

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2003-179031  
(P2003-179031A)

(43) 公開日 平成15年6月27日 (2003.6.27)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 L 21/3065		B 8 1 C 1/00	2 H 0 9 7
B 8 1 C 1/00		G 0 3 F 7/20	5 0 6 5 F 0 0 4
G 0 3 F 7/20	5 0 6		5 2 1
	5 2 1	H 0 1 L 21/302	J

審査請求 未請求 請求項の数9 OL (全10頁)

(21) 出願番号 特願2001-377075(P2001-377075)

(22) 出願日 平成13年12月11日 (2001.12.11)

(71) 出願人 800000057  
財団法人新産業創造研究機構  
兵庫県神戸市中央区港島南町1丁目5-2

(72) 発明者 金子 忠昭  
兵庫県三田市学園3-1-A210

(72) 発明者 浅岡 康  
兵庫県三田市上井沢545-1 シャルム上井沢301

(74) 代理人 100089196  
弁理士 梶 良之 (外1名)

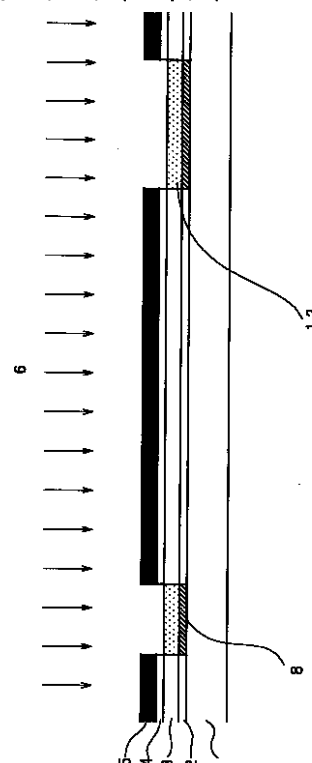
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィーによるSi半導体微細構造体の加工方法及びその方法による集積回路、デバイス及びマイクロマシーンコンポーネント

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 ドライエッチング用マスクを形成することなく、Si基板表面に量子デバイスに用いられる微細回路パターンを形成するイオンビーム微細加工方法を提供する。

【解決手段】 Siウェハ-基板1表面に、Al層2とSiアモルファス層3を形成した後、該Siアモルファス層3表面にマスク5を通して金属イオン6を注入後に、マスク5を外して金属イオン9を注入し、前記Siアモルファス層3表面に形成されている表面自然酸化膜4の存在又は酸素分子放射のもと前記表面自然酸化膜を選択的にSiO<sub>2</sub>7に置換又は生成させ、更にイオンを注入することにより、前記Al層2表面にAl<sub>x</sub>O<sub>y</sub>8を生成させた後、臭素化物により一原子層単位でドライエッチングし、前記SiO<sub>2</sub>及びAl<sub>x</sub>O<sub>y</sub>8に置換した部分以外の前記表面自然酸化膜、Siアモルファス層、Al層及びSiウェハ-基板の一部を除去する。



**【特許請求の範囲】**

**【請求項1】** Siウェハ－基板表面にAl層を形成し、さらに、該Al層表面にSiアモルファス層を形成した後、該Siアモルファス層表面にイオンビームを任意の形状に選択吸収できるマスクを通して金属イオンを所要の形状に注入し、前記Siアモルファス層表面に自然に形成されている表面自然酸化膜の存在又は酸素分子放射のもとでの金属イオン打ち込みにより、前記表面自然酸化膜を選択的に強制酸化膜 $Si_xO_y$ に置換又は生成させ、更にイオンの打ち込み量を増やし、前記強制酸化膜 $Si_xO_y$ からのOイオンの伝播及び前記Siアモルファス層のスパッタリングにより前記Al層の一部に $Al_xO_y$ を生成させた後、前記Siウェハ－基板表面を反応性エッチングガスにより一原子層単位でドライエッチングし、前記強制酸化膜 $Si_xO_y$ 及び $Al_xO_y$ に置換した部分以外の前記表面自然酸化膜、Siアモルファス層、Al層及びSiウェハ－基板の一部を除去する無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィーによるSi半導体微細構造体の加工方法。

**【請求項2】** 前記マスクを介して金属イオンを注入した後に、前記マスクを取り除き、任意のイオンビーム径、イオン電流密度に制御した金属イオンの集束イオンビームを前記Siアモルファス層表面に自然に形成されている表面自然酸化膜の存在又は酸素分子放射のもとでの金属イオン打ち込みにより、前記表面自然酸化膜を選択的に強制酸化膜 $Si_xO_y$ に置換又は生成させ、更にイオンの打ち込み量を増やし、前記強制酸化膜 $Si_xO_y$ からのOイオンの伝播及び前記Siアモルファス層のスパッタリングにより前記Al層の一部に $Al_xO_y$ を生成させた後、Siウェハ－基板表面を反応性エッチングガスにより一原子層単位でドライエッチングし、前記強制酸化膜 $Si_xO_y$ 及び $Al_xO_y$ に置換した部分以外の前記表面自然酸化膜、Siアモルファス層、Al層及びSiウェハ－基板の一部を除去する請求項1に記載の無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィーによるSi半導体微細構造体の加工方法。

**【請求項3】** 前記マスクを取り除いた後に表面自然酸化膜に打ち込む任意のイオンビーム径とイオン電流密度に制御した金属イオンの注入量を制御することによって、前記 $Al_xO_y$ 層の一部をスパッタリングし、該 $Al_xO_y$ パターンを任意の形状に微細加工して、全体と局部両方のパターンを自在に制御することによって、ナノオーダーサイズの微細構造体及び/又は電子回路をSiウェハ－基板全面に効率よく形成することができる請求項2に記載の無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィーによるSi半導体微細構造体の加工方法。

