

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015 年 10 月 15 日(15.10.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/156016 A1

- (51) 国際特許分類:
G03F 1/32 (2012.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/052495
- (22) 国際出願日: 2015 年 1 月 29 日(29.01.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-079690 2014 年 4 月 8 日(08.04.2014) JP
- (71) 出願人: 大日本印刷株式会社(DAI NIPPON PRINTING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1628001 東京都新宿区市谷加賀町一丁目 1 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 渡邊 浩司(WATANABE, Hiroshi); 〒1628001 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 Tokyo (JP). 早野 勝也(HAYANO, Katsuya); 〒1628001 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 Tokyo (JP). 高見澤 秀吉(TAKAMIZAWA, Hideyoshi); 〒1628001 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 Tokyo (JP). 大川 洋平(OHKAWA, Youhei); 〒1628001 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 Tokyo (JP). 安達 俊(ADACHI, Takashi); 〒1628001 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 Tokyo (JP). 谷 絢子(TANI, Ayako); 〒1628001 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 Tokyo (JP). 三浦 陽一(MIURA, Yoichi); 〒1628001 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 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 山下 昭彦, 外(YAMASHITA, Akihiko et al.); 〒1040031 東京都中央区京橋一丁目 1 6 番 1 0 号 オークビル京橋 3 階 東京セントラル特許事務所内 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

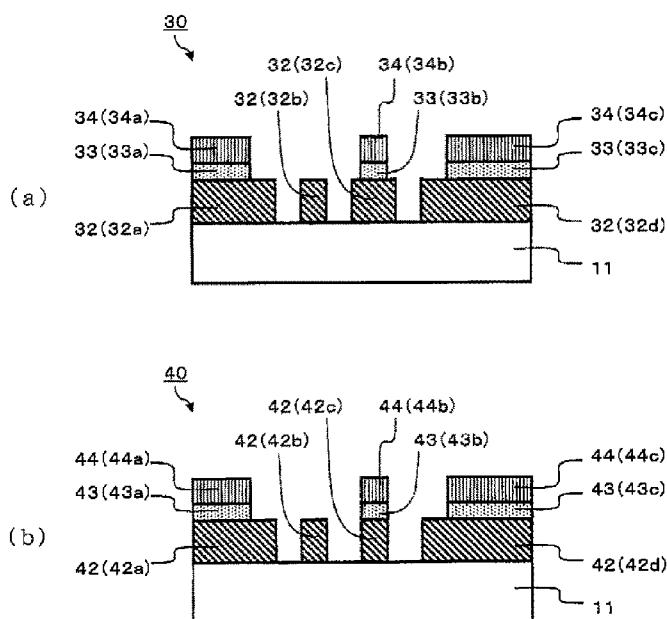
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー

[続葉有]

(54) Title: MASK BLANK, PHASE SHIFT MASK, AND PHASE-SHIFT MASK MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: マスクブランク、位相シフトマスク及びその製造方法

[図2]



(57) 要約:

(57) Abstract: This mask blank has: a transparent substrate; a semitransparent layer formed on the transparent substrate; an intermediate layer formed on the semitransparent layer; and a light blocking layer formed on the intermediate layer. The light blocking layer is configured from a single metal material not containing a transition metal, the film thickness of the light blocking layer is equal to or less than 40 nm, and the optical concentration of a laminated body with respect to exposure light is equal to or higher than a value at which the laminated body functions as a light blocking region, said laminated body having laminated therein three kinds of layers, i.e., the semitransparent layer, intermediate layer, and light blocking layer. Consequently, the present invention provides the mask blank to be used for the purpose of manufacturing a half tone-type phase shift mask, which has high light blocking performance even if the thickness of a light blocking pattern film is reduced, and which also has a reduced EMF bias value, and excellent pattern workability, light resistance and chemical resistance, said phase shift mask being suitable for a lithography technology having a half pitch of 40 nm or more on a wafer.

[続葉有]



ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

本発明は、マスクブランクスが、透明基板と、前記透明基板の上に形成された半透明層と、前記半透明層の上に形成された中間層と、前記中間層の上に形成された遮光層と、を有し、前記遮光層が、遷移金属を含まない単一の金属材料から構成されており、前記遮光層の膜厚が 40 nm 以下であり、前記半透明層、前記中間層、前記遮光層の 3 種の層を積層した積層体の前記露光光に対する光学濃度が遮光領域として機能する値以上であることによって、遮光パターン膜の厚みを薄くしても高い遮光性を有し、EMF バイアスの値を小さくでき、パターン加工性、耐光性、耐薬品性に優れ、ウェハ上におけるハーフピッチ 40 nm 以降のリソグラフィ技術に適したハーフトーン型の位相シフトマスクを作製するために用いられるマスクブランクスを提供する。

明 細 書

発明の名称：

マスクブランクス、位相シフトマスク及びその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体素子の製造に用いられるマスクブランクス、位相シフトマスク及びその製造方法に関し、特に、高NA露光装置を使用し、マスクパターンをウェハ上に転写するとき、ウェハ上のパターンのハーフピッチが40nm以降のリソグラフィ技術に用いられるハーフトーン型の位相シフトマスクに関する。

背景技術

[0002] 半導体素子の高集積化・微細化は、デザインルール45nmノードから32nmノードへと進展し、さらに22nmノード以下の半導体素子の開発が進められている。これらの半導体素子の高集積化・微細化を実現するために、現在、露光波長193nmのArFエキシマレーザを用いた光学式の投影露光装置により、フォトマスクを用いてウェハ上にパターン転写するフォトリソグラフィ技術が行なわれている。フォトリソグラフィ技術においては、露光装置での高解像技術として、投影レンズの開口数(NA)を大きくした高NA露光技術、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、実用化が急速に進められている。

[0003] そこで解像度を上げるために、超解像技術(RET技術: Resolution Enhancement Technique)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バイアス(マスク線幅などの補正量)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)と呼ばれる方法などがある。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(ダイポール: Dipoleとも称する)の瞳フィルタを

用いた二重極照明、および、四重極（クォードラポール：C－q u a dとも称する）の瞳フィルタを用いた四重極照明などが用いられている。

[0004] 一方、フォトリソグラフィ技術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、透明基板上にクロムなどで遮光膜を形成し、光を透過させる部分と遮光する部分でパターンを構成した従来のバイナリ型のフォトマスク（以後、バイナリマスクとも言う）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、実用化が進行している。

[0005] 上記のハーフトーン型位相シフトマスクは、通常の構成として、透明基板上に半透明膜からなるマスクパターン（以後、半透明パターン膜とも言う）を有するものであり、この半透明パターン膜を透過する露光光と透明基板を透過する露光光の位相が反転するように設計されている。

このようなハーフトーン型位相シフトマスクにおいては、半透明パターン膜が設けられた部分（以後、マスクパターン部とも言う）と透明基板が露出する部分との境界部で位相反転による光強度低下が生じ、光強度分布の裾の広がりを抑えることができる。半透明パターン膜の材料には、主にモリブデンシリサイド（M o S i）の化合物、例えば、酸化窒化モリブデンシリサイド（M o S i O N）等が広く用いられている。

[0006] ここで、半透明パターン膜の透過率は、従来、6 %程度に設計されているが、マスクパターン部の面積が大きい箇所では、この半透明パターン膜を透過する露光光によって、転写像が不鮮明になるという問題がある。

そこで、半透明パターン膜の上に遮光部（以後、遮光パターン膜とも言う）を設け、不要な露光光を確実に遮光する構成が提案されている。（例えば、特許文献1 参照）。このような構成のハーフトーン型位相シフトマスクは、トライトーンマスクと称される。

[0007] ここで、微小なドットパターンやホールパターンの形成用に好適に用いられる半透明パターン膜の透過率が高いトライトーンマスクの場合、半透明パターン膜上の遮光パターン膜には、より高い遮光性が必要になるために、遮光パターン膜を厚くする必要があった。

しかしながら、遮光パターン膜を厚くすると、遮光パターン膜を加工するためのレジストパターンも厚くする必要があり、微細パターンの加工が難しくなる。また、マスクを加工する過程において、遮光パターン膜と半透明パターン膜の高さが高くなり、洗浄時でのパターン倒れも起こり易くなるという不具合がある。

[0008] また、ウェハ上のパターンのハーフピッチ（h p）40 nm以降に用いられるバイナリマスクにおいては、リソグラフィに用いるArFエキシマレーザ露光光の波長193 nmよりもフォトマスク上のマスクパターンの線幅の方が小さくなり、微細パターンを形成するために斜入射照明法や瞳フィルタなどを用いた超解像技術を採用してきたことにより、マスクパターン領域の遮光パターン膜の膜厚が厚いと、電磁界（EMF：E l e c t r o

M a g n e t i c s F i e l d）効果に起因するマスクパターン線幅の補正量であるバイアス（EMFバイアスと言う）の値が大きくなるという問題が生じてきている。

そして、このような問題は、上記のような遮光パターン膜を有するハーフトーン型位相シフトマスク（トライトーンマスク）においても生じるものである。

[0009] そこで、遮光パターン膜を有するハーフトーン型位相シフトマスク（トライトーンマスク）においても上記の電磁界（EMF）効果に起因する課題に対して、マスク材料からの見直しが行われており、近年、クロム系以外の遮光パターン膜の材料として、モリブデンシリサイド（MoSi）系材料を用いたトライトーンマスクが提案されている（例えば、特許文献2参照）。

先行技術文献

特許文献

[0010] 特許文献1：特開平8－292550号公報

特許文献2：特開2007－241137号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] しかしながら、上記のような薄膜化の要求に応じて組成を調整したモリブデンシリサイド（MoSi）系材料からなる遮光パターン膜は、マスク洗浄における耐薬品性や、ArFエキシマレーザ露光における耐光性が十分でなく、上記のモリブデンシリサイド（MoSi）系材料を遮光パターン膜に用いたトライトーンマスクでは、光学濃度等の品質を安定して維持できないという問題があった。

[0012] そこで、本発明は、上記の問題点に鑑みてなされたものであり、遮光パターン膜を薄くし、かつ、十分な遮光性能を維持することで、レジスト薄膜化を可能とし、洗浄耐性を向上させ、高い透過率の半透明パターン膜を用いた場合でも、微細なパターンの作製を可能とし、さらに、EMFバイアスの値を小さくでき、パターン加工性、耐光性、耐薬品性に優れた、ウェハ上におけるハーフピッチ40nm以降のリソグラフィ技術に適したハーフトーン型の位相シフトマスクを作製するために用いられるマスクブランク、位相シフトマスク及びその製造方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0013] 上記の課題を解決するために、本発明の請求項1の発明に係るマスクブランクは、ArFエキシマレーザ露光光が適用されるハーフトーン型の位相シフトマスクを作製するために用いられるマスクブランクであって、透明基板と、前記透明基板の上に形成され、前記露光光の位相及び透過率を制御する半透明層と、前記半透明層の上に形成された中間層と、前記中間層の上に形成された遮光層と、を有し、前記遮光層が、遷移金属を含まない単一の金属材料から構成されており、前記遮光層の膜厚が40nm以下であり、前記半透明層、前記中間層、前記遮光層の3種の層を積層した積層体の前記露光光に対する光学濃度が遮光領域として機能する値以上であることを特徴とす

るものである。

[0014] 本発明の請求項2の発明に係るマスクブランクスは、請求項1に記載のマスクブランクスにおいて、前記半透明層、前記中間層、前記遮光層の3種の層を積層した積層体は、前記露光光に対する光学濃度が2.8以上となるよう調整したものであることを特徴とするものである。

[0015] 本発明の請求項3の発明に係るマスクブランクスは、請求項1または請求項2に記載のマスクブランクスにおいて、前記半透明層の前記露光光に対する透過率 T と前記遮光層の膜厚 d との関係が、 $T=6\%$ において $23\text{ nm} \leq d \leq 27\text{ nm}$ の範囲であり、 $T=20\%$ において $31\text{ nm} \leq d \leq 35\text{ nm}$ の範囲であり、 $T=30\%$ において $33\text{ nm} \leq d \leq 37\text{ nm}$ の範囲であることを特徴とするものである。

[0016] 本発明の請求項4の発明に係るマスクブランクスは、請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載のマスクブランクスにおいて、前記遮光層は、屈折率 n が1.0以下であり、かつ、消衰係数 k が2.0以上の単一の金属材料から構成されていることを特徴とするものである。

[0017] 本発明の請求項5の発明に係るマスクブランクスは、請求項1乃至請求項4のいずれか一項に記載のマスクブランクスにおいて、前記単一の金属材料が、シリコンであることを特徴とするものである。

[0018] 本発明の請求項6の発明に係るマスクブランクスは、請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載のマスクブランクスにおいて、前記半透明層が、 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ (x および y は、 $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、および $0 < x + y \leq 1$ を満足する) からなることを特徴とするものである。

[0019] 本発明の請求項7の発明に係るマスクブランクスは、請求項1乃至請求項6のいずれか一項に記載のマスクブランクスにおいて、前記中間層が、フッ素系ガスを用いたドライエッチングに対して耐性を有する材料から構成されていることを特徴とするものである。

[0020] 本発明の請求項8の発明に係るマスクブランクスは、請求項1乃至請求項7のいずれか一項に記載のマスクブランクスにおいて、前記中間層がクロム

(Cr) を含有するクロム系材料から構成され、かつ前記中間層の膜厚が $2\text{ nm} \sim 5\text{ nm}$ の範囲内であることを特徴とするものである。

[0021] 本発明の請求項 9 の発明に係るマスクブランクスは、請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか一項に記載のマスクブランクスにおいて、前記遮光層の上に、フッ素系ガスを用いたドライエッチングに対して耐性を有する材料から構成されるハードマスク層を有することを特徴とするものである。

[0022] 本発明の請求項 10 の発明に係る位相シフトマスクは、ArF エキシマレーザ露光光が適用されるハーフトーン型の位相シフトマスクであって、透明基板と、前記透明基板の上に形成され、前記露光光の位相及び透過率を制御する半透明パターン膜と、前記半透明パターン膜の上に形成された中間パターン膜と、前記中間パターン膜の上に形成された遮光パターン膜と、を有し、前記遮光パターン膜が、遷移金属を含まない単一の金属材料から構成されており、前記遮光パターン膜の膜厚が 40 nm 以下であり、前記半透明パターン膜、前記中間パターン膜、前記遮光パターン膜の 3 種の膜を積層した積層体の前記露光光に対する光学濃度が遮光領域として機能する値以上であることを特徴とするものである。

