

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4327266号
(P4327266)

(45) 発行日 平成21年9月9日 (2009.9.9)

(24) 登録日 平成21年6月19日 (2009.6.19)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 21/027 (2006.01)

GO 3 F 1/08 (2006.01)

GO 1 B 11/02 (2006.01)

GO 3 F 7/26 (2006.01)

HO 1 L 21/30 5 6 9 G

GO 3 F 1/08 M

HO 1 L 21/30 5 0 2 P

HO 1 L 21/30 5 0 2 V

HO 1 L 21/30 5 0 2 G

請求項の数 8 (全 27 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願平10-40603	(73) 特許権者	000003078
(22) 出願日	平成10年2月23日 (1998.2.23)		株式会社東芝
(65) 公開番号	特開平10-300428		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43) 公開日	平成10年11月13日 (1998.11.13)	(74) 代理人	100058479
審査請求日	平成17年2月10日 (2005.2.10)		弁理士 鈴江 武彦
(31) 優先権主張番号	特願平9-42245	(74) 代理人	100084618
(32) 優先日	平成9年2月26日 (1997.2.26)		弁理士 村松 貞男
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100092196
			弁理士 橋本 良郎
		(74) 代理人	100091351
			弁理士 河野 哲
		(74) 代理人	100088683
			弁理士 中村 誠
		(74) 代理人	100070437
			弁理士 河井 将次

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パターン寸法評価方法及びパターン形成方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被処理基板上のレジスト膜を露光し、前記レジスト膜を現像することによってデバイスパターン及びモニタパターンを形成し、前記デバイスパターンの寸法を前記モニタパターンに照射した光の回折光強度に基づいて評価する、パターン寸法評価方法であって、

デバイスマスクパターンとモニタマスクパターンとを具備するマスクを用いて1ショットで前記レジスト膜を露光し、前記デバイスマスクパターンと前記モニタマスクパターンを前記レジスト膜に転写するステップと、

露光された前記レジスト膜を現像することによって、前記デバイスパターン及び前記モニタパターンを形成するステップと、

前記現像中又は現像後に、所定の波長の平行光を前記モニタパターンに照射するステップと、

前記モニタパターンからの回折光強度を検出するステップと、

前記モニタパターンからの回折光強度に基づいて前記デバイスパターンの寸法を評価するステップと、

を具備し、

前記モニタマスクパターンは、円形又は多角形のパターンが二次元的に周期的に配置され、且つパターン間隔が使用する露光装置の解像限界以下になるように配置されることにより、前記現像中又は現像後に前記モニタパターン及び前記デバイスパターンに所定の波長の光が照射された場合の、前記モニタパターンの現像に伴う回折光強度の変化が、前記

デバイスパターンの現像による寸法変化に対する回折光強度の変化よりも大きくなるように形成されることを特徴とするパターン寸法評価方法。

【請求項 2】

前記モニタパターンからの回折光とデバイスパターンからの回折光とを分離して検出できるようにするために、前記モニタマスクパターンのピッチは前記デバイスマスクパターンのピッチとは異なることを特徴とする請求項 1 に記載のパターン寸法評価方法。

【請求項 3】

前記モニタパターンからの回折光とデバイスパターンからの回折光とを分離して検出できるようにするために、前記モニタマスクパターンの周期的なパターンの配列方向が前記デバイスマスクパターンの配列方向と異なることを特徴とする請求項 1 に記載のパターン寸法評価方法。

10

【請求項 4】

前記モニタパターンからの 0 次回折光または 1 次回折光の回折光強度に基づいてデバイスパターンの寸法の評価が行われることを特徴とする請求項 1 に記載のパターン寸法評価方法。

【請求項 5】

被処理基板上のレジスト膜を露光し、前記レジスト膜を現像することによってデバイスパターンを形成する、パターン形成方法であって、

デバイスマスクパターンとモニタマスクパターンとを具備するマスクを用いて 1 ショットで前記レジスト膜を露光し、前記デバイスマスクパターンと前記モニタマスクパターンを前記レジスト膜に転写するステップと、

20

露光された前記レジスト膜を現像することによって、デバイスパターン及びモニタパターンを形成するステップと、

前記現像中に所定の波長の平行光を前記モニタパターンに照射するステップと、

前記モニタパターンからの回折光強度を検出するステップと、

前記モニタパターンからの回折光強度に基づいて前記デバイスパターンの寸法を評価するステップと、

前記デバイスパターンの寸法評価の結果に基づいてデバイスパターンの現像時間を制御するステップと、

を具備し、

30

前記モニタマスクパターンは、円形又は多角形のパターンが二次元的に周期的に配置され、且つパターン間隔が使用する露光装置の解像限界以下になるように配置されることにより、前記現像中に前記モニタパターン及び前記デバイスパターンに所定の波長の光が照射された場合の、前記モニタパターンの現像に伴う回折光強度の変化が、前記デバイスパターンの現像による寸法変化に対する回折光強度の変化よりも大きくなるように形成されることを特徴とするパターン形成方法。

【請求項 6】

被処理基板上のレジスト膜を露光し、前記レジスト膜を現像することによってデバイスパターンを形成する、パターン形成方法であって、

デバイスマスクパターンとモニタマスクパターンとを具備するマスクを用いて 1 ショットで前記レジスト膜を露光し、前記デバイスマスクパターンと前記モニタマスクパターンを前記レジスト膜に転写するステップと、

40

露光された前記レジスト膜を現像することによって、デバイスパターン及びモニタパターンを形成するステップと、

前記現像中に所定の波長の平行光を前記モニタパターンに照射するステップと、

前記モニタパターンからの回折光強度を検出するステップと、

前記モニタパターンからの回折光強度に基づいて前記デバイスパターンの寸法を評価するステップと、

前記デバイスパターンの寸法評価の結果に基づいてデバイスパターンの現像時間を制御するステップと、

50

を具備し、

前記モニタマスクパターンは、円形又は多角形のパターンが二次元的に周期的に配置され、且つパターン間隔が使用する露光装置の解像限界以下になるように配置されることにより、前記現像中に前記モニタパターン及び前記デバイスパターンに所定の波長の光が照射された場合の、前記モニタパターンの現像に伴う回折光強度の変化が、前記デバイスパターンの現像による寸法変化に対する回折光強度の変化よりも大きくなるように形成され

、
前記モニタパターンを形成するために用いられるマスクは、前記レジスト膜上に転写された際のピッチ p が、露光波長を λ 、コヒーレントファクタを σ 、0 次回折光だけが基板上に到達することができる開口数を NA としたとき、

$$\lambda / p < (1 + \sigma) NA,$$

の式によって定まる条件を満たすモニタマスクパターンを有し、

前記モニタマスクパターンの形成エリアにおける透過率を、前記デバイスパターンに対する現像の終了時点で前記モニタパターンの形成エリアのレジストが一部残るように設定することを特徴とするパターン形成方法。

【請求項 7】

前記モニタパターンを照明する平行光は、少なくとも二つの波長を有することを特徴とする請求項 5 又は 6 記載のパターン形成方法。

【請求項 8】

前記モニタパターンを照明する平行光は、前記モニタパターンからの前記回折光強度が極大値及び極小値を有する波長を有し、前記回折光の極大値及び極小値に基づいて前記デバイスパターンの寸法評価を行うことを特徴とする請求項 5 又は 6 記載のパターン形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体装置の作製における光リソグラフィのレジストパターン形成技術に係わり、特に現像中若しくは現像後のレジストパターンを評価するためのパターン寸法評価方法及びパターン形成方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

ウエハ上に集積回路パターンを形成するには、ウエハ上にレジストを塗布した後に該レジストに所望のパターンを露光し、さらに現像処理してレジストパターンを形成し、これをマスクにエッチング等の加工を行う。マスクとしてのレジストパターンには高い寸法精度が要求されるが、レジストパターンの寸法は現像時間により大きく変わる。このため、現像時間の制御が非常に重要である。

【0003】

従来、現像時の寸法制御は、先行ウエハを露光し、現像した後、その寸法評価を行うことで最適現像時間を決め、全てのウエハの現像時間を一定として行ってきた。しかし、実際にはそれぞれのウエハの引き置き時間といったウエハ履歴が異なっているために、同一ロットを同一現像時間で現像を行うとウエハ間に寸法ばらつきが生じ、所望寸法で現像を終わらせることができない。

【0004】

これまではこのような現像の時間管理を行っていても、寸法誤差が許容範囲内に入っていたため大きな問題とはなっていなかったが、プロセスの微細化が進みこれまで以上に精密な寸法制御が必要となっており、従来の現像時間管理手法では現像時の寸法制御が困難となっている。

【0005】

一方、従来では現像後に行うレジストパターンの評価は、例えば SEM (Scanning Electron Microscope) を用いて行ってきた。SEM は高倍率のパターン観察が可能である反面

10

20

30

40

50

、装置構成が複雑でかつ高価である。また、検査に非常に長い時間を要するため、効率良く評価することが困難であった。

【 0 0 0 6 】

また、現像中や現像後に限らず、回折光等を利用して光学的にデバイスパターンを検査する場合、必要なデバイスパターンのモニタの際に他のデバイスパターンからの情報も取り込まれる可能性があり、これがモニタの精度を劣化させる要因となっていた。

【 0 0 0 7 】

【発明が解決しようとする課題】

このように従来、現像時間の制御により異なるウエハに対してレジストパターンの精密な寸法制御を行うことは困難であった。また、レジストパターンをSEMで評価するには多大な時間がかかるという問題があった。さらに、回折光等を利用してデバイスパターンを検査する場合、モニタすべきパターンとは別のパターンからの影響でモニタ精度が低下する問題があった。

【 0 0 0 8 】

本発明は、上記の事情を考慮して成されたもので、その目的とするところは、異なるウエハに対してもレジストパターンの精密な寸法制御が可能となるパターン寸法評価方法及びパターン形成方法を提供することにある。

【 0 0 0 9 】

本発明の他の目的は、モニタすべきパターンとは別のパターンからの影響を受けることなく、レジストパターンを短時間で高精度に検査することのできるパターン寸法評価方法及びパターン形成方法を提供することにある。

【 0 0 1 0 】

本発明のさらなる他の目的は、レジストパターンの寸法を、その現像中に短時間でかつ高精度に評価でき、現像の終点を高精度に予測することのできるパターン寸法評価方法及びパターン形成方法を提供することにある。

【 0 0 1 1 】

【課題を解決するための手段】

(構成)