**【請求項4】** 前記Siアモルファス層の厚みを制御することによって、前記Al層表面に形成される $Al_xO_y$ の大きさを制御できる請求項1乃至3のいずれかに記載の無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィー

によるSi半導体微細構造体の加工方法。

**【請求項5】** 前記 $Si_xO_y$ 及び $Al_xO_y$ に置換される部分の大きさ及び前記ドライエッチングによる除去量を制御することによって前記Siウェハ－基板表面を、ナノオーダーサイズのネガ型、ポジ型のいずれにも加工することができる請求項1乃至4のいずれかに記載の無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィーによるSi半導体微細構造体の加工方法。

**【請求項6】** 前記反応性エッチングガスに、 $BF_3$ 又は $XeF_2$ を用いる請求項5に記載の無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィーによるSi半導体微細構造体の加工方法。

**【請求項7】** 請求項1乃至6のいずれかに記載の無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィーによるSi半導体微細構造体の加工方法により製作された集積回路。

**【請求項8】** 請求項1乃至6のいずれかに記載の無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィーによるSi半導体微細構造体の加工方法により製作されたデバイス。

**【請求項9】** 請求項1乃至6のいずれかに記載の無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィーによるSi半導体微細構造体の加工方法により製作されたマイクロマシンコンポーネント。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

**【発明の属する技術分野】**本発明は、Si半導体基板表面の微細加工方法、特に、無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィーによるSi半導体微細構造体の加工方法及びその方法による集積回路、デバイス及びマイクロマシンコンポーネントに関するものである。

**【0002】**

**【従来の技術】**近年、マイクロエレクトロニクスの中核をなすULSIの集積度の向上とともに、これら量子デバイスにおける回路パターンは微細化の一途をたどっている。従来、半導体デバイスの作製プロセスでは、絶縁膜や金属薄膜の不要部分を、レジストパターン通りに高精度で取り除くための基礎技術として、半導体結晶のエッチング法が広く採用されている。このエッチング法のための手段として、ハロゲンガスを用いたドライエッチングの検討も進められている。このドライエッチングは、超高真空中の比較的清浄な雰囲気中でエッチングを行うため、微細な量子デバイスの加工が可能なものとして期待されている。

**【0003】**例えば、デバイス材料として代表的なSiについては、フッ素および塩素系のハロゲンガスによるドライエッチングプロセスが検討されてきている。しかしながら、これまでのところ、このシリコンの場合についても、より微細な量子素子を作製するためのドライエッチングプロセスはいまだ完成していないのが実情であ

る。そして、GaAs等の化合物半導体についてもドライエッチングプロセスに関する報告は多いが、量子素子の作製を可能とする技術的手段についてはいまだSi同様に、完成していないのが実情である。

【0004】本発明者は、Si半導体等に対する従来のハロゲンガスによるドライエッチング方法の技術的限界を克服するドライエッチング方法として、半導体結晶表面を臭素化物により一原子層単位でドライエッチングする方法を特開平8-321483号公報で開示している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところが、従来、Si半導体の製法においては、前述のドライエッチング法は殆ど採用されておらず依然として有機感光剤のウェットレジストによる光学リソグラフィ法が採用されている。しかしながら、この光学リソグラフィ法で精度よく回路パターンの微細化、複雑化に対応するにはマスクそのものの作製も困難になり、さらには有機感光剤のウェットレジスト工程のダストフリーのクリーン度を保つ為に膨大な設備コストが必要である。

【0006】本発明は、前記問題点に鑑みなされたものであり、Si半導体の微細加工を従来の有機物ウェットレジスト法から無機物ドライレジスト法に変えてSi半導体の微細構造体の加工と微細回路の加工を精度よく安価な設備で製作可能としたものである。

【0007】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するための本発明の請求項1に記載の無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィによるSi半導体微細構造体の加工方法は、Siウェハー基板表面にAl層を形成し、さらに、該Al層表面にSiアモルファス層を形成した後、該Siアモルファス層表面にイオンビームを任意の形状に選択吸収できるマスクを通して金属イオンを所要の形状に注入し、前記Siアモルファス層表面に自然に形成されている表面自然酸化膜の存在又は酸素分子放射のもとでの金属イオン打ち込みにより、前記表面自然酸化膜を選択的に強制酸化膜 $Si_xO_y$ に置換又は生成させ、更にイオンの打ち込み量を増やし、前記強制酸化膜 $Si_xO_y$ からのOイオンの伝播及び前記Siアモルファス層のスパッタリングにより前記Al層の一部に $Al_xO_y$ を生成させた後、前記Siウェハー基板表面を反応性エッチングガスにより一原子層単位でドライエッチングし、前記強制酸化膜 $Si_xO_y$ 及び $Al_xO_y$ に置換した部分以外の前記表面自然酸化膜、Siアモルファス層、Al層及びSiウェハー基板の一部を除去するものである。

【0008】Siウェハー基板表面に、Al層を、さらにその表面にSiアモルファス層を形成する。このSiアモルファス層表面に所定のパターンが形成され、必要な部分以外の場所にはイオンビームを透過しないマスク

を設置し、このマスクを介して金属イオンを前記Siアモルファス層表面に自然に形成されている表面自然酸化膜の存在又は酸素分子放射のもとで照射する。すると、マスクに設けられているパターンを通過した金属イオンによって、Siアモルファス層表面に自然に形成されている表面自然酸化膜が選択的に化学的に安定な酸化層 $SiO_2$ に置換される。更にイオンの打ち込み量を増やすと、この $SiO_2$ からのOイオンの伝播又はSiアモルファス層のスパッタリングによって、Al層表面に化学的に安定な $Al_xO_y$ 、例えば、 $Al_2O_3$ が形成される。そして、マスクを除去した後、Siウェハー基板表面に形成された $SiO_2$ 、及び $Al_xO_y$ 以外の部分のSiアモルファス層、Al層及びSiウェハー基板の一部を $10^{-8}$ Pa以下程度の減圧下において、ドライエッチングして、化学的に安定な $Al_2O_3$ を残すことによって、Si基板表面に任意の形状の構造やパターンを自在に形成することができる。なお、ここで、用いられる金属イオンとしては、比較的重い金属であるGa等を使用することが好ましい。

