(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7113077号
(P7113077)

(45)発行日　令和4年8月4日(2022.8.4)

(24)登録日　令和4年7月27日(2022.7.27)

(51)国際特許分類
Ｂ２３Ｋ　26/03　(2006.01)

ＦＩ
Ｂ２３Ｋ　26/03

請求項の数　16　（全16頁）

(21)出願番号　特願2020-522305(P2020-522305)
(86)(22)出願日　平成30年10月10日(2018.10.10)
(65)公表番号　特表2021-501691(P2021-501691A)
(43)公表日　令和3年1月21日(2021.1.21)
(86)国際出願番号　PCT/US2018/055222
(87)国際公開番号　WO2019/089204
(87)国際公開日　令和1年5月9日(2019.5.9)
審査請求日　令和3年8月3日(2021.8.3)
(31)優先権主張番号　15/801,674
(32)優先日　平成29年11月2日(2017.11.2)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(73)特許権者　512095392
コヒレント， インコーポレイテッド
アメリカ合衆国 カリフォルニア ９５０５４， サンタ クララ， パトリック ヘンリー ドライブ ５１００
(74)代理人　100078282
弁理士　山本 秀策
(74)代理人　100113413
弁理士　森下 夏樹
(74)代理人　100181674
弁理士　飯田 貴敏
(74)代理人　100181641
弁理士　石川 大輔
(74)代理人　230113332
弁護士　山本 健策

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　レーザ材料加工距離計測

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
導電性のワークを加工するためのレーザ装置であって、前記装置は、
レーザ放射ビームを送達するレーザ源と、
導電性の材料から作製されたハウジングを有する集光アセンブリであって、前記集光アセンブリは、前記レーザ放射ビームを受け取るように位置付けられ且つ配置され、前記集光アセンブリは、前記レーザ放射ビームを集光し、且つ、前記集光されたレーザ放射ビームを前記ワークへ向けるように構成され、前記集光されたレーザ放射ビームは、前記導電性ハウジングの底面上のポートを通して現れる、集光アセンブリと、
第１の定電流を前記導電性ハウジングへ送達し、電荷を前記導電性ハウジングに線形的に蓄積させ、これにより、選択された一定の継続時間にわたって一定の電荷が蓄積するように配置される第１の定電流源と、
前記導電性ハウジングと基準ノードとの間の電圧を測定するように配置される電圧計とを備え、
前記導電性ハウジングの前記底面及び前記ワークの上面は、ギャップ距離によって隔てられ、前記導電性ハウジングに蓄積された前記一定の電荷は、前記ギャップ距離に依存せず、前記ギャップ距離は、前記一定の継続時間にわたる、測定される電圧の変化に比例し、前記一定の継続時間にわたる、前記測定される電圧の変化が、前記ギャップ距離を決定するために用いられる、装置。
【請求項２】

レーザ放射ビームの焦点とワークとの間の距離は、前記ギャップ距離から決定される、請求項１に記載のレーザ装置。
【請求項３】
前記定電流源は、Ｈｏｗｌａｎｄ電流ポンプである、請求項１に記載のレーザ装置。
【請求項４】
前記基準ノードは前記ワークであり、前記電圧計は、前記導電性ハウジングと前記ワークとの間との電圧を測定する、請求項１に記載のレーザ装置。
【請求項５】
第２の定電流源及び零のコンデンサをさらに含み、前記零のコンデンサの第１端は前記ワークへ電気的に接続され、前記第２の定電流源は、第２の定電流を前記零のコンデンサの第２端へ送達し、前記導電性ハウジング及び前記ワークは、前記ギャップ距離に依存しないバックグラウンド静電容量を有し、前記第２の定電流は、前記第１の定電流が前記バックグラウンド静電容量に蓄積する電荷をもたらすのと同じ割合で、前記零のコンデンサに蓄積する電荷をもたらすようにセットされる、請求項１に記載のレーザ装置。
【請求項６】
前記基準ノードは前記零のコンデンサの前記第２端であり、前記電圧計は、前記導電性ハウジングと前記零のコンデンサの前記第２端との間の電圧を測定する、請求項５に記載のレーザ装置。
【請求項７】
前記一定の継続時間は、約１マイクロ秒から約１０００マイクロ秒の範囲にある、請求項１に記載のレーザ装置。
【請求項８】
前記第１の定電流は、約１マイクロアンペアから約１００マイクロアンペアの範囲にある、請求項１に記載のレーザ装置。
【請求項９】
コントローラをさらに含み、最適距離を維持するために、前記コントローラが前記測定される電圧の変化から決定されるギャップ信号を用いることによって、閉ループ方法で加工が制御される、請求項１に記載のレーザ装置。
【請求項１０】
コントローラをさらに含み、予め決められた距離プロファイルに従うように、前記コントローラが前記測定される電圧の変化から決定されるギャップ信号を用いることによって、閉ループ方法で加工が制御される、請求項１に記載のレーザ装置。
【請求項１１】
電気絶縁性のワークを加工するためのレーザ装置であって、前記装置は、
前記ワークを機械的に支持するように配置された上面を有する、導電性の平行移動ステージと、
レーザ放射ビームを送達するレーザ源と、
導電性の材料から作製されたハウジングを有する集光アセンブリであって、前記集光アセンブリは、前記レーザ放射ビームを受け取るように位置付けられ且つ配置され、前記集光アセンブリは、前記レーザ放射ビームを集光し、且つ、前記集光されたレーザ放射ビームを前記ワークへ向けるように構成され、前記集光されたレーザ放射ビームは、前記導電性ハウジングの底面上のポートを通して現れる、集光アセンブリと、
第１の定電流を前記導電性ハウジングへ送達し、電荷を前記導電性ハウジングに線形的に蓄積させ、これにより、選択された一定の継続時間にわたって一定の電荷が蓄積するように配置される第１の定電流源と、
前記導電性ハウジングと基準ノードとの間の電圧を測定するように配置される電圧計と
を備え、
前記導電性ハウジングの前記底面及び前記平行移動ステージの前記上面は、ギャップ距離によって隔てられ、前記導電性ハウジングに蓄積された前記一定の電荷は、前記ギャップ距離に依存せず、前記ギャップ距離は、前記一定の継続時間にわたる、測定される電圧

