(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第3927634号
(P3927634)

(45)発行日　平成19年6月13日(2007.6.13)　(24)登録日　平成19年3月9日(2007.3.9)

(51)Int.Cl.		F I		
H01L 21/20	(2006.01)	H01L	21/20	
H01L 21/268	(2006.01)	H01L	21/268	F
H01L 29/786	(2006.01)	H01L	29/78	627G
H01L 21/336	(2006.01)			

請求項の数 20　(全 23 頁)

(21)出願番号　特願平8-301251
(22)出願日　平成8年10月24日(1996.10.24)
(65)公開番号　特開平9-186085
(43)公開日　平成9年7月15日(1997.7.15)
審査請求日　平成14年11月6日(2002.11.6)
(31)優先権主張番号　特願平7-302189
(32)優先日　平成7年10月25日(1995.10.25)
(33)優先権主張国　日本国(JP)
(31)優先権主張番号　特願平7-308138
(32)優先日　平成7年11月1日(1995.11.1)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　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
(74)代理人　100082669
弁理士　福田　賢三
(74)代理人　100095337
弁理士　福田　伸一
(74)代理人　100061642
弁理士　福田　武通
(74)代理人　100095061
弁理士　加藤　恭介
(72)発明者　楠本　直人
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

最終頁に続く

(54)【発明の名称】レーザーアニール方法及び薄膜トランジスタの作製方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

基板上に形成された非単結晶珪素膜に対し、ＨＦ水溶液、又はＨＦとH_2O_2の混合水溶液を用いて洗浄処理を行い、

前記非単結晶珪素膜に酸素を含有する雰囲気中でレーザーアニール処理を行うレーザーアニール方法であって、

前記洗浄処理と前記レーザーアニール処理は、大気に曝すことなく連続して行われることを特徴とするレーザーアニール方法。

【請求項２】

基板上に形成された非単結晶珪素膜上の自然酸化膜を洗浄処理によって除去し、

前記非単結晶珪素膜に酸素を含有する雰囲気中でレーザーアニール処理を行うレーザーアニール方法であって、

前記自然酸化膜の除去と前記レーザーアニール処理は、大気に曝すことなく連続して行われることを特徴とするレーザーアニール方法。

【請求項３】

基板上に形成された非単結晶珪素膜に対し、ＨＦ水溶液、又はＨＦとH_2O_2の混合水溶液を用いて洗浄処理を行い、

前記非単結晶珪素膜上に膜厚０．５～１０ｎｍの酸化珪素膜を形成し、

前記酸化珪素膜を介して前記非単結晶珪素膜に酸素のみ含有する雰囲気、あるいは酸素と不活性気体との混合気体中でレーザーアニール処理を行うレーザーアニール方法であっ

て、
前記洗浄処理と、前記酸化珪素膜の形成と、前記レーザーアニール処理とは、大気に曝すことなく連続して行われることを特徴とするレーザーアニール方法。
【請求項４】
基板上に形成された非単結晶珪素膜上の自然酸化膜を洗浄処理によって除去し、
前記非単結晶珪素膜上に膜厚０．５～１０ｎｍの酸化珪素膜を形成し、
前記酸化珪素膜を介して前記非単結晶珪素膜に酸素のみ含有する雰囲気、あるいは酸素と不活性気体との混合気体中でレーザーアニール処理を行うレーザーアニール方法であって、
前記自然酸化膜の除去と、前記酸化珪素膜の形成と、前記レーザーアニール処理とは、大気に曝すことなく連続して行われることを特徴とするレーザーアニール方法。
【請求項５】
請求項１乃至請求項４のいずれか一項において、
前記レーザーアニール処理は０．０１Ｔｏｒｒ～７００Ｔｏｒｒの減圧下で行われることを特徴とするレーザーアニール方法。
【請求項６】
請求項１または請求項２において、
前記レーザーアニール処理は、酸素のみ含有する雰囲気、あるいは酸素と不活性気体との混合気体中で行われることを特徴とするレーザーアニール方法。
【請求項７】
請求項３、請求項４、または請求項６において、
前記混合気体における酸素は、大気圧下で１％以上含有されていることを特徴とするレーザーアニール方法。
【請求項８】
請求項６又は請求項７において、
前記酸素の純度および前記不活性気体の純度は、共に９９．９％以上、９９．９９９９％以下であることを特徴とするレーザーアニール方法。
【請求項９】
基板上に形成された非単結晶珪素膜に対し、ＨＦ水溶液、又はＨＦとH_2O_2の混合水溶液を用いて洗浄処理を行い、
前記非単結晶珪素膜上に膜厚０．５～１０ｎｍの酸化珪素膜を形成し、
前記酸化珪素膜を介して前記非単結晶珪素膜に窒素雰囲気中でレーザーアニール処理を行うレーザーアニール方法であって、
前記洗浄処理と、前記酸化珪素膜の形成と、前記レーザーアニール処理とは、大気に曝すことなく連続して行われることを特徴とするレーザーアニール方法。
【請求項１０】
基板上に形成された非単結晶珪素膜上の自然酸化膜を洗浄処理によって除去し、
前記非単結晶珪素膜上に膜厚０．５～１０ｎｍの酸化珪素膜を形成し、
前記酸化珪素膜を介して前記非単結晶珪素膜に窒素雰囲気中でレーザーアニール処理を行うレーザーアニール方法であって、
前記自然酸化膜の除去と、前記酸化珪素膜の形成と、前記レーザーアニール処理とは、大気に曝すことなく連続して行われることを特徴とするレーザーアニール方法。
【請求項１１】
基板上に形成された非単結晶珪素膜に対し、ＨＦ水溶液、又はＨＦとH_2O_2の混合水溶液を用いて洗浄処理を行い、
前記非単結晶珪素膜に酸素を含有する雰囲気中でレーザーアニール処理を行って結晶性珪素膜を形成し、
前記結晶性珪素膜の上にゲイト絶縁膜を形成し、
前記ゲイト絶縁膜の上にゲイト電極を形成する薄膜トランジスタの作製方法であって、
前記洗浄処理と前記レーザーアニール処理は、大気に曝すことなく連続して行われるこ

とを特徴とする薄膜トランジスタの作製方法。
【請求項１２】
基板上に形成された非単結晶珪素膜上の自然酸化膜を洗浄処理によって除去し、
前記非単結晶珪素膜に酸素を含有する雰囲気中でレーザーアニール処理を行って結晶性珪素膜を形成し、
前記結晶性珪素膜の上にゲイト絶縁膜を形成し、
前記ゲイト絶縁膜の上にゲイト電極を形成する薄膜トランジスタの作製方法であって、
前記自然酸化膜の除去と前記レーザーアニール処理は、大気に曝すことなく連続して行われることを特徴とする薄膜トランジスタの作製方法。
【請求項１３】
基板上に形成された非単結晶珪素膜に対し、ＨＦ水溶液、又はＨＦとH_2O_2の混合水溶液を用いて洗浄処理を行い、
前記非単結晶珪素膜上に膜厚０．５～１０ｎｍの酸化珪素膜を形成し、
前記酸化珪素膜を介して前記非単結晶珪素膜に酸素のみ含有する雰囲気、あるいは酸素と不活性気体との混合気体中でレーザーアニール処理を行って結晶性珪素膜を形成し、
前記結晶性珪素膜の上にゲイト絶縁膜を形成し、
前記ゲイト絶縁膜の上にゲイト電極を形成する薄膜トランジスタの作製方法であって、
前記洗浄処理と、前記酸化珪素膜の形成と、前記レーザーアニール処理とは、大気に曝すことなく連続して行われることを特徴とする薄膜トランジスタの作製方法。
【請求項１４】
基板上に形成された非単結晶珪素膜上の自然酸化膜を洗浄処理によって除去し、
前記非単結晶珪素膜上に膜厚０．５～１０ｎｍの酸化珪素膜を形成し、
前記酸化珪素膜を介して前記非単結晶珪素膜に酸素のみ含有する雰囲気、あるいは酸素と不活性気体との混合気体中でレーザーアニール処理を行って結晶性珪素膜を形成し、
前記結晶性珪素膜の上にゲイト絶縁膜を形成し、
前記ゲイト絶縁膜の上にゲイト電極を形成する薄膜トランジスタの作製方法であって、
前記自然酸化膜の除去と、前記酸化珪素膜の形成と、前記レーザーアニール処理とは、大気に曝すことなく連続して行われることを特徴とする薄膜トランジスタの作製方法。
【請求項１５】
請求項１１乃至請求項１４のいずれか一項において、
前記レーザーアニール処理は０．０１Ｔｏｒｒ～７００Ｔｏｒｒの減圧下で行われることを特徴とする薄膜トランジスタの作製方法。
【請求項１６】
請求項１１または請求項１２において、
前記レーザーアニール処理は、酸素のみ含有する雰囲気、あるいは酸素と不活性気体との混合気体中で行われることを特徴とする薄膜トランジスタの作製方法。
【請求項１７】
請求項１３、請求項１４、または請求項１６において、
前記混合気体における酸素は、大気圧下で１％以上含有されていることを特徴とする薄膜トランジスタの作製方法。
【請求項１８】
請求項１６又は請求項１７において、
前記酸素の純度および前記不活性気体の純度は、共に９９．９％以上、９９．９９９９％以下であることを特徴とする薄膜トランジスタの作製方法。
【請求項１９】
基板上に形成された非単結晶珪素膜に対し、ＨＦ水溶液、又はＨＦとH_2O_2の混合水溶液を用いて洗浄処理を行い、
前記非単結晶珪素膜上に膜厚０．５～１０ｎｍの酸化珪素膜を形成し、
前記酸化珪素膜を介して前記非単結晶珪素膜に窒素雰囲気中でレーザーアニール処理を行って結晶性珪素膜を形成し、

