



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112012028084-8 B1



(22) Data do Depósito: 27/04/2011

(45) Data de Concessão: 04/02/2020

(54) Título: DISPOSITIVO DE DETECÇÃO DE SUPERFÍCIE CABEÇA DE SONDA DE UM DISPOSITIVO DE DETECÇÃO DE SUPERFÍCIE E MÉTODO DE MONITORAMENTO PARA UMA CABEÇA DE SONDA

(51) Int.Cl.: G01B 5/012; G01B 11/00.

(30) Prioridade Unionista: 05/05/2010 EP 10162017.7.

(73) Titular(es): LEICA GEOSYSTEMS AG.

(72) Inventor(es): THOMAS JENSEN; KNUT SIERCKS.

(86) Pedido PCT: PCT EP2011056689 de 27/04/2011

(87) Publicação PCT: WO 2011/138206 de 10/11/2011

(85) Data do Início da Fase Nacional: 31/10/2012

(57) Resumo: DISPOSITIVO DE DETECÇÃO DE SUPERFÍCIE COM SISTEMA DE MONITORAMENTO ÓPTICO. A presente invenção refere-se geralmente a um dispositivo de detecção de superfície que compreende um sistema de monitoramento óptico para medir um deslocamento da ponta de uma caneta oca em relação a uma portadora de caneta. De acordo com a invenção, os meios emissores de luz do sistema de monitoramento óptico são construídos de modo que o feixe possua pelo menos duas características de luz distinguíveis com uma determinada distribuição de características. O sistema de monitoramento óptico compreende adicionalmente um componente opticamente codificador (100) posicionado na portadora de caneta na trajetória de retorno óptico e desenhado para transformar as informações de uma posição de colisão (50, 50') do feixe retornado no componente codificador óptico (100) em uma mudança da distribuição de características do feixe retornado, e o meio detector é sensível a pelo menos duas características de luz distinguíveis e construído para gerar o sinal de saída elétrico dependente da distribuição de características alterada do feixe retornado.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "DISPOSITIVO DE DETECÇÃO DE SUPERFÍCIE CABEÇA DE SONDA DE UM DISPOSITIVO DE DETECÇÃO DE SUPERFÍCIE E MÉTODO DE MONITORAMENTO PARA UMA CABEÇA DE SONDA".

[0001] A presente invenção refere-se a um dispositivo de detecção de superfície dedicado para uso em aparelho de determinação de posição, em particular em uma máquina de medição por coordenada (CMM) ou uma máquina de varredura. O dispositivo compreende uma base e uma cabeça de sonda para estabelecer uma conexão de medição por contato ou sem contato a uma superfície que será medida. A cabeça de sonda é ligada de maneira móvel à base por pelo menos uma junção e compreende uma caneta oca com comprimento de caneta e uma ponta de caneta. O dispositivo de detecção de superfície compreende ainda um sistema de monitoramento ótico para medir um deslocamento da ponta da caneta em relação à portadora de caneta.

[0002] O sistema de monitoramento ótico compreende meio emissor de luz, ou seja, pelo menos uma fonte de luz para gerar um feixe que será dirigido para dentro da caneta em direção à ponta da caneta, onde pelo menos partes do feixe são refletidas à medida que um feixe retornado se propaga ao longo de uma trajetória de retorno ótico.

[0003] Adicionalmente, o sistema de monitoramento ótico é fornecido com meio detector para o feixe retornado que é capaz de gerar um sinal de saída elétrico indicativo do deslocamento da ponta da caneta.

[0004] As máquinas de medição por coordenada (CMM) são usadas para determinar a topografia tridimensional de um objeto. As CMM compreendem tipicamente um braço móvel em três direções (X, Y, Z) relativas a uma mesa que sustenta o objeto. O movimento do braço em qualquer uma dessas direções e, assim, a posição real do braço em relação ao objeto é medido com transdutores adequados.

[0005] Para medir as variações de superfície, os princípios de medição baseados no uso de sensores tácteis e de sensores óticos são conhecidos.

[0006] No pedido de patente internacional N° WO 89/07745, descreve-se uma cabeça de sonda para uso em máquinas de medição por coordenada. A cabeça de sonda compreende uma caneta que é sustentada para deslocamentos axiais e angulares. Um transdutor detecta forças axiais na extremidade de detecção da caneta devido ao engate da extremidade da caneta com uma peça de trabalho. Um sistema indicador de pressão fornecido sobre a caneta detecta as forças transversais sobre a extremidade de detecção da caneta. As forças axiais e transversais são usadas para determinar a orientação da superfície da peça de trabalho, e um sistema de controle é descrito para responder a essas forças de modo a manter a caneta normal em relação à superfície da peça de trabalho durante uma operação de varredura.

[0007] A partir dos sinais fornecidos pelos transdutores de medição e a partir do conhecimento das dimensões das partes do dispositivo de detecção de superfície, uma predição pode ser feita sobre a posição do centro da ponta da caneta.

[0008] Entretanto, a montagem de caneta é submetida a uma flexão devido ao contato com a superfície da peça de trabalho e devido a forças inerciais enquanto está acelerando, e essa flexão torna a posição real do centro da ponta da caneta incerta.

[0009] Na Patente N° U.S. 5 118 956, descreve-se uma ponta da sonda de varredura, essa é fornecida com um sensor, como um espelho, uma fibra ótica ou um elemento birrefringente que muda o estado por vibração ou se submetendo a uma tensão quando uma caneta conectada à sonda contatar uma peça de trabalho. O sensor é fornecido sobre a caneta (no caso do espelho) ou na caneta (no caso da fibra ótica). A mudança de estado do sensor devido ao contato de superfície

com uma peça de trabalho causa uma mudança no comprimento da trajetória, estado de polarização, ou intensidade de ondas de luz conduzidas pelo sensor. Como um exemplo, descreve-se um interferômetro para a detecção dessas mudanças. Os feixes de sonda direcionados ao objeto que será investigado e os feixes retornados podem ser propagados em fibras óticas a partir da fonte de luz até objeto e retornados em fibras óticas para um detector. Sensores óticos não são usados para detectar deformações ou vibrações da caneta por si só. Ademais, os sensores óticos substituem os transdutores elétricos clássicos.

[00010] Como uma desvantagem, essa configuração de detecção exige o registro da variação de um padrão de interferência ao longo de um período de tempo significativo e/ou o uso de detectores sensíveis à posição de alta resolução e ampla área. Adicionalmente, uma calibração de uma mudança nos padrões de interferência até o ponto de deslocamento e/ou flexão da caneta é difícil, visto que tipicamente os padrões de interferência dificilmente são exatamente reproduzíveis.

[00011] As medições de varredura baseadas em sensores táteis, ou seja, uma ponta de contato com a peça de trabalho, são geralmente associadas a um problema principal. Se a caneta for desenhada muito inflexível/rígida, a ponta de detecção/cabeça de sensor tem que acompanhar as variações de superfície de um objeto muito precisamente para garantir um contato uniforme ou igual e contínuo com o objeto para uma determinação exata da topografia da superfície. Devido à inércia relativamente grande da cabeça de medição devido a sua massa, superfícies muito lisas ou polidas e/ou velocidades de baixa varredura poderiam ser exigidas para medições exatas. Se, em contrapartida, a caneta for desenhada muito flexível/fácilmente deformável, as velocidades de varredura poderiam ser aumentadas, porém a cabeça de medição/sensor poderia fornecer apenas uma representa-

ção atenuada/aproximada da superfície do objeto como um resultado de medição.

[00012] Na Patente Nº U.S. 6 633 051, uma solução é proposta onde uma portadora de caneta relativamente rígida de formato tipo trombeta é conectado com uma caneta flexível relativamente fina, de baixa massa, para garantir altas frequências naturais do sistema formadas pela caneta e portadora de caneta combinadas com alta flexibilidade da caneta, ou seja, a possibilidade de altas velocidades de varredura. Um feixe de sonda de uma fonte de luz laser é dirigida para dentro da caneta até a ponta onde esse colide com um retro-refletor. Uma deflexão da ponta da caneta resulta em um deslocamento do feixe refletido/retornado e é medida/registrada com um detector sensível à posição alojado na portadora de caneta. Assim, o sistema de monitoramento ótico que compreende a fonte de luz de excitação e o detector cumpre a funcionalidade do sistema de medição tátil.

[00013] Como uma desvantagem da configuração de sistema mostrada na Patente Nº U.S. 6 633 051, o sistema de monitoramento ótico que inclui diodo laser, a eletrônica de detector e condutor é montada na portadora de caneta, assim, confinando várias fontes de calor na estrutura fechada formada pela caneta e sua portadora.

