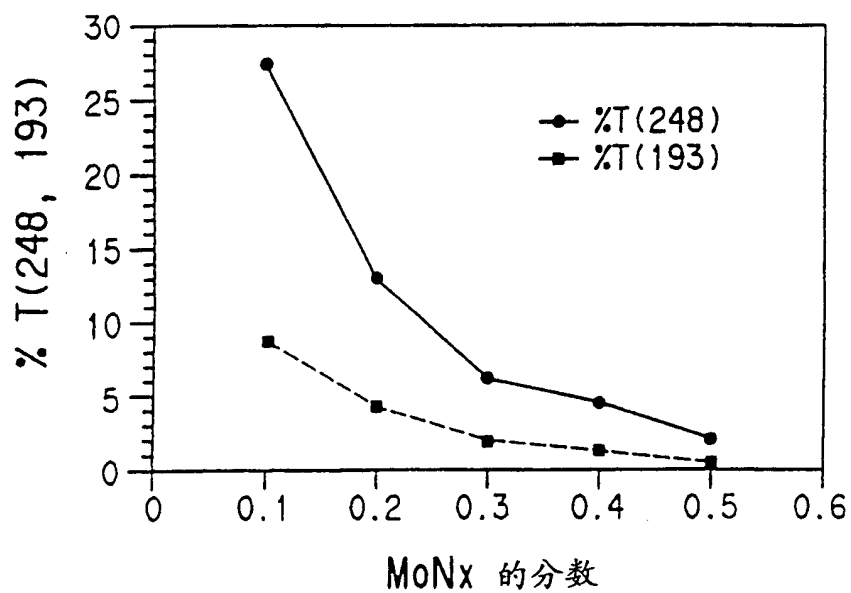


图 3

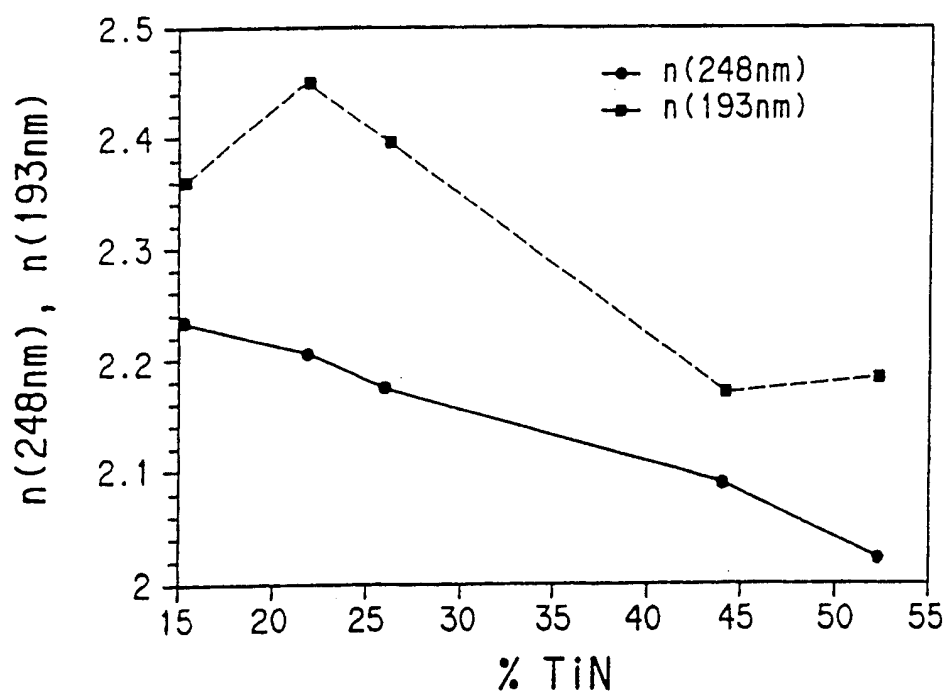


图 4

