

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01L 21/66 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03803614.2

[45] 授权公告日 2009 年 7 月 29 日

[11] 授权公告号 CN 100521135C

[22] 申请日 2003.2.10 [21] 申请号 03803614.2

[30] 优先权

[32] 2002.2.18 [33] JP [31] 40506/2002

[86] 国际申请 PCT/JP2003/001370 2003.2.10

[87] 国际公布 WO2003/069667 日 2003.8.21

[85] 进入国家阶段日期 2004.8.10

[73] 专利权人 东京毅力科创株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 菊池俊彦

[56] 参考文献

US 6,233,046B1 2001.5.15

JP 11-316187A 1999.11.16

审查员 杨子芳

[74] 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司

代理人 龙 淳

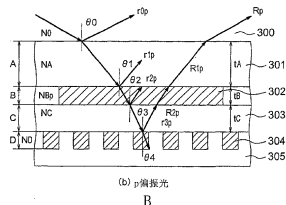
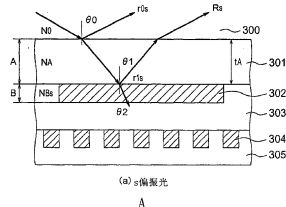
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 6 页

[54] 发明名称

偏振分析方法

[57] 摘要

在氧化膜(301)的下层,形成有:由金属布线(302)和层间绝缘膜(303)构成的B层,和由在与金属布线(302)正交方向形成的金属布线(304)和层间绝缘膜(305)所构成的D层的多层布线。入射光中的s偏振光成分由B层界面反射,p偏振光成分由D层界面反射,计算各个振幅反射率 R_s 、 R_p ,计算作为s偏振光成分和p偏振光成分的振幅比 Ψ 和相位差 Δ 的函数的 $\tan\Psi$ 和 $\cos\Delta$,得到基准数据,基于该基准数据来求出氧化膜(301)的膜厚(t_A)。由此,能够非破坏且高生产率地进行在多层布线上形成的膜的膜厚测量和截面形状测量。



1. 一种偏振分析方法，在对表面上具有测量对象的膜的被测量物以规定入射角照射规定波长的椭圆偏振状态的入射光时，通过理论计算求出从所述被测量物反射的反射光的 p 偏振光成分和 s 偏振光成分的基于相位差 Δ 的值和基于振幅比 Ψ 的值，得到基准数据，同时，

通过测量求出实际的对所被测量物照射所述入射光时反射的反射光的 p 偏振光成分和 s 偏振光成分的基于相位差 Δ 的值和基于振幅比 Ψ 的值，通过与所述基准数据比较，进行所述膜的分析，其特征在于，

在得到所述基准数据时，使得所述 p 偏振光成分的反射面和所述 s 偏振光成分的反射面不同来进行所述理论计算。

2. 根据权利要求 1 所述的偏振分析方法，其特征在于，所述比较基于至少 2 个以上的波长进行。

3. 根据权利要求 1 所述的偏振分析方法，其特征在于，所述比较基于至少 2 个以上的入射角进行。

4. 根据权利要求 1 所述的偏振分析方法，其特征在于，基于所述相位差 Δ 的值是 $\cos \Delta$ ，基于所述振幅比 Ψ 的值是 $\tan \Psi$ 。

5. 根据权利要求 1 所述的偏振分析方法，其特征在于，所述被测量物具有：

在最上层形成的、由光透过性高的高光透过性材料构成的第一层；

在所述第一层下设置的、由光透过性高的高光透过性材料和光透过性低的低光透过性材料所构成的第二层；

在第二层下设置的、由光透过性高的高光透过性材料所构成的第三层；

在所述第三层下设置的、由光透过性低的低光透过性材料所构成的基板。

6. 根据权利要求5所述的偏振分析方法，其特征在于，
所述第二层中，所述高光透过性材料和所述低光透过性材料具有在层平面方向交互配置的直线状布线构造，
所述 p 偏振光成分的偏振光面与所述直线状布线平行。

7. 根据权利要求6所述的偏振分析方法，其特征在于，
在所述基板和所述第三层之间，光透过性高的高光透过性材料和光透过性低的低光透过性材料，具有至少在表面上具有在层平面方向交互配置的直线状布线构造的第四层，
所述第四层的直线状布线的方向是与所述第二层的直线状布线方向正交的方向。

8. 根据权利要求7所述的偏振分析方法，其特征在于，
所述 s 偏振光成分在所述第二层上反射，所述 p 偏振光成分透过所述第二层，在所述第四层上反射。

9. 根据权利要求5所述的偏振分析方法，其特征在于，
所述理论计算中的所述第二层，对所述 p 偏振光成分的折射率与对所述 s 偏振光成分的折射率是不同的。

10. 根据权利要求5所述的偏振分析方法，其特征在于，
所述光透过性低的低光透过性材料是金属布线材料，所述光透过性高的高光透过性材料是绝缘材料。

11. 根据权利要求1所述的偏振分析方法，其特征在于，
测量所述测量对象的膜的膜厚、折射率、截面形状的至少任何一个。

偏振分析方法

技术领域

本发明涉及一种偏振分析方法，特别涉及一种在半导体装置的制造工序的膜厚测量、蚀刻形状等截面形状的测量中适合的偏振分析方法。

背景技术

一直以来，例如在半导体装置的制造工序的膜厚检查工序等中，利用使用椭圆偏振计的光学膜厚测量。

图2是表示使用这种椭圆偏振计的光学膜厚测量的大致情况的图。如图上述，在使用椭圆偏振计的光学膜厚测量中，将来自光源101的光，通过调整偏振状态的偏振光元件102、调整相位的补偿板103的各个光学元件，由此形成椭圆偏振状态的入射光，照射到样品107上。

