

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5023589号  
(P5023589)

(45) 発行日 平成24年9月12日(2012.9.12)

(24) 登録日 平成24年6月29日(2012.6.29)

(51) Int.Cl. F I  
**GO3F 1/68 (2012.01)** GO3F 1/08 A  
**HO1L 21/027 (2006.01)** HO1L 21/30 502P

請求項の数 33 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2006-199430 (P2006-199430)	(73) 特許権者	000002897
(22) 出願日	平成18年7月21日 (2006.7.21)		大日本印刷株式会社
(65) 公開番号	特開2008-26627 (P2008-26627A)		東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号
(43) 公開日	平成20年2月7日 (2008.2.7)	(74) 代理人	100111659
審査請求日	平成21年5月25日 (2009.5.25)		弁理士 金山 聡
		(74) 代理人	100135954
			弁理士 深町 圭子
		(74) 代理人	100119057
			弁理士 伊藤 英生
		(74) 代理人	100122529
			弁理士 藤枿 裕実
		(74) 代理人	100131369
			弁理士 後藤 直樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フォトマスクおよび該フォトマスクの設計方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

A r F エキシマレーザを露光光源とし、高NAレンズで四重極偏光照明により液浸露光するフォトリソグラフィに用いられるフォトマスクにおいて、該フォトマスクが透明基板上に遮光膜または半透明膜よりなるマスクパターンを有するフォトマスクであって、

前記高NAレンズの開口数が1以上であり、前記フォトマスクが、ハーフピッチ60nm以下の半導体デバイス用のマスクパターンを有し、

前記遮光膜または半透明膜の膜厚を  $t$  nm、屈折率を  $n$ 、消衰係数を  $k$ 、前記マスクパターンのスペース部のバイアスを  $d$  nmとしたとき、 $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  を調整し、前記フォトマスクを前記フォトリソグラフィに用いたときの光学像のコントラストが  $0.58$  を超える値であることを特徴とするフォトマスク。

10

【請求項2】

請求項1に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $0 < t < 20$ 、 $-100 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 0.9$ 、 $2.8 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項3】

請求項1に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $20 < t < 40$ 、 $-100 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $1.6 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項4】

20

請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $40 < t \leq 60$ 、 $-100 \leq d < 0$ 、 $0.5 \leq n \leq 2.9$ 、 $1.0 < k \leq 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 5】

請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $60 < t \leq 80$ 、 $-100 \leq d < -50$ 、 $0.5 \leq n \leq 2.9$ 、 $0.6 < k \leq 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 6】

請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $80 < t \leq 160$ 、 $-100 \leq d < -50$ 、 $0.5 \leq n \leq 2.9$ 、 $0.4 < k \leq 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

10

【請求項 7】

請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $160 < t \leq 200$ 、 $-100 \leq d < -50$ 、 $0.5 \leq n \leq 2.9$ 、 $0.2 < k \leq 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 8】

請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $60 < t \leq 120$ 、 $-50 \leq d < 0$ 、 $0.5 \leq n \leq 2.9$ 、 $0.4 < k \leq 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 9】

請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $120 < t \leq 160$ 、 $-50 \leq d < 50$ 、 $0.5 \leq n \leq 2.9$ 、 $0.2 < k \leq 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

20

【請求項 10】

請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $160 < t \leq 200$ 、 $-50 \leq d < 50$ 、 $0.5 \leq n \leq 2.9$ 、 $0.0 < k \leq 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 11】

請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $40 < t \leq 60$ 、 $0 \leq d < 50$ 、 $0.5 \leq n < 1.3$ 、 $2.2 < k \leq 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

30

【請求項 12】

請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $60 < t \leq 80$ 、 $0 \leq d < 50$ 、 $0.5 \leq n < 2.5$ 、 $0.4 < k \leq 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 13】

請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $80 < t \leq 120$ 、 $0 \leq d < 50$ 、 $0.5 \leq n \leq 2.9$ 、 $0.4 < k \leq 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 14】

請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $140 < t \leq 160$ 、 $50 \leq d < 100$ 、 $0.5 \leq n < 0.7$ 、 $2.2 < k < 2.8$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

40

【請求項 15】

請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $160 < t \leq 180$ 、 $50 \leq d < 100$ 、 $0.5 \leq n < 1.5$ 、 $1.2 < k < 2.8$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 16】

請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $180 < t \leq 200$ 、 $50 \leq d < 100$ 、 $0.5 \leq n < 2.1$ 、 $0.0 < k < 2.8$  の範囲であることを

50

特徴とするフォトマスク。

【請求項 17】

請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記フォトマスクが位相シフト効果を使わない場合であって、

前記遮光膜または半透明膜の膜厚を  $t$  nm、屈折率を  $n$ 、消衰係数を  $k$ 、前記マスクパターンのスペース部のバイアスを  $d$  nm としたとき、 $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  を調整し、前記フォトマスクを前記フォトリソグラフィに用いたときの光学像のコントラストが  $0.612$  を超える値であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 18】

請求項 17 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $20 < t < 40$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 1.9$ 、 $1.8 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

10

【請求項 19】

請求項 17 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $40 < t < 60$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 2.3$ 、 $1.0 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 20】

請求項 17 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $60 < t < 80$ 、 $-100 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.6 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

20

【請求項 21】

請求項 17 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $80 < t < 100$ 、 $-100 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.4 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 22】

請求項 17 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $100 < t < 120$ 、 $-100 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.7$ 、 $0.4 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 23】

請求項 17 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $120 < t < 140$ 、 $-100 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.4 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

30

【請求項 24】

請求項 17 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $140 < t < 180$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.4 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 25】

請求項 17 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $180 < t < 200$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.2 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

40

【請求項 26】

請求項 17 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $20 < t < 40$ 、 $-50 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 1.1$ 、 $1.8 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 27】

請求項 17 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $40 < t < 60$ 、 $-50 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.3$ 、 $1.2 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 28】

請求項 17 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $140 < t$

50

200、-50  $d < 50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.2 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項29】

請求項17に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $60 < t < 80$ 、 $0 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 1.1$ 、 $2.2 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項30】

請求項17に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $80 < t < 100$ 、 $0 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 1.7$ 、 $0.8 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

10

【請求項31】

請求項17に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $100 < t < 120$ 、 $0 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 2.3$ 、 $0.6 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項32】

請求項17に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $180 < t < 200$ 、 $50 < d < 100$ 、 $0.5 < n < 1.3$ 、 $1.2 < k < 2.6$ の範囲であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項33】

ArFエキシマレーザを露光光源とし、高NAレンズで四重極偏光照明により液浸露光するフォトリソグラフィに用いられるフォトマスクの設計方法において、

20

該フォトマスクが透明基板上に遮光膜または半透明膜よりなるマスクパターンを有するフォトマスクであって、

前記高NAレンズの開口数が1以上であり、前記フォトマスクが、ハーフピッチ60nm以下の半導体デバイス用のマスクパターンを有し、

前記遮光膜または半透明膜の膜厚を  $t$  nm、屈折率を  $n$ 、消衰係数を  $k$ 、前記マスクパターンのスペース部のバイアスを  $d$  nmとしたとき、 $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  を調整し、前記フォトマスクを前記フォトリソグラフィに用いたときの光学像のコントラストが  $0.580$  を超える値とすることを特徴とするフォトマスクの設計方法。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体素子のパターン形成に用いられるフォトリソグラフィ技術、特に、高NA露光装置を使用し、露光波長とほぼ同程度のサイズのマスクパターンをウェハ上に縮小転写するウェハ上のハーフピッチ（本明細書において、ハーフピッチは全てウェハ上の寸法にて表記する。）60nm以下の最先端のフォトリソグラフィ技術に用いられるフォトマスクに関する。

