

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4384412号
(P4384412)

(45) 発行日 平成21年12月16日(2009.12.16)

(24) 登録日 平成21年10月2日(2009.10.2)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 21/82 (2006.01)	HO 1 L 21/82 F
B 2 3 K 26/00 (2006.01)	B 2 3 K 26/00 H
B 2 3 K 26/02 (2006.01)	B 2 3 K 26/00 M
G 1 1 C 29/04 (2006.01)	B 2 3 K 26/02 A
HO 1 L 21/304 (2006.01)	G 1 1 C 29/00 6 O 3 Z
請求項の数 6 (全 38 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2002-577145 (P2002-577145)	(73) 特許権者	503353999
(86) (22) 出願日	平成14年3月28日 (2002.3.28)		ジーエスアイ ルモニックス コーポレイ ション
(65) 公表番号	特表2004-532520 (P2004-532520A)		アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 O 1 8 2 1 ビレリカ マニング ロード 3 9
(43) 公表日	平成16年10月21日 (2004.10.21)	(74) 代理人	100059959
(86) 国際出願番号	PCT/US2002/009665		弁理士 中村 稔
(87) 国際公開番号	W02002/078896	(74) 代理人	100067013
(87) 国際公開日	平成14年10月10日 (2002.10.10)		弁理士 大塚 文昭
審査請求日	平成17年3月28日 (2005.3.28)	(74) 代理人	100082005
(31) 優先権主張番号	60/279,644		弁理士 熊倉 禎男
(32) 優先日	平成13年3月29日 (2001.3.29)	(74) 代理人	100065189
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 宍戸 嘉一
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 デバイスを処理する方法及びシステム、デバイスをモデリングする方法及びシステム、並びにデバイス

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーザ処理されるべき第 1 材料を有する所定ターゲットの極微位置変動を補償するようにパルスレーザビームのくびれ部を正確に相対的に位置設定する方法であって、

所定の測定位置に形成された 1 つまたはそれ以上の整列ターゲットの位置を測定して測定値を得る測定段階を備え、上記 1 つまたはそれ以上の整列ターゲットは、第 2 材料の 1 つまたはそれ以上の層でカバーされ、上記測定段階は、測定されるべき領域の一部分に清掃放射ビームを選択的に照射して、その領域から残骸を除去し、反射率変動を補償すると共に、検出器における乗算的ノイズ及びそれに関連した信号変動を減少することを含み、

更に、上記測定値に基づいて上記所定ターゲット及びレーザビームのくびれ部の相対的な位置を予想して、予想相対位置を得、

この予想相対位置に基づいて上記所定ターゲットとビームくびれ部との間に相対的な移動を誘起し、

1 つまたはそれ以上のパルスを含むレーザビームを発生し、そして

上記 1 つまたはそれ以上のパルスを所定ターゲット上のスポットに照射し、上記所定ターゲットを処理するのに上記 1 つまたはそれ以上のパルスで充分なようにする、段階を備えた方法。

【請求項 2】

上記 1 つまたはそれ以上の整列ターゲットは、多材料半導体メモリの一部分であり、該メモリは、基板、及び該基板と上記所定ターゲットとの間に配置された 1 つまたはそれ以

上の誘電体層を含み、そして上記清掃放射ビームの電力は、上記所定ターゲット、基板又は少なくとも1つの誘電体層に望ましからぬ変化を生じさせるに必要な電力より低い請求項1に記載の方法。

【請求項3】

上記測定は、3D測定である請求項1に記載の方法。

【請求項4】

レーザ処理されるべき第1材料を有する所定ターゲットの極微位置変動を補償するようにパルスレーザビームのくびれ部を正確に相対的に位置設定するシステムであって、

所定の測定位置に形成された1つまたはそれ以上の整列ターゲットの位置を測定して測定値を得る測定手段を備え、上記1つまたはそれ以上の整列ターゲットは、第2材料の少なくとも1つの層でカバーされ、上記測定手段は、測定されるべき領域の一部分に清掃放射ビームを選択的に照射して、その領域から残骸を除去し、反射率変動を補償すると共に、検出器における乗算的ノイズ及びそれに関連した信号変動を減少する手段を含み、

更に、上記測定値に基づいて上記所定ターゲット及びレーザビームのくびれ部の相対的な位置を予想して、予想相対位置を得るための手段と、

上記予想相対位置に基づいて上記所定ターゲットとビームくびれ部との間に相対的な移動を誘起する手段と、

1つまたはそれ以上のパルスを含むレーザビームを発生する手段と、

上記1つまたはそれ以上のパルスを所定ターゲット上のスポットに照射する手段と、を備え、所定ターゲットを処理するのに上記1つまたはそれ以上のパルスで充分なようにしたシステム。

【請求項5】

多層多材料デバイスのターゲット構造体をレーザ処理するためのシステムにおいて、上記ターゲット構造体に供給されるエネルギーを制御する方法が、

少なくとも2つの所定波長の各々において1つまたはそれ以上の測定値を得、

上記測定値に基づいてデバイスの1つまたはそれ以上の層の厚みを決定し、そして

1つまたはそれ以上の層の干渉作用によりターゲット構造体の処理に必要なエネルギーに生じる変動を補償するように、上記決定された厚みに基づいてターゲット構造体に供給されるエネルギーを制御する、段階を備えた方法。

【請求項6】

多層多材料デバイスのターゲット構造体をレーザ処理するためのシステムにおいて、上記ターゲット構造体に供給されるエネルギーを制御するための制御システムが、

2つまたはそれ以上の所定波長の各々において1つまたはそれ以上の測定値を得る手段と、

上記測定値に基づいてデバイスの1つまたはそれ以上の層の厚みを決定する手段と、

1つまたはそれ以上の層の干渉作用によりターゲット構造体の処理に必要なエネルギーに生じる変動を補償するように、上記決定された厚みに基づいてターゲット構造体に供給されるエネルギーを制御する手段と、

を備えた制御システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザ処理方法及びシステムの分野に係り、より詳細には、基板上に形成されるマイクロ構造体を処理するためのレーザ処理方法及びシステムに係る。特に、本発明は、リダundant半導体メモリデバイスのレーザーリペアに適用できるが、これに限定されない。

【背景技術】

【0002】

DRAMのようなメモリ集積回路のリペア及び高密度ロジックデバイスのレーザープログ

10

20

30

40

50

ラミングにおいては、アルミニウム、金、及び銅のような新たな材料の使用が、これらデバイスの小さな幾何学的形状とあいまって、リンク除去の問題を困難なものにする。新たな材料は、通常、可視及び近赤外線波長領域において反射率が90%を遥かに越える金属又は高導電性複合物である。例えば、アルミニウムは、UVから近赤外線までの範囲にわたりレーザーエネルギーの90%以上を反射する。金及び銅は、近赤外線では、製造中にメモリをリペアする大部分のレーザーにより使用される選択された波長を更に強く反射する。

【0003】

更に、経済性及びデバイスの性能により、DRAM及びロジックデバイスのサイズは非常に小さな物理的寸法となった。近年、デバイスが小さいだけでなく、相互接続及びリンクの厚みも急激に減少されている。

リンクの熱レーザー処理は、リンク上の酸化物とリンク自体との間の熱膨張差に依存している。この膨張差は、酸化物により収容される溶融リンクに高い圧力の蓄積を生じさせる。リンク上の酸化物は、酸化物にクラックを生じさせてリンク材料を爆発的に放出させるに十分な圧力を蓄積するに足る時間中、リンクを溶融状態に維持するために必要とされる。圧力が低過ぎると、リンクがきれいに除去されない。別のレーザー波長やレーザー制御も、リンクに隣接する材料や基板を損傷せずにレーザー「エネルギーウインドウ」を広げるように作用する。

【0004】

全て銅の二重ダマシンプロセス技術の説明は、「Benefits of Copper Copper Technology is Here Today in Working Devices」、ノベラス・ダマシウス、2001年12月20日；及び「Preventing Cross Contamination Caused By Copper Diffusion and Other Sources」、P. カコビス、マイクロ、1999年7月に見ることができる。

【0005】

図2a及び2bは、多層構造体の公知のレーザー処理を示すもので、ターゲット構造体が基板の近くに配置され、従来型のソリッドステートレーザー21からのqスイッチパルス20がターゲット構造体23を照射して過剰充填する。レーザースポットサイズは、通常、(ターゲット)リンクサイズより著しく大きく、これは、正確な位置設定要求を緩和する。レーザー波長は、通常、大きなピークレーザー電力又は他のシステム及びプロセス変動を許すために基板27(通常シリコン)透過に基づいて選択される。あるケースでは、層28、25の吸収係数が制御され(例えば、遷移又は保護層)及び/又は基板のダメージが回避されるような波長が選択される。

【0006】

材料の処理、システム設計及びデバイス設計事項を含むリンクブロー方法及びシステムに関する更なる情報が、次の代表的な米国特許及び公告された米国特許出願に見られる。第4,399,345号；第4,532,402号；第4,826,785号；第4,935,801号；第5,059,764、第5,208,437号；第5,265,114号；第5,473,624号；第6,057,180号；第6,172,325号；第6,191,486号；第6,239,406号；第2002-0003130号；及び第2002-0005396号。

【0007】

メモリ回路のリンク処理又は同様のレーザー処理アプリケーションに関する背景情報を与える他の代表的な出版物は、「Laser Adjustment of Linear Monolithic Circuits」、リトウイン及びスマート、ICAELO(1983年)；「Computer Simulation of Target Link Explosion In Laser Programmable Memory」、スカーフォン、チリパラ(1986年)；「Precision Laser Micromachining」、ブーガード、SPIE、第611巻(1986年)；「Laser Processing for Application Specific Integrated Circuit (asic s)」、SPIE、第774巻、スマート(1987年)；「Xenon Laser Repairs Liquid Crystal Displays」、ウォーターズ、レーザー及びオプトロニクス(1988年)；「Laser Beam Processing and Wafer Scale Integration」、コーエン(1988年)；「Optimization of Memory Redundancy Link Processing」、サン、ハリス、スエソン、ハッ

10

20

30

40

50

チェンス、第SPIE 2636巻、(1995年)；及び「Analysis of Laser Metal Cut Energy Process Window」、バーンスタイン、リー、ヤング、ダumas、IEEE Trans. On Semicond. Manufact. 第13巻、第2号(2000年)。

【0008】

又、以下の出願中の米国特許出願及び発行された特許は、本発明の譲受人に譲渡され、そしてその全体を参考としてここに援用する。

1. 「Method and System for Severing Integrated-Circuit Connection Paths by a Phase Plate Adjusted Laser Beam」と題する米国特許第5,300,756号；

2. 「High Speed Precision Positioning Apparatus」と題する米国特許第6,144,118号； 10

3. 「Controlling Laser Polarization」と題する米国特許第6,181,728号；

4. 「Laser Processing」と題する米国特許第5,998,759号；

5. 「Energy Efficient, Laser-Based Method and System for Processing Target Material」と題する米国特許第6,281,471号；

6. 「Energy Efficient Method and System for Processing Target Material Using an Amplified, Wavelength-Shifted Pulse Train」と題する米国特許第6,340,806号；

7. 2000年5月16日に出願され、2001年12月にWO 0187534 A2として公告された「Method and System For Precisely Positioning A Waist of A Material-Processing Laser Beam To Process Microstructure Within A Laser-Processing Site」と題する米国特許出願第09/572,925号； 20

8. 「Laser Processing」と題する米国特許第6,300,590号；及び

9. 「Pulse Control in Laser System」と題する米国特許第6,339,604号。

【0009】

しかしながら、このリストは、上記参照文献が特許法のもとでの公知文献であることを容認するものではないことを理解されたい。

上記の特許出願及び特許の要旨は、本発明に関連している。上記特許及び特許出願は、以下の説明では、その参照番号で引用する。

【発明の開示】 30

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

本発明の目的は、デバイスを処理する改良された方法及びシステム、デバイスをモデリングする方法及びシステム、並びにデバイスを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、基板と、マイクロ構造体と、基板からマイクロ構造体を分離する内側層を有する多層スタックとを備えた多レベル多材料デバイスをレーザ処理するための方法が提供される。この方法は、a) 所定波長のパルスレーザビームであって、時間的形状及び空間的形状の少なくとも1つより成る所定の特性を有する少なくとも1つのレーザパルスを含むパルスレーザビームを発生し、b) 少なくとも基準位置に得られた位置測定値に基づいて三次元空間内で上記マイクロ構造体及びレーザビームのくびれ部を相対的に位置設定し、上記位置測定値を使用して、上記マイクロ構造体及びビームくびれ部の共通位置の予想を得、そしてc) 上記ビームくびれ部とマイクロ構造体を実質的に一致するときに上記予想される共通位置に基づいて少なくとも1つのレーザパルスを上記マイクロ構造体に照射し、上記マイクロ構造体における実質的に最大のパルスエネルギー密度で上記マイクロ構造体をきれいに除去し、そして上記スタックの内側層及び基板への望ましからぬ変化を回避するという段階を備えている。 40

【0012】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、基板と、マイクロ構造体と、 50

基板からマイクロ構造体を分離する内側層を有する多層スタックとを備えた多レベル多材料デバイスをレーザ処理するためのシステムが提供される。このシステムは、所定波長のパルスレーザビームであって、時間的形状及び空間的形状の少なくとも1つより成る所定の特性を有する少なくとも1つのレーザパルスを含むパルスレーザビームを発生するための手段を備えている。又、このシステムは、少なくとも基準位置に得られた位置測定値に基づいて三次元空間内で上記マイクロ構造体及びレーザビームのくびれ部を相対的に位置設定するための手段も備えている。上記位置測定値を使用して、上記マイクロ構造体及びビームくびれ部の共通位置の予想が得られる。更に、このシステムは、上記ビームくびれ部とマイクロ構造体を実質的に一致するときに上記予想される共通位置に基づいて少なくとも1つのレーザパルスを上記マイクロ構造体に照射するための手段も備えている。上記マイクロ構造体における実質的に最大のパルスエネルギー密度で上記マイクロ構造体がきれいに除去され、そして上記スタックの内側層及び基板への望ましからぬ変化が回避される。

10

【0013】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、基板と、マイクロ構造体と、多層スタックとを備えた多レベル多材料デバイスをレーザ処理するための方法が提供される。スタックは、基板からマイクロ構造体を分離する内側誘電体層を有する。この方法は、所定波長のパルスレーザビームであって、少なくとも1つのレーザパルスを含むパルスレーザビームを発生する段階を備えている。少なくともスタックの層によるレーザビームの反射が、少なくとも1つの他の波長に対し基板におけるパルスエネルギー密度を実質的に減少する。マイクロ構造体は、少なくとも1つのレーザパルスで処理される。マイクロ構造体におけるパルスエネルギー密度は、基板及びスタックの内側層へのダメージを回避しながらマイクロ構造体を除去するのに十分なものである。

20

【0014】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、基板と、マイクロ構造体と、多層スタックとを備えた多レベル多材料デバイスをレーザ処理するためのシステムが提供される。スタックは、基板からマイクロ構造体を分離する内側誘電体層を有する。このシステムは、所定波長のパルスレーザビームであって、少なくとも1つのレーザパルスを含むパルスレーザビームを発生する手段を備え、少なくとも上記スタックの層によるレーザビームの反射が、吸収端を越える少なくとも1つの他の波長に対し基板におけるパルスエネルギー密度を実質的に減少する。又、このシステムは、マイクロ構造体を少なくとも1つのレーザパルスで処理するための手段も備え、マイクロ構造体におけるパルスエネルギー密度は、基板及びスタックの内側層へのダメージを回避しながらマイクロ構造体を除去するのに十分なものである。

30

【0015】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、少なくとも1つのレーザパルスを含むパルスレーザビームと、基板、基板上に形成された所定のマイクロ構造体、及び基板上に形成された複数の他の構造体を含む三次元デバイスとの相互作用をモデリングするための方法が提供される。この方法は、所定のマイクロ構造体及び基板を含む構造体の材料に関する情報を与えることを含む。又、この方法は、上記情報に基づき所定のマイクロ構造体により吸収されなかったレーザビームの少なくとも一部分の光学的伝播特性を決定することも含む。更に、この方法は、上記光学的伝播特性に基づき少なくとも1つのパルスの少なくとも1つの特性を決定することを含む。

40

【0016】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、少なくとも1つのレーザパルスを含むパルスレーザビームと、基板、基板上に形成された所定のマイクロ構造体、及び基板上に形成された複数の他の構造体を含む三次元デバイスとの相互作用をモデリングするためのシステムが提供される。このシステムは、所定のマイクロ構造体及び基板を含む構造体の材料に関する情報を与える手段を備えている。又、このシステムは、上記情報に基づき所定のマイクロ構造体により吸収されなかったレーザビームの少なくとも一部分の

50

光学的伝播特性を決定する手段も備えている。更に、このシステムは、上記光学的伝播特性に基づき少なくとも1つのパルスの少なくとも1つの特性を決定する手段も備えている。

【0017】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、少なくとも1つのレーザパルスを含むパルスレーザビームと、基板、基板上に形成された所定のマイクロ構造体、及び基板上に形成された複数の他の構造体を含む三次元デバイスとの相互作用をモデリングするための方法が提供される。この方法は、所定のマイクロ構造体及び基板を含む構造体の材料及び間隔に関する情報を与えることを含む。又、この方法は、上記情報に基づき所定のマイクロ構造体により吸収されなかったレーザビームの少なくとも一部分の光学的伝播特性を決定することも含む。更に、この方法は、上記光学的伝播特性に基づき上記基板及び他の構造体の電氣的又は物理的特性の望ましからぬ変化を回避する少なくとも1つのパルスの少なくとも1つの特性を決定することを含む。