[0023] 本発明の請求項 11 の発明に係る位相シフトマスクは、請求項 10 に記載の位相シフトマスクにおいて、前記半透明パターン膜、前記中間パターン膜、前記遮光パターン膜の 3 種の膜を積層した積層体は、前記露光光に対する光学濃度が 2.8 以上となるよう調整したものであることを特徴とするものである。

[0024] 本発明の請求項 12 の発明に係る位相シフトマスクは、請求項 10 または請求項 11 に記載の位相シフトマスクにおいて、前記半透明パターン膜の前記露光光に対する透過率 T と前記遮光パターン膜の膜厚 d との関係が、 $T = 6\%$ において $23\text{ nm} \leq d \leq 27\text{ nm}$ の範囲であり、 $T = 20\%$ において $31\text{ nm} \leq d \leq 35\text{ nm}$ の範囲であり、 $T = 30\%$ において $33\text{ nm} \leq d \leq 37\text{ nm}$ の範囲であることを特徴とするものである。

[0025] 本発明の請求項 13 の発明に係る位相シフトマスクは、請求項 10 乃至請

求項 1 2 のいずれか一項に記載の位相シフトマスクにおいて、前記遮光パターン膜は、屈折率 n が 1.0 以下であり、かつ、消衰係数 k が 2.0 以上の単一の金属材料から構成されていることを特徴とするものである。

[0026] 本発明の請求項 1 4 の発明に係る位相シフトマスクは、請求項 1 0 乃至請求項 1 3 のいずれか一項に記載の位相シフトマスクにおいて、前記単一の金属材料が、シリコンであることを特徴とするものである。

[0027] 本発明の請求項 1 5 の発明に係る位相シフトマスクは、請求項 1 0 乃至請求項 1 4 のいずれか一項に記載の位相シフトマスクにおいて、前記半透明パターン膜が、 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ (x および y は、 $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、および $0 < x + y \leq 1$ を満足する) からなることを特徴とするものである。

[0028] 本発明の請求項 1 6 の発明に係る位相シフトマスクは、請求項 1 0 乃至請求項 1 5 のいずれか一項に記載の位相シフトマスクにおいて、前記中間パターン膜が、フッ素系ガスを用いたドライエッチングに対して耐性を有する材料から構成されていることを特徴とするものである。

[0029] 本発明の請求項 1 7 の発明に係る位相シフトマスクは、請求項 1 0 乃至請求項 1 6 のいずれか一項に記載の位相シフトマスクにおいて、前記中間パターン膜がクロム (Cr) を含有するクロム系材料から構成され、かつ前記中間パターン膜の膜厚が 2 nm ~ 5 nm の範囲内であることを特徴とするものである。

[0030] 本発明の請求項 1 8 の発明に係る位相シフトマスクの製造方法は、透明基板と、前記透明基板の上に形成され、前記露光光の位相及び透過率を制御する半透明層と、前記半透明層の上に形成された中間層と、前記中間層の上に形成された遮光層と、を有し、前記遮光層が、遷移金属を含まない単一の金属材料から構成されているマスクブランクスの前記遮光層の上にハードマスク層を形成した、ハードマスク層付きマスクブランクスを準備する工程と、前記ハードマスク層の上に、第 1 のレジストパターン膜を形成する工程と、前記第 1 のレジストパターン膜から露出する前記ハードマスク層をエッチングして、第 1 の形態のハードマスクパターン膜を形成する工程と、前記第 1

の形態のハードマスクパターン膜から露出する前記遮光層を、前記中間層をエッチング停止層に用いてエッチングして、第1の形態の遮光パターン膜を形成する工程と、前記第1のレジストパターン膜を除去する工程と、前記第1の形態のハードマスクパターン膜の所望の領域、および、前記第1の形態の遮光パターン膜から露出する前記中間層の所望の領域を覆う第2のレジストパターン膜を形成する工程と、前記第2のレジストパターン膜から露出する前記第1の形態のハードマスクパターン膜、および、前記第2のレジストパターン膜と前記第1の形態の遮光パターン膜から露出する前記中間層をエッチングして、第2の形態のハードマスクパターン膜、および第1の形態の中間パターン膜を形成する工程と、前記第2のレジストパターン膜を除去する工程と、前記第2の形態のハードマスクパターン膜から露出する前記第1の形態の遮光パターン膜と、前記第1の形態の中間パターン膜から露出する前記半透明層をエッチングして、第2の形態の遮光パターン膜、および半透明パターン膜を形成する工程と、前記第2の形態のハードマスクパターン膜、および前記第2の形態の遮光パターン膜から露出する前記第1の形態の中間パターン膜をエッチングして、前記第2の形態のハードマスクパターン膜を除去しつつ、第2の形態の中間パターン膜を形成する工程と、を順に備えることを特徴とするものである。

[0031] 本発明の請求項19の発明に係る位相シフトマスクの製造方法は、透明基板と、前記透明基板の上に形成され、前記露光光の位相及び透過率を制御する半透明層と、前記半透明層の上に形成された中間層と、前記中間層の上に形成された遮光層と、を有し、前記遮光層が、遷移金属を含まない単一の金属材料から構成されているマスクブランクスの前記遮光層の上にハードマスク層を形成した、ハードマスク層付きマスクブランクスを準備する工程と、前記ハードマスク層の上に、第1のレジストパターン膜を形成する工程と、前記第1のレジストパターン膜から露出する前記ハードマスク層をエッチングして、第1の形態のハードマスクパターン膜を形成する工程と、前記第1の形態のハードマスクパターン膜から露出する前記遮光層を、前記中間層を

エッチング停止層に用いてエッチングして、第1の形態の遮光パターン膜を形成する工程と、前記第1の形態の遮光パターン膜から露出する前記中間層をエッチングして、第1の形態の中間パターン膜を形成する工程と、前記第1のレジストパターン膜を除去する工程と、前記第1の形態のハードマスクパターン膜の所望の領域を覆う第2のレジストパターン膜を形成する工程と、前記第2のレジストパターン膜から露出する前記第1の形態のハードマスクパターン膜をエッチングして、第2の形態のハードマスクパターン膜を形成する工程と、前記第2のレジストパターン膜を除去する工程と、前記第2の形態のハードマスクパターン膜から露出する前記第1の形態の遮光パターン膜、および前記第1の形態の中間パターン膜から露出する前記半透明層をエッチングして、第2の形態の遮光パターン膜、および半透明パターン膜を形成する工程と、前記第2の形態のハードマスクパターン膜、および前記第2の形態の遮光パターン膜から露出する前記第1の形態の中間パターン膜をエッチングして、前記第2の形態のハードマスクパターン膜を除去しつつ、第2の形態の中間パターン膜を形成する工程と、を順に備えることを特徴とするものである。

発明の効果

[0032] 本発明によれば、薄膜化しても露光光に対して高い遮光性を有する遮光パターン膜を備え、EMFバイアスの値を小さくすることができ、パターン加工性が良く、耐薬品性、耐光性に優れ、ウェハ上のハーフピッチ40nm以降のリソグラフィ技術に適したハーフトーン型の位相シフトマスクを得ることができる。

図面の簡単な説明

[0033] [図1]本発明に係るマスクブランクスの例を示す概略断面図である。

[図2]本発明に係る位相シフトマスクの例を示す概略断面図である。

[図3]本発明に係る位相シフトマスクの製造方法の一例を示す概略工程図である。

[図4]本発明に係る位相シフトマスクの製造方法の他の例を示す概略工程図で

ある。

[図5]本発明に係るマスクブランクス半透明層の透過率と遮光層の膜厚との関係を示す図である。

[図6]本発明においてマスクの転写特性評価に用いた四重極 (C - q u a d) の瞳フィルタの平面模式図である。

[図7]各マスク構成におけるEMFバイアスの値を示す図である。

[図8]EMFバイアスを説明するためのバイナリマスクの断面模式図である。

発明を実施するための形態

[0034] 以下、図面に基づいて、本発明に係るマスクブランクス、位相シフトマスク及びその製造方法について詳細に説明する。

[0035] <マスクブランクス>

まず、本発明に係るマスクブランクスについて説明する。

図1は、本発明に係るマスクブランクス例を示す概略断面図である。ここで、図1(b)に示す形態のマスクブランクス20は、図1(a)に示す形態のマスクブランクス10の遮光層14の上にハードマスク層21を有するものである。

図1(a)に示すように、本実施形態のマスクブランクス10は、透明基板11と、その上に形成された半透明層12と、半透明層12の上に形成された中間層13と、中間層13の上に形成された遮光層14と、を有している。

そして、遮光層14は、遷移金属を含まない単一の金属材料から構成されており、遮光層14の膜厚は40nm以下であり、半透明層12、中間層13、遮光層14の3種の層を積層した積層体のArFエキシマレーザ露光光に対する光学濃度は遮光領域として機能する値以上、特に好ましくは、2.8以上である。以下、本実施形態のマスクブランクス10を構成する透明基板11、半透明層12、中間層13、および遮光層14等について、それぞれ説明する。

[0036] (1) 透明基板

本実施形態において、透明基板 11 としては、露光光を高透過率で透過する光学研磨された合成石英ガラス、蛍石、フッ化カルシウムなどを用いることができるが、通常、多用されており品質が安定し、短波長の露光光の透過率の高い合成石英ガラスがより好ましい。

[0037] (2) 半透明層

本実施形態において、半透明層 12 は、ArF エキシマレーザ露光光の位相及び透過率を制御するハーフトーン層として作用するものであり、その材料としては、特に限定されず、従来のハーフトーン型位相シフトマスクに用いられてきたものを用いることができる。

例えば、半透明層 12 として、窒化珪素 (SiN) 系材料である $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ (x および y は、 $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、および $0 < x + y \leq 1$ を満足する) からなる膜、又はモリブデンシリサイド (MoSi) 系材料であるモリブデンシリサイド酸化膜 (MoSiO)、モリブデンシリサイド窒化膜 (MoSiN)、モリブデンシリサイド酸化窒化膜 (MoSiON) などを用いることができる。

[0038] また、これらの中でも、上記窒化珪素 (SiN) 系材料である $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜が好ましい。上記モリブデンシリサイド (MoSi) 系材料である膜を含む従来のハーフトーン型位相シフトマスクに用いられてきたものと比較して、半透明層 12 を、ArF エキシマレーザ露光光の透過率として、より高い透過率を有し、かつより薄いものにすることができるからである。さらに、上記 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜としては、特に限定されるものではないが、特に、ArF エキシマレーザ露光光の波長における消衰係数 k が 0.2 ~ 0.45 の範囲内であり、ArF エキシマレーザ露光光の波長における屈折率 n が 2.3 ~ 2.7 の範囲内であり、ArF エキシマレーザ露光光の波長における透過率が 15% ~ 38% の範囲内であるものが好ましい。特に、半透明層 12 を、より高い透過率を有し、かつより薄いものにすることができるからである。

[0039] これにより、本発明に係るマスクブランクスから形成された位相シフトマ

スクを用い、パターンの境界において、位相効果による光の干渉により光強度をゼロにして、転写像のコントラストを向上させて、パターン形成体を製造する場合、半透明層 1 2 がより高い光透過率を有することにより、その位相効果をより顕著にすることができるからである。また、上記 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜は、金属を含有しないために、ArFエキシマレーザ露光光が長時間照射されても、珪素（Si）の酸化膜が成長することはなく、パターン寸法(Critical Dimension)が変化することを防止することができるからである。同様に、位相シフトマスクの洗浄工程においても、パターン寸法が変化することを防止することができるからである。したがって、フォトリソグラフィにおいて、転写特性を優れたものとし、かつArFエキシマレーザ露光光照射耐性、および洗浄耐性を高くすることができるからである。

[0040] また、半透明層 1 2 がより高い光透過率を有する場合には、半透明層 1 2、中間層 1 3、遮光層 1 4 の 3 種の層を積層した積層体の ArFエキシマレーザ露光光に対する光学濃度を遮光領域として機能する値以上、特に好ましくは、2.8 以上にするために必要となる中間層 1 3 および遮光層 1 4 の全体の膜厚は厚くなる。したがって、この場合には、後述するように、中間層 1 3 がクロム（Cr）を含有するクロム系材料から構成され、かつ遮光層 1 4 が単一の金属材料であるシリコン（Si）から構成される場合において、中間層 1 3 を薄くすることによって、上記積層体の ArFエキシマレーザ露光光に対する光学濃度を遮光領域として機能する値以上、特に好ましくは、2.8 以上にするために必要となる中間層 1 3 および遮光層 1 4 の全体の膜厚を薄くすることができる効果は、中間層 1 3 および遮光層 1 4 の全体の元の膜厚が厚くなるのだから、顕著になる。これにより、位相シフトマスクの EMF バイアスの値が大きくなってしまふことを回避することができる効果は、顕著になる。そして、中でも、後述するように、中間層 1 3 の膜厚を 5 nm 以下まで薄くする場合には、これらの効果はよりいっそう顕著になる。このため、上述した中でも、上記窒化珪素（SiN）系材料である $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜が好ましい。

[0041] したがって、半透明層 12 として、上記 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜を用いる場合において、中間層 13 がクロム (Cr) を含有するクロム系材料から構成され、かつ遮光層 14 が単一の金属材料であるシリコン (Si) から構成される場合には、半透明層 12 をより薄いものにすることができ、かつ中間層 13 および遮光層 14 の全体の膜厚を顕著に薄くすることができる。これにより、半透明層 12 から形成される後述する半透明パターン膜 32 においてパターン倒れ等の欠陥が発生することを抑制し、または半透明層 12 の加工や後述する半透明パターン膜 32 の修正をし易くすると同時に、位相シフトマスクの EMF バイアスの値が大きくなってしまふことを顕著に回避することができる。また、中間層 13 の膜厚を 5 nm 以下まで薄くする場合には、この効果はよりいっそう顕著になる。

[0042] また、上記 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜は、特に限定されるものではないが、窒素 (N) の組成比 y が、0.4 ~ 0.6 の範囲内であるものが好ましい。上記範囲に満たないと、上述した所望の透過率の範囲に満たないからであり、上記範囲を超えると、上述した所望の透過率の範囲を超えるからである。

