

(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2010-525581
(P2010-525581A)

(43) 公表日 平成22年7月22日 (2010.7.22)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/26 (2006.01)	HO 1 L 21/26 T	
HO 1 L 21/265 (2006.01)	HO 1 L 21/265 6 O 2 B	
	HO 1 L 21/265 6 O 2 C	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 46 頁)

(21) 出願番号	特願2010-504396 (P2010-504396)	(71) 出願人	509303338
(86) (22) 出願日	平成20年3月20日 (2008.3.20)		マトソン テクノロジー カナダ インコーポレイテッド
(85) 翻訳文提出日	平成21年10月30日 (2009.10.30)		カナダ国 ヴィ6 ビー 6 ティー7 プリ
(86) 国際出願番号	PCT/CA2008/000546		ティッシュ コロムビア、バンクーバー、
(87) 国際公開番号	W02008/131513		ウエスト ケント アベニュー 3-605
(87) 国際公開日	平成20年11月6日 (2008.11.6)	(74) 代理人	110000855
(31) 優先権主張番号	60/924, 115		特許業務法人浅村特許事務所
(32) 優先日	平成19年5月1日 (2007.5.1)	(74) 代理人	100066692
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 浅村 皓
		(74) 代理人	100072040
			弁理士 浅村 肇
		(74) 代理人	100147658
			弁理士 岩見 晶啓

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照射パルス熱処理方法および装置

(57) 【要約】

ワークピースを熱処理する方法は前記ワークピースの目標表面積上に入射する照射パルスの初期加熱部分および後続維持部分を生成するステップを含んでいる。前記初期加熱部分および前記後続維持部分の結合持続時間は前記ワークピースの熱伝導時間よりも短い。前記初期加熱部分は前記目標表面積を望まれる温度まで加熱し、前記後続維持部分は前記目標表面積を前記望まれる温度から望まれる範囲内に維持する。もう1つの方法は照射パルスのこのような初期加熱部分および後続維持部分を生成し、前記照射パルス中に望まれる熱処理の現在完了している量を示す少なくとも1つのパラメータを監視し、前記少なくとも1つのパラメータの期待値からの逸脱に応答して前記照射パルスを修正するステップを含んでいる。

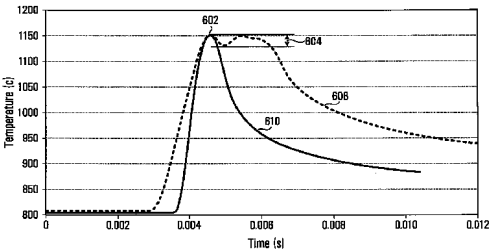


FIG. 6

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ワークピースの熱処理方法であって、前記方法は、
前記ワークピースの目標表面積上に入射する照射パルスの初期加熱部分および後続維持部分を生成するステップを含み、
前記初期加熱部分と前記後続維持部分の結合持続時間は前記ワークピースの熱伝導時間よりも短く、
前記初期加熱部分は前記目標表面積を望まれる温度まで加熱し、
前記後続維持部分は前記目標表面積を前記望まれる温度から望まれる範囲内に維持する、熱処理方法。

10

【請求項 2】

請求項 1 記載の方法であって、前記ワークピースは半導体ウェーハを含む方法。

【請求項 3】

請求項 2 記載の方法であって、前記初期加熱部分および前記後続維持部分は非対称的である方法。

【請求項 4】

請求項 2 記載の方法であって、前記維持部分は前記目標表面積から前記ワークピースの本体内部への熱伝導を補償するのに十分なパワーを前記目標表面積へ送る方法。

【請求項 5】

請求項 4 記載の方法であって、前記維持部分は、さらに、前記目標表面積とその周囲の環境との間の熱放射および伝導による熱交換を補償するのに十分なパワーを前記目標表面積へ送る方法。

20

【請求項 6】

請求項 4 記載の方法であって、前記維持部分は少なくとも $1 \times 10^{-2} \text{ W / cm}^2$ のレートでパワーを送る方法。

【請求項 7】

請求項 2 記載の方法であって、前記望まれる範囲は前記望まれる温度からおよそ 5×10^{-1} 以内である方法。

【請求項 8】

請求項 2 記載の方法であって、前記望まれる範囲は前記望まれる温度からおよそ 1×10^{-1} 以内である方法。

30

【請求項 9】

請求項 2 記載の方法であって、前記望まれる範囲は前記望まれる温度からおよそ 3 以内である方法。

【請求項 10】

請求項 2 記載の方法であって、前記結合持続時間は前記照射パルスの半値全幅 (FWHM) が前記ワークピースの前記熱伝導時間の半分よりも小さい方法。

【請求項 11】

請求項 10 記載の方法であって、前記 FWHM はおよそ 2 ms である方法。

【請求項 12】

請求項 10 記載の方法であって、前記結合持続時間は前記照射パルスの $1/4$ 値全幅 (FWQM) が前記ワークピースの前記熱伝導時間の半分よりも小さい方法。

40

【請求項 13】

請求項 12 記載の方法であって、前記 FWQM はおよそ 3 ms である方法。

【請求項 14】

請求項 2 記載の方法であって、前記結合持続時間は前記照射パルスの $1/4$ 値全幅 (FWQM) が前記ワークピースの前記熱伝導時間の半分よりも大きい方法。

【請求項 15】

請求項 14 記載の方法であって、前記 FWQM はおよそ $1 \times 10^{-2} \text{ ms}$ である方法。

【請求項 16】

50

請求項 2 記載の方法であって、前記目標表面積は半導体ウェーハのデバイス側を含み、生成ステップは複数のフラッシュ・ランプを使用して前記照射パルス生成するステップを含む方法。

【請求項 17】

請求項 16 記載の方法であって、生成ステップは照射パルス開始時間に前記複数のフラッシュ・ランプの少なくとも 1 つを点火させ、続いて前記複数のフラッシュ・ランプの少なくとも他の 1 つを点火させるステップを含む方法。

【請求項 18】

請求項 17 記載の方法であって、生成ステップは前記照射パルス開始時間に前記複数のフラッシュ・ランプの少なくとも 2 つを同時に点火させるステップを含む方法。

10

【請求項 19】

請求項 17 記載の方法であって、続いて点火させるステップは前記照射パルス開始時間に続く第 1 の時間間隔において前記複数のフラッシュ・ランプの少なくとも第 1 の他の 1 つを続いて点火させ、続いて前記照射パルス開始時間に続く第 2 の時間間隔において前記複数のフラッシュ・ランプの少なくとも第 2 の他の 1 つを点火させるステップを含む方法。

【請求項 20】

請求項 19 記載の方法であって、前記第 1 および第 2 の時間間隔は前記照射パルス開始時間に続く、それぞれ、およそ 1 m s およびおよそ 2 m s である方法。

20

【請求項 21】

請求項 20 記載の方法であって、前記第 1 および第 2 の時間間隔は前記照射パルス開始時間に続く、それぞれ、およそ 0.8 m s およびおよそ 1.8 m s である方法。

【請求項 22】

請求項 2 記載の方法であって、前記目標表面積は前記半導体ウェーハのデバイス側の面積セグメントを含み、前記照射パルス生成ステップは非対称的空間プロファイルを有するレーザビームで前記ワークピースの熱伝導時間よりも短い前記面積セグメントを横切るように走査するステップを含む方法。

【請求項 23】

請求項 22 記載の方法であって、前記初期加熱部分を生成するステップは前記レーザビームの第 1 の空間部分で前記面積セグメントを横切るように走査するステップを含み、前記後続維持部分を生成するステップは前記レーザビームの第 2 の空間部分で前記面積セグメントを横切るように走査するステップを含み、前記第 1 の空間部分および前記第 2 の空間部分は非対称的である方法。

30

【請求項 24】

請求項 2 記載の方法であって、さらに、前記照射パルスを生成する前に、前記ワークピースを前記望まれる温度よりも低い中間温度まで予熱するステップを含む方法。

【請求項 25】

請求項 2 記載の方法であって、さらに、前記照射パルス中に望まれる熱プロセスの現在完了している量を示す少なくとも 1 つのパラメータを監視するステップと、

40

前記少なくとも 1 つのパラメータの期待値からの逸脱に応答して前記照射パルスを修正するステップと、を含む方法。

【請求項 26】

請求項 25 記載の方法であって、修正するステップは前記少なくとも 1 つのパラメータが前記期待値を閾値差よりも多く超えておれば前記後続維持部分の持続時間を短縮するステップを含む方法。

【請求項 27】

請求項 25 記載の方法であって、修正するステップは前記期待値が前記少なくとも 1 つ

50

のパラメータを閾値差よりも多く超えておれば前記後続維持部分の持続時間を長くするステップを含む方法。

【請求項 28】

ワークピースを熱処理する装置であって、前記装置は、
照射パルス生成システムと、

前記照射パルス生成システムを制御して前記ワークピースの目標表面積上に入射する照射パルスの初期加熱部分および後続維持部分を生成するように構成されたプロセッサ回路と、を含み、

前記初期加熱部分と前記後続維持部分の結合持続時間は前記ワークピースの熱伝導時間よりも短く、

前記初期加熱部分は前記目標表面積を望まれる温度まで加熱し、

前記後続維持部分は前記目標表面積を前記望まれる温度から望まれる範囲内に維持する、熱処理装置。

【請求項 29】

請求項 28 記載の装置であって、前記ワークピースは半導体ウェーハを含む装置。

【請求項 30】

請求項 29 記載の装置であって、前記プロセッサ回路は前記照射パルス生成システムを制御して前記初期加熱部分および前記後続維持部分が非対称的となるように構成される装置。

【請求項 31】

請求項 29 記載の装置であって、前記プロセッサ回路は前記照射パルス生成システムを制御して前記維持部分が前記目標表面積から前記ワークピースの本体内部への熱伝導を補償するのに十分なパワーを前記目標表面積へ送るように構成される装置。

【請求項 32】

請求項 31 記載の装置であって、前記プロセッサ回路は前記照射パルス生成システムを制御して前記維持部分が前記目標表面積とその周囲の環境との間の熱放射および伝導による熱交換を補償するのに十分なパワーをさらに前記目標表面積へ送るように構成される装置。

【請求項 33】

請求項 31 記載の装置であって、前記プロセッサ回路は前記照射パルス生成システムを制御して前記維持部分が少なくとも $1 \times 10^{-2} \text{ W / cm}^2$ のレートでパワーを前記目標表面積へ送るように構成される装置。

【請求項 34】

請求項 29 記載の装置であって、前記望まれる範囲は前記望まれる温度からおよそ 5×10^{-1} 以内である装置。

【請求項 35】

請求項 29 記載の装置であって、前記望まれる範囲は前記望まれる温度からおよそ 1×10^{-1} 以内である装置。

【請求項 36】

請求項 29 記載の装置であって、前記望まれる範囲は前記望まれる温度からおよそ 3 以内である装置。

【請求項 37】

請求項 29 記載の装置であって、前記プロセッサ回路は前記照射パルス生成システムを制御して前記照射パルスの半値全幅 (FWHM) が前記ワークピースの前記熱伝導時間の半分よりも小さくなるように構成される装置。

【請求項 38】

請求項 29 記載の装置であって、前記 FWHM はおよそ 2 ms である装置。

【請求項 39】

請求項 29 記載の装置であって、前記プロセッサ回路は前記照射パルス生成システムを制御して前記照射パルスの $1/4$ 値全幅 (FWQM) が前記ワークピースの前記熱伝導時

10

20

30

40

50

間の半分よりも小さくなるように構成される装置。

【請求項 40】

請求項 39 記載の装置であって、前記 F W Q M はおよそ 3 m s である装置。

【請求項 41】

請求項 29 記載の装置であって、前記プロセッサ回路は前記照射パルス生成システムを制御して前記照射パルスの 1 / 4 値全幅 (F W Q M) が前記ワークピースの前記熱伝導時間の半分よりも大きくなるように構成される装置。

【請求項 42】

請求項 32 記載の装置であって、前記 F W Q M はおよそ 1×10^{-2} s である装置。

【請求項 43】

請求項 29 記載の装置であって、前記目標表面積は半導体ウェーハのデバイス側を含み、前記照射パルス生成システムは複数のフラッシュ・ランプを含む装置。

【請求項 44】

請求項 43 記載の装置であって、前記プロセッサ回路は前記照射パルス生成システムを制御して照射パルス開始時間に前記複数のフラッシュ・ランプの少なくとも 1 つを点火させ、続いて前記複数のフラッシュ・ランプの少なくとも他の 1 つを点火させることにより前記照射パルスを生成するように構成される装置。

【請求項 45】

請求項 44 記載の装置であって、前記プロセッサ回路は前記照射パルス生成システムを制御して前記照射パルス開始時間に前記複数のフラッシュ・ランプの少なくとも 2 つを同時に点火させるように構成される装置。

【請求項 46】

請求項 32 記載の装置であって、前記プロセッサ回路は前記照射パルス生成システムを制御して前記照射パルス開始時間に続く第 1 の時間間隔において前記複数のフラッシュ・ランプの少なくとも第 1 の他の 1 つを続いて点火させ、続いて前記照射パルス開始時間に続く第 2 の時間間隔において前記複数のフラッシュ・ランプの少なくとも第 2 の他の 1 つを点火させるように構成される装置。

【請求項 47】

請求項 46 記載の装置であって、前記第 1 および第 2 の時間間隔は前記照射パルス開始時間に続く、それぞれ、およそ 1 ミリ秒およびおよそ 2 ミリ秒である装置。

【請求項 48】

請求項 47 記載の装置であって、前記第 1 および第 2 の時間間隔は前記照射パルス開始時間に続く、それぞれ、およそ 0.8 ミリ秒およびおよそ 1.8 ミリ秒である装置。

【請求項 49】

請求項 29 記載の装置であって、前記目標表面積は前記半導体ウェーハのデバイス側の面積セグメントを含み、前記照射パルス生成システムは非対称的空間プロファイルを有するレーザビームを生成するように構成された走査レーザを含み、前記プロセッサ回路は前記走査レーザを制御して前記照射パルスを生成し前記非対称的空間プロファイルを有する前記レーザビームで前記ワークピースの前記熱伝導時間よりも短い前記面積セグメントを横切るように走査するように構成される装置。

【請求項 50】

請求項 49 記載の装置であって、前記プロセッサ回路は前記走査レーザを制御して前記レーザビームの第 1 の空間部分で前記面積セグメントを横切るように走査することにより前記初期加熱部分を生成し、前記レーザビームの第 2 の空間部分で前記面積セグメントを横切るように走査することにより前記後続維持部分を生成し、前記第 1 の空間部分および前記第 2 の空間部分は非対称的であるように構成される装置。

【請求項 51】

請求項 29 記載の装置であって、さらに、予熱システムを含み、前記プロセッサ回路は前記予熱システムを制御して前記照射パルス生成システムが作動される前に、前記ワークピースを前記望まれる温度よりも低い中間温度まで予熱するように構成される装置。

10

20

30

40

50

【請求項 5 2】

請求項 2 9 記載の装置であって、さらに、測定システムを含み、前記プロセッサ回路は、

前記測定システムと協働して前記照射パルス中に望まれる熱プロセスの現在完了している量を示す少なくとも 1 つのパラメータを監視し、

前記照射パルス生成システムを制御して前記少なくとも 1 つのパラメータの期待値からの逸脱に応答して前記照射パルスを修正する、
ように構成される装置。

【請求項 5 3】

請求項 5 2 記載の装置であって、前記プロセッサ回路は前記照射パルス生成システムを制御して前記少なくとも 1 つのパラメータが前記期待値を閾値差よりも多く超えておれば前記後続維持部分の持続時間を短縮して前記照射パルスを修正するように構成される装置。

10

【請求項 5 4】

請求項 5 2 記載の装置であって、前記プロセッサ回路は前記照射パルス生成システムを制御して前記期待値が前記少なくとも 1 つのパラメータを閾値差よりも多く超えておれば前記後続維持部分の持続時間を長くして前記照射パルスを修正するように構成される装置。

【請求項 5 5】

ワークピースを熱処理する装置であって、前記装置は、
前記ワークピースの目標表面積上に入射する照射パルスの初期加熱部分を生成する手段と、

20

前記ワークピースの目標表面積上に入射する照射パルスの後続維持部分を生成する手段と、を含み、

前記初期加熱部分と前記後続維持部分の結合持続時間は前記ワークピースの熱伝導時間よりも短く、

前記初期加熱部分は前記目標表面積を望まれる温度まで加熱し、

前記後続維持部分は前記目標表面積を前記望まれる温度から望まれる範囲内に維持する装置。

【請求項 5 6】

ワークピースを熱処理する方法であって、前記方法は、
前記ワークピースの目標表面積上に入射する照射パルスの初期加熱部分と後続維持部分を生成するステップ、を含み、

30

前記初期加熱部分と前記後続維持部分の結合持続時間は前記ワークピースの熱伝導時間よりも短く、さらに、

前記照射パルス中に望まれる熱プロセスの現在完了している量を示す少なくとも 1 つのパラメータを監視するステップと、

前記少なくとも 1 つのパラメータの期待値からの逸脱に応答して前記照射パルスを修正するステップと、
を含む方法。

40

【請求項 5 7】

請求項 5 6 記載の方法であって、前記ワークピースは半導体ウェーハを含む方法。

【請求項 5 8】

請求項 5 7 記載の方法であって、修正ステップは前記少なくとも 1 つのパラメータが前記期待値を閾値差よりも多く超えておれば前記後続維持部分の持続時間を短縮するステップを含む方法。

【請求項 5 9】

請求項 5 8 記載の方法であって、前記目標表面積は前記半導体ウェーハのデバイス側を含み、生成ステップは複数のフラッシュ・ランプを使用して前記照射パルスを生成するステップを含み、前記照射パルスの前記持続時間を短縮するステップは前記複数のフラッシュ

50

ユ・ランプの少なくとも 1 つにより作り出される照射パルスを早まって消すステップを含む方法。

【請求項 6 0】

請求項 5 7 記載の方法であって、前記目標表面積は前記半導体ウェーハのデバイス側の面積セグメントを含み、前記照射パルス生成ステップは前記ワークピースの前記熱伝導時間よりも短い面積セグメントを横切るように非対称的空間プロファイルを有するレーザビームで走査するステップを含み、前記照射パルス修正ステップは前記レーザビームにより前記面積セグメントへ供給されるパワーを低減するステップを含む方法。

【請求項 6 1】

請求項 5 7 記載の方法であって、修正ステップは前記期待値が前記少なくとも 1 つのパラメータを閾値差よりも多く超えておれば前記後続維持部分の持続時間を延ばすステップを含む方法。

10

【請求項 6 2】

請求項 6 1 記載の方法であって、前記目標表面積は前記半導体ウェーハのデバイス側を含み、生成ステップは複数のフラッシュ・ランプを使用して前記照射パルスを生成するステップを含み、前記照射パルスの前記持続時間を延ばすステップは前記複数のフラッシュ・ランプの少なくとも 1 つが放電される電気経路のインスタンスを増すステップを含む方法。