10

【0018】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、少なくとも1つのレーザパルスを含むパルスレーザビームと、基板、基板上に形成された所定のマイクロ構造体、及び基板上に形成された複数の他の構造体を含む三次元デバイスとの相互作用をモデリングするためのシステムが提供される。このシステムは、所定のマイクロ構造体及び基板を含む構造体の材料及び間隔に関する情報を与える手段を備えている。又、このシステムは、上記情報に基づき所定のマイクロ構造体により吸収されなかったレーザビームの少なくとも一部分の光学的伝播特性を決定する手段も備えている。更に、このシステムは、上記光学的伝播特性に基づき上記基板及び他の構造体の電氣的又は物理的特性の望ましからぬ変化を回避する少なくとも1つのパルスの少なくとも1つの特性を決定する手段も備えている。

20

【0019】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、基板と、マイクロ構造体と、基板からマイクロ構造体を分離する内側層を有する多層スタックとを備えた多レベル、多材料のデバイスをレーザ処理するための方法が提供される。この方法は、所定波長のパルスレーザビームであって、所定の特性を有する少なくとも1つのレーザパルスを含むパルスレーザビームを発生することを含み、a)上記所定の波長は、基板の吸収端より低く、そしてb)上記少なくとも1つのパルスは、巾が約10ナノ秒未満で、繰り返し率が10KHz以上である。又、この方法は、少なくとも基準位置に得られた位置測定値に基づいて三次元空間内で上記マイクロ構造体及びレーザビームのくびれ部を相対的に位置設定することも含む。上記位置測定値を使用して、上記マイクロ構造体及びビームくびれ部の共通位置の予想を得る。更に、この方法は、上記ビームくびれ部とマイクロ構造体を実質的に一致するときに上記予想される共通位置に基づいて少なくとも1つのレーザパルスを上記マイクロ構造体に照射することも含み、上記マイクロ構造体における実質的に最大のパルスエネルギー密度で上記マイクロ構造体をきれいに除去し、そして上記スタックの内側層及び基板への望ましからぬ変化を回避する。

30

【0020】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、基板と、マイクロ構造体と、基板からマイクロ構造体を分離する内側層を有する多層スタックとを備えた多レベル多材料デバイスをレーザ処理するためのシステムが提供される。このシステムは、所定波長のパルスレーザビームであって、所定の特性を有する少なくとも1つのレーザパルスを含むパルスレーザビームを発生する手段を備え、a)上記所定の波長は、基板の吸収端より低く、そしてb)上記少なくとも1つのパルスは、巾が約10ナノ秒未満で、繰り返し率が10KHz以上である。又、このシステムは、少なくとも基準位置に得られた位置測定値に基づいて三次元空間内で上記マイクロ構造体及びレーザビームのくびれ部を相対的に位置設定する手段も備えている。上記位置測定値を使用して、上記マイクロ構造体及びビームくびれ部の共通位置の予想を得る。更に、このシステムは、上記ビームくびれ部とマイ

40

50

ク口構造体を実質的に一致するとき上記予想される共通位置に基づいて少なくとも1つのレーザパルスを上記マイクロ構造体に照射する手段も備え、上記マイクロ構造体における実質的に最大のパルスエネルギー密度で上記マイクロ構造体がきれいに除去され、そして上記スタックの内側層及び基板への望ましからぬ変化が回避される。

【0021】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、多レベル多材料デバイスが提供される。このデバイスは、基板と、マイクロ構造体と、基板からマイクロ構造体を分離する内側層を有する多層スタックとを備えている。上記内側層の少なくとも1つは、パルスレーザビームとスタックとの相互作用に基づく所定の物理的パラメータを有する。レーザビームは、所定の波長を有し、基板及びスタックの内側層への望ましからぬ変化は、パルスレーザビームでのレーザ処理中に回避される。

10

【0022】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、基板及び少なくとも1つのマイクロ構造体を備えた多材料デバイスを熱ベースレーザ処理するための方法が提供される。この処理は、熱処理システムの位置設定サブシステムで制御される単一パス動作において多数のパルスで行われる。位置設定サブシステムは、デバイスとレーザビームのくびれ部との間の相対的な移動を含む。上記処理は、基板にダメージを及ぼさずに少なくとも1つのマイクロ構造体を除去する。この方法は、第1の所定特性を有する第1パルスを発生し、そしてこの第1パルスに関連した第1ビームくびれ部と少なくとも1つのマイクロ構造体を実質的に一致するように、この第1パルスを少なくとも1つのマイクロ構造体に照射する。この照射段階は、少なくとも1つのマイクロ構造体の処理を少なくとも開始する。又、この方法は、第2の所定特性を有する第2パルスを発生することも含む。この第2パルスは、第1パルスに対して所定時間遅延される。更に、この方法は、この第2パルスに関連した第2ビームくびれ部と少なくとも1つのマイクロ構造体を実質的に一致するように、第2パルスを少なくとも1つのマイクロ構造体に照射することを含む。少なくとも1つのマイクロ構造体に第2パルスを照射する上記段階は、少なくとも1つのマイクロ構造体を更に処理し、上記第1及び第2パルスでの少なくとも1つのマイクロ構造体の処理は、単一パスにおける少なくとも1つのマイクロ構造体とビームくびれ部との相対的な移動中に行われ、これにより、熱処理システムのスループットが実質的に改善される。

20

【0023】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、基板及び少なくとも1つのマイクロ構造体を備えた多材料デバイスを熱ベースレーザ処理するためのシステムが提供される。この処理は、デバイスとレーザビームのくびれ部との間に相対的な移動を誘起する位置設定サブシステムで制御される単一パス動作において多数のパルスで行われる。上記処理は、基板にダメージを及ぼさずに少なくとも1つのマイクロ構造体を除去する。このシステムは、第1の所定特性を有する第1パルスを発生する手段と、この第1パルスに関連した第1ビームくびれ部と少なくとも1つのマイクロ構造体を実質的に一致するように、この第1パルスを少なくとも1つのマイクロ構造体に照射する手段とを備えている。第1パルスは、少なくとも1つのマイクロ構造体の処理を少なくとも開始する。又、このシステムは、第2の所定特性を有する第2パルスを発生する手段も含む。この第2パルスは、第1パルスに対して所定時間遅延される。更に、このシステムは、この第2パルスに関連した第2ビームくびれ部と少なくとも1つのマイクロ構造体を実質的に一致するように、第2パルスを少なくとも1つのマイクロ構造体に照射する手段を備えている。第2パルスは、少なくとも1つのマイクロ構造体を更に処理し、上記第1及び第2パルスでの少なくとも1つのマイクロ構造体の処理は、単一パスにおける少なくとも1つのマイクロ構造体とビームくびれ部との相対的な移動中に行われ、これにより、システムのスループットが実質的に改善される。

30

40

【0024】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、基板及びマイクロ構造体を備えた多材料デバイスを熱ベースレーザ処理するための方法が提供される。この方法は、上

50

記デバイスの材料の差動熱特性に基づいて少なくとも1つの所定の特性を有する少なくとも1つのレーザパルスが発生することを含む。又、この方法は、少なくとも1つのレーザパルスをマイクロ構造体に照射することも含み、少なくとも1つのパルスの第1部分は、基板とマイクロ構造体との間の温度差を増加し、そして少なくとも1つのパルスの第2部分は、基板とマイクロ構造体との間の温度差を更に増加して、基板にダメージを及ぼすことなく多材料デバイスを処理する。

【0025】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、基板及びマイクロ構造体を備えた多材料デバイスを熱ベースレーザ処理するためのシステムが提供される。このシステムは、上記デバイスの材料の差動熱特性に基づいて少なくとも1つの所定の特性を有する少なくとも1つのレーザパルスが発生する手段を備えている。又、このシステムは、少なくとも1つのレーザパルスをマイクロ構造体に照射する手段も備え、少なくとも1つのパルスの第1部分は、基板とマイクロ構造体との間の温度差を増加し、そして少なくとも1つのパルスの第2部分は、基板とマイクロ構造体との間の温度差を更に増加して、基板にダメージを及ぼすことなく多材料デバイスを処理する。

10

【0026】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、レーザ処理されるべき第1材料を有する所定のターゲットの極微位置変動を補償ようにパルスレーザビームのくびれ部を正確に相対的に位置設定する方法が提供される。この方法は、所定の測定位置に形成された少なくとも1つの整列ターゲットの位置を測定して測定値を得ることを含む。上記少なくとも1つの整列ターゲットは、第2材料の少なくとも1つの層でカバーされる。上記測定ステップは、測定されるべき領域の一部分に清掃放射ビームを選択的に照射して、その領域から残骸を除去し、反射率変動を補償すると共に、検出器における乗算的ノイズ及びそれに関連した信号変動を減少することを含む。又、この方法は、上記測定値に基づいて上記所定ターゲット及びレーザビームのくびれ部の相対的な位置を予想して、予想相対位置を得ることを含む。更に、この方法は、この予想相対位置に基づいて上記所定ターゲットとビームくびれ部との間に相対的な移動を誘起することを含む。更に、この方法は、少なくとも1つのパルスを含むレーザビームを発生し、そして少なくとも1つのパルスを所定ターゲット上のスポットに照射し、所定ターゲットを処理するのに少なくとも1つのパルスで充分なようにする。

20

30

【0027】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、レーザ処理されるべき第1材料を有する所定のターゲットの極微位置変動を補償ようにパルスレーザビームのくびれ部を正確に相対的に位置設定するシステムが提供される。このシステムは、所定の測定位置に形成された少なくとも1つの整列ターゲットの位置を測定して測定値を得る手段を備えている。上記少なくとも1つの整列ターゲットは、第2材料の少なくとも1つの層でカバーされる。上記測定手段は、測定されるべき領域の一部分に清掃放射ビームを選択的に照射して、その領域から残骸を除去し、反射率変動を補償すると共に、検出器における乗算的ノイズ及びそれに関連した信号変動を減少する手段を備えている。又、このシステムは、上記測定値に基づいて上記所定ターゲット及びレーザビームのくびれ部の相対的な位置を予想して、予想相対位置を得るための手段も備えている。更に、このシステムは、この予想相対位置に基づいて上記所定ターゲットとビームくびれ部との間に相対的な移動を誘起する手段も備えている。又、このシステムは、少なくとも1つのパルスを含むレーザビームを発生する手段と、少なくとも1つのパルスを所定ターゲット上のスポットに照射する手段も備え、所定ターゲットを処理するのに少なくとも1つのパルスで充分なようにする。

40

【0028】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、多層多材料デバイスのターゲット構造体をレーザ処理するためのシステムにおいて、上記ターゲット構造体に供給されるエネルギーを制御する方法が提供される。この方法は、少なくとも2つの所定波長の各

50

々において少なくとも1つの測定値を得ることを含む。又、この方法は、上記測定値に基づいてデバイスの少なくとも1つの層の厚みを決定することも含む。更に、この方法は、少なくとも1つの層の干渉作用によりターゲット構造体の処理に必要なエネルギーに生じる変動を補償するように、上記決定された厚みに基づいてターゲット構造体に供給されるエネルギーを制御することも含む。

【0029】

多層多材料デバイスのターゲット構造体をレーザ処理するためのシステムにおいて、上記ターゲット構造体に供給されるエネルギーを制御するための制御システムが提供される。この制御システムは、少なくとも2つの所定波長の各々において少なくとも1つの測定値を得る手段を備えている。又、この制御システムは、上記測定値に基づいてデバイスの少なくとも1つの層の厚みを決定する手段も備えている。更に、この制御システムは、少なくとも1つの層の干渉作用によりターゲット構造体の処理に必要なエネルギーに生じる変動を補償するように、上記決定された厚みに基づいてターゲット構造体に供給されるエネルギーを制御する手段も備えている。

10

【0030】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、レーザ処理されるべき第1材料を有する所定のターゲットの極微位置変動を補償ようにパルスレーザビームのくびれ部を正確に相対的に位置設定する方法が提供される。この方法は、所定の測定位置に形成された少なくとも1つの整列ターゲットの位置を測定して少なくとも1つの測定値を得ることを含む。又、この方法は、上記少なくとも1つの測定値に基づいて上記所定ターゲット及びレーザビームの相対的な位置を予想して、予想相対位置を得ることを含む。更に、この方法は、少なくとも1つのパルスを含むレーザビームを発生し、そして上記予想相対位置に基づいて上記所定ターゲットとレーザビームとの間に相対的な移動を誘起することを含む。更に、この方法は、更新された位置情報に基づいて相対的な移動中に上記予想相対位置を更新することも含む。上記更新された位置情報は、相対的な移動中に得られる。更に、この方法は、少なくとも1つのパルスを所定ターゲット上のスポットに照射し、上記更新された位置情報に基づいて所定ターゲットを処理することも含む。

20

【0031】

更に、本発明の上記目的及び他の目的を達成するために、レーザ処理されるべき第1材料を有する所定のターゲットの極微位置変動を補償ようにパルスレーザビームのくびれ部を正確に相対的に位置設定するシステムが提供される。このシステムは、所定の測定位置に形成された少なくとも1つの整列ターゲットの位置を測定して少なくとも1つの測定値を得るための手段を備えている。又、このシステムは、上記少なくとも1つの測定値に基づいて上記所定ターゲット及びレーザビームの相対的な位置を予想して、予想相対位置を得るための手段も備えている。更に、このシステムは、少なくとも1つのパルスを含むレーザビームを発生する手段と、上記予想相対位置に基づいて上記所定ターゲットとレーザビームとの間に相対的な移動を誘起する手段も備えている。更に、このシステムは、更新された位置情報に基づいて相対的な移動中に上記予想相対位置を更新する手段も備えている。上記更新された位置情報は、相対的な移動中に得られる。更に、このシステムは、少なくとも1つのパルスを所定ターゲット上のスポットに照射し、上記更新された位置情報に基づいて所定ターゲットを処理するための手段も備えている。

30

40

【発明を実施するための最良の形態】**【0032】**

本発明の上記目的、他の目的、特徴及び効果は、添付図面を参照した本発明の最良の実施形態の以下の詳細な説明から容易に明らかとなる。

本発明の1つの特徴は、異なる光学的及び熱的特性を有する多数の材料にレーザエネルギーが入射する多層多材料デバイス的一部分である極微ターゲット構造体を除去することである。1つの用途は、メモリのリペアである。新規な製造プロセス(ダマシン)は、銅ターゲット構造体、「スタック」の形態の多数の誘電体層、及びこれら誘電体層に配置された機能的回路を備えている。ターゲット構造体及び層は、通常、シリコン基板上に形成

50

される。これは、図 1 b 及び 1 c に示されており、本発明の実施形態で処理されるデバイスに対応する。これは、「多レベル」プロセスと称される。

【 0 0 3 3 】

更に複雑な構造体を、より微細なスケール（例えば、可視光線の波長以下）で使用する場合には、半導体産業において高い歩留まりに対する規格を満足するために、レーザ処理システムを高い信頼性で動作するための考察事項が増加する。

本発明の特徴は、レーザ処理システムを動作するための方法及びサブシステムを含む。極微スケールでは、焦点の深度及びスポットサイズが小さいためにレーザビームのくびれ部が急速に広がる。3Dビーム位置内の材料は、機能的回路を含む。自動システムでは、ターゲット位置の健全な測定値をデータベース情報に関連して使用して、三次元において高速度でレーザビームを位置設定する。多レベルデバイス内のレーザビームの相互作用は、歩留まりに影響する。熱相互作用のモデリングは、熱処理体制における性能を理解しそして予想する上で有用である。しかしながら、極微スケールでは、物理的な光学系に基づき相互作用をより詳細に理解することも有益である。

【 0 0 3 4 】

以下、リンクと基板との間の内側層及び機能的回路へのダメージを回避するようにして多レベルデバイス上のリンクをきれいに除去するという問題の解決を強調しながら、空間的及び時間的パルス整形、三次元測定及び予想、デバイスモデリング及びプロセス設計の詳細な特徴を開示する。しかしながら、従来の単一内側層デバイスのリンク処理、及び一般的に、異なる熱特性又は光学特性を有する材料により取り巻かれたマイクロ構造体の処理について、種々の方法、サブシステム、及び実験結果を適用することもできる。

【 0 0 3 5 】

マルチレベルデバイスにおけるリンクの処理

極微構造体を処理するための所定の特性を有するパルスレーザビームを使用して、ターゲット構造体の少なくとも一部分がきれいに除去される。本発明の方法及びシステムの適用は、高速メモリ半導体デバイス的一部分である高反射性の銅リンクを切断する。本発明の方法及びシステムは、寸法がレーザビームの波長以下のターゲットを含むサブミクロン寸法のターゲットを処理するのに特に効果的である。ターゲットは、多数の誘電体層を有する多層スタックにより半導体基板から分離される。更に、パルスの時間的及び空間的の両特性は、極微ターゲットの熱及び光学特性、その下の層材料、並びにターゲット構造体及び機能的内側導体層の間隔を含むデバイス構造体の三次元レイアウトに基づいて、選択され又は制御される。

