

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4869130号
(P4869130)

(45) 発行日 平成24年2月8日(2012.2.8)

(24) 登録日 平成23年11月25日(2011.11.25)

(51) Int.Cl. F I
 HO 1 L 21/265 (2006.01) HO 1 L 21/265 6 O 2 B
 HO 1 L 29/78 (2006.01) HO 1 L 21/265 6 O 2 C
 HO 1 L 29/78 3 O 1 S
 HO 1 L 29/78 3 O 1 F

請求項の数 3 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2007-96869 (P2007-96869)	(73) 特許権者	000003078
(22) 出願日	平成19年4月2日(2007.4.2)		株式会社東芝
(62) 分割の表示	特願2003-208809 (P2003-208809) の分割		東京都港区芝浦一丁目1番1号
原出願日	平成15年8月26日(2003.8.26)	(74) 代理人	100108855
(65) 公開番号	特開2007-221157 (P2007-221157A)		弁理士 蔵田 昌俊
(43) 公開日	平成19年8月30日(2007.8.30)	(74) 代理人	100091351
審査請求日	平成19年4月2日(2007.4.2)		弁理士 河野 哲
前置審査		(74) 代理人	100088683
			弁理士 中村 誠
		(74) 代理人	100109830
			弁理士 福原 淑弘
		(74) 代理人	100075672
			弁理士 峰 隆司
		(74) 代理人	100084618
			弁理士 村松 貞男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

単結晶 Si 領域を含む Si ウェハであって、前記単結晶 Si 領域上に長手方向が前記単結晶 Si 領域の結晶方位と異なるラインパターンを含むパターンが設けられた前記 Si ウェハの上方に、光源としてフラッシュランプ光源またはライン状のビームを出射するレーザーを配置する工程と、

前記光源から放射された光により前記 Si ウェハを加熱する工程であって、前記光により前記 Si ウェハ上に形成される光強度分布が、前記単結晶 Si 領域の結晶方位及び前記ラインパターンの長手方向とは異なる方向において強度が最大値となる分布が形成されるように、前記 Si ウェハを加熱する工程と

を有し、前記単結晶 Si 領域の前記結晶方位が、前記単結晶 Si 領域の劈開面の面方位であり、かつ、前記光強度分布が前記 Si ウェハの表面と裏面とで異なることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項2】

前記フラッシュランプ光源は複数のフラッシュランプを含み、かつ、前記複数のフラッシュランプの配列方向が、前記単結晶 Si 領域の結晶方位と異なる方向になるように、前記フラッシュ光源を前記 Si ウェハの上方に配置することを特徴とする請求項1に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項3】

前記ビームの長手方向が、前記単結晶 Si 領域の前記結晶方位と異なる方向になるよう

に、前記光源を前記S i ウェハの上方に配置することを特徴とする請求項1に記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体装置およびその製造方法に係わり、特に、光加熱により基板内に生じるダメージの軽減を図った半導体装置の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

LSIの性能向上は、集積度を高めること、すなわちLSIを構成する素子の微細化により達成されてきている。素子寸法が縮小化されるに伴い、寄生抵抗およびショートチャネル効果は大きくなる。そのため、低抵抗かつ浅いpn接合の形成はその重要性を増してきている。

10

【0003】

浅い不純物拡散領域の形成は、低加速エネルギーでのイオン注入とその後に行われるアニールを最適化することにより可能となる。一方で、不純物拡散領域の抵抗を下げるためには、不純物イオンを活性化させるためのアニールを高温で行うことが必要である。

【0004】

イオン注入される不純物イオンとしては、ボロン(B)イオン、リン(P)イオンまたは砒素(As)イオンが用いられている。これらの不純物イオンは、シリコン(Si)中での拡散係数が大きい。そのため、ハロゲンランプを用いたRTA(Rapid Thermal Anneal)では、不純物イオンの内方拡散および外方拡散が生じ、浅い不純物拡散領域を形成することが次第に困難になってきている。

20

【0005】

上記内方拡散および外方拡散は、アニール温度を下げることにより、抑制することができる。しかし、アニール温度を下げると、不純物イオンの活性化率が大きく低下する。よって、アニール温度を下げるという手法を採用しても、浅い不純物拡散領域を形成することは困難である。

【0006】

このように従来のハロゲンランプを用いたRTA処理では、低抵抗かつ浅い(20nm以下)の不純物拡散領域を形成することは困難である。

30

【0007】

そこで、近年になって、不純物イオンの活性化に必要なエネルギーを瞬時に供給する手法として、キセノン(Xe)等の希ガスが封入されたフラッシュランプを用いたフラッシュランプアニール法が検討されている。

【0008】

フラッシュランプの1/2パルス幅は、10ms程度である。そのため、フラッシュランプアニール法を用いた場合、ウェハ表面が高温に保たれる時間が極めて短くなるので、ウェハ表面に注入された不純物イオンはほとんど拡散しない。したがって、ウェハ表面に注入された不純物イオンの分布をほとんど全く変化させずに、不純物イオンを活性化させることが可能となる。

40

【0009】

しかし、従来のフラッシュランプアニール法には、以下のような問題がある。

【0010】

十分なアニール効果を十分に得るためには、20J/cm²以上という大きなパワー強度が必要となる。また、ウェハ表面には急激な温度上昇が生じる。これらの結果、ウェハの表面側と裏面側との間に温度差が発生し、ウェハの内部では熱応力が増加する。このような熱応力の増大によって、ウェハ内にスリップ、クラック(破損)等のダメージ(熱ダメージ)が生じる。このようなウェハへの熱ダメージは、生産歩留まりの低下を招く。

【0011】

50

上記ウェハへの熱ダメージは、フラッシュランプ点灯前に、ウェハを予備加熱する温度あるいはフラッシュランプの照射エネルギー密度を下げることで、回避することができる。しかし、その場合には、不純物イオンの十分な活性化は期待できない。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

上述の如く、従来のフラッシュランプアニール法では、ウェハ内にスリップ、クラック（破損）等のダメージを招くことなく、ウェハ表面に注入された不純物イオンを十分に活性化することは困難である。そのため、現状では、ウェハ内にダメージを与えることなく、浅い不純物拡散領域を形成することは困難なことである。