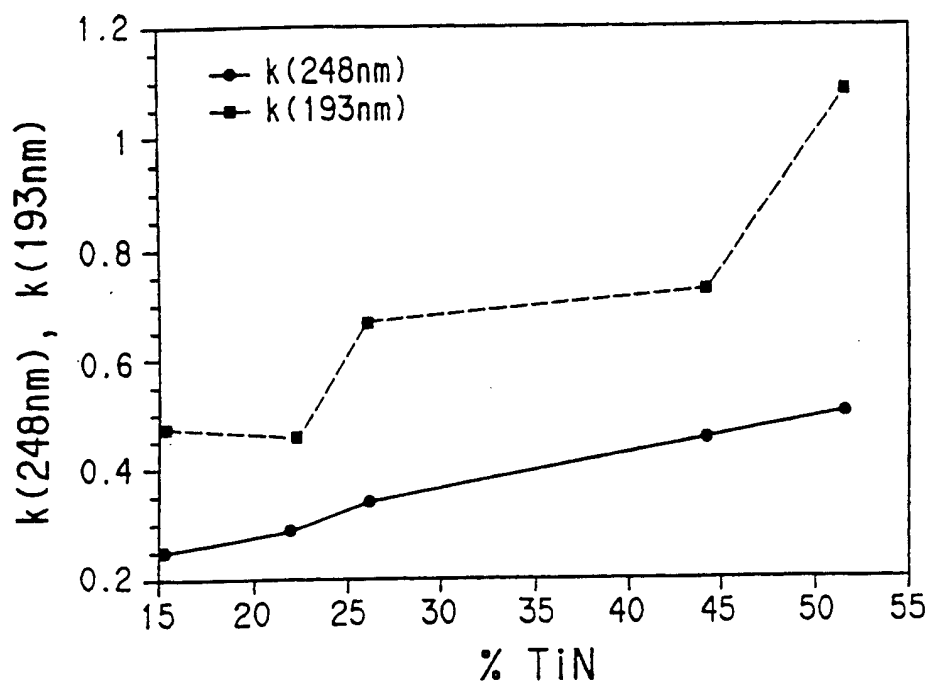


图 5

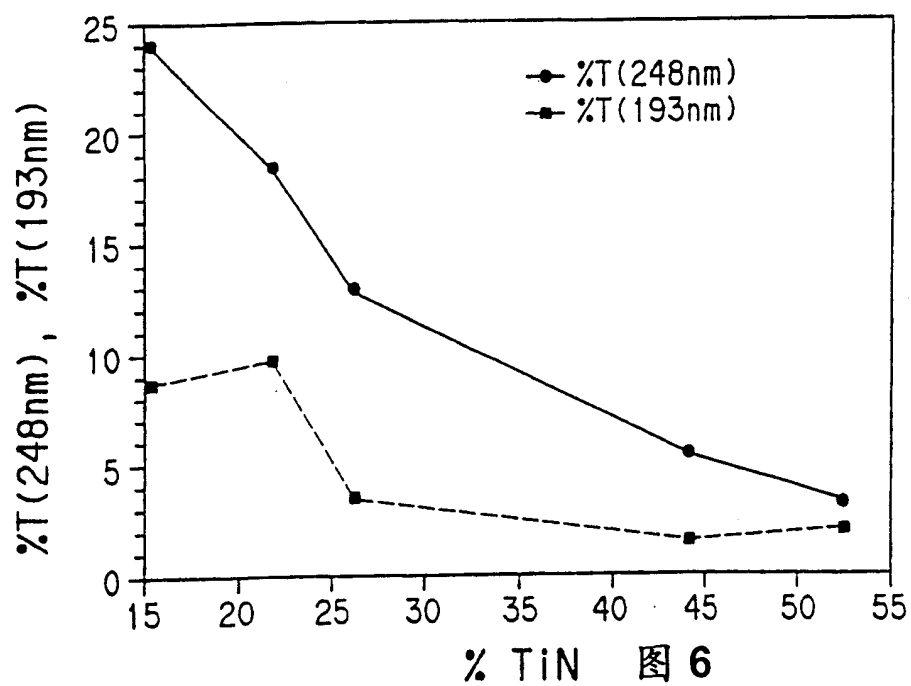


图 6

