

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-536457

(P2004-536457A)

(43) 公表日 平成16年12月2日(2004.12.2)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H01L 21/265

F I

H01L 21/265 G02B

テーマコード (参考)

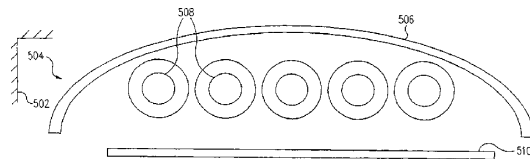
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 57 頁)

(21) 出願番号	特願2003-514597 (P2003-514597)	(71) 出願人	502194780
(86) (22) 出願日	平成14年7月18日 (2002.7.18)		ウェーハマスターズ・インコーポレイテッド
(85) 翻訳文提出日	平成15年3月20日 (2003.3.20)		WA FERMA STERS, INC.
(86) 国際出願番号	PCT/US2002/022716		アメリカ合衆国カリフォルニア州9511
(87) 国際公開番号	W02003/009350		2・サンノゼ・イーストギッシュロード
(87) 国際公開日	平成15年1月30日 (2003.1.30)		246
(31) 優先権主張番号	09/910,298	(74) 代理人	100089266
(32) 優先日	平成13年7月20日 (2001.7.20)		弁理士 大島 陽一
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	ヨー、ウー・シク
(81) 指定国	EP (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), JP, KR		アメリカ合衆国カリフォルニア州9430
			3・パロアルト・ステリングドライブ 3090

(54) 【発明の名称】 フラッシュアニール

## (57) 【要約】

本発明は、処理中に半導体ウエハまたは基板のアクティブ層を一様に加熱する方法及び制御可能に加熱する方法に関する。本発明は、放射エネルギー源を含んでもよく、それは反射/吸収表面によって概ね取り囲まれて封入されており、エネルギー源より発光される放射エネルギーを反射及び吸収する。本発明によれば、ウエハに見られるように結果的なエネルギー出力が概ね一様である。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板の高速熱処理のためのシステムであって、  
放射エネルギー源と、  
放射エネルギーを基板表面に衝突させる前記放射エネルギー源を概ね取り囲むリフレクタ  
とを含み、前記放射エネルギー源が前記基板のアクティブ層を瞬時に加熱するべくフラッ  
シュされるように構成されることを特徴とするシステム。

## 【請求項 2】

前記放射エネルギー源が、高輝度ランプを有することを特徴とする請求項 1 に記載のシス  
テム。

10

## 【請求項 3】

前記高輝度ランプが、冷却流体を含むフローチューブを有することを特徴とする請求項 2  
に記載のシステム。

## 【請求項 4】

前記高輝度ランプが、キセノンアークランプを有することを特徴とする請求項 2 に記載の  
システム。

## 【請求項 5】

前記放射エネルギーが、約  $0.5 \text{ J/cm}^2$  から約  $100 \text{ J/cm}^2$  の平均パワーを有す  
ることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

## 【請求項 6】

前記アクティブ層が、前記基板表面下の  $10 \text{ nm}$  から約  $1 \text{ mm}$  の部分を有することを特徴  
とする請求項 1 に記載のシステム。

20

## 【請求項 7】

前記アクティブ層の温度が、約  $500$  から  $1400$  であることを特徴とする請求項 1  
に記載のシステム。

## 【請求項 8】

概ね瞬間的な反応時間が、約  $1 \text{ ナノ秒}$  から約  $10 \text{ 秒}$  の間であることを特徴とする請求項 1  
に記載のシステム。

## 【請求項 9】

前記リフレクタが、金及び銀を含む一群より選択された材料によってコーティングを施さ  
れた内部表面を有することを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

30

## 【請求項 10】

前記リフレクタが、約  $900 \text{ nm}$  よりも短い波長を反射することを特徴とする請求項 1 に  
記載のシステム。

## 【請求項 11】

前記リフレクタが、平面、球形、放物線形、及び楕円形を含む一群より選択された形状を  
有することを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

## 【請求項 12】

前記放射エネルギー源が、複数の高輝度ランプを有することを特徴とする請求項 1 に記載  
のシステム。

40

## 【請求項 13】

前記リフレクタが、第 1 の焦点で前記放射エネルギーを焦点合わせし、前記第 1 焦点は前  
記基板の前記表面上に存在することを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

## 【請求項 14】

前記リフレクタが、第 1 の焦点で前記放射エネルギーを焦点合わせし、前記第 1 の焦点が  
放射エネルギービームを放って前記基板の前記表面に衝突させることを特徴とする請求項  
1 に記載のシステム。

## 【請求項 15】

前記基板が、非酸素環境で封入されることを特徴とする請求項 14 に記載のシステム。

## 【請求項 16】

50

基板の高速熱処理のためのシステムであって、  
室と、

前記室内部に配置された少なくとも１つの放射エネルギー源と、

前記少なくとも１つの放射エネルギー源を概ね取り囲むリフレクタアセンブリとを有し、  
前記リフレクタアセンブリが、約１ナノ秒から約１０秒の概ね瞬間的な時間に基板の表面上に衝当するように、第１の焦点で前記放射エネルギー源よりの放射エネルギーを焦点合わせするための反射表面を有し、前記概ね瞬間的な時間に約５００ から約１４００ の間で前記基板の前記アクティブ層の温度を上昇させることを特徴とするシステム。

【請求項１７】

前記第１の焦点が、前記基板の前記表面上に配置されることを特徴とする請求項１６に記載のシステム。 10

【請求項１８】

前記第１の焦点より発光されたエネルギー束が、前記基板の前記表面に衝当することを特徴とする請求項１６に記載のシステム。

【請求項１９】

前記放射エネルギー源が、キセノンアークランプを有することを特徴とする請求項１６に記載のシステム。

【請求項２０】

前記アクティブ層が、前記基板表面下の約１０ｎｍから約１ｍｍの部分有することを特徴とする請求項１６に記載のシステム。 20

【請求項２１】

基板の高速熱処理方法であって、

放射エネルギー源及びリフレクタを含む室を提供する過程と、

前記基板のアクティブ層を加熱するため、概ね瞬時に基板表面に衝当するように前記放射エネルギー源をフラッシングする過程とを含む方法。

【請求項２２】

前記放射エネルギー源が、高輝度ランプを有することを特徴とする請求項２１に記載の方法。

【請求項２３】

前記高輝度ランプが、冷却流体を含むフローチューブを有することを特徴とする請求項２２に記載の方法。 30

【請求項２４】

前記高輝度ランプが、キセノンアークランプを有することを特徴とする請求項２２に記載の方法。

【請求項２５】

前記放射エネルギーが、約０．５Ｊ／ｃｍ<sup>２</sup> から約１００Ｊ／ｃｍ<sup>２</sup> の間の平均的なパワーを有することを特徴とする請求項２１に記載の方法。

【請求項２６】

前記アクティブ層が、前記基板表面下の約１ｎｍから約１ｍｍの部分有することを特徴とする請求項２１に記載の方法。 40

【請求項２７】

前記アクティブ層の温度が、約５００ から１４００ の間であることを特徴とする請求項２１に記載の方法。

【請求項２８】

前記概ね瞬間的な時間が、約１ナノ秒から約１０秒の間であることを特徴とする請求項２１に記載の方法。

【請求項２９】

前記リフレクタが、金及び銀を含む一群より選択される材料でコーティングを施された内部表面を有することを特徴とする請求項２１に記載の方法。

【請求項３０】

前記リフレクタが、約 900 nm より短い波長を反射することを特徴とする請求項 21 に記載の方法。

【請求項 31】

前記リフレクタが、平面、球形、放物線形、及び楕円形を含む一群より選択された形状を有することを特徴とする請求項 21 に記載の方法。

【請求項 32】

前記焦点合わせ過程が、前記焦点合わせされた放射エネルギーのビームが前記第 1 の焦点より前記基板表面へと発光される過程を含むことを特徴とする請求項 21 に記載の方法。

【請求項 33】

基板の高速熱処理の方法であって、

10

放射エネルギー源とリフレクタとを有する室を提供する過程と、

第 1 の概ね瞬間的な持続時間に、第 1 の放射エネルギーに対して基板のアクティブ層を露出するべく、ピークとなるパワーレベルまで前記放射エネルギー源のレベルを上げる過程と、

その後、前記第 1 のパワーレベルより低い値に前記放射エネルギー源の第 2 のパワーレベルを維持し、第 2 の持続時間に、第 2 の放射エネルギーに対して、前記基板全体を露出させる過程とを有し、

前記第 1 の持続時間が約 1 ナノ秒から約 10 秒の間であり、前記第 2 の持続時間が約 0 秒から約 3600 秒の間であることを特徴とする方法。

【請求項 34】

20

前記放射エネルギー源が、高輝度ランプを含むことを特徴とする請求項 33 に記載の方法。

【請求項 35】

前記放射エネルギーが、約  $0.5 \text{ J/cm}^2$  から約  $100 \text{ J/cm}^2$  の間の平均的なパワーを有することを特徴とする請求項 33 に記載の方法。

【請求項 36】

前記アクティブ層が、前記基板表面下の約 1 nm から約 1 mm の部分を有することを特徴とする請求項 33 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

30

本発明は、2000 年 5 月 9 日の米国特許出願番号 09/568,450 の一部継続出願であり、ここに参照したことで本願の一部とする。

【0002】

(発明の所属する分野)

本発明は半導体製造装置に関し、さらに詳しくは半導体ウエハの高速熱処理システム及び方法に関する。

【0003】

(従来技術)

寸法の小さな半導体素子を製造するために、新規な処理及び製造技術が開発されてきた。新規の技術に要求される 1 つの重要ポイントは、半導体ウエハが処理中に高温度に晒される時間を短縮することである。このような要求に応えるために設計された 1 つの処理技術として、高速熱処理 (RTP) が既知である。高速処理技術は、典型的にはウエハの温度を瞬時に上昇させ、製造プロセスを良好に実行するのに十分な時間、その温度を維持する過程を有する一方で、高い処理温度で発生する所望としないドーパントの拡散のような問題を回避する。

40

【0004】

一般的に従来方式の RTP システムは、半導体ウエハ全体を加熱するために光源及びリフレクターを用いる。通常、光源はハロゲンランプのバンクであり、放射エネルギーを放出し、リフレクターによってウエハ上に焦点あわせをされる。

【0005】

50

従来方式のハロゲンランプベース R T P システムは、ウエハ表面上のアクティブ層にわたって一様な温度分布を達成しまた維持することに関して、少なからぬ欠点を有する。例えばハロゲンランプはフィラメントを有し、そのことで帯域の広い放射が生成される。フィラメントに対してより強い電力を供給することによって、ランプ強度が増加し得る。しかしシリコンウエハは短波長の有効バンドを用いることで加熱され、この帯域の外側波長に対してはトランスペアレントとなる。典型的なハロゲンランプ動作では、ランプよりの放射が有効波長のほとんど外側となってしまう。結果として適用される電力の多くが無駄になる。

#### 【 0 0 0 6 】

フィラメントタイプのランプに関する別の欠点は、通常は独立して制御不能な広い波長分布を生成することである。結果として、温度の揺らぎがウエハ表面に発生してしまい、そのことで高温（例えば 1 0 0 0 まで）で様々なランプ配置のウエハにおいて、結晶欠陥やスリップディислоケーション ( s l i p d i s l o c a t i o n ) を引き起こし得る。

10

#### 【 0 0 0 7 】

ハロゲンランプベースのシステムの欠点に対する 1 つの解決手段が米国特許番号 5 , 8 9 3 , 9 5 2 . に開示されている。前記明細書中では、高ワットレーザーにより生成された電磁線の帯域幅の狭いビームを用いてウエハの高速熱処理を行う装置が開示されている。ビームは薄い吸収フィルムを介してウエハに配向されており、フィルムはビームよりのほとんどのエネルギーを吸収し、次にウエハに熱を放射する。不運なことに、上記の装置は幾つかの制限及び欠点を有する。例えば薄膜のフィルムの厚さが正確に決定されなければならない。もし薄膜フィルムが薄すぎるとビームよりのエネルギーはウエハに直接透過されてしまい、また薄膜フィルムが厚すぎる場合フィルムは高速熱処理に十分な速度で過熱されない。フィルムは時間の経過によって質が下がらないように用いられ、また加熱時にスパッタリング、気泡、または脱ガスを起こしてはならず、そうでなければ結果として吸収が不均一となる。このような薄膜吸収フィルムのためには、薄膜フィルム材料が限定される。結果として、同一の R T P 装置によるウエハの加熱がそれぞれ異なりまた予測不可能になってしまい、そのことで時間と材料の双方を消費する。

20

#### 【 0 0 0 8 】

##### （ 発 明 の 要 約 ）

本発明は、処理中に半導体ウエハまたは基板のアクティブ層を一様にまた制御可能に加熱する方法に関する。本発明は、放射エネルギー源を含んでもよく、それは反射 / 吸収表面によって概ね取り囲まれて封入されており、エネルギー源より発光される放射エネルギーを反射及び吸収する。本発明によれば、ウエハに見られるように結果的なエネルギー出力が概ね一様である。都合の良いことに、結果として生じるエネルギーがウエハ表面のアクティブ層のみを加熱するべくウエハ上に一様に広がり得る。結果として生じるエネルギーがウエハの直径にわたりで一様であるので、顕著な加熱オーバーラップは存在しない。

30

#### 【 0 0 0 9 】

本発明によれば、結果として生じるエネルギーは非常に高い強度で提供され得り、そのようなわけで短い露出時間のみが基板のアクティブ層加熱に必要とされる。この過程は“フラッシュ”アニールプロセスと呼ばれており、それは基板アクティブ層を結晶化する過程、前記アクティブ層をドーピングする過程、またはアクティブ層を熱処理する過程とを含んでも良い。任意に、本発明が連続的な熱に対する露出を提供しても良く、そのことで基板のバルクが過熱されることを可能とする。

40

#### 【 0 0 1 0 】

本発明の一側面によれば、基板の高速熱処理のためのシステムが提供される。システムはリフレクタによって取り囲まれた放射エネルギー源を有し、放射エネルギーが基板表面に衝当し、基板のアクティブ層を加熱するようにする。基板表面は概ね瞬間的な反応時間の放射エネルギーによって衝当される。

#### 【 0 0 1 1 】

50

本発明は別の側面によれば、放射エネルギー源及びリフレクタを含む室が提供される過程と、第1の焦点で放射エネルギー源よりの放射エネルギーを焦点合わせし、概ね瞬間的に基板表面に衝突させて基板のアクティブ層を加熱する過程とを含んで提供される、基盤の高速熱処理方法が開示されている。

【0012】

本発明の更に別の側面において、高速熱処理の方法が開示されている。方法は、放射エネルギー源及びリフレクタを含む室を提供する過程と、放射エネルギー源のパワーレベルをピークレベルに上げて、第1の持続時間に第1の放射エネルギーに対し基板アクティブ層を露出させる過程と、前記第1のパワーレベルよりも低い前記放射エネルギー源の第2のパワーレベルを維持して、第2の持続時間に第2の放射エネルギーに対し基板全体を露出させる過程とを含む。