【 0 0 3 6 】

図 1 a - 1 c は、本発明の実施形態を一般的に示す。レーザパルス 3 は、長方形のターゲット構造体即ちマイクロ構造体 10（その側面図が図 1 b 及び 1 c に示されている）を収束ビームで照射する。好ましい実施形態では、短いパルスの増幅レーザシステム 1 から出力が発生されて、パルス 3 を形成し、その立ち上り時間 4 は、高反射性のターゲット構造体にエネルギーを効率的に結合するに十分なほど速い。パルス 5 は、残留物やスラグや他の残骸を残さずに構造体の少なくとも一部分をきれいに除去するようにターゲット構造体を処理するに十分なものである。立ち下り時間 6 は、層や基板への望ましからぬダメージの発生を回避するに十分なほど速いのが好ましい。

【 0 0 3 7 】

時間的パルス形状は、ターゲットマイクロ構造体 10 の物理的特性、例えば、厚み、光吸収度、熱伝導率、又はその組み合わせに一部分基づいて選択される。本発明の効果的な実施形態では、数ナノ秒の選択されたパルス巾に対して高速の縁導入部を有する単一のパルスで処理が行われる。別の実施形態では、レーザ出力は、一連の狭い q スイッチ又は長方形パルスであり、商業的に入手できる q スイッチマイクロレーザの出力を代表するのは、例えば、800 ps の非常に速い立ち上り時間のパルスである。これらパルスは、ターゲット構造体を照射するためのパルスのバーストを形成するように互いに遅延される。レーザ出力は、広帯域巾のシードレーザダイオード及び光ファイバ増幅器を、ラマンシフト又

10

20

30

40

50

は導波路増幅システムと組み合わせることにより発生されてもよい。或いは又、種々の変更されたqスイッチシステム、又は高速電気-光学変調器を使用して希望のパルス特性を形成してもよい。材料処理要求に対して他のパルス形状を選択してもよい。例えば、参考文献5においては、巾が数ピコ秒から数ナノ秒までの一連の至近離間されたパルスが教示されている。

【0038】

一実施形態では、広帯域巾のMOPA構成を使用して、高速半導体ダイオードのレーザ出力が増幅される。ダイオードの直接的な変調で種々のパルス形状及び巾を発生することは、可変振幅ドライブ波長に関連した作用が全体的な性能に影響しなければ、効果的であると考えられる。パルス発生及び増幅の種々の特徴の更なる詳細が参考文献5及び6に見られる(例えば、'471-参考文献5-図5及びカラム14-16)。

10

【0039】

上述したように、レーザシステムの実施形態は、シードレーザにより発生された好ましい方形パルス形状を増幅する光ファイバ増幅器を備えている。シードレーザは、高速半導体ダイオードであるか、又は変形qスイッチシステムの整形された出力である。増幅された出力は、参考文献4及び6(例えば、参考文献6、図12-13、及びカラム14の57行目-カラム19の3行目)に教示されたように、入力への波長が一致されるか、又はラマンシフトされる。短いパルスのqスイッチレーザ出力の波長シフトは、'759参考文献4に教示されている。

【0040】

別の構成においては、シードレーザが半導体ダイオードであり、光学的増幅器が導波路増幅器である。ファイバシステムに比較したときに、導波路増幅器を伴う実施形態の効果は、ラマンシフトが回避され、動作速度におけるパルス歪が低く、そして適切に設計すれば、熱レンズ作用が最小になることである。高精度のアナモルフィック光学システムを使用して、シードと増幅器との間の結合が最適化される。導波路増幅器及びレーザの基本的な説明は、マキシオス・インクにより提供される製品文献、及びビーチ氏等の「CW and passively Q-switched Cladding Pumped Planar Waveguide Lasers」と題する論文に見られる。1.064 μ m波長で使用するための28dBプレーナ導波路増幅器を含む更に別の増幅システムが、ユニバーシティ・オブ・サウスハンプトンにより開発され、「A Diode Pumped, High Gain, Planar Waveguide, Nd:Y3Al5O12 Amplifier」に説明されている。

20

30

【0041】

別の構成においては、高速立ち上りパルス又は他の希望の形状を発生するために、複数のqスイッチマイクロレーザを使用することができる。パルス巾が約1ナノ秒以下で、例えば、商業的に入手できるユニットでは800psないし2nsであるqスイッチ波形がモジュールにより発生される。商業的に入手できるレーザは、例えば、アドバンスド・オプティカル・テクノロジー(AOTLasers.com)から入手できるAOT-YVO-1Qである。これらの最近開発された短パルスの能動的qスイッチレーザは、指定のサブナノ秒タイミングジッタを維持しながら、可変繰り返し率のTTLパルスでトリガーすることができる。一般に、ターゲットマイクロ構造体に入射するパルスの形状は、最大レートに近い繰り返し率において著しく変化する。参考文献9は、ターゲットに入射するパルスの時間的間隔が変化しても一定のパルス形状を維持する方法を教示している(例えば、図面及び関連明細書を参照)。AOTは、20KHzの繰り返し率で得られる2ナノ秒のパルス巾を与える。倍周波数バージョンも使用できる(532nm)。IMRAアメリカは、Picoliteシステムでの800psパルスを報告しており、10KHzまでの繰り返し率のファイバ増幅で高いピーク電力が得られている。それより低い繰り返し率では、例えば、約1ns以下の短いパルス巾が得られる。

40

【0042】

この技術で知られており、そして参考文献5に示されたように(例えば、図1c、2)、qスイッチ波形は、蓄積エネルギーに基づいて、対称的なガウス形状、又は指数関数的なテールを伴う高速立ち上りパルスを近似する(少なくとも第1桁まで)。図15a-1

50

5 cを参照すれば、複数のトリガー信号により導入される適当な遅延、又は遅延線でのトリガー信号の遅延を伴う一連のデバイスを使用して、一連の離間されたパルスが発生される。光学出力は、適当なバルク光学系（偏光に敏感な）、光ファイバ又は導波路で合成されて、単一出力ビームを形成するのが好ましい。それにより生じるqスイッチ波形の追加で、高速立ち上り時間特性及び比較的短い巾が形成される。光学増幅器122を使用して、必要に応じて出力電力を増加することができる。

【0043】

図15aは、ビーム合成器123を使用して、2つのレーザ120、121の出力を増幅器122へ供給するバルク光学系を伴う1つの基本的実施形態の回路図である。プログラム可能な遅延回路126がトリガー動作を制御する。偏光光学系127、128を使用して、ビーム合成器への適当な入力が形成される。1つの構成においては、パルスが離間され、高周波数バースト124として現われる。第2の構成では、第2パルスのトリガー動作が、若干遅延された（しかし制御された）位置で行われ、これは、方形パルス形状を近似する特性125を形成する。後者の構成では、制御された遅延がFWHMの約50%である。当業者であれば、別の構成を、多数の増幅器、合成器、バルク、ファイバ又は集積光学構成体と共に使用できることが明らかであろう。

【0044】

又、多数のパルス波形の発生は、2つの別々のマイクロレーザをある形態で能動的にqスイッチングするか、或いは受動的にqスイッチングされるレーザから第1パルスを検出した後に、その第1パルスに対して能動的にqスイッチングされるレーザ又はMOPAをトリガーすることを含む。

図15bは、単一レーザ140の使用を示す基本的な回路図で、レーザの出力は、ビームスプリッタ142により分割され、ビームの一部が経路141に沿って伝播し、その後、半波プレートであるローテーター146で偏波調整された後に合成器143で合成される。次いで、任意の光学増幅器145を使用して、より大きな出力電力を発生する。

【0045】

単一レーザ及び光学的遅延線を使用する構成では、光学的システムが安定で且つ整列し易いのが好ましい。図15cは、対向するコーナーキューブ逆反射器130の使用により設定が折り畳み要素の傾斜に不感であるようにした実施形態を例示する。遅延ビーム経路の角度整列は、高振動環境でも非常に安定している。各対の逆反射器130におけるコーナーキューブの1つは、X/Y並進移動及びZ回転において、遅延ビーム経路の横断位置をセンタリングするように最初に調整される。メインビーム路における1/2リターダ133の各々は、垂直又は水平偏光光線が45°回転された偏光をもつように調整される。第2の遅延ループにおける1/2リターダ133は、垂直又は水平偏光光線が90°回転された偏光を有し、第2ループの遅延パルスを2回循環させた後に退出させるように調整される。出力波形135（例えば、4つの合成パルス）のピーク対ピーク間隔は、遅延ループの長さによって制御される。遅延パルスに対して異なる振幅が望まれる場合には、メインビームにおける1/2リターダ133は、45°以外の偏光に対してセットすることができる。同様に、パルスの形状は、システムを設定するとき、又はおそらく動作中に、間隔を手動で又は自動的に制御することにより変更できる。レーザパルス発生及び整形の当業者であれば、数ナノ秒から数十ナノ秒の範囲の典型的な遅延に対し短いパルスのためのコンパクトなモジュラー構成体の効果が明らかであろう。例えば、ヒタチの米国特許第5,293,389号は、例えば、100ns以上の長いパルスが発生するために、振幅の減少するレーザパルスが発生する偏光ベースのファイバ遅延線を開示している。

【0046】

整形されたパルスを発生する別の手段は、パルスの先縁又はテールを切断するが2段又は整形された変調電圧パルスをもつような変調解決策を使用することである。例えば、10nsのqスイッチパルスでは、変調器は、最初の1-5ns間は100%透過を、その後、パルスの残りの間は25%透過をもつことができる。初期の草分け的研究で、コエクナー氏によるもの（米国特許第3,747,019号）及びスマート氏によるもの（米国

10

20

30

40

50

特許第4,483,005号)は、電気-光学変調器を使用した例示的な振幅及びパルス形状制御方法を実証している。

【0047】

図15a-15cに示された多数のパルスは、同じ波長でもよいしそうでなくてもよく、パルスの時間的形狀は、特定の要件に基づいて変化する。例えば、ある実施形態では、出力は、短い巾及び高いピーク電力を低電力方形波パルス形状と合成したqスイッチパルスである。

図1a及び1bを参照すれば、メモリリペアのためのシステムの運転中に、高精度測定システムで得られた位置情報を使用して、パルスレーザの収束ビームくびれ部を、空間7、8、9において、ターゲット10の三次元座標(Xリンク、Yリンク、Zリンク)に実質的に一致する位置に相対的に位置設定する。レーザビームのくびれ部とターゲット位置とが実質的に一致する時間に発生されたトリガーパルス2は、レーザサブシステム1におけるレーザ及び関連制御回路と共に動作し、出力パルスを発生する。

【0048】

参照文献2及び7は、三次元ビームくびれ部の位置設定を含む正確に位置設定する方法及びシステムを詳細に説明している。参照文献7は、ある範囲のスポットサイズ調整で近似回折制限スポットサイズを発生するための好ましい実施形態(例えば、WO0187534('534)の図7-9及びその関連明細書)と、ビームくびれ部を三次元位置設定するための好ましい方法及びシステムとを開示している。三次元(高さ)情報は、例えば、焦点の検出で得られ、これを使用して、表面が推定されそして軌道が発生される(例えば、'534の図2-5及び関連明細書)。レーザは、リンクの三次元位置(Xリンク、Yリンク、Zリンク)に実質的に対応する位置でパルス付勢される(例えば、'534の図10a-b及び関連明細書)。

【0049】

実際に、三次元測定及び位置設定は、ウェハ表面上のトポロジー変化、又はシステムに導入される他の位置変化(不整列)を補償するのに使用される。これらの変化は、一般に、システム又はアプリケーションに依存するものであり、数ミクロンを越え、ひいては、収束レーザビームの焦点の深度を越える。あるマイクロ加工用途において、ある公差が維持される場合、又はマイクロポジショニングサブシステムで行われるように、外部ハードウェアが装置の位置を操作する場合には、システム位置設定要件が緩和される。装置は、小型部品(例えば、単一のダイ)を備え、これは、外部のマイクロポジショニングサブシステムにより所定の基準位置に位置設定される。同様に、小型部品が所定の公差を有する場合には、位置設定は、基準位置での単一の測定に基づいて行われるか、又はおそらく、単一の奥行き測定値と横方向(X、Y)測定値との結合に基づいて行われる。ウェハ(例えば300mm)上の多レベルデバイスを高速度で処理する場合には、特に、リンクの寸法が収縮したときに、高密度でサンプリングされる三次元情報は性能を改善することが予想される。

【0050】

大きな表面(例えば、300mmウェハ)にわたり非常に高速度の運転を必要とする用途において、別の方法は、予め決定された情報(例えば、校正プロセス中に測定されたビーム位置設定運動平面に対するウェハチャック平面)を、処理されるべき各部分から得られる寸法情報に合成することである。例えば、'534の図1-2では、領域28の傾斜の一部が固定に関連している。例えば、(a)除去するように構成されたマイクロ構造体を識別する情報を得、(b)第1セットの基準位置を測定して、三次元基準データを得、(c)少なくとも三次元基準データに基づいて軌道を発生して、ビームくびれ部及びマイクロ構造体表面位置の予想を得、そして(d)位置センサ(例えば、エンコーダ)及び/又は相対的運動中に収集されるデータから得られた更新位置情報に基づいて相対的運動中に予想を更新するという段階が含まれる。付加的なデータは、付加的な整列ターゲット又は光学的測定(例えば動的な焦点)に適した他の位置に収集される測定データである。参照文献2は、正確なウェハ段を使用して、ウェハを高速度で位置設定するシステムを説

10

20

30

40

50

明している。干渉計エンコーダを使用して1ナノメートル以下の解像度をもつフィードバック情報を得る方法が開示されており、このような高精度方法が好ましい。参照文献2では、他の従来のレーザ干渉計も使用できることに注目している。参照文献2の図9-11及びカラム5-6は、高精度ポジショニング装置に関連した高精度測定サブシステムの特徴を説明している。更に、x、y 整列ターゲット又は三次元測定に適した領域であるワークピース（例えばウェハ）上の指定の基準位置が、種々の用途に使用される。又、光学的位置センサが面積平均化高さデータを高速度で得る「In-situ height correction for laser scanning of semiconductor wafer」と題するニコーンハド氏等、オプチカル・エンジニアリング、第34巻、第10号、1995年10月には、約0.1 μ mの高さ精度が報告されていることにも注目されたい。同様に、「オンザフライ」測定をサポートするに

10

【0051】

用途の要件に応じて、上記技術を種々組合せて使用することができる。その組み合わせは、除去するように構成されたマイクロ構造体のデバイス上での個数及び典型的な分布に基づいて行われる。非常に多数のリペア場所がデバイスにわたって分布しているときには、「オンザフライ」で更新を行うことによりスループットを最大にすることができる。

【0052】

本発明の用途では、ターゲット構造体10は、多材料多層構造体（例えば、リダングトメモリデバイス）の一部として設けられる。誘電体層14、15を有する多層スタックは、リンクとその下の基板17との間に間隔を与える。ある形式の多層メモリデバイスでは、二酸化シリコン15及び窒化シリコン14の交互の層が、銅リンクターゲット構造体10とシリコン基板17との間に配置される。銅ターゲット構造体は、一般に、他の同様の構造体の近くに配置されて、除去用に構成されたヒューズの1D又は2Dアレーを形成する。銅リンク構造体に加えて、機能的デバイス回路の一部としてその下に配置された導体16は、リンク構造体の近くにおいて、比較的薄い（典型的に $< 0.1 \mu\text{m}$ ）窒化シリコン14及び厚い（典型的に $\sim 1 \mu\text{m}$ ）二酸化シリコン15材料でカバーされた一連のパターンで配列される。

20

【0053】

リンクにおける照射分布は、回折制限の円形ガウスプロファイルに実質的に合致する。別の有用な実施形態では、ビームは、アナモルフィック光学システム又は非円形レーザ出力ビームで発生される近似楕円ガウス照射度プロファイルを有する。一実施形態では、入射ビームは、図4bにも示されたように、非均一なアスペクト比12、11を有する（例えば、3:1）。或いは又、長方形又は別の選択された空間プロファイルが横方向次元において実施されてもよい。例えば、参照文献1は、メモリリペアに適用するためにレーザビームを「非ガウス」空間整形する種々の効果的な方法及び光学システムを開示している。

30

【0054】

ほぼ回折制限される楕円ガウスのケースでは、位置11における好ましい最小ビームくびれ寸法が、図1bの狭いターゲット10寸法を近似し、ひいては、リンクに高いパルスエネルギー密度を発生する。更に、この解決策では、レーザエネルギーの大きな部分がリンクに結合され、バックグラウンド照射が減少される。

40

現在のメモリに使用される典型的な銅リンクは、巾及び厚みが約1 μ m以下で、例えば、0.6 μ mであり、そして長さが約5ミクロンである。将来のメモリ要件は、ターゲット寸法のスケールを更に減少することであると予想される。11における最小ビームくびれ寸法 W_{y0} は、通常、サブミクロンリンクをある程度過剰充填し、一方、 W_{x0} がリンクに沿って数ミクロンである状態でのアスペクト比 W_{x0}/W_{y0} 12、11は、きれいなリンク除去を容易にすることができる。更に、層14、15及び基板17におけるエネルギー密度の急速な減少は、開口数の高いビーム部分11の焦点ずれにより達成される。