の変化に比例し、前記一定の継続時間にわたる、前記測定される電圧の変化が前記ギャップ距離を決定するために用いられる、装置。
【請求項１２】
前記基準ノードは前記平行移動ステージであり、前記電圧計は、前記導電性ハウジングと前記平行移動ステージとの間との電圧を測定する、請求項１１に記載のレーザ装置。
【請求項１３】
第２の定電流源及び零のコンデンサをさらに含み、前記零のコンデンサの第１端は前記平行移動ステージへ電気的に接続され、前記第２の定電流源は、第２の定電流を前記零のコンデンサの第２端へ送達し、前記導電性ハウジング及び前記平行移動ステージは、前記ギャップ距離に依存しないバックグラウンド静電容量を有し、前記第２の定電流は、前記第１の定電流が前記バックグラウンド静電容量に蓄積する電荷をもたらすのと同じ割合で、前記零のコンデンサに蓄積する電荷をもたらすようにセットされる、請求項１１に記載のレーザ装置。
【請求項１４】
前記基準ノードは前記零のコンデンサの前記第２端であり、前記電圧計は、前記導電性ハウジングと前記零のコンデンサの前記第２端との間の電圧を測定する、請求項１３に記載のレーザ装置。
【請求項１５】
コントローラをさらに含み、最適距離を維持するために、前記コントローラが前記測定される電圧の変化から決定されるギャップ信号を用いることによって、閉ループ方法で加工が制御される、請求項１１に記載のレーザ装置。
【請求項１６】
コントローラをさらに含み、予め決められた距離プロファイルに従うように、前記コントローラが前記測定される電圧の変化から決定されるギャップ信号を用いることによって、閉ループ方法で加工が制御される、請求項１１に記載のレーザ装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明の技術分野
本発明は、概して、静電容量の距離計測に関する。本発明は、特に、精密レーザ材料加工における静電容量の距離計測に関する。
【背景技術】
【０００２】
背景技術の検討
レーザ放射ビームは、広範な材料から作製されるワークを切断し、穴を開け、マーキングし、且つ、線を刻むためにますます用いられている。材料は、金属及び合金、ガラス及びサファイアなどのもろい材料、並びに、ポリマー及びプラスチックなどの柔軟な材料を含む。旧来の機械加工は、加工されるワークが圧力を受けたときに伝播し得るマイクロクラックなどの、好ましくない欠陥を生じ、それによって、加工されるワークを劣化させ、弱くする。レーザ加工は、そのような好ましくない欠陥を最小化し、概してよりきれいであり、且つ、熱の影響を受けたより小さな領域をもたらす。レーザ機械は、高い質の端及び壁を有する、精密な切断及び穴開けを生ずるために、集光されたレーザビームを用いるとともに、好ましくない欠陥の形成を最小化する。レーザ溶接においては、集光されたレーザビームは、それぞれの溶接点又は継ぎ目の位置を精密に定め、最小限の副次的な熱を生ずる。レーザマーキングにおいては、集光されたレーザビームへの制御された曝露が、ワークの良く定義された面積又は体積における、視覚的に識別できる材料変形を生ずる。これらの用途の全てが、向上されたレーザ加工速度及び向上された集光されたレーザビームの位置づけを要求している。
【０００３】
所望される特徴は、三次元において、集光ビームを、ワークを通して動かすことにより

、ワーク中に形成される。より小さなワークに対しては、直線的に平行移動するステージがワークを支持し、三次元において、最大の制御された走査速度まで、集光ビームを通してワークを動かす。より高い横方向の走査速度は、集光されていないビームを偏向させるための検流計作動モーターを用いて利用可能であり、それによって、集光ビームを横方向へ、ワークを通して平行移動させる。最新技術のレーザ加工ワークステーションは、コンピュータ数値制御を用い、複雑な形状を有するワークへのさらなるの自由度を提供する。「フライングオプティクス」ワークステーションにおいては、レーザ放射ビームは、加工の間、静止したワークに対して動く集光要素へ送達される。より大きなワークに対しては、集光要素は、関節を有するロボットアームへ取り付けられ得る。

【０００４】

集光要素は、典型的には「加工ヘッド」又は「ノズルアセンブリ」の１つの構成要素である。加工ヘッドはまた、集光ビーム中へ加工ガスを注入する。加工ガスは、直接的にレーザ加工を助ける（酸素などの）活性ガスであり得、又は、（窒素又はアルゴンなどの）不活性ガスであり得る。加工ヘッドは、カメラ及びレンズなどの画像化ハードウェアをさらに含み得、同様にして、セットアップを手助けする可視照準ビームもさらに含み得る。加工ヘッドは、このように様々な選択を有し、例えば、スイスのＢｅｌｐのＲｏｆｉｎ－ＬＡＳＡＧ　ＡＧから、商業的に利用可能である。

【０００５】

精密なレーザ加工は、加工ヘッドとワークとの間の距離の正確なリアルタイム測定を要求する。好ましい方法は、加工ヘッド及びワークを、静電容量センサの２つの導体として扱うことである。静電容量は、導体の表面積、導体間の任意の媒質の誘電率に比例し、導体間の距離に反比例する。静電容量センサが充電されているとき、距離の変化は、２つの導体間の電位差（これ以降、「電圧」と称する）に比例し、それは容易に測定される。

【０００６】

静電容量センサへ振動電圧を適用することがより一般的である。静電容量センサは、抵抗―コンデンサ（ＲＣ）回路の１つの構成要素となり、距離の変化は、回路の共振周波数の変化を通して測定される。静電容量の小さな変化に対する敏感性を向上させるために、ＲＣ回路は、バンドパスフィルタのスペクトルエッジにおいて運用され得る。１つの実施においては、バンドパスフィルタを通した振動ＲＣ回路からの送信出力は、静電容量の及び周波数の小さな変化を、振幅の比例的に非常に大きな変化へ変換する。この実施例は、米国特許第８４０５４０９号で説明されており、それはまた、そのような測定に関するノイズ及び応答時間の考察の検討も含んでいる。

【０００７】

ＲＣ回路を有する静電容量センサの制限は、回路が特定の加工ヘッドのためにカスタマイズされなければならず、且つ、小さな範囲の測定される静電容量における運用のために最適化されることである。一般に、加工ヘッドが取り換えられたとき、又は、ノズル部分だけが取り換えられたときでさえ、静電容量センサは無力となる。さらに、ＲＣ回路を用いた静電容量測定におけるノイズは、十分な精度の距離測定を獲得するための最小限の時間を課し、それによって、リアルタイム距離測定のための時間的な分解能を下げる。これは、環境的電気的ノイズ及びレーザ加工によって生み出されるノイズを含む。これらの欠損を克服することを意図した従来技術の回路設計は、概して、ダイナミックレンジ及び複雑性における妥協を要求する。

【０００８】

レーザ加工のための広範な加工ヘッド及びノズルを適応可能な、精密な非接触距離測定装置に対するニーズがある。装置は、レーザ加工のリアルタイム制御のための高速な距離測定が可能であるべきである。好ましくは、装置はノイズに耐性があり、幅広いダイナミックレンジを提供し、且つ、比較的単純で堅牢な設計を有する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００９】

