

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3644041号
(P3644041)

(45) 発行日 平成17年4月27日(2005.4.27)

(24) 登録日 平成17年2月10日(2005.2.10)

(51) Int. Cl.⁷

F I

H O 1 L 21/027
G O 3 F 7/20

H O 1 L 21/30 5 1 3
G O 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 2 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願平5-236031	(73) 特許権者	000004112 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(22) 出願日	平成5年9月22日(1993.9.22)	(72) 発明者	小沢 稔彦 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内
(65) 公開番号	特開平6-291009	(72) 発明者	小松 雅也 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内
(43) 公開日	平成6年10月18日(1994.10.18)	(72) 発明者	渋谷 真人 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内
審査請求日	平成12年9月12日(2000.9.12)	(72) 発明者	大木 裕史 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内
審査番号	不服2002-21079(P2002-21079/J1)		
審査請求日	平成14年10月31日(2002.10.31)		
(31) 優先権主張番号	特願平5-16267		
(32) 優先日	平成5年2月3日(1993.2.3)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光方法及び露光装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被投影原版のパターンを投影光学系によって所定の感光素材上に投影する投影露光方法において、

前記感光素材として潜像反応濃度が入射光強度に対して m 乗($m \geq 1$ 、 m は正の整数)の非線形となるような感度特性を持つものを用いて、前記感光素材上で前記被投影原版と感光素材が相対的に $1/m$ ピッチずらす m 回露光を行うことを特徴とする露光方法。

【請求項2】

被投影原版のパターンを投影光学系によって所定の感光素材上に投影する投影露光装置において、

前記感光素材として潜像反応濃度が入射光強度に対して m 乗($m \geq 1$ 、 m は正の整数)の非線形となるような感度特性を持つものを用いて、前記感光素材上で前記被投影原版と感光素材が相対的に $1/m$ ピッチずらす m 回露光を行うことを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は、半導体素子や液晶板の製造に用いられる露光装置特に投影型露光装置及び投影露光方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来の露光方法においては、露光する所望のパターンは全て同一レチクル上に配置され、一度の露光によって基板に焼き付るようになっていた。その際、基板上に塗布されているレジストには露光強度 I に応じた潜像反応濃度 D が発生する。例えば、現在一般に使われているポジ型レジストでは、

$$D = \exp(-CD), \quad D = I \cdot t \quad (1)$$

と表す事が出来る。より一般的には、以下の様な式に表現することが出来る。

【0003】

$$D = \exp(-CD), \quad D = J \cdot t = I^m \cdot t \quad (2)$$

ここで I は光強度、 t は露光時間、 C は感材によって定まる定数である。 m は感光素材の線型性を表す指数であり、 $m = 1$ のとき線型であるといい、 $m \neq 1$ のとき非線型であるという。上式に示すように、分り易くする為、 I^m を J で置き換え、 J を潜像濃度と呼ぶことにする。

10

【0004】

このような方法において、レジスト中に潜像を形成する為の露光強度分布 $I(x)$ のスペクトル i は、簡単のため完全にインコヒーレントな結像を仮定すれば、物体スペクトルを i_0 、光学系の OTF (Optical Transfer Function) を f として、

$$i(\xi) = i_0(\xi) \cdot f(\xi) \quad (3)$$

ξ : 空間周波数

$f(\xi)$ で与えられる。さて、プロセス的に OTF すなわち f が有意でなくなる限界の空間周波数 ξ_0 は、露光波長を λ 、投影光学系の感光素材側の開口数を NA とするとき、

20

$$\xi_0 = 0.5NA / (\lambda \cdot K_1)$$

K_1 : プロセス定数 (4)

で与えられる。また、光学系の解像限界は開口数 NA によって原理的に決まり、その場合は $K_1 = 0.25$ であり、光学系のカットオフ周波数 ξ_c は、

$$\xi_c = 2NA / \lambda \quad (5)$$

となる。それ故、高解像とするためには短波長化するか、開口数 NA を大きくせざるを得なかった。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

上記のような従来の露光方法では、高解像とするためには開口数 NA を大きくするか、波長 λ を小さくせざるを得ない。しかしながら、投影光学系の焦点深度 F_d は次式に示すように、波長 λ に比例し、 NA の 2 乗に反比例し、

30

$$F_d = K_2 \cdot \lambda / NA^2 \quad (6)$$

K_2 : プロセス定数

となるため、いずれの場合にも焦点深度が浅くなる。また、光学系が大型化・特殊化し、実用的でなくなる。また、感光素材上での最終的解像限界は投影光学系により決定される解像限界を超えることができなかつた。

【0006】

本発明はこのような問題点に鑑みてなされたもので、従来の露光波長及び光学系をほとんど変えること無しに、投影光学系の解像限界を超える高解像のパターンを形成することのできる露光方法及び露光装置を提供することを目的とする。

40

【0007】

【問題を解決するための手段】

本発明による露光方法は、被投影原版のパターンを投影光学系によって所定の感光素材上に投影する投影露光方法において、前記感光素材として潜像反応濃度が入射光強度に対して m 乗 ($m \geq 1$ 、 m は正の整数) の非線形となるような感度特性を持つものを用いて、前記感光素材上で前記被投影原版と感光素材が相対的に $1/m$ ピッチずらず m 回露光を行うものである。