然后，在来自样品107的反射光的光路上，设置用于调整偏振状态的检光元件104、用于选择规定波长的光的分光器105、检测器106，对于反射光的各个波长测量偏振状态，得到光谱。

例如，如图3所示，在测量在Si基板202上成膜的氧化膜（栅氧化膜等）201的膜厚的情况下，如上述那样，从空气（折射率= N_0 ）200中以角度 θ_0 照射的椭圆偏振状态的入射光，由氧化膜（折射率= N_1 ）201表面反射，同时，其大部分入射到氧化膜201中。之后，入射到氧化膜201内的入射的光，由Si基板202界面（基板面）（折射率= N_2 ）反射，从氧化膜201内返回到空气200中，与在氧化膜201表面的反射光偏振干涉。

对于上述这样的光，计算各个p偏振光成分和s偏振光成分，由各个相位差 Δ 和振幅比 ψ 计算出膜厚。

Si基板202面的反射光的p偏振光成分(r_{1p})和s偏振光成分(r_{1s})，分别由下面的公式来计算。

$$r_{1p} = (n_2 \cos \theta_1 - n_1 \cos \theta_2) / (n_2 \cos \theta_1 + n_1 \cos \theta_2)$$

$$r_{ls} = (n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2) / (n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2)$$

另外，检测的光的 p 偏振光成分 (R_p) 和 s 偏振光成分 (R_s) 可根据上述 r_{lp} 、 r_{ls} 和氧化膜 201 面的反射光的 p 偏振光成分 (r_{0p}) 和 s 偏振光成分 (r_{0s})，由下面的公式计算偏振状态。

$$R_p = (r_{0p} + r_{lp} \exp(-2i\delta)) / (1 + r_{0p} \cdot r_{lp} \exp(-2i\delta))$$

$$R_s = (r_{0s} + r_{ls} \exp(-2i\delta)) / (1 + r_{0s} \cdot r_{ls} \exp(-2i\delta))$$

$$\text{其中, } (\delta = 2\pi n_1 t \cos \theta_1 / \lambda)$$

最终，使用 $R_p/R_s = \tan(\psi) \cdot \exp(-i\Delta)$ ，对各个波长来计算 $\cos \Delta$ 和 $\tan \psi$ ，由此得到波长依赖光谱。然后，将氧化膜 201 的膜厚值 t 作为参数，比较实测的光谱和理论的光谱，由此能够计算出膜厚值 t 。

另外，如图 4 所示，在 Si 基板 202 上形成的氧化膜 201，在具有格子构造 (grating structure) 的情况下，也能够利用椭圆偏振计进行该格子构造的截面形状的测量，这种情况下，如图 5 所示，将图案部分分割为 L 等分，将格子部分作为 L 层的积层膜来求出形状。在这种方法中，存在空气和格子构造的介电常数的混合层，利用各个界面发生 n 次衍射光的模式来计算截面形状。这种情况下，图 5 所示的格子图案假设为无限重复区域。将格子构造分割为 L 层，基于各层的空气和格子部分的体积比来结算介电常数。以处于该 L 层的积层构造的角度入射光时，构建在各层的界面中发生反射和透过的 n 次衍射光这样的模型，分别计算 s 偏振光成分、p 偏振光成分的振幅反射率。最终能够根据 $\cos \Delta$ 和 $\tan \psi$ 的波长依赖性来求出截面形状。

上述膜厚测量方法中，任何截面形状的测量方法中，基板面（下层反射面）由 Si、Al、Cu 等光吸收系数 k 大的材料（光透过性低的低光透过性材料）构成，能够适用于膜厚较厚、平坦的非透过性的情况。

但是，在上述膜厚测量方法和截面形状测量方法中，在作为测量对象的氧化膜的下层具有多层布线构造的样品的情况下，具有不能进行膜厚测量和截面形状测量这样的问题。

即，例如，在如图 6 所示的样品情况下，如图 6 (a) 所示，在由作为测量膜厚的对象的氧化膜 301 构成的 a 层的下层，形成由金属布线 302 和层间绝缘膜 303 构成的 b 层、由金属布线 304 和层间绝缘膜 305 构成的 c 层，如该图 (b)、(c) 所示，具有使得 b 层的金属布线

302 和 c 层的金属布线 304 正交而形成的多层布线构造。在这样的多层布线构造中,氧化膜 301 和层间绝缘膜 303、305 由二氧化硅等光透过性高的高光透过性材料构成,金属布线 302、304 由 Cu、Al、W 等光透过性低的低光透过性材料构成。而且,在图 6 (a) 中,306、307 由 SiN 膜或者 SiC 膜等构成,是 CMP (化学机械抛光) 工序中所利用的阻挡 (stopper) 层。