【文献】米国特許第８４０５４０９号明細書
【発明の概要】
【課題を解決するための手段】
【００１０】
第１の側面において、本発明に従った、導電性のワークを加工するためのレーザ装置は、レーザ放射ビームを送達するレーザ源、及び、導電性の材料から作製されたハウジングを有する集光アセンブリを備える。集光アセンブリは、レーザ放射ビームを受け取るように位置づけられ、且つ配置される。集光アセンブリは、レーザ放射ビームを集光し、且つ、集光されたレーザ放射ビームをワークへ向けるように構成される。集光されたレーザ放射ビームは、導電性ハウジングの底面上のポートを通して現れる。第１の定電流源は、選択された一定の継続時間、第１の定電流を導電性ハウジングへ送達するように提供され、且つ配置される。電圧計は、導電性ハウジングと基準ノードとの間の電圧を測定するように提供され、且つ配置される。導電性ハウジングの底面及びワークの上面は、ギャップ距離によって隔てられている。一定の継続時間にわたる、測定される電圧の変化が、ギャップ距離を決定するために用いられる。
【００１１】
本発明の別の側面において、電気絶縁性のワークを加工するためのレーザ装置は、ワークを機械的に支持するように配置される上面を有する、導電性の平行移動ステージと、レーザ放射ビームを送達するレーザ源と、導電性の材料から作製されたハウジングを有する集光アセンブリとを備える。集光アセンブリは、レーザ放射ビームを受け取るように位置づけられ、且つ配置される。集光アセンブリは、レーザ放射ビームを集光し、且つ、集光されたレーザ放射ビームをワークへ向けるように構成される。集光されたレーザ放射ビームは、導電性ハウジングの底面上のポートを通して現れる。第１の定電流源は、選択された一定の継続時間、第１の定電流を導電性ハウジングへ送達するように提供され、且つ配置される。電圧計は、導電性ハウジングと基準ノードとの間の電圧を測定するように提供され、且つ配置される。導電性ハウジングの底面及び平行移動ステージの上面は、ギャップ距離によって隔てられている。一定の継続時間にわたる、測定される電圧の変化が、ギャップ距離を決定するために用いられる。
本発明は、例えば、以下を提供する。
（項目１）
導電性のワークを加工するためのレーザ装置であって、前記装置は、
レーザ放射ビームを送達するレーザ源と、
導電性の材料から作製されたハウジングを有する集光アセンブリと、
選択された一定の継続時間の間、第１の定電流を前記導電性ハウジングへ送達するように配置される第１の定電流源と、
前記導電性ハウジングと基準ノードとの間の電圧を測定するように配置される電圧計と
を備え、前記集光アセンブリは、前記レーザ放射ビームを受け取るように位置付けられ且つ配置され、前記レーザ放射ビームを集光し、且つ、前記集光されたレーザ放射ビームを前記ワークへ向けるように構成され、前記集光されたレーザ放射ビームは、前記導電性ハウジングの底面上のポートを通して現れ、
前記導電性ハウジングの前記底面及び前記ワークの上面は、ギャップ距離によって隔てられ、前記一定の継続時間にわたる、測定される電圧の変化が、前記ギャップ距離を決定するために用いられる、装置。
（項目２）
前記一定の継続時間の間、前記導電性ハウジングへ送達される前記第１の定電流は、前記導電性ハウジングに蓄積するための、前記ギャップ距離に依存しない一定の電荷をもたらす、項目１に記載のレーザ装置。
（項目３）
前記ギャップ距離は、前記一定の継続時間にわたる、測定される電圧の変化に比例する、項目１に記載のレーザ装置。

（項目４）
レーザ放射ビームの焦点とワークとの間の距離は、前記ギャップ距離から決定される、項目１に記載のレーザ装置。
（項目５）
前記定電流源は、Ｈｏｗｌａｎｄ電流ポンプである、項目１に記載のレーザ装置。
（項目６）
前記基準ノードは前記ワークであり、前記電圧計は、前記導電性ハウジングと前記ワークとの間との電圧を測定する、項目１に記載のレーザ装置。
（項目７）
第２の定電流源及び零のコンデンサをさらに含み、前記零のコンデンサの第１端は前記ワークへ電気的に接続され、前記第２の定電流源は、第２の定電流を前記零のコンデンサの第２端へ送達する、項目１に記載のレーザ装置。
（項目８）
前記基準ノードは前記零のコンデンサの前記第２端であり、前記電圧計は、前記導電性ハウジングと前記零のコンデンサの前記第２端との間の電圧を測定する、項目７に記載のレーザ装置。
（項目９）
前記導電性ハウジング及び前記ワークは、前記ギャップ距離に依存しないバックグラウンド静電容量を有する、項目８に記載のレーザ装置。
（項目１０）
前記第２の定電流は、前記第１の定電流が前記バックグラウンド静電容量に蓄積する電荷をもたらすのと同じ割合で、前記零のコンデンサに蓄積する電荷をもたらすようにセットされる、項目９に記載のレーザ装置。
（項目１１）
前記一定の継続時間は、約１マイクロ秒から約１０００マイクロ秒の範囲にある、項目１に記載のレーザ装置。
（項目１２）
前記第１の定電流は、約１マイクロアンペアから約１００マイクロアンペアの範囲にある、項目１に記載のレーザ装置。
（項目１３）
コントローラをさらに含み、最適距離を維持するために、前記コントローラが前記測定される電圧の変化から決定されるギャップ信号を用いることによって、閉ループ方法で加工が制御される、項目１に記載のレーザ装置。
（項目１４）
コントローラをさらに含み、予め決められた距離プロファイルに従うように、前記コントローラが前記測定される電圧の変化から決定されるギャップ信号を用いることによって、閉ループ方法で加工が制御される、項目１に記載のレーザ装置。
（項目１５）
電気絶縁性のワークを加工するためのレーザ装置であって、前記装置は、
前記ワークを機械的に支持するように配置された上面を有する、導電性の平行移動ステージと、
レーザ放射ビームを送達するレーザ源と、
導電性の材料から作製されたハウジングを有する集光アセンブリと、
選択された一定の継続時間の間、第１の定電流を前記導電性ハウジングへ送達するように配置される第１の定電流源と、
前記導電性ハウジングと基準ノードとの間の電圧を測定するように配置される電圧計と
を備え、前記集光アセンブリは、前記レーザ放射ビームを受け取るように位置付けられ且つ配置され、前記レーザ放射ビームを集光し、且つ、前記ワークへ前記集光されたレーザ放射ビームを向けるように構成され、前記集光されたレーザ放射ビームは、前記導電性ハウジングの底面上のポートを通して現れ、

前記導電性ハウジングの前記底面及び前記平行移動ステージの前記上面は、ギャップ距離によって隔てられ、前記一定の継続時間にわたる、測定される電圧の変化が前記ギャップ距離を決定するために用いられる、装置。

（項目１６）

前記一定の継続時間の間、前記導電性ハウジングへ送達される前記第１の定電流は、前記導電性ハウジングに蓄積するための、前記ギャップ距離に依存しない一定の電荷をもたらす、項目１５に記載のレーザ装置。

（項目１７）

前記ギャップ距離は、前記一定の継続時間にわたる、測定される電圧の変化に比例する、項目１５に記載のレーザ装置。

（項目１８）

前記基準ノードは前記ワークであり、前記電圧計は、前記導電性ハウジングと前記ワークとの間との電圧を測定する、項目１５に記載のレーザ装置。

（項目１９）

第２の定電流源及び零のコンデンサをさらに含み、前記零のコンデンサの第１端は前記ワークへ電気的に接続され、前記第２の定電流源は、第２の定電流を前記零のコンデンサの第２端へ送達する、項目１５に記載のレーザ装置。

（項目２０）

前記基準ノードは前記零のコンデンサの前記第２端であり、前記電圧計は、前記導電性ハウジングと前記零のコンデンサの前記第２端との間の電圧を測定する、項目１９に記載のレーザ装置。

