

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4340745号
(P4340745)

(45) 発行日 平成21年10月7日(2009.10.7)

(24) 登録日 平成21年7月17日(2009.7.17)

(51) Int.Cl.

F I

B 2 3 K 26/08 (2006.01)

B 2 3 K 26/08

B

B 2 3 K 26/00 (2006.01)

B 2 3 K 26/00

C

B 2 3 K 26/06 (2006.01)

B 2 3 K 26/06

Z

G O 2 B 26/10 (2006.01)

G O 2 B 26/10

C

B 2 3 K 101/42 (2006.01)

B 2 3 K 101:42

請求項の数 16 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2003-559716 (P2003-559716)
 (86) (22) 出願日 平成15年1月10日(2003.1.10)
 (65) 公表番号 特表2005-532908 (P2005-532908A)
 (43) 公表日 平成17年11月4日(2005.11.4)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2003/000686
 (87) 国際公開番号 W02003/059568
 (87) 国際公開日 平成15年7月24日(2003.7.24)
 審査請求日 平成17年6月15日(2005.6.15)
 (31) 優先権主張番号 60/348,613
 (32) 優先日 平成14年1月11日(2002.1.11)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 593141632
 エレクトロ サイエнтиフィック イン
 ダストリーズ インコーポレーテッド
 アメリカ合衆国 97229 オレゴン州
 ポートランド エヌ ダブリュ サイエ
 ンス パーク ドライブ 13900
 (74) 代理人 100072051
 弁理士 杉村 興作
 (74) 代理人 100100125
 弁理士 高見 和明
 (74) 代理人 100101096
 弁理士 徳永 博
 (74) 代理人 100107227
 弁理士 藤谷 史朗

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザースポットを拡大するワークピースのレーザー加工方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーザー出力パルスでワークピース上に有効切り口をレーザー加工する方法であって、各レーザーパルスがワークピース上に有効切り口幅よりも小さいレーザースポット直径を有するレーザー加工方法において、該加工方法は、

一次的ビーム位置決めシステムから、ワークピースに対するレーザースポット位置の一次的相対移動を、制限された第1の速度及び加速度で与え、前記一次的ビーム位置決めシステムは、レーザー装置からワークピース上のレーザースポット位置にビーム位置決め経路を提供し、前記一次的相対移動は、一次的加工進路を定め、更に該加工方法は、

ビーム位置決め経路内に配置された二次的ビーム位置決めシステムから、ワークピースに対するレーザースポット位置の二次的相対移動を、第1の速度及び加速度よりも大きい第2の速度及び加速度で与え、該第2の速度及び加速度は速度が1, 000mm/secより大きく、加速度が1, 000×9.8m/sec²より大きいものであり、前記二次的相対移動は、一次的相対移動に重ねられるとともに、一次的加工進路に対して直角方向に規定されるパターン寸法がレーザースポット直径の15倍以下であるパターンを含み、一次的及び二次的相対移動は協働して、パターン寸法とスポット直径との和に相当する、一次的加工進路に沿った有効切り口幅をもたらすことを特徴とする加工方法。

【請求項 2】

レーザー出力パルスでワークピース上に有効切り口をレーザー加工する方法であって、各レーザーパルスがワークピース上に有効切り口幅よりも小さいレーザースポット直径

10

20

を有するレーザー加工方法において、該加工方法は、

一次的ビーム位置決めシステムから、ワークピースに対するレーザースポット位置の一次的相対移動を、制限された第1の速度及び加速度で与え、前記一次的ビーム位置決めシステムは、レーザー装置からワークピース上のレーザースポット位置にビーム位置決め経路を提供し、前記一次的相対移動は、一次的加工進路を定め、更に該加工方法は、

ビーム位置決め経路内に配置され5 kHzより大きい広信号帯域と、8 kHzより大きい狭信号帯域幅を有する二次的ビーム位置決めシステムから、ワークピースに対するレーザースポット位置の二次的相対移動を、第1の速度及び加速度よりも大きい第2の速度及び加速度で与え、前記二次的相対移動は、一次的相対移動に重ねられるとともに、一次的加工進路に対して直角方向に規定されるパターン寸法がレーザースポット直径の1.5倍以下であるパターンを含み、一次的及び二次的相対移動は協働して、パターン寸法とスポット直径との和に相当する、一次的加工進路に沿った有効切り口幅をもたらすことを特徴とする加工方法。

10

【請求項3】

レーザー出力パルスでワークピース上に有効切り口をレーザー加工する方法であって、各レーザーパルスがワークピース上に有効切り口幅よりも小さいレーザースポット直径を有するレーザー加工方法において、該加工方法は、

一次的ビーム位置決めシステムから、ワークピースに対するレーザースポット位置の一次的相対移動を、制限された第1の速度及び加速度で与え、前記一次的ビーム位置決めシステムは、レーザー装置からワークピース上のレーザースポット位置にビーム位置決め経路を提供し、前記一次的相対移動は、一次的加工進路を定め、更に該加工方法は、

20

ビーム位置決め経路内に配置され鉛マグネシウムニオブイト作動ミラー又は圧電作動ミラーを含む高速ステアリングミラーを有する二次的ビーム位置決めシステムから、ワークピースに対するレーザースポット位置の二次的相対移動を、第1の速度及び加速度よりも大きい第2の速度及び加速度で与え、前記二次的相対移動は、一次的相対移動に重ねられるとともに、一次的加工進路に対して直角方向に規定されるパターン寸法がレーザースポット直径の1.5倍以下であるパターンを含み、一次的及び二次的相対移動は協働して、パターン寸法とスポット直径との和に相当する、一次的加工進路に沿った有効切り口幅をもたらすことを特徴とする加工方法。

【請求項4】

30

レーザー出力パルスでワークピース上に有効切り口をレーザー加工する方法であって、各レーザーパルスがワークピース上に有効切り口幅よりも小さいレーザースポット直径を有するレーザー加工方法において、該加工方法は、