【背景技術】

【0002】

ハーフピッチ65nmから45nmへと進展する半導体素子の高集積化・超微細化を実現するために、フォトリソグラフィにおいては、露光装置での高解像技術として、投影レンズの開口数を高くした高NA化技術、投影レンズと露光対象の間に高屈折率媒体を介在させて露光を行なう液浸露光技術、変形照明搭載露光技術などの開発が急速に進められている。

40

一方、フォトリソグラフィに用いられるフォトマスク（レチクルとも称する。）における解像度向上策としては、光を通過させる部分と遮光する部分で構成された従来のバイナリマスクの微細化、高精度化とともに、光の干渉を利用した位相シフト効果により解像度向上を図るレベンソン型（渋谷・レベンソン型とも称する。）位相シフトマスク、光を透過させる部分と半透過させる部分で構成されたハーフトーン型位相シフトマスク、クロムなどの遮光層を設けないクロムレス型位相シフトマスクなどの位相シフトマスクの開発、

50

実用化が進行している。

【 0 0 0 3 】

フォトリソグラフィ技術においては、投影露光装置で転写できる最小の寸法（解像度）は、露光に用いる光の波長に比例し、投影光学系のレンズの開口数（NA）に反比例するため、半導体素子の微細化への要求に伴い、露光光の短波長化及び投影光学系の高NA化が進んでいるが、短波長化及び高NA化だけでこの要求を満足するには限界となっている。

【 0 0 0 4 】

そこで解像度を上げるために、プロセス定数 $k_1$ （ $k_1 = \text{解像線幅} \times \text{投影光学系の開口数} / \text{露光光の波長}$ ）の値を小さくすることによって微細化を図る超解像技術が近年提案されている。このような超解像技術として、露光光学系の特性に応じてマスクパターンに補助パターンや線幅オフセットを与えてマスクパターンを最適化する方法、あるいは変形照明法（斜入射照明法とも称する。）と呼ばれる方法等がある。変形照明法には、通常、瞳フィルタを用いた輪帯照明、二重極（二極、2点、またはダイポールとも称する。）照明および四重極（四極、4点またはクォードラポールとも称する。）照明等が用いられている。

【 0 0 0 5 】

また、フォトマスクを使用してパターンを転写するフォトリソグラフィ技術においては、パターンをウェハ上に良好に結像するための所定の偏光状態があることも知られている。

【 0 0 0 6 】

上記のように、ハーフピッチ60nm以下のフォトリソグラフィでは、ArFエキシマレーザを露光光源とし、高NAレンズで液浸露光するフォトリソグラフィ技術が有望視されているが、同じプロセス定数 $k_1$ であっても、高NA光学系による「ベクトル効果」と呼ばれる偏光依存性が顕著になる問題のために、結像性能が劣化してウェハ上のフォトレジスト内（以下、レジスト内と記す）での光学像のコントラストが低下してしまい、ウェハ上のフォトレジストの微細パターンが解像しないという問題が生じている（例えば、特許文献1参照。）。

【 0 0 0 7 】

例えば、従来のバイナリマスクやハーフトーン型位相シフトマスクの光学像のコントラストとマスクパターンのスペース部の補正值であるバイアス（後段で説明する）との関係を図13に示す。図13に示されるように、光学像のコントラストは、従来のハーフトーン型位相シフトマスク（破線HTで示す。）では最大0.580の値であり、従来のバイナリマスク（実線BIMで示す。）では最大0.612の値であった。

【 0 0 0 8 】

上記の高NA化によるレジスト内での光学像のコントラスト低下の問題に対処するために、フォトマスクにおいては、フォトマスク材料やフォトマスク・パターン（以後、マスクパターンと記す）の断面形状などの立体構造を変更する方法などが考えられている。

しかしながら、ハーフピッチ60nm以下のフォトリソグラフィにおいては、レジスト内での光学像のコントラストに関係する種々のパラメータが複雑に関係し、また超微細パターンゆえに実験での実証も困難であり、コントラスト向上効果が大きいフォトマスクのパラメータおよびそれに基づくフォトマスク構造を容易に見出すことができないという問題がある。

【特許文献1】特開2004-111678号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 9 】

本発明は、上記の問題点に鑑みてなされたものである。すなわち、ハーフピッチ60nm以下のフォトリソグラフィにおいて、フォトマスクの持つ結像性能を向上させ、光学像のコントラストが向上した良好な微細画像をウェハ上に形成するために好適なフォトマス

10

20

30

40

50

クを提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明者は、本発明のフォトマスクが対象とするハーフピッチ60nm以下のフォトリソグラフィでは、例えば、四重極照明のそれぞれの開口部からの照明光について、投影光学系の瞳を通過してウェハに到達するフォトマスクの回折光強度のバランスを最適化することで、コントラストが高い光学像をウェハ上に得ることができるものと考え、フォトマスクとして実現可能な範囲において、透明基板上に遮光膜または半透明膜よりなるマスクパターンを有するフォトマスクにおいて、遮光膜または半透明膜の膜厚、屈折率、消衰係数およびマスクパターンのスペース部のバイアスを変化させ、光学像のコントラストが

10

【0011】

上記の課題を解決するために、請求項1の発明に係るフォトマスクは、ArFエキシマレーザを露光光源とし、高NAレンズで四重極偏光照明により液浸露光するフォトリソグラフィに用いられるフォトマスクにおいて、該フォトマスクが透明基板上に遮光膜または半透明膜よりなるマスクパターンを有するフォトマスクであって、前記高NAレンズの開口数が1以上であり、前記フォトマスクが、ハーフピッチ60nm以下の半導体デバイス用のマスクパターンを有し、前記遮光膜または半透明膜の膜厚をt nm、屈折率をn、消衰係数をk、前記マスクパターンのスペース部のバイアスをd nmとしたとき、t、d、nおよびkを調整し、前記フォトマスクを前記フォトリソグラフィに用いたときの光学像

20

【0012】

請求項2の発明に係るフォトマスクは、請求項1に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $0 < t < 20$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 0.9$ 、 $2.8 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

【0013】

請求項3の発明に係るフォトマスクは、請求項1に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $20 < t < 40$ 、 $-100 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $1.6 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

【0014】

請求項4の発明に係るフォトマスクは、請求項1に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $40 < t < 60$ 、 $-100 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $1.0 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

30

【0015】

請求項5の発明に係るフォトマスクは、請求項1に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $60 < t < 80$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.6 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

【0016】

請求項6の発明に係るフォトマスクは、請求項1に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $80 < t < 160$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.4 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

40

【0017】

請求項7の発明に係るフォトマスクは、請求項1に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $160 < t < 200$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.2 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

【0018】

請求項8の発明に係るフォトマスクは、請求項1に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $60 < t < 120$ 、 $-50 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.4 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

【0019】

50

請求項 9 の発明に係るフォトマスクは、請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $120 < t < 160$ 、 $-50 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.2 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするものである。

【0020】

請求項 10 の発明に係るフォトマスクは、請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $160 < t < 200$ 、 $-50 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.0 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするものである。

【0021】

請求項 11 の発明に係るフォトマスクは、請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $40 < t < 60$ 、 $0 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 1.3$ 、 $2.2 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするものである。