10

【0013】

本発明のシステム及び方法は基板表面のアクティブ層のみを加熱するのに用いられ得り、浅い接合、非常に浅い接合、及びソースドレインアニールのようなインプラントアニールアプリケーションに対して有用である。RTPシステム及び方法はまた、熱ドナー消滅、再結晶化、及び不純物ドーピングに効果的に用いられ得る。さらには半導体ウエハ全体が加熱処理の間に過熱される必要がないので、所望でない限り、RTPシステムで用いられる電力量が50kWhより低くされてよく、好適には約10kWhより低くされる。同様に、ウエハのアクティブ表面のみが加熱されるので処理時間も短縮され得る。

【0014】

20

本発明の別の特徴及び利点は、付随の図面と詳細な説明によって、より明確となる。

【0015】

(詳細な説明)

ここでは、用語“フラッシュ”は、当業者であれば、通常理解可能である意味合いで用いられている。この定義でフラッシュとは、約1ナノ秒から約10秒の持続時間で、突然に即ち概ね瞬時に(または瞬間爆発的に)光を放つことを意味する。

【0016】

図1A及び1Bは側面図及び平面図各々を概略的に示すものであり、本発明の代表的な周辺環境を確立させる半導体ウエハ処理システム10の一つの実施例を示すものである。ここに示したシステムは、1999年11月30日の米国特許出願番号09/451,677の同時継続出願において開示されており、ここに参照したことでその全てを本願の一部とする。処理システム10はローディングステーション12を有し、ローディングステーション12はロードロック18上及びその内部にウエハカセット16を支持しまた移動させるための複数のプラットフォーム14を有する。ウエハカセット16は、手動または無人搬送車(AGV)のいずれかでプラットフォーム14へと導入される、取り外し可能なカセットであって良い。ウエハカセット16は固定されたカセットであってもよく、ウエハは従来方式の大気ロボット(atmospheric robot)またはローダー(図示せず)を用いてカセット16上に導入される。ウエハカセット16がひとたびロードロック18内部に導入されると、ロードロック18及び輸送室20は大気圧に保たれ、またその他要素はポンプ50を用いた吸気によって真空状態へと圧が下げられる。輸送室20内部におけるロボット22はロードロック18に向かって回転し、カセット16よりウエハ24をピックアップする。通常大気圧または真空状態であってもよい反応装置すなわち温度処理室26はゲートバルブ30を介してロボット22よりウエハ24を受容する。また追加的な反応装置がシステムに追加されても良く、例えばそれは反応装置28である。ロボット22は次に収容され、続いてゲートバルブ30が停止し、ウエハ24の処理が開始される。ウエハ24が処理された後、ゲートバルブ30が開放され、ロボット22がウエハ24をピックアップして冷却ステーション60内部に配置できるようになる。冷却ステーション60によって、100以上の温度を有しうる処理されたばかりのウエハが、ロードロック18内部のウエハカセットへと戻されるまえの冷却が行われる。

30

40

【0017】

50

本発明によれば、反応装置 26 及び 28 は RTP 反応装置であって、それらは熱アニール、ドーパント拡散、熱酸化、窒化物形成、化学蒸着、及びそれらに類似する過程において用いられるものである。反応装置 26 及び 28 は通常水平に配置されるが、好適な実施例において、それらが垂直に配置され（即ち一方の上方に他方が積み重ねられる）ことで、システム 10 が占める床面積を最小化する。反応装置 26 及び 28 は輸送室 20 上にボルトによって固定され、更にはサポートフレーム 32 によって支持される。処理用のガス、クーラント、及び電氣的接続は、インターフェース 34 を用いることにより反応機の後面を介し、提供される。

#### 【0018】

図 2A は本発明の原理に基づく RTP 反応機システム 40 の一実施例を示すものである。この実施例において、反応機システム 40 は処理室 102 及びスキャナアセンブリ 200 を有する。スキャナアセンブリ 200 は処理室 102 に近接して配置されても良く、動作時はスキャナアセンブリが処理室内部に配置されたウエハを適切にスキャンする。

#### 【0019】

好適な実施例において処理室 102 は端部が閉止されたチューブ 103 を有し、空間 104 の内部を画定する。チューブ 103 はその内部に、典型的にはウエハ支持ポスト 106 を 3 本（そのうち 2 本が図示されている）を有し、シングルウエハ 108 を支持する。チューブ 103 の一端の開口（図示せず）が、処理の前後におけるウエハ 108 の導入及び排出のために、アクセスを提供する。穴は比較的小さな開口ではあるが、約 0.5 から 0.8 mm の厚さで、直径が最大 300 mm（～12 in.）のウエハ、及びロボット 22 のアームならびにエフェクタを収容するのに十分な大きさを有する。好適には、装置は約 18 mm から 22 mm、更に好適には 20 mm を超えない。穴のサイズが相対的に小さいことが、チューブ 103 より放射熱の失活を減少させるのに役立つ。

#### 【0020】

ウエハ 108 がロボット 22 を用いて導入及び除去されることで、チューブ 103 はリフトピン、アクチュエータ、及びそれに類似するもののようなウエハ 108 を位置決めする内部動作部品を必要としない。そのようなわけで、チューブ 103 がウエハ 108 の周囲に最小限の内積を有する状態で構成され得る。好適な実施例において、通常、内部空洞 104 の体積が約  $1.0 \text{ m}^3$  を超えることはなく、また更に好適には約  $0.3 \text{ m}^3$  を超えることはない。従って小さなチューブ体積によって、反応装置システム 40 が小型化されることが可能となり、結果としてシステム 10 が小型化され得り、必要床面積を小さくする。好適にはチューブ 103 は透明な水晶またはそれに類似するような物質によって生成される。

#### 【0021】

図 2A はまた、放射エネルギー源 202 に関して用いられ得るスキャナアセンブリ 200 を示し、それは半導体ウエハ 108 の高速熱処理を提供するものである。スキャナアセンブリ 200 は、アクチュエータ 204 を支持するハウジング 216 と、反射室 212 と放射アウトレットチャネル 214 とを有する。ハウジング 216 の外部寸法は、用途に応じて決定される。例えばハウジング 216 の長さはウエハ 108 の直径よりも少なくとも長くなり得る。

#### 【0022】

アクチュエータ 204 は、ウエハ 108 をスキャンするべくスキャナアセンブリ 200 を動作可能とするための従来方式の手段を提供する。アクチュエータ 204 は、前後のスキャン動作を提供するべく形成され、その動作はチューブ 103 のスキャン長さに渡り、矢印 206 及び 208 によって図 2A に示されている。アクチュエータ 204 は、これに限定するものではないが従来方式のドライバ及び動作伝達機構であるリニアモータ、ステッパモータ、液圧式動力伝達装置、及びそれに類似するもの、及びギア、滑車、チェーン、及びそれに類似するものを含んでも良い。

#### 【0023】

図 2A において示されている実施例中では、スキャナアセンブリ 200 は処理室 102 及

10

20

30

40

50

びチューブ 103 の双方の外部にマウントされても良い。スキャナアセンブリ 200 は光学ウィンドウ 210 上に配置され、それにより室 102 のスキャン長さにわたり提供され（即ち、少なくともウエハ 108 の直径よりは長い）、ハウジング 216 より放たれた放射エネルギーがチューブ 103 へ入るようにして、ウエハ 108 に衝突させることを可能とする。図 2B の別の実施例では、スキャナアセンブリ 200 a のスキャン動作が処理室 102 a の内部で実行されても良いが、チューブ 103 a の外部で実行され得る。スキャナアセンブリ 200 a は光学ウィンドウ 210 a 上に配置され、光学ウィンドウ 210 a はスキャン長さ（即ち少なくともウエハ 108 の直径よりも長い）に沿ってチューブ 103 a 上に形成されており、ハウジング 216 a より放出された放射エネルギーがチューブ 103 a 内部に入ることを可能とし、ウエハ 108 に衝突させる。

10

#### 【0024】

図 2C に示される更に別の実施例では、スキャナアセンブリ 200 b が処理室 102 b の外側に対してマウントされてもよく、さらに処理チューブが存在しない。この実施例において、スキャナアセンブリ 200 b は光学ウィンドウ 210 b 上に配置され、光学ウィンドウ 210 b は処理室 210 b のスキャン長さ（即ちウエハ 108 の直径よりも少なくとも広い）にわたり提供されており、ハウジング 216 b より放出された放射エネルギーがウエハ 108 上に衝突することを可能とする。

#### 【0025】

光学ウィンドウ 210（または 210 a）は放射エネルギーを透過することが可能などのような物質からなってもよく、好適には水晶が用いられる。ウィンドウ 210 は約 1 m

20

m から 5 mm の厚さを有し、またその直径はウエハ 108 よりも広い。

#### 【0026】

図 2A においてギャップ 213 として示されているようなウエハとスキャナアセンブリとの表面間距離が約 50 mm よりも長くないよう、スキャナアセンブリがチューブの内側もしくは外側のいずれに配置されるかが決定され、表面間距離は好適には約 10 mm から 25 mm が好ましい。ギャップ 213 が相対的に狭くなることで、ウエハ 108 にかかる温度 / 放射エネルギー分布の適切な制御を維持することができる。ギャップ 213 が広ければ、幾らかの放射エネルギーがウエハ 108 衝突前に失われうる。

#### 【0027】

図 2A において更に示されるように、ハウジング 216 内部には反射室 212 及び放射アウトレットチャネル 214 が設けられる。放射源 202 は反射チャンバー 212 内部に配置されており、典型的には概ね全ての広帯域放射が室の内部表面 218 上に衝突することを可能とする。ある実施例において、放射エネルギー源 202 は、ランプによる加熱操作における従来タイプの高輝度ランプであってよい。好適な実施例においては、放射エネルギー源 202 はフィラメントレスランプ、例えばキセノンアークランプである。典型的には本発明の好適なランプ 202 に要求される電力は 500 ワットから約 50 キロワットの間である。

30

#### 【0028】

ランプ 202 より放出されるエネルギーは、室 212 の内部表面 218 に衝突し、ある波長には高く反射的であり、別の波長に対しては吸収的、即ち非反射的である。1 つの実施例において、表面 218 は反射 / 吸収特性を有する材料によってコーティングされる。例えば表面 218 は金もしくは銀を用いてコーティングされても良く、ここで銀は更に保護コーティングをされても良く、例えばそれは SiN または他の透明コーティングであり、それにより銀の酸化を予防する。好適にはコーティングによって 900 nm よりも短い波長が反射され、約 900 nm から約 200 nm の間の平均波長を生成する。

40

#### 【0029】

室 212 は、所望の形状に作成されても良い。例えば図 2A において示されているように、室 212 が円形の室であっても良い。円形室 212 においては、光エネルギーは室 212 の中心部に焦点合わせされ、以下に示すように放射アウトレットチャネル 214 へと配向される。この実施例において、放射エネルギー源 202 は室 212 内の中心からずれて

50



いても良く、焦点合わせされた光エネルギーが熱エネルギー源 202 を超えないことを確実とする。図 3 は室 212 の別の実施例を示すものであり、楕円形の室が形成されても良い。楕円室 212 は 2 つの焦点合わせ位置を有する。エネルギー源 212 は第 1 の焦点合わせ位置 203 に位置決めされても良く、光エネルギーが第 2 の焦点合わせ位置 205 で焦点合わせされ、放射アウトレットチャネル 214 へと配向される。

#### 【0030】

ここで図 2 A に再び戻ると、狭い帯域のエネルギーが放射アウトレットチャネル 214 を介して室 212 より出ていく。放射アウトレットチャネル 214 は約 5 mm から 20 mm の長さであり、好適には約 10 mm であり、所望の経路に沿って放射エネルギーを適切に配向する。放射アウトレットチャネル 214 は、放射エネルギーのビーム 220 がハウジング 216 から出ていくように、チャネルの一端に形成された開口またはスリット 222 を有する。スリット 222 はビーム 220 を所望の形状にするために設計されたものであり、ウエハ 108 に焦点合わせされ得るエネルギーの最適量を達成するものである。好適な実施例において、スリット 222 が方形の開口であって良く、スキャナアセンブリ 200 の長さを延長して、長さがウエハ 108 の直径以上である。開口の大きさはエネルギーの量を最小化するのに十分に小さく、そのことがスリット開口における自然な分散を実現する。そのようなわけでスリット 222 は約 1 mm から 10 mm の幅を有し、好適には 2 mm である。ビーム 222 がウエハ 108 上でスキャンされると、ウエハ 108 の表面上に一樣な温度分布が生成され、ウエハのアクティブ層 224 を加熱する。

10

#### 【0031】

ここで図 2 A から図 2 D に戻ると、アクティブ層即ちデバイス層 224 はウエハ 108 の一部であり、深さ だけ 223 の表面より下側に延在している。深さ は典型的には約 0.05  $\mu\text{m}$  から 1 mm の間であるが、処理及び素子の特徴に応じて変化しても良い。アクティブ層 224 は例えばトランジスタ、ダイオード、レジスタ、及びキャパシタのような半導体素子が形成されるウエハの一部として半導体に関する一般的な知識を有する者の間で既知である。

20

#### 【0032】

アクティブ層 224 が加熱される温度が、ウエハ 108 でスキャナアセンブリ 200 が移動するスピードとランプ 202 に供給されるパワーとの間に関数であることをご理解いただきたい。実施例においてアクティブ層 224 の温度は約 500 から 1200 の間である。この温度に到達するためには、500 ワットから 50 キロワットの間で、スキャン速度は約 1 mm / 秒から約 100 mm / 秒の間で変化し得る。スキャン速度が遅くなればなるほど、パワーも少なくてよい。ある実施例において、ウエハ 108 はさらなる加熱を施されても良く、例えば約 300 まで予備加熱されても良く、アクティブ層 224 の処理が高温で開始されることで処理時間が短縮され、またエネルギーが節約される。

30

#### 【0033】

反応装置システム 40 を用いてアクティブ層 224 を加熱することで、アクティブ層 224 の拡散速度及び溶解度が増加する。そのようなわけで、浅くドーピングされた領域がアクティブ層 224 に生成され得る。アクティブ層をドーピングすることは、例えばホウ素、リン、窒素、砒素、 $\text{B}_2\text{H}_6$ 、 $\text{PH}_3$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{AsH}_3$ 、及び  $\text{NH}_3$  のようなドーピングコンパウンドの環境下で、約 500 から 1200 の間の処理温度にアクティブ層 224 をスキャンすることを含む。コンパウンド濃度は、例えば  $\text{H}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、及び  $\text{O}_2$  のようなキャリアガス、またはアルゴンもしくはヘリウムのような非反応ガスに対して約 0.1 % から約 100 % の割合であって良い。コンパウンドの濃度が高ければ高いほどドーピング処理がスピードアップされ、及び / またはアクティブ層のドーパント濃度を増加させる。