上記課題を解決するための本発明の一態様であるパターン評価方法は、被処理基板上のレジスト膜を露光し、前記レジスト膜を現像することによってデバイスパターン及びモニタパターンを形成し、前記デバイスパターンの寸法を前記モニタパターンに照射した光の回折光強度に基づいて評価する、パターン寸法評価方法であって、デバイスマスクパターンとモニタマスクパターンとを具備するマスクを用いて1ショットで前記レジスト膜を露光し、前記デバイスマスクパターンと前記モニタマスクパターンを前記レジスト膜に転写するステップと、露光された前記レジスト膜を現像することによって、前記デバイスパターン及び前記モニタパターンを形成するステップと、前記現像中又は現像後に、所定の波長の平行光を前記モニタパターンに照射するステップと、前記モニタパターンからの回折光強度を検出するステップと、前記モニタパターンからの回折光強度に基づいて前記デバイスパターンの寸法を評価するステップとを具備し、前記モニタマスクパターンは、円形又は多角形のパターンが二次元的に周期的に配置され、且つパターン間隔が使用する露光装置の解像限界以下になるように配置されることにより、前記現像中又は現像後に前記モニタパターン及び前記デバイスパターンに所定の波長の光が照射された場合の、前記モニタパターンの現像に伴う回折光強度の変化が、前記デバイスパターンの現像による寸法変化に対する回折光強度の変化よりも大きくなるように形成されることを特徴とする。

【 0 0 1 9 】

(作用)

本発明では、レジストの現像中又は現像後に、デバイスパターンや既加工パターンから識別可能な要素からなるモニタ領域を用いてパターン評価を行うことにより、レジストパターンの寸法を検査することができる。

【 0 0 2 0 】

そしてモニタ領域にモニタパターンを露光により形成する場合、例えば露光マスクの要素パターンとして円形又は多角形を用い、しかもそのパターン間隔が使用する露光装置の解像限界以下になるように構成した露光マスクを使用して露光を行なう。このようにして形成されたモニタパターンによれば、現像時間の経過による回折光の強度変化をデバイスパターンよりも大きくすることができ、これにより検査精度の向上をはかることができる。

【0021】

また、ピッチ又は繰り返しの方向等が異なるモニタパターンを用いてパターン評価を行うことにより、他のパターンからの影響を受けない精度良い検査が可能となる。さらに、回折光強度をモニタするだけでパターン評価を行うことができるので、SEM等は異なり短時間で検査することができる。

10

【0022】

一方、モニタ領域として、前記のようなパターンを有さず、ただ全体に亘って略均一の現像速度となるように露光され、現像の進行に伴い略均一に膜減りが生じるように形成されているものを用いる場合、このモニタ領域からの回折光強度には極大・極小を観察することができる。そして、この極大、極小に基づいてデバイスパターンの現像終点を予測することができる。

【0023】

このような予測方法によれば、回折光強度信号の絶対値に信号的なオフセットが生じている場合であっても、極大、極小に基づいてデバイスパターンの現像終点を予測するようにしたので、このオフセットを補正して正確な現像終点を求めることが可能になる。

20

【0024】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の詳細を図示の実施形態によって説明する。

【0025】

(第1の実施形態)

図1は、本発明の第1の実施形態に係わるパターン寸法評価装置を説明するためのもので、1次回折光を利用して現像後にパターン検査を行う装置構成例を示す図である。

【0026】

ウエハ(被処理基板)100上のレジスト110には、デバイスパターン111と共にモニタパターン112が、一括露光、現像処理により形成されている。モニタパターン112は、1ショット内においてデバイス作成に寄与するエリアと分離して配置されている。

30

【0027】

モニタパターン112に対し、光源201から、狭帯域フィルタを介して $400 \pm 20 \text{ nm}$ とした波長の平行光を入射させる。モニタパターン112からは0次の回折光202、1次の回折光203、さらに高次の回折光(図示せず)が得られる。そして、モニタパターン112からの1次回折光203をCCDカメラ210によって検出する。このCCDカメラ210は、コンピュータシステムからなるパターン評価部220に接続されており、このパターン評価部220は、検出された1次回折光203の強度を予め得られている寸法と1次回折光強度との関係に適用し、デバイスパターン寸法の評価を行う。

【0028】

図2は、本実施形態における現像モニタパターン112の例を示す図である。1辺の長さ $L = 0.2 \mu\text{m}$ (ウエハ換算値、以下同様)の正方形が規則的に配置されており、隣接する4つの正方形の中心が四角形の頂点になるように配置されている。 x 方向の間隔 d_x 、 y 方向の間隔 d_y は共に $0.07 \mu\text{m}$ である。ここで、間隔 d_x 、 $d_y = 0.07 \mu\text{m}$ は使用する露光装置の解像限界以下の値である。

40

【0029】

デバイスパターン111として $0.15 \mu\text{m}$ のL&Sパターンを想定した。露光条件は露光波長 $= 248 \text{ nm}$ (KrFエキシマレーザ)、投影光学系の開口数 $(NA) = 0.7$ 、コヒーレンスファクタ() $= 0.75$ 、2/3輪帯照明とし、レジストには $0.15 \mu\text{m}$ 膜厚のポジ型化学増幅レジストを用いた。

50

【 0 0 3 0 】

そして、0.15 μm の L & S デバイスパターン（ライン幅：スペース幅 = 1 : 1）1 1 1 が現像時間 30 秒で所望寸法に仕上がる条件で、モニターパターン 1 1 2 を以下の寸法として露光を行なった。すなわち、

（ a ） ... 図 2 に示したモニタパターン。

【 0 0 3 1 】

（ b ） ... 0.15 μm の L & S モニタパターン（ライン幅：スペース幅 = 1 : 1）。

【 0 0 3 2 】

（ c ） ... 0.15 μm の L & S モニタパターン（仕上りのライン幅：スペース幅 = 1 : 3）。

10

【 0 0 3 3 】

（ d ） ... ライン幅 0.07 μm、スペース幅 0.2 μm の L & S モニタパターン。

【 0 0 3 4 】

ここで（ b ）は、前記デバイスパターン 1 1 1 と同一寸法であるため、この（ b ）との比較により、デバイスパターン 1 1 1 に対する 1 次回折光の強度変化を知ることができる。

【 0 0 3 5 】

（ a ）～（ d ）それぞれの現像時間（10～36 秒）に対する現像後の 1 次回折光強度の関係は、図 3 に示すようになる。このとき、（ d ）のパターンは全く解像していなかったため、図示されていない。

【 0 0 3 6 】

20

現像終点近傍（30 秒）で（ b ）のパターンでは殆ど強度変化がなく、（ a ）のモニタパターンは（ c ）のパターンの約 4 倍の強度変化を示した。このとき、（ a ）のモニタパターンの強度変化は、（ b ）の 0.15 μm の L & S パターン（ライン幅：スペース幅 = 1 : 1）の寸法 1.5 nm の変化に対して、10（CCD カメラの階調を 256 とした場合）である。

【 0 0 3 7 】

この原因として、以下のようなことがあげられる。

【 0 0 3 8 】

パターンの繰り返しピッチを p 、ライン部分の間隔、反射率、位相を l 、 r_a 、 ϕ_a 、スペース部分の反射率、位相を r_b 、 ϕ_b とすると、L & S パターンにおける m 次光の強度は（H. P. Kleinknecht and H. Meier、Applied Optics Vol.19 No.4 (1980) pp525-533）に見られるように、次の式で表される。

30

【 0 0 3 9 】

【 数 1 】

$$I(m) \propto \frac{\sin^2(m\pi l/p)}{m^2 \pi^2} \{ |r_a|^2 + |r_b|^2 - 2|r_a||r_b|\cos(\phi_a - \phi_b) \}$$

【 0 0 4 0 】

40

この関係より、大きな強度変化を得るためには、線幅の変化が $1/p = 0.25$ 又は 0.75 の近傍で起こっていることが必要である（図 4）。

【 0 0 4 1 】

すなわち、（ a ）のモニタパターンは線幅の変化が $1/p = 0.25$ の近傍で起こっているため、最も変化が大きくなっていると考えられる。また、（ a ）のパターンと同じピッチだがスペース幅の異なる（ d ）の L & S パターンは変化を示していないことから、ホール状のパターンであることが重要であると考えられる。

【 0 0 4 2 】

このように本実施形態によれば、現像後に 1 次回折光強度よりパターン評価を行う場合に、1 次回折光強度変化がデバイスパターン 1 1 1 の寸法変化に対して大きい寸法のモニタ

50

パターンを用いることにより、256階調のCCDカメラの10階調で寸法変化1.5nmの計測ができることが分かる。

【0043】

すなわち、デバイスパターン111の0.15μmのL&Sパターン（ライン幅：スペース幅＝1：1）では、寸法の5%の変動（7.5nm）に対して、階調が1階調しか変化していない。これに対して、パターン間隔が使用する露光装置の解像限界以下の値であるモニタパターン（a）をモニタするようにすれば、より多くの階調でこの寸法変動を検出することができるから測定精度が大きく向上する。

【0044】

また、光学的な手法でパターン評価を行うようにしたことから、容易なウエハのパターン評価が可能となり、スループットが向上する。さらに、1024階調のCCDカメラでモニタを行えば、単純に4倍の精度でモニタが可能である。

【0045】

（第2の実施形態）

図5は、本発明の第2の実施形態を説明するためのもので、1次回折光を利用し、現像中にパターン検査を行う際の装置構成例を示す図である。即ち、1次回折光を利用した in-situ現像モニタの例である。

【0046】

基本的な構成は前記図1と同じであるが、レジスト110上には現像液230が存在し、その上に円盤状のノズル240が設置された状態となっている。また、前記CCDカメラ210は、現像時間等のプロセス条件を制御する現像制御装置241に接続されており、この現像制御装置241には、前記モニタパターン112からの回折光の強度に基づいてデバイスパターン111の現像終点を予測する現像終点予測部220'が設けられている。

【0047】

この装置においても、現像中に、モニタパターン112に対し、狭帯域フィルタを介して 400 ± 20 nmとしたレジストが感光しない波長の平行光201を斜め方向から入射させる。モニタパターン112は、1ショット内においてデバイス作成に寄与するエリアと分離して配置されているが、デバイスパターン111とモニタパターン112のピッチが異なるように設計されている。

【0048】

具体的には、図6に示すように、デバイスパターン111としては、非常に近接した領域に0.15μmのL&Sパターン251或いはピッチ0.30μmのホールパターン252が存在する。また、現在加工中の下層には既加工の層が存在し、その層にはデバイスパターンである0.15μmのL&Sパターン或いはピッチ0.3μmのホールパターンが存在する。

【0049】

一方、モニタパターン112としては、前記図2に示したものと同一パターンを用いる。すなわち、このモニタパターン112は、1辺の長さ $L = 0.2$ μmの正方形が規則的に配置され、x方向の間隔 d_x 、y方向の間隔 d_y は共に0.07μmである。ここで、間隔 d_x 、 $d_y = 0.07$ μmは使用する露光装置の解像限界以下の値である。

【0050】

現像モニタパターン112からの1次回折光203をCCDカメラ210により検出する。前記現像終点予測部220'は、検出した1次回折光を予め得られている現像時間と1次回折光強度との関係と照合し、所望の値に1次回折光強度がなった時点で現像の終点とする。前記現像制御装置241は、この検出に基づいて現像を終了する。