前記結晶性珪素膜の上にゲイト絶縁膜を形成し、
前記ゲイト絶縁膜の上にゲイト電極を形成する薄膜トランジスタの作製方法であって、
前記洗浄処理と、前記酸化珪素膜の形成と、前記レーザーアニール処理とは、大気に曝すことなく連続して行われることを特徴とする薄膜トランジスタの作製方法。
【請求項２０】
基板上に形成された非単結晶珪素膜上の自然酸化膜を洗浄処理によって除去し、
前記非単結晶珪素膜上に膜厚０．５～１０ｎｍの酸化珪素膜を形成し、
前記酸化珪素膜を介して前記非単結晶珪素膜に窒素雰囲気中でレーザーアニール処理を行って結晶性珪素膜を形成し、
前記結晶性珪素膜の上にゲイト絶縁膜を形成し、
前記ゲイト絶縁膜の上にゲイト電極を形成する薄膜トランジスタの作製方法であって、
前記自然酸化膜の除去と、前記酸化珪素膜の形成と、前記レーザーアニール処理とは、大気に曝すことなく連続して行われることを特徴とする薄膜トランジスタの作製方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、ガラス等の絶縁基板上に形成された非晶質（アモルファス）珪素膜や結晶性シリコン膜に対し、レーザーアニールを施して、結晶化させる、あるいは結晶性を向上させる方法に関する。
【０００２】
【従来の技術】
近年、ガラス等の絶縁基板上に形成された非晶質珪素膜や結晶性珪素膜（単結晶でない、多結晶、微結晶等の結晶性を有する珪素膜）、すなわち、非単結晶珪素膜に対し、レーザーアニールを施して、結晶化させたり、結晶性を向上させる技術が、広く研究されている。
【０００３】
レーザーアニールを施して形成された結晶性珪素膜は、高い移動度有するため、この結晶性珪素膜を用いて薄膜トランジスタ（ＴＦＴ）を形成し、例えば、一枚のガラス基板上に、画素駆動用と駆動回路用のＴＦＴを作製する、モノリシック型の液晶電気光学装置等に盛んに利用されている。
【０００４】
また、出力の大きい、エキシマレーザー等のパルスレーザービームを、被照射面において、数ｃｍ角の四角いスポットや、数ミリ幅×数１０ｃｍの線状となるように光学系にて加工し、レーザービームを走査させて（レーザービームの照射位置を被照射面に対し相対的に移動させて）、レーザーアニールを行う方法が、量産性が良く、工業的に優れているため、好んで使用される。
【０００５】
特に、線状レーザービームを用いると、前後左右の走査が必要なスポット状のレーザービームを用いた場合とは異なり、線方向に直角な方向だけの走査で被照射面全体にレーザー照射を行うことができるため、高い量産性が得られる。
【０００６】
【発明が解決しようとする課題】
パルスレーザービームを光源とする、スポット状、あるいは線状のレーザービームを走査させて、非単結晶珪素膜に対してレーザーアニールを施すに際し、いくつかの問題が生じている。
【０００７】
例えば、空気中にてレーザーアニールすると、空気に含まれる炭素やその他の不純物が被膜に混入しやすく、アニール後の結晶性珪素膜の膜質や結晶性、移動度等の諸特性が低下するなどの問題がある。
【０００８】

また、真空や窒素等の不活性気体雰囲気中にて、被照射面における形状がスポット状または線状のレーザービームを走査して、レーザーアニールを施すと、空気中のアニールに比較して、以下の問題点がある。

【０００９】

▲１▼結晶性が悪い。すなわち、空気中のアニールに比較して、レーザーのエネルギー密度を大幅に高めないと、高い結晶性が得られない。

【００１０】

▲２▼結晶の膜面内における均質性が悪い。結晶性の良い場所と悪い場所が、膜面内に分布して生じる。例えば、線状レーザービームを、該ビームの線方向に対して直角方向に走査する場合においては、膜面内において、縞模様状に、結晶性の良い場所と悪い場所が現れてしまう。したがって、作製された結晶性珪素膜を用いて複数の薄膜トランジスタを作製すると、薄膜トランジスタの基板上の位置により、しきい値や移動度等の諸特性が異なってしまう。

【００１１】

▲３▼エネルギーの利用効率が悪い。結晶性を上げるために、レーザーのエネルギー密度を高くする必要があり、エネルギー密度を高めると消費電力も増加し、加えてレーザー発振器や回路、ガス、光学系を含むレーザー照射装置全体の消耗も激しくなり、作製するデバイスのコスト高を招く。他方、レーザーのエネルギー密度が高くなると、結晶性は高まるものの、レーザーアニール後の膜全体が激しく荒れ、該膜を加工してデバイスを作製することは困難となる。

【００１２】

本発明は、上記課題を解決するものである。

【００１３】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本明細書で開示する主要な構成の一つは、

基板上に形成された非単結晶珪素膜を洗浄する第１の工程と、

前記非単結晶珪素膜に対し、酸素を含有する雰囲気中でレーザーアニールする第２の工程とを有し、

前記第１の工程と前記第２の工程は、大気に曝されずに連続して行われることを特徴とするレーザーアニール方法である。

【００１４】

上記構成において、前記第２の工程は、前記酸素を含有する雰囲気中にて前記非単結晶珪素膜上面が酸化された後に行われることは好ましい。

【００１５】

また、他の構成の一つは、

基板上に形成された非単結晶珪素膜を洗浄する第１の工程と、

前記非単結晶珪素膜の上面を酸化して酸化珪素膜を形成する第２の工程と、

前記非単結晶珪素膜に対し、レーザーアニールする第３の工程とを有し、

前記各工程のうち少なくとも第１の工程と第２の工程は、大気に曝されずに連続して行われることを特徴とするレーザーアニール方法である。

【００１６】

上記構成において、前記第３の工程は、窒素雰囲気中で行われることは好ましい。

【００１７】

また、他の構成の一つは、

洗浄室、レーザー照射室を少なくとも有し、

被処理基板は、前記各室間を大気に曝されずに搬送されることを特徴とするレーザーアニール装置である。

【００１８】

また、他の構成の一つは、

洗浄室、予備加熱室、レーザー照射室を少なくとも有し、

被処理基板は、前記洗浄室と前記予備加熱室の間を、大気に曝されずに搬送されることを特徴とするレーザーアニール装置である。

【００１９】

本明細書において、連続とは、上記第１の工程と第２の工程との間に、非単結晶珪素膜に不純物その他不所望な物質が付着するような工程を含まないことを意味する。

【００２０】

したがって例えば、第１の工程と第２の工程との間に、基板搬送工程、アライメント工程、徐冷工程、第２の工程に必要な温度まで基板を加熱する工程、加熱による脱水素工程等を有することは、本明細書における連続の範囲にあるといえる。

【００２１】

他方、非単結晶珪素膜を膜質を変化させる特定の雰囲気に曝す工程、イオンドーピング、成膜、エッチング、プラズマ処理、被膜の塗布といった工程が第１の工程と第２の工程との間にある場合、本明細書でいう連続の定義に当てはまらない。

【００２２】

本発明は、非単結晶珪素膜にレーザーアニールを施して、結晶化また結晶性を向上させるに際し、酸素を含有する雰囲気中にて非単結晶珪素膜の上面を酸化させて、特に１００Å以下の膜厚の酸化珪素膜を形成し、その後に、レーザービームを照射するものである。

【００２３】

また、酸素を含有する雰囲気中に配置した状態で、非単結晶珪素膜に対してレーザー照射を行うものである。

【００２４】

さらに、非単結晶珪素膜を洗浄して自然酸化膜や不純物を除去する工程と、非単結晶珪素膜を酸素を含有する雰囲気中でレーザー照射する工程または酸素を含有する雰囲気中にて非単結晶珪素膜の上面に酸化珪素膜を形成する工程を、大気に曝さずに連続的に行うものである。

【００２５】

非単結晶珪素膜の上面を酸化させて、膜厚１００Å以下の酸化珪素膜を形成し、この状態でレーザーアニールを行うと、空気中でのレーザーアニールより純な結晶性珪素膜が得られるのみでなく、空気を含め、他の雰囲気でレーザーアニールを行う場合に比較して、以下の点で優れた特性を生じる。

