(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2011-248347
(P2011-248347A)
(43)公開日　平成23年12月8日(2011.12.8)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
G03F 1/08	(2006.01)	G03F 1/08	A	2H095

審査請求 未請求　請求項の数 10　ＯＬ　（全 22 頁）

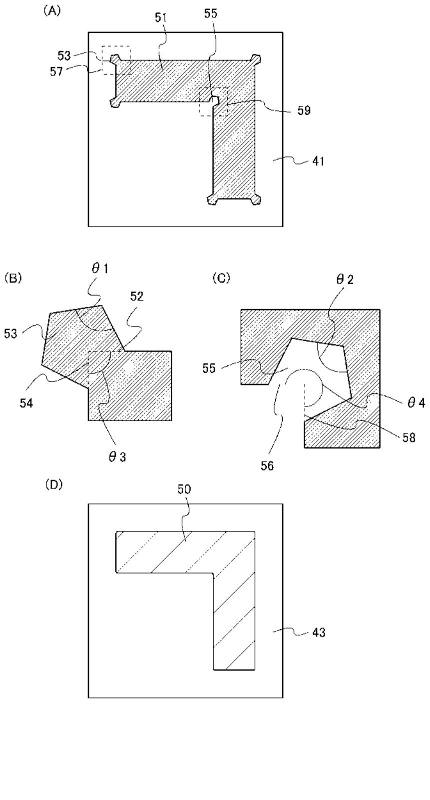
(21)出願番号　特願2011-97863(P2011-97863)
(22)出願日　平成23年4月26日(2011.4.26)
(31)優先権主張番号　特願2010-104402(P2010-104402)
(32)優先日　平成22年4月28日(2010.4.28)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(71)出願人　000153878
株式会社半導体エネルギー研究所
神奈川県厚木市長谷３９８番地
(72)発明者　宍戸　英明
神奈川県厚木市長谷３９８番地　株式会社半導体エネルギー研究所内
(72)発明者　八窪　裕人
神奈川県厚木市長谷３９８番地　株式会社半導体エネルギー研究所内
(72)発明者　大石　洋正
神奈川県厚木市長谷３９８番地　株式会社半導体エネルギー研究所内

Ｆターム(参考)　2H095 BB02 BB36

(54)【発明の名称】フォトマスク

(57)【要約】
【課題】フォトリソグラフィ工程において、レジストで形成されるマスクの角部において丸みを低減することが可能なフォトマスクを提供する。または、ばらつきの少ない半導体装置の作製方法を提供する。
【解決手段】遮光部の角部に補助パターンを有し、当該補助パターンは、（ｋ＋１）本の辺（ｋは３以上の自然数）でｋ個の鈍角を構成するフォトマスクである。または、遮光部の角部に補助パターンを有し、当該補助パターンはジグザグ状の曲線で構成されるフォトマスクである。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
遮光部と、
前記遮光部の角部に設けられる補助パターンと有し、
前記補助パターンは、（ｋ＋１）本の辺（ｋは３以上の自然数）でｋ個の鈍角を構成することを特徴とするフォトマスク。
【請求項２】
遮光部と、
前記遮光部の角部に設けられる補助パターンと有し、
前記補助パターンはジグザグ状の曲線で形成されることを特徴とするフォトマスク。
【請求項３】
遮光部と、
前記遮光部の角部に設けられる補助パターンと有し、
前記補助パターンは、第１の角度（０°より大きく１８０°未満）を有するｌ個（ｌは２以上の自然数）の角、及び第２の角度（１８０°より大きく３６０°未満）を有する（ｌ－１）個の角を交互に形成する２ｌ本の辺で構成されるｘ本（ｘは２以上の自然数）の曲線が接続することを特徴とするフォトマスク。
【請求項４】
遮光部と、
前記遮光部の角部に設けられる補助パターンと有し、
前記補助パターンは、第１の角度（０°より大きく１８０°未満）を有するｍ個（ｍは２以上の自然数）の角、及び第２の角度（１８０°より大きく３６０°未満）を有する（ｍ－１）個の角を交互に形成する２ｍ本の辺で構成されるｙ本（ｙは２以上の自然数）の第１の曲線と、
第３の角度（１８０°より大きく３６０°未満）を有するｎ個（ｎは１以上の自然数）の角、及び第４の角度（０°より大きく１８０°未満）を有する（ｎ－１）個の角を交互に形成する２ｎ本の辺で構成されるｚ本（ｚは１以上の自然数）の第２の曲線と、が接続し、
複数の前記第１の曲線の間に前記第２の曲線が接続されていることを特徴とするフォトマスク。
【請求項５】
請求項３または４において、前記第１の角度及び前記第２の角度の和が３６０°であることを特徴とするフォトマスク。
【請求項６】
請求項３または４において、前記第１の角度が９０°で前記第２の角度が２７０°であることを特徴とするフォトマスク。
【請求項７】
請求項４において、前記第３の角度及び前記第４の角度の和が３６０°であることを特徴とするフォトマスク。
【請求項８】
請求項４において、前記第３の角度が２７０°で前記第４の角度が９０°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乃至８のいずれか一項において、前記遮光部の辺の延長線で構成される角部の内角が０°より大きく１８０°より小さく、前記補助パターンは、遮光性であることを特徴とするフォトマスク。
【請求項１０】
請求項１乃至８のいずれか一項において、前記遮光部の辺の延長線で構成される角部の内角が１８０°より大きく３６０°より小さく、前記補助パターンは、透光性であることを特徴とするフォトマスク。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、フォトマスク及び当該フォトマスクを用いた半導体装置の作製方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
液晶表示装置や発光表示装置に代表される表示装置の画素電極の電位を制御するスイッチング素子として電界効果トランジスタが用いられている。電界効果トランジスタのチャネル領域及び配線は、フォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程により形成したレジストで形成されるマスクを用いて、半導体層及び導電層をエッチングして形成される。
【０００３】
半導体装置の高集積化に伴い、フォトマスクの遮光部が密に配置される。当該フォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程においては、光学近接効果により、レジストで形成されるマスクの角部がフォトマスクの形状と異なり、歪んでしまうという問題がある。特にフォトリソグラフィ工程で使用される投影光学系の、解像限界付近の微細なパターンを形成する際にこの問題が顕著になる。例えば、図６（Ａ）に示すような、透光性を有する基板４１上に遮光部８１が形成されたフォトマスクにおいて、破線８２で示すような０°より大きく１８０°より小さい角部（ここでは９０°）においては、露光機から投影された光の強度が過剰となる。一方、破線８３で示すような１８０°より大きく３６０°より小さい角部（ここでは２７０°）においては、露光機から投影された光の強度が不足する。
【０００４】
このため、基板４３上に形成された導電層８４上にレジストを塗布した後、当該フォトマスクを用いて露光機からレジストに光を投影すると、レジストで形成されるマスク８５の破線８２で示す角部及び破線８３で示す角部は、フォトマスクの遮光部８１の形状を反映せず、丸みをおびてしまう（図６（Ｂ）参照）。
【０００５】
当該レジストで形成されるマスク８５を用いて導電層８４をエッチングすると、図６（Ｃ）に示すように、破線８２及び破線８３で囲まれた角部において丸みを帯びた導電層８０が形成されてしまう。
【０００６】
電界効果トランジスタの電気特性であるオン電流は、ソース電極及びドレイン電極の対向する領域の幅に依存する。このため、ソース電極及びドレイン電極の対向する端部における角部が丸みを帯びると、ソース電極及びドレイン電極の対向する領域の幅が低減してしまい、オン電流が低下してしまう。さらには、異なる電界効果トランジスタにおける電気特性のばらつきの原因となる。
【０００７】
そこで、遮光部の角部に補助パターンを設けたフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程により、レジストで形成されるマスクの角部における丸みを防止することが開示されている（特許文献１、２。）。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００８】
【特許文献１】特開平４－２５１２５３号公報
【特許文献２】特開平１１－２３１５０６号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００９】
しかしながら、上記フォトマスクの遮光部の角部に矩形の補助パターンを設けても、レジストで形成されるマスクの角部における丸みを防止することは困難で、丸みが残存してしまう。そこで本発明の一形態は、フォトリソグラフィ工程において、レジストで形成され

るマスクの角部において丸みを低減することが可能なフォトマスクを提供する。または、本発明の一形態は、ばらつきの少ない半導体装置の作製方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【００１０】

本発明の一形態は、遮光部の角部に補助パターンを有し、当該補助パターンは、（ｋ＋１）本の辺（ｋは３以上の自然数）でｋ個の鈍角を構成するフォトマスクである。

【００１１】

また、本発明の一形態は、遮光部の角部に補助パターンを有し、当該補助パターンはジグザグ状の曲線で構成されるフォトマスクである。

【００１２】

また、本発明の一形態は、遮光部の角部に補助パターンを有し、当該補助パターンは、第１の角度（０°より大きく１８０°未満）を有するｌ個（ｌは２以上の自然数）の角、及び第２の角度（１８０°より大きく３６０°未満）を有する（ｌ－１）個の角を交互に形成する２ｌ本の辺で構成された曲線を、ｘ本（ｘは２以上の自然数）接続するフォトマスクである。当該フォトマスクは遮光部の角部において、ｘが２の場合、一方向に延伸している。