10

【0013】

本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、基板を光により加熱し、基板中の不純物イオンを活性化する際に、基板中に発生するダメージを容易に防止することができる半導体装置の製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明に係る半導体装置の製造方法は、単結晶Si領域を含むSiウェハであって、前記単結晶Si領域上に長手方向が前記単結晶Si領域の結晶方位と異なるラインパターンを含むパターンが設けられた前記Siウェハの上方に、光源としてフラッシュランプ光源またはライン状のビームを出射するレーザーを配置する工程と、前記光源から放射された光により前記Siウェハを加熱する工程であって、前記光により前記Siウェハ上に形成される光強度分布が、前記単結晶Si領域の結晶方位及びラインパターンの長手方向とは異なる方向において強度が最大値となる分布が形成されるように、前記Siウェハを加熱する工程とを有し、前記単結晶Si領域の前記結晶方位が、前記単結晶Si領域の劈開面の面方位であり、かつ、前記光強度分布が前記Siウェハの表面と裏面とで異なることを特徴とする。

20

【発明の効果】

【0015】

以上詳説したように本発明によれば、基板を光により加熱し、基板中の不純物イオンを活性化する際に、基板中に発生するダメージを容易に防止することができる半導体装置の製造方法を実現できるようになる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態を説明する。

【0017】

（第1の実施形態）

図1は、本発明の第1の実施形態に係る半導体装置の製造工程を示す断面図である。

【0018】

まず、図1(a)に示すように、単結晶のSiウェハ（Si基板）1上にイオン注入用のマスク2が配置され、図示しない周知のイオン注入装置により、不純物イオン3がマスク2上からSiウェハ1内に注入される。

40

【0019】

ここでは、Siウェハ1は、通常バルクSiウェハでも、あるいはSOIウェハでも構わない。さらに、シリコンゲルマニウム等のシリコン以外の半導体材料を主成分とするウェハ（基板）を使用しても構わない。また、マスク2は、通常マスクでも、あるいはステンシルマスクでも構わない。不純物イオン3は、例えば、p型不純物としてはボロン（B）イオンが、n型不純物としてはリン（P）イオンあるいは砒素（As）イオンが用いられる。

【0020】

次に、図1(b)に示すように、Siウェハ1がホットプレート4上に載置され、Si

50

ウェハ1が裏面側から加熱された状態（予備加熱された状態）で、フラッシュランプ光源5から放射された光6により（フラッシュランプアニールにより）、Siウェハ1が表面側から加熱される。

【0021】

上記加熱プロセスにより、不純物イオン3が活性化され、図1(c)に示すように、Siウェハ1の表面に、20nm以下の浅い不純物拡散領域7が形成される。

【0022】

ホットプレート4によるSiウェハ1の加熱温度（基板予備加熱温度）は、例えば、400に設定される。加熱温度は400に限定されず、300～600の範囲であれば構わない。上記温度範囲であれば、所望通りの濃度プロファイルを有する不純物拡散領域7を容易に形成することができる。基板予備加熱温度は、一般には、フラッシュランプ光源5によるSiウェハ1の加熱温度よりも低く設定される。

10

【0023】

ここでは、Siウェハ1を裏面から加熱するために（予備加熱するために）、ホットプレート4（抵抗加熱手段）を使用した。が、赤外線ランプの一つであるハロゲンランプ等の加熱手段（光加熱手段）を使用しても構わない。

【0024】

フラッシュランプ光源5は、Xeガス等の希ガスが封入されたフラッシュランプを複数含む。フラッシュランプ光源5から放射された光6のエネルギーは、例えば、 35 J/cm^2 である。光6のエネルギーは 35 J/cm^2 に限定されず、 60 J/cm^2 以下であれば構わない。

20

【0025】

図2は、上記加熱プロセス時における、フラッシュランプ光源5を構成する複数のフラッシュランプ8とSiウェハ1の結晶方位9との関係を示す平面図である。Siウェハ1の結晶面は例えば(100)であり、結晶方位9はSiウェハ1の劈開面の面方位であり、例えば、 $\langle 011 \rangle$ である。

【0026】

図2から分かるように、本実施形態では、フラッシュランプ光源5とSiウェハ1との位置関係は、複数のフラッシュランプ8の配列方向（ランプ配列方向）10と結晶方位9とが異なるように設定される。本実施形態では、さらに、複数のフラッシュランプ8の長手方向も結晶方位9とは異なる方向に設定されるが、これは必ずしも必要ではない。

30

【0027】

一方、従来のフラッシュランプアニール法（比較例）では、図3に示すように、フラッシュランプ光源5とSiウェハ1との位置関係は、ランプ配列方向10（フラッシュランプ8の長手方向）と結晶方位9とが平行になるように設定される。

【0028】

図4は、ホットプレート4によるSiウェハ1の加熱温度（基板予備加熱温度）およびフラッシュランプ光源5によるSiウェハ1上の照射エネルギー密度に関する本実施形態のプロセスウィンドウを示している。図5は、基板予備加熱温度および照射エネルギー密度に関する比較例のプロセスウィンドウを示している。

40

【0029】

基板予備加熱温度が高くなるほど、不純物の活性化に必要な照射エネルギー密度は低く抑えられるが、同時にSiウェハ1内に熱ダメージ（スリップ、クラック）が発生する照射エネルギー密度も低くなる。

【0030】

ここで、Siウェハ1に熱ダメージが発生する照射エネルギー密度について、本実施形態と比較例とを比較すると、図4および図5から、いずれの基板予備加熱温度においても、本実施形態の方がより高いことが分かる。すなわち、本実施形態の方が比較例よりもプロセスウィンドウが広いことが明らかになった。

【0031】

50

一般に、ランプ加熱の場合、ランプ直下では光強度が強く、ランプ間では光強度が弱くなる傾向がある。そのため、ランプ直下とランプ間とは温度差が生じる。このような温度差によって、S i ウェハ 1 中に熱応力が発生する。

【 0 0 3 2 】

比較例の場合、上記熱応力は、基板強度の弱い結晶方位に沿って発生すると考えられる。これが、比較例では、S i ウェハ 1 内に熱ダメージが発生しやすくなる理由だと考えられる。

【 0 0 3 3 】

一方、本実施形態の S i ウェハ 1 とフラッシュランプ光源 5 との位置関係の場合、光 6 により S i ウェハ 1 上に形成される光強度分布が、S i ウェハ 1 の結晶方位と異なる方向において強度が最大となる光強度分布が形成される。

10

【 0 0 3 4 】

その結果、熱応力が発生する方向は、S i ウェハ 1 の結晶方位とはずれる。これにより、本実施形態では、基板強度を確保でき、スリップやクラック等の熱ダメージに対する S i ウェハの耐性が向上したと考えられる。