【0051】

この実施例においては、前記デバイスパターン111とモニタパターン112のパターンピッチを異ならせたので、両者を区別して認識することが可能である。

【0052】

10

20

30

40

50

すなわち、図5における入射角を 40° とした場合、検出角とパターンピッチの関係は図7のように表される。この図によれば、ピッチ $0.27\mu\text{m}$ の場合の検出角は 57° 、ピッチ $0.30\mu\text{m}$ の場合の検出角は 44° である。したがって、非常に近接した領域にデバイスパターン111とモニタパターン112が存在しても、パターンピッチが異なればデバイスパターン111及び既加工パターンからの1次回折光とモニタパターン112からの1次回折光は分離可能である。

【0053】

このように本実施形態によれば、デバイスパターン111及び既加工パターンと異なるピッチのモニタパターン112を用いることにより、モニタパターン112以外の回折光の影響を受けない精度の良いモニタが可能となる。このため、現像終点を正確に判断することができ、レジストパターンの精密な寸法制御を行うことができる。

10

【0054】

(第3の実施形態)

本実施形態は、第2の実施形態と同様の装置構成(図5)を有するが、モニタパターン112の配置が異なるものである。

【0055】

この装置は、現像中に、モニタパターン112に対し、狭帯域フィルタを介して $390\pm 10\text{nm}$ としたレジストが感光しない波長の平行光201を斜め方向から入射させる。モニタパターン112は、1ショット内においてデバイス作成に寄与するエリアと分離して配置されているが、前記第2の実施形態と異なり、デバイスパターン111とモニタパターン112の繰り返しの方向が異なるように設計されている。

20

【0056】

具体的には、図8に示すように、非常に近接した領域にデバイスパターン111であるピッチ $0.27\mu\text{m}$ のL&Sパターン252或いはピッチ $0.27\mu\text{m}$ のホールパターン251が存在するが、これらのデバイスパターン251、252は、隣接するモニタパターン111と繰り返しの方向が 15° 異なるように形成・配置されている。

【0057】

ここで、現像モニタパターン112からの1次回折光203をCCDカメラ210により検出する。検出した1次回折光強度の時間微分値を、予め得られている現像時間と1次回折光強度との関係と照合し、所望の値に1次回折光強度の微分値がなった時点で現像の終点とする。

30

【0058】

図8に矢印()で示す方向から、パターン面に約 30° の角度で光を入射させると、モニタパターン112からの1次回折光は入射光と同じ方向でかつパターンに垂直な方向に検出されるが、デバイスパターン111からの1次回折光は入射光とは異なる方向に検出されることになる。従って、繰り返しの方向が異なれば、ピッチが同じでも1次回折光が分離可能である。

【0059】

本実施形態によれば、デバイスパターン111及び既加工パターンと異なる繰り返しの方向のモニタパターン112を用いることにより、モニタパターン112以外からの1次回折光の影響を受けない精度の良いモニタが可能となり、第2の実施形態と同様にレジストパターンの精密な寸法制御を行うことができる。

40

【0060】

(第4の実施形態)

本実施形態も、第2の実施形態と同様の装置構成(図5)を有するが、モニタパターン112の配置が異なるものである。

【0061】

この装置も、現像中に、モニタパターン112に対し、狭帯域フィルタを介して $390\pm 10\text{nm}$ としたレジストが感光しない波長の平行光201を斜め方向から入射させる。ただし、モニタパターン112の下層には、図9に示すようにピッチ $0.3\mu\text{m}$ の既加工の

50

モニタパターン 1 1 2 ' が存在する。

【 0 0 6 2 】

加工中のモニタパターン 1 1 2 としては、前記図 2 に示したのと同寸法のパターンを用いる。ここで、間隔 d_x 、 $d_y = 0.07 \mu m$ は使用する露光装置の解像限界以下の値である。

【 0 0 6 3 】

現像モニタパターン 1 1 2 からの 1 次回折光 2 0 3 を CCD カメラ 2 1 0 により検出する。予め得られている現像時間と回折光強度との関係を基に、1 次回折光強度が極値を取る現像時間から現像の終点までの時間差を算出し、この値を参照して現像の終点を検出する。

10

【 0 0 6 4 】

前記図 5 における入射光の入射角を 40° として、検出角とピッチの関係は前記図 7 に示すように表される。ピッチ $0.27 \mu m$ の場合の検出角は 57° 、ピッチ $0.30 \mu m$ の場合の検出角は 44° であることから、層によって異なるモニタパターンを用いれば、下の層からのモニタパターン 1 1 2 ' からの 1 次回折光と現加工のモニタパターン 1 1 2 からの 1 次回折光は分離可能である。

【 0 0 6 5 】

本実施形態によれば、モニタパターンとして各層毎に異なるピッチのモニタパターンを用いたので、下層のモニタパターンからの 1 次回折光の影響を受けない精度の良いモニタが可能となり、第 2 の実施形態と同様にレジストパターンの精密な寸法制御を行うことができる。

20

【 0 0 6 6 】

(第 5 の実施形態)

図 1 0 は、本発明の第 5 の実施形態を説明するためのもので、0 次回折光を利用して現像中にパターン検査を行う際の装置構成例を示す図である。即ち、0 次回折光を利用した *in-situ* 現像モニタの例である。

【 0 0 6 7 】

この装置は、現像中に、前記モニタパターン 1 1 2 に対し、コリメートされた波長 $488 nm$ のレーザ光 3 0 1 を垂直に入射させる。そして、現像モニタパターン 1 1 2 からの回折光 (0 次回折光 3 0 2、1 次回折光 3 0 3 等) のうち 0 次回折光 3 0 2 のみを CCD カメラ 2 1 0 により検出する。現像制御装置 2 4 0 (現像終点予測部 2 2 0 ') は、CCD カメラ 2 1 0 のピクセル輝度をコンピュータ処理することで 0 次回折光強度を算出し、これに基づいてデバイスパターン 1 1 1 の現像終点を予測する。

30

【 0 0 6 8 】

図 1 1 は、本実施形態における、現像モニタパターン 1 1 2 を露光用マスク上でのイメージとして表したものである。1 辺の長さ $L = 0.2 \mu m$ の正方形が規則的に配置されており、敷き詰められた三角形の頂点位置が正方形の中心となるように配置されている。 x 方向の間隔 d_x 、 y 方向の間隔 d_y は共に $0.06 \mu m$ であり、使用する露光装置の解像限界以下の値である。この正方形は、実際のウエハ上には円形のホールとして転写されるため、モニタパターン 1 1 2 はホールを敷き詰めたパターンとなっている。

40

【 0 0 6 9 】

デバイスパターン 1 1 1 として $0.15 \mu m$ の L & S パターンを想定した。露光条件は露光波長 = $248 nm$ (KrF エキシマレーザ)、投影光学系の開口数 (NA) = 0.7 、コヒーレンスファクタ () = 0.75 、2 / 3 輪帯照明とし、 $0.15 \mu m$ 膜厚のボジ型化学増幅レジストを用いた。

【 0 0 7 0 】

図 1 2 に、現像時間と 0 次回折光強度の関係を示す。デバイスパターンの現像終点時間 3 0 秒において、現像モニタパターン 1 1 2 における 0 次回折光強度の変化がデバイスパターン 1 1 1 と比較して 3 倍となった。パターンからの 0 次回折光強度は現像残し面積に比例する量であり、強度変化が大きいということは、面積変化が大きいことを意味する。

50

【0071】

このようにモニタパターンで大きな強度変化が得られた理由として、(1) ホールパターンの形状変化が円の外周方向で大きくなる方向であること、(2) ホールが密に配置されているために、3つの隣接するホールパターンで囲まれた領域が解像限界以下であること、(3) 現像残し部分の形状が先細りであること、等があげられる。

【0072】

図11に示す現像モニタパターン ($L = 0.2 \mu\text{m}$ 、 $dx = dy = 0.06 \mu\text{m}$) を用いることによって、CCDカメラを用いた場合、 $0.15 \mu\text{m}$ のL&Sパターンの 1.5 nm の寸法変化(1%)を6階調でモニタでき、 $0.15 \mu\text{m}$ のL&Sパターンの場合の2階調と比較して、より精密な線幅の制御が可能となる。また、1024階調のCCDカメラを用いれば、さらに精密な線幅の制御が可能となる。

10

【0073】

(第6の実施形態)

図13(a)は本発明の第6の実施形態を示す概略構成図である。なお、すでに述べた実施形態(特に第2の実施例を参照)と同一の構成要素については同一符号を付してその説明は省略する。

【0074】

図に405で示すのはモニターヘッドである。このモニターヘッド405は、狭帯域フィルターで波長 $330 \pm 5 \text{ nm}$ に整形された平行光出射する光源401と、モニタパターン112からの1次回折光を画像として認識する1次回折光検出器402と、デバイスパターン111からの0次回折光を画像として認識できる0次回折光検出器403とを有する。

20

【0075】

このモニターヘッド405は、更に、反射光学系404を有する。この反射光学系404は、ウエハ100側からの入出射光を、前記光源射光ガイド401、1次回折光検出器402及び0次回折光検出器403に対して略垂直にガイドする機能を有する。

【0076】

この図13(a)の例では、レジスト110上には現像液230が存在し、その上に円盤状のノズル240が設置された状態となっており、前記モニターヘッド405は、入出射面をこの円盤状のノズル240に対向させて配置されている。

30

【0077】

なお、図13(b)、(c)に示すのは、このモニターヘッド405の他の配置例である。すなわち、図13(b)は、前記モニターヘッド405が現像液230の直上に設置されている例、図13(c)は、モニターヘッド405が現像液230に接した状態で配置されている例である。なお、図5に示したものと同様に、このモニターヘッド405の先端部が前記ノズル240内に挿入されていても良い。

【0078】

また、前記モニターヘッド405は、このモニターヘッド405をXYZ方向に位置決め駆動するための駆動機構406により保持され、この駆動機構406は図に407で示す現像制御装置により制御されるようになっている。さらに、この現像制御装置407には、前記1次回折光検出器402及び0次回折光検出器403が接続されており、この制御装置407により前記モニタパターン112及びデバイスパターン111の位置検出がなされる。また、この現像制御装置407には、現像終点予測部220'が設けられており、この現像終点予測部220'は前記0次回折光の強度に基づいて現像終点を予測するように構成されている。

40

【0079】

モニタパターン112としては、例えば図14(a)~(c)で示したパターンを用いる。図14(a)に示したパターン112は、すでに図2に示して説明したものと同一である。このモニターパターン112は、1ショット内においてデバイス作成に寄与するエリアと分離して配置されている。

50

【 0 0 8 0 】

この実施形態では、モニターパターン 1 1 2 に対する入射光の入射角（以下示す角度は全てモニターパターン 1 1 2 に対する角度）を 6 0 °、モニターパターン 1 1 2 からの 1 次回折光（1 0 7）の検出角度を 2 0 °、0 次回折光（1 0 8）の検出角度を 6 0 °に設定されている。

【 0 0 8 1 】

次に、この装置の作用を説明する。

【 0 0 8 2 】

図 1 5（a）中 4 0 8 はウエハであり、4 0 9 はこのウエハ 4 0 8 上の 1 チップを示している。現像開始後、前記モニターヘッド 4 0 5 は図 1 5（b）に示す前記 1 チップ 4 0 9 内のモニターパターン領域に、ショットマップ、マスクのデータをもとに移動し、1 次回折光および 0 次回折光の検出を開始する。このモニターヘッド 4 0 5 では一度に 2 × 2 m m の領域の観察が可能である。