40

#### 【0034】

図 4 は本発明の更に別の実施例を示すものである。この実施例において、スキャナアセンブリ 300 は高強度パルスまたは連続波レーザー 302 を有し、半導体ウエハ 304 の高速熱処理を提供する。スキャナアセンブリ 300 はまた、レーザーエネルギー焦点合わせ

50

アセンブリ 306 及びアクチュエータ 308 を有する。スキャナアセンブリ 300 の構成要素は単一のハウジング内に封入されて良くよく、上記図 2 A の実施例と同様の方法で処理室 320 に対してマウント可能である。

【0035】

レーザー焦点合わせアセンブリ 306 は第 1 の焦点合わせレンズ 310、第 2 の焦点合わせレンズ 312、及びミラー 314 を有する。焦点合わせアセンブリは、レーザー 302 よりウエハ 304 へ、レーザーエネルギー 301 を焦点合わせさせる既知の従来的な方法で動作する。レーザー 302 よりのエネルギー 301 は、1  $\mu$ m より短い波長を有し得る。

【0036】

アクチュエータ 308 は、ウエハ 304 をスキャンするべく動作可能なスキャナアセンブリ 300 を作成するため、従来方法による手段を提供する。アクチュエータ 308 は矢印 316 によって図 4 に示されるようにウエハ 304 上で前後に動いてスキャン動作を行うために、レーザー 302 及び焦点合わせアセンブリ 306 移動させるために構成され得る。或いはミラー 314 のみがウエハ 304 のレーザー スキャンを行うべく移動させられても良い。さらに別の実施例においては、ウエハ表面をスキャンするために、ウエハ 304 が固定されたビーム 301 に対して動くようにされても良い。アクチュエータ 308 はこれに限定するものではないが例えばリニアモータ、油圧駆動装置またそれに類似するもの、及びギア、滑車、チェーン、及びそれに類似するもののような従来方式の駆動装置または動作変換機構を含んでも良い。ある実施例においてスキャナアセンブリ 300 は光学ウィンドウ 318 上に位置決めされ、処理室 320 のスキャン長さに沿って設けられるので、レーザーエネルギーを処理室 320 へ進入させウエハ 304 上に衝突させることが可能となる。ウィンドウ 318 はレーザーエネルギー 301 を伝達可能がどのような材料からなっても良いが、好適にはそれは透明な水晶である。ウィンドウ 318 は約 1 から 5 mm の厚さを有してもよく、少なくともウエハ 304 よりも広い直径を有する。

【0037】

図 5 A は本発明の原理に基づく RTP 反応装置システム 500 の実施例の簡略図である。この実施例において、反応システム 500 は処理室 502 及びリフレクタアセンブリ 504 を有する。リフレクタアセンブリ 504 はリフレクタ 506 及び放射エネルギー源 508 を含んで良い。リフレクタアセンブリ 504 はウエハ 510 に近接して処理室 502 内部に配置されて良く、動作時にリフレクタアセンブリ 504 がウエハ 510 を適切に処理するべく作成され得る。一実施例において、放射エネルギー源 508 はランプ加熱操作において従来用いられてきたタイプの高輝度ランプであってよい。この実施例において、放射エネルギー源 508 はキセノンアークランプ（以下“ランプ 508”と表記）のようなフィラメントレスランプである。ランプ 508 はウエハ 510 の直径に少なくとも等しい長さを有するチューブ形状のランプなどのような好適な形状のランプであっても良い。一実施例において、ランプ 508 はフローチューブ 512 によって取り囲まれてもよい。フローチューブ 512 は脱イオン水のような冷却流体 522 を含み得る。冷却流体 522 はランプ 508 が操作中にオーバーヒートしないように用いられる。例えば冷却流体はランプ 508 の温度を 100 より低く維持し、ランプ 508 のあらゆる水晶構成要素が溶けないようにする。別の実施例においては、冷却用流体 522 が非導電性のダイ (die) と混合されても良い。非導電性のダイは、フローチューブ 512 を介してランプ 508 よりのある波長のみを発散させないようにするためのフィルターとして作用し得る。

【0038】

図 5 B は別の実施例の簡略図であり、複数のランプ 508 がリフレクタ 506 に近接して配置されている。特定の処理に要求される所望の過熱レベルを達成するため、これらランプ 508 の数は任意である。

【0039】

図 5 A を再び参照するとリフレクタアセンブリ 504 はウエハ 510 とともに操作可能な配置をとる。リフレクタ 506 は内部表面 514 を有し、ある波長に高い反射性を有し、

10

20

30

40

50

また別のものに対しては反射性を有さず吸収的であり得る。一実施例において、内部表面 514 は金もしくは銀によってコーティングされても良く、ここで銀は更に SiN または透明なコーティングによって保護コーティングされて良く、そのことで銀の酸化を妨げる。コーティングは 900 nm より短い波長を効果的に反射し、約 900 nm から 200 nm の間で平均波長を生成する。別の実施例においては、内部表面は紫外線 (UV)、赤外線 (IR)、及び可視光線の全てのスペクトルにわたって高い反射性を有する。

#### 【0040】

リフレクタ 506 はどのような好適な形状で形成されても良い。例えばリフレクタ 506 は、平面、円形、楕円形、または放射型の形状であっても良い。ランプ 508 より光エネルギーはリフレクタ 506 の中心又は焦点で焦点合わせされ、ウエハ 510 へと配向される。ランプ 508 より発光され、リフレクタ 506 の内部表面 514 より反射された放射はウエハ 510 に衝突し、光線 516、518、及び 520 で簡潔かつ代表的に図示されているが、それによってウエハのアクティブ層 224 が加熱される (図 2D で参照された通りである)。

10

#### 【0041】

アクティブ層 224 が加熱される温度はランプ 508 に供給されるパワーとウエハ 510 上に衝突可能な放射エネルギーの時間の長さとの関数である。ある実施例において、アクティブ層 224 の温度は約 500 から約 1400 の間まで上昇し得る。それら温度に到達するには、ウエハ 510 がランプ 508 のフラッシュに対し晒されており、ランプ 508 が急激すなわち概ね瞬時に光エネルギーを放ち、例えばその持続時間が約 1 ナノ秒から 10 ナノ秒の間であって、パワーレベルは、 $0.5 \text{ J/cm}^2$  から約  $100 \text{ J/cm}^2$  の間である。

20

#### 【0042】

別の実施例では、ウエハ 510 がランプ 508 のフラッシュにさらされた後、ランプのパワーは第 2 のパワーレベルに維持され得り、例えばそれは約 100 ワットから約 500 キロワットの間である。ウエハ 510 は、ウエハ 510 の処理が完了するのに必要であるどのような長さの持続時間にわたって、第 2 のパワーレベルで露出され得る。ある実施例では、連続露出時間は約 0.05 秒から 3600 秒の間である。フラッシュアニールの間アクティブ層を過熱するのに加えて、連続する露出によってウエハ 510 の全体が加熱され得る。

30

#### 【0043】

ウエハ 510 は例えば 300 で予備加熱されても良く、アクティブ層 224 の処理がより高い温度で開始され、そのことで処理時間を短縮しエネルギーが節約される。

#### 【0044】

図 6 はリフレクタアセンブリ 504 の別の実施例を簡略に示したものである。この別の実施例において、リフレクタ 506 は楕円形に形成され、 $F_1$  及び  $F_2$  の 2 つの焦点を有する。ランプ 508 は焦点  $F_1$  に位置決めされ得り、エネルギーは内部表面 514 より反射し、光線 524 及び 525 によって示され、第 2 の焦点  $F_2$  で焦点合わせされる。ウエハ 510 は焦点  $F_2$  で配置され得り、エネルギーがウエハ 510 を処理するのに用いられ得る。

40

#### 【0045】

この実施例において、ウエハ表面全体が、 $F_2$  で焦点合わせされるエネルギーに対して露出するが、そのことは焦点  $F_2$  に対して相対的にウエハ 510 を移動させることで可能となる。例えば、アクチュエータ 526 がリフレクタアセンブリ 504 にウエハ 510 をスキャンさせるための従来方式の手段を提供するべく用いられても良い。アクチュエータ 526 は、ウエハ 510 及びリフレクタアセンブリ 504 のいずれかが前後に動作するスキャン動作を提供するために作動するべく構成されても良く、その動きはウエハ 510 において矢印 528 で示されるものである。

#### 【0046】

図 7 は本発明によるリフレクタアセンブリ 504 の別の実施例を示すものである。この実

50

施例においてリフレクタ 506 は楕円形状で形成され、2つの焦点  $F_1$  及び  $F_2$  を有する。ランプ 508 は焦点  $F_1$  において位置決めされており、エネルギーが内部表面 514 より反射され焦点  $F_2$  において焦点合わせされる。この実施例において、ウエハ 510 はリフレクタアセンブリ 504 よりの距離  $d_1$  及び  $d_2$  または焦点  $F_2$  よりの距離  $d_2$  でセットされる。距離  $d_1$  及び  $d_2$  はウエハ 510 が焦点  $F_2$  より放出されるビーム 533 の内部に完全に含まれるように選択される。光線 530 及び 532 によって画定されたビーム 533 はウエハ 510 の全体表面をカバーし、ウエハ 510 の全体表面がランプ 508 よりの反射エネルギーの概ね全てが同時にさらされ、ウエハ 510 を処理する。

#### 【0047】

図 8 は本発明によるリフレクタアセンブリ 504 の更に別の実施例を示す簡略図である。この実施例において処理室 502 は、リフレクタアセンブリ 504 を含み、それは第 2 の処理室 536 の外部にマウントされ得る。リフレクタアセンブリ 504 は室 502 及び 536 の間に提供される光学ウィンドウ 538 上に配置され得り、ランプ 508 より発光された放射エネルギーが第 2 の処理室 536 へと進入しウエハ 510 上に衝突する。光学ウィンドウ 538 は放射エネルギーの透過を可能とする好適には水晶のようなどのような材料で製造されても良い。ウィンドウ 538 は約 1 から約 5 mm の厚さを有しその直径はウエハ 510 よりも少なくとも大きいものであり得る。

10

#### 【0048】

第 2 の処理室 536 は、ポンプ 540 を用いるなどして真空にするべく引き込まれる。第 2 室 536 は、入り口 542 を介して非酸素ガス例えば  $N_2$  のようなものによって満たされても良い。真空もしくは非酸素ガス環境によって、ウエハ 510 の処理の間に、ランプ 508 よりの紫外線 (UV) 波長がウエハ 510 に到達しうることを確実にする。

20

#### 【0049】

水晶ウィンドウ 538 を有する第 2 の処理室 536 が図 7 のリフレクタアセンブリ 504 の実施例を用いて図示されているが、第 2 の処理室 536 及び水晶ウィンドウ 538 はここに記載された全ての実施例のリフレクタアセンブリ 504 と共に用いられても良い。処理室 502 及び 536 が単一の処理室であっても良いことはお分かりであろう。

#### 【0050】

図 9 A 乃至 9 D は本発明の実施例に基づく、ランプ 602 用の電源 600 を示す回路図である。図 9 A を参照すると、電源 600 はメイン回路 604 及び点灯回路 606 を有する。ある実施例においては、メイン回路 604 が点灯トランス 608 を有し、その第 1 の巻線 610 は電圧  $V_1$  で供給され、その第 2 の巻線 612 は電圧  $V_1$  のステップアップ値によってランプ 602 をつける。この実施例において、キャパシタ 614 は、直列な第 1 の巻線 610 及びコントロール可能なスイッチ 618 に対して平行に提供されている。キャパシタ 614 は所望のどのような静電容量であって良く、例えばそれは約  $10 \mu F$  から  $100 F$  の間である。スイッチ 618 は、例えばあらゆる好適なマニュアルスイッチであっても良く、電磁リレーまたはソリッドステート装置であっても良い。

30

#### 【0051】

この実施例において、キャパシタ 614 はレジスタ 616 とレジスタ 616 と直列なダイオード 620 に対して、平行に接続されても良い。キャパシタ 614 が充電されるとき、レジスタ 616 は電流リミッター及び/または擬似負荷として機能する。キャパシタ 614 は、供給電圧  $V_1$  がノード  $N_1$  及び  $N_2$  を通って活動化されるときに充電する。電圧  $V_1$  は、ダイレクトラインもしくは変圧アウトプットを介して供給される AC 電圧であり得る。電圧  $V_1$  は調整可能であって、また約  $200 V AC$  から  $1000 V AC$  の間の幅を有しても良い。

40

#### 【0052】

点灯回路 606 はパルススイッチ 622 を用いて点灯エネルギーを供給する。この目的で、点灯回路 606 は点灯トランス 608 の第 2 の巻線 612 に接続されて提供される。レジスタ 624 はダイオード 626 と直列関係にあり、第 2 の巻線 612 及びパルススイッチ 622 と直列に提供される。キャパシタ 628 はシャントレジスタ 630 に平行に接続

50

され、第2の巻線612とは直列に接続されている。キャパシタ628は約 $0.5\mu\text{F}$ から $100\mu\text{F}$ の間の所望の静電容量であって良い。キャパシタ628はノード $N_3$ 及び $N_4$ にかかる電圧 $V_2$ で充電され得る。電圧 $V_2$ はダイレクトラインもしくは変圧アウトプットを介して供給されるAC電圧であり得る。電圧 $V_2$ は調整可能であり、また約500VACから1000VACの幅を有しても良い。代替例としては、単純にノード $N_1$ 及び $N_2$ が電氣的にノード $N_3$ 及び $N_4$ と接続されて同一の電源を共有することもできる。

#### 【0053】

供給電圧 $V_1$ がノード $N_1$ および $N_2$ の間で適用されること可能とするべく、スイッチ618及び619が閉止されるような第1の回路604、及び点灯回路606の実施例が図9Bに示されており、キャパシタ614のレジスタ616を介して充電が行われる。同時に、ノード $N_3$ 及び $N_4$ の間で適用される電圧 $V_2$ を有するレジスタ624介して点灯回路606のキャパシタ628が充電される。

10

#### 【0054】

図9Cはキャパシタ614が所望の制限容量に充電された場合、スイッチ618及び619が開放され、キャパシタ614上の供給電圧 $V_1$ 効果無くし、電圧 $V_c$ が第1の巻線610を通してキャパシタ614より供給され得るような実施例を示している。インパルススイッチ622はキャパシタ628が放電するために閉止されても良く、電圧 $V_1$ が第2の巻線612に供給される。点灯トランス608の伝送速度に従って、電流束が第1の巻線610内にステップアップ電圧を生成しそれはランプ602を点灯するのに十分高い。

20

#### 【0055】

図9Dを参照すると、ひとたびランプ602が所望とするように点灯されたときスイッチ622が開放され、またスイッチ619がキャパシタ614がレジスタ616を介して供給される疑似負荷を介して放出され続けるべく閉止されても良い。このような構成では、点灯回路606のキャパシタ628はひとたびスイッチ622が開放されると再充電され始める。第1の回路604は、スイッチ618が閉止されることで再充電されても良い。