【 0 0 3 5 】

以上述べたように、本実施形態によれば、フラッシュランプアニールを行う際に、S i ウェハ 1 とフラッシュランプ光源 5 とを所定の位置関係に設定することにより、S i ウェハ 1 内に発生する熱ダメージを容易に防止することができる。すなわち、S i ウェハ 1 内に熱ダメージを招くことなく、浅い不純物拡散領域 7 を容易に形成することができる。

20

【 0 0 3 6 】

(第 2 の実施形態)

図 6 は、本発明の第 2 の実施形態に係る半導体装置の製造工程を示す断面図である。なお、前出した図と対応する部分には、前出した図と同一符号を付してあり、詳細な説明は省略する(第 3 の実施形態以降も同様)。

【 0 0 3 7 】

まず、図 6 (a) に示すように、S i ウェハ 1 上にパターンとなる被加工膜 1 1 が形成される。被加工膜 1 1 は、例えば、シリコン酸化膜等の絶縁膜、多結晶シリコン膜等の半導体膜、アルミニウム膜等の金属膜、あるいはフォトレジスト等のレジストである。

【 0 0 3 8 】

30

次に、図 6 (b) に示すように、被加工膜 1 1 が周知のフォトリソグラフィおよびエッチングにより加工され、複数のラインパターンを含むパターン 1 1 p が形成される。

【 0 0 3 9 】

このとき、パターン 1 1 p は、複数のラインパターンの配列方向(ラインパターン配列方向)と結晶方位 9 とが異なるように形成される。パターン 1 1 p は、例えば、ゲート絶縁膜等の絶縁体パターン、多結晶シリコンゲート電極等の半導体パターン、アルミニウム配線等の金属パターンあるいはレジストパターンである。

【 0 0 4 0 】

次に、図 6 (c) に示すように、第 1 の実施形態と同様に、フラッシュランプ光源 5 およびホットプレート 4 により、S i ウェハ 1 が加熱される。

40

【 0 0 4 1 】

図 7 は、上記加熱プロセス時における、ランプ配列方向 1 0 と結晶方位 9 とラインパターン配列方向 1 2 との関係を示す平面図である。図 7 から分かるように、本実施形態では、ランプ配列方向 1 0 は、結晶方位 9 およびラインパターン配列方向 1 2 と異なるように設定される。

【 0 0 4 2 】

S i ウェハ 1 の光吸収係数とパターン 1 1 p の光吸収係数とは異なるので、S i ウェハ 1 とパターン 1 1 p との間には温度差が生じる。その結果、パターン 1 1 p には熱応力が加わる。

【 0 0 4 3 】

50

しかし、本実施形態のように、ランプ配列方向10が、ラインパターン配列方向12および結晶方位9と異なる場合には、温度差が生じ難いことが明らかになった。

【0044】

したがって、本実施形態によれば、パターン11pを含むSiウェハ1の加熱プロセス中に、Siウェハ1中にスリップやクラック等の熱ダメージが発生することを防止することができる。

【0045】

なお、ランプ配列方向10とラインパターン配列方向12とは同じでも構わないが、異なる方がより高い熱ダメージの軽減効果が期待できる。

【0046】

(第3の実施形態)

図8は、本発明の第3の実施形態に係るMOSトランジスタの製造工程を示す断面図である。

【0047】

まず、図8(a)は、周知の方法により、Siウェハ1上に、ゲート絶縁膜21、ゲート電極22が形成される。

【0048】

次に、図8(b)に示すように、ゲート電極22をマスクにして、不純物イオン3がSiウェハ1の表面に注入される。

【0049】

次に、図8(c)に示すように、第1の実施形態の図1(b)の工程と同様に、Siウェハ1が加熱される(第1の加熱処理)。その結果、不純物イオン3が活性化され、エクステンション領域(第1の不純物拡散領域)24がSiウェハ1の表面に自己整合的に形成される。

【0050】

このとき、第1の実施形態と同様に、ランプ配列方向10と結晶方位9とが異なる方向に設定されるので、Siウェハ1中にスリップおよびクラック等の熱ダメージは発生せず、また、プロセスウィンドウも広がる。

【0051】

次に、図8(d)に示すように、周知の方法により、ゲート側壁絶縁膜(スペーサ)25が形成され、その後、ゲート側壁絶縁膜25およびゲート電極22をマスクにして、図示しない不純物イオンがSiウェハ1の表面に注入される。

【0052】

次に、図8(e)に示すように、第1の実施形態の図1(b)の工程と同様に、Siウェハ1が加熱される(第2の加熱処理)。その結果、上記不純物イオンが活性化され、ソース/ドレイン領域(第2の不純物拡散領域)26がSiウェハ1の表面に形成される。

【0053】

このとき、第1の実施形態と同様に、ランプ配列方向10と結晶方位9とが異なる方向に設定されるので、Siウェハ1中にスリップおよびクラック等のダメージは発生せず、また、プロセスウィンドウも広がる。

【0054】

さらに、第1の加熱処理時には、Siウェハ1またはフラッシュランプ光源5が回転され、第2の加熱処理時のランプ配列方向10が、第1の加熱処理時のフラッシュランプ8の配列方向とは異なる方向に設定される。これにより、第2の加熱処理時のフラッシュランプの照射により、Siウェハ1中に発生する熱応力の方向と、第1の加熱処理時のフラッシュランプの照射により、Siウェハ1中に発生する熱応力の方向とは互いに異なる。

【0055】

その結果、Siウェハ1中に累積する熱応力による負荷は、効果的に軽減される。これにより、2回の加熱処理を行う場合でも、Siウェハ1のスリップ、クラック等の熱ダメージに対する耐性を容易に向上させることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 6 】

3回以上の加熱処理を行う場合でも、各加熱処理におけるランプ配列方向10を互いに異なるように設定することにより、上記効果を得ることができる。

【 0 0 5 7 】

なお、必ずしも全ての加熱処理において、ランプ配列方向10が互いに異なっている必要はない。例えば、3回以上の加熱処理を行う場合、最初の加熱処理と最後の加熱処理とを同じにすることも可能である。これは、最初の加熱処理と最後の加熱処理とが時間的に離れ、これらの加熱処理の累積の影響が小さいからである。

【 0 0 5 8 】

本実施形態の複数回の加熱処理方法は、MOSトランジスタの不純物拡散領域（エクステンション領域24、ソース/ドレイン領域26）以外の不純物拡散領域の形成プロセス（アニールプロセス）に対しても有効である。さらに、不純物イオンのアニールプロセス以外の熱プロセスに対しても有効である。

10

【 0 0 5 9 】

また、複数のMOSトランジスタを形成する場合、複数のゲート電極22の配列方向は、結晶方位9およびランプ配列方向10と異なる方向に設定されることが好ましい（参照：第2の実施形態）。