【0009】ここで、Si基板表面に形成されるAl層は、分子線エピタキシー(Molecular Beam Epitaxy) (以下、MBEという。)又は化学気相堆積法(Chemical Vapor Deposition) (以下、CVDという)によって形成されたものであることが好ましい。MBE法又はCVD法によって形成されることで、原子層単位で厚み制御を行うことが可能となるからである。Al層の表面に形成されるSiアモルファス層も、MBE法またはCVD法によって形成されたものであることが好ましい。原子層単位での厚み制御が可能であるため、第2層のAl層表面へのOイオンの伝播量の正確な制御が可能となるからである。

【0010】また、請求項2に記載の無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィによるSi半導体微細構造体の加工方法は、請求項1において、前記マスクを介して金属イオンを注入した後に、前記マスクを取り除き、任意のイオンビーム径、イオン電流密度に制御した金属イオンの集束イオンビームを前記Siアモルファス層表面に自然に形成されている表面自然酸化膜の存在又は酸素分子放射のもとでの金属イオン打ち込みにより、前記表面自然酸化膜を選択的に強制酸化膜 $Si_xO_y$ に置換又は生成させ、更にイオンの打ち込み量を増やし、前記強制酸化膜 $Si_xO_y$ からのOイオンの伝播及び前記Siアモルファス層のスパッタリングにより前記Al層の一部に $Al_xO_y$ を生成させた後、Siウェハー基板表面を反応性エッチングガスにより一原子層単位でドライエッチングし、前記強制酸化膜 $Si_xO_y$ 及び $Al_xO_y$ に置換した部分以外の前記表面自然酸化膜、Siアモルファス層、Al層及びSiウェハー基板の一部を除去するものである。

【0011】マスクを使用して金属イオンを照射した後に、マスクを取り除き、マスクを通過した金属イオンによって、形成された化学的に安定な $SiO_2$ 、及び $Al_xO_y$ に対して金属イオンをさらに注入することによって、これらに注入されるイオンドーズ量を増加させ、形成される $Al_xO_y$ の大きさを制御することが可能となる。これによって、 $Si$ ウェハー基板表面に部分的に集束イオンビームによる描画を効率よく行うことが可能となり、 $Si$ ウェハー基板表面の全体に所定の微細加工を施すとともに、部分的にも微細加工を行うことができる。

【0012】また、請求項3に記載の無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィーによる $Si$ 半導体微細構造体の加工方法は、請求項2において、前記マスクを取り除いた後に表面自然酸化膜に打ち込む任意のイオンビーム径とイオン電流密度に制御した金属イオンの注入量を制御することによって、前記 $Al_xO_y$ 層の一部をスパッタリングし、該 $Al_xO_y$ パターンを任意の形状に微細加工して、全体と局部両方のパターンを自在に制御することによって、ナノオーダーサイズの微細構造体及び/又は電子回路を $Si$ ウェハー基板全面に効率よく形成することができるものである。

【0013】マスクを取り除いた後に、注入するイオンビームのビーム径及びイオン電流密度を制御する。そして、注入されるイオンが所定の濃度以上となるように、例えば、金属イオンビームをそのイオンビーム密度が、例えば $6 \times 10^{16}$  (個/cm<sup>2</sup>)以上で注入する。これによって、マスクを用いた金属イオン注入で得られた形状に追加して微細加工形状を任意に形成することができる。このため、 $Si$ ウェハー基板表面の全体と局部両方をミリオオーダーからナノオーダーサイズの所定のパターンを有した微細構造体及び/又は電子回路を加工することが可能となる。

【0014】また、請求項4に記載の無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィーによる $Si$ 半導体微細構造体の加工方法は、請求項1乃至3のいずれかにおいて、前記 $Si$ アモルファス層の厚みを制御することによって、前記 $Al$ 層表面に形成される $Al_xO_y$ の大きさを制御できるものである。

【0015】MBE法又はCVD法により、表面に形成される $Si$ アモルファス層の厚みを原子層単位で制御することで、第2層の $Al$ 層への $O$ イオンの伝播量を制御することができ、 $Al$ 層表面に形成される $Al_xO_y$ 層の大きさを制御することが可能となる。また、イオンビーム密度を例えば $6 \times 10^{16}$  (個/cm<sup>2</sup>)以上に増やすとスパッタリングを起こす。そして、 $Al_xO_y$ 層と $Si$ 基板の一部を削り取りマスクを用いた $Ga$ イオン注入で得られた形状に追加して微細加工形状を任意に形成することができるので、ミリオオーダーからナノオーダーの広範囲の形状を自由に形成することができる。

【0016】また、請求項5に記載の無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィーによる $Si$ 半導体微細構造体の加工方法は、請求項1乃至4のいずれかにおいて、前記 $Si_xO_y$ 及び $Al_xO_y$ に置換される部分の大きさ及び前記ドライエッチングによる除去量を制御することによって前記 $Si$ ウェハー基板表面を、ナノオーダーサイズのネガ型、ポジ型のいずれにも加工することができるものである。

【0017】化学的に安定な $Si_xO_y$ 及び $Al_xO_y$ の形成される大きさを制御するとともに、エッチング量を制御することによって、 $Si$ ウェハー基板表面に形成される微細加工面積を自在に制御することが可能であり、 $Si$ ウェハー基板表面を、ネガ型、ポジ型のいずれにも自在に加工することができる。このため、近年の量子デバイスに用いられる回路パターンのように、複雑化し、微細化した回路パターンにも対応が可能となる。

