



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) **PI 0714349-4 A2**

(22) Data de Depósito: 18/07/2007
(43) Data da Publicação: 02/04/2013
(RPI 2204)



(51) *Int.Cl.:*
G01N 29/24
G01N 29/265
G01H 9/00
G01N 21/17

(54) **Título:** LASER DE FIBRA PARA TESTE ULTRASSÔNICO DE LASER

(30) **Prioridade Unionista:** 18/07/2006 US 11/458,377

(73) **Titular(es):** Lockheed Martin Corporation

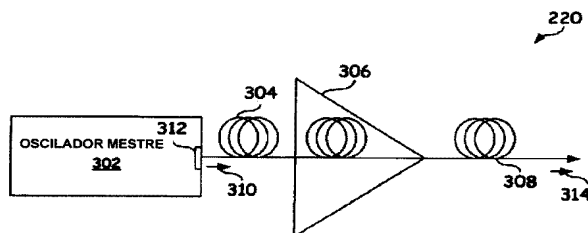
(72) **Inventor(es):** Marc Dubois, Thomas Drake

(74) **Procurador(es):** Montaury Pimenta, Machado & Lioce S/C Ltda

(86) **Pedido Internacional:** PCT US2007016262 de 18/07/2007

(87) **Publicação Internacional:** WO 2008/011055de 24/01/2008

(57) **Resumo:** LASER DE FIBRA PARA TESTE ULTRASSÔNICO DE LASER Modalidades da presente invenção se referem a um laser aperfeiçoado para a detecção óptica de ultrassom. A tarefa principal desse "primeiro" laser de detecção é iluminar o ponto onde um "segundo" laser é utilizado para gerar ultrassom na parte em teste. A luz dispersa a partir do primeiro laser é coletada e analisada com um interferômetro para demodular as vibrações de superfície causadas pelos ecos de retorno do ultrassom na superfície da parte. O laser de detecção aperfeiçoado (primeiro laser) é construído utilizando um laser de fibra bombeado por diodo para produzir uma fonte de laser de frequência única de energia elevada.



"LASER DE FIBRA PARA TESTE ULTRASSÔNICO DE LASER"

PEDIDOS RELACIONADOS

O presente pedido incorpora a título de referência e reivindica o benefício do pedido provisional
5 US número 60/091.240, depositado em 30 de junho de 1998, para todas as finalidades.

Esse pedido incorpora a título de referência e reivindica o benefício do pedido provisional US número 60/091.229, depositado em 30 de junho de 1998, intitulado
10 "METHOD AND APPARATUS FOR DETECTING ULTRASONIC SURFACE DISPLACEMENTS USING POST-COLLECTION OPTICAL AMPLIFICATION", de Thomas E. Drake.

Esse pedido incorpora a título de referência e reivindica o benefício do pedido de patente US número
15 10/753.208, depositado em 07 de janeiro de 2004, e intitulado "REMOTE LASER BEAM DELIVERY SYSTEM AND METHOD FOR USE WITH A ROBOTIC POSITIONING SYSTEM FOR ULTRASONIC TESTING PURPOSES", de Thomas E. Drake.

Esse pedido incorpora a título de referência e reivindica o benefício do pedido de patente US número
20 10/634.342, depositado em 12 de fevereiro de 2004, e intitulado "METHOD AND APPARATUS FOR ULTRASONIC LASER TESTING", de Thomas E. Drake.

CAMPO TÉCNICO DA INVENÇÃO

25 A presente invenção refere-se, genericamente, a um aparelho e método de avaliação não destrutiva de materiais e, mais particularmente, a um aparelho e método de processar informações ópticas para detectar deslocamentos superficiais ultrassônicos através do uso de
30 pelo menos um laser de fibra para executar uma avaliação não destrutiva de um material.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

Nos últimos anos, o uso de estruturas compostas avançadas experimentou um crescimento imenso nas indústrias aeroespacial, automotiva e muitas outras indústrias comerciais. Embora materiais compostos ofereçam
5 aperfeiçoamentos significativos em desempenho, exigem procedimentos de controle de qualidade rigorosos tanto nos processos de fabricação como após os materiais estarem em serviço em produtos acabados. Especificamente, métodos de avaliação não destrutiva (NDE) devem estimar a integridade
10 estrutural de materiais compostos. Essa determinação detecta inclusões, delaminações e porosidades. Métodos de NDE convencionais são lentos, de mão de obra trabalhosa e caros. Como resultado, os procedimentos de teste aumentam adversamente os custos de fabricação associados a
15 estruturas compostas.

Vários métodos e aparelhos foram propostos para estimar a integridade estrutural de estruturas compostas. Uma solução utiliza uma fonte ultrassônica para gerar deslocamentos superficiais ultrassônicos em uma peça de
20 trabalho que são então medidos e analisados. Frequentemente, a fonte externa de ultrassom é um feixe de laser de geração pulsada orientado para o alvo. Luz de laser a partir de um laser de detecção separado é dispersa por deslocamentos superficiais ultrassônicos na peça de
25 trabalho. Óptica de coletar coleta então a energia laser dispersa. A óptica de coleta é acoplada a um interferômetro ou outro dispositivo, e dados sobre a integridade estrutural da estrutura composta podem ser obtidos através da análise da energia laser dispersa. O ultrassom a laser
30 foi mostrado como sendo muito eficaz para a inspeção de partes durante o processo de fabricação.

Entretanto, o aparelho utilizado para ultrassom a laser é projetado sob encomenda e é atualmente um fator de

limitação em relação à velocidade de inspeção. Lasers de detecção de estado sólido anteriores utilizavam arquiteturas de haste bombeada por lâmpada flash ou configurações de chapa bombeada por diodo para amplificar
5 um laser de oscilador mestre de baixa energia. Essas configurações são genericamente mencionadas como lasers de amplificador de potência de oscilador mestre (MOPA).

A velocidade de inspeção é atualmente limitada pela taxa de pulso dos lasers. Lasers bombeados por lâmpada
10 flash podem operar somente a 100Hz e as lâmpadas duram tipicamente somente 10's de milhões de instantâneos. Portanto, esses lasers são lentos e caros para operar. Chapas bombeadas a diodo são muito mais rápidos (400 Hz é o limite atual e 1 KHz pode ser possível), porém utilizam
15 conjuntos de diodo fabricados sob encomenda muito caros para bombear por pulso as chapas e criar uma grande quantidade de calor que pode induzir distorção térmica. Embora o tempo de vida de conjunto de diodo esteja melhorando, alguns duraram instantâneos de 10B, os mesmos
20 têm sido historicamente uma preocupação devido tanto a custo elevado, como a segurança e a distorção térmica. O bombeamento de diodo pulsado de energia elevada de uma chapa de cristal introduzirá distorções térmicas na chapa que limitam finalmente a qualidade de forma de onda do
25 feixe de laser. A distorção de frente de onda pode limitar a energia útil de um laser e evitar distribuição de fibra óptica eficiente do feixe ao alvo. Cada barra de diodo no conjunto pode ter uma energia de pico de 40 W a 100 W e devem estar fisicamente próximos entre si para bombear
30 eficientemente o lado da chapa de laser. O número total de barras de diodo em um conjunto pode ser 50 - 100 (um conjunto bombeará cada lado da chapa, assim possivelmente 200 barras de diodo podem ser utilizadas). A remoção de

calor é um questão de desenho significativa tanto para os conjuntos de diodo como para a chapa.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

As modalidades da presente invenção são dirigidas a sistemas e métodos que tratam substancialmente das necessidades acima identificadas e também de outras necessidades. As modalidades da presente invenção são adicionalmente descritas na descrição a seguir e reivindicações. As vantagens e características de modalidades da presente invenção podem se tornar evidentes a partir da descrição, desenhos em anexo e reivindicações.

As modalidades da presente invenção fornecem um método para detectar deslocamentos superficiais ultrassônicos em um alvo remoto. Isso envolve gerar um feixe de laser de detecção com um laser de fibra bombeado por diodo. O feixe de laser de detecção é dirigido na superfície de um alvo remoto onde deslocamentos superficiais ultrassônicos dispersam o feixe de laser de detecção. A dispersão do feixe de laser de detecção produz luz modulada por fase que pode ser coletada e processada para obter dados representativos dos deslocamentos superficiais ultrassônico na superfície. A análise das informações na luz modulada por fase resultará na capacidade de analisar estruturas no alvo remoto.

A geração do feixe de laser de detecção envolve adicionalmente gerar um feixe de laser de origem com um oscilador mestre. O feixe de laser de origem pode ser então amplificado com pelo menos um amplificador laser de bomba de diodo. Pelo menos o oscilador mestre ou pelo menos um amplificador laser bombeado por diodo é um laser de fibra bombeado por diodo ou amplificador de laser de fibra, respectivamente. Em outras modalidades, o oscilador mestre ou pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo

pode ser um laser de chapa bombeada por diodo enquanto mantém a limitação de que pelo menos o oscilador mestre ou pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo é um amplificador de laser ou laser de fibra bombeado por diodo.