【 0 0 6 0 】

（第4の実施形態）

図9は、本発明の第4の実施形態に係る半導体装置の製造工程を示す断面図である。

20

【 0 0 6 1 】

まず、図9(a)に示すように、Siウェハ1上にイオン注入用のマスク2が配置され、図示しないイオン注入装置により不純物イオン3がマスク2上からSiウェハ1内に注入される。

【 0 0 6 2 】

次に、図9(b)に示すように、Siウェハ1がホットプレート4上に載置され、Siウェハ1が裏面側から加熱された状態で、フラッシュランプ光源5から放射された光6により、Siウェハ1が表面側から加熱される。上記加熱プロセスにより、不純物イオン3は活性化され、不純物拡散領域が形成される。

30

【 0 0 6 3 】

ここで、Siウェハ1とフラッシュランプ光源5との間の距離（照射距離）Lは、23～46mmの範囲の値に設定される。フラッシュランプ光源5を構成する複数のフラッシュランプから発生される光のエネルギーは、実質的に同じレベルである。

【 0 0 6 4 】

23mm \leq L \leq 46mmに設定した理由は、以下の通りである。

【 0 0 6 5 】

図10は、Siウェハ1の面内における光6の強度の均一性と照射距離Lとの関係を示す図である。図11は、リップル幅/平均光強度と照射距離Lとの関係を示す図である。リップル幅は、フラッシュランプ直下のSiウェハ1表面の光強度D1と、隣接する二つのフラッシュランプ間の直下のSiウェハ1表面の光強度D2との差(D1 - D2)である。平均光強度はSiウェハ1表面上の光6の平均強度である。図10および図11は、Siウェハ1のサイズが8インチの場合の結果であるが、他のサイズでも同様の結果が得られた。

40

【 0 0 6 6 】

図10から、光強度面内均一性の値は、照射距離Lが23mmよりも短くなると増加し、また、照射距離Lが46mmより長くても増加することが明らかになった。さらに、図10から、23mm \leq L \leq 46mmの範囲で、光強度面内均一性の値は1%以下となることも分かる。= 1%以下という値は、スペック上、十分な値である

一方、図11から、リップル幅/平均光強度は、照射距離L = 30mm前後および69mm前後において、十分に低い値となる。しかし、照射距離L = 69mm前後では、光強

50

度面内均一性 の値は、図 10 に示すように、大きくなってしまふ。

【 0 0 6 7 】

したがって、照射距離 L を 2 3 m m 以上 4 6 m m 以下の範囲に設定することにより、光強度面内均一性 およびリップル幅 / 平均光強度の照射距離の依存性を同時に小さくすることができる。これにより、光強度面内均一性 およびリップル幅 / 平均光強度に起因した熱応力の影響が十分に小さくなり、スリップやクラック等の熱ダメージに対する S i ウェハの耐性は向上する。

【 0 0 6 8 】

また、本実施形態の不純物拡散領域 7 をソース / ドレイン領域に使用した M O S F E T で構成されたロジック回路の平均歩留まりを調べたところ、照射距離 L を 2 3 m m 以上 4 6 m m 以下の範囲に設定することにより、9 7 % を達成することができた。

10

【 0 0 6 9 】

なお、上記方法以外に、光強度面内均一性 およびリップル幅 / 平均光強度の照射距離の依存性を同時に小さくする方法として、S i ウェハ 1 とフラッシュランプ光源 5 との間に、光拡散板あるいは光強度フィルタを設ける方法もある。しかし、これらの方法には、以下のような問題がある。

【 0 0 7 0 】

フラッシュランプ光源 5 から放射された光 6 のエネルギーは、光拡散板あるいは光強度フィルタにより、S i ウェハ 1 に到達するまでに、減衰される。そのため、光拡散板あるいは光強度フィルタにより生じるエネルギーの減衰量に対応した分だけ、本実施形態よりも大きな電力（高い電圧）をフラッシュランプ光源 5 に供給する必要がある。これは、フラッシュランプ光源 5 を構成する複数のフラッシュランプの耐圧を劣化させ、フラッシュランプ光源 5 の寿命を縮めてしまうことになる。

20

【 0 0 7 1 】

これに対して、本実施形態によれば、光 6 のエネルギーの減衰はほとんど生じないので、S i ウェハ 1 を効率よく加熱することができる。これにより、フラッシュランプ光源 5 に大きな電力（高い電圧）を印加する必要がなく、フラッシュランプ光源 5 の短命化を防止することが可能となる。

【 0 0 7 2 】

なお、本実施形態の方法と第 2 の実施形態の方法とを組み合わせても構わないし、あるいは本実施形態の方法と第 3 の実施形態の方法とを組み合わせても構わない。

30

【 0 0 7 3 】

第 1 ~ 第 4 の実施形態では、加熱処理用の光源として、フラッシュランプを使用した例を示したが、ハロゲンランプ等の他のランプを使用することもでき、さらに、レーザー等のランプ以外の光源を使用することも可能である。

【 0 0 7 4 】

例えば、ライン状のビームを出射するレーザーを使用する場合には、第 1 ~ 第 4 の実施形態のランプ配列方向をレーザービームの長手方向と読み替えることによって、第 1 ~ 第 4 の実施形態と同様に実施することができ、第 1 ~ 第 4 の実施形態と同様の効果を得ることができる。

40

【 0 0 7 5 】

（第 5 の実施形態）

本実施形態の半導体装置の製造方法が、従来のそれと異なる点は、フラッシュランプ光源 5 の 1 / 2 パルス幅が所定値（1 m 秒）以下に設定されることにある。

【 0 0 7 6 】

まず、先の図 1 (a) に示すように、S i ウェハ 1 上にイオン注入用のマスク 2 が配置され、図示しないイオン注入装置により不純物イオン 3 がマスク 2 上から S i ウェハ 1 内に注入される。

【 0 0 7 7 】

次に、先の図 1 (b) に示すように、S i ウェハ 1 がホットプレート 4 上に載置され、

50

S i ウェハ 1 が裏面側から加熱された状態で、フラッシュランプ光源 5 から放射された光 6 により S i ウェハ 1 が表面側から加熱される。

【 0 0 7 8 】

ここでは、ホットプレート 4 による S i ウェハ 1 の加熱温度は、5 0 0 とする。ホットプレート 4 の代わりに、赤外線ランプの一つであるハロゲンランプ等の他の加熱手段を使用しても構わない。また、S i ウェハの加熱温度は、5 0 0 以外でも良い。