[00014] O desenvolvimento de calor resulta em uma deformação incontrolável do sistema de medição desde que o equilíbrio térmico não seja obtido. Uma vantagem essencial dessas máquinas de medição por coordenada é sua alta flexibilidade de operação devido a uma troca automática rápida, geralmente constante das sondas de medição, ou seja, troca de formato e comprimento de caneta para adaptação ótima ao objeto que será verificado. Qualquer troca da caneta que resulta em uma mudança nas condições de equilíbrio térmico, a inclusão de qualquer fonte de calor na estrutura formada pela caneta e a portadora de caneta deve ser evitada.

[00015] Para CMM que compreende sensores táteis e CMM equipada com sensores óticos, uma provisão de um sistema de monitoramento ótico é necessária se, no caso de forças de aceleração vigorosas que atuam sobre a flexão de sensores óticos da caneta, ou no caso de medições táteis de varredura, ocorrem rápidas deformações da caneta.

[00016] Assim, dois efeitos devem ser considerados e compensados: primeiro, uma caneta oca de comprimento significativo, como uma caneta de carbono de 300 mm de comprimento e 5 mm de diâmetro, é submetida a uma flexão estática de cerca de 80 μ m mediante a orientação horizontal devido à força gravitacional. Adicionalmente, essa flexão estática desvia ligeiramente da simetria rotacional devido à excentricidade do furo interno e falta de homogeneidades de material na ordem de alguns micrômetros. Como um segundo efeito, em medições de varredura, ocorre uma flexão dinâmica da caneta causada por forças de aceleração adicionais que pode obter uma quantidade similar como a flexão estática e pode adicionar ou compensar a flexão estática. Ademais, a extremidade da caneta pode ser submetida a um cross-talk vibracional a partir da atuação da CMM.

[00017] Em um equipamento com um sistema de monitoramento ótico, ao contrário da configuração mostrada na Patente Nº U.S. 6 633 051, uma inclusão de fontes de calor, ou seja, de dispositivos que consomem energia elétrica como fontes potenciais de deformações perturbadoras, no sistema de medição fechado que compreende a caneta e portadora de caneta deve ser evitada.

[00018] Um objetivo da invenção é proporcionar um dispositivo de detecção de superfície, em particular para CMM ou máquinas de varredura baseadas em sensores óticos ou táteis, que deve ser equipado com um sistema de monitoramento ótico sem a geração de calor no sistema de medição.

[00019] Em particular, um objetivo é proporcionar uma solução técnica para a transmissão de um sinal que se origina da ponta da caneta de detecção indicativa de um deslocamento da ponta da caneta ou uma flexão da caneta a um detector remoto, em que um sinal transmitido ou mudança de sinal deve ser facilmente escalonável e com alta precisão a uma quantidade associada de deslocamento ou flexão de caneta. A seguir, um deslocamento da ponta da caneta e uma flexão da caneta são resumidos como um "deslocamento da ponta da caneta".

[00020] Uma solução dessa tarefa deve satisfazer as seguintes condições limite técnicas:

- Capacidade de medição de deformações dinâmicas (flexão) da caneta na faixa de alguns kHz, permitindo assim o registro de excitação de vibração fraca causada pela atuação da CMM e de eixos mecânicos móveis da cabeça de medição;

- Determinação de uma deformação da ponta de medição com uma precisão de cerca de 100 nm;

- Nenhuma geração significativa de calor ou consumo de energia dentro da sonda de detecção e da portadora de caneta (abaixo de 1 mW) ;

- Compatibilidade com uma interface opto-mecânica, ou seja, capacidade de transmissão de sinal por uma fibra ótica monomodo;

- Nenhuma perturbação na trajetória ótica do feixe retornado da transmissão ótica de sinais de sensor ótico;

- Compatibilidade da solução com o uso de sensores táteis e óticos.

[00021] Os objetivos e tarefas acima são atingidos por um dispositivo de detecção de superfície de acordo com a invenção, fornecido com uma base e uma cabeça de sonda para estabelecer uma medição por contato ou sem contato a uma superfície que será medida. A ca-

beça de sonda é ligada de maneira móvel à base por pelo menos uma junção e compreende uma caneta oca com comprimento de caneta e uma ponta de caneta. O dispositivo de detecção de superfície compreende ainda um sistema de monitoramento ótico para medir um deslocamento da ponta da caneta em relação à portadora de caneta.

[00022] O sistema de monitoramento ótico compreende meio emissor de luz, ou seja, pelo menos uma fonte de luz para gerar um feixe que será dirigido para dentro da caneta em direção à ponta da caneta, onde pelo menos partes do feixe são refletidas à medida que um feixe retornado se propaga ao longo de uma trajetória de retorno ótico.

[00023] Adicionalmente, o sistema de monitoramento ótico é fornecido com meio detector para o feixe retornado que é capaz de gerar um sinal de saída elétrico indicativo do deslocamento da ponta da caneta.

[00024] O meio emissor de luz pode ser uma única fonte de luz como um laser, diodo laser ou diodo emissor de luz superluminescente (SLED), porém também pode ser constituído por uma grande quantidade de fontes de luz. Como um recurso de caracterização da invenção, o "meio emissor de luz" é construído de modo que uma luz emitida possua pelo menos duas características de luz diferentes, distinguíveis com uma determinada distribuição de características. Essas características de luz diferentes, distinguíveis, que são combinadas com um feixe de sonda que é dirigido para dentro da caneta em direção à ponta da caneta de detecção, podem, por exemplo, ser componentes de luz de comprimentos de onda diferentes emitidos pelas diferentes fontes de luz laser, ou luz com uma banda de emissão separável formando sub-bandas espectrais distintas como a luz tipicamente emitida por um diodo emissor de luz superluminescente (SLED), com uma largura de banda na ordem de 10 nm.

[00025] Na ponta da caneta, pelo menos partes do feixe de sonda

são retornadas e propagadas novamente como um feixe retornado. O feixe retornado contém informações sobre qualquer deslocamento da ponta da caneta ou flexão da caneta, sendo que essas informações são, por exemplo, fornecidas em um deslocamento da trajetória ótica do feixe retornado.

[00026] Como outro recurso característico da invenção, um componente oticamente codificador, posicionado na portadora de caneta na trajetória de retorno ótico, é fornecido como uma parte adicional do sistema de monitoramento ótico, tipicamente colocado em uma trajetória ótica entre a portadora de caneta e a ponta da caneta. O componente oticamente codificador é desenhado para transformar as informações sobre um deslocamento da ponta da caneta, que será tipicamente um deslocamento lateral, ou sobre uma flexão da caneta, recebidas e o componente oticamente decodificador, por exemplo, sob a forma de um deslocamento de trajetória ótica do feixe retornado, em uma mudança na distribuição entre frações dos componentes de luz ou características de luz distinguíveis para um feixe retornado deslocado comparada com uma distribuição correspondente para um feixe retornado não deslocado. Em outras palavras: As informações de uma posição de colisão do feixe retornado no componente oticamente codificador são transformadas em uma mudança da distribuição de características do feixe retornado. O feixe retornado distribuído em frações de componentes de luz distinguíveis é adicionalmente dirigido para o meio detector como parte do sistema de monitoramento ótico. O meio detector é sensível a pelo menos duas características de luz distinguíveis e construído para gerar o sinal de saída elétrico dependente da distribuição de características alterada do feixe retornado.

[00027] Prefere-se que o componente oticamente codificador seja desenhado de modo que a distribuição de características do feixe retornado seja modificada dependente da posição de colisão do feixe

retornado pelo componente oticamente codificador, de modo que o feixe retornado com a distribuição de características modificada que se propaga do componente oticamente codificador até o meio detector seja indicativo do deslocamento da ponta da caneta independente de uma trajetória de propagação exata d feixe retornado dentro da trajetória de retorno ótico. Assim, o guia de onda ótico do feixe retornado com a distribuição de características modificada para o meio detector por uma fibra ótica é ativado, sem perder a indicação ótica do deslocamento da ponta da caneta realizada pelo feixe retornado.

[00028] Como uma modalidade preferida da invenção, o dispositivo de detecção de superfície é fornecido como uma máquina de medição por coordenada, em particular como uma CMM com um braço articulado, uma extremidade dessa forma a base e a outra fixa a cabeça de sonda. Prefere-se que o meio emissor de luz compreenda uma ou mais fontes de luz laser e o meio detector compreenda um ou mais detectores. Ademais prefere-se que o meio emissor de luz e o meio detector sejam posicionados fora da cabeça de sonda, com mais preferência, alojado na base do dispositivo de detecção.

[00029] O feixe gerado pelo meio emissor de luz bem como o feixe retornado que se propaga do componente oticamente codificador até o meio detector são, de preferência, guiados por ondas no braço articulado por fibras óticas. Prefere-se em particular que o feixe seja desacoplado e o feixe retornado seja acoplado dentro de uma fibra de transmissão utilizando um circulador como um dispositivo de guia de feixe.

