

WO 2011/125928 A1

明 細 書

発明の名称：半導体装置およびその製造方法

技術分野

[0001] この発明は、銅を主成分とする材料からなる配線を層間絶縁膜上に有する半導体装置およびその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体装置の配線材料には、従来からアルミニウムが用いられてきたが、配線抵抗を低減するために、より導電性の高い配線材料である銅を用いることが提案されている。たとえば、非特許文献1には、最上層配線に銅配線を用いた構造が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2001-319946号公報

非特許文献

[0004] 非特許文献1：T. Efland他、「LeadFrameOnChip offers Integrated Power Bus and Bond over Active Circuit」Proceedings of 2001 International Symposium on Power Semiconductor Devices & ICs, Osaka、p 65-68

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] パワーデバイスの最上層配線を銅配線で構成する場合、電気抵抗を十分に低くするために、5～20 μ mの厚膜銅配線を適用することが好ましい。銅は空气中で容易に酸化するから、銅配線を絶縁材料からなるパッシベーション膜で覆う必要がある。このようなパッシベーション膜には、外部接続のために、銅配線の一部を露出させるためのパッド開口が形成されることになる。銅配線表面のパッド開口からの露出部は、パッドと呼ばれる。パッドの表面が酸化されるとワイヤボンディングができなくなるから、パッドの表面には、アルミニウムその他の金属からなるキャップ層が成膜される。

[0006] 銅配線を覆うパッシベーション膜には、ポリイミドその他の樹脂材料をコーティングして形成される有機膜を適用するのが好ましいと考えられる。これは、厚膜の銅配線とその周囲との大きな段差を埋めるためである。しかし、有機膜の形成に要するコストが高くつくのが難点である。そこで、無機膜を用いることが考えられる。無機膜の典型例である酸化シリコン膜は、銅配線に接する膜として用いることができない。銅は酸化シリコン中に容易に拡散するからである。無機膜の他の例である窒化シリコン膜は、銅の拡散を防ぐことができるので、銅配線に接する膜として用いることができる。

[0007] 本願発明者は、図6に示すように、厚膜銅配線1を覆うように窒化シリコン膜2を形成する実験を行った。作製した構造を顕微鏡観察したところ、厚膜銅配線1と最上層の層間絶縁膜3とが接する下角部4付近で、窒化シリコン膜2にクラックが発生しやすいという問題があることが分かった。これは、下角部4付近において窒化シリコン膜2に応力が集中することに起因すると考えられる。窒化シリコン膜2の膜厚を小さくすれば応力集中の問題は緩和されるが、水分の進入を防ぐためには、1 μ m程度以上の膜厚を確保する必要がある。

[0008] したがって、無機材料を用いてコストの低減を図りながら、応力集中によるクラック発生の問題を回避しつつ、銅配線（とくに厚膜銅配線）を覆うことができるパッシベーション膜の実現が困難であった。

この発明の目的は、上記課題を克服した半導体装置およ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

[0009] この発明の半導体装置は、層間絶縁膜と、前記層間絶縁膜上に突出して形成され、銅を主成分とする材料からなる配線と、前記配線を覆うように形成されたパッシベーション膜とを含む。前記パッシベーション膜は、前記配線側から順に第1窒化膜、中間膜および第2窒化膜を積層した積層膜からなる。前記中間膜は、前記第1および第2窒化膜とは異なる絶縁材料からなる。

[0010] この構成によれば、パッシベーション膜は、第1および第2窒化膜で中間

膜を挟んだ積層膜からなる。第1窒化膜が銅を主成分とする配線（以下「銅配線」という。）側に配置されているので、銅の拡散は第1窒化膜によって阻止できる。中間膜は、第1窒化膜の応力を緩和し、さらに、パッシベーション膜の厚膜化に寄与する。さらに、第2窒化膜が中間膜に積層されているから、水分その他の異物の進入を効果的に防ぐことができる。したがって、中間膜によって第1窒化膜の応力を緩和してそのクラックを抑制しながら、十分な膜厚を有するパッシベーション膜によって銅配線を保護することができる。パッシベーション膜は無機材料からなっているので、低コストで形成できる。

[0011] 第1窒化膜を薄く形成しても、積層膜からなるパッシベーション膜は全体として十分な膜厚を有することができる。したがって、第1窒化膜を薄く形成しておくことによって、第1窒化膜の応力を一層小さくすることができるから、第1窒化膜にクラックが生じることをより一層抑制することができる。

前記銅配線は厚みが10 μm 以上（たとえば10 μm ～20 μm ）であってもよい。このような厚膜銅配線を前述のようなパッシベーション膜で覆うことによって、厚膜銅配線と層間絶縁膜との接触部近傍などでパッシベーション膜にクラックが生じることを抑制して、厚膜銅配線を十分に保護することができる。また、前記銅配線は幅が10 μm 以上（たとえば10 μm ～20 μm ）であってもよい。たとえば、このような幅広（好ましくはさらに厚膜）の銅配線は、パワーデバイスの電源配線であってもよい。また、前記銅配線は、最上層配線であってもよい。

[0012] 銅配線を形成する「銅を主成分とする材料」としては、たとえば、純度が99.9%以上の銅の他、Al, Ti, Ag等を添加した銅合金を用いることができる。

前記中間膜は、前記第1窒化膜の材料よりも応力の小さい材料からなるバッファ（緩衝）膜であることが好ましい。この構成により、第1窒化膜に生じる応力を効果的に緩和できる。

[0013] より具体的には、前記中間膜は、酸化膜（酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜など）であってもよい。酸化膜への銅の拡散は、窒化膜によって阻止される。また、酸化膜は、窒化膜に比較して応力が小さいので、第1窒化膜に生じた応力を緩和して、第1窒化膜にクラックが生じることを抑制できる。

この発明の一実施形態においては、前記半導体装置は、前記層間絶縁膜上に形成され、前記配線中の銅が前記層間絶縁膜へと拡散することを防ぐバリア膜をさらに含む。そして、前記配線が、前記バリア膜上に形成され、前記バリア膜の縁部から張り出したオーバーハング部を有している。このようなオーバーハング部は、たとえば、銅配線をマスクとしてバリア膜をウェットエッチングする場合に、不可避免的に生じる。第1窒化膜を形成すると、オーバーハング部と層間絶縁膜との間の隙間に第1窒化膜が入り込む。この隙間の部分では、第1窒化膜が、層間絶縁膜、バリア膜の側壁、および銅配線の底面に付着し、その結果、第1窒化膜中に空隙が生じる場合がある。第1窒化膜に大きな応力が生じると、当該空隙を基点としたクラックが生じやすくなる。この発明の構成では、第1窒化膜に中間膜が積層されることによってその応力が緩和されるので、クラックの発生を抑制できる。

[0014] 前記第1窒化膜（銅配線に近い側の内側膜）の膜厚は、前記第2窒化膜の膜厚よりも小さいことが好ましい。この構成により、第1窒化膜の応力を抑制できるから、第1窒化膜にクラックが生じることをより一層効果的に抑制できる。

前記中間膜は、前記配線の厚さ方向に沿って前記層間絶縁膜から離れるほど幅狭となるテーパ部を有していてもよい。この構成によれば、配線と層間絶縁膜との接触部の周縁において中間膜の膜厚を厚くできるから、第1窒化膜の応力集中をより一層効果的に緩和できる。これにより、クラックの発生を一層効果的に抑制できる。また、中間膜に対する第2窒化膜のカバレッジが良くなるから、パッシベーション膜の保護性能を高くすることができる。

[0015] テーパー状の断面プロファイル（輪郭）を有する中間膜は、たとえば、高密度プラズマCVD（HDPCVD：High-Density Plasma Chemical Vapor Deposition）法によって形成することができる。

この発明の半導体装置の製造方法は、層間絶縁膜上に突出するように、銅を主成分とする材料からなる配線を形成する工程と、処理室内で、還元性ガスによるプラズマ処理を前記配線に施す工程と、前記プラズマ処理の後、前記処理室内で、プラズマCVD法によって前記配線の表面（頂面および側面を含む。）および層間絶縁膜の表面（少なくとも前記配線の側面近傍領域の表面）を覆う第1窒化膜を形成する工程と、前記第1窒化膜を覆うように、前記第1窒化膜とは異なる材料からなる中間膜を形成する工程と、前記中間膜を覆うように、前記中間膜とは異なる材料からなる第2窒化膜を形成する工程とを含む。

[0016] この方法により、前述の構成の半導体装置を作製できる。さらに、この方法では、処理室内で還元ガスによるプラズマ処理を銅配線（銅を主成分とする材料からなる配線）に施した後に、同じ処理室内で行うプラズマCVD法によって第1窒化膜が形成される。これにより、銅配線の表面の酸化膜を除去した状態で第1窒化膜が形成される。その結果、第1窒化膜は銅配線に対して良好な密着性を有するので、第1窒化膜の膜剥がれを抑制できる。

[0017] プラズマCVD法のための処理室での第1窒化膜の形成に先立って、処理室外でのウェットエッチングによって銅配線表面の酸化膜を予め除去しておくことが考えられるかもしれない。しかし、この場合、銅配線が処理室内の高温の雰囲気中に晒されると、その表面に速やかに酸化膜が形成されてしまう。このような酸化膜が形成された表面に第1窒化膜を形成しても、この第1窒化膜は、十分な密着性を有することはできない。

[0018] 前記中間膜を形成する工程は、前記第1窒化膜の材料よりも応力の小さい材料からなるバッファ（緩衝）膜を形成する工程を含むことが好ましい。この方法により、バッファ膜によって第1窒化膜の応力を効果的に緩和でき、第1窒化膜にクラックが生じることを抑制できる。

前記配線を形成する工程は、前記層間絶縁膜上にバリア膜を形成する工程と、前記バリア膜上に所定の配線パターンの銅膜を形成する工程と、前記バリア膜を前記配線パターンにエッチング（たとえばウェットエッチング）する工程とを含んでもよい。バリア膜のエッチング（とくにウェットエッチング）によって、前述のようなオーバーハング部が生じる。この場合でも、第1窒化膜のクラックを効果的に抑制できることは既述のとおりである。

[0019] 前記第1および第2窒化膜は、前記第1窒化膜の膜厚が前記第2窒化膜の膜厚よりも小さくなるように形成されることが好ましい。これにより、第1窒化膜の応力を低減できるから、第1窒化膜にクラックが生じることを一層効果的に抑制できる。