（項目２１）

前記導電性ハウジング及び前記ワークは、前記ギャップ距離に依存しないバックグラウンド静電容量を有する、項目２０に記載のレーザ装置。

（項目２２）

前記第２の定電流は、前記第１の定電流が前記バックグラウンド静電容量に蓄積するための電荷をもたらすのと同じ割合で、前記零のコンデンサに蓄積するための電荷をもたらすようにセットされる、項目２１に記載のレーザ装置。

（項目２３）

コントローラをさらに含み、最適距離を維持するために、前記コントローラが前記測定される電圧の変化から決定されるギャップ信号を用いることによって、閉ループ方法で加工が制御される、項目１５に記載のレーザ装置。

（項目２４）

コントローラをさらに含み、予め決められた距離プロファイルに従うように、前記コントローラが前記測定される電圧の変化から決定されるギャップ信号を用いることによって、閉ループ方法で加工が制御される、項目１５に記載のレーザ装置。

【図面の簡単な説明】

【００１２】

図面の簡単な説明

本明細書に統合され、その一部分を構成する付随の図面は、本発明の好ましい実施形態を概略的に例示し、上記の概略的な説明及び下記の好ましい実施形態の詳細な説明と共に、本発明の本質を説明するために供する。

【００１３】

【図１】図１は、レーザ放射ビームを生み出すレーザ源、レーザ放射ビームを集光する集光アセンブリ、及び、集光アセンブリを充電する定電流を提供する定電流源を含む、導電性のワークをレーザ加工するための、本発明に従ったレーザ装置の１の好ましい実施形態を概略的に例示する。

【００１４】

【図２】図２は、ワークの上面と集光アセンブリの底面との間に形成された静電容量センサの電気的特性を含む、図１のレーザ加工装置のさらなる詳細を概略的に例示する。

【００１５】
【図３】図３は、静電容量センサ及び別の定電流源によって充電される零のコンデンサを含む、図１及び図２のレーザ加工装置内の電気素子を概略的に例示する、回路図である。
【００１６】
【図４】図４Ａ、図４Ｂ、図４Ｃ、図４Ｄ、図４Ｅ及び図４Ｆは、図１及び図２のレーザ加工装置におけるギャップ距離に比例するギャップ信号を決定するための機構を概略的に例示する、タイミング図を形成する。
【００１７】
【図５Ａ】図５Ａは、図３の電気素子を含む図１及び図２のレーザ加工装置において、異なるバックグウランド静電容量の値について、ギャップ電圧をギャップ静電容量の関数として概略的に例示するグラフである。
【００１８】
【図５Ｂ】図５Ｂは、図３の零のコンデンサを含まない図１及び図２のレーザ加工装置において、異なるバックグラウンド静電容量の値について、ギャップ電圧をギャップ静電容量の関数として概略的に例示するグラフである。
【００１９】
【図５Ｃ】図５Ｃは、従来技術のレーザ加工装置において、異なるバックグラウンド静電容量の値について、ギャップ電圧をギャップ静電容量の関数として概略的に例示するグラフである。
【００２０】
【図６】図６は、図１及び図２の実施形態と同様であるが、電気絶縁性のワークをレーザ加工するための、本発明に従ったレーザ装置の別の好ましい実施形態の詳細を概略的に例示する。
【発明を実施するための形態】
【００２１】
本発明の詳細な説明
　類似の構成要素は類似の数字によって指定される図面を参照して、図１は、ワーク１２をレーザ加工するための、本発明に従ったレーザ装置の１の好ましい実施形態１０を概略的に例示する。装置１０は、レーザ放射ビーム１６ａを生み出すレーザ源１４を備える。（波長、パルス幅、及び平均出力などの）レーザ放射ビーム１６ａの性質は、ワーク１２のレーザ加工を最適化するように選択される。レーザ放射ビーム１６ａは、光軸を表す破線、周縁の光線を表す１組の実線、及び伝播方向を指し示す矢印によって描写される。
【００２２】
　随意の反射鏡１８は、レーザ放射ビーム１６ａを遮断し、且つ、導くように配置される。随意のビームエキスパンダー２０は、導かれたレーザ放射ビーム１６ａを遮断し、且つ、より大きなビーム径を有する、伸長されたレーザ放射ビーム１６ｂを形成するように配置される。集光アセンブリ２２は、伸長されたレーザ放射ビーム１６ｂを遮断し、且つ、焦点２４を有する集光されたレーザ放射ビーム１６ｃを形成するように配置され、焦点２４は、ワーク１２の上面２６から距離ｄに位置する。集光アセンブリ２２は、レーザ放射ビームを集光するレンズを含む。このレンズは、ワークのレーザ加工を最適化するように選択されるが、それは、単純な単一要素レンズから複雑な複数要素の対物レンズまでの範囲にわたり得る。例えば、「Ｆθ対物レンズ」は、レンズから固定された距離に位置づけられる平らな焦点面に、焦点２４を位置づける。
【００２３】
　集光アセンブリ２２は、レンズを部分的に又は完全に囲む、導電性の材料から作製された外面のハウジングを含む。集光されたレーザ放射ビーム１６ｃは、導電性ハウジングの底面２８上のポートを通して現れ、そのポートは、加工ガスを送達する加工ヘッド中のノズルの底面であり得る。「上」及び「底」などの語は、説明の利便性のために本明細書で用いられるが、使用におけるレーザ加工装置の空間的な向きを限定することを意味しない。集光アセンブリ２２は、集光アセンブリとワークとの間に位置づけられる体積へ加工ガ

スを送達するためのノズル及び内部のハードウェアをさらに含み得る。集光アセンブリ２２は、レーザ加工を促進する他の便利な特徴を含む、市販の加工ヘッドであり得る。

【００２４】

ワーク１２は、平行移動ステージ３０によって支持され、且つ、平行移動ステージ３０によって空間的に位置づけられる。平行移動ステージ３０は、導電性の材料から作製され、アースへ電気的に接続される。本明細書において、平行移動ステージとは、ワークを支持する任意の導電性の構造を意味する。ワーク１２もまた、導電性の材料から作製され、平行移動ステージ３０へ電気的に接続される。集光アセンブリ２２は、ワークから、及び、平行移動ステージから、電気的に絶縁されている。

【００２５】

集光アセンブリ２２の底面２８及びワーク１２の上面２６は、「ギャップ距離」Ｄによって隔てられている。集光されたレーザ放射ビーム１６ｃの光軸に沿った、集光アセンブリ２２のワーク１２に対する動きは、ベクトルＭによって指し示され、ギャップ距離Ｄを変化させる。この軸に沿った動きは、集光アセンブリ２２を動かすことによって、又は、平行移動ステージ３０及びその上のワーク１２を動かすことによって、達成され得る。横方向の動きは、平行移動ステージ３０及びその上のワーク１２を動かすことによって、達成される。

【００２６】

底面２８と焦点２４との間の距離は固定され、又は別様に既知であるため、焦点２４と上面２６との間の距離ｄは、ギャップ距離Ｄを測定することによって決定される。レーザ加工がワーク１２から材料を取り去っているときには、距離ｄは負になり得ることに留意すべきである。静電容量センサは、上面２６と底面２８との間に形成される。ほとんどの用途においては、上面２６は底面２８よりも非常に大きな面積を有している。これらの用途において、適した近似として、ギャップ距離Ｄにわたる「ギャップ静電容量」C_Gは、特定の集光アセンブリの底面の面積Ａのみに依存する。空気及び一般的に用いられる加工ガスのいずれも、１．００から１．０１の間の値である誘電率ｋを有している。平行な極板のコンデンサの静電容量についての式を用いて、一度ギャップセンサが特定の集光アセンブリのために較正されると、ギャップ静電容量C_Gはギャップ距離Ｄにのみ依存する。