[00030] A fibra ótica de transmissão pode ser fornecida para dirigir o feixe de sonda a partir de pelo menos uma fonte de luz até um dispositivo de guia de feixe, como um circulador ou um acoplador de fusão em combinação com isoladores óticos, operáveis para dirigir o feixe de sonda para dentro de uma primeira fibra ótica ("fibra de feixe de

sonda") fornecida com um primeiro colimador de fibra ótica para desacoplar um feixe colimado que será propagado como um feixe livre ótico em direção à ponta de detecção da caneta.

[00031] Um segundo colimador de fibra ótica pode ser fornecido para acoplar o feixe retornado dentro de uma segunda fibra ótica ("fibra de feixe retornado") e guiar o feixe retornado em direção ao dispositivo de guia de feixe, onde esse é acoplado dentro da fibra de transmissão ótica para transmissão ao detector.

[00032] De preferência, a fibra de transmissão ótica e as primeira e segunda fibras óticas são fibras óticas monomodo.

[00033] Para aumentar a fração de luz retornada e limitar os deslocamentos de detecção de trajetória ótica do feixe retornado ao deslocamento apenas da ponta da caneta ou apenas à flexão da caneta, prefere-se que um componente ótico seja montado adjacente à ponta de detecção para retornar o feixe substancialmente insensível à inclinação da ponta de detecção, sendo que o dito componente ótico é fornecido, de preferência, como um retro-refletor.

[00034] Em uma modalidade preferida da invenção, pelo menos duas características de luz distinguíveis são determinadas por componentes de luz do feixe gerado que possui comprimentos de onda ou faixas de comprimento de onda diferentes e/ou estados de polarização diferentes, e a distribuição de características é determinada por uma proporção ou fração de cada componente de luz.

[00035] Prefere-se que o componente codificador ótico compreenda um filtro ótico segmentado com pelo menos dois segmentos de características de transmissão diferentes, de preferência, espectralmente não-sobrepostos. O filtro pode ser localizado no plano de pupila de entrada do segundo colimador de fibra ótica na trajetória de feixe de luz retornado. O filtro ótico segmentado pode possuir qualquer formato de seu corte transversal perpendicular à direção de propagação do feixe

retornado; entretanto, prefere-se um formato simétrico como um formato circular ou quadrado, por exemplo, com uma área de superfície de corte transversal de 2 mm x 2 mm.

[00036] As diferentes características de transmissão de segmentos de filtro podem estar relacionadas à transmissão diferente para estados de polarização de luz diferentes, porém estão, de preferência, relacionadas à transmissão espectral diferente, ou seja, que o filtro ótico segmentado é um filtro cromático, de preferência, fornecido com janelas de transmissão espectralmente não-sobrepostas com distância espectral de 100 ou 200 GHz, ou seja, 0,8 nm ou 1,6 nm na banda C e L, correspondente à norma de telecomunicação ITU. Naturalmente, as características de transmissão dos segmentos de filtro devem ser selecionadas de acordo com os comprimentos de onda de emissão da(s) fonte(s) de luz para a geração do feixe de sonda (e vice-versa).

[00037] O componente óticamente codificador também pode compreender um componente ótico capaz de uma deflexão localmente variada do feixe retornado em uma direção perpendicular à direção de propagação do feixe retornado.

[00038] O componente óticamente codificador também pode compreender um "canal" (segmento) desenhado para a transmissão de sinal para uma medição de distância interferométrica de modo a determinar mudanças no comprimento da caneta.

[00039] Para propósitos de fácil produção, o filtro ótico segmentado pode compreender quatro segmentos. Entretanto, qualquer outro tipo de segmentação pode ser realizado, os segmentos individuais são, de preferência, desenhados para transmissão relativa igual em relação à intensidade de componentes de luz lançados no caso de um feixe retornado não deslocado.

[00040] O filtro ótico segmentado pode ser um filtro de interferência dielétrico segmentado. Os filtros de interferência dielétricos são co-

nhecidos por sua separação precisa entre rejeição e transmissão espectral de um feixe de luz policromática de entrada, ao contrário, por exemplo, de filtros de vidro colorido com inclinações relativamente superficiais. O filtro ótico segmentado pode ser fabricado ao conglutinar segmentos de transmissão diferentes sendo vantajoso para a produção em escalas pequenas. Placas de vidro diferentes poderiam ser fornecidas com revestimentos diferentes, serradas, e então pedaços de revestimento diferentes poderiam ser combinados com um filtro segmentado, sendo que todas as etapas de fabricação são etapas de processamento padrão.

[00041] Para produção em maiores escalas, a fabricação de filtros segmentados em um processo de produção de tabletes, inclusive a deposição dos revestimentos durante um número adequado de etapas de mascaramento, poderiam ser vantajosas. Esse método de fabricação poderia evitar a etapa de conglutinar segmentos individuais.

[00042] Um assunto adicional da invenção é uma cabeça de sonda de um dispositivo de detecção de superfície de acordo com a invenção, sendo que a cabeça de sonda é formada para estabelecer e manter uma conexão de medição por contato ou sem contato a uma superfície que será medida, em que a cabeça de sonda compreende uma portadora de caneta e uma caneta oca com uma ponta da caneta. Como um recurso de caracterização, a cabeça de sonda compreende um meio para receber um feixe, sendo que o feixe possui pelo menos duas características de luz distinguíveis com uma determinada distribuição de características, a partir do dispositivo de detecção de superfície guiado por ondas por uma fibra ótica. A cabeça de sonda compreende adicionalmente um meio para desacoplar o feixe fora da fibra ótica e direcionar o feixe para dentro da caneta em direção à ponta da caneta, onde pelo menos partes do feixe são refletidas à medida que um feixe retornado se propaga ao longo de uma trajetória de retorno

ótico. Ademais, a cabeça de sonda compreende um componente óticamente codificador como parte de um sistema de monitoramento ótico para medir um deslocamento da ponta da caneta em relação à portadora de caneta. O componente óticamente codificador fica posicionado na portadora de caneta na trajetória de retorno ótico e desenhado para transformar as informações de uma posição de colisão do feixe retornado pelo componente óticamente codificador em uma mudança na distribuição de características do feixe retornado. A cabeça de sonda também compreende um meio para acoplar o feixe retornado, que possui uma distribuição de características alterada, dentro de uma fibra ótica, para permitir o guia de onda ótica do feixe retornado no dispositivo de detecção de superfície.

[00043] As modalidades preferidas da cabeça de sonda de acordo com a invenção incluem adicionalmente um distribuidor de feixe que compreende um divisor de feixe e/ou um circulador conectado a uma fibra de transmissão e a uma primeira fibra ótica e uma segunda fibra ótica. Nessa modalidade, o circulador é usado para injeção de luz, a partir de pelo menos uma fonte de luz capaz de emitir pelo menos dois componentes de luz distinguíveis e recebida da fibra de transmissão (119), para dentro da primeira fibra ótica conectada a um primeiro colimador de fibra ótica, e para injeção de luz retornada da ponta de detecção da caneta e recebida de uma segunda fibra ótica conectada a um segundo colimador de fibra ótica dentro da fibra de transmissão ótica.

[00044] Outro assunto da invenção é um método de monitoramento de uma cabeça de sonda de um dispositivo de detecção de superfície, sendo que a cabeça de sonda compreende uma portadora de caneta e uma caneta oca com uma ponta da caneta. O método de monitoramento é desenhado para medir um deslocamento da ponta da caneta em relação à portadora de caneta. O método compreende

- dirigir um feixe, que possui pelo menos duas características de luz distinguíveis com uma determinada distribuição de características, dentro da caneta em direção à ponta da caneta onde pelo menos partes do feixe de luz de sonda são retornadas como um feixe retornado com uma trajetória de retorno ótico;

- transformar as informações de uma posição de colisão do feixe retornado por um componente oticamente codificador posicionado na portadora de caneta na trajetória de retorno ótico em uma mudança na distribuição de características do feixe retornado

- detectar pelo menos duas características de luz distinguíveis do feixe retornado, e

- determinar o deslocamento da ponta da caneta em relação à portadora de caneta dependente da distribuição de características alterada do feixe retornado. Com isso, prefere-se que, após a etapa de transformação, o feixe retornado seja guiado por ondas por uma fibra ótica.

Breve Descrição das Figuras

[00045] A Figura 1 mostra uma montagem de uma portadora de caneta 1 e uma caneta oca 2 dedicada para uso em combinação com uma sonda de detecção tátil fornecida com uma ponta de contato com objeto 9, de acordo com o estado da técnica (Patente N° U.S. 6 633 051).