【0018】また、請求項6に記載の無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィーによる $Si$ 半導体微細構造体の加工方法は、請求項5において、前記反応性エッチングガスに、 $BiF_3$ 又は $XeF_2$ を用いるものである。原子層単位でのエッチングが可能となり、 $Si$ ウェハー基板表面に任意の回路パターンを自在に形成することができる。

【0019】また、本発明は、請求項1乃至7のいずれかに記載の無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィーによる $Si$ 半導体微細構造体の加工方法により製作された集積回路、デバイス又はマイクロマシンコンポーネントである。

#### 【0020】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しつつ本発明に係る無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィーによる $Si$ 半導体微細構造体の加工方法の実施形態の一例を説明する。図1は、マスクを使ってイオンをシャワー状に打ち込んだ状態の断面模式図であり、図2は引き続きマスクを外してイオンを細く集束させて場所により注入量を変えて打ち込んだ状態の断面模式図であり、図3は原子層単位でドライエッチングをした場合の断面模式図である。図4は図3よりエッチング量の多いものを示している。ここで、用いられるイオンとしては、比較的重い金属のイオンであれば特に限定されるものではなく、一般に、よく使用されている $Ga$ イオンが、既存の設備をそのまま利用できることなどから好ましい。

【0021】図1において、1は $Si$ ウェハー基板であり、2は $Si$ ウェハー基板1表面にMBE法またはCVD法により形成された $Al$ 層を示し、3は $Al$ 層2の表面にMBE法またはCVD法により形成された $Si$ アモルファス層であり、4は $Si$ アモルファス層3の表面に自然に形成されている $SiO_2$ 等の表面自然酸化膜であり、5はマスクを示し、6は金属イオンとして使用する

Gaイオンを示す。ここで、マスク5としては、金等の金属が例示できるが、照射するイオンによって適宜選択することが好ましい。また、マスク5は、一枚のマスク上に任意のパターンが加工されたものや、複数のマスクを組み合わせることで所定のパターンが形成できるようにしたもの及び複数のマスクでイオン照射を繰り返して所定のパターンを形成できるようにしたものであってもよい。

【0022】本発明に係る無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィによるSi半導体微細構造体の加工方法は、Siウェハース基板1表面にMBE法またはCVD法により任意の厚みにAl層2を形成し、このAl層2の表面にSiアモルファス層3を積層する。そして、その表面に自然に形成されているSiO<sub>2</sub>等の表面自然酸化膜4を除去することなく、この表面自然酸化膜4上に所定のパターンが形成されたマスク5を設置し、真空中でGaイオンビーム6をマスク5を介して照射する。このとき、Gaイオンビーム6は、シャワー状に表面全体に照射するようにしてもよいし、あるいは、集束させたGaイオンビームを一定速度で走査させて表面全体を照射するようにしてもよい。

【0023】Gaイオン6の注入により表面自然酸化膜4には、化学的に安定な酸化物であるSiO<sub>2</sub>7が生成される。そして、SiO<sub>2</sub>7のOイオンがSiアモルファス層3内を伝播しSiアモルファス層3にイオン侵入領域12が形成される。さらに、Gaイオン6の注入量を増加させると、SiO<sub>2</sub>7のOイオンの伝播、又はSiO<sub>2</sub>7及びSiアモルファス層3のスパッタリングによりこのイオン侵入領域12のOイオンがAl層2表面に到達し、Al層2表面にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層8が形成される。この化学的に安定なSiO<sub>2</sub>層7及びAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層8がドライエッチング時のマスクの役割を果たす。

【0024】図2は図1のマスク5を使ったGaイオン6の注入の後にマスク5を取り除き、真空中でGaイオンの集束イオンビーム9を注入した状態を示す。この時Gaイオンビーム9は、(a)はイオン注入量が $6 \times 10^{13}$  (個/cm<sup>2</sup>)、(b)は $6 \times 10^{15}$  (個/cm<sup>2</sup>)、(c)は $6 \times 10^{16}$  (個/cm<sup>2</sup>)、(d)と(e)は $6 \times 10^{17}$  (個/cm<sup>2</sup>)である。ここで、図2(e)は、マスク5を通過して既にGaイオン6の照射を受けた場所に追加してGaイオンビーム9を照射した例を示している。

【0025】ここで、Gaイオンビーム9は、径を0.5 μm以下、好ましくは0.3 μm以下、更に好ましくは0.1 μm以下に絞っていることが好ましい。また、このイオンビーム9はビーム先端が円形をしている。このため、表面自然酸化膜4上を一定速度で走査すると、各部分で、イオンビームが重なり合う部分が形成される。このため、表面自然酸化膜4に注入されるイオン注入量は、イオンビーム9の中心部付近ほどその量が多くなる。すなわち、表面自然酸化膜4に及ぼすイオン領域

は、実際のイオンビーム9の径よりも小さくなり、その領域は、照射するイオンビーム径の2/3～1/2の大きさとしてできる。このため、表面自然酸化膜4表面には、イオンビーム9のイオンビーム径の2/3～1/2の太さの線のパターンを加工することが可能となる。