50

【 0 0 5 5 】

図 5 a 及び 5 b のグラフは、最良の焦点における円形ガウス及び楕円ビームに対し、種々のアスペクト比についての推定焦点ずれを示す。図 5 a は、 $1.6 \mu\text{m}$ 円形ガウスの非常に急速な低下を示す (0.002 mm 数字目盛 = $2 \mu\text{m}$)。図 5 b は、異なるスポット形状に対し最良の焦点におけるエネルギー密度をスケールリングするための正規化された結果を示す。これらの結果は、電力密度がターゲット場所で最大となるように奥行き方向に正確にビームを位置設定すると、メモリ製造のために銅ベースのプロセスに使用される例示的な多層スタックに対し、基板レベルにおいてエネルギー密度が 1 桁以上相対的に減少することを示している。更に、くびれ部 $W y o$ に対する急速な焦点ずれは、入射ビームの「テール」が機能的内側層 16 (例えば銅) を低いレベルで照射するならば、内側層のダメージを回避する上で有益である。

10

【 0 0 5 6 】

多レベルデバイスを処理するための一実施形態では、公称 10 - 90 % の立ち上り時間 4 が 1 ナノ秒未満から約 2 ナノ秒までの好ましい範囲にあるような高速立ち上り時間パルスを与付することにより銅リンクの除去が開始される。熱拡散を制限しながらリンクを切断するには、約 2 ナノ秒ないし 10 ナノ秒の範囲のパルス巾 5 が好ましい。約 0.1 マイクロジュール (μj) ないし $3 \mu\text{j}$ の範囲のパルスエネルギーが有効であり、スポット形状及びプロセス変化に対しては約 0.1 - $5 \mu\text{j}$ の好ましい典型的な範囲で充分余裕があると考えられる。好ましいパルス巾は、公称リンク厚み仕様、又は隣接材料の異なる熱及び光学特性のモデルに基づいて選択される。パルス巾中に、上層 13 の熱衝撃及びターゲット 10 の熱膨張により、上部酸化物層 13 の破裂を通じてリンクが爆発し、ひいては、層 14 に隣接するリンク構造体の下部コーナーにおけるストレスを減少させる。レーザーパルスは、好ましくは、爆発後数ナノ秒の立ち下り時間 6 以内に、薄いリンクがきれいに切断された直後に、且つリンクの下部コーナーが少なくとも層 14 にクラックを生じさせる前に、急速に終了される。レーザーパルスと金属リンク及びその上の層との相互作用に関連した更なる詳細及び結果は、参照文献 4 及び 5 に開示されている。471 特許及びその関連明細書は、相互作用プロセスについて説明している (例えば、図 1 a、1 b、11 a、11 b 及びカラム 18)。

20

【 0 0 5 7 】

従って、空間的特性 (例えば、ビームくびれ部の形状及び位置) と、時間的 (例えば、立ち上り時間 4、平坦さ及び巾 5) パルス特性との結合により、下部層 14、15 の望ましからぬクラックが回避され、内側層導体 16 との著しいパルス相互作用が回避され、そして基板 17 の加熱が制限される。従って、可視及び近赤外線波長では銅リンクの反射率が高く、そして公知技術では除去が不完全で且つ周囲構造体及び基板へのダメージが予想されたが、ターゲット構造体は、他の構造体への望ましからぬダメージを伴わずに処理される。又、銅は、近 IR においてほぼ最大の反射性をもつのに加えて、他のリンク材料 (例えば、アルミニウム、白金) よりも反射性が高いことが知られている。それにも拘らず、近 IR とターゲットとの光学的相互作用、並びに隣接 (上に横たわる) 層の光学的及び熱的特性により、好ましい銅材料を処理することができる。

30

【 0 0 5 8 】

更に、近 IR (赤外線) 波長は、便利なことに、広帯域巾のレーザーダイオードが使用できる波長に対応すると共に、パルスレーザービームの光学的増幅をファイバ及び導波路増幅器で効率的に発生できるスペクトルレンジにも対応している。当業者に明らかなように、希望の時間的パルス形状をもつ増幅されたレーザーダイオード出力は、効果のあるときには可視レーザー出力を発生するように周波数乗算することもできる。半導体ダイオードの速い立ち上り時間は、高速立ち上り時間の方形パルス特性を形成するのに特に効果的である。可視ダイオード及び光学増幅技術における将来の開発は、可視レンジにおける直接的なパルス増幅をサポートすることができる。

40

【 0 0 5 9 】

銅リンクをブローする好ましいシステムでは、リンクの巾が 1 ミクロン以下であり、そ

50

してリンクの間隔（ピッチ）が現在の処理技術では数ミクロンである。リンクの中は、通常、可視光線の波長に対応する。更に、図 1 b 及び 1 c の材料の横方向及びノ又は厚み寸法がレーザ波長程度である極微スケールの動作においては、スタック材料の厚み及び屈折率がスタックの全体的な光学特性に著しく影響し得る。

【 0 0 6 0 】

本発明の一実施形態では、層の非吸収性光学特性（例えば干渉又は反射ロス）が利用される可視又は近赤外線レンジにおいて好ましい減少波長が選択される。図 1 a 及び 1 b のデバイス構造は、下部層内の実質的な吸収でダメージを受け、このようなダメージは、隣接回路が存在するために禁止的となる。これとは対照的に、図 2 b の公知システムによるリンク処理では、内側層のダメージが一般的に全デバイス性能に不利益を及ぼさない。

10

【 0 0 6 1 】

米国特許第 6,300,690 号（参照文献 8）は、基板上的ターゲット構造体を蒸発するシステム及び方法を説明している。この方法は、基板の吸収端より低い波長においてレーザ出力を発生するように構成されたレーザシステムを用意することを含む。更に、参照文献 4 は、基板がシリコンであるメモリデバイス上でリンクを処理するのに 1.2 μm 未満の波長が有利であること、即ちスポットサイズが小さく且つレーザパルス巾が短いことを開示している。本発明によれば、非吸収スタック特性を波長選択と共に利用することにより性能改善を実現できる。更に、開口数の高いビームの正確な位置設定、スポットの空間的整形、又は時間的パルス整形の少なくとも一つが、基板におけるエネルギー減少を与える。その結果は、ターゲット構造体を蒸発するのに十分な単位エネルギーをターゲット構造体に蓄積するために入射ビームエネルギーが必要であるのに拘らず、比較的低い値のエネルギーが基板に蓄積されると予想されることに対応する。

20

【 0 0 6 2 】

基板に蓄積されるエネルギーに影響するファクタは、実際には乗算的である。同様に、短い可視波長において、銅は吸収し（例えば、1.064 μm において 2% であるのに比べて、500 nm では約 50%、近 UV では 70%）、従って、きれいに除去するのに、あまりエネルギーが必要とされず、少なくとも 1 桁の大きさでよい。基板に蓄積されると予想される比較的低い値のエネルギーに対応する好ましい識別された波長は、近 IR のスペクトル領域の可視範囲内である。モデルをベースとする解決策を使用して、指定の誘電体スタック、スポット位置、公差、時間的及び三次元空間的パルス特性に対して十分な余裕をもって最短波長を推定することができる。

30

【 0 0 6 3 】

シリコン基板を伴う多レベルデバイスにおいてリンクを処理する場合に、基板に蓄積されると予想される比較的低い値のエネルギーに対応する制限波長（例えば、像スレッシュホールドより低い）は、緑又は近 UV スペクトル領域内であるが、スタック層厚み又は屈折率の考えられる制御を含む厳密に制御されるシステムパラメータの使用を必要とする。

【 0 0 6 4 】

スタックの内部透過及び好ましくは反射が最大又はほぼ最大である本発明による波長選択では、スタック層のダメージが回避される。更に、基板の照射を減少すると同時に、リンク除去のために減少スポットサイズ（回折限界又はその付近）を与えることは、機能的内部層の照射が許容範囲内であれば、好ましい。典型的な大きなバンドギャップ誘電体材料のスペクトル透過曲線は、一般に、UV 波長において透過が若干低下することを示す。例えば、「ハンドブック・オブ・レーザ・サイエンス・アンド・テクノロジー」では、二酸化シリコンの透過範囲が 0.15 μm より大きな波長として指定される。窒化シリコン及び二酸化シリコンの両方の吸収係数は、可視レンジ（> 400 nm）では比較的強く保たれ、そして UV レンジでは徐々に増加する。

40

【 0 0 6 5 】

図 3 は、近 IR 波長のレンジにわたり 1.4 の二酸化シリコン 1.5 及び窒化シリコン 1.4 の対の代表的な多層スタックにより発生される推定逆反射を示すグラフであり、層の厚みは、各々、約 1 μm 及び 0.07 ミクロンである。本発明によれば、非常に多数の層を受

50

け入れることができ、それらは、プロセスに基づいて約4ないし28の範囲である（例えば、時には、多数の層が機能的導体層を分離してもよい）。

【0066】

一例として、比較的広い波長範囲にわたって著しい反射が生じることが示される。内部層14として配置された単一層は、通常、可視及び近IRスペクトルにわたり各表面においてほぼ2%を反射する。リンク及び半導体処理の技術では、シリコンの吸収が近IRスペクトルレンジでは何桁も変化することが知られている。更に、参照文献4に教示されたように、シリコン材料処理の研究では、吸収が非安定であり、吸収端付近の波長ではレーザー電力及び基板加熱の増加と共に非直線的であることが示される。しかしながら、上述したように、リンク位置に小さなスポット（参照文献4-6、及び8）及び高いエネルギー密度を形成するには、短い波長が好ましい。

10

【0067】

本発明によれば、波長に伴う層の反射を利用することにより、システム性能を更に改善できると共に、好ましい短波長レンジにおいてパルスの時間的及び空間的制御に関連した利益を補足することができる。このような波長選択は、基板の吸収が著しく増加する波長において特に効果的であると考えられ、そしてリンクと基板との間に配置される層14、15の枚数がその上に横たわる層13の枚数を実質的に越えるときに顕著な余裕を得ることができる。処理のための好ましい構造は、所定の短い波長において大きな反射を伴う実質的な枚数の層を備え、波長は、高速で方形の好ましい時間的パルス形状を発生するように良好に合致される。

20

【0068】

図3のレンジにおける標準的なレーザー波長は、 $1.047\ \mu\text{m}$ 及び $1.064\ \mu\text{m}$ を含み、後者は、半導体ダイオードの標準波長である。更に、慣習的波長は、 $1.08\ \mu\text{m}$ を含み、他の波長は、ラマンシフトで発生される。当業者に明らかなように、近IR波長の周波数乗算を使用して、短い波長を発生することができ、そして適当な設計により、多数の波長を単一のシステムで発生することができる。例えば、高速立ち上り時間をもつ好ましい時間的パルス形状は、近IRレーザーを倍周波数することにより、可視スペクトルの緑部分において発生することができる。

【0069】

別の実施形態では、波長の同調を使用して、波長をスタックの近似ピーク反射に合致させる。このような構成は、限定された波長レンジにわたり反射レンジ（即ち「カットオフ」レンジ）の縁でレーザー波長を調整するのに特に効果的であり、従って、材料の厚み及び屈折率の公差に対する敏感さが回避される。上述したように、レーザー増幅システム、及び他のリンク構造体へのその適用に関する更なる説明が、参照文献4-6に見られる。

30

【0070】

パルスレーザービームの発生は、レーザービームの波長を第1波長から所定の波長へシフトする段階を含む。所定の波長は、（1）マイクロ構造体の結合特性、（2）多層干渉、及び（3）基板の反射率、の少なくとも1つより成る材料特性をベースとする。

【0071】

実験結果は、シリコンの吸収が $1.2\ \mu\text{m}$ の場合より何桁も大きい $1.047\ \mu\text{m}$ の波長において、図3の短いqスイッチ（標準）パルス及びスタック特性で基板のダメージが回避されることを示している。しかしながら、qスイッチの時間的パルス形状を有する標準的レーザーに伴う結果は、リンクの下の酸化層14にクラックが生じることを示している。ガウス近似に対しその中の実質的な一部分である比較的低速で立ち上がるqスイッチパルス形状は、実験結果に基づいて内側層にクラックを生じることなくリンクを除去するための制限ファクタであると考えられていた。しかしながら、公知技術の教示によれば、 $1.047\ \mu\text{m}$ の波長では、シリコン基板への甚だしいダメージが予想される。というのは、最大透過に対応する波長の場合より吸収が何桁も大きいからである。本発明の教示によれば、空間的パルス特性及びスタック反射は、内側層及び基板のダメージ並びに短い波長の動作を回避するために考慮すべき重要なファクタである（これは、小さなスポットサ

40

50

イズ及び高いエネルギー密度もリンクに与える)。更に、本発明によれば、 $1.047\ \mu\text{m}$ のレーザ波長で発生される所定の方形パルス形状は、スタック及び基板に望ましからぬ変化を招くことなく、きれいな除去を生じると予想される。

【0072】

サブミクロンスケールでのレーザ処理及びプロセス設計

更に、反射性極微構造体を短波長処理するための効果的な実施形態において、多層スタックの仕様をプロセス設計において考える。例えば、屈折率に大きな差がありそして各層内の透過度が高い交互の誘電体又は他の適当な構成体の $1/4$ 波長スタックが、選択された波長において指定される。非常に高い反射性を得ることができ、 $1/4$ 波長スタックは、閉じた形態で容易に計算されそしてモデリングされることが示される。従って、本発明のシステム及び方法は、プロセス設計の他の特徴と共に有効に使用することができ、そして深く埋設された層及び基板の吸収が比較的高い場合、又はターゲット構造体の巾がレーザ波長より充分低い場合に効果的である。

10

【0073】

デバイス構造の設計は、回路のレイアウトに関して幾つかの制約を有する。従って、ある層に対するある厚み及び材料を定義することができ、例えば、導体の近似厚みを有し又は導体の厚みに関連した導体の平面における絶縁体を定義することができる。指定された層とは異なる屈折率を有する材料を選択することができる。指定の厚みは、レーザを高い歩留まりで製造することが困難な「エキゾチック」波長において動作する特殊なレーザ装置の要件を緩和するか又は排除する効果的なレーザ波長における推定反射度に基づくものである。この反射度は、厚みが可変であるモデルを使用して推定され、そして他の装置制約を受けて反射度を最大にするように推定が行われる。

20

【0074】

波長(又は角度)を層に同調できるので、層の厚みを波長に同調することができる。屈折率を使用して、ある限定された範囲にわたり微同調することができるが、その範囲は、屈折率の僅かな変化に対して顕著なものではない。全ての厚みがプロセスにより固定された状態でも、所定厚みをもつ可変厚み同調層(1つ又は複数)の追加を使用して、全スタックの反射率に大きく作用することができる。例えば、金属化の必要性により制約を受けない層は、上部及び下部のスタック部分間の正確なスペーサとして使用することができる。これは、おそらく1つの層の調整だけでプロセスを同調するための非常にパワフルなツールである。

30

【0075】

物理的光学系及び多レベルデバイスのレーザ処理

他の制御可能なレーザ特性を、波長選択とは別に又はそれに関連して利用して、処理エネルギーウインドウを更に改善することができる。参照文献3は、動的な偏光選択及びコンピュータ制御を含む偏光制御を行って、偏光をリンク配向に整列させるための効果的な方法及びシステムを示す(例えば、その詳細は図4に示されそしてその関連説明は参照文献に含まれる)。偏光は、ターゲット結合特性、フィルム反射度、又はその組み合わせに基づいて選択することができる。

【0076】

リンク寸法がスポットサイズより小さい状態では、回折、散乱及び縁反射のような作用は、デバイスの幾何学形状及びビーム特性に基づいて効果的な結果又は有害な結果のいずれかをもたらす物理的現象として考えねばならない。同様に、高いエネルギー密度では、非直線的な吸収が結果に影響を及ぼし、特に半導体材料にダメージを及ぼす。

40

【0077】

隣接リンク及び回路の微細ピッチ(間隔)に伴う付加的な重要な事項は、付随的なダメージである。更に、層の平面における機能的回路は、ダメージを受けてはならない。微細ピッチ及び高密度メモリに向う傾向が強まるにつれて、デバイスの三次元構造を考えねばならず、ビームの空間的及び時間的特性の選択に影響を及ぼす。例えば、図4a-4cは、裁断された(43、44)ガウスビーム11を生じるサブミクロン巾のリンク10に関

50

連した反射及び回折の作用を示すもので、スポットサイズ（13.5%ポイントで測定された）は、程度が変化するがリンクより広い。これらの図は、近IR波長における回折制限ビームくびれ部を表わす。中央のローブは、リンクにより切り取られて、近フィールド不明瞭部のように見え、裁断された（43、44）透過ビーム部分を生じさせる。リンクに入射しなかったエネルギーは、広い角度で層49に伝播し、これは、図1に示すように、基板17へのダメージを回避するという観点から効果的である。いずれにせよ、隣接部の照射とスポットサイズには、ある程度の相関がある。比較的大きな焦点深度を伴う大きなスポットは、発散を減少し、そして隣接部の照射を少なくすることができる。但し、これは、リンクの間隔が十分に大きくて、隣接構造体に当たる入射ビームの非吸収エネルギー43が弱く、例えば、レベル44に対応する場合である。高いNA及び小さなスポットサイズでは、リンク位置46における反射ビーム直径が増加される。あるスポットサイズ41、42に対して最大値が存在する。隣接リンク48における照射は、反射エネルギーがエリア内で大きく成長するにつれて減少する。

