

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5738814号
(P5738814)

(45) 発行日 平成27年6月24日 (2015. 6. 24)

(24) 登録日 平成27年5月1日 (2015. 5. 1)

(51) Int. Cl.		F I			
HO 1 L	21/268	(2006. 01)	HO 1 L	21/268	Z
HO 1 L	21/26	(2006. 01)	HO 1 L	21/26	T
HO 5 B	6/68	(2006. 01)	HO 5 B	6/68	3 2 OM

請求項の数 12 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2012-200499 (P2012-200499)	(73) 特許権者	000003078
(22) 出願日	平成24年9月12日 (2012. 9. 12)		株式会社東芝
(65) 公開番号	特開2014-56927 (P2014-56927A)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43) 公開日	平成26年3月27日 (2014. 3. 27)	(74) 代理人	100108855
審査請求日	平成26年3月25日 (2014. 3. 25)		弁理士 蔵田 昌俊
		(74) 代理人	100109830
			弁理士 福原 淑弘
		(74) 代理人	100088683
			弁理士 中村 誠
		(74) 代理人	100103034
			弁理士 野河 信久
		(74) 代理人	100075672
			弁理士 峰 隆司
		(74) 代理人	100153051
			弁理士 河野 直樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロ波アニール装置及び半導体装置の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電磁波を遮蔽する筐体と、
前記筐体内にマイクロ波領域の第1の電磁波を供給する第1の電磁波源と、
前記筐体内に前記第1の電磁波よりも周波数の高い第2の電磁波を供給する第2の電磁波源と、
半導体基板の温度を測定するための温度計測器と、
前記温度計測器による測定温度を基に前記第1及び第2の電磁波源のパワーを制御する制御部と、
を具備し、
前記制御部は、前記測定温度が設定温度に達するまで前記第2の電磁波源をオンし、前記設定温度に達した後、前記第2の電磁波源をオフし、且つ前記第1の電磁波源をオンするマイクロ波アニール装置。

【請求項 2】

前記筐体内に設けられ、前記第1の電磁波に対して透明な材料で形成され、前記半導体基板を載置するためのサセプタをさらに具備し、
前記サセプタは、ガラスである請求項1に記載のマイクロ波アニール装置。

【請求項 3】

前記筐体内に設けられ、前記第1の電磁波に対して透明な材料で形成され、前記半導体基板を載置するためのサセプタをさらに具備し、

前記サセプタは、単結晶シリコンである請求項 1 に記載のマイクロ波アニール装置。

【請求項 4】

前記第 1 の電磁波は、周波数が 1 GHz ~ 45 GHz までのマイクロ波であり、前記第 2 の電磁波は、周波数が 3 THz ~ 17 THz までのテラヘルツ波である請求項 1 乃至 3 の何れかに記載のマイクロ波アニール装置。

【請求項 5】

前記第 1 の電磁波は、周波数が 1 GHz ~ 45 GHz までのマイクロ波であり、前記第 2 の電磁波は、周波数が 300 THz 以上の光である請求項 1 乃至 3 の何れかに記載のマイクロ波アニール装置。

【請求項 6】

前記サセプタは、前記第 1 の電磁波に対して透明な部材で形成された回転機構に取り付けられ、回転可能に設けられている請求項 2 又は 3 に記載のマイクロ波アニール装置。

【請求項 7】

半導体基板を収納し且つ電磁波を遮蔽する筐体内に、第 1 及び第 2 の電磁波をそれぞれ供給する第 1 及び第 2 の電磁波源と、前記半導体基板の温度を測定するための温度計測器と、前記温度計測器による測定温度を基に前記第 1 及び第 2 の電磁波源を制御する制御部と、を備えたアニール装置を用い、

前記半導体基板の前記測定温度が設定温度に達するまで、前記第 2 の電磁波源をオンし、前記第 1 の電磁波よりも周波数の高い前記第 2 の電磁波を、前記筐体内に供給する工程と、

前記測定温度が前記設定温度に達した後、前記第 2 の電磁波源をオフし且つ前記第 1 の電磁波源をオンし、マイクロ波領域の前記第 1 の電磁波を、前記筐体内に供給する工程と、

を具備する半導体装置の製造方法。

【請求項 8】

前記筐体内に設けられ且つ前記第 1 の電磁波に対して透明な材料で形成されたサセプタ上に、前記半導体基板は載置され、

前記サセプタは、ガラスである請求項 7 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 9】

前記筐体内に設けられ且つ前記第 1 の電磁波に対して透明な材料で形成されたサセプタ上に、前記半導体基板は載置され、

前記サセプタは、単結晶シリコンである請求項 7 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 10】

