

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載
 【部門区分】第 6 部門第 1 区分
 【発行日】平成22年9月2日 (2010.9.2)

【公表番号】特表2009-544038(P2009-544038A)
 【公表日】平成21年12月10日 (2009.12.10)
 【年通号数】公開・登録公報2009-049
 【出願番号】特願2009-520815(P2009-520815)
 【国際特許分類】

G 0 1 N 29/00 (2006.01)

【 F I 】

G 0 1 N 29/00 5 0 1

【手続補正書】

【提出日】平成22年7月15日 (2010.7.15)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

遠隔目標における超音波表面変位を検出するための方法であって、
 前記遠隔目標の表面に超音波変位を発生させるステップと、
 ダイオード励起ファイバー・レーザーを使って検出用レーザー・ビームを発生させるステップと、
 前記検出用レーザー・ビームを前記遠隔目標の前記表面へ向けるステップと、
 位相変調光を生成するために、前記検出用レーザー・ビームを前記表面における前記超音波表面変位で散乱させるステップと、
 前記位相変調光を集めるステップと、
 前記表面における前記超音波表面変位を表すデータを得るために、前記位相変調光を処理するステップと、
 前記遠隔目標内の構造を分析するために、情報を持つ前記データを集めるステップとを含む方法。

【請求項 2】

前記遠隔目標の表面に超音波変位を発生させるステップが、前記遠隔目標の表面の一部を照射するために、発生用レーザー・ビームを向けるステップをさらに含み、前記超音波表面変位が、前記遠隔目標の前記表面の前記照射された部分内に生じる、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記遠隔目標の構造的完全性を評価するために、前記データを処理するステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記検出用レーザー・ビームを発生させるステップが、
 主発振器を使って種レーザー・ビームを発生させるステップと、
 少なくとも 1 つのダイオード励起レーザー増幅器を使って前記種レーザー・ビームを増幅するステップとをさらに含み、
 少なくとも前記主発振器又は前記少なくとも 1 つのダイオード励起レーザー増幅器が、ダイオード励起ファイバー・レーザーを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器を使って前記種レーザー・ビームを増幅するステップが、少なくとも2つの並列ダイオード励起レーザー増幅器を使って前記種レーザーを増幅するステップをさらに含み、前記少なくとも2つの並列ダイオード励起レーザー増幅器の出力が単一光ファイバー内で組み合わせられる、請求項4に記載の方法。

【請求項6】

前記主発振器及び/又は前記少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器が、約1000nmの波長で放射を生成する働きをするイッテルビウム添加ファイバーを含む、請求項4に記載の方法。

【請求項7】

前記主発振器及び/又は前記少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器が、約1550nmの波長で放射を生成する働きをするエルビウム添加又は共添加ファイバーを含む、請求項4に記載の方法。

【請求項8】

少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器を使って前記種レーザー・ビームを増幅するステップが、

ダイオード励起レーザー前置増幅器を使って前記種レーザー・ビームを増幅するステップと、

前記ダイオード励起レーザー前置増幅器を使って増幅された前記種レーザー・ビームを第2のダイオード励起レーザー増幅器を使って増幅するステップとを含む、請求項4に記載の方法。

【請求項9】

遠隔目標上の超音波表面変位を検出する働きをする装置であって、

前記遠隔目標に超音波表面変位を生成する働きをする超音波発生用システムと、

前記遠隔目標における前記超音波表面変位を実質的に照射する検出用レーザー・ビームを発生させる働きをするダイオード励起検出用ファイバー・レーザーと、

前記遠隔目標によって反射されるか又は散乱されるかのどちらかの前記ダイオード励起検出用ファイバー・レーザーからの位相変調光を集める働きをする集光用光学素子と、

前記遠隔目標における前記超音波変位を表すデータを得るために、前記遠隔目標によって反射されるか又は散乱されるかのどちらかの前記ダイオード励起検出用ファイバー・レーザーからの前記位相変調光を処理する、及び

前記遠隔目標の構造的完全性を評価するために、前記超音波変位を表す前記データを処理する、

働きをする処理装置とを含み、

前記ダイオード励起検出用ファイバー・レーザーが、

種レーザー・ビームを発生させる働きをする主発振器であって、ダイオード励起ファイバー・レーザーを含む前記主発振器と、

前記種レーザー・ビームを増幅する働きをする少なくとも1つのダイオード励起レーザー前置増幅器であって、ダイオード励起ファイバー・レーザー増幅器を含む前記少なくとも1つのダイオード励起レーザー前置増幅器と、

前記少なくとも1つのダイオード励起レーザー前置増幅器によって生成される出力レーザー・ビームを増幅する働きをする少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器であって、ダイオード励起ファイバー・レーザー増幅器を含む前記少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器とを含む装置。

【請求項10】

前記超音波発生用システムが、前記遠隔目標の表面の一部を照射するために発生用レーザー・ビームを向ける働きをし、前記超音波表面変位が、前記遠隔目標の前記表面の前記照射された部分内に生じる、請求項9に記載の装置。

【請求項11】

前記主発振器及び/又は前記少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器が、励起ダイオードが励起ファイバーを通じて活性ファイバーに結合されるところの側面クラッド

励起を有するファイバー・レーザーを含む、請求項 9 に記載の装置。

【請求項 1 2】

前記励起ファイバーが、前記活性ファイバーの側面クラッド又は内部クラッドを通じて前記活性ファイバーに結合する、請求項 1 1 に記載の装置。

【請求項 1 3】

前記励起ダイオードが、単一エミッタ、一群の単一エミッタ、ダイオード・バー、及び／又は一群のダイオード・バーを含む、請求項 1 1 に記載の装置。

【請求項 1 4】

前記ダイオード励起検出用ファイバー・レーザーが、
前記種レーザー・ビームを増幅する働きをする少なくとも 2 つの並列ダイオード励起レーザー増幅器を含み、

前記少なくとも 2 つの並列ダイオード励起レーザー増幅器が、ダイオード励起ファイバー・レーザーを含み、前記少なくとも 2 つの並列ダイオード励起レーザー増幅器の出力が、単一光ファイバー内で組み合わせられる、請求項 9 に記載の装置。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】超音波レーザー検査のためのファイバー・レーザー

【技術分野】

【0001】

本出願は、あらゆる目的のために 1998 年 6 月 30 日に出願された米国特許仮出願第 60/091240 号の利益を参照により組み込み、請求する。

本出願は、1998 年 6 月 30 日に出願された「METHOD AND APPARATUS FOR DETECTING ULTRASONIC SURFACE DISPLACEMENTS USING POST-COLLECTION OPTICAL AMPLIFICATION」と題する Thomas E. Drake の米国特許仮出願第 60/091229 号の利益を参照により組み込み、請求する。