[0043] そして、上記 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜は、特に限定されるものではないが、珪素 (Si) の組成比 x および窒素 (N) の組成比 y が、 $0.95 \leq x + y \leq 1$ を満足するものが好ましく、中でも、 $x + y = 1$ を実質的に満足するものが好ましい。上記 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜において、酸素 (O) が多いと、消衰係数 k が低くなるため、透過率が高くなる結果、屈折率 n が低くなる。これにより、 180° の位相差を得るための上記 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜の膜厚が厚くなるからである。ここで、珪素 (Si) の組成比 x および窒素 (N) の組成比 y が $x + y = 1$ を実質的に満足するとは、実質的に酸素 (O) を含有しないことを意味する。珪素 (Si) の組成比 x および窒素 (N) の組成比 y が $x + y = 1$ を実質的に満足する $x + y$ の範囲としては、0.97 ~ 1.00 の範囲内、中でも、0.98 ~ 1.00 の範囲内が好ましい。

[0044] また、上記 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜は、特に限定されるものではないが、珪素（Si）の組成比 x および窒素（N）の組成比 y が $x = y$ を実質的に満足するものが好ましい。これにより、珪素（Si）と窒素（N）の緻密な膜が得られ、耐洗浄性、ArFエキシマレーザ露光光照射耐性等、各耐性の向上が期待できるからである。ここで、珪素（Si）の組成比 x および窒素（N）の組成比 y が $x = y$ を実質的に満足するとは、 x と y の比が、 $x : y = 0.4 : 0.6 \sim 0.6 : 0.4$ の範囲内であることを意味する。

[0045] 半透明層 12 が、例えば上記窒化珪素（SiN）系材料から構成される場合には、フッ素系ガス、例えば、 CF_4 、 CHF_3 、 C_2F_6 や、これらの混合ガス、あるいはこれらのガスに酸素などの希釈ガスを混合したガスをエッチングガスとして用いることによりドライエッチングを行い、パターン形成することができる。

[0046] また、上記 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜を形成する方法は、特に限定されるものではないが、例えば、上記 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜を、スパッタターゲットには珪素（Si）からなるターゲットを用い、スパッタリングガスを適宜選択することによって、上記 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜を構成する $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ （ x および y は、 $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、および $0 < x + y \leq 1$ を満足する）の組成比が所望の比率となるような成膜条件でスパッタリングにより成膜する方法が挙げられる。

[0047] さらに、上記 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜の膜厚は、特に限定されるものではないが、 $57\text{ nm} \sim 67\text{ nm}$ の範囲内であることが好ましい。 $57\text{ nm} \sim 67\text{ nm}$ の範囲内の膜厚であれば、半透明層 12 の膜厚が、従来の半透明層の膜厚よりも薄くなるため、エッチングにより半透明パターン膜を形成するのが容易になるからである。そして、エッチングに要する時間が短くて済むため、後述するように、透明基板 11 にダメージが与えられることを防止するエッチングバリア層を、透明基板 11 および半透明層 12 の間に有しなかったとしても、エッチングにより半透明パターン膜を形成する時に、透明基板 11 にダメージが与えられることを十分に回避することができるからで

ある。

[0048] また、上記 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜の膜厚は、中でも、 $57\text{ nm} \sim 64\text{ nm}$ の範囲内であることが好ましく、特に、 $57\text{ nm} \sim 62\text{ nm}$ の範囲内であることが好ましい。上記 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜の膜厚がより薄い方が、上記 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜から形成される後述する半透明パターン膜においてパターン倒れ等の欠陥が発生することを抑制できるからであり、または上記 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜の加工や半透明パターン膜の修正をし易いからである。

[0049] また、上記 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜の膜厚はジェー・エー・ウーラム社製エリプソメーター VUV-VASE で測定し、算出することができる。

[0050] 一方、後述するように、遮光層 14 が単一の金属材料であるシリコン (Si) から構成される場合において、半透明層 12 として、上述した中におけるモリブデンシリサイド (MoSi) 系材料である膜を用いた場合には、上記窒化珪素 (SiN) 系材料である $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ からなる膜を用いた場合と比較して、モリブデンシリサイド (MoSi) 系材料から構成される半透明層 12 からシリコン (Si) から構成される遮光層 14 にはモリブデン (Mo) が拡散し易い。このため、後述するように、中間層 13 が、単一の金属材料であるシリコン (Si) から構成される遮光層 14 と半透明層 12 の間で各層を構成する材料が互いに拡散することを防止する拡散防止層として特に好適に作用するという利点がある。

[0051] また、半透明層 12 が、モリブデンシリサイド系材料から構成される場合には、フッ素系ガス、例えば、 CF_4 、 CHF_3 、 C_2F_6 や、これらの混合ガス、あるいはこれらのガスに酸素を混合したガスをエッチングガスとして用いることによりドライエッチングを行い、パターン形成することができる。

[0052] また、半透明層 12 がモリブデンシリサイド酸化膜 (MoSiO) の場合、半透明層 12 の形成方法は、特に限定されるものではないが、モリブデンとシリコンとの混合ターゲット ($\text{Mo} : \text{Si} = 1 : 2\text{ mol\%}$) を用い、アルゴンと酸素との混合ガス雰囲気、反応性スパッタリング法により形成す

ることができる。

[0053] ここで、従来のハーフトーン型位相シフトマスクに用いられてきた半透明層は、前記露光光に対する透過率が、主に、6%程度になるように設計されていた。

一方、本発明のマスクブランクスは、位相シフトマスクに加工された際には半透明パターン膜の上に遮光パターン膜を有する形態（トライトーンマスク）になるため、本実施形態の半透明層12は、より高い透過率（例えば30%程度）を有するように設計することもできる。そして、半透明層12が高い透過率を有する場合には、位相効果をより向上させることができる。

[0054] (3) 中間層

本実施形態において、中間層13は、遮光層14をエッチング加工する際のエッチング停止層、および、半透明層12をエッチング加工する際のエッチングマスクとして作用するものである。また、中間層13は、遮光層14から半透明層12に遮光層14を構成する材料が拡散するのを防止する拡散防止層として作用するものである。

上記のように、半透明層12には、窒化珪素（SiN）系の化合物又はモリブデンシリサイド（MoSi）系の化合物を用いることが好ましく、この窒化珪素（SiN）系の化合物又はモリブデンシリサイド（MoSi）系の化合物は、主に、フッ素系ガスを用いたドライエッチングで加工されることから、中間層13は、フッ素系ガスを用いたドライエッチングに対して耐性を有する材料から構成されていることが好ましい。

この中間層13を構成する材料の具体例としては、Cr、CrO、CrN、CrNO等のクロム系の材料や、Ta、TaO、TaN、TaNO等のタンタル系の材料を挙げることができる。

[0055] これらの中間層13を構成する材料としては、中でも、Cr、CrO、CrN、CrNO等のクロム（Cr）を含有するクロム系材料が好ましい。後述するように、遮光層14が単一の金属材料であるシリコン（Si）から構成される場合において、遮光層14と半透明層12の間で各層を構成する材

料が互いに拡散することを防止する拡散防止層として好適に作用することができるからである。特に、半透明層 1 2 がモリブデンシリサイド化合物(MoSi)から構成され、遮光層 1 4 が単一の金属材料であるシリコン(Si)から構成される場合において、半透明層 1 2 から遮光層 1 4 にモリブデン(Mo)が拡散するのを防止する拡散防止層として好適に作用することができるからである。これにより、中間層 1 3 が、遮光層 1 4 と半透明層 1 2 の間で各層を構成する材料が互いに拡散することを防止する拡散防止層として特に好適に作用することができるからである。

[0056] また、これらのクロム系材料の中でも、CrN、CrON、およびCrOが好ましい。CrN、CrON、およびCrOから構成される膜の場合には、窒素ガス、酸素ガス、またはこれらの混合ガスの雰囲気、反応性スパッタリング法により形成するため、アルゴンガス雰囲気、反応性スパッタリング法により形成されるクロム膜(Cr)と比較して、成膜中の安定性が高く、パターン加工性が良好だからである。さらに、CrN、CrON、およびCrOの中でも、特に、CrNが好ましい。酸素(O)を含まない材料であるため、CrN膜の膜厚は、CrONおよびCrOから構成される膜の膜厚よりも薄くなるからである。これにより、中間層 1 3 の膜厚を薄くして、半透明層 1 2、中間層 1 3、遮光層 1 4 の 3 種の層を積層した積層体のARFエキシマレーザ露光光に対する光学濃度を遮光領域として機能する値以上、特に好ましくは、2.8以上にするために必要となる中間層 1 3 および遮光層 1 4 の全体の膜厚を薄くすることができるからである。

[0057] なお、中間層 1 3 は同一材料から構成される単層構造であってもよく、異なる材料から構成される複層構造であってもよい。

[0058] 中間層 1 3 の膜厚は、遮光層 1 4 をエッチング加工する際のエッチング停止層、および、半透明層 1 2 をエッチング加工する際のエッチングマスクとして作用するに足る厚さを有し、かつ、遮光層 1 4 から半透明層 1 2 に遮光層 1 4 を構成する材料が拡散するのを防止する拡散防止層として作用するに足る厚さを有していれば良いが、過度に厚い場合は、位相シフトマスク

のEMFバイアスの値が大きくなってしまうという恐れがある。それゆえ、中間層13の膜厚は、2nm～5nmの範囲であることが好ましい。

[0059] また、中でも、中間層13がクロム(Cr)を含有するクロム系材料から構成される場合には、中間層13の膜厚が2nm～5nmの範囲内であることが好ましい。上記範囲に満たないと、膜厚が薄過ぎるために、中間層13を緻密な膜にすることができず、中間層13には孔が形成されるために、半透明層12と遮光層14の間で互いの層を構成する材料が拡散するのを防止することが困難となるからである。特に、半透明層12がモリブデンシリサイド化合物(MoS_i)から構成され、遮光層14が単一の金属材料であるシリコン(Si)から構成される場合において、中間層13が、半透明層12から遮光層14にモリブデン(Mo)が拡散するのを防止する拡散防止層として好適に作用することが困難となるからである。これにより、中間層13が、遮光層14と半透明層12の間で各層を構成する材料が互いに拡散することを防止する拡散防止層として特に好適に作用することが困難となるからである。上記範囲を超えると、遮光層14が単一の金属材料であるシリコン(Si)から構成される場合において、中間層13および遮光層14の全体の膜厚が厚くなり過ぎるため、位相シフトマスクのEMFバイアスの値が大きくなってしまうという恐れがあるからである。

[0060] 以下、具体的に、中間層13がクロム(Cr)を含有するクロム系材料から構成され、かつ遮光層14が単一の金属材料であるシリコン(Si)から構成される場合において、中間層13の膜厚を薄くすることによって得られる効果を説明する。

上述した通り、半透明層12、中間層13、遮光層14の3種の層を積層した積層体のArFエキシマレーザ露光光に対する光学濃度は、2.8以上にする必要がある。また、単一の金属材料であるシリコン(Si)から構成される層の方が、クロム(Cr)を含有するクロム系材料から構成される層よりも消衰係数kが大きい。このため、クロム(Cr)を含有するクロム系材料から構成される中間層13の膜厚を薄くして、中間層13で得られる光

学濃度の割合を小さくする一方で、単一の金属材料であるシリコン（Si）から構成される遮光層14を厚くして、遮光層14で得られる光学濃度の割合を大きくすることによって、上記積層体のArFエキシマレーザ露光光に対する光学濃度を2.8以上にするために必要となる中間層13および遮光層14の全体の膜厚を薄くすることができる効果が得られる。これにより、位相シフトマスクのEMFバイアスの値が大きくなってしまふことを回避することができる効果が得られる。そして、中でも、中間層13の膜厚が、上記範囲を超えることなく、5nm以下である場合には、これらの効果は顕著になる。

[0061] 中間層13の形成は、従来公知の真空成膜の方法が適用でき、例えば中間層13がクロム膜（Cr）の場合は、クロムのターゲットを用い、アルゴンガス雰囲気、反応性スパッタリング法により形成することができる。

[0062] （4）遮光層

本実施形態において、遮光層14は、遷移金属を含まない単一の金属材料から構成されている。遮光層14を構成する単一の金属材料の膜は、スパッタリング法などの通常の成膜方法で形成することができる。単一の金属材料の膜は、例えば、スパッタリング時に該単一の金属材料のターゲットを用いて成膜することができ、実質的に他の元素を含まない単一の金属材料の膜から構成される。

本発明においては、単一の金属材料の膜形成以外に、他の金属の混入、あるいは酸化物や窒化物などの形成は意図しておらず、成膜時に酸素や窒素ガスの導入は行なわない。しかし、成膜された膜の表面などに装置内に残存していた微量の酸素などが意図せずに取り込まれている場合は、実質的に本発明の単一の金属材料よりなる遮光層として含まれるものである。

すなわち、本発明において、「遮光層が、遷移金属を含まない単一の金属材料から構成されている」とは、遮光層が実質的に単一の金属材料から構成されていることを意味する。このため、本発明における「遷移金属を含まない単一の金属材料から構成されている遮光層」は、遮光層の機能および特性

に影響を与えない不純物であれば含有していてもよい。このような不純物としては、特に限定されるものではないが、例えば、炭素、酸素、窒素、ホウ素、ヘリウム、水素、アルゴン、キセノン等が挙げられる。そして、このような不純物の遮光層における割合としては、特に限定されるものではないが、0%以上5%以下であることが好ましく、中でも0%以上2%以下であることが好ましく、特に0%以上1%以下であることが好ましい。

[0063] また、本実施形態において、遮光層14の膜厚は40nm以下であり、半透明層12、中間層13、遮光層14の3種の層を積層した積層体のArFエキシマレーザ露光光に対する光学濃度は、遮光領域として機能する値以上、特に好ましくは、2.8以上である。ここで、「遮光領域」とは、本発明に係るマスクブランクスから形成される後述する本発明に係る位相シフトマスク（ハーフトーン型位相シフトマスク）において、半透明パターン膜を透過する露光光のうち、マスクパターンを被転写体に転写するのに不要な露光光が、中間パターン膜および遮光パターン膜によって遮光される領域を意味する。また、「遮光領域として機能する」とは、本発明に係るマスクブランクスから形成される後述する本発明に係る位相シフトマスク（ハーフトーン型位相シフトマスク）において、半透明パターン膜を透過する露光光のうち、マスクパターンを被転写体に転写するのに不要な露光光を遮光することを意味する。