[00046] Na Figura 2a ilustra-se um filtro cromático segmentado 100 como um exemplo de um componente oticamente codificador.

[00047] A Figura 2b mostra uma modalidade alternativa de um filtro cromático segmentado 200 como um segundo exemplo de um elemento oticamente codificador.

[00048] A Figura 3 mostra faixas de transmissão esquematicamente adequadas dos segmentos de um filtro cromático segmentado de acordo com a Figura 2a.

[00049] A Figura 4a e Figura 4b ilustram a seleção de fontes de luz, seu comprimento de onda de emissão está correlacionado com a seleção de um filtro cromático segmentado de acordo com a Figura 2a e Figura 3 que será usado em combinação com esses.

[00050] A figura 2a e figura 3 são usadas em combinação a partir disto.

[00051] A Figura 4a indica as linhas de emissão (intensidades $I(\lambda)$) de quatro lasers individuais selecionados. A Figura 4b mostra uma distribuição espectral típica da luz emitida por um diodo emissor de luz superluminescente (SLED) selecionado de modo que sua emissão atravesse as janelas de transmissão do filtro cromático segmentado de acordo com a Figura 2a e Figura 3.

[00052] A Figura 5 ilustra um distribuidor de feixe 19, que compreende divisores de feixe 17, que é colocado na trajetória ótica 55 do feixe de sonda para acoplar (IN) e dirigir o feixe de sonda em direção à ponta da caneta de detecção e desacoplar (OUT) e dirigir o feixe retornado em direção ao detector, mediante separação espacial do feixe de sonda do feixe retornado, sendo que o último será analisado por um componente óticamente codificador como um filtro cromático segmentado 100 como ilustrado na Figura 2a e Figura 3.

[00053] A Figura 6a mostra esquematicamente uma possível configuração para combinar a emissão de fontes de luz diferentes utilizando um multiplexador 120 e para separar espectralmente com um demultiplexador 130 um sinal combinado em frações espectrais para sua detecção individual.

[00054] A Figura 6b mostra uma variação da configuração de acordo com a Figura 6a utilizando lasers 111 a 114 modulados em frequências diferentes e apenas um único detector 145 em combinação com a análise de Fourier do sinal elétrico detectado.

[00055] A Figura 6c mostra o espectro de Fourier dos lasers 111 a

114 de acordo com a Figura 6b.

[00056] Na Figura 7a e Figura 7b são ilustradas possíveis modalidades de um multiplexador (720, 820) ou um demultiplexador que pode ser usado em combinação com uma configuração de acordo com a Figura 6a.

[00057] A Figura 7c mostra uma configuração de um demultiplexador 830 similar àquele mostrado na Figura 7b, porém com um único diodo emissor de luz superluminescente 825 usado como uma fonte de luz em vez de quatro lasers DFB.

[00058] Na Figura 8 ilustra-se uma possível modalidade de um filtro ótico segmentado 300 que compreende dois segmentos de filtro cromático diferentes e um componente ou funcionalidade para gerar um local no plano de filtro que varia a deflexão do feixe retornado em uma direção perpendicular a sua direção de propagação.

[00059] Na Figura 9 mostra-se um filtro de polarização segmentado 500 como outra possível modalidade de um componente óticamente codificador.

[00060] Na Figura 10 ilustra-se uma possível modalidade de um demultiplexador que possui a funcionalidade de uma configuração de polarímetro para determinar o estado de polarização do feixe retornado.

[00061] Na Figura 11 mostra-se uma montagem que compreende uma portadora de caneta 61, uma caneta 62 e um sistema de monitoramento ótico para uma configuração de medição que utiliza um filtro cromático segmentado como mostrado na Figura 2a e um distribuidor de feixe como mostrado na Figura 5, para uso em combinação com um sensor tátil.

[00062] A Figura 12 mostra uma configuração similar àquela mostrada na Figura 11 exceto pela substituição do circulador 150 por um acoplador de fusão 151 e dois isoladores 152, 153.

[00063] Na Figura 13 ilustra-se uma montagem essencialmente similar àquela mostrada na Figura 11, que compreende uma portadora de caneta 61, uma caneta 62 e um sistema de monitoramento ótico feito sob medida para essa configuração de medição com, em combinação, um distribuidor de feixe como mostrado na Figura 5, para fornecer quatro segmentos para distinção de componentes de luz espectrais (λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 ; a medição das intensidades das frações espectrais transmitidas) e um dos quatro canais também para a determinação de uma mudança de fase por uma medição interferométrica.

[00064] A Figura 14 ilustra uma configuração que utiliza um sensor ótico em vez de um sensor tátil para a medição de distância.

[00065] A Figura 15 mostra uma configuração alternativa àquela da Figura 14, em que uma caneta 62' é fornecida como um tubo duplo com uma parede interna dupla para receber a fibra ótica 88.

[00066] A Figura 16 ilustra um dispositivo de detecção de superfície com um sensor ótico, sendo que o dispositivo de detecção é fornecido com um atuador rotativo.

[00067] A Figura 17a mostra uma variação da configuração de acordo com a Figura 16, desenhada para permitir a rotação ilimitada da caneta.

[00068] A Figura 17b ilustra um exemplo com dois eixos de rotação proporcionando liberdade de rotação da portadora de caneta em torno de dois eixos perpendiculares.

[00069] A Figura 18 mostra um filtro cromático segmentado 600 com dois segmentos dedicados para uma combinação, por exemplo, com um filtro cromático segmentado como mostrado na Figura 2a ou Figura 5 de um dispositivo de detecção de superfície fornecido com capacidade de medição de 3 eixos.

[00070] A Figura 19 ilustra faixas de transmissão espectral em torno de λ_1 a λ_4 cobertas por segmentos de filtro cromático segmentado 100

(X,Y), adjacentes à faixa espectral ($[\lambda_5, \lambda_6)$) coberta pelos dois segmentos de filtro de 2 segmentos 600 (Z) da Figura 18.

[00071] A Figura 20 ilustra a seleção de seis fontes de luz laser individuais com linhas de emissão na faixa espectral dos filtros combinados da Figura 19.

[00072] A Figura 21 mostra uma distribuição espectral típica da luz emitida por um diodo emissor de luz superluminescente (SLED), com uma largura de banda de tipicamente cerca de 10 nm, como alternativamente uma única fonte de luz, sendo que a banda de emissão espectral transpõe as janelas de transmissão de todos os seis segmentos de filtro.

[00073] A Figura 22 ilustra uma possível configuração de um distribuidor de feixe 99 com divisores de feixe para uso com uma combinação de filtros cromáticos segmentados 100 e 600.

[00074] A Figura 23 ilustra uma configuração de demultiplexação para uso em combinação com um diodo emissor de luz superluminescente 825', como mostrado na Figura 7c, porém agora realizada por dois canais de separação espectral adicionais.

[00075] Na Figura 24 mostra-se uma montagem que compreende uma portadora de caneta 61, uma caneta 62 e um sistema de monitoramento ótico desenhado para medição ótica em relação à direção X, Y e Z.

[00076] A Figura 25 ilustra uma máquina de mediação por coordenada de braço articulado (CMM) 900 equipada com uma caneta 162 fixada em uma portadora de caneta 161.

[00077] Na Figura 26, como outro exemplo, uma CMM do tipo ponte é mostrada.

[00078] As Figuras 27a - 27d mostram a distribuição de intensidade medida dos componentes de luz do feixe retornado deslocado para baixo, após passar um filtro cromático segmentado como descrito com

referência à Figura 2a.

[00079] A Figura 28 ilustra em sua parte superior o modo da fibra ótica, em uma vista em corte transversal. As duas partes inferiores da Figura 26 mostram perfis de intensidade na direção X e Y para um dos quatro feixes parciais de propagação livre.

[00080] As Figuras 29a - 29d mostram fotos da distribuição de intensidade dos quatro feixes parciais (veja a Figura 27a a Figura 27d) no plano de fibra ótica.

[00081] A Figura 30 mostra a distribuição de intensidade espectral do feixe retornado nos quatro canais óticos, por exemplo, para um deslocamento de feixe de 100 μm .

[00082] A Figura 31 mostra a distribuição de intensidade espectral do feixe retornado nos quatro canais óticos, por exemplo, para um deslocamento de feixe na direção oblíqua.

Descrição Detalhada das Figuras

[00083] Na descrição a seguir, a invenção é descrita com referência às figuras. Se não expresso de outro modo, todas as modalidades (inclusive aquelas já descritas acima) podem ser combinadas.

[00084] Na descrição a seguir, referências numéricas iguais indicam componentes de sistema iguais ou componentes usados para funcionalidade equivalente; as direções X, Y e Z são entendidas do mesmo modo ao longo da descrição, correspondentes a um plano horizontal (X, Y) e uma direção vertical (Z).