【 0 0 7 9 】

また、フラッシュランプ光源 5 から放射された光 6 のエネルギーは、例えば、2 0 ~ 4 0 J / c m² である。フラッシュランプ光源 5 の 1 / 2 パルス幅は、1 m 秒以下に設定される。

【 0 0 8 0 】

なお、本実施形態のフラッシュランプ光源 5 は、研究用に独自に開発されたものであり、従来のフラッシュランプ光源では不可能な 1 m 秒以下という短い 1 / 2 パルス幅が設定可能なものである。1 / 2 パルス幅を短くするには、フラッシュランプ光源の回路に接続されたコンデンサ容量を小さくすれば良い。例えば、数 1 0 0 μF のコンデンサをフラッシュランプに対して並列に接続すれば、1 m 秒以下の 1 / 2 パルス幅を達成できる。実際には、4 0 0 μF で 0 . 7 m s を達成できている。

【 0 0 8 1 】

図 1 2 に、本実施形態のフラッシュランプ光源 5 から放射された光 6 の発光波形を示す。本実施形態では、図 1 2 に示すように、1 / 2 パルス幅は 0 . 3 m 秒に設定される。図 1 2 には、比較例として、1 / 2 パルス幅が 3 . 0 m 秒に設定された場合の発光波形も示されている。

【 0 0 8 2 】

上記加熱プロセスにより、不純物イオン 3 は活性化され、先の図 1 (c) に示すように、S i ウェハ 1 の表面に、2 0 n m 以下の浅い不純物拡散領域 7 が形成される。

【 0 0 8 3 】

図 1 3 および図 1 4 は、それぞれ、本実施形態 (1 / 2 パルス幅 = 0 . 3 m 秒) および比較例 (1 / 2 パルス幅 = 3 m 秒) におけるフラッシュランプ照射後の各時間における S i ウェハ 1 の厚さ方向の温度分布を示す図である。

【 0 0 8 4 】

本実施形態の場合、フラッシュランプ照射後、S i ウェハ 1 の表面温度は急上昇し、約 0 . 3 m 秒後に最大 1 1 0 0 まで到達する。このとき、S i ウェハ 1 の裏面温度は、ホットプレート 4 による基板予備加熱温度によって支配される。その結果、S i ウェハ 1 の表面側と裏面側とで 6 0 0 近い温度差が発生する。

【 0 0 8 5 】

一方、比較例の場合、フラッシュランプ照射後、約 3 m 秒後に S i ウェハ 1 の表面温度は最大 1 1 0 0 に到達する。比較例の 1 / 2 パルス幅は、本実施形態の 1 / 2 パルス幅よりも長い。そのため、比較例のウェハ厚さ方向の温度分布は、本実施形態のそれと比べると緩やかになる。

【 0 0 8 6 】

図 1 5 および図 1 6 は、それぞれ、本実施形態および比較例におけるフラッシュランプ照射後の各時間における S i ウェハ 1 の厚さ方向に発生する応力を説明するための図であり、図 1 5 (a) は S i ウェハ表面を深さ 0 m m とする上記応力の分布図、図 1 5 (b) は S i ウェハ断面における上記応力を模式的に示す図である。本実施形態および比較例の基板予備加熱温度はともに 5 0 0 である。

【 0 0 8 7 】

なお、図 1 5 (a) および図 1 6 (a) のそれぞれにおいて、引っ張り応力を示す波形と応力 = 0 の直線とで規定される面積は、照射時間後の時間に関わらず、圧縮応力を示す波形と上記直線とで規定される面積に等しい。

【 0 0 8 8 】

10

20

30

40

50

本実施形態および比較例のいずれにおいても、フラッシュランプ照射後、Siウエハ1内には応力が成長する。該応力は、Siウエハ1の表面部分では圧縮応力として成長していき、Siウエハ1の内部から裏面部分にかけては引っ張り応力として成長していく。

【0089】

そして、本実施形態の場合、フラッシュランプ照射後、約0.3～0.5m秒に発生する応力が最大となり、最大引っ張り応力値は約40MPaになる。一方、比較例の場合、フラッシュランプ照射後、約3～5m秒に発生する応力が最大となる。

【0090】

また、圧縮応力から引っ張り応力へと変わる深さは、比較例の方が本実施形態よりも深い。言い換えれば、比較例の方が、本実施形態に比べて、よりSiウエハ1の裏面側に近い領域で、圧縮応力と引っ張り応力とのバランスが保たれる。したがって、本実施例の方が比較例よりもSiウエハの表面温度と裏面温度との差が大きいかかわらず、比較例の方が本実施形態よりも引っ張り応力の絶対値は大きくなる。比較例の場合、引っ張り応力は、最大で約120MPaにも及ぶ値にまで成長することになる。

10

【0091】

図17は、他の比較例(第2の比較例)の発光波形を示す図である。第2の比較例は、図12に示された比較例(第1の比較例)よりも、発光パルスの立ち上がり時間は短い、1/2パルス幅は3m秒で同じである。

【0092】

第2の比較例の応力分布および最大応力量を調べたところ、第1の比較例と同様の結果が得られた。この結果から、引っ張り応力の発生する深さを、よりウエハ表面側に移動させるためには、1/2パルス幅を短縮させることが必要であることが明らかになった。

20

【0093】

図18は、Siウエハの脆性破壊曲線を示す図である。図18から、Siウエハの引っ張り応力に対する強度は、Siウエハの加熱温度が高くなるほど、低下することが分かる。

【0094】

さらに、図15(本実施形態)および図16(比較例)の基板予備加熱温度である500において、Siウエハが破壊(スリップまたはクラック)しない最大の引っ張り応力値は、約100MPaであることが分かる。本実施形態の引っ張り応力は10～30MPa、比較例の引っ張り応力値は100～120であるので、本実施形態の方が比較例よりもSiウエハの破壊は起こり難いことになる。すなわち、本実施形態の方が比較例よりもプロセスウィンドウは広い。

30

【0095】

図19および図20に、それぞれ、基板予備加熱温度および照射エネルギー密度に関しての本実施形態および比較例のプロセスウィンドウを示す。

【0096】

基板予備加熱温度が高くなるほど、不純物の活性化に必要な照射エネルギー密度は低く抑えられるが、同時にSiウエハ1にスリップあるいはクラックが発生する照射エネルギー密度も低くなる。

40

【0097】

ここで、Siウエハ1中にスリップあるいはクラックが発生する照射エネルギー密度について、本実施形態と比較例とを比較すると、図19および図20から、いずれの基板予備加熱温度においても、本実施形態の方がより高いことが分かる。したがって、基板予備加熱温度が低く、1/2パルス幅が短くなるほど、プロセスウィンドウはより広くなると考えられる。