ここで、遮光層14の膜厚は、上記の光学濃度を満たす範囲で変化させることができる。すなわち、半透明層12の透過率が小さい場合は、それに応じて遮光層14の膜厚を薄くすることができる。

本実施形態において、半透明層12の透過率 T と遮光層14の膜厚 d との関係は、 $T = 6\%$ において $23\text{ nm} \leq d \leq 27\text{ nm}$ の範囲であり、 $T = 20\%$ において $31\text{ nm} \leq d \leq 35\text{ nm}$ の範囲であり、 $T = 30\%$ において $33\text{ nm} \leq d \leq 37\text{ nm}$ の範囲であることが、より好ましい。

[0064] また、本実施形態において、遮光層14は、屈折率 n が1.0以下であり、かつ、消衰係数 k が2.0以上の単一の金属材料から構成されていること

が好ましく、この単一の金属材料はシリコン（Si）であることが、より好ましい。消衰係数 k が高いほど、上記積層体のArFエキシマレーザ露光光に対する光学濃度を遮光領域として機能する値以上、特に好ましくは、2.8以上にするために必要となる遮光層14の膜厚を薄くすることができるからである。これにより、位相シフトマスクのEMFバイアスの値が大きくなってしまふことを回避することができるからである。また、シリコン（Si）は、このような単一の金属材料の中でも消衰係数 k が高いからである。

[0065] 上記のような遮光層14の形成は、例えば、不純物イオンを含まないシリコン結晶をターゲットとし、アルゴン（Ar）ガス雰囲気中で反応性スパッタリング法により形成することができる。

[0066] 本実施形態において、遮光層中に含まない遷移金属としては、モリブデン（Mo）、タンタル（Ta）、タングステン（W）などが挙げられるが、特に、モリブデン（Mo）が遮光層中に含まない遷移金属として挙げられる。

[0067] 上記のように、モリブデンはシリコンとモリブデンシリサイド化合物（MoSi）を形成し、例えば、バイナリ型フォトマスクの遮光パターン膜として用いられている。しかしながら、モリブデンシリサイド（MoSi）系材料を用いた遮光パターン膜は、耐薬品性や耐光性が十分でなく、遮光パターン膜にモリブデンシリサイド（MoSi）系材料を用いたバイナリ型フォトマスクは、マスク洗浄やArFエキシマレーザ露光において、マスクパターンの寸法（CD寸法）変化が生じたりする。したがって、本発明においては、遮光層をモリブデンなどの遷移金属を含まない単一の金属材料から構成する。そして、より好ましい形態が、遮光層がシリコンから構成されるものである。

[0068] また、シリコンから構成される遮光層は、フッ素系ガスを用いたエッチングにおいて、従来のモリブデンシリサイド系の遮光層よりも早いエッチング速度を示し、パターン加工が容易であり、レジストの薄膜化も可能なので、解像力の向上ができる。

[0069] また、本発明に係るマスクブランクスは、図1（b）に示す形態のマスク

ブランクス 20 のように、遮光層 14 の上にハードマスク層 21 を有するものであってもよい。このような形態であれば、ハードマスク層 21 をエッチングマスク用いて遮光層 14 を加工することができるため、レジストをより薄膜化することができる。

[0070] 上記のように、遮光層 14 にはシリコンを用いることが好ましく、このシリコンは、主に、フッ素系ガスを用いたドライエッチングで加工されることから、ハードマスク層 21 は、フッ素系ガスを用いたドライエッチングに対して耐性を有する材料から構成されていることが好ましい。このハードマスク層 21 を構成する材料の具体例としては、Cr、CrO、CrN、CrNO等のクロム系の材料や、Ta、TaO、Ta₂N₅、Ta₂NO₅等のタンタル系の材料を挙げることができる。ハードマスク層 21 の膜厚は、例えば、2 nm～5 nmの範囲である。

なお、ハードマスク層 21 は同一材料から構成される単層構造であってもよく、異なる材料から構成される複層構造であってもよい。

ハードマスク層 21 の形成は、従来公知の真空成膜の方法が適用でき、例えばハードマスク層 21 がクロム膜 (Cr) の場合は、クロムのターゲットを用い、アルゴンガス雰囲気中で、反応性スパッタリング法により形成することができる。

[0071] (5) その他

また、中間層 13 および遮光層 14 の組み合わせとしては、中でも、上記クロム系の材料から構成される中間層 13 および上記単一の金属材料であるシリコン (Si) から構成されている遮光層 14 の組み合わせが好ましい。上記単一の金属材料であるシリコン (Si) は、上記クロム系の材料と比較して、消衰係数 k が大きく、両者の消衰係数 k の差は大きいからである。これにより、上述した通り、中間層 13 を薄くすることによって、上記積層体の ArF エキシマレーザ露光光に対する光学濃度を遮光領域として機能する値以上、特に好ましくは、2.8 以上にするために必要となる中間層 13 および遮光層 14 の全体の膜厚を薄くすることができる効果が得られるからで

ある。そして、中間層 13 の膜厚が、5 nm 以下である場合には、この効果は顕著になるからである。

[0072] <位相シフトマスク>

次に、本発明に係る位相シフトマスクについて説明する。

図 2 は、本発明に係る位相シフトマスクの例を示す概略断面図である。

例えば、図 2 (a) に示すように、本実施形態の位相シフトマスク 30 は、透明基板 11 と、その上に形成された半透明パターン膜 32 と、半透明パターン膜 32 の上に形成された中間パターン膜 33 と、中間パターン膜 33 の上に形成された遮光パターン膜 34 と、を有している。そして、遮光パターン膜 34 は、遷移金属を含まない単一の金属材料から構成されており、遮光パターン膜 34 の膜厚は 40 nm 以下であり、半透明パターン膜 32、中間パターン膜 33、遮光パターン膜 34 の 3 種の層を積層した積層体の A_r F エキシマレーザ露光光に対する光学濃度は遮光領域として機能する値以上、特に好ましくは、2.8 以上である。

[0073] 本実施形態に係る位相シフトマスク 30 は、上述のマスクブランク 10 またはマスクブランク 20 から製造することができる。すなわち、位相シフトマスク 30 の半透明パターン膜 32 は、マスクブランク 10 の半透明層 12 をパターン状に加工して得ることができ、同様に、中間パターン膜 33 は、中間層 13 をパターン状に加工して得ることができ、遮光パターン膜 34 は、遮光層 14 をパターン状に加工して得ることができる。

[0074] 図 2 (a) に示す概略断面図において、位相シフトマスク 30 の左端部では、半透明パターン膜 32 a の上に中間パターン膜 33 a および遮光パターン膜 34 a が形成されており、同様に、位相シフトマスク 30 の右端部では、半透明パターン膜 32 d の上に中間パターン膜 33 c および遮光パターン膜 34 c が形成されている。

この遮光パターン膜 34 a、および、遮光パターン膜 34 c が形成されている領域は、マスクパターンが形成された領域（有効領域）の外周部であって、従来のハーフトーン型位相シフトマスクにおいて遮光帯が設けられてい

た領域に相当する。

従来のハーフトーン型位相シフトマスクにおいては、遮光帯に形成したパターンによる光の干渉を利用して、外周部から透過する不要な露光光を遮光していたが、本実施形態の位相シフトマスク30においては、遮光パターン膜34a、および、遮光パターン膜34cによって確実に不要な露光光を遮光することができる。

[0075] また、位相シフトマスク30は、有効領域におけるマスクパターンとして、半透明パターン膜32bのみで構成される部分（単層構成部）と、半透明パターン膜32c、中間パターン膜33b、遮光パターン膜34bの3種の膜で構成される部分（積層構成部）を有している。

積層構成部の半透明パターン膜32cの面積は、通常、単層構成部の半透明パターン膜32cの面積よりも大きく、それゆえ、積層構成部には遮光パターン膜34bを設けて、半透明パターン膜を透過する不要な露光光を確実に遮光している。位相シフトマスク30においては、積層構成部の半透明パターン膜32cによる位相効果を消してしまわないように、半透明パターン膜32cのエッジ部分が遮光パターン膜34bから露出するように設計されている。

[0076] なお、本発明においては、半透明パターン膜のエッジ部分が、遮光パターン膜から露出しない形態の積層構成部を有していても良い。

例えば、図2（b）に示す形態の位相シフトマスク40は、位相シフトマスク30と同様に、透明基板11と、その上に形成された半透明パターン膜42と、半透明パターン膜42の上に形成された中間パターン膜43と、中間パターン膜43の上に形成された遮光パターン膜44と、を有しているが、その有効領域には、半透明パターン膜42cのエッジ部分が、遮光パターン膜44bから露出しない形態の積層構成部を有している。このような積層構成部は、例えば、アライメントマークとして利用できる。

[0077] <位相シフトマスクの製造方法>

次に、本発明に係る位相シフトマスクの製造方法について説明する。

(第1の実施形態)

図3は、図2(a)に示す形態の位相シフトマスク30の製造方法の例を示す概略工程図である。

本実施形態に係る製造方法によって、位相シフトマスク30を得るには、例えば、まず、図3(a)に示すように、透明基板11と、透明基板11の上に形成された半透明層12と、前記半透明層の上に形成された中間層13と、中間層13の上に形成された遮光層14と、を有するマスクブランク10の遮光層14の上にハードマスク層21を形成した、ハードマスク層付きマスクブランク20を準備する。

[0078] 次に、電子線描画等を用いたレジスト製版によって、ハードマスク層21の上に、第1のレジストパターン膜51を形成する(図3(b))。

[0079] 次に、例えば、塩素系ガスを用いたドライエッチングにより、第1のレジストパターン膜51から露出するハードマスク層21をエッチングして、第1の形態のハードマスクパターン膜22を形成し、さらに、第1の形態のハードマスクパターン膜22から露出する遮光層14を、フッ素系ガスを用いたドライエッチングにより、中間層13をエッチング停止層に用いてエッチングして、第1の形態の遮光パターン膜64を形成し(図3(c))、その後、第1のレジストパターン膜51を除去する(図3(d))。

[0080] 次に、第1の形態のハードマスクパターン膜22の上、および第1の形態の遮光パターン膜64から露出する中間層13の上に、第2のレジスト層52を形成し(図3(e))、次いで、電子線描画等を用いたレジスト製版によって、第1の形態のハードマスクパターン膜22の所望の領域、および、第1の形態の遮光パターン膜64から露出する中間層13の所望の領域を覆う第2のレジストパターン膜53を形成する(図3(f))。

[0081] 次に、例えば、塩素系ガスを用いたドライエッチングにより、第2のレジストパターン膜53から露出する第1の形態のハードマスクパターン膜22、および、第2のレジストパターン膜53と第1の形態の遮光パターン膜64から露出する中間層13をエッチングして、第2の形態のハードマスクパ

ターン膜 2 3、および第 1 の形態の中間パターン膜 6 3 を形成し（図 3（g））、その後、第 2 のレジストパターン膜 5 3 を除去する（図 3（h））。

[0082] 次に、フッ素系ガスを用いたドライエッチングにより、第 2 の形態のハードマスクパターン膜 2 3 から露出する第 1 の形態の遮光パターン膜 6 4 と、第 1 の形態の中間パターン膜 6 3 から露出する半透明層 1 2 をエッチングして、第 2 の形態の遮光パターン膜 3 4、および半透明パターン膜 3 2 を形成する（図 3（i））。

[0083] 次に、例えば、塩素系ガスを用いたドライエッチングにより、第 2 の形態のハードマスクパターン膜 2 3、および第 2 の形態の遮光パターン膜 3 4 から露出する第 1 の形態の中間パターン膜 6 3 をエッチングして、第 2 の形態のハードマスクパターン膜 2 3 を除去しつつ、第 2 の形態の中間パターン膜 3 3 を形成して、位相シフトマスク 3 0 を得る（図 3（j））。

[0084] （第 2 の実施形態）

図 4 は、図 2（b）に示す形態の位相シフトマスク 4 0 の製造方法の例を示す概略工程図である。

本実施形態に係る製造方法によって、位相シフトマスク 4 0 を得るには、例えば、まず、図 4（a）に示すように、透明基板 1 1 と、透明基板 1 1 の上に形成された半透明層 1 2 と、前記半透明層の上に形成された中間層 1 3 と、中間層 1 3 の上に形成された遮光層 1 4 と、を有するマスクブランク 1 0 の遮光層 1 4 の上にハードマスク層 2 1 を形成した、ハードマスク層付きマスクブランク 2 0 を準備する。

[0085] 次に、電子線描画等を用いたレジスト製版によって、ハードマスク層 2 1 の上に、第 1 のレジストパターン膜 5 4 を形成する（図 4（b））。

[0086] 次に、例えば、塩素系ガスを用いたドライエッチングにより、第 1 のレジストパターン膜 5 4 から露出するハードマスク層 2 1 をエッチングして、第 1 の形態のハードマスクパターン膜 2 4 を形成し、次いで、第 1 の形態のハードマスクパターン膜 2 4 から露出する遮光層 1 4 を、フッ素系ガスを用いたドライエッチングにより、中間層 1 3 をエッチング停止層に用いてエッチ

ングして、第1の形態の遮光パターン膜74を形成し、さらに、第1の形態の遮光パターン膜74から露出する中間層13をエッチングして、第1の形態の中間パターン膜73を形成し（図4（c））、その後、第1のレジストパターン膜54を除去する（図4（d））。

[0087] 次に、第1の形態のハードマスクパターン膜24の上、および第1の形態の中間パターン膜73から露出する半透明層12の上に、第2のレジスト層55を形成し（図4（e））、次いで、電子線描画等を用いたレジスト製版によって、第1の形態のハードマスクパターン膜24の所望の領域を覆う第2のレジストパターン膜56を形成する（図4（f））。

[0088] 次に、例えば、塩素系ガスを用いたドライエッチングにより、第2のレジストパターン膜56から露出する第1の形態のハードマスクパターン膜24をエッチングして、第2の形態のハードマスクパターン膜25を形成し（図4（g））、その後、第2のレジストパターン膜56を除去する（図4（h））。