【００１３】

また、本発明の一形態は、遮光部の角部に設けられる補助パターンを有し、当該補助パターンは、第１の角度（０°より大きく１８０°未満）を有するｍ個（ｍは２以上の自然数）の角、及び第２の角度（１８０°より大きく３６０°未満）を有する（ｍ－１）個の角を交互に形成する２ｍ本の辺で構成されるｙ本（ｙは２以上の自然数）の第１の曲線と、第３の角度（１８０°より大きく３６０°未満）を有するｎ個（ｎは１以上の自然数）の角、及び第４の角度（０°より大きく１８０°未満）を有する（ｎ－１）個の角を交互に形成する２ｎ本の辺で構成されるｚ本（ｚは１以上の自然数）の第２の曲線と、が接続するフォトマスクである。なお、複数の第１の曲線の間に第２の曲線が接続されている。

【００１４】

なお、角部とは、遮光部において２つの辺の延長線が交差する領域をいう。また、遮光部の辺の延長線で構成される角部の内角が０°より大きく１８０°より小さい補助パターンは、遮光性である。また、遮光部の辺の延長線で構成される角部の内角が１８０°より大きく３６０°より小さい補助パターンは、透光性である。また、第１の角度及び第２の角度の和は３６０°であることが好ましい。また、なお、第３の角度及び第４の角度の和は３６０°であることが好ましい。

【００１５】

なお、曲線とは、まっすぐではない線、すなわち直線ではない線を指し、例えば、上記多辺を組み合わせて構成したジグザグ状も曲線に含まれる。

【００１６】

フォトマスクの遮光部の角部に補助パターンを設けることで、光学近接効果により角部における光の強度を均一にすることが可能であり、フォトマスクを介してレジストに投影される光の強度を、フォトマスクの遮光部の角部において均一にすることが可能である。当該光の露光により形成されたマスクは、角部において、丸みが低減される。このため、当該マスクを用いたエッチングにより、角部における丸みが低減された所定の形状の膜パターンを形成することができる。

【発明の効果】

【００１７】

本発明の一形態により、フォトリソグラフィ工程において、レジストで形成されるマスクの角部において丸みを低減することが可能である。また、所定の形状の膜パターンの角部における丸みを低減することができる。また、本発明の一形態により、ばらつきの少ない半導体装置の作製方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１８】

【図１】本発明の一形態に係るフォトマスク及び当該フォトマスクを用いて形成されたパターンを説明する上面図である。
【図２】本発明の一形態に係るフォトマスク及び当該フォトマスクを用いて形成されたパターンを説明する上面図である。
【図３】本発明の一形態に係るフォトマスク及び当該フォトマスクを用いて形成されたパターンを説明する上面図である。
【図４】本発明の一形態に係る電界効果トランジスタを説明する上面図である。
【図５】本発明の一形態に係る電界効果トランジスタを説明する断面図である。
【図６】従来のフォトマスク、当該フォトマスクを用いて形成されたレジストで形成されるマスク、及びパターンを説明する上面図である。
【図７】本発明の一形態に係る半導体装置を適用した電子機器を説明する図である。
【図８】本発明の一形態に係るフォトマスクを適用した実施例を説明する図である。
【発明を実施するための形態】
【００１９】
以下、本発明の実施の形態について、図面を用いて説明する。ただし、本発明は以下の説明に限定されず、本発明の趣旨及びその範囲から逸脱することなく、その態様及び詳細をさまざまに変更し得ることは当業者であれば容易に理解される。したがって、本発明は以下に示す実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。なお、図面を用いて本発明の構成を説明するにあたり、同じものを指す符号は異なる図面間でも共通して用いる。
【００２０】
なお、各実施の形態の図面等において示す各構成の、大きさ、層の厚さ、または面積は、明瞭化のために誇張されて表記している場合がある。よって、必ずしもそのスケールに限定されない。
【００２１】
なお、本明細書にて用いる第１、第２、第３といった序数を用いた用語は、構成要素を識別するために便宜上付したものであり、その数を限定するものではない。
【００２２】
（実施の形態１）
本実施の形態では、レジストで形成されるマスクの角部における丸みを低減することが可能なフォトマスクの形状について、図１を用いて説明する。
【００２３】
図１（Ａ）は、フォトマスクの上面図であり、透光性を有する基板４１上に遮光部５１を有する。また、遮光部５１の角部において補助パターン５３、５５を有する。
【００２４】
透光性を有する基板４１は、石英等を用いる。
【００２５】
遮光部５１は、露光時に照射される光を遮光する部材で形成される。遮光部５１は、代表的には、クロム、または酸化クロム等で形成される。
【００２６】
なお、フォトマスクがメタルマスクの場合、フォトマスクは透光性を有する基板４１を有さず、遮光部５１のみで構成してもよい。
【００２７】
補助パターン５３、５５の形状は、（ｋ＋１）本（ｋは３以上の自然数）の辺でｋ個の鈍角を構成することを特徴とする。ここで、補助パターン５３、５５の形状について、図１（Ｂ）及び図１（Ｃ）を用いて詳細に説明する。
【００２８】
図１（Ｂ）に、図１（Ａ）の破線５７で囲まれる角部の拡大図を示し、図１（Ｃ）に、図１（Ａ）の破線５９で囲まれる角部の拡大図を示す。
【００２９】

図１（Ｂ）に示す補助パターン５３は、（ｋ＋１）本（ｋは３以上の自然数）の辺でｋ個の鈍角を構成する凸部である。該凸部は、遮光部５１の角部に設けられている。

【００３０】

ここでは、ｋを３とし、鈍角の角度θ１が１０８°である形態について説明する。補助パターン５３は、４辺で３つの鈍角（内角１０８°）を構成する凸部である。

【００３１】

なお、遮光部５１の２つの辺の延長線５２、５４が交差する領域を角部という。また、遮光部５１の２つの辺の延長線５２、５４の交点のなす角の角度θ３が０°より大きく１８０°未満の場合は、補助パターン５３は遮光性を有する。このため、遮光部５１及び補助パターン５３は分離せず、連続している。

【００３２】

図１（Ｃ）に示す補助パターン５５は、（ｋ＋１）本（ｋは３以上の自然数）の辺でｋ個の鈍角を構成する切り欠き部である。当該切り欠き部は、遮光部５１の角部に設けられている。

【００３３】

ここでは、ｋを３とし、鈍角の角度θ２が１０８°である形態について説明する。補助パターン５５は、４辺で３つの鈍角（内角１０８°）を構成する切り欠き部である。

【００３４】

遮光部５１の２つの辺の延長線５６、５８が交差する領域を角部という。また、遮光部５１の２つの辺の延長線５６、５８の交点のなす角の角度θ４が１８０°より大きく３６０°未満の場合は、補助パターン５５は透光性を有する。すなわち、切り欠き部である。

【００３５】

本実施の形態においては、補助パターン５３、５５の鈍角の角度θ１、θ２は、１０８°である。すなわち、正五角形の２つの角がそれぞれ、遮光部５１の辺上に配置されることで、遮光部５１に補助パターン５３、５５が形成される。

【００３６】

なお、ここでは、４辺で鈍角の角度が１０８°の角を３つ有する補助パターンを示したが、各角が鈍角であり、かつ３辺以上で囲まれればよい。

【００３７】

次に、上記フォトマスクを用いた露光機からレジスト層に光を投影してレジスト層を露光した後、現像するフォトリソグラフィ工程により、レジストで形成されるマスクを形成する。次に、当該レジストで形成されるマスクを用いて、マスクの下方に設けられる膜をエッチングすることで、基板４３上に、所定の形状を有する膜パターン５０を形成することができる（図１（Ｄ）参照）。

【００３８】

膜パターン５０は、所定の形状を有する膜であり、代表的には、所定の形状を有する導電層、所定の形状を有する半導体層、所定の形状を有する絶縁層である。

【００３９】

本実施の形態に示すようにフォトマスクの遮光部５１において、破線５７で示すような０°より大きく１８０°より小さい角部（ここでは９０°）において、遮光性を有する鈍角の補助パターンを設けることにより、従来の補助パターンと比較して、光学近接効果により補助パターンの角部における局所的な光強度の上昇が低減され、補助パターンの角及び辺において投影される光の強度が均一化される。このため、補助パターンにより露光機から投影される光の強度を弱めつつ、角部における光の強度を均一化することが可能であるため、レジストで形成されるマスクの角部における丸みを低減することが可能である。

【００４０】

また、本実施の形態に示すようにフォトマスクの遮光部５１において、破線５９で示すような１８０°より大きく３６０°より小さい角部（ここでは２７０°）において、透光性を有する鈍角の補助パターンを設けることにより、従来の補助パターンと比較して、光学近接効果により補助パターンの角部における局所的な光強度の低減が緩和され、補助パタ

ーンの角及び辺において投影される光の強度が均一化される。このため、補助パターンにより露光機から投影される光の強度を強めつつ、角部における光の強度を均一化することが可能であるため、レジストで形成されるマスクの角部における丸みを低減することが可能である。上記の方法では、鈍角を有する補助パターンを使用するため、鋭角のパターンを使用した場合と比べ、互いに近接する光の相互作用による急峻な光強度の変動が抑制できる利点がある。そのため、角部における光強度の均一性をより高めることができる。また、露光の際の焦点深度を保つことができ、露光条件の変動による照射不良も抑制することが可能になる。