10

【 0 0 8 3 】

前記モニターパターン 1 1 2 は、すでに第 2 の実施形態で説明したものと同様に、デバイスパターン 1 1 1 及び既加工パターンと異なるピッチで形成されており、入射光の入射角度についても、モニターパターン 1 1 2 からの 1 次回折光のみがモニターヘッド 4 0 5 の 1 次回折光検出器 4 0 2 で検出されるような角度に定められている。

【 0 0 8 4 】

したがって、前記 1 次回折光検出器 4 0 2 にはピッチ 0 . 2 7 μ m 以外のパターン（デバイスパターン 1 1 1 及び既加工パターン）からの光は検出されないので、図 1 6（a）に示すように、1 次回折光検出器の検出画面では、モニターパターン 1 1 2 の部分だけが光っているように検出される。

20

【 0 0 8 5 】

一方、0 次回折光検出器 4 0 3 では、図 1 6（b）に示すように、デバイスパターン 1 1 1 およびモニターパターン 1 1 2 の両方が画像として検出される。そして、0 次回折光検出器 4 0 3 と 1 次回折光検出器 4 0 2 のそれぞれの画像のピクセルの位置関係はあらかじめわかっているので、1 次回折光検出器 4 0 2 と 0 次回折光検出器 4 0 3 で検出された領域の論理積より、図 1 6（c）に示すように、0 次回折光検出器 4 0 2 の検出画像内でのモニターパターン 1 1 2 の位置検出が行なえる。

30

【 0 0 8 6 】

以上のような検出がなされたならば、制御装置 4 0 7 は、現像中のウエハ 1 0 0 の回転に追従するように前記モニターヘッド 4 0 5 を移動・回転駆動させ、0 次回折光強度をモニターする。そして、前記現像終点予測部 2 2 0 ' は、あらかじめ得られているデバイスパターン 1 1 1 の寸法とモニターパターン 1 1 2 の 0 次回折光強度の関係を参照し、回折光強度が所望の値になった時点で現像の終点とする。

【 0 0 8 7 】

このような実施形態によれば、現像中に 0 次回折光・1 次回折光の検出および走査が可能な一体型のモニターヘッド 4 0 5 を用い、モニターパターン 1 1 2 からの 1 次回折光検出位置からモニターパターン 1 1 2 の位置を検出するようにした。したがって、デバイスパターン 1 1 1 が非常に狭い領域にある場合や、デバイスパターン 1 1 1 とモニターパターン 1 1 2 の形状が似ていて近接している場合でも、大幅な光学系の変更を行うことなくモニターパターン 1 1 2 の位置検出が可能である。

40

【 0 0 8 8 】

なお、前記制御装置 4 0 7（現像終点予測部 2 2 0 '）では、0 次回折光および 1 次回折光の両方の光強度をモニターするようにしても良い。すなわち、あらかじめ得られているデバイスパターン 1 1 1 の寸法とモニターパターン 1 1 2 の 0 次および 1 次回折光強度の関係を参照し、デバイスパターン 1 1 1 が所望寸法に仕上がっているかを判断する。

【 0 0 8 9 】

このように 0 次回折光と 1 次回折光を同時にモニターすることにより、測定の精度がさら

50

に向上する。

【0090】

なお、この実施形態に示すモニタヘッド405を、現像後にパターン寸法評価を行なう装置に適用することはもちろん可能である。

【0091】

また、

(第7の実施形態)

図17はこの実施形態を示す概略構成図である。なお、第6の実施形態と同一の構成要素には同一符号を付してその詳しい説明は省略する。

【0092】

この実施形態のモニターヘッド501に設けられた反射光学系502は、光源401から出射された光の前記モニタパターン112(若しくはデバイスパターン111)への入射角度を、0次回折光が0次回折光検出器403へ略垂直に戻るような角度に制御するように構成されている。すなわち、この実施形態の0次回折光検出器403は、前記モニタパターン112で回折した0次回折光を直接検出するように構成されている。

【0093】

また、この反射光学系502には、図に503、504で示す一对のハーフミラーが配置されている。一方のハーフミラー503は、入射光路上に配置され、入射光の一部を他方のハーフミラー504側に分岐させる。この他方のハーフミラー503は、前記分岐した入射光を反射し、前記0次回折光の光路と一致させた状態でモニターパターン112に照射する。また、この他方のハーフミラー503は、前記モニターパターン112からの0次回折光については、これを透過させ前記0次回折光検出器403に導くようになっている。

【0094】

ここで、入射光のモニターパターン112に対する入射角を60°とし、モニターパターン112からの1次回折光の検出角度は20°と設定されている。また、0次回折光の検出角度は0°である。

【0095】

このような構成によれば、まず、前記第6の実施形態と同様の制御を行なうことにより、モニターパターン112からの0次回折光のモニタを行なうことができ、これによりデバイスパターン111の現像を精度良くモニターすることができる。また、この実施形態によれば、次に説明するように、レジスト(モニタパターン112)の残し面積を、より精度良くモニターできる効果がある。

【0096】

すなわち、図18(a)に示すように、斜入射ではレジストのトップにあたる入射光505とレジストパターン間にあたる入射光506が存在するため、0次回折光はレジストの残し面積を直接反映しない。

【0097】

しかしながら、この実施形態では、図18(b)に示すように、垂直入射となるため、0次回折光の強度はレジストからの0次回折光507と反射防止膜からの0次回折光508の和として表される。このため、レジストの残し面積を直接反映することになる。従って、第6の実施形態と比較して、レジストの残し面積を反映した光の強度の取得が可能であるから、より精度の高いモニターが行なえる。

【0098】

なお、この実施形態の装置においても、図13(b)、(c)に示すように各種の装置配置が考えられる。また、この実施形態に示すモニタヘッドを、現像後にパターン寸法評価を行なう装置に適用するようにしても良い。

【0099】

(第8の実施形態)

図19は、この実施形態を示す装置構成図である。なお、第6、第7の実施形態と同様の

10

20

30

40

50

構成については同一符号を付してその詳しい説明は省略する。

【 0 1 0 0 】

この実施例のモニターヘッド 6 0 1 は、図に 6 0 2 で示す入射・0 次回折光検出光学系を有する。この光学系 6 0 2 は、狭帯域フィルターで $260 \pm 5 \text{ nm}$ とした波長の平行光をモニタパターン側に入射させると共に、このモニタパターンからの 0 次回折光をイメージとして検出できるように構成されている。また、モニタパターンからの 1 次回折光は、図に 6 0 3 で示す 1 次回折光検出器によって検出されるようになっている。

【 0 1 0 1 】

この実施形態では、入射光のモニターパターン 1 1 2 に対する入射角（以下示す角度は全てモニターパターンに対する角度）を 0° 、モニターパターン 1 1 2 からの 1 次回折光の検出角度は 74° 、0 次回折光の検出角度は 0° と設定されている。

【 0 1 0 2 】

このような構成によれば、第 6 の実施形態と同様の制御により、現像のモニタを行なえる。また、モニタパターン 1 1 2 への入射光の光路が 0 次回折光の光路と一致しているので、第 7 の実施形態と同様に、レジスト残り面積を反映した 0 次回折光の検出が行なえる。

【 0 1 0 3 】

なお、この実施形態の装置においても、図 1 3 (b)、(c) に示すように各種の装置配置が考えられる。また、この実施形態に示す構成を、現像後にパターン寸法評価を行なう装置に適用することはもちろん可能である。

【 0 1 0 4 】

（第 9 の実施形態）

第 9 の実施形態以下の各実施形態は、第 1 ～ 第 8 の実施形態と異なる形態のモニタ領域を用いてモニタを行なうものである。ただし、第 1 ～ 第 8 の実施形態の構成要素と同一の構成要素には同一符号を付し、その詳しい説明は省略する。

【 0 1 0 5 】

すなわち、第 1 ～ 第 8 の実施形態では、モニタ領域として、図 2 に示すようにホールを敷き詰めてなるパターン 1 1 2 を用いていたが、この実施形態では、図 2 0 に示すように、パターンを有せずただ露光量を調整することにより現像速度を所望の値に調整してなる一定面積のエリアを使用してモニターを実行するようにしたものである。以下、この実施形態でモニタするエリア（図 2 0 ）を「モニタエリア 7 0 1」と称することとする。

【 0 1 0 6 】

この実施形態では、前記デバイスパターン 1 1 1 の現像中に、このモニタエリア 7 0 1 からの 0 次回折光の強度をモニターし、このモニタエリア 7 0 1 の膜厚が所定の値になったところで現像を終了することで、デバイスパターン 1 1 1 を所望の寸法に仕上げるものである。

【 0 1 0 7 】

以下、まず、前記モニタエリア 7 0 1 の形成手順について詳しく説明する。

【 0 1 0 8 】

この実施形態では、ウエハ 1 0 0 上に塗布したレジスト 1 1 0 の所定面積のエリアを露光マスクからの 0 次回折光のみを用いて露光することで、前記モニタエリア 7 0 1 を形成する。すなわち、0 次回折光のみを用いた露光を行うことでレジスト 1 1 0 上にホールやライン等の「パターン」が形成されることを防止する。

【 0 1 0 9 】

露光マスクを用いて露光する際に、この露光マスクからの 0 次回折光だけがレジスト 1 1 0 上に到達するための露光条件は、露光波長、マスクパターンのレジスト上換算のピッチ p 、NA、及び を用いて次のように定められる。

【 0 1 1 0 】

$$\lambda / p \quad (1 + \quad) \text{NA} \quad (2)$$

したがって、この式に基づいてモニタエリア 7 0 1 用の露光マスク上に設けるのパターンのピッチを定めるようにする。このようなピッチの露光パターンを有する露光マスクによ

れば、露光マスクを透過した光のうち0次回折光のみがレジスト110上に達するから、レジスト上にパターンが成形されるのを防止できる。

【0111】

また、この実施形態では、露光マスクの線幅の調整により透過率を適宜に設定することで、レジスト110に対する露光強度を制御し、この露光により形成したモニタエリア701の現像速度がモニタに適した値となるように調整する。すなわち、レジスト110の膜厚とレジスト110に対する標準の現像時間とからデバイスパターン111に対する現像の終了時点でこのモニタエリア701のレジストが少し残るような現像速度を算出する。

【0112】

次に、求めた現像速度とレジスト110の溶解特性から、この現像速度となる露光量（モニタパターン701を形成するための露光量）を算出する。そして、デバイスパターン111を形成するための最適露光量と前記モニタパターン701を形成するための露光量の比から、デバイスパターン111用の露光マスクに対するモニタエリア701用の露光マスクの透過率を算出する。

【0113】

したがって、モニタエリア701用の露光マスク上に、前記(2)式を満たすピッチで、かつ、デバイスパターン用の露光マスクに対して前記のような透過率となる線幅でモニタエリア用の露光用マスクパターンを形成するようにする。