並進ステージ位置決めシステムから、ワークピースに対するレーザースポット位置の、ステージ関連の相対的移動を、制限された並進ステージの速度及び加速度で与え、

高速位置決めシステムから、ワークピースに対するレーザースポット位置の高速相対的移動を、制限された高速の速度及び加速度で与え、前記高速位置決めシステムは並進ステージ位置決めシステムより高い加速度性能を有し、更に該加工方法は、

制限された第1の速度及び加速度でワークピースに対するレーザースポット位置の一次的相対的移動を与えるために、並進ステージ位置決めシステムと高速位置決めシステムとを統合することを含み、一次的ビーム位置決めシステムはビーム位置決め経路をレーザー装置からワークピース上のレーザースポット位置へ提供し、一次的相対的移動は一次的加工進路を定め、そして更に該加工方法は、

40

ビーム位置決め経路内に配置された高速ステアリングミラーから、ワークピースに対するレーザースポット位置の二次的相対的移動を、第1の速度及び加速度よりも大きい第2の速度及び加速度で与え、二次的相対的移動は一次的相対的移動上に重ねられているが、一次的相対的移動とは統合されておらず、かつ一次的加工進路に対して直角方向に規定されるパターン寸法がレーザースポット直径の1.5倍以下であるパターンを含み、一次的及び二次的相対移動は協働して、パターン寸法とスポット直径との和に相当する、一次的加工進路に沿った有効切り口幅をもたらすことを特徴とする加工方法。

50

【請求項 5】

前記パターン寸法は、レーザースポット直径の10倍以下である、請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 6】

前記二次的ビーム位置決めシステムは、5 kHzより大きい広信号帯域と、8 kHzより大きい狭信号帯域幅を有する、請求項 1、3 又は 4 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 7】

前記二次的ビーム位置決めシステムは、高速ステアリングミラーを有する、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 8】

前記高速ステアリングミラーは、鉛マグネシウムニオブイト作動ミラー又は圧電作動ミラーを含む、請求項 4 又は 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記高速位置決め器は、少なくとも1つのガルバノメータ駆動ミラーを含む、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 10】

前記高速位置決め器は、並進ステージ上に取り付けられていることを特徴とする請求項 4 に記載の方法。

【請求項 11】

前記レーザ出力パルスでバイア穿孔加工を行う、請求項 1 ~ 10 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 12】

前記レーザ出力パルスでレーザトリミング加工を行う、請求項 1 ~ 10 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 13】

前記有効切り口幅は、前記スポット直径と前記パターン寸法との和に等しい、請求項 1 ~ 12 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 14】

前記第2の速度及び加速度は、速度が $1,000 \text{ mm/sec}$ より大きく、加速度が $1,000 \times 9.8 \text{ m/sec}^2$ より大きい、請求項 2 ~ 13 に記載の方法。

【請求項 15】

前記第2の速度及び加速度は、速度が $1,000 \sim 4,000 \text{ mm/sec}$ の範囲にあり、加速度が $1,000 \sim 30,000 \times 9.8 \text{ m/sec}^2$ の範囲にある、請求項 1 ~ 14 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 16】

請求項 1 ~ 15 の何れか一項に記載の方法を用いたシステムであって、
レーザ出力パルスをもたらすレーザ装置と、
ワークピースを移動させる並進ステージ位置決めシステムと、
レーザ出力パルスを受けるとともにビーム位置決め経路をワークピースに対して移動させる高速位置決めシステムと、
ビーム位置決め経路内であって、高速位置決めシステムの上流側に配置された二次的ビーム位置決めシステムと、を具えることを特徴とするシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明はレーザ微小加工、特に基板上の集束したスポットの寸法より大きいターゲット区域を除去するために基板上の所望のパターン内に集束したスポット寸法を有するレーザースポットを動かすために高速ステアリングミラーを利用した方法と装置に関するものである。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

ここで背景技術のほんの一例として、電子回路パッケージ産業で最もよく使用されつつある部品である、集積回路チップパッケージ、マルチチップモジュール（MCMs）及び高密度の相互接続回路板のような多層の電子ワークピースを示す。

【 0 0 0 3 】

ボールグリッドアレイ、ピングリッドアレイ、回路板、及びハイブリッド微小回路のような単一チップをパッケージするデバイスは、典型的には、金属や有機誘電性材料、補強材料、さらには他の新規な材料の別々の構成層を含んでいる。ごく最近では、この種の電子材料にバイア（vias）を形成するため又は他の処理を施すためにレーザーを基にした微小加工技術に開発の目が向けられてきている。ここで、バイアは、ほんの一例として微小加工につき説明しているが、バイアは、完全な貫通孔でも盲（ブラインド）バイアと称される不完全な孔の形態であっても良い。あいにく、レーザー微小加工は、レーザーの種類、作業コスト並びに、ビーム波長、ビーム出力及びスポット寸法のようなレーザー及びターゲット材料の特定の操作パラメータを含む多くの変数を包括しており、それゆえ加工処理量及び孔の品質に大きなばらつきが生じる結果となる。

10

【 0 0 0 4 】

現在、微小加工作業に使用されているパルス化された紫外線（UV）レーザーは、多くの用途で所望される切り口（kerf）幅及び孔直径に比べて比較的小さいスポット寸法をもたらす。以下で「輪郭加工」と称される、レーザースポット寸法より大きいこのような幾何学的特徴を形成するレーザー加工の処理量は、高い出力密度と低い出力密度のレーザービームを用いることによって増大させることができる。何れもOwen等のものである米国特許第5,593,606号及び米国特許第5,841,099号には、多層デバイス内にバイア又は盲バイアを形成するために、レーザー出力パルスを有利なパラメータ内で発生させるUVレーザーシステムを用いることの有用性が記載されている。これらの特許は、集束したスポット寸法の直径よりも大きい直径を有するバイアをトレパニング、同心円加工又は螺旋加工によって作ることができる周知の技術について言及している。これらの技術を、以下、包括的に「輪郭穿孔（contoured drilling）」と称する。