[0089] 次に、フッ素系ガスを用いたドライエッチングにより、第2の形態のハードマスクパターン膜25から露出する第1の形態の遮光パターン膜74と、第1の形態の中間パターン膜73から露出する半透明層12をエッチングして、第2の形態の遮光パターン膜44、および半透明パターン膜42を形成する（図4（i））。

[0090] 次に、例えば、塩素系ガスを用いたドライエッチングにより、第2の形態のハードマスクパターン膜25、および第2の形態の遮光パターン膜44から露出する第1の形態の中間パターン膜73をエッチングして、第2の形態のハードマスクパターン膜25を除去しつつ、第2の形態の中間パターン膜43を形成して、位相シフトマスク40を得る（図4（j））。

実施例

[0091] 以下、実施例を用いて、さらに具体的に説明する。

[0092] （実施例1－1）

透明基板11として光学研磨した6インチ角、0.25インチ厚の合成石英

基板を用い、半透明層 1 2 としてモリブデンシリサイド酸化膜 (MoSiO) を用い、中間層 1 3 として膜厚 3 nm のクロム膜 (Cr) を用い、遮光層 1 4 としてシリコン膜 (Si) を用い、ハードマスク層 2 1 として膜厚 3 nm のクロム膜 (Cr) を用いて、ハードマスク層付きマスクブランク 2 0 を準備する。

ここで、半透明層 1 2 の膜厚は、露光光に対する透過率が 6 % になるように調整し、遮光層 1 4 の膜厚は、半透明層 1 2、中間層 1 3、遮光層 1 4 の 3 種の層を積層した積層体の露光光に対する光学濃度が 3. 0 になるように調整する。

[0093] 上記の光学濃度は大塚電子社製 MCPD 3000 で測定し、光学定数はエリプソメーター (ジェー・エー・ウーラム社製) の測定より得ることができる。また、膜厚は AFM 装置 (エスアイアイ ナノテクノロジー社製) を用いた段差計測により得ることができる。

[0094] 次に、上記のハードマスク層 2 1 の上に電子線レジストを塗布し、電子線描画装置にてパターン描画、および現像し、第 1 のレジストパターン膜 5 1 を形成する。

[0095] 次に、上記の第 1 のレジストパターン膜 5 1 をエッチングマスクに用いて、まず、塩素と酸素の混合ガスでハードマスク層 2 1 をドライエッチングして、第 1 の形態のハードマスクパターン膜 2 2 を形成し、さらに、 CF_4 ガスを用いたドライエッチングにより、第 1 の形態のハードマスクパターン膜 2 2 から露出する遮光層 1 4 をエッチングして、第 1 の形態の遮光パターン膜 6 4 を形成し、その後、第 1 のレジストパターン膜 5 1 を、酸素プラズマでアッシング除去する。

[0096] 次に、第 1 の形態のハードマスクパターン膜 2 2 の上、および第 1 の形態の遮光パターン膜 6 4 から露出する中間層 1 3 の上に、第 2 のレジスト層 5 2 としての電子線レジストを塗布し、次いで、電子線描画装置にてパターン描画、および現像し、第 2 のレジストパターン膜 5 3 を形成する。

[0097] 次に、塩素と酸素の混合ガスを用いたドライエッチングにより、第 2 のレジ

ストパターン膜53から露出する第1の形態のハードマスクパターン膜22、および、第2のレジストパターン膜53と第1の形態の遮光パターン膜64から露出する中間層13をエッチングして、第2の形態のハードマスクパターン膜23、および第1の形態の中間パターン膜63を形成し、その後、第2のレジストパターン膜53を、酸素プラズマでアッシング除去する。

[0098] 次に、 SF_6 ガスを用いたドライエッチングにより、第2の形態のハードマスクパター

ン膜23から露出する第1の形態の遮光パターン膜64と、第1の形態の中間パターン膜63から露出する半透明層12をエッチングして、第2の形態の遮光パターン膜34、および半透明パターン膜32を形成する。

[0099] 次に、塩素と酸素の混合ガスを用いたドライエッチングにより、第2の形態のハードマスクパターン膜23、および第2の形態の遮光パターン膜34から露出する第1の形態の中間パターン膜63をエッチングして、第2の形態のハードマスクパターン膜23を除去しつつ、第2の形態の中間パターン膜33を形成して、実施例1-1の位相シフトマスク30を得る。

[0100] この位相シフトマスク30の製造においては、遮光層がシリコン膜であるため、モリブデンシリサイド (MoSi) 系の膜よりもフッ素系ガスによるエッチング速度が速く、パターン加工性が良好となる。また、この位相シフトマスク30の遮光層は、シリコン膜であるため、モリブデンシリサイド (MoSi) 系の膜よりも高い耐薬品性、耐光性を示す。

[0101] (実施例1-2)

露光光に対する透過率が20%になるように、半透明層12の膜厚を調整し、半透明層12、中間層13、遮光層14の3種の層を積層した積層体の露光光に対する光学濃度が3.0になるように、遮光層14の膜厚を調整すること以外は、実施例1-1と同様にして、実施例1-2の位相シフトマスク30を得る。

[0102] (実施例1-3)

露光光に対する透過率が30%になるように、半透明層12の膜厚を調整し

、半透明層 1 2、中間層 1 3、遮光層 1 4 の 3 種の層を積層した積層体の露光光に対する光学濃度が 3. 0 になるように、遮光層 1 4 の膜厚を調整すること以外は、実施例 1 - 1 と同様にして、実施例 1 - 3 の位相シフトマスク 3 0 を得る。

[0103] (比較例 1 - 1)

光学研磨した 6 インチ角、0. 2 5 インチ厚の透明な合成石英基板上に、モリブデンシリサイド窒化膜 (MoSiN) を膜厚 5 0 nm 成膜して遮光層とし、その上に、クロム膜 (Cr) を膜厚 3 nm 成膜してハードマスク層とする構成のバイナリ型フォトマスクブランクスを準備する。

次に、上記のブランクスのハードマスク層の上に電子線レジストを塗布し、電子線描画装置にてパターン描画、現像し、所望形状のレジストパターン膜を形成する。

次に、上記のレジストパターン膜をエッチングマスクに用いて、塩素と酸素の混合ガスでハードマスク層のクロム膜をエッチングし、さらに、SF₆ ガスを用いて遮光層のモリブデンシリサイド窒化膜をドライエッチングして所望のマスクパターンを形成し、その後、レジストパターン膜を酸素プラズマでアッシング除去する。

次に、塩素と酸素の混合ガスでハードマスク層のクロム膜パターンをエッチングして除去し、比較例 1 - 1 のバイナリ型フォトマスクを得る。

[0104] <半透明層の透過率と遮光層の膜厚との関係>

まず、上記の実施例 1 - 1 ~ 1 - 3 における半透明層 1 2 の各透過率と、遮光層 1 4 の膜厚との関係について説明する。

本発明において遮光層 1 4 の膜厚は、上記の光学濃度を満たす範囲で変化させることができる。すなわち、半透明層 1 2 の透過率が小さい場合は、それに応じて遮光層 1 4 の膜厚を薄くすることができる。ここで、中間層 1 3 の膜厚は 3 nm と極めて薄く、材料もクロム系であることから、その遮光性は無視することができる。

したがって、遮光層 1 4 にシリコン膜を用いる場合、半透明層 1 2 と遮光層

14の2層で光学濃度が3.0となることを満たす半透明層12の透過率と遮光層14の膜厚との関係は、図5のようになる。

[0105] 例えば、半透明層12の透過率が6%の場合、上記条件を満たす遮光層14の膜厚は25nmであり、同様に、半透明層12の透過率が20%の場合には、遮光層14の膜厚は33nmであり、半透明層12の透過率が30%の場合には、遮光層14の膜厚は35nmである。

[0106] ここで、本発明においては、半透明層12、中間層13、遮光層14の3種の層を積層した積層体の露光光に対する光学濃度は2.8以上であることが好ましい。一方、EMFバイアスを小さくするためには、遮光層14の膜厚は薄いほど好ましく、例えば、上記の光学濃度が3.2程度もあれば十分である。

それゆえ、本実施形態においては、半透明層12の透過率 T と遮光層14の膜厚 d との関係が、 $T=6\%$ において $23\text{ nm} \leq d \leq 27\text{ nm}$ の範囲であり、 $T=20\%$ において $31\text{ nm} \leq d \leq 35\text{ nm}$ の範囲であり、 $T=30\%$ において $33\text{ nm} \leq d \leq 37\text{ nm}$ の範囲であることが好ましい。

[0107] <EMFバイアスおよび露光裕度の評価>

次に、本発明に係る位相シフトマスクと従来のバイナリ型フォトマスクについて、EMFバイアスおよび露光裕度（EL: Exposure Latitude）をシミュレーションにより評価した結果について説明する。

[0108] （シミュレーション条件）

シミュレーションは、下記の条件により行なった。シミュレーション・ソフトウェアとして、EM-Suite Version v6.00（商品名: Panoramic Technology社製）を用い、3次元（3Dとも記す）シミュレーション条件としては、シミュレーション・モードには3次元電磁界シミュレーションのTEMPEST（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言う）を用い、グリッドサイズは1nm（4倍マスクにおいて）とした。2次元（2Dとも記す）シミュレーション条件としては、シミュレーション・モー

ドにキルヒホッフ (K i r c h h o f f) 法を用いた。

[0109] (リソグラフィ条件)

2次元及び3次元シミュレーションにおけるリソグラフィ条件として、露光光源はA r Fエキシマレーザで露光波長は193nm、投影レンズの開口数(N A)は1.35とした。照明系は瞳フィルタを用いた斜入射光による露光とし、図6に示す四重極(C-q u a d)の瞳フィルタを用いた四重極照明を設定した。C-q u a dの4つの光透過部91は、X Y軸上に瞳中心からの開口角が20度の扇型をなし、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光透過部91が0度、90度の配置(X Yポーラリゼーション)をとり、瞳フィルタの半径を1としたとき、瞳中心からの距離の外径(外 σ)を0.98、内径(内 σ)を0.8とした。4つの光透過部91以外の箇所は遮光部92(斜線部分)としている。

[0110] なお、上記の投影レンズの開口数(N A)1.35は、微細な半導体デバイス用のマスクパターン転写に用いられていることにより、一例として用いたものであり、もとより本発明はそれに限定されることはなく、他の開口数のレンズを用いることが可能である。

また、上記の照明系として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、普遍性が高くて一般的なマスクパターン転写に適用できるからである。ただし、四重極照明は好ましい一例として用いたものであり、本発明においては、四重極照明以外の他の変形照明系、例えば、輪帯照明、二重極照明などにおいても同様に露光裕度の改善効果が得られるものである。

[0111] (E M Fバイアスの評価)

実施例1-1~1-3の位相シフトマスク、および比較例1-1の従来のバイナリ型フォトマスクを用いて、直径40nmの孤立ホールパターンをウェハ上のレジストに形成する際のE M Fバイアスの評価結果について、図7を用いて説明する。

図7においては、透過率0%の点が比較例1-1のE M Fバイアスの値を示

し、透過率6%の点が実施例1-1のEMFバイアスの値を示し、透過率20%の点が実施例1-2のEMFバイアスの値を示し、透過率30%の点が実施例1-3のEMFバイアスの値を示している。なお、図7におけるEMFバイアスの値は、ウェハ上における大きさを示している。図7に示すように、直径40nmの孤立ホールパターンをウェハ上のレジストに形成する場合、比較例1-1の従来のバイナリ型フォトマスクにおいては、ウェハ上における大きさを10nmのEMFバイアスを必要とするが、実施例1-1～1-3の位相シフトマスクにおいては、いずれもEMFバイアスの値を小さくでき、特に、実施例1-3の位相シフトマスクにおいては、-0.6nmにまでEMFバイアスの値を小さくすることができる。

[0112] ここで、本発明で用いているEMFバイアスについて、図8に示すバイナリ型フォトマスクの断面模式図を例にして説明する。図8では、透明基板101上に遮光パターン膜102よりなるマスクパターンを有するバイナリマスク100が示されている。ここで、通常、フォトマスクには4倍体のレチクルが用いられるので、マスクパターンのライン部の寸法（ラインCD（Critical Dimension）と称する）は、目標とするウェハ上の線幅寸法（ターゲットCDと称する）の4倍の数値 $\times$ （nm）に、補正值であるバイアス d （nm）を加えた値として示される（ x =ターゲットCD $\times$ 4）。

図8において、バイアス d は、

$$\text{バイアス}(d) = 2 \times a$$

と表される。

上記において、バイアス d の値が+の場合はラインCDが広がる方向であり、 d の値が-の場合はラインCDが狭くなる方向を意味する。ただし、本発明では、+の場合には特に+の表示はしていない。

[0113] 電磁界（EMF）効果に係るEMFバイアスは、ウェハ上のレジストへの転写パターン線幅の重要な寸法（CD）精度に大きな影響を与える。このため、フォトマスクの作製に際し、電磁界効果のシミュレーションを行い、電

磁界（EMF）効果による影響を抑制するため、フォトマスクパターンの補正を行う必要がある。このマスクパターンの補正計算は、EMFバイアスが大きいほど複雑化する。また、補正後のマスクパターンもEMFバイアスが大きいほど複雑化していき、フォトマスク作製に大きな負荷がかかる。例えば、バイアス値が大きくなり、隣接するパターンとの関係でパターン補正できなくなるという問題も生じている。EMFバイアスの値は、0に近い値ほど補正が小さくてフォトマスク製造が容易になり、マスク製造歩留りが向上することになる。

[0114] （露光裕度の評価）

次に、露光裕度の評価結果について、表1を用いて説明する。

ここで、露光裕度（EL：％）は、ウェハ上のレジストパターン膜の寸法が、許容される限界内に収まるような露光エネルギーの範囲であり、フォトリソグラフィにおける露光量（ドーズ量）の変動に対する裕度を示す値である。すなわち、レジストパターンの線幅寸法の変動量が所定の許容範囲内に入るような露光エネルギーの範囲である。露光裕度が大きければ、半導体素子製造のフォトリソグラフィ工程における歩留が向上することになる。

[0115] 表1においては、ウェハ上の各パターンピッチ（nm）におけるターゲットCDが±10％内に入る露光裕度（EL）を、実施例1-1～1-3の位相シフトマスク、および比較例1-1の従来のバイナリ型フォトマスクについて比較評価した。