【0078】

同時に、内部反射に角度変化が生じる。従って、スタックの層厚みも、図1の内部構造体16を含む隣接構造体の照射に影響し得る。更に、角度に伴う偏光の変化は、変動を生じることが予想される。図6a及び6bは、延長領域にわたって伝播する内部反射の幾何学的線トレース作用を一例として示す。

同様に、図4cに示すように、リンク46の縁に入射するレーザービームの部分45を考える場合には、リンク構造体に結合されないエネルギーが散乱され及び/又は隣接リンク48へ鏡のように反射される。若干カーブされるか又は傾斜された少なくともリンク46の物理縁プロフィールの結果として相互反射47が生じる。

【0079】

更に考慮することは、図1の内側導体層16と、ビームくびれ部11と、図4cの隣接リンク48との間の三次元間隔である。リンクに最小スポットサイズを形成する一方、内側層16との顕著な相互作用を回避するように発散及び反射する開口数の大きなビームくびれ部11が好ましい。図4a-4cを検討すると、制御された高精度の3Dくびれ部位置設定を伴う減少スポットサイズは、リンクに結合されるエネルギーを最大にするにより付随的ダメージを減少することが予想される。リンク内に高いエネルギーが閉じ込められそして強度の低い透過プロフィール44では、縁反射が最小にされる。又、空間プロフィールは、16におけるビーム角度分布間に低レベルの無視できる相互作用の制約しか受けないように選択されねばならない。

【0080】

三次元デバイス構造の一部に関連した相互作用メカニズムを、少なくとも空間的パルス特性の選択のためにモデリングするのが好ましく、このような特性は、ビームくびれ部のNA及び位置である。好ましくは、このモデルは、各隣接リンク構造体48、内部層16及び基板17によって見た照射の推定を含む。これに対して、隣接リンク構造体へのダメージは、従来の顕微鏡で比較的明らかであり、内側層16及び基板17のダメージの評価は、3Dデバイス構造では非常に困難である。

【0081】

リンク巾が1 μ m未満で、ピッチが数ミクロンの場合には、ウェハ間の変動、ウェハ内の局部的変動、及びシステム公差を補償するのに、正確なサブミクロン整列が必要とされる（例えば、25 μ mのトポグラフィック変動及び5 μ mの製造公差を伴う300mmウェハ）。本発明によれば、高精度の位置設定方法及びシステムを使用して、リンクに高いレーザーエネルギー密度を与えるようにビームくびれ部を相対的に位置設定する。又、正確に位置設定するための1つの重要な事項は、正確な（Xリンク、Yリンク）位置情報の予想である。この予想は、その後、移動制御及び位置設定システムにより使用されて、ターゲット10及びレーザービームの相対的な移動中にターゲット座標におけるトリガー2を経てレーザー出力を発生する。好ましい実施形態は、整列ターゲット位置を含む領域が像形成されて基準データを得るような以下に述べる偏光不感走査及び検出システムを備えている。

10

20

30

40

50

ターゲット位置は、二酸化シリコン、窒化シリコンの誘電体層又は他の絶縁材料でしばしばカバーされる。スプリアスな測定を回避するために偏光不感検出が効果的であることが実験で示されている。その結果、研磨又は他のプロセス作業により絶縁層に複屈折が導入され、これが反射ビームの偏光変化により表わされるという仮定に至る。これらの変化は、信号対雑音比を低下し、位置歪を誘起するようと思われる。各ターゲット位置からのデジタル出力データは、8パラメータ最小2乗整列アルゴリズムによって使用され、処理されるべきリンクを含むウェハにわたるオフセット、角度、スケール、直交性及び台形変化により影響される位置情報を推定しそして修正する。

【0082】

ターゲット位置に受け取られるビームに変化が与えられると、プロセス変化がターゲット構造体付近の層の光学的特性に影響するという問題が生じる。更に、実際には、ウェハにわたり又はバッチごとに、ターゲット及び層の厚み及び反射率に変化が生じる。厚み及び反射率の測定は、プロセスの監視にとって有用であり、又、これを使用して、エネルギーウィンドウを広げるようにレーザ電力及び波長の調整を決定することができる。例えば、リンクの反射率の変化は、処理に必要なエネルギーに影響する。適応エネルギー制御のための好ましい方法及びシステムも、以下に説明する。

【0083】

リンク及び他の極微構造体の寸法は、急速に減少し続けているので、当業者であれば、多パラメータモデリングの有益さが明らかであろう。モデルをベースとする解決策は、レーザ出力の空間的及び時間的特性の選択及び正確な制御へと通じ、レーザと複雑な多層多材料構造体との制御式三次元相互作用を生じさせる。

【0084】

偏光不感検出及びX、Y基準測定

本発明の譲受人の商業的レーザシステムは、レーザが整列ターゲット（例えば、起点）上に相対的に配置された（152）ときに、作用面（例えば、多層メモリデバイス）から反射された光の一部分を取り上げるためにビームスプリッタを使用する。サブシステムのブロック図が図10に示されている。ビームスプリッタ150の反射/透過（R/T）分割は、使用するレーザに依存する。レーザの全エネルギーが低く、必要とされるものと同程度の透過が必要な場合には、90%透過及び10%反射の分割が行われる。これは、90%がその経路を経て作用面へ進むようにし、そして反射した10%がダンプされるようにする。しかし、これは、反射光の10%しか取り上げず、反射光の90%は、レーザ経路に沿って戻される。可能であれば、70/30分割が行われる。これは、全エネルギー未滿を作用面へ与えるが、反射信号は大きくなる。

【0085】

R/T分割に拘らず、仕様は、S偏光に対するR/T = P偏光に対するR/T（5%以内）である。これは、特殊な二色性被覆で達成され、良好な結果を生じさせる。偏光状態は、S及びPのベクトル和と考えられるので、ビームスプリッタは、いかなる偏光についても正しいR/T比で機能する。

これは、好ましいリンク処理システムではリンク切断効率を改善するために、偏光を希望の状態へとスイッチングするので、重要である。例えば、米国特許第6,181,728号（参照文献3）の継続出願で、本発明の譲受人に譲渡された2001年12月13日に出願された出願中の米国特許出願第01/013,956号は、特に、スポットサイズが減少されたときにはリンクに垂直な偏光でプロセスウィンドウの改善が行われるという結果を報告している。この728特許に開示された好ましい偏光コントローラを使用して、状態をスイッチングする。

【0086】

本発明の方法及びシステムは、走査及び測定されるべきターゲット上に酸化物層が存在するときに効果的である。酸化物層は、ビームの偏光に影響する。これは、酸化物層がストレスを受けて複屈折を形成するために生じる。偏光不感構成では、これは問題ではなく、偏光が変化しても、ビームスプリッターから同じ反射を得ると共に、同じ信号レベルを

10

20

30

40

50

得る。より一般的な偏光ビームスプリッタ又は簡単な被覆がビームスプリッタとして使用される場合には、変化した偏光が、反射信号に変化を生じさせる。酸化物層のストレスが変化すると、特にそれがターゲットマイクロ構造体の上にある場合に（ターゲットの縁を越えようとするためにストレスを受ける）、ビームがターゲットを走査するとき偏光が変化する。この場合も、被覆であるために問題にならない。偏光ビームスプリッタの場合には、検出器で測定される反射信号 151 が変化する。というのは、偏光は、縁データを収集しようと試みるのと同時に変化し、制御不能に且つ予想不能に結果にスキューを生じさせるからである。

【0087】

この偏光不感技術は、最も健全な方法とみなされ、少なくとも1つの酸化物層でカバーされたターゲットを測定するのに好ましいものである。しかしながら、他の像形成及び縁探索方法も使用できるが、乗算的像ノイズが存在する中でターゲットを正確に測定するために複雑な測定アルゴリズムを必要とする。

【0088】

異常な反射率変動を伴う測定 - パルスレーザビームでの清掃

図14a及び14bの概略図には、典型的な整列ターゲット100が示されている。このターゲット100は、通常、1つ以上の不動態化層でカバーされ、これらは、図1b及び1cの層13に対応するが、そのように制約を受けない。多レベルでのリンク除去を伴う実験中に、好ましい偏光不感測定方法を使用して、X、Yターゲット位置を得た。しかしながら、おそらくは、近傍の半田付着部（半田ボール）からの残留半田フラックスによるターゲットエリア100内の残骸1001が、検出器で得られる反射信号に著しく影響し、ノイズ性プロフィール101を生じることが分かった。測定に対する影響は、位置を推定するのに使用される最小2乗適合アルゴリズムにおける大きな残余として表わされる。この説明においては、ターゲットエリアが正のコントラスト（例えば、高い測定強度）領域として示されるが、ターゲット100とバックグラウンドとの間のコントラストが測定に十分なものであれば、コントラストの逆転も受け入れられることが当業者に明らかであろう。

【0089】

ピーク電力の低いパルスビームを使用して、残骸を除去した。図14bに示すように、清掃オペレーションの結果として、改善された例示的信号プロフィール102（例えば、比較的均一の強度及びほとんど残骸のない領域に関連した）が得られた。清掃のための代表的なエネルギーは、 $0.01 \mu\text{j}$ の程度であり、例えば、 $0.005 \mu\text{j}$ である。これは、材料のダメージスレッショールドより十分に低く、且つリンク12の除去に使用される典型的なエネルギーより十分に低い。

【0090】

一実施形態では、ターゲット100を横切る単一の直線的走査又は複数の直線的走査104を使用して、反射強度データが得られ、これを統計学的に分析して、例えば、%強度変化又は標準偏差を決定することにより忠実度が測定される。一実施形態では、ほぼ 0.001 ”ごとに線104に沿ってデータが取られる。しかしながら、サンプル間隔は、得られる信号忠実度に基づいて更に細かくてもよいし又は粗くてもよい。間隔が細か過ぎる場合には、付加的な「テクスチャーノイズ」が導入される。粗過ぎる場合には、縁コントラスト107が減少されるか、又は過少サンプリングによりエラーが導入される。変化が過剰の場合には、パルスビームで清掃オペレーションが開始される。好ましくは、レーザ電力は、レーザ処理装置の標準的な部分である音響-光学変調器（即ち、図13の「エネルギー制御器」）で制御される。リンクブローシステム内での強度制御及びパルス選択のための変調器の動作は、米国特許第5,998,759号（例えば、参照文献4、カラム7及び関連図面）に詳細に示されている。当業者であれば、このような変調器が、例えば、100:1のような広いダイナミックレンジにわたって強度制御を与えることが明らかであろう。比較的簡単なユーザインターフェイスで、「パス/フェイル」又は他の基準に基づいて動作を開始するためのオペレータ相互作用を与えることができる。

10

20

30

40

50

【0091】

別の実施形態では、直線的な走査が自動的に行われ、そして各測定位置で清掃オペレーションが行われる。

好ましい構成では、エネルギーの調整だけが必要であり、他のシステムパラメータは、清掃オペレーション中又は清掃の結果として不変である。測定の当業者は、結果と他のプロセスパラメータとの相関に基づいてシステムパラメータの種々の調整を行うことができる。

【0092】

好ましい構成では、清掃オペレーションは、必要に応じて走査領域のみに適用される。1つの構成では、最小2乗適合アルゴリズムにおいて適当な残余を得るという測定目標でプロセスが繰り返される。残余が指定値より大きい場合には、少なくとも1つの領域の走査が得られ、そして清掃が行われる。あるケースでは、走査線の位置を調整することが望まれる(例えば、清掃が困難な場合)。忠実度の測定(例えば、コントラスト、標準偏差)を使用して、清掃オペレーションを誘導することができる。必要とされるパスは、2つ以下であるのが好ましい。

10

【0093】

多数の構成を使用して清掃の発明を実施できることが理解されよう。例えば、アレーカメラを異なる波長の照射と共に使用して、非均一強度の領域を識別することができる。これらの領域は、次いで、清掃のために指定することができる。光学的測定の当業者であれば、このような構成を実施することができ、そしてこのような構成は、本発明の範囲内に

20

【0094】

反射率測定及び電力調整 - ケース1：単一波長

上記説明は、X、Y基準位置を探索して測定するための好ましい測定方法及びシステムに関するものであった。プロセスエネルギーウインドウを更に改善するための付加的なオプションは、処理されるべき材料により要求されるようにレーザエネルギー及び電力を調整するための測定及び制御概念である。反射率が高い場合には、反射ロスを補償するためにエネルギーを増加しなければならない。反射率が低い場合には、より多くのエネルギーがワークピース又はターゲットマイクロ構造体に結合されるので、エネルギー及び電力を減少しなければならない。この電力及びエネルギーを調整できるようにする方法は多数ある。最も簡単な方法は、表面からの反射を測定し、そして最適なエネルギー結合に対してエネルギー及び電力制御を調整することである。

30

【0095】

金属と酸化層との間の光干渉は、反射、ひいては、金属リンクの吸収度に著しく影響する(図11及び12を参照)。たとえプロセスエンジニアが、最良の酸化層厚みを設計することによりリンクの吸収度を最適化しようと試みても、必要な厚み公差を制御することは困難である。通常、層の厚みは10%変化し、上部層と処理されるべき金属層との間には多数の酸化層がある。

【0096】

リンク上の厚み及び屈折率を決定できる場合には、リンクを処理するのに必要なエネルギーを計算し、そして適宜調整することができる。フィルムの光学定数を決定するための方法は2つある。これらは、エリプソメトリー(偏光解析法)及びスペクトル分析である。エリプソメトリーは、光ビームが透過するか又は表面から反射するときに偏光の変化を利用するものである。偏光の変化の量は、材料の屈折率と、光ビームが横断する材料の厚みを決定する。分光測定法は、異なる波長において表面からの反射を測定し、同じ光学定数を決定する。分光計の商業的バージョンにおいて、反射光は、256の異なる波長で感知され、そして層の厚み、屈折率及び消衰係数(吸収率)の計算が非常に高い精度で行われる。

40

【0097】

別の方法は、2つの異なる波長で反射度を測定し、酸化層の厚みを計算することである

50

。デバイスに使用される酸化物の屈折率を測定できる場合には、反射度、ひいては、リンク上で吸収されるレーザー放射の割合を計算することができる。この吸収度が分かると、リンクを除去する最適なレーザーエネルギーをレーザーシステムにプログラムすることができる。この第2の方法は、トリミングされるべき材料が薄く且つ若干のエネルギーが膜を透過するような薄膜トリミングに対して非常に正確である。

【0098】

厚み測定及びエネルギー制御は、図13に示すように実施される。リンクを除去するために使用されるレーザー160は、厚み測定用のレーザー波長の1つを発生する。部分に供給されるエネルギーは、図13に示すように、音響-光学変調器(即ち「エネルギー制御器」)161により制御され、その部分にダメージを与えずに反射を測定するレベルに減少される。反射率を測定するための他の波長は、図示されたように光学路に追加された赤レーザーダイオード(即ち670nmダイオード)162によって発生することができる。ビームスプリッタ166、167(例えば、二色性ミラー)を一般的に使用して、2つの波長をデバイス表面に伝送すると共に、反射ビームをホトダイオード検出器164、165に向ける。反射は、図13に示すように、2つのホトダイオード164、165により監視することができる。2つのホトダイオード(即ち、670nmダイオード及び1047nm検出器)の反射強度から、酸化物層の屈折率は既知であるから、酸化物の厚みが独特に決定される。厚み及び屈折率が分かると、リンク材料の吸収を計算することができ、そして最適なエネルギーをコンピュータにより音響-光学エネルギー制御装置にプログラムすることができる。

【0099】

最大の精度を得るために、スポットのサイズ及びリンクの寸法を計算に使用することができる。図4a及び4bを参照すれば、若干のエネルギーがリンクを外れ、それ故、リンクに当たらない反射光の差を計算しなければならないことが明らかである。リンクによってカバーされない反射エネルギーを受け入れるために2つの測定を行わねばならない。これらの測定は、もし必要であれば、各ダイにおいて行うことができ、酸化物の厚みがウェハにわたって変化するときにはパルス当たりのエネルギーを変化させることができる。或いは又、この方法は、例えば、プロセスを監視するためにウェハごとに選択的に適用することができる。この技術は、干渉作用によるリンクの吸収の変化を考慮するために、高い側にあるレーザー処理エネルギーを使用する要件を緩和する。

【0100】

反射率測定及び電力調整 - ケース2：同調又は調整可能な波長

プロセスエネルギーウインドウは、あるケースでは、ターゲットへのエネルギーの結合が改善されるか、スタックの反射が干渉作用により増加されるか、又は基板の反射率が増加するような範囲にわたって波長を調整することにより改善することができる。所与の用途に対して電力及び繰り返し率要件が満足されれば、特殊なソリッドステート同調型レーザー、即ち光パラメトリック発振器(OPO)、ラマン又は他の同調可能なレーザーを使用することができる。例えば、固定波長のもので、同時に2個又は3個の結晶を使用するパラメトリック発振器を使用することができる。ある状況の下では、同調可能なレーザーを動作できる。公告された米国特許出願第2001-0036206号は、テレコミュニケーション産業用に開発された40nmレンジ(即ち1.55μm波長)の同調可能なレーザーダイオードを開示している。標準的なOPOレーザーは、高い電力及び狭いパルスを与えるが、一般に、繰り返し率は非常に低速であり、ある用途には適している。しかしながら、20KHzの繰り返し率に対して、10KHzバージョンが実証及び提案されている。米国特許第6,334,011号及び第5,998,759号(参照文献4)、並びに米国特許第6,340,806号(参照文献6)は、シフタの種々の組合せを開示している。759特許に開示されたように、フォスライト(Fosterite)レーザーは、シリコンの吸収端領域を本質的にまたぐ同調可能な領域を有し、シリコンの吸収端を越えて及びそれより下で動作するのを許す。技術現状では、それらは、あまり効率的であるとは思えない。レーザー分野では、材料及び改良が開発され続けられているので、このようなデバイスを使用し