#### 【0056】

図10は図9A乃至9Dに記載された原理を用いて構成された電源回路700を示す実施例である。この実施例は電源回路700の汎用性を示すものである。図10を参照すると最も分かりやすいように、複数の第1回路706よりのキャパシタ708が互いに積層され、電源700のチャージ容量を増加させるべく互いに関連づけられて用いられている。積層されたキャパシタ708は第1のラック709を形成する。各々の第1回路706は、スイッチもしくはリレー707の閉止によって互いに接続され得る。電圧のキャパシタが増加するにつれて、複数のキャパシタラック例えば第2のラック711及び第3のラック713がスイッチ714のセットを介して第1のラック709と平行に接続されても良い。ラック709、711、及び713はキャパシタンスを変化させるべく共に使用されても良く、ランプ602に対して供給されるパワーレベルを変化させる。

30

#### 【0057】

図10は電源700の追加的な汎用性も示している。例えばAC電源702が、約200VACから約1000VACの間に広がる可変電圧を提供するべく構成されても良い。加えて第1の回路のレジスタ704がハロゲンランプもしくはそれに類似する装置であってても良く、このことが回路におけるキャパシタが充電されまたは放電されることを視覚的に示す手段を提供すると共に、熱エネルギーを拡散させるべく用いられても良い。

40

#### 【0058】

図11はランプ602の連続的な通電を可能とする追加的能力を有する図9A乃至9Dに記載された原理に基づく電源回路800の実施例である。従って、電源回路800はランプ602の放射エネルギーに対するフラッシュ露出を提供しても良く、それはランプ602の放射エネルギーに露出される連続構成要素によって追従される。電源回路800は電源回路802を有し、ここでスイッチ804及び806は閉止された場合に、閉止供給電圧 $V_1$ がノード $N_1$ 及び $N_2$ の間に提供され、キャパシタ810のレジスタ808を介し

50

た充電を開始する。同時に、点灯回路 8 1 4 のキャパシタ 8 1 2 がレジスタ 8 1 6 を介して充電される。ダイオード 8 1 8 のセットは、DC 電圧を AC 電圧に変換するべく提供されている。キャパシタ 8 1 0 及び 8 1 2 が所望の容量にチャージされる場合、スイッチ 8 2 0 が閉止され第 1 の巻線 8 2 2 を通ってキャパシタ 8 1 0 より電圧  $V_2$  が供給されるようにする。インパルススイッチ 8 2 4 が閉止されても良く、キャパシタ 8 1 2 が放電可能となり、電圧  $V_3$  が第 2 の巻線 8 2 6 に供給される。点灯トランス 8 2 6 の伝送速度に従って、電流がランプ 6 0 2 を点灯させるのに十分高いステップアップ電圧を第 1 の巻線 8 2 2 に生成する。ひとたび点灯スイッチ 8 2 4 が開放されると、電圧  $V_2$  は第 1 の巻線に残り、ランプ 6 0 2 をエネルギー化されたままにし、そのようなわけで放射エネルギーアウトプットを生成する。このような方法で、放電時間が制御される。

10

**【0059】**

本発明は加熱目的でハロゲンランプを用いる RTP システムの多くの欠点を克服するものである。例えば、フィラメントタイプのハロゲンランプは帯域幅の広いエネルギーを生成するが、その多くはウエハのアクティブ層を加熱することには用いられ得ない。フィラメントタイプのランプにおける利用可能な波長を増加させるために、ランプに対するパワーを増加させる。運の悪いことに、電力におけるこのような増加はピーク強度をシフトさせてしまう。本発明に用いられているアークランプは、パワーの増加に伴ってピーク強度をシフトさせることなく、かつ波長の利用可能帯域におけるピーク強度で動作するようにしたものである。結果として追加された電力がアクティブ層でより効果的に消費される。

**【0060】**

20

本発明について特殊な実施例について記述してきたが、これらは例示的なものであって、本発明をこれに限定するものではない。更に、特許請求の範囲及び発明の詳細に属する変形及び変更は、全て本発明の範囲内に含まれる。

**【図面の簡単な説明】****【図 1 A】**

本発明の代表的環境を確立する半導体ウエハ処理システムの一実施例の平面図である。

**【図 1 B】**

本発明の代表的環境を確立する半導体ウエハ処理システムの一実施例の側面図である。

**【図 2 A】**

本発明の原理に基づく RTP 反応装置システムを示す簡略図である。

30

**【図 2 B】**

本発明の別の実施例に基づく RTP 反応装置システムを示す簡略図である。

**【図 2 C】**

本発明の別の実施例に基づく RTP 反応装置システムを示す簡略図である。

**【図 2 D】**

本発明の原理に基づく半導体ウエハのアクティブ層を示す簡略図である。

**【図 3】**

本発明による放射室の実施例を示す簡略図である。

**【図 4】**

本発明の別の実施例を示す簡略図である。

40

**【図 5 A】**

本発明によるフラッシュアニールシステムの実施例を示す簡略図である。

**【図 5 B】**

本発明によるフラッシュアニールシステムの実施例を示す簡略図である。

**【図 6】**

本発明による図 5 のフラッシュアニールシステムと共に用いられる、リフレクタアセンブリを示す簡略図である。

**【図 7】**

本発明による図 6 のリフレクタアセンブリの別の実施例を示す簡略図である。

**【図 8】**

50

本発明による図 6 のリフレクタアセンブリの別の実施例を示す簡略図である。

【図 9 A】

本発明の実施例によるランプ点灯電源の回路図である。

【図 9 B】

本発明の実施例によるランプ点灯電源の回路図である。

【図 9 C】

本発明の実施例によるランプ点灯電源の回路図である。

【図 9 D】

本発明の実施例によるランプ点灯電源の回路図である。

【図 1 0】

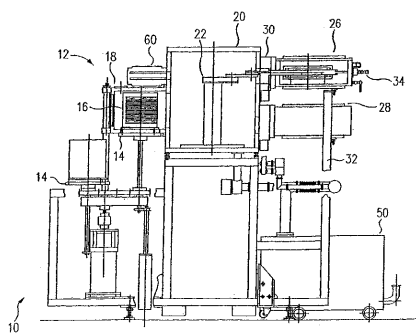
本発明の原理に基づく電源回路の実施例である。

【図 1 1】

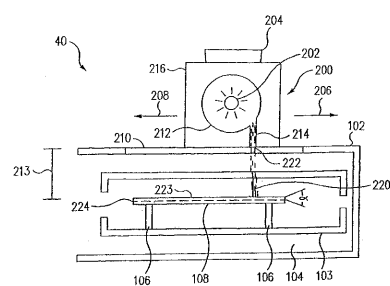
本発明の原理に基づく電源回路の実施例である。

10

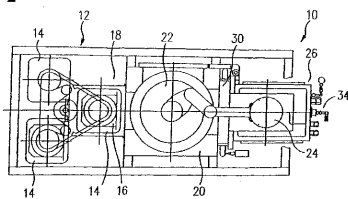
【図 1 A】



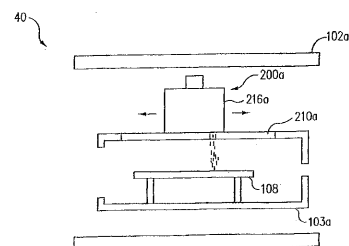
【図 2 A】



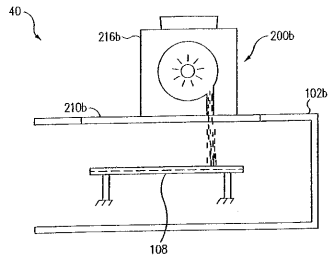
【図 1 B】



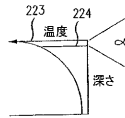
【図 2 B】



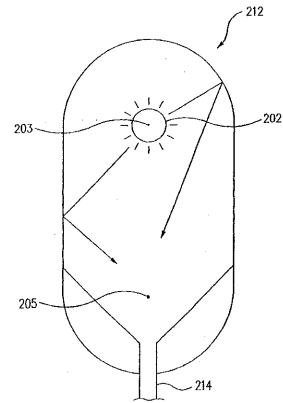
【図 2 C】



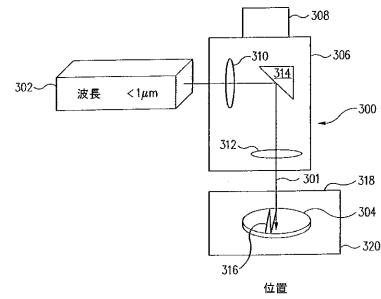
【図 2 D】



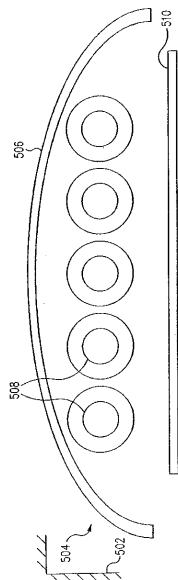
【図 3】



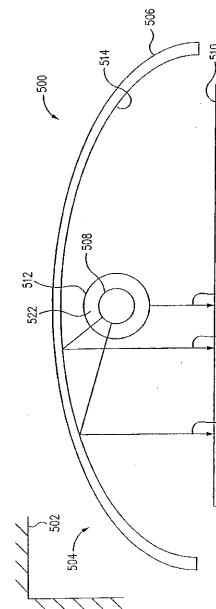
【図 4】



【図 5 A】

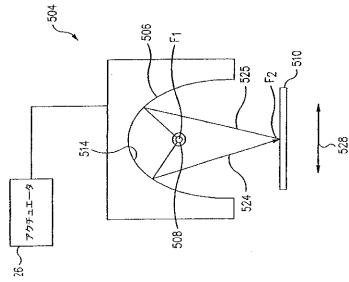


【図 5 B】

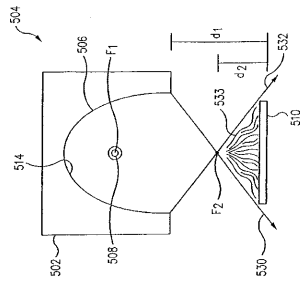




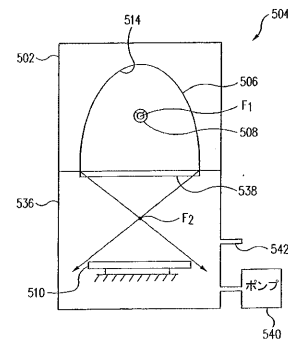
【図 6】



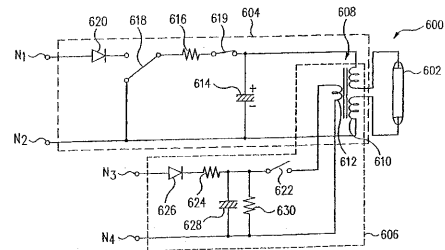
【図 7】



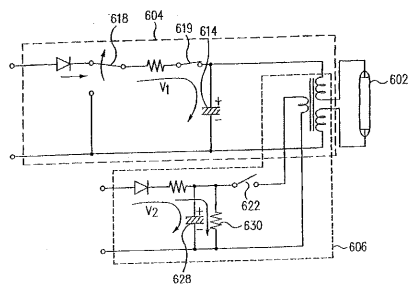
【図 8】



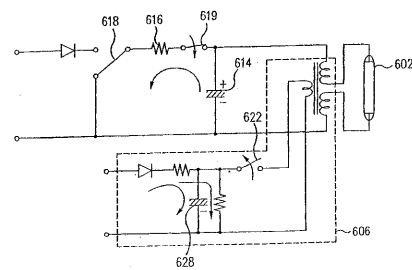
【図 9 A】



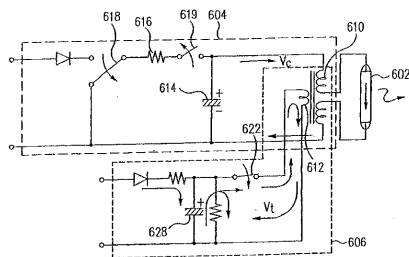
【図 9 B】



【図 9 D】



【図 9 C】





## 【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau(43) International Publication Date  
30 January 2003 (30.01.2003)

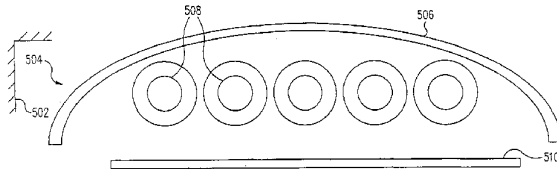
PCT

(10) International Publication Number  
**WO 03/009350 A2**

- (51) International Patent Classification: **H01L 21/00** (74) Agents: LOPEZ, Theodore, P. et al.; MacPherson Kwok  
Chen & Heid LLP, 2402 Michelson Drive, Suite 210,  
Irvine, CA 92612 (US).
- (21) International Application Number: PCT/US02/22716
- (22) International Filing Date: 18 July 2002 (18.07.2002) (81) Designated States (national): JP, KR.
- (25) Filing Language: English (84) Designated States (regional): European patent (AT, BE,  
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data: 09/910,298 20 July 2001 (20.07.2001) US Published:  
without international search report and to be republished  
upon receipt of that report
- (71) Applicant: WAFERMASTERS, INC. [US/US]; 246 East  
Gish Road, San Jose, CA 95112 (US).
- (72) Inventor: YOO, Woo, Sik; 3090 Stelling Drive, Palo Alto,  
CA 94303 (US).

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(54) Title: FLASH ANNEAL



(57) Abstract: A system for uniformly and controllably heating the active surface of a semiconductor wafer or substrate during processing. The present invention may include a radiation energy source provided, which is enclosed or substantially surrounded by a reflective/absorptive surface, which both reflects and absorbs the radiation, emitted from the energy source. In accordance with the present invention, the resultant energy output as seen by the wafer is substantially free of non-uniformity.

WO 03/009350 A2

WO 03/009350

PCT/US02/22716

FLASH ANNEAL

Woo Sik Yoo

5 This application is a Continuation-in-Part of U. S. Patent Application Serial  
No. 09/568,450, filed May 9, 2000, which is herein incorporated by reference for  
all purposes.

#### BACKGROUND OF THE INVENTION

10

##### 1. Field of the Invention

This invention generally relates to semiconductor manufacturing equipment  
and, more particularly, to a system and method for rapid thermal processing of a  
semiconductor wafer.

15

##### 2. Related Art

To make semiconductor devices of decreased dimensions, new processing and  
manufacturing techniques have had to be developed. One important requirement for  
the new techniques is to be able to reduce the amount of time that a semiconductor  
wafer is exposed to high temperatures during processing. One such processing  
technique designed to address this requirement is known as Rapid Thermal Processing  
(RTP). The rapid thermal processing technique, typically includes quickly raising the  
temperature of the wafer and holding it at that temperature for a time long enough to  
successfully perform a fabrication process, while avoiding such problems as unwanted  
dopant diffusion that would otherwise occur at the high processing temperatures.