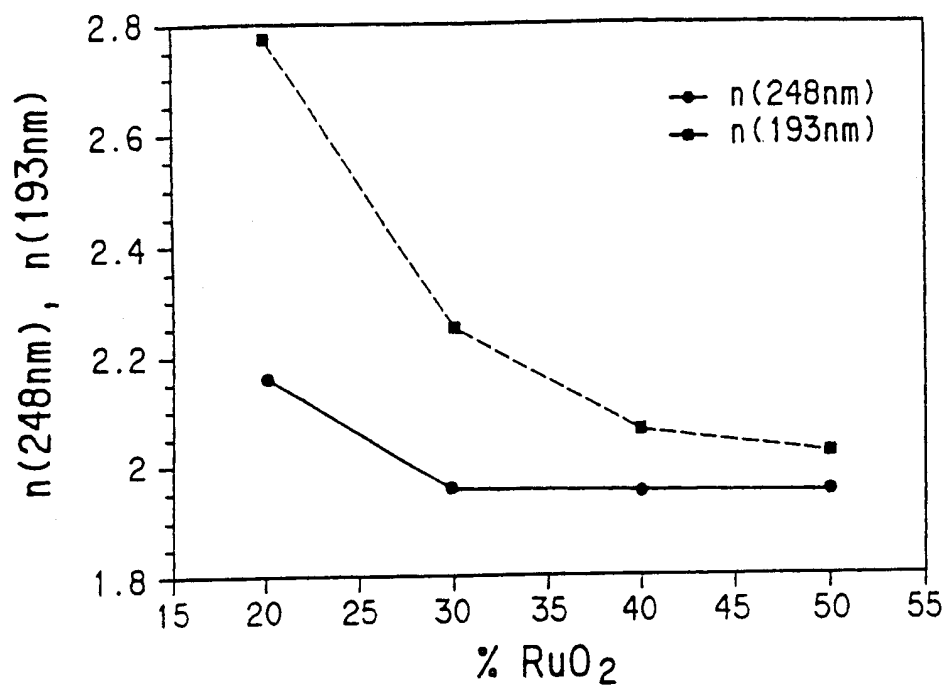


图 7

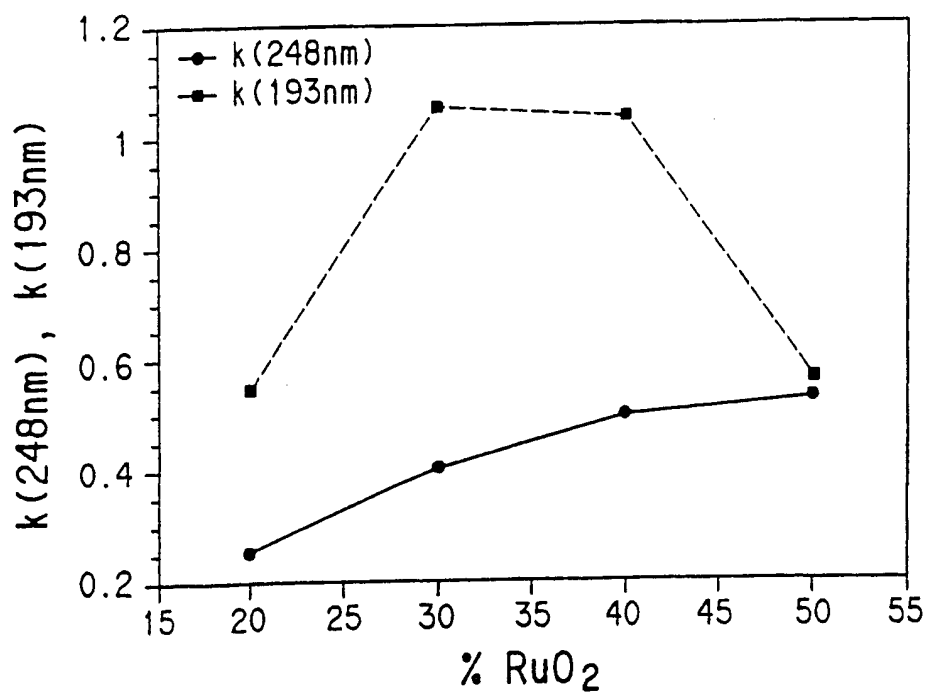


图 8