前記中間膜を形成する工程は、高密度プラズマCVD（High-Density Plasma Chemical Vapor Deposition）法によって酸化膜を形成する工程を含んでもよい。この場合、中間膜は、テーパ形状の断面プロファイルを有することになる。これにより、銅配線と層間絶縁膜との接触部における中間膜の膜厚が厚くなるので、第1窒化膜の応力を一層効果的に低減できる。加えて、中間膜に対する第2窒化膜のカバレッジが良くなるので、パッシベーション膜の性能を向上できる。

[0020] 本発明における上述の、またはさらに他の目的、特徴および効果は、添付図面を参照して次に述べる実施形態の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1] 図1は、この発明の一実施形態に係る半導体装置の構成を示す断面図である。

[図2] 図2は、上配線（最上層配線）の下縁部付近の構造を拡大して示す部分拡大断面図である。

[図3A] 図3Aは、図1および図2に示す半導体装置の製造工程における模式的な断面図である。

[図3B] 図3Bは、図3Aの次の工程における模式的な断面図である。

[図3C] 図3Cは、図3Bの次の工程における模式的な断面図である。

[図3D] 図3 Dは、図3 Cの次の工程における模式的な断面図である。

[図3E] 図3 Eは、図3 Dの次の工程における模式的な断面図である。

[図3F] 図3 Fは、図3 Eの次の工程における模式的な断面図である。

[図3G] 図3 Gは、図3 Fの次の工程における模式的な断面図である。

[図3H] 図3 Hは、図3 Gの次の工程における模式的な断面図である。

[図3I] 図3 Iは、図3 Hの次の工程における模式的な断面図である。

[図3J] 図3 Jは、図3 Iの次の工程における模式的な断面図である。

[図3K] 図3 Kは、図3 Jの次の工程における模式的な断面図である。

[図3L] 図3 Lは、図3 Kの次の工程における模式的な断面図である。

[図4A] 図4 Aは前記実施形態に従って作製した半導体装置（実施例）の電子顕微鏡写真である。

[図4B] 図4 Bは膜厚 $2\mu\text{m}$ のSiNの単層でパッシベーション膜を形成した比較例の電子顕微鏡写真である。

[図5] 図5は、この発明の他の実施形態に係る半導体装置の構成を示す断面図である。

[図6] 厚膜銅配線を単層の窒化シリコン膜で覆った試作例（比較例）の構成を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0022] 図1は、この発明の一実施形態に係る半導体装置の構成を示す断面図である。半導体装置10は、半導体基板20を備えている。半導体基板20は、たとえば、Si（シリコン）基板である。半導体基板20には、トランジスタ（たとえばパワートランジスタ）その他の機能素子が作り込まれている。半導体基板20上には、第1層間絶縁膜21が積層されている。第1層間絶縁膜21は、たとえば、 SiO_2 （酸化シリコン）からなる。第1層間絶縁膜21上には、下配線22が形成されている。下配線22は、たとえばアルミニウムまたはアルミニウム合金からなる。

[0023] 第1層間絶縁膜21および下配線22上には、第2層間絶縁膜23が積層されている。第2層間絶縁膜23は、たとえば、 SiO_2 からなる。この第2

層間絶縁膜 23 の表面は平坦化されている。

第 2 層間絶縁膜 23 上には、第 3 層間絶縁膜 25 が積層されている。第 3 層間絶縁膜 25 は、たとえば、SiN（窒化シリコン）からなる。

[0024] また、第 2 層間絶縁膜 23 および第 3 層間絶縁膜 25 には、下配線 22 と厚さ方向に対向する部分に、それらを厚さ方向に貫通するビアホール 26 が形成されている。ビアホール 26 は、上側ほど開口面積が大きくなるようなテーパ形状に形成されている。

第 3 層間絶縁膜 25 上には、最上層配線としての上配線 27 が形成されている。

上配線 27 は、平面視でビアホール 26 を含む領域上に形成され、第 3 層間絶縁膜 25 から上方に突出して形成されている。上配線 27 は、たとえば、第 3 層間絶縁膜 25 の表面からの突出量が $2\mu\text{m}$ 以上（たとえば、 $10\mu\text{m}$ ~ $20\mu\text{m}$ ）となるような厚さを有している。上配線 27 の下端部は、ビアホール 26 内に入り込み、下配線 22 に接続されている。上配線 27 は、Cu（たとえば、純度 99.9% の Cu）からなる。

[0025] 上配線 27 と下配線 22、第 2 層間絶縁膜 23 および第 3 層間絶縁膜 25 との間には、Cu イオンおよび Au の拡散に対するバリア性を有するバリア膜 28 が介在されている。バリア膜 28 は、たとえば Ti（チタン）または TiW（チタン - タングステン合金）からなる。バリア膜 28 は、上配線 27 から Cu（Cu イオン）が拡散するのを防止することができるので、上配線 27 と別の最上層配線との間にリークパスが形成されるのを防止する。

[0026] 第 3 層間絶縁膜 25 および上配線 27 上には、パッシベーション膜 30 が形成されている。パッシベーション膜 30 は、上配線 27 の表面（頂面および側面）を覆うように形成されている。パッシベーション膜 30 において、ビアホール 26 の直上の位置には、ビアホール 26 に対応した窪みが形成されている。この窪みからずれた平坦な領域には、上配線 27 の表面の一部を露出させるパッド開口 34 が、パッシベーション膜 30 の厚さ方向に貫通して形成されている。上配線 27 においてパッド開口 34 から露出した部分が

パッドである。このパッドに接するようにキャップメタル層 35 が形成されている。キャップメタル層 35 は、パッド開口 34 を覆う領域に形成されており、パッド開口 34 内を埋め尽くして、上配線 27 に接している。キャップメタル層 35 は、たとえば、バリア層 35 a と、接着層 35 b との積層膜からなる。バリア層 35 a は、パッド開口 34 において上配線 27 に接している。バリア層 35 a は、Cu イオンおよび Au の拡散に対するバリア性を有しており、たとえば、Ti（チタン）または TiW（チタンタングステン）からなる。接着層 35 b は、たとえばアルミニウムまたはアルミニウム合金からなる。

[0027] キャップメタル層 35 には、Au からなるボンディングワイヤ 36 の一端部が接合される。ボンディングワイヤ 36 の他端部は、半導体装置 10 の外部に接続される。これにより、ボンディングワイヤ 36 は、キャップメタル層 35、上配線 27 およびバリア膜 28 を介して、下配線 22 と電氣的に接続される。キャップメタル層 35 に含まれるバリア層 35 a は、ボンディングワイヤ 36 中の Au が上配線 27 への拡散することを防止し、かつ、上配線 27 中の Cu がボンディングワイヤ 36 へと拡散することを防止する。キャップメタル層 35 に含まれる接着層 35 b は、バリア層 35 a に対して良好な密着性を有し、かつ、Au からなるボンディングワイヤ 36 に対する優れた接着性を有する。

[0028] パッシベーション膜 30 は、第 1 窒化膜 31 と、第 2 窒化膜 32 と、中間膜 33 とを積層した積層膜からなる。最下層の第 1 窒化膜 31 は、上配線 27 の頂面および側面に接し、さらに、第 3 層間絶縁膜 25 の表面に接している。中間膜 33 は、第 1 窒化膜 31 と第 2 窒化膜 32 との間に挟まれている。最上層の第 2 窒化膜 32 は外部に露出しており、パッド開口 34 の周縁部において、キャップメタル層 35 に下方（半導体基板 20 側）から接している。

[0029] 第 1 窒化膜 31 および第 2 窒化膜 32 は、たとえば、SiN（窒化シリコン）からなる。第 1 窒化膜 31 の膜厚は、0.1 μ m ~ 0.5 μ m（たとえ

ば $0.5\mu\text{m}$)とすることが好ましい。第2窒化膜32の膜厚は、 $0.8\mu\text{m}\sim 2.0\mu\text{m}$ (たとえば $1.0\mu\text{m}$)とすることが好ましい。

中間膜33は、たとえば、 SiO_2 (酸化シリコン)等の酸化膜からなる。中間膜33の膜厚は、 $0.2\mu\text{m}\sim 1.0\mu\text{m}$ (たとえば $0.5\mu\text{m}$)とすることが好ましい。中間膜33は、第1窒化膜31および第2窒化膜32の材料よりも応力の小さい材料で構成するとよい。たとえば、 SiN の応力は 0.2GPa であるのに対して、 SiO_2 の応力は 0.1GPa である。また、中間膜33の膜厚は、とくに第1窒化膜31に生じる応力を緩和するのに十分な値とすることが好ましい。

[0030] 図2は、上配線27の下縁部付近の構造を拡大して示す部分拡大断面図である。バリア膜28は、上配線27をマスクとしたウェットエッチングによってパターニングされる。そのため、上配線27の縁部付近では、バリア膜28がオーバーエッチングされている。すなわち、バリア膜28の縁部は、上配線27の下縁部よりも上配線27の下方領域の内方へと後退している。すなわち、上配線27は、その下縁部付近に、バリア膜28の縁部から張り出したオーバーハング部27aを有している。このオーバーハング部27aの下方には、断面コ字形(横向きU字形)のオーバーエッチング領域38が形成されている。

[0031] パッシベーション膜30の第1窒化膜31は、オーバーエッチング領域38に入り込み、この領域38を区画する各膜の表面に接している。すなわち、第1窒化膜31は、第3層間絶縁膜25の表面、バリア膜28の側壁面、および上配線27の底面に付着している。このような複雑な構造部分での成膜は困難であるから、第1窒化膜31中に空隙39が生じる場合がある。第1窒化膜31に大きな応力が生じると、空隙39を基点としたクラックが生じやすくなる。そこで、この実施形態では、第1窒化膜31に中間膜33が積層されている。これにより、第1窒化膜31の応力が緩和されるので、クラックの発生を抑制できる。さらに、中間膜33に第2窒化膜32が積層されているので、パッシベーション膜30は、全体として、優れた表面保護性

能を有する。また、パッシベーション膜 30 は無機材料からなっているので、低コストで形成できる。

[0032] 図 3 A ~ 3 L は、図 1 および図 2 に示す半導体装置の各製造工程における模式的な断面図である。

図 3 A に示すように、トランジスタその他の機能素子が作り込まれた半導体基板 20 の表面に、CVD (Chemical Vapor Deposition: 化学的気相成長) 法により、第 1 層間絶縁膜 21 が積層される。その後、スパッタ法により、第 1 層間絶縁膜 21 上に、下配線 22 の材料となる A1 膜が形成される。そして、フォトリソグラフィおよびエッチングにより、A1 膜がパターンニングされることにより、下配線 22 が形成される。次いで、HDP (High Density Plasma: 高密度プラズマ) CVD 法により、第 1 層間絶縁膜 21 および下配線 22 上に、酸化膜 (SiO_2 膜) 23 a が形成される。その後、プラズマ CVD 法により、酸化膜 23 a 上に、USG (Undoped Silicate Glass) 膜 23 b が形成される。これにより、酸化膜 23 a および USG 膜 23 b の積層膜からなる第 2 層間絶縁膜 23 が形成される。