そしてそれに対応する利益を処理のために得ることは発明の範囲内である。例えば、多層厚み及び反射率の測定は、改良されたエネルギーウインドウを与える波長レンジを選択するように拡張される。

【0101】

基板とリンクとの間に単一層をもつCuリンクへの適用

上記教示は、従来のリンク構造体（図2bを参照）に選択的に適応することもでき、例えば、基板から単一層の誘電体層により分離された高反射率の銅リンクの処理にも適用できることに注意されたい。製造トレンドは、ポリシリコン構造体から離れて、Al及びCuの金属構造体に向っており、これは、信頼性の問題を解消しそして歩留まりを高めるためにリンク処理システムに継続中の課題を課する。上述したように、多数のCuベースデバイス、多層スタックを有し、基板及びスタックのダメージは、上記教示に基づく波長の選択、空間的ビーム整形又は時間的整形で回避することができる。しかしながら、ある製造者は、銅リンクの下の全ての誘電体をエッチングし、そして単一層誘電体上にヒューズを形成し、リンクと基板との間にSiN層をもたない。従来のレーザ処理では、Cu処理に必要とされる高い電力のために基板ダメージのおそれが増大する。

【0102】

あるケースでは、多数のパルスによる処理（ダブル・ブラスト）を使用して、金属ヒューズが処理されている。しかしながら、ダブル・ブラスト解決策では、現在のオンラインメモリ処理システムに2つのパスが必要とされるので、一般的にスルーブットの問題がある。シミュレーション結果及び実験は、第1ブラストと第2ブラストとの間に長い時間がかかるが、第1ブラストが失敗しても、第2ブラストが完全にリンクをオープンすることを示している。特定のケースでは、歩留まりの改善が報告されている。シミュレーション結果に基づき、単一ブラストエネルギーの50%のエネルギーでのダブル・ブラストに非常に関心があり、Si基板は、ヒートシンクとして働いて、非常に迅速に冷却することが観察されている。図16に示すように、Si基板201が室温に安定化するのに10ないし20nsしか必要としないことを結果が示している。銅のターゲット202の回復は、非常に低速であり、顕著な差動熱特性を示している。又、第2パルスは、切断場所で残骸を一掃し、「開路」を生じさせる。「ダブル・ブラスト」の各パルスには、「単一ブラスト」に使用されるエネルギーの約60-70%が必要とされると推定される。パルスエネルギーは、パルスごとに変更されてもよい。この例では、パルス遅延は、50nsであったが、相当に短い遅延も可能であることが明らかである。

【0103】

一実施形態では、図15aの遅延線構成体を使用して、スルーブットにおける遅延を回避することができる。例えば、'118特許（即ち参考文献2）の好ましい位置設定システムでは、微細段速度移動に対して約150mm/秒を仮定する。2つのパルス間が30nsの状態では、リンク位置におけるビーム位置の変化が0.0045µmのみで、無視できる。光学遅延線（例えば、図15b及び15c）では、ビームのための空気中の9メートルの延長経路が、第2パルスに対して30ns遅延する。或いは又、図15aに示すように、トリガーパルス間に30ns又は他の制御可能な遅延を伴うようにして第2レーザを使用することができ、そしてトリガー遅延は、プログラム可能なデジタル遅延線で発生することができる。時間的パルス形状は、例えば、シードレーザダイオードで発生される高速立ち上りの方形パルス（シミュレーションに使用されるような）である。

【0104】

パルスの組合せを発生する多数のオプションを、ここに示す技術に基づいて実施することができる。例えば、少なくとも1つのパルスは、数ピコ秒以上、数ナノ秒までの巾を有する。パルスは、増幅されたモードロックパルスでよい。少なくとも1つのパルスは、パルス巾が5ナノ秒未満のqスイッチマイクロレーザで発生される。少なくとも1つのパルスは、第2の光学路に沿って伝播し、従って、図15b、cに示すように、光学路の長さの差でパルス遅延が決定される。図15aに示すように、多数のレーザ及び/又は増幅器が使用されてもよい。

10

20

30

40

50

【 0 1 0 5 】

図 1 8 に示すように、発生されたパルス 2 7 5 は、繰り返し率及びそれに対応する時間的間隔が所定遅延にほぼ等しいか又はそれより短く（例えば 6 0 M H z モードロックシステム）、そして変調器を使用して、マイクロ構造体を照射する少なくとも第 2 のパルス、又はパルス 2 7 6 のグループを選択する。米国特許第 5 , 9 9 8 , 7 5 9 号（例えば、参照文献 4、カラム 7 及び関連図面）は、変調器を使用して、オンデマンドでリンクにパルスを照射できることを教示している。非常に高速度の繰り返し率では、電気 - 光学変調器が好ましい。

【 0 1 0 6 】

付加的な光学系を使用して、遅延パルスの少なくとも 1 つを、例えば、合成の前に、空間的に整形することができる。例えば、図 1 7 に示すように、第 1 パルス 2 1 0 は、楕円又は円形のガウス空間形状であるか、又はリンクの長さに沿った上部ハットである。第 2 パルス 2 1 2 は、異なるアスペクト比を有するか、又は特殊な形態の「清掃パルス」であって、スポットの中央ゾーンがアポダイゼーションフィルタで減衰されるか、又は中央の不明瞭部分と共に効果的に除去される。このようなケースでは、エネルギーがリンクの周囲に集中され、第 1 パルスでの処理から生じるリンク位置に周りで残骸 2 1 1 を除去し、処理 2 1 3 を完了する。（明瞭化のために、この「オンザフライ」リンク場所清掃ステップは、上述した「測定のための清掃」とは区別されるべきである。）参照文献 1 は、リンクブロー用途のためのビーム整形の少なくとも 1 つの例を与え、ガウススポットプロフィール以外の均一な分布が開示されている。

【 0 1 0 7 】

あるケースでは、マイクロ構造体とレーザビームとの間の相対的移動が、パルスとパルスとの間で顕著であり、例えば、スポットサイズの 2 5 % 以上である。これは、低速の繰り返し率（パルスエネルギーの増加を伴う）、高速の運動速度、長い所定遅延又は減少されたターゲット面積の結果である。例えば、出力エネルギーが数マイクロジュールないしミリジュールの範囲である増幅されたパルスを伴う超短パルス又は他の短パルスレーザシステムは、1 0 0 K H z - 1 0 M H z の繰り返し率を有し、一方、1 0 - 4 0 ナノジュール出力を有するシステムは、5 0 M H z 繰り返し率を有する。前者のケースでは、高速、小角度ビーム偏向器を使用して、運動を補償すると共に、相対的な運動 2 5 8 の間に低速の繰り返し率で第 1 マイクロ構造体を実質的に照射するように遅延パルスを偏向する。

【 0 1 0 8 】

図 1 9 に一般的に示す一実施形態では、偏向器が閉ループ構成において相対的位置設定システムコントローラ 2 5 1 に作動的に接続される。偏向器は、好ましくはソリッドステートで、非常に高速の「リトレース」/アクセス時間を有する単一軸音響 - 光学デバイスである。或いは又、高速電気 - 光学偏向器（例えば、屈折率分布 (gradient index) 反射器又はおそらくデジタル光偏向器）が使用されてもよい。時間 - 帯域巾の積（スポットの数）は、用途に基づき応答時間に対して妥協 (trade) することができる。偏向器は、参照文献 4（カラム 7 及び関連図面）に教示されたように、強度制御及びパルスゲート / 選択に使用されるのが好ましい。或いは又、電気 - 光学変調器が個別の音響 - 光学偏向器と共に使用され、この偏向器が「チャープモード」2 5 2（例えばランダムアクセスモードに対抗して直線的スイープ）で動作され、そして位置設定システムの座標 2 5 4 に基づいて同期（トリガー）（2 5 3）されてもよい。位置設定システムの座標は、次いで、相対的な運動 2 5 8 中に選択されたパルス 2 5 9 に対応する時間 t_1 、 t_2 、 t_3 に同じ単一マイクロ構造体 2 5 6 を照射するように変調器によりレーザパルスがゲート動作されるところの時間に関連付けされる。

【 0 1 0 9 】

更に別の実施形態では、単一のレーザパルスを使用して、一度に 2 つまでのリンク（例えば、0、1 又は 2 つのリンク）がブラストされる。図 2 0 を参照すれば、単一のコリメートされたレーザビーム 3 1 0 を 2 つの発散するコリメートされたビーム 3 0 9 へと空間的に分割することにより 2 つの収束スポット 3 0 6、3 0 7 が 2 つのリンクに形成される

10

20

30

40

50

。材料処理用途においてビームを空間的に分割するための音響 - 光学装置の使用は、公知である。例えば、特許要約書 J P 5 3 1 5 2 6 6 2 は、選択可能な周波数 f_1 、 \dots 、 f_n を有する多周波数偏向器を使用して極微穴を開けるための 1 つの構成を示している。

【 0 1 1 0 】

レーザ 3 0 0 は、所定の繰り返し率でパルス付勢される。レーザビームは、中継光学系 3 0 2 を通り、これは、レーザビームくびれ部の中間像を、音響 - 光学変調器 (A O M) のアパーチャーへと形成する。ブラッグの領域で動作する A O M 3 0 3 を使用して、2 つの若干発散するコリメートされた一次回折レーザビームを制御可能に発生すると共に各ビームのエネルギーを制御するのが好ましい。A O M は、2 つの周波数 f_1 及び f_2 により駆動され、但し、 $f_1 = f_{0+}$ 、 $f_2 = f_{0-}$ 、そして $f = \nu$ の R F 信号周波数 f_0 の小さな割合である。2 つのビーム間の角度は、 f_0 に $2 (\nu / f_0)$ を乗算したのに対してブラッグの角度にほぼ等しい。A O M は、R F 信号における 2 つの周波数成分 f_1 及び f_2 の信号振幅を変調しそしてビームの交差結合に対して調整を行うことにより各レーザビームにおけるエネルギーを制御する。

10

【 0 1 1 1 】

A O M を出た後、ビームは、ビーム回転制御モジュール 3 1 3 を通り、リンクが X 又は Y のいずれかに配向された軸においてビームを 90° 回転させる。一実施形態では、この回転にプリズムが使用されるが、「関連出願のクロスレファレンス」の部分で取り上げた通常の出願に記載されたように、多数の回転技術が公知である。

【 0 1 1 2 】

次いで、ビームは、1 組の光学系に通されて、ビームくびれ部が位置設定されると共に、ビームサイズがズーム光学系及び対物レンズ 3 0 5 に対して適当にセットされる。ズーム光学系は、2 つのビーム間の角度も変更し、それ故、A O M を出る 2 本のビーム間の角度は、焦点面において希望のスポット分離を生じるようにズーム設定に基づいて調整されねばならないことに注意されたい。次いで、レーザビームは、対物レンズ 3 0 5 に入り、一对の収束スポット 3 0 6、3 0 7 が 2 つのリンクに形成される。2 つのスポットは、レンズの焦点距離に 2 本のビーム間の角度を乗算したものにほぼ等しい距離だけ分離される。1 つの実施形態では、スイープレンジが約 2.3 MHz ($77.7 - 82.3 \text{ MHz}$) である 80 MHz の A O M 中心周波数を使用して、約 $3 \mu\text{m}$ 離間された一对の隣接リンクに約 $1.8 \mu\text{m}$ のスポットサイズが形成される。上述したように、これらのリンクは、レーザ波長 (例えば、1 ミクロン) 程度の大きさを有し、これは、非常に高速度の動作において、レーザビーム及びマイクロ構造体の正確な位置設定を必要とする。

20

30

【 0 1 1 3 】

本発明の幾つかの一般的特徴の要約

要約すれば、本発明の 1 つの特徴は、パルスレーザビームで極微ターゲット構造体の選択的材料処理を行う方法にある。ターゲット構造体は、多層スタックを形成する複数の層で基板から分離される。ターゲット構造体、層及び基板は、互いに異なる熱及び光学特性を有する。この方法は、エネルギー密度をもつパルスレーザビームを発生し、ターゲット構造体に少なくとも 1 つのパルスを照射することを含む。スタック構造体及び基板に対する望まぬ変化は、少なくとも 1 つのパルス特性の選択により回避される。

40

【 0 1 1 4 】

スタックの一部は、ターゲット構造体の処理中にレーザビームが照射され、内側層の平面において層、基板及び機能的回路への望まぬダメージが回避される。

スタック構造体の望まぬダメージは、熱ストレスにより誘起される内側誘電体のクラックを含む。スタックの内側層導体への望まぬダメージは、照射により生じる熱的ダメージを含む。基板に対する望まぬダメージは、レーザ照射及びそれにより生じる熱拡散から起こる。

誘電体層は、窒化シリコン又は二酸化シリコンを含む。基板は、シリコンである。

【 0 1 1 5 】

ターゲット構造体は、銅であるのが好ましく、その厚み又は巾は、1 ミクロン未満であ

50

り、そしてその寸法は、可視光線の波長又はそれ以下である。或いは又、ターゲット構造体は、金属リンク、例えば、アルミニウム、チタン、白金又は金であってもよい。

本発明の特徴は、パルスの空間的及び時間的ビーム特性を選択又は制御して、内側層の平面において層、基板及び機能的回路への望ましからぬダメージを回避しながら、ターゲット構造体をきれいに処理できるようにすることである。

【0116】

パルスの時間的特性は、パルス形状である。パルス形状は、レーザエネルギーをターゲットに効率的に結合するに十分なほど速い立ち上り時間と、ターゲット構造体の一部分をきれいに除去するに十分な巾と、その後の光学的伝達により生じる望ましからぬダメージを回避するに十分なほど速い立ち下り時間とを含む。リンク処理のための好ましいパルス立ち上り時間は、1ナノ秒(ns)未満から約2nsまでである。好ましい巾は、10ns未満である。立ち下り時間は、3ns未満であるのが好ましい。パルス形状は、実質的に方形であり、立ち上り縁と立ち下り縁との間のリングング又は変動は、約±10%である。急速なバーストの形態の単一パルス又は多数のパルスを使用することもできる。或いは又、時間的に離間されて、必要に応じて出力電力が変化する一連のqスイッチパルスを合成して、高いピーク電力をもつ高速の先縁を有するパルス形状と、それに続いて低い電力をもつ第2パルスを形成することができる。本発明の更に別の実施形態では、qスイッチパルスは、ほぼ同じ出力電力を有し、実質的に方形のパルス形状を形成するように合成される。

10

【0117】

別の時間的パルス特性は、先縁のパルス電力である。ターゲット構造体の照射が 10^9 W/cm²より大きい場合には、ターゲット構造体の反射率が減少され、レーザエネルギーの結合が改善される。

20

高速立ち上りのパルス特性は、金属ターゲット構造を有するメモリデバイスの誘電体スタックの望ましからぬダメージを回避する。パルス巾の間に上部コーナーにクラックが生じ、その下のスタック層に隣接する下部コーナーのストレスを下げる。

【0118】

ビームの空間的特性は、制御されるビームくびれ位置における照射度プロファイルである。この照射度プロファイルは、円形ガウスビーム、楕円ガウスビーム、ある方向の長方形プロファイル、及び直交方向のガウスを近似する。ビームは、ほぼ回折制限される。空間的形状及びビーム開口数は、パルスレーザビームと3Dデバイス構造のターゲット及びその下の構造体との相互作用を制御して望ましからぬダメージを回避するように選択される。材料の相互作用は、パルスレーザビームのビームくびれ部を正確に位置設定することにより更に制御される。開口数及びビーム形状は、スポットサイズ及びリンクサイズが少なくとも1つの次元において実質的に一致するように選択される。

30

【0119】

本発明の1つの特徴は、三次元デバイス構造体の一部分内のパルス相互作用のモデルに基づいてパルス特性を選択する方法にある。三次元デバイスは、異なる光学的特性を伴うターゲット構造体、スタック及び基板を含む。一連の構造体が所定の間隔で配置されて、アレーを形成し、少なくとも1つの構造体は、ターゲット構造体として指定されない。仕様は、更に、材料に関する情報と、スタックの平面における機能的回路素子の間隔とを含む。この方法は、ターゲット構造体により吸収されない入射パルスレーザビームの一部分の光学的伝播特性を決定することも含む。更に、この方法は、非ターゲット構造体、スタック及び基板への望ましからぬダメージを回避するようにレーザパルス特性を指定することも含む。

40

【0120】

パルス特性の選択を生じる相互作用メカニズムは、ターゲット表面からの反射、層表面及び内部反射、偏光、干渉作用、近フィールド回折、散乱及び吸収、又はその組合せを含む。熱モデルが光学モデルと共に使用される。

半導体メモリデバイスの銅リンクターゲット構造体を処理するのに使用されるパルスの

50

エネルギーは、約 0.1 - 5 マイクロジュールの範囲内である。エネルギー密度は、ビームくびれの照射度プロフィールの面積に対応する。この面積は、20 平方ミクロン未満の範囲であり、好ましくは、10 平方ミクロン未満である。