10

【0022】

請求項 12 の発明に係るフォトマスクは、請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $60 < t < 80$ 、 $0 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 2.5$ 、 $0.4 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするものである。

【0023】

請求項 13 の発明に係るフォトマスクは、請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $80 < t < 120$ 、 $0 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.4 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするものである。

【0024】

20

請求項 14 の発明に係るフォトマスクは、請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $140 < t < 160$ 、 $50 < d < 100$ 、 $0.5 < n < 0.7$ 、 $2.2 < k < 2.8$  の範囲であることを特徴とするものである。

【0025】

請求項 15 の発明に係るフォトマスクは、請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $160 < t < 180$ 、 $50 < d < 100$ 、 $0.5 < n < 1.5$ 、 $1.2 < k < 2.8$  の範囲であることを特徴とするものである。

【0026】

請求項 16 の発明に係るフォトマスクは、請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $180 < t < 200$ 、 $50 < d < 100$ 、 $0.5 < n < 2.1$ 、 $0.0 < k < 2.8$  の範囲であることを特徴とするものである。

30

【0027】

請求項 17 の発明に係るフォトマスクは、請求項 1 に記載のフォトマスクにおいて、前記フォトマスクが位相シフト効果を使わない場合であって、前記遮光膜または半透明膜の膜厚を  $t$  nm、屈折率を  $n$ 、消衰係数を  $k$ 、前記マスクパターンのスペース部のバイアスを  $d$  nm としたとき、 $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  を調整し、前記フォトマスクを前記フォトリソグラフィに用いたときの光学像のコントラストが  $0.612$  を超える値であることを特徴とするものである。

【0028】

請求項 18 の発明に係るフォトマスクは、請求項 17 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $20 < t < 40$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 1.9$ 、 $1.8 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするものである。

40

【0029】

請求項 19 の発明に係るフォトマスクは、請求項 17 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $40 < t < 60$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 2.3$ 、 $1.0 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするものである。

【0030】

請求項 20 の発明に係るフォトマスクは、請求項 17 に記載のフォトマスクにおいて、前記  $t$ 、 $d$ 、 $n$  および  $k$  が、 $60 < t < 80$ 、 $-100 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.6 < k < 3.0$  の範囲であることを特徴とするものである。

50

## 【0031】

請求項21の発明に係るフォトマスクは、請求項17に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $80 < t < 100$ 、 $-100 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.4 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

## 【0032】

請求項22の発明に係るフォトマスクは、請求項17に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $100 < t < 120$ 、 $-100 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.7$ 、 $0.4 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

## 【0033】

請求項23の発明に係るフォトマスクは、請求項17に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $120 < t < 140$ 、 $-100 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.4 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

10

## 【0034】

請求項24の発明に係るフォトマスクは、請求項17に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $140 < t < 180$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.4 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

## 【0035】

請求項25の発明に係るフォトマスクは、請求項17に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $180 < t < 200$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.2 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

20

## 【0036】

請求項26の発明に係るフォトマスクは、請求項17に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $20 < t < 40$ 、 $-50 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 1.1$ 、 $1.8 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

## 【0037】

請求項27の発明に係るフォトマスクは、請求項17に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $40 < t < 60$ 、 $-50 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.3$ 、 $1.2 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

## 【0038】

請求項28の発明に係るフォトマスクは、請求項17に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $140 < t < 200$ 、 $-50 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.2 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

30

## 【0039】

請求項29の発明に係るフォトマスクは、請求項17に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $60 < t < 80$ 、 $0 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 1.1$ 、 $2.2 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

## 【0040】

請求項30の発明に係るフォトマスクは、請求項17に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $80 < t < 100$ 、 $0 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 1.7$ 、 $0.8 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

40

## 【0041】

請求項31の発明に係るフォトマスクは、請求項17に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $100 < t < 120$ 、 $0 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 2.3$ 、 $0.6 < k < 3.0$ の範囲であることを特徴とするものである。

## 【0042】

請求項32の発明に係るフォトマスクは、請求項17に記載のフォトマスクにおいて、前記t、d、nおよびkが、 $180 < t < 200$ 、 $50 < d < 100$ 、 $0.5 < n < 1.3$ 、 $1.2 < k < 2.6$ の範囲であることを特徴とするものである。

## 【0043】

請求項33の発明に係るフォトマスクの設計方法は、A r F エキシマレーザを露光光源

50



とし、高NAレンズで四重極偏光照明により液浸露光するフォトリソグラフィに用いられるフォトマスクの設計方法において、該フォトマスクが透明基板上に遮光膜または半透明膜よりなるマスクパターンを有するフォトマスクであって、前記高NAレンズの開口数が1以上であり、前記フォトマスクが、ハーフピッチ60nm以下の半導体デバイス用のマスクパターンを有し、前記遮光膜または半透明膜の膜厚を $t$ nm、屈折率を $n$ 、消衰係数を $k$ 、前記マスクパターンのスペース部のバイアスを $d$ nmとしたとき、 $t$ 、 $d$ 、 $n$ および $k$ を調整し、前記フォトマスクを前記フォトリソグラフィに用いたときの光学像のコントラストが0.580を超える値とすることを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0045】

本発明のフォトマスクは、ArFエキシマレーザを露光光源とし、高NAレンズで四重極偏光照明により液浸露光するハーフピッチ60nm以下のフォトリソグラフィにおいて、フォトマスクの持つ結像性能を向上させ、レジスト内での光学像のコントラストが向上した良好な微細画像をウェハ上に形成することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0046】

以下、本発明を実施するための最良の形態について、図面を参照しながら説明する。

図1は、本発明のフォトマスクの一例を示す断面模式図である。図1に示すように、本発明のフォトマスクは、透明基板11上に遮光膜または半透明膜よりなるマスクパターン12を有するフォトマスクであって、ArFエキシマレーザを露光光源とし、高NAレンズで四重極偏光照明により液浸露光するフォトリソグラフィに用いられ、レジスト内での光学像のコントラストが少なくとも0.580を超える値を示すフォトマスクである。

【0047】

本発明においては、フォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚と、屈折率と、消衰係数と、さらにマスクパターンのスペース部のバイアスを最適化することにより、フォトマスクの有する結像性能を高め、レジスト内での光学像のコントラストの向上を図るものである。そのために、露光における照明条件と評価条件を設定し、三次元リソグラフィシミュレーションを使用してフォトマスクの最良の形態を求めた。

【0048】

次に、本発明で用いるバイアスについて、図1を例にして定義する。透明基板11上の遮光膜または半透明膜からなるマスクパターン12のスペース部 $x$ の寸法の補正值であるバイアス $d$ nmは、下記のように定義する。

$$\text{バイアス}(d) = 2 \times a$$

図1において、マスクは4倍体のレチクルであるので、 $x$ はハーフピッチの4倍の数値を示す。図1において、バイアス $d$ の値が+の場合は $x$ が広がる方向であり、 $d$ の値が-の場合は $x$ が狭くなる方向を意味する。

【0049】

本発明のフォトマスクのマスクパターンの寸法として、ハーフピッチ65nm前後の半導体デバイス用のマスクパターンを用いた場合には、投影レンズにNAが1未満のNAの小さいレンズを用いて露光を行うことが可能なので、高NAレンズによる露光を対象にした本発明のフォトマスクの影響度合いは小さく、本発明によるフォトマスクと従来技術によるフォトマスクとの差は顕著ではないと考えられる。したがって、本発明は高NAレンズによる露光が必要なハーフピッチ45nmを含めて、ハーフピッチ60nm以下の半導体デバイス用のマスクパターンを有するフォトマスクに適用するのが好ましい。