【0098】

以上述べたように、本実施形態によれば、フラッシュランプ光源5の1/2パルス幅を短く設定することにより、引っ張り応力値を小さくできる。これにより、Siウエハ1の熱応力耐性が向上するので、Siウエハ1中にスリップあるいはクラック等の熱ダメージ

50

を発生させることなく、Siウエハ1中に注入した不純物イオンを活性化させることができるようになる。すなわち、本実施形態によれば、プロセスウィンドウが広い不純物拡散領域のプロセスを実現することが可能となる。

【0099】

図21は、不純物拡散領域7をソース/ドレイン領域に使用したMOSFETのゲートリーク電流と1/2パルス幅との関係を示す図である。図では、簡単のために、横軸を1/2パルス幅ではなくパルス幅と表記してある(他の図も同様)。図21から、1/2パルス幅が1m秒以下になると、ゲートリーク電流は急低下し(スペック以下)、1/2パルス幅が0.5m秒以下になると、ゲートリーク電流はほぼ一定の低い値で安定化することが分かる。同様の結果は、本実施形態の不純物拡散領域7を使用したMOSキャパシタ

10

【0100】

図22は、不純物拡散領域7で構成されたpn接合の接合リーク電流と1/2パルス幅との関係を示す図である。図22から、1/2パルス幅が1m秒以下になると、接合リーク電流は急低下し(スペック以下)、1/2パルス幅が0.5m秒以下になると、接合リーク電流はほぼ一定の低い値で安定化することが分かる。

【0101】

図23は、上記MOSFETで構成されたロジック回路の歩留まりと1/2パルス幅との関係を示す図である。図23から、1/2パルス幅が1m秒以下になると、歩留まりは急上昇し、1/2パルス幅が0.5m秒以下になると、歩留まりはほぼ一定の高い値で安定化することが分かる。

20

【0102】

以上の結果から、1/2パルス幅は1m秒以下、より好ましくは0.5m秒以下に設定することにより、素子特性の改善および歩留まりを図れることが分かる。これは、1/2パルス幅を1m秒以下に設定することにより、上述したメカニズムにより、熱ダメージの原因となる引っ張り応力値が十分に小さくなるからだと考えられる。

【0103】

なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。例えば、上記実施形態を適宜組み合わせた実施形態も可能である。例えば、第5の実施形態を第1~4の実施形態に適用した実施形態も可能である。

30

【0104】

さらに、上記実施形態には種々の段階の発明が含まれており、開示される複数の構成要件における適宜な組み合わせにより種々の発明が抽出され得る。例えば、実施形態に示される全構成要件から幾つかの構成要件が削除されても、発明が解決しようとする課題の欄で述べた課題を解決できる場合には、この構成要件が削除された構成が発明として抽出され得る。

【0105】

その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施できる。

【図面の簡単な説明】

【0106】

40

【図1】本発明の第1の実施形態に係る半導体装置の製造工程を示す断面図

【図2】第1の実施形態の加熱プロセス時における、複数のフラッシュランプとSiウエハの結晶方位との関係を示す平面図

【図3】従来の加熱プロセス時における、複数のフラッシュランプとSiウエハの結晶方位との関係を示す平面図

【図4】基板予備加熱温度および照射エネルギー密度に関しての第1の実施形態のプロセスウィンドウを示す図

【図5】基板予備加熱温度および照射エネルギー密度に関しての比較例のプロセスウィンドウを示す図

【図6】本発明の第2の実施形態に係る半導体装置の製造工程を示す断面図

50

【図 7】第 2 の実施形態の加熱プロセス時における、ランプ配列方向と結晶方位とラインパターン配列方向との関係を示す平面図

【図 8】本発明の第 3 の実施形態に係る MOS トランジスタの製造工程を示す断面図

【図 9】本発明の第 4 の実施形態に係る半導体装置の製造工程を示す断面図

【図 10】第 4 の実施形態における、Si ウェハの面内における光の強度の均一性と照射距離 L との関係を示す図

【図 11】第 4 の実施形態における、リップル幅 / 平均光強度と照射距離との関係を示す図

【図 12】本実施形態および比較例のフラッシュランプの発光波形を示す図

【図 13】本実施形態におけるフラッシュランプ照射後の各時間における Si ウェハの厚さ方向の温度分布を示す図

10

【図 14】比較例におけるフラッシュランプ照射後の各時間における Si ウェハの厚さ方向の温度分布を示す図

【図 15】本実施形態におけるフラッシュランプ照射後の各時間における Si ウェハの厚さ方向に発生する応力を説明するための図

【図 16】比較におけるフラッシュランプ照射後の各時間における Si ウェハの厚さ方向に発生する応力を説明するための図

【図 17】他の比較例（第 2 の比較例）の発光波形を示す図

【図 18】Si ウェハの脆性破壊曲線を示す図

【図 19】基板予備加熱温度および照射エネルギー密度に関する第 5 の実施形態のプロセスウィンドウを示す図

20

【図 20】基板予備加熱温度および照射エネルギー密度に関する比較例のプロセスウィンドウを示す図

【図 21】第 7 の実施形態の不純物拡散領域で構成された MOS キャパシタのゲートリーク電流とパルス幅との関係を示す図

【図 22】第 7 の実施形態の不純物拡散領域で構成された pn 接合の接合リーク電流とパルス幅との関係を示す図

【図 23】第 7 の実施形態の不純物拡散領域で構成されたデバイスの歩留まりとパルス幅との関係を示す図

【符号の説明】

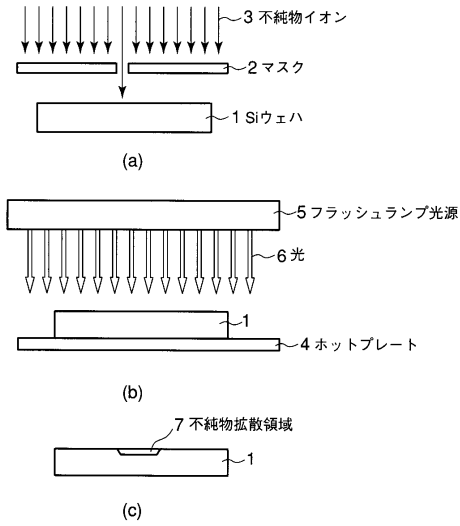
30

【0107】

1 ... Si ウェハ (Si 基板)、2 ... マスク、3 ... 不純物イオン、4 ... ホットプレート、5 ... フラッシュランプ光源、6 ... 光、7 ... 不純物拡散領域、8 ... フラッシュランプ、9 ... 結晶方位、10 ... ランプ配列方向、11 ... 被加工膜、11 p ... パターン、12 ... ラインパターン配列方向、21 ... ゲート絶縁膜、22 ... ゲート電極、24 ... エクステンション領域、25 ... ゲート側壁絶縁膜、26 ... ソース / ドレイン領域。