【0114】

例えば、 $0.15 \mu\text{mL/S}$ パターンの露光条件（NA：0.6、露光波長：248nm、 σ ：0.75）では、レジスト110上に0次回折光しか到達しないような露光用マスクパターンのピッチは $0.22 \mu\text{m}$ となる。そして、モニタエリア701の現像速度が 2 nm/sec （60秒の現像で膜厚が30nmになる）となる露光量が7.2mJである場合において、デバイスパターン111の最適露光量が20mJであるとする、前記透過率は36%となる。

【0115】

従って、この場合、ピッチが $0.22 \mu\text{m}$ で、ライン幅が透過率が36%となるように設計されているライン系パターンをモニタエリア701形成用の露光用マスクパターンとして採用することで、所望のモニタエリア701を形成することができる。

【0116】

次に、このようなモニタエリア701を用いて、現像をモニタする装置構成について、図21を参照して説明する。

【0117】

この図21において、ウエハ（被処理基板）100上のレジスト110には、デバイスパターン111と共にこの実施形態のモニタエリア701が、前述した一括露光により形成されている。このモニタエリア701は、1ショット内においてデバイス作成に寄与するエリアと分離して配置されている。

【0118】

また、この装置は、前記第2の実施形態のものと同様に、現像中に適用される寸法モニタ装置であるから、レジスト110上には現像液230が存在する。

【0119】

この装置は、光源702から波長410nm（半値幅5nm）に狭帯化したほぼ単色の平行光を前記モニタエリア701に入射させる。そしてモニタエリア701からの0次回折光は0次回折光検出器（CCDカメラ）703により検出するようになっている。

【0120】

前記光源702及び0次回折光検出器703は、制御部704に接続されおり、この制御部704からの作動信号に基づいて動作する。すなわち、まず、前記制御部704は、0次回折光検出器703による0次回折光の検出に基づいて、光源702及び0次回折光検出器703を前記モニターエリア701に対向する位置に駆動・位置決めする。そして、現像の開始に伴い、前記0次回折光検出器704を用いたモニタを開始する。

【 0 1 2 1 】

このモニタは、前記モニタエリア 7 0 1 からの 0 次回折光の強度を検出することで行う。すなわち、理想的な場合、モニタエリア 7 0 1 の膜厚に対する 0 次回折光の強度変化は図 2 2 に示すように、極大点 I'_{\max} 、極小点 I'_{\min} を有するカーブで表される。ここで、現像終点となる膜厚での 0 次回折光の強度を I'_{end} とすると、 I'_{end} は、極大点 I'_{\max} 、極小点 I'_{\min} を用いて次のように表せる。

【 0 1 2 2 】

【 数 2 】

$$I'_{\text{end}} = I'_{\min} + (I'_{\max} - I'_{\min}) \times a \quad 10$$

$$a = \frac{I'_{\text{end}} - I'_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}$$

【 0 1 2 3 】

ここで、 a は補正係数であり、予め先行ウエハ等を用いて測定した極大、極小における 0 次回折光強度 I_{\max} 、 I_{\min} 、 I_{end} と、現在の現像で測定した極大、極小における 0 次回折光強度 I'_{\max} 、 I'_{\min} とから求められる。この補正係数 a を現在の測定値 I'_{\max} 、 I'_{\min} に適用することで、現像終了点の 0 次回折光強度 I'_{end} を求めることができる。そして、前記現像終点予測部 2 2 0 ' は、前記 0 次回折光検出器 7 0 3 により検出された光強度が I'_{end} となった時点で現像を終了させる。 20

【 0 1 2 4 】

なお、この実施例で重要なことは、前述のように 0 次回折光の強度変化の極大、極小に基づいて現像終了時点を予測している点である。したがって、前記光源 7 0 2 から発振される観察光として、このような極大、極小が得られるような波長を有するものを選択して用いる必要がある。 30

【 0 1 2 5 】

なお、この例では、現像終了の判断と実際の現像終了との間に極端な時間差がないものとして説明しているが、無視できない時間差が存在する場合は、モニタエリア 7 0 1 に対する露光強度としてその時間差に相当する分を差し引いた強度を設定すれば良い。

【 0 1 2 6 】

このような構成によれば、モニタエリア 7 0 1 からの 0 次回折光の強度変化をモニタすることで現像時間を制御できるから、第 1 ~ 第 8 の実施形態と同様の効果を得ることができる。

【 0 1 2 7 】

また、この実施形態によれば、パターンを持たないモニタエリア 7 0 1 を用いることで、以下に説明する効果を得ることができる。 40

【 0 1 2 8 】

すなわち、この実施形態では、パターンを有しないモニタエリア 7 0 1 からの 0 次回折光をモニタすると共に、光強度の極大、極小に基づいて現像終了点を予測するようにした。このような構成によれば、光強度信号にオフセットが生じた場合であっても、光強度の絶対値ではなく、既知の極大、極小、現像終点に基づいて求めた補正係数を現在の測定値に適用することで現像終点を正確に予測できる。

【 0 1 2 9 】

これに対して、第 1 ~ 第 8 の実施形態では、0 次回折光の強度信号の絶対値を用いてモニタを行っている。このような方法では、何らかの原因で信号にオフセットが生じた場合に 50

、デバイスパターンの現像終点を正確に検出できない恐れがある。また、入射光をモニタパターンの直上から照射し、その0次回折光を検出する構成では、強度信号がパターンの残り面積を反映してしまうため、0次回折光の強度は、図12に示すように現像時間に対して直線的に変化することになる。したがって、この場合も、強度信号の絶対値を用いてモニタすることになってしまい、やはり現像終点を正確に検出できない恐れが生じる。

【0130】

この実施形態の制御によれば、この様な欠点を排除し、上述したように、より正確に現像終点を検出できる効果がある。

【0131】

なお、この第9の実施形態では、パターンを有しないモニタエリア701を使用した
このモニタエリアの形成方法はこの実施形態に挙げたものに限定されるのではなく、適宜他の方法を用いて形成するようにしても良い。たとえば、この実施形態では、所定のピッチ、線幅を有する露光パターンを用いた露光により前記モニタエリア701を形成するようにしたが、透過率を適宜に設定したハーフトーン膜を露光マスクとして形成するようにしても良い。

【0132】

(第10の実施形態)

この実施形態は、第9の実施形態の具体例を示すものである。

【0133】

図23はこの実施形態を示す概略構成図である。

【0134】

まず、この実施形態では、前記光源702は、グレーティングにより分光可能なランプハウス801と、このランプハウス801に接続された光ファイバ802と、この光ファイバ802の先端に取り付けられたコリメーションレンズ803とからなる。前記光ファイバ802の先端部及びこのコリメーションレンズ803は、XYZ方向に移動可能なモニタヘッド804により保持されている。

【0135】

前記ランプハウス801からの平行光は、光ファイバ802、コリメーションレンズ803を通して前記モニタエリア701に入射する。このモニタエリア701からの0次回折光は、前記モニタヘッド804に保持されたレンズ805、このレンズ805に接続され
先端部を前記モニタヘッド804に保持された光ファイバ806を通して前記0次回折光検出器703(CCDカメラ)に検知されるようになっている。

【0136】

前記モニタヘッド804は、モニタヘッド駆動装置807によって駆動されるようになっていて、このモニタヘッド駆動装置807は、前記制御部704の指令により作動するように構成されている。

【0137】

すなわち、このモニターヘッド804はモニターエリア701の位置に移動し、モニターエリア701からの0次回折光の強度を検出する。このとき、モニターヘッド804はウエハのショットマップおよびマスクのレイアウトをもとにモニターエリア701に移動し、その後は、現像中のウエハの回転に同期させてモニターエリア701の強度を取得する。

【0138】

なお、この際、複数のモニタヘッドを用いるようにして、検出精度を高めるようにしても良い。また、モニタヘッド804は、図13(a)~(c)や図5に示すような配置であっても良い。また、モニタヘッド804の形状も、図13に示した形状のもの他、適宜の形状を採用することが可能である。

【0139】

(第11の実施形態)

この実施形態は、第9の実施形態、第10の実施形態と同様に、現像中にモニタエリア7

01からの0次回折光をモニタし、現像終了時点进行判断する装置である。ただし、第9の実施形態では現像の終了点を0次回折光の強度に基づいて判断したが、この実施形態では、現像時間に基づいて判断する。その他の点は、第9若しくは第10の実施形態と同様であるから説明を省略する。

【0140】

図24は、レジスト110の膜厚と0次回折光の強度の关系を示すグラフである。この実施形態では、光強度が極大、極小となる現像時刻 t'_{\max} 、 t'_{\min} から、現像終点となる現像時刻 t'_{end} を予測し、この現像時刻 t'_{end} で現像を終了させるようにしたものである。

【0141】

なお、プロセス条件が常に一定であれば、現像終点となる時刻は一定である。しかし、実際にはプロセス条件にはゆらぎがあるため、現像終了時刻は一定にはならない。今、露光量の条件が所望の値の-5%変動したとすると、現像時間に対するレジスト膜の膜減りはレジストの溶解特性より図25に示す通りに变化する。このときの極小値、極大値、現像終点となる時間をそれぞれ、 t'_{\max} 、 t'_{\min} 、 t'_{end} とする。そして、この実施形態では、次式に示すように、予め求めておいた現像終了時刻 t'_{end} に補正係数 a をかけることで、現在の現像プロセスにおける現像終了時刻 t'_{end} を予測する。

【0142】

$$t'_{\text{end}} = a \times t'_{\text{end}}$$

補正係数 a は、次式で求められるもののうちもっとも精度が良いものを用いるようにすれば良い。

【0143】

$$a = t'_{\max} / t_{\max}$$

$$a = t'_{\min} / t_{\min}$$

$$a = (t'_{\max} / t_{\max} + t'_{\min} / t_{\min}) / 2$$

なお、現像終了時刻 t'_{end} の定め方はこの方法に限定されるものではなく、極値となる時刻時間 t'_{\max} 、 t'_{\min} に基づいて予測するものであれば、例えば t'_{\max} から一定の時間の後を現像終了時刻とする等、適宜の方法を採用することが可能である。

【0144】

(第12の実施形態)

この実施形態は、第9、第10の実施形態と同様にモニタエリアからの0次回折光をモニタするものであるが、互いに異なる波長を有する2種類の観察光を用いてモニタを行うものである。

【0145】

すなわち、この実施形態では、図23に示す構成において、ランプハウス801から、波長410nm(半値幅5nm)に狭帯化した光と波長600nm(半値幅5nm)に狭帯化した光を交互に出射するように制御する。

【0146】

制御部704は、前記CCDカメラ703により、両方の波長の0次回折光の強度を交互に検出する。理想的な場合、各波長でのレジスト膜厚に対する0次回折光の強度変化は図26に示すようになる。

【0147】

ここで、波長410nmの場合の極大、極小、現像終点での0次回折光の強度を $I_{1\max}$ 、 $I_{1\min}$ 、 $I_{1\text{end}}$ 、波長600nmの場合の極大、極小となる強度を $I_{2\max}$ 、 $I_{2\min}$ とする。一方、今回の現像で検出された波長410nmの場合の極大、極小での0次回折光の強度を $I_{1'\max}$ 、 $I_{1'\min}$ 、波長600nmの場合の極大、極小となる強度を $I_{2'\max}$ 、 $I_{2'\min}$ とすると、現像終点の強度 I'_{end} は、補正係数 a を用いて次式で求められる。