【0026】Gaイオンビーム9を真空中で照射して、表面自然酸化膜4に注入すると、表面自然酸化膜4はある注入量以上では化学的に安定した強制酸化物SiO<sub>2</sub>7に置換される(図2参照)。そして、Gaイオンビーム9の注入量とSiアモルファス層3の厚みによって、SiO<sub>2</sub>7からのOイオンのAl層2への伝搬量、又はSiアモルファス層3のスパッタリング量が制御でき、Al層2に形成されるAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>8の大きさが制御される(図2参照)。この化学的に安定なSiO<sub>2</sub>7とAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>8は、ドライエッチング時のマスクの役割を果たす。また、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>8のサイズはSiO<sub>2</sub>7の約1/10の大きさであるため、細かいパターンニングが可能となる。このため表面を反応性エッチングガスにより原子層一層単位でドライエッチングしSiO<sub>2</sub>7とAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>8に置換された部分以外を除去する(図3参照)と、Siウェハース基板1の表面を所定のナノオーダーのサイズの回路パターンとなるように加工することが可能となる。ここで、使用できる反応性エッチングガスとしては、BiF<sub>3</sub>又はXeF<sub>2</sub>を用いることができる。

【0027】ここで、本実施形態例に係るドライエッチングによると、平坦性のよい表面を再現性よく得ることを可能としている。具体的には、反応性エッチングガスによるエッチングでは、エッチングされていく原子が表面のステップ位置の原子であって、表面の凹凸を構成しているステップを優先的に取り除くため、原子層を一層単位でエッチングすることができる。このような一層単位でのエッチングの結果得られる表面はきわめて平坦性の高いものである。すなわち原子レベルで平坦な表面を得ることができる。さらにこの方法はへき開面である(110)面でも、面指数に関わらない同様なエッチングを可能としている。このため、SiやAl結晶の表面は(100)、(110)、(111)のいずれの面でも面指数によらず一層単位でのエッチングが可能となる。

【0028】このドライエッチングにおいては、反応性エッチングガスを用いて超高真空中で、たとえば10<sup>-8</sup> Paレベルへの排気後、500～600 で10<sup>-6</sup>～10<sup>-5</sup> Paのガス分圧でのエッチャントガスの導入によりエッチングを実施することができる。ここで、エッチャントガスとしては、BiF<sub>3</sub>又はXeF<sub>2</sub>がその代表的なものとして例示される。もちろん、他種のものであってもよい。

【0029】図3はドライエッチングにより表面自然酸化膜4とSiアモルファス層3、Al層2及びイオン侵入領域12を取り除いた状態であり、Siウェハース基板

1上の所定の場所に $\text{SiO}_2$ 層7と $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層8が形成された状態を示す。図4は図3のドライエッチングを更に進めた状態を示し、この場合は $\text{Si}$ ウェハー基板1の一部がエッチングされて $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層8と $\text{Si}$ ウェハー基板1が凸状に形成されている状態を示す。

【0030】図3において、Aはマスクを通過したイオンによって $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層8が形成されたものであり、別途イオンを注入することなく、ドライエッチングを行った部分である。これによって、図3及び図4に示すように、幅広の凸部を設けることが可能となる。また、図3及び図4におけるa～d部は、前述したように、イオン注入量が異なるものであり、イオン注入量が多くなるにしたがって、ドライエッチング後における形態の変化を示すものである。また、図3及び図4におけるe部は、マスクを通過したイオンによって $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層8が形成された部分にさらにイオンを注入したものである。

【0031】図3において、a部はイオン注入量を少なくすることによって、表面自然酸化膜4が強制酸化 $\text{SiO}_2$ 7に置換されてドライエッチングで形成された凸状の細線を示している。b部は、 $\text{Si}$ アモルファス層3に $\text{Ga}$ イオンが注入されたイオン侵入領域12が形成され、 $\text{O}$ イオンが $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層8を形成させて、 $\text{SiO}_2$ 層7の中心部に溝10ができた凸状の細線を示している。また、c部はイオン注入量が過剰となり、イオンによって表面に形成された $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層8の中央部がスパッタリングされ、V字溝11が形成されるとともに、その中央部分に幅広の溝10が形成されているものを示している。d部はさらにイオン注入量が多くなり、 $\text{Si}$ ウェハー基板1の一部をもスパッタリングによって加工され、幅広の溝13が形成されているものを示す。また、図4は、前述のように、さらにドライエッチングを進めた状態を示しており、a部はエッチングにより、 $\text{SiO}_2$ 7、及びその下の $\text{Si}$ アモルファス層3と $\text{Al}$ 層2が溶出し、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層8を表面に有した微細なパターンが形成された。

【0032】このように、マスクを使用するとともに、注入する $\text{Ga}$ イオン9の量を制御することによって、ミリオーダーサイズからナノオーダーサイズのネガ型、ポジ型の微細加工を $\text{Si}$ ウェハー基板上に自在に施すことが可能となる。

【0033】さらに、表面自然酸化膜4や $\text{Si}$ アモルファス層3、 $\text{Al}$ 層2を原子層一層単位毎にエッチングすることが可能であるため、イオンの注入によって形成される化学的に安定な酸化物をドライエッチング時のマスクとして、高アスペクト比で微細寸法の構造体を再現性良く且つ容易に形成することが可能となる。

【0034】また、 $\text{Si}$ 基板表面に、 $\text{Al}$ 層及び $\text{Si}$ アモルファス層を積層し、 $\text{Si}$ アモルファス層の表面に自然に形成されている $\text{SiO}_2$ 等の表面自然酸化膜を除去することなく、該表面自然酸化膜に $\text{Ga}$ イオンを注入す

ることで、化学的に安定な $\text{SiO}_2$ を形成し、さらには $\text{Ga}$ イオン注入量及び $\text{Si}$ アモルファス層の厚さを調節することによって下部層の $\text{Al}$ 層表面に $\text{Al}_2\text{O}_3$ を形成することが可能となる。そして、注入する $\text{Ga}$ イオン量を制御することによって反応性エッチングガスによるドライエッチング後の $\text{Si}$ ウェハー基板表面のドライエッチングマスクをネガ型、ポジ型のいずれにも加工することが可能となる。また、 $\text{Ga}$ イオン注入時に所定の回路パターンとなるように $\text{Si}$ ウェハー基板表面をイオンビームでマスクングによる照射とマスク無しでの描画を組み合わせることによって、容易に任意の回路パターンを再現性良く加工することができる。これによって、半導体デバイスはもちろんであるが、波長弁別デバイス、マイクロマシニングやマイクロコンポーネント等の微細加工、量子ワイヤー等へ応用が可能となる。