[0033] 次に、図 3 B に示すように、CMP (Chemical Mechanical Polishing: 化学的機械的研磨) 法により、第 2 層間絶縁膜 23 が、その表面から研削される。この第 2 層間絶縁膜 23 の研削は、第 2 層間絶縁膜 23 の膜厚が所定の目標値 (たとえば $9500 \text{ \AA}$) となるように実行される。これにより、第 2 層間絶縁膜 23 の表面が平坦化される。その後、プラズマ CVD 法により、第 2 層間絶縁膜 23 上に、第 3 層間絶縁膜 25 が形成される。その後、下配線 22 上に開口を有するパターンのレジストマスク 41 が、第 3 絶縁膜 25 上に形成される。

[0034] 次いで、図 3 C に示すように、レジストマスク 41 をマスクとしたドライエッチング (たとえば、RIE: 反応性イオンエッチング) により、第 3 層間絶縁膜 25 および第 2 層間絶縁膜 23 が選択的に除去され、それらを厚さ方向に貫通するビアホール 26 が形成される。

次に、図 3 D に示すように、スパッタ法により、ビアホール 26 の内面 (

底面および側壁) および第3層間絶縁膜25上に、たとえばTiWからなるバリア膜28が形成される。続いて、スパッタ法により、バリア膜28上に、Cuからなるシード膜29が形成される。

[0035] その後、図3Eに示すように、バリア膜28およびシード膜29上に、平面視でビアホール26を含む領域に対向する部分に開口を有するレジストパターン42が形成される。レジストパターン42の開口は、上配線27の配線パターンに対応するパターンに形成される。次いで、レジストパターン42の開口内に、Cuがめっき成長される。これにより、レジストパターン42の開口内がCuに埋め尽くされ、Cuからなる所定の配線パターンの上配線27が形成される。上配線27の形成後、レジストパターン42は除去される。上配線27は、たとえば、膜厚が10 μ m程度、幅が10 μ m程度である。すなわち、上配線27は、第3層間絶縁膜25から10 μ m程度突出した状態で形成される。

[0036] その後、図3Fに示すように、上配線27をマスクとして用いるウェットエッチングにより、シード膜29およびバリア膜28が順にエッチングされる。これにより、シード膜29およびバリア膜28において、レジストパターン42の下方に形成されていた部分が除去される。これにより、シード膜29およびバリア膜28が、上配線27に整合する配線パターンにエッチングされる。ウェットエッチングの際、バリア膜28のオーバーエッチングが生じることにより、前述のオーバーハング部27aおよびオーバーエッチング領域38が形成される。

[0037] 次に、図3Gに示すように、プラズマCVD装置の処理室50に基板20が搬入され、この処理室50内で、上配線27に対し、還元性ガスによるプラズマ処理が施される。還元性ガスとは、上配線27の表面の酸化物を還元して除去する性質のガスである。このような還元性ガスの例としては、H₂（水素）ガスおよびNH₃（アンモニア）ガスが挙げられる。NH₃/H₂混合ガスを還元性ガスとして用いてもよい。このような還元性ガスが処理室50に供給され、この還元性ガスのプラズマが処理室50内に生成させられる。こ

のような還元性ガスによるプラズマ処理によって、上配線 27 の表面の酸化膜が除去される。

[0038] 次に、図 3 H に示すように、同じ処理室 50 内において、プラズマ CVD 法により、パッシベーション膜 30 が成膜される。具体的には、第 1 窒化膜 31 が成膜され、その後、第 1 窒化膜 31 上に中間膜 33 が成膜され、その後、中間膜 33 上に第 2 窒化膜 32 が成膜される。第 1 窒化膜 31 および第 2 窒化膜 32 は、たとえば、 SiH_4 （シラン）、 N_2 （窒素）および NH_3 （アンモニア）を原料ガスとして処理室 50 に供給して行うプラズマ CVD 法で形成される。これにより、 SiN 膜が成膜される。また、中間膜 33 は、たとえば、 SiH_4 （シラン）、 N_2O （亜酸化窒素）および O_2 （酸素）を原料ガスとして処理室 50 に供給して行うプラズマ CVD 法で形成される。これにより、 SiO_2 膜が成膜される。成膜時の基板温度は、たとえば、 $300^\circ\text{C} \sim 400^\circ\text{C}$ とされる。

[0039] パッシベーション膜 30 の成膜直前に同一処理室 50 内で還元性ガスによるプラズマ処理が行われているので、第 1 窒化膜 31 は、上配線 27 に対して良好に密着する。第 1 窒化膜 31 は、上配線 27 の頂面および側面ならびに第 3 層間絶縁膜 25 の表面を覆うように形成される。第 1 窒化膜 31 は、少なくとも、上配線 27 の側面近傍の領域において第 3 層間絶縁膜 25 を覆う。中間膜 33 は、第 1 窒化膜 31 を覆うように形成される。第 2 窒化膜 32 は、中間膜 33 を覆うように形成される。

[0040] 次に、図 3 I に示すように、パッド開口 34 に対応する開口を有するレジストマスク 43 が形成される。このレジストマスク 43 をマスクとしたドライエッチング（たとえば RIE）によって、パッシベーション膜 30 にパッド開口 34 が形成され、上配線 27 の一部が露出させられる。その後、レジストマスク 43 を剥離すると、図 3 J に示す状態となる。

[0041] この後、図 3 K に示すように、スパッタ法により、第 3 層間絶縁膜 25 および上配線 27 上に、バリア層 35 a および接着層 35 b がこの順に形成される。そして、パッド開口 34 の上方に、キャップメタル層 35 に対応した

レジストマスク 44 が形成される。バリア層 35a は、たとえば、膜厚 500 Å の TiW 膜からなる。また、接着層 35b は、たとえば膜厚 1000 Å の Al 膜からなる。

[0042] 次に、図 3L に示すように、レジストマスク 44 をマスクとして用いたドライエッチング（たとえば RIE）によって接着層 35b がパターンニングされる。さらに、パターンニングされた接着層 35b をマスクとして用いたウェットエッチングによって、バリア層 35a がパターンニングされる。こうして、パッド開口 34 を覆うキャップメタル層 35 が形成される。その後、キャップメタル層 35 にボンディングワイヤ 36 の一端部が接合されることにより、図 1 に示す半導体装置 10 が得られる。

[0043] 図 4A は前記実施形態に従って作製した半導体装置の電子顕微鏡写真であり、上配線 27 の下縁部を示す。第 1 窒化膜 31 は SiN からなり、膜厚は 0.5 μm である。中間膜 33 は SiO₂ からなり、膜厚は 0.5 μm である。第 2 窒化膜 32 は SiN からなり、膜厚は 1.0 μm である。第 1 窒化膜 31 には、オーバーエッチング領域 38 の付近に空隙 39 が形成されているけれども、第 1 窒化膜 31、第 2 窒化膜 32 および中間膜 33 のいずれにもクラック等の欠損が生じていない。したがって、パッシベーション膜 30 は、全体として、良好な保護性能を有する。

[0044] 図 4B は、膜厚 2 μm の SiN の単層でパッシベーション膜 5 を形成した比較例の電子顕微鏡写真である。このパッシベーション膜 5 には、オーバーエッチング領域 38 の付近に生じる空隙 6 に起因するクラック 7 が生じている。したがって、外部からの水分等の浸入の懸念があり、十分な保護性能を有していない。

以上のように、この実施形態の半導体装置 10 においては、第 3 層間絶縁膜 25 の表面から突出して形成された上配線 27（最上層配線）を覆うパッシベーション膜 30 が、第 1 窒化膜 31 および第 2 窒化膜 32 の間に中間膜 33 を挟んだ積層膜からなる。そして、中間膜 33 は、第 1 窒化膜 31 とは異なる材料であり、窒化膜よりも応力の小さい酸化膜からなっている。これ

により、中間膜 33 は、第 1 窒化膜 31 の応力を緩和するバッファ膜として機能するから、第 1 窒化膜 31 のクラックを抑制しつつ、全体として十分な膜厚を有するパッシベーション膜 30 を実現できる。これにより、Cu となる上配線 27 を保護できる。また、クラックのない第 1 窒化膜 31 が上配線 27 に接しているので、上配線 27 からの銅の拡散を阻止できる。

[0045] また、第 1 窒化膜 31 を薄く形成しても、パッシベーション膜 30 は全体として十分な膜厚を有する。そこで、第 1 窒化膜 31 を薄くすることで、第 1 窒化膜 31 の応力を一層低減できる。とくに、第 1 窒化膜 31 の膜厚を第 2 窒化膜 32 の膜厚よりも小さくすることにより、第 1 窒化膜 31 の応力を低減する一方、膜厚の大きな第 2 窒化膜 32 によって、パッシベーション膜 30 の保護性能を強化できる。

[0046] さらに、前述の製造方法では、上配線 27 をめっきで形成した後、処理室 50 内で還元性ガスによるプラズマ処理を行い、その後、同一処理室 50 内でのプラズマ CVD 法によって第 1 窒化膜 31 が形成されている。これにより、第 1 窒化膜 31 の成膜直前に上配線 27 の表面の酸化膜が除去されるから、第 1 窒化膜 31 は上配線 27 に対して優れた密着性を有する。これにより、パッシベーション膜 30 の剥がれを予防できるから、信頼性の高い半導体装置 10 を提供できる。

[0047] 図 5 は、この発明の他の実施形態に係る半導体装置の構成を示す断面図である。この実施形態では、パッシベーション膜 30 の中間膜 33 は、上方（半導体基板 20 から離れる方向）に向かうに従って幅狭となるテーパ形状の断面プロファイル（輪郭）を有している。これにより、上配線 27 と第 3 層間絶縁膜 25 との接触部の周縁において中間膜 33 の膜厚を厚くできる。したがって、オーバーエッチング領域 38 の近傍において、第 1 窒化膜 31 の応力集中をより一層効果的に緩和できる。これにより、第 1 窒化膜 31 にクラックが発生することを一層効果的に抑制できる。また、上配線 27 の上側角部付近において、中間膜 33 の表面形状が緩やかな変化を呈する。たとえば、中間膜 33 の表面は、その断面において、長辺と側辺とが鈍角をなす

台形状の輪郭を有する。これにより、中間膜 33 上に形成される第 2 窒化膜 32 は、良好なカバレッジ（被覆性）で中間膜 33 に密着する。その結果、パッシベーション膜 30 の保護性能を一層向上することができる。