Generally, conventional RTP systems use a light source and reflectors to heat  
the bulk of the semiconductor wafer. The light source is usually a bank of Halogen  
lamps that emit radiation energy that is focused on the wafer by the reflectors.

Conventional Halogen lamp-based RTP systems have considerable drawbacks  
with regard to achieving and maintaining a uniform temperature distribution across the  
active layer of the wafer surface. For example, the Halogen lamp has a filament, which  
generates broadband radiation. By applying more power to the filament, the intensity  
of the lamp can be increased. However, silicon wafers are heated using a useable band  
of short wavelengths, and are otherwise transparent to wavelengths outside of this  
band. The radiation from the lamp remains mostly outside of the useable wavelength

35

-1-

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 03/009350

PCT/US02/22716

band during typical halogen lamp operation. As a consequence, much of the applied power is wasted.

Another drawback to filament type lamps is that they generally create a broad wavelength distribution that is independently uncontrollable. Consequently,  
5 temperature fluctuations occur on the surface of the wafer which may cause crystal defects and slip dislocations in the wafer at high temperatures (e.g. ~ 1000°C) and under various lamp configurations.

One particular solution to the drawbacks of Halogen lamp-based systems is disclosed in U. S. Patent No. 5,893,952. In the '952 patent, an apparatus is described  
10 for rapid thermal processing of a wafer using a narrow band beam of electromagnetic radiation generated by a high wattage laser. The beam is directed at the wafer, through a thin absorption film, which absorbs substantially all the energy from the beam, which, in turn, radiates heat to the wafer. Unfortunately, the apparatus described above has some limitations and drawbacks. For example, the thickness of the thin film must be  
15 accurately determined. If the thin film is too thin, energy from the beam may be transmitted directly to the wafer, or if the thin film is too thick the film may not heat up fast enough for rapid thermal processing. A film must be used that does not degrade over time, and must not sputter, bubble, or degas when heated, otherwise non-uniform absorption will result. Because of the requirements placed on the thin absorption film,  
20 the materials for this film are limited. As a result, the same RTP apparatus may heat wafers differently and unpredictably, which wastes both time and materials.

#### SUMMARY

25 The present invention provides a system and method for uniformly and controllably heating the active surface of a semiconductor wafer or substrate during processing. The present invention may include, as described in greater detail below, a radiation energy source provided, which is enclosed or substantially surrounded by a reflective/absorptive surface, which both reflects and absorbs the radiation, emitted  
30 from the energy source such that the resultant energy output as seen by the wafer is substantially free of non-uniformity. Advantageously, the resultant energy can be uniformly spread over the wafer to heat only the active layer of the wafer surface. Because the resultant energy is uniform over the diameter of the wafer there is no significant heating overlap.

WO 03/009350

PCT/US02/22716

In accordance with the present invention the resultant energy can be provided at a very high intensity such that only a short exposure time is necessary to heat the active layer of the substrate. Thus, the process can be referred to as a "flash" anneal process, which can include crystallizing the active layer of the substrate, doping the active layer, or otherwise heat treating the active layer. Optionally, the present invention can provide a continuous heat exposure to allow the bulk of the substrate to be heated.

5 In one aspect of the invention, a system is provided for rapid thermal processing of a substrate. The system includes a radiation energy source surrounded by a reflector, which causes radiation energy to impinge on a surface of a substrate to heat an active layer of the substrate. The surface of the substrate is impinged on by the radiation energy for a substantially instantaneous reaction time.

10 In another aspect of the invention, a method for rapid thermal processing of a substrate is provided including providing a chamber including a radiation energy source and a reflector; and focusing radiation energy from the radiation energy source at a first focal point to impinge on a surface of a substrate for a substantially instantaneous time to heat an active layer of the substrate.

15 In yet another aspect of the present invention, a method is provided for rapid thermal processing of a substrate. The method includes providing a chamber including a radiation energy source and a reflector; raising the power level of the radiation energy source to a peak power level to expose an active layer of a substrate to a first radiation energy for a first time duration; and thereafter maintaining a second power level of the radiation energy source, less than the first power level, to expose a bulk of the substrate to a second radiation energy for a second time duration.

20 The system and method of the present invention can be used to heat only the active layer of the substrate surface, thus the process is advantageous for implant anneal applications, such as shallow junction, ultra shallow junction, and source drain anneal. The RTP system and method may also be used effectively for thermal donor annihilation, re-crystallization, and impurity doping. Moreover, since the bulk of the semiconductor wafer need not be heated during the heating process, unless desired, the amount of power used by the RTP system can be reduced to less than 50 kWh, preferably, less than about 10 kWh. Similarly, processing times may be reduced since only the active surface of the wafer is being heated.

WO 03/009350

PCT/US02/22716

These and other features and advantages of the present invention will be more readily apparent from the detailed description of the preferred embodiments set forth below taken in conjunction with the accompanying drawings.

5

BRIEF DESCRIPTION OF THE FIGURES

FIGS. 1A and 1B are schematic illustrations of a side view and top view, respectively, of one embodiment of a semiconductor wafer processing system that establishes a representative environment of the present invention;

10 FIG. 2A is a simplified illustration of an RTP reactor system in accordance with the principles of the present invention;

FIG. 2B is a simplified illustration of an RTP reactor system in accordance with an alternative embodiment of the present invention;

15 FIG. 2C is a simplified illustration of an RTP reactor system in accordance with an alternative embodiment of the present invention;

FIG. 2D is a simplified illustration of the active layer of a semiconductor wafer in accordance with principles of the present invention;

FIG. 3 is a simplified illustration of an embodiment of a radiation chamber in accordance with the present invention;

20 FIG. 4 is a simplified illustration of another embodiment of the present invention;

FIGS. 5A and 5B are simplified illustrations of an embodiment of a flash anneal system in accordance with the present invention;

25 FIG. 6 is a simplified illustration of a reflector assembly for use with the flash anneal system of FIG. 5 in accordance with the present invention;

FIG. 7 is a simplified illustration of an alternative embodiment of the reflector assembly of FIG. 6 in accordance with the present invention;

FIG. 8 is a simplified illustration of an alternative embodiment of the reflector assembly of FIG. 6 in accordance with the present invention;

30 FIGS. 9A-9D are simplified circuit diagrams of a power supply to ignite a lamp in accordance with an embodiment of the present invention; and

FIG. 10 is an embodiment of a power supply circuit in accordance with the principles of the present invention; and

35 FIG. 11 is an embodiment of a power supply circuit in accordance with the principles of the present invention.

WO 03/009350

PCT/US02/22716

DETAILED DESCRIPTION

As used herein, the word "flash" includes its ordinary meaning as generally understood by those of ordinary skill in the art. This definition includes the definition that flash means to give off light suddenly or substantially instantaneous (or in transient bursts) for a duration of time between about 1 nanosecond and about 10 seconds.

Figures 1A and 1B are schematic illustrations of a side view and top view, respectively, of one embodiment of a semiconductor wafer processing system 10 that establishes a representative environment of the present invention. The representative system is fully disclosed in co-pending U. S. Patent Application Serial No. 09/451,677, filed November 30, 1999, which is herein incorporated by reference for all purposes. Processing system 10 includes a loading station 12 which has multiple platforms 14 for supporting and moving a wafer cassette 16 up and into a loadlock 18. Wafer cassette 16 may be a removable cassette which is loaded into a platform 14, either manually or with automated guided vehicles (AGV). Wafer cassette 16 may also be a fixed cassette, in which case wafers are loaded onto cassette 16 using conventional atmospheric robots or loaders (not shown). Once wafer cassette 16 is inside loadlock 18, loadlock 18 and transfer chamber 20 are maintained at atmospheric pressure or else are pumped down to vacuum pressure using a pump 50. A robot 22 within transfer chamber 20 rotates toward loadlock 18 and picks up a wafer 24 from cassette 16. A reactor or thermal processing chamber 26, which may also be at atmospheric pressure or under vacuum, accepts wafer 24 from robot 22 through a gate valve 30. Optionally, additional reactors may be added to the system, for example reactor 28. Robot 22 then retracts and, subsequently, gate valve 30 closes to begin the processing of wafer 24. After wafer 24 is processed, gate valve 30 opens to allow robot 22 to pick-up and place wafer 24 into a cooling station 60. Cooling station 60 allows the newly processed wafers, which may have temperatures upwards of 100 °C, to cool before they are placed back into a wafer cassette in loadlock 18.

In accordance with the present invention, reactors 26 and 28 are RTP reactors, such as those used in thermal anneals, dopant diffusion, thermal oxidation, nitridation, chemical vapor deposition, and similar processes. Reactors 26 and 28 are generally horizontally displaced, however in a preferred embodiment, reactors 26 and 28 are vertically displaced; (*i.e.* stacked one over another) to minimize floor space occupied by system 10. Reactors 26 and 28 are bolted onto transfer chamber 20 and are further



WO 03/009350

PCT/US02/22716

supported by a support frame 32. Process gases, coolant, and electrical connections may be provided through the rear face of the reactors using interfaces 34.

FIG. 2A is a simplified illustration of an embodiment of RTP reactor system 40 in accordance with the principles of the present invention. In this embodiment, reactor  
5 system 40 includes a process chamber 102 and a scanner assembly 200. Scanner assembly 200 may be positioned proximate to process chamber 102, such that in operation, the scanner assembly can be made to adequately scan the wafer disposed in the chamber.

In a preferred embodiment, process chamber 102 may include a closed-end  
10 tube 103, defining an interior cavity 104. Within tube 103 are wafer support posts 106, typically three (of which two are shown), to support a single wafer 108. An opening or aperture (not shown) on one end of tube 103, provides access for the loading and unloading of wafer 108 before and after processing. The aperture may be a relatively small opening, but large enough to accommodate a wafer of between about 0.5 to 0.8  
15 mm thick and up to 300 mm (~ 12 in.) in diameter, and the arm and end effector of robot 22. Preferably, the aperture is no greater than between about 18 mm and 22 mm, preferably 20 mm. The relatively small aperture size helps to reduce radiation heat loss from tube 103.

Because wafer 108 is loaded and un-loaded using robot 22, tube 103 requires no  
20 internal moving parts to position wafer 108, such as lift pins, actuators, and the like. Thus, tube 103 may be constructed with a minimal internal volume-surrounding wafer 108. In a preferred embodiment, the volume of interior cavity 104 is usually no greater than about 1.0 m<sup>3</sup>, and preferably the volume is no greater than about 0.3 m<sup>3</sup>. Accordingly, the small tube volume allows reactor system 40 to be made smaller, and  
25 as a result, system 10 may be made smaller, requiring less floor space. Preferably, tube 103 is made of a transparent quartz or similar material.

FIG. 2A also illustrates scanner assembly 200, which may be used in conjunction with a radiation energy source 202, to provide rapid thermal processing of semiconductor wafer 108. Scanner assembly 200 includes a housing 216 which  
30 supports an actuator 204, a reflecting chamber 212, and a radiation outlet channel 214. The external dimensions of housing 216 are determined by the application. For example, the length of housing 216 may be at least as great, or greater than the diameter of wafer 108.

Actuator 204 provides a conventional means for making scanner assembly 200  
35 operable to scan wafer 108. Actuator 204 may be configured to provide a back and

WO 03/009350

PCT/US02/22716

forth scanning motion, as indicated in FIG. 2A by arrows 206 and 208, along a scanning length of tube 103. Actuator 204 may include, but is not limited to, conventional drivers and motion translation mechanisms, such as linear motors, stepper motors, hydraulic drives, and the like, and gears, pulleys, chains, and the like.

- 5 In the embodiment shown in FIG. 2A, scanner assembly 200 may be mounted external to both process chamber 102 and tube 103. Scanner assembly 200 is positioned above an optical window 210, which is provided along the scanning length of chamber 102 (i.e. at least as great as the diameter of wafer 108) to allow the radiation energy emitted from housing 216 to enter tube 103 and impinge on wafer 108.
- 10 In an alternative embodiment shown in FIG. 2B, the scanning motion of scanner assembly 200a may take place internal to process chamber 102a, but external to tube 103a. Scanner assembly 200a is positioned above optical window 210a, formed on tube 103a along the scanning length (i.e. at least as great as the diameter of wafer 108) to allow the radiation energy emitted from housing 216a to enter tube 103a and
- 15 impinge on wafer 108.

- In yet another embodiment, shown in FIG. 2C, scanner assembly 200b may be mounted external to process chamber 102b, with no process tube. In this embodiment, scanner assembly 200b is positioned above optical window 210b, which is provided along the scanning length of chamber 102b (i.e. at least as great as the diameter of
- 20 wafer 108) to allow the radiation energy emitted from housing 216b to impinge on wafer 108.

- Optical window 210 (or 210a) may be made of any material that allows for the transmission of the radiation energy, preferably quartz. Window 210 may have a thickness of between about 1 mm and about 5 mm and a diameter that is at least as
- 25 great or greater than wafer 108.

- Whether the scanner assembly is positioned inside or outside of the tube, the distance between the surface of the wafer and the scanner assembly, indicated in FIG. 2A as gap 213, should be no greater than about 50 mm, preferably between about 10 mm and 25 mm. The relatively small gap 213 ensures that adequate control of the
- 30 temperature/radiation energy distribution across wafer 108 is maintainable. A larger gap 213 may cause some of the radiation energy to escape before it impinges on wafer 108.

- As further illustrated in FIG. 2A, reflective chamber 212 and radiation outlet channel 214 are disposed within housing 216. Radiation source 202 is disposed within
- 35 reflective chamber 212, typically positioned such that substantially all of the broadband

WO 03/009350

PCT/US02/22716

radiation is allowed to impinge on an internal surface 218 of the chamber. In one embodiment, radiation energy source 202 may be a high-intensity lamp of the type conventionally used in lamp heating operations. In a preferred embodiment, radiation energy source 202 is a filament-less lamp, such as a Xe arc lamp. Typical, power requirements for the preferred lamp 202 of the present invention are between about 500 Watts and about 50 kWatts.

The energy emitted from lamp 202 impinges inner surface 218 of chamber 212, which is highly reflective of certain wavelengths and absorptive or non-reflective of others. In one embodiment, surface 218 is coated with a material, which has the reflecting/absorbing characteristic. For example, surface 218 may be coated with gold or silver, where the silver is further coated with a protection coating, such as SiN or any transparent coating, which prohibits oxidation of the silver. Preferably, the coating efficiently reflects wavelengths of less than 900 nm, to produce an average wavelength of between about 900 nm and about 200 nm.