【請求項 6 3】

請求項 5 7 記載の方法であって、前記目標表面積は前記半導体ウェーハのデバイス側の面積セグメントを含み、前記照射パルス生成ステップは前記ワークピースの前記熱伝導時間よりも短い前記面積セグメントを横切るように非対称的空間プロファイルを有するレーザビームで走査するステップを含み、前記照射パルス修正ステップは前記レーザビームにより前記面積セグメントへ供給されるパワーを増加するステップを含む方法。

20

【請求項 6 4】

ワークピースの熱処理装置であって、前記装置は、
照射パルス生成システムと、
測定システムと、
前記照射パルス生成システムを制御して前記ワークピースの目標表面積上に入射する照射パルスの初期加熱部分および後続維持部分を生成するプロセッサ回路と、を含み、
前記初期加熱部分および前記後続維持部分の結合持続時間は前記ワークピースの熱伝導時間よりも短く、
前記プロセッサ回路は、
前記測定システムと協働して前記照射パルス中に望まれる熱処理の現在完了している量を示す少なくとも 1 つのパラメータを監視し、
前記照射パルス生成システムを制御して前記少なくとも 1 つのパラメータの期待値からの逸脱に応答して前記照射パルスを修正する、
ように構成される装置。

30

【請求項 6 5】

請求項 6 4 記載の装置であって、前記ワークピースは半導体ウェーハを含む装置。

40

【請求項 6 6】

請求項 6 5 記載の装置であって、前記プロセッサ回路は前記照射パルス生成システムを制御して前記少なくとも 1 つのパラメータが前記期待値を閾値差よりも多く超えておれば前記後続維持部分の持続時間を短縮することにより前記照射パルスを修正するように構成される装置。

【請求項 6 7】

請求項 6 6 記載の装置であって、前記目標表面積は前記半導体ウェーハのデバイス側を含み、前記照射パルス生成システムは複数のフラッシュ・ランプを含み、前記プロセッサ回路は前記複数のフラッシュ・ランプの少なくとも 1 つにより作り出される照射フラッシュを早まって消すことにより前記照射パルスの持続時間を短縮するように構成される装置

50

。

【請求項 6 8】

請求項 6 5 記載の装置であって、前記目標表面積は前記半導体ウェーハのデバイス側の面積セグメントを含み、前記照射パルス生成システムは非対称的空間プロファイルを有するレーザビームを生成するように構成された走査レーザを含み、前記プロセッサ回路は前記走査レーザを制御して前記ワークピースの前記熱伝導時間よりも短い前記面積セグメントを横切るように前記非対称的空間プロファイルを有する前記レーザビームで走査することにより前記照射パルスを生成するように構成され、かつ前記プロセッサ回路は前記走査レーザを制御して前記レーザビームにより前記面積セグメントへ供給されるパワーを低減することにより前記照射パルスを修正するように構成される装置。

10

【請求項 6 9】

請求項 6 5 記載の装置であって、プロセッサ回路は前記期待値が前記少なくとも 1 つのパラメータを閾値差よりも多く超えておれば前記後続維持部分の持続時間を延ばすことにより前記照射パルスを修正するように構成される装置。

【請求項 7 0】

請求項 6 9 記載の装置であって、前記目標表面積は前記半導体ウェーハのデバイス側を含み、前記照射パルス生成システムは複数のフラッシュ・ランプを含み、前記プロセッサ回路は前記照射パルス生成システムを制御して前記複数のフラッシュ・ランプの少なくとも 1 つが放電される電気経路のインダクタンスを増すことにより前記後続維持部分の前記持続時間を延ばすように構成される装置。

20

【請求項 7 1】

請求項 6 5 記載の装置であって、前記目標表面積は前記半導体ウェーハのデバイス側の面積セグメントを含み、前記照射パルス生成システムは非対称的空間プロファイルを有するレーザビームを生成するように構成されており、前記プロセッサ回路は前記走査レーザを制御して前記ワークピースの前記熱伝導時間よりも短い前記面積セグメントを横切るように前記非対称的空間プロファイルを有する前記レーザビームで走査することにより前記照射パルスを生成するように構成されており、かつ前記プロセッサ回路は前記走査レーザを制御して前記レーザビームにより前記面積セグメントへ供給されるパワーを増すことにより前記照射パルスを修正するように構成される装置。

【請求項 7 2】

ワークピースの熱処理装置であって、前記装置は、
前記ワークピースの目標表面積上に入射する照射パルスの初期加熱部分を生成する手段と、

30

前記ワークピースの目標表面積上に入射する照射パルスの後続維持部分を生成する手段と、を含み、

前記初期加熱部分と前記後続維持部分の結合持続時間は前記ワークピースの熱伝導時間よりも短く、さらに、

前記照射パルス中に望まれる熱処理の現在完了している量を示す少なくとも 1 つのパラメータを監視する手段と、

前記少なくとも 1 つのパラメータの期待値からの逸脱にตอบสนองして前記照射パルスを修正する手段と、を含む装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願の相互参照)

本出願は 2007 年 5 月 1 日出願の米国仮特許出願第 60 / 924, 115 号から優先権の利益を主張するものであり、それは本開示の一部としてここに組み入れられている。

【0002】

(発明の分野)

本発明は、たとえば、半導体ウェーハ等のワークピースを熱処理する方法およびシステ

50

ムに関連している。

【背景技術】

【0003】

(発明の背景)

多数の出願がワークピースの熱処理に関連している。たとえば、マイクロプロセッサその他のコンピュータ・チップ等の半導体チップの製作において、シリコン・ウェーハ等の半導体ウェーハはイオン注入プロセスに通され、そこでウェーハのデバイス側の表面領域に不純物原子すなわちドーパントが導入される。イオン注入プロセスはウェーハの表面領域の結晶格子構造に損傷を与え、注入ドーパント原子は電氣的に不活性となる格子間サイトに残される。ドーパント原子を代理サイトへ移動させて電氣的に活性とし、イオン注入中に生じる結晶格子構造への損傷を修復するために、ウェーハのデバイス側の表面領域を高温まで加熱してアニールする必要がある。

10

【0004】

しかしながら、デバイス側をアニールするのに必要な高温は、既存の技術を使用すると好ましくない影響を及ぼす傾向がある。たとえば、ドーパント原子のシリコン・ウェーハ中へのより深い拡散が高温では遥かに高い割合で生じる傾向があり、大部分の拡散はドーパントを活性化させるのに必要な高いアニール温度のごく近くで生じる。数十年前、拡散は重大な障害ではなく、そのころ主流であった比較的大きくかつ深いデバイス・サイズは、ウェーハ全体をアニール温度まで単純に等温加熱し、次に、それを、比較的長時間、たとえば、数分さらには数時間アニール温度に保持して製作することができた。

20

【0005】

しかしながら、性能の向上およびより小さいデバイス・サイズに対するますます増加する要求を考えると、ますます浅い階段接合を作り出すことが必要とされている。その結果、過去無視できると考えられていた、あるいは今日でも許容できる拡散深さは2、3年内またはその後にはもはや許容できなくなる。

【0006】

上記した問題を踏まえて、同一譲受人による特許文献1、特許文献2、および特許文献3(本開示の一部としてここに組み入れられている)は、たとえば、フラッシュ・アシスト高速昇降温($f RTP^{TM}$ (登録商標))サイクル等の半導体ウェーハのさまざまなアニール方法を開示している。 $f RTP^{TM}$ サイクルの例はウェーハ中の熱伝導率よりも緩やかな傾斜率でウェーハ全体を中間温度まで予熱し、次にウェーハのデバイス側を熱伝導率よりも遥かに速い割合で加熱することを含むことができ、それはデバイス側を照射フラッシュに露呈して達成することができる。例として、基板側をアークランプで照射してウェーハ全体を、たとえば、150 / 秒等の割合で加熱することにより、たとえば、600 等の中間温度までウェーハを予熱することができる。次に、デバイス側を、1ミリ秒フラッシュ等のフラッシュ・ランプからの高輝度フラッシュに露呈してデバイス側だけを、たとえば、1300 等のアニール温度まで加熱することができる。フラッシュ中のデバイス側の急速加熱率($10^5 / s$ を超える)により、ウェーハの大部分は中間温度に留まり、ヒートシンクとして作用してフラッシュに続きデバイス側を冷却する。このようなプロセスにより望まれるアニール温度を達成することができ、同時に中間温度よりも上の滞留時間を有利に最小限に抑えて、ドーパント拡散を制御する。中間温度を調節して拡散量を変えることができ、ピーク温度を変えて、たとえば、活性化を制御することができる。

30

40

【0007】

同一譲受人による特許文献4、特許文献5および特許文献6(本開示の一部としてここに組み入れられている)は(とりわけ)照射フラッシュの初期部分中のデバイス側のリアルタイム温度測定、および測定温度に基づく照射フラッシュの残りの部分のリアルタイム帰還制御を含むこのようなプロセスのさまざまな改善を開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

50

【 0 0 0 8 】

【特許文献 1】米国特許第 6, 5 9 4, 4 4 6 号

【特許文献 2】米国特許第 6, 9 4 1, 0 6 3 号

【特許文献 3】米国特許第 6, 9 6 3, 6 9 2 号

【特許文献 4】米国特許出願第 2 0 0 5 / 0 0 6 3 4 5 3 [S F J 1] 号

【特許文献 5】米国特許出願第 2 0 0 6 / 0 0 9 6 6 7 7 [S F J 2] 号

【特許文献 6】米国特許出願第 2 0 0 7 / 0 0 6 9 1 6 1 [S F J 3] 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 9 】

10

(発明の概要)

本発明者は、たとえば、ドーパント活性化等の、より多量の望まれる高温プロセス反応を達成する改良プロセスは改良された製品を作り出すと考えている。しかしながら、同時に、ますます浅くて階段接合を有するますます小型のデバイスを達成するために、望まれる高温プロセス反応を増したいという要望は、ドーパント拡散等の、他のあまり望ましくないまたは望ましくないプロセスを最小限に抑えたいまたは制御したいという要望に対してバランスさせなければならない。

【 0 0 1 0 】

一般的に、このような高温プロセスの結果、すなわち、生じている望まれる反応の量は温度と時間の両方によって決まり、より高い温度のより短い時間はより低い温度のより長い時間と同じ結果を生じることがある。こうして、一般的に、温度または熱サイクルの持続時間、またはその両方を増すことにより望まれる反応の量を増すことができる。

20

【 0 0 1 1 】

しかしながら、ある応用に対しては単純に反応温度を高められないことがある。たとえば、半導体ウェーハのデバイス側をアニールする時、デバイス側を融解することは通常望ましくないまたは許されない。それゆえ、ウェーハの融点（大気圧におけるシリコンに対してはほぼ 1 4 1 4 ）は最大プロセス温度を強いることになる。デバイスの他のコンポーネントは融点よりも低い温度で損傷を被る。その結果、既存のアニール温度（典型的には、およそ 1 0 1 0 から 1 3 5 0 ）を超えてプロセス温度を高める能力は本質的に制限される。

30

【 0 0 1 2 】

逆に、本発明者は熱サイクルの持続時間を単純に延ばすことはある応用にとって不利になることがあると結論付けた。たとえば、半導体ウェーハのフラッシュ・アシスト短時間処理 (f l a s h - a s s i s t e d r a p i d t h e r m a l p r o c e s s i n g) (f R T P ^{T M}) において、熱サイクルの関連部分の持続時間は照射フラッシュの時間パルス幅（すなわち、持続時間）を延ばすまたは広げることにより延ばすことができた。これは、たとえば、フラッシュ・ランプが放電される電気経路のインダクタンスおよび/またはキャパシタンスを増すことによりパルスをより緩やかに立ち上げかつ引き下げ、さらにフラッシュを生成するのに使用される蓄積電荷を相応して増すことにより達成することができる（定められたピーク温度に対するパルスの総エネルギーは放電時間の平方根にほぼ比例するため、同じピーク温度または大きさを達成するにはパルス幅を 2 倍にするのにおよそ 4 0 % 増しの蓄積エネルギーを必要とする）。しかしながら、都合悪いことに、このようにフラッシュの持続時間を延ばすと、より長いフラッシュ自体中にさらに望ましくない拡散が許されるだけでなく、より多くの加熱エネルギーがウェーハに供給されてこの増加された加熱エネルギーをウェーハの大部分（バルク）内に伝えるのにより多くの時間がかかり、ウェーハのバルク温度が上昇する。それゆえ、フラッシュが終了すると、フラッシュ加熱されたデバイス側とウェーハの大部分との間の温度差は減少し、フラッシュに続くデバイス側の冷却はより緩やかになる。この減速冷却およびバルク温度上昇により、さらに望ましくないドーパント拡散が起こることがある。ウェーハの熱伝導時間に近づくようにパルス幅が広げられると、プロセスの結果（望ましい結果と望ましくない結果の両方

40

50

）はウェーハが常に均一温度に維持されるより通常の等温プロセスのそれに近づき、フラッシュ・アシスト RTP の目的を挫いて望ましくない深くて全面的なドーパント拡散となる。さらに、パルス幅のこのような時間引き延ばしはフラッシュ・ランプの電極の動作寿命を著しく縮め、たとえば、ハイパワー水壁フラッシュ・ランプの早過ぎる自己消灯等の他の問題を生じることがある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

これらの困難に取り組むために、本発明の一実施例では、ワークピースを熱処理する方法が提供される。この方法はワークピースの目標表面積上に入射する照射パルスの初期加熱部分およびそれに続く維持部分を生成するステップを含んでいる。初期加熱部分と後続維持部分の結合持続時間はワークピースの熱伝導時間よりも短い。初期加熱部分は目標表面積を望まれる温度まで加熱し、後続維持部分は目標表面積を望まれる温度から望まれる範囲内に維持する。ワークピースは半導体ウェーハを含むことができる。

10

【0014】

それゆえ、従来の照射パルスを単純に引き延ばすのではなく、新しいパルス形状が提供される。これは、目標表面積を望まれる温度まで加熱する初期加熱部分に目標表面積を望まれる温度から望まれる範囲内に維持する後続維持部分が続き、初期加熱部分と後続維持部分の結合持続時間はワークピースの熱伝導時間よりも短い。都合のいいことに、このようなパルスは望まれる温度から 50°C 低い望まれる範囲内に目標表面積の滞留時間を著しく増すことができ、パルスの総エネルギーまたは総持続時間（10%対10%）を著しく増すことなく、高温プロセス反応（ドーパント活性化等）の望まれる量を相応して著しく増加することができる。その結果、ワークピースの平均バルク温度はより低く留まりその加熱表面はより速く冷却して、従来のパルスの持続時間を単純に引き延ばして望まれるプロセス反応を達成するのに比べて、望ましくない反応（ドーパント拡散等）は最小限に抑えられる。パルス内のエネルギーはパルス持続時間の平方根に比例して増加するため、このような新しいパルス形状は時間を引き延ばした従来のパルス形状よりも著しく少ないエネルギーしか生成する必要がない。

20

【0015】

初期加熱部分および後続維持部分は非対称的としてもよい。

【0016】

維持部分はワークピースの目標表面積から本体内への熱伝導を補償するのに十分なパワーを目標表面積に送り出してもよい。

30

【0017】

さらに、維持部分は目標表面積とその周囲の環境との間の放熱および伝熱による熱交換を補償するのに十分なパワーを目標表面積に送り出してもよい。

【0018】

維持部分は、たとえば、少なくとも $1 \times 10^2 \text{ W/cm}^2$ の割合でパワーを目標表面積に送り出してもよい。

【0019】

望まれる範囲は望まれる温度からおよそ 5×10^2 以内としてもよい。たとえば、望まれる範囲は望まれる温度からおよそ 1×10^1 以内としてもよい。より特定のな実施例として、望まれる範囲は望まれる温度からおよそ 3 以内としてもよい。

40

【0020】

結合持続時間は照射パルスの半値全幅（FWHM；Full Width at Half-Maximum）がワークピースの熱伝導時間の半分よりも小さくてもよい。たとえば、FWHMはおよそ 2 ms としてもよい。

【0021】

結合持続時間は照射パルスの 1/4 値全幅（FWQM；Full Width at one-Quarter Maximum）がワークピースの熱伝導時間の半分よりも小さくしてもよい。たとえば、FWQMはおよそ 3 ms としてもよい。

50

【 0 0 2 2 】

あるいは、結合持続時間は照射パルスの $1 / 4$ 値全幅がワークピースの熱伝導時間の半分よりも大きくしてもよい。たとえば、FWQM はおよそ 1×10^{-2} s としてもよい。

【 0 0 2 3 】

目標表面積は半導体ウェーハのデバイス側を含んでもよく、生成は複数のフラッシュ・ランプを使用する照射パルスの生成を含んでもよい。

【 0 0 2 4 】

生成は照射パルス開始時間に複数のフラッシュ・ランプの少なくとも 1 つを点火し、次に複数のフラッシュ・ランプの少なくとも他の 1 つを点火することを含んでもよい。たとえば、生成は照射パルス開始時間に複数のフラッシュ・ランプの少なくとも 2 つを同時に点火することを含んでもよい。

10

【 0 0 2 5 】

さらなる例として、後続点火は照射パルス開始時間に続く第 1 の時間間隔で複数のフラッシュ・ランプの少なくとも最初の他の 1 つを続いて点火し、照射パルス開始時間に続く第 2 の時間間隔で複数のフラッシュ・ランプの少なくとも第 2 の他の 1 つを続いて点火することを含んでもよい。たとえば、第 1 および第 2 の時間間隔は照射パルス開始時間に続く、それぞれ、およそ 1 ミリ秒およびおよそ 2 ミリ秒としてもよい。より詳細には、第 1 および第 2 の時間間隔は照射パルス開始時間に続く、それぞれ、およそ 0.8 ミリ秒およびおよそ 1.8 ミリ秒としてもよい。

【 0 0 2 6 】

20

あるいは、目標表面積は半導体ウェーハのデバイス側の面積セグメントを含んでもよく、照射パルスの生成はワークピースの熱伝導時間よりも短い面積セグメントを横切るような非対称空間プロファイルを有するレーザビームの走査を含んでもよい。

【 0 0 2 7 】

それゆえ、このような実施例では、初期加熱部分の生成は面積セグメントを横切るようなレーザビームの第 1 の空間部の走査を含み、後続維持部分の生成は面積セグメントを横切るようなレーザビームの第 2 の空間部の走査を含み、第 1 の空間部および第 2 の空間部は非対称的であってもよい。

【 0 0 2 8 】

この方法は、さらに、照射パルスを生成する前に望まれる温度よりも低い中間温度までワークピースを予熱することを含んでもよい。

30

【 0 0 2 9 】

この方法は、さらに、照射パルス中に望まれる熱プロセスの現在完了している量を示す少なくとも 1 つのパラメータを監視し、少なくとも 1 つのパラメータの期待値からの逸脱に応答して照射パルスを修正することを含むことができる。