【００４１】

以上のような遮光部の角部に補助パターンを有するフォトマスクを用いることで、フォトリソグラフィ工程で形成されたマスクを用いて所定の形状に形成された膜パターンの角部における丸みを低減することができる。このため、電界効果トランジスタのチャネル幅のばらつきを低減することが可能である。この結果、ばらつきの少ない半導体装置を作製することが可能である。

【００４２】

（実施の形態２）

本実施の形態では、ジグザグ状の曲線で構成される補助パターンを有するフォトマスクについて、図２を用いて説明する。

【００４３】

図２（Ａ）は、フォトマスクの上面図であり、透光性を有する基板４１上に遮光部６１を有する。また、遮光部６１の角部において補助パターン６３、６５を有する。

【００４４】

遮光部６１は、実施の形態１に示す遮光部５１と同様の部材で形成することができる。

【００４５】

なお、フォトマスクがメタルマスクの場合、フォトマスクは透光性を有する基板４１を有さず、遮光部６１のみで構成してもよい。

【００４６】

補助パターン６３、６５のそれぞれの形状は、第１の角度（０°より大きく１８０°未満）を有するｌ個（ｌは２以上の自然数）の角及び第２の角度（１８０°より大きく３６０°未満）を有する（ｌ－１）個の角を交互に形成する２ｌ本の辺で構成される曲線がｘ本（ｘは２以上の自然数）接続していることを特徴とする。また、第１の角度及び第２の角度の和は３６０°であることが好ましい。ここで、補助パターン６３、６５の形状について、図２（Ｂ）及び図２（Ｃ）を用いて詳細に説明する。

【００４７】

図２（Ｂ）に、図２（Ａ）の破線６７で囲まれる角部の拡大図を示し、図２（Ｃ）に、図２（Ａ）の破線６９で囲まれる角部の拡大図を示す。

【００４８】

図２（Ｂ）に示すように、補助パターン６３は、第１の角度θ５であるｌ個の角、及び第２の角度θ６である（ｌ－１）個の角を交互に形成する２ｌ本の辺で構成される曲線がｘ本接続している凸部である。第１の角度θ５であるｌ個の角、及び第２の角度θ６である（ｌ－１）個の角を交互に設けることで、曲線はジグザグ状になる。θ５及びθ６の和は３６０°であることが好ましい。

【００４９】

実施の形態１と同様に、遮光部６１の角部における２つの辺の延長線の交点のなす角の角度が０°より大きく１８０°未満の場合は、補助パターン６３は遮光性を有する。

【００５０】

ここでは、第１の角度θ５を９０°とし、第２の角度θ６を２７０°とし、ｌを２、ｘを２とする形態について説明する。補助パターン６３は、４本の辺で、２つの９０°の角と、当該角の間に設けられる１つの２７０°の角とを構成する曲線６３ａ、６３ｂを有し、且つ当該２本が接続されている凸部である。当該凸部は、遮光部６１の角部に設けられて

いる。このため、遮光部６１及び補助パターン６３は分離せず、連続している。

【００５１】

θ５を９０°とし、θ６を２７０°とすることで、補助パターン６３の設計が容易となる。

【００５２】

図２（Ｃ）に示すように、補助パターン６５は、第１の角度θ７であるｌ個の角、及び第２の角度θ８である（ｌ－１）個の角を交互に形成する２ｌ本の辺で構成される曲線がｘ本接続している切り欠き部である。当該切り欠き部は、遮光部６１の角部に設けられている。θ７及びθ８の和は３６０°であることが好ましい。

【００５３】

実施の形態１と同様に、遮光部６１の角部における２つの辺の延長線の交点のなす角の角度が１８０°より大きく３６０°未満の場合は、補助パターン６５は透光性を有する。すなわち、切り欠き部である。

【００５４】

ここでは、第１の角度θ７を９０°とし、第２の角度θ８を２７０°とし、ｌを２、ｘを２とする形態について説明する。補助パターン６５は、４本の辺で、２つの９０°の角と、当該角の間に設けられる１つの２７０°の角とを構成する曲線６５ａ、６５ｂを有し、且つ当該２本が接続されている切り欠き部である。

【００５５】

θ７を９０°とし、θ８を２７０°とすることで、補助パターン６５の設計が容易となる。

【００５６】

なお、図２（Ｂ）において、曲線６３ａ、６３ｂそれぞれにおける第１の角度（θ５）及び第２の角度（θ６）はそれぞれ同じ角度で示しているが、各曲線６３ａ、６３ｂにおける第１の角度（θ５）及び第２の角度（θ６）はそれぞれ異なる角度でもよい。同様に図２（Ｃ）において、曲線６５ａ、６５ｂそれぞれにおける第１の角度（θ７）及び第２の角度（θ８）は、曲線６５ａ、６５ｂそれぞれ異なる角度でもよい。

【００５７】

次に、上記フォトマスクを用いた露光機からレジスト層に光を投影してレジスト層を露光した後、現像するフォトリソグラフィ工程により、レジストで形成されるマスクを形成する。次に、当該レジストで形成されるマスクを用いて、マスクの下方に設けられる膜をエッチングすることで、基板４３上に、所定の形状を有する膜パターン６０を形成することができる（図２（Ｄ）参照）。

【００５８】

膜パターン６０は、所定の形状を有する膜であり、代表的には、所定の形状を有する導電層、所定の形状を有する半導体層、所定の形状を有する絶縁層である。

【００５９】

本実施の形態に示すようにフォトマスクの遮光部６１において、破線６７で示すような０°より大きく１８０°より小さい角部（ここでは９０°）において、所定の方向に伸びる遮光性を有する凸部の補助パターンを設けることにより、光学近接効果により所定の位置における光強度の上昇が低減され、従来の補助パターンと比較して、遮光部６１の角部において投影される光の強度が均一化される。このため、補助パターンにより露光機から投影される光の強度を弱めつつ、角部における光の強度を均一化することが可能であるため、レジストで形成されるマスクの角部における丸みを低減することが可能である。

【００６０】

また、本実施の形態に示すようにフォトマスクの遮光部６１において、破線６９で示すような１８０°より大きく３６０°より小さい角部（ここでは２７０°）において、所定の方向に伸びる透光性を有する切り欠き部の補助パターンを設けることにより、光学近接効果により所定の位置における光強度の低減が緩和され、従来の補助パターンと比較して、遮光部６１の角部において投影される光の強度が均一化される。このため、補助パターン

により露光機から投影される光の強度を強めつつ、角部における光の強度を均一化することが可能であるため、レジストで形成されるマスクの角部における丸みを低減することが可能である。

【００６１】

上記の方法では、多数の角及び辺を持つ補助パターンを介して光の投影を行なう。そのため、光近接効果による光強度の補正を容易に行なうことができ、角部における光強度の均一性をより高めることができる。また、露光の際の焦点深度を保つことができ、露光条件の変動による照射不良も抑制することが可能になる。

【００６２】

以上のような遮光部の角部に補助パターンを有するフォトマスクを用いることで、電界効果トランジスタのチャネル幅のばらつきを低減することが可能である。この結果、ばらつきの少ない半導体装置を作製することが可能である。

【００６３】

（実施の形態３）

本実施の形態では、ジグザグ状の曲線で構成される補助パターンを有するフォトマスクの別形態について、図３を用いて説明する。

【００６４】

図３（Ａ）は、フォトマスクの上面図であり、透光性を有する基板４１上に遮光部７１を有する。また、遮光部７１の角部において補助パターン７３、７５を有する。

【００６５】

遮光部７１は、実施の形態１に示す遮光部５１と同様の部材で形成することができる。

【００６６】

なお、フォトマスクがメタルマスクの場合、フォトマスクは透光性を有する基板４１を有さず、遮光部７１のみで構成してもよい。

【００６７】

補助パターン７３、７５の形状は、ｙ本（ｙは２以上の自然数）の第１の曲線と、ｚ本（ｚは１以上の自然数）の第２の曲線とが接続している。また、複数の第１の曲線の間に第２の曲線を有する。また、第１の曲線は第１の角度（０°より大きく１８０°未満）を有するｍ個（ｍは２以上の自然数）の角、及び第２の角度（１８０°より大きく３６０°未満）を有する（ｍ－１）個の角が交互形成される２ｍ本の辺で構成される。第２の曲線は、第３の角度（１８０°より大きく３６０°未満）を有するｎ個（ｎは１以上の自然数）の角、及び第４の角度（０°より大きく１８０°未満）を有する（ｎ－１）個の角を交互に形成する２ｎ本の辺で構成される。ここで、補助パターン７３、７５の形状について、図３（Ｂ）及び図３（Ｃ）を用いて詳細に説明する。