▲１▼結晶性珪素膜の結晶性が向上する。

▲２▼結晶性珪素膜の結晶性が、膜面内において均一化される。

▲３▼結晶化に必要なレーザーのエネルギー密度が低下する。

【００２６】

この極薄い膜厚の酸化珪素膜を設けることで、非単結晶珪素膜に照射されるレーザービームのエネルギーの反射・放出を抑え、与えられたエネルギーを膜内に保つ作用を奏すると考えられる。このために、非単結晶珪素膜に酸化珪素膜を設けない場合よりも、多くのエネルギーを与えることができ、結晶性が向上する。

【００２７】

同時に、レーザービームのパルス毎のエネルギー密度のムラ・バラツキが均質化されるため、結晶性も膜面内において均質化する。

【００２８】

さらに、レーザーエネルギーの雰囲気中への反射・放出が減少し、エネルギーが結晶化に有効に使われるため、照射するレーザービームのエネルギー密度を低下させることができる。

【００２９】

非単結晶珪素膜上に酸化珪素膜が設けられた状態で、レーザービームのエネルギー密度を、酸化珪素膜を設けない状態と同様の高いものにすると、エネルギーの損失が少ない分、余計なエネルギーが与えられてしまうため、結晶性は高まるものの、膜全体がひどく荒れてしまう。そのような膜を用いて薄膜トランジスタ等のデバイスを作製することは極めて

困難である。

【００３０】

また、レーザーアニールを施す前に、ＨＦ水溶液や、ＨＦ、H_2 O_2 とを含有する水溶液にて非単結晶珪素膜上面を洗浄して、自然酸化膜を除去することは好ましい。この後の酸化珪素膜作製工程あるいは酸素含有雰囲気中でのレーザーアニール工程は、基板を加熱しながら行うと、酸化珪素膜の形成速度が向上し、好ましい。紫外線を照射しながらでも良い。

【００３１】

特に、この洗浄工程と、その後の酸素雰囲気中でのレーザーアニール工程とを大気に曝さずに連続して行う、あるいは洗浄工程と酸素雰囲気中での加熱（酸化膜珪素膜形成）工程、レーザーアニール工程とを大気に曝さずに連続的して行うことは好ましい。

【００３２】

このようにすることで、非単結晶珪素膜の極めて清浄な上面を酸化珪素膜とすることができる。その結果、形成される酸化珪素膜の膜厚、膜質はより均一になり、レーザーアニールにより結晶化された膜の基板面内における膜質均一性が向上する。

【００３３】

さらには、レーザーアニール時の不純物の非単結晶珪素膜内部への侵入がより低減される。その結果、該膜を用いて作製される薄膜トランジスタ等のデバイスの、移動度、しきい値といった諸特性を、基板面内においても、ロット間においてもより安定させることができる。

【００３４】

酸素を含有する雰囲気としては、酸素のみ、あるいは酸素と、窒素、ヘリウム、アルゴン、等の不活性気体との混合気体が好ましい。混合気体においては、酸素は大気圧下において１％以上、さらに好ましくは５％以上含有されていることが望ましい。酸素含有量が１％未満になると、十分な酸化珪素膜の形成に要する時間が極めて長くなる、あるいは形成されなくなり、本発明の効果が十分に得られず、実用的ではない。酸素含有量が５％以上であれば、本発明の効果が安定して得られる。

【００３５】

酸化珪素膜を形成する際の酸素を含有する雰囲気として、空気を用いた場合、空気中の炭素等の不純物がアニールされる膜中に混入し、結晶性珪素膜の移動度その他の諸特性を低下、あるいはロット毎の特性が不安定となることが多い。

ただし、他の雰囲気中にて酸化珪素膜を作製した後、空気雰囲気中にてレーザーアニールを施すことは有効である。

【００３６】

また、酸素を含有する雰囲気を構成する酸素や不活性気体は、その純度が、９９．９％（３Ｎ）以上、９９．９９９９９％（７Ｎ）以下のものが、特に好ましい。このような純度の気体を用いた雰囲気とすることで、炭素、水、炭化水素、その他の不純物が結晶性珪素膜中に混入することを防ぎ、膜質や膜特性が安定し、かつ優れた特性の結晶性珪素膜が得られる。雰囲気を構成する酸素や不活性気体の純度が３Ｎ未満であると、空気雰囲気を用いた場合との差がほとんどなくなり、不純物により膜特性が不安定になりやすい。また、７Ｎより大きい高純度のものを用いても、７Ｎ以下の場合に比べて効果に大差なく、コストが高くなるだけであるので、好ましくない。

【００３７】

また、前記酸化珪素膜の膜厚は１００Å以上とすると、レーザー照射により結晶性珪素膜中への酸化珪素膜の混入量が増加し、結晶性珪素膜の結晶性や移動度等の諸特性が低下してしまう。一方、膜厚を５Å以下程度とあまりに薄くすると、上記に示した本発明の効果が著しく低下する。酸化珪素膜の膜厚としては、５～１００Å、好ましくは、１０～５０Å、さらに好ましくは、２０～４０Åが適当である。

【００３８】

レーザーアニール時の圧力は、大気圧でよい。また、レーザーアニール時の圧力を、大気

圧以下、特に０．０１Ｔｏｒｒ以上、７００Ｔｏｒｒ以下に減圧して行う場合、パルスレーザーの複数回の照射による、結晶性珪素膜の上面や膜全体の荒れが少なくなり、好ましい。すなわち、結晶性珪素膜の耐パルスレーザー照射性が向上し、荒れの少ない膜が得られる。レーザーアニール時の圧力が、７００Ｔｏｒｒより大きいと、膜の荒れ方が大気圧とほとんど変わらなくなる。圧力が０．０１Ｔｏｒｒ未満となると、酸素含有雰囲気を用いることによる、結晶性や均質性、エネルギー効率の向上といった効果は著しく低下する。

【００３９】

レーザービームの照射は、被照射面における断面形状が、スポット状または線状のレーザービームを走査して行われることは好ましい。

【００４０】

またレーザービームは、パルスレーザーを光源とするものが好ましい。

【００４１】

本発明を実施するには、非単結晶珪素膜を酸素含有雰囲気に曝す、あるいは、曝した状態で加熱または紫外線の照射を行って、非単結晶珪素膜上面を酸化させ、その状態でレーザーアニールする。

【００４２】

１つの容器内にて、酸素含有雰囲気中で、非単結晶珪素膜上面を酸化させた後、他の容器内にて、酸素含有雰囲気または他の雰囲気中にてレーザーアニールを行ってもよい。

【００４３】

また、雰囲気制御の可能な容器内にて、酸素含有雰囲気中で、レーザーアニールを行うと、１つの容器内にて酸化とレーザーアニールを行うことができ、作製工程が短縮される。この場合、レーザーアニール時に、基板を加熱することは好ましい。

【００４４】

本発明における酸化珪素膜は、従来のレーザーアニール工程にて用いられたキャップ層（主に出力の小さい連続発振レーザーを用いたレーザーアニールの際に、非晶質珪素膜の上に酸化珪素膜や窒化珪素膜を数１０００Å成膜し、該膜の機械的強度により、レーザーアニールの際の珪素膜表面の荒れ（リッジ）を防ぐもの）とは全く異なる。

【００４５】

このような厚い酸化珪素膜は、本発明のようにエキシマレーザーの如き出力の大きいパルスレーザーを用いた場合、前述のようにレーザーアニールの際、珪素膜中に酸化珪素を多量に混入させ、形成される結晶性珪素膜の膜質、特性の低下を招く。

【００４６】

また、非晶質珪素膜表面にキャップ層を設けた状態でレーザアニールを行うと、キャップ層により押さえ込まれた状態で結晶化がなされる。その結果、結晶の成長が抑えられてしまい、形成される結晶性珪素膜の結晶性が低くなる。また、結晶性珪素膜の内部に応力が強く残ってしまう。

【００４７】

本発明においては、酸化珪素膜が極めて薄いため、結晶成長を抑えることはほとんどなく、キャップ層に比較して高い結晶性が得られ、また、内部応力も極めて小さくできる。

【００４８】

したがって、本発明における酸化珪素膜は、リッジを抑制できる程度の機械的強度の出る膜厚は適さない。本発明における酸化珪素膜は１００Å以下と極めて薄いため、複数回のパルスレーザー照射により、ほとんどの酸化珪素膜が飛散して除去されてしまう。

【００４９】

【実施例】

〔実施例１〕

実施例１では、非単結晶珪素膜に対し、酸素含有雰囲気中でレーザーアニールを行う例を示す。

図２に、実施例の作製工程を示す。まず、基板２０１として、１２７ｍｍ角のコーニング

１７３７上に、下地膜としての酸化珪素膜２０２が２０００Å、その上に非晶質珪素膜が、５００Å、共にプラズマＣＶＤ法にて、連続的に成膜される。

【００５０】

次に、１０ｐｐｍの酢酸ニッケル水溶液が、スピンコート法により、非晶質珪素膜上に塗布され、酢酸ニッケル層が形成される。酢酸ニッケル水溶液には、界面活性剤を添加するとより好ましい。酢酸ニッケル層は、極めて薄いので、膜状となっているとは限らないが、以後の工程における問題はない。

