

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3674591号
(P3674591)

(45) 発行日 平成17年7月20日(2005.7.20)

(24) 登録日 平成17年5月13日(2005.5.13)

(51) Int. Cl.⁷

F I

H O 1 L 21/027
G O 3 F 1/16H O 1 L 21/30 5 3 1 M
G O 3 F 1/16 A
H O 1 L 21/30 5 O 2 P

請求項の数 4 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2002-47474 (P2002-47474)
 (22) 出願日 平成14年2月25日(2002.2.25)
 (65) 公開番号 特開2003-249430 (P2003-249430A)
 (43) 公開日 平成15年9月5日(2003.9.5)
 審査請求日 平成15年3月7日(2003.3.7)

(73) 特許権者 000002185
 ソニー株式会社
 東京都品川区北品川6丁目7番35号
 (74) 代理人 100086298
 弁理士 船橋 國則
 (72) 発明者 菅原 稔
 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソ
 ニー株式会社内
 審査官 新井 重雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光用マスクの製造方法および露光用マスク

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体装置の製造工程にて極短紫外光を用いて被露光体上への露光を行うために、前記極短紫外光を反射するマスクブランクスと、前記極短紫外光を吸収する作用を有し前記マスクブランクの光反射面側を所定パターンで覆う吸収膜と、前記マスクブランクスと前記吸収膜との間に介在するバッファ膜とを具備する露光用マスクの製造方法であって、前記吸収膜の形成膜厚を決定するのにあたり、前記所定パターンの転写先におけるパターン線幅およびパターン位置ずれの少なくとも一方に対して前記吸収膜および前記バッファ膜の膜内多重反射により被露光体上転写像に対して生じ得るスウィング効果およびバルク効果を、前記吸収膜および前記バッファ膜の形成材料の物性値並びに露光時の光学条件を

10

基に特定し、特定したスウィング効果およびバルク効果を考慮して前記パターン線幅のばらつきおよび/または前記パターン位置ずれの発生が最小となるように前記吸収膜の形成膜厚の決定条件となる光学密度を決定する

ことを特徴とする露光用マスクの製造方法。

【請求項2】

半導体装置の製造工程にて極短紫外光を用いて被露光体上への露光を行うために、前記極短紫外光を反射するマスクブランクスと、前記極短紫外光を吸収する作用を有し前記マスクブランクの光反射面側を所定パターンで覆う吸収膜と、前記マスクブランクスと前記吸収膜との間に介在するバッファ膜とを具備する露光用マスクの製造方法であって、

20

前記吸収膜の形成膜厚を決定するのにあたり、前記所定パターンの転写先におけるパターン線幅およびパターン位置ずれの少なくとも一方に対して前記吸収膜および前記バッファ膜の膜内多重反射により被露光体上転写像に対して生じ得るスウィング効果およびバルク効果を、前記吸収膜および前記バッファ膜の形成材料の物性値並びに露光時の光学条件を基に特定し、

特定したスウィング効果およびバルク効果並びに前記吸収膜を形成する際の形成精度を考慮して前記パターン線幅のばらつきおよび/または前記パターン位置ずれの発生が最小となるように前記吸収膜の形成膜厚を決定することを特徴とする露光用マスクの製造方法。

【請求項3】

半導体装置の製造工程にて極短紫外光を用いて被露光体上への露光を行うために、前記極短紫外光を反射するマスクブランクスと、前記極短紫外光を吸収する作用を有し前記マスクブランクの光反射面側を所定パターンで覆う吸収膜と、前記マスクブランクスと前記吸収膜との間に介在するバッファ膜とを具備する露光用マスクであって、

前記所定パターンの転写先におけるパターン線幅およびパターン位置ずれの少なくとも一方に対して前記吸収膜および前記バッファ膜の膜内多重反射により被露光体上転写像に対して生じ得るスウィング効果およびバルク効果が、前記吸収膜および前記バッファ膜の形成材料の物性値並びに露光時の光学条件を基に特定され、特定されたスウィング効果およびバルク効果を考慮して前記パターン線幅のばらつきおよび/または前記パターン位置ずれの発生が最小となるように前記吸収膜の形成膜厚の決定条件となる光学密度が決定されている

ことを特徴とする露光用マスク。

【請求項4】

半導体装置の製造工程にて極短紫外光を用いて被露光体上への露光を行うために、前記極短紫外光を反射するマスクブランクスと、前記極短紫外光を吸収する作用を有し前記マスクブランクの光反射面側を所定パターンで覆う吸収膜と、前記マスクブランクスと前記吸収膜との間に介在するバッファ膜とを具備する露光用マスクであって、

前記所定パターンの転写先におけるパターン線幅およびパターン位置ずれの少なくとも一方に対して前記吸収膜および前記バッファ膜の膜内多重反射により被露光体上転写像に対して生じ得るスウィング効果およびバルク効果が、前記吸収膜および前記バッファ膜の形成材料の物性値並びに露光時の光学条件を基に特定され、特定されたスウィング効果およびバルク効果並びに前記吸収膜を形成する際の形成精度を考慮して前記パターン線幅のばらつきおよび/または前記パターン位置ずれの発生が最小となるように前記吸収膜の形成膜厚が決定されている

ことを特徴とする露光用マスク。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体装置の回路パターンを形成するためのリソグラフィ工程にて用いられる露光用マスクの製造方法およびその露光用マスクに関し、特にいわゆる極短紫外光に対応した露光用マスクの製造方法およびその露光用マスクに関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、半導体装置の微細化に伴い、ウエハ上に形成される回路パターンやその回路パターンを形成するためのレジストパターン等に対しては、パターン幅（線幅）やパターン間のピッチ等の極小化が要求されている。このような極小化の要求については、レジストの露光に用いる紫外光の波長をより短波長にすることで対応が可能となる。例えば、350nmの設計ルール半導体装置には365nmの波長、250nmおよび180nmの設計ルール半導体装置には248nmの波長、130nmおよび100nmの設計ルール半導体装置には193nmの波長といったように、半導体装置の微細化が進むほど、露光に用いる紫外光の波長も短波長化され、さ

10

20

30

40

50

らには157nmの波長の紫外光が用いられるようになってきている。

【0003】

一般に、これらの波長による解像度は、 $w = k_1 \times (\lambda / NA)$ というレイリーの式で表されることが知られている。ここで、 w は解像される最小幅のパターン、 NA は投影光学系のレンズの開口数、 λ は露光光の波長である。また、 k_1 は、主にレジストの性能および超解像技術の選択等により決定されるプロセス定数であって、最適なレジストおよび超解像技術を用いれば $k_1 = 0.35$ 程度まで選択できることが知られている。なお、超解像技術とは、マスクを透過し、マスク上遮光パターンで回折された光の ± 1 次回折光を選択的に用いることにより、波長よりも小さなパターンを得ようとするものである。理論的には $\pm n$ 次回折光($n \geq 2$)を用いることによりさらに小さなパターンを得ることが可能であるが、回折光強度の著しい減少および投影光学系における瞳の有限の大きさに制限され、 $\pm n$ 次回折光($n \geq 2$)を用いることは実用的ではない。