20

【 0 0 0 5 】

あいにく、焦点外れの状態でレーザーを操作することは、しばしば予測不可能かつ望ましくないエネルギー分配及びスポット形状をもたらし、バイア壁の傾斜、バイア底にある胴層の熔融度、穿孔中の熔融銅のはねかけによって生じるバイア周辺の「リム」の高さを含むバイアの品質に悪影響を及ぼす。さらに、通常の視準光学系及び集光光学系に進入するスポット寸法は、ターゲットに衝突するスポット寸法に反比例するので、光学系に適用される出力密度は、光学系の損傷閾値（damage threshold）を急激に越える。

30

【 0 0 0 6 】

Wardの米国特許第4,461,947号には、入射レーザービームに対して垂直な平面内でレンズを回転させることにより、集束したレーザースポットの寸法より大きい寸法のターゲット区域に作用させる輪郭穿孔方法が開示されている。かかるレンズの回転は、支持取付アームの位置から独立したものである。また、Wardは、平面内における取付アームの動作に依存してレンズを回転させる先行技術に従う輪郭穿孔方法を開示している。背景技術の中で、Wardは、ビームを回転ミラーによって回転させることができることを開示している。

40

【 0 0 0 7 】

Kawasaki等の米国特許第5,571,430号には、第1軸線周りに旋回するとともにベアリング上の回転支持部材によって支持された凹面集光ミラーであり、第1軸線に対して垂直な第2軸線周りに回転可能な凹面集光ミラーを用いたレーザー溶接システムが開示されている。かかるミラーは、第1軸線周りに揺動して除去されるターゲットの「幅」を増大させ、第2軸線周りに回転して環状のパターンを形成する。

【 発明の開示 】

【 0 0 0 8 】

50

従ってこの発明の目的は、集束したレーザースポットを迅速に空間的に広げる方法及び装置を提供すること、及び高い繰り返し速度のレーザパルスのエネルギー密度を提供することにある。

【 0 0 0 9 】

この発明の他の目的は、集束したレーザースポットの寸法より大きい寸法をもつ幾何学的特徴を迅速に作ることである。

【 0 0 1 0 】

この発明の更に他の目的は、かかるレーザ加工作業において処理量及び／又はワークピースの品質を向上することにある。

【 0 0 1 1 】

Cutler等の米国特許第5,751,585号及び第5,847,960号並びにCutlerの米国特許第6,430,465号には、上部ステージが下部ステージによって支持されておらず、下部ステージから独立して移動し、そしてワークピースが1つの軸又はステージ上に搭載されている一方で、工具が他の軸又はステージ上に搭載されている分割軸式的位置決めシステムの記載が含まれている。このような位置決めシステムは、それぞれが高速位置決め器を支持する1つ以上の上部ステージを有し、そして1つ又は複数のワークピースを高い処理量で同時に処理することができる。というのも、積重式のステージシステムに比べて、独立して支持されたステージの各々はより小さい慣性質量を持ち、加速、減速及び方向転換をより速く行い得るからである。かくして、1つのステージの質量が、他方のステージ上に載荷されることがないので、所定荷重の共振周波数が増大する。さらに、低速位置決め器及び高速位置決め器は、連続的な位置決めコマンドデータに応答して停止する必要なしに動くよう用いられる一方で、データベースによって定められたターゲット位置上に一時的に静止した工具位置を作るためにそれらの個々の移動位置を協調させる。このような分割軸式のマルチレート位置決めシステムは、従来のシステムの高速位置決め器における移動制限範囲を減少させる一方で、工具の処理量を著しく増大させるとともにパネル化された又はパネル化されていないデータベースから稼働することができる。

【 0 0 1 2 】

このような分割軸式的位置決めシステムは、ワークピースの全寸法及び重量が増大し、より長く、より重量のあるステージを利用するようになるにつれてさらに有利となるが、それらは、高いパルス繰り返し周波数（PRFs）でのレーザパルス間の大きな幾何学的間隔によってエネルギーを有効に広げるのに十分な帯域幅を提供することができない。

【 0 0 1 3 】

それゆえ、この発明は、ビーム経路内に、レーザビームを、公称ターゲット位置周りの所定パターン内で高速で連続的に動かし、高いレーザ繰り返し速度で発生した集束したレーザースポットを空間的に分離することにより、集束したレーザースポットの寸法より大きい寸法をもつ幾何学的特徴を創出する、圧電制御ミラーのような高速ステアリングミラーを用いる。この発明により、焦点外れでの稼働に関連するビーム品質の問題を伴うことなく、所定の繰り返し速度における一連のレーザパルスを、より低いパルス速度にてより直径の大きい一連のパルスとして出現させることができる。

【 0 0 1 4 】

この発明の追加の目的と利点は、添付図面を参照して行われる好適な実施形態についての詳細な説明から明らかになるであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 5 】

図1を参照すると、この発明に従う例示的な実施形態のレーザシステム10は、Qスイッチ付きのダイオード励起（DP）固体（SS）レーザ装置12を含み、このレーザ装置は、好適には固体レーザント（lasant）を含む。しかし、当業者には、クリプトンアークランプのようなダイオード以外の励起源も利用できることは理解されよう。励起ダイオード、アークランプ、又は他の従来の励起手段は、電力供給源（別に示さず）から電力を受け、電力供給源は、レーザ装置12の一部に形成しても良く、あるいは別々に配

10

20

30

40

50

置しても良い。

【0016】

例示的なレーザー装置12は、主としてTEM₀₀空間モードのプロファイルを有する1つ以上のレーザーパルス、高調波発生したレーザー出力14をもたらす。約150ナノメートル(nm)~約2000nmの好適なレーザー波長は、1.3、1.064、又は1.047、1.03~1.05、0.75~0.85ミクロン(μm)又は、Nd:YAG、Nd:YLF、Nd:YVO4、Nd:YAP、Yb:YAG、又はTi:Sapphireレーザー64からのそれらの第二、第三、第四、又は第五高調波を含むが、これらに限定はされない。このような高調波波長は、約532nm(二倍周波数Nd:YAG)、355nm(三倍周波数Nd:YAG)、266nm(四倍周波数Nd:YAG)、又は213nm(五倍周波数Nd:YAG)のよう波長を含むことができるが、これらに限定はされない。レーザー装置12及び高調波発生技術は当業者には周知である。一具体例としてのレーザー装置12の詳細は、Owen等の米国特許第5,593,606号に詳細に記載されている。好適なレーザー装置12の一例には、米国カリフォルニア州、マウンテンビューのLightwave Electronics社によって販売されているModel 210 UV-3500のレーザー装置が含まれる。当業者には、他の適当な波長で発生するレーザー装置は市販されており、それらにはファイバーレーザー装置、又はQスイッチ付きCO₂レーザーが含まれ、そして利用可能であることは理解されるであろう。一具体例としてのQスイッチ付きCO₂レーザーは2002年12月12日発行の、Dunsky等の米国特許出願公開2002/0185474号に開示されている。