[0048] 上記のような中間膜 33 は、たとえば、高密度プラズマ CVD（HDP CVD : High-Density Plasma Chemical Vapor Deposition）法で形成することができる。より具体的には、前述の図 3 H の工程（パッシベーション膜の成膜工程）において、第 1 窒化膜 31 をプラズマ CVD 法で形成した後に、中間膜 33 を HDP CVD 法で形成し、その後に第 2 窒化膜 32 をプラズマ CVD 法で形成すればよい。これにより、中間膜 33 は、断面台形状のプロファイルを有することになる。

[0049] 以上、本発明の 2 つの実施形態について説明したが、本発明は、さらに他の形態で実施することもできる。たとえば、前述の実施形態では、パッシベーション膜 30 の中間膜 33 を SiO_2 で構成した例を示したが、 SiON （酸化窒化シリコン）で中間膜 33 を構成してもよい。

また、前述の実施形態では、第 3 層間絶縁膜 25 の材料として、 SiN を例示したが、代わりに SiO_2 を用いてもよい。ただし、 Cu イオンは、 SiN 中よりも SiO_2 中の方が拡散しやすいので、第 3 層間絶縁膜 25 の材料として SiN を用いることにより、 Cu イオンの拡散をより良好に防止することができる。

[0050] また、バリア膜 28 およびバリア層 35 a の材料として、 Ti および TiW を例示したが、バリア膜 28 およびバリア層 35 a は、導電性を有し、 Cu イオンおよび Au の拡散に対するバリア性を有する他の材料で形成してもよい。このような材料としては、 Ti および TiW の他にも、 TiN （窒化チタン）、 WN （窒化タングステン）、 TaN （窒化タンタル）、 Ta （タンタル）、 W （タングステン）などを例示することができる。

[0051] また、キャップメタル層 35 の接着層 35 b の材料として Al を例示したが、 Cu および絶縁材料との密着性が高い金属材料であればよく、 Al の他に、たとえば、 AlSiCu （アルミニウム - 銅合金のシリコン化合物）ま

たはA l C u（アルミニウム - 銅合金）などを適用することもできる。

本発明の実施形態について詳細に説明してきたが、これらは本発明の技術的内容を明らかにするために用いられた具体例に過ぎず、本発明はこれらの具体例に限定して解釈されるべきではなく、本発明の範囲は添付の請求の範囲によってのみ限定される。

[0052] この出願は、2010年4月1日に日本国特許庁に提出された特願2010-085193号に対応しており、この出願の全開示はここに引用により組み込まれるものとする。

符号の説明

- [0053]
- | | |
|-----|-------------|
| 10 | 半導体装置 |
| 20 | 半導体基板 |
| 21 | 第1層間絶縁膜 |
| 22 | 下配線 |
| 23 | 第2層間絶縁膜 |
| 25 | 第3層間絶縁膜 |
| 27 | 上配線 |
| 27a | オーバーハング部 |
| 28 | バリア膜 |
| 29 | シード膜 |
| 30 | パッシベーション膜 |
| 31 | 第1窒化膜 |
| 32 | 第2窒化膜 |
| 33 | 中間膜 |
| 34 | パッド開口 |
| 35 | キャップメタル層 |
| 36 | ボンディングワイヤ |
| 38 | オーバーエッチング領域 |
| 39 | 空隙 |

5 0 処理室

請求の範囲

- [請求項1] 層間絶縁膜と、
前記層間絶縁膜上に突出して形成され、銅を主成分とする材料からなる配線と、
前記配線を覆うように形成されたパッシベーション膜とを含み、
前記パッシベーション膜が、前記配線側から順に第1窒化膜、中間膜および第2窒化膜を積層した積層膜からなり、前記中間膜が、前記第1および第2窒化膜とは異なる絶縁材料からなる、半導体装置。
- [請求項2] 前記中間膜は、前記第1窒化膜の材料よりも応力の小さい材料からなるバッファ膜である、請求項1記載の半導体装置。
- [請求項3] 前記層間絶縁膜上に形成され、前記配線中の銅が前記層間絶縁膜へと拡散することを防ぐバリア膜をさらに含み、
前記配線が、前記バリア膜上に形成され、前記バリア膜の縁部から張り出したオーバーハング部を有している、請求項1または2記載の半導体装置。
- [請求項4] 前記第1窒化膜の膜厚が、前記第2窒化膜の膜厚よりも小さい、請求項1～3のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項5] 前記中間膜が、前記配線の厚さ方向に沿って前記層間絶縁膜から離れるほど幅狭となるテーパ部を有している、請求項1～4のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項6] 層間絶縁膜上に突出するように、銅を主成分とする材料からなる配線を形成する工程と、
処理室内で、還元性ガスによるプラズマ処理を前記配線に施す工程と、
前記プラズマ処理の後、前記処理室内で、プラズマCVD法によって前記配線の表面および前記層間絶縁膜の表面を覆う第1窒化膜を形成する工程と、
前記第1窒化膜を覆うように、前記第1窒化膜とは異なる材料から

なる中間膜を形成する工程と、

前記中間膜を覆うように、前記中間膜とは異なる材料からなる第2窒化膜を形成する工程とを含む、半導体装置の製造方法。

[請求項7] 前記中間膜を形成する工程は、前記第1窒化膜の材料よりも応力の小さい材料からなるバッファ膜を形成する工程を含む、請求項6記載の半導体装置の製造方法。

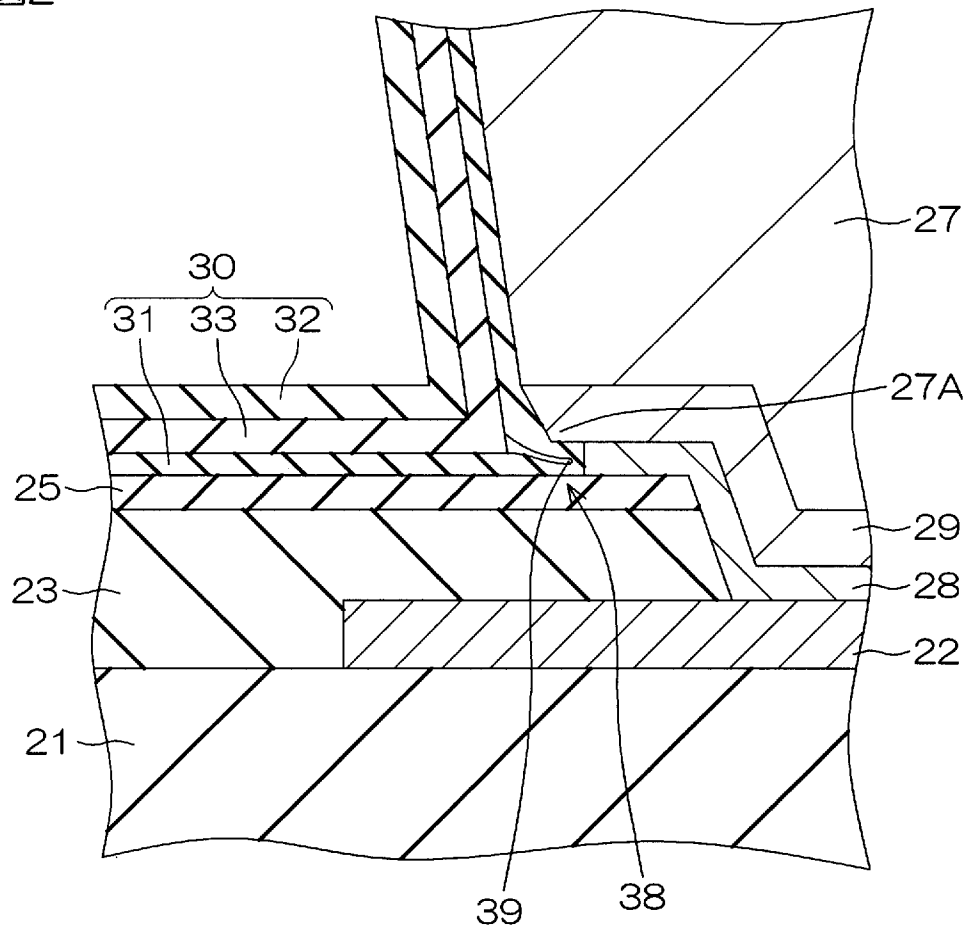
[請求項8] 前記配線を形成する工程は、前記層間絶縁膜上にバリア膜を形成する工程と、前記バリア膜上に所定の配線パターンの銅膜を形成する工程と、前記バリア膜を前記配線パターンにエッチングする工程とを含む、請求項6または7記載の半導体装置の製造方法。

[請求項9] 前記第1窒化膜の膜厚が前記第2窒化膜の膜厚よりも小さくなるように、前記第1および第2窒化膜が形成される、請求項6～8のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項10] 前記中間膜を形成する工程が、高密度プラズマCVD法によって酸化膜を形成する工程を含む、請求項6～9のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。

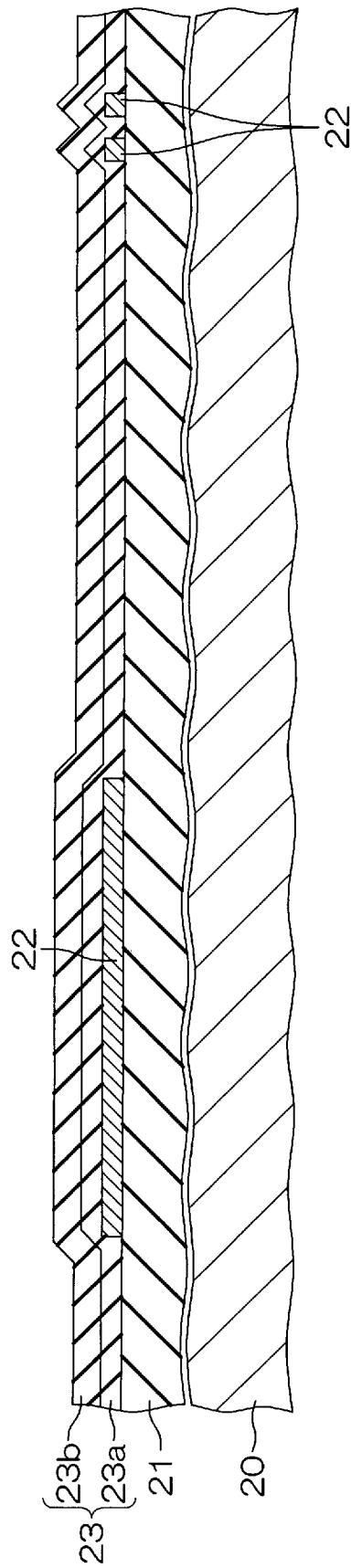
[図2]