前記第 1 の電磁波は、周波数が 1 GHz ~ 45 GHz までのマイクロ波であり、前記第 2 の電磁波は、周波数が 3 THz ~ 17 THz までのテラヘルツ波である半導体装置の製造方法。

【請求項 11】

前記第 1 の電磁波は、周波数が 1 GHz ~ 45 GHz までのマイクロ波であり、前記第 2 の電磁波は、周波数が 300 THz 以上の光である半導体装置の製造方法。

【請求項 12】

前記サセプタは、前記第 1 の電磁波に対して透明な部材で形成された回転機構に取り付けられ、回転可能に設けられている請求項 8 又は 9 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】

本発明の実施形態は、三次元半導体装置の製造等に用いられるマイクロ波アニール装置と、この装置を用いた半導体装置の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体装置の回路の活性化を実現する方法として、マイクロ波アニールが注目さ

10

20

30

40

50

れている。マイクロ波アニールは、光アニールに比して低温（350～650）で活性化を行うことができるため、不純物の拡散を抑制でき、それによってリーク電流を下げる事が可能となる。さらに、マイクロ波は、光に比して波長が長い（数cm～数100cm）、多層型回路の最深層まで到達する。そのため、多層型回路の様な活性化を実現できる可能性が高い。以上より、マイクロ波アニールは、三次元半導体装置の製造プロセスとして期待されている。

【0003】

しかし、マイクロ波アニールによる活性化は、マイクロ波の周波数が1GHz以下になるとあまり起こらず、十分な活性化に必要な時間が長くなってしまふという実験的な事実がある。一方、電磁波の周波数を高くしていき、光の領域、例えば300THz以上（波長1μm以下に相当）にすると、低温活性化は起こらず、温度を1000以上にしなれば活性化されないという事実もある。この場合、不純物の拡散の影響が懸念される。

10

【0004】

これらの問題を解決するために、マイクロ波の周波数を最適な値にチューニングすることが考えられる。ところが、様々な種類の半導体基板は、各々、異なる量或いは異なる配置の非単結晶シリコンを有している。そのため、それぞれに対し、最適なチューニングをするのは極めて困難である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】米国特許出願公開第2009/0184399号明細書

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】B. Lojek, H. D. Geiler, "Investigation of Microwave Annealed Implanted Layers with TWIN Metrology System", RTP 2008 (16th IEEE International Conference), 2008

【非特許文献2】Hiroshi Ohno. et al, "Optical interference effect on chip's temperature distribution in the optical annealing process", RTP 2008 (16th IEEE International Conference), 2008

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

発明が解決しようとする課題は、半導体基板の種類に応じて装置をチューニングすることなしに、マイクロ波アニールによる低温活性化の効率（時間短縮及び活性化度大）の向上をはかり得るマイクロ波アニール装置、及びこの装置を用いた半導体装置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】

【0008】

実施形態のマイクロ波アニール装置は、電磁波を遮蔽する筐体と、前記筐体内にマイクロ波領域の第1の電磁波を供給する第1の電磁波源と、前記筐体内に前記第1の電磁波よりも周波数の高い第2の電磁波を供給する第2の電磁波源と、半導体基板の温度を測定するための温度計測器と、前記温度計測器による測定温度を基に前記第1及び第2の電磁波源のパワーを制御する制御部と、を含み、前記制御部は、前記測定温度が設定温度に達するまで前記第2の電磁波源をオンし、前記設定温度に達した後、前記第2の電磁波源をオフし、且つ前記第1の電磁波源をオンする。

40

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】第1の実施形態に係わるマイクロ波アニール装置を示す概略構成図。

【図2】図1の装置を用いたアニール方法を説明するためのフローチャート。

【図3】第2の実施形態に係わるマイクロ波アニール装置を示す概略構成図。

50

【図4】第3の実施形態に係わるマイクロ波アニール装置を示す概略構成図。

【図5】第4の実施形態に係わるマイクロ波アニール装置を示す概略構成図。

【図6】マイクロ波アニールを行った場合の、マイクロ波の周波数と吸収係数との関係を示す特性図。

【図7】温度を変えてマイクロ波アニールを行った場合の、マイクロ波の周波数と吸収係数との関係を示す特性図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

実施形態を説明する前に、マイクロ波アニールの低温活性化メカニズム、更には低温活性化効率を上げるための方法について説明する。

10

【0011】

まず、マイクロ波アニールの低温活性化メカニズムについて説明する。但し、マイクロ波アニールの低温活性化のメカニズムは未だ未解明であるため、ここでは、測定事実に基づいた低温活性化メカニズムの理論モデルについて説明する。