5 Outra modalidade provê um sistema de inspeção de superfície ultrassônica ou sistema de detecção operável para detectar deslocamentos superficiais ultrassônicos em um alvo remoto. Esse sistema inclui um sistema de geração de ultrassom, um laser de fibra de detecção bombeada por
10 diodo, óptica de coleta e um processador. O sistema de geração de ultrassom produz deslocamentos superficiais ultrassônicos no alvo remoto. Isso pode ser feito mecanicamente ou utilizando um sistema de geração de ultrassom a laser. O laser de fibra de detecção bombeado
15 por diodo gera um feixe de laser de detecção que ilumina substancialmente os deslocamentos superficiais ultrassônicos no alvo remoto. Óptica de coletar coleta luz modulada por fase a partir do laser de fibra de detecção bombeado por diodo refletido ou espalhado pelo alvo remoto.
20 O processador pode processar opticamente a luz modulada por fase para produzir um sinal de saída contendo dados representativos dos deslocamentos superficiais ultrassônicos no alvo remoto. Então o processador pode processar o sinal de saída para estimar a integridade
25 estrutural do alvo remoto.

 O laser de detecção bombeado por diodo inclui um oscilador mestre para gerar um feixe de laser de origem, e pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo para amplificar o feixe de laser de origem. Pelo menos o
30 oscilador mestre de pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo é amplificador de laser ou laser de fibra bombeado por diodo. Em outras modalidades o laser de fibra de detecção bombeado por diodo pode incluir um

oscilador mestre, pelo menos um preamplificador de laser bombeado por diodo, e pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo. Como anteriormente mencionado pelo menos um se não todos esses se baseiam no laser de fibra bombeado por diodo.

Ainda em outra modalidade a presente invenção provê um sistema de inspeção composto de área grande para medir deslocamentos superficiais ultrassônicos na superfície de um alvo remoto para estimar a integridade estrutural do alvo remoto. Esse sistema de inspeção composta de área grande pode incluir um sistema de geração de ultrassom, um laser de fibra de detecção, uma óptica de coleta, um processador óptico e um processador de sinais. O sistema de geração de ultrassom produz deslocamentos ultrassônicos no alvo remoto. Um laser de fibra de detecção ilumina, então, os deslocamentos superficiais ultrassônicos com um feixe de laser de detecção. Uma montagem de varredura gera movimento relativo entre o ponto de iluminação do laser de detecção e o alvo remoto. Isso pode ser obtido por qualquer combinação de varrer o feixe de laser de detecção por redirecionar o feixe, mover o feixe de laser de detecção, ou mover o alvo remoto. A óptica de coletar coleta luz modulada por fase a partir do feixe de laser de detecção refletido ou espalhado pelos deslocamentos superficiais ultrassônicos no alvo remoto. O processador óptico processa então a luz modulada por fase coletada pela óptica de coleta para produzir um sinal de saída. O processador de sinal então processa o sinal de saída do processador óptico para obter dados representativos dos deslocamentos superficiais ultrassônicos. Esses dados podem ser então utilizados para estimar a integridade do alvo remoto. Por exemplo, a estrutura interna de um material composto.

Descreve-se um método para detectar deslocamentos superficiais ultrassônicos em um alvo remoto. O método pode compreender a geração de deslocamentos ultrassônicos em uma superfície do alvo remoto, geração de um feixe de laser de detecção com um laser de fibra bombeado por diodo, orientação do feixe de laser de detecção para a superfície do alvo remoto, dispersão do feixe de laser de detecção com os deslocamentos superficiais ultrassônicos na superfície para produzir luz modulada por fase, coleta da luz modulada por fase, processamento da luz modulada por fase para obter dados representativos dos deslocamentos superficiais ultrassônicos na superfície, e coleta dos dados com as informações para analisar estruturas no alvo remoto. A geração de deslocamentos ultrassônicos em uma superfície do alvo remoto pode compreender adicionalmente direcionar um feixe de laser de geração para iluminar uma parte de uma superfície do alvo remoto, em que os deslocamentos superficiais ultrassônicos ocorrem na parte iluminada da superfície do alvo remoto. O método pode compreender adicionalmente processar os dados para estimar a integridade estrutural do alvo remoto. A geração do feixe de laser de detecção pode compreender adicionalmente gerar um feixe de laser de origem com um oscilador mestre, e amplificar o feixe de laser de origem com pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo, onde pelo menos o oscilador mestre ou pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender um laser de fibra bombeado por diodo. A amplificação do feixe de laser de origem com pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender adicionalmente amplificar o laser de origem com pelo menos dois amplificadores de laser bombeados por diodo paralelos, onde uma saída de pelo menos dois amplificadores de laser bombeados por diodo paralelos

são combinados em uma fibra óptica única. O oscilador mestre ou pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender um laser de chapa bombeado por diodo. O oscilador mestre pode compreender um laser de fibra bombeado por diodo. O oscilador mestre e/ou pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender fibras dopadas com itérbio operáveis para produzir radiação em um comprimento de onda de aproximadamente 1000 nm. O oscilador mestre e/ou pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender fibras dopadas ou co-dopadas com érbio operáveis para produzir radiação em um comprimento de onda de aproximadamente 1550 nm. O oscilador mestre e/ou pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender lasers de fibra tendo bombeamento de revestimento lateral onde diodos de bombeamento são acoplados à fibra ativa através de fibras de bombeamento. As fibras de bombeamento podem acoplar-se à fibra ativa através de revestimento lateral ou um revestimento interno da fibra ativa. Os diodos de bombeamento podem compreender emissores únicos, um grupo de barras de diodo de emissores únicos e/ou um grupo de barras de diodo. A amplificação do feixe de laser de origem com pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender amplificar o feixe de laser de origem com um pré amplificador de laser bombeado por diodo, e amplificar o feixe de laser de origem amplificado com o pré amplificador de laser bombeado por diodo com um segundo amplificador de laser bombeado por diodo.

Descreve-se um aparelho operável para detectar deslocamentos superficiais ultrassônicos em um alvo remoto. Em uma modalidade o aparelho compreende um sistema de geração de ultrassom operável para produzir deslocamentos

superficiais ultrassônicos no alvo remoto, um laser de fibra de detecção bombeado por diodo operável para gerar um feixe de laser de detecção que substancialmente ilumina os deslocamentos superficiais ultrassônicos no alvo remoto, 5 óptica de coleta operável para coletar luz modulada por fase a partir do laser de fibra de detecção bombeado por diodo refletido ou espalhado pelo alvo remoto, e um processador operável para processar a luz modulada por fase a partir do laser de fibra de detecção bombeado por diodo 10 refletido ou espalhado pelo alvo remoto para obter dados representativos dos deslocamentos ultrassônicos no alvo remoto, e processar os dados representativos dos deslocamentos ultrassônicos para estimar a integridade estrutural do alvo remoto. O laser de fibra de detecção 15 bombeado por diodo pode compreender um oscilador mestre operável para gerar um feixe de laser de origem, onde o oscilador mestre compreende um laser de fibra bombeado por diodo, e pelo menos um pré amplificador de laser bombeado por diodo operável para amplificar o feixe de laser de origem, em que pelo menos um pré amplificador de laser 20 bombeado por diodo pode compreender um amplificador de laser de fibra bombeado por diodo, e pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo operável para amplificar um feixe de laser de saída produzido por pelo menos um pré amplificador de laser bombeado por diodo, em 25 que pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender um amplificador de laser de fibra bombeado por diodo. O sistema de geração de ultrassom é operável para direcionar um feixe de laser de geração para iluminar 30 uma parte de uma superfície do alvo remoto, onde os deslocamentos superficiais ultrassônicos ocorrem na parte iluminada da superfície do alvo remoto. O laser de fibra de detecção bombeado por diodo pode compreender um oscilador

mestre operável para gerar um feixe de laser de origem, e pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo operável para amplificar o feixe de laser de origem, onde pelo menos o oscilador mestre ou pelo menos um amplificador

5 de laser bombeado por diodo compreende um laser de fibra bombeado por diodo. O oscilador mestre e/ou pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender fibras dopadas com Itérbio operáveis para operáveis para produzir radiação em um comprimento de onda de

10 aproximadamente 1000 nm. O oscilador mestre e/ou pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender fibras dopadas ou co-dopadas com érbio operáveis para produzir radiação em um comprimento de onda de aproximadamente 1550 nm. O oscilador mestre e/ou pelo

15 menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender lasers de fibra tendo bombeamento de revestimento lateral, onde diodos de bombeamento são acoplados à fibra ativa através de fibras de bombeamento. As fibras de bombeamento podem acoplar-se à fibra ativa