本出願は、2004 年 1 月 7 日に出願された「REMOTE LASER BEAM DELIVERY SYSTEM AND METHOD FOR USE WITH A ROBOTIC POSITIONING SYSTEM FOR ULTRASONIC TESTING PURPOSES」と題する Thomas E. Drake の米国特許出願第 10/753208 号の利益を参照により組み込み、請求する。

本出願は、2004 年 2 月 12 日に出願された「METHOD AND APPARATUS FOR ULTRASONIC LASER TESTING」と題する Thomas E. Drake の米国特許出願第 10/634342 号の利益を参照により組み込み、請求する。

【0002】

本発明は一般に、材料の非破壊評価の装置及び方法に関し、さらに詳細には、材料の非破壊評価を実施するために少なくとも 1 つのファイバー・レーザーの使用を通じて超音波表面変位を検出するために光学情報を処理する装置及び方法に関する。

【背景技術】

【0003】

近年は、先端複合構造の使用が、航空宇宙産業、自動車産業、及び多くの他の商用産業において驚異的な成長を経験した。複合材料は、性能の著しい改良を提供するものの、それらは、製造プロセス及び材料が完成品で使用された後の両方で厳密な品質管理制御手続きを必要とする。特に、非破壊評価 (NDE) 方法は、複合材料の構造的完全性を評価しなければならない。この評価は、含有物、層間剥離及び空孔を検出する。従来の NDE 方

法は、遅く、大きな労力を要し、高価である。結果として、検査手続きは、複合構造に関連する製造原価を不都合に増加させる。

【 0 0 0 4 】

様々な方法及び装置が、複合構造の構造的完全性を評価するために提案された。1つの解決策は、その次に測定され、分析される超音波表面変位を加工中の製品内に発生させるために超音波源を使用する。多くの場合、超音波の外部源は、目標に向けられる発生用パルス・レーザー・ビームである。別個の検出用レーザーからのレーザー光は、加工中の製品における超音波表面変位によって散乱される。集光用光学素子はその次に、散乱されたレーザー・エネルギーを集める。集光用光学素子は、干渉計又は他のデバイスに結合され、複合構造の構造的完全性に関するデータは、散乱されたレーザー・エネルギーの分析を通じて得ることができる。レーザー超音波は、製造プロセス中の部品の検査にとって非常に有効であることが示された。

【 0 0 0 5 】

しかしながら、レーザー超音波のために使用される装置は、特注設計であり、現在は検査速度に関する制限要因である。以前の固体検出用レーザーは、低パワー主発振器レーザーを増幅するために、フラッシュランプ励起ロッド構成か又はダイオード励起スラブ構成かのどちらかを使用した。これらの構成は総称的に、主発振器パワー増幅器 (M O P A) レーザーと呼ばれる。

【 0 0 0 6 】

検査速度は現在、レーザーのパルス繰り返し数によって制限される。フラッシュランプ励起レーザーは、100Hzで動作できるだけであり、ランプは典型的には、数千万回程度のショットを持ちこたえるだけである。したがって、これらのレーザーは遅く、運転費用が高い。ダイオード励起スラブは、はるかにもっと速い (400Hz が現在の限界であり、1kHz が可能かもしれない) が、しかしそれらは、スラブをパルス励起し、熱変形を引き起こすことができる多量の熱を創出するために、非常に高価な特注生産のダイオード・アレイを使用する。ダイオード・アレイの寿命は長くなってきており、いくつかは、100億ショットを持ちこたえるようになったけれども、それらは、高価格、信頼性及び熱変形のいずれもが原因で歴史的に懸案事項であった。結晶スラブの高パワー・パルス・ダイオード励起は、レーザー・ビームの波形品質を最終的に制限する熱変形をスラブ内に導入するであろう。波面変形は、レーザーの有用なパワーを制限し、目標へのビームの効率的な光ファイバー配送を妨げる可能性がある。アレイ内の各ダイオード・バーは、40W から 100W のピーク・パワーを有してもよく、それらは、レーザー・スラブの側面を効率良く励起するためお互いに物理的に近接していなければならない。アレイ内のダイオード・バーの全数は、50 ~ 100 でもよい (アレイは、スラブの各側面を励起するであろうし、それでおそらく 200 のダイオード・バーが使用されてもよい)。熱除去は、ダイオード・アレイ及びスラブの両方にとって重要な設計問題である。

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

本発明の実施例は、上で確認された必要性及び同様に他の必要性に実質的に対処するシステム及び方法に向けられる。本発明の実施例はさらに、次の記述及び特許請求の範囲で述べられる。本発明の実施例の利点及び特徴は、その記述、添付の図面及び特許請求の範囲から明らかになり得る。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 8 】

本発明の実施例は、遠隔目標における超音波表面変位を検出するための方法を提供する。これは、ダイオード励起ファイバー・レーザーを使って検出用レーザー・ビームを発生させるステップを含む。検出用レーザー・ビームは、超音波表面変位が検出用レーザー・ビームを散乱させる遠隔目標の表面に向けられる。検出用レーザー・ビームの散乱は、位相変調光を生成し、それは、表面における超音波表面変位を表すデータを得るために集め

られ、処理されてもよい。位相変調光内の情報を分析するステップは、遠隔目標内の構造を分析する能力をもたらすであろう。

【0009】

本発明の実施例は、遠隔目標における超音波表面変位を検出するための方法が開示される。その方法は、遠隔目標の表面に超音波変位を発生させるステップと、ダイオード励起ファイバー・レーザーを使って検出用レーザー・ビームを発生させるステップと、検出用レーザー・ビームを遠隔目標の表面へ向けるステップと、位相変調光を生成するために検出用レーザー・ビームを表面における超音波表面変位で散乱させるステップと、位相変調光を集めるステップと、表面における超音波表面変位を表すデータを得るために位相変調光を処理するステップと、遠隔目標内の構造を分析するために情報を持つデータを集めるステップとを含むことができる。

【0010】

遠隔目標の表面に超音波変位を発生させるステップは、遠隔目標の表面の一部分を照射するために発生用レーザー・ビームを向けるステップをさらに含むことができ、その超音波表面変位は、遠隔目標の表面の照射された部分内に生じる。その方法は、遠隔目標の構造的完全性を評価するためにデータを処理するステップをさらに含むことができる。

【0011】

検出用レーザー・ビームを発生させるステップは、主発振器を使って種レーザー・ビームを発生させるステップと、少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器を使ってその種レーザー・ビームを増幅するステップとをさらに含むことができ、少なくともその主発振器又はその少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、ダイオード励起ファイバー・レーザーを含むことができる。

【0012】

検出用レーザー・ビームを発生させるステップは、主発振器を使って種レーザー・ビームを発生させるステップをさらに含む。種レーザー・ビームはその次に、少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器を使って増幅することができる。少なくともその主発振器又はその少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、それぞれダイオード励起ファイバー・レーザー又はファイバー・レーザー増幅器である。他の実施例では、主発振器か又は少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器かの少なくともどちらかが、ダイオード励起ファイバー・レーザー又はレーザー増幅器であるという制限を維持しながら、主発振器又は少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、ダイオード励起スラブ・レーザーであってもよい。