【0012】

半導体基板の材料となる単結晶シリコンはマイクロ波を殆ど吸収しないことが一般的に知られている。そのため、マイクロ波アニールにおいては、非単結晶シリコンが重要な役割を果たすと言える。実際、我々の測定により、非単結晶シリコンはマイクロ波に対し、非常に大きな誘電損失（複素比誘電率の虚数部）を有していることが分かった。

【0013】

図6に、半導体基板（シリコン基板上に各種回路が設けられており、一部に非単結晶シリコン部を有する）に対してマイクロ波アニールを行った場合の、周波数と吸収係数との関係を示す。ここで、測定結果から算出される吸収係数の周波数スペクトルを円（中抜き丸印）にて示している。図6中の横軸が周波数 [GHz] であり、縦軸が吸収係数 [1/cm] である。図6から、低周波数側にいくほど、吸収係数が小さくなることが分かる。つまり、低周波数側になるほど、マイクロ波があまり吸収されないため、アニールによる活性化が起こりにくいと言える。一方、高周波数側になるほど、吸収係数は大きくなる。但し、周波数が単結晶シリコン及び非単結晶シリコンのフォノン振動（3~17THz）に近付くと、吸収されたエネルギーが熱化する可能性が高く、低温活性化メカニズムは低周波数側に比べて働きにくいと考えられる。

20

30

【0014】

上で述べた測定結果より、低温活性化のメカニズムとして、非単結晶シリコンのダンダリングボンドによってダイポールモーメントが生じ、そのダイポールモーメントを持った“分子”が回転することによって結晶成長することが考えられる。ここで、分子とは、原子の集団（但し、原子1個の場合も含める）を示すことにする。

【0015】

一方、低温活性化が起こるという事実より、非単結晶シリコン中に吸収されたマイクロ波のエネルギーは、熱になる熱的成分以外に、熱を介さずに直接的に結晶成長に用いられる非熱的成分が存在するはずである。上記で述べた分子回転運動モデルを仮定すると、非熱的な結晶化は、マイクロ波の電場の振動と共鳴して分子回転を起こすことによって実現されることが考えられる。これより、非熱的成分によって低温での活性化が実現され

40

【0016】

熱的成分は、フォノン振動の共鳴周波数に近いマイクロ波により励起されやすく、非単結晶シリコンのフォノン振動の周波数は3THzから17THzまでである。一方、非熱的成分を励起する周波数は、少なくとも2~6GHzの範囲では低温活性化できるという実験的な事実より、熱的成分よりも低い周波数帯にあると考えられる。

【0017】

次に、低温活性化効率を上げるための方法について説明する。

【0018】

50

上記で述べたように、非単結晶シリコンは、分子回転運動による非熱的な結晶化を起こすと考えられる。分子回転運動の、熱や摩擦力による緩和を考えると、複素比誘電率は、デバイの誘電緩和による応答関数の形で書けることが知られている。複素比誘電率を ϵ とし、これを式で表わすと、

【数 1】

$$\epsilon \cong \epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_s - \epsilon_{\infty}}{1 + 2\pi f \tau_D} \quad \dots (1)$$

【0019】

となる。ここで、 ϵ_s は周波数が無限大での複素比誘電率の極限值であり、 ϵ_{∞} は周波数を 0 に近づけたときの複素比誘電率の極限值である。また、 f は電磁波の周波数であり、 i は虚数を示す。 τ_D は、誘電緩和時間を示し、

【数 2】

$$\tau_D = \frac{\zeta}{2k_B T} \quad \dots (2)$$

【0020】

で表わされる。ここで、 ζ は分子回転時の摩擦係数を示し、 k_B はボルツマン定数である。さらに、 T は媒質中（ここでは非単結晶シリコン）の温度を表す。

【0021】

また、複素比誘電率 ϵ 、及び光速 c を用いると、吸収係数 α_D は次のように書ける。

【数 3】

$$\alpha_D = \frac{4\pi \operatorname{Im}(\sqrt{\epsilon})}{c} f \quad \dots (3)$$

【0022】

ここで、 $\operatorname{Im}(\)$ は虚数部を表す。この式(3)に、式(1)を代入することにより、吸収係数が求まる。この式は、前記図6で示された測定結果に良く一致する。実際、複素比誘電率の周波数依存性について、理論から計算されたものを、図6に実測と同時に実線で示した。