[00085] A Figura 1 mostra uma montagem de uma portadora de caneta 1 e uma caneta oca 2 dedicada para uso em combinação com uma sonda de detecção tátil fornecida com uma ponta de contato com objeto 10, de acordo com o estado da técnica (Patente Nº U.S. 6 633 051). A portadora de caneta 1 possui um formato tipo trombeta. A caneta 2 é conectada à portadora de caneta 1 por um meio de conexão 3 na extremidade superior aberta 4 da caneta, sendo que o eixo geomé-

trico longitudinal da caneta 2 é alinhado com o eixo geométrico A da portadora de caneta 1.

[00086] Na portadora de caneta monta-se um sistema de monitoramento ótico que compreende uma fonte de luz laser 5 na extremidade de saída onde é colocada uma lente convexa 6 para gerar um feixe de laser colimado que é propagado, após passar um divisor de feixe 7, como um feixe ótico livre dentro da caneta oca 2 em direção a um retro-refletor 9 fornecido próximo à ponta de contato 10. A luz retornada pelo retro-refletor 9 atinge uma superfície de reflexão 8 do divisor de feixe 7 sob um ângulo de 45° em relação ao eixo geométrico ótico e o eixo geométrico A e é refletido em ângulos retos ao eixo geométrico A em direção a um detector sensível à posição 11. Quaisquer deslocamentos da ponta de contato 10 juntamente com o retro-refletor 9 resultam em um deslocamento lateral do feixe retornado no plano do detector 11.

[00087] Como uma principal desvantagem dessa configuração, como já descrito acima, o sistema de monitoramento ótico que inclui laser fonte de luz 5, detector 11 e o condutor eletrônico é montado na portadora de caneta 1, assim, confinando várias fontes de calor na estrutura fechada formada pela caneta e sua portadora e resultando em deformações incontroláveis do sistema de medição desde que o equilíbrio térmico não seja atingido.

[00088] Na Figura 2a ilustra-se um filtro cromático segmentado 100 como um exemplo de um componente oticamente codificador. Nesse exemplo, o filtro compreende quatro segmentos 101 - 104 correspondentes a filtros com transmissão máxima em quatro comprimentos de onda diferentes λ_1 , λ_2 , λ_3 e λ_4 , com preferência, faixas de transmissão espectralmente não-sobrepostas, como esquematicamente mostrado na Figura 3 (transmissão $T(\lambda)$). As transmissões de filtro podem ser, por exemplo, adaptadas aos canais de radiação de acordo com a nor-

ma ITU de telecomunicação, com uma separação espectral de, por exemplo, 100 GHz ou 200 GHz, correspondente a cerca de 0,8 nm ou 1,6 nm na banda C e L.

[00089] O filtro pode possuir qualquer geometria, como circular, quadrada ou poligonal. Para propósitos de facilidade de ajuste em uma trajetória de feixe ótica e de calibração de sistema, um formato simétrico por pontos é preferido.

[00090] O filtro segmentado é posicionado, em um caso exemplificado, ideal na trajetória ótica do feixe retornado de modo que na ausência de um deslocamento do dito feixe retornado (devido a um deslocamento da ponta da caneta ou flexão da caneta), o corte transversal 50 do feixe retornado no plano de filtro seja centralmente simétrico em relação ao filtro segmentado/segmentação de filtro. Em uma idealização adicional, as características de transmissão do filtro e da composição espectral do feixe de sonda e consequentemente também do feixe retornado são selecionadas (o último, por exemplo, utilizado fontes de luz laser de comprimentos de onda de emissão selecionados) de modo que as frações transmitidas de luz retornada, após passar o filtro segmentado, sejam iguais (distribuição igual das frações de luz transmitidas).

[00091] Quando o feixe retornado for deslocado devido a um deslocamento da ponta da caneta ou uma flexão da caneta, seu corte transversal 50' no plano de filtro não será mais simétrico em relação ao filtro segmentado /segmentação de filtro. Como uma consequência, as frações transmitidas dos componentes de luz após passar o filtro se desviarão da distribuição igual.

[00092] A Figura 2b mostra uma modalidade alternativa de um filtro cromático segmentado como um segundo exemplo para um elemento opticamente decodificador. Nesse caso, o filtro cromático segmentado 200 compreende três segmentos 201, 202 e 203 correspondentes a

filtros individuais com transmissão máxima em comprimentos de onda λ_1 , λ_2 e λ_3 , respectivamente. Em relação à conveniência de fabricação, entretanto, um filtro segmentado com quatro segmentos como mostrado na Figura 2a provavelmente é preferido.

[00093] A Figura 4a e Figura 4b ilustram a seleção de fontes de luz laser, seu comprimento de onda de emissão está correlacionado com a seleção de um filtro cromático segmentado que será usado em combinação com esse. A Figura 4a indica as linhas de emissão (intensidades $I(\lambda)$) de quatro lasers individuais selecionados. Os comprimentos de onda de emissão podem variar dentro dos intervalos indicados por setas. Uma estabilização especial do comprimento de onda de laser não é necessária, ao contrário de aplicações em telecomunicação, o sinal de laser é apenas fracamente modulado (na faixa de MHz) para capacidade de detecção de AC mais estável.

[00094] A Figura 4b mostra uma distribuição espectral típica da luz (intensidade $I(\lambda)$) emitida por um diodo emissor de luz superluminescente (SLED), com uma largura de banda de tipicamente cerca de 10 nm. – O SLED deve ser selecionado de modo que sua emissão transponha as janelas de transmissão do filtro cromático segmentado (cf. Figura 3), onde o feixe retornado de luz do SLED poderia ser separado em frações espectralmente separadas.

[00095] A Figura 5 ilustra um distribuidor de feixe 19, que compreende um divisor de feixe 17, que é colocado na trajetória ótica 55 do feixe de sonda para acoplar (IN) e dirigir o feixe de sonda em direção à ponta da caneta, e desacoplar (OUT) e dirigir o feixe retornado em direção a pelo menos um detector, mediante a separação espacial do feixe de sonda do feixe retornado, sendo que o último é analisado por um componente opticamente codificador como um filtro cromático segmentado 100 como mostrado na Figura 2a.

[00096] O feixe retornado, potencialmente deslocado devido a uma

flexão da caneta ou deslocamento da ponta da caneta, é dirigido para o componente óticamente codificador, em particular um filtro cromático segmentado 100, ao passar o divisor de feixe 17 que pode ser um divisor de 50%. Um deslocamento lateral do feixe retornado no plano de filtro resulta em uma mudança da distribuição das frações de componentes de luz transmitidos, como explicado acima com referência à Figura 2a. Os componentes do distribuidor de feixe 19 podem ser conglutinados, por exemplo, utilizando um cimento ótico, e formam um componente micro-ótico juntamente com o filtro ótico segmentado 100.

[00097] Um filtro cromático segmentado que é tipicamente composto de camadas de interferência dielétricas, a radiação não transmitida poderia ser refletida novamente para dentro do sistema. O filtro pode ser construído em um vidro preto de absorção com, por exemplo, 50% de transmissão. Mediante a passagem dupla através dessa camada absorvente, reflexões perturbadoras poderiam ser então suprimidas por 6 dB, resultando em uma supressão 12 dB em combinação com o efeito de 50% de divisor de feixe 17. De preferência, as reflexões principais são então dirigidas para uma armadilha de luz 20, por exemplo, constituída por um vidro preto de absorção conglutinado com o divisor de feixe 17.

[00098] Para uma redução adicional de reflexões perturbadoras, é vantajoso que o distribuidor de feixe 19 seja posicionado com uma ligeira inclinação em relação à direção de entrada ortogonal 55 do feixe de sonda e fornecido com uma abertura absorvente.

[00099] Os efeitos restantes de reflexões indesejadas podem ser compensados por uma calibração do sistema de monitoramento ótico.

[000100] A Figura 6a mostra esquematicamente uma possível configuração para combinar a emissão de fontes de luz diferentes utilizando um multiplexador 120 e para separar espectralmente com um demultiplexador 130 um sinal combinado em frações espectrais para sua

detecção individual.

[000101] A emissão de quatro diodos de laser de realimentação distribuída (DFB) 111 - 114 emitida em comprimentos de onda λ_1 - λ_4 , em um único modo longitudinal, é espectralmente combinada com o multiplexador 120 e injetada em uma primeira fibra monomodo 117 que guia a luz espectralmente combinada até um circulador 150.

[000102] Similarmente, um sinal de luz espectralmente combinado é guiado a partir do circulador 150 por uma segunda fibra monomodo 118 até um demultiplexador 130, onde a luz é espectralmente separada e então dirigida para os detectores 141 - 144 para detecção individual.