Chamber 212, which may be formed into any suitable geometric shape. For example, as shown in FIG. 2A, chamber 212 may be a round chamber. In a round chamber 212 light energy can be focused at the center of chamber 212 and directed toward radiation outlet channel 214, described below. In this example, radiation energy source 202 can be off-center in chamber 212 to ensure that the focused light energy does not over heat energy source 202. FIG. 3 shows an alternative example of chamber 212, which may be formed into an elliptical chamber. Elliptical chamber 212 can have two focal points. Energy source 202 can be positioned at a first focal point 203, such that the light energy is focused at the second focal point 205 and directed to radiation outlet channel 214.

Referring again to FIG. 2A, the narrow-band energy escapes from chamber 212 through radiation outlet channel 214. Radiation outlet channel 214 can be about 5 mm to 20 mm long; preferably about 10 mm long, to adequately direct the radiation energy along the desired path. Radiation outlet channel 214 has an opening or slit 222 formed on the end of the channel which allows a beam 220 of the radiation energy to escape housing 216. Slit 222 is designed to shape beam 220 as desired, such that an optimal amount of energy may be focused on wafer 108. In a preferred embodiment, slit 222 may be a rectangular opening, which extends the length of scanner assembly 200, and is as great, or greater than the diameter of wafer 108. The size of the opening should be small enough to minimize the amount of energy, which will naturally disperse at the slit opening. Thus, slit 222 may have a width of between about 1 mm and 10 mm;

WO 03/009350

PCT/US02/22716

preferably 2 mm. As beam 222 is scanned over wafer 108, a uniform temperature distribution is created across the surface of wafer 108, which heats an active layer 224 of the wafer.

Referring now to FIGS. 2A and 2D, active layer or device layer 224 is a portion of wafer 108, which extends from surface 223 of wafer 108 down to a depth  $\alpha$  below surface 223. The depth  $\alpha$  is typically between about 0.05  $\mu\text{m}$  and 1 mm, but will vary with the process and device feature size. Active layer 224 is well known in the semiconductor manufacturing industry as that portion of the wafer in which semiconductor devices are formed, such as transistors, diodes, resistors, and capacitors.

It should be understood that the temperature to which active layer 224 is heated is a function of the relationship between the speed at which scanner assembly 200 is moved across wafer 108 and the power supplied to lamp 202. In an exemplary embodiment, the temperature of active layer 224 may range from between about 500  $^{\circ}\text{C}$  to about 1200  $^{\circ}\text{C}$ . To achieve these temperatures, the scan rate may vary between about 1 mm/sec to about 100 mm/sec at 500 watts to 50 kwatts. The slower the scan rate, the less power is required. In one embodiment, wafer 108 can be pre-heated, for example, to about 300 $^{\circ}\text{C}$ , such that the processing of active layer 224 begins at the higher temperature, which reduces processing time and saves energy.

Heating active layer 224 using reactor system 40 increases the diffusion rate and solubility of active layer 224. Thus, a shallow doped region may be created in active layer 224. Doping the active layer includes scanning active layer 224 to a process temperature, for example, from between about 500  $^{\circ}\text{C}$  to about 1200  $^{\circ}\text{C}$ , in an environment of a doping compound, such as boron, phosphorus, nitrogen, arsenic,  $\text{B}_2\text{H}_6$ ,  $\text{PH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{AsH}_3$ , and  $\text{NH}_3$ . The concentration of the compound may range from about 0.1% to about 100% relative to a carrier gas, such as  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  and  $\text{O}_2$  or a non-reactive gas, such as argon or helium. Higher concentrations of the compound can speed up the doping process and/or increase the dopant concentration within the active layer.

FIG. 4 is a simplified illustration of yet another embodiment of the present invention. In this embodiment, scanner assembly 300 includes a high intensity pulse or continuous wave laser 302 to provide rapid thermal processing of semiconductor wafer 304. Scanner assembly 300 also includes a laser energy focusing assembly 306 and an actuator 308. The components of scanning assembly 300 may be enclosed in a single housing, which is mountable on to a process chamber 320 in a manner similar to the embodiments described above in FIG. 2A.

WO 03/009350

PCT/US02/22716

Laser focusing assembly 306 includes a first focusing lens 310, a second focusing lens 312, and mirror 314. Focusing assembly operates in a well-known, conventional manner to focus the laser energy 301 from laser 302 onto wafer 304. The laser energy 301 from laser 302 can have a wavelength of less than 1  $\mu\text{m}$ .

5 Actuator 308 provides a conventional means for making scanner assembly 300 operable to scan wafer 304. Actuator 308 may be configured to move laser 302 and focusing assembly 306 to provide a back and forth scanning motion across wafer 304, as indicated in FIG. 4 by arrow 316. Alternatively, only mirror 314 may be moved to cause the laser scanning of wafer 304. In yet another alternative embodiment, wafer  
10 304 may be made to move, such that a stationary beam 301 can be made to scan the wafer surface. Actuator 308 may include, but is not limited to, conventional drivers and motion translation mechanisms, such as linear motors, stepper motors, hydraulic drives, and the like, and gears, pulleys, chains, and the like. In one embodiment, scanner assembly 300 is positioned above an optical window 318, which is provided  
15 along the scanning length of process chamber 320 to allow the laser energy to enter process chamber 320 and impinge on wafer 304. Window 318 may be made of any material that allows for the transmission of laser energy 301; preferably transparent quartz. Window 318 may have a thickness of between about 1 and about 5 mm and a diameter that is at least as great or greater than wafer 304.

20 FIG. 5A is a simplified illustration of an embodiment of an RTP reactor system 500 in accordance with the principles of the present invention. In this embodiment, reactor system 500 includes a process chamber 502 and a reflector assembly 504. Reflector assembly 504 may include a reflector 506 and a radiation energy source 508. Reflector assembly 504 may be positioned within process chamber  
25 502 proximate to a wafer 510, such that in operation, reflector assembly 504 can be made to adequately process wafer 510. In one embodiment, radiation energy source 508 can be a high-intensity lamp of the type conventionally used in lamp heating operations. In this embodiment, radiation energy source 508 is a filament-less lamp, such as a Xe arc lamp (hereinafter "lamp 508"). Lamp 508 can be any suitably shaped  
30 lamp, for example, a tube shaped lamp that has a length at least as long as the diameter of wafer 510. In one embodiment, lamp 508 can be surrounded by a flow tube 512. Flow tube 512 can contain a cooling fluid 522, for example, deionized water. Cooling fluid 522 is used to keep lamp 508 from overheating during operation. For example, cooling fluid can keep the temperature of lamp 508 under 100° C to keep any quartz  
35 components of lamp 508 from melting. In another embodiment, cooling fluid 522 can

WO 03/009350

PCT/US02/22716

be mixed with a non-conductive die. The non-conductive die can act as a filter to keep only certain wavelengths from emanating from lamp 508 through flow tube 512.

FIG. 5B is a simplified illustration of an alternative embodiment, in which a plurality of lamps 508 are disposed proximate to reflector 506. It should be understood that any number of lamps 508 can be used to achieve the desired heating levels required of a specific process.

Referring again to FIG. 5A, reflector assembly 504 is in operational arrangement with wafer 510. Reflector 506 includes an inner surface 514, which can be highly reflective of certain wavelengths and absorptive or non-reflective of others. In one embodiment, inner surface 514 can be coated with a material, which has the reflecting/absorbing characteristic. For example, inner surface 514 may be coated with gold or silver, where the silver is further coated with a protection coating, such as SiN or any transparent coating, which prohibits oxidation of the silver. The coating efficiently reflects wavelengths of less than 900 nm, to produce an average wavelength of between about 900 nm and about 200 nm. In another embodiment, inner surface is highly reflective across the full spectra of ultra violet (UV), infrared (IR) and visible wavelengths.

Reflector 506 may be formed into any suitable geometric shape. For example, reflector 506 may be flat, spherical, elliptical or parabolic. The light energy from lamp 508 can be focused at the center or focal point of reflector 506 to be directed toward wafer 510. The radiation emitted from lamp 508 and reflected from inner surface 514 of reflector 506 impinges on wafer 510, as simply and representatively illustrated by rays 516, 518 and 520, to provide a uniform temperature distribution across the surface of wafer 510, which heats the active layer 224 of the wafer (as described above in reference to FIG. 2D).

The temperature to which active layer 224 is heated is a function of the relationship between the power supplied to lamp 508 and the length of time which the radiation energy is allowed to impinge on wafer 510. In one embodiment, the temperature of active layer 224 may be raised to a range from between about 500 °C to about 1400 °C. To achieve these temperatures, wafer 510 may be exposed to a flash of lamp 508, where lamp 508 gives off light energy suddenly or substantially instantaneously, for example, for a duration of time between about 1 nanosecond and about 10 seconds at a power level of between about 0.5 J/cm<sup>2</sup> and about 100 J/cm<sup>2</sup>.

In another embodiment, after wafer 510 is exposed to the flash of lamp 508, the lamp power can be maintained at a second power level, for example, between about

WO 03/009350

PCT/US02/22716

1000 watts to about 500 kwatts. Wafer 510 can be exposed to the second power level for any time duration that may be necessary to complete the processing of wafer 510. In one example, the continuous exposure can last from between about 0.05 seconds and about 3600 seconds. The continuous exposure can heat the bulk of wafer 510 in addition

5 to heating the active layer during the flash anneal.

Wafer 510 can be pre-heated, for example, to about 300° C, such that the processing of active layer 224 begins at the higher temperature, which reduces processing time and saves energy.

FIG. 6 is a simplified illustration of an alternative embodiment of reflector assembly 504. In this alternative embodiment, reflector 506 may be formed into an ellipse, which has two focal points  $F_1$  and  $F_2$ . Lamp 508 can be positioned at focal point  $F_1$ , such that the energy is reflected from inner surface 514, exemplified by rays 524 and 525, and focused at the second focal point  $F_2$ . Wafer 510 can be positioned at focal point  $F_2$ , such that the energy can be used to process wafer 510.

15 In this embodiment, the entire wafer surface can be subjected to the energy focused at  $F_2$ , by moving wafer 510 relative to focal point  $F_2$ . For example, actuator 526 can be used to provide a conventional means for causing reflector assembly 504 to scan over wafer 510. Actuator 526 may be configured to move either wafer 510 or reflector assembly 504 to provide a back and forth scanning motion, as indicated by

20 arrow 528, across wafer 510.

FIG. 7 is a simplified illustration of another embodiment of reflector assembly 504 in accordance with the present invention. In this embodiment, reflector 506 is formed into an ellipse, with two focal points  $F_1$  and  $F_2$ . Lamp 508 is positioned at focal point  $F_1$ , such that the energy is reflected from inner surface 514 and focused at focal point  $F_2$ . In this embodiment, wafer 510 is set back a distance  $d_1$  from reflector assembly 504 and/or a distance  $d_2$  from focal point  $F_2$ . Distances  $d_1$  and  $d_2$  are selected such that wafer 510 is fully engulfed within a beam 533 emanating from focal point  $F_2$ . Beam 533, outlined by rays 530 and 532, covers the entire surface area of wafer 510, such that the entire surface of wafer 510 is subjected simultaneously to substantially all

30 of the reflected energy from lamp 508 to process wafer 510.

FIG. 8 is a simplified illustration of yet another embodiment of reflector assembly 504 in accordance with the present invention. In this embodiment, process chamber 502 including reflector assembly 504 may be mounted external to a second process chamber 536. Reflector assembly 504 can be positioned above an optical

35 window 538, which is provided between chambers 502 and 536 to allow the radiation

WO 03/009350

PCT/US02/22716

energy emitted from lamp 508 to enter second process chamber 536 and impinge on wafer 510. Optical window 538 may be made of any material that allows for the transmission of the radiation energy, preferably quartz. Window 538 may have a thickness of between about 1 and about 5 mm and a diameter that is at least as great or greater than wafer 510.

Second process chamber 536 can be pulled to vacuum, for example, using a pump 540. Second chamber 536 can also be filled through inlet 542 with a non-oxygen gas, such as N<sub>2</sub>. During the processing of wafer 510, the vacuum or non-oxygen environment ensures that the transmission of ultra-violet (UV) wavelengths from lamp 508 can reach wafer 510.

Although second process chamber 536 with quartz window 538 has been illustrated using the embodiment of reflector assembly 504 of FIG. 7, the second process chamber 536 and quartz window 538 can be used with all of the embodiments of reflector assembly 504 described herein. It should also be understood that chambers 502 and 536 may be a single chamber.

FIGS. 9A-9D are simplified circuit diagrams of a power supply 600 for a lamp 602 in accordance with an embodiment of the present invention. As shown in FIG. 9A, power supply 600 includes a main circuit 604 and an ignition circuit 606. In one embodiment, main circuit 604 includes an ignition transformer 608 whose primary winding 610 can be supplied with a voltage V<sub>1</sub>, and whose secondary winding 612 ignites lamp 602 with the stepped-up value of voltage V<sub>1</sub>. In this embodiment, a capacitor 614 is provided in parallel to a series connection of primary winding 610 and a controllable switch 618. Capacitor 614 can be of any desired capacitance, for example, between about 10  $\mu$ F and 100 F. Switch 618 can be, for example, any suitable manual switch, electromagnetic relay or solid state device.

In this embodiment, capacitor 614 can be connected in parallel with a resistor 616 and a diode 620 provided in series with resistor 616. When charging capacitor 614, resistor 616 acts as a current limiter and/or a dummy load. Capacitor 614 is charged when supply voltage V<sub>1</sub> is activated across nodes N<sub>1</sub> and N<sub>2</sub>. Voltage V<sub>1</sub> can be an AC voltage supplied via a direct line or a transformer output. Voltage V<sub>1</sub> can be adjustable and may range from between about 200 VAC and 1000 VAC.

Ignition circuit 606 supplies the ignition energy with the aid of a pulse switch 622. For this purpose, ignition circuit 606 is provided with secondary winding 612 of ignition transformer 608. A resistor 624, in series with diode 626, is provided in series with secondary winding 612 and pulse switch 622. A capacitor 628, disposed in



WO 03/009350

PCT/US02/22716

parallel to a shunt resistor 630, is in series connection to secondary winding 612.

Capacitor 628 can be of any desired capacitance, for example, between about 0.5  $\mu\text{F}$  and 100  $\mu\text{F}$ . Capacitor 628 can be charged by a voltage  $V_2$ , placed across nodes  $N_3$  and  $N_4$ . Voltage  $V_2$  can be an AC voltage supplied via a direct line or a transformer output.

- 5 Voltage  $V_2$  can be adjustable and may range from between about 500 VAC and 1000 VAC. Alternatively, for simplicity, nodes  $N_1$  and  $N_2$  can be electrically coupled to nodes  $N_3$  and  $N_4$  so as to share the same power source.

FIG. 9B shows an embodiment of primary circuit 604 and ignition circuit 606 where switches 618 and 619 are closed to allow supply voltage  $V_1$  to be applied  
10 between nodes  $N_1$  and  $N_2$ , to begin the charging via resistor 616 of capacitor 614. At the same time, capacitor 628 of ignition circuit 606 is charged via resistor 624 with voltage  $V_2$  applied between nodes  $N_3$  and  $N_4$ .