別の制御可能なレーザーパルス特性は偏光である。偏光は、層の相対的な反射、及びある波長におけるターゲット構造体へのレーザーエネルギーの光学的結合に基づいて制御され又は選択される。

【0121】

レーザーパルスの波長は、多層スタックの反射度（干渉作用）に基づいて選択される。好ましい波長は、スタックの反射度が相当大きくて例えば 60% であり、そしてスタックのある層内の内部透過が高くて最大値に近いようなスペクトル領域に対応する。ビームの空間的特性（例えば、達成可能な最小ビームくびれで、より大きなビームくびれ及び焦点の深度を制御可能に選択するオプションを伴う）を最大に制御するには、短い波長が好ましい。レーザー波長は、固定であってもよいし、波長シフト及び高調波発生に伴い変化してもよい。厚み又は反射殿測定値を用いて、波長を選択又は調整することができる。

【0122】

少なくとも 1 つの実施形態では、ターゲット構造体は、レーザー波長において実質的に反射性である。レーザー波長は、基板の吸収端より下であり、吸収又は反射領域に対応する。レーザー波長は、スタックの誘電体層の吸収端より上であり、実質的に最大の透過領域に対応する。

選択された波長は、近 UV、可視及び近 IR スペクトルに対応し、0.4 μm 以下から約 1.55 μm までである。その下限は、層の吸収度により決定される。シリコン基板では、吸収及び反射は、短い波長において増加する。二酸化シリコン及び窒化シリコンの場合には、可視及び近 IR レンジ全体にわたり内部透過及び単一表面反射が実質的に一定である。その上限は、レーザーダイオード、光学増幅器の好ましいレーザー波長のレンジに対応する。増幅器の出力は、波長保持されてもよいしラマンシフトされてもよい。

【0123】

本発明の別の特徴は、パルスレーザービームで多材料多層デバイスの極微ターゲット構造体を選択的材料処理するための方法にある。ターゲット構造体、層及び基板は、異なる熱及び光学特性を有する。ビームは、中心線と共に収束ビームくびれ部を有する。デバイスに関連した複数の所定の測定位置の 1 つには整列パターンが含まれる。この整列パターンは、少なくとも 1 つの層でカバーされる。ターゲット構造体は、多層スタックを形成する複数の層により基板から分離される。この方法は、少なくとも 1 つの次元において整列ターゲットの位置を測定し、その測定値に基づいてターゲット構造体及び中心線の相対的な位置を予想し、上記測定値に基づいてターゲット構造体と中心線との間に相対的な移動を誘起し、エネルギー密度をもつパルスレーザービームを発生し、少なくとも 1 つのパルスをターゲット構造体に照射することを含む。スタック構造体及び基板への望ましからぬ変化がパルス特性の選択により回避される。

【0124】

位置の測定は、反射信号の変化により生じるスプリアスな測定を回避するために偏光不感検出方法及びシステムを含む。信号の変化は、複屈折を含むプロセス誘起光学特性から生じる。

ターゲット構造体、ビームくびれ部及び中心線の相対的な位置は、多パラメータ最小 2 乗適合に基づいて予想される。

清掃プロセスは、乗算的变化（反射ノイズ）を発生する汚染を除去することにより測定に使用されるデータを向上させるのに使用される。

【0125】

三次元（奥行き）測定は、整列ターゲット、ウェハ又は他の適当な材料を使用して行われる。この測定は、ビームくびれ部に対するターゲット構造体の相対的な位置を予想するのに使用され、ビームくびれ部は、パルスレーザービームの中心線に沿って配置される。三次元測定から表面が推定される。スタックの厚みに基づき、測定位置とターゲット構造体

10

20

30

40

50

との間の奥行きを差を補償するために、数値オフセットが導入される。

【0126】

本発明の特徴は、ある位置における層厚み又は反射率の測定と、その測定値を使用してパルス特性を制御することを含む。パルス特性は、パルスエネルギー、パルス巾又は波長である。位置は、デバイス上の単一の位置又は複数の位置である。

本発明を実施する最良の態様を詳細に説明したが、本発明に係る技術に精通した者であれば、特許請求の範囲に規定された本発明の範囲内で種々の変更や修正がなされ得ることが明らかであろう。

【図面の簡単な説明】

【0127】

【図1a】制御システムから得られるトリガー信号にตอบสนองしてレーザパルスを発生するレーザシステムのブロック図で、レーザパルスは、速い立ち上り及び立ち下り時間を含む時間的形狀を有すると共に、本発明の材料処理用途のために選択された巾を有するところを示す図である。

【図1b】所定の時間的及び空間的特性をもつレーザパルスが照射される多層多材料デバイスの部分破断図で、アスペクト比が1でない高い開口数のレーザビームが、スタックを形成する複数の層を有するターゲット構造体に入射する長方形断面のターゲット構造体を示すデバイスの一部分の第1側面断面図である。

【図1c】所定の時間的及び空間的特性をもつレーザパルスが照射される多層多材料デバイスの部分破断図で、アスペクト比が1でない高い開口数のレーザビームがターゲット構造体に入射する長方形のターゲット構造体を示す、第1側面に直交するデバイスの一部分の第2側面断面図である。

【図2a】従来のqスイッチ又はガウスのパルスを示す公知レーザシステムのブロック図である。

【図2b】リンクと基板との間に単一の酸化物層しかもたず、ひいては、基板の近くに配置された従来の多層構造体を示す図で、従来のqスイッチレーザパルスが狭い寸法のターゲット構造体を照射し実質的に過剰充填するところを示す図である。

【図3】本発明の方法及びシステムで処理されるデバイスを表わす28枚の層を14対で有する多層スタックに対しその反射を波長の関数として示すグラフである。

【図4a】ターゲット構造体に対し寸法の変化するレーザビームプロファイルでターゲット構造体を照射する作用を示す上面図及び関連グラフで、ターゲット構造体により包囲されるエネルギーが強力に影響され、ターゲットの縁のエネルギーが変化し、そしてターゲット構造体により吸収されないエネルギーから潜在的な漂遊放射作用が生じるように、代表的な非均一ガウス形状レーザ空間プロファイルを裁断した結果を示す図である。

【図4b】ターゲット構造体に対し寸法の変化するレーザビームプロファイルでターゲット構造体を照射する作用を示す上面図及び関連グラフで、ターゲット構造体により包囲されるエネルギーが強力に影響され、ターゲットの縁のエネルギーが変化し、そしてターゲット構造体により吸収されないエネルギーから潜在的な漂遊放射作用が生じるように、代表的な非均一ガウス形状レーザ空間プロファイルを裁断した結果を示す図である。

【図4c】層の上に形成された複数のマイクロ構造体の側面図で、間隔(ピッチ)を減少するために、反射間及び漂遊エネルギーが隣接ターゲット構造体の照射を生じるところを示す図である。

【図5a】ビームの焦点の位置及び深度で、他の材料に望ましからぬ変化を生じることなくターゲット構造体が処理されるように、開口数の高いビームの正確な位置制御(上面における)により深度の関数としてデバイスにおける照射を減少するところを示すグラフで、銅メモリプロセスに使用される代表的な多層スタックの場合に、種々の球形及び楕円形ガウス照射分布に対するスポットエリアの増加を示す図である。

【図5b】ビームの焦点の位置及び深度で、他の材料に望ましからぬ変化を生じることなくターゲット構造体が処理されるように、開口数の高いビームの正確な位置制御(上面における)により深度の関数としてデバイスにおける照射を減少するところを示すグラフで

10

20

30

40

50

、ターゲット位置におけるエネルギー密度（変量）に対する焦点ずれ関数を正規化するグラフである。

【図 6 a】ウェハ基板に形成された層のスタックの概略図で、特定のビーム開口数をもつ内部層及び隣接リンクに当たる放射のレベルを推定するのに使用される線トレースシミュレーションで得られた結果を例示する図である。

【図 6 b】ウェハ基板に形成された層のスタックの概略図で、特定のビーム開口数をもつ内部層及び隣接リンクに当たる放射のレベルを推定するのに使用される線トレースシミュレーションで得られた結果を例示する図である。

【図 7 a】検出器から得られた像を示す図で、表面、基板、及びスタック除去状態におけるシミュレーションされた放射パターンを、5桁にわたる連続スケールで示す図である。

10

【図 7 b】検出器から得られた像を示す図で、表面、基板、及びスタック除去状態におけるシミュレーションされた放射パターンを、5桁にわたる連続スケールで示す図である。

【図 8】検出器から得られた像を示す図で、表面、基板、及びスタック除去状態におけるシミュレーションされた放射パターンを、5桁にわたる連続スケールで示す図である。

【図 9】検出器から得られた像を示す図で、表面、基板、及びスタック除去状態におけるシミュレーションされた放射パターンを、5桁にわたる連続スケールで示す図である。

【図 10】フィデューシャル又は他の整列ターゲットを測定するためのシステムの概略図である。

【図 11】反射率対外側層厚みのグラフである。

【図 12】2つの異なるレーザビーム波長について反射率対外側酸化物層厚みを示す一対のグラフである。

20

【図 13】厚み測定値に基づいてパルスエネルギーを自動的に制御するシステムの回路図である。

【図 14 a】整列測定中の信号忠実度に対する残骸の作用を示す概略図及びグラフである。

【図 14 b】パルスレーザビームで清掃した後の改良された信号忠実度を示す同様の図及びグラフである。

【図 15 a】レーザパルスを合成するか、或いは光学的又は電子的遅延方法を使用して一連の至近離間されたパルスを発生するための構成体を示す図で、遅延トリガー式の多数のレーザの使用を示す図である。

30

【図 15 b】レーザパルスを合成するか、或いは光学的又は電子的遅延方法を使用して一連の至近離間されたパルスを発生するための構成体を示す図で、単一レーザ及び光学的遅延経路をもつ基本的構成を示す図である。

【図 15 c】レーザパルスを合成するか、或いは光学的又は電子的遅延方法を使用して一連の至近離間されたパルスを発生するための構成体を示す図で、ポインティング安定性及び簡単な整列を与える更に別のモジュラー光学遅延線を示す図である。

【図 16】一対の遅延パルスをメタルリンクに照射し（上部）及び基板に照射した（下部）場合のシミュレーション結果を示す温度対時間のグラフで、基板の温度が急速に減衰して材料の差動熱特性を示し、2つのレーザパルス各々が方形の時間的形狀を有するところを示すグラフである。

40

【図 17】メタルリンクの一連の概略図で、（1）第1パルスがメタルリンクを照射し、（2）リンクを除去した後に残骸が残され、（3）中央ゾーンが減衰された空間的パルス形状を伴う第2パルスが使用され、この第2パルスは、第1パルスよりピークエネルギー密度が低く、そして（4）第1パルスがスタートした25 ns後に残骸が除去されるという多パルスシーケンスを示す図である。

【図 18】パルスを発生しそしてパルスを制御可能に選択するシステムのブロック図である。

【図 19】高い繰り返し率のパルス列（例えば、1 μ Hz）の一部が選択され、そしてマイクロ構造体の位置と同期された高速ビーム偏向器（例えば、電気 - 光学又は音響 - 光学装置）を使用して、相対的な移動中に多数のパルスで単一のマイクロ構造体を処理する

50

ような本発明のシステムを示すブロック図である。

【図20】ビーム偏向器を使用して、単一パルスを空間的に分割し、相対的な移動中に一对のパルスで1つ又は2つのマイクロ構造体を照射する(又はいずれも照射しない)本発明の別のシステムを示すブロック図である。

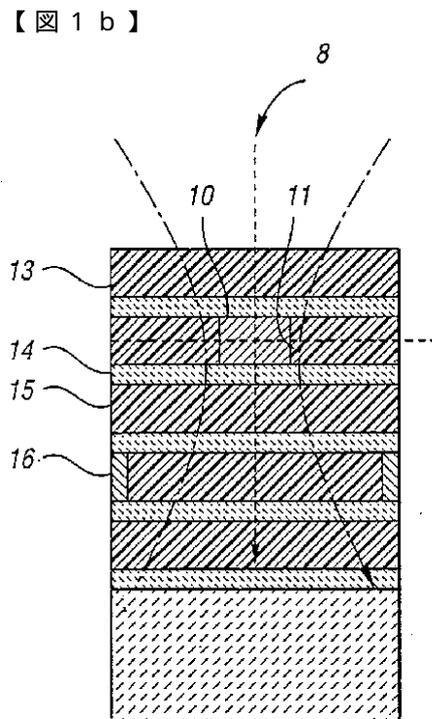
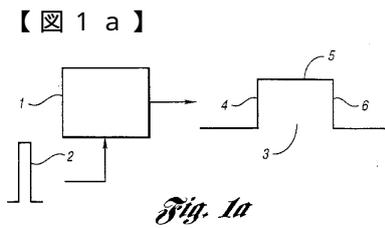


Fig. 1b

【図 1 c】

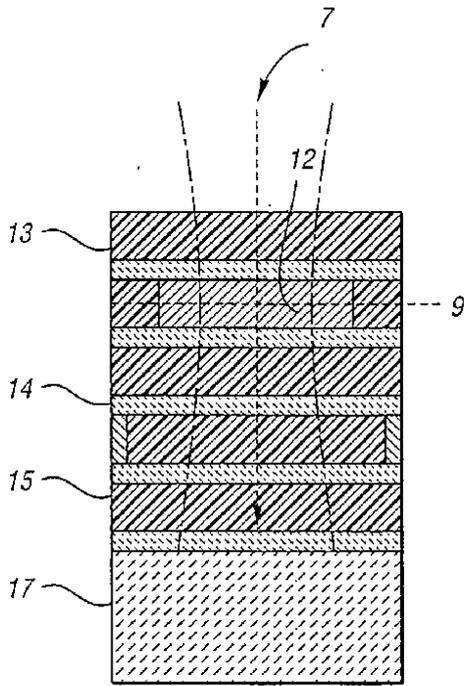


Fig. 1c

【図 2 a】

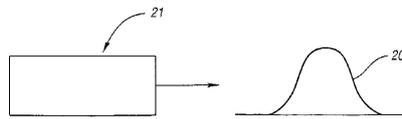


Fig. 2a (PRIOR ART)

【図 2 b】

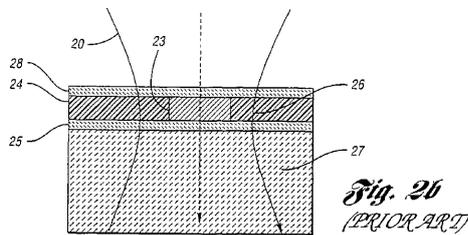


Fig. 2b (PRIOR ART)

【図 3】

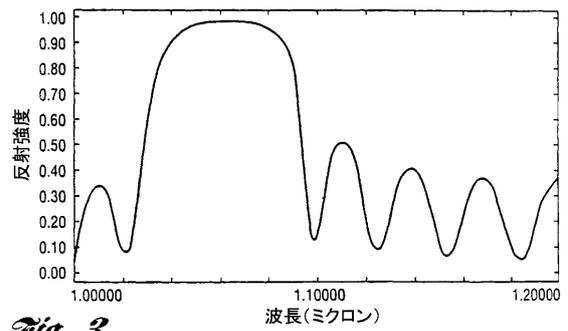


Fig. 3

【図 4 a】

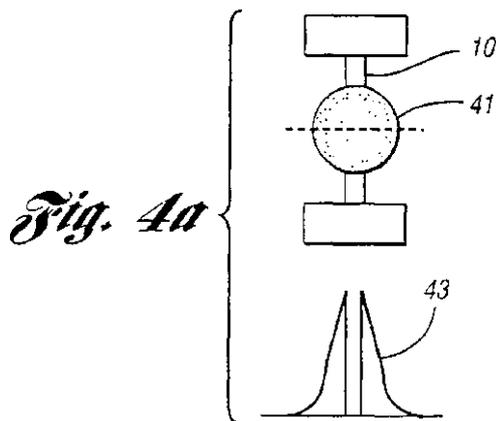


Fig. 4a

【図 4 c】

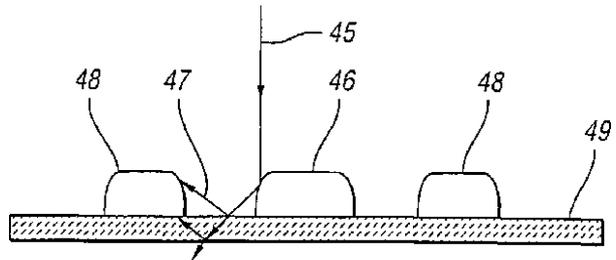


Fig. 4c

【図 4 b】

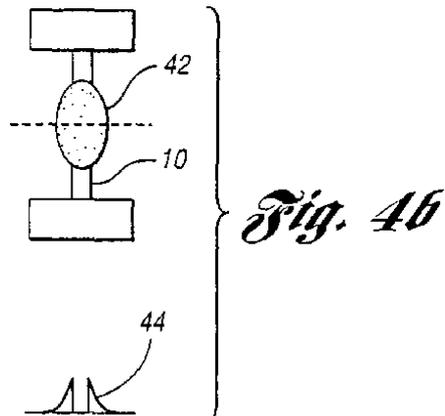


Fig. 4b

【図 5 a】

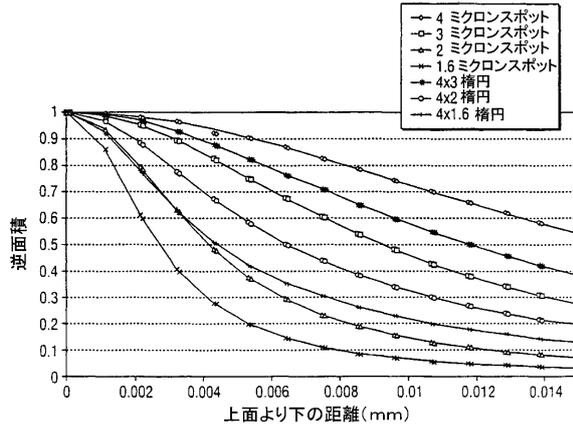
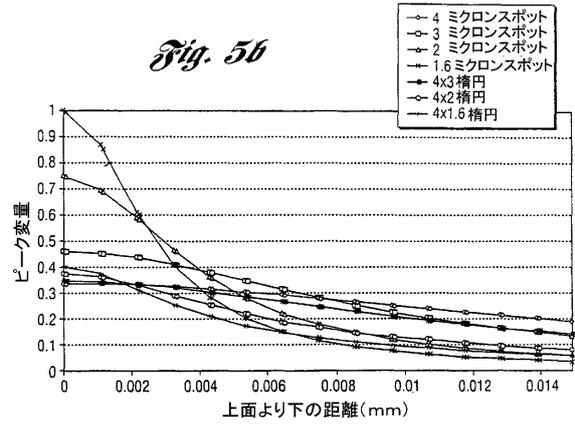