【００５１】

次に、上記のようにして各膜が積層された基板２０１に、６００℃で４時間の熱アニールが施され、非晶質珪素膜が結晶化し、結晶性珪素膜２０３が形成される。（図２（Ａ））

【００５２】

このとき、触媒元素であるニッケルが結晶成長の核の役割を果たし、結晶化を促進させる。６００℃、４時間という低温、短時間で結晶化を行うことができるのは、ニッケルの機能による。詳細については、特開平６－２４４１０４号に記載されている。

【００５３】

触媒元素の濃度は、1×10^{15}～10^{19}原子／cm^3 であると好ましい。1×10^{19}原子／cm^3 以上の高濃度では、結晶性珪素膜に金属的性質が現れ、半導体としての特性が消滅する。本実施例において、結晶性珪素膜中の触媒元素の濃度は、膜中のおける最小値で、1×10^{17}～5×10^{18}原子／cm^3 である。これらの値は、２次イオン質量分析法（ＳＩＭＳ）により分析、測定したものである。

【００５４】

このようにして得られる結晶性珪素膜２０３の結晶性をさらに高めるために、エキシマレーザーを用いてレーザーアニールを行う。

【００５５】

図１に、実施例におけるレーザー照射室を示す。図１は、レーザー照射室の側断面図である。

【００５６】

図３に、実施例におけるレーザーアニール装置の上面図を示す。ここでは、図３に示すマルチチャンバー型のレーザーアニール装置を用いる。図３におけるＡ－Ａ’断面を示す図が図１に相当する。

【００５７】

図１において、レーザー照射室１０１は、レーザー発振装置１０２から照射され、光学系１１２により断面形状が線状に加工されたパルスレーザービームを、ミラー１０３で反射させ、石英で構成された窓１０４を介して被処理基板１０５に照射される機能を有している。

【００５８】

レーザー発振装置１０２は、ここでは、ＸｅＣｌエキシマレーザー（波長３０８ｎｍ）を発振するものを用いる。他に、ＫｒＦエキシマレーザー（波長２４８ｎｍ）を用いてもよい。

【００５９】

被処理基板１０５は、台１０６上に設けられたステージ１１１上に配置され、台１０６内に設置されたヒーターによって、所定の温度（１００～７００℃）に保たれる。

【００６０】

台１０６は、移動機構１０７によって、線状レーザービームの線方向に対して直角方向に移動され、被処理基板１０５上面に対しレーザービームを走査しながら照射することを可能とする。

【００６１】

雰囲気制御が可能なレーザー照射室１０１は、減圧、排気手段として、真空排気ポンプ１０８を有する。また、気体供給手段として、バルブを介して水素ボンベに接続された、気体供給管１０９と、バルブを介して窒素やその他の気体のボンベに接続された、気体供給

管１１０を有する。
【００６２】
レーザー照射室１０１は、ゲイトバルブ３０１を介して、基板搬送室３０２に連結されている。
【００６３】
図３において、図１のレーザー照射室１０１がゲイトバルブ３０１を介して基板搬送室３０２に連結されている。
【００６４】
図３に示す装置の説明をする。ロード／アンロード室３０６に、被処理基板１０５が多数枚、例えば２０枚収納されたカセット３１２が配置される。ロボットアーム３０５により、カセット３１２から一枚の基板がアライメント室に移動される。
【００６５】
アライメント室３０３には、被処理基板１０５とロボットアーム３０５との位置関係を修正するための、アライメント機構が配置されている。アライメント室３０３は、ロード／アンロード室３０６とゲイトバルブ３０７を介して接続されている。
【００６６】
予備加熱室３０８は、レーザーアニールされる基板を所定の温度まで予備的に加熱して、レーザー照射室１０１において基板加熱に要する時間を短縮させ、スループットの向上を図るためのものである。
【００６７】
予備加熱室３０８は、その内部は円筒状の石英で構成されている。円筒状の石英はヒーターで囲まれている。更に石英で構成された基板ホルダーを備えている。基板ホルダーには、基板が多数枚収容可能なサセプターが備えられている。基板ホルダーは、エレベーターにより上下される。基板はヒーターで加熱される。予備加熱室３０８は、基板搬送室３０２とは、ゲイトバルブ３０９によって連結されている。
【００６８】
予備加熱室３０８において、所定の時間予熱された基板は、ロボットアーム３０５によって基板搬送室３０２に引き戻され、アライメント室３０３にて再度アライメントされた後、ロボットアーム３０５によって、レーザー照射室１０１に移送される。
【００６９】
レーザー照射終了後、被処理基板１０５はロボットアーム３０５によって基板搬送室３０２に引き出され、徐冷室３１０に移送される。
【００７０】
徐冷室３１０は、ゲイトバルブ３１１を介して、基板搬送室３０２と接続されており、石英製のステージ上に配置された被処理基板１０５が、ランプ、反射板からの赤外光を浴びて、徐々に冷却される。
【００７１】
徐冷室３１０で徐冷された被処理基板１０５は、ロボットアーム３０５によって、ロード／アンロード室３０６に移送され、カセット３１２に収納される。
【００７２】
こうして、レーザーアニール工程が終了する。このようにして、上記工程を繰り返すことにより、多数の基板に対して、連続的に一枚づつ処理できる。
【００７３】
図１、図３に示す装置を用いてレーザーアニールを行う工程を説明する。まず、被処理基板１０５（結晶性珪素膜２０３を有する基板２０１）は、ＨＦ水溶液、またはＨＦとH_2O_2の混合水溶液で洗浄されて自然酸化膜が除去された後、カセット３１２に納められ、カセット３１２がロード／アンロード室３０６に配置される。
【００７４】
図３において、本実施例においては、ロード／アンロード室３０６から搬送される被処理基板１０５は、予備加熱室における空気による酸化を防ぐため、アライメントされた後、

予備加熱室３０８には搬送されず、直接レーザー照射室１０１に搬送される。ただし、予備加熱室３０８にて、結晶性珪素膜２０３上面が酸化されない程度に加熱することは有効である。

【００７５】

レーザー照射室１０１内は、真空排気ポンプ１０８により真空引きされた後、気体供給管１０９から酸素が、気体供給管１１０から窒素がそれぞれ供給され、酸素２０％、窒素８０％の雰囲気となる。レーザー照射室内に供給される酸素、窒素とも、その純度は、ここでは、９９．９９９９９％（７Ｎ）である。このとき、圧力は大気圧とする。

【００７６】

レーザー照射室１０１に搬送された被処理基板１０５は、ステージ１１１上に載置された状態で、台１０６内のヒータにより、レーザーアニールに適した温度、ここでは２００℃に到達するために、約５分間加熱される。加熱されている間に、結晶性珪素膜２０３の上面は、雰囲気中の酸素により酸化され、炭素等の空気中の不純物の混入の無い純な酸化珪素膜２０４が形成される。膜厚は、１０～５０Åここでは３０Åである。

【００７７】

また、図１において、被処理基板１０５上に照射される線状レーザービームは、幅０．３４ｍｍ×長さ１３５ｍｍとする。被照射面におけるレーザービームのエネルギー密度は、１００ｍＪ／ｃｍ^2 ～５００ｍＪ／ｃｍ^2 の範囲で、例えば２６０ｍＪ／ｃｍ^2 とする。台１０６を２．５ｍｍ／ｓで一方向に移動させながら行うことで、線状レーザービームを走査させる。レーザーの発振周波数は２００Ｈｚとし、被照射物の一点に注目すると、１０～５０ショットのレーザービームが照射される。

【００７８】

このようにして結晶性珪素膜２０３に対し、レーザーアニールが施され、結晶性が向上される。（図２（Ｂ））

【００７９】

酸化珪素膜２０４は、極めて薄いため、複数回のパルスレーザー照射によりほとんどが飛散してしまう。

【００８０】

その後、被処理基板１０５が徐冷室３１０に搬送され、徐冷の後、ロード／アンロード室３０６のカセット３１２に収納される。

【００８１】

徐冷工程中が空気雰囲気であるので、徐冷工程中に、結晶性珪素膜２０３上面は酸化されやすい。また、酸素含有雰囲気でのレーザーアニールでは、複数回のレーザー照射により酸化珪素膜２０４が飛散しても、結晶化された珪素膜の上面が、雰囲気中の酸素により新たに酸化されることもある。また、レーザー照射されても、酸化珪素膜２０４がすべては飛散しない場合もある。このように、レーザーアニール工程終了後に結晶性珪素膜２０３上面に酸化珪素膜が残り易いため、次の工程に移る前に、ＨＦ水溶液や、ＨＦとH_2O_2の混合水溶液で、結晶性珪素膜２０３の上面を還元して、酸化珪素膜を除去することは好ましい。