【0008】

また、本発明による露光装置は、被投影原版のパターンを投影光学系によって所定の感光

50

素材上に投影する投影露光装置において、前記感光素材として潜像反応濃度が入射光強度に対して m 乗 ($m > 1$ 、 m は正の整数) の非線形となるような感度特性を持つものを用いて、前記感光素材上で前記被投影原版と感光素材が相対的に $1/m$ ピッチずらず m 回露光を行うものである。

【0012】

【作用】

上記の如き本発明により、潜像反応濃度が入射光の m 乗 ($m > 1$) に対応して強調される様に形成される非線型感度特性を持つ感光素材を用いた場合、投影光学系の解像限界を超えるパターンの形成が可能であることの原理を以下に説明する。

【0013】

従来の露光方法では、インコヒーレント照明において全系を通った後の結像面上の光強度分布 $I(x)$ は、物体の光強度分布を $I_0(x)$ 、光学系の点像強度分布を $F(x)$ として、

$$I(x) = I_0(x) * F(x) \quad (7)$$

で与えられる。ここで x は感光素材上での位置座標であり、 $*$ はコンボリューションを意味する。これより、像面上の光強度のスペクトル i は、フーリエ変換のコンボリューションの定理より、

$$i(\xi) = i_0(\xi) \cdot f(\xi) \quad (8)$$

となる。ここで、 ξ は空間周波数であり、 i_0 は物体の光強度のスペクトルであり、 f が所謂光学系の OTF に対応し、潜像濃度のスペクトルとしては光学系のカットオフ周波数 ($2NA/\lambda$) を超えるものは形成されない。

【0014】

また、従来の露光方法において、非線型な感度特性を有する感光素材である所謂2光子吸収レジストを用いることが提案されている。2光子吸収レジストとは2つの光子を吸収すると1つの潜像核を形成するレジストのことであり、これについては Proceedings of SPIE 第1674巻(1992年)776頁~778頁などに示されている。この場合、潜像濃度分布 $J(x)$ は露光強度分布 $I(x)$ の自乗に応じて形成される。即ち、インコヒーレント照明において、物体の光強度分布を $I_0(x)$ 、光学系の点像強度分布を $F(x)$ として、

$$J(x) = I(x)^2 = \{ I_0(x) * F(x) \}^2 \quad (9)$$

となる。これより、潜像濃度分布のスペクトル j は、同様にフーリエ変換のコンボリューションの定理より、

$$j(\xi) = \{ i_0(\xi) \cdot f(\xi) \} * \{ i_0(\xi) \cdot f(\xi) \} \quad (10)$$

となる。2光子吸収レジストの場合は(9)式に応じて潜像濃度分布が与えられるため、従来の場合の(7)式に比べて潜像濃度分布がより急峻になる。このことを露光強度分布が正弦波状の場合について具体的に図9Aと図9Bに例示する。

【0015】

図9Aは通常のレジストにおける潜像濃度分布であり、露光強度分布と同じく正弦波状になっている。図9Bは、2光子吸収レジストにおける潜像濃度分布を表す。図9Aと図9Bとを比較すれば、潜像のコントラストが高くなっているが、形成されたパターンのピッチは図9Aと図9Bとで同じであり、2光子吸収レジストを用いただけでは形成される潜像濃度分布のピッチは光学系によって作られる像のピッチより微細とはならず、光学系の解像限界を超えることができない。(10)式より、潜像濃度分布中には光学系の解像限界を超える周波数の成分が存在するが、形成されたパターンのピッチとしては飽くまで光学系の解像限界を超えていないのである。

【0016】

このように非線型感度特性を持つ感光素材を用いるだけでは、光学系により決まる解像限界以上に微細なパターンを形成することは不可能である。しかしながら、本発明では非線型感度特性を持つ感光素材を用い、さらに露光を複数回に分けて行うことにより、光学系による解像限界を超える微細パターンの形成を可能としている。

10

20

30

40

50

【0017】

本発明の基本的な考え方を説明するために、上記と同様に2光子吸収レジストを用いた場合における光学系による点像の結像を考える。この場合には2光子吸収レジストにより点像の潜像濃度分布が急峻になる。この場合、照明状態にかかわらず光学系による点像強度分布 $F(x)$ を考えればよく、所望の物体光強度分布 $I_0(x)$ を点像の重ね合わせによって形成されるものとし、これにより潜像濃度分布 $J(x)$ を形成するならば、その各々の点像の結像によって作られた光強度の重ね合わせとなるので、

$$J(x) = I_0(x) * \{F(x)\}^2 \quad (11)$$

と基本的に表される。点像の潜像濃度分布は $\{F(x)\}^2$ で表されるため、光学系による点像強度分布 $F(x)$ より鋭い分布となり、高解像になる。(11)式をフーリエ変換することにより、

$$j(\nu) = i_0(\nu) \cdot \{f(\nu) * f(\nu)\} \quad (12)$$

となる。よって、 $f * f$ がこの方法において潜像濃度分布を得る上での光学系のOTFと解釈される。これは(8)式で示される従来のOTFすなわち f のカットオフ周波数 $(2NA/\lambda)$ に対してカットオフ周波数 $(4NA/\lambda)$ となり、2倍の解像力が得られることになる。