【0035】また、 $\text{Al}$ 層と $\text{Si}$ 層が積層されているため、イオン注入によって形成される化学的に安定な原子サイズの異なるマスクを形成することが可能となり、従来のように2次元的な回路パターンの設計のみならず、設計の自由度が広がり、3次元的に回路パターンを設計することも可能となる。

【0036】なお、本発明に係る無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィーによる $\text{Si}$ 半導体微細構造体の加工方法は、前述の実施形態例に限定されるものではなく、 $\text{Si}$ ウェハー基板表面に形成され、 $\text{Si}$ ウェハー基板の酸化を防止する役割をする $\text{Al}$ 層を $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{Si}_y\text{P}_{1-y}$ 層にすることも可能である。また、 $\text{Si}$ アモルファス層に変えて $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{Si}_y\text{P}_{1-y}$ 層とすることもできる。また、 $\text{Si}$ ウェハー基板表面に無機材料を多層に積層するだけでなく、一部を単層とすることによって、より複雑な三次元構造の微細構造体に加工することが可能となる。

【0037】以上のように、 $\text{Si}$ ウェハー基板表面に積層されている $\text{Al}$ 層及び $\text{Si}$ アモルファス層の表面に形成されている表面自然酸化膜に金属イオンを注入することによって、反応性エッチングガスによってエッチングされない化学的に安定なマスクとなる $\text{SiO}_2$ や $\text{Al}_2\text{O}_3$ の微細なパターンを形成することができる。さらに、金属イオンの注入量を制御することによって、 $\text{Si}$ 基板表面に形成されるパターンをポジ型、ネガ型のいずれにも加工することが可能となる。また、安定性の異なるマスクを形成することが可能となるため、2次元だけでなく、3次元的な回路パターニングの設計も可能となる。このため、種々の半導体デバイスや、多様な量子デバイス特性を活かした素子、量子細線、量子箱、また、回折格子やマイクロマシーンコンポーネントの製作が可能となる。

【0038】以下、実施例によって本発明を更に具体的に説明する。

(実施例)  $\text{Si}$ 基板表面にMBE法によって厚さ20nm

mのAl層と、厚さ30nmのSiアモルファス層を形成する。そして、Siアモルファス層表面に自然に形成されているSiO<sub>2</sub>等の表面自然酸化膜の表面に向けて、開口径100μm厚み500μmに所定のパターンにパターニングされたマスクをLIGAの製法で作製し、SiCの枠に取り付けて金の薄板状のマスクとしてSi基板の上に設置してマスクングを行いGaイオンを $6 \times 10^{15}$ (個/cm<sup>2</sup>)、加速電圧30kVでシャワー状に照射して表面酸化層にGaイオンを注入する。そして、マスクを取り外した後に、イオンビーム径を0.1μmに絞ったGaイオンを同じく真空中で $6 \times 10^{15}$ 個/cm<sup>2</sup>、加速電圧30kVで照射して、表面自然酸化膜にGaイオンを注入する。Gaイオン注入後、超高真空装置に設置し、 $10^{-8}$ Paレベルへ排気後、600~700で $10^{-6}$ ~ $10^{-5}$ Paのガス分圧でのBiF<sub>3</sub>ガスを導入してエッチングを行った。

【0039】図5にSiウェハー基板表面のAFM像を示す。図5に示すように、マスクを取り除いた後、部分的にイオンビームを注入することで、局所的に溝を形成できるなど、所定形状の高アスペクト比の微細構造物を比較的容易にSiウェハー基板表面に形成することが可能となる。

【0040】

【発明の効果】以上詳しく説明した通り、この発明により、Siウェハー基板表面に、Al層及びSiアモルファス層を形成し、その表面に自然に形成されている表面自然酸化膜を除去することなく、その表面自然酸化膜に金属イオンを注入することによって、反応性エッチングガスによってエッチングされない化学的に安定なSiO<sub>2</sub>やAl<sub>x</sub>O<sub>y</sub>を形成することができ、さらに、金属イオンの注入量を制御することによって、Siウェハー基板表面に形成されるパターンをポジ型、ネガ型のいずれにも加工することが可能となる。また、微細加工にドライエッチングのマスクとして使われるAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は優れた絶縁性と高い誘電率を持っておりこの性質を利用して集積回路構成の主要部品であるコンデンサーの性能を大幅に高める事が可能となり集積回路におけるメモリー機能を大きく高める事が可能となる。更には、このAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層はSi基板の上に形成される所謂SOI(シリコン・オン・インシュレーター)の絶縁物としての用途に大変適

しており、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層の上に単結晶Siを形成させて寄生容量の軽減を図った高速動作回路を作る事も可能となし得る。加えて、原子サイズの異なるAl<sub>x</sub>O<sub>y</sub>やSi<sub>x</sub>O<sub>y</sub>を形成することができるため、回路パターンの設計の自由度が広がり、多様な量子デバイス特性を生かした有用な素子、例えば量子細線、量子箱、回折格子、マイクロマシンの実現も可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る無機多層レジストのイオンビーム注入リソグラフィとドライエッチングによるSi半導体微細構造体加工方法の実施形態の一例のマスクを使用して広い面積の構造体全体にイオン注入する工程を説明するための図である。

【図2】図1に示すマスクを使ったイオン注入の後で、マスクを取り除き、集束イオン描画法でイオンを任意の大きさ、電流密度で注入して全体構造の形の加工や細部の微細加工も行う工程を説明するための図である。