図2

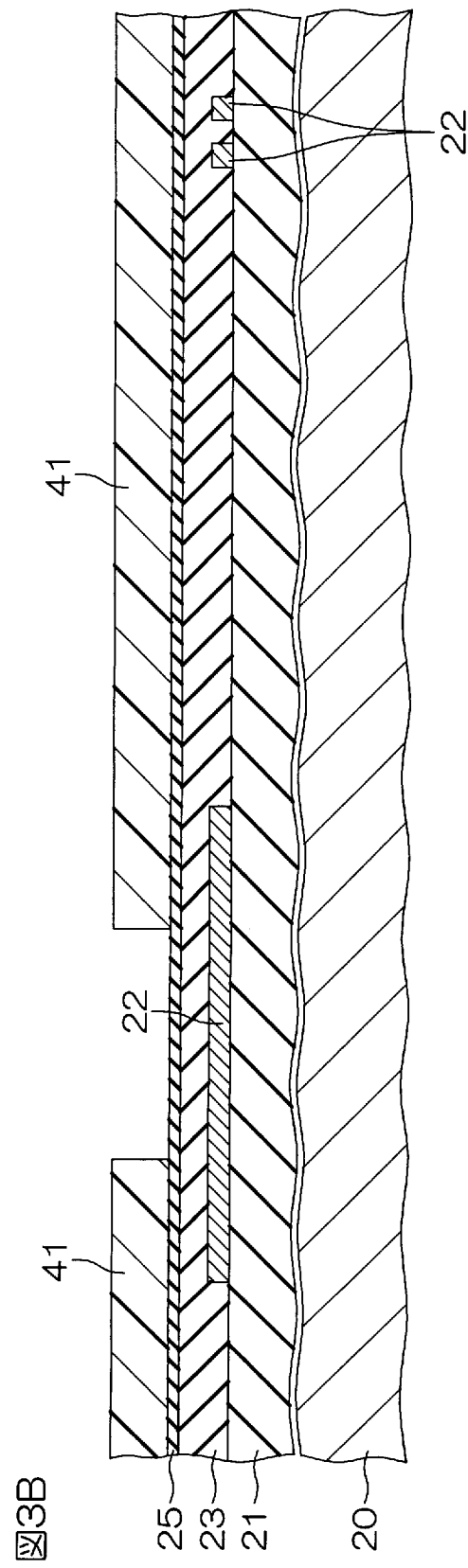


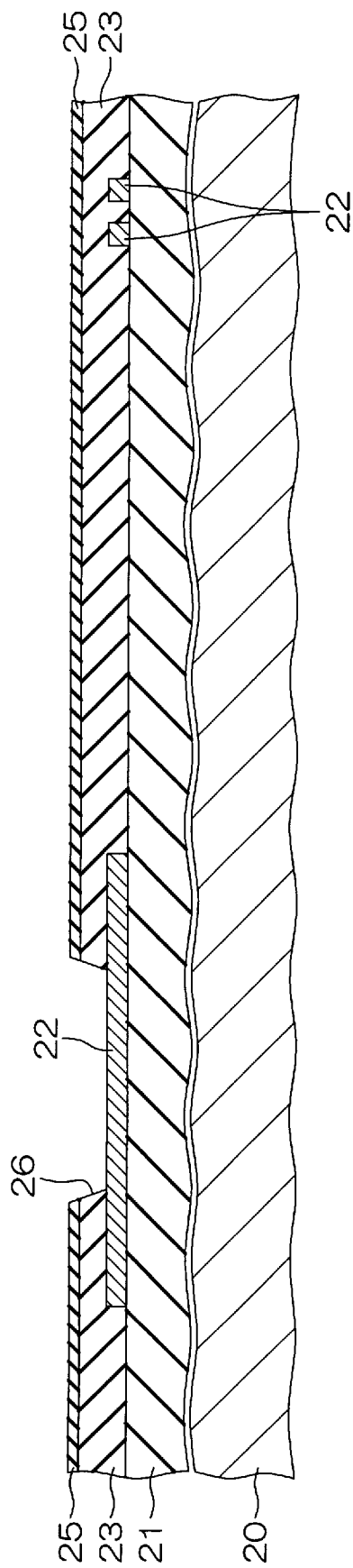
[図3A]

図3A

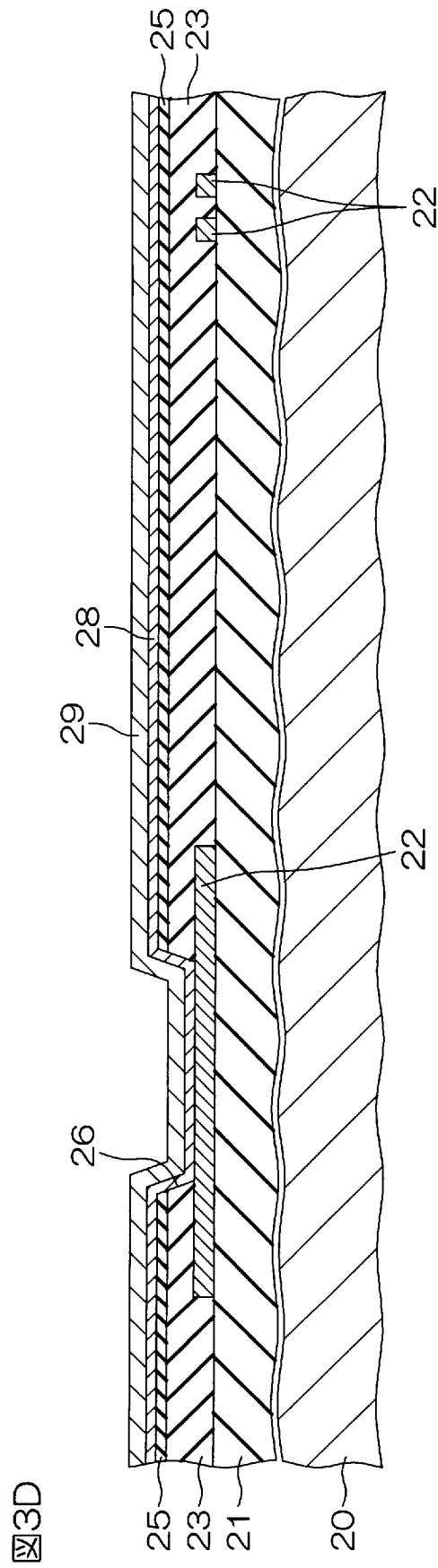


[図3B]