【0023】

上で述べた式(3)を用いると、吸収係数の温度依存性を予測することができる。実際、図7に温度 T を幾つか振って、複素比誘電率を計算した結果を同時にプロットした。図7において、実線が温度 25 °C の場合であり、一点鎖線が温度 300 °C の場合であり、破線が温度 500 °C の場合である。図7から、温度が高いほど、吸収係数が大きくなることが分かる。このことにより、不純物の拡散を抑えられる程度に基板の温度を上げ、その上で、マイクロ波アニールをすればよいと言える。これにより、低周波数のマイクロ波でも、十分な活性化が期待できる。

【0024】

以上より、不純物の拡散を抑えられる程度に基板の温度を上げ、その上で、マイクロ波アニールを行うことで、アニールによる活性化の効率が高まり、活性化の向上及びアニール時間の短縮が期待できる。ここで、基板の温度を上げるために、低周波数のマイクロ波（例えば、1 GHz 以下）を用いるのは効率的ではない。何故ならば、非単結晶シリコンが非常に僅かしか存在しない場合、温度が低いとマイクロ波は殆ど吸収されず、半導体基板の温度がなかなか上昇しないからである。

【0025】

上記のような温度アシストをはかるための電磁波の周波数として、45 GHz 以上のマ

10

20

30

40

50

マイクロ波が考えられる。これは、図6及び図7より、吸収係数は実測では45GHzが最大であること、及び理論では45GHz以上において吸収係数が増大すること、の2つの理由による。

【0026】

また、基板温度を上げるために、非単結晶シリコンに対して吸収係数の大きなテラヘルツ波を用いるようにしてもよい。この場合、テラヘルツの周波数は、単結晶シリコン及び非単結晶シリコンのフォノン振動数である3THzから17THzにすればよい。或いは光を用いてもよい。光を用いた場合、非単結晶シリコンだけでなく、半導体基板の材料である単結晶シリコンも光を吸収するので、非単結晶シリコンが半導体基板内に僅かしか存在しない場合でも十分に温めることができる。この場合、周波数は、単結晶シリコン及び非単結晶シリコンに対して吸収係数大きい、300THz以上にすればよい。

10

【0027】

また、基板を載置するためのサセプタの上方にヒータを配置してもよい。この場合は、マイクロ波が筐体内に作る電磁場分布がヒータによって乱されることを考慮し、筐体の形状を調整することが必要となる。さらに、ヒータによるマイクロ波の吸収も考慮し、アニール中の基板の温度を記録しながら、温度を一定になるように制御する必要がある。それ故、ヒータよりも電磁波による温度アシストの方が望ましい。

【0028】

以下、実施形態について、図面を参照して説明する。

【0029】

20

(第1の実施形態)

図1は、第1の実施形態に係わるマイクロ波アニール装置を示す概略構成図である。

【0030】

本実施形態のマイクロ波アニール装置は、電磁波を遮蔽して内部に電磁波を閉じ込める筐体10と、筐体10内に電磁波を導入する第1及び第2の電磁波源21, 22と、筐体10内に設けられて半導体基板11を載置するサセプタ12とを備えている。さらに、半導体基板11の温度を測定する温度センサ13、電磁波源21, 22のパワーを制御する制御部31、及び制御部31を駆動する処理部32を備えている。

【0031】

第1の電磁波源21(EW1)は筐体10の上側に設けられており、この電磁波源21からは、マイクロ波領域の電磁波Aが半導体基板11の表面側に照射される。第2の電磁波源22(EW2)は筐体10の下側に設けられており、この電磁波源22からは、電磁波Aよりも周波数の高い電磁波Bが半導体基板11の裏面側に照射される。ここで、マイクロ波は筐体10内で反射するため、電磁波A, Bは直接照射されるもの以外に、筐体10内で反射したのも半導体基板11に照射されるようになっている。

30

【0032】

第1の電磁波源21としては、例えばマグネトロンを用いたマイクロ波発生装置を用いることができる。この場合、電磁波Aはマイクロ波であり、その周波数は例えば6GHzである。但し、電磁波Aの周波数はこれに限られるものではなく、1GHzから45GHzまでの範囲であればよい。

40

【0033】

第2の電磁波源22としては、例えばジャイロトロンを用いたマイクロ波発生装置を用いることができる。電磁波Bの周波数は、例えば45GHzである。但し、周波数はこれに限るものではなく、電磁波Aよりも高い周波数で半導体基板11を効率良く加熱できるものであればよい。例えば、テラヘルツ波でもよく、その周波数は、例えば3THzから17THzまでの範囲であればよい。