【図3】図1に示すイオン注入後の基板表面をドライエッチングした場合の断面模式図を示しSi基板までは削らない状態を示す図である。

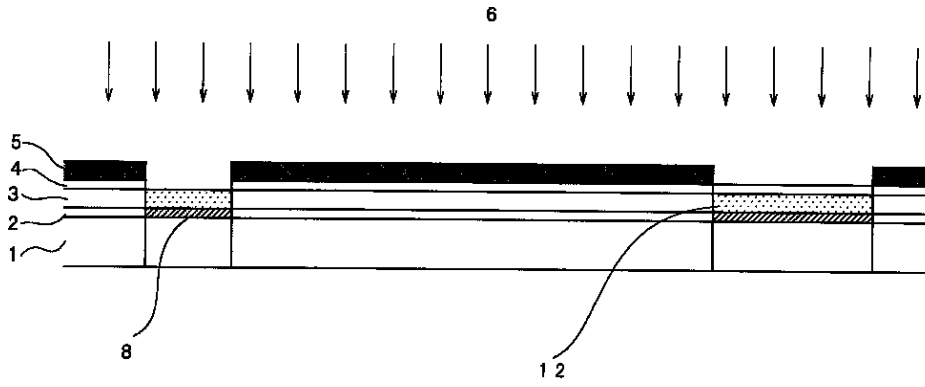
【図4】エッチング量が多い場合の断面模式図を示す図であるエッチング量が多い場合Si基板の一部が削られてAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を乗せた回路と成っている状態を示す図である。

【図5】本実施例によるSiウェハー基板上の微細構造体のAFM像を示す図である。

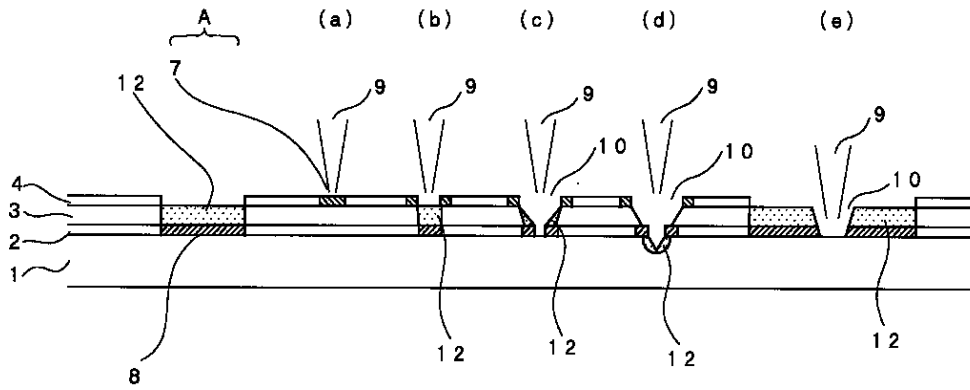
【符号の説明】

- 1 Siウェハー基板
- 2 Al層
- 3 Siアモルファス層
- 4 表面自然酸化膜
- 5 マスク
- 6 金属イオン(Gaイオン)
- 7 SiO<sub>2</sub>
- 8 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- 9 金属イオン(Gaイオン)
- 10 溝
- 11 V字溝
- 12 イオン侵入領域
- 13 溝