10

【0004】

このレイリーの式によれば、例えば157nmの波長を用いた場合に対応が可能な最小のパターン幅は、 $NA = 0.9$ のレンズを用いるとすれば、 $w = 61\text{nm}$ となることがわかる。すなわち、61nmよりも小さなパターン幅を得るためには、157nmよりもさらに短波長の紫外光を用いる必要がある。

【0005】

このことから、最近では、157nmよりも短波長の紫外光として、極短紫外光と呼ばれる13.5nmの波長のものを用いることも検討されている。ただし、157nmの波長の紫外光までは、例えばフッ化カルシウム(CaF_2)や二酸化ケイ素(SiO_2)といった光透過性のある材料が存在するため、当該紫外光を透過させる構成のマスクおよび光学系を作製することができる。ところが、13.5nmの波長の極短紫外光については、当該極短紫外光を所望の厚さでもって透過させる材料が存在していない。そのため、13.5nmの波長の極短紫外光を用いる場合には、光透過型のマスクおよび光学系ではなく、光を反射する反射型マスクおよび反射型光学系によって、マスクおよび光学系を構成する必要がある。

20

【0006】

光反射型のマスクおよび光学系を用いた場合には、マスク面で反射された光が、そのマスクに入射される光と相互に干渉することなく、投影光学系に導かれねばならない。そのため、マスクに入射される光は、必然的にマスク面の法線に対して角度 θ を持った斜め入射となる必要が生じる。この角度は、投影光学系のレンズの開口数 NA 、マスク倍率 m 、照明光源の大きさ D から決まる。具体的には、例えばウエハ上に5倍の縮小倍率を持つマスクを用いた場合、 $NA = 0.3$ 、 $m = 0.8$ の露光装置においては、光が 3.44 ± 2.75 度の立体角を持ってマスク上に入射することになる。また、ウエハ上に4倍の縮小倍率を持つマスクを用いた場合、 $NA = 0.25$ 、 $m = 0.7$ の露光装置においては、光が 3.58 ± 2.51 度の立体角を持ってマスク上に入射することになる。

30

【0007】

このような斜め入射の光に対応する反射型マスクとしては、極短紫外光を反射するマスクブランクスと、そのマスクブランクス上を所定パターンで覆って極短紫外光を吸収する吸収膜と、マスクブランクスと吸収膜との間に介在するバッファ膜とを具備するものが知られている。マスクブランクスは、モリブデン(Mo)層とケイ素(Si)層とを交互に積層した構造で構成されるが、その積層の繰り返し数が40層であるものが一般的である。このマスクブランクス上を極短紫外光の吸収膜が所定パターンで覆うことによって、形成すべき回路パターンやレジストパターン等に対応した選択的な入射光の反射が行われることになる。なお、バッファ膜は、吸収膜を形成する際のエッチングストッパとして、あるいは吸収膜形成後の欠陥除去時のダメージ回避を目的として設けられている。

40

【0008】

以上のような反射型マスクを製造するのにあたっては、吸収膜の膜厚を好適に決定する必要がある。従来、吸収膜の膜厚は、当該吸収膜の光学密度(Optical Density; 以下「OD」と略す)を基準に、例えば $OD = 3$ であることを条件として、決定されている。こ

50

で、 $OD = 3$ に相当する吸収膜の膜厚とは、入射光強度が1000分の1に減衰するために必要な膜厚である。そして、その OD の値は、例えばProceedings of SPIE vol.4343(2001) PP409-414 “TaN EUVL Mask Fabrication and Characterization”に記載されているように、吸収膜表面の反射率から特定される。このように吸収膜表面の反射率から特定した OD を基準に膜厚を決定するのは、極短紫外光に対応していない透過型のマスクにおいて、そのような手法が採用されているからである。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、極短紫外光に対応した反射型マスクの場合、単に吸収膜表面の反射率から特定した OD を基準に吸収膜の膜厚を決定したのでは、ウエハ上に転写される線幅ばらつきおよびパターン位置ずれが大きくなってしまふおそれがある。反射型マスクの場合、極短紫外光を反射するマスクブランクス上に吸収膜およびバッファ膜積層されているが、その吸収膜およびバッファ膜の膜内多重反射によりウエハ上転写像にスウィング効果およびバルク効果が生じ得るからである。

10

【0010】

具体的には、吸収膜が略100nmの厚さ、バッファ膜が略30nmの厚さとする、これらは極短紫外光の波長13.5nmと比較して大きい、マスクブランクスで反射された光と定在波効果を生じてしまう。この定在波は、ウエハ上に転写されるパターンの線幅およびパターン位置を周期的に変化させる。すなわち、線幅およびパターン位置に対し、例えば波打つような周期的変化を発生させるスウィング効果や、周期的変化を伴わないバルク効果が生じてしまうのである。

20

【0011】

したがって、単に吸収膜表面の反射率から特定した OD を基準に吸収膜の膜厚を決定したのでは、吸収膜による光の遮蔽効果の影響を減らすべく膜厚を薄くしても構わないとも考えられるが(例えば、 $OD = 2$ であることを条件とする)、上述したスウィング効果およびバルク効果によって線幅ばらつきおよびパターン位置ずれが大きくなってしまふ可能性が高く、結局パターン幅やパターン間のピッチ等の極小微細化に適切に対応することができないという結果を招いてしまふと考えられる。

【0012】

そこで、本発明は、極短紫外光に対応した反射型マスクであっても、ウエハ上への露光後の線幅ばらつき、パターン位置ずれが最小となるように吸収膜の膜厚を決定することによって、半導体装置の性能向上(極小微細化への適切な対応)に寄与することのできる露光用マスクの製造方法および露光用マスクを提供することを目的とする。

30

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記目的を達成するために案出された露光用マスクの製造方法である。すなわち、半導体装置の製造工程にて極短紫外光を用いて被露光体上への露光を行うために、前記極短紫外光を反射するマスクブランクスと、前記極短紫外光を吸収する作用を有し前記マスクブランクスと前記吸収膜との間に介在するバッファ膜とを具備する露光用マスクの製造方法であって、前記吸収膜の形成膜厚を決定するにあたり、前記所定パターンの転写先におけるパターン線幅およびパターン位置ずれの少なくとも一方に対して前記吸収膜および前記バッファ膜の膜内多重反射により被露光体上転写像に対して生じ得るスウィング効果およびバルク効果を、前記吸収膜および前記バッファ膜の形成材料の物性値並びに露光時の光学条件を基に特定し、特定したスウィング効果およびバルク効果を考慮して前記パターン線幅のばらつきおよび/または前記パターン位置ずれの発生が最小となるように前記吸収膜の形成膜厚の決定条件となる光学密度を決定することを特徴とする。