另外,在图 7 所示的样品的情况下,此外,氧化膜 301 具有格子构造。

在具有上述这样多层布线构造的样品的情况下,由于下层的反射面的构造是复杂的,所以每当计算理论光谱时,假设由 a 层的表面与 a 层和 b 层的界面反射来计算理论光谱,即使假设由 a 层的表面与 b 层和 c 层的界面所反射来计算理论光谱,也不能进行膜厚测量和截面形状测量。

为此,一直以来,在进行在多层布线构造上形成的膜的膜厚测量等的情况下,在制造工序中,投入与制品晶片不同的试样晶片,在试样晶片 (裸 Si) 上形成成为测量对象的膜,通过光学方法进行膜厚测量。

另外,既使在测量蚀刻形状的情况下,也要进行投入试样晶片、成膜、抗蚀涂布、曝光、蚀刻工序,由 SEM 观察截面,进行形状管理。

为此,在任何情况下,具有试样晶片数越多其制造成本越增加这样的问题。

另外,也能够在芯片内设置膜厚测量或者蚀刻形状测量的监视图案,利用已有方法来测量该位置。但是,随着 IC 的高集成化,在芯片内设置具有一定大小的监视图案是困难的。另外,由于作为假设设置的图案较大,所以在 CMP 的工序处理中,引起图 8 所示那样的金属布线 302 的表面被切削成碗型的凹状,在将与金属布线 302 的界面作为反射面来测量膜厚等的情况下,具有测量精度恶化这样的问题。

因此,为了测量、管理在多层布线上形成的膜的膜厚和截面形状,谋求以非破坏、高生产率来测量制品晶片的任意位置的方法的开发。

发明内容

本发明的目的在于，提供一种偏振分析方法，其能够非破坏且高生产率地进行在多层布线上形成的膜的膜厚测量和截面形状测量。

本发明提供一种偏振分析方法，在对表面上具有测量对象的膜的被测量物以规定入射角照射规定波长的椭圆偏振状态的入射光时，通过理论计算求出从上述被测量物反射的反射光的 p 偏振光成分和 s 偏振光成分的基于相位差 (Δ) 的值和基于振幅比 (Ψ) 的值，得到基准数据，同时，通过测量求出实际的对上述被测量物照射上述入射光时反射的反射光的 p 偏振光成分和 s 偏振光成分的基于相位差 (Δ) 的值和基于振幅比 (Ψ) 的值，通过与上述基准数据比较，进行上述膜的分析，其特征在于，在得到上述基准数据时，使得上述 p 偏振光成分的反射面和上述 s 偏振光成分的反射面不同，来进行上述理论计算。

另外，本发明特征在于，上述比较基于至少 2 个以上的波长进行。

另外，本发明特征在于，上述比较基于至少 2 个以上的入射角进行。

另外，本发明的特征在于，基于上述相位差 (Δ) 的值是 $\cos \Delta$ ，基于上述振幅比 (Ψ) 的值是 $\tan \Psi$ 。

另外，本发明的特征在于，上述被测量物具有：在最上层形成的、由光透过性高的高光透过性材料构成的第一层；在上述第一层下设置的、由光透过性高的高光透过性材料和光透过性低的低光透过性材料所构成的第二层；在第二层下设置的、由光透过性高的高光透过性材料所构成的第三层；在上述第三层下设置的、由光透过性低的低光透过性材料所构成的基板。

另外，本发明的特征在于，上述第二层中，上述高光透过性材料和上述低光透过性材料具有在层平面方向交互配置的直线状布线构造，上述 p 偏振光成分的偏振光面与上述直线状布线平行。

另外，本发明的特征在于，在上述基板和上述第三层之间，光透过性高的高光透过性材料和光透过性低的低光透过性材料，具有第四层，其至少在表面上具有在层平面方向交互配置的直线状布线构造，上述第四层的直线状布线的方向是与上述第二层的直线状布线方向正交的方向。

另外，本发明的特征在于，上述 s 偏振光成分在上述第二层上反射，上述 p 偏振光成分透过上述第二层，在上述第四层上反射。

另外，本发明的特征在于，上述理论计算中的上述第二层，对上述 p 偏振光成分的折射率与对上述 s 偏振光成分的折射率是不同的。

另外，本发明的特征在于，上述光透过性低的低光透过性材料是金属布线材料，上述光透过性高的高光透过性材料是绝缘材料。

另外，本发明的特征在于，测量上述测量对象的膜的膜厚、折射率、截面形状的至少任何一个。

附图说明

图 1 是用于说明本发明的测量方法的一个实施方式的图。

图 2 是表示本发明方法所使用的椭圆偏振计的大致构成的图。

图 3 是表示用于说明已有的膜厚测量方法的基板截面的大致构成的图。

图 4 是表示用于说明已有的截面形状测量方法的基板截面的大致构成的图。

图 5 是表示用于说明已有的截面形状测量方法的基板截面的大致构成的图。

图 6 是表示用于说明已有技术的问题点的基板截面的大致构成的图。

图 7 是表示用于说明已有技术的问题点的基板截面的大致构成的图。

图 8 是表示用于说明已有技术的问题点的基板截面的大致构成的图。

具体实施方式

下面，参照附图关于实施方式来说明本发明的细节。

图 1 表示了测量上述图 6 所示的具有多层布线构造的试样的氧化膜 301 的膜厚 (t_A) 的情况的例子，所以在该图中，为了简化说明，关于图 6 所示的阻挡层 306、307，省略了图示。另外，在该图中，(a) 表示照射的光中的 s 偏振光成分的举动，(b) 表示 p 偏振光成分的举