Fig. 5a

【図 5 b】



【図 6 a】

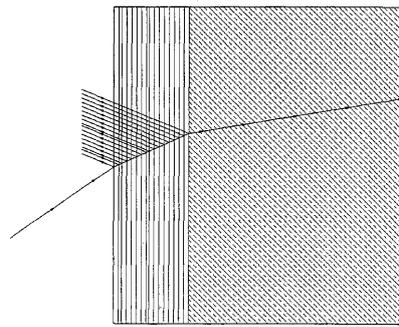


Fig. 6a

【図 6 b】

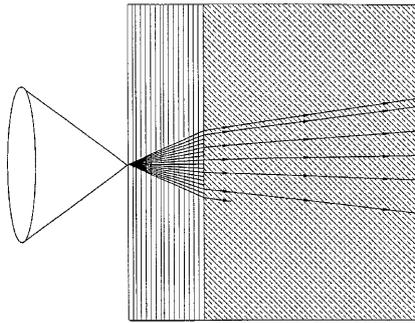


Fig. 6b

【図 7 b】

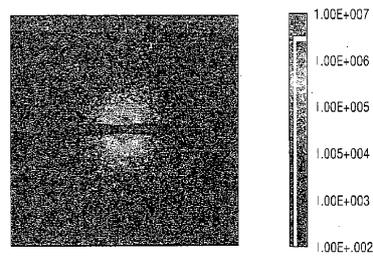


Fig. 7b

【図 7 a】

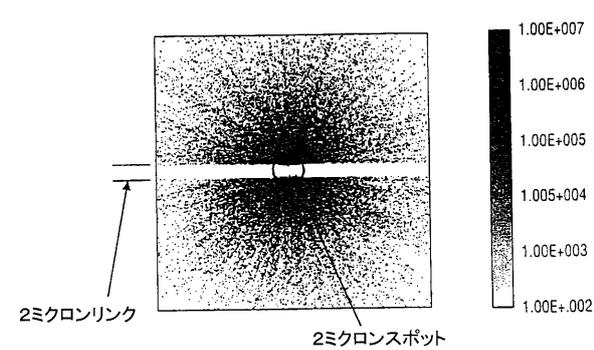


Fig. 7a

【図 8】

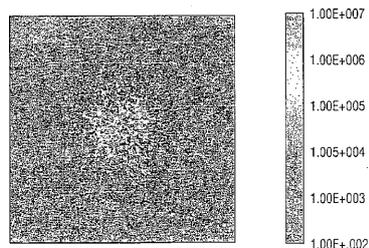


Fig. 8

【図9】

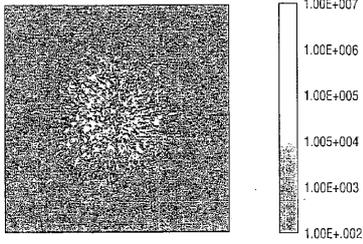


Fig. 9

【図10】

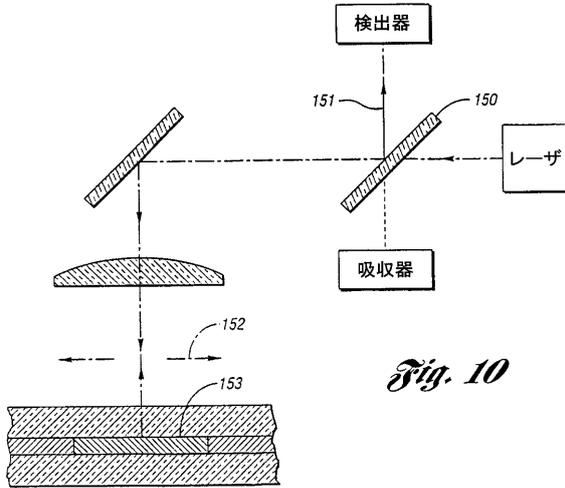


Fig. 10

【図11】

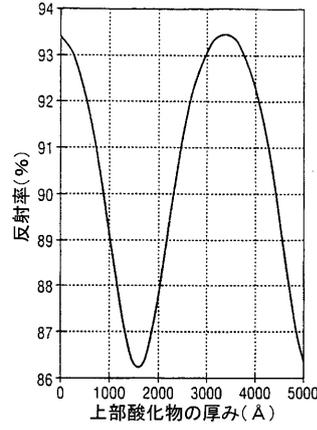


Fig. 11

【図12】

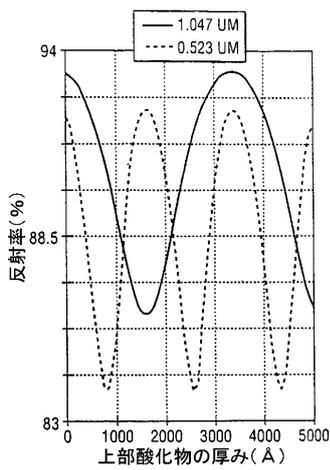


Fig. 12

【図13】

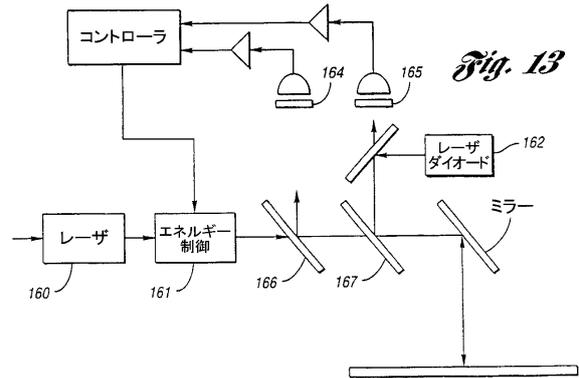


Fig. 13

【図14a】

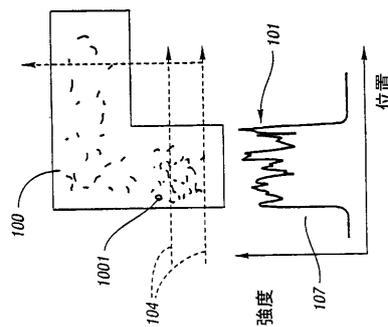


Fig. 14a

【図 14b】

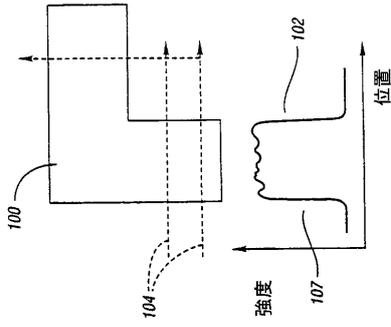


Fig. 14b

【図 15a】

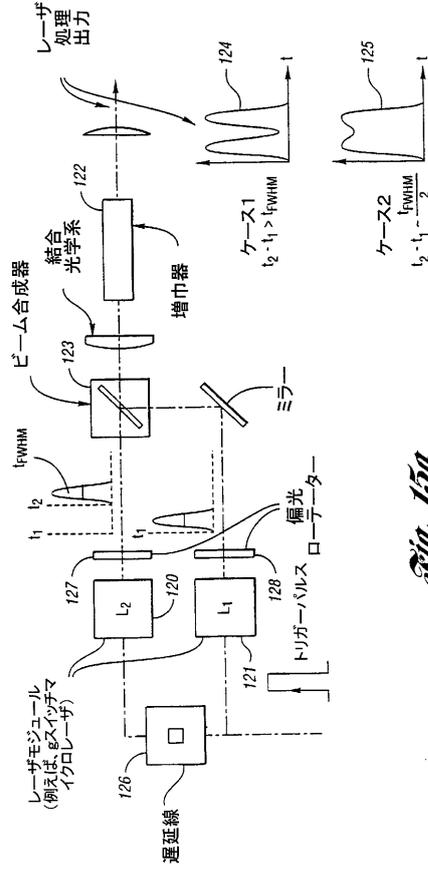


Fig. 15a

【図 15b】

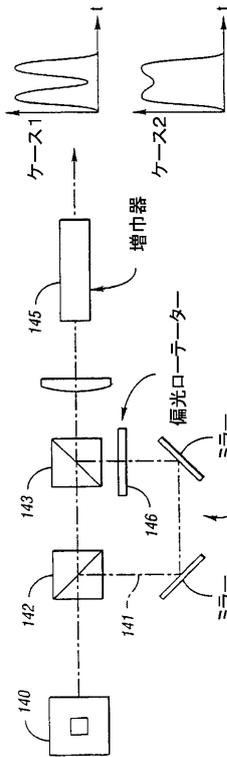


Fig. 15b

【図 15c】

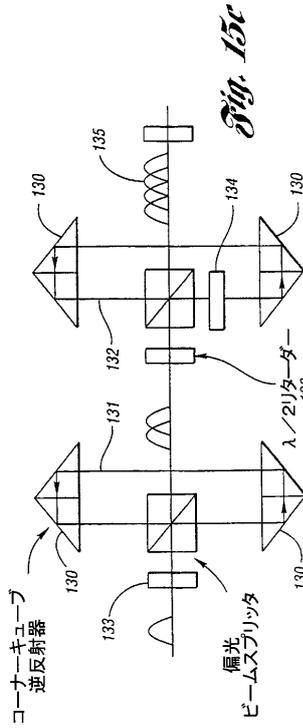


Fig. 15c

【図16】

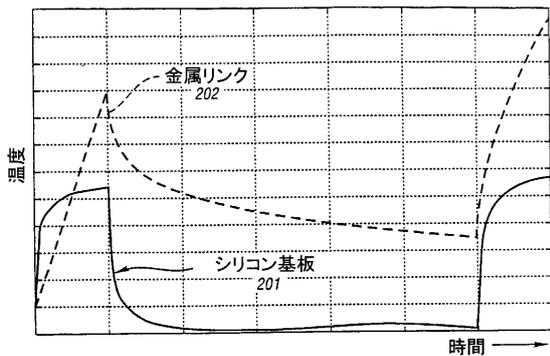


Fig. 16

【図18】

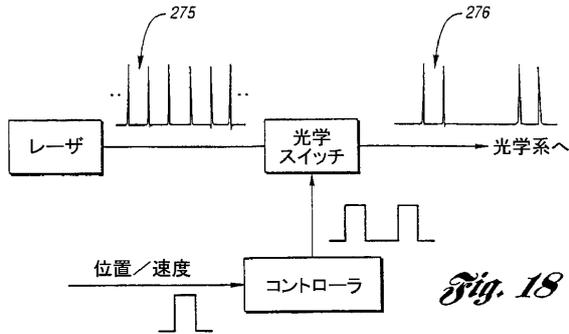


Fig. 18

【図17】

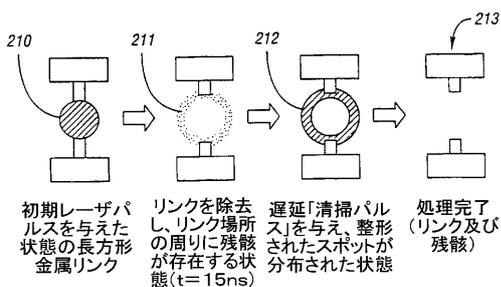


Fig. 17

【図19】

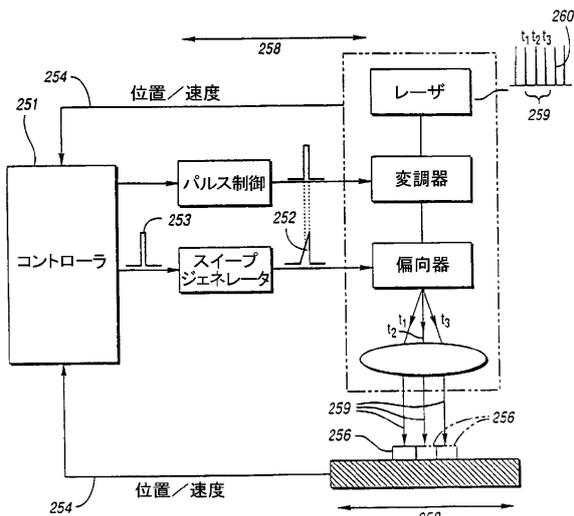


Fig. 19

【図20】

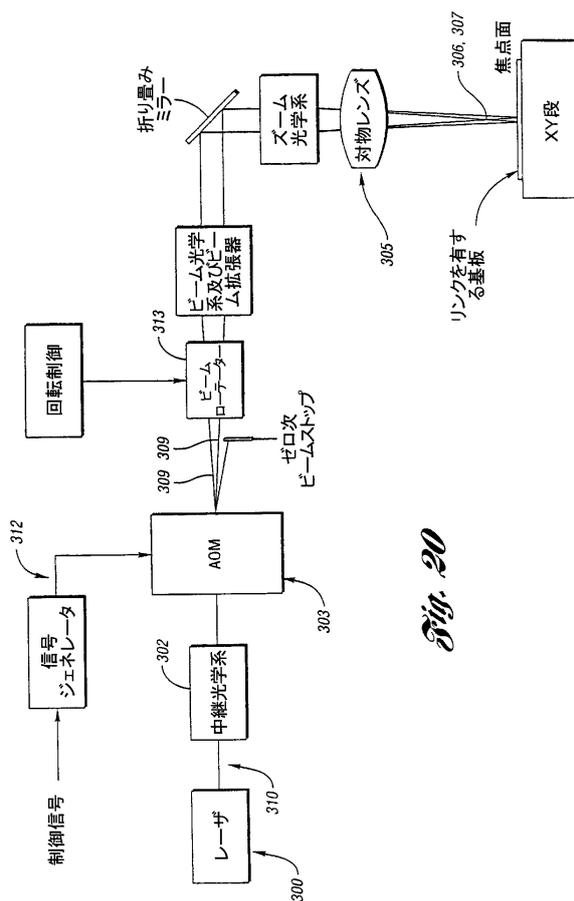


Fig. 20

フロントページの続き

- (51)Int.Cl. F I
 B 2 3 K 101/40 (2006.01) H 0 1 L 21/304 6 4 5 D
 B 2 3 K 101:40
- (74)代理人 100074228
 弁理士 今城 俊夫
- (74)代理人 100084009
 弁理士 小川 信夫
- (74)代理人 100082821
 弁理士 村社 厚夫
- (74)代理人 100086771
 弁理士 西島 孝喜
- (74)代理人 100084663
 弁理士 箱田 篤
- (72)発明者 エアマン ジョナサン エス
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 0 1 7 7 6 サドバリー ライト ロード 3 7
- (72)発明者 コーディングリー ジェイムス ジェイ
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 0 1 4 6 0 リトルトン シュガーローフ レーン 5
- (72)発明者 スマート ドナルド ヴィー
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 0 2 1 1 0 ボストン ルイス ワーフ 5 2 4
- (72)発明者 スヴェトコフ ドナルド ジェイ
 アメリカ合衆国 ミシガン州 4 8 1 0 3 アン アーバー ハロン コート 3 6 3 0
- (72)発明者 リー ジューハン
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 0 1 8 1 0 アンドーヴァー ブルフィンチ ドライブ
 7 0 0 アpartment 6 1 3
- (72)発明者 ジョンソン シェファード ダン
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 0 1 8 1 0 アンドーヴァー リンカーン サークル イ
 ースト 3 3
- (72)発明者 グリフィスス ジョセフ ジェイ
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 0 2 1 5 2 ウィンスロップ オーランド アヴェニュー
 5 2
- (72)発明者 フィルガス デイヴィッド エム
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 1 3 2 0 ニューバリー パーク クレア コート 3 8
 2 3
- (72)発明者 ダウド ロジャー
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 0 1 7 6 0 ナティック フランコニア アヴェニュー
 2 0

審査官 大嶋 洋一

- (56)参考文献 特開2001-036171(JP,A)
 特開平11-197863(JP,A)
 特開平09-036239(JP,A)
 特開平06-053596(JP,A)
 特開平05-326716(JP,A)
 特開平05-235169(JP,A)
 特開平05-023880(JP,A)
 特開平04-023453(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01L 21/82

B23K 26/00

B23K 26/02

G11C 29/04

H01L 21/304

B23K 101/40