40

【0014】

上記手順の露光用マスクの製造方法によれば、被露光体上転写像に表れるスウィング効果およびバルク効果を考慮して吸収膜の形成膜厚の決定条件となる光学密度を決定するので

50

、その光学密度を基に吸収膜の形成膜厚を決定すれば、例えば単に吸収膜表面の反射率のみから特定した光学密度を基にする場合とは異なり、被露光体上転写像にスウィング効果およびバルク効果が生じて、転写像の線幅ばらつきが最小となるように吸収膜の形成膜厚を決定するが可能となる。

【0015】

また、本発明の露光用マスクの製造方法は、前記吸収膜の形成膜厚を決定するのにあたり、前記所定パターンの転写先におけるパターン線幅およびパターン位置ずれの少なくとも一方に対して前記吸収膜および前記バッファ膜の膜内多重反射により被露光体上転写像に対して生じ得るスウィング効果およびバルク効果を、前記吸収膜および前記バッファ膜の形成材料の物性値並びに露光時の光学条件を基に特定し、特定したスウィング効果およびバルク効果並びに前記吸収膜を形成する際の形成精度を考慮して前記パターン線幅のばらつきおよび/または前記パターン位置ずれの発生が最小となるように前記吸収膜の形成膜厚を決定することを特徴とする。

10

【0016】

上記手順の露光用マスクの製造方法によれば、吸収膜の形成膜厚を決定するのにあたり、被露光体上転写像に表れるスウィング効果およびバルク効果並びに吸収膜の形成精度を考慮するので、例えば単に吸収膜表面の反射率のみから特定した光学密度を基に吸収膜の形成膜厚を決定する場合とは異なり、被露光体上転写像にスウィング効果およびバルク効果が生じて、また吸収膜の形成精度の影響で形成膜厚にばらつきが生じて、転写像の線幅ばらつきが最小となるように吸収膜の形成膜厚を決定するが可能となる。

20

【0017】

【発明の実施の形態】

以下、図面に基づき本発明に係る露光用マスクの製造方法および露光用マスクについて説明する。なお、当然のことではあるが、本発明は、以下に述べる実施の形態に限定されるものではない。

【0018】

先ず、本発明が適用される露光用マスクの構成について説明する。図1は、本発明が適用される露光用マスクの概略構成例を示す斜視図である。図例のように、ここで説明する露光用マスク10は、例えば二酸化ケイ素(SiO_2)ガラス11上に、Mo層とSi層を交互にそれぞれ4層積層したマスクブランクス12が形成され、さらにルテニウム(Ru)からなるバッファ膜(以下「Ru膜」という)13を介して、極短紫外光吸収体材料である窒化タンタル(TaN)からなる吸収膜(以下「TaN膜」という)14が形成されている。

30

【0019】

このように構成された露光用マスク10を構成する各膜の形成材料の物性値は、以下の通りである。マスクブランクス12を構成するMo層は2.789nm厚、Si層は4.184nm厚で形成されている。また、Ru膜13は、バッファ膜としての機能を満たすべく30nm厚で形成されている。各形成材料の屈折率は、 $\text{SiO}_2 = 0.9781727 - 0.0107731i$ 、 $\text{Mo} = 0.9210839 - 0.00643543i$ 、 $\text{Si} = 0.999319676 - 0.00182645i$ 、 $\text{Ru} = 0.887487 - 0.0174721i$ 、 $\text{TaN} = 0.9413643 - 0.0315738i$ となっている。なお、 i は虚数単位である。

40

【0020】

また、露光用マスク10を用いて行われる露光時の光学条件は、以下の通りである。すなわち、露光波長は13.5nmであり、またその露光条件は $\text{NA} = 0.25$ 、 $\sigma = 0.70$ である。

【0021】

ところで、以上のような露光用マスク10を製造するのにあたっては、TaN膜14の膜厚を好適に決定する必要がある。本発明は、その決定手順に大きな特徴がある。

【0022】

ここで、その決定手順の概要について簡単に説明する。図2は、本発明が適用された膜厚決定手順の一例を示すフローチャートである。図例のように、TaN膜14の形成膜厚を決定するのにあたっては、先ず、そのTaN膜14により形成されるパターンの転写像に

50

対して生じ得るスウィング効果およびバルク効果を特定する（ステップ101、以下ステップを単に「S」と略す）。特に、ここでは、転写像の線幅（パターン幅）についてのスウィング効果およびバルク効果を特定する。これらスウィング効果およびバルク効果は、TaN膜14およびRu膜13の影響によって生じ得るものである。したがって、スウィング効果およびバルク効果は、TaN膜14およびRu膜13の形成材料の物性値並びに露光時の光学条件を基に、例えば理論計算やシミュレーション等の手法を用いて特定することが可能である。

【0023】

そして、線幅についてのスウィング効果およびバルク効果を特定した後は、その特定したスウィング効果およびバルク効果を考慮しつつ、線幅ばらつきが最小となるように、TaN膜14の形成膜厚の決定条件となるODを決定する（S102）。これにより、TaN膜14の形成膜厚をどの程度にすればよいか、すなわちTaN膜14の形成膜厚を決定するための基準が決定されることになる。

10

【0024】

ただし、決定したODに相当するTaN膜14の膜厚であれば、任意に膜厚を設定して良いというわけではない。そこで、ODの決定後は、続いて、再びスウィング効果およびバルク効果を特定する（S103）。特に、ここでは、転写像のパターン位置ずれについてのスウィング効果およびバルク効果を特定する。この特定も、上述した線幅の場合と同様に行えばよい。その一方で、TaN膜14を形成する成膜装置の能力等によって定まるTaN膜14の形成精度についても合わせて把握しておく（S104）。これにより、TaN膜14を形成する際に生じ得る形成膜厚のばらつきがどの程度であるかがわかるようになる。

20

【0025】

その後は、特定したスウィング効果およびバルク効果並びにTaN膜14の形成精度を考慮して、パターン位置ずれの発生が最小となるように、TaN膜14の形成膜厚を決定する（S105）。これにより、最終的なTaN膜14の形成膜厚、すなわちウエハ上への露光後の線幅ばらつきおよびパターン位置ずれが最小となるようなTaN膜14の形成膜厚が決定されることになる。

【0026】

次に、以上のような決定手順の詳細について、具体例を挙げて説明する。まず、TaN膜14およびRu膜13の膜内多重干渉によるスウィング効果およびバルク効果の特定（図2におけるS101）について説明する。スウィング効果およびバルク効果は、既に説明したように、TaN膜14およびRu膜13の形成材料の物性値並びに露光時の光学条件を基に、例えば理論計算やシミュレーション等の手法を用いて特定すればよい。なお、当該手法については、公知技術を用いればよいため、ここではその説明を省略する。