【 0 0 3 0 】

修正は少なくとも 1 つのパラメータが期待値を閾値差よりも越える場合に後続維持部分の持続時間を短縮することを含んでもよい。

【 0 0 3 1 】

逆に、修正は期待値が少なくとも 1 つのパラメータを閾値差よりも越える場合に後続維持部分の持続時間を長くすることを含んでもよい。

40

【 0 0 3 2 】

本発明のもう 1 つの実施例では、ワークピースを予熱する装置が提供される。この装置は照射パルス生成システムおよびこの照射パルス生成システムを制御してワークピースの目標表面積に入射する照射パルスの初期加熱部分および後続維持部分を生成するようにされたプロセッサ回路を含んでいる。初期加熱部分および後続維持部分の結合持続時間はワークピースの熱伝導時間よりも短い。初期加熱部分は目標表面積を望まれる温度まで加熱し、後続維持部分は目標表面積を望まれる温度から望まれる範囲内に維持する。ワークピースは半導体ウェーハを含んでもよい。

【 0 0 3 3 】

50

プロセッサ回路は照射パルス生成システムを制御して初期加熱部分および後続維持部分を非対称的とするように構成してもよい。

【0034】

プロセッサ回路は照射パルス生成システムを制御して維持部分が目標表面積からワークピース本体内部への熱伝導を補償するのに十分なパワーを目標表面積へ送り出すように構成してもよい。

【0035】

プロセッサ回路は、さらに、照射パルス生成システムを制御して維持部分が目標表面積とその周囲の環境との間の熱放射および熱伝導による熱交換を補償するのに十分なパワーを目標表面積へ送り出すように構成してもよい。

【0036】

プロセッサ回路は照射パルス生成システムを制御して維持部分が、たとえば、 $1 \times 10^2 \text{ W/cm}^2$ の割合でパワーを目標表面積へ送り出すように構成してもよい。

【0037】

望まれる範囲は望まれる温度からおよそ 5×10^2 以内としてもよい。たとえば、望まれる範囲は望まれる温度からおよそ 1×10^1 以内としてもよい。より特定の例として、望まれる範囲は望まれる温度からおよそ 3 以内としてもよい。

【0038】

プロセッサ回路は照射パルス生成システムを制御して初期加熱部分および後続維持部分からなる照射パルスの半値全幅 (FWHM) がワークピースの熱伝導時間の半分よりも小さいように構成してもよい。たとえば、FWHM はおよそ 2 ms としてもよい。

【0039】

プロセッサ回路は照射パルス生成システムを制御して照射パルスの $1/4$ 値全幅 (FWQM) がワークピースの熱伝導時間の半分よりも小さくしてもよい。たとえば、FWQM はおよそ 3 ms としてもよい。

【0040】

あるいは、プロセッサ回路は照射パルス生成システムを制御して照射パルスの $1/4$ 値全幅 (FWQM) がワークピースの熱伝導時間の半分よりも大きくてもよい。たとえば、FWQM はおよそ $1 \times 10^{-2} \text{ s}$ としてもよい。

【0041】

目標表面積は半導体ウェーハのデバイス側を含んでもよく、照射パルス生成システムは複数のフラッシュ・ランプを含んでもよい。

【0042】

プロセッサ回路は照射パルス生成システムを制御して照射パルス開始時間に複数のフラッシュ・ランプの少なくとも 1 つを点火し、次に複数のフラッシュ・ランプの少なくとも他の 1 つを点火することにより照射パルスを生成するように構成してもよい。

【0043】

プロセッサ回路は照射パルス生成システムを制御して照射パルス開始時間に複数のフラッシュ・ランプの少なくとも 2 つを同時に点火するように構成してもよい。

【0044】

プロセッサ回路は照射パルス生成システムを制御して照射パルス開始時間に続く第 1 の時間間隔で複数のフラッシュ・ランプの少なくとも第 1 の他の 1 つを点火し、照射パルス開始時間に続く第 2 の時間間隔で複数のフラッシュ・ランプの少なくとも第 2 の他の 1 つを点火するように構成してもよい。

【0045】

第 1 および第 2 の時間間隔は照射パルス開始時間に続いて、それぞれ、およそ 1 ミリ秒およびおよそ 2 ミリ秒としてもよい。たとえば、第 1 および第 2 の時間間隔は照射パルス開始時間に続いて、それぞれ、およそ 0.8 ミリ秒およびおよそ 1.8 ミリ秒としてもよい。

【0046】

10

20

30

40

50

目標表面積は半導体ウェーハのデバイス側の面積セグメントを含んでもよく、照射パルス生成システムは非対称空間プロファイルを有するレーザビームを生成するように構成された走査レーザを含んでもよい。プロセッサ回路は走査レーザを制御して非対称空間プロファイルを有するレーザビームでワークピースの熱伝導時間よりも短い面積セグメントを横切るような走査をして照射パルスを生成するように構成してもよい。

【0047】

プロセッサ回路は走査レーザを制御してレーザビームの第1の空間部分で面積セグメントを横切るような走査をすることにより初期加熱部分を生成し、レーザビームの第2の空間部分で面積セグメントを横切るような走査をすることにより後続維持部分を生成するように構成してもよく、第1の空間部分および第2の空間部分は非対称的でもよい。

10

【0048】

本装置は、さらに、予熱システムを含んでもよく、プロセッサ回路は、照射パルス生成システムを作動させる前に、予熱システムを制御して望まれる温度よりも低い中間温度にワークピースを予熱するように構成してもよい。

【0049】

本装置は、さらに、測定システムを含んでもよく、プロセッサ回路は測定システムと協働して照射パルス中に望まれる熱プロセスの現在完了している量を示す少なくとも1つのパラメータを監視し、照射パルス生成システムを制御して少なくとも1つのパラメータの期待値からの逸脱に回答して照射パルスを修正するように構成してもよい。

【0050】

20

少なくとも1つのパラメータが期待値から閾値差よりも越えておれば、プロセッサ回路は照射パルス生成システムを制御して後続維持部分の持続時間を短縮することにより照射パルスを修正するように構成してもよい。逆に、期待値が少なくとも1つのパラメータを閾値差よりも越えておれば、プロセッサ回路は照射パルス生成システムを制御して後続維持部分の持続時間を延ばすことにより照射パルスを修正するように構成してもよい。

【0051】

本発明のもう1つの実施例では、ワークピースを熱処理する装置が提供される。この装置はワークピースの目標表面積に入射する照射パルスの初期加熱部分を生成する手段と、ワークピースの目標表面積に入射する照射パルスの後続維持部分を生成する手段とを含んでいる。初期加熱部分および後続維持部分の結合持続時間はワークピースの熱伝導時間よりも短い。初期加熱部分は目標表面積を望まれる温度まで加熱し、後続維持部分は目標表面積を望まれる温度から望まれる範囲内に維持する。ワークピースは半導体ウェーハを含んでもよい。

30

【0052】

本発明のもう1つの実施例では、ワークピースを熱処理する方法が提供される。この方法はワークピースの目標表面積に入射する照射パルスの初期加熱部分と後続維持部分を生成するステップを含んでいる。初期加熱部分および後続維持部分の結合持続時間はワークピースの熱伝導時間よりも短い。この方法は、さらに、照射パルス中に望まれる熱プロセスの現在完了している量を示す少なくとも1つのパラメータを監視し、少なくとも1つのパラメータの期待値からの逸脱に回答して照射パルスを修正するステップを含んでいる。ワークピースは半導体ウェーハを含んでもよい。

40

【0053】

都合のよいことに、照射パルス中に望まれる熱プロセスの現在完了している量を示す少なくとも1つのパラメータを監視し、少なくとも1つのパラメータの期待値からの逸脱に回答して照射パルスを修正することにより、望まれる熱プロセスの望まれる量が達成されることを保証するようにパルスを修正してもよい。それゆえ、望まれるプロセスの現在完了している量の監視ではなくプロセス温度の監視に回答してパルスが修正される前記した同一譲受人による米国特許出願第2005/0063453号と比べて、プロセス一貫性および反復性をさらに改善することができる。

【0054】

50

修正は少なくとも1つのパラメータが期待値を閾値差よりも越える場合に後続維持部分の持続時間を短縮することを含んでもよい。

【0055】

たとえば、目標表面積は半導体ウェーハのデバイス側を含んでもよく、生成は複数のフラッシュ・ランプを使用して照射パルスを生成することを含んでもよく、照射パルスの持続時間の短縮は複数のフラッシュ・ランプの少なくとも1つにより生成される照射パルスの早まった消灯を含んでもよい。

【0056】

あるいは、目標表面積は半導体ウェーハのデバイス側の面積セグメントを含んでもよく、照射パルスの生成はワークピースの熱伝導時間よりも短い面積セグメントを横切るような非対称的空間プロファイルを有するレーザビームの走査を含むことができ、照射パルスの修正はレーザビームにより面積セグメントへ供給されるパワーの低減を含んでもよい。

【0057】

あるいは、修正は期待値が少なくとも1つのパラメータを閾値差よりも越える場合に後続維持部分の持続時間を延ばすことを含んでもよい。

【0058】

たとえば、目標表面積は半導体ウェーハのデバイス側を含んでもよく、生成は複数のフラッシュ・ランプを使用して照射パルスを生成することを含んでもよく、後続維持部分の持続時間を延ばすことは複数のフラッシュ・ランプの少なくとも1つが放電することができる電気経路のインダクタンスを増すことを含んでもよい。

【0059】

あるいは、目標表面積は半導体ウェーハのデバイス側の面積セグメントを含んでもよく、照射パルスの生成はワークピースの熱伝導時間よりも短い面積セグメントを横切るような非対称的空間プロファイルを有するレーザビームの走査を含んでもよく、照射パルスの修正はレーザビームにより面積セグメントへ供給されるパワーを増すことを含んでもよい。

【0060】

本発明のもう1つの実施例では、ワークピースを予熱する装置が提供される。この装置は照射パルス生成システム、測定システムおよびプロセッサ回路を含んでいる。プロセッサ回路は照射パルス生成システムを制御してワークピースの目標表面積上に入射する照射パルスの初期加熱部分および後続維持部分を生成するように構成される。初期加熱部分および後続維持部分の結合持続時間はワークピースの熱伝導時間よりも短い。プロセッサ回路は測定システムと協働して照射パルス中に望まれる熱プロセスの現在完了している量を示す少なくとも1つのパラメータを監視し、かつ照射パルス生成システムを制御して少なくとも1つのパラメータの期待値からの逸脱に回答して照射パルスを修正するように構成される。ワークピースは半導体ウェーハを含んでもよい。

【0061】

プロセッサ回路は照射パルス生成システムを制御して少なくとも1つのパラメータが期待値から閾値差よりも越えておれば、後続維持部分の持続時間を短縮することにより照射パルスを修正するように構成してもよい。

【0062】

たとえば、目標表面積は半導体ウェーハのデバイス側を含んでもよく、照射パルス生成システムは複数のフラッシュ・ランプを含んでもよく、プロセッサ回路は照射パルス生成システムを制御して複数のフラッシュ・ランプの少なくとも1つにより生成される照射フラッシュを早まって消すことにより照射パルスの持続時間を短縮するように構成してもよい。

【0063】

あるいは、目標表面積は半導体ウェーハのデバイス側の面積セグメントを含むことができ、照射パルス生成システムは非対称空間プロファイルを有するレーザビームを生成するように構成された走査レーザを含んでもよく、プロセッサ回路はワークピースの熱伝導時

10

20

30

40

50

間よりも短い面積セグメントを横切るような非対称空間プロファイルを有するレーザビームで走査するように走査レーザを制御することにより照射パルス生成するように構成してもよく、またプロセッサ回路は走査レーザを制御してレーザビームから面積セグメントへ供給されるパワーを低減することにより照射パルスを修正するように構成してもよい。

【0064】

あるいは、プロセッサ回路は照射パルス生成システムを制御して期待値が少なくとも1つのパラメータを閾値差よりも越えておれば、後続維持部分の持続時間を延ばすことにより照射パルスを修正するように構成してもよい。

【0065】

たとえば、目標表面積は半導体ウェーハのデバイス側を含むことができ、照射パルス生成システムは複数のフラッシュ・ランプを含むことができ、プロセッサ回路は照射パルス生成システムを制御して複数のフラッシュ・ランプの少なくとも1つが放電される電気経路のインダクタンスを増すことにより後続維持部分の持続時間を延ばすように構成してもよい。

10

【0066】

あるいは、目標表面積は半導体ウェーハのデバイス側の面積セグメントを含んでもよく、照射パルス生成システムは非対称空間プロファイルを有するレーザビームを生成するように構成された走査レーザを含んでもよく、プロセッサ回路はワークピースの熱伝導時間よりも短い面積セグメントを横切るような非対称空間プロファイルを有するレーザビームで走査するように走査レーザを制御することにより照射パルス生成するように構成してもよく、またプロセッサ回路は照射パルス生成システムを制御してレーザビームから面積セグメントへ供給されるパワーを増加することにより照射パルスを修正するように構成してもよい。

20

【0067】

本発明のもう1つの実施例では、ワークピースを熱処理する装置が提供される。この装置はワークピースの目標表面積に入射する照射パルスの初期加熱部分を生成する手段と、ワークピースの目標表面積に入射する照射パルスの後続維持部分を生成する手段とを含んでいる。初期加熱部分および後続維持部分の結合持続時間はワークピースの熱伝導時間よりも短い。この装置は、さらに、照射パルス中に望まれる熱プロセスの現在完了している量を示す少なくとも1つのパラメータを監視する手段と、少なくとも1つのパラメータの期待値からの逸脱に応答して照射パルスを修正する手段とを含んでいる。ワークピースは半導体ウェーハを含んでもよい。

30

【0068】

当業者ならば、本発明の特定実施例の下記の説明を添付図と共に読めば本発明の他の側面および特徴が自明であろう。

【図面の簡単な説明】

【0069】

【図1】2つの垂直正面側壁を除いて示す、本発明の第1の実施例に従った高速昇降温(RTP; Rapid Thermal Processing)システムの斜視図である。

40

【図2】図1のシステムの高速昇降温システム・コンピュータ(RSC; Rapid thermal processing System Computer)のフロー図である。

【図3】初期加熱部分および後続維持部分を有する典型的な照射パルスに対する照射電力対時間のグラフである。

【図4】図1に示すシステムにより実行される高速昇降温(RTP)ルーチンのフロー図である。

【図5】図1に示すシステムより生成される、初期加熱部分および後続維持部分を有する照射パルスに対する照射パワー対時間のグラフである。

50

【図6】図5に示す照射パルスにあてた時のワークピースの目標表面積の温度のグラフで

ある。

【図 7】本発明の第 2 の実施例に従った超高速放射計のブロック図である。

【図 8】本発明の第 2 の実施例に従った高速昇降温（RTP）システムのフラッシュ・ランプのパワー制御回路の回路図である。

【図 9】本発明の第 2 の実施例に従った、図 1 に示すシステムにより実行される高速昇降温（RTP）ルーチンのフロー図である。

【図 10】本発明の第 3 の実施例に従った高速昇降温（RTP）システムの代表的な図面である。

【図 11】本発明の第 3 の実施例に従った照射パルスを生成するレーザビームの空間プロファイルのグラフである。

【図 12】本発明の実施例を使用して達成できるドーパント活性化と、従来の照射パルスを使用して修正され延ばされた従来のパルスから達成できるドーパント活性化のグラフ比較である。

【発明を実施するための形態】

【0070】

（詳細な説明）

図 1 に、本発明の 1 実施例に従ってワークピースを熱処理する装置が一般的に 100 に示されている。この実施例では、装置 100 は照射パルス生成システム 180、およびプロセッサ回路 110 を含んでいる。

【0071】

図 1 および 5 について、この実施例ではプロセッサ回路 110 は照射パルス生成システム 180 を制御してワークピース 106 の目標表面積に入射する照射パルス 506 の初期加熱部分 502 および後続維持部分 504 を生成するように構成される。この実施例では、初期加熱部分 502 および後続維持部分 504 の結合持続時間はワークピース 106 の熱伝導時間よりも短い。

【0072】

図 1、5 および 6 について、この実施例では、初期加熱部分 502 はワークピース 106 の目標表面積を望まれる温度まで加熱し、後続維持部分 504 は目標表面積を望まれる温度 602 から望まれる範囲 604 内に維持する。

【0073】

（ワークピース）

図 1 について、この実施例では、目標表面積はワークピース 106 の第 1 表面 104 全体を含み、それはこの実施例では半導体ウェーハ 120 である。より詳細には、この実施例では、ウェーハは半導体チップ、たとえば、マイクロプロセッサ等の製作に使用する直径 300 mm のシリコン半導体ウェーハである。本発明の実施例では、ワークピース 106 の第 1 表面 104 はウェーハ 120 の上面すなわちデバイス側 122 を含んでいる。同様に、この実施例では、ワークピースの第 2 表面 118 はウェーハ 120 の背面すなわち基板側 124 を含んでいる。

【0074】

あるいは、目標表面積は第 1 表面 104 全体を含む必要はない。たとえば、後述する実施例に関して、目標表面積は表面 104 上の小さな面積セグメントを含んでもよい。より一般的に、同じまたは異なるタイプの、他のタイプの目標表面積に代えることができる。

【0075】

この実施例では、ウェーハ 120 をチャンバ 130 内へ挿入する前に、ウェーハのデバイス側 122 でイオン注入プロセスが行われ、ウェーハのデバイス側の表面領域中に不純物原子すなわちドーパントが導入される。イオン注入プロセスはウェーハの表面領域の結晶格子構造に損傷を与え、注入されたドーパント電子は格子間サイトに残されて電氣的に不活性となる。ドーパント電子を格子内の代理サイトへ移して電氣的に活性とし、かつイオン注入中に生じる結晶格子構造の損傷を修復するために、前記したように、ウェーハのデバイス側の表面領域はここに記述されているように熱処理によりアニールされる。

【 0 0 7 6 】

(高速昇降温チャンバ)

さらに、図 1 について、本実施例では、ここに記述されているように、装置 1 0 0 はその中にワークピース 1 0 6 が熱処理のために支持されるチャンバ 1 3 0 を含んでいる。一般的に、ここで検討される場合を除き、本実施例の装置 1 0 0 は前記した同一譲受人による米国特許出願第 2 0 0 7 / 0 0 6 9 1 6 1 [S F J 4] 号に記載されている熱処理装置と同じであり、それは本開示の一部としてここに組み入れられている。したがって、簡潔にするため、米国特許出願第 2 0 0 7 / 0 0 6 9 1 6 1 号に記載されている装置 1 0 0 の非常に多くの詳細が省かれている。

【 0 0 7 7 】

米国特許出願第 2 0 0 7 / 0 0 6 9 1 6 1 号で詳細に検討されているように、この実施例では、チャンバ 1 3 0 は上部および下部選択放射吸収壁 1 3 2 および 1 3 4 を含み、それらは、それぞれ、選択吸収壁水冷窓 1 8 6 および 1 5 6 を含んでいる。チャンバ 1 3 0 は (複数の) 鏡面反射側壁をも含んでおり、その 2 つが 1 3 6 および 1 3 8 に示されており他の 2 つは例示目的で省かれている。ワークピース 1 0 6 は、本開示の一部としてここに組み入れられている、米国特許出願第 2 0 0 4 / 0 1 7 8 5 5 3 [S F J 5] 号に開示されているのと同様のワークピース支持システム (図示せず) によりチャンバ 1 3 0 の内壁 1 4 0 の空洞内に支持してもよい。しかしながら、ワークピースは複数の石英ピン (図示せず) 、または任意他の適切な手段により支持されてもよい。この実施例では循環水冷システムを含む冷却システム 1 4 4 はチャンバ 1 3 0 のさまざまな表面を冷却するように働く。