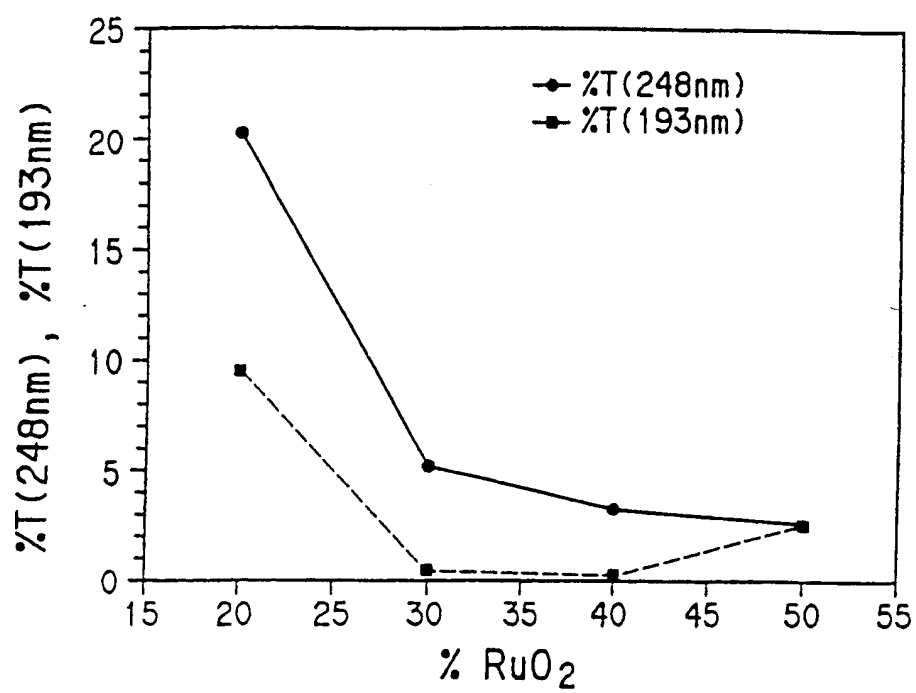


图 9

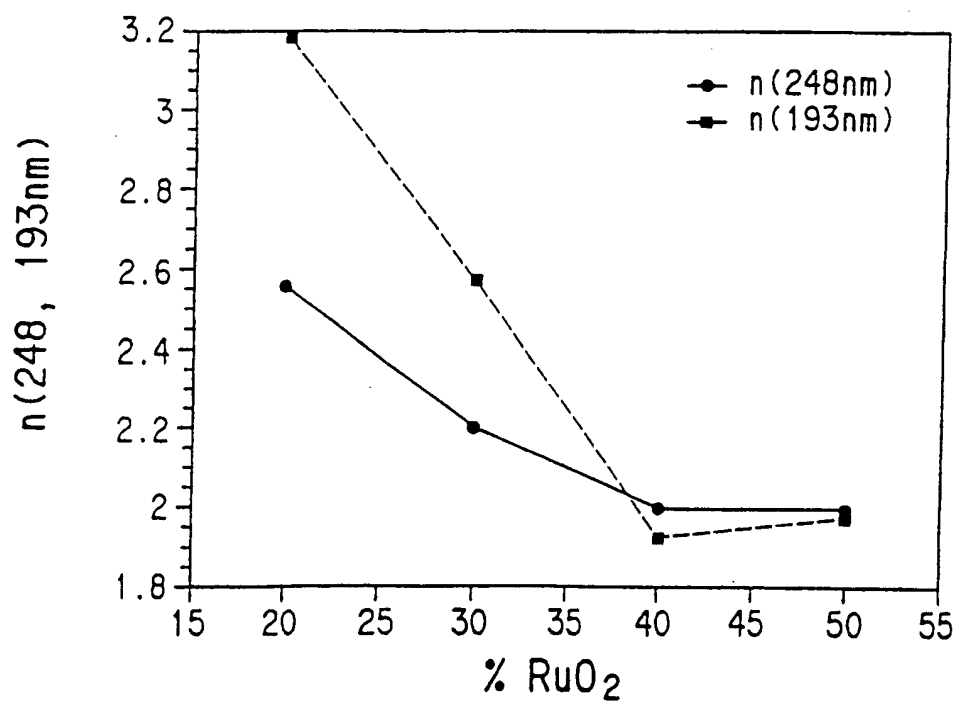


图 10