30

【0027】

図3～図6は、スウィング効果およびバルク効果の特定結果の一具体例を示す説明図である。ここでは、Ru膜13の膜厚が30nmであるものとして、スウィング効果およびバルク効果を特定している。図3は、マスク上40nm（ウエハ上換算：4倍マスク上では160nm）パターンに対するTaN膜14の膜厚についてプロットした線幅に対するスウィング効果とバルク効果を示している。なお、パターンピッチは80nmで、また入射角度はマスク面上法線に対し4.84度である。また、図中において、線幅に対する近似曲線は、線幅に対するバルク効果を表している。図4は、マスク上40nm（ウエハ上換算：4倍マスク上では160nm）のパターンに対するTaN膜14の膜厚についてプロットしたパターン位置ずれに対するスウィング効果とバルク効果を示している。図中において、位置ずれに対する近似直線は、位置ずれに対するバルク効果を表している。図5は、マスク上40nm（ウエハ上換算：4倍マスク上では160nm）のパターンに対するOD=3近傍におけるTaN膜14の膜厚についてプロットした線幅に対するスウィング効果のみを表している。図6は、マスク上40nm（ウエハ上換算：4倍マスク上では160nm）のパターンに対するOD=3近傍におけるTaN膜14の膜厚についてプロットした位置ずれに対するスウィング効果のみを表

40

50

している。

【0028】

図3～図6からも明らかなように、特定結果であるスウィング効果およびバルク効果は、TaN膜14の膜厚が増加するのに伴って以下のように変化する。すなわち、線幅に対するスウィング効果は、TaN膜14の膜厚が増加するのに伴って漸減する(図3および図5参照)。また、位置ずれに対するスウィング効果は、TaN膜14の膜厚が増加するのに伴って漸増する(図4および図6参照)。また、線幅に対するバルク効果は、TaN膜14の膜厚が増加するのに伴って、2次曲線で良好に近似されるように減少する(図3参照)。また、位置ずれに対するバルク効果は、1次曲線で良好に近似されるようにTaN膜14の膜厚によらず一定である(図4参照)。

10

【0029】

続いて、以上のように特定したスウィング効果およびバルク効果を考慮して行うODの決定(図2におけるS102)について説明する。ODの決定にあたっては、線幅についてのスウィング効果およびバルク効果(図3、図5参照)を基にする。ODは、TaN膜14の形成膜厚の決定条件となるものであり、TaN膜14の膜厚と図7に示すような関係にある。図7は、ODとTaN膜厚との関係の一具体例を示す説明図である。

【0030】

既に説明したように、従来は、スウィング効果およびバルク効果を全く考慮せずに、TaN膜14(吸収膜)の表面からの反射率のみでもって、ODの値が決定されていた。したがって、例えばOD=2とした場合であっても、良好なパターンが形成可能であると考えられていた。図7によれば、OD=3であるとTaN膜14の膜厚は120nm程度、OD=2であるとTaN膜14の膜厚は80nm程度となる。ところが、TaN膜14の形成膜厚がその形成精度の影響によってばらつくと、図3に示した膜厚と線幅ばらつきとの関係からも明らかなように、OD=2とした場合には、OD=3とした場合に比べて、転写線幅のばらつきの幅も大きくなってしまう。

20

【0031】

したがって、ODの決定にあたっては、線幅についてのスウィング効果およびバルク効果(図3、図5参照)を考慮しつつ、線幅ばらつきが最小となるようにする。具体的には、OD=3としたほうがOD=2とするよりも転写線幅のばらつきの幅が小さくなり良好であることがわかるので、例えばOD=3と決定し、これをTaN膜14の形成膜厚を決定

30

【0032】

ところで、TaN膜14の膜厚は、以上のようにして決定したODのみを基にして決定することも可能である(図7参照)。ただし、TaN膜14およびRu膜13の膜厚がその形成精度の影響によってある一定の範囲内ではばらつくことを考慮すると、決定したODに相当するTaN膜14の膜厚であれば任意に設定して良いというわけではなく、良好な転写像を得るための最適部分があると考えられる。

【0033】

図8はマスク上40nm(ウエハ上換算:4倍マスク上では160nm)パターンに対しOD=3近傍においてTaN膜14の膜厚を固定してRu膜13の膜厚を変化させた場合の線幅に対するスウィング効果とバルク効果を示す説明図であり、図9はマスク上40nm(ウエハ上換算:4倍マスク上では160nm)パターンに対しOD=3近傍においてTaN膜14の膜厚を固定してRu膜13の膜厚を変化させた場合のパターン位置ずれに対するスウィング効果とバルク効果を示す説明図である。図例からも明らかなように、線幅に対するスウィング効果、位置ずれに対するスウィング効果、線幅に対するバルク効果および位置ずれに対するバルク効果は、Ru膜13の膜厚を変化させた場合においても、TaN膜14の膜厚を変化させた場合と同様に現れる。

40

【0034】

図10はマスク上40nm(ウエハ上換算:4倍マスク上では160nm)パターンに対しTaN膜14およびRu膜13の両方の膜厚を変化させた場合の線幅に対するスウィング効果お

50

よびバルク効果を示す説明図であり、図11はマスク上40nm(ウエハ上換算:4倍マスク上では160nm)パターンに対しTaN膜14およびRu膜13の両方の膜厚を変化させた場合のパターン位置ずれに対するスウィング効果およびバルク効果を示す説明図である。図10によれば、TaN膜14の膜厚の形成ばらつきを例えば $\pm 3\text{nm}$ 、Ru膜13の膜厚の形成ばらつきを例えば $\pm 3\text{nm}$ とすると、これら膜厚ばらつきの影響による線幅ばらつきは1.4nm程度であることがわかる。一方、図11によれば、パターン位置ずれについては、TaN膜14の膜厚およびRu膜13の膜厚によるバルク効果の影響が大きいいため、例えばTaN膜14の膜厚が123nm付近において節を持ち、他の部分で腹を持つ。

【0035】

このような腹と節が生じることを考えると、TaN膜14およびRu膜13の双方に膜厚の形成ばらつきが生じる場合には、良好な転写像を得るためにTaN膜14の膜厚について最適部分があると言える。そこで、ODの決定後は、Ru膜13の膜厚変化をも考慮したTaN膜14の膜厚の最適部分を得るための手順(図2におけるS103~S105)を行う。

【0036】

膜厚の最適部分を得るためには、まず、スウィング効果およびバルク効果の特定(図2におけるS103)を行う。なお、特定手法については、上述した場合(図2におけるS101の場合)と同様にして行えばよい。

【0037】

図12~図15は、スウィング効果およびバルク効果の特定結果の他の具体例を示す説明図である。図12はマスク上30nm(ウエハ上換算:4倍マスク上では120nm)パターンに対し、入射角4.84度における、TaN膜14およびRu膜13の両方の膜厚を変化させた場合の線幅に対するスウィング効果およびバルク効果を示しており、図13は同条件でのパターン位置ずれに対するスウィング効果およびバルク効果を示している。また、図14はマスク上30nm(ウエハ上換算:4倍マスク上では120nm)パターンに対し、入射角7.27度における、TaN膜14およびRu膜13の両方の膜厚を変化させた場合の線幅に対するスウィング効果およびバルク効果を示しており、図15は同条件でのパターン位置ずれに対するスウィング効果およびバルク効果を示している。なお、パターンピッチは160nm(ウエハ上換算:4倍マスク上では640nm)である。