【0050】

(リソグラフィ条件)

フォトマスクの照明条件として、本発明では、ハーフピッチ60nm以下のフォトリソグラフィにおいて、露光波長193nmのArFエキシマレーザを用い、投影レンズの開口数(NA)を1.3とし、純水を用いた液浸露光を用いた。ただし、実施形態の一例としてNA=1.3の高NAレンズを用いた場合について説明するが、本発明のフォトマス

10

20

30

40

50

クにおいては、NAが1以上の高NAレンズであれば $NA = 1.3$ と同様にコントラスト向上効果が得られるものであり、例えば高屈折率液体を用いた液浸露光においてもコントラスト向上効果が得られる。

#### 【0051】

本発明のフォトマスクを用いる場合、照明系としては、図2に示すような四重極方位角(Azimuthal)偏光照明を設定した。図2に四重極照明に用いた瞳フィルタの上面模式図を示す。図2に示すように、四重極瞳フィルタは4つの透光部21を備え、4つの透光部21は、瞳フィルタの中心から所定の等距離に瞳フィルタの直径上に対称の扇形状をなし、縦・横のマスクパターンを高解像で転写し得るように、マスクパターンに対し透光部21が0度、90度の配置をとり、この4つの透光部21以外の箇所は遮光部22(斜線部分)としている。

10

図2では、一例として四重極瞳フィルタの寸法を記載しており、瞳径を1とした時に開口部の外径0.95、内径0.7、角度:20°の扇形状の瞳を示すが、もとより本発明はこれらの寸法に限定されるわけではない。

#### 【0052】

図2に示すような、四重極照明を用いたのは、四重極照明は、縦・横のパターンが同時に解像でき、二重極照明に比べて普遍性が高く一般的なマスクパターン転写に適用できるからである。また、図2に示すように、ある点での電場の振幅方向が瞳の中心と結ぶ線分と90°の方向にある、方位角(Azimuthal)偏光照明とし、解像力の向上を図っている。

20

図2では、四重極瞳の4つの透光部21は扇型の形状をしているが、他の形状、例えば、円形、矩形、楕円形等とすることもできる。

#### 【0053】

(評価方法)

フォトマスクの評価方法として、本発明においては、上記のフォトリソグラフィにおけるマスクパターンの転写特性を見積もるために、シミュレーション・ソフトウェアとしてEM-Suite(商品名:Panoramic Technology社製)を用いた。また、フォトマスクの三次元電磁界シミュレーションにはTEMPESTpr2(EM-Suiteオプション)によるFDTD法(時間領域差分法、有限差分時間領域法とも称する。)で、Non-constant scattering coefficientモデルを用いた。マスク中の電磁場解析のシミュレーショングリッドは、マスク寸法上でマスクの厚さ方向に2.5nm、パターン繰り返し方向に3.0nmとし、解像性能評価にはAerial in Resistモデルを使用し、レジスト内での光学像のコントラストを求めた。また、レジストの屈折率は1.72とした。FDTD法は、Maxwell方程式を時間と空間について差分化し、その差分方程式を領域内の電磁場が安定するまで、磁界と電界について交互に計算する方法で、高精度で、フォトマスク構造による影響などの各種現象の再現が可能な方法である。

30

#### 【0054】

本発明においては、上記のシミュレーションを用いることにより、従来のフォトマスクを用いた場合のレジスト内での光学像のコントラストの最大値を超える値を得ることが可能な新しいフォトマスク構造を求めた。フォトマスク構造としては、コントラストに大きな影響を与える要素として、遮光膜または半透明膜の膜厚、屈折率と消衰係数、スペース部のバイアスを設定し、光学像のコントラストが0.580を超える値の範囲を求める。

40

#### 【0055】

(第1の実施形態)

本発明の第1の実施形態のフォトマスクは、ArFエキシマレーザを露光光源とし、高NAレンズで四重極偏光照明により液浸露光するフォトリソグラフィに用いられるフォトマスクにおいて、上記のフォトマスクが透明基板上に遮光膜または半透明膜よりなるマスクパターンを有し、上記のフォトリソグラフィにおいて位相シフト効果の使用の有無に係らない場合であって、レジスト内での光学像のコントラストが0.580を超えるフォト

50

マスクである。

【0056】

本発明の第1の実施形態におけるフォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚  $t$  nmと、屈折率  $n$  および消衰係数  $k$  と、マスクパターンのスペース部のバイアス  $d$  nmと、フォトマスクを用いたリソグラフィにおける光学像のコントラストとの関係を図3～図12に示す。

図3～図12において、横軸は遮光膜または半透明膜の屈折率、縦軸は消衰係数を示し、各図の等高線はフォトマスクを用いたリソグラフィにおけるレジスト内での光学像のコントラスト（以後、 $c$ とも記す。）を示す。図3～図12において、コントラスト  $c$  は、0.580以下の範囲と、0.580を超えて0.612以下の範囲と、0.612を超えた範囲に分類してある。また、図3～図12において、(A)、(B)、(C)および(D)は、それぞれの膜厚におけるマスクパターンのスペース部のバイアス  $d$  であり、(A)は  $d = -100$  nm、(B)は  $d = -50$  nm、(C)は  $d = 0$  nm、(D)は  $d = 50$  nmの場合を例示している。

【0057】

以下、フォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚  $t$  を  $20$  nm～ $200$  nmまで  $20$  nmごとに増加させ、バイアスを変えた場合、レジスト内での光学像のコントラストが  $0.580$  を超えるフォトマスクの条件について説明する。

【0058】

(実施例1)

図3(A)は、フォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が  $20$  nm、マスクパターンのスペース部のバイアスが  $-100$  nmの場合の例を示し、遮光膜または半透明膜の屈折率  $n$  を  $0.5 < n < 0.9$ 、消衰係数  $k$  を  $2.8 < k < 3.0$  の範囲にとったフォトマスクを用いることにより、コントラストが  $0.594 \sim 0.606$  の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが  $0.580$  を超えるフォトマスクの条件として、 $0 < t < 20$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 0.9$ 、 $2.8 < k < 3.0$  の範囲を得た。

【0059】

(実施例2)

図4(A)および図4(B)は、フォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が  $40$  nm、マスクパターンのスペース部のバイアスが  $-100$  nmおよび  $-50$  nmの場合の例を示す。図4(A)、図4(B)および図3(A)から、遮光膜または半透明膜の屈折率  $n$  を  $0.5 < n < 2.9$ 、消衰係数  $k$  を  $1.6 < k < 3.0$  の範囲にとったフォトマスクを用いることにより、コントラストが  $0.581 \sim 0.860$  の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが  $0.580$  を超えるフォトマスクの条件として、 $20 < t < 40$ 、 $-100 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $1.6 < k < 3.0$  の範囲を得た。

【0060】

(実施例3)

図5(A)、図5(B)および図5(C)は、フォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が  $60$  nm、マスクパターンのスペース部のバイアスが  $-100$  nm、 $-50$  nmおよび  $0$  の場合の例を示す。図5(A)、図5(B)、図5(C)および図4(A)、図4(B)から、遮光膜または半透明膜の屈折率  $n$  を  $0.5 < n < 2.9$ 、消衰係数  $k$  を  $1.0 < k < 3.0$  の範囲にとったフォトマスクを用いることにより、コントラストが  $0.581 \sim 0.882$  の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが  $0.580$  を超えるフォトマスクの条件として、 $40 < t < 60$ 、 $-100 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $1.0 < k < 3.0$  の範囲を得た。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 1 】