20 através de revestimento lateral ou um revestimento interno da fibra ativa. Os diodos de bombeamento podem compreender emissores únicos, um grupo de barras de diodo de emissores únicos e/ou um grupo de barras de diodo. O laser de fibra de detecção bombeado por diodo pode compreender um

25 oscilador mestre operável para gerar um feixe de laser de origem, e pelo menos dois amplificadores de laser bombeados por diodo paralelos operáveis para amplificar o feixe de laser de origem, onde pelo menos dois amplificadores de laser bombeados por diodo paralelos podem compreender um

30 laser de fibra bombeado por diodo, em que uma saída de pelo menos dois amplificadores de laser bombeados por diodo paralelos pode ser combinada em uma única fibra óptica. O oscilador mestre ou pelo menos um amplificador de laser

bombeado por diodo pode compreender um laser de chapa bombeado por diodo. O oscilador mestre pode compreender um laser de fibra bombeado por diodo, e pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender
5 um amplificador de laser de fibra bombeado por diodo. O laser de fibra de detecção bombeado por diodo pode compreender um oscilador mestre operável para gerar um feixe de laser de origem, pelo menos um pré amplificador de laser bombeado por diodo operável para amplificar o feixe
10 de laser de origem, e pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo operável para amplificar um feixe de laser de saída produzido por pelo menos um pré amplificador de laser bombeado por diodo, em que pelo menos o oscilador mestre, pelo menos um pré amplificador de laser bombeado
15 por diodo ou pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo compreende um laser de fibra bombeado por diodo.

Também é descrito um aparelho de inspeção de composto de área grande para medir deslocamentos superficiais ultrassônicos em uma superfície de um alvo
20 remoto compreendendo um sistema de geração de ultrassom operável para produzir deslocamentos superficiais ultrassônicos no alvo remoto, um laser de fibra de detecção operável para iluminar deslocamentos superficiais ultrassônicos na superfície do alvo remoto com um feixe de
25 laser de detecção, uma montagem de varredura operável para criar movimento relativo entre um ponto de iluminação do feixe de laser de detecção e a superfície do alvo remoto, óptica de coleta para coletar luz modulada por fase a partir do feixe de laser de detecção refletida ou dispersa
30 pelo alvo remoto, um processador óptico para processar a luz modulada por fase coletada pela óptica de coleta e produzir um sinal de saída, e um processador operável para processar o sinal de saída para obter dados representativos

dos deslocamentos superficiais ultrassônicos na superfície do alvo remoto. O sistema de geração de ultrassom pode ser operável para direcionar um feixe de laser de geração para iluminar uma parte de uma superfície do alvo remoto, em que os deslocamentos superficiais ultrassônicos ocorrem na parte iluminada da superfície do alvo remoto. O feixe de laser de detecção pode compreender um feixe de laser de modo de onda contínua ou um feixe de laser pulsado. O laser de fibra de detecção bombeado por diodo pode compreender um oscilador mestre operável para gerar um feixe de laser de origem e pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo operável para amplificar o feixe de laser de origem, onde pelo menos o oscilador mestre ou pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo compreende um laser de fibra bombeado por diodo. Pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender pelo menos dois amplificadores de laser bombeados por diodo paralelos operáveis para amplificar o feixe de laser de origem, em que pelo menos dois amplificadores de laser bombeados por diodo paralelos compreendem um laser de fibra bombeado por diodo, em que uma saída de pelo menos dois amplificadores de laser bombeados por diodo paralelos são combinados em uma única fibra óptica. O oscilador mestre ou pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender um laser de chapa bombeado por diodo. O oscilador mestre pode compreender um laser de fibra bombeado por diodo, e pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender um amplificador de laser de fibra bombeado por diodo. O oscilador mestre e/ou pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender fibras dopadas com Itérbio operáveis para produzir uma radiação em um comprimento de onda em torno de 1000 nm. O oscilador mestre e/ou pelo menos um amplificador

de laser bombeado por diodo pode compreender fibras dopadas ou co-dopadas com érbio operável para produzir radiação em um comprimento de onda de aproximadamente 1550 nm. O oscilador mestre e/ou pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender lasers de fibra tendo bombeamento de revestimento lateral, onde diodos de bombeamento são acoplados a fibras ativas através de fibras de bombeamento. As fibras de bombeamento podem acoplar-se à fibra ativa através de revestimento lateral ou um revestimento interno da fibra ativa. Os diodos de bombeamento podem compreender emissores únicos, um grupo de emissores únicos, barras de diodo, e/ou um grupo de barras de diodo. Laser de fibra de detecção bombeado por diodo pode compreender um oscilador mestre operável para gerar um feixe de laser de origem, pelo menos um pré amplificador de laser bombeado por diodo operável para amplificar o feixe de laser de origem, e pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo operável para amplificar um feixe de laser de saída produzido por pelo menos um pré amplificador de laser bombeado por diodo, em que pelo menos o oscilador mestre, pelo menos um pré amplificador de laser bombeado por diodo ou pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender um laser de fibra bombeado por diodo. O laser de fibra de detecção bombeado por diodo pode compreender um oscilador mestre operável para gerar um feixe de laser de origem, em que o oscilador mestre pode compreender um laser de fibra bombeado por diodo, e pelo menos um pré amplificador de laser bombeado por diodo operável para amplificar o feixe de laser de origem, em que pelo menos um pré amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender um amplificador de laser de fibra bombeado por diodo, e pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo operável para amplificar um feixe de laser de

saída produzido por pelo menos um pré amplificador de laser bombeado por diodo, em que pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo pode compreender um amplificador de laser de fibra bombeado por diodo. O aparelho de
5 inspeção de composto de área grande pode compreender adicionalmente um aparelho de posicionamento para mover o laser de detecção através da superfície do alvo remoto e, então, registrar e indexar os dados detectados pelo aparelho de inspeção de composto de área grande. O aparelho
10 de posicionamento pode ser um aparelho de posicionamento de guindaste.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Para uma compreensão mais completa da presente invenção e as vantagens da mesma, faz-se referência agora à
15 seguinte descrição tomada em combinação com os desenhos em anexo, nos quais números de referência similares indicam características e em que:

A figura 1 ilustra o uso de um feixe de laser de geração e um feixe de laser de detecção para gerar e
20 detectar deslocamentos ultrassônicos de laser de acordo com uma modalidade da presente invenção;

A figura 2 provê um diagrama de blocos para mostrar os componentes básicos de sistema de ultrassom a laser;

25 A figura 3 ilustra o uso de laser de fibra como feixe de laser de detecção para detectar deslocamentos ultrassônicos de laser de acordo com uma modalidade da presente invenção;

A figura 4 ilustra o uso de laser de fibra como
30 feixe de laser de detecção para detectar deslocamentos ultrassônicos laser de acordo com uma modalidade da presente invenção;

A figura 5 ilustra o uso de laser de fibra como

um feixe de laser de detecção para detectar deslocamentos ultrassônicos de laser de acordo com uma modalidade da presente invenção;

5 A figura 6 ilustra o uso de laser de fibra como um feixe de laser de detecção para detectar deslocamentos ultrassônicos de laser de acordo com uma modalidade da presente invenção; e

A figura 7 provê um diagrama de fluxo lógico de acordo com uma ou mais modalidades para a presente
10 invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

As modalidades preferidas da presente invenção são ilustradas nas figuras, sendo que números de referência similares são utilizados para se referir a partes similares
15 e correspondentes dos vários desenhos.

As modalidades da presente invenção fornecem um laser de fibra para uso em um sistema de ultrassom a laser. A tarefa principal desse "primeiro" laser de detecção é iluminar o ponto onde um "segundo" laser é utilizado para
20 gerar ultrassom na parte em teste. A luz dispersa a partir do primeiro laser é coletada e analisada com um interferômetro para demodular as vibrações de superfície causadas pelos ecos de retorno do ultrassom na superfície da parte. O laser de detecção aperfeiçoado (primeiro laser)
25 é construído utilizando um laser de fibra bombeado por diodo para produzir uma fonte de laser de frequência única de energia elevada.

Esse laser de fibra bombeado por diodo pode ser construído de muitas maneiras. Uma abordagem é utilizar
30 oscilador de anel não planar de frequência única (NPRO) como um oscilador mestre e então amplificação subsequente por um ou mais amplificadores de laser de fibra. Outra abordagem é construir um laser de frequência única

totalmente de fibra utilizando um laser de fibra como o oscilador mestre e também lasers de fibra como amplificadores.

Lasers de detecção de estado sólido anteriores
5 utilizaram arquiteturas de haste bombeada por lâmpada flash ou configurações de chapa bombeada por diodo para amplificar um laser de oscilador mestre de energia baixa. Essas configurações são genericamente mencionadas como lasers de amplificador de potência de oscilador mestre
10 (MOPA). Laser bombeado por lâmpada flash pode operar aproximadamente a 100 Hz e desenhos de chapa bombeada por diodo operam facilmente a 400 Hz, porém poderiam ser estendido para 1 kHz. Um perfil de pulso típico seria atingir uma energia de pico de 1000 W para 50us - 100us. A
15 taxa de pulso do laser é um dos fatores que limita a produtividade operacional de inspeção do sistema Laser UT.