【0038】

続いて、特定したスウィング効果およびバルク効果を考慮して行うTaN膜14の膜厚の最適値の決定(図2におけるS105)について説明する。なお、最適値の決定に先立ち、TaN膜14およびRu膜13の形成膜厚のばらつき、すなわち各膜13、14の形成精度についての把握(図2におけるS104)が既に行われているものとする。この把握は、各膜13、14を形成する成膜装置の能力や成膜条件等に基づいて行えばよい。ここでは、形成精度が $\pm 0\text{nm}$ ~ $\pm 3\text{nm}$ であるものとして説明する。

【0039】

例えば、入射角度が4.84度である場合について考える。TaN膜14の膜厚ばらつきを $\pm 0\text{nm}$ とすると、線幅ばらつきが最小となるTaN膜14の膜厚は、図12から126nmであることがわかる。このときの線幅のばらつき幅(レンジ)は、1.64nmである。そして、パターン位置ずれが最小となるTaN膜14の膜厚は、図13から123nmであることがわかる。このときの位置ずれのばらつき幅(レンジ)は、0.24nmである。

【0040】

また、TaN膜14の膜厚ばらつきを $\pm 1\text{nm}$ とすると、線幅ばらつきが最小となるTaN膜14の膜厚は、図12から126nmであることがわかる。このときの線幅のばらつき幅は、1.64nmである。そして、パターン位置ずれが最小となるTaN膜14の膜厚は、図13から123nmであることがわかる。このときの位置ずれのばらつき幅は、0.34nmである。

【0041】

また、TaN膜14の膜厚ばらつきを $\pm 2\text{nm}$ とすると、線幅ばらつきが最小となるTaN膜14の膜厚は、図12から125nmであることがわかる。このときの線幅のばらつき幅は

10

20

30

40

50

、1.86nmである。そして、パターン位置ずれが最小となるT a N膜14の膜厚は、図13から121nmであることがわかる。このときの位置ずれのばらつき幅は、0.39nmである。

【0042】

また、T a N膜14の膜厚ばらつきを ± 3 nmとすると、線幅ばらつきが最小となるT a N膜14の膜厚は、図12から123nmであることがわかる。このときの線幅のばらつき幅は、1.89nmである。そして、パターン位置ずれが最小となるT a N膜14の膜厚は、図13から120nmであることがわかる。このときの位置ずれのばらつき幅は、0.39nmである。

【0043】

その一方で、T a N膜14の膜厚ばらつきが ± 3 nmの場合、線幅ばらつきが最大となるT a N膜14の膜厚は、図12から120nmであることがわかる。このときの線幅のばらつき幅は、1.92nmである。そして、パターン位置ずれが最大となるT a N膜14の膜厚は、図13から123nmであることがわかる。このときの位置ずれのばらつき幅は、0.55nmである。

10

【0044】

このように、T a N膜14の膜厚は、線幅ばらつきが最小になれば、位置ずればらつきも最小になるというものではなく、それぞれが互いにトレードオフの関係にある。ただし、トレードオフの関係にあっても、位置ずれのばらつき幅の差異に比べれば、線幅のばらつき幅の差異は小さい。

【0045】

したがって、T a N膜14の膜厚の最適値の決定は、位置ずれのばらつき幅、すなわち位置ずれの発生度合が最小となるような膜厚を抽出し、その値を最適値として決定することで行う。例えば、T a N膜14の膜厚ばらつきが ± 3 nmの場合であれば、位置ずれのばらつき幅が最小となる120nmを、T a N膜14の膜厚の最適値として決定することになる。また、T a N膜14の膜厚ばらつきが ± 2 nmの場合であれば、121nmをT a N膜14の膜厚の最適値として決定する。また、T a N膜14の膜厚ばらつきが ± 1 nmの場合であれば、123nmをT a N膜14の膜厚の最適値として決定する。

20

【0046】

これは、入射角度が7.27度である場合についても全く同様である。例えば、T a N膜14の膜厚ばらつきを ± 0 nmとすると、線幅ばらつきが最小となるT a N膜14の膜厚は、図14から120nmであることがわかる。このときの線幅のばらつき幅は、1.64nmである。そして、パターン位置ずれが最小となるT a N膜14の膜厚は、図15から123nmであることがわかる。このときの位置ずれのばらつき幅は、0.35nmである。

30

【0047】

また、T a N膜14の膜厚ばらつきを ± 1 nmとすると、線幅ばらつきが最小となるT a N膜14の膜厚は、図14から120nmであることがわかる。このときの線幅のばらつき幅は、1.78nmである。そして、パターン位置ずれが最小となるT a N膜14の膜厚は、図15から123nmであることがわかる。このときの位置ずれのばらつき幅は、0.56nmである。

【0048】

また、T a N膜14の膜厚ばらつきを ± 2 nmとすると、線幅ばらつきが最小となるT a N膜14の膜厚は、図14から122nmであることがわかる。このときの線幅のばらつき幅は、2.00nmである。そして、パターン位置ずれが最小となるT a N膜14の膜厚は、図15から121nmであることがわかる。このときの位置ずれのばらつき幅は、0.57nmである。

40

【0049】

また、T a N膜14の膜厚ばらつきを ± 3 nmとすると、線幅ばらつきが最小となるT a N膜14の膜厚は、図14から123nmであることがわかる。このときの線幅のばらつき幅は、2.03nmである。そして、パターン位置ずれが最小となるT a N膜14の膜厚は、図15から120nmであることがわかる。このときの位置ずれのばらつき幅は、0.58nmである。

【0050】

その一方で、T a N膜14の膜厚ばらつきが ± 3 nmの場合、線幅ばらつきが最大となるT a N膜14の膜厚は、図14から120nmであることがわかる。このときの線幅のばらつき

50

幅は、2.33nmである。そして、パターン位置ずれが最大となるTaN膜14の膜厚は、図15から124nmであることがわかる。このときの位置ずれのばらつき幅は、0.83nmである。

【0051】

このように、入射角度が7.27度である場合も、TaN膜14の膜厚は、線幅ばらつきと位置ずればらつきが互いにトレードオフの関係にある。そして、位置ずれのばらつき幅の差異に比べれば、線幅のばらつき幅の差異は小さい。したがって、ここでも、位置ずれの発生が最小となるような膜厚を、TaN膜14の膜厚の最適値として決定することになる。例えば、TaN膜14の膜厚ばらつきが ± 3 nmの場合であれば、位置ずれのばらつき幅が最小となる120nmを、TaN膜14の膜厚の最適値として決定することになる。また、TaN膜14の膜厚ばらつきが ± 2 nmの場合であれば、121nmをTaN膜14の膜厚の最適値として決定する。また、TaN膜14の膜厚ばらつきが ± 1 nmの場合であれば、123nmをTaN膜14の膜厚の最適値として決定する。