【0148】

【数3】

10

20

30

40

$$I'_{end} = I'_{1min} + (I_{1end} - I_{1min}) \times a$$

$$a = \frac{I'_{1max} - I'_{1min}}{I_{1max} - I_{1min}} + \frac{I'_{2max} - I'_{2min}}{I_{2max} - I_{2min}} \times 1/2$$

10

【0149】

このような構成によれば、異なる波長の光を用い、一方の波長の光の検出値に加えて他方の波長の光の測定値を用いて補正を行うようにしたから、現像終了時点の0次回折光強度をより精度良く予測することが可能になる。

【0150】

なお、この実施形態のように2つの異なる波長を用いて補正精度を上げる手法は、第11の実施形態に示したように極大、極小となる時刻 t_{max} 、 t_{min} から、現像終了となる時刻 t_{end} を予測する方法にも適用できる。

【0151】

すなわち、理想的な場合、410nm、470nmの各波長を有する光でのレジスト膜厚に対する0次回折光の強度変化は図27に示すようになる。

20

【0152】

このとき、波長410nmの光の0次回折光強度が極小、極大、現像終点となる時刻をそれぞれ、 t_{1max} 、 t_{1min} 、 t_{end} とする。また、波長470nmの光の0次回折光強度が極大となる時刻を t_{2max} とする。プロセス条件が常に一定であれば、現像時間は常に一定でよいが、実際にはプロセス条件にゆらぎがある。今、露光量の条件が所望の値の-5%であったとすると、現像時間に対する膜減りはレジストの溶解特性より図28に示すようになる。

【0153】

このとき、波長410nmの光の0次回折光強度が極小、極大、現像終点となる時間をそれぞれ、 t'_{1max} 、 t'_{1min} 、 t'_{end} とし、波長470nmの光の0次回折光強度が極大となる時刻を t'_{2max} とする。これらの時間のうちあらかじめ t_{1max} 、 t_{1min} 、 t_{end} 、 t_{2max} は求められており、現像中に0次回折光を検出することにより、 t'_{1max} 、 t'_{1min} 、 t'_{2max} が算出される。これらより次の式で現像終了点の時間 t'_{end} を求めることができる。

30

【0154】

$$t'_{end} = a \times t_{end}$$

$$a = (t'_{1max} / t_{1max} + t'_{1min} / t_{1min} + t'_{2max} / t_{2max}) / 3$$

したがって、第11の実施形態と同様に、時刻 t'_{end} で現像を終了するようにすれば、現像の終点を正確に制御できる。

40

【0155】

(第13の実施形態)

この実施形態は、第9の実施形態と同じように、モニタエリア701からの0次回折光をモニタするものであるが、レジスト110として、図29に示すように、現像開始当初は膜減りが起こらず、数秒後から膜減りが開始するような溶解特性を有するものを採用する。

【0156】

このモニタエリア701は、前記デバイスパターン111の現像終了時に膜減りが開始するように設計する。すなわち、60秒の現像した後に膜減りが始まるような露光量が6.6mJであるレジストを用いる場合、デバイスパターン111の最適露光量が30mJで

50

あるので、デバイスパターン用露光マスクと比較して透過率が22%となるようにモニタエリア用の露光マスクを設計する。

【0157】

図30にモニタエリア701に対する膜抜け時間と露光量との関係、図31にモニタエリア701に対する膜抜け開始時間と露光量との関係を示す。

【0158】

プロセス条件が常に一定であれば、現像時間は常に60秒で制御すればよいが、デバイスパターン111の露光量が適正値の30mJから29mJに変化した場合には、60秒では十分な現像が行なえないことになる。しかしながら、この実施形態では、モニタエリア701の膜抜け開始時点を検出することで、このようなプロセス条件の変動にも対応でき、常に正確な終点制御を行なえる。

10

【0159】

すなわち、デバイスパターン111の露光量が適正値の30mJから29mJに変化した場合、モニタエリア701の露光量はその22%であることから、モニタエリア701に対する露光量は6.4mJとなる。従ってこの場合、図31より、80秒後に膜抜けが開始する。したがって、この膜抜けを検出して現像の終点とすることで、プロセス条件の変動にも対応することができる。

【0160】

なお、膜の抜け始め及び抜け終わりの検出は、0次回折光の強度の変化に基づいて検出するようにすれば良い。

20

【0161】

また、同様の手法で図30に示す抜け終わり時間に基づいて、この抜け終わりを検出することで現像の終点とするようにしても良い。

【0162】

この場合、前記モニタエリア701は、前記デバイスパターン111の現像終了時に膜厚がほとんど0となるように設計する。すなわち、60秒の現像した後に膜厚がほとんど0若しくは0となるような露光量が7.5mJであるレジストを用いる場合、デバイスパターン111の最適露光量が30mJであるので、デバイスパターン用露光マスクと比較して透過率が25%となるようにモニタエリア用の露光マスクを設計する。

【0163】

前述したように、図30はモニタエリア701に対する膜抜け時間と露光量との関係を示すものである。

30

【0164】

プロセス条件が常に一定であれば、現像時間は常に60秒で制御すればよいが、デバイスパターン111の露光量が適正値の30mJから29mJに変化した場合には、60秒では十分な現像が行なえないことになる。しかしながら、この実施形態では、モニタエリア701の膜抜け時点(膜厚0)を検出することで、このようなプロセス条件の変動にも対応でき、常に正確な終点制御を行なえる。

【0165】

すなわち、デバイスパターン111の露光量が適正値の30mJから29mJに変化した場合、モニタエリア701の露光量はその25%であることから、モニタエリア701に対する露光量は7.25mJとなる。従ってこの場合、図30より、110秒後に膜抜けが終了する。したがって、この膜抜けを検出して現像の終点とすることで、プロセス条件の変動にも対応することができる。

40

【0166】

(第14の実施形態)

この実施形態は第9の実施形態と同様の構成を有する寸法モニタ装置を用い、図32に示すように、各ホールを中心が成六角形の各頂点に位置するように配置してなるモニタパターン901をモニタする装置に関するものである。

【0167】

50

このモニタパターン 901 は、他の実施形態のものと同様に、1 ショット内においてデバイス作成に寄与するエリアと分離して $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ のエリアに配置されている。

【0168】

図 33 に、現像時間とモニタパターン 901 からの 0 次回折光の強度との関係を示す。この実施形態のモニタパターン 901 の場合、現像終点 (60 秒後) での強度変化は余り大きくならないため、現像終点の直接検出は困難である。このため、この実施形態では、現像初期の強度変化の大きい部分を 0 次回折光検出器で強度検出し、その検出値から現像終点を予測するようにする。予測方法としては、例えば、強度のしきい値を 140 に設定し、このしきい値を超えた後 50 秒後を現像の終点とする。

【0169】

このような構成によれば、現像終点で強度変化の少ないパターンを用いた場合でも、比較的正確に現像の終点を検出することができる効果がある。

【0170】

なお、本発明は上述した第 1 ~ 第 14 の各実施形態に限定されるものではない。例えば、モニタパターンを構成する要素パターンの形状、繰り返しピッチ、繰り返し数等は、仕様に応じて適宜変更可能である。モニタパターンは、デバイスパターンに隣接してチップ有効部の空き領域に形成しても良いし、チップのダイシングライン等に形成しても良い。

【0171】

モニタパターンに照射する光は実施形態に用いたものに何等限定されるものではなく、レジストを感光しない波長の単波長光 (若しくは狭帯域の光) であればよい。現像後のパターン検査においては、レジストを感光させない波長である必要はない。モニタパターンからの回折光を検出する手段は、CCD カメラに限定されず、強度変化を検出できるものであればよい。

【0172】

また、実施形態では、斜め照射で垂直方向に 1 次回折光の検出、又は垂直照射で垂直方向に 0 次回折光の検出を行ったが、斜め照射で斜め方向に 0 次回折光の検出、又は垂直照射で斜め方向に 1 次回折光の検出を行うようにしても良い。また、レジストに対する露光は必ずしも光に限らず、X 線或いは電子ビームを用いることも可能である。

【0173】

また、その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができることはいうまでもない。

【0174】

【発明の効果】

以上詳述したように本発明によれば、現像中又は現像後に、デバイスパターンや既加工パターンとは異なるモニタパターン、特に現像時間の経過による回折光の強度変化が大きいモニタパターンを用いてパターン評価を行うことにより、レジストパターンを短時間で高精度に検査することが可能となり、さらにこの検査を基に現像時間を制御することによって異なるウエハに対してもレジストパターンの精密な寸法制御が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】第 1 の実施形態を説明するためのもので、1 次回折光を利用して現像後のパターン検査を行う際の装置構成例を示す図。

【図 2】第 1 の実施形態におけるモニタパターンの例を示す図。

【図 3】第 1 の実施形態における現像時間と 1 次回折光強度の関係を示す図。

【図 4】理想的なピッチとライン幅の比と 1 次回折光回折強度との関係を示す図。

【図 5】第 2 の実施形態を説明するためのもので、1 次回折光を利用して現像中にパターン検査を行う際の装置構成例を示す図。

【図 6】第 2 の実施形態におけるデバイスパターンとモニタパターンの例を示す図。

【図 7】パターンの繰り返しピッチと検出角との関係を示す図。

【図 8】第 3 の実施形態におけるデバイスパターンとモニタパターンの例を示す図。

【図 9】第 4 の実施形態におけるモニタパターンと既加工パターンの例を示す図。

10

20

30

40

50

【図 1 0】第 5 の実施形態を説明するためのもので、0 次回折光を利用して現像中にパターン検査を行う際の装置構成例を示す図。

【図 1 1】第 5 の実施形態におけるモニタパターンの例を示す図。

【図 1 2】第 5 の実施形態における現像時間と 0 次回折光強度との関係を示す図。

【図 1 3】第 6 の実施形態を説明するためのもので、0 次回折光を利用して現像中にパターン検査を行う際の装置構成例を示す図。

【図 1 4】(a) ~ (c) は、第 6 の実施形態におけるモニタパターンの例を示す図。

【図 1 5】(a)、(b) は、第 6 の実施形態におけるモニタヘッドの位置決めを示す図。

。

【図 1 6】(a) ~ (c) は、第 6 の実施形態におけるモニタパターンの検出例を示す図

10

。

【図 1 7】第 7 の実施形態を説明するためのもので、0 次回折光を利用して現像中にパターン検査を行う際の装置構成例を示す図。

【図 1 8】(a)、(b) は、第 7 の実施形態において、0 次回折光の光路を説明するための図。

【図 1 9】第 8 の実施形態を説明するためのもので、0 次回折光を利用して現像中にパターン検査を行う際の装置構成例を示す図。

【図 2 0】第 9 の実施形態を説明するためのもので、この実施形態で用いるモニタエリアを示す概略図。

【図 2 1】第 9 の実施形態を説明するためのもので、0 次回折光を利用して現像中にパターン検査を行う際の装置構成例を示す図。

20

【図 2 2】第 9 の実施形態において、図 2 0 に示すモニタエリアからの 0 次回折光の強度とレジスト厚との関係を示す図。

【図 2 3】第 1 0 の実施形態を説明するためのもので、0 次回折光を利用して現像中にパターン検査を行う際の装置構成例を示す図。

【図 2 4】第 1 1 の実施形態を説明するためのもので、図 2 0 に示すモニタエリアからの 0 次回折光の強度とレジスト厚との関係を示す図。

【図 2 5】第 1 1 の実施形態を説明するためのもので、レジスト厚と現像時間との関係を示す図。

【図 2 6】第 1 2 の実施形態を説明するためのもので、2 つの異なる波長の光を用いて検出した場合の 0 次回折光の強度とレジスト厚との関係を示す図。

30

【図 2 7】第 1 2 の実施形態の他の測定例を説明するためのもので、2 つの異なる波長の光を用いて検出した場合の 0 次回折光の強度とレジスト厚との関係を示す図。