As modalidades da presente invenção fornecem taxas de inspeção mais rápidas, segurança aperfeiçoada do sistema, custos operacionais mais baixos e permite sistemas
20 móveis e portáteis. A velocidade de inspeção é atualmente limitada pela taxa de pulso dos lasers. Lasers bombeados por lâmpada flash podem operar somente a 100 Hz e as lâmpadas duram tipicamente somente 10's de milhões de instantâneos. Portanto, esses lasers são lentos e caros
25 para operar. Chapas bombeadas por diodo são muito mais rápidas (400 Hz é o limite atual e 1 KHz pode ser possível), porém, utilizam conjuntos de diodo fabricados sob encomenda muito caros para bombear por pulso as chapas. Embora o tempo de vida de conjunto de diodo tenha
30 melhorado, alguns duraram 10B instantâneos, têm havido historicamente uma preocupação devido ao custo elevado e segurança. O bombeamento de diodo pulsado por energia elevada de uma chapa de cristal introduzirá distorções

térmicas na chapa que limita finalmente a qualidade de forma de onda do feixe de laser. A distorção de frente de onda pode limitar a potência útil de um laser e evitar distribuição eficiente de fibra ótica do feixe no alvo.

5 Cada barra de diodo no conjunto de diodos pode ter uma energia de pico de 40 W a 100 W e devem estar fisicamente próximas entre si para bombear eficientemente o lado da chapa de laser. O número total de barras de diodo em um conjunto pode ser de 50 - 100 (um conjunto bombeará
10 cada lado da chapa, assim possivelmente 200 barras de diodo podem ser utilizadas). A remoção de calor e distorção térmica se tornam uma questão significativa de desenho tanto para os conjuntos de diodo como para a chapa.

Um esquema de amplificador totalmente de fibra
15 utiliza muitos diodos de onda contínua pequenos (cw) para bombear a fibra dopada. Isso tem várias vantagens. Primeiramente, todos os diodos de bomba acoplados por fibra são de energia relativamente pequena (tipicamente somente alguns watts) e a perda de qualquer um teria pouco impacto
20 sobre o desempenho total do laser. A remoção de calor a partir dos diodos acoplados por fibras é controlada separadamente a partir do meio de ganho a fibra dopada. Esses diodos de energia baixa têm classificações de tempo médio entre falha (MTBF) de 100.000 horas.

25 O controle térmico de um laser de fibra/amplificador é mais facilmente manipulado do que em um meio de ganho de cristal de volume tradicional. A razão da área superficial de fibra (onde calor é extraído) para o volume é muitas ordens de magnitude maior do que a razão de
30 superfície para volume para um amplificador de chapa. O laser de fibra pode ser operado em um modo único (TEM₀₀) com muito pouca distorção de frente de onda ($M^2 < 1,2$). Com um laser de fibra que pode operar agora em um modo cx

ou em um modo modulado (pulsado), a limitação de velocidade não é a velocidade de laser, porém se torna o tempo de propagação de ultrassom e capacidades de varredura. Taxas de varredura eficazes poderiam ser de 10 kHz ou mais elevadas. Lasers de fibra não utilizam óptica de volume ou discreta tradicional como espelhos ou lentes. Portanto, as questões de contaminação são eliminadas. Um laser de fibra se parece com uma peça de eletrônica industrial. A arquitetura flexível permite desenhos de aparelho de inspeção ultrassônica a laser móveis e possivelmente portáteis. No geral, lasers de fibra são bem adequados para ambientes industriais severos.

A figura 1 representa dois feixes de laser de entrada que geram e detectam deslocamentos ultrassônicos de laser. O feixe de laser 102 gera ultrassom enquanto o feixe de laser de iluminação 104 detecta o ultrassom em um alvo remoto 106, como, porém não limitado a, um material composto em teste. Como mostrado, esses lasers podem ser coaxialmente aplicados a alvo remoto 106. O feixe de laser de geração 102 causa expansão termoelástica 112 no alvo 106 que resulta na formação de ondas ultrassônicas 108. Em uma modalidade diferente, o feixe de laser de geração causa ablação no alvo 106. Ondas ultrassônicas 108 propagam no alvo 106 e modulam, dispersam e refletem feixe de laser de iluminação 104 para produzir luz modulada por fase 110 orientada para longe a partir do alvo 106, que é coletada e processada para obter informações da estrutura interna do alvo remoto 106.

A figura 2 provê um diagrama de blocos com os componentes básicos para executar teste laser ultrassônico. O laser de geração 210 produz feixe de laser 212 cuja montagem óptica 214 orienta para o alvo 216. Como mostrado, a montagem óptica 214 inclui um scanner ou outro mecanismo

similar que move os feixes de laser 212 e 214 ao longo de um plano de teste ou varredura 218. O plano de teste ou varredura 218 pode ser também criado pelo movimento de alvo 216 ou por uma combinação de movimento de alvo 216 e movimento de feixes laser 212 e 224 através da montagem 214. A montagem óptica 214 pode incluir câmeras visuais, câmeras de profundidade, detectores de alcance, câmeras de banda estreita ou outros sensores ópticos similares conhecidos por aqueles com conhecimentos na técnica. Esses sensores ópticos podem individualmente exigir calibrações antes de executar uma inspeção. Essa calibragem verifica a capacidade do sistema de integrar informações coletadas por vários sensores. O laser de geração 210 produz uma onda ultrassônica 108 no alvo 216.

A onda ultrassônica 108 é o resultado de expansão termoelástica 112 do material composto à medida que o material absorve o feixe de laser de geração. O alvo remoto 216 como, porém não limitado a, um material composto absorve prontamente o feixe de laser de geração 212 sem remover ou se quebrar. Lasers de geração de energia mais elevada não são necessariamente preferidos para superar as questões de SNR visto que essas podem resultar em ablação. Em outras modalidades, dependendo do material em teste, alguma ablação pode ser aceitável para aumentar o SNR do sinal detectado. O feixe de laser de geração 212 tem duração apropriada de pulso para induzir deformações superficiais ultrassônicas. Por exemplo, um laser CO₂ atmosférico excitado transversal (TEA) pode produzir um feixe de comprimento de onda de 10,6 microns para um pulso de 100 nanossegundos. A energia do laser deve ser suficiente para distribuir, por exemplo, um pulso de 0,25 joule para o alvo, que pode exigir um laser de 100 watts operando em uma taxa de repetição de pulso de 400 Hz. O

feixe de laser de geração 212 é absorvido e cria calor na superfície alvo, desse modo causando expansão termoelástica sem ablação significativa em uma modalidade da presente invenção. Em uma modalidade diferente da presente invenção, 5 o feixe de laser de geração 212 é absorvido e cria calor suficiente na superfície alvo para causar ablação que se torna o mecanismo principal de geração de onda ultrassônica.

Laser de detecção ou iluminação 220 operando em 10 modo pulsado ou modo de onda contínua não induz deslocamentos ultrassônicos. Por exemplo, um laser Nd:YAG pode ser utilizado. A energia desse laser deve ser suficiente para distribuir, por exemplo, um pulso de 100 micro-segundos, 100 mili-joule, que pode exigir um laser de 15 um kilo-watt. O laser de iluminação 220 gera um feixe de laser de detecção 224. O laser de iluminação 220 inclui ou acopla de forma óptica ao mecanismo de filtração 222 para remover ruído a partir do feixe de laser de detecção 224. A montagem óptica 214 orienta o feixe de laser de iluminação 20 224 para a superfície de material composto 216 que dispersa e/ou reflete o feixe de laser de detecção 224. A luz modulada por fase resultante é coletada por óptica de coleta 226. Como mostrado aqui, laser de iluminação dispersada e/ou refletida se desloca de volta através da 25 montagem óptica 214. O processador óptico opcional 228 e interferômetro 230 processam a luz modulada por fase para produzir um sinal contendo informações representativas dos deslocamentos ultrassônicos na superfície do material composto 216. O sistema de controle e processamento de 30 dados 232 coordena operação dos componentes do sistema de ultrassom de laser.