【0034】

なお、電磁波源21, 22の設置位置は、必ずしも第1の電磁波源21が上側で第2の電磁波源22が下側に限るものではなく、上下反転させることも可能である。さらに、上側又は下側に両方の電磁波源21, 22を設置することも可能である。

50

【 0 0 3 5 】

筐体 1 0 は、電磁波 A 及び電磁波 B を反射する材料、例えばステンレスで形成されている。但し、この限りではなく、アルミや銅などでもよい。

【 0 0 3 6 】

温度センサ 1 3 は、例えば放射温度計であり、筐体 1 0 内の下方に設けられている。この温度センサ 1 3 は、半導体基板 1 1 に向けられており、半導体基板 1 1 の温度を非接触で測定するものとなっている。なお、温度センサ 1 3 は、筐体 1 0 内の下方ではなく、筐体 1 0 内の上方に設けるようにしても良い。

【 0 0 3 7 】

サセプタ 1 2 は、電磁波 A の伝搬に悪影響を与えないために電磁波 A に対して透明であるのが望ましく、電磁波 B に対しては、透明でも不透明でもよい。従って、サセプタ 1 2 の材料としては、例えば単結晶シリコンを用いることができる。但し、材料はこれに限るものではなく、ガラスなどでよい。何れの材料であっても電磁波 A に対して透明である。

10

【 0 0 3 8 】

制御部 3 1 は、電磁波源 2 1 , 2 2 のそれぞれに接続されている。そして、制御部 3 1 により、電磁波源 2 1 と電磁波源 2 2 の、それぞれから照射される電磁波である、電磁波 A と電磁波 B の照射強度を各々独立に調整できると共に、各々独立に ON / OFF が可能となっている。

【 0 0 3 9 】

処理部 3 2 は、温度センサ 1 3 と制御部 3 1 に接続されている。この処理部 3 2 は、温度センサ 1 3 の測定値をリアルタイムで読み取り、それに応じて制御部 3 1 により電磁波 A と電磁波 B の照射強度をリアルタイムで調整できるようになっている。

20

【 0 0 4 0 】

なお、半導体基板 1 1 は基本的には単結晶シリコンであるが、この単結晶シリコン上には、各種の回路層が形成されており、このために非単結晶シリコンを材料とする領域が存在する。特に、アニールで活性化したい領域は、不純物ドーピングによって非単結晶化（アモルファス化）した領域となっている。

【 0 0 4 1 】

次に、図 2 のフローチャートを参照して本実施形態の装置を用いたアニール方法について説明し、更に本実施形態の作用効果について説明する。

30

【 0 0 4 2 】

まず、処理部 3 2 において、制御部 3 1 を通じ第 2 の電磁波源 2 2 をオンし、半導体基板 1 1 に対し、第 2 の電磁波源 2 2 から電磁波 B を照射する（ステップ S 1 ）。この電磁波 B の照射により、半導体基板 1 1 は効率良く加熱され基板温度が上昇する。電磁波 B を照射している間、処理部 3 2 が、温度センサ 1 3 の温度を読み取り、半導体基板 1 1 の温度 T をリアルタイムで測定する（ステップ S 2 ）。そして、処理部 3 2 において、半導体基板 1 1 の温度 T が設定温度 T ref（例えば 5 0 0 ）に達したか否かを判定する（ステップ S 3 ）。半導体基板 1 1 の温度 T が設定温度 T ref に達したことを確認したら、第 2 の電磁波源 2 2 をオフし、電磁波 B の照射を停止する（ステップ S 4 ）。ここで、半導体基板 1 1 の設定温度 T ref は 5 0 0 と限定されるものではなく、3 5 0 から 6 5 0 の範囲であればよい。

40

【 0 0 4 3 】

その後、第 1 の電磁波源 2 1 をオンし、電磁波源 2 1 から電磁波 A を照射する（ステップ S 5 ）。電磁波 A の照射では、半導体基板 1 1 の温度上昇は極めて小さいものである。なお、電磁波 A の照射による基板温度の上昇が問題になる場合は、電磁波 A の照射中も、処理部 3 2 によって温度センサ 1 3 の温度をリアルタイムで読み取る。そして、この温度が例えば 5 0 0 で一定となるように制御すればよい。このように温度を一定に保つ機構としては、窒素雰囲気中で筐体 1 0 内を満たし、その窒素雰囲気を循環させるようにすればよい。