【0018】

図10にこの比較を模式的に示す。図10Aは従来の方法におけるOTFを表し、図10Bは孤立パターンを2光子吸収レジスト上に感光させた場合のOTFを表している。これより、2光子吸収レジストを用い、孤立パターンを基に複数回露光し、潜像を形成すれば光学系の解像限界を超えた微細なパターンの形成ができる。このように孤立パターンによる複数回露光と非線型感度特性を持つ感光素材とを組み合わせることにより、光学系の解像限界を超えたパターンの形成が可能となる。

【0019】

さらに、完全に孤立ではないが概略孤立と考えられるパターンを用いて複数回露光する場合にも、孤立パターンの場合と同様に光学系の解像限界を超えたパターンの形成が可能である。この場合、潜像濃度分布のスペクトル j は、

$$\begin{aligned} j(\nu) &= \sum i_{0j}(\nu) \cdot \{f(\nu) * f(\nu)\} \\ &= i'(\nu) \cdot \{f(\nu) * f(\nu)\} \end{aligned} \quad (13)$$

$$i'(\nu) = \sum i_{0j}(\nu)$$

となる。ここで、 i_{0j} は互いに概略孤立したパターンの物体スペクトルであり、 i' は、孤立的パターンの重ね合わせにより構成される仮想的なパターンの物体スペクトルと考えられる。従来の潜像濃度分布のスペクトルは(8)式で示されるように f のカットオフ周波数 $(2NA/\lambda)$ を超えることはないが、本発明よれば(13)式で示されるように、 $\{f(\nu) * f(\nu)\}$ のカットオフ周波数 $(4NA/\lambda)$ までのスペクトルが潜像濃度分布として形成される。

【0020】

このように、従来露光方法で非線型感度特性を有する感光素材を用いただけでは、形成されるパターンのピッチとしては光学系の解像限界を超えることはなかったのに対し、本発明において、さらに感光素材上での光強度分布が異なる複数回の露光を繰り返すことによって、 i' を適切に与えれば、光学系の解像限界を超えるピッチのパターンの潜像濃度分布を形成することができる。

【0021】

尚、上記では潜像濃度 J が露光強度 I の自乗に比例して形成される、即ち、潜像反応濃度が露光強度 I の自乗に応じて形成される所謂2光子吸収レジストを用いて説明したが、本発明においてはこれに限られるものではなく、潜像反応濃度が露光強度 I の m 乗 ($m > 1$) に応じて形成される非線型感度特性を持つ感光素材であれば良い。この場合、潜像濃度分布が点像の光強度分布 $F(x)$ の m 乗で表され、点像の光強度分布 $F(x)$ より鋭

10

20

30

40

50

い分布となり、上記(11)式は次式のように表わされる。

【0022】

$$J(x) = I_0(x) * \{F(x)\}^m \quad (14)$$

そして、照明状態としてはインコヒーレント照明に限らず、斜光照明や種々の変形照明でも同様に極めて微細なパターンの形成が可能である。勿論、自己発光物体でも可能である。

(14)式をフーリエ変換すると、フーリエ変換のコンボリューションの定理より、光学系のカットオフ周波数の m 倍の周波数のパターン(潜像濃度分布)までが形成されることが分かる。尚、各露光において完全に孤立していないパターンを複数回露光することによって、さらに微細なパターンを形成できる可能性がある。

10

【0023】

以上の説明においては、上記(14)式において乗数 m が1より大きい($m > 1$)場合、即ち潜像濃度 J が光強度 I よりも強調される場合について説明したが、乗数 m が1より小さい($m < 1$)場合においても、シュミレーションの結果、実質的に投影光学系の解像限界を超えた微細パターンの形成が可能であることが分かった。そして、感度特性として(14)式中の乗数 m が一定ではなく光強度 I に依存する場合においても有効である。

【0024】

複数回露光の各露光において、位相シフトマスクを用いたり変形照明法を用いることにより高解像かつ高コントラストなパターンを形成するならば、光学系の解像限界を超えた潜像濃度分布をさらに高コントラストで形成することができる。

20

以上の様に、潜像濃度、言い換えれば、潜像反応濃度が入射光強度に対して非線型な感度特性を持つ感光素材を用い、該感光素材上で光強度分布が異なる複数回の露光を行う事により、投影光学系の解像限界を超える高解像のパターンを有する半導体素子を得ることが出来る。

【0025】

【実施例】

以下に、本発明を実施例に基づいて説明する。

図1に本発明による被投影原版としてのレチクルパターンの断面図を示す。図1Aに示すパターンにより第1露光を行い、図1Bのパターンにより第2露光を行う。図1Aの第1パターンでは、基板1a上に設けられた遮光膜2aが開口部4aを形成している。そして、隣接する開口部4aの一方には位相膜3aが設けられており、所謂位相シフトマスクが構成されている。図1Bの第2パターンは同様に基板1b上に遮光膜2bと位相膜3bとが設けられており、同じく位相シフトマスクが構成されている。第1パターンの開口部4aは第2パターンの遮光膜1bの位置に重なり、第2パターンの開口部4bは第1パターンの遮光膜1aの位置に重なるように配置されて、1つの感光素材上にそれぞれ別々に露光される。