【００６８】

図３（Ｂ）に、図３（Ａ）の破線７７で囲まれる角部の拡大図を示し、図３（Ｃ）に、図３（Ａ）の破線７９で囲まれる角部の拡大図を示す。

【００６９】

図３（Ｂ）に示すように、補助パターン７３は、ｙ本（ｙは２以上の自然数）の第１の曲線と、ｚ本（ｚは１以上の自然数）の第２の曲線とが接続している凸部である。第１の曲線は、第１の角度θ９（θ９は０°より大きく１８０°未満）を有するｍ個（ｍは２以上の自然数）の角、及び第２の角度θ１０（θ１０は１８０°より大きく３６０°未満）を有する（ｍ－１）個の角を交互に有する。また、第２の曲線は、第３の角度θ１１（θ１１は１８０°より大きく３６０°未満）を有するｎ個（ｎは１以上の自然数）の角、及び第４の角度θ１２（θ１２は０°より大きく１８０°未満）を有する（ｎ－１）個の角を交互に有する。このため、第１の曲線及び第２の曲線はジグザグ状になる。また、θ９及びθ１０の和は３６０°であることが好ましい。また、θ１１及びθ１２の和は３６０°であることが好ましい。

【００７０】

実施の形態１と同様に、遮光部７１の角部における２つの辺の延長線の交点のなす角の角

度が０°より大きく１８０°未満の場合は、補助パターン７３は遮光性を有する。
【００７１】
ここでは、第１の角度θ９を９０°とし、第２の角度θ１０を２７０°とし、ｍを２、ｙを２とし、第３の角度θ１１を２７０°とし、第４の角度θ１２を９０°とし、ｎを２、ｚを１とする形態について説明する。補助パターン７３は、４本の辺で、２つの９０°の角と、当該角の間に設けられる１つの２７０°の角とを構成する２本の曲線７３ａ、７３ｂと、曲線７３ａ、７３ｂの間に、４辺で、２つの２７０°の角と、当該角の間に設けられる１つの９０°の角とを構成する１本の曲線７３ｃとが接続されている凸部である。当該凸部は、遮光部７１の角部に設けられている。このため、遮光部７１及び補助パターン７３は分離せず、連続している。
【００７２】
θ９を９０°とし、θ１０を２７０°とすると、補助パターン７３の設計が容易となる。また、θ１１を２７０°とし、θ１２を９０°とすると、補助パターン７３の設計が容易となる。
【００７３】
図３（Ｃ）に示すように、補助パターン７５は、ｙ本（ｙは２以上の自然数）の第１の曲線と、ｚ本（ｚは１以上の自然数）の第２の曲線とが接続している切り欠き部である。第１の曲線は、第１の角度θ１３（θ１３は０°より大きく１８０°未満）を有するｍ個（ｍは２以上の自然数）の角、及び第２の角度θ１４（θ１４は１８０°より大きく３６０°未満）を有する（ｍ－１）個の角を交互に有する。また、第２の曲線は、第３の角度θ１５（θ１５は１８０°より大きく３６０°未満）を有するｎ個（ｎは１以上の自然数）の角、及び第４の角度θ１６（θ１６は０°より大きく１８０°未満）を有する（ｎ－１）個の角を交互に有する。当該切り欠き部は、遮光部７１の角部に設けられている。θ１３及びθ１４の和は３６０°であることが好ましい。また、θ１５及びθ１６の和は３６０°であることが好ましい。
【００７４】
実施の形態１と同様に、遮光部７１の角部における２つの辺の延長線の交点のなす角の角度が１８０°より大きく３６０°未満の場合は、補助パターン７５は透光性を有する。すなわち、切り欠き部である。
【００７５】
ここでは、第１の角度θ１３を９０°とし、第２の角度θ１４を２７０°とし、ｍを２、ｙを２とし、第３の角度θ１５を２７０°とし、第４の角度θ１６を９０°とし、ｎを２、ｚを１とする形態について説明する。補助パターン７５は、４本の辺で、２つの９０°の角と、当該角の間に設けられる１つの２７０°の角とを構成する２本の曲線７５ａ、７５ｂと、曲線７５ａ、７５ｂの間に、４辺で、２つの２７０°の角と、当該角の間に設けられる１つの９０°の角とを構成する１本の曲線７５ｃとが接続されている切り欠き部である。当該切り欠き部は、遮光部７１の角部に設けられている。
【００７６】
また、θ１３、θ１６を９０°とし、θ１４、θ１５を２７０°とすると、補助パターン７５の設計が容易となる。
【００７７】
なお、図３（Ｂ）において、曲線７３ａ、７３ｂそれぞれにおける第１の角度（θ９）及び第２の角度（θ１０）はそれぞれ同じ角度で示しているが、曲線７３ａ、７３ｂそれぞれにおける第１の角度及び第２の角度はそれぞれ異なる角度でもよい。同様に、図３（Ｃ）において、曲線７５ａ、７５ｂそれぞれにおける第１の角度（θ１３）及び第２の角度（θ１４）は、曲線７５ａ、７５ｂそれぞれにおいて異なる角度でもよい。
【００７８】
次に、上記フォトマスクを用いた露光機からレジスト層に光を投影してレジスト層を露光した後、現像するフォトリソグラフィ工程により、レジストで形成されるマスクを形成する。次に、当該レジストで形成されるマスクを用いて、マスクの下方に設けられる膜をエ

ッチングすることで、基板４３上に、所定の形状を有する膜パターン７０を形成することができる（図３（Ｄ）参照）。

【００７９】

膜パターン７０は、所定の形状を有する膜であり、代表的には、所定の形状を有する導電層、所定の形状を有する半導体層、所定の形状を有する絶縁層である。

【００８０】

本実施の形態に示すようにフォトマスクの遮光部７１において、破線７７で示すような０°より大きく１８０°より小さい角部（ここでは９０°）において、遮光性を有する凸部の補助パターンを設けることにより、光学近接効果により所定の位置における光強度の上昇が低減され、従来の補助パターンと比較して、遮光部７１の角部において投影される光の強度が均一化される。このため、補助パターンにより露光機から投影される光の強度を弱めつつ、角部における光の強度を均一化することが可能であるため、レジストで形成されるマスクの角部における丸みを低減することが可能である。

【００８１】

また、本実施の形態に示すようにフォトマスクの遮光部７１において、破線７９で示すような１８０°より大きく３６０°より小さい角部（ここでは２７０°）において、透光性を有する切り欠き部の補助パターンを設けることにより、光学近接効果により所定の位置における光強度の低減が緩和され、従来の補助パターンと比較して、遮光部７１の角部において投影される光の強度が均一化される。このため、補助パターンにより露光機から投影される光の強度を強めつつ、角部における光の強度を均一化することが可能であるため、レジストで形成されるマスクの角部における丸みを低減することが可能である。

【００８２】

上記の方法では、多数の角及び辺を持つ補助パターンを介して光の投影を行なう。そのため、光近接効果による光強度の補正を容易に行なうことができ、角部における光強度の均一性をより高めることができる。また、露光の際の焦点深度を保つことができ、露光条件の変動による照射不良も抑制することが可能になる。

【００８３】

以上のような遮光部の角部に補助パターンを有するフォトマスクを用いることで、電界効果トランジスタのチャネル幅のばらつきを低減することが可能である。この結果、ばらつきの少ない半導体装置を作製することが可能である。

【００８４】

（実施の形態４）

本実施の形態では、電界効果トランジスタの作製工程について、図４及び図５を用いて説明する。図４及び図５においては、電界効果トランジスタとして逆スタガ型の電界効果トランジスタを用いて説明する。また、チャネル領域として、酸化物半導体で形成される半導体層を用いた電界効果トランジスタの作製方法について説明する。

【００８５】

図４は、電界効果トランジスタ１２４の上面図である。

【００８６】

図４の一点破線Ａ－Ｂの断面図を図５に示す。

【００８７】

図５（Ａ）に示すように、基板１００上に導電層１５３を形成する。

【００８８】

基板１００としては、ガラス基板（無アルカリガラス基板とも呼ばれる。）、石英基板、セラミック基板、プラスチック基板等を適宜用いることができる。また、基板１００として、可撓性を有するガラス基板または可撓性を有するプラスチック基板を用いることで、可撓性を有する液晶表示装置を作製することができる。プラスチック基板としては、屈折率異方性の小さい基板を用いることが好ましく、代表的には、ポリエーテルサルフォン（ＰＥＳ）フィルム、ポリイミドフィルム、ポリエチレンナフタレート（ＰＥＮ）フィルム、ＰＶＦ（ポリビニルフルオライド）フィルム、ポリエステルフィルム、ポリカーボネー

ト（ＰＣ）フィルム、アクリル樹脂フィルム、または半硬化した有機樹脂中に繊維体を含むプリプレグ等を用いることができる。

【００８９】

導電層１５３は、アルミニウム、クロム、銅、タンタル、チタン、モリブデン、タングステンから選ばれた金属元素、または上述した金属元素を成分とする合金か、上述した金属元素を組み合わせた合金などを用いて形成することができる。また、マンガン、マグネシウム、ジルコニウム、ベリリウムのいずれか一または複数から選択された金属元素を用いてもよい。また、導電層１５３は、単層構造でも、二層以上の積層構造としてもよい。

【００９０】

導電層１５３は、スパッタリング法、ＣＶＤ法、蒸着法等により形成することができる。

【００９１】

次に、図５（Ｂ）に示すように、ゲート電極１５４を形成し、ゲート電極１５４上にゲート絶縁層１５６を形成する。

【００９２】

なお、ゲート電極１５４は端部がテーパー形状であると、のちに形成する絶縁層、半導体層、及び導電層の被覆率を高めることができるため好ましい。また、基板１００とゲート電極１５４の間に、熱伝導率の高い絶縁層を、スパッタリング法、ＣＶＤ法、塗布法、印刷法等により形成することが好ましい。