【 0 0 4 4 】

50

以上のような処理を半導体基板 1 1 に対して行うことで、電磁波 B を照射しないで処理をする場合と比べ、電磁波 A に対する吸収係数を高めることができる。実際、電磁波 B を照射後（温度 5 0 0 ）の吸収係数は、前記図 7 を見ると、常温（2 5 ）の場合よりも 1 . 2 倍高くなるのが分かる。

【 0 0 4 5 】

もし、電磁波 B を照射しない場合は、電磁波 A のみで温度を 5 0 0 まで上げなければならない。吸収係数の比から算出すると、電磁波 B を照射することで、5 0 0 になるまでの時間が最大 2 . 6 倍短縮できる

一方、電磁波 B のみを照射し、電磁波 A を用いない場合、電磁波 B の周波数は非単結晶シリコンのフォノン振動の周波数に近いので、非単結晶に吸収されたエネルギーはほぼ熱化する。このような熱は不純物の拡散を促進させるため、回路の性能の劣化につながる。しかし、電磁波 B よりも周波数の短い電磁波 A を用いると、非熱的な効果が得られるため、低温活性化によるアニールを実現できる。

【 0 0 4 6 】

さらに、サセプタ 1 2 がガラスの場合、電磁波 B に対しても透明なことより、半導体基板 1 1 の裏側を電磁波 B で直接温めることができる。電磁波 B は電磁波 A に比べ波長が短いため、回路パターンによる吸収ムラが起こりやすい。そこで、このような構成をとることにより、半導体基板 1 1 の裏側には回路が無いので、回路パターンによる吸収ムラが起らない。

【 0 0 4 7 】

一方、サセプタ 1 2 が単結晶シリコンの場合、電磁波 B はサセプタ 1 2 を均一に温めることができる。サセプタ 1 2 と半導体基板 1 1 は熱的に接続されているため、半導体基板 1 1 が温まる。この場合も回路パターンによる吸収ムラの影響を受けない。

【 0 0 4 8 】

このように本実施形態によれば、半導体基板 1 1 を収容する筐体 1 0 に 2 つの電磁波源 2 1 , 2 2 を設け、周波数の高い第 2 の電磁波源 2 2 の駆動により半導体基板 1 1 を一定温度まで加熱した後、周波数の低い第 1 の電磁波源 2 1 の駆動により半導体基板 1 1 にマイクロ波を照射することにより、半導体基板 1 1 のアニール処理を行うことができる。そしてこの場合、半導体基板 1 1 の種類に応じて装置をチューニングすることなしに、マイクロ波アニールによる低温活性化の効率（時間短縮及び活性化度大）の向上をはかることができる。

【 0 0 4 9 】

また本実施形態では、半導体基板 1 1 を加熱するための機構として第 2 の電磁波源 2 2 を用い、更に半導体基板 1 1 を載置するサセプタ 1 2 を電磁波 A に対して透明に材料で形成している。このため、電磁波 A がサセプタ 1 2 や加熱機構で乱されること無しに、半導体基板 1 1 に均一に電磁波 A を照射できる利点もある。

【 0 0 5 0 】

（第 2 の実施形態）

図 3 は、第 2 の実施形態に係わるマイクロ波アニール装置を示す概略構成図である。なお、図 1 と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。

【 0 0 5 1 】

本実施形態が先に説明した第 1 の実施形態と異なる点は、第 2 の電磁波源 2 3 として、マイクロ波ではなく、電磁波 A よりも高周波数の電磁波 C、即ち赤外光を発生する装置を用いたことである。電磁波源 2 3 としては、例えばハロゲンランプを用いた光源でよい。電磁波 C のピーク波長は、例えば約 1 μm である。但し、電磁波 C のピーク波長はこれに限るものではなく、電磁波 A よりも短いものであればよい。

【 0 0 5 2 】

また、サセプタ 1 2 は、電磁波 A に対して透明であればよく、例えばガラスを用いることができる。これは、電磁波 C に対しても透明であり、従って電磁波 C により半導体基板 1 1 を直接温めることができる。これにより、半導体基板 1 1 の裏側には回路が無いので

10

20

30

40

50

、回路パターンによる吸収ムラが起こらない。

【0053】

このような構成において、前記図2に示した処理を行うことによって、電磁波Cを照射しないで処理をする場合と比べ、電磁波Aに対する吸収係数を高めることができる。これにより、アニールの効率を高めることができる。

【0054】

このように本実施形態によれば、第2の電磁波源23の駆動により半導体基板11を一定温度まで加熱した後に、第1の電磁波源21の駆動により半導体基板11にマイクロ波を照射することにより、半導体基板11のアニール処理を行うことができる。従って、先の第1の実施形態と同様の効果が得られる。また、第2の電磁波源23としてハロゲンランプ等光源を用いればよいことから、装置コストの低減をはかることも可能である。