【0013】

少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器を使って種レーザー・ビームを増幅するステップは、少なくとも2つの並列ダイオード励起レーザー増幅器を使って種レーザー・ビームを増幅するステップをさらに含んでもよく、その少なくとも2つの並列ダイオード励起レーザー増幅器の出力は、単一光ファイバー内で組み合わせられる。

【0014】

主発振器又は少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、ダイオード励起スラブ・レーザーを含んでもよい。主発振器は、ダイオード励起ファイバー・レーザーを含んでもよい。主発振器及び/又は少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、約1000nmの波長で放射を生成する働きをするイッテルビウム添加ファイバーを含むことができる。

【0015】

主発振器及び/又は少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、約1550nmの波長で放射を生成する働きをするエルビウム添加又は共添加ファイバーを含むことができる。

【0016】

主発振器及び/又は少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、励起ダイオードが励起ファイバーを通じて活性ファイバーに結合されるところの側面クラッド励起を有

するファイバー・レーザーを含むことができる。その励起ファイバーは、活性ファイバーの側面クラッド又は内部クラッドを通じて活性ファイバーに結合することができる。

【 0 0 1 7 】

励起ダイオードは、単一エミッタ、一群の単一エミッタ、ダイオード・バー、及び / 又は一群のダイオード・バーを含むことができる。

【 0 0 1 8 】

少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器を使って種レーザー・ビームを増幅するステップは、ダイオード励起レーザー前置増幅器を使って種レーザー・ビームを増幅するステップと、そのダイオード励起レーザー前置増幅器を使って増幅された種レーザー・ビームを第2のダイオード励起レーザー増幅器を使って増幅するステップとを含むことができる。

【 0 0 1 9 】

別の実施例は、遠隔目標上の超音波表面変位を検出する働きをする装置が開示される。一実施例では、その装置は、遠隔目標に超音波表面変位を生成する働きをする超音波発生用システムと、遠隔目標における超音波表面変位を実質的に照射する検出用レーザー・ビームを発生させる働きをするダイオード励起検出用ファイバー・レーザーと、遠隔目標によって反射されるか又は散乱されるかのどちらかのダイオード励起検出用ファイバー・レーザーからの位相変調光を集める働きをする集光用光学素子と、遠隔目標における超音波変位を表すデータを得るために、遠隔目標によって反射されるか又は散乱されるかのどちらかのダイオード励起検出用ファイバー・レーザーからの位相変調光を処理し、遠隔目標の構造的完全性を評価するために、超音波変位を表すデータを処理する働きをする処理装置とを含む。

【 0 0 2 0 】

ダイオード励起検出用ファイバー・レーザーは、種レーザー・ビームを発生させる働きをする主発振器であって、ダイオード励起ファイバー・レーザーを含むその主発振器と、種レーザー・ビームを増幅する働きをする少なくとも1つのダイオード励起レーザー前置増幅器であって、ダイオード励起ファイバー・レーザー増幅器を含むことができるその少なくとも1つのダイオード励起レーザー前置増幅器によって生成される出力レーザー・ビームを増幅する働きをする少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器であって、ダイオード励起ファイバー・レーザー増幅器を含むことができるその少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器とを含むことができる。

【 0 0 2 1 】

超音波発生用システムは、遠隔目標の表面の一部を照射するために発生用レーザー・ビームを向ける働きをし、超音波表面変位は、遠隔目標の表面の照射された部分内に生じる。

【 0 0 2 2 】

ダイオード励起検出用ファイバー・レーザーは、種レーザー・ビームを発生させる働きをする主発振器と、その種レーザー・ビームを増幅する働きをする少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器とを含んでもよく、少なくともその主発振器又はその少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、ダイオード励起ファイバー・レーザーを含む。

【 0 0 2 3 】

主発振器及び / 又は少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、約 1 0 0 0 n m の波長で放射を生成する働きをするイッテルビウム添加ファイバーを含むことができる。主発振器及び / 又は少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、約 1 5 5 0 n m の波長で放射を生成する働きをするエルビウム添加又は共添加ファイバーを含むことができる。主発振器及び / 又は少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、励起ダイオードが励起ファイバーを通じて活性ファイバーに結合されるところの側面クラッド励起を有するファイバー・レーザーを含んでもよい。その励起ファイバーは、活性ファイバ

ーの側面クラッド又は内部クラッドを通じて活性ファイバーに結合することができる。励起ダイオードは、単一エミッタ、一群の単一エミッタ、ダイオード・バー、及び／又は一群のダイオード・バーを含んでもよい。

【 0 0 2 4 】

ダイオード励起検出用ファイバー・レーザーは、種レーザー・ビームを発生させる働きをする主発振器と、その種レーザー・ビームを増幅する働きをする少なくとも2つの並列ダイオード励起レーザー増幅器とを含むことができ、その少なくとも2つの並列ダイオード励起レーザー増幅器は、ダイオード励起ファイバー・レーザーを含んでもよく、その少なくとも2つの並列ダイオード励起レーザー増幅器の出力は、単一光ファイバー内で組み合わせられてもよい。主発振器又は少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、ダイオード励起スラブ・レーザーを含むことができる。

【 0 0 2 5 】

主発振器は、ダイオード励起ファイバー・レーザーを含むことができ、少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、ダイオード励起ファイバー・レーザー増幅器を含むことができる。

【 0 0 2 6 】

ダイオード励起検出用ファイバー・レーザーは、種レーザー・ビームを発生させる働きをする主発振器と、その種レーザー・ビームを増幅する働きをする少なくとも1つのダイオード励起レーザー前置増幅器と、その少なくとも1つのダイオード励起レーザー前置増幅器によって生成される出力レーザー・ビームを増幅する働きをする少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器とを含んでもよく、少なくともその主発振器、その少なくとも1つのダイオード励起レーザー前置増幅器又はその少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、ダイオード励起ファイバー・レーザーを含む。

【 0 0 2 7 】

別の実施例は、遠隔目標上の超音波表面変位を検出する働きをする超音波表面検査システム又は検出システムを提供する。このシステムは、超音波発生用システム、ダイオード励起検出用ファイバー・レーザー、集光用光学素子、及び処理装置を含む。超音波発生用システムは、遠隔目標に超音波表面変位を生成する。これは、機械的に又はレーザー超音波発生用システムを使用して行われてもよい。ダイオード励起検出用ファイバー・レーザーは、遠隔目標における超音波表面変位を実質的に照射する検出用レーザー・ビームを発生させる。集光用光学素子は、遠隔目標によって反射されるか又は散乱されるかのどちらかのダイオード励起検出用ファイバー・レーザーからの位相変調光を集める。処理装置は、遠隔目標における超音波表面変位を表すデータを含む出力信号を生成するために、位相変調光を光学的に処理することができる。その次に処理装置は、遠隔目標の構造的完全性を評価するために、出力信号を処理してもよい。