动。而且，测量所使用的椭圆偏振计的构成，如上述的图 2 所示那样，由光源 101、偏振光元件 102、补偿板 103、检光元件 104、分光器 105、检测器 106 等构成。

如图 1 (a) 所示，从折射率为 N_0 的空气 300 中照射到由折射率为 N_A 的氧化膜 301 构成的 A 层的入射光的 s 偏振光成分，其一部分以反射角 θ_0 从 A 层表面反射 (r_{0s})，剩余部分入射到 A 层。

然后，入射到 A 层内的 s 偏振光成分通过 A 层，到达由金属布线 302 和层间绝缘膜 303 构成的 B 层的界面，但 s 偏振光成分在与金属布线 302 的布线方向（布线的长度方向）垂直的方向有振幅，所以，不能通过在 B 层的金属布线 302 间形成的层间绝缘膜 303 的形成区域，在与 B 层的界面以反射角 θ_1 反射。该反射光的振幅反射率 r_{1s} 由下面表示：

$$r_{1s} = (N_A \cos \theta_1 - N_B \cos \theta_2) / (N_A \cos \theta_1 + N_B \cos \theta_2)$$

而且， N_B 是对 B 层的 s 偏振光成分的折射率。

该反射光 (r_{1s}) 通过 B 层，与由 A 层表面反射的反射光 (r_{0s}) 干涉，其干涉光的振幅反射率 R_s 是：

$$R_s = (r_{0s} + r_{1s} \exp(-2i\delta)) / (1 + r_{0s} \cdot r_{1s} \exp(-2i\delta))$$

其中，

$$\delta = 2\pi N_A t_A \cos \theta_1 / \lambda$$

$$r_{0s} = (N_0 \cos \theta_0 - N_A \cos \theta_1) / (N_0 \cos \theta_0 + N_A \cos \theta_1)$$

另一方面，图 1 (b) 表示照射光中 p 偏振光成分的举动。从折射率为 N_0 的空气 300 中照射到由折射率为 N_A 的氧化膜 301 构成的 A 层的入射光的 p 偏振光成分，其一部分以反射角 θ_0 从 A 层表面反射 (r_{0p})，剩余部分入射到 A 层内。

然后，入射到 A 层内的 p 偏振光成分，通过 A 层，到达与由金属布线 302 和层间绝缘膜 303 构成的 B 层的界面，但由于 p 偏振光成分在与金属布线 302 的布线方向（布线的长度方向）平行的方向有振幅，所以能够通过 B 层金属布线 302 间形成的层间绝缘膜 303 形成区域。然后，该通过的 p 偏振光成分还通过仅由层间绝缘膜 303 构成的 C 层，到达与由金属布线 304 和层间绝缘膜 305 构成的 D 层的界面。而且，而且，如该图所示，在与 B 层的界面、与 C 层的界面，一部分 p 偏振

光成分以反射角 θ_1 、 θ_2 反射。

D 层的金属布线 304 相对 p 偏振光成分的振幅方向是垂直的，所以 p 偏振光成分不能通过在 D 层的金属布线 304 间形成的层间绝缘膜 305 形成区域，到达与 D 层的界面的 p 偏振光成分，在这里以反射角 θ_3 反射。该反射光的振幅反射率 r_{3p} 由下面的公式表示：

$$r_{3p} = (ND \cos \theta_3 - NC \cos \theta_4) / (ND \cos \theta_3 + NC \cos \theta_4)$$

相对 s 偏振光成分的 B 层和相对 p 偏振光成分的 D 层，实质上作用为基板面（非透过面），所以在相对 s 偏振光成分的 B 层的折射率 NBs 和相对 p 偏振光成分的 D 层的折射率 ND 之间， $ND = NBs$ 成立。但是，限于 B 层和 C 层的金属布线的线宽和间隔相等的情况。

由与 D 层的界面反射的反射光（ r_{3p} ）通过 C 层，与由与 C 层的界面所反射的反射光（ r_{2p} ）干涉，该干涉光的振幅反射率 R_{2p} 为：

$$R_{2p} = (r_{2p} + r_{3p} \exp(-2i\delta)) / (1 + r_{2p} \cdot r_{3p} \exp(-2i\delta))$$

但是，

$$\delta = 2\pi NC tC \cos \theta_3 / \lambda$$

$$r_{2p} = (NC \cos \theta_2 - NBp \cos \theta_3) / (NC \cos \theta_2 + NBp \cos \theta_3)$$

这里，如关于 B 层进行说明，在已经的 s 偏振光成分的计算中，将 B 层的折射率定义为 NBs ，但 B 层是包含因膜厚改变折射率的 Cu、W、Al 等金属的层。在这样的层的情况下，在相对 s 偏振光成分而起到基板面（非透过面）的功能的情况下和相对 p 偏振光成分而作为透过膜发挥功能的情况下，折射率不同， $NBs \neq NBp$ 。