O sistema de controle e processamento de dados 232 pode ser um dispositivo de processamento único ou uma

pluralidade de dispositivos de processamento. Um tal dispositivo de processamento pode ser um microprocessador, microcontrolador, processador de sinais digitais, microcomputador, unidade de processamento central, 5 disposição de porta programável em campo, dispositivo de lógica programável, máquina de estado, conjunto de circuitos lógicos, conjunto de circuitos analógicos, conjunto de circuitos digitais, e/ou qualquer dispositivo que manipula sinais (analógicos e/ou digitais) baseados em 10 instruções operacionais armazenadas na memória. A memória pode ser um dispositivo de memória único ou uma pluralidade de dispositivos de memória. Um tal dispositivo de memória pode ser uma memória somente de leitura, memória de acesso aleatório, memória volátil, memória não volátil, memória 15 estática, memória dinâmica, memória flash, memória cache, e/ou qualquer dispositivo que armazena informações digitais. A memória armazena e o sistema de controle e processamento de dados 232 executa, instruções operacionais correspondendo a pelo menos algumas das etapas e/ou funções 20 como será ilustrado.

A figura 3 representa o uso de um laser de fibra em um laser de detecção 220, de acordo com uma modalidade da presente invenção. A modalidade do laser de detecção 220 representado na figura 3 pode utilizar um oscilador mestre 25 302 que pode ser acoplado a um amplificador de fibra bombeado de modo único 306 com fibras ópticas 304. A seguir o feixe de laser amplificado pode ser fornecido à peça de trabalho ou amostra em teste. O laser de detecção é aplicado aos materiais a serem inspecionados com fibra 30 óptica 308. O oscilador mestre 302 pode ser um oscilador de anel não plano bombeado por diodo (NPRO) tendo uma saída acoplada por fibra 312 que permite que o feixe de laser de detecção de origem gerado 310 seja fornecido através de uma

fibra óptica 304 para o amplificador de fibra bombeada por diodo 306. Outra abordagem pode construir um laser de frequência única totalmente de fibras utilizando um laser de fibra como o oscilador mestre 302 e um ou mais lasers de fibra como amplificador de fibra bombeado por diodo 306 também como amplificadores.

A figura 4 representa uma segunda modalidade de laser de detecção 220 que utiliza um laser de fibra de acordo com uma modalidade da presente invenção. Nesse caso, o oscilador mestre 302 é acoplado a dois ou mais amplificadores de fibra bombeados por diodo 306 e 316. Como anteriormente, o oscilador mestre 302 tem uma saída acoplada por fibra 312 acoplada à fibra óptica 304. O oscilador mestre 302 gera laser de origem 310 que é distribuído ao preamplificador bombeado por diodo 306 através de fibra óptica 304. Para fins do exemplo, o feixe de laser 310 produzido pelo oscilador mestre 302, pode ser um laser de 25 mili-watts. O preamplificador de fibra bombeado por diodo 306 pode aumentar a energia do feixe de laser 310 para 100 watts. Se necessário, um segundo amplificador 316 pode ser utilizado para aumentar ainda mais a energia do laser de detecção para 1.000 watts. A saída do amplificador bombeado por fibra 316 é então distribuída para os materiais a serem testados utilizando fibra óptica 308.

O nível de energia de radiação de frequência única produzida por um único amplificador poderia ser limitado por um fenômeno físico denominado dispersão Brillouin estimulada (SBS). Quando a SBS ocorre, o amplificador atua como um espelho, refletindo a radiação de volta em direção ao oscilador mestre, possivelmente danificando o mesmo e severamente limitando a energia de saída. Em geral, a fibra 304 e fibra de amplificador 306

são fibras de modo único com diâmetros típicos menores do que 50 microns. O limite de energia para o qual a SBS ocorre é proporcional ao quadrado do diâmetro de fibra. Para produzir radiação de frequência única em níveis de energia que excedem o limite de energia de SBS para o diâmetro de fibra exigido do amplificador de fibra, vários amplificadores de fibra paralelos podem ser utilizados, cada amplificador produzindo um nível de energia abaixo de seu próprio limite de SBS. As fibras de modo único de saída de todos os amplificadores são combinadas por junção de fusão ou por outra técnica em uma fibra de multimodo maior que tem um limite de SBS acima das energias combinadas dos amplificadores paralelos. As figuras 5 e 6 apresentam essa abordagem como duas modalidades da presente invenção.

A figura 5 representa adicionalmente outra modalidade de laser de detecção 220. Como anteriormente esse laser de detecção inclui um oscilador mestre 302, uma fibra óptica de modo único 304, um primeiro amplificador de fibra bombeado por diodo 306. A fibra óptica de saída 308 é uma fibra de diâmetro de núcleo grande, tipicamente com um diâmetro maior do que 50 microns, e o segundo estágio tem múltiplos amplificadores bombeados por diodo paralelos 316A, 316B e 316C. A saída desses amplificadores bombeados por diodo paralelos pode ser combinada em uma única fibra óptica. O oscilador mestre 302 produziu um feixe de laser de origem 310, que é fornecido através da saída acoplada por fibra 312 para a fibra óptica 304. Em uma modalidade desse exemplo, a saída de energia de oscilador mestre 302 pode necessitar produzir um feixe de laser 310 tendo uma energia de aproximadamente 25 mili-watts. Para fins ilustrativos, o preamplificador de fibra bombeado por diodo 306 pode aumentar a energia desse feixe de laser para aproximadamente 100 watts. Então, os três amplificadores de

fibra bombeados por diodo paralelos 316A, 316B e 316C são individualmente acoplados à saída do amplificador de fibra bombeado por diodo 306. Cada amplificador de fibra bombeado por diodo produz uma energia abaixo de seu próprio limite de SBS. Os três amplificadores de fibra bombeados por diodo paralelos 316A, 316B e 316C podem aumentar a energia do feixe de laser de saída 314 de forma acentuada. Como mostrado nesse exemplo, a saída de multimodo pode ser maior do que 1.000 watts ao utilizar essa configuração de amplificadores de fibra bombeados por diodo.

A figura 6 representa adicionalmente outra modalidade de laser de detecção 220 que utiliza um laser de fibra de acordo com uma modalidade da presente invenção. Nessa modalidade, o laser de detecção 220 inclui novamente um oscilador mestre 302, uma fibra óptica de modo único 304, um primeiro amplificador de fibra bombeado por diodo 306, uma segunda série de amplificadores de fibra bombeados por diodo 316A, 316B e 316C e uma fibra óptica de saída de multimodo 308 operável para distribuir um feixe de laser de detecção 314. Nesse exemplo, o oscilador mestre 302 foi substituído com um laser de fibra de frequência única, bombeado por diodo ao contrário do NPRO.

O laser de fibra associado ao oscilador mestre e o amplificador de fibra pode ser: (1) fibras operadas por Itérbio operáveis para produzir radiação em um comprimento de onda de aproximadamente 1000 nm; ou (2) fibras dopadas ou co-dopadas com érbio operáveis para produzir radiação em um comprimento de onda de aproximadamente 1550 nm. Os lasers de fibra podem utilizar bombeamento de revestimento lateral onde diodos de bombeamento são acoplados à fibra ativa através de fibras de bombeamento. As fibras de bombeamento acoplam-se à fibra ativa através de revestimento lateral ou um revestimento interno da fibra

ativa. Esses diodos de bombeamento pode incluir emissores únicos, um grupo de emissores únicos, barras de diodo, e/ou um grupo de barras de diodo.

Adicionalmente, quando múltiplos estágios são
5 utilizados para amplificar laser de origem 310, algumas modalidades podem empregar uma combinação de lasers de chapa bombeados por diodo e lasers de fibra bombeados por diodo. Com uso total ou parcial dos lasers de fibra bombeados por diodo para amplificar ou gerar o laser de
10 detecção oferece muitas vantagens. Pelo uso de muitos diodos de onda contínua (CW) pequenas para bombear a fibra laser, cada diodo de bomba acoplado por fibra pode ser de energia relativamente pequena (tipicamente utiliza somente alguns watts). Portanto, a perda de qualquer uma ou parte
15 dos diodos pode ter pouco impacto sobre o desempenho total do laser a ser gerado.

Os problemas de remoção de calor e distorção térmica do perfil de onda de feixe de laser 314 são muito reduzidos. A remoção de calor a partir dos diodos acoplados
20 por fibra pode ser controlado separadamente do ganho. Além disso, esses diodos de energia baixa oferecem tipicamente classificações de tempo médio muito aumentado entre falha (MTBF) que são atualmente disponíveis em chapa em lasers de chapa de diodo. O controle térmico do amplificador de
25 classe laser de fibra é muito aperfeiçoado quando comparado com o uso de um meio de ganho de cristal de volume tradicional. Isso é porque a razão da área superficial de fibra onde o calor é removido da fibra, para o volume onde o laser é gerado ou amplificado é muitas ordens de
30 magnitude maior do que aquele de uma razão de volume com superfície-volume associada a um amplificador de chapa. Desse modo, o laser de fibra pode ser operado em um único modo com muito pouca distorção de frente de onda. Uma vez

que o laser de fibra pode ser operado em um modo CW ou um modo de pulso modulado, a limitação de velocidade se torna não a velocidade de laser como o tempo de propagação de ultrassom no material a ser testado e as capacidades de varredura de outros componentes utilizados para varrer o laser de detecção através dos componentes a serem testados. Isso permite que taxas de varredura eficazes sejam 10 kHz ou mais elevadas. Isso oferece um aperfeiçoamento significativo quando comparado com taxas de varredura de sistemas existentes. Adicionalmente, essa arquitetura flexível pode permitir desenho de sistema de inspeção ultrassônica laser móvel e portátil para ambientes industriais severos.