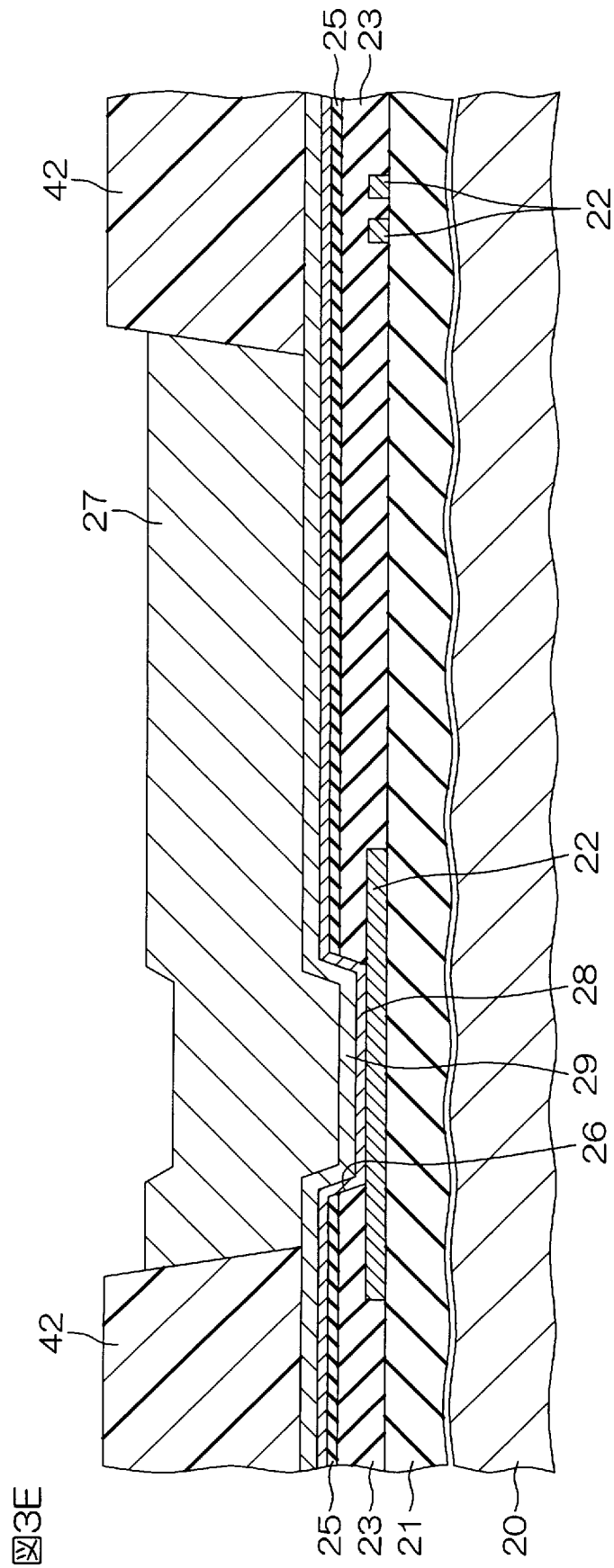




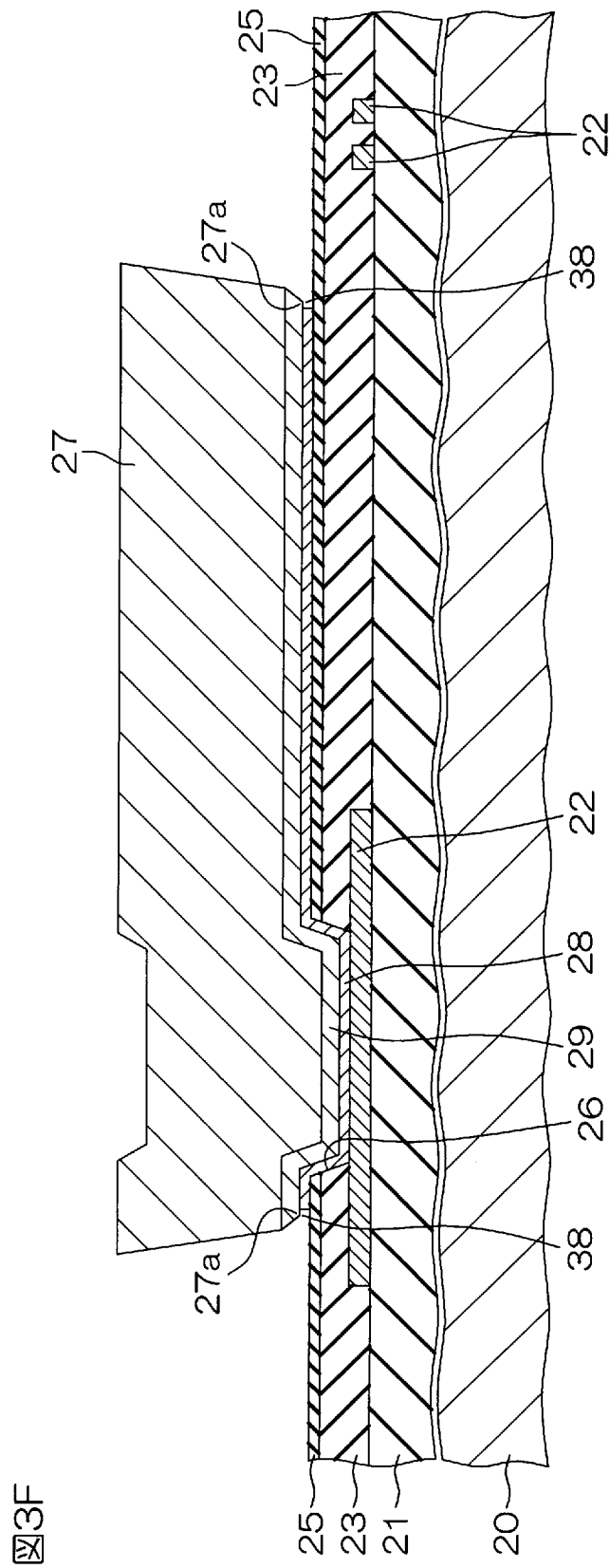
[図3D]



[図3E]

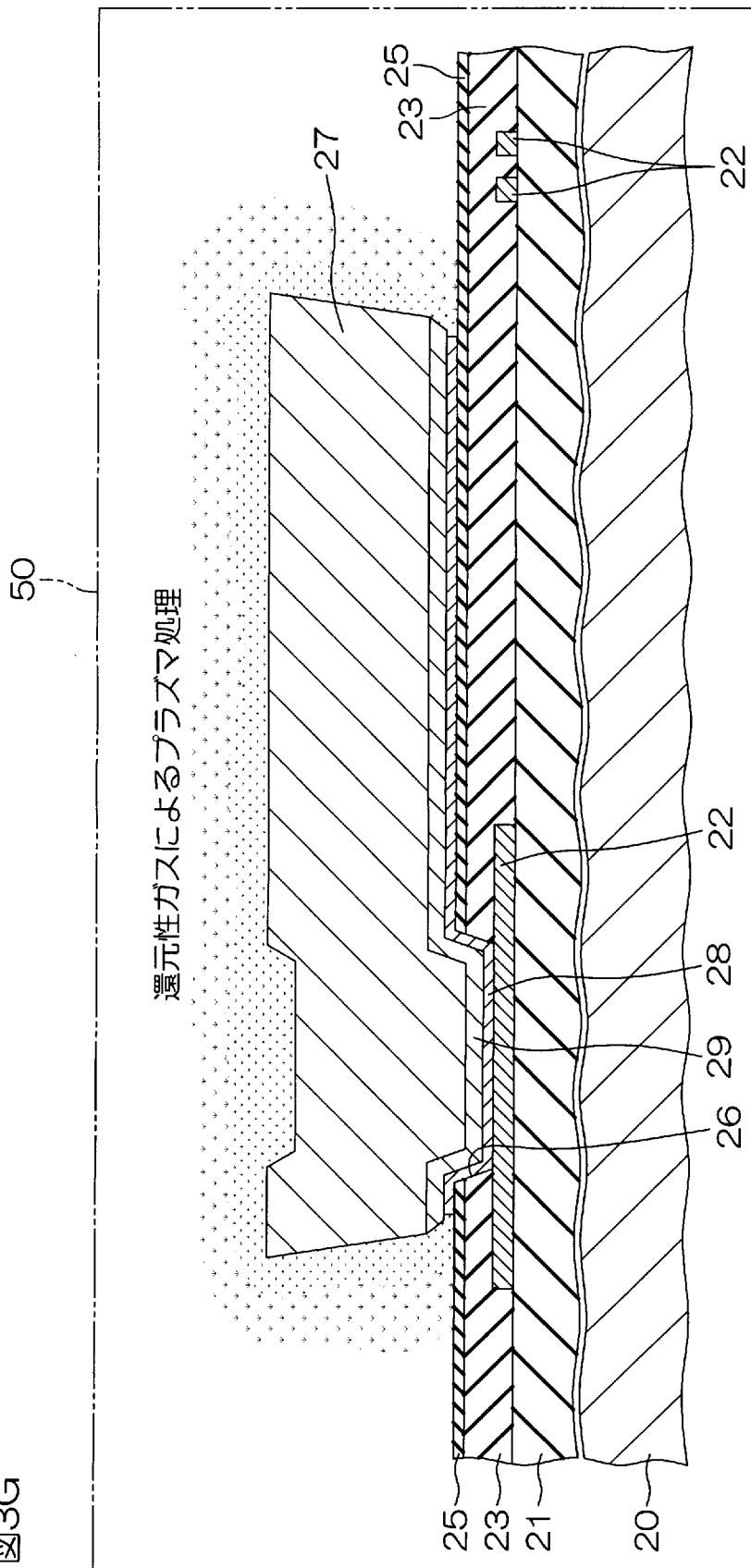


[図3F]



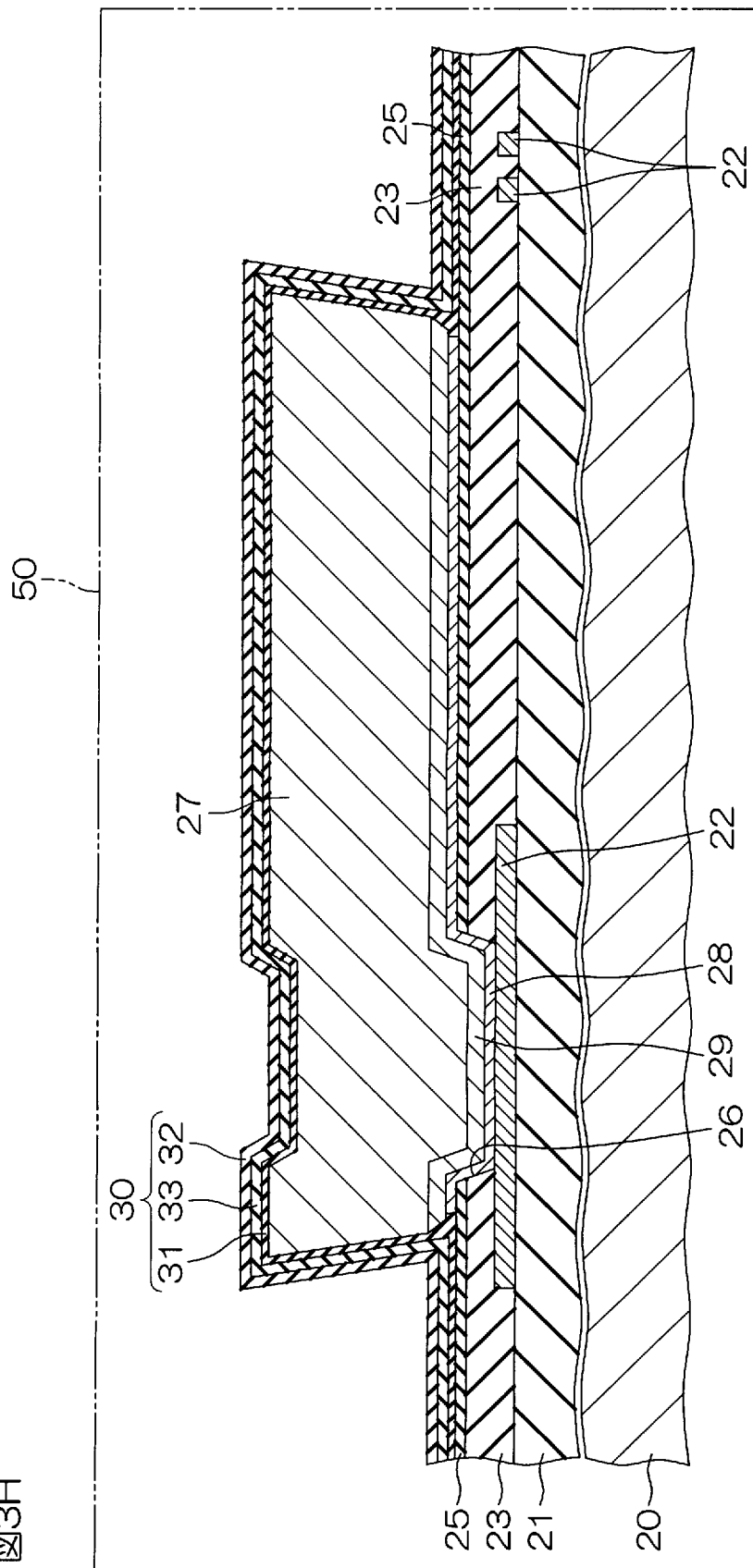
[図3G]