10

【0017】

図1を参照すると、レーザー出力14は、一連の(ステージ軸位置決めミラーのような)ビーム指向部品20、高速ステアリングミラーFSM(30)、及びビーム位置決めシステム40の高速位置決め器32(ガルバノメータ駆動の一对のX及びY軸ミラーのようなもの)によって指向される前に、ビーム経路18の途中に配置されたビームエキスパンダレンズ部品16を含む種々の周知の光学系によって操作することができる。最終的に、レーザー出力14は、レーザーシステム出力ビーム46としてワークピース50のレーザースポット48に適用される前に、集束又はテレセントリック(telecentric)走査レンズのような対物レンズ42を通過する。

20

【0018】

好適なビーム位置決めシステム40は、Cutler等の米国特許第5,751,585号に詳細に記載されており、Cutlerの米国特許第6,430,465号に記載されているアッベ(ABBE)エラー補正手段を含んでも良い。ビーム位置決めシステム40は、好適には、並進(translation)ステージ位置決め器を利用するものであり、この並進ステージ位置決め器は、好適には少なくとも2つのプラットフォーム又はステージ52、54を制御するとともに位置決め部品20を支持し、レーザーシステム出力ビーム46を所望のレーザーターゲット位置60に向けて集束させる。好適な実施形態では、並進ステージ位置決め器は、分割軸式のシステムとし、この場合、典型的にはリニアモータ駆動のYステージ52は、ワークピース50をレール56に沿って支持して動かし、Xステージ54は、高速位置決め器32と対物レンズ42とをレール58に沿って支持して動かし、X及びYステージ間のZの寸法は調節可能であり、ビーム指向部品20は、レーザー装置12とFSM30との間で任意に回転しビーム経路18を整列させる。典型的な並進ステージ位置決め器は、500mm/secの速度と1.5×9.8m/sec²の加速度が可能である。便宜上、高速位置決め器32と1つ以上の並進ステージ52及び/又は54との組み合わせは、一次的な又は統合型の位置決めシステムとして称する。

30

40

【0019】

ビーム位置決めシステム40は、提供されたテスト若しくはデザインデータに基づく唯一の若しくは繰り返しの処理作業を行うために同一の若しくは異なった回路板又はチップパッケージ上のターゲット位置60間を迅速に移動可能とする。一実施例としての高速位置決め器は400又は500mm/secの速度と300又は500×9.8m/sec²の加速度が可能であり、それ故またこれらは実施例としての統合位置決めシステムとなる典型的な可

50

能性をもつ。上述した位置決めシステムの要素の多くを含む好適なレーザーシステム 10 の一例は、米国オレゴン州、ポートランド在のElectro Scientific Industries社 (ESI) で製造されたModel 5320 レーザーシステム又はそのシリーズ中の他のものである。しかし、ワークピース位置決め用の単一のX及びYステージと、ビーム位置決め用の固定ビーム位置決め器及び/又は固定ガルバノメータをもつシステムを代案として利用することができることは当業者には明らかであろう。

【0020】

レーザーシステム制御器 62 は、好適には、当業者には周知の手法でレーザー 12 の点火をステージ 52 及び 54 と高速位置決め器 32 との動きに同期させる。レーザーシステム制御器 62 は、高速位置決め器 32、ステージ 52、54、レーザー 12、及びFSM制御器 64 を制御するものとして包括的に示されている。当業者には、レーザーシステム制御器 62 が、これらのレーザー部品の何れかへの又は全てへの電力を制御及び/又は提供するための統合された又は独立した制御サブシステムを含むことができ、またかかるサブシステムはレーザーシステム制御器 62 に関して遠隔の場所に置くことができることは明らかであろう。レーザーシステム制御器 62 はまた好適には、ミラー制御器 64 によって直接的に又は間接的にFSM 30 の方向、傾斜角度又は回転、及び速度又は周波数を含む動きを制御するのは勿論、レーザー 12 又は位置決めシステム 40 の部品との同期を制御する。便宜上、FSM 30 とミラー制御器 62 との組み合わせは二次的な又は非統合型の位置決めシステムと称することができる。

【0021】

レーザーシステム出力ビーム 46 のパラメータは、異なった光吸収性、アブレーション閾値、又はUV若しくは可視光線に応答する他の特性を示すさまざまな金属性、誘電性及び他の材料のターゲットに、実質的に清浄で、連続的な穿孔、即ちパイヤの形成を容易にするために選択される。レーザーシステム出力の例示的なパラメータは、ビームスポット区域上で測定した平均エネルギー密度が、約120マイクロジュール(μJ)より大きく、好適には200 μJ より大きく、スポット寸法直径又は空間的主軸が、約50 μm より小さく、好適には約1~50 μm 、典型的には約20~30 μm であり、繰り返し速度が、約1キロヘルツ(kHz)、好適には約5 kHzより大きく、最も好適には20 kHzより高く、波長が、約150~2000 nmの間、更に好適には約190~1325 nmの間、最も好適には約266~532 nmの間にある。レーザーシステム出力ビーム 46 の好適パラメータは、約100ナノ秒(ns)より短い、好適には約0.1ピコ秒(ps)~100 nsの、更に好適には約190 nsの又はそれより短い時間的パルス幅を利用することによって一定の熱的損傷効果を回避するように選択される。当業者には、これらのパラメータは変更可能であり、処理される材料にとって最適化することができ、そして異なったパラメータを異なったターゲット層を処理するために使用できることは明らかであろう。