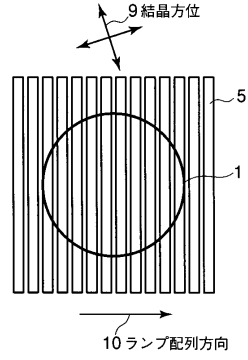
【 図 1 】

図 1



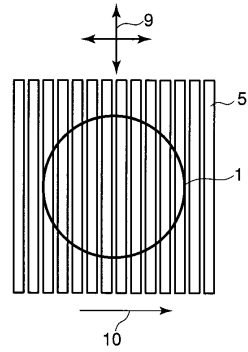
【 図 2 】

図 2



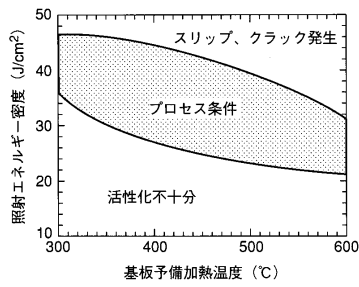
【 図 3 】

図 3



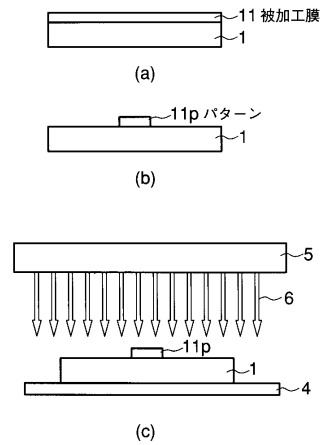
【 図 4 】

図 4



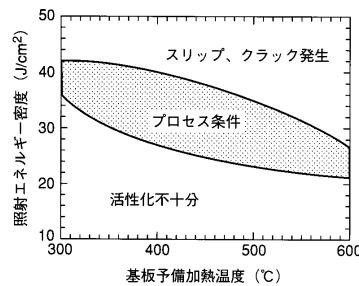
【 図 6 】

図 6



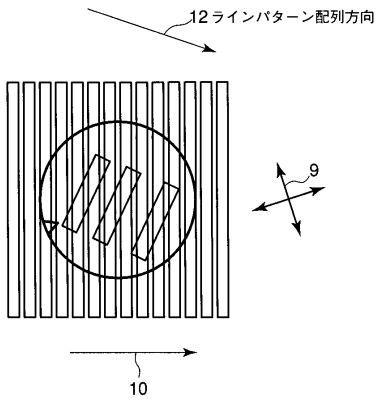
【 図 5 】

図 5



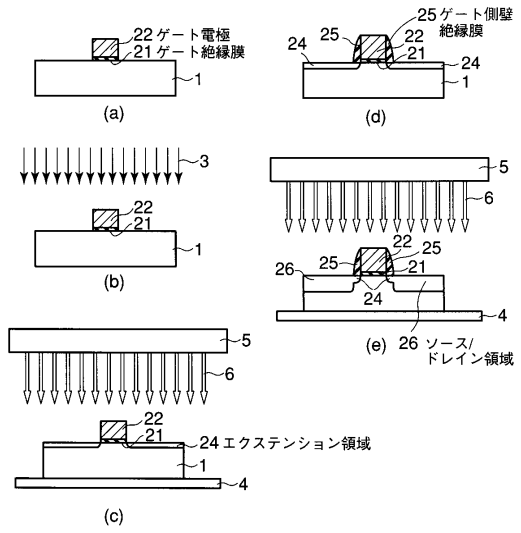
【図7】

図7



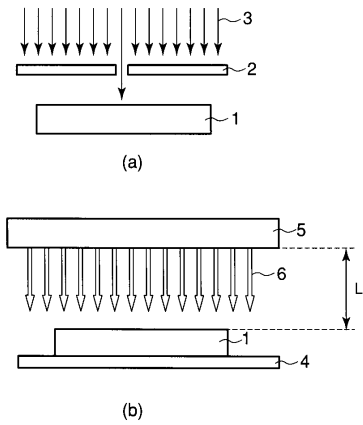
【図8】

図8



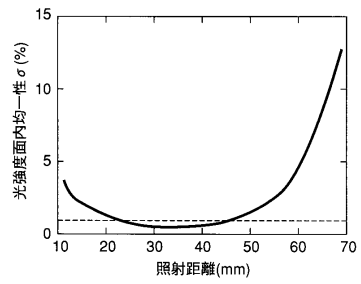
【図9】

図9



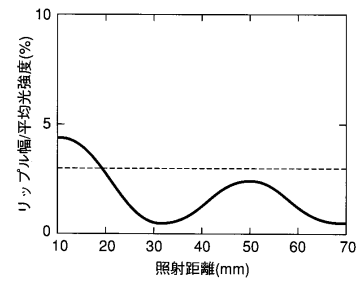
【図10】

図10



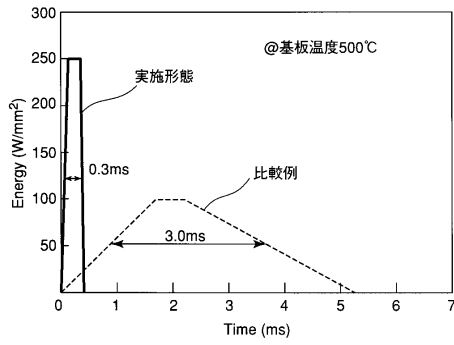
【図11】

図11



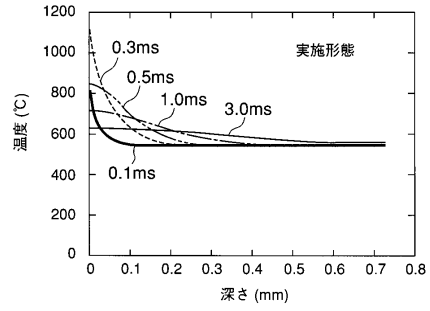
【図 1 2】

図 12



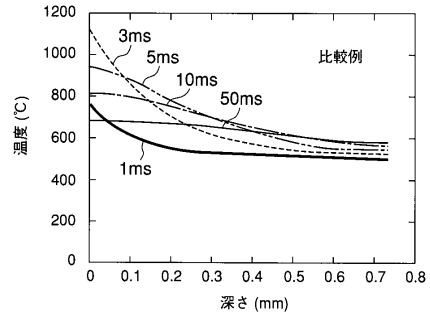
【図 1 3】

図 13



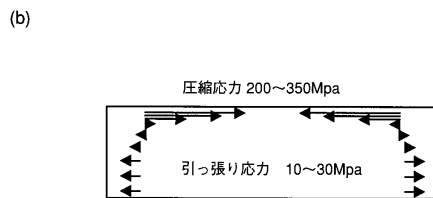
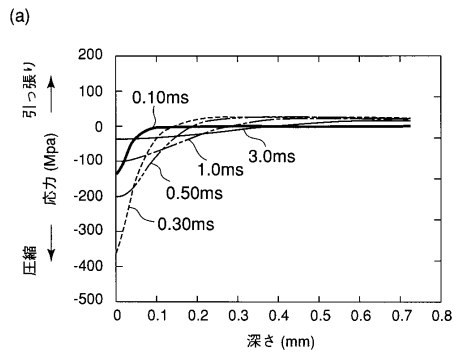
【図 1 4】

図 14



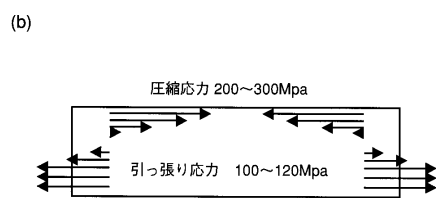