在上述干涉光（ R_{2p} ）通过 B 层的情况下，如果也同样考虑，B 层的振幅反射率 R_{1p} 为：

$$R_{1p} = (r_{1p} + R_{2p} \exp(-2i\delta)) / (1 + r_{1p} \cdot R_{2p} \exp(-2i\delta))$$

但是，

$$\delta = 2\pi NBp tB \cos \theta_2 / \lambda$$

$$r_{1p} = (NBp \cos \theta_1 - NA \cos \theta_2) / (NBp \cos \theta_1 + NA \cos \theta_2)$$

最终，A 层表面的振幅反射率 R_p 是：

$$R_p = (r_{0p} + R_{1p} \exp(-2i\delta)) / (1 + r_{0p} \cdot R_{1p} \exp(-2i\delta))$$

但是，

$$\delta = 2\pi NA tA \cos \theta_1 / \lambda$$

$$r_{0p} = (N_A \cos \theta_0 - N_0 \cos \theta_1) / (N_A \cos \theta_0 + N_0 \cos \theta_1)$$

如上所述，在作用为基板面（非透过面）的反射面，根据分别分为 s 偏振光成分和 p 偏振光成分来计算的振幅反射率 R_s 、 R_p ，作为 s 偏振光成分和 p 偏振光成分的振幅比 ψ 和相位差 Δ 的函数的 $\tan \psi$ 和 $\cos \Delta$ 由下面的公式能够计算：

$$R_s/R_p = \tan \psi \cdot \exp(-i\Delta)$$

以上关于任意波长进行了说明，所以对于连续的多个波长，通过计算 $\tan \psi$ 和 $\cos \Delta$ ，可得到作为基准数据的 $\lambda - \tan \psi$ 和 $\lambda - \cos \Delta$ 的光谱数据。

然后，分配关于膜厚和膜质的参数来比较关于不同的 A 层膜厚 t_A 而这样求出的基准数据的光谱数据和实际测量得到的实测的光谱数据，将表示该误差的统计量最小或者最大的膜厚作为输出值，利用这种方法，能够测量在多层布线上形成的氧化膜 301（A 层）的膜厚。

而且试样旋转 90° 的情况下，也可以是 s 偏振光成分和 p 偏振光成分的反射、透过相反的图案。

另外，如上述，s 偏振光成分和 p 偏振光成分分别由各个不同的面反射，计算 $\tan \psi$ 和 $\cos \Delta$ 的波长依赖性，与实测的光谱比较的方法，如图 7 所示那样，也能够使用于格子构造的蚀刻形状测量等截面形状测量中。关于在最上层形成的截面形状计算，使用这样的方法，如图 5 所示，将图案部分分割为 n 等分，将格子部分作为 n 层积层膜来求出形状。

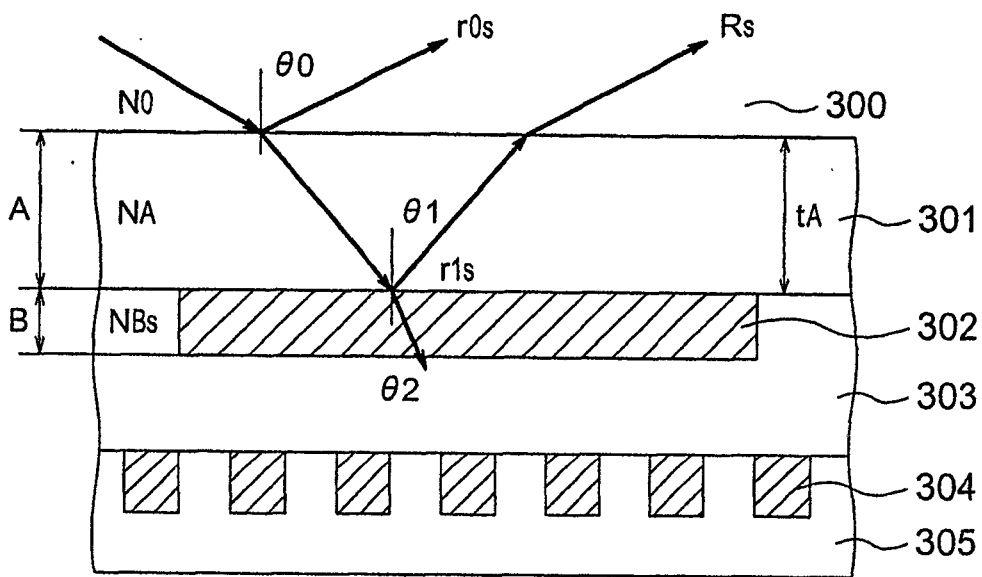
此外，在上述实施方式中，说明了在 B 层和 D 层上形成相互正交的金属布线 302、304 的情况，但对于下层的 D 层，即使没有金属布线 304，由基板面等非透过面构成，也同样能够适用。

此外，通过代替波长来改变入射角也能够得到同样的效果。例如，在图 1 中，改变入射角 θ_0 来进行测量，得到 $\cos \Delta$ 和 $\tan \psi$ 的入射角依赖性。然后，基于上述公式利用多个入射角来计算，得到 $\theta - \cos \Delta$ 和 $\theta - \tan \psi$ 的基准数据。比较基准数据和实测的光谱数据，能够求出关于希望的膜厚和截面形状的物理量。