【0022】

レーザーシステム出力ビーム 46 は好適には、ワークピース 50 上のビーム位置 60 に約25~50 μm より小さい直径のスポット区域 48 を作る。スポット区域 48 及び直径は一般的に $1/e^2$ ディメンションと称されるが、特にレーザーシステム 10 の説明に関しては、これらの用語は、単一パルスによって作られた孔のスポット区域又は直径と称するために時折使用される。また当業者には、出力ビーム 46 のスポット区域 48 は一般に円形であるが、実質上方形となるように形作ることができることは、明らかであろう。また当業者には、出力ビーム 46 は、もし特定の作業に望まれるならば、特に最初のステップ処理で、そのウイング部(wings)又はテイル部(tails)をイメージング又はクリッピングすることができることは明らかであろう。

【0023】

図2はFSM 30 の好適な実施形態を示しており、このFSM 30 は、レーザー出力 14 を受けるように配置され、ECB (エッチング回路基板) バイア穿孔、回路素子トリミング又は他の微小加工適用の目的でそれを高速位置決め器 32 及び対物レンズ 42 を通してワークピース 50 上のターゲット位置 60 へ偏向させる。FSM 30 は好適には、高速

位置決め器 3 2 より高い周波数応答性を有する電歪アクチュエータを利用する制限された偏向ビーム位置決めステージの一部として実現される。F S M 3 0 は、鉛マグネシウムニオベイト(P M N)、電圧を変位に変換させるアクチュエータ 2 2 のような強誘電性のセラミックアクチュエータ材料によって湾曲する。P M N 材料はより一般的な圧電アクチュエータ材料に似ているが、1 パーセントより小さいヒステリシスと、高い電気機械変換効率をもち、幅広い作業および製造温度範囲を示し、永久偏光(polarization)を要求せず、そして小さい電気駆動電圧をもつ有用な機械的活性を提供する。

【 0 0 2 4 】

例示的な P M N アクチュエータ 2 2 は、P M N 材料の 4 0 mm 長さのシリンダについて約 2 0 ミクロンの制限された変位を有するが、5 mm 直径のシリンダについて、ミクロン当たり約 2 1 0 ニュートンの極めて高い剛性を有する。F S M 3 0 は、正三角形として配置された第 1 端部を有する 3 つの P M N アクチュエータ 2 2 へ歪み可能に連結されており、その正三角形の中心点と F S M 3 0 の中心点 2 4 とは一致している。P M N アクチュエータ 2 2 の第 2 端部は、X 軸並進ステージ 5 4 に取り付けられた据え付け台 2 6 に機械的に連結されている。3 つの P M N アクチュエータ 2 2 は好適には、F S M 3 0 の倒れ込み及び傾斜は、3 自由度の構造を 2 自由度モードで使用することで実現される。3 つの P M N アクチュエータ 2 2 は好適には、円周に沿って 3 つの活性領域に電氣的に分割された P M N 材料の中空のシリンダとして形成される。1 領域を作動させることによりそれは膨張又は収縮し、それによって F S M 3 0 は倒れ傾斜する。

【 0 0 2 5 】

好適にはアクチュエータの三角形は、5 mm の側辺を有し、約 ± 4 ミリラジアン (mRad) の角度に偏向させることができ、これは 8 0 mm 対物レンズ 4 2 でワークピース 5 0 上に投影されたとき、レーザー出力 1 4 の $\pm 6 4 0$ ミクロンの偏向に変換される。例示的な F S M 3 0 では、パターン寸法を、レーザースポット寸法の約 2 5 ないし 5 0 倍までに制限する典型的な移動範囲の制限を設けても良く、その一方で F S M 3 0 の最大の周波数応答性は、パターン寸法をレーザースポット寸法の約 1 5 倍まで、典型的にはレーザースポット寸法の 5 ~ 1 0 倍に制限するようより抑制的に制限しても良い。F S M 3 0 は、高速位置決め器 3 2 の例示的なガルバノメータ駆動の X 及び Y 軸ミラーより高い周波数及び加速度で作動する。非統合型の位置決めシステムの例示的な F S M 3 0 は 1 , 0 0 0 mm/sec より速い速度をもたらし、4 , 0 0 0 mm/sec 又はそれよりも速い速度とすることも可能であり、これらは典型的な統合型の位置決めシステムの速度の 5 ~ 1 0 倍の速度である。非統合型の位置決めシステムの例示的な F S M 3 0 は、1 , 0 0 0 $\times 9 . 8$ m/sec² より大きい加速度をもたらし、3 0 , 0 0 0 $\times 9 . 8$ m/sec² 又はそれよりも大きい加速度とすることも可能であり、これらは典型的な統合型の位置決めシステムの加速度の 5 0 ~ 1 0 0 倍である。

【 0 0 2 6 】

特に、例示的な P M N アクチュエータ 2 2 は、約 2 0 μ F (microFarad) の容量特性、1 . 0 の D C インピーダンス、5 kHz における 1 7 インピーダンスを有し、7 5 ボルトの電圧駆動において 3 アンペア以上の電流を引き出す(draws)。F S M 3 0 を駆動する例示的な P M N アクチュエータ 2 2 は、約 5 kHz よりも大きい広信号帯域幅と、約 8 kHz よりも大きい狭信号帯域幅と、約 $\pm 0 . 5$ ミクロンの位置決め分解能をもつレーザー出力 1 4 を偏向させるための少なくとも約 4 mRad の偏向角度を有する。

【 0 0 2 7 】

当業者には、任意の他の精密な高帯域幅のアクチュエータをミラーアクチュエータ 2 2 に利用できることは理解されよう。図 3 は、代替の F S M 3 0 を、ミラーアクチュエータ 7 2 A 及び 7 2 B (包括的には、ミラーアクチュエータ 7 2) 用の例示的なミラー制御器 6 4 の例示的な制御回路と共に一部を断面図とし一部を概略図として示したものであり、ミラーアクチュエータ 7 2 は、好適には圧電 (P Z T) デバイスであり、圧電デバイスは、F S M 3 0 の角度を小さく変化させるために利用されて、レーザーシステム出力ビーム 4 6 の角度を小さく変化させ、その角度の小変化はワークピース 5 0 の表面のレーザー