【 0 0 7 8 】

装置は測定システム 1 0 2 を含んでもよく、さらなる実施例について後述するように、それはウェーハ 1 2 0 のデバイス側 1 2 2 の温度測定、その他の目的に使用される。あるいは、所望により、測定システム 1 0 2 は定められた実施例から省いてもよい。

【 0 0 7 9 】

本実施例では、装置 1 0 0 は、さらに、ウェーハ 1 2 0 を予熱するための予熱システム 1 5 0 を含んでいる。米国特許出願第 2 0 0 7 / 0 0 6 9 1 6 1 号に詳細に記載されているように、予熱システム 1 5 0 は水冷窓 1 5 6 の下に配置された高輝度アークランプ 1 5 2 およびリフレクタ・システム 1 5 4 を含んでいる。

【 0 0 8 0 】

装置 1 0 0 は、さらに、たとえば、診断用照明光源 1 6 0 等の複数の追加測定装置、および撮像装置 1 6 2 および高速放射計 1 6 4 等の放射検出器を含むことができ、所望により、それらは米国特許出願第 2 0 0 7 / 0 0 6 9 1 6 1 号および米国特許出願第 2 0 0 5 / 0 0 6 3 4 5 3 号に記載されているように使用してもよい。

【 0 0 8 1 】

前記したように、ここに記載されている新しい機能および対応する構造以外の装置 1 0 0 のさらなる詳細およびその構造部品とそれらの機能は米国特許出願第 2 0 0 7 / 0 0 6 9 1 6 1 号から見つけてもよい。

【 0 0 8 2 】

(照射パルス生成システム)

さらに、図 1 について、本実施例では、装置 1 0 0 はさらに照射パルス生成システム 1 8 0 を含んでいる。この実施例では、照射パルス生成システム 1 8 0 はフラッシュ・ランプ・システムを含んでいる。より詳細には、この実施例では、照射パルス生成システム 1 8 0 は、チャンバ 1 3 0 の水冷ウィンドウ 1 8 6 のすぐ上に配置された、第 1、第 2、第 3 および第 4 のフラッシュ・ランプ 1 8 2、1 8 3、1 8 5 および 1 8 7 およびリフレクタ・システム 1 8 4 を含んでいる。

【 0 0 8 3 】

あるいは、4 個よりも少ない、たとえば、1 個のフラッシュ・ランプを利用してもよい。逆に、4 個よりも多いフラッシュ・ランプ、たとえば、遥かに多数のフラッシュ・ラン

10

20

30

40

50

ブのアレイを利用してもよい。

【0084】

この実施例では、各フラッシュ・ランプ182が、本開示の一部としてここに組み入れられている、同一譲受人による米国特許出願第2005/0179354号に記載されていると同様な、カナダ、バンクーバのMattson Technology Canada社製液冷フラッシュ・ランプを含んでいる。これに関して、この特定タイプのフラッシュ・ランプは、たとえば、熱処理の一貫性および反復性の改善を含む、従来のフラッシュ・ランプに優る非常に多くの利点を提供する。あるいは、他のタイプのフラッシュ・ランプに代えることができる。より一般的には、たとえば、マイクロ波パルス生成器または走査レーザ等の他のタイプの照射パルス生成器をフラッシュ・ランプに代えてもよい。

10

【0085】

本実施例では、リフレクタ・システム184は2個の外部フラッシュ・ランプ、すなわち、第1および第4のフラッシュ・ランプ182および187が同時に点火される時にウェーハ120のデバイス側122を均一に照射するように構成される。この実施例では、リフレクタ・システム184は2個の内部フラッシュ・ランプのいずれか、すなわち、第2のフラッシュ・ランプ183または第3のフラッシュ・ランプ185が個別に点火される時にウェーハ120のデバイス側122を均一に照射するようにも構成される。このようなリフレクタ・システムの例は、フラッシュ・アシスト高速昇降温(fRTPTM)システムのコンポーネントとしてカナダ、バンクーバのMattson Technology Canada社で製作されている。

20

【0086】

この実施例では、照射パルス生成システム180は、さらに、フラッシュ・ランプ182、183、185および187へ電力を供給して照射フラッシュを生成する給電システム188を含んでいる。この実施例では、給電システム188は個別のフラッシュ・ランプ182、183、185および187へ、それぞれ、電力を供給する個別の給電システム189、191、193および195を含んでいる。

【0087】

より詳細には、この実施例では、給電システム188の各給電システム189、191、193および195が各フラッシュ・ランプ182、183、185および187に対する給電システムとして作用し、入力電力の「スパイク」を各フラッシュ・ランプに供給して望まれる照射フラッシュを生成するためにプリチャージして急放電してもよいようなパルス放電ユニットを含んでいる。より詳細には、本実施例では、各パルス放電ユニットが、3500Vで充電されて電気エネルギーを96.775kJまで蓄積することができ、かつ、たとえば、0.5から1.5ms等の短時間内にこのような蓄積エネルギーをその各フラッシュ・ランプへ放電することができる、一対の7.9mFキャパシタ(図示せず)(パルス放電ユニット当たり15.8mF)を含んでいる。それゆえ、この実施例では、照射パルス生成システム180は電気エネルギーを387.1kJまで蓄積することができ、ワークピース106の熱伝導時間よりも短い総持続時間を有する照射パルス内でこのようなエネルギーをフラッシュ・ランプ182、183、185および187を介して放電することができる。あるいは、より大きいまたは小さい電源、あるいは他のタイプの電源に代えることができる。

30

40

【0088】

所望により、各給電システム189、191、193および195は、各照射フラッシュを生成するパルス放電の帰還制御のために、パルス放電ユニットおよび各フラッシュ・ランプと通信する電力制御回路を含むことができる。あるいは、このような電力制御回路および帰還制御は特定の実施例に対して望ましくなければ省いてもよい。実例として、本実施例はこのような帰還制御を省いているが、後述する代替実施例はそれを含んでいる。

【0089】

このような対応する電力制御回路だけでなく、個別の給電システム189、191、193および195のさらなる詳細は前記した米国特許出願第2007/0069161号

50

に開示されている。

【0090】

(RTPシステム・コンピュータ(RSC))

図1および2について、RTPシステム・コンピュータ(RSC)112が図2により詳細に示されている。この実施例では、RSCはプロセッサ回路110を含み、本実施例では、それはマイクロプロセッサ210を含んでいる。しかしながら、より一般的には、この明細書では「プロセッサ回路」という用語は本明細書および一般常識により当業者ならばここに記載されている機能をマイクロプロセッサ210に代えて実施できる任意タイプのデバイスまたはその組合せを広く包含するものとする。このようなデバイスは(限定はしないが)、たとえば、他のタイプのマイクロプロセッサ、マイクロコントローラ、他の集積回路、他のタイプの回路またはその組合せ、論理ゲートまたはゲートアレイ、または任意タイプのプログラマブル・デバイスを、単独でまたは同じ場所に配置されたまたは互いに離れた他のこのようなデバイスと組み合わせて含むことができる。

10

【0091】

本実施例では、マイクロプロセッサ210は記憶装置220と通信しており、この実施例では、記憶装置はハードディスク装置を含んでいる。記憶装置220はマイクロプロセッサ210を構成またはプログラムしてここに記載されているさまざまな機能を実施させる1つ以上のルーチンを格納するのに使用される。より詳細には、この実施例では、後述するように、記憶装置220はメイン高速昇降温(RTP)ルーチン221を格納する。この実施例では、記憶装置220は、たとえば、ワークピース・パラメータ・ストア240等のマイクロプロセッサ210により受信または使用されるさまざまなタイプのデータを格納するのに使用してもよい。所望により、記憶装置220は前記した米国特許出願第2007/0069161号で検討されている任意のルーチンおよびデータ等の追加機能を実施するための追加ルーチンおよびデータを格納してもよい。

20

【0092】

本実施例では、マイクロプロセッサ210はメモリ・デバイス260とも通信システムしており、この実施例では、メモリ・デバイスはランダム・アクセス・メモリ(RAM)を含んでいる。この実施例では、記憶装置220に格納されたさまざまなルーチンは、他のストアおよび/またはレジスタ(図示せず)だけでなく、パルス・パラメータ・ストア278を含む、マイクロプロセッサ210により測定され、計算されまたは使用されるさまざまなプロパティまたはパラメータを格納するRAM内のさまざまなレジスタやストアを定義するようマイクロプロセッサ210を構成する。

30

【0093】

本実施例のマイクロプロセッサ210は、測定システム102(有れば)および照射パルス生成システム180だけでなく予熱システム150、診断照明光源160、撮像デバイス162、高速放射計164等の他のシステム・コンポーネント、およびキーボード、マウス、モニタ、CD-RWドライブおよびフロッピー・ディスク・ドライブ等の1つ以上のディスク装置、およびプリンタ等のさまざまなユーザ入出力装置(図示せず)を含む、図1に示す装置100のさまざまなデバイスと通信するための、入出力(I/O)インターフェイス250とさらに通信する。この実施例では、I/Oインターフェイス250はファイバ光ネットワーク(図示せず)を介してこれらのデバイスの少なくともいくつか(たとえば、高速放射計164および測定システム102)と通信して、大電流による電磁干渉および電氣的ノイズや予熱システム150および照射パルス生成システム180によって必要とされた突然の放電によりもたらされる困難を回避するための光電コンバータを含んでいる。

40

【0094】

(等価時間)

この実施例では、照射パルス生成システム180により生成される照射パルスの時間形状がさまざまな熱プロセスに対する等価時間の概念を考慮して本発明者により設計されている。

50

【 0 0 9 5 】

典型的な熱反応プロセスに対して、反応率 R は次の関係により記述することができる。

【 数 1 】

$$R(t) \propto e^{\left(\frac{-E_A}{kT(t)}\right)} \quad (1)$$

10

ここに、

E_A 反応エネルギー、すなわち、反応を生じるのに必要なエネルギー・レベル

k ボルツマン定数

$T(t)$ 時間 t の関数としての温度 T

【 0 0 9 6 】

反応の総量 A_R は反応率 R の時間 t にわたる積分である。

【 数 2 】

$$A_R \propto \int e^{\left(\frac{-E_A}{kT(t)}\right)} dt \quad (2)$$

20

【 0 0 9 7 】

この関係は異なる温度 - 時間プロファイル $T(t)$ 、たとえば、異なる熱サイクルに対する反応 A_R の総量の比較を容易にする。等価時間 (t_{EQ}) は定められた時間 - 変動温度プロファイル $T(t)$ 中に生じうるものと同量の反応 A_R をもたらす一定温度 T_{EQ} における時間長として定義してもよい。

30

【 数 3 】

$$\int_0^{t_{EQ}} e^{\left(\frac{-E_A}{kT_{EQ}}\right)} dt \equiv \int e^{\left(\frac{-E_A}{kT(t)}\right)} dt \quad (3)$$

40

【数 4】

$$e^{\left(\frac{-E_A}{kT_{EQ}}\right)} t_{EQ} = \int e^{\left(\frac{-E_A}{kT(t)}\right)} dt \quad (4)$$

10

【数 5】

$$t_{EQ} = \frac{\int e^{\left(\frac{-E_A}{kT(t)}\right)} dt}{e^{\left(\frac{-E_A}{kT_{EQ}}\right)}} \quad (5)$$

20

【0098】

前記したことから、方程式(5)の同じ等価時間 t_{EQ} を有する任意の温度 - 時間プロファイル $T(t)$ は同じ量の反応 A_R となる。たとえば、定められた反応エネルギー E_A により定義される定められたプロセスに対して、2つの温度依存関数の2つの各時間間隔にわたる積分が同じであれば、より高温 $T_1(t)$ で費やされるより短い時間 t_1 でより低温 $T_2(t)$ で費やされるより長い時間 t_2 と同量の反応 A_R を作り出すことができる。

30

【0099】

また、前記関係は望まれない反応プロセスよりも望まれる反応プロセスを促進させる1つ以上の特定の熱サイクル $T(t)$ の選択を容易にする。たとえば、 E_{A1} が望まれる熱反応プロセスに対する反応エネルギーであり、 E_{A2} が望まれない熱反応プロセスに対する反応エネルギーであれば、望まれる温度 - 時間プロファイルの性質は反応エネルギー E_{A1} および E_{A2} によって決まる。望まれるプロセスの反応エネルギー E_{A1} が望まれないプロセスの反応エネルギー E_{A2} よりも大きければ、比較的高温における比較的短い時間を選択することにより望まれるプロセスを選択的に促進させて望まれないプロセスを選択的に抑制することができる。

40

【0100】

逆に、望まれるプロセスの反応エネルギー E_{A1} が望まれないプロセスの反応エネルギー E_{A2} よりも小さければ、比較的低温における比較的長い時間が望まれるプロセスを促進させて望まれないプロセスを抑制する。

【0101】

ワークピース106が半導体ウェーハ120であり、前記したように、そのデバイス側122に活性化を要するドーパントが注入されている本実施例では、これらのドーパントを活性化させる望まれるプロセスに必要な活性化エネルギー E_A は、典型的に、ドーパントを大部分のウェーハ120内に不適当に拡散させる拡散エネルギー E_D よりも大きい。たとえば、問題とするドーパントおよびウェーハに応じて、活性化エネルギー E_A は5 eVまたはそれ以上となることがあり(たとえば、公称B注入に対しては5 eV、あるいは1 k e

50

V 1 E 1 4 B 注入に対しては 7 e V)、拡散エネルギーはおよそ 3 e V となることがある。したがって、その上のデバイスに損傷を与えることなくできるだけ高い温度 T でできるだけ短い持続時間を有する温度 - 時間サイクル T (t) をデバイス側 1 2 2 にかけると、望まれない拡散プロセスを最小限に抑えながら望まれる拡散プロセスを最大にする傾向となる。本発明者は、デバイス側 1 2 2 をできるだけ「方形の」温度 - 時間プロファイルにかけること、アニール温度における「フラット・トップ」滞留時間が続く望まれるアニール温度まで迅速に高め、全てワークピースの熱伝導時間よりも著しく短い時間内に行って、ウェーハ 1 2 0 のより冷たい大部分がヒートシンクとして作用して加熱したデバイス側 1 2 2 を滞留時間後に急冷するようにして、これを達成できることに気付いている。

【0102】

しかしながら、本発明者は、デバイス側からチャンバ 1 3 0 内に含まれる雰囲気中への放射および伝導熱損失だけでなく、デバイス側 1 2 2 からウェーハ 1 2 0 のより冷たい大部分内への熱伝導を含む、照射加熱と適用可能な冷却機構のような複雑な相互作用により、デバイス側 1 2 2 を「方形の」照射パルス形状にかけるだけではデバイス側 1 2 2 内に望まれる「方形の」温度 - 時間プロファイルは生じないことにも気付いている。

【0103】

さらに、図 1 および 3 について、この実施例では、プロセッサ回路 1 1 0 は照射パルス生成システム 1 8 0 を制御して図 3 に示す照射パルス 3 0 0 に近似したものを生成するように構成される。この実施例では、照射パルス 3 0 0 はデバイス側 1 2 2 を望まれる温度まで加熱する初期加熱部分 3 0 2、およびデバイス側 1 2 2 を望まれる温度から望まれる範囲内に維持する後続維持部分 3 0 4 を含んでいる。より詳細には、この実施例では、維持部分 3 0 4 はデバイス側 1 2 2 を望まれる温度に維持する。照射パルス 3 0 0 は主として維持部分 3 0 4 により従来の照射パルス 3 0 6 とは異なっている。この実施例では、照射パルス 3 0 0 は、維持部分 3 0 4 に露呈した後でデバイス側 1 2 2 の冷却の急速性を高めるために、急峻な勾配の後縁 3 0 5 をも有する。しかしながら、特定の応用に対して急冷がそれほど重要でなければ、他の実施例においてパルス 3 0 0 の後縁はより連続的に徐々に減衰することができる。

【0104】

図 3 および 5 について、この実施例では、後述するように、プロセッサ回路 1 1 0 は照射パルス生成システム 1 8 0 を制御して図 5 に示す照射パルス 5 0 6 を、パルス 3 0 0 に近似したものととして、生成するように構成される。

【0105】

(操作)

図 1、2、4 および 5 について、メイン RTP ルーチン 2 2 1 が図 4 により詳細に示されている。一般的に、この実施例では、メイン RTP ルーチン 2 2 1 は照射パルス生成システム 1 8 0 を制御して、ワークピース 1 0 6 の目標表面積上に入射する、図 5 に示す照射パルス 5 0 6 の初期加熱部分 5 0 2 および後続維持部分 5 0 4 を生成するようにプロセッサ回路 1 1 0 を構成する。この実施例では、初期加熱部分 5 0 2 および後続維持部分 5 0 4 の結合持続時間はワークピース 1 0 6 の熱伝導時間よりも短い。初期加熱部分 5 0 2 は目標表面積を望まれる温度まで加熱し、後続維持部分 5 0 4 は目標表面積を望まれる温度から望まれる範囲内に維持する。

【0106】

図 1、2、4 および 5 について、メイン RTP ルーチン 2 2 1 は、コードの第 1 ブロック 4 0 2 で始まり、第 1 ブロックは照射パルス生成システム 1 8 0 およびワークピース 1 0 6 が照射パルス 5 0 6 の準備をするようプロセッサ回路 1 1 0 に命令する。この実施例では、ブロック 4 0 2 がフラッシュ・ランプ 1 8 2、1 8 3、1 8 5 および 1 8 7 の個別の給電システム 1 8 9、1 9 1、1 9 3 および 1 9 5 のキャパシタ・バンク (図示せず) をメモリ・デバイス 2 6 0 内のパルス・パラメータ・ストア 2 7 8 内に指定された充電電圧までプリチャージするようプロセッサ回路に命令する。本実施例では、4 つのキャパシタ・バンクの各々が 2 7 0 0 V まで充電される。より一般的に、このような充電電圧およ

10

20

30

40

50

び他のパラメータは、たとえば、前記米国特許出願第2007/0069161号に記載されているように、または、任意他の適切な方法で計算または決定してもよい。しかしながら、米国特許出願第2007/0069161号に開示されている充電電圧の他に、本実施例では、パルス・パラメータ・ストア278はフラッシュ・ランプ182、183、185および187が放電される相対時間を表す値も格納する。この実施例では、デフォルトによりこれらの時間はフラッシュ・ランプ182および187に対しては $t = 0$ に、フラッシュ・ランプ183に対しては $t = 0.8$ に、フラッシュ・ランプ185に対しては $t = 1.8$ に設定される。あるいは、後述するように、これらの相対時間は、所望により、メインRTPルーチン221の命令の元で調節することができる。