A figura 7 provê um diagrama de fluxo lógico de acordo com uma ou mais modalidades para a presente invenção que representam como o laser de detecção pode ser gerado em um sistema de inspeção de ultrassom a laser. As operações 400 começaram com a geração de um laser de detecção de origem na etapa 402. Esse feixe de laser de detecção de origem pode ser uma energia baixa, isto é, da ordem de feixe de laser de 25 mili-watts que pode ser amplificado. Esse feixe de laser de detecção de origem pode ser gerado utilizando um NPRO ou um laser de fibra de frequência única bombeado único ou outro meio conhecido para gerar o laser de detecção de origem. O feixe de laser de origem pode ser então amplificado utilizando um ou mais amplificadores de fibra bombeados por diodo na etapa 404. Na modalidade anteriormente representada várias combinações de amplificadores de laser de fibra bombeados por diodo foram empregadas para aumentar a energia do laser de detecção a partir de 25 mili-watts para 1.000 ou mais watts. Na etapa 406 o feixe de laser de detecção é distribuído para o alvo.

Em operação, a presente invenção permite que um

aparelho de teste ultrassônico laser seja utilizado em uma gama mais ampla de ambientes enquanto testa superfícies mais complexas ou superfícies compreendidas em áreas de acesso limitado. As modalidades da presente invenção podem

5 utilizar lasers de fibra para gerar e distribuir feixes de laser de detecção e possivelmente feixes de laser de geração para um alvo remoto a ser testado. Ao fazer isso permite que o tamanho geral de um sistema de ultrassom a laser seja muito reduzido. Por exemplo, em vez de um

10 sistema baseado em guindaste grande, um sistema robótico muito menor pode ser utilizado para distribuir feixes de laser de geração e detecção para a superfície do alvo a ser testado. Isso permite que o sistema de inspeção de ultrassom a laser oferecido por modalidades da presente

15 invenção seja utilizado não somente para inspecionar componentes individuais como para estimar a estrutura interna de componentes integrados. Desse modo, não somente podem as partes individuais ser inspecionadas pelo sistema de ultrassom a laser oferecido por modalidades da presente

20 invenção como estruturas montadas feitas de partes individuais podem ser inspecionadas. Isso permite que inspeções sejam feitas após a estrutura integrada ter sido construída para ver se há alguma alteração na estrutura interna em relação à vida da estrutura. Adicionalmente

25 modalidades da presente invenção podem fornecer um sistema totalmente móvel que utiliza lasers de fibra para detectar deslocamentos ultrassônicos em um alvo remoto no campo sem os problemas frequentemente associados à distribuição de espaço livre, de detecção de um feixe de laser de detecção.

30 Lasers de fibra podem produzir emissão de laser em comprimentos de onda similares ou idênticos ao comprimento de onda de 1064 nm atualmente utilizado para inspeção ultrassônica-laser industrial pelo uso de fibras

dopadas por Itérbio. Fibras dopadas por itérbio podem substituir, portanto, lasers de detecção de chapa ou haste bombeada por flash ou bombeada por diodo atualmente utilizados sem a necessidade de substituir qualquer uma das

5 ópticas e detectores. Entretanto, fibras dopadas com érbio ou co-dopadas com érbio podem produzir emissão laser em comprimentos de onda em torno de 1550 nm. Essa faixa de comprimento de onda é comumente qualificada como segura para os olhos. Exigências de segurança são

10 significativamente reduzidas ao utilizar um comprimento de onda seguro para os olhos em comparação com comprimentos de onda em torno de 1000 nm. Aquelas exigências de segurança reduzida podem traduzir em importante redução em custos de capital e operacionais se um sistema de inspeção de

15 ultrassom a laser fosse para ser utilizado em um campo aberto ou em um ambiente de manufatura.

Uma vantagem adicional de utilizar um laser de detecção que opera em um comprimento de onda em torno de 1550 nm é a possibilidade de alavancar a imensa quantidade

20 de tecnologias ópticas como detectores, moduladores, fibras ópticas, etc. desenvolvidas para telecomunicação.

Lasers de fibra e amplificadores de fibra podem ser bombeados utilizando diferentes abordagens. A abordagem mais popular é bombeamento de revestimento onde a radiação

25 de bombeamento é inserida no revestimento do amplificador ou laser de fibra. O bombeamento de revestimento pode ser feito a partir da extremidade de revestimento (bombeamento extremo) ou o lado de revestimento (bombeamento lateral). Bombeamento lateral elimina as dificuldades de bombeamento

30 extremo ou coaxial, onde desenhos de núcleo fora de eixo geométrico ou torcidos ativos e desenhos de fibra de bomba. Além disso, um acoplamento de fibra fundida elimina a necessidade de focalizar ótica e alinhamento, e é mais

robusto do que outros desenhos como bombeamento de entalhe-V ou extremo.

Por empregar diodos individuais e uma tecnologia de bombeamento lateral de revestimento, a energia pode ser aumentada pela introdução de diodos de bomba adicionais sem efeito adverso sobre a segurança. O tempo de vida dos diodos individuais é ordens de magnitude maior do que aquele de barras de diodo. Adicionalmente, emissores únicos são independentes entre si e quando um emissor falha, contrariamente às barras de diodo não afeta nenhum outro emissor. Finalmente, no caso da falha de um único emissor, a diminuição em energia de saída total do laser de fibra ou amplificador é muito pequena devido ao grande número emissores de diodo.

Em resumo, modalidades da presente invenção se referem a um laser aperfeiçoado para a detecção óptica de ultrassom. A tarefa principal desse "primeiro" laser de detecção é iluminar o ponto onde um "segundo" laser é utilizado para gerar ultrassom na parte em teste. A luz dispersa a partir do primeiro laser é coletada e analisada com um interferômetro para demodular as vibrações de superfície causadas pelos ecos de retorno do ultrassom na superfície da parte. O laser de detecção aperfeiçoado (primeiro laser) é construído utilizando um laser de fibra bombeado por diodo para produzir uma fonte de laser de frequência única de energia elevada.

Como uma pessoa com conhecimentos médios na técnica reconhecerá, o termo "substancialmente" ou "aproximadamente", como pode ser utilizado aqui, fornece uma tolerância aceita na indústria para seu termo correspondente. Uma tal tolerância aceita na indústria varia de menos de um por cento até vinte por cento e corresponde a, porém não é limitado a, valores de

componentes, variações de processo de circuito integrado, variações de temperatura, tempos de aumento e queda e/ou ruído térmico. Como uma pessoa com conhecimentos médios na técnica reconhecerá ainda, o termo "eficientemente acoplado", como pode ser utilizado aqui, inclui acoplamento 5 direto e acoplamento indireto através de outro componente, elemento, circuito ou módulo onde, para acoplamento indireto o componente, elemento, circuito ou módulo intermediário não modifica as informações de um sinal, porém pode ajustar seu nível de corrente, nível de voltagem 10 e/ou nível de energia. Como uma pessoa com conhecimentos médios na técnica também reconhecerá, acoplamento inferido (isto é, onde um elemento é acoplado a outro elemento por inferência) inclui acoplamento direto e indireto entre dois 15 elementos do mesmo modo como "eficientemente acoplado". Como uma pessoa com conhecimentos médios na técnica reconhecerá adicionalmente, o termo "compara favoravelmente", como pode ser utilizado aqui, indica que uma comparação entre dois ou mais elementos, itens, sinais, 20 etc., fornece uma relação desejada. Por exemplo, quando a relação desejada é que o sinal 1 tem uma maior magnitude do que o sinal 2, uma comparação favorável pode ser obtida quando a magnitude do sinal 1 é maior do que aquela do sinal 2 ou quando a magnitude do sinal 2 é menor do que 25 aquela do sinal 1.