ポット48の位置60を小さく変化させる。図4はFSM30の正面図であり、ミラーの歪みがレーザースポット48の位置60にどのように影響するかということを示すものである。

【0028】

図3、4を参照すると、PZTミラーアクチュエータ72を用いた例示的な実施形態が示されており、略方形のFSM30の1つのかど部は、撓むことはできるが圧縮又は延伸することはできない撓み性を有する基準構造体に固定されている。FSM30の2つの他のかど部は、正弦波にตอบสนองして圧電ミラーアクチュエータ72Aと72Bとによって駆動されてビーム進路18に小角度をもたらし、これはビーム位置決めシステム40の他の要素によって設定されたターゲット位置60上に重ねられたレーザースポット48のビーム位置に小変化を生じさせる。

10

【0029】

好適な実施形態では、 $\sin(a)$ の信号74は、1方向に角度変化を生じさせるために、圧電ミラーアクチュエータ72Aと72Bとを反対方向に駆動させ、 $\sin(a+90^\circ)$ の信号76は、最初の角度変化に対して90度の角度変化を生じさせるために、正弦(sine)によって同一方向に圧電ミラーアクチュエータ72Aと72Bとを駆動させる。レーザ出力14は、FSM30のおおよそ中心点で反射される。この結果、ミラー移動によってもたらされた小角度が走査レンズ42によって位置の変化に変換された後に、ワーク表面に円形運動が生じる。

【0030】

20

レーザ穿孔作業では、好適な対物レンズの焦点長さは約50～100mmであり、FSM30から走査レンズ42までの好適な距離はデザインの制約以内であって實際上小さく、好適には、Zステージ(図示せず)がその正規の焦点高さにあるときに約300mmより小さく、更に好適には、100mmより小さい。好適なレーザシステム10では、FSM30は、Xステージ54上の高速位置決め器32の上流側に取り付けられ、そして従来のビーム位置決めシステムの最終回転(final turn)ミラーに取って代わるものである。好適な実施形態では、FSM30は、オレゴン州ポートランド在のElecrto Scientific Industries社製のモデル5200又は5320に利用されているような既存のレーザ装置及び位置決めシステム40を容易にアップグレードして用いられており、また、従来のレーザシステムのXステージ54上の最終回転ミラーと簡単に代えることができる。当業者には、FSM30は、ビーム進路18内に配置できる他、Xステージ54上以外の何れかの場所に取り付けできることは理解されよう。

30

【0031】

当業者には、センター24のような旋回点の周りで2軸内においてFSM30の運動を制御するために種々の技術を代案として利用できることは認められるだろう。これらの技術は、ミラーの表面を変形させるために、歪み機構及びボイスコイルアクチュエータ、圧電、電わい又はPMNアクチュエータ材料の変形に依存する圧電アクチュエータ、及び圧電又は電わいアクチュエータを利用するFSM30を含む。ボイスコイルで作動するFSM30は、Bakerの米国特許第5,946,152号に記載されており、高周波数で動作するように適合させることができる。適当なボイスコイルにより作動するFSM30は、コロラド州のブルームフィールド在のBall Aerospace社及びカリフォルニア州のアーウィン在のNewport社から入手可能である。適当な圧電アクチュエータは、ドイツ国カールスルーエ在のPhysik Instrumente(「PI」)社製のモデルS-330 Ultra-Fast Piezo Tip/Tilt Platformである。

40

【0032】

シミュレーションされたレーザースポット拡大(enlargement)の適用においては、レーザ制御器64は、トリミングプロフィール(profile)又は盲パイア穿孔プロフィールのような予定の工具進路に従うように統合型の位置決めシステムの高速位置決め器32及びステージ52、54に命令する一方で、ミラー制御器64は独立して、FSM30がレーザシステム出力ビーム46のレーザースポット位置を小さな円運動又は振動のような所

50

望のパターンで動かすようになる。この重複して自由進行するビーム移動又は振動は、レーザーシステム出力ビーム 46 のエネルギーを大区域上に分配し、工具進路に沿って幅広の切り口を有効に作る。有効な切り口幅は、前記パターンのパターン寸法とスポット直径との和に略等しい。ビーム移動はまた、広範囲に亘ってレーザーエネルギーを分散させ、或る時間内に所定の平均エネルギー密度で処理される区域を増大させる。

【0033】

F S M 30 に送られたミラー制御器 64 の命令は、統合型の位置決めシステムのステージ 52、54 及び高速位置決め器 32 にアドレスされた位置決め命令と統合されてはいないが、その位置決め命令に重ねられるので、多くの複雑さと出費が回避される一方、機能性及び処理量の著しい向上が達成される。また一方で、ミラー制御器 64 は、レーザー制御器 62 と協働し、特定のレーザー適用中にレーザーシステム出力ビーム 46 を所望のパターンで移動させ、あるいは統合型の位置決めシステムの特定の工具進路をもたらす。F S M の有効スポットパターンは、例えばトリミング加工を目的として、特定幅の切り口を得るためにパターン寸法を選択することができ及び / 又は例えばバイア穿孔加工を目的として、特定の孔縁品質を得るために選択することができる。なお、当業者には、ミラー制御器 64 は、ユーザーが直接的にプログラミングすることができるが、レーザー制御器 62 と協働させる必要させる必要はなく、レーザー制御器 62 を介して制御する必要もないことは理解されよう。

【0034】

コンピュータグラフィックスモデルは、上述したような P Z T アクチュエータによる F S M 30 の連続移動からもたらされる、ワーク表面におけるレーザースポット 48 個々の配置を示すために開発された。図 5 B は、F S M 30 の移動によって向上した、図 5 A の例示的な直線的な切り口を形成するための工具進路 80 のコンピュータモデルを示している。図 5 A 及び 5 B (総称して図 5) を参照すると、パラメータは、約 18 kHz の P R F、約 25 μm のスポット寸法、約 50 mm/sec の線速度 (小さい回転円形パターンがワーク表面を横切る移動速度)、約 2 kHz の回転速度 (円形パターンが回転している速度)、約 30 μm の回転適性 (aptitude) ((ビーム中心までの) 円形パターンの直径)、約 10 μm の内径 ((円形パターンの中心までの) 螺旋パターンの出発 (starting) 直径)、約 150 μm の外径 ((円形パターンの中心までの) 螺旋パターンの端 (end) 直径)、及び約 2 回の繰り返し数 (螺旋パターンが回転する回数) を含む。このモデルは、レーザーパルス速度を 15 ~ 20 kHz の範囲内に支持するために、1 kHz ~ 2.5 kHz の回転速度 (1 回転当たり 5 ~ 15 パルス) が実際のパルスの重なりに望まれることを示している。