[000103] Para melhor capacidade de detecção, as fontes de luz laser podem ser moduladas. Para discriminar uma possível cross-talk ótico no demultiplexador 130, os diodos de laser 111 - 114 podem ser modulados em frequências diferentes. Então, apenas o sinal com a frequência de modulação associada é estimado mediante a detecção.

[000104] Dependente do ruído de intensidade relativo (RIN) das fontes de luz laser, um monitoramento de sua intensidade emitida pode ser necessário para propósitos de compensação de ruído.

[000105] Alguns fabricantes de diodos de laser integram um diodo monitor no alojamento de um diodo de laser para o propósito de controle de intensidade. Esse diodo monitor integrado também pode ser usado para medição RIN, desde que a largura de banda do diodo monitor seja grande o suficiente. Alternativamente, uma pequena fração como 1% da energia emitida do diodo de laser pode ser fornecida a um diodo monitor externo para controle RIN, utilizando um acoplador ótico assimétrico. No processamento de sinal para compensação de ruído controlado, um possível atraso do sinal de diodo monitor deve ser considerado.

[000106] A configuração de multiplexação e demultiplexação mostra-

da na Figura 6a também pode ser integrada na configuração em combinação com o sensor ótico.

[000107] O sinal emitido guiado pela fibra ótica 117 e o sinal recebido guiado pela fibra ótica 118 podem ser acoplados e desacoplados de uma fibra de transmissão ótica 119 por meio do circulador 150.

[000108] A Figura 6b mostra uma variação da configuração de acordo com a Figura 6a que simplifica a detecção de sinal. Cada um dos quatro lasers DFB 111 a 114 possui um comprimento de onda diferente e é modulado em uma frequência diferente, de modo que os lasers diferentes possam ser identificados de maneira espectral e elétrica. Para a detecção de sinal, então apenas um único detector 145 é necessário. O espectro de Fourier FT (Figura 6c) do sinal elétrico detectado mostra então quatro frequências f_1 , f_2 , f_3 e f_4 , cujas intensidades ou coeficientes de Fourier são dependentes das intensidades dos comprimentos de onda espectrais individuais. Mediante uma demodulação analógico ou digital do sinal elétrico detectado, os quatro sinais individuais podem ser separados e analisados. As intensidades de sinal como mostrado na Figura 6c são equivalentes à distribuição de intensidade espectral.

[000109] Na Figura 7a e Figura 7b são ilustradas possíveis modalidades de um multiplexador ou um demultiplexador que pode ser usado em combinação com uma configuração de acordo com a Figura 6a.

[000110] Os multiplexadores são componentes padrão em telecomunicação e são tipicamente fabricados como guias de onda planos ou por tecnologia de película delgada (TFF).

[000111] A Figura 7a mostra uma possível modalidade de um multiplexador/demultiplexador 720 que utiliza divisor de feixes 717a - 717d para combinar um feixe que será emitido como um feixe de sonda, fornecido a partir de colimadores de fibra ótica 711 - 714. O feixe combinado é dirigido para o colimador de fibra ótica 719. Uma configuração

similar pode ser usada para demultiplexar um feixe combinado em suas frações espectrais de comprimentos de onda $\lambda_1 - \lambda_4$.

[000112] A Figura 7b ilustra uma modalidade alternativa de um multiplexador/demultiplexador 820 que compreende filtros add/drop 831 - 833 para separar a luz de entrada de comprimentos de onda combinados $\lambda_1 - \lambda_4$ em seus componentes espectrais para detecção por detectores 841 - 844, ou para combinar a luz de diodos de laser 811 - 814 em um feixe de sonda comum, utilizando acopladores de fibra ótica 821 - 824. Também, essa configuração pode ser fabricada utilizando componentes de telecomunicação padrão.

[000113] A Figura 7c mostra uma configuração de um demultiplexador 830 similar àquele mostrado na Figura 7b, porém com um único diodo emissor de luz superluminescente 825 usado como uma fonte de luz em vez de quatro lasers DFB. A luz policromática que vem do circulador 150 é separada em seus componentes espectrais $\lambda_1 - \lambda_4$ pelo demultiplexador 830 que compreende filtros add/drop 831 - 833, para detecção por detectores 841 - 844.

[000114] Na Figura 8 ilustra-se uma possível modalidade adicional de um filtro ótico segmentado 300 como um componente óticamente decodificador. O filtro 300 compreende dois segmentos de filtro cromáticos diferentes 301 e 302, e é fornecido com um componente ou funcionalidade para gerar um local no plano de filtro que varia a deflexão do feixe retornado em uma direção perpendicular a sua direção de propagação. No exemplo ilustrado, esse efeito é obtido por uma espessura variável 303 do filtro, nesse exemplo referente a segmentos de transmissão espectral diferente, como mostrado em uma vista lateral em corte transversal do filtro segmentado 300. Como uma consequência, o feixe retornado é desviado e transmitido, quando passa através do filtro, de maneira diferente dependendo de sua posição de colisão no filtro. Assim, as linhas contínuas na Figura 8 indicam a traje-

tória de feixe e o corte transversal da situação que o feixe retornado não experimenta deflexão devido a uma flexão de caneta ou deslocamento de ponta da caneta, enquanto as linhas pontilhadas indicam a trajetória de feixe e corte transversal no filtro mediante deslocamento ou flexão de ponta da caneta. O filtro que fica posicionado no plano de pupila de entrada do colimador de fibra ótica que acompanha a trajetória de feixe ótico, uma inclinação da frente de onda nesse plano resulta em um deslocamento da posição de acoplamento no plano de entrada da fibra ótica e, assim, em uma mudança na eficiência de acoplamento. Se o feixe retornado for deslocado em uma direção vertical (também referente a uma orientação vertical do plano de entrada de filtro), a energia transmitida em trajetórias ou canais de transmissão espectral é alterada simultaneamente. Uma determinada desvantagem dessa configuração, portanto, é que uma determinação da intensidade absoluta (total) da transmissão espectral é necessária.

[000115] Essa deflexão localmente variável do feixe retornado também pode ser obtida por componentes óticos separados adicionais a um filtro segmentado posicionado na trajetória de feixe, esses componentes separados adicionais serão então referidos como partes do componente óticamente codificador.

[000116] Os componentes óticamente codificadores como mostrado na Figura 2a, Figura 2b e Figura 8 também podem ser combinados com um "canal" ou segmento ótico adicional para a transmissão de sinais de uma medição de distância, como uma medição de distância interferométrica, para a determinação de mudanças no comprimento de caneta.

[000117] Também poderia ser possível desenhar um filtro ótico segmentado, por exemplo, com quatro segmentos como mostrado na Figura 2a, em combinação com um distribuidor de feixe como mostrado na Figura 5, para fornecer quatro segmentos para distinção de compo-

nentes de luz espectrais (λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 ; medição das intensidades das frações espectrais transmitidas) e um dos quatro canais também para a determinação de uma mudança de fase por uma medição interferométrica.

[000118] Na Figura 9 mostra-se um filtro de polarização segmentado 500 como outra possível modalidade de um componente óticamente decodificador. Nessa configuração de sistema, utilizar polarização em vez de faixa espectral como um recurso distintivo de componente de luz, fibras monomodo de manutenção de polarização são exigidas para guiar a luz. Prefere-se que o feixe retornado colida no plano do filtro de polarização segmentado 500 com 45° de polarização. O segmento 501 do filtro 500 é projetado para transmissão de polarização vertical, o segmento 502 para polarização horizontal. O segmento 503 é constituído por uma placa de $\frac{1}{4}$ de comprimento de onda. Utilizando-se esse componente óticamente codificador, as informações sobre a posição ou flexão de caneta são codificadas nos três parâmetros óticos: polarização vertical, polarização horizontal e sua relação de fase.

[000119] Na Figura 10 ilustra-se uma possível modalidade de um demultiplexador que possui a funcionalidade de uma configuração de polarímetro para determinar o estado de polarização do feixe retornado. O feixe retornado é distribuído por divisores de feixe 517a - 517c para detecção dos estados de polarização e da fase de radiação por detectores 541 - 543.

[000120] Uma montagem que compreende uma portadora de caneta 61, uma caneta 62 e um sistema de monitoramento ótico para uma configuração de medição utilizando um filtro cromático segmentado como mostrado na Figura 2a e um distribuidor de feixe como mostrado na Figura 5, para uso em combinação com um sensor tátil, é ilustrada na Figura 11.

[000121] Os principais componentes do sistema de monitoramento

ótico, que não consomem energia elétrica e produzem calor, são alojados na portadora de caneta 61 conectado com uma caneta 62.