(実施例 4)

図 6 ( A ) および図 6 ( B ) は、フォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が 8 0 n m、マスクパターンのスペース部のバイアスが - 1 0 0 n m および - 5 0 n m の場合の例を示す。図 6 ( A )、図 6 ( B ) および図 5 ( A )、図 5 ( B ) から、遮光膜または半透明膜の屈折率  $n$  を  $0.5 < n < 2.9$ 、消衰係数  $k$  を  $0.6 < k < 3.0$  の範囲にとったフォトマスクを用いることにより、コントラストが  $0.581 \sim 0.831$  の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが  $0.580$  を超えるフォトマスクの条件として、 $60 < t < 80$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.6 < k < 3.0$  の範囲を得た。

10

## 【 0 0 6 2 】

(実施例 5)

図 7 ( A )、図 8 ( A )、図 9 ( A )、図 1 0 ( A )、および図 7 ( B )、図 8 ( B )、図 9 ( B )、図 1 0 ( B ) は、フォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が 1 0 0 n m、1 2 0 n m、1 4 0 n m、1 6 0 n m の場合において、それぞれの膜厚でのマスクパターンのスペース部のバイアスが - 1 0 0 n m および - 5 0 n m の場合の例を示す。図 7 ( A )、図 8 ( A )、図 9 ( A )、図 1 0 ( A )、図 7 ( B )、図 8 ( B )、図 9 ( B )、図 1 0 ( B ) および図 6 ( A )、( B ) から、遮光膜または半透明膜の屈折率  $n$  を  $0.5 < n < 2.9$ 、消衰係数  $k$  を  $0.4 < k < 3.0$  の範囲にとったフォトマスクを用いることにより、コントラストが  $0.581 \sim 0.975$  の範囲の光学像が得られることが示された。

20

本実施例においては、コントラストが  $0.580$  を超えるフォトマスクの条件として、 $80 < t < 160$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.4 < k < 3.0$  の範囲を得た。

## 【 0 0 6 3 】

(実施例 6)

図 1 1 ( A )、図 1 2 ( A )、および図 1 1 ( B )、図 1 2 ( B ) は、フォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が 1 8 0 n m、2 0 0 n m の場合において、それぞれの膜厚でのマスクパターンのスペース部のバイアスが - 1 0 0 n m および - 5 0 n m の場合の例を示す。図 1 1 ( A )、図 1 1 ( B )、図 1 2 ( A )、図 1 2 ( B ) および図 1 0 ( A )、図 1 0 ( B ) から、遮光膜または半透明膜の屈折率  $n$  を  $0.5 < n < 2.9$ 、消衰係数  $k$  を  $0.2 < k < 3.0$  の範囲にとったフォトマスクを用いることにより、コントラストが  $0.581 \sim 0.987$  の範囲の光学像が得られることが示された。

30

本実施例においては、コントラストが  $0.580$  を超えるフォトマスクの条件として、 $160 < t < 200$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.2 < k < 3.0$  の範囲を得た。

## 【 0 0 6 4 】

(実施例 7)

図 6 ( C )、図 7 ( C )、図 8 ( C ) は、フォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が 8 0 n m、1 0 0 n m、1 2 0 n m の場合において、マスクパターンのスペース部のバイアスが 0 の場合の例を示す。図 6 ( B )、図 7 ( B )、図 8 ( B ) および図 5 ( B )、図 5 ( C )、図 6 ( C )、図 7 ( C )、図 8 ( C ) から、遮光膜または半透明膜の屈折率  $n$  を  $0.5 < n < 2.9$ 、消衰係数  $k$  を  $0.4 < k < 3.0$  の範囲にとったフォトマスクを用いることにより、コントラストが  $0.581 \sim 0.873$  の範囲の光学像が得られることが示された。

40

本実施例においては、コントラストが  $0.580$  を超えるフォトマスクの条件として、 $60 < t < 120$ 、 $-50 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.4 < k < 3.0$  の範囲を得た。

## 【 0 0 6 5 】

50

## (実施例 8)

図 9 (C)、図 10 (C) および図 10 (D) は、フォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が 140 nm、160 nm の場合において、マスクパターンのスペース部のバイアスが 0 の場合およびフォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が 160 nm の場合において、マスクパターンのスペース部のバイアスが 50 の場合の例を示す。図 8 (B)、図 8 (C)、図 9 (B)、図 9 (C)、図 10 (B)、図 10 (C) および図 10 (D) から、遮光膜または半透明膜の屈折率  $n$  を  $0.5 < n < 2.9$ 、消衰係数  $k$  を  $0.2 < k < 3.0$  の範囲にとったフォトマスクを用いることにより、コントラストが  $0.581 \sim 0.941$  の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが 0.580 を超えるフォトマスクの条件として、 $120 < t < 160$ 、 $-50 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.2 < k < 3.0$  の範囲を得た。

## 【0066】

## (実施例 9)

図 11 (C)、図 12 (C) および図 11 (D)、図 12 (D) は、フォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が 180 nm、200 nm の場合において、それぞれの膜厚でのマスクパターンのスペース部のバイアスが 0 および 50 nm の場合の例を示す。図 10 (B)、図 10 (C)、図 11 (B)、図 11 (C)、図 12 (B) および図 12 (C) および図 10 (D)、図 11 (D)、図 12 (D) から、遮光膜または半透明膜の屈折率  $n$  を  $0.5 < n < 2.9$ 、消衰係数  $k$  を  $0.2 < k < 3.0$  の範囲にとったフォトマスクを用いることにより、コントラストが  $0.581 \sim 0.972$  の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが 0.580 を超えるフォトマスクの条件として、 $160 < t < 200$ 、 $-50 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.0 < k < 3.0$  の範囲を得た。

## 【0067】

## (実施例 10)

図 5 (C) から、遮光膜または半透明膜の屈折率  $n$  を  $0.5 < n < 1.3$ 、消衰係数  $k$  を  $2.2 < k < 3.0$  の範囲にとったフォトマスクを用いることにより、コントラストが  $0.581 \sim 0.607$  の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが 0.580 を超えるフォトマスクの条件として、 $40 < t < 60$ 、 $0 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 1.3$ 、 $2.2 < k < 3.0$  の範囲を得た。

## 【0068】

## (実施例 11)

図 6 (C) および図 5 (C) から、遮光膜または半透明膜の屈折率  $n$  を  $0.5 < n < 2.5$ 、消衰係数  $k$  を  $0.4 < k < 3.0$  の範囲にとったフォトマスクを用いることにより、コントラストが  $0.581 \sim 0.635$  の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが 0.580 を超えるフォトマスクの条件として、 $60 < t < 80$ 、 $0 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 2.5$ 、 $0.4 < k < 3.0$  の範囲を得た。

## 【0069】

## (実施例 12)

図 7 (C)、図 8 (C) および図 6 (C) から、遮光膜または半透明膜の屈折率  $n$  を  $0.5 < n < 2.9$ 、消衰係数  $k$  を  $0.4 < k < 3.0$  の範囲にとったフォトマスクを用いることにより、コントラストが  $0.581 \sim 0.716$  の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが 0.580 を超えるフォトマスクの条件として、 $80 < t < 120$ 、 $0 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.4 < k < 3.0$  の範囲を得た。