図3G

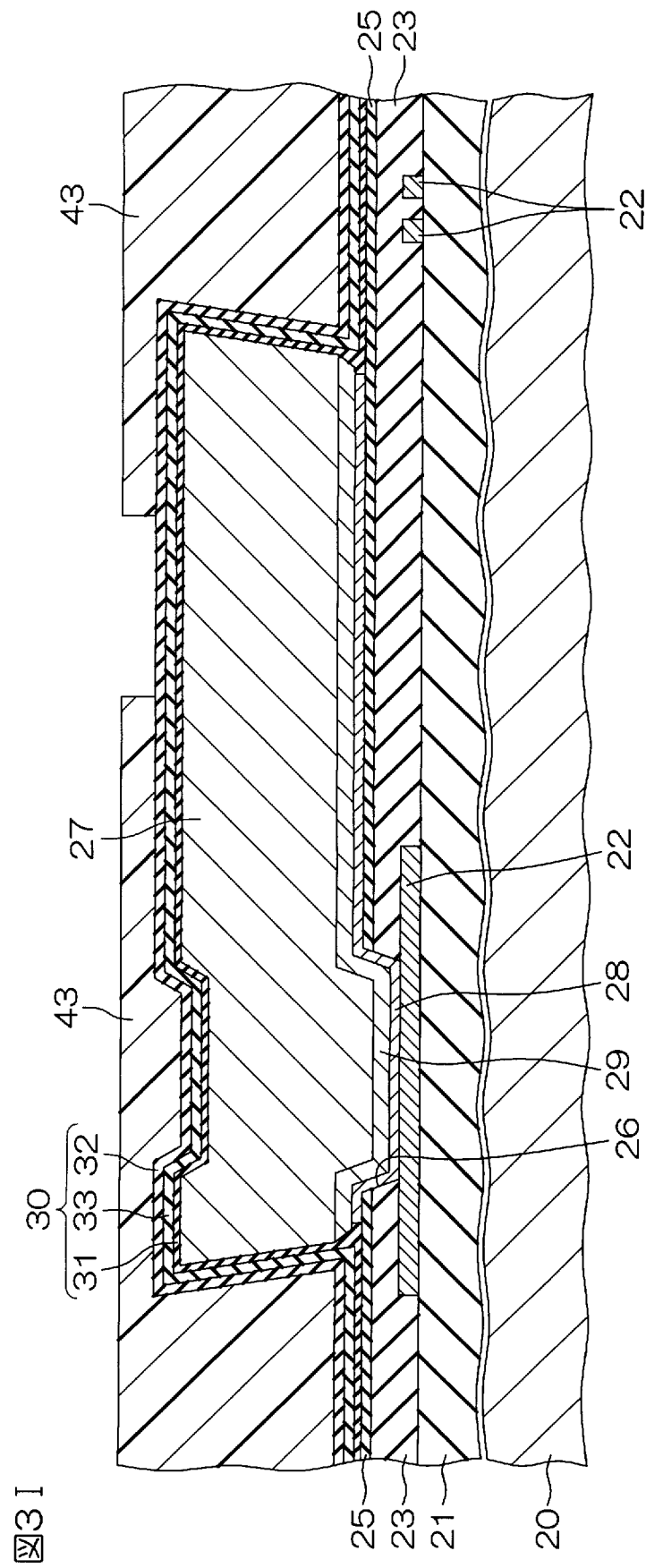


[図3H]

[図3H]

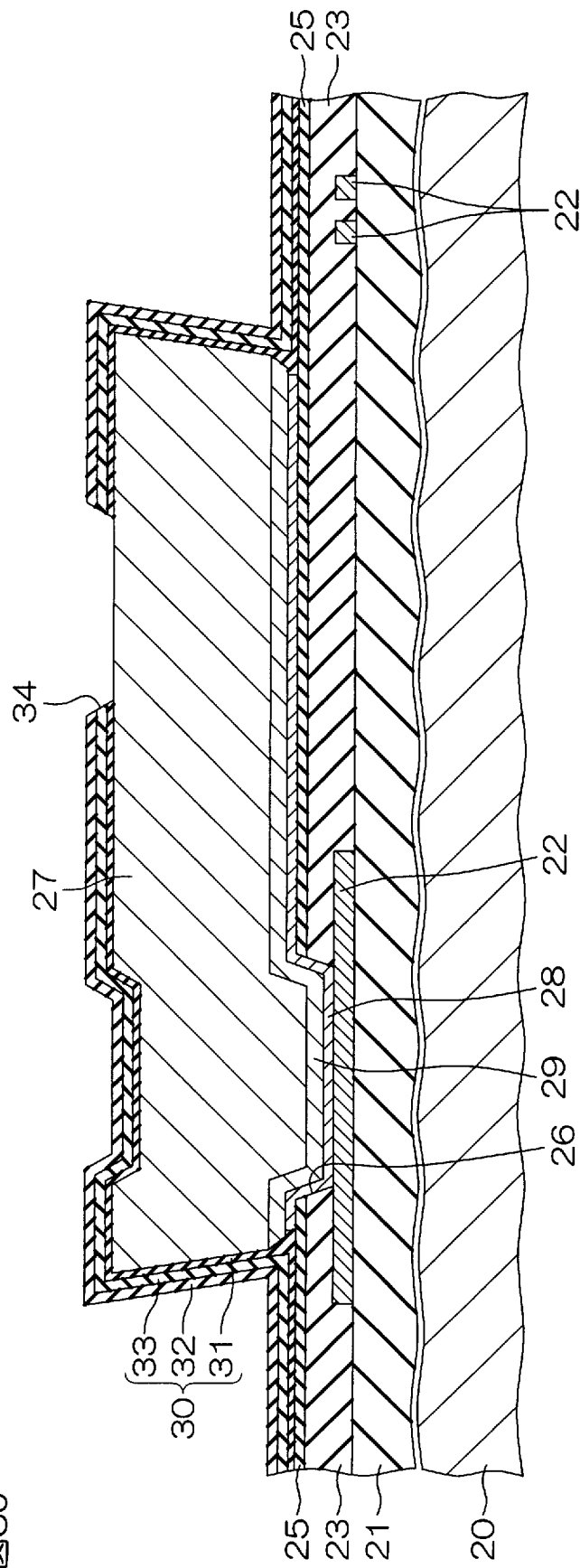


[図31]



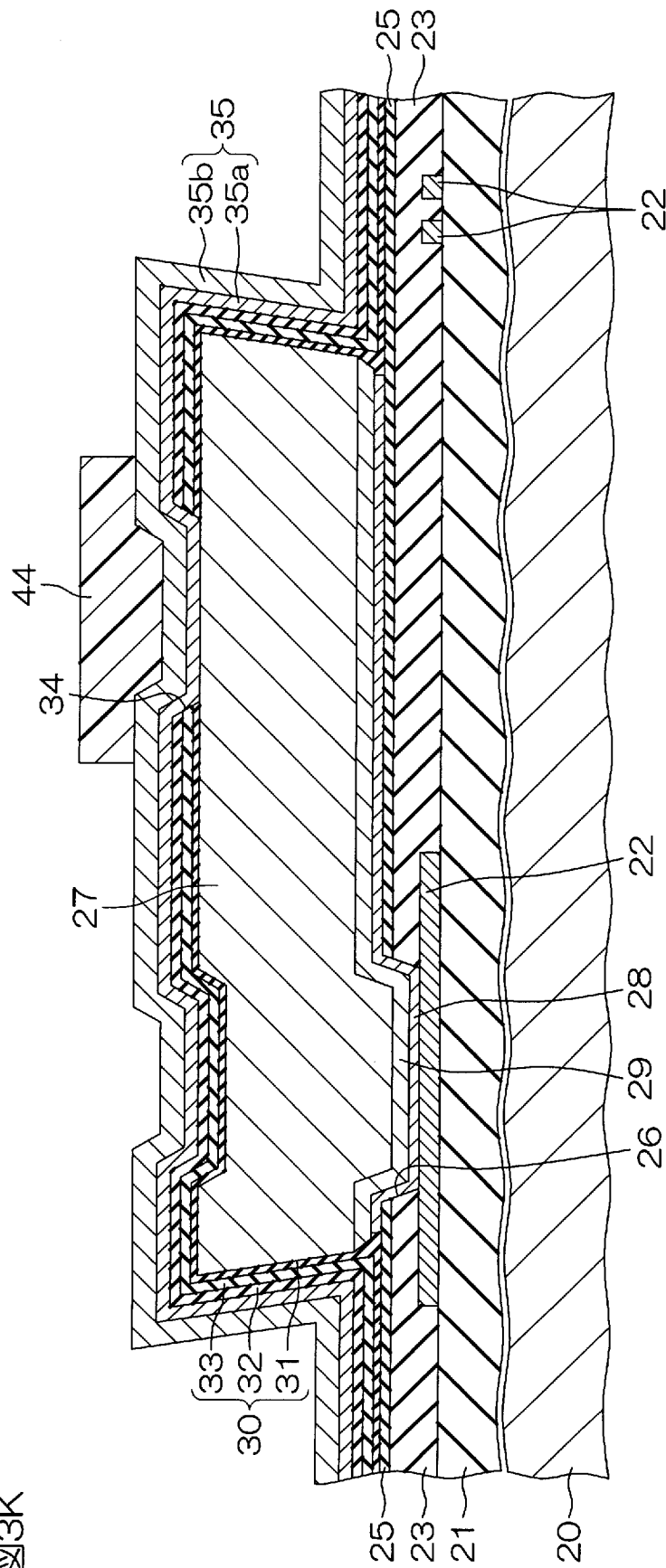
[図3J]

図3J

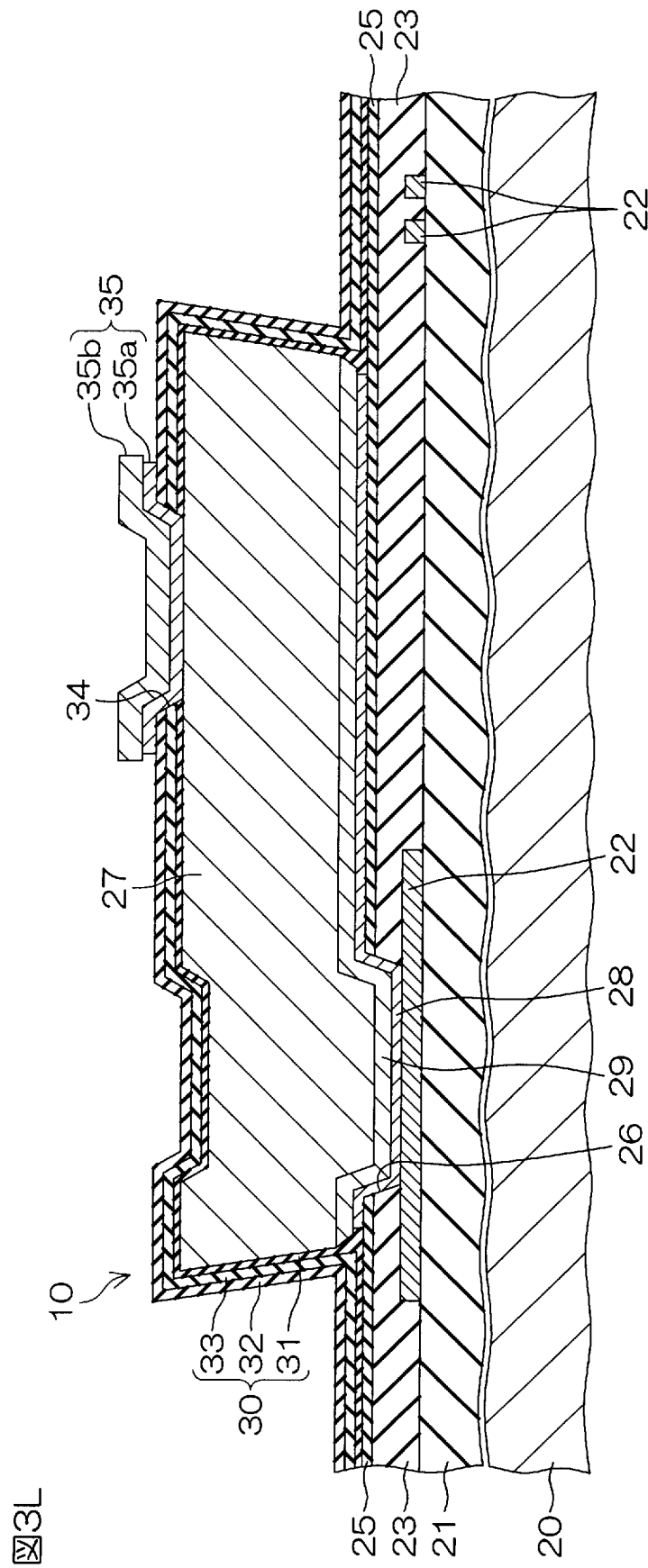


[図3K]