以上进行了说明，如按照本发明，能够非破坏且高生产率地进行在多层布线上形成的膜的膜厚测量和截面形状测量。

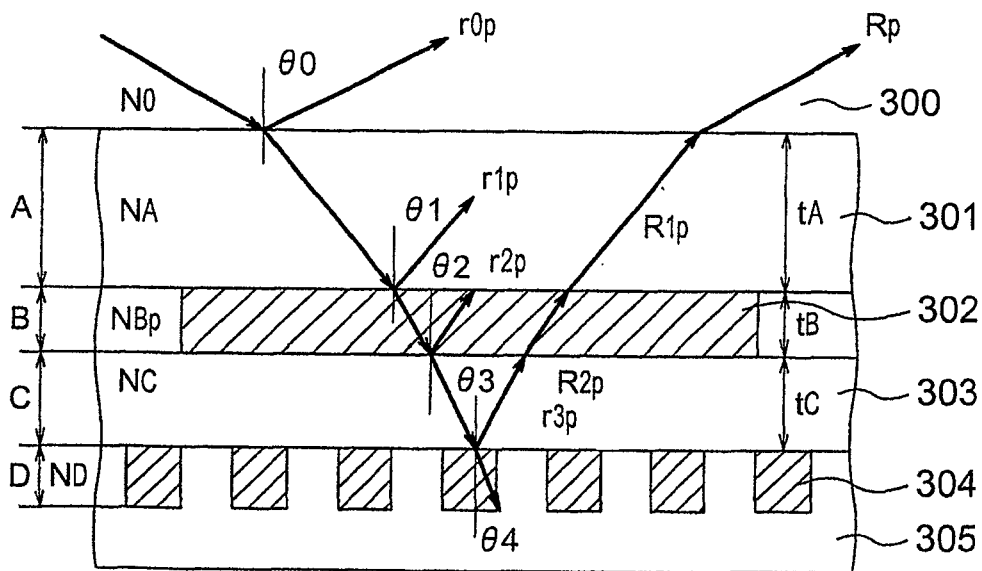
产业上的可利用性

本发明的偏振分析方法，在进行半导体装置的制造的半导体制造产业等中能够使用。因此，具有产业上的可利用性。



(a) s偏振光

图1A



(b) p偏振光

图1B