評価したマスクパターンは、ラインアンドスペースパターンであって、ウェハ上に転写したときのスルーピッチ（フルピッチ）が80nm～300nmの範囲であり、ターゲットとするラインCDはウェハ上で10nmとした。

[0116] [表1]

Pitch (nm)	比較例1-1 (BIM)	実施例1-1 (6%PSM)	実施例1-2 (20%PSM)	実施例1-3 (30%PSM)
80	0.7	1.3	1.7	1.8
160	0.4	0.9	1.1	1.2
300	0.2	0.6	0.7	0.8

[0117] 表 1 に示されるように、実施例 1-1 ~ 1-3 の本発明に係る位相シフトマスクは、パターンピッチ 80 nm ~ 300 nm のいずれの範囲においても、比較例 1-1 の従来のバイナリ型フォトマスクに比べて、露光裕度を大きくすることができ、特に、実施例 1-3 の位相シフトマスクにおいては、パターンピッチ 80 nm において露光裕度 1.8 %、パターンピッチ 160 nm において露光裕度 1.2 %、パターンピッチ 300 nm において露光裕度 0.8 %、という大きな値が得られた。

[0118] (実施例 2-1)

透明基板 11 として光学研磨した 6 インチ角、0.25 インチ厚の合成石英基板を用い、半透明層 12 としてモリブデンシリサイド酸化膜 (MoSiO) を用い、中間層 13 として膜厚 2 nm の CrN 膜を用い、遮光層 14 としてシリコン膜 (Si) を用いて、マスクブランク 20 を作製する。

[0119] ここで、半透明層 12 の膜厚は、露光光に対する透過率が 6 % になるように調整し、遮光層 14 の膜厚は、半透明層 12、中間層 13、遮光層 14 の 3 種の層を積層した積層体の露光光に対する光学濃度が 3.0 になるように調整する。

[0120] 上記の光学濃度は大塚電子社製 MCPD 3000 で測定し、光学定数はエリプソメーター (ジェー・エー・ウーラム社製) の測定より得る。また、膜厚は AFM 装置 (エスアイアイ ナノテクノロジー社製) を用いる段差計測により得る。

[0121] (実施例 2-2)

中間層 13 として膜厚 4 nm の CrN 膜を用いること以外は、実施例 2-1 と同様にして、マスクブランク 20 を作製し、半透明層 12 の膜厚および遮光層 14 の膜厚を調整する。

[0122] (比較例 2-1)

中間層 13 として膜厚 6 nm の CrN 膜を用いること以外は、実施例 2-1 と同様にして、マスクブランク 20 を作製し、半透明層 12 の膜厚および遮光層 14 の膜厚を調整する。

[0123] (比較例 2-2)

中間層 13 として膜厚 8 nm の CrN 膜を用いること以外は、実施例 2-1 と同様にして、マスクブランク 20 を作製し、半透明層 12 の膜厚および遮光層 14 の膜厚を調整する。

[0124] (比較例 2-3)

中間層 13 として膜厚 10 nm の CrN 膜を用いること以外は、実施例 2-1 と同様にして、マスクブランク 20 を作製し、半透明層 12 の膜厚および遮光層 14 の膜厚を調整する。

[0125] <中間層の膜厚と中間層および遮光層の全体の膜厚との関係>

上記実施例 2-1 ~ 2-2 および上記比較例 2-1 ~ 2-3 における中間層 13 の膜厚と中間層 13 および遮光層 14 の全体の膜厚との関係について説明する。表 2 に、上記実施例 2-1 ~ 2-2 および上記比較例 2-1 ~ 2-3 における中間層 13 (CrN 膜) の膜厚、遮光層 14 (シリコン膜 (Si)) の膜厚、中間層 13 および遮光層 14 の全体の膜厚、ならびに上記積層体の露光光に対する光学濃度 (OD 値) を示した。なお、中間層 13 に用いられる CrN 膜の屈折率 n および消衰係数 k は、それぞれ 1.5 および 1.8 であり、遮光層 14 に用いられるシリコン膜 (Si) の屈折率 n および消衰係数 k は、それぞれ 0.9 および 2.7 である。

[0126] [表2]

	実施例 2-1	実施例 2-2	比較例 2-1	比較例 2-2	比較例 2-3
CrN 膜の膜厚	2	4	6	8	10
シリコン膜の膜厚	25	23	22	21	19
全体の膜厚	27	27	28	29	29
光学濃度 (OD 値)	3.03	2.99	3.02	3.05	3.01

[0127] 表 2 に示されるように、中間層 13 の膜厚が 5 nm 以上になると、中間層 13 および遮光層 14 の全体の膜厚が、中間層 13 の膜厚が 5 nm 以下の場合よりも、厚くなることがわかった。このため、中間層 13 の膜厚が 5 nm 以下になると、位相シフトマスクの EMF バイアスの値が大きくなってしま

うことを回避することができることが示唆されている。

[0128] (実施例 3-1)

中間層 13 として膜厚 2 nm の CrON 膜を用いること以外は、実施例 2-1 と同様にして、マスクブランクス 20 を作製し、半透明層 12 の膜厚および遮光層 14 の膜厚を調整する。

[0129] (実施例 3-2)

中間層 13 として膜厚 4 nm の CrON 膜を用いること以外は、実施例 2-1 と同様にして、マスクブランクス 20 を作製し、半透明層 12 の膜厚および遮光層 14 の膜厚を調整する。

[0130] (比較例 3-1)

中間層 13 として膜厚 6 nm の CrON 膜を用いること以外は、実施例 2-1 と同様にして、マスクブランクス 20 を作製し、半透明層 12 の膜厚および遮光層 14 の膜厚を調整する。

[0131] (比較例 3-2)

中間層 13 として膜厚 8 nm の CrON 膜を用いること以外は、実施例 2-1 と同様にして、マスクブランクス 20 を作製し、半透明層 12 の膜厚および遮光層 14 の膜厚を調整する。

[0132] (比較例 3-3)

中間層 13 として膜厚 10 nm の CrON 膜を用いること以外は、実施例 2-1 と同様にして、マスクブランクス 20 を作製し、半透明層 12 の膜厚および遮光層 14 の膜厚を調整する。

[0133] <中間層の膜厚と中間層および遮光層の全体の膜厚との関係>

上記実施例 3-1 ~ 3-2 および上記比較例 3-1 ~ 3-3 における中間層 13 の膜厚と中間層 13 および遮光層 14 の全体の膜厚との関係について説明する。表 3 に、上記実施例 3-1 ~ 3-2 および上記比較例 3-1 ~ 3-3 における中間層 13 (CrON 膜) の膜厚、遮光層 (シリコン膜 (Si)) 14 の膜厚、中間層 13 および遮光層 14 の全体の膜厚、ならびに上記積層体の露光光に対する光学濃度 (OD 値) を示した。なお、中間層 13 に

用いられるC r O N膜の屈折率 n および消衰係数 k は、それぞれ2.4および1.4であり、遮光層14に用いられるシリコン膜(S i)の屈折率 n および消衰係数 k は、それぞれ0.9および2.7である。

[0134] [表3]

	実施例3-1	実施例3-2	比較例3-1	比較例3-2	比較例3-3
C r O N膜の膜厚	2	4	6	8	10
シリコン膜の膜厚	25	24	23	22	21
全体の膜厚	27	28	29	30	31
光学濃度(OD値)	3	3.01	3.02	3.03	3.04

[0135] 表3に示されるように、中間層13の膜厚が5nm以上になると、中間層13および遮光層14の全体の膜厚が、中間層13の膜厚が5nm以下の場合よりも、厚くなることがわかった。このため、中間層13の膜厚が5nm以下になると、位相シフトマスクのEMFバイアスの値が大きくなってしまいうことを回避することができることが示唆されている。

[0136] また、表2および表3を比較すると、中間層13の膜厚が4nm以上になると、中間層13としてC r N膜を用いた場合の方が、遮光層14の膜厚ならびに中間層13および遮光層14の全体の膜厚が、中間層13としてC r O N膜を用いた場合よりも、薄くなった。これは、C r N膜の方が、C r O N膜よりも、消衰係数 k が高く、透過率が低いからであると考えられる。また、これは、C r O N膜が酸素(O)を含んでいるのに対して、C r N膜が酸素(O)を含んでいないからであると考えられる。

[0137] 以上、本発明に係るマスクブランクス、位相シフトマスク及びその製造方法についてそれぞれ説明したが、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と、実質的に同一の構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなる場合であっても本発明の技術的範囲に包含される。

符号の説明

[0138] 10、20 マスクブランクス

11 透明基板

- 1 2 半透明層
- 1 3 中間層
- 1 4 遮光層
- 2 1 ハードマスク層
- 2 2、2 3、2 4、2 5 ハードマスクパターン膜
- 3 0、4 0 位相シフトマスク
- 3 2、3 2 a、3 2 b、3 2 c、3 2 d 半透明パターン膜
- 3 3、3 3 a、3 3 b、3 3 c 中間パターン膜
- 3 4、3 4 a、3 4 b、3 4 c 遮光パターン膜
- 4 2、4 2 a、4 2 b、4 2 c、4 2 d 半透明パターン膜
- 4 3、4 3 a、4 3 b、4 3 c 中間パターン膜
- 4 4、4 4 a、4 4 b、4 4 c 遮光パターン膜
- 5 1、5 3、5 4、5 6 レジストパターン膜
- 5 2、5 5 レジスト層
- 6 3、7 3 中間パターン膜
- 6 4、7 4 遮光パターン膜
- 9 1 光透過部
- 9 2 遮光部
- 1 0 0 バイナリマスク
- 1 0 1 透明基板
- 1 0 2 遮光パターン膜

請求の範囲

- [請求項1] A r F エキシマレーザ露光光が適用されるハーフトーン型の位相シフトマスクを作製するために用いられるマスクブランクスであって、
透明基板と、
前記透明基板の上に形成され、前記露光光の位相及び透過率を制御する半透明層と、
前記半透明層の上に形成された中間層と、
前記中間層の上に形成された遮光層と、
を有し、
前記遮光層が、遷移金属を含まない単一の金属材料から構成されており、
前記遮光層の膜厚が40nm以下であり、
前記半透明層、前記中間層、前記遮光層の3種の層を積層した積層体の前記露光光に対する光学濃度が遮光領域として機能する値以上であることを特徴とするマスクブランクス。
- [請求項2] 前記半透明層、前記中間層、前記遮光層の3種の層を積層した積層体は、前記露光光に対する光学濃度が2.8以上となるよう調整したものであることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のマスクブランクス。
- [請求項3] 前記半透明層の前記露光光に対する透過率Tと前記遮光層の膜厚dとの関係が、
 $T = 6\% \text{ において } 23 \text{ nm} \leq d \leq 27 \text{ nm}$ の範囲であり、
 $T = 20\% \text{ において } 31 \text{ nm} \leq d \leq 35 \text{ nm}$ の範囲であり、
 $T = 30\% \text{ において } 33 \text{ nm} \leq d \leq 37 \text{ nm}$ の範囲であることを特徴とする請求の範囲第1項または第2項に記載のマスクブランクス。
- [請求項4] 前記遮光層は、屈折率nが1.0以下であり、かつ、消衰係数kが2.0以上の単一の金属材料から構成されていることを特徴とする請求の範囲第1項から第3項までのいずれかに記載のマスクブランクス

。

- [請求項5] 前記単一の金属材料が、シリコンであることを特徴とする請求の範囲第1項から第4項までのいずれかに記載のマスクブランクス。
- [請求項6] 前記半透明層が、 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ （ x および y は、 $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、および $0 < x + y \leq 1$ を満足する）からなることを特徴とする請求の範囲第1項から第5項までのいずれかに記載のマスクブランクス。
- [請求項7] 前記中間層が、フッ素系ガスを用いたドライエッチングに対して耐性を有する材料から構成されていることを特徴とする請求の範囲第1項から第6項までのいずれかに記載のマスクブランクス。
- [請求項8] 前記中間層がクロム（Cr）を含有するクロム系材料から構成され、かつ前記中間層の膜厚が2 nm～5 nmの範囲内であることを特徴とする請求の範囲第1項から第7項までのいずれかに記載のマスクブランクス。
- [請求項9] 前記遮光層の上に、フッ素系ガスを用いたドライエッチングに対して耐性を有する材料から構成されるハードマスク層を有することを特徴とする請求の範囲第1項から第8項までのいずれかに記載のマスクブランクス。
- [請求項10] ArFエキシマレーザ露光光が適用されるハーフトーン型の位相シフトマスクであって、
透明基板と、
前記透明基板の上に形成され、前記露光光の位相及び透過率を制御する半透明パターン膜と、
前記半透明パターン膜の上に形成された中間パターン膜と、
前記中間パターン膜の上に形成された遮光パターン膜と、
を有し、
前記遮光パターン膜が、遷移金属を含まない単一の金属材料から構成されており、

前記遮光パターン膜の膜厚が40nm以下であり、

前記半透明パターン膜、前記中間パターン膜、前記遮光パターン膜の3種の膜を積層した積層体の前記露光光に対する光学濃度が遮光領域として機能する値以上であることを特徴とする位相シフトマスク。

[請求項11] 前記半透明パターン膜、前記中間パターン膜、前記遮光パターン膜の3種の膜を積層した積層体は、前記露光光に対する光学濃度が2.8以上となるよう調整したものであることを特徴とする請求の範囲第10項に記載の位相シフトマスク。

[請求項12] 前記半透明パターン膜の前記露光光に対する透過率Tと前記遮光パターン膜の膜厚dとの関係が、

$T = 6\%$ において $23\text{ nm} \leq d \leq 27\text{ nm}$ の範囲であり、

$T = 20\%$ において $31\text{ nm} \leq d \leq 35\text{ nm}$ の範囲であり、

$T = 30\%$ において $33\text{ nm} \leq d \leq 37\text{ nm}$ の範囲であることを特徴とする請求の範囲第10項または第11項に記載の位相シフトマスク。

[請求項13] 前記遮光パターン膜は、屈折率nが1.0以下であり、かつ、消衰係数kが2.0以上の単一の金属材料から構成されていることを特徴とする請求の範囲第10項から第12項までのいずれかに記載の位相シフトマスク。