【0107】

次に、ブロック402は、照射パルス生成システム180を作動させる前に、予熱システム150を制御してワークピース106を望まれる温度よりも低い中間温度まで予熱するようプロセッサ回路110に命令する。より詳細には、この実施例では、ブロック402はアークランプ152を作動してウェーハ120の基板側124を照射し、150 / 秒の割合でほぼ800 の中間温度までウェーハ120を予熱するようプロセッサ回路110に命令する。同一譲受人による米国特許出願第2005/0063453号により詳細に記載されているように、ブロック402は、さらに、高速放射計164から受信される信号をモニタして予熱される時のウェーハ120の温度を監視するようプロセッサ回路110に命令する。

【0108】

ワークピース106が中間温度まで予熱されていることをブロック402において検出すると、ブロック404は照射パルス生成システム180を制御して、ワークピース106の目標表面積上に入射する、図5に示す照射パルス506の初期加熱部分502および後続維持部分504を生成するようプロセッサ回路110に命令する。

【0109】

より詳細には、この実施例では、ワークピース106の目標表面積は半導体ウェーハ120のデバイス側122を含み、照射パルス生成システム180は複数のフラッシュ・ランプ、すなわち、フラッシュ・ランプ182、183、185および187を含んでいる。

【0110】

この実施例では、ブロック404は照射パルス生成システム180を制御して、照射パルス開始時間に複数のフラッシュ・ランプの少なくとも1つを点火し、続いて複数のフラッシュ・ランプの少なくとも他の1つを点火することにより照射パルスを生成するようプロセッサ回路110を構成する。より詳細には、この実施例では、プロセッサ回路110は照射パルス生成システム180を制御して照射パルス開始時間に複数のフラッシュ・ランプの少なくとも2つを同時に点火するよう構成される。より詳細には、この実施例では、ブロック404は照射パルス生成システム180の個別の給電システム189および195を制御して、照射パルス開始時間に、2つの外側フラッシュ・ランプ、すなわち、フラッシュ・ランプ182および187を同時に点火するようプロセッサ回路110に命令する。リフレクタ・システム184はこれら2つの外側フラッシュ・ランプが同時に点火される時にデバイス側122を均一に照射するよう構成されることが想起される。この実施例では、フラッシュ・ランプ182および187の同時点火により図5に示す第1の照射パルス・コンポーネント508を生成する。

【0111】

本実施例では、次にブロック404は照射パルス生成システム180を制御して照射パルス開始時間に続く第1の時間間隔で複数のフラッシュ・ランプの少なくとも第1の他の1つを続いて点火し、照射パルス開始時間に続く第2の時間間隔で複数のフラッシュ・ランプの少なくとも第2の他の1つを続いて点火するようプロセッサ回路110に命令する。より詳細には、この実施例では、プロセッサ回路110は第2のフラッシュ・ランプ183を照射パルス開始時間に続く第1の時間間隔で点火するよう個別の電源191を制

10

20

30

40

50

御し、第3のフラッシュ・ランプ185を照射パルス開始時間に続く第2の時間間隔で点火するよう個別の電源193を制御する。この実施例では、第1および第2の時間間隔は照射パルス開始時間に続いて、それぞれ、およそ1ミリ秒およびおよそ2ミリ秒である。より詳細には、この実施例では、第1および第2の時間間隔は照射パルス開始時間に続いて、それぞれ、およそ0.8ミリ秒およびおよそ1.8ミリ秒である。本実施例では、第2のフラッシュ・ランプ183の点火により第2の照射パルス・コンポーネント510が生じ、第3のフラッシュ・ランプ185の点火により第3の照射パルス・コンポーネント512が生じる。リフレクタ・システム184によりこれらの各照射パルス・コンポーネントがデバイス側122を均一に照射することが想起される。

【0112】

図5について、この実施例では、第1、第2および第3の照射パルス・コンポーネント508、510および512は時間的に重畳する。それゆえ、照射パルス生成システム180は、フラッシュ・ランプ182および187を最初に同時点火し、次にフラッシュ・ランプ183および185を続いて点火することにより、個別照射パルス・コンポーネント508、510および512の和である単一連続照射パルス506を生成する。

【0113】

この実施例では、初期加熱部分502および後続維持部分504の結合持続時間は照射パルス506（初期加熱部分502および後続維持部分504を含む）の半値全幅（FWHM；Full Width at Half Maximum）514がワークピース106の熱伝導時間の半分より小さくなるようにされる。より詳細には、この実施例では、ウェーハ120の熱伝導時間は10 - 15ミリ秒のオーダーであり、照射パルス506のFWHM514はおよそ2ミリ秒である。この実施例では、照射パルス506の1/4値全幅（FWQM；Full Width at one-Quarter Maximum）もワークピースの熱伝導時間の半分より小さい。より詳細には、この実施例では、照射パルス506のFWQMはおよそ3ミリ秒である。したがって、都合のよいことに、初期加熱部分および後続維持部分の結合持続時間はウェーハの熱伝導時間よりも著しく短いため、ウェーハの大部分は照射パルスが開始する前にブロック402においてウェーハが予熱された中間温度に比較的近いままとされ、ウェーハの大部分を有効なヒートシンクとして作用して照射パルス506の終了に続いてデバイス側122を急速に冷却することができる。

【0114】

図3、5および6について、デバイス側122を照射パルス506に露光して得られるデバイス側の温度 - 時間プロファイルが図6に一般的に608に示されている。例示の目的で、照射パルス506により生じる温度 - 時間プロファイル608は、たとえば、図3の306に示すものと同様な従来の照射パルス形状に対してデバイス側122を露光して得られるより従来通りの温度 - 時間プロファイル610と対比される。

【0115】

図5および6について、この実施例では、初期加熱部分502および後続維持部分504は非対称的である。本実施例では、初期加熱部分502は、この例ではおよそ1150である、望まれる温度602まで加熱するのに十分なパワーを目標表面積（この例ではデバイス側122全体）へ送る。次に、後続維持部分504は目標表面積とその周囲の環境との間の熱放射および伝導による熱交換を補償するのに十分なパワーだけでなく、目標表面積からワークピース106の本体内部への熱伝導を補償するのに十分なパワーを送る。この実施例では、周囲の環境はチャンバ130およびその中の雰囲気を含む。しかしながら、代替実施例では、たとえば、ワークピースが放射的ではなく伝導的に予熱されれば、周囲の環境はホットプレート等の他の物体を含むことがある。本実施例では、後続維持部分504はこのような熱伝導および放射を補償するために、目標表面積を望まれる温度602から望まれる範囲604内に維持するために、少なくとも $1 \times 10^2 \text{ W / cm}^2$ の平均レートで目標表面積へパワーを送る。

【0116】

この例では、望まれる範囲 604 は望まれる温度 602 からおよそ 5×10^1 以内の範囲であり、この実施例では、それはおよそ 1150 の温度である。より詳細には、この実施例では、望まれる範囲 604 は望まれる温度 602 からおよそ 2×10^1 以内の範囲である。あるいは、望まれる範囲 604 は望まれる温度 602 からおよそ 1×10^1 以内の範囲としてもよい。より特定の代替実施例として、望まれる範囲は望まれる温度からおよそ 3 以内としてもよい。

【0117】

図 3、5 および 6 について、この実施例では、照射パルス 506 に対してデバイス側 122 に露光して得られる温度 - 時間プロファイル 608 は 306 に示すものと同様な従来の照射パルス形状に対してデバイス側 122 に露光して得られるより従来通りの温度 - 時間プロファイル 610 に優る非常に多くの利点を有する。たとえば、望まれる（ピーク）温度 602 から 50 の望まれる範囲 604 内へのデバイス側 122 の滞留時間は、より従来通りの温度 - 時間プロファイル 610 よりも温度 - 時間プロファイル 608 の方がほぼ 3 倍長く、望まれる反応（活性化）の量は著しく増加する。しかしながら、逆に、パルス 506 により生じるこの滞留時間の増加により従来のパルス形状 306 に比べてワークピースのバルク温度はおよそ 75 しか増加せず、その結果パルス 506 は比較的冷たい大部分をまだ残して滞留時間に続く急速なデバイス側冷却を促進して、望まれない低エネルギー反応（拡散）を最小限に抑えるものと推測できる。

【0118】

等価時間の概念に戻って、方程式 (1) - (5) から、望まれるプロセスの反応エネルギーが、たとえば (1 keV 1 E 14 B 注入と矛盾しない)、 $E_A = 7 \text{ eV}$ の活性化エネルギーであれば、温度 - 時間プロファイル 608 により従来の温度 - 時間プロファイル 610 のそれよりもほぼ 100 倍の等価時間となる。

【0119】

たとえば（公称 B 注入と矛盾しない）、 $E_A = 5 \text{ eV}$ の低活性化エネルギーであっても、温度 - 時間プロファイル 608 により従来の温度 - 時間プロファイル 610 のそれよりもほぼ 15 倍の等価時間となる、いいかえると、照射パルス 506 により生成される温度 - 時間プロファイル 608 により達成される反応 A_R の総量は 306 に示すものと同様なより従来通りの照射パルス形状により生成される温度 - 時間プロファイル 610 より達成されるものよりも 15 倍大きい。

【0120】

照射パルス 506 から流れる前記結果とは対照的に、従来のパルス 306 の持続時間すなわちパルス幅を単純に広げて反応 A_R の総量を温度 - 時間プロファイル 610 に比べて 15 倍増すよう試みようとする、と、ほぼ 15 倍長いパルス幅、すなわちおよそ 20 ms の持続時間 (FWHM) が必要となり、これはワークピースの典型的な熱伝導時間よりも長いであろう。総エネルギー（パルス持続時間の平方根に比例する）はほぼ 4 倍増加し、ワークピースのバルク温度はほぼ 300 だけ上昇し、ワークピースの大部分と加熱したデバイス側との間に小さな温度差しか残さず、デバイス側の冷却は遥かに緩やかなものとなるであろう。これは実質的には等温加熱に近づく、非常に長い滞留時間および非常に長い冷却時間により大量の望ましくない拡散反応が生じてフラッシュ・アシスト高速昇降温処理の目的が挫かれるであろう。

【0121】

図 3、5 および 12 について、望まれるプロセス温度の T_p の関数としてのシート抵抗 R_s が図 12 に一般的に 1200 に示されている。望まれる熱プロセスが注入ドーパントの活性化であるこの実施例では、より低いシート抵抗 R_s はより高いドーパント活性化を示し、したがって、望まれる熱プロセスのより大きい達成を示す。図 12 は結晶性シリコン中への低エネルギー・ボロン注入 ($500 \text{ eV } 10^{15} \text{ cm}^{-2}$) をアニールする熱サイクルに対応する。図 12 は 4 つの異なる活性化曲線を示し、各々が異なるタイプの熱サイクルに対応する。

【0122】

10

20

30

40

50

より詳細には、第1の活性化曲線1202は複数の異なる熱サイクルに対応する。このような各熱サイクルにおいて、半導体ウェーハ120は700 の中間温度へ予熱され、続いてデバイス側122は、およそ0.9msの持続時間(FWHM)を有する図3の306に示すような従来のすなわち標準(STD)パルス形状を有する照射パルスに対して露光されて、デバイス側122を望まれる処理温度 T_p まで加熱する。活性化曲線1202はおよそ1200から1295 までの範囲の望まれる処理温度 T_p の熱サイクルを例示している。

【0123】

第2の活性化曲線1204は複数の同様な熱サイクルに対応し、半導体ウェーハ120は700 の同じ中間温度へ予熱され、続いてデバイス側122はそれを望まれる処理温度 T_p まで加熱する照射パルスで露光される。従来のすなわち標準パルス306に比べて、第2の活性化曲線1204に対応する熱サイクルの照射パルスはおよそ1.5msの半値全幅を有するようにそれらを一時的に引き延ばすことにより修正されている、若しくはそれらの形状を維持することにより、「長い」若しくは従来形状のパルスを形成する。活性化曲線1204はおよそ1200から1285 の範囲の望まれる処理温度 T_p を有する熱サイクルを例示している。

10

【0124】

第3の活性化曲線1206は複数の熱サイクルに対応し、半導体ウェーハ120は700 の同じ中間温度へ予熱され、続いてデバイス側122を望まれる処理温度 T_p まで加熱するために照射パルスをデバイス側122に露光される。しかしながら、従来のパルス形状または引き延ばされたパルス形状を使用するのではなく、活性化曲線1206に対応する熱サイクルの照射パルスは本発明の実施例に従って生成され図5に示す照射パルス506と同様な形状を有している。それゆえ、定められた熱サイクルの照射パルスはデバイス側122を望まれる処理温度 T_p まで加熱する初期加熱部分、およびデバイス側122を望まれる処理温度 T_p から望まれる範囲内に維持する後続維持部分を含んでいる。活性化曲線1206はおよそ1200から1255 の範囲の望まれる処理温度 T_p を有する熱サイクルを例示している。

20

【0125】

第4の活性化曲線1208は第3の活性化曲線1206と同様な熱サイクルに対応するが、図5に示すパルス506と同様な、初期加熱部分および後続維持部分を有する本発明の実施例に従った照射パルスにデバイス側122をさす前にワークピースはより高い中間温度である800 に予熱される。この事について、発明者はウェーハが急速に照射予熱されることがここに記載されているような実施例では、中間温度を700 から800

30

まで高めても著しいドーパント拡散(多くの応用に対して無視できる、2nmよりも小さい典型的な深さ方向プロファイルの動き)を生じないことに気づいた。活性化曲線1208はおよそ1200から1255 の範囲の望まれる処理温度 T_p を有する熱サイクルを例示している。

【0126】

全ての4つの活性化曲線はより高い処理温度 T_p はより低いシート抵抗 R_s を生じることが例示している。これは低い R_s が唯一の考慮すべき事柄であれば、可能な最大温度を使用すべきことを示唆している。しかしながら、實際上、理想的に使用すべき処理温度に制限を課す傾向のある相殺する考慮すべき事柄がある。

40

【0127】

第1の最も単純な温度制限はデバイス構造またはシリコン基板の望ましくないまたは許できない位相変化、または温度だけで決定される他の望ましくない変化により決定される。この例はポリシリコンまたはシリコン基板の融解である。

【0128】

第2のより複雑な制限は臨界制限を超えるウェーハ内に誘起される熱応力により決定される。例として引張応力によるウェーハ折損、または過剰な圧縮および/または引張応力による反りや歪みが含まれる。

50

【 0 1 2 9 】

フラッシュ・アシスト熱処理中にウェーハ内に生じる応力は主としてフラッシュによる中間温度から望まれるプロセス温度までの温度ジャンプの大きさにより変動し、温度ジャンプの大きさの減少はウェーハ内の熱応力を著しく減少させる傾向がある。中間予熱温度を高めてジャンプの大きさを減少させる能力は、望ましくないドーパント拡散が適切な活性化温度のごく近くでは遥かに高い割合で生じるという事実により幾分制限され、それゆえに、等温加熱とは反対にフラッシュ・アシスト高速昇降温を介して活性化温度近くで費やされる時間を最小限に抑える要望となる。それゆえ、望まれる活性化レベルを達成できれば、熱処理温度を下げることは温度ジャンプの大きさを減少させる1つの可能な方法である。

10

【 0 1 3 0 】

図12は本発明の実施例を使用してドーパント活性化またはシート抵抗の望まれるレベルを達成できることを例示しており、従来のパルス形状または時間的に引き延ばされた従来のパルス形状を使用して達成されるものよりも温度ジャンプは低くそれゆえワークピース内の応力は小さい。

【 0 1 3 1 】

任意の例として、望まれるシート抵抗が $R_s = 400 \text{ } \Omega / \text{sq}$ であれば、700 の中間温度で開始して、第1の活性化曲線1202は従来のパルスが1295のプロセス温度を達成するであろうことを例示している。対照的に、第3の活性化曲線1206は本発明の実施例に従った照射パルスが、700 の同じ中間温度への予熱に続いて、400 Ω / sq の同じシート抵抗を達成するのに1250のプロセス温度を達成するだけでよいであろうということを例示している。それゆえ、この例では、本発明の実施例に従った照射パルスを使用して、温度ジャンプの大きさを従来のパルスと比べて45%だけ低減することができ、ワークピース内に生成される応力を著しく低くして同じシート抵抗を達成する。

20

【 0 1 3 2 】

共に本発明の実施例に従った照射パルス形状に対応するが異なる中間温度から開始する第3および第4の活性化曲線1206および1208を比べると、中間温度を700 から800 へ高めるがプロセス温度を一定に保つとシート抵抗はおよそ60 Ω / sq だけ増加する傾向がある。望まれるプロセス温度 T_p を1250 から1255 へ僅か5%高めるだけで、400 Ω / sq の同じ望まれるシート抵抗を達成することができるが、700 ではなく800 のより高い中間温度で開始すると、望まれるプロセス温度となる。それゆえ、第1の活性化曲線1202に比べて、この例では、温度ジャンプの大きさは140% (595 から455%) だけ低減することができ、ワークピース内に生成される応力を著しく低くしながら同じ望まれるシート抵抗を達成することができる。

30

【 0 1 3 3 】

したがって、従来のパルスを利用する第1の活性化曲線1202により例示されるものと同様な熱サイクルと比べて、本発明の実施例に従った照射パルスを利用する活性化曲線1206および1208により例示されるものと同様な熱サイクルはより低いプロセス温度および中間温度からプロセス温度への低減された温度ジャンプで匹敵するシート抵抗を達成することができる。都合のよいことに、このような実施例はウェーハ内の応用を著しく低減し、従来のパルスを利用する熱サイクルと比べて、ウェーハ折損または反りや歪みの発生確率を著しく低減する。

40

【 0 1 3 4 】

逆に、所望により、本発明の実施例に従ったパルスを利用する熱サイクルは温度ジャンプの大きさを増すことなく著しく大きなドーパント活性化および著しく低いシート抵抗を達成することができ、折損または反りや歪みの可能性を高めることなく改善された活性化結果を達成する。

【 0 1 3 5 】

温度および温度ジャンプの理想的なバランスは異なる応用に対して変動することがあり

50

、温度と応力の組合せに対する特定のデバイス構造の感度に依存することもある。より低い温度ジャンプにより生じるより低い応力により損傷することなくより高いプロセス温度をなすことができる。

【0136】

拡散に関して、活性化曲線 1206 および 1208 に対応するものと同様な熱サイクルに対して、望まれるプロセス温度を 1200 から 1300 へ高めても、2 - 3 nm の拡散しか導入しない傾向がある。このような拡散は小さくかつ急峻性を増すが接合深さは増すことがない傾向のある高濃度において主として生じる傾向があるとされており、この傾向は有利となることがある。これらの観察は、ウェーハのより冷たい大部分の急速な「ヒートシンク」冷却効果により、ウェーハの熱伝導時間よりも著しく短い時間プロセス温度にデバイス側が維持される本発明の実施例に従った熱サイクルに限定される。デバイス側温度が長い期間 1300 に維持されて、ウェーハの等温加熱に近づくと、多くの現代および将来の応用に対して拡散は急速に許容限界を超え始め、フラッシュ・アシスト処理の目的が挫かれる。

10

【0137】

(代替案)