【数１】

$$C_G \approx \frac{k.\varepsilon_0.A}{D} \approx \frac{\varepsilon_o.A}{D} \propto \frac{1}{D} \ . \qquad (1)$$

【００２７】

上面２６を含むワーク１２は、アース電位V_0にある。底面２８を含む集光アセンブリ２２の導電性ハウジングは、電位V_1にある。電圧計３２は、導電性ハウジングと基準ノードとの間に電気的に接続される。ここで、基準ノードはワークであり、それによって電圧計３２は導電性ハウジングとワークとの間の「ギャップ電圧」$V_1 - V_0$を測定する。定電流源３４は、集光アセンブリ２２へ電気的に接続され、定電流I_1を提供する。ある継続時間にわたって、定電流源３４は、電荷を、集光アセンブリ２２の導電性ハウジングに線形的に蓄積させる。定電流源３４が、選択された一定の継続時間T_0の間運用されるたびに、ギャップ距離Ｄによらず一定の電荷Q_0が蓄積する。

【００２８】

一定の電荷Q_0が、「ギャップ静電容量」C_Gを有する静電容量センサに蓄積することよってもたらされる、ギャップ電圧の変化ΔＶを測定することで、ギャップ距離Ｄを決定するための距離計測が完成される。

【数２】

$$Q_o = I_1.T_o = \Delta V.C_G \ . \qquad (2)$$

式（１）及び式（２）を組み合わせると、ギャップ距離Ｄは、定電流源３４が運用されている一定の継続時間Ｔ$_0$にわたるギャップ電圧の変化ΔＶに比例する。
【数３】

$$D \propto \frac{1}{C_G} = \frac{\Delta V}{Q_o} \propto \Delta V \ . \qquad (3)$$

最も単純な実施においては、既知のギャップ距離Ｄにセットしたときのギャップ電圧の変化ΔＶを測定することによって、静電容量センサが較正され得る。
【００２９】
図２は、本発明に従ったレーザ加工装置１０のさらなる詳細を、概略的に例示する。ワーク１２、集光アセンブリ２２及び平行移動ステージ３０は、それらが導電性であることを指し示すために、斜線が施されている。集光されたレーザ放射ビーム１６ｃは、例示の明確性のために図面から省かれている。Ｒ１は、上面２６と底面２８との間の電気抵抗を表す。一般的に、空気及び加工ガスは、特にレーザ加工がこれらのガスのイオン化をもたらすときには、完璧な電気絶縁体ではない。加工中にワーク１２から放出される材料はまた、ギャップにわたるいくつかの電荷の漏れをもたらし得る。ワーク１２と集光アセンブリ２２との間の電荷の漏れにとっての、他の二次的な経路は、綿密な設計により最小化され得、これによって、電気抵抗Ｒ１が無視できるようになる。
【００３０】
反対に、集光アセンブリ２２の導電性ハウジング及びワーク１２の、バックグラウンド静電容量又は「漂遊静電容量」Ｃ１は、静電容量センサの分解能を制限するために十分重要である。すべて導電性の部分、及び、上面２６及び底面２８の近くに位置する電気ケーブルは、バックグラウンド静電容量Ｃ１に寄与し、Ｃ１はギャップ距離Ｄに関係がない。典型的なレーザ加工装置において、Ｃ１は、１０ｐＦ（ピコファラド）から１０００ｐＦまでの値をとり得、特に加工ヘッドの設計に依存する。Ｃ$_G$、Ｒ１及びＣ１は共に、静電容量センサの総計の電気インピーダンスＺ１である。それらは個々には、実際的な電気的構成要素ではないが、むしろ、静電容量センサの電気的特性を表す。
【００３１】
図３は、レーザ加工装置１０内の電気素子の好ましい選択及び配置を概略的に例示する回路図である。回路は、上述の静電容量センサのインピーダンスＺ１を含む。別の定電流源３６は、定電流Ｉ$_2$を供給することによって、「零のコンデンサ」Ｃ２を充電するように配置される。零のコンデンサＣ２の第１の端は、ワーク１２へ電気的に接続され、アース電位Ｖ$_0$にある。零のコンデンサＣ２の第２の端は、定電流源３６へ電気的に接続され、電位Ｖ$_2$にある。定電流源３４は、基準電位Ｖ$_R$へ直接的に接続される。定電流源３６は、電位差計Ｒ２を通して基準電位Ｖ$_R$へ接続され、電位差計Ｒ２は、好ましくはデジタル電位差計である。定電流源３６の基準電位は、電位差計Ｒ２を調整することにより、Ｖ$_R$より小さくセットされ得、それによって、定電流Ｉ$_2$を調整する。
【００３２】
定電流源３４及び３６のための典型的な回路は、Ｈｏｗｌａｎｄ電流ポンプであり、Ｔｅｘａｓ Ｉｎｓｔｒｕｍｅｎｔｓ Ａｐｐｌｉｃａｔｉｏｎ Ｒｅｐｏｒｔ ＳＮＯＡ４７４Ａ，Ｒｅｖｉｓｅｄ Ａｐｒｉｌ ２０１３，「Ａ Ｃｏｍｐｒｅｈｅｎｓｉｖｅ Ｓｔｕｄｙ ｏｆ ｔｈｅ Ｈｏｗｌａｎｄ Ｃｕｒｒｅｎｔ Ｐｕｍｐ」において、詳細に説明されている。定電流源は、良く知られた電子設計技術であり、そのさらなる説明は、本発明の本質を理解するためには必要ではない。
【００３３】
また、電圧計は、導電性ハウジングと基準ノードとの間に、電気的に接続される。ここで、基準ノードは、零のコンデンサＣ２の第２の端であり、電圧計は、差動増幅器３８である。差動増幅器３８は、静電容量センサ及び零のコンデンサの両方にわたる電圧Ｖ$_2$－Ｖ$_1$に比例する、増幅された電圧Ｖ$_3$を生ずる。定電流Ｉ$_1$がバックグラウンド静電容量

Ｃ１を充電する割合と同一の割合で、零のコンデンサＣ２を充電するように、定電流Ｉ$_2$はセットされる。それによって、バックグラウンド静電容量Ｃ１は零にされ、差動増幅器３８は、ギャップ静電容量Ｃ$_G$を充電する定電流Ｉ$_1$によって生ずる電圧Ｖ$_2$－Ｖ$_1$の成分だけを効果的に増幅する。

【００３４】

静電容量センサＺ１にわたって接続されるスイッチＳＷ１は、必要なときに静電容量センサが放電されることを可能とする。零のコンデンサＣ２にわたって接続されるもう１つのスイッチＳＷ２は、必要なときに零のコンデンサが放電されることを可能とする。スイッチＳＷ１及びＳＷ２は、好ましくは、デジタル制御されたスイッチである。