【 0 0 2 8 】

ダイオード励起検出用レーザーは、種レーザー・ビームを発生させるための主発振器、及び種レーザー・ビームを増幅するための少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器を含む。少なくともその主発振器又はその少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、ダイオード励起ファイバー・レーザー又はレーザー増幅器である。他の実施例では、ダイオード励起検出用ファイバー・レーザーは、主発振器、少なくとも1つのダイオード励起レーザー前置増幅器、及び少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器を含んでもよい。先に述べたように、これらの全部ではないが少なくとも1つは、ダイオード励起ファイバー・レーザーに基づいている。

【 0 0 2 9 】

さらに別の実施例では、本発明は、遠隔目標の構造的完全性を評価するために、遠隔目標の表面上の超音波表面変位を測定するための大面積複合検査システムを提供する。この大面積複合検査システムは、超音波発生用システム、検出用ファイバー・レーザー、集光用光学素子、光学処理装置、及び信号処理装置を含んでもよい。超音波発生用システムは、遠隔目標に超音波変位を生成する。検出用ファイバー・レーザーはその次に、検出用レ

ーザー・ビームで超音波表面変位を照射する。走査アセンブリは、検出用レーザーの照射場所と遠隔目標との間に相対な運動を発生させる。これは、ビームの方向を変えることによって検出用レーザー・ビームを走査する、検出用レーザー・ビームを動かす、又は遠隔目標を動かすことの任意の組み合わせによって達成されてもよい。集光用光学素子は、遠隔目標における超音波表面変位によって反射される又は散乱される検出用レーザー・ビームからの位相変調光を集める。光学処理装置はその次に、出力信号を生成するために集光用光学素子によって集められた位相変調光を処理する。信号処理装置はその次に、超音波表面変位を表すデータを得るために、光学処理装置の出力を処理する。このデータはその次に、遠隔目標の完全性を評価するために使用されてもよい。例えば、複合材料の内部構造である。

【0030】

遠隔目標の表面上の超音波表面変位を測定するための大面積複合検査装置もまた開示され、遠隔目標に超音波表面変位を生成する働きをする超音波発生用システムと、遠隔目標の表面上の超音波表面変位を検出用レーザー・ビームで照射する働きをする検出用ファイバー・レーザーと、検出用レーザー・ビームの照射場所と遠隔目標の表面との間に相対的運動を創出する働きをする走査アセンブリと、遠隔目標によって反射されるか又は散乱されるかのどちらかの検出用レーザー・ビームからの位相変調光を集めるための集光用光学素子と、集光用光学素子によって集められた位相変調光を処理し、出力信号を生成するための光学処理装置と、遠隔目標の表面上の超音波表面変位を表すデータを得るために出力信号を処理する働きをする処理装置とを含む。

【0031】

超音波発生用システムは、遠隔目標の表面の一部分を照射するために発生用レーザー・ビームを向ける働きをすることができ、超音波表面変位は、遠隔目標の表面の照射された部分内に生じる。検出用レーザー・ビームは、連続波モード・レーザー・ビーム又はパルス・レーザー・ビームを含んでもよい。

【0032】

ダイオード励起検出用ファイバー・レーザーは、種レーザー・ビームを発生させる働きをする主発振器と、その種レーザー・ビームを増幅する働きをする少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器を含むことができ、少なくともその主発振器又はその少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、ダイオード励起ファイバー・レーザーを含むことができる。

【0033】

少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、種レーザー・ビームを増幅する働きをする少なくとも2つの並列ダイオード励起レーザー増幅器を含むことができ、その少なくとも2つの並列ダイオード励起レーザー増幅器は、ダイオード励起ファイバー・レーザーを含むことができ、その少なくとも2つの並列ダイオード励起レーザー増幅器の出力は、単一光ファイバー内で組み合わせることができる。

【0034】

主発振器又は少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、ダイオード励起スラブ・レーザーを含むことができる。主発振器は、ダイオード励起ファイバー・レーザーを含むことができ、少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、ダイオード励起ファイバー・レーザー増幅器を含むことができる。

【0035】

主発振器及び/又は少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、約100nmの波長で放射を生成する働きをするイッテルビウム添加ファイバーを含むことができる。

【0036】

主発振器及び/又は少なくとも1つのダイオード励起レーザー増幅器は、約1550nmの波長で放射を生成する働きをするエルビウム添加又は共添加ファイバーを含むことができる。

【0037】

主発振器及び／又は少なくとも１つのダイオード励起レーザー増幅器は、励起ダイオードが励起ファイバーを通じて活性ファイバーに結合されるところの側面クラッド励起を有するファイバー・レーザーを含むことができる。その励起ファイバーは、活性ファイバーの側面クラッド又は内部クラッドを通じて活性ファイバーに結合することができる。

【 0 0 3 8 】

励起ダイオードは、単一エミッタ、一群の単一エミッタ、ダイオード・バー、及び／又は一群のダイオード・バーを含むことができる。

【 0 0 3 9 】

ダイオード励起検出用ファイバー・レーザーは、種レーザー・ビームを発生させる働きをする主発振器と、その種レーザー・ビームを増幅する働きをする少なくとも１つのダイオード励起レーザー前置増幅器と、その少なくとも１つのダイオード励起レーザー前置増幅器によって生成される出力レーザー・ビームを増幅する働きをする少なくとも１つのダイオード励起レーザー増幅器とを含むことができ、少なくともその主発振器、その少なくとも１つのダイオード励起レーザー前置増幅器又はその少なくとも１つのダイオード励起レーザー増幅器は、ダイオード励起ファイバー・レーザーを含むことができる。

【 0 0 4 0 】

ダイオード励起検出用ファイバー・レーザーは、種レーザー・ビームを発生させる働きをする主発振器であって、ダイオード励起ファイバー・レーザーを含むことができるその主発振器と、その種レーザー・ビームを増幅する働きをする少なくとも１つのダイオード励起レーザー前置増幅器であって、ダイオード励起ファイバー・レーザー増幅器を含むことができるその少なくとも１つのダイオード励起レーザー前置増幅器と、その少なくとも１つのダイオード励起レーザー前置増幅器によって生成される出力レーザー・ビームを増幅する働きをする少なくとも１つのダイオード励起レーザー増幅器であって、ダイオード励起ファイバー・レーザー増幅器を含むことができるその少なくとも１つのダイオード励起レーザー増幅器とを含むことができる。

【 0 0 4 1 】

大面積複合検査装置は、遠隔目標の表面を横切って検出用レーザーを動かし、その次に大面積複合検査装置によって検出されるデータを記録し、索引を付けるための位置決め装置をさらに含んでもよい。その位置決め装置は、ガントリー位置決め装置とすることができる。