【００８２】

次に、上記工程にて形成された結晶性珪素膜と、他の雰囲気にて形成された結晶性珪素膜との比較を行う。上記した方法と同様にして、レーザーアニール時の雰囲気、およびレーザービームのエネルギー密度を変化させて、結晶性珪素膜を作製する。雰囲気は、N_2／H_2（３％）、N_2 １００％である。各気体はいずれも、純度９９．９９９９９％（７Ｎ）以上、また気圧は大気圧とする。

【００８３】

図４に、各種雰囲気でのレーザーアニールにおける、レーザービームのエネルギー密度と、レーザーアニールされた結晶性珪素膜のラマン半値半幅との関係を示す。ラマン半値半幅とは、ラマン半値幅の２分の１の値をいう。図４において、結晶性珪素膜は、酸素含有雰囲気として上記工程で用いたN_2／O_2（２０％）雰囲気で作製されたものを◇、N_2

／H_2（３％）雰囲気で作製されたものを○、N_2 １００％雰囲気で作製されたものを□で示す。

【００８４】

図４に示すように、結晶性珪素膜は、本発明の酸素含有雰囲気でレーザーアニールされたものは、エネルギー密度を上げていくとラマン半値半幅が低下する、すなわち結晶性が向上していることがわかる。

【００８５】

もっとも、酸素含有雰囲気でレーザーアニールを行っても、レーザーエネルギー密度をあまり高くすると、結晶性は向上するものの、膜全体が大きく荒れてしまい、薄膜トランジスタ等のデバイス用として用いることは困難となる。ここでは、レーザーエネルギー密度は２７０ｍＪ／ｃｍ^2 以下が好ましい。

【００８６】

一方、他の雰囲気においては、図４に示す範囲のエネルギー密度においては、いずれも低い結晶性に止まっている。

【００８７】

上記酸素含有雰囲気でのレーザーアニールを、大気圧ではなく、それ以下、特に、０．０１Ｔｏｒｒ以上、７００Ｔｏｒｒ以下の減圧下で行ってもよい。このような減圧下でレーザーアニールを行うことで、アニールされた結晶性珪素膜の表面や膜全体のあれを少なくすることができる。

【００８８】

次に、作製された結晶性珪素膜２０３を用いて、薄膜トランジスタ（ＴＦＴ）を作製する。まず結晶性珪素膜２０３をエッチングして、島状領域２０５が形成される。

【００８９】

次に、ゲイト絶縁膜２０６となる酸化珪素膜が、プラズマＣＶＤ法によって厚さ１２００Åに形成される。原料ガスとして、ＴＥＯＳおよび酸素を用いる。成膜時の基板温度は、２５０℃～３８０℃、例えば、３００℃とする。（図２（Ｃ））

【００９０】

次に、ゲイト電極を作製する。アルミニウム膜をスパッタ法により、厚さ３０００Å～８０００Å、例えば６０００Å堆積させる。アルミニウム膜中に０．１～２％の珪素を含有させてもよい。該膜をエッチングして、ゲイト電極２０７が作製される。

【００９１】

次に、不純物を添加する。Ｎチャネル型のＴＦＴを作製する場合、燐イオンが、ゲイト電極をマスクとしてイオンドーピング法により、島状領域２０５に打ち込まれる。ドーピングガスとして、フォスフィン（PH_3）を用いる。加速電圧は１０～９０ｋＶ、例えば８０ｋＶ、ドーズ量は、1×10^{14}～5×10^{15}原子／ｃｍ^2、例えば、1×10^{15}原子／ｃｍ^2 とする。基板温度は室温とする。この結果、チャネル形成領域２１０と、Ｎ型の不純物領域として、ソース２０８、ドレイン２０９が形成される。

【００９２】

また、Ｐチャネル型のＴＦＴを作製する場合、硼素イオンが、ゲイト電極２０７をマスクとしてイオンドーピング法により、島状領域２０５に打ち込まれる。ドーピングガスとして、水素で１～１０％、例えば５％に希釈されたジボラン（B_2H_6）を用いる。加速電圧は６０～９０ｋＶ、例えば６５ｋＶ、ドーズ量は、2×10^{15}～5×10^{15}原子／ｃｍ^2、例えば、3×10^{15}原子／ｃｍ^2 とする。基板温度は室温とする。この結果、チャネル形成領域２１０と、Ｐ型の不純物領域として、ソース２０８、ドレイン２０９が形成される。（図２（Ｄ））

【００９３】

次に、ドーピングされた不純物を活性化するために、再び図１及び図３に示すレーザーアニール装置を用いて、線状レーザービームによりレーザーアニールを行う。レーザー照射室１０１内の雰囲気は、空気（大気圧）とする。被照射面におけるレーザービームのエネルギー密度は、１００ｍＪ／ｃｍ^2 ～３５０ｍＪ／ｃｍ^2 の範囲で、例えば１６０ｍＪ／

cm^2とする。線状レーザービームを走査させる。被照射物の一点に注目すると、２０～４０ショットのレーザービームが照射される。基板温度は２００℃とする。その後、窒素雰囲気中にて２時間、４５０℃の熱アニールを行う。（図２（Ｅ））

【００９４】

続いて、酸化珪素膜が厚さ６０００Å、プラズマＣＶＤ法により形成され、層間絶縁膜２１１が形成される。次に、エッチングにより層間絶縁膜２１１にコンタクトホールが開孔される。さらに、金属材料、例えば、チタンとアルミニウムの多層膜が形成、エッチングされることで、コンタクトホールを介して、ソース電極・配線２１２、ドレイン電極・配線２１３が形成される。

【００９５】

最後に、１気圧の水素雰囲気で、２００～３５０℃の熱アニール処理が行われる。

【００９６】

このようにして、複数のＮまたはＰチャネル型の結晶性ＴＦＴが形成される。これらのＴＦＴは、Ｎチャネル型で７０～１２０cm^2／Ｖｓ、Ｐチャネル型で６０～９０cm^2／Ｖｓの移動度を有する優れたものである。（図２（Ｆ））

【００９７】

〔実施例２〕

実施例２では、酸素雰囲気中にて非単結晶珪素膜上面に酸化珪素膜を形成した後、窒素雰囲気中にてレーザーアニールを施す例を示す。実施例２では、図５に示すレーザーアニール装置を用いる。図５におけるレーザー照射室１０１のＡ－Ａ’断面に、図１は、対応する。

【００９８】

実施例１と同様にして、図２に示す基板２０１上に、下地膜２０２、熱アニールにより結晶化された結晶性珪素膜２０３を形成された被処理基板１０５が、ＨＦ水溶液、またはＨＦとH_2O_2の混合水溶液で洗浄されて自然酸化膜が除去された後、カセット３１２に納められ、カセット３１２がロード／アンロード室３０６に配置される。

【００９９】

ロード／アンロード室３０６から搬送される被処理基板１０５は、アライメントされた後、予備加熱室５０１に搬送される。

【０１００】

予備加熱室５０１には、図５に示すように、基板が載置される空間を減圧させる真空排気ポンプ５０２や、基板が載置される空間に酸素やその他の気体を供給できる気体供給管５０３、５０４が設けられている。

【０１０１】

予備加熱室５０１に接続された真空排気ポンプ５０２により、基板が載置される空間が真空引きされた後、気体供給管５０３から酸素が供給され、気体供給管５０４から窒素が供給され、基板ホルダー内部に、酸素５％、窒素９５％（共に純度９９．９９９９９（７Ｎ））（大気圧）の雰囲気が形成される。そして、５０～３００℃例えば、２００℃で、予備加熱を施すと、同時に酸化珪素膜２０４が２０～４０Å、例えば３０Å形成される。

【０１０２】

図１に示す、レーザー照射室１０１内は、真空排気ポンプ１０８により真空引きされた後、気体供給管１１０から窒素が供給され、窒素（純度９９．９９９９９％（７Ｎ））１００％の雰囲気となる。このとき、圧力は大気圧とする。

【０１０３】

予備加熱室５０１にて酸化珪素膜２０４が形成された被処理基板は、アライメントの後、レーザー照射室１０１に搬送される。搬送された被処理基板１０５は、２００℃近くに加熱されており、ステージ１１１上に載置された状態においては、台１０６内のヒータによる極短時間（数分）の加熱で、レーザアニールに適した温度、ここでは２００℃に到達する。

【０１０４】

この後、雰囲気以外は、実施例１と同様の条件として、レーザーアニールが施される。このようにして結晶性珪素膜２０３に対し、レーザーアニールが施され、結晶性が向上される。（図２（Ｂ））