FIG. 9C shows an embodiment, such that when capacitor 614 is charged to a desired capacity, switch 618 can be opened and switch 619 can be opened, thus  
15 removing the effect of supply voltage  $V_1$  on capacitor 614 and allowing a voltage  $V_c$  to be supplied from capacitor 614 across primary windings 610. Impulse switch 622 can be closed to allow capacitor 628 to discharge, such that a voltage  $V_i$  is supplied across secondary windings 612. According to the transmission ratio of ignition transformer 608, a current flux generates a stepped-up voltage in primary windings 610 that is high  
20 enough to energize lamp 602.

As shown in FIG. 9D, once lamp 602 has been energized as desired, switch 622 can be released (*i.e.* opened) and switch 619 can be closed to allow capacitor 614 to continue to discharge via the dummy load supplied through resistor 616. In this configuration, capacitor 628 of ignition circuit 606 begins to be re-charged once  
25 switch 622 is opened. Primary circuit 604 can be re-charged with the closing of switch 618.

FIG. 10 is an embodiment of a power supply circuit 700 configured using the principles described in reference to FIGS. 9A-9D. This embodiment illustrates the versatility of power supply circuit 700. As best understood with reference to FIG. 10,  
30 capacitors 708 from a plurality of primary circuits 706 can be stacked together to be used in conjunction with one another to increase the charge storing capacity of power supply 700. The stacked capacitors 708 form a first rack 709. Each primary circuit 706 can be connected together upon the closing of switches or relays 707. As the capacity of the voltage is increased a plurality of capacitor racks, such as second rack 711 and  
35 third rack 713 can be connected in parallel with first rack 709 via a set of switches 714.

WO 03/009350

PCT/US02/22716

The racks 709, 711, and 713 can be used together to vary the capacitance and thus the power level supplied to lamp 602.

FIG. 10 illustrates additional versatility of power supply 700. For example, AC power source 702 can be configured to provide a variable voltage, ranging for example between about 200 VAC and about 1000 VAC. In addition, resistor 704 of the primary circuit can be a halogen lamp or similar device, which can be used to dissipate heat energy and also provide a visual indication that the capacitor in the circuit is being charged or discharged.

FIG. 11 is an embodiment of a power supply circuit 800 using the principles described in reference to FIGS. 9A-9D with the additional ability to allow a continuous powering of lamp 602. Accordingly, power supply circuit 800 can provide a flash exposure to the radiation energy of lamp 602 followed by a continuous component of exposure to the radiation energy of lamp 602. Power supply circuit 800 includes power circuit 802, where switches 804 and 806 when closed allow an AC supply voltage  $V_1$  to be applied between nodes  $N_1$  and  $N_2$ , to begin the charging via resistor 808 of capacitor 810. At the same time, capacitor 812 of ignition circuit 814 is charged via resistor 816. A set of diodes 818 are provided to convert the AC voltage supply to a DC voltage supply. When capacitors 810 and 812 are charged to desired capacities, switch 820 is closed allowing a voltage  $V_2$  to be supplied from capacitor 810 across primary windings 822. Impulse switch 824 can be closed to allow capacitor 812 to discharge, such that a voltage  $V_3$  is supplied across secondary windings 826. According to the transmission ratio of ignition transformer 826, a current flux generates a stepped-up voltage in primary windings 822 that is high enough to energize lamp 602. Once ignition switch 824 is released, voltage  $V_2$  remains across the primary windings to allow lamp 602 to remain energized and, thus producing a radiation energy output. In this manner, discharge time can be controlled.

The present invention overcomes many of the disadvantages of RTP systems using Halogen lamps for heating. For example, filament-type Halogen lamps produce broadband energy, much of which cannot be used to heat the active layer of the wafer. To increase the amount of useable wavelengths in the filament-type lamp, power to the lamp is increased. Unfortunately, this increase in power shifts the peak intensity. The arc lamp used in the present invention does not shift peak intensity with an increase in power and thus can be made to perform at a peak intensity that is within the useable band of wavelengths. As a consequence, the added power is more efficiently consumed at the active layer.

WO 03/009350

PCT/US02/22716

Having thus described embodiments of the present invention, persons skilled in the art will recognize that changes may be made in form and detail without departing from the spirit and scope of the invention. Thus the invention is limited only by the following claims.

WO 03/009350

PCT/US02/22716

WHAT IS CLAIMED IS:

1. A system for rapid thermal processing of a substrate, said  
5 system comprising:  
a radiation energy source; and  
a reflector substantially surrounding said radiation energy source causing radiation  
energy to impinge on a surface of a substrate, said radiation energy source configured to  
be flashed to suddenly heat an active layer of said substrate.  
10
2. The system of Claim 1, wherein said radiation energy source  
comprises a high-intensity lamp.
3. The system of Claim 2, wherein said high intensity lamp comprises  
15 a flow tube including a cooling fluid.
4. The system of Claim 2, wherein said high-intensity lamp comprises  
a Xe arc lamp.
- 20 5. The system of Claim 1, wherein said radiation energy comprises an  
average power of between about 0.5 J/cm<sup>2</sup> and about 100 J/cm<sup>2</sup>.
6. The system of Claim 1, wherein said active layer comprises a  
portion of said substrate between 10 nm and about 1 mm below a surface of  
25 said substrate.
7. The system of Claim 1, wherein a temperature of said active layer  
is between about 500 °C and 1400 °C.
- 30 8. The system of Claim 1, wherein said substantially instantaneous  
reaction time is between about 1 nanosecond and about 10 seconds.

WO 03/009350

PCT/US02/22716

9. The system of Claim 1, wherein said reflector comprises an inner surface which has been coated with a material taken from the group consisting of gold and silver.
- 5 10. The system of Claim 1, wherein said reflector reflects wavelengths of less than about 900 nm.
11. The system of Claim 1, wherein said reflector has a geometric shape taken from the group consisting of a plane, a sphere, a parabola, and  
10 an ellipse.
12. The system of Claim 1, wherein said radiation energy source comprises a plurality of high intensity lamps.
- 15 13. The system of Claim 1, wherein said reflector focuses said radiation energy at a first focal point, said first focal point on said surface of said substrate.
14. The system of Claim 1, wherein said reflector focuses said radiation energy at a first focal point, wherein said first focal point emits a radiation energy beam  
20 which impinges on said surface of said substrate.
15. The system of Claim 14, wherein said substrate is housed in a non-oxygenated environment.
- 25 16. A system for rapid thermal processing of a substrate, said system comprising:  
a chamber;  
at least one radiation energy source disposed in said chamber; and  
a reflector assembly substantially surrounding said at least one radiation energy  
30 source, said reflector assembly including a reflective surface for focusing radiation energy from said radiation energy source at a first focal point to impinge on a surface of a substrate for a substantially instantaneous time of between about 1 nanosecond and about 10 seconds to raise the temperature of an active layer of said substrate during said substantially instantaneous time to between about 500 °C and about 1400 °C.

WO 03/009350

PCT/US02/22716

17. The system of Claim 16, wherein said first focal point is disposed on said surface of said substrate.
- 5 18. The system of Claim 16, wherein an energy flux emanating from said first focal point impinges on said surface of said substrate.
19. The system of Claim 16, wherein said radiation energy source comprises a Xe arc lamp.
- 10 20. The system of Claim 16, wherein said active layer comprises a portion of said substrate between 10 nm and about 1 mm below a surface of said substrate.
21. A method for rapid thermal processing of a substrate, said  
15 method comprising:  
providing a chamber including a radiation energy source and a reflector; and  
flashing said radiation energy source so as to impinge on a surface of a substrate for a substantially instantaneous time to heat an active layer of said substrate.
- 20 22. The method of Claim 21, wherein said radiation energy source comprises a high-intensity lamp.
23. The method of Claim 22, wherein said high intensity lamp  
25 comprises a flow tube including a cooling fluid.
24. The method of Claim 22, wherein said high-intensity lamp comprises a Xe arc lamp.
- 30 25. The method of Claim 21, wherein said radiation energy comprises an average power of between about 0.5 J/cm<sup>2</sup> and about 100 J/cm<sup>2</sup>.

WO 03/009350

PCT/US02/22716

26. The method of Claim 21, wherein said active layer comprises a portion of said substrate between 10 nm and about 1 mm below a surface of said substrate.
- 5 27. The method of Claim 21, wherein a temperature of said active layer is between about 500 °C and 1400 °C.
28. The method of Claim 21, wherein said substantially instantaneous time is between about 1 nanosecond and about 10 seconds.
- 10 29. The method of Claim 21, wherein said reflector comprises an inner surface which has been coated with a material taken from the group consisting of gold and silver.
- 15 30. The method of Claim 21, wherein said reflector reflects wavelengths of less than about 900 nm.
31. The method of Claim 21, wherein said reflector has a geometric shape taken from the group consisting of a plane, a sphere, a parabola, and an ellipse.
- 20 32. The method of Claim 21, wherein said focusing comprises emitting a radiation energy beam of said focused radiation energy from said first focal point to a surface of said substrate.
- 25 33. A method for rapid thermal processing of a substrate, said method comprising:  
providing a chamber including a radiation energy source and a reflector;  
raising the power level of said radiation energy source to a peak power  
30 level to expose an active layer of a substrate to a first radiation energy for a first substantially instantaneous time duration; and thereafter

WO 03/009350

PCT/US02/22716

maintaining a second power level of said radiation energy source, less than said first power level, to expose a bulk of said substrate to a second radiation energy for a second time duration,

5 said first time duration being between about 1 nanosecond and about 10 seconds and said second time duration being between about zero seconds and about 3600 seconds.

34. The method of Claim 33, wherein said radiation energy source comprises a high-intensity lamp.

10 35. The method of Claim 33, wherein said radiation energy comprises an average power of between about 0.5 J/cm<sup>2</sup> and about 100 J/cm<sup>2</sup>.

36. The method of Claim 33, wherein said active layer comprises a portion of said substrate between 10 nm and about 1 mm below a surface of  
15 said substrate.