【００３５】

バックグランド静電容量Ｃ１が適切に零にされるように、定電流Ｉ$_2$を調整する単純な方法は、レーザ加工中に用いられるいかなるギャップ距離よりも非常に大きいギャップ距離Ｄをセットするように、ワーク１２と集光アセンブリ２２とを隔てることである。式（１）は、ギャップ静電容量Ｃ$_G$が小さくなることを示しており、従って、静電容量センサＺ１のインピーダンスは、およそバックグラウンド静電容量Ｃ１となる。スイッチＳＷ１及びスイッチＳＷ２を開けることは、静電容量センサＺ１及び零のコンデンサＣ２の充電を開始させる。適切に零にされるとき、それらは同一の割合で充電し、従って、電位Ｖ$_1$は、電位Ｖ$_2$にほぼ等しくなり、増幅された電位Ｖ$_3$はおよそ０Ｖになる。電位差計Ｒ２は、この状況が達成されるまで調整される。

【００３６】

差動増幅器３８は、サンプルホールド回路４０へ接続される。サンプルホールド回路４０は、増幅された電圧Ｖ$_3$を受け取り、出力電圧Ｖ$_4$を提供する。サンプルホールド回路４０は、コントローラ４２へ接続され、コントローラ４２は出力電圧Ｖ$_4$を測定する。コントローラ４２は、サンプルホールド回路４０へ制御信号Ｖ$_T$を提供し、且つ、電位差計Ｒ２をセットするために用いられる「零にする電圧」Ｖ$_N$を提供する。コントローラ４２はまた、ギャップ距離Ｄに比例する出力「ギャップ信号」Ｖ$_G$も提供する。

【００３７】

コントローラ４２は、複数の電気部品、多目的のマイクロコントローラ集積回路（ＩＣ）、又は、フィールドプログラマブルゲートアレイ（ＦＰＧＡ）デバイスを有する、カスタマイズされた電子回路であり得る。差動増幅器３８及びサンプルホールド回路４０は、コントローラ４２内へ統合され得る。回路図及び上で提供された説明から、当業者は、本発明の意図及び範囲から出ずに、これらの測定を実施し、且つ、回路の機能を制御するための代替となる方法を認識し得る。基本的な実施において、ギャップ信号Ｖ$_G$は、アナログからデジタルへのコンバータチャネルを通して測定される出力電圧Ｖ$_4$であり得る。いくつかの追加の処理によって、ギャップ信号Ｖ$_G$は、マイクロメートル単位で較正されたギャップ距離Ｄのデジタル信号であり得る。

【００３８】

図４Ａから図４Ｆは、図１から図３の静電容量センサを用いてギャップ信号Ｖ$_G$を決定するための、典型的な機構を概略的に例示するタイミング図を形成する。この例は、静電容量センサが、上述のように較正され、且つ零にされているものと仮定する。この例において、測定及び制御は、集光アセンブリ２２のワーク１２に対する動きと同時である。また、例示する目的のために、動き及び測定は、比較的高いデューティーサイクルで起きている。

【００３９】

図４Ａは、時間の関数としてギャップ距離Ｄを描写する。ここで、ギャップ距離ＤがＤ$_\alpha$、Ｄ$_\beta$、及びＤ$_\gamma$の３つの値の間を行くように、集光アセンブリ２２が動かされる。図４Ｂは、時間の関数として制御信号Ｖ$_T$を描写する。ここで、スイッチＳＷ１及びスイッチＳＷ２は、Ｖ$_T$が高いときは開いており、Ｖ$_T$が低いときは閉じている。一定の継続時間Ｔ$_0$の間、静電容量センサ及び零のコンデンサの充電を可能とするために、ＳＷ１及びＳＷ２が開く。図４Ｃは、時間の関数として電位Ｖ$_1$を描写する。図４Ｄは、時間の関数

として、差動増幅器３８からの増幅された電圧Ｖ３を描写する。図４Ｅは、時間の関数として、サンプルホールド回路４０からの出力電圧Ｖ４を描写する。制御信号Ｖ$_T$が高くなることは、継続的なサンプリングの引き金となり、Ｖ$_T$が低くなることは、ホールディングの引き金となる。図４Ｆは、時間の関数としてギャップ信号Ｖ$_G$を描写する。制御信号Ｖ$_T$が低くなった後、及び、応答時間のＴ$_R$後、ギャップ信号Ｖ$_G$は、出力電圧Ｖ４から決定される新しい値へ変化する。

【００４０】

帯域幅の高い距離計測に対しては、距離を頻繁に測定する性能を予定して、短い一定の継続時間Ｔ$_0$が好ましい。式（２）は、短い一定の継続時間Ｔ$_0$が、高い定電流Ｉ$_1$を要求することを示す。しかし、より高い充電電流は、より大きな磁場を誘導し、ひいては、磁場が電気的ノイズを誘導する。従って、計測帯域幅と測定ノイズとの間のいくらかの妥協がある。一定の継続時間Ｔ$_0$は、好ましくは、約１μｓ（マイクロ秒）から約１０００μｓの範囲にあり、最も好ましいのは約２０μｓである。定電流Ｉ$_1$は、好ましくは、約１μＡ（マイクロアンペア）から約１００μＡの範囲にあり、最も好ましいのは約１０μＡである。応答時間Ｔ$_R$は、コントローラ４２の速度によって制限され、好ましくは、約５μｓ未満であり、最も好ましいのは、約１μｓ未満である。

【００４１】

図５Ａは、レーザ加工装置１０の１つの実施例において、異なるバックグウランド静電容量Ｃ１の値について、計算される電圧Ｖ$_2$－Ｖ$_1$を、ギャップ静電容量Ｃ$_G$の関数として概略的に例示するグラフである。描写された例において、集光アセンブリ２２の底面２８は、０．９ｍｍ（ミリメートル）の内径及び１．５ｍｍの外径を有している環状の形状を有している。０．０１ｐＦから１０ｐＦの描写された範囲のギャップ静電容量Ｃ$_G$は、１ｍｍから０．００１ｍｍの範囲のギャップ距離Ｄに対応する。

【００４２】

バックグラウンド静電容量Ｃ１を零にすることの利点は、より大きなギャップ距離Ｄに対応する、より小さなギャップ静電容量Ｃ$_G$に対して、電圧Ｖ$_2$－Ｖ$_1$が、広範なバックグラウンド静電容量Ｃ１にわたって共通の値に調整され得ることである。ここで、共通の値は、約０Ｖ（ボルト）に都合よく選択される。レーザ加工の用途において、Ｃ１の大きな変化は、例えば、加工ヘッドに変化があるときに起こる。１００００ｐＦのＣ１の値は非現実的に高いが、図５Ａは、そのような大きいバックグラウンド静電容量も、本発明の回路によって取り扱われ得ることを例示する。