10

【0052】

以上のような決定手順でTaN膜14の膜厚を決定し、その決定結果に従ってTaN膜14が形成された露光用マスク10を用いれば、ウエハ上転写像にスウィング効果およびバルク効果が生じて、またTaN膜14やRu膜13の形成膜厚にばらつきが生じて、転写像の線幅ばらつきや位置ずれ発生が最小となるようにすることができる。そのため、極短紫外光に対応した反射型の露光用マスク10であっても、パターン幅やパターン間ピッチ等の極小微細化にも適切に対応することが可能となり、結果として半導体装置の性能向上に寄与することができる。

20

【0053】

なお、本実施形態では、TaN膜14の膜厚決定にあたり、線幅ばらつきが最小となるようにODを決定し、さらにそのODを基にしてパターン位置ずれの発生が最小となるようにTaN膜14の膜厚の最適値を決定する場合を例に挙げて説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。すなわち、OD決定および膜厚最適値決定の双方を行うことが最も好適と考えられるが、例えば他の手法（従来技術等）と組み合わせることで、これらのうちのいずれか一方のみを実施するようにしてもよく、その場合であってもスウィング効果およびバルク効果を考慮することによって従来よりも転写像における線幅のばらつきや位置ずれの発生等を抑えられるようになる。

30

【0054】

また、本実施形態では、TaN膜14の膜厚決定にあたり、OD決定については線幅を決定の基準に選択し、線幅ばらつきが最小となるようにOD決定を行い、また膜厚最適値決定については位置ずれを決定の基準に選択し、位置ずれの発生が最小となるように膜厚最適値決定を行う場合を例に挙げて説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、位置ずれをOD決定の基準に選択したり、線幅を膜厚最適値の基準に選択しても構わない。あるいは、線幅と位置ずれの双方を合わせて基準とすることも考えられる。すなわち、OD決定および膜厚最適値決定の基準は、スウィング効果およびバルク効果の特定結果から明らかになる、転写像の線幅ばらつきと位置ずれ発生量のいずれか一方または両方を用いればよい。

40

【0055】

また、本実施形態では、TaN膜14が吸収膜として機能し、Ru膜13がバッファ膜として機能する場合を例に挙げたが、各膜の形成材料はこれらに限定されないことも言うまでもない。

【0056】

【発明の効果】

以上に説明したように、本発明は、吸収膜とバッファ膜の影響によるスウィング効果とバルク効果を考慮しつつ吸収膜の形成膜厚を決定するので、極短紫外光に対応した反射型の露光用マスクであっても、ウエハ上への露光後の線幅ばらつき、パターン位置ずれが最小となるようにすることができる。そのため、転写像におけるパターン幅やパターン間ピッ

50

チ等の極小微細化にも適切に対応することが可能となり、結果として半導体装置の性能向上に寄与することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明が適用される露光用マスクの概略構成例を示す斜視図である。

【図2】本発明が適用された露光用マスクにおけるTaN膜の膜厚決定手順の一例を示すフローチャートである。

【図3】マスク上40nm（ウエハ上換算：4倍マスク上では160nm）パターンに対するTaN膜の膜厚についてプロットした線幅に対するスウィング効果とバルク効果の一具体例を示す説明図である。

【図4】マスク上40nm（ウエハ上換算：4倍マスク上では160nm）パターンに対するTaN膜の膜厚についてプロットしたパターン位置ずれに対するスウィング効果とバルク効果の一具体例を示す説明図である。

10

【図5】マスク上40nm（ウエハ上換算：4倍マスク上では160nm）パターンに対するTaN膜の膜厚についてプロットした線幅に対するスウィング効果のみの一具体例を示す説明図である。

【図6】マスク上40nm（ウエハ上換算：4倍マスク上では160nm）パターンに対するTaN膜の膜厚についてプロットしたパターン位置ずれに対するスウィング効果のみの一具体例を示す説明図である。

【図7】ODとTaN膜厚との関係の一具体例を示す説明図である。

【図8】マスク上40nm（ウエハ上換算：4倍マスク上では160nm）パターンに対しOD = 3近傍においてTaN膜の膜厚を固定してRu膜の膜厚を変化させた場合の線幅に対するスウィング効果とバルク効果の一具体例を示す説明図である。

20

【図9】マスク上40nm（ウエハ上換算：4倍マスク上では160nm）パターンに対しOD = 3近傍においてTaN膜の膜厚を固定してRu膜の膜厚を変化させた場合のパターン位置ずれに対するスウィング効果とバルク効果の一具体例を示す説明図である。

【図10】マスク上40nm（ウエハ上換算：4倍マスク上では160nm）パターンに対しTaN膜およびRu膜の両方の膜厚を変化させた場合の線幅に対するスウィング効果およびバルク効果の一具体例を示す説明図である。

【図11】マスク上40nm（ウエハ上換算：4倍マスク上では160nm）パターンに対しTaN膜およびRu膜の両方の膜厚を変化させた場合のパターン位置ずれに対するスウィング効果およびバルク効果の一具体例を示す説明図である。

30

【図12】マスク上30nm（ウエハ上換算：4倍マスク上では120nm）パターンに対し、入射角4.84度における、TaN膜およびRu膜の両方の膜厚を変化させた場合の線幅に対するスウィング効果およびバルク効果の一具体例を示す説明図である。

【図13】マスク上30nm（ウエハ上換算：4倍マスク上では120nm）パターンに対し、入射角4.84度における、TaN膜およびRu膜の両方の膜厚を変化させた場合のパターン位置ずれに対するスウィング効果およびバルク効果の一具体例を示す説明図である。

【図14】マスク上30nm（ウエハ上換算：4倍マスク上では120nm）パターンに対し、入射角7.27度における、TaN膜およびRu膜の両方の膜厚を変化させた場合の線幅に対するスウィング効果およびバルク効果の一具体例を示す説明図である。

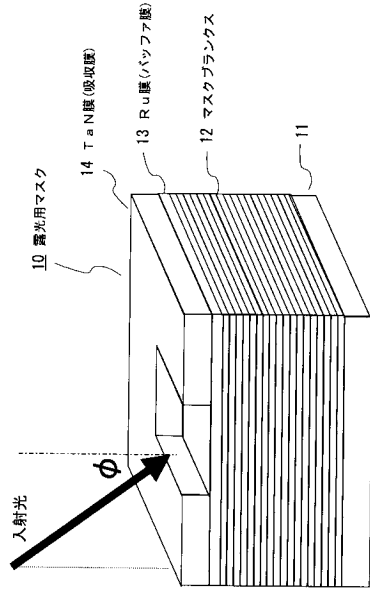
40

【図15】マスク上30nm（ウエハ上換算：4倍マスク上では120nm）パターンに対し、入射角7.27度における、TaN膜およびRu膜の両方の膜厚を変化させた場合のパターン位置ずれに対するスウィング効果およびバルク効果の一具体例を示す説明図である。