【 0 0 4 2 】

本発明及びその利点のより完全な理解のために、同様の参照番号が同様の特徴を示す添付の図面と併せてなされる次の説明の参照が今から行われる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 3 】

【図 1】本発明の一実施例による、レーザー超音波変位を発生させ、検出するための発生用レーザー・ビーム及び検出用レーザー・ビームの使用を例示する図である。

【図 2】レーザー超音波システムの基本部品を示すためのブロック図である。

【図 3】本発明の一実施例による、レーザー超音波変位を検出するための検出用レーザー・ビームとしてファイバー・レーザーの使用を例示する図である。

【図 4】本発明の一実施例による、レーザー超音波変位を検出するための検出用レーザー・ビームとしてファイバー・レーザーの使用を例示する図である。

【図 5】本発明の一実施例による、レーザー超音波変位を検出するための検出用レーザー・ビームとしてファイバー・レーザーの使用を例示する図である。

【図 6】本発明の一実施例による、レーザー超音波変位を検出するための検出用レーザー・ビームとしてファイバー・レーザーの使用を例示する図である。

【図 7】本発明に対する１つ又は複数の実施例による論理流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 4 4 】

本発明の好ましい実施例は図で例示され、様々な図面の同様の及び対応する部分を参照

するために、同様の数字が使用されている。

【 0 0 4 5 】

本発明の実施例は、レーザー超音波システム内での使用のためのファイバー・レーザーを提供する。この「第1の」検出用レーザーの主要な任務は、「第2の」レーザーが検査中の部分内に超音波を発生させるために使用されるところの場所を照射することである。第1のレーザーからの散乱光は、その部分の表面における超音波の戻りエコーに起因する表面振動を復調するために、集められ、干渉計を使って分析される。改良された検出用レーザー（第1のレーザー）は、高パワー単一周波数レーザー源を生成するためにダイオード励起ファイバー・レーザーを使用して構成される。

【 0 0 4 6 】

このダイオード励起ファイバー・レーザーは、多くの方法で構成することができる。1つの方法は、主発振器として単一周波数非平面リング発振器（NPRO）を使用すること、及び1つ又は複数のファイバー・レーザー増幅器によるその次に続く増幅である。別の方法は、主発振器としてファイバー・レーザーを使用し、同様に増幅器としてファイバー・レーザーを使用して、全ファイバー単一周波数レーザーを構成することである。

【 0 0 4 7 】

以前の固体検出用レーザーは、低パワー主発振器レーザーを増幅するために、フラッシュランプ励起ロッド構成か又はダイオード励起スラブ構成かのどちらかを使用した。これらの構成は総称的に、主発振器パワー増幅器（MOPA）レーザーと呼ばれる。フラッシュランプ励起レーザーは、約100Hzで動作することができ、ダイオード励起スラブ設計は、400Hzで容易に動作するが、1kHzまで伸ばすことが可能かもしれない。典型的なパルス形状は、50 μ s～100 μ sに対して1000Wのピーク・パワーに達するものであろう。レーザーのパルス繰り返し数は、レーザーUTシステムの検査処理能力を制限する要因の1つである。

【 0 0 4 8 】

本発明の実施例は、より速い検査速度、改良されたシステム信頼性、より低い運転費用を提供し、移動用及び携帯用システムを可能にする。検査速度は現在、レーザーのパルス繰り返し数によって制限されている。フラッシュランプ励起レーザーは、100Hzで動作できるだけであり、ランプは典型的には、数千万回程度のショットを持ちこたえるだけである。したがって、これらのレーザーは、遅く、運転費用が高い。ダイオード励起スラブは、はるかにもっと速い（400Hzが現在の限界であり、1kHzが可能かもしれない）が、しかしそれらは、スラブをパルス励起するために、非常に高価な特注生産のダイオード・アレイを使用する。ダイオード・アレイの寿命は改良されてきて、いくつかは、100億ショットを持ちこたえるようになったけれども、それらは、高価格及び信頼性の両方のために歴史的に懸案事項であった。結晶スラブの高パワー・パルス・ダイオード励起は、レーザー・ビームの波形品質を最終的に制限する熱変形をスラブ内に導入するであろう。波面の歪曲は、レーザーの有用なパワーを制限し、目標へのビームの効率的な光ファイバー配送を妨げる可能性がある。

【 0 0 4 9 】

ダイオード・アレイ内の各ダイオード・バーは、40Wから100Wのピーク・パワーを有してもよく、それらは、レーザー・スラブの側面を効率良く励起するためお互いに物理的に近接していなければならない。アレイ内のダイオード・バーの全数は、50～100でもよい（アレイは、スラブの各側面を励起するであろうし、それでおそらく200のダイオード・バーが使用されてもよい）。熱除去及び熱変形は、ダイオード・アレイ及びスラブの両方にとって重要な設計問題になる。

【 0 0 5 0 】

全ファイバー増幅器構成は、添加ファイバーを励起するために多くの小さな連続波（CW）ダイオードを使用する。これは、いくつかの利点を有する。第一に、ファイバー結合励起ダイオードはすべて、比較的パワーが小さく（典型的にはほんの数ワット）、任意の1つの損失は、レーザーの全性能に少ししか影響を与えないであろう。ファイバー結合ダ

イオードからの熱除去は、利得媒質（添加ファイバー）から切り離して管理される。これらの低パワー・ダイオードは、10000時間の平均故障間隔（MTBF）定格を有する。

【0051】

ファイバー・レーザー／増幅器の熱管理は、伝統的なバルク結晶利得媒質内でよりもっと容易に扱われる。ファイバー表面積（熱が引き出されるところ）の体積に対する比は、スラブ増幅器に対する表面对体積比よりも何桁も大きい。ファイバー・レーザーは、非常に小さな波面の歪曲（ $M^2 < 1.2$ ）を持つ単一モード（TEM₀₀）で動作させることができる。今ではCWモードか又は変調（パルス）モードかのどちらかで動作することができるファイバー・レーザーを使うと、速度限界はレーザー速度ではなく、超音波伝播時間及び走査能力になる。有効な走査速度は、10kHz以上の可能性がある。ファイバー・レーザーは、ミラー又はレンズなどの伝統的な個別の又はバルク光学素子を使用しない。したがって、汚染問題は除外される。ファイバー・レーザーは、1つの産業電子機器のように見える。柔軟な構成は、移動用及びおそらく携帯用のレーザー超音波検査装置設計を可能にする。全体として、ファイバー・レーザーは、厳しい産業環境によく適している。