30

【0026】

これら第1及び第2パターンによる露光により得られる感光素材上での光量分布を、図2A、Bに示す。ここで、本実施例ではコヒーレントな照明により ± 1 次回折光のみによって、図2A、図2Bに示すように、正弦波状の光強度 I_a 、 I_b が各露光において作られる。これら2回の露光において、感光素材上での光強度分布のピーク位置が位相で半周期ずれている。

40

【0027】

いま、高解像の場合を考え、各露光において光学系の解像限界の周波数を持つ光強度分布が作られるとする。すなわち、 ± 1 次回折光が光学系の開口の周縁部を通過するように開口数を十分有効に使うとし、各露光において作られるピッチは、解像限界 / $2NA$ であり、その光強度分布は、

$$I_a(x) = 1 + \cos(2 \cdot 2NA \cdot x / \quad) \quad (15)$$

$$I_b(x) = 1 + \cos(2 \cdot 2NA \cdot x / \quad + \quad) \quad (16)$$

と表される。レジストが2光子吸収レジストであると、レジスト中の潜像濃度は光強度の

50

2乗で与えられるため、それぞれの潜像濃度分布は、図3A、Bに示されるとおり、

$$J_a(x) = I_a(x)^2 = 3/2 + 2 \cos(2\pi \cdot 2NA \cdot x/\lambda) + \cos(4\pi \cdot 2NA \cdot x/\lambda) / 2 \quad (17)$$

$$J_b(x) = I_b(x)^2 = 3/2 + 2 \cos(2\pi \cdot 2NA \cdot x/\lambda + \pi) + \cos(4\pi \cdot 2NA \cdot x/\lambda) / 2 \quad (18)$$

となる。複数回露光により最終的に得られる潜像濃度分布は(17)と(18)との和であり、

$$J(x) = J_a(x) + J_b(x) = 3 + \cos(4 \cdot 2NA \cdot x / \lambda) \quad (19)$$

となる。(19)式より、本実施例における潜像濃度分布 $J(x)$ はピッチ($\lambda / 4NA$)の周期構造を持ち、これは光学系の限界解像力($\lambda / 2NA$)の倍の細かさである。この潜像濃度分布 $J(x)$ を図4に示した。この複数回(ここでは2回)の露光の後に現像を行うことにより、微細なレジストパターンが形成される。

【0028】

(12)式及び図10Bより分かるように、完全な孤立パターン(点物体)の重ね合わせで潜像を形成すれば、ピッチ($\lambda / 4NA$)の潜像が形成される。ただ、この場合コントラストはあまり高くないので、上記実施例では位相シフトマスクをコヒーレント照明することにより、高コントラストな潜像濃度分布を形成している。

【0029】

従来の非線型でない感光素材を用いた場合には、上記(15)と(16)式の単純和、すなわち図2Aと図2Bとの単純和で感光されるため、パターンは全く形成されない。

上記の実施例は2光子吸収レジストを用いて、光強度の2乗($m=2$)によって潜像濃度が得られる場合であったが、光強度の3乗、4乗あるいはそれ以上($m=3, 4, \dots$)の非線型性で潜像濃度が得られる場合には更に高解像が期待できる。例えば図5に示す潜像濃度分布は、潜像濃度分布が光強度分布の3乗($m=3$)で得られる場合で、図1Aに示した被投影原版のパターンを($1/3$)ピッチすなわち($\lambda / 6NA$)ずつずらして3回露光して得られたものである。ここでは、図示のとおり、ピッチ($\lambda / 6NA$)の周期構造となり光学系の解像限界($\lambda / 2NA$)の3倍の細かさとなっている。

【0030】

また、光強度の1.5乗($m=1.5$)によって潜像濃度が得られる感光素材を用いることも可能である。図6は $m=1.5$ として図1A、図1Bに示したレチクルを同様にそれぞれ別個に露光して得られた潜像濃度分布であり、光学系の解像限界の倍の細かさの潜像濃度分布が得られている。この場合にも、位相シフトマスクをコヒーレント照明することにより、コントラストを高めることができている。

【0031】

尚、上記の実施例においては、感光素材として所謂2光子吸収レジストを使用した。これに限られるものではない。本発明においてはその他の手法、例えばCEL法(B.F.Griffing, P.R.West著IEEE, EDL 第4巻(1983)14頁参照)等のコントラストを強調し得る感光素材を用いることも可能である。さらに、所謂多層レジスト法の上層レジストとして非線型性な感度特性を持つレジストを用いることによっても可能である。

【0032】

次に、本発明における別の実施例について説明する。図1に示した上記の実施例では所謂位相シフト法を用いてコヒーレント結像によって光強度分布を形成したが、この実施例は通常のレチクルを用い、部分コヒーレント結像を行うものである。光学系の条件は使用波長 $\lambda = 0.365 \mu\text{m}$ 、開口数 $NA = 0.5$ 、コヒーレンス度 $\sigma = 0.6$ とした。図8Aは2光子吸収レジストを使い、 $0.25 \mu\text{m}$ 幅の孤立線を3回ずらして露光し、 $0.25 \mu\text{m}$ の孤立線3本を形成した時の潜像濃度分布である。図8Bは2光子吸収レジストを用い、 $0.25 \mu\text{m}$ 幅の3本線を一括露光した場合の潜像濃度分布である。図8Cは従来の方法による $0.25 \mu\text{m}$ 幅の3本線の潜像濃度分布である。