図 1 および 2 について、本発明の実施例に従ってワークピースを熱処理する装置は図 1 に示す装置 100 を含み、それはプロセッサ回路 110 および照射パルス生成システム 180 を含んでいる。前の実施例と同様に、プロセッサ回路 110 は照射パルス生成システム 180 を制御してワークピース 106 の目標表面積上に入射する照射パルスの初期加熱部分および後続維持部分を生成するように構成され、ここに初期加熱部分および後続維持部分の結合持続時間はワークピースの熱伝導時間よりも短い。しかしながら、この実施例では、装置はさらにオプションな測定システム 102 を含んでいる。本実施例では、プロセッサ回路 110 は測定システム 102 と協働して照射パルス中に望まれる熱プロセスの現在完了している量を示す少なくとも 1 つのパラメータを監視するように構成され、かつ照射パルス生成システム 180 を制御して少なくとも 1 つのパラメータの期待値からの逸脱に応答して照射パルスを修正するように構成される。

20

【0138】

より詳細には、この実施例では、照射パルス中に望まれる熱プロセスの現在完了している量を示す少なくとも 1 つのパラメータは、前記方程式 (2) で与えられる時間 t において生じている反応 A_R の総量を含んでいる。

30

【0139】

この事については、たとえば、米国特許出願第 2007/0069161 号に記載されているように、たとえ表面上同一のワークピースであっても實際上ワークピース毎に放出率の差を有することもあるため、同じ照射サイクルでなされる時に異なるエネルギー吸収量を生じ異なる大きさの熱サイクルとなる。そのためこのような表面上同一のワークピースは、たとえワークピースが同じ照射サイクルでなされても、異なる量の完了した熱プロセス反応が得られる。したがって、都合のいいことに、照射パルス中に望まれる熱プロセスの現在完了している量を示すパラメータを監視し、次に、少なくとも 1 つのパラメータの期待値からの逸脱に応じて照射パルスを修正することにより、このようなワークピース毎の放出率の差に無関係に、望まれる量の望まれる熱プロセスが達成されることを保証するようにパルスを修正するようにしてもよい。それゆえ、望まれる熱プロセスの現在完了している量の監視ではなくプロセス温度の監視に回答してパルスが修正されるような前記した同一譲受人による米国特許出願第 2005/0063453 号に比べてプロセス一貫性および反復性のさらなる改善を達成する可能性がある。

40

【0140】

図 1 および 7 について、この実施例では、測定システム 102 は米国特許出願第 2005/0069161 号に詳細に記載されているような、広いダイナミックレンジおよび超高速応答を有するように設計された超高速放射計 1400 を含んでいる。それゆえ、この実施例では、米国特許出願第 2007/0069161 号に詳細に記載されているように

50

、超高速放射計 1 4 0 0 は 1 4 5 0 n m 狭帯域フィルタ 1 4 0 2、光学スタック 1 4 0 4、高速 InGaAs PIN ダイオード 1 4 0 6、集積熱電クーラ 1 4 0 8、増幅器 1 4 1 0、アナログ/デジタル (A/D) コンバータ 1 4 1 2、入出力 (I/O) インターフェイス 1 4 6 0 およびシールディング 1 4 7 0 を含んでいる。

【0141】

図 1 および 8 について、この実施例では、給電システム 1 8 8 の個別の各給電システム 1 8 9、1 9 1、1 9 3 および 1 9 5 が、その各フラッシュ・ランプ 1 8 2、1 8 3、1 8 5 または 1 8 7 と通信する、8 0 0 に示すような電力制御回路を含んでいる。例として、フラッシュ・ランプ 1 8 2 に対する電力制御回路 8 0 0 だけが図 8 に示されている。この実施例では、各電力制御回路 8 0 0 は米国特許出願第 2 0 0 7 / 0 0 6 9 1 6 1 号に記載されている対応する電力制御回路と同一である。したがって、この実施例では、各電力制御回路が給電ユニット 8 0 2 と、キャパシタ・バンク 8 2 8 と、第 1 および第 2 のダイオード 8 0 4 および 8 0 6 と、第 1 および第 2 の抵抗器 8 0 8 および 8 1 0 と、抵抗器 8 1 2 と、ダンプリレー 8 1 4 と、もう 1 つのリレー 8 1 6 とインダクタ 8 2 4 と抵抗器 8 2 6 とサイリスタまたはシリコン制御整流器 8 2 2 とを含み一般的に 8 2 0 に示す第 1 の電力低減回路と、サイリスタ 8 3 2 とインダクタ 8 3 4 とを含み一般的に 8 3 0 に示す電力点灯回路と、照射フラッシュを開始するサイリスタ 8 3 6 と、抵抗器 8 4 0 と、フリーホイール・ダイオード 8 4 2 と、インダクタ 8 5 4 と抵抗器 8 5 6 とサイリスタまたはシリコン制御整流器 8 5 2 とを含み一般的に 8 5 0 に示す第 2 の電力低減回路と、を含んでいる。これらのコンポーネントとそれらの機能は米国特許出願第 2 0 0 7 / 0 0 6 9 1 6 1 号に記載されている。

10

20

【0142】

図 2 に戻って、この実施例では、記憶装置 2 2 0 は、さらに、パルス帰還制御ルーチン 2 9 0 とプロセス完了ルックアップ・テーブル 2 9 8 とシミュレーション・ルーチン 2 2 6 と熱解析ルーチン 2 3 0 とを格納している。また、この実施例では、メモリ装置 2 6 0 はデバイス側 1 2 2 の温度測定値を一時的に格納するデバイス側温度ストア 2 8 0 と、期待された温度値を一時的に格納する期待された温度ストア 2 8 2 と、照射パルス中にさまざまな時間間隔で完了していると期待される望まれる熱プロセスの量を表す期待値を一時的に格納する期待されたプロセス完了ストア 2 9 4 と、照射パルス中に望まれる熱プロセスの現在完了している量を示すパラメータを格納する現在プロセス完了レジスタ 2 9 6 と、を含んでいる。

30

【0143】

図 1、2、5 および 9 について、パルス帰還制御ルーチン 2 9 0 が図 9 により詳細に示されている。一般的に、パルス帰還制御ルーチン 2 9 0 はメイン RTP ルーチン 2 2 1 のものと同様な機能を含んでいるが、照射パルス生成システム 1 8 0 を制御して照射パルス 5 0 6 をリアルタイムで修正するようにプロセッサ回路 1 1 0 を構成する。より詳細には、パルス帰還制御ルーチン 2 9 0 は測定システム 1 0 2 と協働して照射パルス中に望まれる熱プロセスの現在完了している量を示す少なくとも 1 つのパラメータを監視し、かつ照射パルス生成システム 1 8 0 を制御して少なくとも 1 つのパラメータの期待値からの逸脱にตอบสนองして照射パルスを修正するようにプロセッサ回路 1 1 0 を構成する。したがって、都合のいいことに、照射パルス 5 0 6 中の定められたポイントにおいて、期待されるよりも著しく少ないまたは著しく多い望まれる熱プロセスが確かに生じておれば（たとえば、デバイス側 1 2 2 が期待されたものとは異なる放出率を有していれば、それに期待されたものとは異なるパーセンテージの照射パルス 5 0 6 を吸収させること）、プロセッサ回路は照射パルス 5 0 6 の残りを修正して補償するように照射パルス生成システムを制御してもよく、完了した熱反応の最終量をそうしない場合よりもその期待値に近づける。その結果、照射フラッシュが望まれる熱プロセスの現在完了している量を示すパラメータに応じてではなくフラッシュ中のリアルタイム温度測定値だけにตอบสนองして修正されたことが記載された、米国特許出願第 2 0 0 7 / 0 0 6 9 1 6 1 号におけるよりもウェーハ毎の反復性および一貫性のさらなる改善を達成できる可能性がある。

40

50

【 0 1 4 4 】

この実施例では、パルス帰還制御ルーチン 2 9 0 はコードの第 1 のブロック 9 0 2 で開始され、このブロックでは照射パルス 5 0 6 中の複数の各時間間隔に対する 1 組の期待されたプロセス完了パラメータ値を生成するようプロセッサ回路 1 1 0 に命令する。本実施例では、パルス・パラメータつまり期待された照射パルス 5 0 6 は既知であり、ワークピース・パラメータつまりデバイス側 1 2 2 側の得られると期待される温度 - 時間プロファイル $T(t)$ 6 0 8 も既知であり、望まれる熱活性化プロセスの活性化エネルギー E_A が既知である。したがって、この実施例では、ブロック 9 0 2 は、前記した方程式 (2) を使用して、照射パルス 5 0 6 中に $10 \mu s$ の間隔で複数の時間 t_n に対する 1 組の期待されたプロセス完了値 $A_{RE}(t_n)$ を生成するようプロセッサ回路に命令する。この実施例では、期待されたプロセス完了値 $A_{RE}(t_n)$ は実際のプロセス完了値と比較されるため、方程式 (2) の右辺内のいかなる潜在的定数も期待および実際プロセス完了値の計算において無視することができ、比較において外に出されるためである。それゆえ、期待されたプロセス完了値 $A_{RE}(t_n)$ は次式で表わしてもよい。

10

【 数 6 】

$$A_{RE}(t_n) = \int_{t_0}^{t_n} e^{\left(\frac{-E_A}{kT(t)}\right)} dt \quad (6)$$

20

【 0 1 4 5 】

この実施例では、 t_n は 10 マイクロ秒間隔で照射パルス 5 0 6 の開始時の $t_0 = 0$ から照射パルス 5 0 6 の終りの $t_{400} = 4$ までの範囲である。この実施例では、この時間範囲は照射パルスが開始する前の期待されるプロセス完了を無視する。本実施例において例により記述された活性化プロセスは照射パルスにより生じる高温のほぼ全体的に行われ、パルスに先行する予熱段階中に生じる反応の量は小さい。しかしながら、代わりに、照射パルス段階に対して生成される値に対してここに記載されているのと同様に、期待されたプロセス完了値と実際のプロセス完了値の両方の生成において（後述する）、予熱段階中に生じる反応を考慮してもよい。予熱段階中の比較的緩やかな温度変化により、連続する値間の著しく長い時間間隔でも足りることがある。たとえば、期待されたプロセス完了値および実際のプロセス完了値は本実施例の照射パルス段階に対して利用された $10 \mu s$ 間隔ではなく予熱段階に対する $1 ms$ の間隔で得られる。

30

【 0 1 4 6 】

この実施例では、ブロック 9 0 2 はメモリ・デバイス 2 6 0 内の期待されたプロセス完了ストア 2 9 4 内に期待されたプロセス完了パラメータ $A_{RE}(t_n)$ を格納するようプロセッサ回路 1 1 0 に命令する。

40

【 0 1 4 7 】

代わりに、パルス・パラメータ・ストア 2 7 8 の内容および / またはワークピース・パラメータ・ストア 2 4 0 の内容が期待された照射パルス 5 0 6 または期待された温度 - 時間プロファイル 6 0 8 またはその両方が前もって知らない熱サイクルに対応すれば、ブロック 9 0 2 は期待された照射パルス 5 0 6 を予測し、温度 - 時間プロファイル 6 0 8 を予測して、前記したように期待されたプロセス完了値を得るようプロセッサ回路に命令してもよい。たとえば、代わりにブロック 9 0 2 は最初にシミュレーション・ルーチン 2 2 6 を実行して照射パルス生成システム 1 8 0 により生成される照射パルス 5 0 6 を予測する

50

ようプロセッサ回路に命令することができる。より詳細には、この実施例では、シミュレーション・ルーチン226はOptical Research Associates of Pasadena, CA, USAから入手できるLIGHTTOOLSTM 3Dソリッド・モデリング照明解析ソフトウェアを含んでいる。シミュレーション・ルーチン226はパルス・パラメータ・ストア278の内容(各フラッシュ・ランプ182、183、185および187に対するキャパシタ・バンク充電回路および相対放電時間を含む)を読み取り、装置100の光学および幾何学的性質を解析し、実際にデバイス側122に到達する照射パルス506のエネルギー量を計算するようプロセッサ回路に命令する。次に、ブロック902は熱解析ルーチン230を実行し、照射パルス506から生じる期待された温度-時間プロファイル608を計算するようプロセッサ回路に命令してもよい。この実施例では、熱解析ルーチン230はHarvard, MA, USAのHarvard Thermal Inc.社製TAS Thermal Analysisソフトウェアを含んでおり、新バージョン、ANSYS(登録商標)TASTM Thermal Analysis Systemは現在Harvardの後継者であるCanonsburg, PA, USAのANSYS, Inc.社から入手できる。あるいは、ウェーハ120のデバイス側122に対する期待された温度軌跡を決定する他の方法で代用してもよい。得られる期待された温度データはメモリ・デバイス260内の期待された温度ストア282内に一時的に格納してもよく、次に、前記したように、1組の期待されたプロセス完了値 $A_{RE}(t_n)$ を計算するのに使用してもよい。

10

20

30

40

50

【0148】

この実施例では、ブロック904は、次に、フラッシュ・ランプ182、183、185および187の個別の給電システム189、191、193および195のキャパシタ・バンク828を、メモリ・デバイス260内のパルス・パラメータ・ストア278内に指定された充電電圧まで、プリチャージすることにより照射パルス生成システム180およびワークピース106が照射パルス506に対して準備するようプロセッサ回路110に命令する。

【0149】

ブロック402に関して詳細に説明しかつ米国特許出願第2005/0063453号に記載されているように、ブロック904は、次に、予熱システム150を制御してワークピース106を望まれる温度よりも低い中間温度まで予熱し、かつ高速放射計164から受信した信号を監視して予熱される時のウェーハ120の温度を監視するようプロセッサ回路110に命令する。

【0150】

ワークピース106は中間温度まで予熱されていることをブロック904において検出すると、ブロック906は、ブロック404において検討したように、照射パルス生成システム180を制御して照射パルス506の初期加熱部分502および後続維持部分504を生成し、同時に、測定システム102と協働を開始して望まれる熱活性化プロセスの現在完了している量を示すパラメータを監視するようプロセッサ回路110に命令する。後述するブロック908から912の引き続く実行中に、ブロック906はスレッドとして実行し続け、プロセス完了パラメータを監視し続けながら照射パルス506の残りを生成し続ける。

【0151】

プロセス完了パラメータのこのような監視を達成するために、この実施例では、たとえば、米国特許出願第2007/0069161号または米国特許出願第2005/0063453号に詳細に記述されているように、ブロック906は最初に照射パルス中にウェーハ120のデバイス側122のリアルタイム温度を表す測定システム102からの温度測定信号を受信開始するようプロセッサ回路110に命令する。この実施例では、ブロック906は照射フラッシュ中に10 μ s毎に測定システム102からデバイス側温度測定値を受信し、測定値が取得された時間間隔に対応するフィールド内で、デバイス側温度ストア280内にこのような各測定値を格納するようプロセッサ回路110に命令する。

【 0 1 5 2 】

この実施例では、このような各温度測定値が受信され格納されると、ブロック 9 0 6 は望まれるプロセスの現在完了した量を示すパラメータを計算して格納するようプロセッサ回路に命令する。十分な処理パワーおよび速度が得られれば、ブロック 9 0 6 は各時間間隔にわたって方程式 (2) を積分し最も最近の時間間隔内で完了している望まれる活性化プロセスの実際の量 A_{RA} を計算するようプロセッサ回路 1 1 0 に命令してもよい。

【 0 1 5 3 】

しかしながら、替わりに、完了しているプロセスの実際の量を得る他の方法に代えてもよい。たとえば、温度曲線のファミリを予め計算し測定された温度値をそれらと比較して、最も最近の時間間隔にわたる方程式 (2) の指数項の積分を予測してもよい。

10

【 0 1 5 4 】

あるいは、さらなる例として、本実施例では、プロセス完了ルックアップ・テーブル 2 9 2 を使用して最も最近の時間間隔で完了している望まれる熱プロセスの実際の量 A_{RA} が計算される。

【 0 1 5 5 】

この実施例では、プロセス完了ルックアップ・テーブル 2 9 2 は予め計算されて格納される。これをどのように達成するかの一例として、デバイス側 1 2 2 の真の温度 - 時間曲線がステップワイズ関数として近似され、その測定値 T_{Mn} はそれが測定された $10 \mu s$ 時間間隔 (t_{n-1} , t_n) 内では一定のままであったと想定されるが、その測定値はそれが測定される任意他の $10 \mu s$ 時間間隔内では異なる一定値となることがあり、各 $10 \mu s$ 時間間隔 (t_{n-1} , t_n) に対して、方程式 (2) の積分は定数の積分となる、すなわち、

20

【 数 7 】

$$\Delta A_{RA_n} = \int_{t_{n-1}}^{t_n} e^{\left(\frac{-E_A}{kT_{Mn}}\right)} dt = e^{\left(\frac{-E_A}{kT_{Mn}}\right)} (10^{-5} \text{ sec}) \quad (7)$$

30

【 0 1 5 6 】

したがって、この実施例では、処理完了ルックアップ・テーブル 2 9 2 は望まれる活性化エネルギー E_A を指定する第 1 列、測定温度 T_{Mn} を指定する第 2 列、および方程式 (7) からの A_{RA} の対応する予め計算された値を格納する第 3 列を含んでいる。各 $10 \mu s$ 時間間隔に対して、ブロック 9 0 6 は、既知の活性化エネルギー E_A および測定温度 T_{Mn} を使用して、 T_{Mn} が測定された $10 \mu s$ 時間間隔中に生じている望まれるプロセスの近似量を表す対応する値 A_{RA} を見つけるようプロセッサ回路 1 1 0 に命令する。次に、ブロック 9 0 6 は見つけた値 A_{RA_n} を現在プロセス完了レジスタ 2 9 6 (この実施例では、時間 $t = 0$ においてゼロに初期設定される) の内容に加えるようプロセッサ回路 1 1 0 に命令する。それ故、任意の定められた時間間隔 t_n において、現在プロセス完了レジスタ 2 9 6 は下記の値を含み、

40

【数 8】

$$A_{RA}(t_n) = \sum_n \Delta A_{RA} n \quad (8)$$

時間 t_n を介してここまで経過した全時間間隔内で生じた望まれる活性化プロセスの量の和を表す。言い換えると、時間 t_n において現在プロセス完了レジスタは時間 t_n における望まれる活性化プロセスの現在完了した量を示すパラメータを含んでいる。期待値 $A_{RE}(t_n)$ に関して前記したように、本実施例は照射パルス加熱段階中だけ期待されたプロセス完了値および実際のプロセス完了値を生成して比較するが、代わりに、このような値は予熱段階に対しても生成し比較してもよい。

【0157】

この実施例では、次に、ブロック 908 は望まれる温度プロセスの現在完了した量を示すパラメータを監視するようプロセッサ回路 110 に命令する。より詳細には、ブロック 908 は現在プロセス完了レジスタ 296 の内容 $A_{RA}(t_n)$ を読み取り、これらの内容を現在時間間隔 t_n に対応する期待されたプロセス完了ストア 294 のフィールド内に格納された期待されたプロセス完了値 $A_{RE}(t_n)$ と比較するようプロセッサ回路 110 に命令する。現在プロセス完了レジスタ 296 内に格納されたパラメータ $A_{RA}(t_n)$ の値が期待されたプロセス完了ストア 294 のアドレスされたフィールド内に格納された期待された値 $A_{RE}(t_n)$ から逸脱する場合、プロセッサ回路 110 は照射パルス生成システムを制御して照射パルス 506 を修正するように命令される。より詳細には、ブロック 908 において現在プロセス完了レジスタ 296 の内容が、期待されたプロセス完了ストア 294 のアドレスされたフィールドの内容から閾値差よりも多く逸脱すれば、ブロック 910 は照射パルス 506 を修正して逸脱の打消を試みるようプロセッサ回路に命令する。この実施例では、閾値差は期待値の 1% である。あるいは、特定の応用に対して望まれる反復性のレベルに応じて他の閾値に代えてもよい。