【0052】

図1は、レーザー超音波変位を発生させ、検出する2つの入射レーザー・ビームを示す。検査中の複合材料などの、しかしそれに限定されないが、遠隔目標106において、レーザー・ビーム102は超音波を発生させ、一方照射用レーザー・ビーム104は超音波を検出する。図示されるように、これらのレーザーは、遠隔目標106へ同軸的に適用されてもよい。発生用レーザー・ビーム102は、超音波108の形成をもたらす熱弾性膨張112を目標106内に引き起こす。異なる実施例では、発生用レーザー・ビームは、目標106内にアブレーションを引き起こす。超音波108は目標106内を伝播し、照射用レーザー・ビーム104を変調し、散乱させ、反射して、目標106から離れる方へ向けられる位相変調光110を生成し、それは、遠隔目標106の内部構造の情報を得るために集められ、処理される。

【0053】

図2は、超音波レーザー検査を実施するための基本部品を含むブロック図を提供する。発生用レーザー210は、光学アセンブリ214が目標216へ向けるレーザー・ビーム212を生成する。図示されるように、光学アセンブリ214は、レーザー・ビーム212及び224を走査又は検査計画218に沿って動かすスキャナー又は他の同様の機構を含む。走査又は検査計画218はまた、目標216の移動によって又は目標216の移動並びにアセンブリ214を通じてのレーザー・ビーム212及び224の移動の組み合わせによって創出することもできる。光学アセンブリ214は、視覚カメラ、深度カメラ、距離検出器、狭帯域カメラ又は当業者に既知の他の同様の光学センサーを含んでもよい。これらの光学センサーは各々、検査を実施する前に較正を必要としてもよい。この較正は、様々なセンサーによって集められた情報を統合するためのシステムの能力を検証する。発生用レーザー210は、目標216内に超音波108を生成する。

【0054】

超音波108は、材料が発生用レーザー・ビームを吸収するときの複合材料の熱弾性膨張112の結果である。複合材料などの、しかしそれに限定されないが、遠隔目標216は、アブレーション又は破壊なしに発生用レーザー・ビーム212をすぐに吸収する。より高いパワーの発生用レーザーは、これらがアブレーションを生じる可能性があるので、SNR問題を克服するために必ずしも好ましくない。他の実施例では、検査されている材料に依存して、ある程度のアブレーションは、検出される信号のSNRを増加させるために許容されてもよい。発生用レーザー・ビーム212は、超音波表面変位を引き起こすために適切なパルス幅を有する。例えば、横方向励起大気圧（TEA）CO₂レーザーは、100ナノ秒パルスに対して10.6ミクロン波長ビームを生成することができる。レーザーのパワーは、例えば、0.25ジュールのパルスを目標に配送するために十分でな

ればならず、それは400Hzのパルス繰り返し数で動作する100ワットのレーザーを必要とすることがある。本発明の一実施例では、発生用レーザー・ビーム212は、著しいアブレーションなしに、目標表面内に吸収されて、熱を創出し、それによって熱弾性膨張を引き起こす。本発明の異なる実施例では、発生用レーザー・ビーム212は、超音波発生の主な機構になるアブレーションを引き起こすために、目標表面内で吸収されて、十分な熱を創出する。

【0055】

パルス・モード又は連続波モードで動作する照射用又は検出用レーザー220は、超音波変位を引き起こさない。例えば、Nd:YAGレーザーを使用することができる。このレーザーのパワーは、例えば、100ミリジュール、100マイクロ秒パルスを配送するのに十分でなければならず、それは1キロワットのレーザーを必要とすることがある。照射用レーザー220は、検出用レーザー・ビーム224を発生させる。照射用レーザー220は、検出用レーザー・ビーム224から雑音を除去するために、フィルター機構222を含む又はそれに光学的に結合する。光学アセンブリ214は、照射用レーザー・ビーム224を、検出用レーザー・ビーム224を散乱させる及び/又は反射する複合材料216の表面へ向ける。結果として生じる位相変調光は、集光用光学素子226によって集められる。本明細書で示されるように、散乱された及び/又は反射された照射用レーザーは、光学アセンブリ214を通して戻る。オブションの光学処理装置220及び干渉計230は、複合材料216の表面における超音波変位を表す情報を含む信号を生成するために、位相変調光を処理する。データ処理及び制御システム232は、レーザー超音波システム部品の動作を調整する。

【0056】

データ処理及び制御システム232は、単一処理デバイス又は複数の処理デバイスでもよい。そのような処理デバイスは、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラ、デジタル信号処理装置、マイクロコンピュータ、中央処理ユニット、フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ、プログラマブル論理デバイス、状態機械、論理回路、アナログ回路、デジタル回路、及び/又はメモリ内に保存された動作命令に基づき信号(アナログ及び/又はデジタル)を操作する任意のデバイスでもよい。メモリは、単一メモリ・デバイス又は複数のメモリ・デバイスでもよい。そのようなメモリ・デバイスは、読み出し専用メモリ、ランダム・アクセス・メモリ、揮発性メモリ、不揮発性メモリ、スタティック・メモリ、ダイナミック・メモリ、フラッシュ・メモリ、キャッシュ・メモリ、及び/又はデジタル情報を保存する任意のデバイスでもよい。例示されるように、ステップ及び/又は機能の少なくともいくつかに対応する動作命令を、メモリが保存し、データ処理及び制御システム232が実行する。

【0057】

図3は、本発明の一実施例による検出用レーザー220内でのファイバー・レーザーの使用を示す。図3で示される検出用レーザー220の実施例は、光ファイバー304を使って単一モード励起ファイバー増幅器306に結合されてもよい主発振器302を使用してもよい。その次に、増幅されたレーザー・ビームは、検査中の加工中の製品又は試料に配送されてもよい。検出用レーザーは、光ファイバー308を使って検査されるべき材料に適用される。主発振器302は、発生された種検出用レーザー・ビーム310が光ファイバー304を介してダイオード励起ファイバー増幅器306へ提供されることを可能にするファイバー結合出力312を有するダイオード励起非平面リング発振器(NPRO)でもよい。別の方法は、主発振器302としてファイバー・レーザーを使用し、同様に増幅器としてダイオード励起ファイバー増幅器306などの1つ又は複数のファイバー・レーザーを使用して、全ファイバー単一周波数レーザーを構成してもよい。

【0058】

図4は、本発明の一実施例によるファイバー・レーザーを使用する検出用レーザー220の第2の実施例を示す。この場合には、主発振器302は、2つ以上のダイオード励起ファイバー増幅器306及び316に結合される。既に述べたように主発振器302は、

光ファイバー 304 に結合したファイバー結合出力 312 を有する。主発振器 302 は、光ファイバー 304 を介してダイオード励起前置増幅器 306 へ配送される種レーザー 310 を発生させる。例示の目的のために、主発振器 302 によって生成されるレーザー・ビーム 310 は、25 ミリワットのレーザーでよい。ダイオード励起ファイバー前置増幅器 306 は、レーザー・ビーム 310 のパワーを 1000 ワットまで増加させてもよい。必要ならば、第 2 の増幅器 316 が、検出用レーザーのパワーを 10000 ワットまでさらに増加させるために使用されてもよい。ファイバー励起増幅器 316 の出力はその次に、光ファイバー 308 を使用して、検査されるべき材料へ配送される。