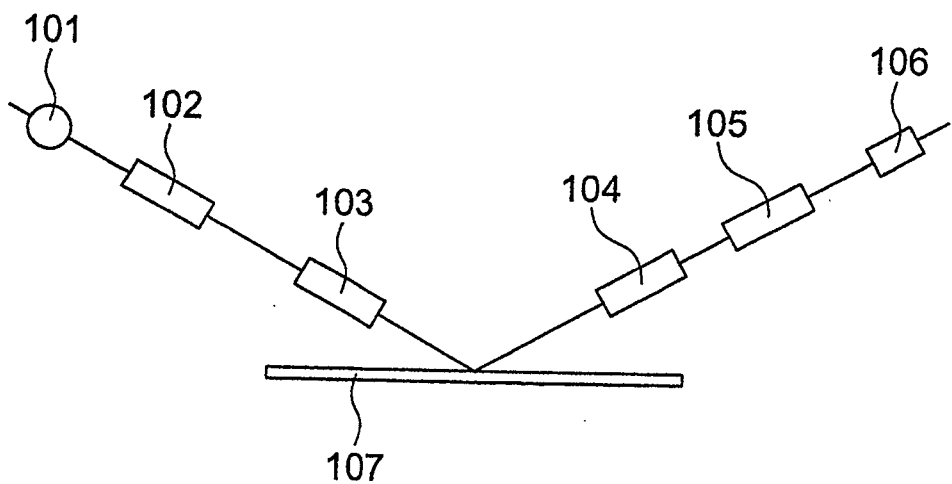


图2

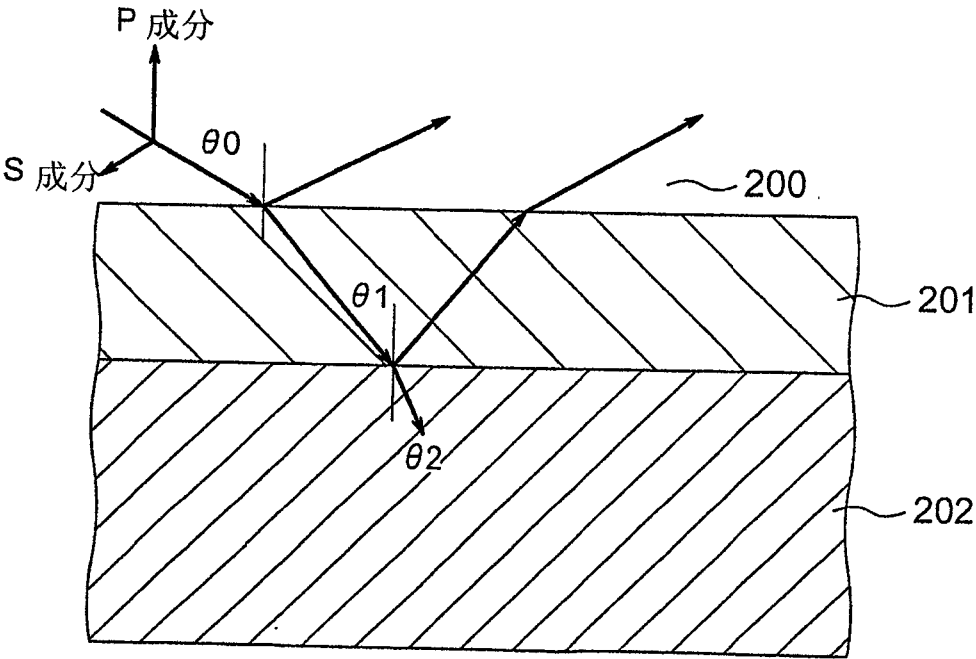


图3

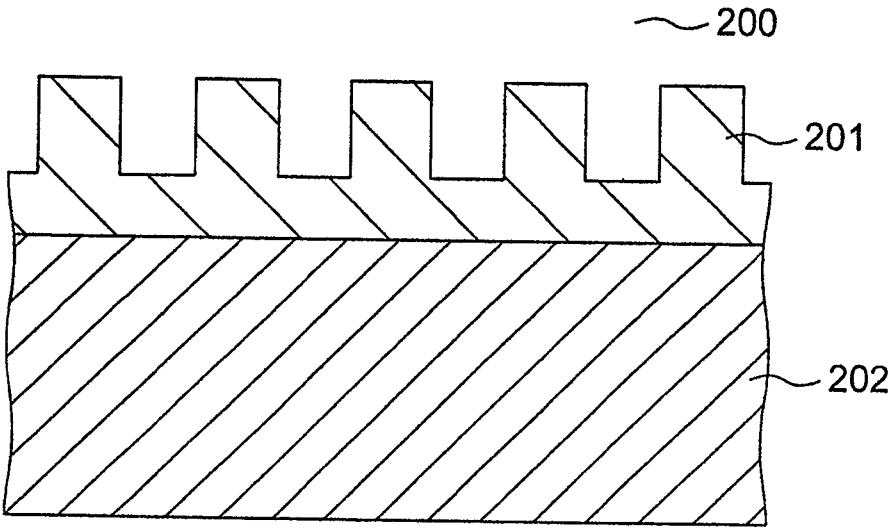


图4

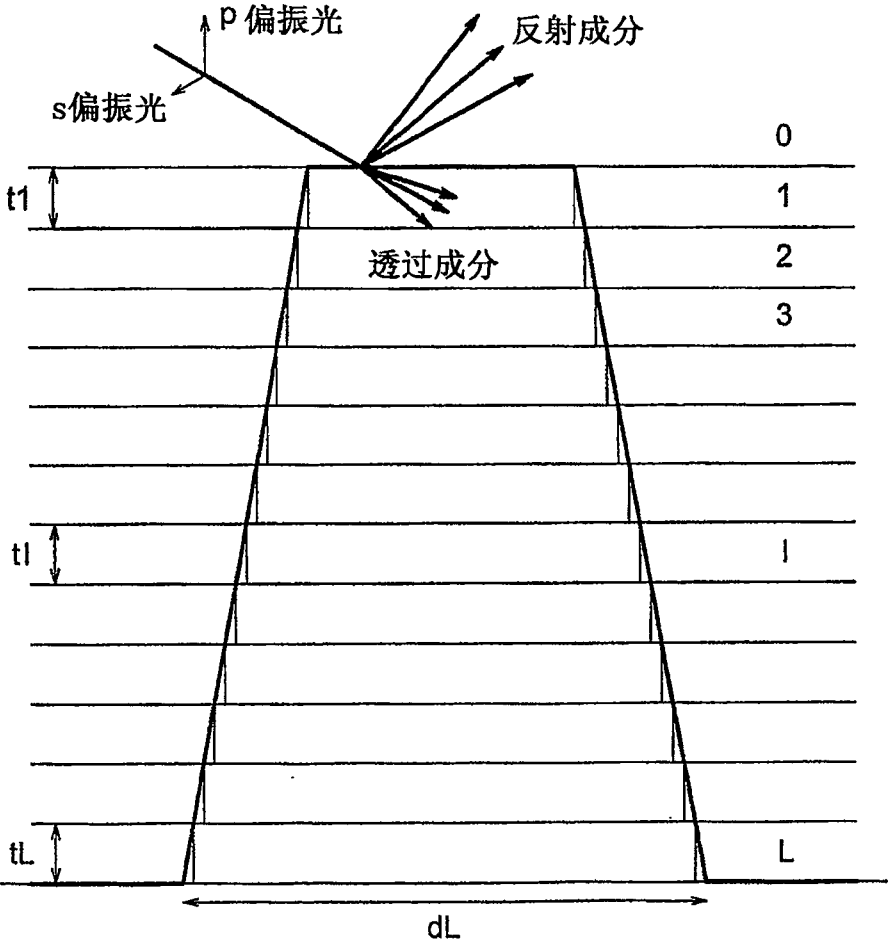


图5

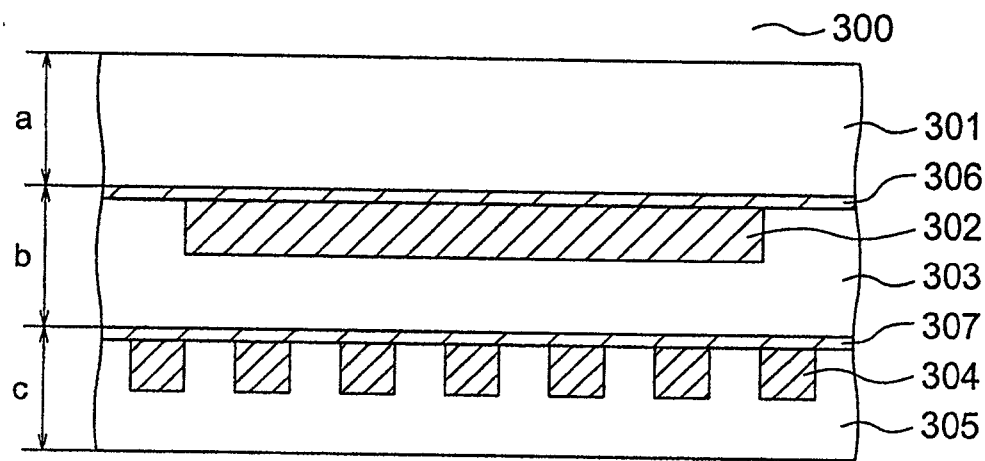