[000122] Os componentes de luz espectralmente distinguíveis de uma ou mais fontes de luz (por exemplo, de vários lasers ou um SLED) são injetados a partir de um circulador 150 para dentro de uma primeira fibra ótica 117, de preferência, fornecida como uma fibra monomodo, que é conectada a um primeiro colimador de fibra ótica 71.

[000123] O feixe de sonda é dirigido como um feixe ótico livre em direção à ponta da caneta fornecida com um retro-refletor 79 e um sensor tátil 80 desenhado para contatar um objeto (não mostrado).

[000124] Pelo menos partes do feixe de sonda são refletidas pelo retro-refletor como um feixe retornado, sendo que o feixe retornado é submetido a um deslocamento no caso de deslocamento da ponta da caneta ou flexão da caneta. Acompanhando a direção de propagação, o feixe retornado então entra no distribuidor de feixe 19 que compreende pelo menos um divisor de feixe 17 fornecido com uma armadilha de luz 20, por exemplo, vidro preto de absorção. A luz analisada para as frações espectrais diferentes do feixe retornado é coletada pelo colimador de fibra ótica 72 e lançada para dentro da segunda fibra, de preferência, monomodo 118, a partir de onde essa é guiada até o circulador 150 e adicionalmente dirigida para a fibra de transmissão ótica 119, que pode ser acoplada a uma interface opto-mecânica.

[000125] A Figura 12 mostra uma configuração similar àquela mostrada na Figura 11 exceto para a substituição do circulador 150 por um acoplador de fusão 151 e dois isoladores 152, 153.

[000126] Uma montagem essencialmente similar àquela mostrada na Figura 11, que compreende uma portadora de caneta 61, uma caneta 62 e um sistema de monitoramento ótico feito sob medida para essa configuração de medição com, em combinação, um distribuidor de feixe como mostrado na Figura 5, para fornecer quatro segmentos para

distinção de componentes de luz espectrais ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$; medição das intensidades das frações espectrais transmitidas), e um dos quatro canais também para a determinação de uma mudança de fase por uma medição interferométrica, é ilustrado na Figura 13.

[000127] Os principais componentes do sistema de monitoramento ótico, que não consomem energia elétrica e produzem calor, são alojados na portadora de caneta 61 conectado de maneira flexível por um sistema de mola 75 com uma caneta 62. O sistema de mola 75 é desenhado para permitir o deslocamento vertical da caneta 62 com sua ponta de sensor tátil, sendo que a direção vertical é entendida como um eixo geométrico Z perpendicular a um plano horizontal transposto por um eixo geométrico X e Y.

[000128] Os componentes de luz óticos espectralmente distinguíveis de uma ou mais fontes de luz (por exemplo, de vários lasers ou um SLED) são injetados a partir de um circulador 150 para dentro de uma primeira fibra ótica 117, de preferência, fornecida como uma fibra monomodo, que é conectada a um primeiro colimador de fibra ótica 71. O feixe de sonda é dirigido como um feixe ótico livre em direção à ponta da caneta fornecida com um retro-refletor 79 e um sensor tátil 80 desenhado para contatar um objeto (não mostrado).

[000129] Pelo menos partes do feixe de sonda são refletidas pelo retro-refletor como um feixe retornado, sendo que o feixe retornado é submetido a um deslocamento e uma mudança da trajetória de feixe na direção z mediante contato tátil com um objeto. Acompanhando a direção de propagação, o feixe retornado então entra no distribuidor de feixe 19 que compreende pelo menos um divisor de feixe 17 fornecido com uma armadilha de luz 20, por exemplo, vidro preto de absorção.

[000130] A superfície de reflexão 21 do divisor de feixe 17 e a armadilha de luz 20 são desenhadas de modo que, nesse exemplo, as reflexões de um filtro segmentado 100 sejam dirigidas, com referência

aos componentes de luz de três comprimentos de onda, para dentro da armadilha de luz onde esses são absorvidos, enquanto um componente de luz associado a um quarto comprimento de onda (por exemplo, λ_1) é refletido pela superfície de reflexão 21 (por exemplo, fornecido com um revestimento espectral e seletivamente reflexivo) e entra em interferência com o componente de luz desse comprimento de onda λ_1 transmitido pelo filtro segmentado 100. O uso do princípio de medição interferométrica para a determinação de mudanças do comprimento de trajetória ótica devido ao deslocamento da caneta na direção z exige uma coerência suficiente da luz emitida pela fonte de luz para comprimento de onda λ_1 , isso que pode ser, entretanto, facilmente cumprido quando utiliza-se um diodo de laser DFB como uma fonte de luz que possui um comprimento de coerência de vários metros.

[000131] A Figura 14 ilustra uma configuração que utiliza um sensor ótico em vez de um sensor tátil para a medição de distância. Na maioria dos aspectos, a configuração é similar àquela da Figura 11 ou Figura 13, também referente ao desenho do distribuidor de feixe 19 e do filtro cromático segmentado 100.

[000132] Entretanto, uma sonda ótica 85 é usada em vez de uma ponta de sensor tátil para fornecer um sinal que representa uma medição de distância ótica. Esse sinal é transmitido da sonda ótica 85 que compreende um colimador de fibra ótica 86 por uma fibra ótica 88 a um multiplexador de divisão de comprimento de onda (WDM) 89, por exemplo, desenhado para comprimentos de onda de cerca de 1300 nm e cerca de 1500 nm. O sinal demultiplexado é dirigido a partir do WDM para dentro da fibra de transmissão ótica 119, que será adicionalmente guiada, por exemplo, até uma interface opto-mecânica.

[000133] Deve-se evitar que a fibra ótica 88 bloqueie ou acompanhe a trajetória ótica de feixe de sonda e feixe retornado do sistema de monitoramento. Portanto, a fibra ótica 88, que é dirigida para dentro da

caneta 62 a partir do demultiplexador de comprimento de onda (WDM) 89 até a sonda ótica 85 é fixada por fixações 87a, 87b em uma parede interna da caneta 62.

[000134] Alternativamente ou como um meio adicional para separar a fibra de medição de distância 88 a partir da trajetória ótica de sonda e feixe retornado, uma caneta 62' fornecida como um tubo duplo 84 com uma parede interna dupla para receber a fibra ótica 88 pode ser usada (Figura 15).

[000135] A Figura 16 ilustra um dispositivo de detecção de superfície com um sensor ótico, sendo que o dispositivo de detecção é fornecido com um atuador rotativo (eixo geométrico C), que é particularmente versátil para medir os furos internos, por exemplo, cilindros. O desenho de base é similar à configuração mostrada na Figura 14. Em contrapartida, entretanto, proporciona-se uma sonda ótica 85' com deflexão de feixe retangular.

[000136] A caneta 62 é conectada à portadora de caneta 61 conduzida pelo atuador rotativo que compreende um motor 90, decodificadores 91 para a rotação de motor e um mancal 92. Para permitir a rotação da fibra ótica de medição de distância 88', o último é fornecido com uma bobina de fibra 88 a.

[000137] Uma questão potencial dessa configuração é o impacto axial, dependendo da posição angular, velocidade rotacional e orientação da cabeça de medição (horizontal ou vertical, etc.). Mediante a integração do atuador rotativo na portadora de caneta 61 e utilizando um eixo oco para guiar o feixe de sonda/feixe retornado, um contato direto da ponta de sonda (retro-refletor) é possível.

[000138] Com base na configuração ilustrada na Figura 16, os deslocamentos causados pela flexão da caneta mediante mudanças de rotação no campo gravitacional, aceleração lateral e instabilidades axiais do eixo geométrico rotativo podem ser considerados. Todos esses

efeitos podem ser determinados e compensados em conjunto.

[000139] A Figura 17a mostra uma variação da configuração de acordo com a Figura 16. Essa modalidade, com base no uso de um acoplador rotativo ótico 93 para a fibra ótica 88, esse é desenhado para permitir a rotação ilimitada da caneta 62. A parte inferior do acoplador rotativo 93 é conectada e é girável juntamente com a caneta 62, enquanto a parte superior de acoplador rotativo 93 é estacionária. Um desviador de feixe estacionário tipo prisma 95 é conectado à caneta 62. Para permitir a rotação sem fim, a fibra ótica 88 conectada com a parte superior girável do acoplador rotativo 93 deve ser dirigida livre para mover através do local de desviador de feixe 95. Essa passagem de fibra 94 pode ser colocada ligeiramente à parte do desviador de feixe 95 e da trajetória de feixe ótico de sonda e feixe retornado. Em uma determinada posição, entretanto, a fibra ótica 88 irá cruzar a trajetória de feixe. Por esse motivo, uma fibra ótica fina, de preferência, com um diâmetro abaixo de 125 μm pelo menos na região de cruzamento de feixe, deve ser selecionada para minimizar o sombreamento do feixe. Uma precisão satisfatória para uma determinação da posição de feixe também nessa região é possível mediante uma medição de calibração rotativa.