【0033】

10

20

30

40

50

これらの図 8 A、図 8 B、図 8 C の比較により、本発明の方法により得られた潜像濃度分布図 8 A が他の方法と比較して格段に優れた微細パターンの形成に有効であることが明らかである。

一般には、潜像反応濃度にほぼ比例して現像後のレジストパターンが作られるが、さらに現像プロセスにおいて強調すればさらに高コントラストのレジストパターンを形成することができる。

【 0 0 3 4 】

更に、乗数 m が 1 より小さい ($m < 1$) 場合の実施例について説明する。例として $m = 0.5$ である感光素材を用いた場合について説明する。 $m = 0.5$ の感材を用いた場合の潜像濃度は光強度の 0.5 乗に応じて作られる。即ち、

$$J(x) = I(x)^{0.5} \quad (20)$$

で与えられる。ここで x は座標である。コヒーレント照明のもとで前記図 1 に示す位相シフト付きレチクルを用いて、ライン・アンド・スペースを焼き付ける場合を示す。このレチクルの周期は投影光学系の解像限界 $\lambda / 2NA$ になっている。図 1 1 は像面上に出来る光強度分布の図である。光強度分布 $I(x)$ はこの様に正弦波状に分布している。即ち、

$$I(x) = 1 + \cos(2\pi \cdot 2NA \cdot x / \lambda) \quad (21)$$

である。一方、図 1 2 A は (21) 式から得られる潜像濃度分布 $J(x)$ を示す。

【 0 0 3 5 】

$$J(x) = (1 + \cos(2\pi \cdot 2NA \cdot x / \lambda))^{0.5} \quad (22)$$

この様に、図 1 2 A に示されるとおり、潜像濃度分布 $J(x)$ は光強度分布 $I(x)$ に比べて明部付近についてはよりなだらかであるが、暗部においては急激に暗くなりその幅は極めて細くなるという特徴を持つ。しかしながら、明らかに潜像濃度分布 $J(x)$ は光強度分布 $I(x)$ と同じ周期で形成されるので、この状態では投影光学系の限界解像を越えたパターンを形成できない。

【 0 0 3 6 】

一方、図 1 2 A を $1/2$ 周期ずらしたパターンによる潜像濃度分布 $J(x)$ (図 1 2 B) を重ね合わせれば、図 1 2 C で示されるようにより微細な構造を像面上に形成する事が出来るため、このパターンは限界解像の 2 倍の周期構造を持つ事になる。

これに対し、 $m = 1$ の感材を用いた場合には、潜像濃度分布 $J(x)$ は図 1 1 の光強度分布 $I(x)$ に完全に一致するので、これを図 1 1 D の場合と同様に重ね合わせたとしても

$$J(x) = 1 + \cos(2\pi \cdot 2NA \cdot x / \lambda) + 1 - \cos(2\pi \cdot 2NA \cdot x / \lambda) = 2 \quad (23)$$

という様に、得られる $J(x)$ はフラットになり、まったく用をなさない(図 1 3)。

【 0 0 3 7 】

この様に、 $m < 1$ なる感光素材を用いた場合にも、投影光学系の限界解像以上に微細な潜像を形成する事が出来る。

本発明に於いては、レジストがポジ型或いはネガ型のいずれも使用出来ることは言うまでもない。しかし、特に、 $m < 1$ の場合はポジ型に有利であると考えられ、図 1 2 に示す例では極めて細い残し線を形成することが出来る。

【 0 0 3 8 】

図 7 には、上記の如き感光素材上での光強度分布が異なる複数の露光を行うための露光装置の概略構成を示す。光源 1 1 からの照明光束は楕円鏡 1 2 により集光され、ミラー 1 3 によりコリメータレンズ 1 4 に導かれ、ほぼ平行光束となってフライアイインテグレート 1 5 に入射する。フライアイインテグレート 1 5 を射出した光束はミラー 1 6 によりメインコンデンサー 1 7 に導かれ、被投影原版としてのレチクル 1 8 a を均一に照明する。被投影原版 1 8 a 上の所定のパターンが投影光学系 1 9 によって感光素材の塗布されたウエハ 2 0 上に投影露光される。ここで、レチクル 1 8 a は露光の後に、レチクルローダー 2 1 によって異なるパターンを有するレチクル 1 8 b と交換され、第 2 の露光がなされる。

10

20

30

40

50

【0039】

レチクルローダー 21 によって異なるパターンを交換する代わりに、レチクル 18a による第 1 の露光の後に、レチクル 18a を投影光学系 19 の光軸 Ax に対して垂直方向に所定量だけ移動させて第 2 の露光を行うこととしても良い。この所定量とは、例えば前述した図 1A のパターンを用いた場合に、感光素材の潜像濃度が光強度の 2 乗に比例する様な場合は、ウエハ上の座標に換算して ($\lambda / 4NA$) である。また、感光素材の潜像濃度が光強度の 3 乗に比例する様な場合は、ウエハ上の座標に換算して ($\lambda / 6NA$) とすることが有効である。

【0040】

尚、同一のレチクルパターンを複数回露光する場合には、レチクルを移動する代わりに、
10 複数の露光毎にウエハ自体を移動する構成とすることも可能であることは言うまでもない。