[請求項14] 前記単一の金属材料が、シリコンであることを特徴とする請求の範囲第10項から第13項までのいずれかに記載の位相シフトマスク。

[請求項15] 前記半透明パターン膜が、 $\text{Si}_x\text{O}_{1-x-y}\text{N}_y$ (xおよびyは、 $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、および $0 < x + y \leq 1$ を満足する) からなることを特徴とする請求の範囲第10項から第14項までのいずれかに記載の位相シフトマスク。

[請求項16] 前記中間パターン膜が、フッ素系ガスを用いたドライエッチングに対して耐性を有する材料から構成されていることを特徴とする請求の範囲第10項から第15項までのいずれかに記載の位相シフトマスク

。

[請求項17] 前記中間パターン膜がクロム（Cr）を含有するクロム系材料から構成され、かつ前記中間パターン膜の膜厚が2 nm～5 nmの範囲内であることを特徴とする請求の範囲第10項から第16項までのいずれかに記載の位相シフトマスク。

[請求項18] 透明基板と、前記透明基板の上に形成され、前記露光光の位相及び透過率を制御する半透明層と、前記半透明層の上に形成された中間層と、前記中間層の上に形成された遮光層と、を有し、前記遮光層が、遷移金属を含まない単一の金属材料から構成されているマスクブランクスの前記遮光層の上にハードマスク層を形成した、ハードマスク層付きマスクブランクスを準備する工程と、

前記ハードマスク層の上に、第1のレジストパターン膜を形成する工程と、

前記第1のレジストパターン膜から露出する前記ハードマスク層をエッチングして、第1の形態のハードマスクパターン膜を形成する工程と、

前記第1の形態のハードマスクパターン膜から露出する前記遮光層を、前記中間層をエッチング停止層に用いてエッチングして、第1の形態の遮光パターン膜を形成する工程と、

前記第1のレジストパターン膜を除去する工程と、

前記第1の形態のハードマスクパターン膜の所望の領域、および、前記第1の形態の遮光パターン膜から露出する前記中間層の所望の領域を覆う第2のレジストパターン膜を形成する工程と、

前記第2のレジストパターン膜から露出する前記第1の形態のハードマスクパターン膜、および、前記第2のレジストパターン膜と前記第1の形態の遮光パターン膜から露出する前記中間層をエッチングして、第2の形態のハードマスクパターン膜、および第1の形態の中間パターン膜を形成する工程と、

前記第2のレジストパターン膜を除去する工程と、

前記第2の形態のハードマスクパターン膜から露出する前記第1の形態の遮光パターン膜と、前記第1の形態の中間パターン膜から露出する前記半透明層をエッチングして、第2の形態の遮光パターン膜、および半透明パターン膜を形成する工程と、

前記第2の形態のハードマスクパターン膜、および前記第2の形態の遮光パターン膜から露出する前記第1の形態の中間パターン膜をエッチングして、前記第2の形態のハードマスクパターン膜を除去しつつ、第2の形態の中間パターン膜を形成する工程と、

を順に備えることを特徴とする位相シフトマスクの製造方法。

[請求項19]

透明基板と、前記透明基板の上に形成され、前記露光光の位相及び透過率を制御する半透明層と、前記半透明層の上に形成された中間層と、前記中間層の上に形成された遮光層と、を有し、前記遮光層が、遷移金属を含まない単一の金属材料から構成されているマスクブランクスの前記遮光層の上にハードマスク層を形成した、ハードマスク層付きマスクブランクスを準備する工程と、

前記ハードマスク層の上に、第1のレジストパターン膜を形成する工程と、

前記第1のレジストパターン膜から露出する前記ハードマスク層をエッチングして、第1の形態のハードマスクパターン膜を形成する工程と、

前記第1の形態のハードマスクパターン膜から露出する前記遮光層を、前記中間層をエッチング停止層に用いてエッチングして、第1の形態の遮光パターン膜を形成する工程と、

前記第1の形態の遮光パターン膜から露出する前記中間層をエッチングして、第1の形態の中間パターン膜を形成する工程と、

前記第1のレジストパターン膜を除去する工程と、

前記第1の形態のハードマスクパターン膜の所望の領域を覆う第2

のレジストパターン膜を形成する工程と、

前記第2のレジストパターン膜から露出する前記第1の形態のハードマスクパターン膜をエッチングして、第2の形態のハードマスクパターン膜を形成する工程と、

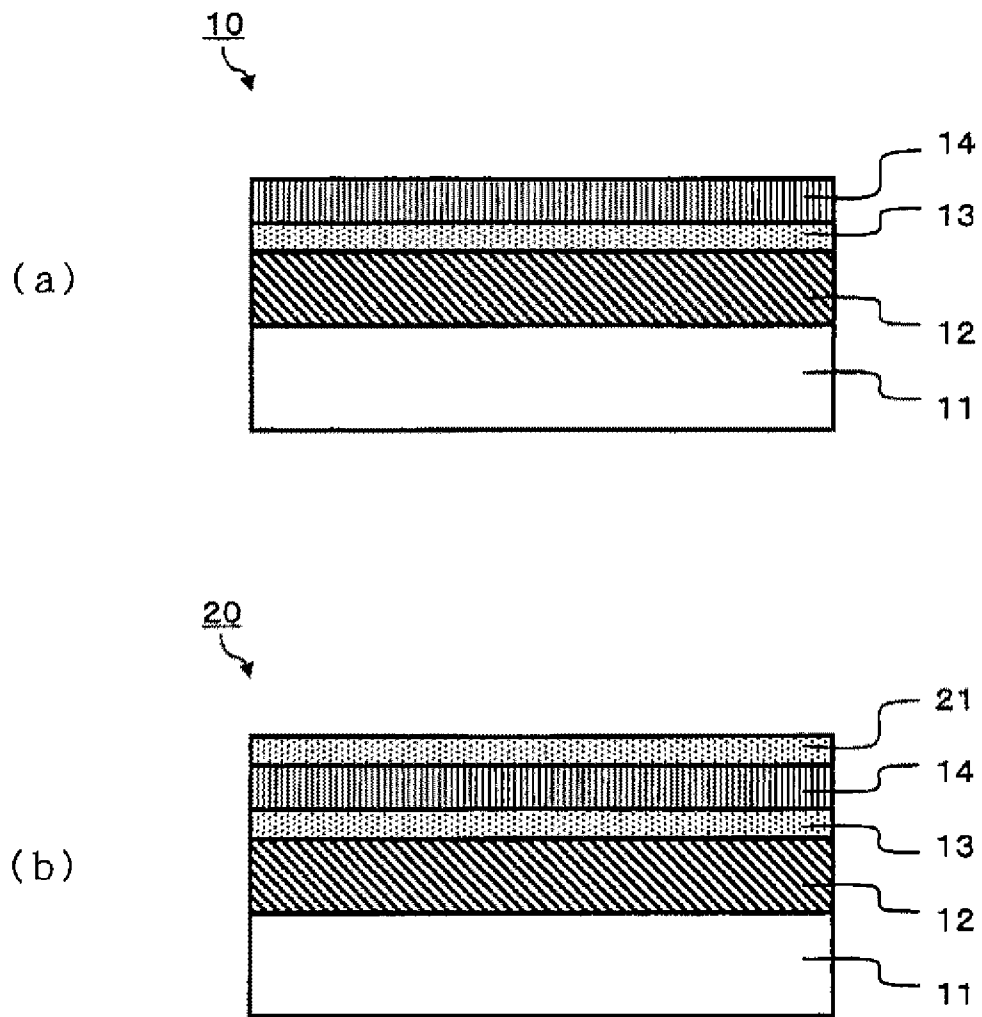
前記第2のレジストパターン膜を除去する工程と、

前記第2の形態のハードマスクパターン膜から露出する前記第1の形態の遮光パターン膜、および前記第1の形態の中間パターン膜から露出する前記半透明層をエッチングして、第2の形態の遮光パターン膜、および半透明パターン膜を形成する工程と、

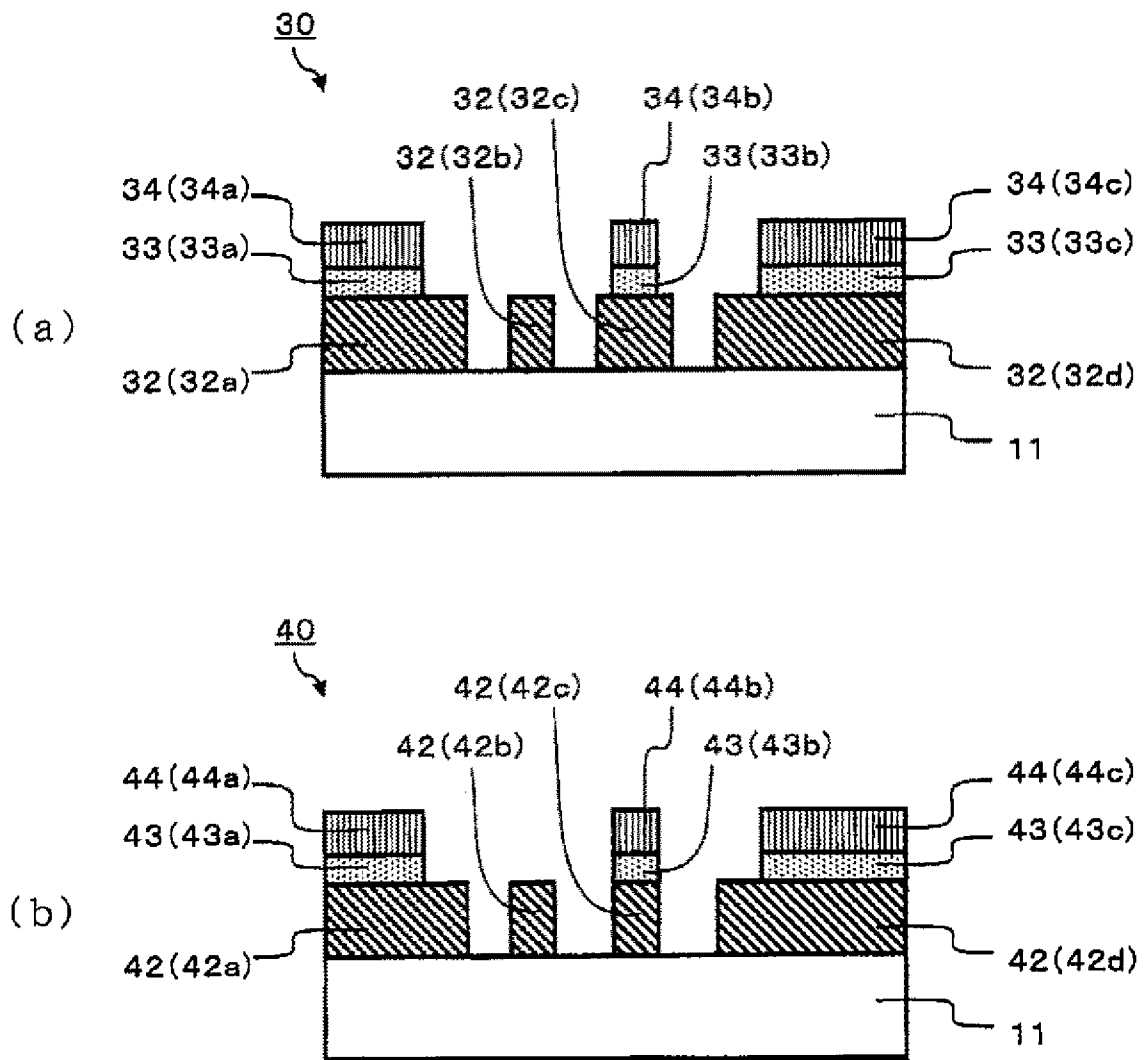
前記第2の形態のハードマスクパターン膜、および前記第2の形態の遮光パターン膜から露出する前記第1の形態の中間パターン膜をエッチングして、前記第2の形態のハードマスクパターン膜を除去しつつ、第2の形態の中間パターン膜を形成する工程と、

を順に備えることを特徴とする位相シフトマスクの製造方法。

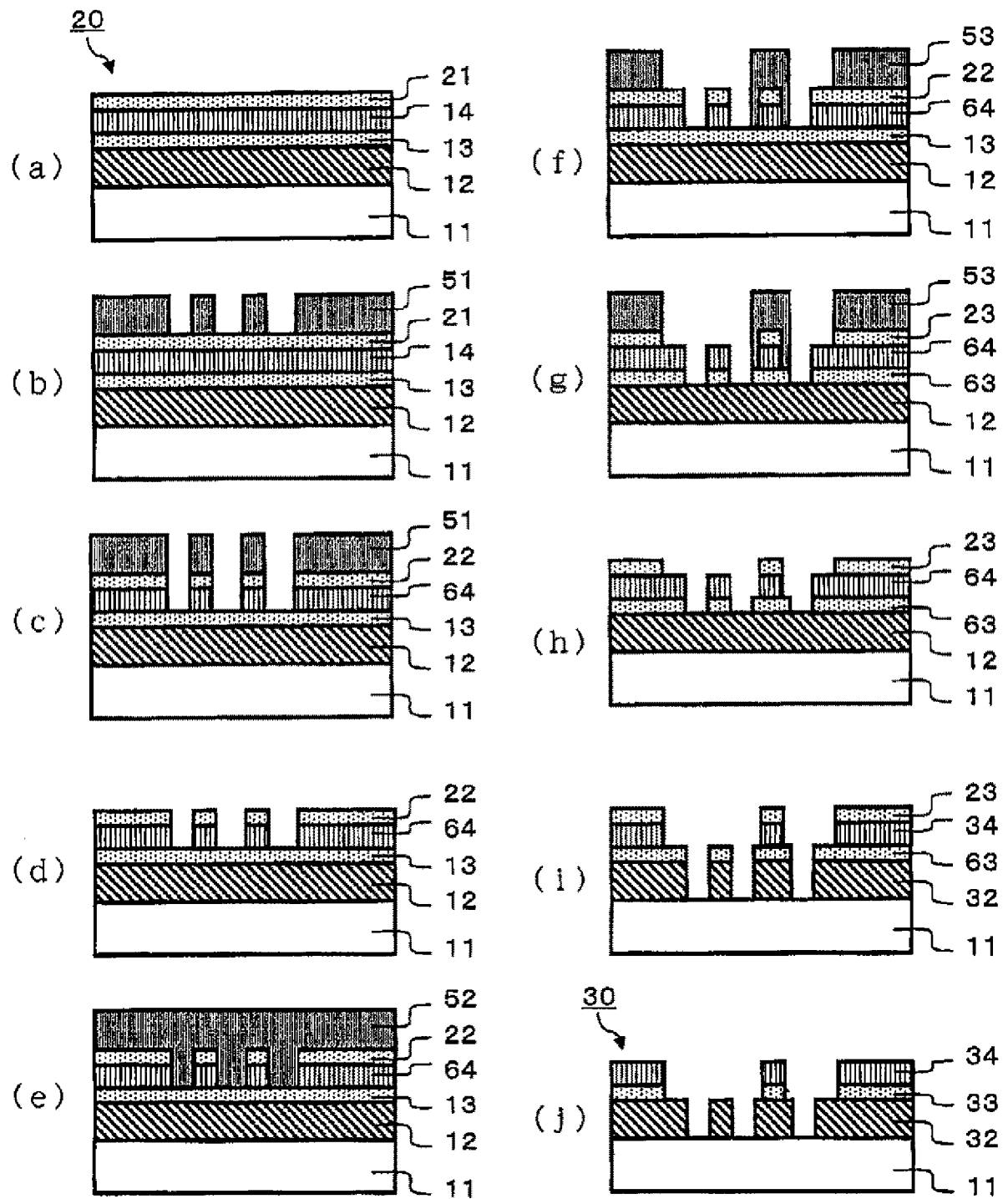
[図1]