10

20

30

40

50

## 【0070】

(実施例13)

図10(D)から、遮光膜または半透明膜の屈折率 $n$ を $0.5 < n < 0.7$ 、消衰係数 $k$ を $2.2 < k < 2.8$ の範囲にとったフォトマスクを用いることにより、コントラストが $0.583 \sim 0.596$ の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが $0.580$ を超えるフォトマスクの条件として、 $140 < t < 160$ 、 $50 < d < 100$ 、 $0.5 < n < 0.7$ 、 $2.2 < k < 2.8$ の範囲を得た。

## 【0071】

(実施例14)

図11(D)および図10(D)から、遮光膜または半透明膜の屈折率 $n$ を $0.5 < n < 1.5$ 、消衰係数 $k$ を $1.2 < k < 2.8$ の範囲にとったフォトマスクを用いることにより、コントラストが $0.581 \sim 0.601$ の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが $0.580$ を超えるフォトマスクの条件として、 $160 < t < 180$ 、 $50 < d < 100$ 、 $0.5 < n < 1.5$ 、 $1.2 < k < 2.8$ の範囲を得た。

## 【0072】

(実施例15)

図12(D)および図11(D)から、遮光膜または半透明膜の屈折率 $n$ を $0.5 < n < 2.1$ 、消衰係数 $k$ を $0.0 < k < 2.8$ の範囲にとったフォトマスクを用いることにより、コントラストが $0.581 \sim 0.643$ の範囲の光学像が得られることが示された。

も考慮し、本実施例においては、コントラストが $0.580$ を超えるフォトマスクの条件として、 $180 < t < 200$ 、 $50 < d < 100$ 、 $0.5 < n < 2.1$ 、 $0.0 < k < 2.8$ の範囲を得た。

## 【0073】

(第2の実施形態)

本発明の第2の実施形態のフォトマスクは、ArFエキシマレーザを露光光源とし、高NAレンズで四重極偏光照明により液浸露光するフォトリソグラフィに用いられるフォトマスクにおいて、上記のフォトマスクが透明基板上に遮光膜または半透明膜よりなるマスクパターンを有し、上記のフォトリソグラフィにおいて位相シフト効果を使わない場合であって、レジスト内での光学像のコントラストが $0.612$ を超えるフォトマスクである。

## 【0074】

本発明の第2の実施形態におけるフォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚 $t$  nmと、屈折率 $n$ および消衰係数 $k$ と、マスクパターンのスペース部のバイアス $d$  nmと、フォトマスクを用いたリソグラフィにおける光学像のコントラストとの関係を、第1の実施形態と同じく図3～図12に示す。

図3～図12において、横軸は遮光膜または半透明膜の屈折率、縦軸は消衰係数を示し、各図の等高線はフォトマスクを用いたリソグラフィにおけるレジスト内での光学像のコントラストを示す。図3～図12において、コントラスト $c$ は、 $0.580$ 以下の範囲と、 $0.580$ を超えて $0.612$ 以下の範囲と、 $0.612$ を超えた範囲に分類してある。また、図3～図12において、(A)、(B)、(C)および(D)は、それぞれの膜厚におけるマスクパターンのスペース部のバイアス $d$ であり、(A)は $d = -100$  nm、(B)は $d = -50$  nm、(C)は $d = 0$  nm、(D)は $d = 50$  nmの場合を例示している。

## 【0075】

以下、フォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚 $t$ を $20$  nm～ $200$  nmまで $20$  nmごとに増加させ、バイアスを変えた場合、レジスト内での光学像のコントラストが $0$

10

20

30

40

50

．612を超えるフォトマスクの条件について説明する。第1の実施形態と同じ図面を用いるので、同じ説明は省略する。

【0076】

(実施例16)

図4(A)、図4(B)および図3(A)から、コントラストが0.614~0.860の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが0.612を超えるフォトマスクの条件として、 $20 < t < 40$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 1.9$ 、 $1.8 < k < 3.0$ の範囲を得た。

【0077】

(実施例17)

図5(A)および図4(A)、図4(B)、図5(B)から、コントラストが0.613~0.882の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが0.612を超えるフォトマスクの条件として、 $40 < t < 60$ 、 $-100 < d < -50$ 、 $0.5 < n < 2.3$ 、 $1.0 < k < 3.0$ の範囲を得た。

【0078】

(実施例18)

図6(A)、図6(B)および図5(A)、図5(B)、図5(C)、図6(C)から、コントラストが0.613~0.831の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが0.612を超えるフォトマスクの条件として、 $60 < t < 80$ 、 $-100 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.6 < k < 3.0$ の範囲を得た。

【0079】

(実施例19)

図7(A)、図7(B)および図6(A)、図6(B)、図6(C)、図7(C)から、コントラストが0.613~0.881の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが0.612を超えるフォトマスクの条件として、 $80 < t < 100$ 、 $-100 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.4 < k < 3.0$ の範囲を得た。

【0080】

(実施例20)

図8(A)、図8(B)および図7(A)、図7(B)、図7(C)、図8(C)から、コントラストが0.613~0.937の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが0.612を超えるフォトマスクの条件として、 $100 < t < 120$ 、 $-100 < d < 0$ 、 $0.5 < n < 2.7$ 、 $0.4 < k < 3.0$ の範囲を得た。

【0081】

(実施例21)

図9(A)および図8(A)、図8(B)、図9(B)から、コントラストが0.613~0.961の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが0.612を超えるフォトマスクの条件として、 $120 < t < 140$ 、 $-100 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 2.9$ 、 $0.4 < k < 3.0$ の範囲を得た。

【0082】

(実施例22)

図10(A)、図11(A)および図9(A)、図9(B)、図10(B)、図11(B)から、コントラストが0.613~0.983の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが0.612を超えるフォトマスクの条件として、

10

20

30

40

50

$140 < t \leq 180$ 、 $-100 \leq d < -50$ 、 $0.5 \leq n \leq 2.9$ 、 $0.4 < k \leq 3.0$ の範囲を得た。

【0083】

(実施例23)

図12(A)および図11(A)、図11(B)、図12(B)から、コントラストが $0.614 \sim 0.987$ の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが $0.612$ を超えるフォトマスクの条件として、 $180 < t \leq 200$ 、 $-100 \leq d < -50$ 、 $0.5 \leq n \leq 2.9$ 、 $0.2 < k \leq 3.0$ の範囲を得た。

【0084】

(実施例24)

図4(B)から、コントラストが $0.614 \sim 0.685$ の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが $0.612$ を超えるフォトマスクの条件として、 $20 < t \leq 40$ 、 $-50 \leq d < 0$ 、 $0.5 \leq n < 1.1$ 、 $1.8 < k \leq 3.0$ の範囲を得た。

【0085】

(実施例25)

図5(B)および図4(B)、図5(C)から、コントラストが $0.613 \sim 0.769$ の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが $0.612$ を超えるフォトマスクの条件として、 $40 < t \leq 60$ 、 $-50 \leq d < 0$ 、 $0.5 \leq n < 2.3$ 、 $1.2 < k \leq 3.0$ の範囲を得た。

【0086】

(実施例26)

図10(B)、図10(C)、図11(B)、図11(C)、図12(B)、図12(C)および図9(B)、図9(C)、図10(D)、図11(D)、図12(D)から、コントラストが $0.613 \sim 0.972$ の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが $0.612$ を超えるフォトマスクの条件として、 $140 < t \leq 200$ 、 $-50 \leq d < 50$ 、 $0.5 \leq n \leq 2.9$ 、 $0.2 < k \leq 3.0$ の範囲を得た。