【００４３】

図５Ｂは、図３の回路がバックグラウンド静電容量Ｃ１を零にするために用いられていないことを除いて図５Ａと同一のレーザ加工装置を用いて、計算されるギャップ電圧Ｖ$_1$－Ｖ$_0$を、ギャップ静電容量Ｃ$_G$の関数として概略的に例示するグラフである。その代わりに、ギャップ電圧Ｖ$_1$－Ｖ$_0$は、図１において描写される電圧計３２を用いて簡単に測定される。大きなバックグラウンド静電容量Ｃ１は、ギャップ静電容量Ｃ$_G$を圧倒し、これによって、ギャップ距離Ｄの大きな変化が、ギャップ電圧Ｖ$_1$－Ｖ$_0$の比較的小さな変化を生ずる。それに対応して、静電容量センサの分解能は制限される。図５Ａ及び図５Ｂは合わせて、バックグラウンド静電容量Ｃ１を零にすることを含む利点が、距離計測におけるより大きなダイナミックレンジであり、広範なバックグラウンド静電容量Ｃ１を適応させることであるということを例示する。

【００４４】

図５Ｃは、Ｖ$_1$－Ｖ$_0$と同等の計算されるギャップ電圧を、ギャップ静電容量Ｃ$_G$の関数として概略的に例示するグラフである。計算は、１００ｐＦのバックグラウンド静電容量Ｃ１を適応させるように調整されたＲＣ回路及びバンドパスフィルタを有する、同等の従来技術の静電容量センサをモデル化する。加工ヘッドの底面の形状および寸法は、図５Ａ及び図５Ｂと同一である。ＲＣ回路は、描写されたギャップ静電容量の範囲において、２ＭＨｚ（メガヘルツ）未満で振動するように調整されている。モデルにおいて、ＲＣ回路からの無線周波数（ＲＦ）出力は、７次の６５０ｋＨｚ（キロヘルツ）線形位相ローパ

スフィルタを通してフィルタリングされる。フィルタリングされたＲＦ出力の振幅は、ＲＦパワー検出器によって測定される。図５Ａの本発明の静電容量センサに比べて、従来技術の静電容量センサは、非常に小さなダイナミックレンジを有し、標的となるバックグラウンド静電容量Ｃ１は１００ｐＦである。この例において、従来技術の静電容量センサは、約０．００１mmから０．１mmの小さな距離範囲においてのみ用いられ、且つ、標的となる１００ｐＦのバックグラウンド静電容量の周囲においてのみ用いられる。

【００４５】

図６は、本発明に従った、レーザ加工装置５０の別の実施形態の詳細を概略的に例示する。装置５０は、ワーク１２が、誘電率ｋ’を有する電気絶縁性の材料から作製されることを除いて、図１及び図２の装置１０と同様である。静電容量センサは、平行移動ステージ３０の上面５２と集光アセンブリ２２の底面２８との間に形成される。上面５２と底面２８との間のギャップ距離Ｄ’は、再び、上述した方法で、一定の継続時間T_0の間定電流Ｉ１を適用したときの、ギャップ電圧の変化ΔＶを測定することにより決定される。しかし、ギャップ距離Ｄ’を計算するときは、誘電率ｋ’及びワーク１２の厚さｔ’が考慮されなければならない。今度は、ギャップ距離Ｄ’が、図１に描写された焦点２４とワーク１２の上面２６との間のギャップ距離ｄを決定する。図３の好ましい回路、及び、図４の典型的な測定及び制御の機構は、レーザ加工装置５０にとって同一の利点を提供する。

【００４６】

図３へ戻ると、Ｈｏｗｌａｎｄ電流ポンプなどの定電流源は、静電容量距離計測中の測定ノイズを最小化することにおける利点を有している。漂遊電流は、集光アセンブリ及び平行移動ステージへ接続される電気ケーブルに誘導され得、その電気ケーブルは、静電容量センサの電気ケーブル、又は静電容量センサと接する任意の導電性部分を含む。漂遊電流は、従来技術の静電容量センサにおける電気的ノイズ及び測定の不確実性の主な原因である。好ましい回路における、定電流源３４及び定電流源３６は、十分な動作インピーダンスを有すると仮定すると、定電流源が、比例的により大きい又はより小さい電流を提供することによって、電位V_1又は電位V_2の素子に誘導される漂遊電流が自動的に補われる。

【００４７】

図３の回路は、例えば２つのＨｏｗｌａｎｄ電流ポンプといった、２つの分離した構成要素として、定電流源３４及び定電流源３６を描写する。電子設計の当業者は、本発明の意図及び範囲から出ることなく、ただ１つのＨｏｗｌａｎｄ電流ポンプ及び分流器を用いることによって、２つの定電流源が実現され得ると認識するだろう。零のコンデンサＣ２にわたって接続される電位差計は、定電流I_1に対するI_2の調整を提供し得、それによって、上述の方法でバックグラウンド静電容量Ｃ１を零にすることができ得る。

【００４８】

一度本発明のレーザ加工装置が零にされ、且つ、較正されると、レーザ加工は、閉ループ方法で制御され得、それによって、コントローラ４２又はより高度なコントローラが、フィードバックとしてのギャップ信号を用いて、要求される距離Ｄ、距離Ｄ’又は距離ｄへレーザ加工装置をセットする。溶接する用途において、レーザ加工装置は、閉ループ制御を用いて一定の最適距離に維持され得、又は、ワークを所望の形に機械加工するために、予め決められた距離プロファイルに従うようにプログラムされ得る。レーザ加工装置は、自動加工の間、必要に応じて再び零にされ得、再び較正され得る。例えば、それぞれの新たなワークを加工する際の第１段階である。閉ループ制御の一般的な原理は、電子工学及びレーザ材料加工の技術においてよく知られている。ここでのさらなる説明は、本発明の本質を理解するためには必要ではない。

【００４９】

本発明は、好ましい実施形態及び他の実施形態によって、上述される。しかし、本発明は、本明細書で説明され、描写された実施形態に限定されない。むしろ、本発明は、この後に添えられる請求項によってのみ限定される。