【００９３】

導電層１５３上にレジストを塗布した後、フォトリソグラフィ工程により形成したレジストを用いてマスクを形成する。次に、マスクを用いて導電層１５３をエッチングして、ゲート電極１５４を形成することができる。実施の形態１乃至実施の形態３のいずれかに示すフォトマスクを用いてフォトリソグラフィ工程を行うことで、角部の丸みが低減されたマスクを形成することができる。このため、当該マスクを用いて導電層１５３をエッチングすることで、角部の丸みが低減されたゲート電極１５４を形成することができる。

【００９４】

ゲート絶縁層１５６は、窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化アルミニウム、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、酸化ガリウム、又はこれらの混合材料を用いて単層又は積層して形成することができる。

【００９５】

ゲート絶縁層１５６は、スパッタリング法、ＣＶＤ法、印刷法、塗布法等により形成することができる。また、μ波（例えば周波数２．４５ＧＨｚ）を用いた高密度プラズマＣＶＤは、緻密で絶縁耐圧の高い高品質な絶縁層を形成できるので、ゲート絶縁層１５６の形成に用いると好ましい。高純度化された酸化物半導体と高品質ゲート絶縁層とが密接することにより、界面準位を低減して界面特性を良好なものとすることができる。

【００９６】

また、ゲート絶縁層１５６の表面を酸素プラズマで曝してもよい。当該酸素プラズマ処理により、ゲート絶縁層１５６の化学量論比またはそれ以上の酸素をゲート絶縁層１５６の表層部に含有させることができる。

【００９７】

ゲート絶縁層１５６の表面を酸素プラズマで曝す方法としては、酸素を含むガスを用いてラジカル発生装置またはオゾン発生装置によりプラズマを発生させてゲート絶縁層１５６の表面に酸素プラズマを曝すことができる。より具体的には、例えば、半導体装置に対してエッチング処理を行うための装置や、マスクに対してアッシングを行うための装置などを用いて酸素プラズマを発生させ、ゲート絶縁層１５６を処理することができる。

【００９８】

なお、上記酸素プラズマ処理の後、熱処理（温度１５０℃～４７０℃）を行うことで、ゲート絶縁層に含まれる水素を、酸素プラズマ処理によって供給された酸素と反応させることができる。この結果、ゲート絶縁層１５６に含まれる水素を除去することができる。

【００９９】

次に、図５（Ｃ）に示すように、ゲート絶縁層１５６上に半導体層１５７を形成する。半導体層１５７は、スパッタリング法、塗布法、印刷法、パルスレーザー蒸着法等により形成した酸化物半導体層を用いることができる。

【０１００】

半導体層１５７に形成することが可能な酸化物半導体層は、四元系金属酸化物であるＩｎ−Ｓｎ−Ｇａ−Ｚｎ−Ｏ系金属酸化物や、三元系金属酸化物であるＩｎ−Ｇａ−Ｚｎ−Ｏ系金属酸化物、Ｉｎ−Ｓｎ−Ｚｎ−Ｏ系金属酸化物、Ｉｎ−Ａｌ−Ｚｎ−Ｏ系金属酸化物、Ｓｎ−Ｇａ−Ｚｎ−Ｏ系金属酸化物、Ａｌ−Ｇａ−Ｚｎ−Ｏ系金属酸化物、Ｓｎ−Ａｌ−Ｚｎ−Ｏ系金属酸化物や、二元系金属酸化物であるＩｎ−Ｚｎ−Ｏ系金属酸化物、Ｓｎ−Ｚｎ−Ｏ系金属酸化物、Ａｌ−Ｚｎ−Ｏ系金属酸化物、Ｚｎ−Ｍｇ−Ｏ系金属酸化物、Ｓｎ−Ｍｇ−Ｏ系金属酸化物、Ｉｎ−Ｍｇ−Ｏ系金属酸化物などを用いることができる。ここでは、ｎ元系金属酸化物はｎ種類の金属酸化物で構成される。なお、酸化物半導体層には、不純物として、主成分とする金属酸化物以外の元素が１％、好ましくは０．１％入ってもよい。半導体層１５７に形成することが可能な金属酸化物は、エネルギーギャップが２ｅＶ以上、好ましくは２．５ｅＶ以上、より好ましくは３ｅＶ以上である。

【０１０１】

本実施の形態では、半導体層としてＩｎ−Ｇａ−Ｚｎ−Ｏ系酸化物ターゲットを用いたスパッタリング法により形成する。また、半導体層は、希ガス（代表的にはアルゴン）雰囲気下、酸素雰囲気下、又は希ガスと酸素の混合雰囲気下においてスパッタリングすることができる。

【０１０２】

半導体層を形成する際に用いるスパッタリングガスは、水素、水、水酸基又は水素化物などの不純物が除去された高純度ガスを用いることが好ましい。また、基板温度を１００℃以上６００℃以下好ましくは２００℃以上４００℃以下としながら半導体層を形成することで、半導体層に含まれる不純物濃度を低減することができる。

【０１０３】

次に、フォトリソグラフィ工程により半導体層１５７上にマスクを設け、当該マスクを用いて半導体層１５７をエッチングして、島状の半導体層を形成する（図５（Ｄ）参照。）。マスクはインクジェット法、印刷法、フォトリソグラフィ法等を適宜用いることができる。

【０１０４】

実施の形態１乃至実施の形態３のいずれかに示すフォトマスクを用いてフォトリソグラフィ工程を行うことで、角部の丸みが低減されたマスクを形成することができる。このため、当該マスクを用いて半導体層をエッチングすることで、角部の丸みが低減された島状の半導体層を形成することができる。

【０１０５】

次に、島状の半導体層に熱処理を行う。この熱処理によって過剰な水素（水や水酸基を含む）を除去（脱水化または脱水素化）し、島状の半導体層の構造を整え、エネルギーギャップ中の欠陥準位を低減することができる。熱処理の温度は、２５０℃以上７５０℃以下、または４００℃以上基板の歪み点未満とする。ここでは、熱処理装置の一つである電気炉に基板を導入し、窒素雰囲気下４５０℃において１時間の熱処理を行うことで、半導体層１５８を得る。

【０１０６】

なお、熱処理においては、窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴン等の希ガスに、水、水素などが含まれないことが好ましい。または、熱処理装置に導入する窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴン等の希ガスの純度を、６Ｎ（９９．９９９９％）以上好ましくは７Ｎ（９９．９９９９９％）以上（即ち不純物濃度を１ｐｐｍ以下、好ましくは０．１ｐｐｍ以下）とすることが好ましい。

【０１０７】

なお、熱処理装置は電気炉に限られず、抵抗発熱体などの発熱体からの熱伝導または熱輻

射によって、被処理物を加熱する装置を用いてもよい。例えば、ＧＲＴＡ（Ｇａｓ　Ｒａｐｉｄ　Ｔｈｅｒｍａｌ　Ａｎｎｅａｌ）装置、ＬＲＴＡ（Ｌａｍｐ　Ｒａｐｉｄ　Ｔｈｅｒｍａｌ　Ａｎｎｅａｌ）装置等のＲＴＡ（Ｒａｐｉｄ　Ｔｈｅｒｍａｌ　Ａｎｎｅａｌ）装置を用いることができる。

【０１０８】
また、島状の半導体層を加熱した後、同じ炉に高純度の酸素ガス、高純度の二窒化酸素ガス、又は超乾燥エアを導入してもよい。酸素ガスまたは二窒化酸素ガスに、水、水素などが含まれないことが好ましい。酸素ガス又は二窒化酸素ガスの作用により、脱水化または脱水素化処理による不純物の排除工程によって同時に減少してしまった半導体層１５８を構成する主成分材料である酸素を供給することによって、半導体層１５８を高純度化及び電気的にＩ型（真性）化することができる。

【０１０９】
また、島状の半導体層の熱処理は、半導体層１５７に行うこともできる。その場合には、熱処理後に、熱処理装置から基板を取り出し、半導体層１５７の一部をエッチングし、島状の半導体層１５８を形成する。また、熱処理は、島状の半導体層上にソース電極及びドレイン電極を積層させた後で行っても良い。

【０１１０】
以上の工程で高純度化した半導体層１５８を得ることができる。

【０１１１】
なお、熱処理後の半導体層１５８の表面を酸素プラズマで曝してもよい。当該酸素プラズマ処理は、ゲート絶縁層の酸素プラズマ処理と同様に行うことができる。当該酸素プラズマ処理により、半導体層１５８の化学量論比またはそれ以上の酸素を半導体層１５８の表層部に含有させることができる。