【図 2 8】第 1 2 の実施形態の他の測定例を説明するためのもので、2 つの異なる波長の光を用いて検出した場合のレジスト厚と現像時間との関係を示す図。

【図 2 9】第 1 3 の実施形態を説明するためのもので、レジスト厚と現像時間との関係を示す図。

【図 3 0】第 1 3 の実施形態を説明するためのもので、露光量とレジストの抜け時間との関係を示す図。

【図 3 1】第 1 3 の実施形態を説明するためのもので、露光量とレジストの抜け始め時間との関係を示す図。

40

【図 3 2】第 1 4 の実施形態で用いるモニタパターンの例を示す図。

【図 3 3】第 1 4 の実施形態を説明するためのもので、0 次回折光の強度と露光時間との関係を示す図。

【符号の説明】

1 0 0 ... ウエハ

1 1 0 ... レジスト

1 1 1 ... デバイスパターン

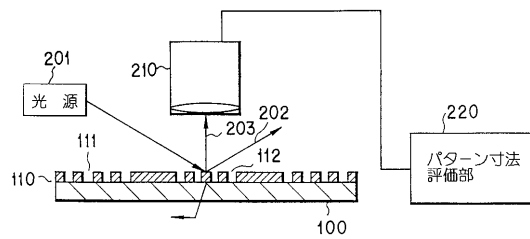
1 1 2 ... モニタパターン

2 0 1、3 0 1 ... 入射光

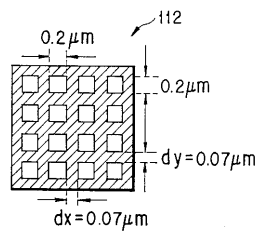
50

2 0 2、3 0 2 ... 0 次回折光
 2 0 3、3 0 3 ... 1 次回折光
 2 1 0 ... C C D カメラ
 2 2 0 ... パターン寸法評価部
 2 2 0' ... 現像終点予測部