Embora a presente invenção tenha sido descrita em detalhes, deve ser entendido que várias alterações, substituições e modificações podem ser feitas na mesma sem se afastar do espírito e escopo da invenção como definido 30 pelas reivindicações apensas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para detectar deslocamentos superficiais ultrassônicos em um alvo remoto, caracterizado por compreender:

5 gerar deslocamentos ultrassônicos em uma superfície do alvo remoto (106);

direcionar um feixe de laser de detecção (224) para a superfície do alvo remoto;

10 dispersar o feixe de laser de detecção (224) com os deslocamentos superficiais ultrassônicos na superfície para produzir luz modulada por fase;

coletar a luz modulada por fase;

processar a luz modulada por fase para obter dados representativos dos deslocamentos superficiais ultrassônicos na superfície; e

15 coletar os dados com as informações para analisar estruturas no alvo remoto (106), caracterizado pelo fato de que o método adicionalmente compreende:

prover um laser de fibra de detecção bombeado por diodo compreendendo:

um oscilador mestre (302) compreendendo um laser de fibra bombeado por diodo;

um pré amplificador de laser bombeado por diodo (306) compreendendo um amplificador de laser de fibra bombeado por diodo;

25 um amplificador de laser bombeado por diodo (316) compreendendo um amplificador de laser de fibra bombeado por diodo;

30 gerar um feixe de laser de origem utilizando o oscilador mestre (302);

amplificar o feixe de laser de origem para gerar um feixe de laser de saída usando o pré amplificador de laser bombeado por diodo (306);

amplificar o feixe de laser de saída utilizando o amplificador de laser bombeado por diodo (316) para desse modo gerar um feixe de laser de detecção (224).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a geração de deslocamentos ultrassônicos em uma superfície do alvo remoto (106) compreende adicionalmente:

10 direcionar um feixe de laser de geração (212) para iluminar uma parte de uma superfície do alvo remoto (106), em que os deslocamentos superficiais ultrassônicos ocorrem na parte iluminada da superfície do alvo remoto (106).

3. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado por compreender adicionalmente processar os dados para acessar a integridade estrutural do alvo remoto (106).

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que a amplificação do feixe de laser de origem com pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo (316) compreende adicionalmente, amplificar o laser de origem com pelo menos dois amplificadores de laser bombeados por diodo paralelos (316), em que uma saída dos pelo menos dois amplificadores de laser bombeados por diodo paralelos são combinados dentro de uma fibra óptica (308) única.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que o oscilador mestre (302) e/ou o pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo (316) compreende fibras dopadas com itérbio operáveis para produzir radiação em um comprimento de onda de aproximadamente 1000 nm.

6. Método, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o oscilador mestre (302)

e/ou o pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo (316) compreende fibras dopadas ou co-dopadas com érbio operáveis para produzir radiação em um comprimento de onda de aproximadamente 1550 nm.

5 7. Aparelho operável para detectar deslocamentos superficiais ultrassônicos em um alvo remoto, compreendendo:

 um sistema de geração de ultrassom operável para produzir deslocamentos superficiais ultrassônicos no alvo
10 remoto;

 um laser de detecção operável para gerar um feixe de laser de detecção (224) que ilumina substancialmente os deslocamentos superficiais ultrassônicos no alvo remoto;

 óptica de coleta operável para coletar luz
15 modulada por fase a partir do laser de detecção tanto refletido quanto dispersado pelo alvo remoto; e

 um processador operável para:

 processar a luz modulada por fase a partir do laser de fibra de detecção bombeado por diodo tanto
20 refletido quanto disperso pelo alvo remoto para obter dados representativos dos deslocamentos ultrassônicos no alvo remoto (106); e

 processar os dados representativos dos deslocamentos ultrassônicos para acessar a integridade
25 estrutural do alvo remoto (106);

 caracterizado pelo fato de que o laser de detecção compreende um laser de fibra de detecção bombeado por diodo, compreendendo:

 um oscilador mestre (302) operável para gerar um
30 feixe de laser de origem, em que o oscilador mestre compreende um laser de fibra bombeado por diodo; e

 pelo menos um pré amplificador de laser bombeado por diodo (306) operável para amplificar o feixe de laser

de origem,

em que o pelo menos um pré amplificador de laser bombeado por diodo compreende um amplificador de laser de fibra bombeado por diodo; e

5 pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo (316) operável para amplificar um feixe de laser de saída produzido pelo pelo menos um pré amplificador de laser bombeado por diodo,

em que o pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo (316) compreende um amplificador de laser de fibra bombeado por diodo.

8. Aparelho, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o sistema de geração de ultrassom é operável para:

15 direcionar um feixe de laser de geração para iluminar uma parte de uma superfície do alvo remoto (106), em que os deslocamentos superficiais ultrassônicos ocorrem na parte iluminada da superfície do alvo remoto (106).

9. Aparelho, de acordo com a reivindicação 7 ou 20 8, caracterizado pelo fato de que o oscilador mestre (302) e/ou o pelo menos um amplificador de laser bombeado por diodo (316) compreende lasers de fibra tendo bombeamento de revestimento lateral em que diodos de bombeamento são acoplados à fibra ativa através de fibras de bombeamento.

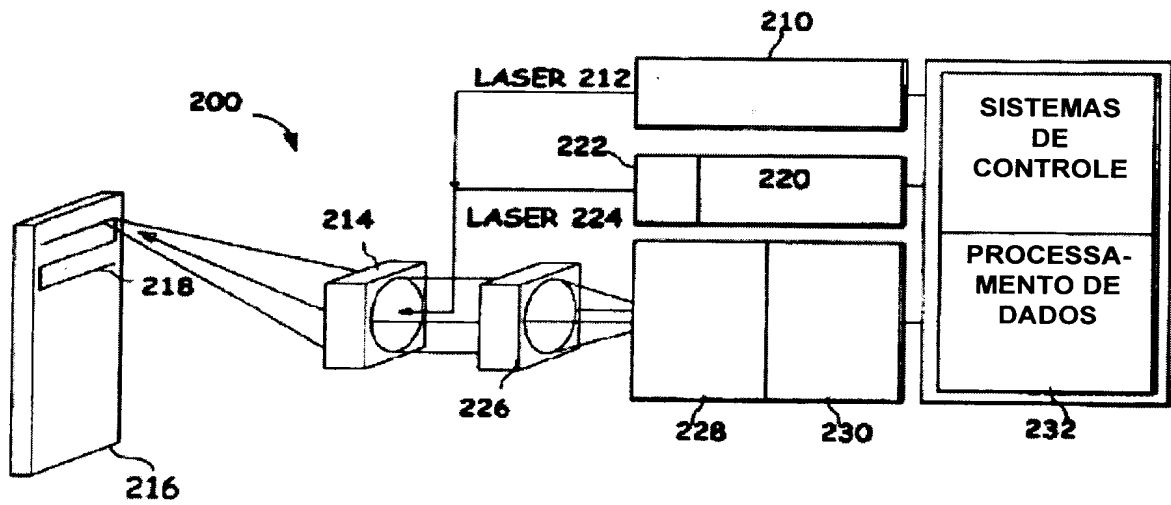
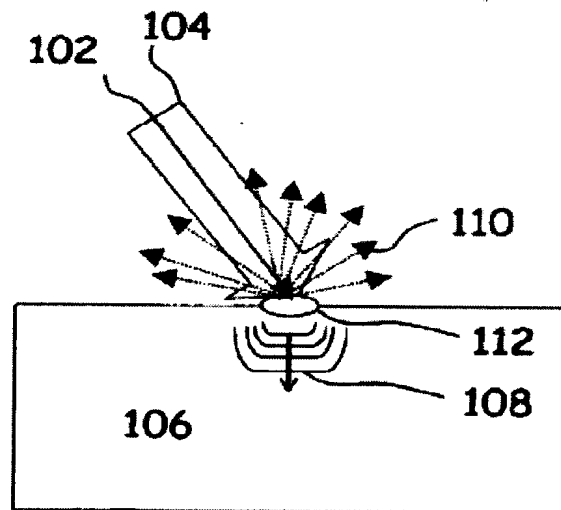
25 10. Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que as fibras de bombeamento acoplam-se à fibra ativa através de revestimento lateral ou um revestimento interno da fibra ativa.

11. Aparelho, de acordo com a reivindicação 9 ou 30 10, caracterizado pelo fato de que os diodos de bombeamento compreendem emissores únicos, um grupo de emissores únicos, barras de diodo e/ou um grupo de barras de diodo.

12. Aparelho, de acordo com qualquer uma das

reivindicações 7 a 11, caracterizado pelo fato de que o laser de fibra de detecção bombeado por diodo compreende:

pelo menos dois amplificadores de laser bombeados por diodo paralelos (316) operáveis para amplificar o feixe de laser de origem, em que pelo menos dois amplificadores de laser bombeados por diodo paralelos (316) compreendem laser de fibra bombeado por diodo, em que uma saída dos pelo menos dois amplificadores de laser bombeados por diodo paralelos são combinados dentro de uma fibra óptica única.