【0087】

(実施例27)

図6(C)および図5(C)から、コントラストが $0.613 \sim 0.635$ の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが $0.612$ を超えるフォトマスクの条件として、 $60 < t \leq 80$ 、 $0 \leq d < 50$ 、 $0.5 \leq n < 1.1$ 、 $2.2 < k \leq 3.0$ の範囲を得た。

【0088】

(実施例28)

図7(C)および図6(C)から、コントラストが $0.613 \sim 0.655$ の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが $0.612$ を超えるフォトマスクの条件として、 $80 < t \leq 100$ 、 $0 \leq d < 50$ 、 $0.5 \leq n < 1.7$ 、 $0.8 < k \leq 3.0$ の範囲を得た。

【0089】

(実施例29)

図8(C)および図7(C)から、コントラストが $0.613 \sim 0.716$ の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが $0.612$ を超えるフォトマスクの条件として、

10

20

30

40

50



$100 < t \leq 200$ 、 $0 < d < 50$ 、 $0.5 < n < 2.3$ 、 $0.6 < k < 3.0$ の範囲を得た。

【0090】

(実施例30)

図12(D)および図11(D)から、コントラストが $0.613 \sim 0.643$ の範囲の光学像が得られることが示された。

本実施例においては、コントラストが $0.612$ を超えるフォトマスクの条件として、 $180 < t \leq 200$ 、 $50 < d < 100$ 、 $0.5 < n < 1.3$ 、 $1.2 < k < 2.6$ の範囲を得た。

【0091】

上記の実施例1～実施例30に示すように、本発明のフォトマスクを用いることにより、レジストの光学像のコントラストは向上し、良好な微細画像をウェハ上に形成することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0092】

【図1】本発明のフォトマスクの一例を示す断面模式図である。

【図2】本発明で用いた四重極方位角(Azimuthal)偏光照明の瞳フィルタの上面模式図である。

【図3】本発明の実施形態におけるフォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が $20 \text{ nm}$ のとき、屈折率と消衰係数、マスクパターンのスペース部のバイアスを変えた場合、光学像のコントラストとの関係を示す図である。

【図4】本発明の実施形態におけるフォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が $40 \text{ nm}$ のとき、屈折率と消衰係数、マスクパターンのスペース部のバイアスを変えた場合、光学像のコントラストとの関係を示す図である。

【図5】本発明の実施形態におけるフォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が $60 \text{ nm}$ のとき、屈折率と消衰係数、マスクパターンのスペース部のバイアスを変えた場合、光学像のコントラストとの関係を示す図である。

【図6】本発明の実施形態におけるフォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が $80 \text{ nm}$ のとき、屈折率と消衰係数、マスクパターンのスペース部のバイアスを変えた場合、光学像のコントラストとの関係を示す図である。

【図7】本発明の実施形態におけるフォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が $100 \text{ nm}$ のとき、屈折率と消衰係数、マスクパターンのスペース部のバイアスを変えた場合、光学像のコントラストとの関係を示す図である。

【図8】本発明の実施形態におけるフォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が $120 \text{ nm}$ のとき、屈折率と消衰係数、マスクパターンのスペース部のバイアスを変えた場合、光学像のコントラストとの関係を示す図である。

【図9】本発明の実施形態におけるフォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が $140 \text{ nm}$ のとき、屈折率と消衰係数、マスクパターンのスペース部のバイアスを変えた場合、光学像のコントラストとの関係を示す図である。

【図10】本発明の実施形態におけるフォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が $160 \text{ nm}$ のとき、屈折率と消衰係数、マスクパターンのスペース部のバイアスを変えた場合、光学像のコントラストとの関係を示す図である。

【図11】本発明の実施形態におけるフォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が $180 \text{ nm}$ のとき、屈折率と消衰係数、マスクパターンのスペース部のバイアスを変えた場合、光学像のコントラストとの関係を示す図である。

【図12】本発明の実施形態におけるフォトマスクの遮光膜または半透明膜の膜厚が $200 \text{ nm}$ のとき、屈折率と消衰係数、マスクパターンのスペース部のバイアスを変えた場合、光学像のコントラストとの関係を示す図である。