图6A

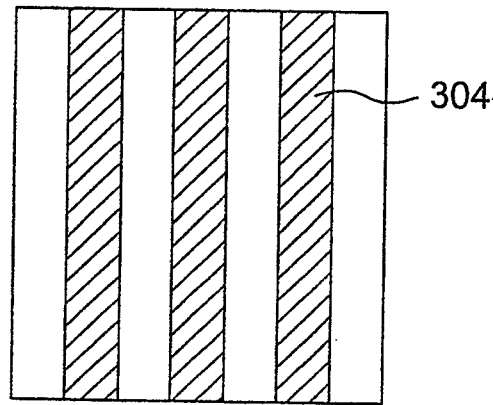


图6C

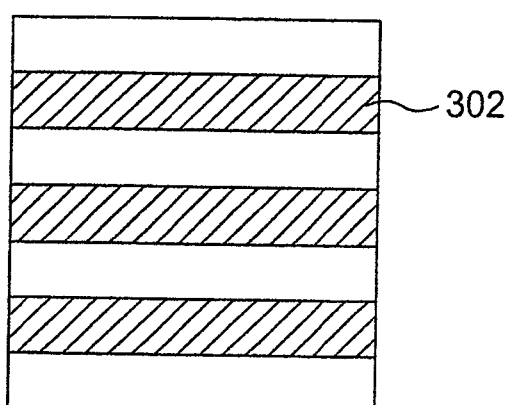


图6B

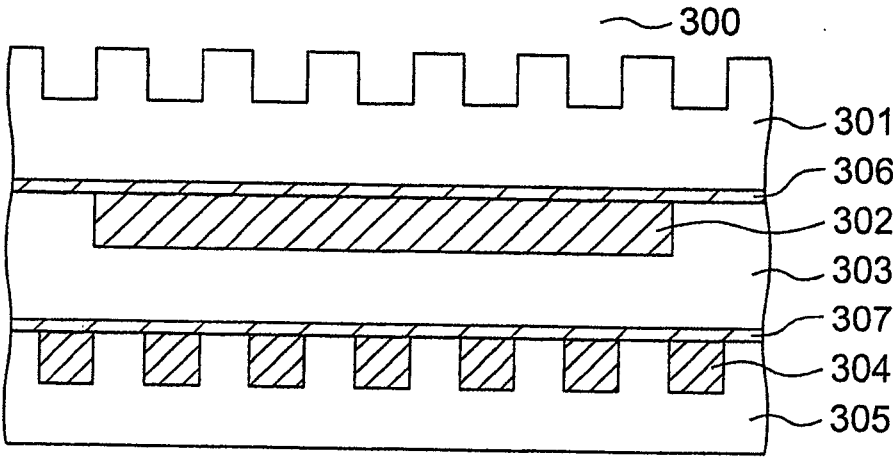


图7

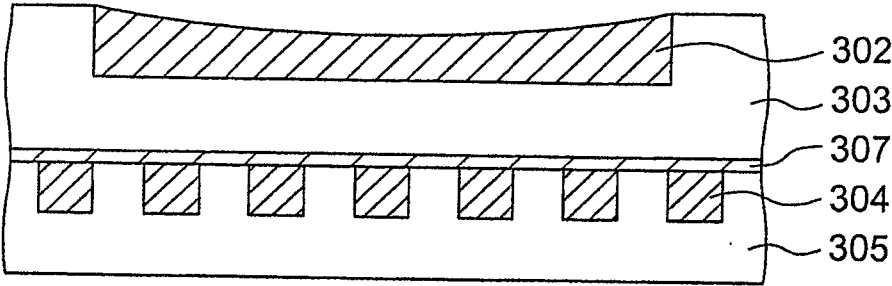


图8