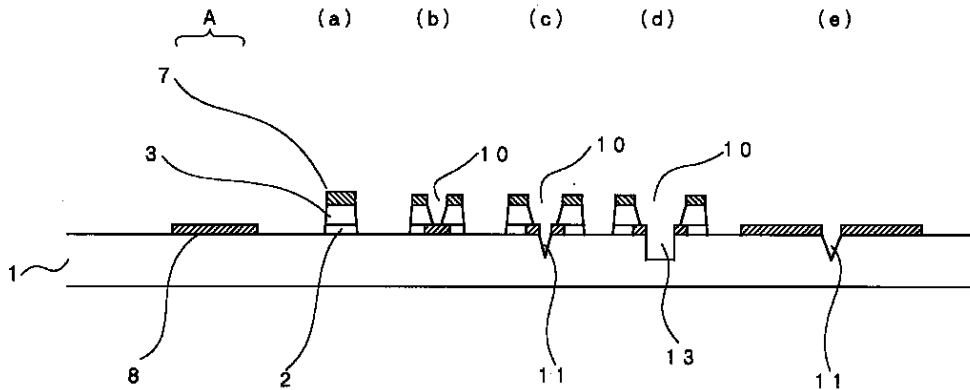
【図1】



【図2】

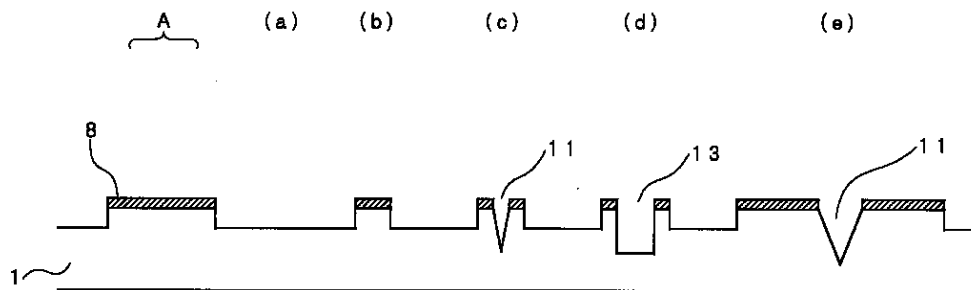


【図3】

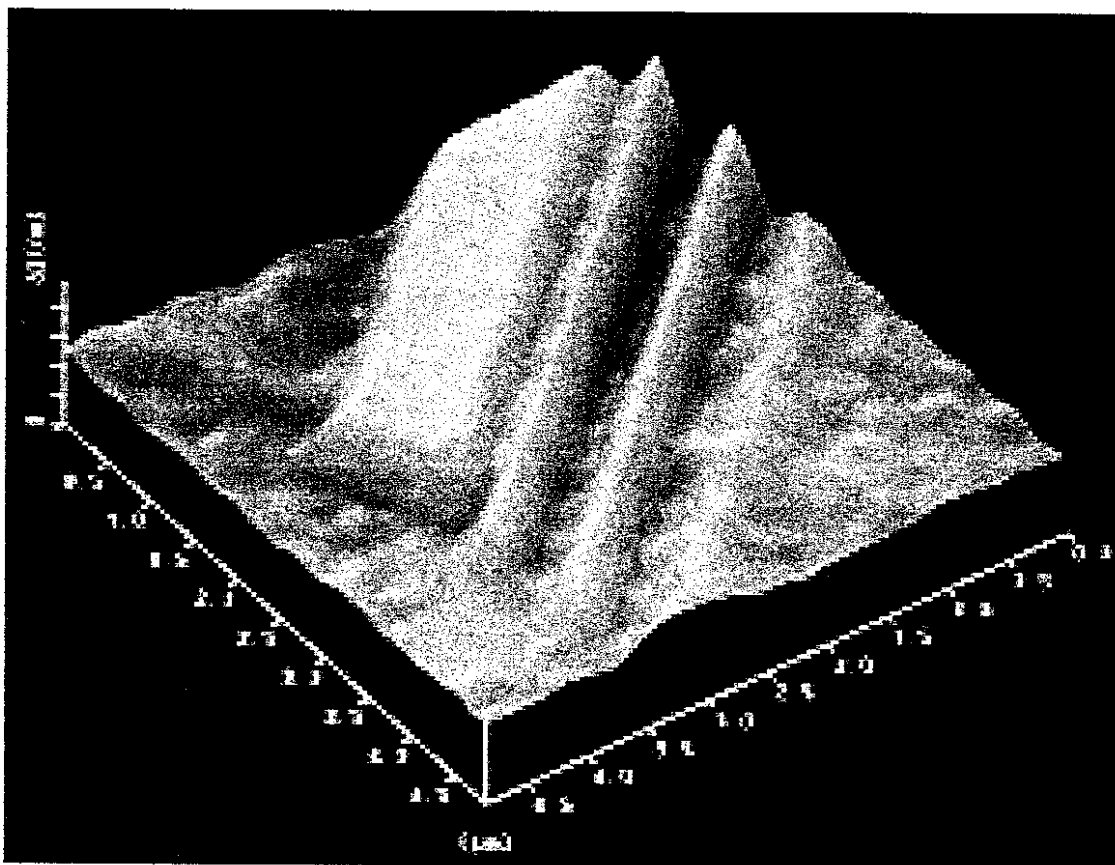




【図4】



【図5】



【手続補正書】

【提出日】平成13年12月12日(2001.12.12)

【手続補正1】

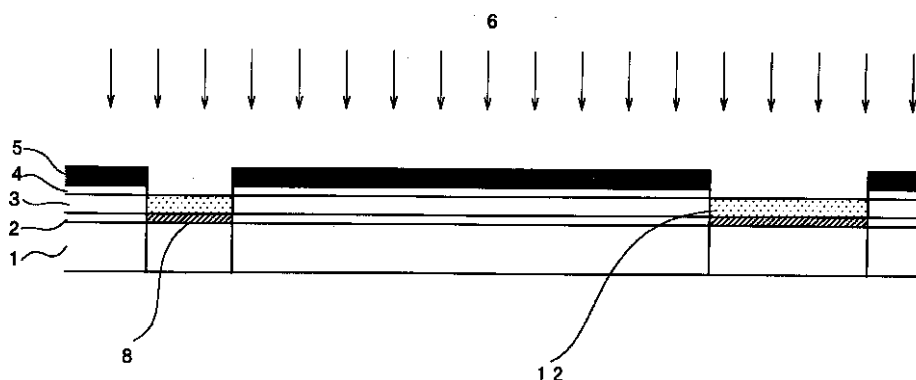
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図1

【補正方法】変更

【補正内容】

【図1】



【手続補正書】

【提出日】平成13年12月14日(2001.12.14)

【補正対象項目名】図1

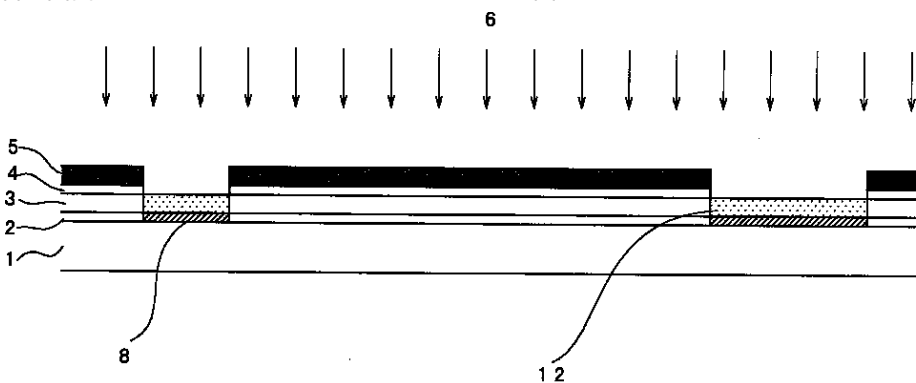
【補正方法】変更

【手続補正1】

【補正内容】

【補正対象書類名】図面

【図1】



フロントページの続き

(72)発明者 佐野直克  
 兵庫県三田市学園2丁目1番地 関西学院  
 大学理学部内

Fターム(参考) 2H097 CA16 LA10  
 5F004 BA04 DA00 DA19 DB00 DB01  
 DB09 DB30 EA04 EA06