図3K

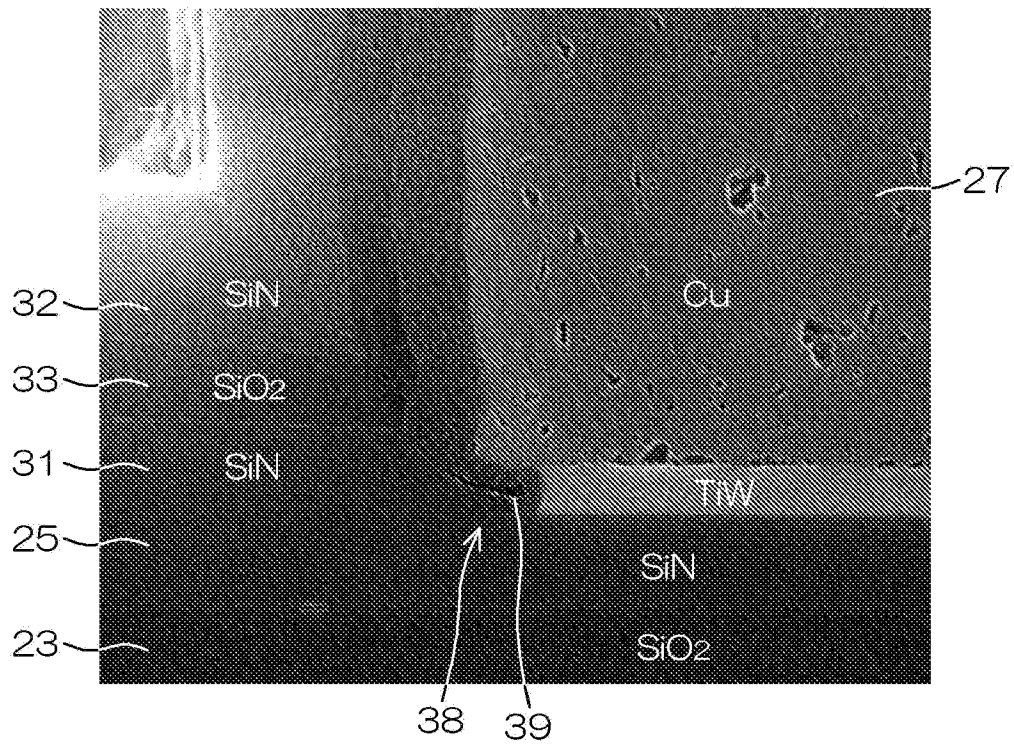


[図3L]



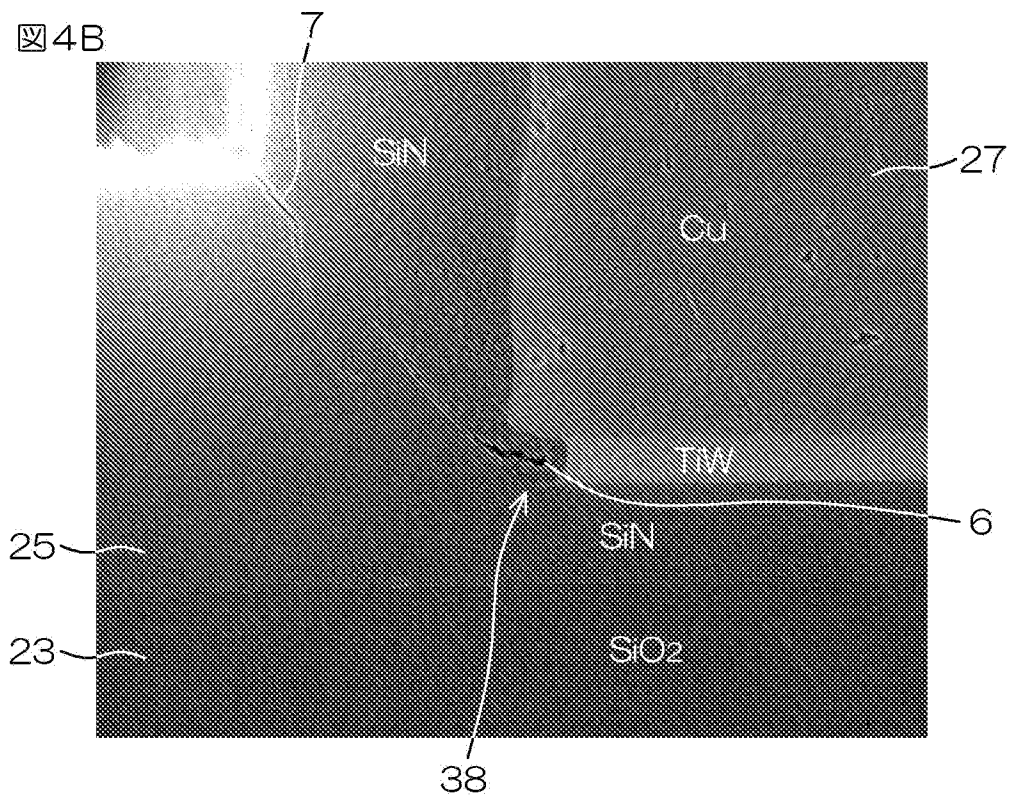
[図4A]

図4A

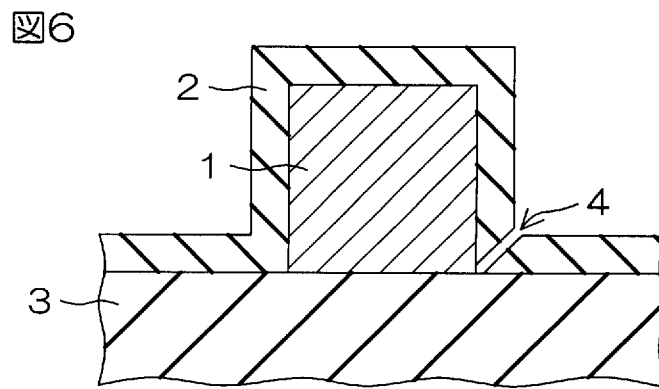


[図4B]

図4B



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/058400

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/768(2006.01) i, H01L21/3205(2006.01) i, H01L23/52(2006.01) i,
H01L23/522(2006.01) 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)

H01L21/768, H01L21/3205, H01L23/52, H01L23/522

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 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

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.
Y	WO 00/44043 A1 (Hitachi, Ltd.), 27 July 2000 (27.07.2000), page 10, line 18 to page 12, line 9; page 16, line 21 to page 18, line 6; fig. 7 to 17, 42 to 48 & US 6656828 B1	1-10
Y	JP 06-089893 A (NEC Corp.), 29 March 1994 (29.03.1994), claims 1 to 4; paragraphs [0002] to [0018]; fig. 2 (Family: none)	1-10
Y	JP 05-144811 A (Hitachi, Ltd.), 11 June 1993 (11.06.1993), paragraph [0023] (Family: none)	6-10



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

26 April, 2011 (26.04.11)

Date of mailing of the international search report

17 May, 2011 (17.05.11)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/058400

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 09-120963 A (International Business Machines Corp.), 06 May 1997 (06.05.1997), paragraphs [0002] to [0017]; fig. 2 & US 6376911 B1 & EP 759635 A2 & KR 1997-0013071 A	5,10
A	JP 2008-066450 A (Rohm Co., Ltd.), 21 March 2008 (21.03.2008), paragraphs [0019] to [0039]; fig. 1 to 5 (Family: none)	1-10
A	JP 2008-091454 A (Rohm Co., Ltd.), 17 April 2008 (17.04.2008), paragraphs [0022] to [0044]; fig. 1 to 7 (Family: none)	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. H01L21/768(2006.01)i, H01L21/3205(2006.01)i, H01L23/52(2006.01)i, H01L23/522(2006.01)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. H01L21/768, H01L21/3205, H01L23/52, H01L23/522			
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 日本国公開実用新案公報 日本国実用新案登録公報 日本国登録実用新案公報 1 9 2 2－1 9 9 6 年 1 9 7 1－2 0 1 1 年 1 9 9 6－2 0 1 1 年 1 9 9 4－2 0 1 1 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	
Y	WO 00/44043 A1（株式会社日立製作所）2000.07.27, 第10頁第18行-第12頁第9行, 第16頁第21行-第18頁第6行, 図7-17, 42-48 & US 6656828 B1	1-10	
Y	JP 06-089893 A（日本電気株式会社）1994.03.29, 請求項1-4, 段落番号[0002]-[0018], 図2 （ファミリーなし）	1-10	
☒ 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 2 6 . 0 4 . 2 0 1 1		国際調査報告の発送日 1 7 . 0 5 . 2 0 1 1	
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） 早川 朋一 電話番号 0 3－3 5 8 1－1 1 0 1 内線 3 4 9 8	4 L 9 7 3 3

C (続き) . 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
Y	JP 05-144811 A (株式会社日立製作所) 1993. 06. 11, 段落番号[0023] (ファミリーなし)	6-10
Y	JP 09-120963 A (インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コ ーポレーション) 1997. 05. 06, 段落番号[0002]-[0017], 図 2 & US 6376911 B1 & EP 759635 A2 & KR 1997-0013071 A	5, 10
A	JP 2008-066450 A (ローム株式会社) 2008. 03. 21, 段落番号[0019]-[0039], 図 1-5 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2008-091454 A (ローム株式会社) 2008. 04. 17, 段落番号[0022]-[0044], 図 1-7 (ファミリーなし)	1-10