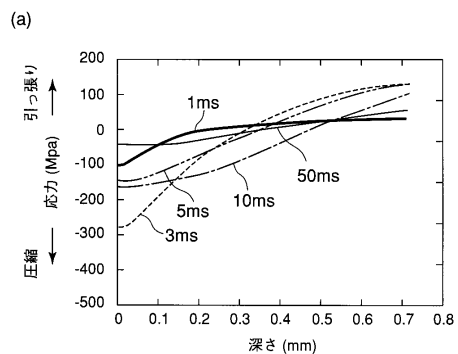
【図 1 5】

図 15

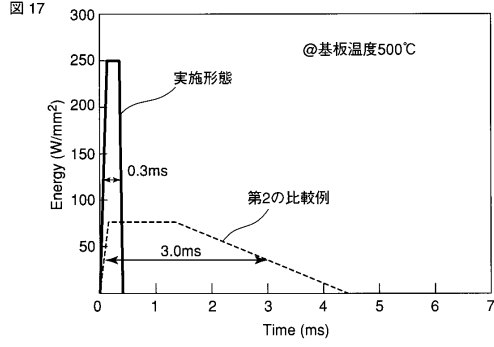


【図 1 6】

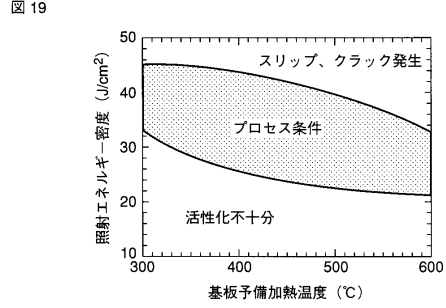
図 16



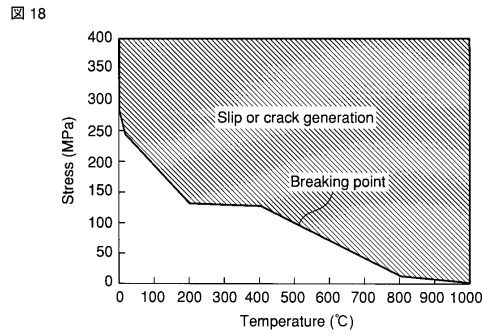
【図 17】



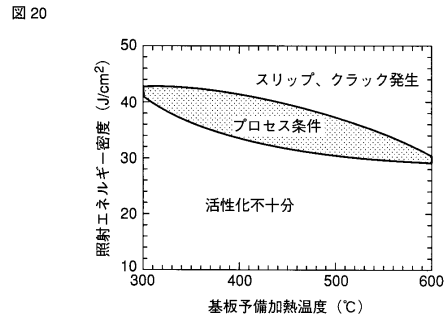
【図 19】



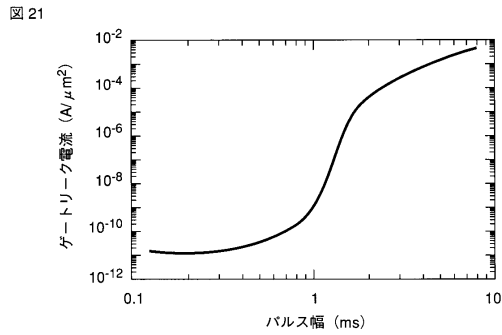
【図 18】



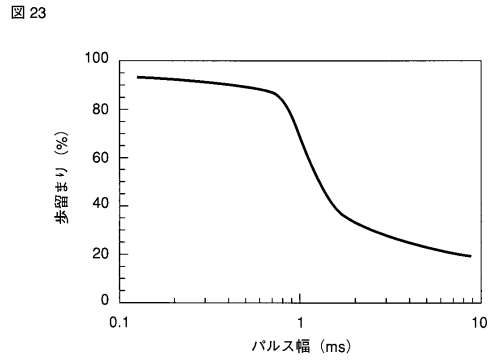
【図 20】



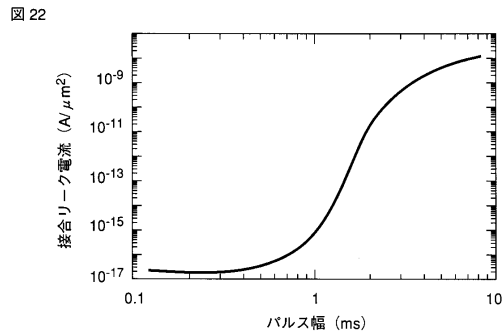
【図 21】



【図 23】



【図 22】



フロントページの続き

- (72)発明者 伊藤 貴之
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内
- (72)発明者 須黒 恭一
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

審査官 萩原 周治

- (56)参考文献 特開平08-288280(JP,A)
特開平10-139587(JP,A)
特開平10-189468(JP,A)
特開平02-185037(JP,A)
特開2002-246328(JP,A)
特開昭63-150911(JP,A)
特開昭63-241924(JP,A)
特開2003-209259(JP,A)
特開2001-237195(JP,A)
国際公開第99/041777(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/26 - 21/268
H01L 21/322 - 21/326
H01L 21/336
H01L 29/78