複数回露光間でのアライメントは、潜像を観察してアライメントする所謂潜像アライメントが有効である。

【0041】

また、実際の半導体素子に於ける 2 次元パターンの場合の実施例を示す。図 14 に於いて、A が最終的に形成される所望のパターンであり、B が第 1 の露光用レチクルのパターン図、C が第 2 の露光用レチクルのパターン図である。51, 52, 53 及び 54 は光を透過する部分を表し、52 及び 54 の光透過部には位相シフター 52s, 54s が施されている。図 14 の A に示したパターンの 51, 52, 53 及び 54 のそれぞれの間隔は最も狭い所が投影光学系の解像限界であり、位相シフト等の方法を用いることによって一括露光において十分なコントラストの像を形成することが可能である。ここで、図 14 A の様な 2 次元パターンの場合には 0° , 180° の位相シフトをどのように配置しても解像出来ない部分が生じてしまう。しかしながら、本発明に基づいて 2 光子吸収レジストを用い、図 14 B のパターンにより第 1 露光を行った後図 14 C のパターンにより第 2 露光を行うと、図 14 A に示す如き従来までは解像し得なかった極めて微細なパターンを有する半導体素子を得ることが出来る。
20

【0042】

尚、図 14 の B 及び C に示したパターンは夫々別のレチクルに形成する事としたが、レチクルに液晶板等の電気光学的素子を用いることにより、1 つの液晶板において、パターン透過部を電氣的に変更して、図 14 の B 及び C のパターンを形成し、実質的に複数の各被投影原版を得ることが可能である。
30

ところで、本発明においては、図 1 に示した実施例のように、高解像パターンを形成するために位相シフトパターンを用いることが有効である。また、特開昭 61-91662 号公報において提案されている輪帯照明や、特開平 4-225358 号公報等において提案されている所謂 SHRINC 照明を用いることも有効である。

【0043】

【発明の効果】

以上のように、本発明によれば非線形な感光特性を示す感光素材を用いて異なるパターンを複数回露光することにより、投影光学系の解像限界を超えた微細パターンの形成が可能となる。しかも、従来の露光波長及び光学系をほとんど変えることなしに高解像のパターンを形成することができる。
40

【0044】

そして、本発明による露光方法によれば、従来の投影型露光装置では実現し得なかった極めて微細な回路パターンを有する半導体素子の製造が可能となり、集積回路の集積度を格段に高めることができるという大きな効果を奏するものである。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に用いる第 1 被投影原版及び第 2 被投影原版のパターンを示す断面図。

【図 2】図 1 に示したパターンによる光強度分布図。

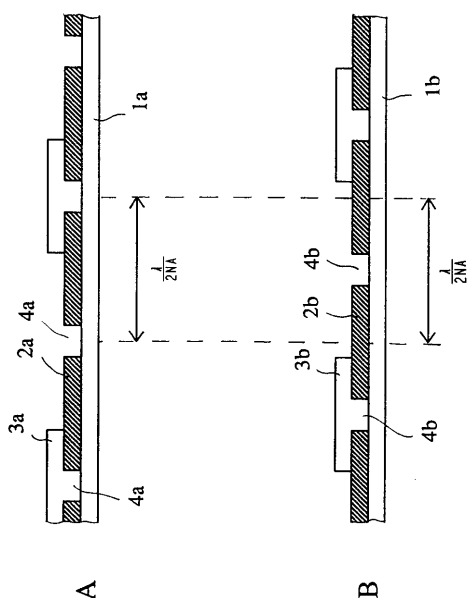
【図 3】図 1 に示したパターンによる潜像濃度分布図。
50

- 【図4】本発明の実施例における合成潜像濃度分布図。
- 【図5】3回露光による合成潜像濃度分布図。
- 【図6】他の実施例における合成潜像濃度分布図。
- 【図7】本発明に好適な露光装置の概略構成図。
- 【図8】他の実施例による合成潜像濃度分布図。
- 【図9】従来の露光方法により形成される潜像濃度分布図。
- 【図10】OTFの特性図。
- 【図11】図1に示したパターンによる光強度分布図。
- 【図12】他の実施例による潜像の合成濃度分布図。
- 【図13】線型レジストを用いた場合の合成潜像濃度分布図。
- 【図14】本発明による実際の半導体素子用の2次元パターン及び該パターン用の被投影原版の説明図。

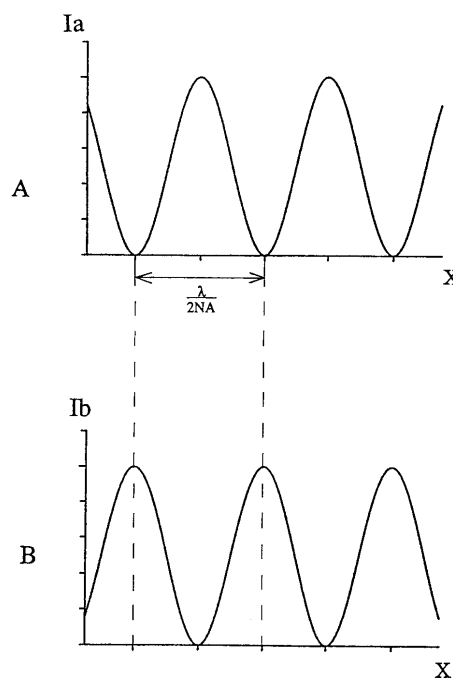
【符号の説明】

- 1 a , 1 b . . . 被投影原版の基板
- 2 a , 2 b . . . 斜光膜
- 3 a , 3 b . . . 位相シフター
- 4 a , 4 b . . . 開口部
- 5 1 , 5 2 , 5 3 , 5 4 . . . 光透過部
- 5 2 s , 5 4 s . . . 位相シフター