【0059】

単一増幅器によって生成される単一周波数放射のパワーのレベルは、誘導ブリルアン散乱 (SBS) と呼ばれる物理現象によって制限されることがある。SBS が生じると、増幅器はミラーとして働き、放射を主発振器の方へ反射して戻し、おそらくそれを損傷し、出力パワーを厳しく制限する。一般に、ファイバー 304 及び増幅器ファイバー 306 は、50 ミクロンより小さい典型的な直径を持つ単一モード・ファイバーである。SBS が生じるパワーしきい値は、ファイバー直径の二乗に比例する。ファイバー増幅器の必要とされるファイバー直径に対して SBS のパワーしきい値を超えるパワー・レベルで単一周波数放射を生成するためには、いくつかの並列ファイバー増幅器を使用することができ、各増幅器は、それ自身の SBS しきい値より低いパワー・レベルを生成する。すべての増幅器の出力単一モード・ファイバーは、融着接続によって又は他の技術によって、並列増幅器の組み合わせられたパワーより高い SBS しきい値を有するより大きな多モード・ファイバーに組み合わせられる。図 5 及び 6 は、本発明の 2 つの実施例としてこの方法を提示する。

【0060】

図 5 は、検出用レーザー 220 のさらに別の実施例を示す。既に述べたように、この検出用レーザーは、主発振器 302、単一モード光ファイバー 304、第 1 のダイオード励起ファイバー増幅器 306 を含む。出力光ファイバー 308 は、典型的には 50 ミクロンよりも大きな直径を持つ大コア直径ファイバーであり、第 2 の段は、複数並列ダイオード励起増幅器 316A、316B、及び 316C を有する。これらの並列ダイオード励起増幅器の出力は、単一光ファイバー内で組み合わせられてもよい。主発振器 302 は種レーザー・ビーム 310 を生成して、それはファイバー結合出力 312 を介して光ファイバー 304 へ提供される。この例の一実施例では、主発振器 302 のパワー出力は、約 25 ミリワットのパワーを有するレーザー・ビーム 310 を生成する必要とすることがある。例示の目的のために、ダイオード励起ファイバー前置増幅器 306 は、このレーザー・ビームのパワーを約 1000 ワットまで増加させてもよい。その次に、3 つの並列ダイオード励起ファイバー増幅器 316A、316B、及び 316C は各々、ダイオード励起ファイバー増幅器 306 の出力に結合される。各ダイオード励起ファイバー増幅器は、それ自身の SBS しきい値より低いパワーを生成する。3 つの並列ダイオード励起ファイバー増幅器 316A、316B、及び 316C は、出力レーザー・ビーム 314 のパワーを劇的に増加させてもよい。この実施例で示されるように、多モード出力は、ダイオード励起ファイバー増幅器のこの構成を使用するとき、10000 ワットより大きくてもよい。

【0061】

図 6 は、本発明の一実施例によるファイバー・レーザーを使用する検出用レーザー 220 のさらに別の実施例を示す。この実施例では、検出用レーザー 220 は、主発振器 302、単一モード光ファイバー 304、第 1 のダイオード励起ファイバー増幅器 306、第 2 の一連のダイオード励起ファイバー増幅器 316A、316B、及び 316C 並びに検出用レーザー・ビーム 314 を配送する働きをする多モード出力光ファイバー 308 を再び含む。この実施例では、主発振器 302 は、NPRO とは対照的なダイオード励起単一周波数ファイバー・レーザーで置き換えられた。

【0062】

主発振器に関連するファイバー・レーザー及びファイバー増幅器は、(1) 約 1000

n mの波長で放射を生成する働きをするイッテルビウム添加ファイバー、又は(2)約1550nmの波長で放射を生成する働きをするエルビウム添加又は共添加ファイバーでもよい。ファイバー・レーザーは、励起ダイオードが励起ファイバーを通じて活性ファイバーに結合されるところの側面クラッド励起を使用してもよい。励起ファイバーは、活性ファイバーの側面クラッド又は内部クラッドを通じて活性ファイバーに結合する。これらの励起ダイオードは、単一エミッタ、一群の単一エミッタ、ダイオード・バー、及び/又は一群のダイオード・バーを含んでもよい。

【0063】

さらに、複数段が、種レーザー310を増幅するために使用されるとき、いくつかの実施例は、ダイオード励起スラブ・レーザー及びダイオード励起ファイバー・レーザーの組み合わせを用いてもよい。検出用レーザーを増幅する又は発生させるためのダイオード励起ファイバー・レーザーの使用は、その全体的な使用又は部分的な使用により、多くの利点を提供する。レーザー・ファイバーを励起するために多くの小さな連続波(CW)ダイオードを使用することによって、各ファイバー結合励起ダイオードは、比較的パワーが小さくてもよい(典型的には数ワットを使用するだけである)。したがって、ダイオードの任意の1つ又は部分の損失は、発生されるべきレーザーの全体の性能に少ししか影響を与えないことがある。

【0064】

熱除去問題及びレーザー・ビーム314の波形の熱変形は、大きく低減される。ファイバー結合ダイオードからの熱除去は、利得から切り離して管理されてもよい。さらに、これらの低パワー・ダイオードは典型的には、ダイオード・スラブ・レーザーのスラブで現在利用できる大きく増加した平均故障間隔(MTBF)定格を提供する。ファイバー・レーザー級増幅器の熱管理は、伝統的なバルク結晶利得媒体の使用と比較されると、大きく改良される。これは、ファイバー表面積(熱がファイバーから除去されるところ)のレーザーが発生される又は増幅される体積に対する比が、スラブ増幅器に関連するバルクの表面对体積比よりも何桁も大きいからである。それゆえに、ファイバー・レーザーは、波面の歪曲が非常に少ししかない単一モードで動作されてもよい。ファイバー・レーザーは、CWモード又は変調パルス・モードで動作させることができるから、速度限界は、レーザー速度ではなく、検査されるべき材料内の超音波伝播時間及び検査されるべき部品を横切って検出用レーザーを走査するために使用される他の部品の走査能力になる。これは、有効な走査速度が10kHz以上であることを可能とする。これは、既存のシステムの走査速度と比較されると、著しい改良を提供する。さらに、この柔軟な構成は、厳しい産業環境に適する移動用及び携帯用のレーザー超音波検査システム設計を可能にすることができる。