【０１０５】

酸化珪素膜２０４は、極めて薄いため、レーザー照射によりほとんどが飛散してしまう。

【０１０６】

その後、被処理基板１０５が徐冷室３１０に搬送され、徐冷の後、ロード／アンロード室３０６のカセット３１２に収納される。

【０１０７】

次の工程に移る前に、ＨＦ水溶液や、ＨＦ、H_2 O_2 混合水溶液で、結晶性珪素膜２０３の上面を還元させ、酸化珪素膜を除去することは好ましい。

【０１０８】

この後、実施例１と同様にして図２（Ｃ）～（Ｆ）に従い、薄膜トランジスタが形成される。

【０１０９】

実施例２の場合、予備加熱室５０１と同じまたは異なる雰囲気のレーザー照射室１０１内に、被処理基板１０５を搬入して、酸化珪素膜の形成時間を不要とする、または処理時間を短縮させてレーザーアニールを施すことができ、作製工程の短縮を図ることができる。

【０１１０】

また、実施例２において、レーザー照射室１０１内の雰囲気は、窒素雰囲気としたが、窒素雰囲気としたが、他の雰囲気、例えば、実施例１と同じく、酸素２０％、窒素８０％でもよい。

【０１１１】

ただし、窒素雰囲気でのレーザーアニールは、他の空気や、酸素含有雰囲気、水素含有雰囲気等と比較すると、レーザーアニールによるリッジ（レーザーアニール後の結晶性珪素膜の表面の荒れ）の発生を抑える効果がある。

【０１１２】

〔実施例３〕

実施例３では、実施例２と同様に、図５の予備加熱室５０１で結晶性珪素膜２０３上面に酸化珪素膜２０４が形成された後、特に雰囲気制御は行わず、空気中（大気圧）にてレーザーアニールを行う例を示す。

【０１１３】

空気中でのレーザーアニールであるが、酸化珪素膜２０４が形成されているので、酸化珪素膜２０４を形成せずに、単に空気中にてレーザーアニールを行う場合に比較して、結晶性、均質性、エネルギーの利用効率とも優れたレーザーアニールを行うことができる。

【０１１４】

特に雰囲気制御を行わないのであれば、雰囲気制御可能な容器であるレーザー照射室１０１は無くてもよい。

【０１１５】

〔実施例４〕

実施例１において、熱結晶化により結晶性珪素膜２０３を形成する工程（図２（Ａ））では、熱結晶化後の徐冷工程（空気雰囲気）により、結晶性珪素膜２０３上面が酸化されて酸化珪素膜が、やはり数１０Å程度形成される。

実施例１では、レーザーアニール工程前に、洗浄によりこの酸化珪素膜を除去しているが、実施例４では、この酸化珪素膜を除去せず、そのまま、図３に示すレーザーアニール装置にてレーザーアニールを施す。

【０１１６】

実施例２と同様な、窒素雰囲気中にて、結晶性珪素膜２０３に対してレーザーアニールが施されると、酸化珪素膜を形成しないで、窒素雰囲気中にレーザーアニールを行った場合に比較して、結晶性やその均質性、レーザーエネルギーの利用効率は大幅に向上する。

【０１１７】
〔実施例５〕
実施例５では、実施例６で使用する連続処理装置の例を示す。この連続処理装置は、非単結晶珪素膜の洗浄工程と、レーザーアニール工程または加熱（酸化珪素膜形成）工程が大気に曝されずに連続して実施することができる。
図６に実施例における連続処理装置の上面図を示す。図６の装置は、図３に示した装置に、基板洗浄室を加えた構成を有する。
【０１１８】
図６において、基板搬送室６０１には、レーザー照射室６０２、予備加熱室６０３、徐冷室６０４、洗浄室６０７が、ゲイトバルブ６０８～６１１を介して連結されている。また、基板搬送室６０１には、アライメント室６０６、ゲイトバルブ６１２を介してロード／アンロード室６０５が連結されている。
【０１１９】
基板搬送室６０１には、基板６００を搬送する基板搬送手段としてロボットアーム６１３が配置されている。ロード／アンロード室６０５には、複数枚の基板が納められるカセット６１５が配置される。
【０１２０】
図６に示す構成のうち、基板搬送室６０１、レーザー照射室６０２、予備加熱室６０３、徐冷室６０４、ロード／アンロード室６０５、アライメント室６０６に関する説明は、実施例１で説明した図３に示す装置と同様の構成なので省略する。
【０１２１】
また、図６に示す装置は、各室および各室間の気密性が保たれている。また、各室には図示しない気体供給手段および排気手段が設けられ、各室の雰囲気や圧力は任意に制御できる。このような装置によって処理される基板は、外部の雰囲気から遮断されるため大気に触れることを防ぐことができる。
【０１２２】
図６において、洗浄室６０７には、ステージ６１６、カップ６１７、洗浄液流出用ノズル６１８が配置されている。ステージ６１６は、洗浄室６０７内に搬送されてきた基板の裏面を真空吸着して固定し、基板を水平回転させる。洗浄液流出用ノズル６１８は、洗浄液を基板回転面の中心部に流出させる。
【０１２３】
洗浄液としては、ＨＦとH_2O_2とが０．５ｗｔ％づつ混合された水溶液等が好ましい。他にＨＦの水溶液を用いてもよい。この洗浄液により、非単結晶珪素膜上面の自然酸化膜や不純物等が除去される。
【０１２４】
カップ６１７は、基板回転時に基板の周囲を囲うように配置される。基板の搬送時には、搬送の邪魔にならないように、ステージ上面の基板固定位置より下側に配置される。カップ６１７は、基板の回転により周囲に飛散する洗浄液を受け止め、それを下側に排出する。
【０１２５】
図６に示す装置による洗浄工程について説明する。基板６１４が洗浄室内に搬送され、ステージ６１６の上面に真空吸着して固定された後、基板が所定の回転数で回転する。このとき、洗浄液流出用ノズル６１８からは、洗浄液が基板回転面の中心部に流出される。
【０１２６】
流出された洗浄液は、遠心力で基板の中心から外側へ同心円状に広がり、基板の周辺に到達した後、カップ６１７へ飛散した後、排出される。
【０１２７】
このような状態を数１０秒～数分維持した後、洗浄液の流出を止め、基板の回転数を上げて、洗浄液を乾燥させる。
【０１２８】

このようにして洗浄工程が終了する。その後基板６０４を搬送手段６１３により予備加熱室やレーザー照射室といった他の室に移動する。

【０１２９】

図６に示す装置により、基板洗浄工程すなわち非単結晶珪素膜上面の自然酸化膜や不純物、ゴミ等を除去する工程と、非単結晶珪素膜に対する酸素雰囲気でのレーザーアニール工程または酸素雰囲気での加熱工程（酸化膜形成工程）とを、大気に曝すことなく連続的に行うことができる。

【０１３０】

その結果、非単結晶珪素膜上面に形成される薄い酸化珪素膜を不純物のない良質なものとし、レーザーアニールによる良好な結晶化が可能となる。

【０１３１】

さらに、図６に示す装置により、レーザーアニール工程終了後の、結晶性珪素膜上面の洗浄を連続的に行うことも可能である。その結果レーザーアニール工程後の工程に対し、清浄な表面を有する結晶性珪素膜をより短時間で提供することができ、製造所要時間の短縮に寄与する。

【０１３２】

なお本実施例では、基板の洗浄を洗浄液を用いて基板を回転させる方式とした。この方式は、基板の裏面側に洗浄液が付着する可能性が極めて少ないため、洗浄液によるガラス基板のくもりや汚染を防ぐことができる。さらに洗浄液の乾燥を基板の回転のみで行うことができるため、洗浄工程全体を短時間とすることができる。また設備がコンパクトかつ簡素であるため、図６のようなマルチャンバー型の連続処理装置に使用することは、装置の設置面積を小さくし、かつ設計を容易とするため有効である。

【０１３３】

しかし、本実施例の基板洗浄方式はこれに限られるものではない。例えば、基板を回転させずに、基板上面に洗浄液を流出させる構成であってもよい。

【０１３４】

また、非単結晶珪素膜を還元性の気体雰囲気に曝すものであってもよい。

【０１３５】

〔実施例６〕

実施例６では、図６の装置を用い、基板洗浄工程とレーザーアニール工程を大気に曝さずに連続的に行う例を示す。

【０１３６】

実施例６の薄膜トランジスタの作製工程を図２を用いて示す。まず、実施例１と同様にして、基板２０１として、１２７ｍｍ角のコーニング１７３７上に、下地膜としての酸化珪素膜２０２が２０００Å、その上に非晶質珪素膜が、５００Å、共にプラズマＣＶＤ法にて、連続的に成膜される。

【０１３７】

次に、実施例１と同様の酢酸ニッケル水溶液を塗布した後、６００℃、４時間の熱アニールを施し、結晶性珪素膜２０３が形成される。（（図２（Ａ））

【０１３８】

次に、図６に示す連続処理装置により、結晶性珪素膜の洗浄と酸素雰囲気中でのレーザーアニール工程とを連続的に行う。

【０１３９】

図６に示す連続処理装置の各室は、大気から遮断されており、雰囲気は清浄化されて不純物等が除去された、清浄な気体により構成される。例えば、窒素、アルゴン、ヘリウムなどの不活性気体やこれらに酸素を混入したもの等が好ましい。また、清浄化された空気を用いてもよい。