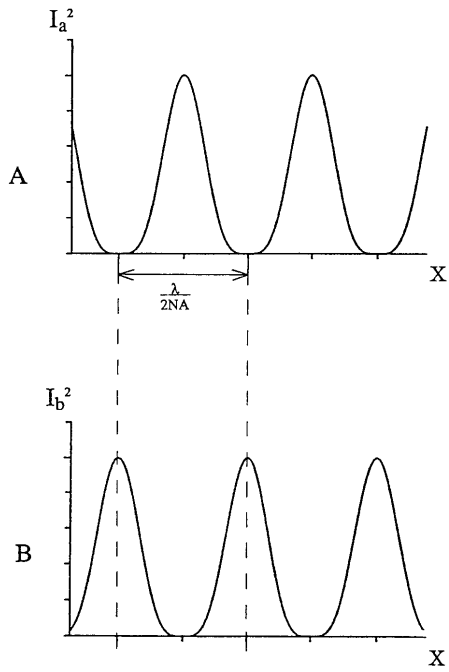
【図1】



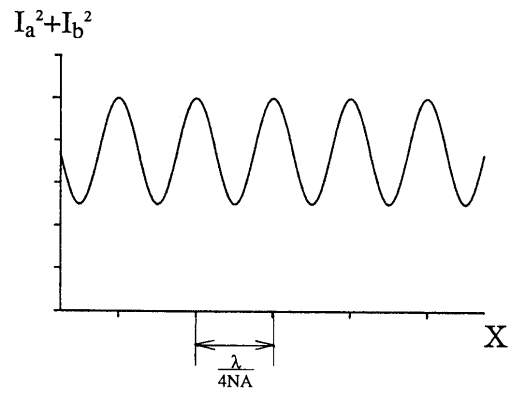
【図2】



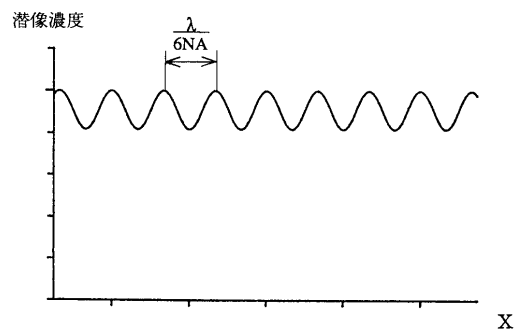
【 図 3 】



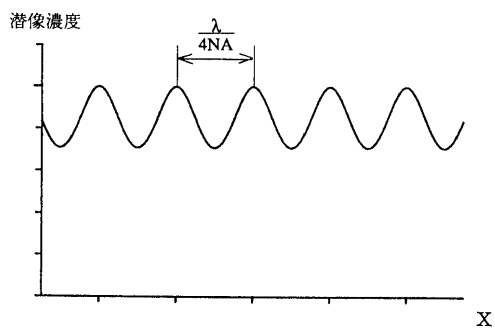
【 図 4 】



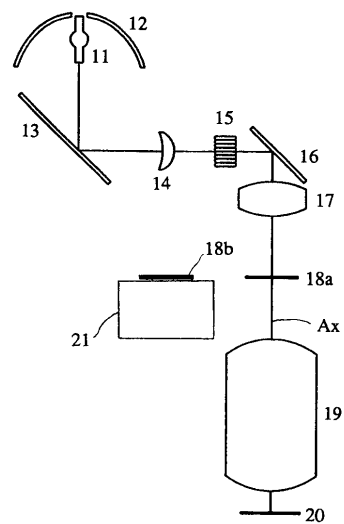
【 図 5 】



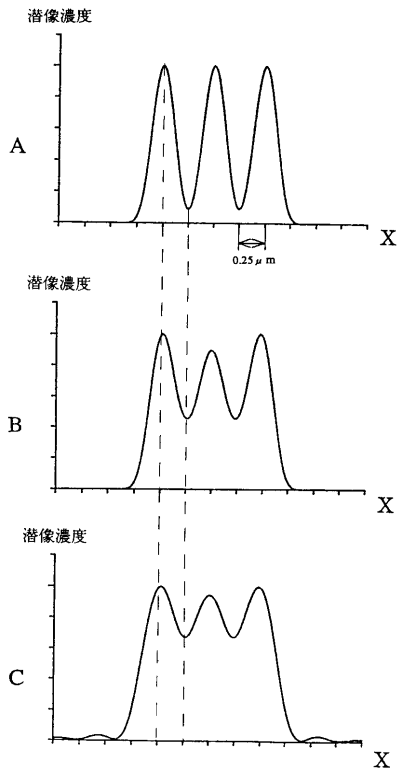
【 図 6 】



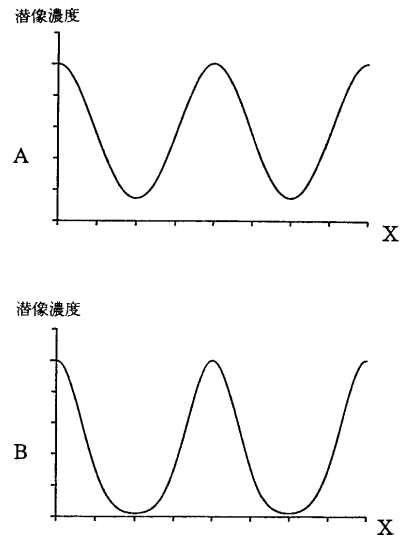
【 図 7 】



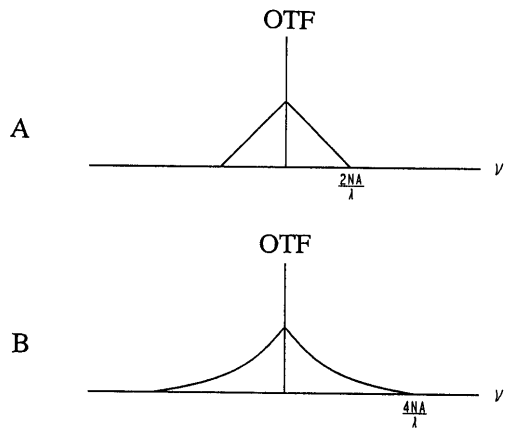