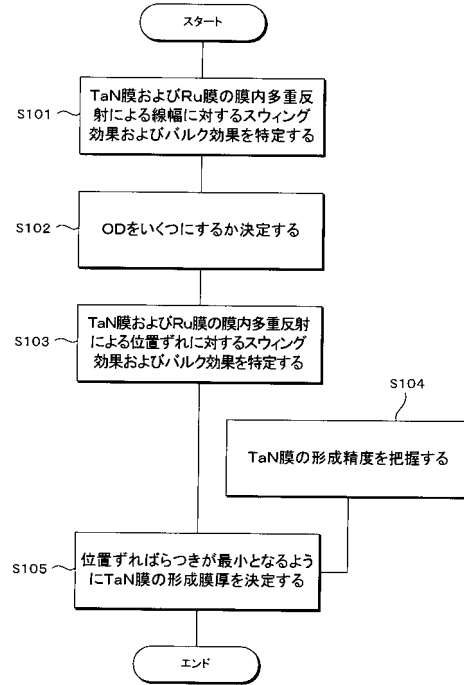
【符号の説明】

10...露光用マスク、12...マスクブランクス、13...Ru膜（バッファ膜）、14...TaN膜（吸収膜）

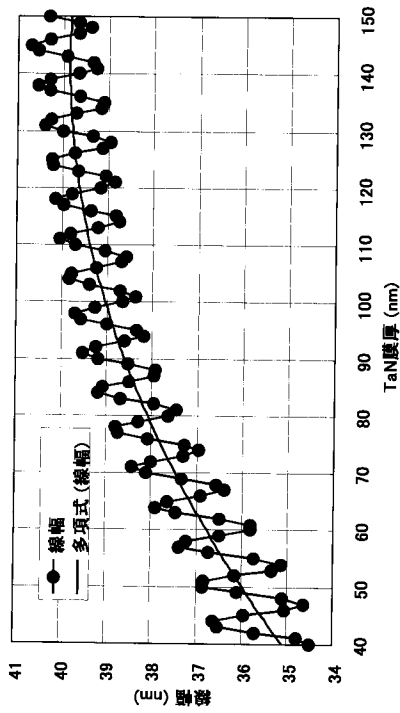
【図1】



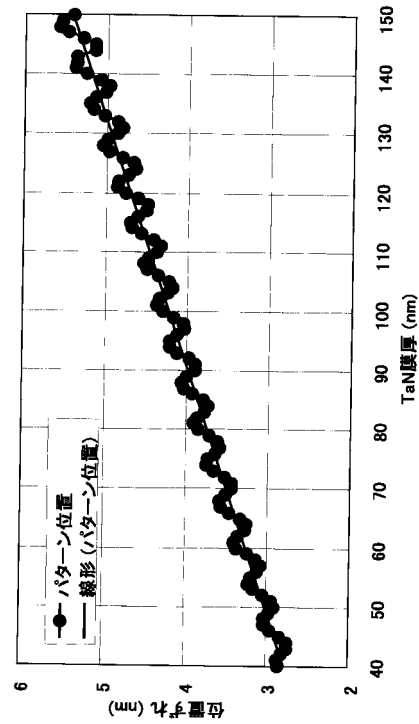
【図2】



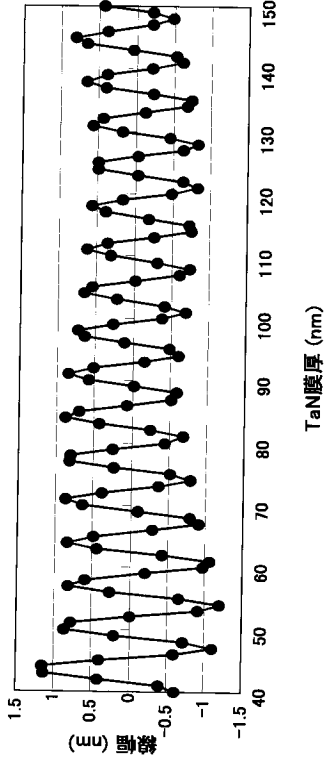
【図3】



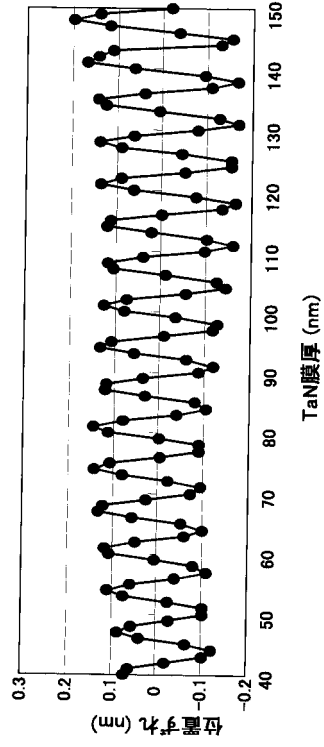
【図4】



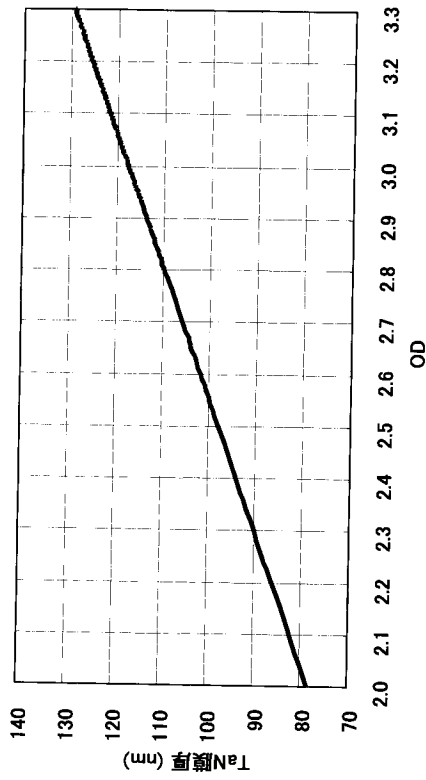
【 図 5 】



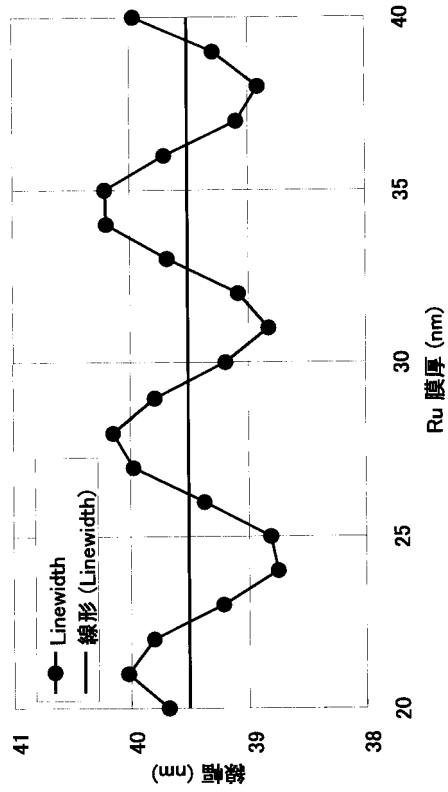
【 図 6 】



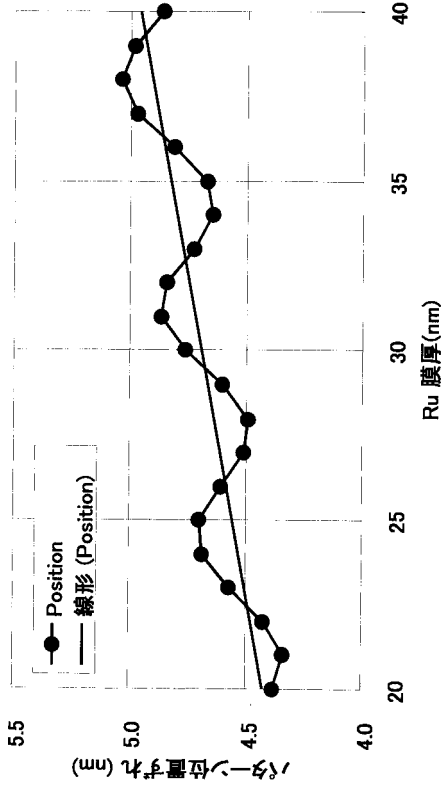
【 図 7 】



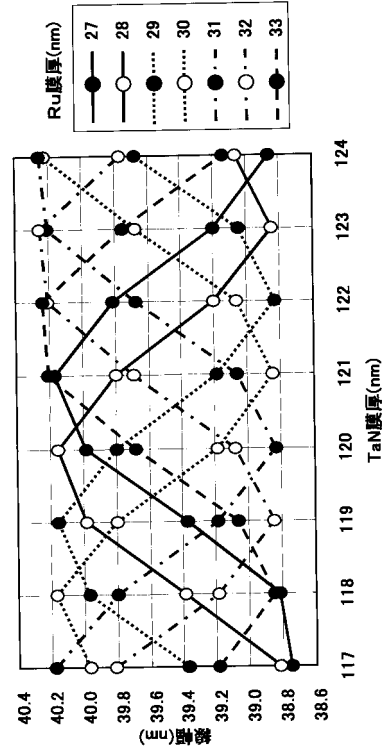