【図13】従来のバイナリマスクの遮光膜およびハーフトーンマスクの半透明膜のバイアスとレジスト内での光学像のコントラストとの関係を示す図である。

10

20

30

40

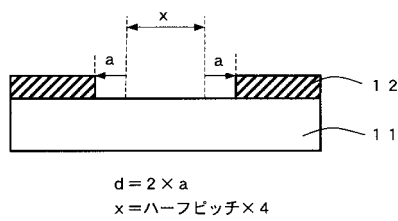
50

【符号の説明】

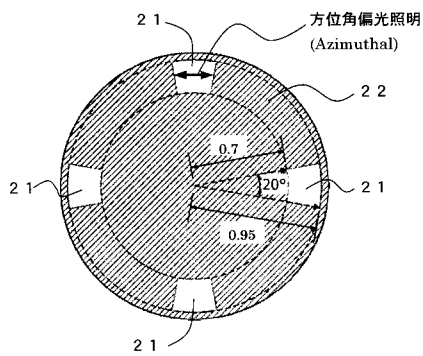
【0093】

- 1 1 透明基板
- 1 2 遮光膜または半透明膜よりなるマスクパターン
- 2 1 透光部
- 2 2 遮光部

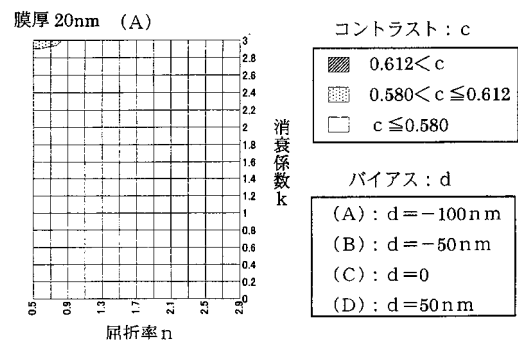
【図1】



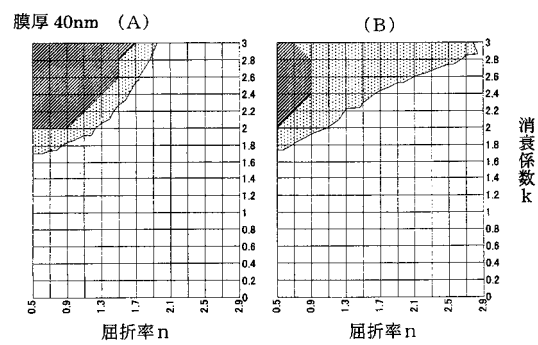
【図2】



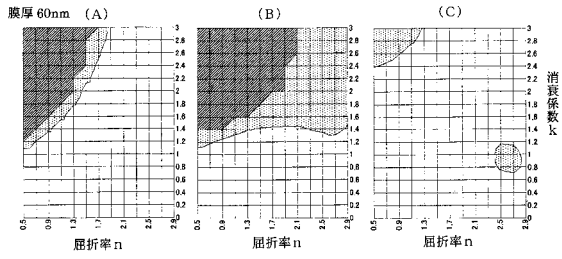
【図3】



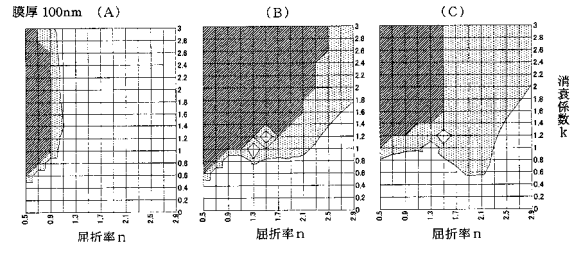
【図4】



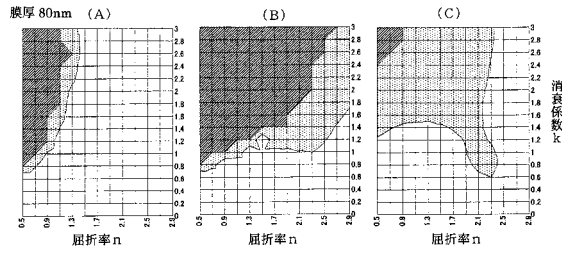
【図5】



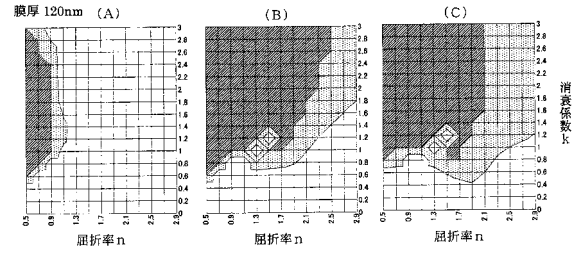
【図7】



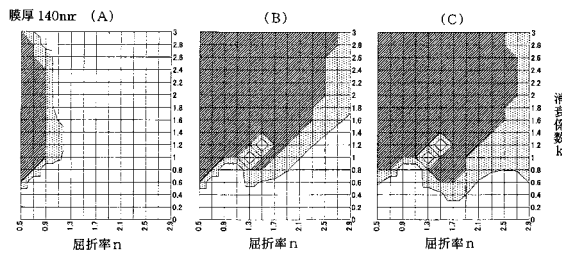
【図6】



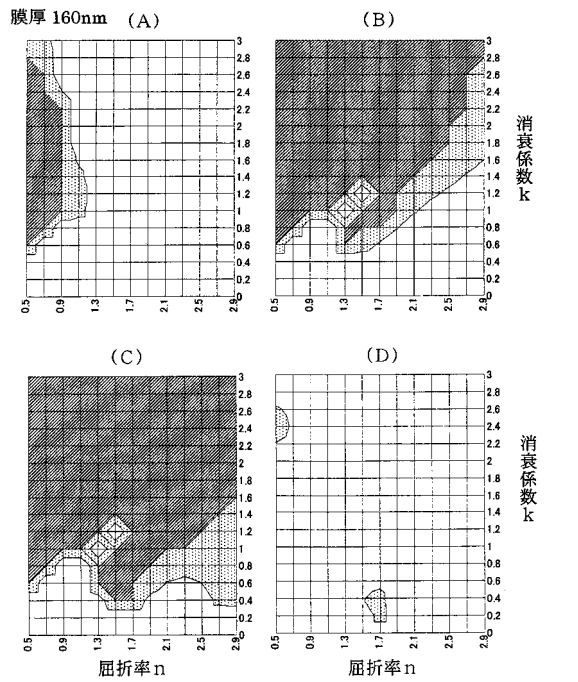
【図8】



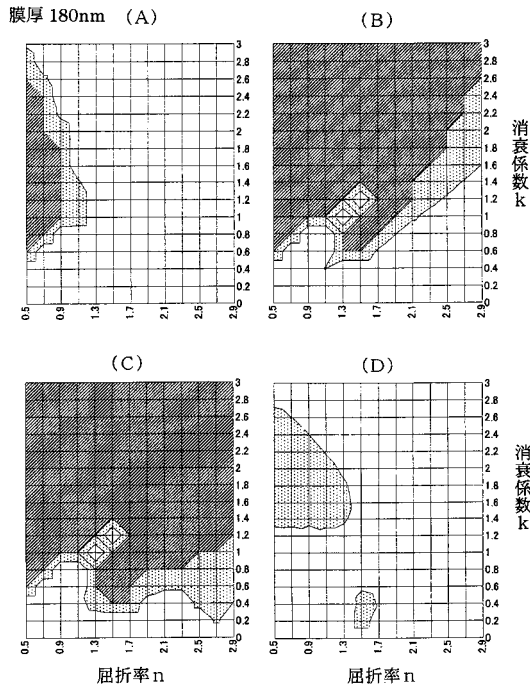
【図9】



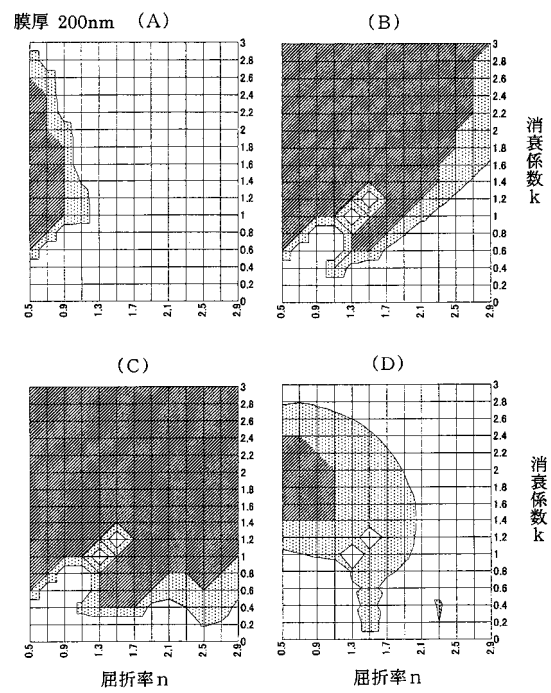
【図10】



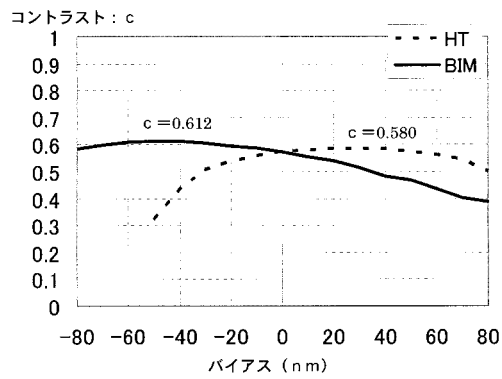
【図 1 1】



【図 1 2】



【図 1 3】



## フロントページの続き

- (72)発明者 北畑 泰久  
東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号 大日本印刷株式会社内
- (72)発明者 森川 泰考  
東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号 大日本印刷株式会社内
- (72)発明者 安達 俊  
東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号 大日本印刷株式会社内
- (72)発明者 登山 伸人  
東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号 大日本印刷株式会社内
- (72)発明者 稲月 友一  
東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号 大日本印刷株式会社内
- (72)発明者 須藤 貴規  
東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号 大日本印刷株式会社内

審査官 岩本 勉

- (56)参考文献 特表2006-511967(JP,A)  
特開2003-084418(JP,A)  
特開2003-005349(JP,A)  
特開平06-075361(JP,A)  
特開2005-268489(JP,A)  
国際公開第2005/076045(WO,A1)  
特開2005-093522(JP,A)  
特開平08-328235(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F 1/00 - 1/86  
H01L 21/027