【０１１２】
次に、図５（Ｅ）に示すように、ゲート絶縁層１５６及び半導体層１５８上に導電層１５９を形成する。

【０１１３】
導電層１５９は、アルミニウム、クロム、銅、タンタル、チタン、モリブデン、タングステンから選ばれた金属元素、上述した金属元素を成分とする合金、または上述した金属元素を組み合わせた合金などを用いて形成することができる。また、マンガン、マグネシウム、ジルコニウム、ベリリウムのいずれか一または複数から選択された金属元素を用いてもよい。また、導電層１５９は、単層構造でも、二層以上の積層構造としてもよい。例えば、シリコンを含むアルミニウム層の単層構造、アルミニウム層上にチタン層を積層する二層構造、窒化チタン層上にチタン層を積層する二層構造、窒化チタン層上にタングステン層を積層する二層構造、窒化タンタル層上にタングステン層を積層する二層構造、チタン層と、そのチタン層上にアルミニウム層を積層し、さらにその上にチタン層を形成する三層構造などがある。また、アルミニウムに、チタン、タンタル、タングステン、モリブデン、クロム、ネオジム、スカンジウムから選ばれた元素の層、またはそれらを複数組み合わせた合金層、もしくは窒化物層を用いてもよい。

【０１１４】
また、導電層１５９は、インジウム錫酸化物、酸化タングステンを含むインジウム酸化物、酸化タングステンを含むインジウム亜鉛酸化物、酸化チタンを含むインジウム酸化物、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物、インジウム亜鉛酸化物、酸化ケイ素を添加したインジウム錫酸化物などの透光性を有する導電性材料を適用することもできる。また、上記透光性を有する導電性材料と、上記金属元素の積層構造とすることもできる。

【０１１５】
導電層１５９は、スパッタリング法、ＣＶＤ法、蒸着法等により形成する。

【０１１６】
次に、導電層１５９上にレジストを塗布した後、フォトリソグラフィ工程により形成したレジストを用いてマスクを形成する。次に、マスクを用いて導電層１５９をエッチングし

て、ソース電極及びドレイン電極として機能する配線１６０ａ、１６０ｂを形成することができる。当該工程において、実施の形態１乃至実施の形態３のいずれかに示すフォトマスクを用いてフォトリソグラフィ工程を行うことで、角部の丸みが低減されたマスクを形成することができる。このため、当該マスクを用いて導電層をエッチングすることで、角部の丸みが低減された配線１６０ａ、１６０ｂを形成することができる。

【０１１７】
次に、配線１６０ａ、１６０ｂ及び半導体層１５８上に絶縁層１６２を形成する。

【０１１８】
絶縁層１６２は、酸素を含む絶縁層で形成することが好ましく、代表的には酸化シリコン層、酸化窒化シリコン層、酸化アルミニウム層、酸化窒化アルミニウム層、または酸化ガリウム層などの無機絶縁層を用いることができる。

【０１１９】
絶縁層１６２は、少なくとも１ｎｍ以上の膜厚とし、スパッタリング法など、絶縁層１６２に水、水素等の不純物を混入させない方法を適宜用いて形成することができる。絶縁層１６２に水素が含まれると、その水素の半導体層１５８への侵入、又は水素による半導体層１５８中の酸素の引き抜きが生じ、半導体層１５８のバックチャネルが低抵抗化（Ｎ型化）してしまい、寄生チャネルが形成されるおそれがある。よって、絶縁層１６２はできるだけ水素を含まない膜で形成されるように、形成方法に水素を用いないことが重要である。

【０１２０】
絶縁層１６２を形成した後、熱処理を行うことが好ましい。熱処理の温度は、２５０℃以上７００℃以下、好ましくは４５０℃以上６００℃以下、または基板の歪み点未満とする。半導体層及び酸素を含む絶縁層で形成される絶縁層１６２が接した状態で熱処理を行うことで、絶縁層１６２より酸素をさらに半導体層１５８へ供給することで、半導体層１５８をさらに高純度化し、電気的にＩ型（真性）化することができる。

【０１２１】
当該絶縁層１６２を形成することで、半導体層１５８はＩ型化または実質的にＩ型化された酸化物半導体層となる。Ｉ型化または実質的にＩ型化された酸化物半導体層は、キャリア密度が5×10^{14}／ｃｍ^{3}未満、好ましくは1×10^{12}／ｃｍ^{3}未満、より好ましくは1×10^{11}／ｃｍ^{3}以下である。また、ドナーとして寄与する水素や酸素欠陥は少ないことが好ましく、水素濃度が1×10^{16}／ｃｍ^{3}以下が好ましい。なお、キャリア密度は、ホール効果測定により得られる。また、より低濃度のキャリア密度の測定は、ＣＶ測定（Ｃａｐａｃｉｔａｎｃｅ－Ｖｏｌｔａｇｅ－Ｍｅａｓｕｒｅｍｅｎｔ）の測定結果により得られる。また、酸化物半導体層中の水素濃度測定は、二次イオン質量分析法（ＳＩＭＳ：Ｓｅｃｏｎｄａｒｙ Ｉｏｎ Ｍａｓｓ Ｓｐｅｃｔｒｏｓｃｏｐｙ）により得られる。

【０１２２】
Ｉ型化または実質的にＩ型化された酸化物半導体層をチャネル領域に用いた電界効果トランジスタは、オフ電流が1×10^{-19}Ａ／μｍ以下、さらには1×10^{-20}Ａ／μｍ以下と低くすることができる。これは、Ｉ型化または実質的にＩ型化された酸化物半導体層は、バンドギャップが広く、電子の励起のために大きな熱エネルギーが必要であるため、直接再結合及び間接再結合が生じにくい。このため、ゲート電極に負の電位が印加された状態（オフ状態）では、少数キャリアであるホールは実質的にゼロであるため、直接再結合及び間接再結合が生じにくく、電流は限りなく低くなる。この結果、電界効果トランジスタのオフ状態において、酸化物半導体層を絶縁体とみなして回路設計を行うことができる。一方で、Ｉ型化または実質的にＩ型化された酸化物半導体層は、電界効果トランジスタの導通状態（オン状態）においては、非晶質シリコンで形成される半導体層よりも高い電流供給能力を見込むことができる。このため、電界効果トランジスタは、オフ状態では極めてリーク電流の低いノーマリーオフ状態となり、優れたスイッチング特性を有する。

【０１２３】
図５（Ｆ）に示す電界効果トランジスタ１２４において、半導体層１５８上に配線１６０ａ、１６０ｂを形成したが、ゲート絶縁層１５６及び半導体層１５８の間に配線１６０ａ、１６０ｂを形成してもよい。さらには、電界効果トランジスタをトップゲート型の電界効果トランジスタとすることもできる。
【０１２４】
また、半導体層１５７としては、プラズマＣＶＤ法またはスパッタリング法等により形成したアモルファスシリコン、アモルファスシリコンゲルマニウム、微結晶シリコン、または微結晶シリコンゲルマニウムを用いることができる。また、半導体層１５７は、アモルファスシリコンまたはアモルファスシリコンゲルマニウムを加熱し、またはレーザービームを照射して結晶化したポリシリコンまたはポリシリコンゲルマニウムを用いることができる。また、半導体層１５７は、印刷法またはインクジェット法により形成した有機半導体を適宜用いることができる。また、電界効果トランジスタがトップゲート型の場合、半導体層１５７は、単結晶シリコン層を用いることができる。なお、単結晶シリコン層をチャネル領域に用いたトランジスタとしては、単結晶シリコン基板をチャネル領域に用いたトランジスタの他、絶縁領域上に単結晶シリコン層が形成される、いわゆるＳＯＩ（Ｓｉｌｉｃｏｎ　ｏｎ　Ｉｎｓｕｌａｔｏｒ）基板をチャネル領域に用いたトランジスタを用いることができる。
【０１２５】
なお、半導体層１５７として、シリコンまたはシリコンゲルマニウムを原料とする場合、上記電界効果トランジスタの作製工程において、ゲート絶縁層１５６を酸素プラズマに曝す工程、加熱処理、半導体層１５８に酸素プラズマに曝す工程等は行わなくともよい。
【０１２６】
本実施の形態に示す電界効果トランジスタは、表示装置、ＲＦＩＤ、センサ、記憶装置等の半導体装置に用いることができる。代表的には、表示装置の画素電極の電位を制御するスイッチング素子、メモリ素子、センサ素子等に用いることができる。また、本実施の形態に示す電界効果トランジスタを用いて、表示装置の駆動回路及び保護回路、ＲＦＩＤに含まれる集積回路等を構成することができる。
【０１２７】
本実施の形態に示す電界効果トランジスタは、チャネル幅のばらつきを低減することが可能であるため、電界効果トランジスタ及び当該電界効果トランジスタを有する半導体装置の信頼性を高めることができる。また、当該電界効果トランジスタを表示装置のスイッチング素子に用いることで、画素電極の電位のバラツキを低減することが可能であるため、表示素子の表示性能を高めることができる。
【０１２８】
また、電界効果トランジスタのチャネル領域に真性の酸化物半導体を用いることで、電界効果トランジスタのオフ電流を低減することができる。このため、メモリ素子の保持特性を高めた記憶装置を作製することが可能である。また、当該電界効果トランジスタを有する記憶装置の消費電力を低減することができる。
【０１２９】
（実施の形態５）
本実施の形態では、上述の実施の形態で説明した半導体装置を電子機器に適用する場合について、図７を用いて説明する。本実施の形態では、電子書籍に、上述の半導体装置を適用する場合について説明する。
【０１３０】
図７は、電子機器の一形態である電子書籍７００であり、筐体７０１で構成されている。筐体７０１には、表示部７０５及び太陽電池７０６が設けられている。また、筐体７０１には、電源スイッチ７２１、操作キー７２３、スピーカー７２５などが設けられている。筐体７０１内部には、実施の形態４に示す記憶装置、ＲＦＩＤ等の半導体装置を設けることができる。また、表示部７０５は実施の形態４に示す表示装置を用いることができる。