【 図 8 】



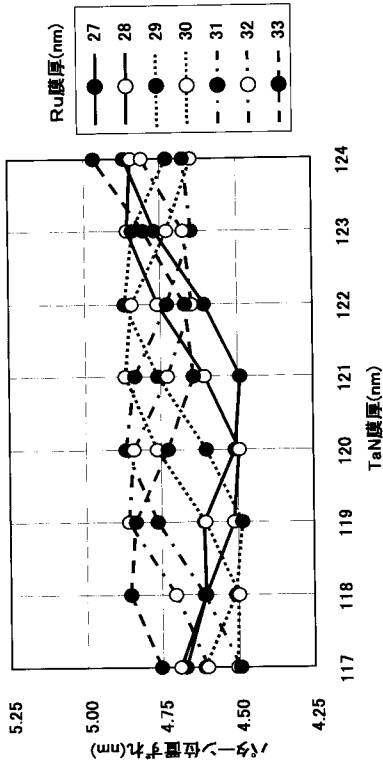
【 図 9 】



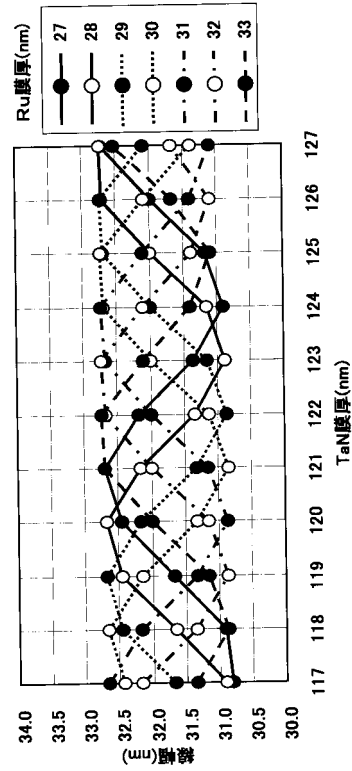
【 図 10 】



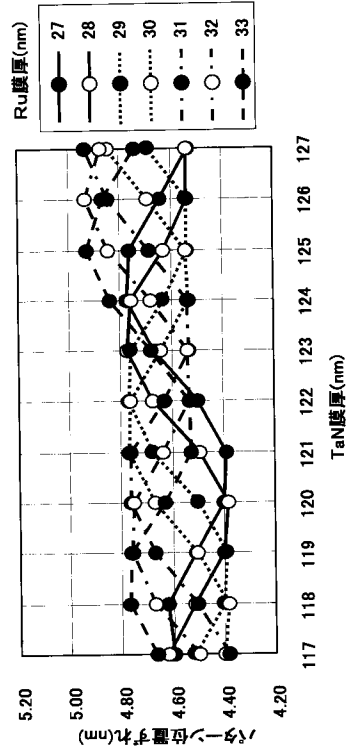
【 図 11 】



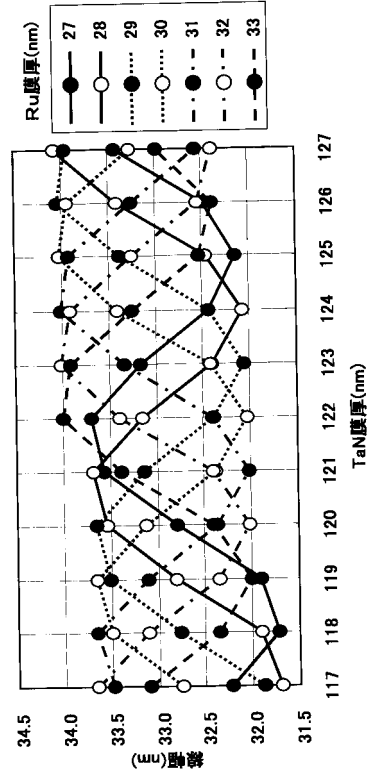
【 図 12 】



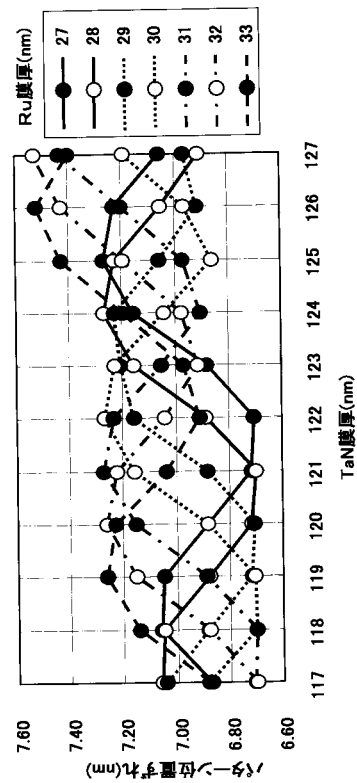
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2002-261005(JP,A)
特開2002-222765(JP,A)
特開2002-050565(JP,A)
特開2000-124114(JP,A)
特開平10-135103(JP,A)
特開平09-129541(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

H01L 21/027

G03F 1/16