【0055】

(第3の実施形態)

図4は、第3の実施形態に係わるマイクロ波アニール装置を示す概略構成図である。なお、図1と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。

【0056】

本実施形態が先の第1の実施形態と異なる点は、第2の電磁波源の代わりにヒータ機能を有するサセプタ40を用いたことにある。

【0057】

即ち、本実施形態においては、図1における第2の電磁波源22は存在せず、またサセプタ12も存在しない。そして、筐体10内には半導体基板11を載置するためのサセプタ40が設置されている。このサセプタ40は、半導体基板11を載置するように板状に形成され、それ自体がヒータ加熱できるようになっている。さらに、電磁波Aに対して透明であるのが望ましく、例えば石英基板の両主面に導電膜を、電磁波Aが十分に透過するほど薄く(電磁波Aの波長よりも十分に薄い)蒸着し、導電膜を通電加熱する透明ガラスヒータ或いは単結晶シリコンヒータを用いればよい。また、透明セラミック基板の両主面に導電膜を薄く蒸着した透明セラミックヒータを用いることも可能である。そして、サセプタ40のヒータ部分は制御部21に接続されている。

【0058】

このような構成においては、電磁波源31からの電磁波Aを照射する前に、サセプタ40のヒータによって半導体基板11の温度を500℃まで温める。その後、ヒータをオフし、電磁波源31をオンすることにより、半導体基板11に対するマイクロ波アニールを行う。

【0059】

以上のような処理を半導体基板11に対し行うことで、ヒータで予め加熱処理しない場合と比べ、電磁波Aに対する吸収係数を高めることができる。これにより、アニールの効率を高めることができる。

【0060】

従って、本実施形態においても第1の実施形態と同様の効果が得られる。また、サセプタ40として透明ガラスヒータ、単結晶シリコンヒータ、或いは透明セラミックヒータを用いることにより、サセプタ40で電磁波Aが散乱されるのを防止することができる利点もある。

【0061】

(第4の実施形態)

図5は、第4の実施形態に係わるマイクロ波アニール装置を示す概略構成図である。なお、図1と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。

【0062】

本実施形態が先の第1の実施形態と異なる点は、サセプタ12を回転可能にしたことである。即ち、サセプタ12は回転可能に設けられており、電磁波Aに対して透明な軸体51を介してモータ50に接続されている。そして、モータ50の駆動により、サセプタ1

10

20

30

40

50

2は回転するものとなっている。また、第2の電磁波源22は、筐体10の下側ではなく、第1の電磁波源21と同様に筐体10の上側に設けられている。

【0063】

このような構成であれば、先の第1の実施形態と同様に、電磁波源22をオンして電磁波Bの照射により基板11の温度を設定温度まで高めた後に、電磁波源22をオフし、電磁波源21をオンし、電磁波Aを基板11に照射することにより、第1の実施形態と同様の効果が得られる。

【0064】

また、サセプタ12を回転させることにより、電磁波A（マイクロ波）をより均一に半導体基板11に照射することができ、より均一なアニールが可能になる利点がある。

10

【0065】

（変形例）

なお、本発明は上述した各実施形態に限定されるものではない。

【0066】

第1の電磁波源は、必ずしもマグネトロンに限るものではなく、比較的低い周波数のマイクロ波（1～45GHz）を発生するものであればよい。第2の電磁波源は、第1の電磁波源よりも高い周波数の電磁波を発生するものであれば良く、マグネトロンはもとより、ジャイロトロン、赤外ランプを用いることができる。

【0067】

第1及び第2の電磁波源の設置位置は実施形態に何ら限定されるものではなく、筐体内に効率良く電磁波を供給できる位置であればよい。温度センサの設置位置も同様に、筐体の上方又は下方に限るものではなく、半導体基板の温度を効率良く測定できる位置であればよい。