【0158】

より詳細には、この実施例では、ブロック 908 において現在プロセス完了レジスタ 296 内に格納されたパラメータが期待されたプロセス完了ストア 294 内に格納された期待値を閾値差よりも多く超える場合、ブロック 910 は照射パルス生成システム 180 を制御して後続維持部分 504 の持続時間を短縮することにより照射パルス 506 を修正するようプロセッサ回路 110 を構成する。

【0159】

この実施例では、照射パルスの持続時間を短縮するために、ブロック 910 は照射パルス生成システム 180 を制御して複数のフラッシュ・ランプ 182、183、185 および 187 の少なくとも 1 つにより作り出される照射フラッシュを早まって消すようプロセッサ回路に命令する。より詳細には、この実施例では、ブロック 910 は現在および期待されたプロセス完了値間の差を使用して記憶装置 220 内に格納されたパルス干渉ルックアップ・テーブル 298 内の対応するレコードを見つけてアドレスするようプロセッサ回路 110 に命令する。差の符号（正または負）は 1 つ以上のランプが、それぞれ、消されるか点灯されるかを示し、この例では、正の差（ $A_{RA}(t_n) > A_{RE}(t_n)$ ）は 1 つ以上のフラッシュ・ランプを早まって消すべきことを示す。差の大きさは早まって消すべき 1 つ以上のフラッシュ・ランプを識別し、それらを消すべき時間を識別する。たとえば、現在および期待されたプロセス完了値間の差が閾値差をわずかにだけ超える場合、パルス干渉ルックアップ・テーブル 298 内の対応するレコードは第 3 の照射パルス・コンポーネント 512 を作り出す第 3 のフラッシュ・ランプ 185 の識別符号だけ格納されて

もよく、また第3の照射パルス・コンポーネント512の持続時間内で比較的遅く下降する干渉時間を格納してもよい。逆に、現在および期待されたプロセス完了値間の差が閾値差をはなはだしく超える場合、パルス干渉ルックアップ・テーブル298内の対応するレコードは第2および第3の両方のフラッシュ・ランプ183および185の識別符号を格納してもよく、また照射パルス506の持続時間の比較的早期に第2および第3の照射パルス・コンポーネント510および512の両方を消すようプロセッサ回路110に命令する消灯時間を格納してもよい。あるいは、全フラッシュ・ランプを同時にまたは異なる時間に消してもよい。

【0160】

この実施例では、このような消灯時間が決定されていると、消灯時間の到達を待つ間、ブロック908で検討したように、ブロック910は消灯時間に先行する連続時間間隔において実際のプロセス完了値 $A_{RA}(t_n)$ を監視して期待されたプロセス完了値 $A_{RE}(t_n)$ と比較することを継続するようプロセッサ回路に命令する。ブロック910は前記したように連続時間間隔においてパルス干渉ルックアップ・テーブル298を調べ、消灯時間が近づく時に連続時間間隔における実際および期待されたプロセス完了値のさらなる比較に基づいて消灯時間を再確認し、必要であれば、変更することを継続するようプロセッサ回路に命令する。

【0161】

本実施例では、消灯時間に到達すると、ブロック910はパルス干渉ルックアップ・テーブル298により指定されたフラッシュ・ランプの電力制御回路800の電力低減回路820のサイリスタ822にゲート電圧を加えるようプロセッサ回路に命令する。このようにフラッシュ・ランプを消灯することは米国特許出願第2007/0069161号により詳細に記述されている。

【0162】

逆に、ブロック908において期待されたプロセス完了ストア294内に格納された期待値が現在プロセス完了レジスタ296内に格納されたパラメータを閾値差よりも多く超える場合、ブロック910は照射パルス生成システム180を制御して後続維持部分504の持続時間を延ばすことにより照射パルス506を修正するようプロセッサ回路110を構成する。より詳細には、ブロック910は現在および期待されたプロセス完了値間の差を使用してパルス干渉ルックアップ・テーブル298内の対応するレコードを見つけてアドレスするようプロセッサ回路110に命令する。差の符号（正または負）は1つ以上のランプが、それぞれ、消されるか点灯されるかを示し、この例では、負の差（ $A_{RA}(t_n) < A_{RE}(t_n)$ ）は1つ以上のフラッシュ・ランプを点灯すべきことを示す。差の大きさは点灯すべき1つ以上のフラッシュ・ランプを識別し、それらを点灯すべき時間を識別する。たとえば、現在および期待されたプロセス完了値間の差が閾値差（この実施例では、期待値の1%）を僅かにだけ超える場合、パルス干渉ルックアップ・テーブル298内の対応するレコードは第3の照射パルス・コンポーネント512を作り出す第3のフラッシュ・ランプ185の識別符号だけ格納してもよく、第3の照射パルス・コンポーネント512の持続時間内で比較的遅く下降する干渉時間を格納してもよい。逆に、現在および期待されたプロセス完了値間の差が閾値差をはなはだしく超える場合、パルス干渉ルックアップ・テーブル298内の対応するレコードは第2および第3の両方のフラッシュ・ランプ183および185の識別符号を格納してもよく、照射パルス506の持続時間の比較的早期に第2および第3の照射パルス・コンポーネント510および512の両方を点灯するようプロセッサ回路110に命令する点灯時間を格納してもよい。

【0163】

再度、この実施例では、このような点灯時間が決定されていると、点灯時間の到達を待つ間、ブロック908で検討したように、ブロック910は点灯時間に先行する連続時間間隔において実際のプロセス完了値 $A_{RA}(t_n)$ を監視して期待されたプロセス完了値 $A_{RE}(t_n)$ と比較することを継続するようプロセッサ回路に命令する。ブロック910は前記したように連続時間間隔においてパルス干渉ルックアップ・テーブル298を調

10

20

30

40

50

べ、点灯時間が近づく時に連続時間間隔における実際および期待されたプロセス完了値のさらなる比較に基づいて点灯時間を再確認し、必要であれば、変更することを継続するようプロセッサ回路に命令する。

【0164】

本実施例では、点灯時間に到達すると、ブロック910は照射パルス生成システム180を制御して複数のフラッシュ・ランプ182、183、185および187の少なくとも1つが放電される電気経路のインダクタンスを増加することにより後続維持部分の持続時間を長くするようプロセッサ回路110に命令する。より詳細には、このインダクタンスの増加を達成するために、ブロック910は、パルス干渉ルックアップ・テーブル298により指定された点灯時間に、パルス干渉ルックアップ・テーブル298の内容により指定されたフラッシュ・ランプに対応する電力制御回路800の電力点灯回路830のサイリスタ832にゲート電圧を加えるようプロセッサ回路110に命令する。このインダクタンスの増加は米国特許出願第2007/0069161号により詳細に記述されている。所望により、米国特許出願第2007/0069161号に記述されているように補足キャパシタ（図示せず）を設けることができ、補足キャパシタはサイリスタ832にゲート電圧が加わる時に影響を受けたフラッシュ・ランプを介して即座に放電を開始するようにされてもよい。

10

【0165】

ブロック910におけるパルス修正に続いて、パルス帰還制御ルーチン290が終了される。あるいは、定められた実施例では、ブロック910における干渉の1つの作用にブロック910の後続実行への干渉の第2の作用が続くことがあり、プロセッサ回路はブロック912へ向けられて処理を続けてもよい。

20

【0166】

この実施例では、ブロック908において現在プロセス完了レジスタ296内に格納されたパラメータが期待されたプロセス完了ストア294内に格納された期待値から閾値差よりも多く逸脱しなければ、ブロック912は照射パルス506の生成が完了しているかどうかを決定するようプロセッサ回路110に命令する。本実施例では、これはパルス506の生成開始以来4msよりも長く経過しているかどうかを決定して達成されるが、代わりに照射パルス506の生成完了を決定する他の基準を適用してもよい。照射パルス506の生成がまだ完了していなければ、前記したように、プロセッサ回路110はその期待値からの可能な逸脱に対して望まれる熱活性化プロセスの現在完了した量を示すパラメータの監視を続けるようブロック908へ戻される。照射パルス506の生成が完了すると、パルス帰還制御ルーチン290が終了される。

30

【0167】

本発明のもう1つの同様な実施例では、このようなパルス修正はワークピースへのその影響が期待された影響から閾値差を超えて逸脱するものだけではなく、各照射パルスに対して行ってもよい。たとえば、例示する実施例では、フラッシュ・ランプのキャパシタ・バンクは故意にオーバチャージされ、ブロック910は照射パルス生成システム180を制御して、全フラッシュ・ランプにより作り出される照射フラッシュを消すことにより、後続維持部分504の持続時間を短縮するよう常にプロセッサ回路110を命令するようになされる。したがって、図3に戻って、この代替実施例では、得られる照射パルスは常に照射パルス300の後縁305と同様な急峻勾配の後縁を有する。この代替実施例は照射パルスの維持部分で処理された後のワークピースの目標表面積の冷却の急速化を向上させる傾向があり、より一貫性のある全体の熱サイクルを保証し、達成される実際のプロセス結果のコントロールをさらに向上させることもできる可能性がある。この代替実施例では、閾値の概念は省かれ、前記したように、ブロック910においてパルス干渉ルックアップ・テーブル298が自動的に使用され、プロセス完了値の期待値と実際値との比較に基づいて、フラッシュ・ランプを消すべき時間を決定する。

40

【0168】

あるいは、さらにもう1つの実施例では、図3の305に示すものと同様な急峻勾配の

50

後縁を提供するようにフラッシュ・ランプを消ことにより照射パルスは常に早まって終了されるが、帰還制御は省かれる。照射パルスは、たとえば、ソフトエア制御を介してユーザにより指定される可調整時間、またはユーザにより指定される熱サイクルの他のより一般的なパラメータに応答してメイン R T P ルーチンにより指令される時間、またはデフォルト時間により早まって消滅させることができる。

【 0 1 6 9 】

前記したこのようなリアルタイム帰還制御の替わりに、または追加して、照射パルス 5 0 6 および得られる温度 - 時間プロファイル 6 0 8 は、ハードウェア・コンポーネントを物理的に除去または交換することなく、ソフトエア制御だけで他の方法で容易に修正してもよい。たとえば、照射パルス・コンポーネント 5 0 8、5 1 0 および 5 1 2 は関連する個別の給電システム 1 8 9、1 9 1、1 9 3 および 1 9 5 の各サイリスタ 8 3 6 ヘゲート電圧を加えるプロセッサ回路により生成されてもよく、メイン R T P ルーチン 2 2 1 またはパルス帰還制御ルーチン 2 9 0 はユーザが照射パルス・コンポーネントの相対タイミングを容易に変えられるように修正してもよい。同様に、プロセッサ回路 1 1 0 は関連するキャパシタ・バンク 8 2 8 を異なる可調整 D C 電圧にチャージする個別の各給電システム 1 8 9、1 9 1、1 9 3 または 1 9 5 の給電ユニット 8 0 2 を制御することにより個別のパルス・コンポーネント 5 0 8、5 1 0 および 5 1 2 の大きさを調整できるため、メイン R T P ルーチンまたはパルス帰還制御ルーチン 2 9 0 はユーザがこれらのコンポーネントの相対的大きさを容易に調整できるように修正してもよい。さらに、ここに記載されているパルス修正方法の例は、ゲート電圧をサイリスタ 8 2 2 に加えてパルスを早まって消したりサイリスタ 8 3 2 に加えてパルスを延ばしたり点灯したりするプロセッサ回路 1 1 0 によるアプリケーションのように、容易にソフトエア可調整である。したがって、これらのパルス修正方法は、ハードウェア再設計を必要とするのではなくソフトエアを介して、個別フラッシュ・ランプにより作り出される個別のパルス・コンポーネントを全体的にまたは選択的に制御するユーザにより容易に調整されてもよい。照射パルス・コンポーネントの相対的タイミング、大きさおよび形状のこのような修正は、このような帰還制御を提供する実施例だけでなく、前記したような照射パルス中のリアルタイム帰還制御を欠く実施例でも行ってもよい。説明の目的でハイパワー・フラッシュ・ランプについて説明してきたが、遥かに多数のローパワー・フラッシュ・ランプを使用して照射パルス 5 0 6 の全体形状のより優れた制御を容易にしてもよい。

【 0 1 7 0 】

このような技術は他の実施例において結合することができる。たとえば、前記した実施例は 4 つのフラッシュ・ランプ 1 8 2、1 8 3、1 8 5 および 1 8 7 の各々に対して同様な回路を使用する傾向があったが、代わりに、異なる電力制御回路コンポーネントを使用してパルス形状をさらに変えてもよい。それゆえ、異なるフラッシュ・ランプ用電力制御回路は、たとえば、前記したものとは異なるインダクタ、キャパシタ、抵抗器その他のコンポーネントを有してもよい。このようなさまざまな電力制御回路は全ランプに対して同じとしてもよく、あるいは、各フラッシュ・ランプが異なる一意的電力制御回路を使用してもよい。同様に、前記したものと同じまたは異なる電力制御回路を有する実施例において、このような回路が全ランプに対して同じであっても各ランプに対して一意的であっても、異なる可調整充電電圧およびパルス開始時間を結合してもよい。たとえば、異なるランプに対する異なる給電回路、各ランプに対する異なる充電電圧、異なる相対的放電時間および個別のパルス修正能力を有する実施例等の、2 つ以上のこれらの方法を組み合わせる実施例は、より優れたパルス整形制御を行ってもよい。それゆえ、得られる照射パルスは図 3 に示す典型的な照射パルス 3 0 0 をより近似する。その結果、このような実施例では、パルスの維持部分はワークピースの目標表面積の温度を図 6 の 6 0 4 に示すものよりも望まれる温度からより小さい望まれる範囲内に維持することができる。たとえば、好ましくは、ある実施例では、望まれる範囲は望まれる温度 6 0 2 からおよそ 1×10^{-1} 以内とすることができる。他のこのような実施例では、望まれる範囲は望まれる温度からおよそ 3 以内とすることができる。

10

20

30

40

50

【 0 1 7 1 】

さらなる代替策として、複数の時間的にずれてかつ重畳する照射パルス・コンポーネント 5 0 8、5 1 0 および 5 1 2 が結合されて照射パルス 5 0 6 を生成するが、代わりに、複数の同時開始電気パルス・コンポーネントを利用して複数の対応する同時開始照射パルス・コンポーネントを作り出してもよく、ここにおよび米国特許出願第 2 0 0 7 / 0 0 6 9 1 6 1 号に記載されているような適切な電流低減または点灯技術により電気パルス・コンポーネントを修正して、得られる全体結合照射パルスを、たとえば、図 3 の 3 0 0 または図 5 の 5 0 6 に示すような望まれる新しいパルス形状に一致させてもよい。

【 0 1 7 2 】

あるいは、単一照射源を複数のフラッシュ・ランプの代わりにしてもよい。たとえば、図 1 0 について、本発明の第三の実施例に従った熱処理装置が 1 0 0 0 に一般的に示されている。ワークピース 1 0 6 の目標表面積が全体デバイス側表面 1 2 2 であった前記した実施例に対して、この実施例では、ワークピースの目標表面積は半導体ウェーハ 1 2 0 のデバイス側 1 2 2 の面積セグメント 1 0 0 2 を含んでいる。本実施例では、照射パルス生成システムは走査レーザ 1 0 0 4 を含み、このレーザは図 1 に示す複数のフラッシュ・ランプの代わりとされる。この実施例では、走査レーザ 1 0 0 4 は非対称的空間プロファイルを有するレーザビーム 1 0 0 6 を生成するように構成される。プロセッサ回路 1 1 0 (図 1 0 には図示せず) は走査レーザ 1 0 0 4 を制御することにより照射パルスを生成して、非対称的空間プロファイルを有するレーザビーム 1 0 0 6 でワークピース 1 0 6 の熱伝導時間よりも短い時間で面積セグメント 1 0 0 2 を横切るように走査するように構成される。

【 0 1 7 3 】

図 3 および 1 0 について、この実施例では、プロセッサ回路 1 1 0 は照射パルス生成システム (この実施例では、走査レーザ 1 0 0 4) を制御して、この実施例では面積セグメント 1 0 0 2 であるワークピース 1 0 6 の目標表面積上に入射する照射パルス 3 0 0 の初期加熱部 3 0 2 および後続維持部分 3 0 4 を生成するように構成される。前記した実施例のように、初期加熱部 3 0 2 および後続維持部分 3 0 4 の結合持続時間はワークピースの熱伝導時間よりも短い。初期加熱部 3 0 2 は目標表面積、すなわち、面積セグメント 1 0 0 2 を望まれる温度まで加熱し、後続維持部分 3 0 4 は目標表面積を望まれる温度から望まれる範囲内に維持する。

【 0 1 7 4 】

より詳細には、この実施例では、走査レーザ 1 0 0 4 はプログレッシブ・ライン走査でデバイス側 1 2 2 を横切るようにレーザビーム 1 0 0 6 で走査し、レーザビームはワークピースの熱伝導時間よりも短い時間で面積セグメント 1 0 0 2 を横切るように掃引し、ワークピースの熱伝導時間よりも短い時間で面積セグメント 1 0 0 2 と同じ走査線上の各隣接面積セグメントを横切るように走査するようにされるが、全走査線にわたる走査は典型的にワークピースの熱伝導時間よりも長くかかる。レーザビーム 1 0 0 6 は、デバイス側の各個別面積セグメントがワークピースの熱伝導時間よりも短い時間でレーザビーム 1 0 0 6 により走査されるまで、デバイス側 1 2 2 の連続ラインを横切るように走査される。それゆえ、レーザビーム 1 0 0 6 はこのような各面積セグメントを急速に加熱し、面積セグメントの下の大部分のワークピースは比較的冷たい中間温度に留まり、ヒートシンクとして作用してレーザビーム 1 0 0 6 がその上を走査した後で面積セグメントの急速冷却を促進する。所望により、このようなレーザ走査は、他の実施例に関して前記したように、予熱と結合してもよい。

【 0 1 7 5 】

図 3、1 0 および 1 1 について、この実施例では、プロセッサ回路 1 1 0 は走査レーザ 1 0 0 4 を制御して、面積セグメント 1 0 0 2 を横切るようにレーザビーム 1 0 0 6 の第 1 の空間部分 1 1 0 2 を走査することにより初期加熱部分 3 0 2 を生成し、また面積セグメント 1 0 0 2 を横切るようにレーザビーム 1 0 0 6 の第 2 の空間部分 1 1 0 4 を走査することにより後続維持部分 3 0 4 を生成するように構成され、第 1 の空間部分 1 1 0 2 お