WO 03/009350

PCT/US02/22716

1/13

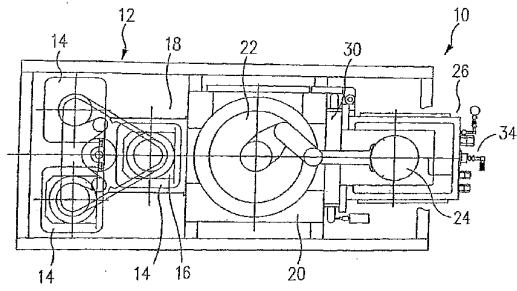


FIG. 1B

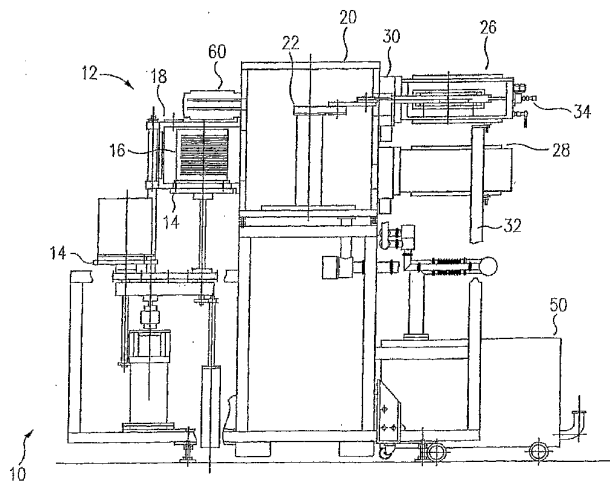


FIG. 1A

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

2/13

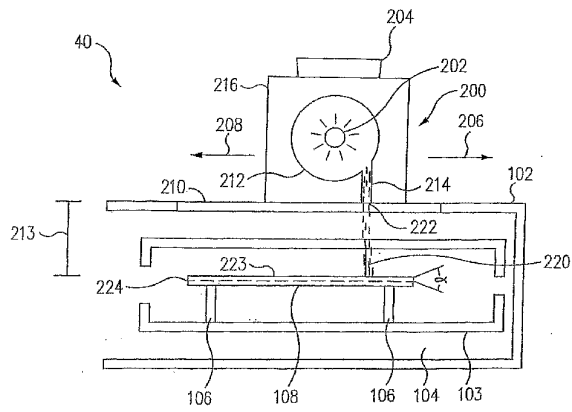


FIG. 2A

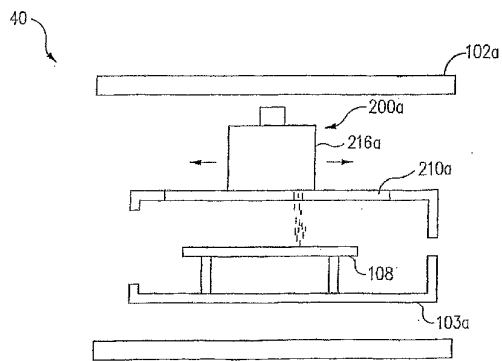


FIG. 2B

WO 03/009350

PCT/US02/22716

3/13

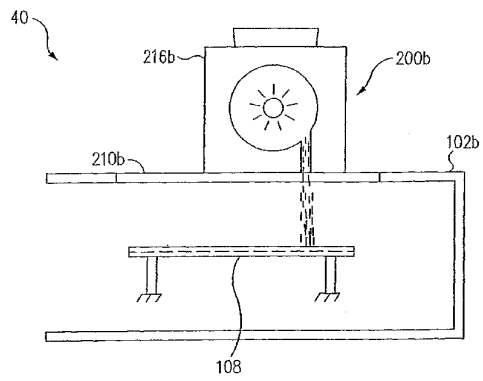


FIG. 2C

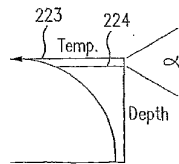


FIG. 2D

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 03/009350

PCT/US02/22716

4/13

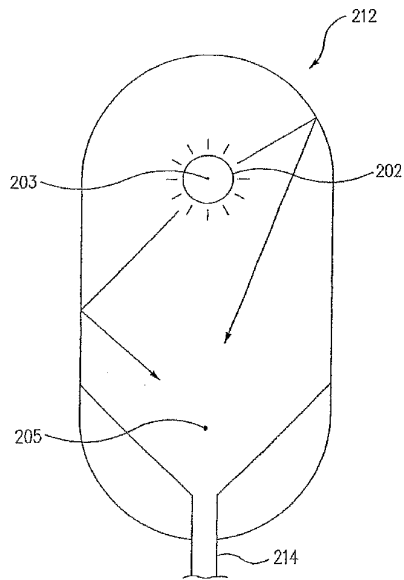


FIG. 3

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 03/009350

PCT/US02/22716

5/13

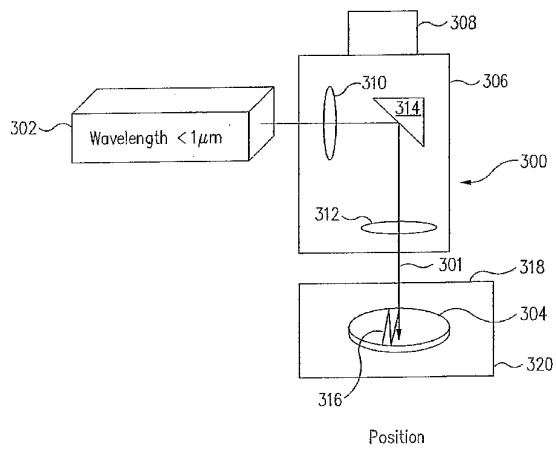


FIG. 4

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 03/009350

PCT/US02/22716

6/13

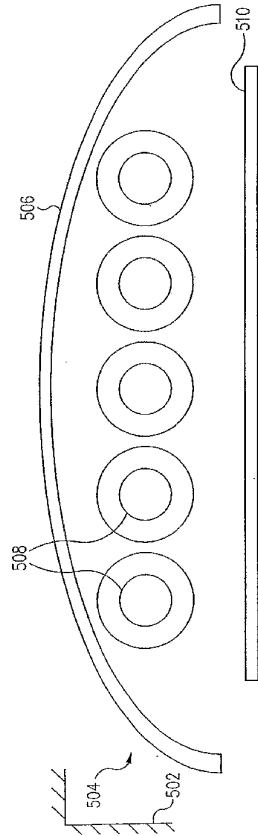


FIG. 5A

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 03/009350

PCT/US02/22716

7/13

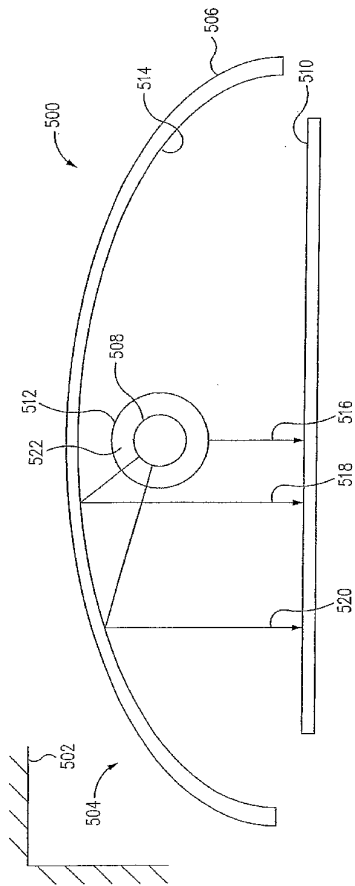


FIG. 5B

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 03/009350

PCT/US02/22716

8/13

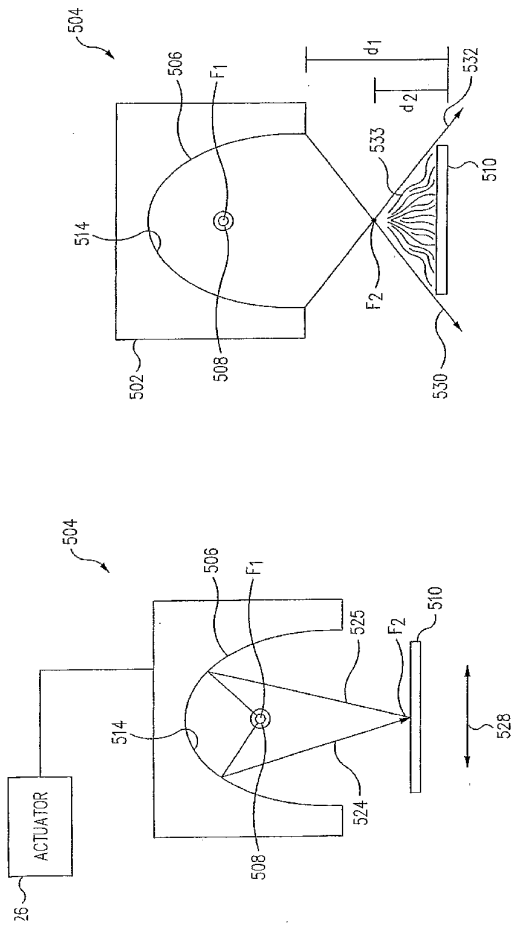


FIG. 7

FIG. 6



WO 03/009350

PCT/US02/22716

9/13

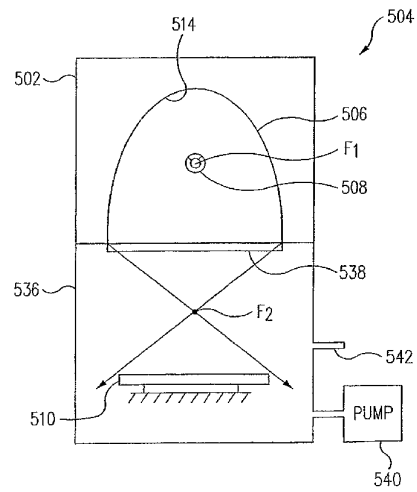


FIG. 8

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 03/009350

PCT/US02/22716

10/13

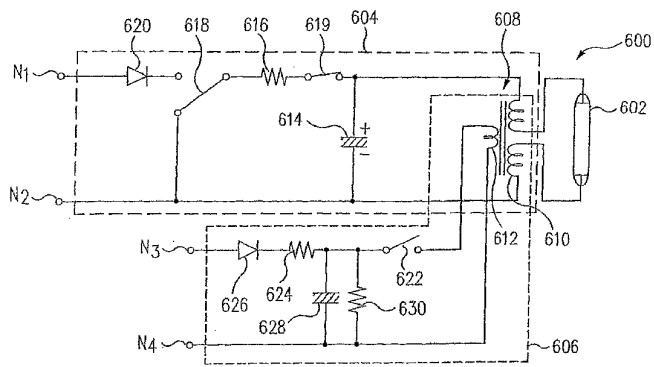


FIG. 9A

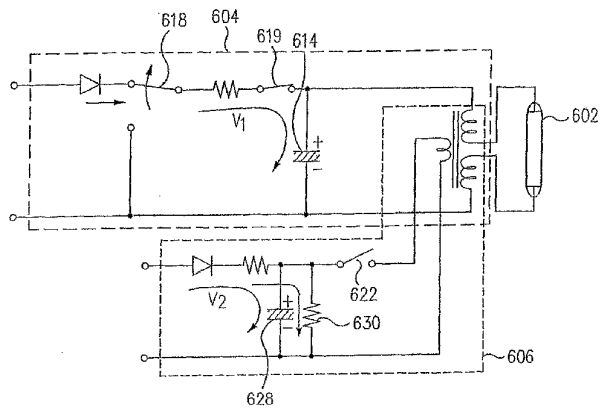


FIG. 9B

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 03/009350

PCT/US02/22716

11/13

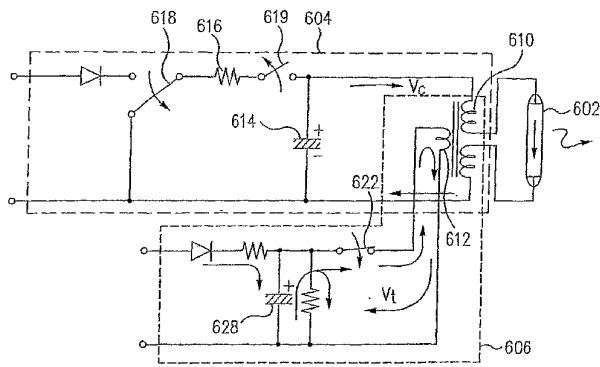


FIG. 9C

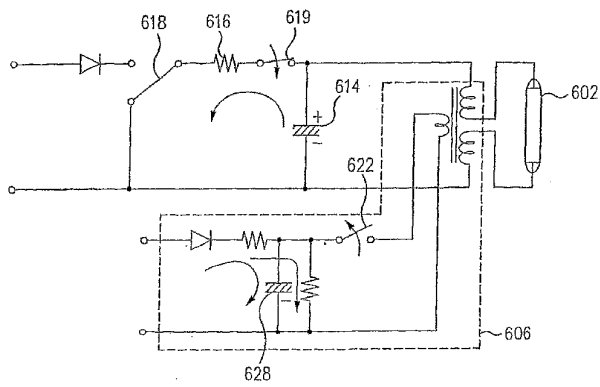


FIG. 9D

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

WO 03/009350

PCT/US02/22716

12/13

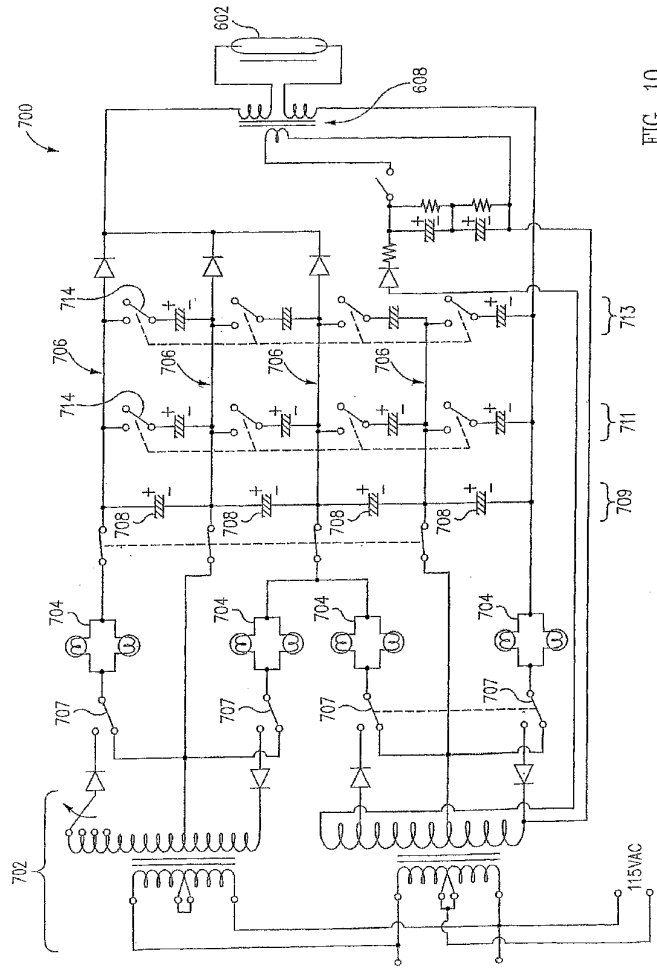


FIG. 10

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

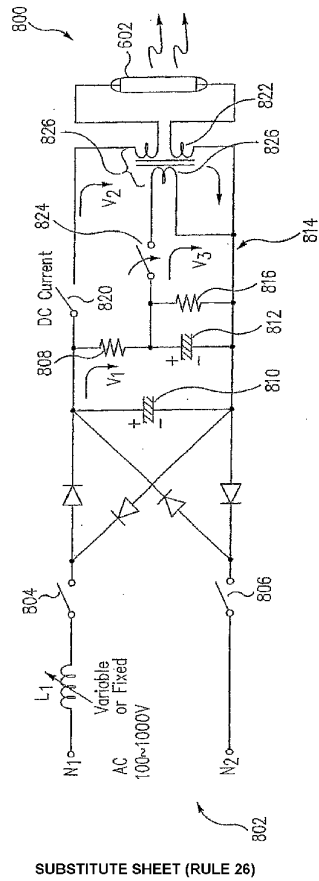


FIG. 11

## 【国際公開パンフレット（コレクトバージョン）】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau(43) International Publication Date  
30 January 2003 (30.01.2003)

PCT

(10) International Publication Number  
WO 03/009350 A3

(51) International Patent Classification: H01L 21/00 (81) Designated States (national): JP, KR.

(21) International Application Number: PCT/US02/22716

(84) Designated States (regional): European patent (AT, BL, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IT, LI, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

(22) International Filing Date: 18 July 2002 (18.07.2002)

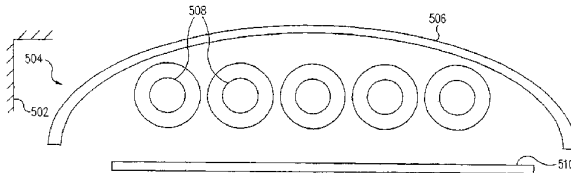
(25) Filing Language: English

Published:  
with international search report  
before the expiration of the time limit for amending the  
claims and to be republished in the event of receipt of  
amendments

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:  
09/910,298 20 July 2001 (20.07.2001) US(88) Date of publication of the international search report:  
19 June 2003(71) Applicant: WAFERMASTERS, INC. (US/US); 246 East  
Gish Road, San Jose, CA 95112 (US).For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guid-  
ance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the begin-  
ning of each regular issue of the PCT Gazette.(72) Inventor: YOO, Woo, Sik; 3090 Stelling Drive, Palo Alto,  
CA 94303 (US).(74) Agents: LOPEZ, Theodore, P. et al.; MacPherson Kwok  
Chen & Heid LLP, 2402 Michelson Drive, Suite 210,  
Irvine, CA 92612 (US).

(54) Title: 19.ASH ANNUAL



(57) Abstract: A system for uniformly and controllably heating the active surface of a semiconductor wafer or substrate during processing. The present invention may include a radiation energy source provided, which is enclosed or substantially surrounded by a reflective/absorptive surface, which both reflects and absorbs the radiation, emitted from the energy source. In accordance with the present invention, the resultant energy output as seen by the wafer is substantially free of non-uniformity.

WO 03/009350 A3

## 【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		In tional Application No PCT/US 02/22716
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 H01L21/00		
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) IPC 7 H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the lists searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 080 965 A (OSAWA TETSU) 27 June 2000 (2000-06-27)  column 6, line 32 - line 37; figure 1	1, 2, 4-8, 11-22, 24-28, 31, 32
X	US 5 893 952 A (ARONOWITZ SHELDON ET AL) 13 April 1999 (1999-04-13)  column 1, line 50 - line 55 column 2, line 66 - column 3, line 67 --- -/-	1, 2, 7, 8, 13, 14, 16-18, 20-22, 26-28, 32
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in 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 document 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 (see specification) *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. *S* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 4 April 2003		Date of mailing of the international search report 11/04/2003
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5016 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel (+31-70) 340-3200, Tx 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016		Authorized officer Bader, K

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		Int'l Application No. PCT/US 02/22716
C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 446 825 A (MOSLEHI MEHRDAD M ET AL) 29 August 1995 (1995-08-29)  column 10 -column 11 _____	1-3, 9-12, 16, 21-23, 27, 29-31



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/US 02/22716

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6080965	A	27-06-2000	JP 11097370 A JP 11097371 A	09-04-1999 09-04-1999
US 5893952	A	13-04-1999	US 5756369 A JP 10070085 A US 5897381 A	26-05-1998 10-03-1998 27-04-1999
US 5446825	A	29-08-1995	NONE	