【０１４０】

まず、結晶性珪素膜２０３が形成された被処理基板は、カセット６１５に納められ、カセット６１５がロード／アンロード室６０６に配置される。

【０１４１】
ロード／アンロード室６０６から搬送される被処理基板は、アライメント室６０５にてアライメントされた後、洗浄室６０７に搬送され、結晶性珪素膜２０３の上面の自然酸化膜や不純物などが除去される。
【０１４２】
洗浄室６０７において、基板６１４はステージ６１６に固定され、回転しながら洗浄液による洗浄が行われる。
【０１４３】
洗浄するための洗浄液は、ノズル６１８より基板回転面の中心部分に流出される。洗浄液は基板回転による遠心力により、基板の中心から周辺に向かって同心円状に移動する。その後、洗浄液は基板の周囲に飛散し、カップ６１７にあたった後、排出される。洗浄液としては、ここではＨＦとH_2O_2が０．５ｗｔ％づつ混入された水溶液を用いる。他にＨＦ水溶液を用いてもよい。
【０１４４】
基板は、洗浄液を受けながら、１０秒～５分、ここでは１分間、１００～１０００ｒｐｍ、例えば３００ｒｐｍの回転数で回転される。その後、洗浄液の流出を止め、基板上面の乾燥のため、基板回転数を上げて約３０秒間回転させる。乾燥時の基板回転数は、２５００～４０００ｒｐｍ、ここでは３０００ｒｐｍとした。
【０１４５】
その後、基板の回転が止められ、基板が洗浄室６０７から基板搬送手段６１３により搬出される。
【０１４６】
このようにして、基板上の結晶性珪素膜２０３上面は洗浄され、自然酸化膜や不純物が除去される。
【０１４７】
次に、結晶性珪素膜２０３に対しレーザーアニールを施す。洗浄室６０７より搬出された基板は、レーザー照射室６０２に直接、あるいは予備加熱室６０３で加熱された後に搬送される。
【０１４８】
その結果洗浄後の結晶性珪素膜が大気に触れることなく、洗浄工程に連続してレーザー照射室６０２に搬送される。
【０１４９】
また、予備加熱室６０３を用いて、所定の温度まで加熱した後、レーザー照射室へ搬送することで、レーザー照射室内での基板加熱時間を短縮できる。
【０１５０】
次に、酸素雰囲気中でのレーザーアニールを行う。レーザー照射室６０２は、酸素２０％、窒素８０％の雰囲気が構成されている。そして、実施例１と同様の条件により酸素雰囲気中で結晶性珪素膜２０３に対しレーザーアニールが行われ、結晶性が向上される。（図２（Ｂ））
【０１５１】
本実施例において、被処理基板は、図６の連続処理装置を用いたことで、先の洗浄工程からレーザーアニール工程まで全く大気に触れず、不純物のない清浄な雰囲気のみに触れる。そのため、レーザーアニール工程において結晶性珪素膜２０３上面に形成される薄い酸化珪素膜２０４およびその近傍において、大気中で形成された自然酸化膜や大気中の不純物が相当程度除去されている。その結果、酸化珪素膜２０４は極めて純な酸化珪素膜となり、実施例１と比較して、レーザーアニールをより効果的に行うことができる。
【０１５２】
すなわち、形成される薄い酸化珪素膜２０４の膜厚、膜質は、実施例１の場合に比較して、結晶性珪素膜２０３上面においてより均一になり、その結果、レーザーアニールにより結晶化された膜の、基板面内における膜質均一性が向上する。

【０１５３】
さらには、レーザーアニール時の不純物の結晶性珪素膜２０３内部へ侵入がより低減される。その結果、作製される薄膜トランジスタの、移動度、しきい値といった諸特性を、基板面内においても、ロット間においてもより安定させることができる。
【０１５４】
レーザーアニール工程終了後、必要に応じて基板は徐冷室６０４に搬送され徐冷される。
【０１５５】
この後、基板をロード／アンロード室へ搬送してもよいが、レーザーアニール工程終了後では結晶性珪素膜２０３上面に酸化珪素膜が残り易い。
【０１５６】
すなわち、酸素含有雰囲気でのレーザーアニールでは、複数回のレーザー照射により酸化珪素膜２０４が飛散しても、結晶化された珪素膜の上面が、雰囲気中の酸素により新たに酸化されることもある。また、レーザー照射されても、酸化珪素膜２０４全てが飛散しない場合もある。
【０１５７】
そこで、レーザーアニール工程終了後に基板を再び洗浄室に搬送し、洗浄を行うことは極めて有効である。
【０１５８】
工程としては、基板をレーザー照射室６０２または徐冷室６０４から搬出した後、洗浄室６０７に搬入して結晶性珪素膜２０３の上面を洗浄し、酸化珪素膜や不純物等を除去する。条件は、レーザーアニール工程前の洗浄工程と同様とする。
【０１５９】
このように、レーザーアニール工程と洗浄工程は、または徐冷工程と洗浄工程を大気に曝さずに連続して行うことにより、結晶性珪素膜上面の高い清浄性を短時間で得ることができる。
【０１６０】
その後、洗浄工程が終了した基板は、基板搬送手段６１３により洗浄室６０７からロード／アンロード室６０６へ搬送され、カセット６１５に収納される。
【０１６１】
その後、実施例１と同様の工程により、薄膜トランジスタを完成させる。（図２（Ｃ）～図２（Ｆ））
【０１６２】
このようにして作製された薄膜トランジスタは、諸特性が向上し、基板面内およびロット間において安定な特性を有するものとなる。
【０１６３】
〔実施例７〕
実施例７では、図６の連続処理装置を用い、酸素雰囲気中にて非単結晶珪素膜上面に酸化珪素膜を形成した後、窒素雰囲気中にてレーザーアニールを施す例を示す。
【０１６４】
実施例６と同様にして図２に従い薄膜トランジスタを作製する。基板２０１上に、下地膜としての酸化珪素膜２０２、非晶質珪素膜が連続的に成膜され、酢酸ニッケル水溶液を塗布した後、６００℃、４時間の熱アニールを施し、結晶性珪素膜２０３が形成される。（（図２（Ａ））
【０１６５】
次に、図６に示す連続処理装置を用いて、実施例６と同様にして洗浄室６０７において結晶性珪素膜２０３上面の洗浄を行う。これにより、結晶性珪素膜２０３上面の自然酸化膜や不純物が除去される。
【０１６６】
次に、基板が予備加熱室６０３に搬送される。予備加熱室６０３内は、酸素５％、窒素９５％（共に純度９９．９９９９９（７Ｎ））（大気圧）の雰囲気が形成されている。そし

て、５０～３００℃例えば、２００℃で、予備加熱を施すと、結晶性珪素膜２０３上面に薄い酸化珪素膜２０４が２０～４０Å、例えば３０Å形成される。

【０１６７】

ここで形成される酸化珪素膜２０４は、先の洗浄工程によって結晶性珪素膜２０３の上面が洗浄され、かつ大気に曝されていないため、不純物の混入が少ない極めて純な膜となる。

【０１６８】

予備加熱終了後、被処理基板は予備加熱室６０３からレーザー照射室６０２に大気に曝されずに搬送される。レーザー照射室６０２内は、ここでは窒素雰囲気である。

【０１６９】

そして、雰囲気以外は実施例６と同様の条件によりレーザーアニールを行い、結晶性珪素膜２０３の結晶性が向上される。（図２（Ｂ））

【０１７０】

レーザーアニール後の結晶性珪素膜２０３は、実施例２で得られるものに比較して、レーザーアニールによる結晶化の、基板面内における均一性が向上する。また作製される薄膜トランジスタの、移動度、しきい値といった諸特性が、基板面内においても、ロット間においてもより安定する。

【０１７１】

また、レーザーアニール時の雰囲気を窒素雰囲気としたことで、酸素雰囲気に比較して、リッジの発生が抑えられる。その結果、洗浄工程とレーザーアニール工程を基板を大気に曝さずに連続して行うことによって得られる、結晶性珪素膜の結晶性、膜質の向上に加え、リッジが抑制され、結晶性珪素膜の膜質をより優れたものとすることができる。

【０１７２】

この後、実施例６と同様にして図２（Ｃ）～（Ｆ）に従い、薄膜トランジスタが形成される。

【０１７３】

本実施例の工程では、実施例２と同様にレーザー照射室内での酸化珪素膜２０４の形成に要する時間が不要となる。したがって、作製工程時間の短縮を図ることができる。

【０１７４】

本実施例において、レーザーアニール時の雰囲気は窒素雰囲気以外であっても、清浄な雰囲気であれば実施は可能である。

【０１７５】

【発明の効果】

本発明により、空気を含め、他の雰囲気でレーザーアニールを行う場合に比較して、結晶性、均質性が大幅に向上し、またエネルギー利用効率を大きく向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】　実施例におけるレーザー照射室を示す図。