よび第2の空間部分1104は非対称的である。より詳細には、この実施例では、図11に示すレーザビーム1006はデバイス側122の各連続ラインを横切るように左から右へ走査され、第1の空間部分1102の先縁は面積セグメント1002等の任意の定められた目標表面積を横切るように走査開始するレーザビームの最初の部分となり、第2の空間部分1104の後縁は目標表面積にわたる走査を終了するレーザビームの最後の部分となるようにされる。図11に示すレーザビーム1006の空間プロファイルは事実上図3に示す照射パルス300の時間プロファイルのミラーイメージであり、ワークピースの熱伝導時間よりも短い時間で面積セグメント1002を横切るように左から右へレーザビーム1006を急速に走査させると事実上その面積セグメントは図3の300に示すような時間的形狀を有する照射パルスで露光される。

10

【0176】

図11に示すレーザビーム1006の空間プロファイルは任意適切な方法で達成することができる。たとえば、米国特許第7,005,601号に記載されているレンズおよび他の光学コンポーネントを修正して図11に示す空間プロファイルを有するレーザビームを生成することができる。このような修正は本明細書の教示を受けたレンズ設計の当業者の技量の範囲内であると思われる。

【0177】

所望により、図10および11に示す実施例は定められた目標表面積にわたるレーザビーム1006の走査から得られる照射パルスのリアルタイム帰還制御を内蔵するように修正してもよい。たとえば、前記したように、照射パルス中の望まれる熱プロセスの現在完了した量を示すパラメータを監視してもよい。フラッシュ・ランプ・システムに関して前記したパルス修正技術の替わりに、プロセッサ回路110は走査レーザ1004を制御して、総レーザパワーを変えるかまたは横切るように走査する時にレーザビームにより面積セグメント1002へ供給されるパワーを低減することにより、あるいは、逆にレーザビームにより面積セグメント1002へ供給されるパワーを増加することにより照射パルスを修正するように構成してもよい。

20

【0178】

あるいは、本発明の実施例に従った他の照射パルス生成方法を前記したこれらの方法に代えてもよい。たとえば、単一照射源または少数の照射源を使用するのではなく、多数の照射源を使用してもよい。説明の例として、多数のフラッシュ・ランプを利用してもよく、多数のフラッシュ・ランプを放電させて初期加熱部分を生成し、連続するまたは連続するグループの少数のフラッシュ・ランプが維持部分を生成して維持する。あるいは、市販のパルス形成ネットワークを単一または多数のソースに給電して本発明の例示のための例に従った照射パルスを生成するように構成してもよい。

30

【0179】

図3および5に戻って、他の実施例は図3に示す理想的な照射パルス300および図5に示す例示のための照射パルス506の両方と異なる照射パルスを含んでもよい。たとえば、例示のための代替実施例では、後続維持部分は持続時間が著しく長いことがある。このような実施例では、維持部分が時間的に延ばされることと、理想的な維持部分大きさは時間と共に次第に弱まる事実により、維持部分の平均的な大きさはパルスの初期加熱部分のピーク大きさの半分よりも小さくなることがある。その結果、半値全幅は主として初期加熱部分の持続時間を表し半値を下回る大概の維持部分は除外されることがあり、1/4値全幅(FWQM)は全体パルス持続時間のより有意のインジケータとなる。図5に示す照射パルス506とは異なり、他の実施例における照射パルスのFWQMはワークピースの熱伝導時間の半分よりも大きいことがある。このような1つの実施例では、全体照射パルスの1/4値全幅(FWQM)は、照射パルス506に対するおよそ3msのFWQMに比べて、およそ 1×10^{-2} (10ms)のオーダとなることがある。このような代替パルスに対する1/10値全幅は10msを超えることさえあるが、多くの応用に対して表面上の目標表面積の温度をワークピースの熱伝導時間以上の時間だけ維持することを回避し、望ましくない量の拡散その他の望ましくない影響を回避することが好ましい。この

40

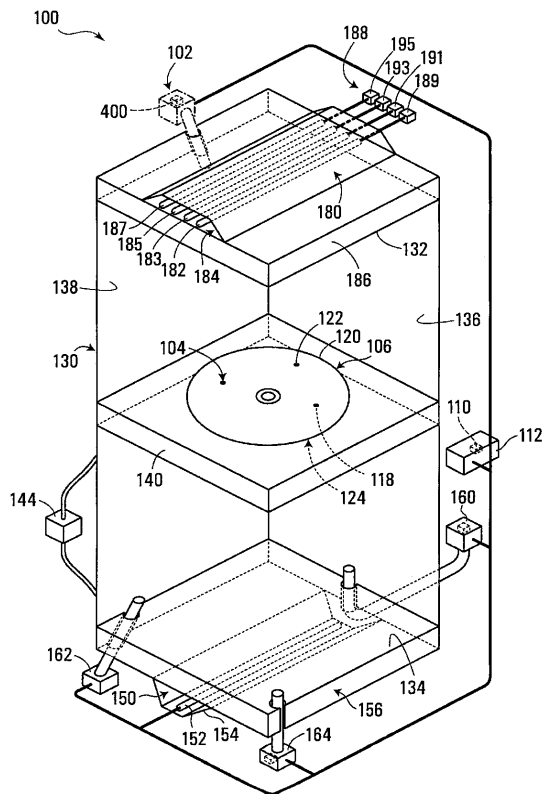
50

ような照射パルスの半値全幅（FWHM）は、たとえば、およそ2 - 3 msとしてもよい。

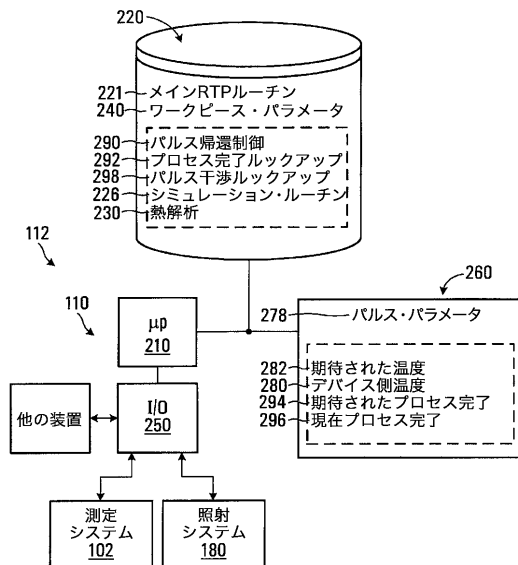
【0180】

より一般的に、本発明の特定実施例について記述し例示してきたが、このような実施例は本発明を例示するにすぎず、添付特許請求の範囲に従って解釈される本発明を限定するものではない。

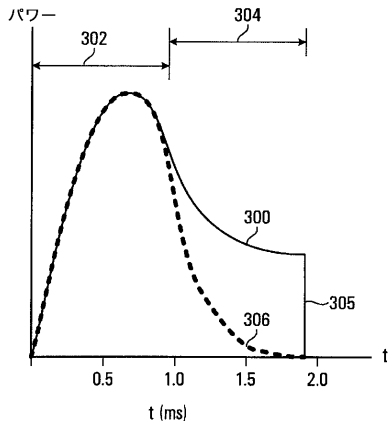
【図1】



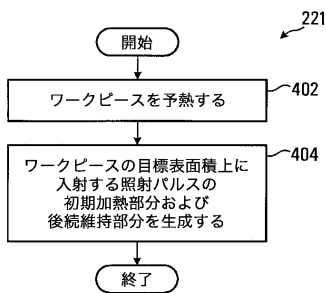
【図2】



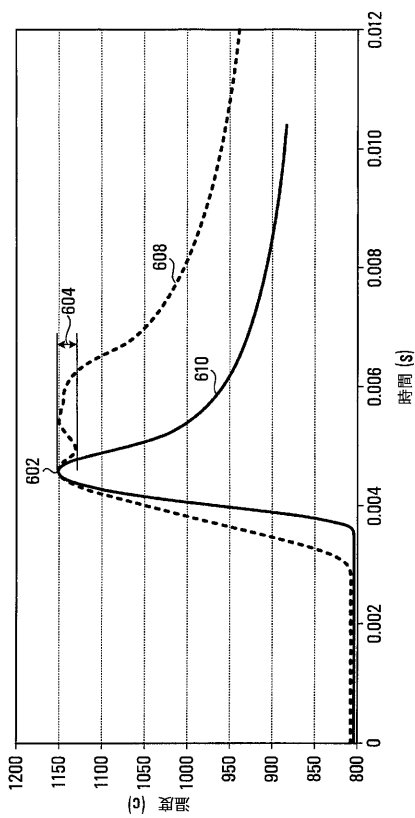
【図 3】



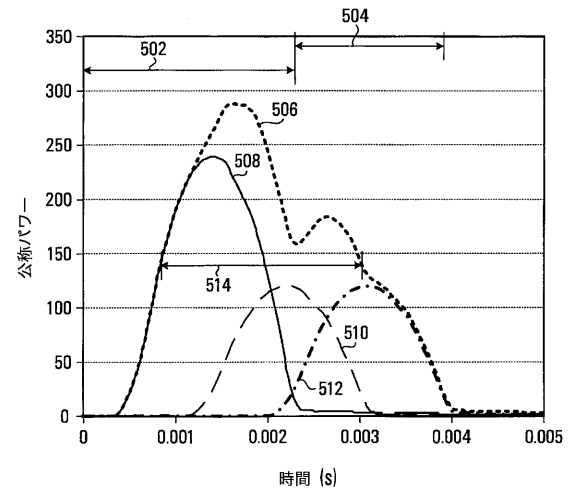
【図 4】



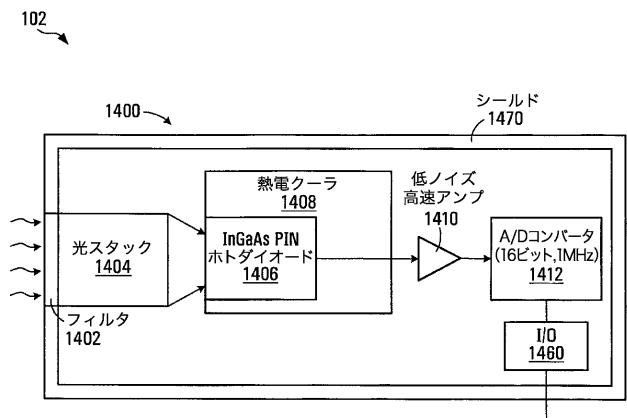
【図 6】



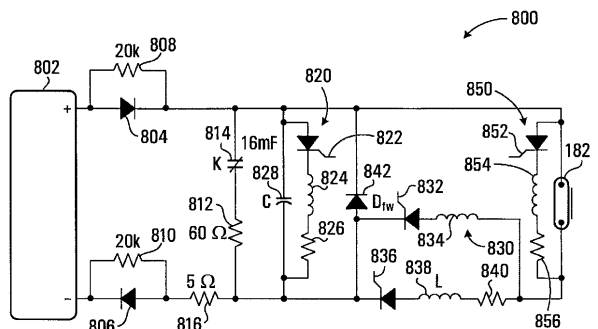
【図 5】



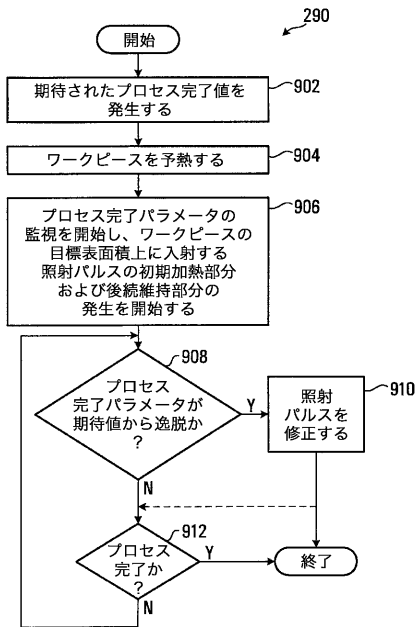
【図 7】



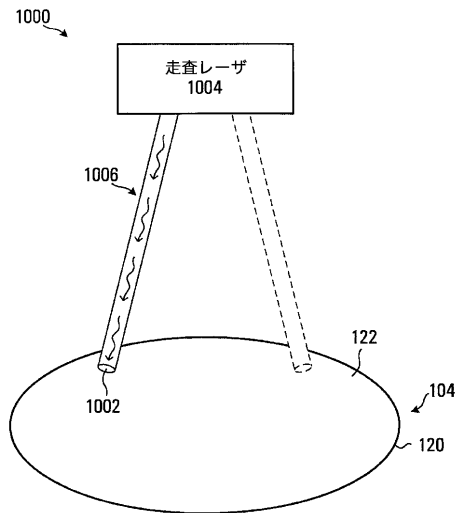
【図 8】



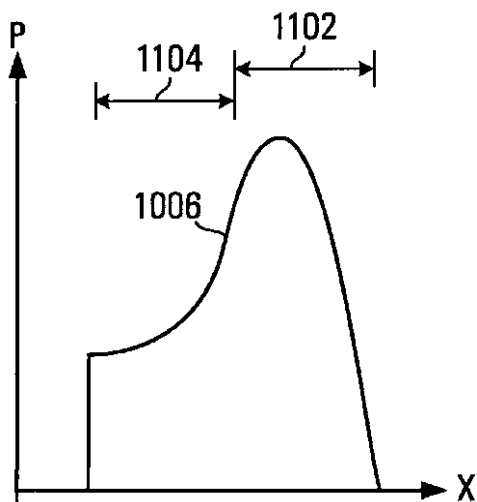
【図 9】



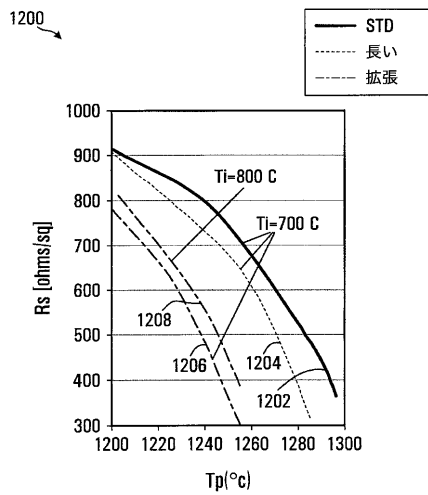
【図 10】



【図 11】



【図 12】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/CA2008/000546
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC: H01L 21/02 (2006.01), C21D 1/34 (2006.01), H01L 21/265 (2006.01), H01L 21/324 (2006.01) 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: H01L 21/02, C21D 1/34, H01L 21/265, H01L 21/324		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic database(s) consulted during the international search (name of database(s) and, where practicable, search terms used) Databases: Delphion Keywords: irradiance, pulse, heat, semiconductor		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US6671235 B1 (30-12-2003) Hawryluk et al. col. 2, line 36 to col. 4, line 11; col. 4, line 15 to col. 10, line 32	1-72
Y	US6366308 (2-04-2002) Hawryluk et al. col. 4, line 41 to col. 9, line 55	1-72
A	US6350326 B1 (26-02-2002) McCay et al. whole document	1-72
A	US6154241(28-11-2000) Matsukawa et al. whole document	1-72
Y	US6303411 B1(16-10-2001) Camm et al. col. 3, line 14 to col. 4, line 53	1-72
A	US20060201927 A1 (14-09-2006) Gat et al. whole document	1-72
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "B" earlier application or patent 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 (as specified) "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 "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 07 July 2008 (07-07-2008)		Date of mailing of the international search report 11 July 2008 (11-07-2008)
Name and mailing address of the ISA/CA Canadian Intellectual Property Office Place du Portage I, C114 - 1st Floor, Box PCT 50 Victoria Street Gatineau, Quebec K1A 0C9 Facsimile No.: 001-819-953-2476		Authorized officer Coralie Gill 819- 934-5143

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/CA2008/000546

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US6970644 B2 (29-11-2005) Koren et al. col. 2, line 7 to col. 11, line 57	1-72
A	WO2003060447 A1 (24-07-2003) Camm et al. whole document	1-72

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
 Information on patent family members

 International application No.
 PCT/CA2008/000546

Patent Document Cited in Search Report	Publication Date	Patent Family Member(s)	Publication Date
US6366308	02-04-2002	EP1256030 A1 JP2003524892T T WO0161407 A1	13-11-2002 19-08-2003 23-08-2001
US6350326	26-02-2002	AU735712B B2 AU2243497 A BR9706988 A CA2241316 A1 CN1087353C C CZ9802153 A3 DE69720531D D1 DE69720531T T2 EA1503 B1 EP0956378 A1 HK1020586 A1 IL124985 A JP2001527601T T US5961861 A US5985056 A WO9726388 A2	12-07-2001 11-08-1997 08-03-2000 24-07-1997 10-07-2002 13-01-1999 08-05-2003 08-01-2004 23-04-2001 17-11-1999 04-04-2003 31-10-2001 25-12-2001 05-10-1999 16-11-1999 24-07-1997
US6154241	28-11-2000	JP2000168114 A JP2000177157 A	20-06-2000 27-06-2000
US6303411	16-10-2001	AU4388600 A GB0125428D D0 US6534752 B2 WO0067298 A1	17-11-2000 12-12-2001 18-03-2003 09-11-2000
US2006201927	14-09-2006	AU2224600 A EP1141999 A1 JP2002534803T T TW504728B B US6717158 B1 US6771895 B2 US7038174 B2 WO0041223 A1	24-07-2000 10-10-2001 15-10-2002 01-10-2002 06-04-2004 03-08-2004 02-05-2006 13-07-2000
US6970644	29-11-2005	CN1556910 A DE10297368T T5 JP2005509281T T KR20050043755 A TW538480B B US7015422 B2 US7269343 B2 US2007297775 A1 US2008008460 A1 US2008050688 A1 WO0250875 A2 WO03040636 A1	22-12-2004 14-10-2004 07-04-2005 11-05-2005 21-06-2003 21-03-2006 11-09-2007 27-12-2007 10-01-2008 28-02-2008 27-06-2002 15-05-2003
WO03060447	24-07-2003	AU2002350358 A1 CN1608199 A DE10297622T T5 JP2005515425T T US2005063453 A1 US2006096677 A1	30-07-2003 20-04-2005 05-01-2005 26-05-2005 24-03-2005 11-05-2006
US6671235	30-12-2003	NONE	

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MT,NL,NO,PL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RS,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,SV,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,ZA,ZM,ZW

(特許庁注：以下のものは登録商標)

１．フロッピー

(74)代理人 100091339

弁理士 清水 邦明

(74)代理人 100094673

弁理士 林 鉦三

(74)代理人 100159525

弁理士 大日方 和幸

(74)代理人 100138346

弁理士 畑中 孝之

(72)発明者 カム、デーヴィッド、マルコルム

カナダ国、ブリティッシュ コロンビア、バンクーバー、ウェスト フォーティーンズ アベニュー
３ ７ ７ ５

(72)発明者 マッコイ、スティーブ

カナダ国、ブリティッシュ コロンビア、バーナビー、サウスオークス クレセント ６ ５ ７ ７、
ナンバー ２ ３

(72)発明者 スチュアート、グレッグ

カナダ国、ブリティッシュ コロンビア、バーナビー、ウィリングドン アベニュー ６ ４ ５ ５、
ナンバー ９ ０ ５