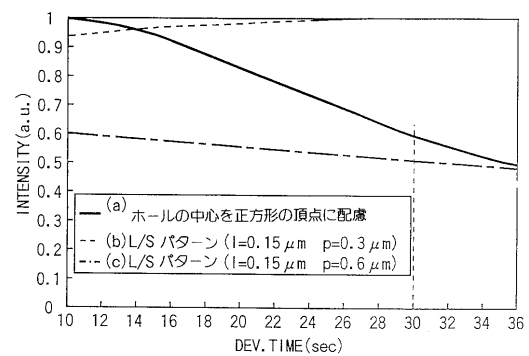
【図 1】



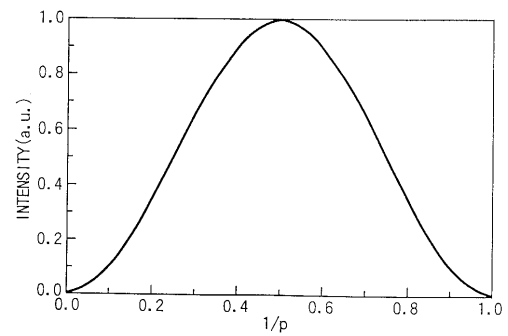
【図 2】



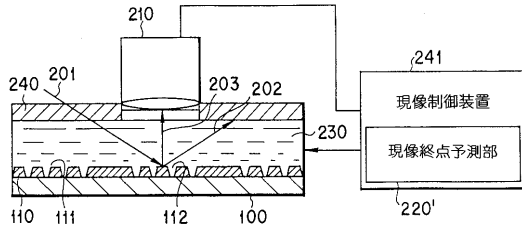
【図 3】



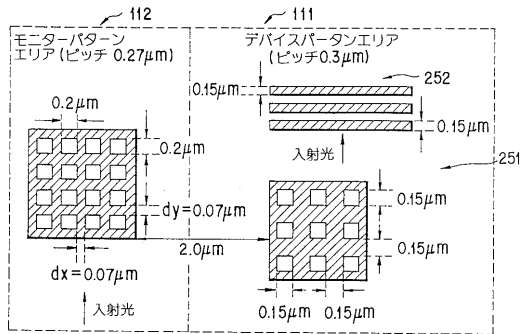
【図 4】



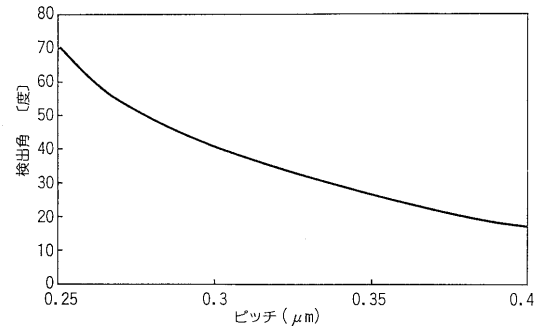
【 図 5 】



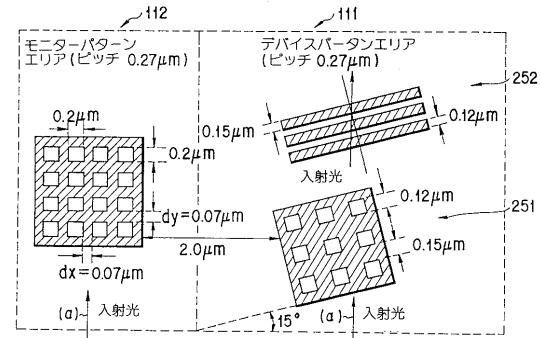
【圖 6】



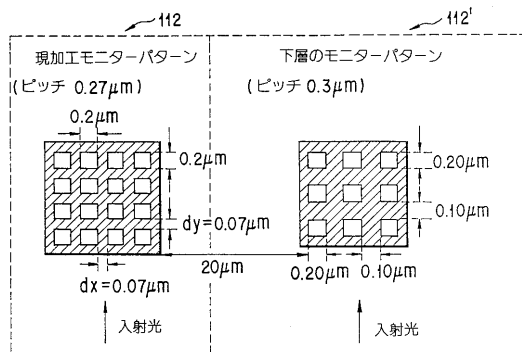
【 図 7 】



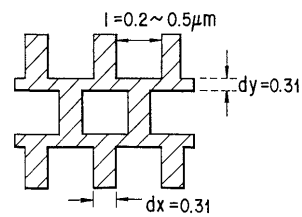
【 図 8 】



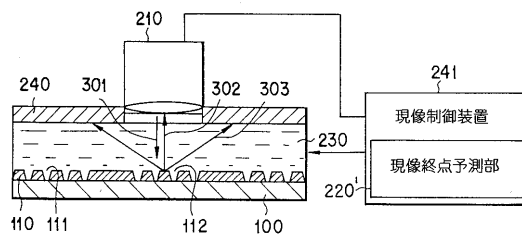
【 図 9 】



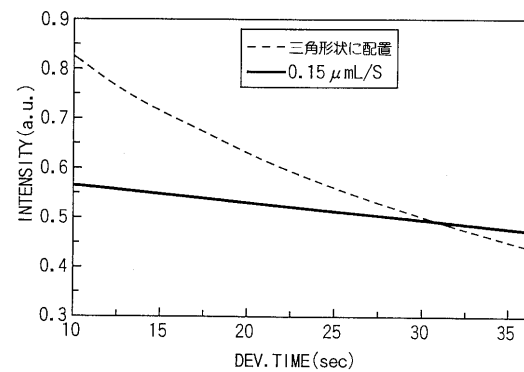
【 図 1 1 】



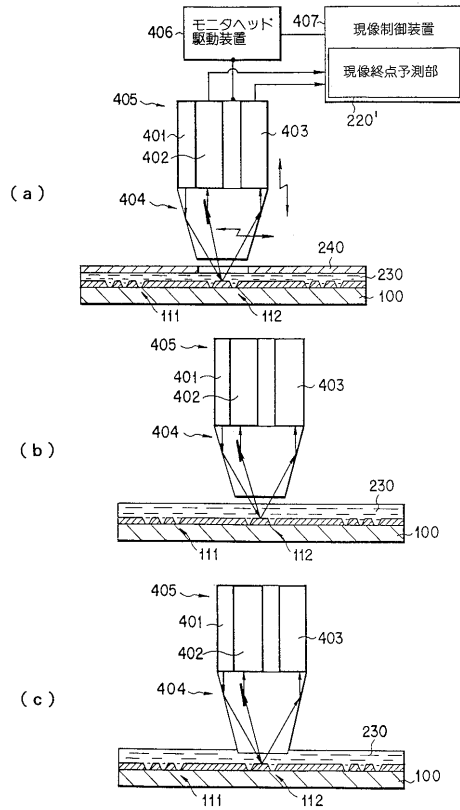
【 図 1 0 】



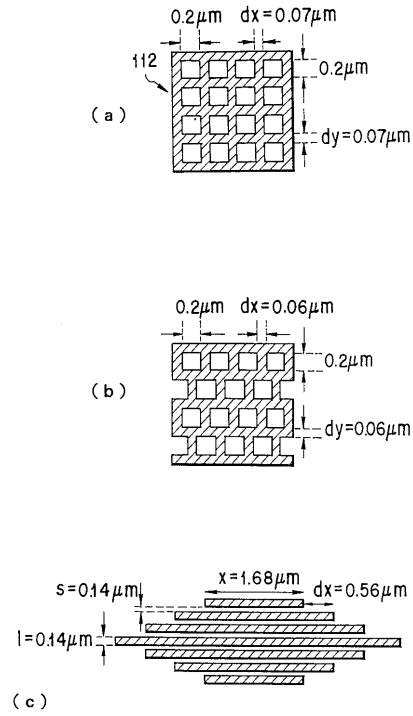
【 図 1 2 】



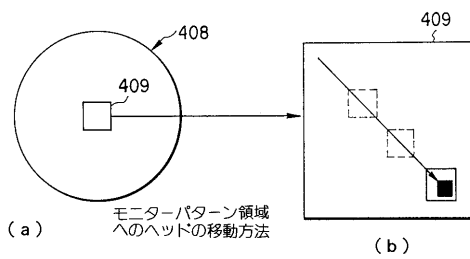
【図 13】



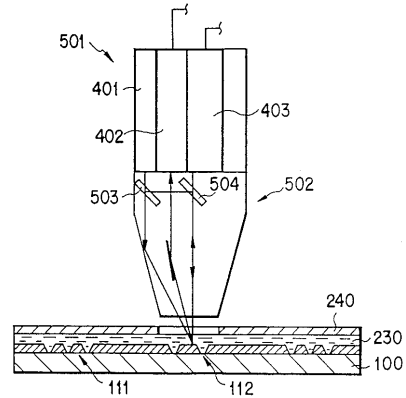
【図 14】



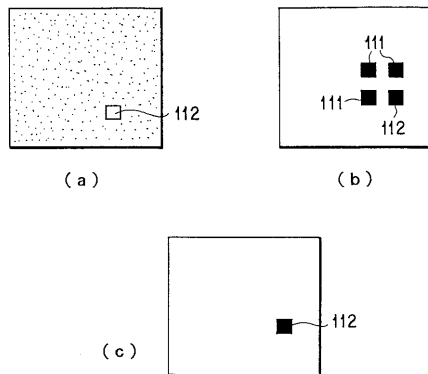
【図 15】



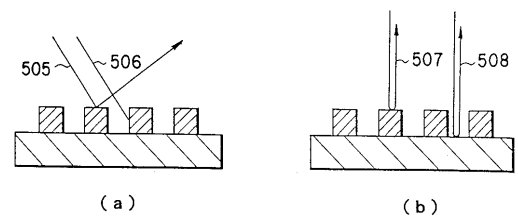
【図 17】



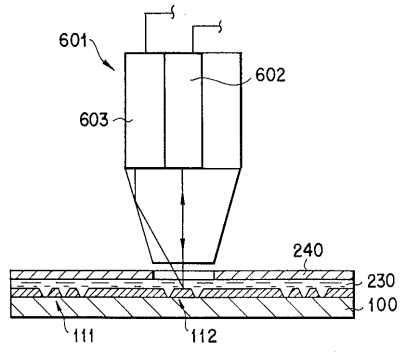
【図 16】



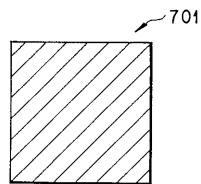
【図 18】



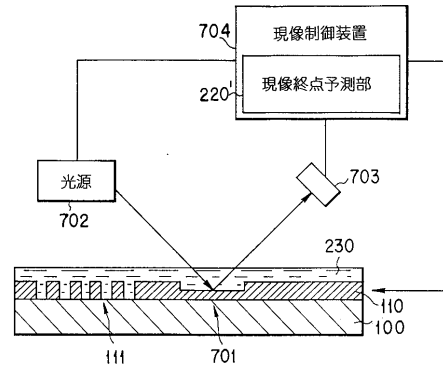
【図 19】



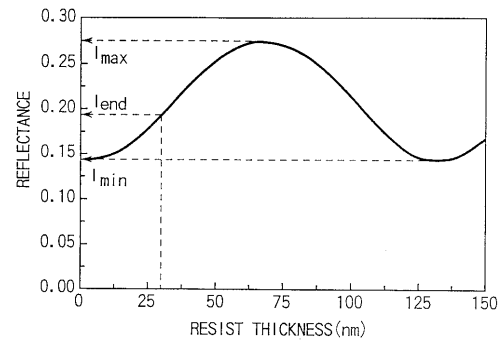
【図 20】



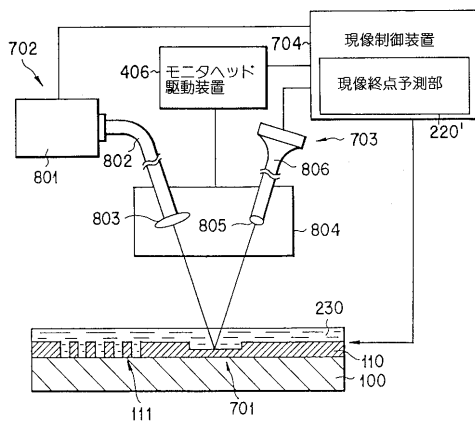
【図 21】



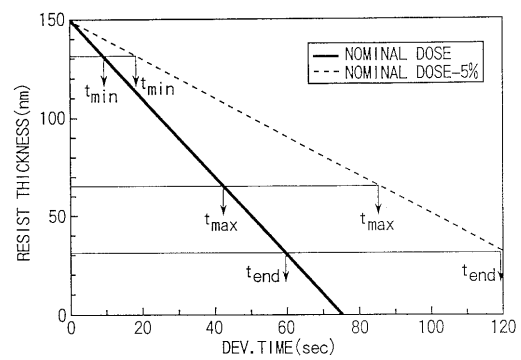
【図 22】



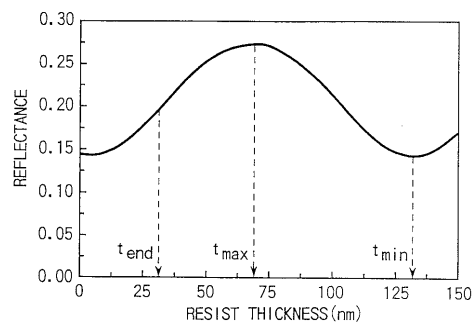
【図 23】



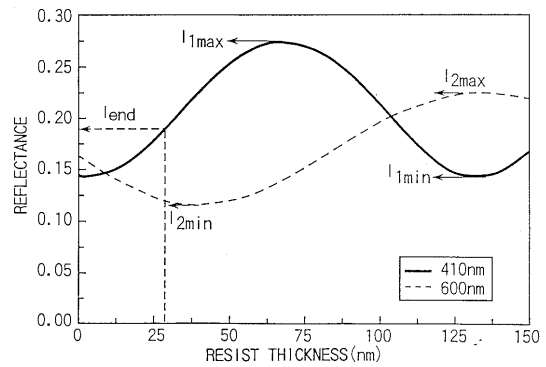
【図 25】



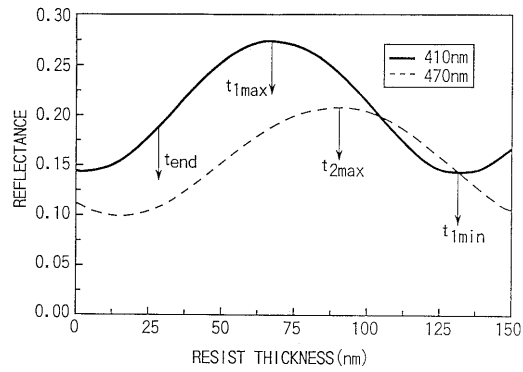
【図 24】



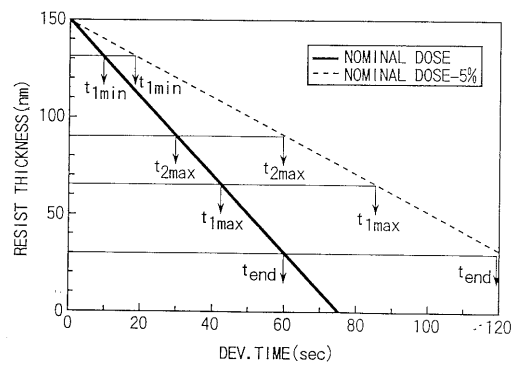
【図 26】



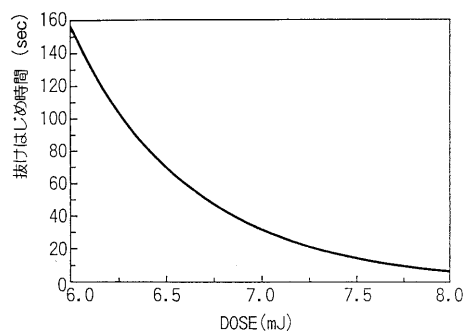
【図 27】



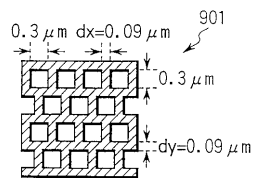
【図 28】



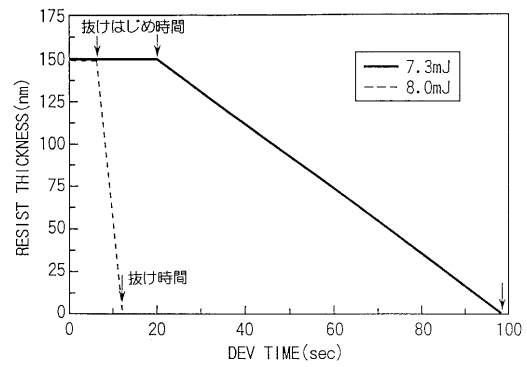
【図 31】



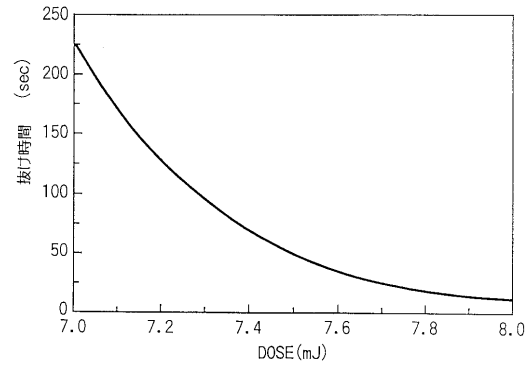
【図 32】



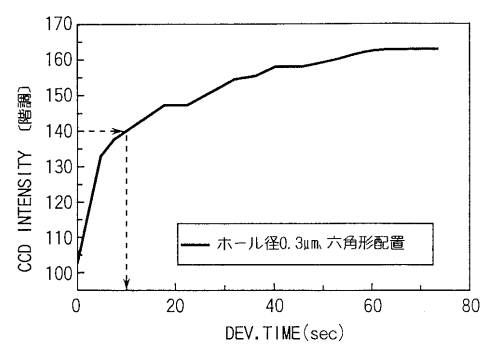
【図 29】



【図 30】



【図 33】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 0 1 B 11/02 G
G 0 3 F 7/26 5 0 1

(72)発明者 早崎 圭
神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横浜事業所内
(72)発明者 伊藤 信一
神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横浜事業所内
(72)発明者 川野 健二
神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横浜事業所内
(72)発明者 井上 壮一
神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横浜事業所内
(72)発明者 奥村 勝弥
神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横浜事業所内

審査官 渡戸 正義

(56)参考文献 特開昭 6 3 - 1 3 6 6 2 5 (J P , A)
特開平 0 8 - 2 6 4 4 0 8 (J P , A)
特開昭 6 2 - 1 9 3 2 4 7 (J P , A)
特開昭 5 4 - 0 1 0 6 7 7 (J P , A)
特開昭 5 4 - 0 1 2 6 7 2 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01L 21/027
G03F 1/08 - 1/16
G03F 7/20 - 7/24