【0035】

再び図 5 を参照すると、ミラー増強された (mirror-enhanced) 直線プロフィール 82 は、出力ビーム 46 のスポット直径 86 より大きい幅の切り口 84 を作る。この技術により、スポット直径 86 より幅の広い切り口がより少ないパスで形成されると同時に、加工の品質と集束された出力ビーム 46 を使用すること (即ちより幅の広いスポットを得るためにビーム焦点をぼかすことなしに) の他の利点を維持することができる。更に、ミラー増強された直線プロフィール 82 は、高い繰り返し速度の適用のために最も速い位置決め器 32 の帯域幅の能力を越えることができ、そして高速位置決め器 32 が、別法ではミラー増強された直線プロフィール 82 においてサブパターンを明確にすることが要求されるサブパターンニング (sub patterning) とは対照的に、簡単な位置決め運動命令を保持することを可能となす。

【0036】

図 6 B は、F S M 30 の運動によって増強された、例示的なバイア形成用の螺旋工具進路 90 (図 6 A) のコンピュータモデルである。図 6 A、6 B (総称して図 6) を参照すれば、パラメータは、約 15 kHz の P R F、約 15 μm のスポット寸法、約 30 mm/sec の線速度 (小回転円形パターンがワーク表面を横切る移動速度)、約 15 kHz の回転速度 (円形パターンが回転している速度)、約 20 μm の回転適性 ((ビーム中心までの) 円形パターンの直径)、約 10 μm の内径 ((円形パターンの中心までの) 螺旋パターンの出発

直径)、約150 μm の外径((円形パターンの中心までの)螺旋パターンの端直径)、及び約2回の繰り返し数(螺旋パターンが回転する回数)を含む。このモデルは、レーザーパルス速度を15~20 kHzの範囲内に支持するために1~2.5 kHzの回転速度(1回転当たり5~15パルス)が実際的なパルスの重なりに望まれることを示している。

【0037】

Qスイッチ付きCO₂レーザーシステム10とPMN材料のFSM30を利用する例示的な実施形態では、CO₂レーザーシステムはバイア孔当たり20~30パルスをもつ30~40 kHzのPRFを利用する。FSM30は、1.0~1.5 kHzでレーザーシステム出力ビーム46を振動させるので、それは、孔が穿孔されるとき、完全な1回転をなし、穿孔時間は0.6~1 msより小さい時間となる。

10

【0038】

図6を参照すれば、盲バイアは、螺旋状の工具進路90に沿って隣接して重複する場所にスポット区域86を有するレーザーシステムの出力ビーム46を外周側に連続的に差し向けることによって形成される。ビーム46は、好適には、該システム10が該場所にカット深さを得るのに必要なビームパルスの数を放出するのに十分な速度で、各場所を通して連続的に動かされる。ビーム46が螺旋状の工具進路90に沿って進むにつれて、ターゲット材料は、少しずつ削り取られ、ビーム46が新しい切削場所に動かされる度に孔の寸法は増大する。孔の最終形状は典型的には、ビーム46が外周の円形進路に沿って移動したときに得られる。

【0039】

20

ミラー増強されたバイア穿孔プロフィール92が出力ビーム46のスポット直径86より大きい切り口幅84をもたらし、結果として出来るバイアの直径94は、スポット寸法と同じ寸法の切り口幅から作られた螺旋の直径よりかなり大きくなることに留意されたい。この発明は、焦点はずれの状態で加工をすることに関連するビーム品質の問題なしに、所定の繰り返し速度での一連のレーザーパルススポット48が、より低いパルス速度での一連のより大直径のレーザーパルススポットとして現れることを可能にする。バイア直径又は切り口幅は典型的には25~300 μm の範囲にわたるが、1ミリメートル(mm)と同じか、又はそれより大きい直径又は幅をもつバイア又は切り口もまた望ましい。

【0040】

盲バイアを形成するための別の工具進路は、中心で出発しそして切り口幅84によって限定される漸増する半径の同心円を切断することになる。バイアの全直径はバイアを形成する同心円が領域の中心からより大きい距離をおいた個所で円形進路を進むにつれて増していく。代案として、このプロセスは所望の円周を限定しそして縁を中心にむけて処理していくことによって始めることができる。外側の螺旋処理は僅かに連続的となり、同心円の処理より速くなる傾向がある。しかし盲バイアは内方へ渦巻形に進めることによっても作ることができる。

30

【0041】

当業者には、ワークピース50又は処理出力ビーム46の何れかを、他方の位置に対して固定又は移動することができることは理解されよう。好適な実施形態では、ワークピース50と処理出力ビーム46の両者は同時に移動する。多数の異なる基体上に、貫通孔バイア、種々の深さ及び直径を有する盲バイアを形成する例は、米国特許第5,593,606号に記載されている。他の工具進路のプロフィールを含む種々のバイア処理技術もまた、Dunsky等の米国特許第6,407,363号に記載されており、これは参考として明細書に含まれるものとする。当業者には、非円形バイアもまた同様のプロセスによって融除することができることは理解されよう。かかるバイアは例えば、正方形、方形、楕円形、スロット状又は他の表面幾何学的形態をもつことができる。

40

【0042】

当業者にはまた、統合型の位置決めシステムを、小区域バイアを処理するために単一場所に差し向けることができ、また、非統合型のFSM30が、著しく滞留時間を長くすることなしに、及び工具進路90のような工具進路を実行するために統合型位置決めシステ

50

ムを動かす複雑さなしに、出力ビーム４６のスポット直径４８より大きいバイア直径を作るために使用されることは、理解されるであろう。更に、縁の品質と底の均一性を含むバイア品質は、特に、レーザーシステム出力ビーム４６の強度が比較的ガウス分布に従うときには大幅に改良することができる。