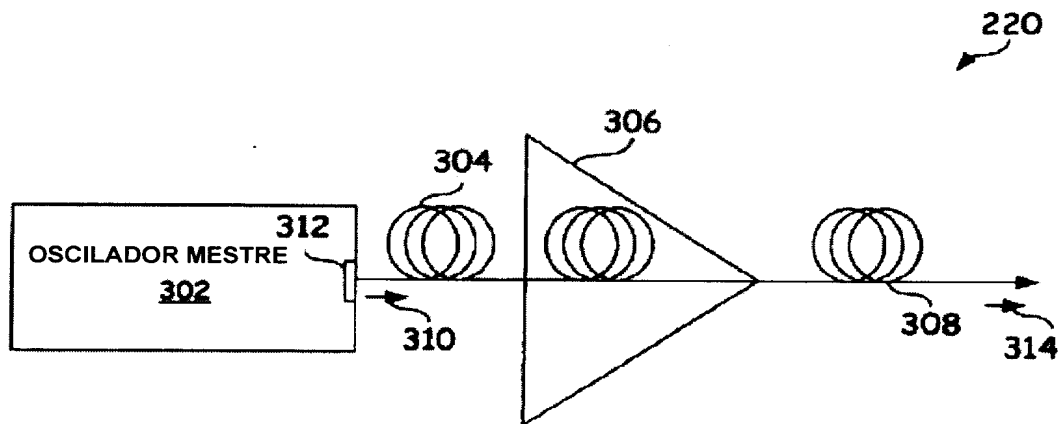


FIG. 3

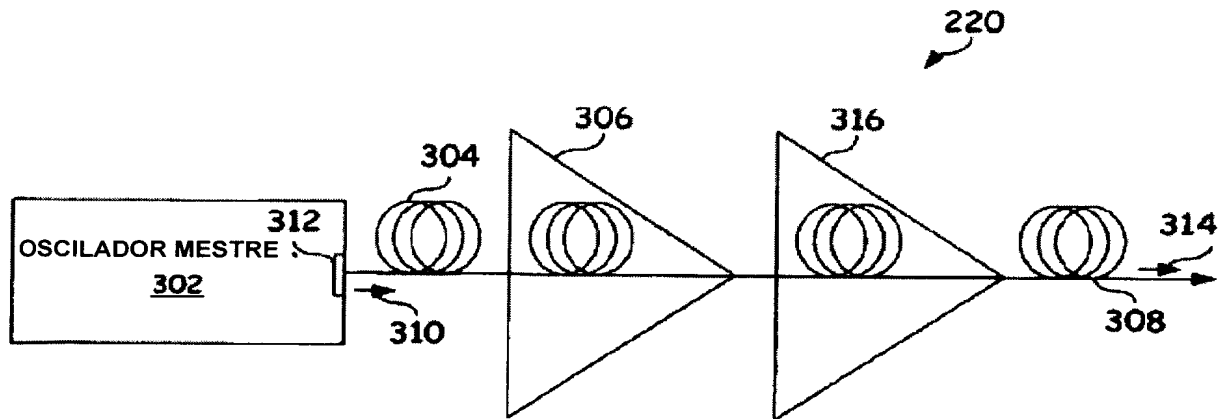
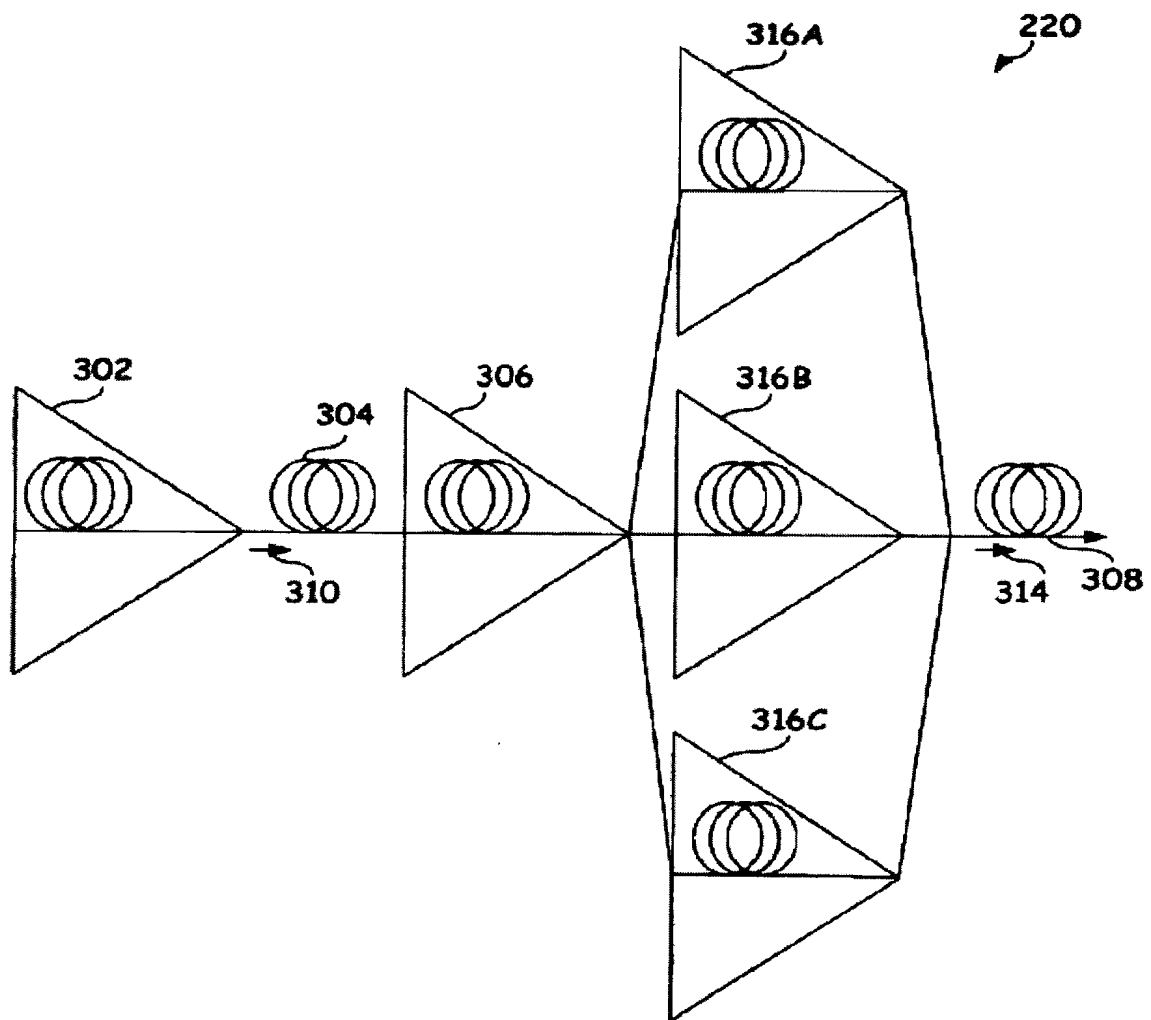
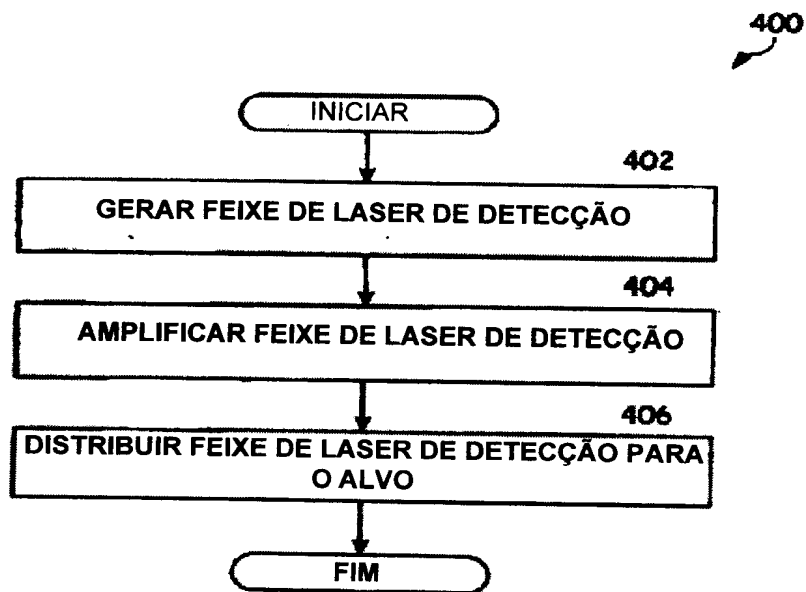


FIG. 4

**FIG. 6**

**FIG. 7**

RESUMO

"LASER DE FIBRA PARA TESTE ULTRASSÔNICO DE LASER"

Modalidades da presente invenção se referem a um laser aperfeiçoado para a detecção óptica de ultrassom. A
5 tarefa principal desse "primeiro" laser de detecção é iluminar o ponto onde um "segundo" laser é utilizado para gerar ultrassom na parte em teste. A luz dispersa a partir do primeiro laser é coletada e analisada com um interferômetro para demodular as vibrações de superfície
10 causadas pelos ecos de retorno do ultrassom na superfície da parte. O laser de detecção aperfeiçoado (primeiro laser) é construído utilizando um laser de fibra bombeado por diodo para produzir uma fonte de laser de frequência única de energia elevada.