【0065】

図7は、検出用レーザーがレーザー超音波検査システム内でどのように発生されてもよいかを示す、本発明に対する1つ又は複数の実施例による論理流れ図を提供する。動作400は、ステップ402における種検出用レーザーの発生から始まった。この種検出用レーザー・ビームは、増幅されてもよい低パワー即ち約25ミリワット程度のレーザー・ビームでよい。この種検出用レーザー・ビームは、NPRO又は単一励起単一周波数ファイバー・レーザー又は種検出用レーザーを発生させるための既知の他の手段を使用して発生されてもよい。種レーザー・ビームはその次に、ステップ404において1つ又は複数のダイオード励起ファイバー増幅器を使用して増幅されてもよい。先に示された実施例では、ダイオード励起ファイバー・レーザー増幅器の様々な組み合わせが、検出用レーザーのパワーを25ミリワットから1000ワット以上まで増加させるために用いられた。ステップ406では、検出用レーザー・ビームは、目標へ配送される。

【0066】

動作時には、本発明は、レーザー超音波検査装置が、より複雑な表面又は制限されたアクセス領域内の表面を検査しながら、より広い範囲の環境で使用されることを可能にする。本発明の実施例は、検出用レーザー・ビーム及びおそらく発生用レーザー・ビームを発

生させ、検査されるべき遠隔目標へ配送するために、ファイバー・レーザーを用いてもよい。そうすることは、レーザー超音波システムの全体的な寸法が大きく低減されることを可能にする。例えば、大きなガントリーを基礎にしたシステムの代わりに、はるかにより小さなロボット・システムが、発生用及び検出用レーザー・ビームを検査されるべき目標の表面へ配送するために使用されてもよい。これは、本発明の実施例によって提供されるレーザー超音波検査システムが、個別の部品を検査するためだけでなく、統合された部品の内部構造を評価するためにも使用されることを可能にする。それゆえに、個々の部分が、本発明の実施例によって提供されるレーザー超音波システムによって検査できるだけでなく、個々の部分でできているアセンブリ構造も検査されてもよい。これは、統合された構造が構築された後に、その構造の寿命にわたって内部構造に何らかの変化があるかどうかを見るために検査が行われることを可能にする。さらに、本発明の実施例は、検出用レーザー・ビームの検出の自由空間配送にしばしば関連する問題なしに、現場で遠隔目標における超音波変位を検出するためにファイバー・レーザーを使用する完全に移動用のシステムを提供することができる。

【0067】

ファイバー・レーザーは、イッテルビウム添加ファイバーを使用することによって、産業用レーザー超音波検査のために現在使用されている1064nm波長と同様の又は同一の波長でレーザー発光を生成することができる。したがって、イッテルビウム添加ファイバーは、光学素子及び検出器のどれも置き換える必要なく、現在使用されているダイオード励起又はフラッシュ励起ロッド又はスラブ検出用レーザーを置き換えることができる。しかしながら、エルビウム添加又はエルビウム共添加ファイバーは、約1550nmの波長でレーザー発光を生成することができる。この波長範囲は普通、目に安全と見なされる。安全要求事項は、約1000nmの波長と比較して、目に安全な波長を使用するときは著しく低減される。もしレーザー超音波検査システムが、屋外又は生産環境で使用されるとするならば、それらの低減された安全要求事項は、資本及び運転費用の重要な低減に変わる可能性がある。

【0068】

約1550nmの波長で動作する検出用レーザーを使用することの追加の利点は、遠距離通信のために開発された、検出器、変調器、光ファイバー、その他のような膨大な量の光学技術を利用できる可能性である。

【0069】

ファイバー・レーザー及びファイバー増幅器は、異なる方法を使用して励起することができる。最もよく知られている方法は、励起放射がファイバー・レーザー又は増幅器のクラッド内に入れられるクラッド励起である。クラッド励起は、クラッド端部（端部励起）か又はクラッド側面（側面励起）かのどちらかから行うことができる。側面励起は、軸外コア設計又はねじれた活性及び励起ファイバー設計といった、端部又は同軸励起の困難さを除外する。さらに、溶融ファイバー結合は、合焦光学素子及び位置合わせの必要性を除外し、端部又はV溝励起などの他の設計よりもっと頑丈である。

【0070】

個別のダイオード及びクラッド側面励起技術を用いることにより、パワーは、信頼性に悪影響を与えることなく追加の励起ダイオードの導入によって拡大することができる。個別のダイオードの寿命は、ダイオード・バーのそれよりも何桁も長い。さらに、単一エミッタは、お互いに独立であり、1つのエミッタが機能しなくなると、ダイオード・バーとは反対にそれは他のどのエミッタにも影響を与えない。最終的に、単一エミッタの不具合の場合には、ファイバー・レーザー又は増幅器の全出力パワーの減少は、多数のダイオード・エミッタのために非常に少ない。

【0071】

要約すれば、本発明の実施例は、超音波の光学的検出のための改良されたレーザーに関する。この「第1の」検出用レーザーの主要な任務は、「第2の」レーザーが検査中の部分内に超音波を発生させるために使用されるところの場所を照射することである。第1の

レーザーからの散乱光は、その部分の表面における超音波の戻りエコーに起因する表面振動を復調するために、集められ、干渉計を使って分析される。改良された検出用レーザー（第１のレーザー）は、高パワー単一周波数レーザー源を生成するためにダイオード励起ファイバー・レーザーを使用して構成される。

【 0 0 7 2 】

当業者は理解するように、術語「実質的に」又は「近似的に」は、本明細書で使用される場合には、その対応する術語に対する産業的に認められた許容範囲を提供する。そのような産業的に認められた許容範囲は、１パーセント未満から２０パーセントまでに及び、成分値、集積回路プロセス変動、温度変化、上がり下がり時間、及び／又は熱雑音に対応するが、限定はされない。当業者はさらに理解するように、術語「動作可能に結合される」は、本明細書で使用される場合には、直接結合及び別の部品、素子、回路、又はモジュールを介した間接結合を含み、ここで、間接結合に対しては、介在する部品、素子、回路、又はモジュールは、信号の情報を変更せず、その電流レベル、電圧レベル、及び／又はパワー・レベルを調節してもよい。当業者はまた理解するように、推定結合（即ち、１つの素子がもう１つの素子に推定により結合されるところ）は、「動作可能に結合される」と同じように２つの素子間の直接及び間接結合を含む。当業者はさらに理解するように、術語「好都合に比較する」は、本明細書で使用される場合には、２つ以上の素子、事項、信号、その他の間の比較が、所望の関係を提供するというを示す。例えば、所望の関係が、信号１は信号２よりも大きい大きさを有することであるとき、好都合な比較は、信号１の大きさが信号２のそれよりも大きいとき又は信号２の大きさが信号１の大きさよりも小さいとき達成されてもよい。

【 0 0 7 3 】

本発明が詳細に述べられたけれども、様々な変更、置換及び代替が、添付の特許請求の範囲によって規定されるような本発明の精神及び範囲から逸脱することなく、ここに行うことができることは理解されるべきである。