【 図 8 】



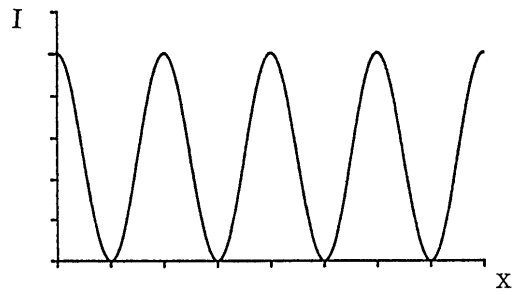
【 図 9 】



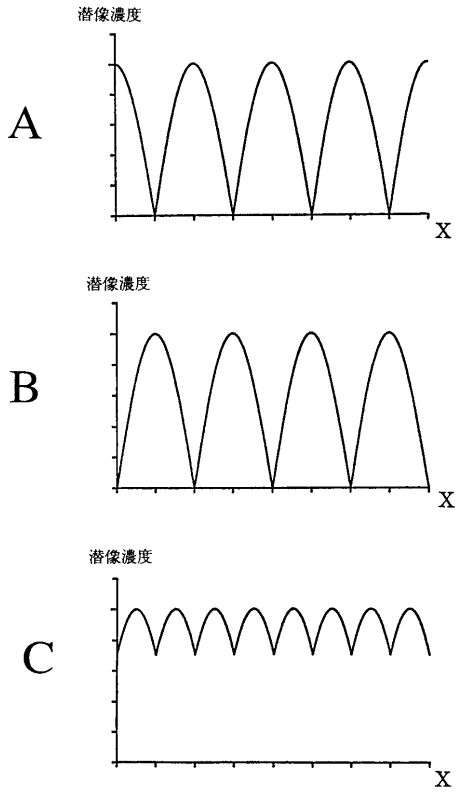
【 図 1 0 】



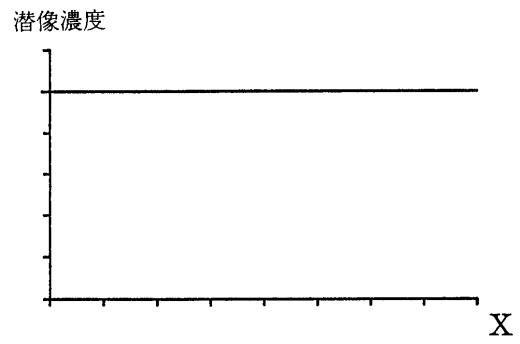
【 図 1 1 】



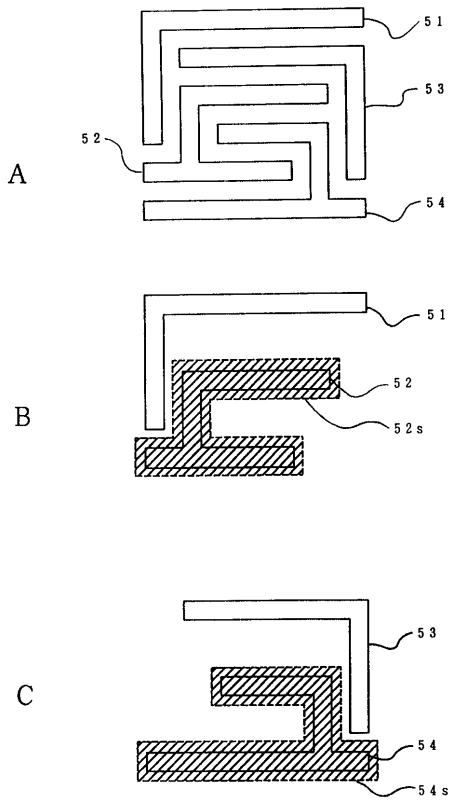
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



フロントページの続き

合議体

審判長 末政 清滋

審判官 辻 徹二

審判官 瀬川 勝久

(56)参考文献 特開平4 - 206813 (JP, A)
特開昭63 - 232318 (JP, A)