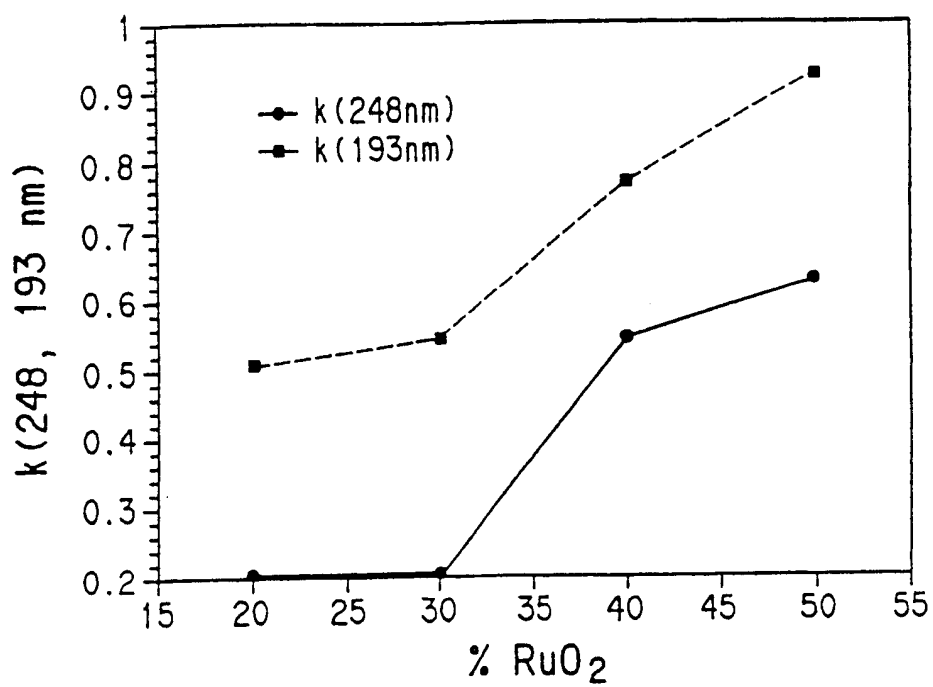


图 11

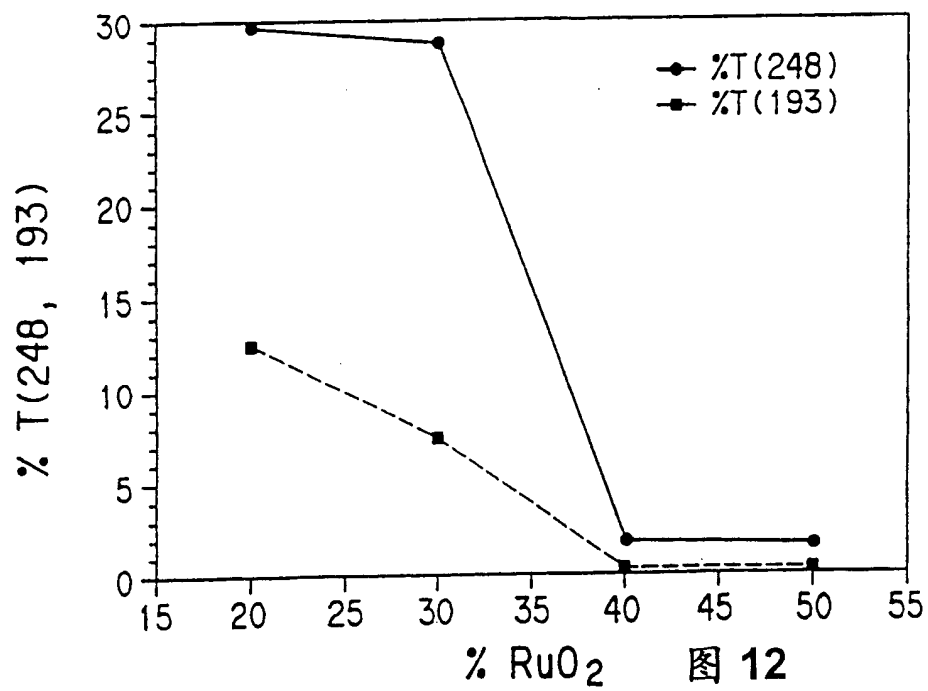


图 12