【図２】　実施例の作製工程を示す図。

【図３】　実施例におけるレーザーアニール装置の上面図。

【図４】　各種雰囲気でのレーザーアニールにおける、レーザービームのエネルギー密度と、レーザーアニールされた結晶性珪素膜のラマン半値半幅との関係を示す図。

【図５】　実施例におけるレーザーアニール装置の上面図。

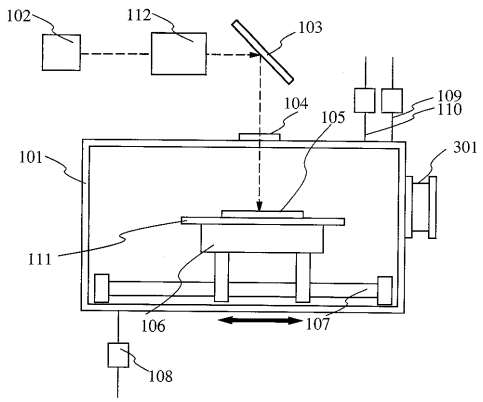
【図６】　実施例における連続処理装置の上面図。

【符号の説明】

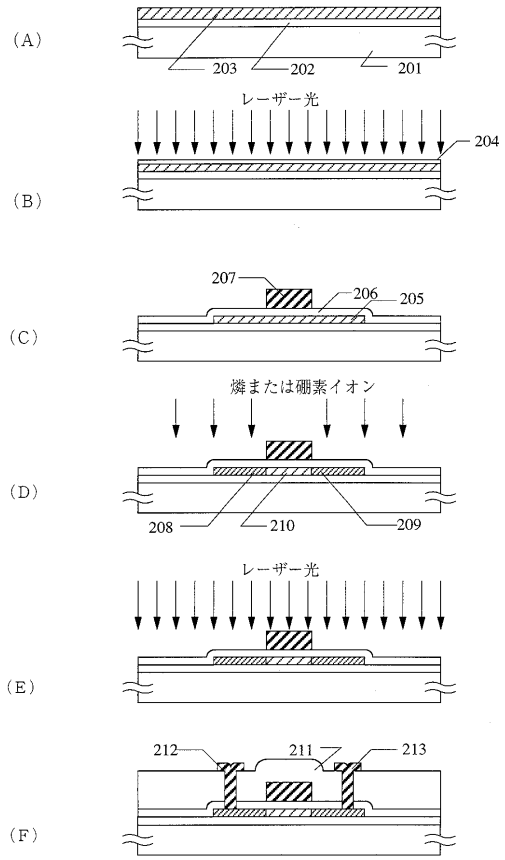
１０１　レーザー照射室
１０２　レーザー発振装置
１０３　ミラー
１０４　窓
１０５　被処理基板
１０６　台

１０７　移動機構
１０８　真空排気ポンプ
１０９、１１０　気体供給管
１１１　ステージ
１１２　光学系
２０１　基板
２０２　酸化珪素膜（下地膜）
２０３　結晶化珪素膜
２０４　酸化珪素膜
２０５　島状領域
２０６　ゲイト絶縁膜
２０７　ゲイト電極
２０８　ソース
２０９　ドレイン
２１０　チャネル形成領域
２１１　層間絶縁膜
２１２　ソース電極・配線
２１３　ドレイン電極・配線
３０１　ゲイトバルブ
３０２　基板搬送室
３０３　アライメント室
３０５　ロボットアーム
３０６　ロード／アンロード室
３０７　ゲイトバルブ
３０８　予備加熱室
３０９　ゲイトバルブ
３１０　徐冷室
３１１　ゲイトバルブ
３１２　カセット
５０１　予備加熱室
５０２　真空排気ポンプ
５０３、５０４　気体供給管
６０１　基板搬送室
６０２　レーザー照射室
６０３　予備加熱室
６０４　徐冷室
６０５　ロード／アンロード室
６０６　アライメント室
６０７　洗浄室
６０８～６１２
６１３　ロボットアーム
６１４　基板
６１５　カセット
６１６　ステージ
６１７　カップ
６１８　ノズル

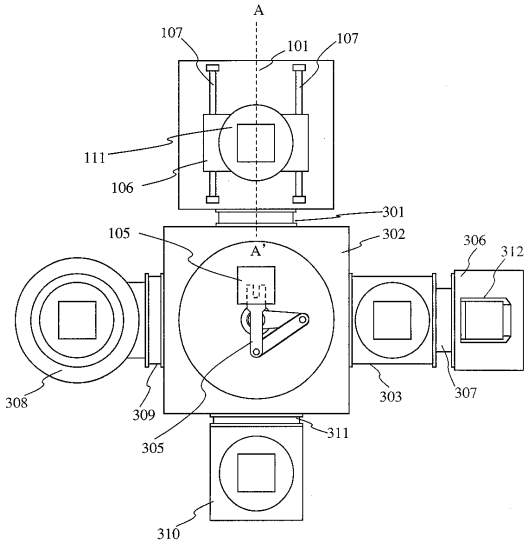
【図１】


102
112
103
104
105
109
110
101
301
111
106
107
108

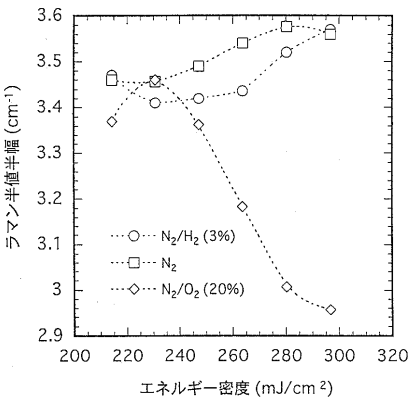
【図２】


(A)
203
202
201
レーザー光
204
(B)
207
206
205
(C)
燐または硼素イオン
(D)
208
210
209
レーザー光
(E)
212
211
213
(F)

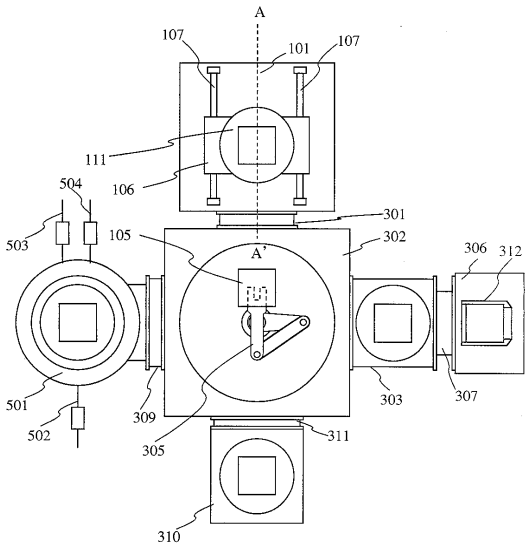
【図３】


A
107
101
107
111
106
301
105
302
306
312
A'
308
309
305
303
307
311
310

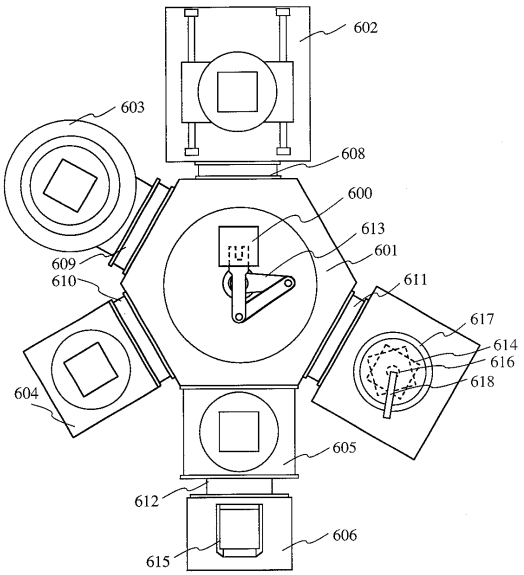
【図４】


ラマン半値半幅 (cm⁻¹)
3.6
3.5
3.4
3.3
3.2
3.1
3
2.9
200
220
240
260
280
300
320
エネルギー密度 (mJ/cm²)
N2/H2 (3%)
N2
N2/O2 (20%)

【図５】


A
107
101
107
111
106
504
503
105
301
302
306
312
A'
501
502
309
305
303
307
311
310

【図６】


602
603
608
600
613
609
601
610
611
617
614
616
618
604
605
612
606
615

フロントページの続き

(72)発明者　高山　徹
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　米澤　雅人
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

審査官　和瀬田　芳正

(56)参考文献　特開平７－３０７２８６（ＪＰ，Ａ）
特開平４－１４２２２（ＪＰ，Ａ）
特開平５－２１７９１９（ＪＰ，Ａ）
特開平７－１４２５５０（ＪＰ，Ａ）
特開平７－２３０９５２（ＪＰ，Ａ）
特開平８－６９９６７（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－９２７４５（ＪＰ，Ａ）
特開平８－８４３９（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H01L 21/20
H01L 21/268
H01L 21/336
H01L 29/786