また、このため、歩留まり高く電子機器を作製することができる。

【実施例】

【０１３１】

本実施例では、実施の形態２に示すフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程により形成されるマスク及び当該マスクを用いてエッチングした導電層の形状について、図８を用いて説明する。

【０１３２】

図８（Ａ）に示すフォトマスクは、実施の形態２に示すような、補助パターン５０３、５０４が角部に設けられた遮光部５０２が透光性を有する基板５０１上に形成されたフォトマスクである。補助パターン５０３は、ジグザグ状の２つの曲線が角部において接続する凸部であり、ジグザグ状の曲線は、角度が９０°の第１の角を３つと、当該第１の角の間に角度が２７０°の第２の角を２つ構成する６本の辺である。補助パターン５０４は、ジグザグ状の２つの曲線が角部において接続する切り欠き部であり、ジグザグ状の曲線は、角度が９０°の第１の角を３つと、当該第１の角の間に角度が２７０°の第２の角を２つ構成する６本の辺である。

【０１３３】

図８（Ｂ）に示すフォトマスクは、比較例として補助パターン５１３、５１４が角部に設けられた遮光部５１２が透光性を有する基板５１１上に形成されたフォトマスクである。補助パターン５１３は、９０°の角を３つ構成する４本の辺で構成される凸部である。補助パターン５１４は、９０°の角を３つ構成する４本の辺で構成される切り欠き部である。

【０１３４】

次に、試料の作製工程について、説明する。

【０１３５】

ガラス基板上にスパッタリング法により導電層を形成した。導電層は厚さ１００ｎｍのチタン層と、厚さ２００ｎｍのアルミニウム層と、厚さ１００ｎｍのチタン層の３層構造で形成した。

【０１３６】

次に、導電層上にスピンコート法によりレジストを塗布し、厚さ１．５μｍのレジスト層を形成した。

【０１３７】

次に、露光機に上記フォトマスクを設置し、レジスト層に光を投影してレジスト層を露光した。ここでは、露光機としてステッパーを用い、露光にｉ線（波長３６５ｎｍ）を用い、露光時間を１８００ｍ秒とした。

【０１３８】

次に、レジスト層を現像して、マスクを形成した。図８（Ａ）に示すフォトマスクを用いて形成したマスクのＳＥＭ（ｓｃａｎｎｉｎｇ　ｅｌｅｃｔｒｏｎ　ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｅ）像を図８（Ｃ）に示す。また、図８（Ｂ）に示すフォトマスクを用いて形成したマスクのＳＥＭ像を図８（Ｄ）に示す。図８（Ｃ）に示すように、導電層５０５上にマスク５０６が形成された。図８（Ｄ）に示すように、導電層５１５上にマスク５１６が形成された。

【０１３９】

次に、図８（Ｃ）に示すマスク５０６を用いて導電層５０５をエッチングして形成された導電層のＳＥＭ像を図８（Ｅ）に示す。また、図８（Ｄ）に示すマスク５１６を用いて導電層５１５をエッチングして形成された導電層のＳＥＭ像を図８（Ｆ）に示す。図８（Ｅ）に示すように、導電層５０７が形成された。図８（Ｆ）に示すように、導電層５１７が形成された。ここでは、エッチングガスとして塩素及び塩化ボロンを用いたドライエッチング法により導電層５０５、５１５をエッチングした。

【０１４０】

図８（Ｅ）に示す導電層５０７の角部５０８の曲率半径は０．７２μｍであり、図８（Ｆ

）に示す導電層５１７の角部５１８の曲率半径は１．０３μｍであった。このことから、フォトマスクの遮光部に、図８（Ａ）に示す補助パターンを設けることで、角部における丸みが低減された導電層を形成することができる。

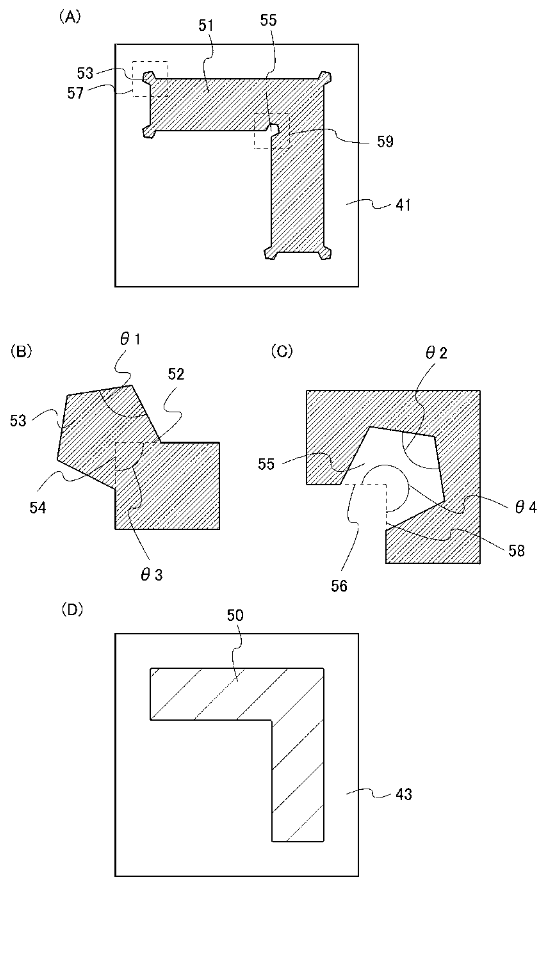
【符号の説明】

【０１４１】

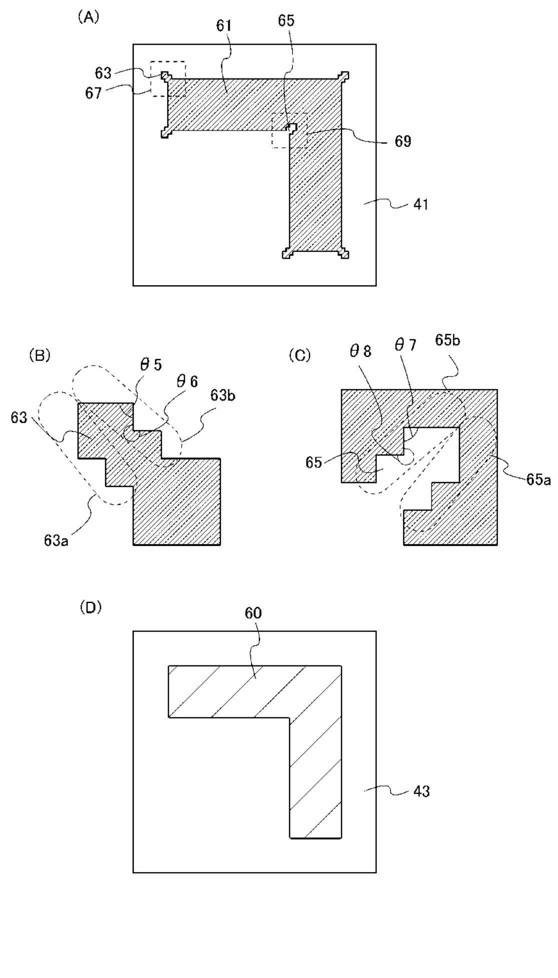
４１　基板
４３　基板
５０　膜パターン
５１　遮光部
５２　延長線
５３　補助パターン
５５　補助パターン
５６　延長線
５７　破線
５９　破線
６０　膜パターン
６１　遮光部
６３　補助パターン
６５　補助パターン
６７　破線
６９　破線
７０　膜パターン
７１　遮光部
７３　補助パターン
７５　補助パターン
７７　破線
７９　破線
８０　導電層
８１　遮光部
８２　破線
８３　破線
８４　導電層
８５　マスク
１００　基板
１２４　電界効果トランジスタ
１５３　導電層
１５４　ゲート電極
１５６　ゲート絶縁層
１５７　半導体層
１５８　半導体層
１５９　導電層
１６２　絶縁層
５０１　基板
５０２　遮光部
５０３　補助パターン
５０４　補助パターン
５０５　導電層
５０６　マスク
５０７　導電層
５０８　角部

５１１　基板
５１２　遮光部
５１３　補助パターン
５１４　補助パターン
５１５　導電層
５１６　マスク
５１７　導電層
５１８　角部
６３ａ　曲線
６５ａ　曲線
７００　電子書籍
７０１　筐体
７０５　表示部
７０６　太陽電池
７２１　電源スイッチ
７２３　操作キー
７２５　スピーカー
７３ａ　曲線
７３ｃ　曲線
７５ａ　曲線
７５ｃ　曲線
１６０ａ　配線
１６０ｂ　配線