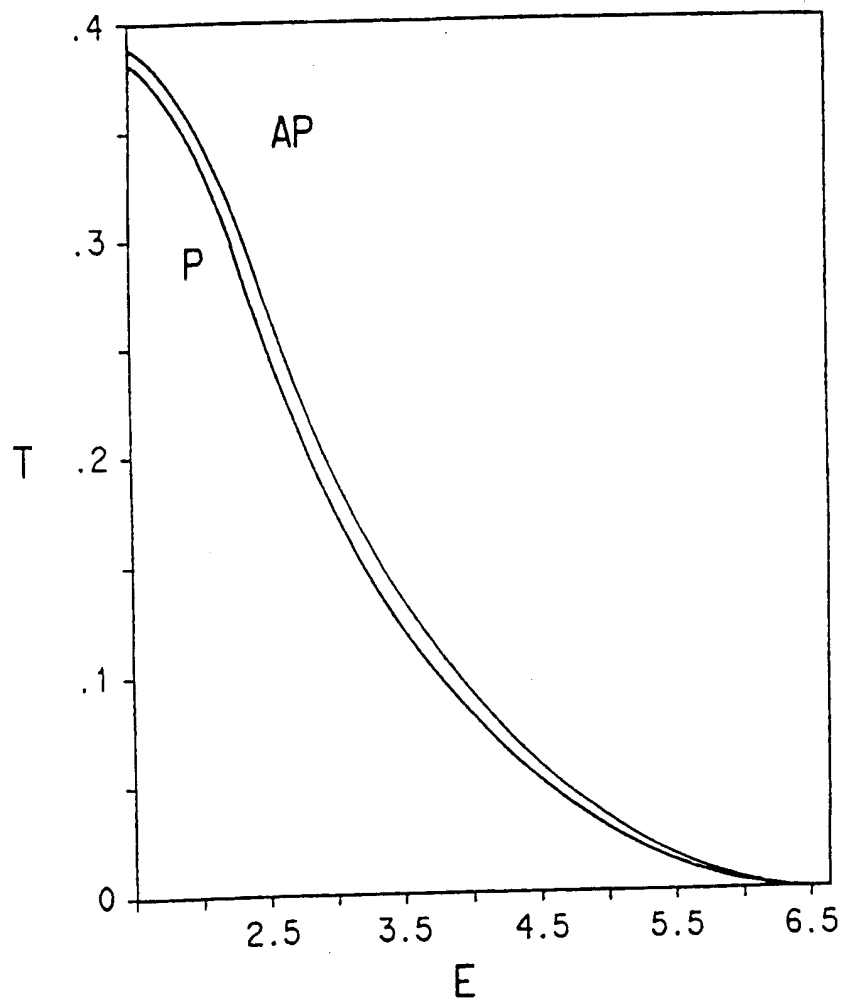


图 13

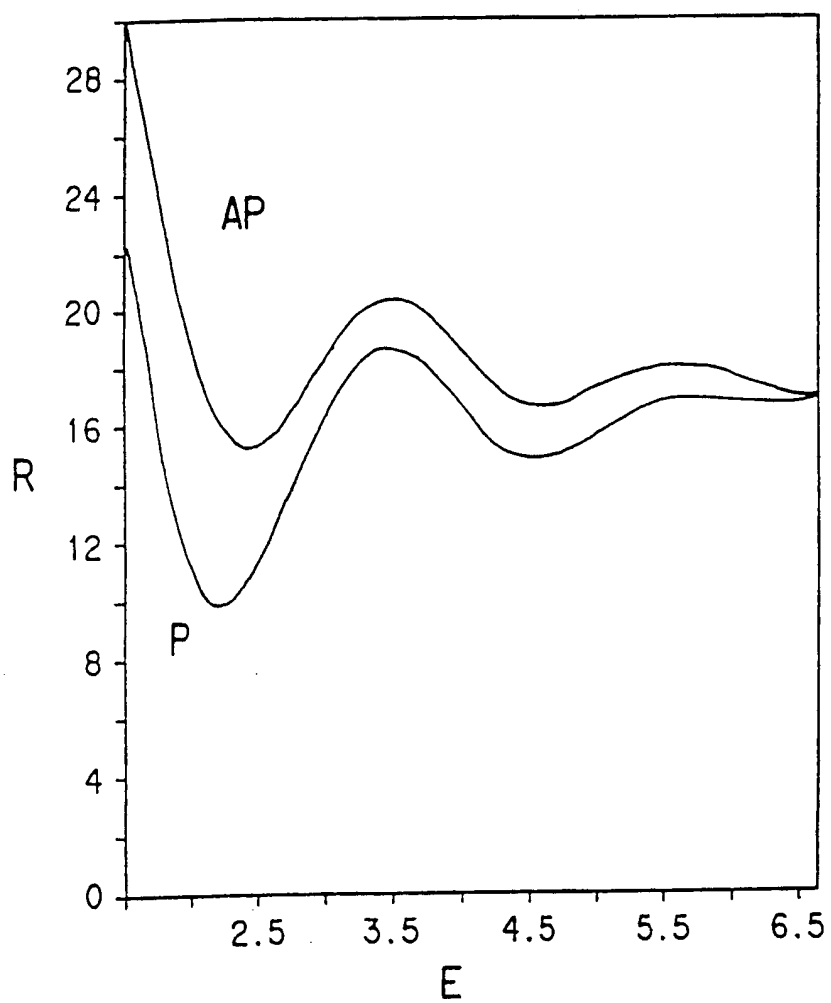


图 14