【００４３】

当業者には、本発明の上述の実施例の細部には、特許請求の範囲に記載した原理から逸脱することなく多くの変更を成し得ることは明らかであろう。従って本発明の範囲は特許請求の範囲によってのみ決定されるべきものである。

【図面の簡単な説明】

【００４４】

10

【図１】本発明の高速ステアリングミラーを合体した簡単なレーザーシステムの一部を斜視図とし、一部を概略図として示した図である。

【図２】図１のレーザーシステムに利用された高速ステアリングミラー機構の一部を絵画的に、一部を概略図として示した図である。

【図３】図１のレーザーシステムに利用された高速ステアリングミラー機構の一部を断面図で、一部を概略図として示した図である。

【図４】ミラーの歪みがレーザースポットの位置にどのように影響するかを示した高速ステアリングミラーの正面図である。

【図５】（Ａ）本発明の高速ステアリングミラーの移動によって増強される直線的な切り口を形成するための工具進路のコンピュータモデルを例示的に示す図である。（Ｂ）本発明の高速ステアリングミラーの移動によって増強される直線的な切り口を形成するためのプロフィールのコンピュータモデルを例示的に示す他の図である。

20

【図６】（Ａ）本発明の高速ステアリングミラーの移動によって増強されるバイアを形成するための螺旋状の工具進路のコンピュータモデルを例示的に示す図である。（Ｂ）本発明の高速ステアリングミラーの移動によって増強されるバイア穿孔プロフィールのコンピュータモデルを例示的に示す他の図である。

【図 1】

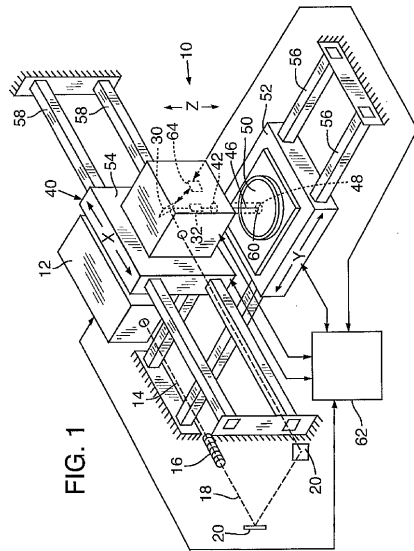


FIG. 1

【図 2】

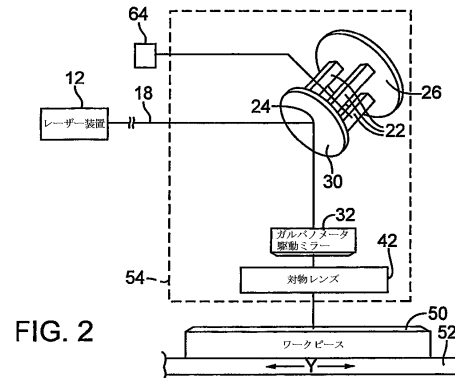


FIG. 2

【図 3】

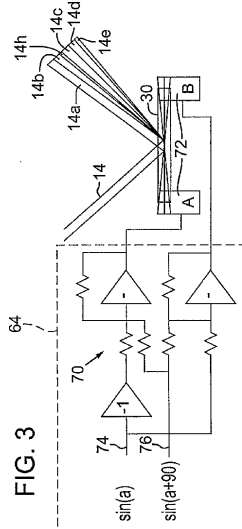


FIG. 3

【図 4】

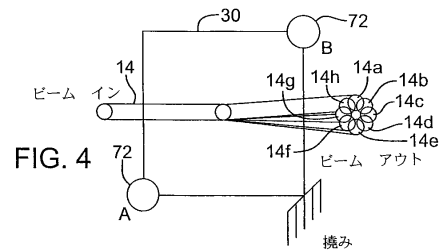


FIG. 4

FIG. 5A

80

FIG. 6A



FIG. 5B

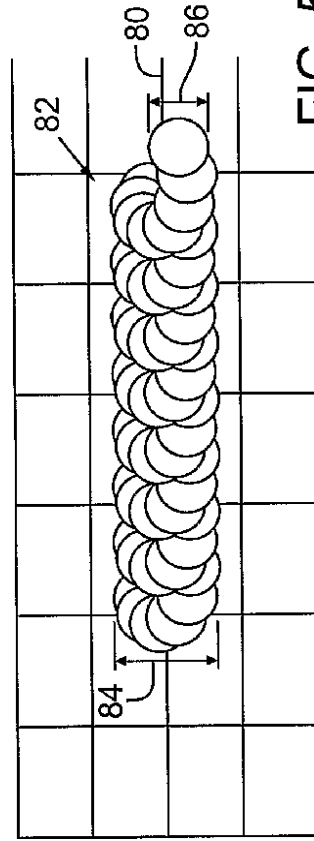
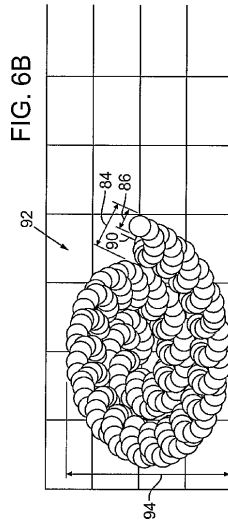


FIG. 5B

FIG. 6B



フロントページの続き

(74)代理人 100114292

弁理士 来間 清志

(74)代理人 100119530

弁理士 富田 和幸

(74)代理人 100073313

弁理士 梅本 政夫

(72)発明者 ドナルド アール カトラー

アメリカ合衆国 オレゴン州 97229 ポートランド エヌダブリュー マクダニエル ロード 11500

審査官 松本 公一

(56)参考文献 特開平07-185856(JP,A)

特開2000-305037(JP,A)

特開平11-170072(JP,A)

特開平04-274892(JP,A)

特表平10-508798(JP,A)

特開平01-224193(JP,A)

特開平07-185866(JP,A)

特開平08-039283(JP,A)

特開2001-225183(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23K 26/00- 26/42

G02B 26/10