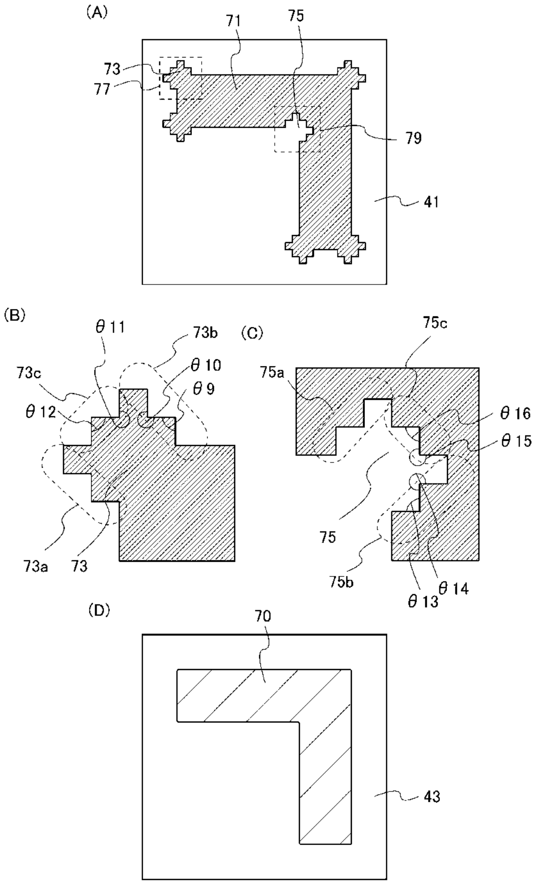
【図１】



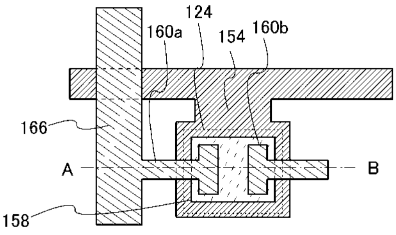
【図２】



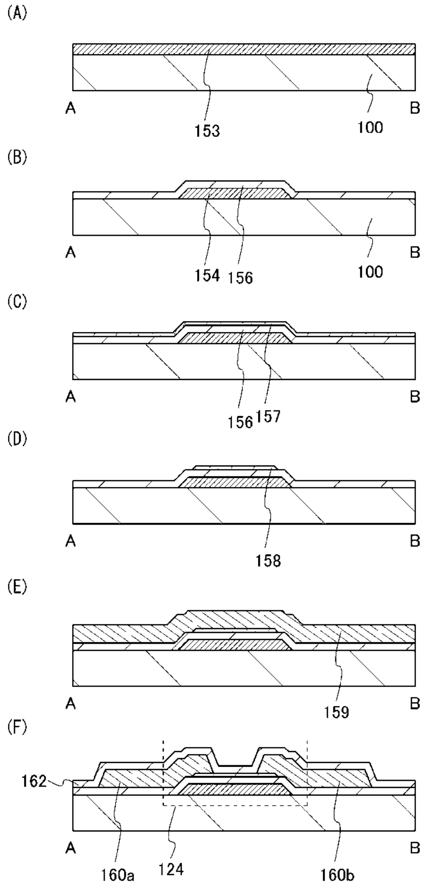
【図３】


(A)
71
75
73
77
79
41
(B)
θ11
73b
θ10
θ9
73c
θ12
73a
73
(C)
75c
75a
θ16
θ15
75
75b
θ14
θ13
(D)
70
43

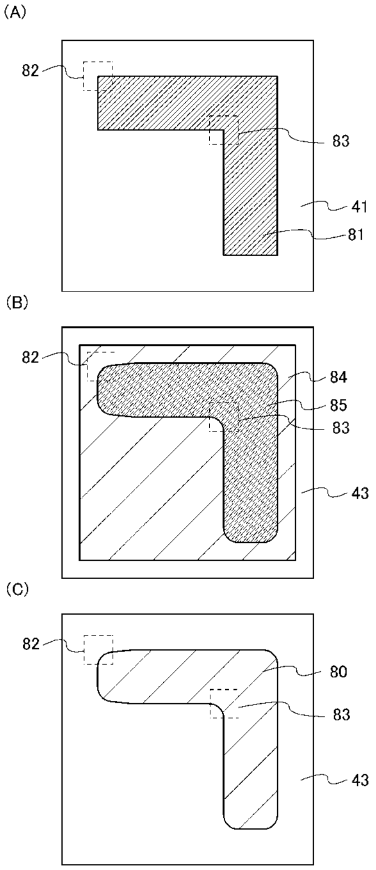
【図４】


124
160a
154
160b
166
A
B
158

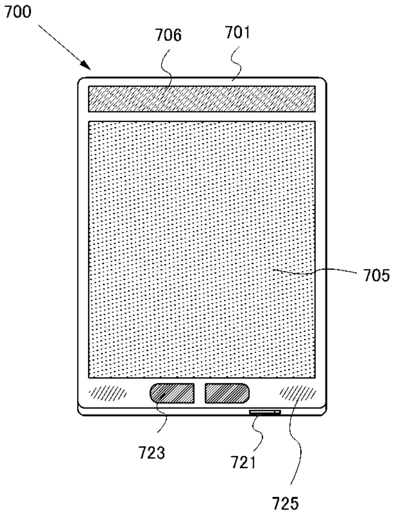
【図５】


(A)
A
B
153
100
(B)
A
B
154
156
100
(C)
A
B
156
157
(D)
A
B
158
(E)
A
B
159
(F)
162
A
B
160a
124
160b

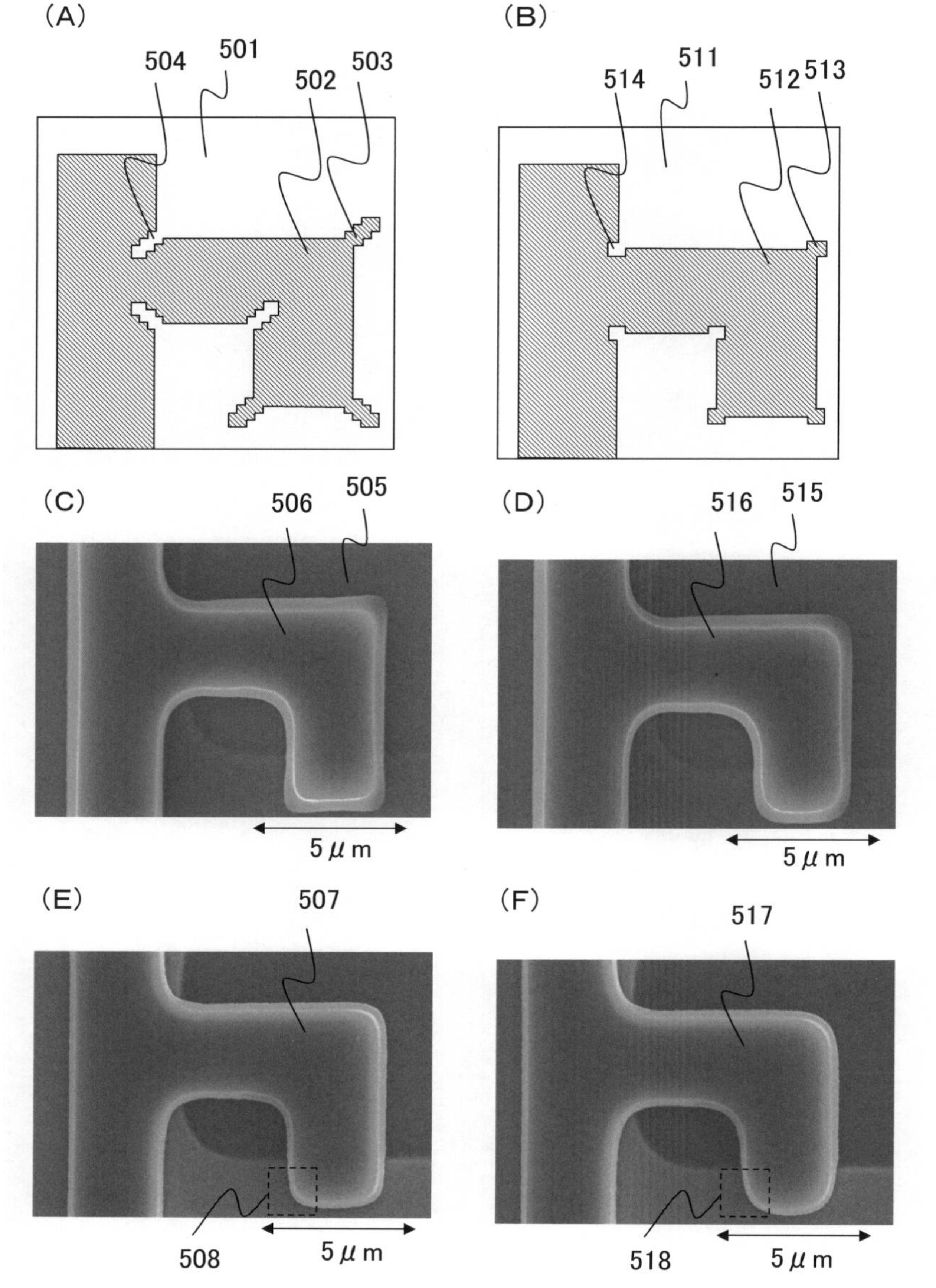
【図６】


(A)
82
83
41
81
(B)
82
84
85
83
43
(C)
82
80
83
43

【図７】



【図８】


(A)
504
501
502
503
(B)
514
511
512
513
(C)
506
505
5 μ m
(D)
516
515
5 μ m
(E)
507
508
5 μ m
(F)
517
518
5 μ m