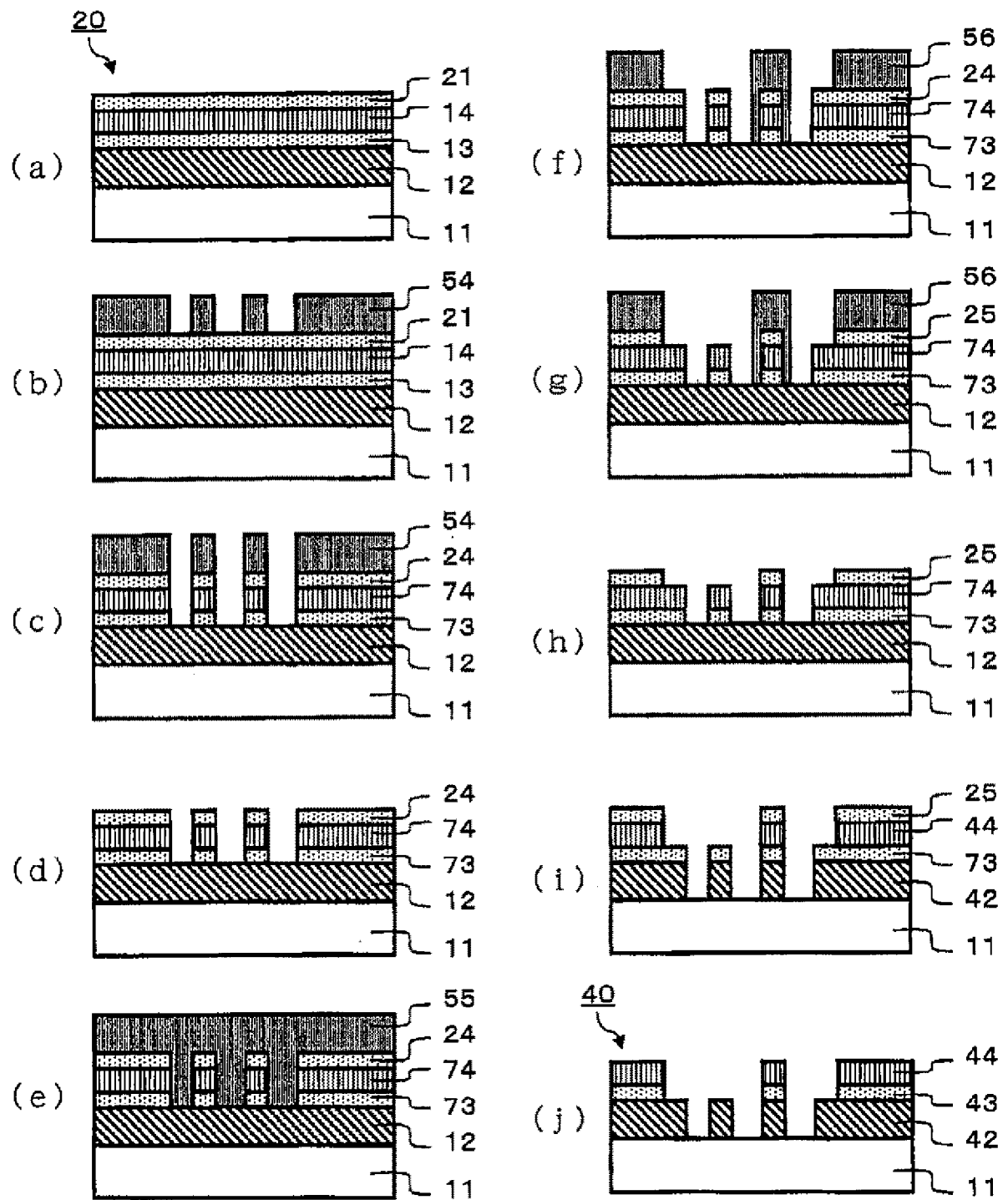
[図2]



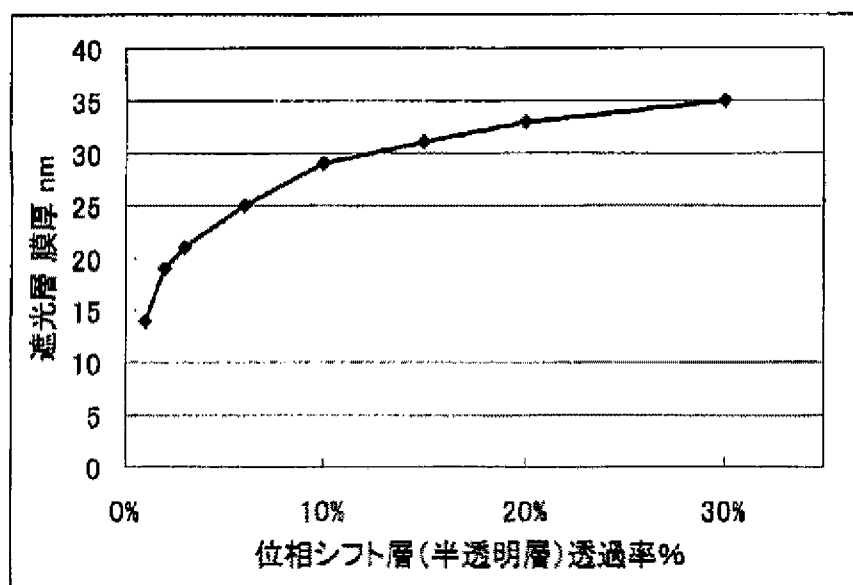
[図3]



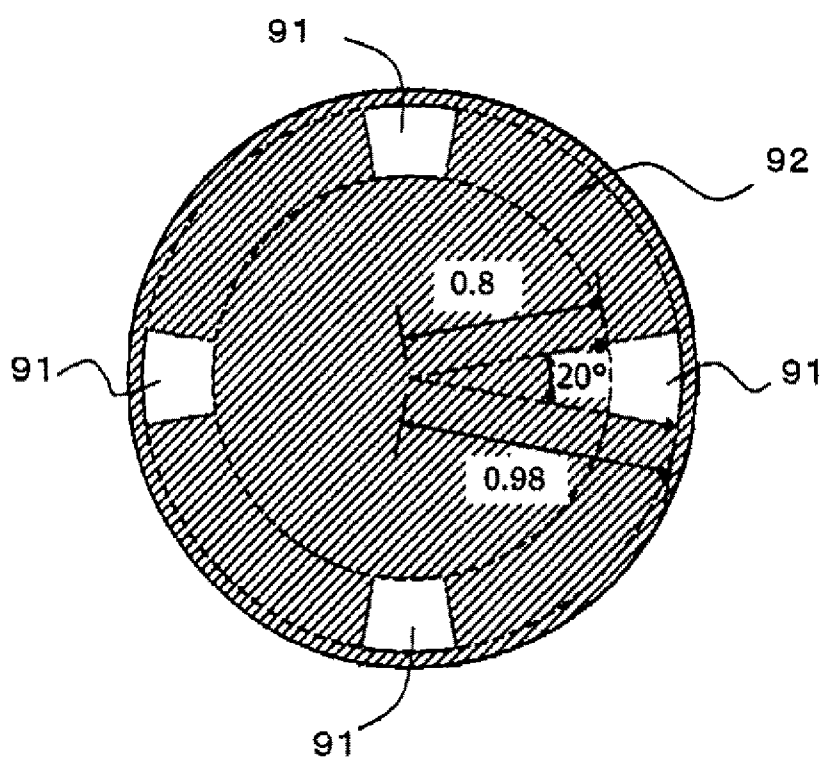
[図4]



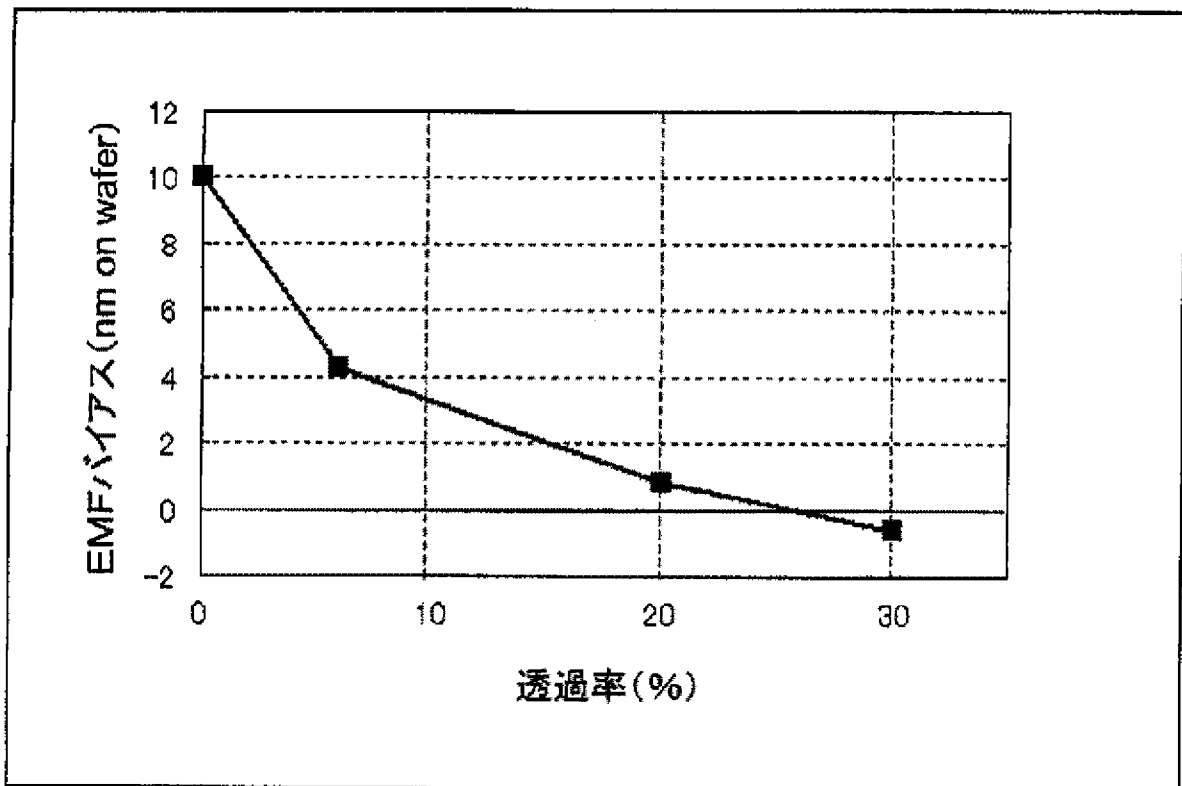
[図5]



[図6]

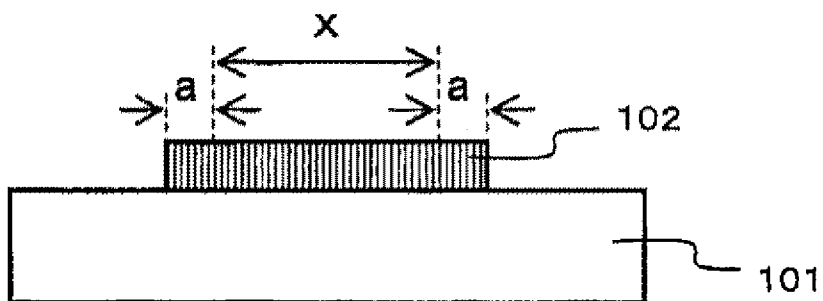


[図7]



[図8]

100



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/052495

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G03F1/32(2012.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G03F1/32

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2012-003287 A (Shin-Etsu Chemical Co., Ltd.), 05 January 2012 (05.01.2012), entire text; all drawings & US 2010/0261099 A1 & EP 2328025 A1 & KR 10-2009-0077031 A & CN 103324024 A	1-19
A	JP 11-026355 A (Toshiba Corp.), 29 January 1999 (29.01.1999), entire text; all drawings (Family: none)	1-19
A	JP 2002-251000 A (Semiconductor Leading Edge Technologies, Inc.), 06 September 2002 (06.09.2002), entire text; all drawings (Family: none)	1-19

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
03 March 2015 (03.03.15)

Date of mailing of the international search report
17 March 2015 (17.03.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G03F1/32(2012.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G03F1/32

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2012-003287 A（信越化学工業株式会社）2012.01.05, 全文、全図 & US 2010/0261099 A1 & EP 2328025 A1 & KR 10-2009-0077031 A & CN 103324024 A	1-19
A	JP 11-026355 A（株式会社東芝）1999.01.29, 全文、全図（ファミリーなし）	1-19
A	JP 2002-251000 A（株式会社半導体先端テクノロジーズ）2002.09.06, 全文、全図（ファミリーなし）	1-19

☐ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 3 . 0 3 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

1 7 . 0 3 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

関口 英樹

2 M

4 8 4 1

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 4