【図面】

【図１】

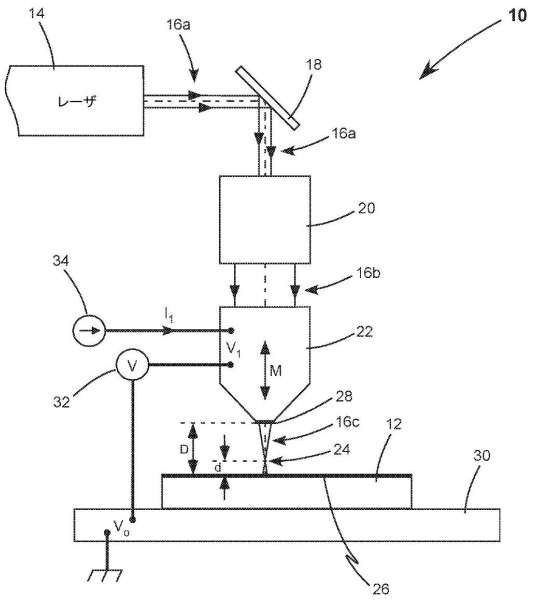


FIG. 1

【図２】

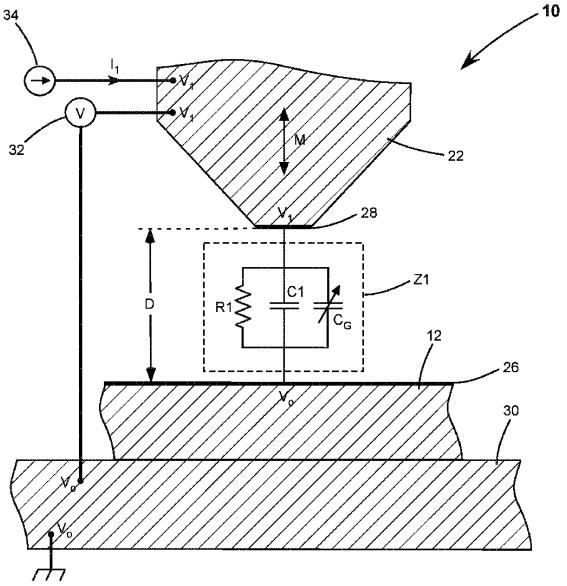


FIG. 2

【図３】

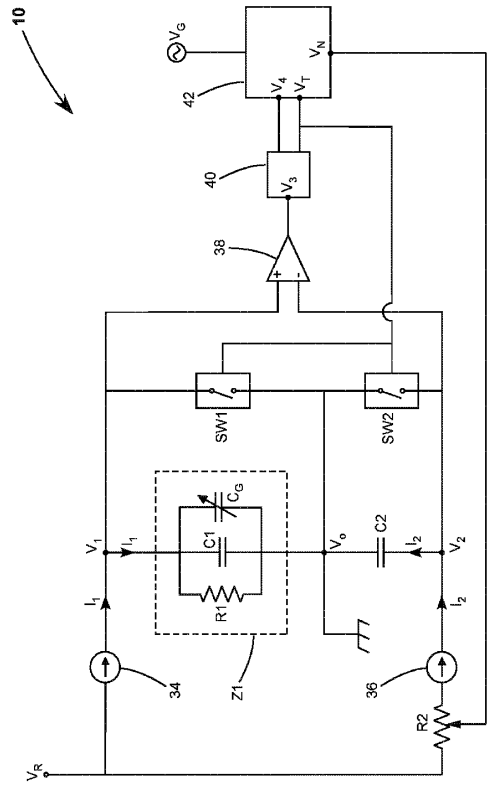


FIG. 3

【図４】

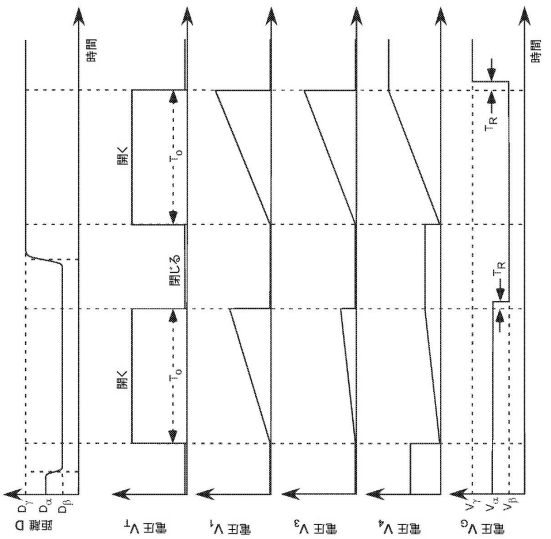


FIG. 4A FIG. 4B FIG. 4C FIG. 4D FIG. 4E FIG. 4F

【図５Ａ】

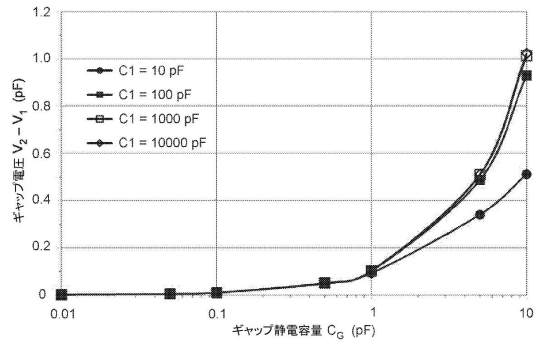


FIG. 5A

【図５Ｂ】

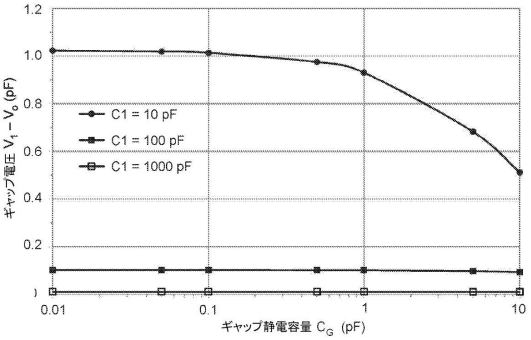


FIG. 5B

【図５Ｃ】

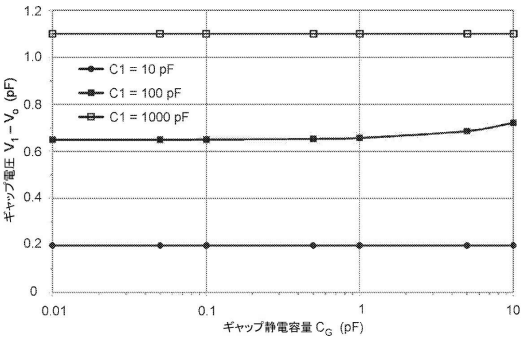


FIG. 5C
（従来技術）

【図６】

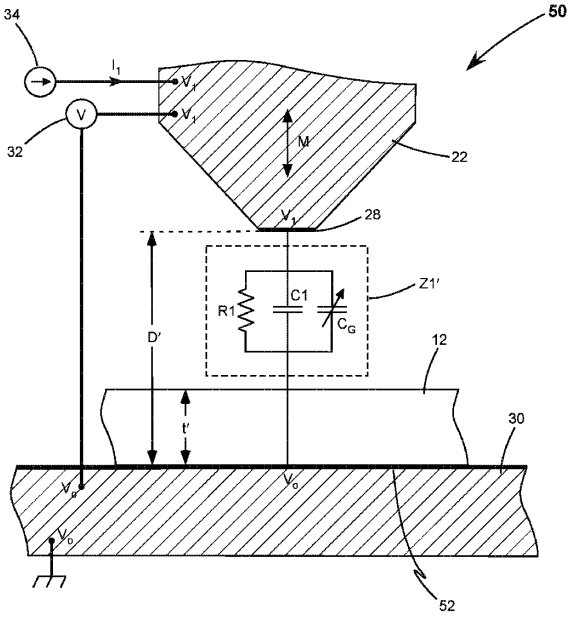


FIG. 6

フロントページの続き

(72)発明者　ジェフェリーズ， キース
アメリカ合衆国 カリフォルニア ９５０５４， サンタ クララ， パトリック ヘンリー ドライブ ５１００， コヒレント， インコーポレイテッド， パテント デパートメント 気付

審査官　柏原 郁昭

(56)参考文献　特開平１０－７６３８４（ＪＰ，Ａ）
特開昭６２－８９５９２（ＪＰ，Ａ）
特開２０１３－１４６７３４（ＪＰ，Ａ）
特開平３－２２１２８５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｂ２３Ｋ　２６／００ － ２６／７０