20

【0068】

サセプタは、単結晶シリコンやガラスに限定されるものではなく、電磁波Aに対して透明な材料からなるものであればよい。

【0069】

本発明の幾つかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

30

【符号の説明】

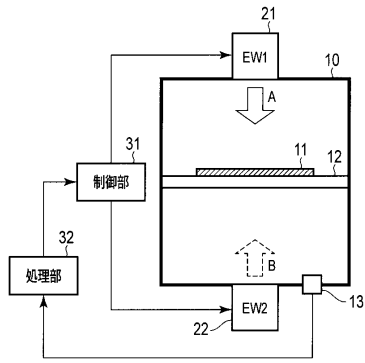
【0070】

- 10 ... 筐体
- 11 ... 半導体基板
- 12 ... サセプタ
- 13 ... 温度センサ
- 21 ... 第1の電磁波源（EW1）
- 22 ... 第2の電磁波源（EW2）
- 31 ... 制御部
- 32 ... 処理部
- 40 ... ヒータ機能を有するサセプタ
- 50 ... モータ
- 51 ... 軸体

40

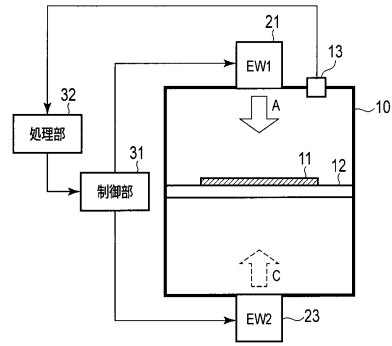
【図1】

図1



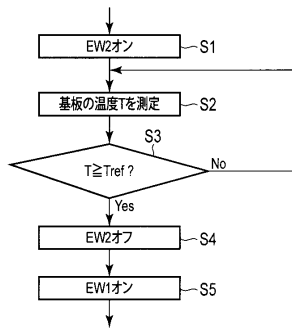
【図3】

図3



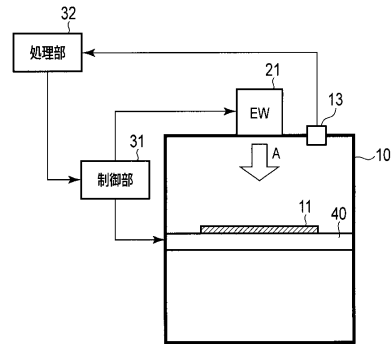
【図2】

図2



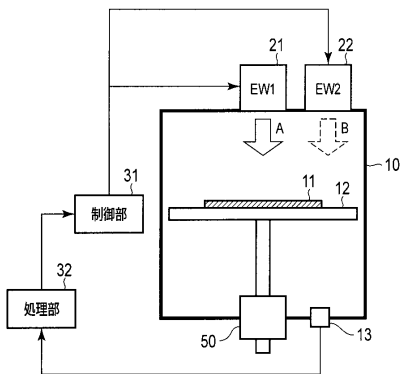
【図4】

図4



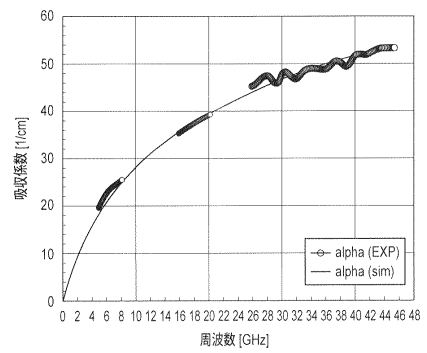
【図5】

図5



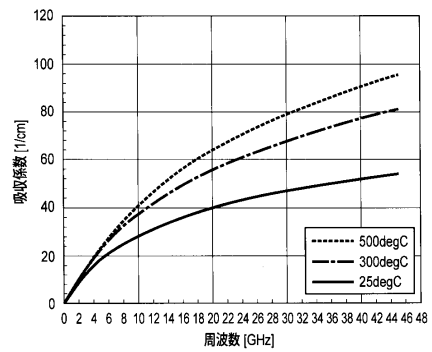
【図6】

図6



【図7】

図7



フロントページの続き

- (74)代理人 100140176
弁理士 砂川 克
- (74)代理人 100158805
弁理士 井関 守三
- (74)代理人 100172580
弁理士 赤穂 隆雄
- (74)代理人 100179062
弁理士 井上 正
- (74)代理人 100124394
弁理士 佐藤 立志
- (74)代理人 100112807
弁理士 岡田 貴志
- (74)代理人 100111073
弁理士 堀内 美保子
- (72)発明者 大野 博司
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 青山 知憲
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 宮野 清孝
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 本宮 佳典
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 白土 昌孝
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 豊田 直樹

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2009/0184399(US, A1)
特開2002-198322(JP, A)
特開2007-258286(JP, A)
特開2011-077408(JP, A)
米国特許第07589028(US, B1)
特開2011-077065(JP, A)
特開2003-007686(JP, A)
特開2003-059857(JP, A)
特開昭61-043417(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L21/268
H01L21/26
H05B 6/68