[000140] Como uma variação adicional, a cabeça de sonda – que é a portadora de caneta 161 com a caneta fixada 162 – pode ser e conectada a um soquete da extremidade de um braço de uma máquina de medição de braço articulado ou da coluna Z de uma máquina de medição por coordenada tipo ponte, sendo que o soquete atua como um meio de retenção, conduzido por eixos de rotação 926, 927 proporcionando um grau rotativo de liberdade de portadora de caneta 161 em relação ao meio de retenção. Na Figura 17b, um exemplo é ilustrado com dois eixos de rotação proporcionando liberdade de rotação da portadora de caneta em torno de dois eixos perpendiculares. Essa

configuração é particularmente vantajosa para aplicações de varredura para acompanhar precisamente a superfície de um objeto.

[000141] A Figura 18 mostra um filtro cromático segmentado com dois segmentos dedicados para uma combinação, por exemplo, com um filtro cromático segmentado como mostrado na Figura 2a para um dispositivo de detecção de superfície fornecido com capacidade de medição de 3 eixos.

[000142] Partindo de cabeças de medição tátil conhecidas que permitem as medições de distância ao longo da direção z, além da varredura no plano XY, uma configuração de um sistema de monitoramento ótico dedicado para medições táteis em relação a todos os três eixos X, Y, Z é apresentada. Para medições puramente táteis de varredura, tal funcionalidade de 3 eixos do sistema de monitoramento ótico não é necessária.

[000143] Além da solução exclusivamente baseada em medições óticas para varredura tridimensional apresentada a seguir, uma combinação de um sistema de monitoramento ótico para dois eixos (X e Y) com medições de distância eletrônicas conhecidas, convencionais, por exemplo, baseadas em sensores indutivos, também é, naturalmente, possível.

[000144] A posição da caneta em relação à direção Z é determinada utilizando um divisor de feixe de desvio de 90°, perpendicular à direção z de movimento (veja a Figura 22). Assim, o feixe retornado é dirigido sobre um filtro de 2 segmentos 600 como parte de um componente óticamente decodificador, sendo que o filtro compreende dois segmentos 105 e 106 de transmissão espectral diferente, de preferência, não-sobreposta.

[000145] O filtro é, de preferência, colocado na trajetória de feixe do feixe retornado de modo que, sem deslocamento mediante a interação com um objeto, o feixe retornado possui um corte transversal simétrico

ao espelho 50 nos dois segmentos de filtro. Mediante o deslocamento da caneta na direção Z, o feixe retornado colide nos filtros de 2 segmentos como um corte transversal de feixe deslocado lateral 50".

[000146] De preferência, os segmentos 105 e 106 do filtro de 2 segmentos 600 são selecionados de modo que suas janelas de transmissão espectrais cumpram a faixa espectral coberta pelas transmissões de um filtro cromático segmentado como ilustrado na Figura 2a (veja a Figura 19: faixas espectrais em torno de λ_1 a λ_4 cobertas por segmentos de filtro cromático segmentado 100 (X,Y), adjacentes à faixa espectral (λ_5 , λ_6) coberta pelos dois segmentos de filtro de 2 segmentos 600 (Z)).

[000147] No total, seis fontes de luz laser individuais podem ser usadas, com seus comprimentos de onda de emissão nas faixas espectrais dos filtros cromáticos segmentados como mostrado na Figura 20. Os comprimentos de onda de emissão podem variar dentro dos intervalos indicados por setas.

[000148] Alternativamente, novamente um diodo emissor de luz superluminescente com uma banda de emissão espectral transpondo as janelas de transmissão de todos os seis segmentos de filtro pode ser usado (Figura 21). A Figura 21 mostra uma distribuição espectral típica da luz emitida por um diodo emissor de luz superluminescente (SLED), com uma largura de banda de tipicamente cerca de 10 nm.

[000149] A Figura 22 mostra uma possível configuração de um distribuidor de feixe 99 com divisores de feixe para uso com uma combinação de filtros cromáticos segmentados 100 e 600. O distribuidor de feixe 99 compreende primas de desvio de feixe 96a, 96b, divisores de feixe 97a, 97b, 97c, e filtros cromáticos segmentados 100, 600, o divisor de feixe inferior 97a com um lado preto de absorção 98a, por exemplo, de vidro preto fixado na extremidade de caneta superior móvel na direção Z, enquanto as outras partes do distribuidor de feixe

99 são alojadas fixadas na portadora de caneta 61.

[000150] O feixe retornado é dividido, por exemplo, 50% de divisor de feixe 97a em duas partes, uma parte se propaga em direção ao divisor de feixe 97b, também fornecida com um lado preto de absorção 98b e filtro cromático segmentado condutor 100, a outra parte é dirigida sobre o prisma 96b para o filtro cromático segmentado 600.

[000151] Os feixes, após a separação espectral em componentes de luz, são combinados por um divisor de feixe cromático 97c com um feixe comum que será adicionalmente guiado em uma fibra ótica ("OUT").

[000152] A Figura 23 ilustra uma configuração de demultiplexação para uso em combinação com um diodo emissor de luz superluminescente 825', como mostrado na Figura 7c, porém agora realizada por dois canais de separação espectrais adicionais, utilizando filtros add/drop adicionais 834 e 835 para separar os componentes de luz de comprimentos de onda λ_5 e λ_6 que serão detectados por detectores 845 e 846.

[000153] Uma montagem que compreende uma portadora de caneta 61, uma caneta 62 e um sistema de monitoramento ótico desenhado para medição ótica em relação à direção X, Y e Z é ilustrada na Figura 24. A configuração compreende um sistema de mola 75 para permitir o deslocamento vertical da caneta 62 com sua ponta de sensor 80, a direção vertical é entendida como um eixo geométrico Z perpendicular a um plano horizontal transposto por um eixo geométrico X e Y. A configuração é muito similar àquela mostrada na Figura 13, com a diferença que o distribuidor de feixe 69 é substituído pelo distribuidor de feixe 99, que foi descrito em detalhes com referência à Figura 22.

[000154] Os principais componentes do sistema de monitoramento ótico, que não consomem energia elétrica e produzem calor, são alojados na portadora de caneta 61 flexivelmente conectada por um sis-

tema de mola 75 com uma caneta 62.

[000155] Os componentes de luz óticos espectralmente distinguíveis de uma ou mais fontes de luz (por exemplo, de vários lasers ou um SLED) são injetados a partir de um circulador 150 em uma primeira fibra ótica 117, de preferência, fornecida como uma fibra monomodo, que é conectada a um primeiro colimador de fibra ótica 71.

[000156] O feixe de sonda é dirigido como um feixe ótico livre em direção à ponta da caneta fornecida com um retro-refletor 79 e um sensor 80 desenhado para contatar um objeto (não mostrado).

[000157] Pelo menos partes do feixe de sonda são refletidas pelo retro-refletor como um feixe retornado, sendo que o feixe retornado é submetido a um deslocamento e uma mudança da trajetória de feixe na direção z mediante contato tátil com um objeto. Seguindo a direção de propagação, o feixe retornado então entra no distribuidor de feixe 99, cuja funcionalidade foi descrita com referência à Figura 22.

[000158] As diferentes modalidades dos dispositivos de detecção de superfície também podem compreender, em vez de um sensor tátil 80 como mostrado na Figura 11 à Figura 13 ou um sensor ótico 85 ou 85' como mostrado na Figura 14 à Figura 17 ou na Figura 24, um sensor tátil ótico combinado. Esse sensor tátil ótico pode ser fornecido como uma ponta de sensor esférica de um sensor tátil típico, porém a esfera é transmissiva à luz que possui uma perfuração para a transmissão de luz.

[000159] Como um exemplo de um dispositivo de detecção de superfície completo, a Figura 25 ilustra uma máquina de medição por coordenada de braço articulado (CMM) 900 equipada com uma caneta 162 fixada em uma portadora de caneta 161. A CMM de braço articulado 900 compreende uma base 920 que forma o suporte da CMM e aloja as fontes de luz 911 e detectores 941, como esquematicamente indicado. Conectados à base 900 vários componentes de braço são liga-

dos por juntas, sendo que os componentes de braço são móveis uns em relação aos outros. Os componentes óticos fornecidos na portadora de caneta 161 e/u a caneta 162, como descrito acima, são conectados com as fontes de luz 911 e os detectores 941 alojados na base 920 por fibras óticas 917 e 918, como esquematicamente mostrado.

[000160] Como outro exemplo, uma CMM tipo ponte é mostrada na Figura 26. A CMM tipo ponte compreende duas colunas verticais 921, 922 que sustentam uma ponte 923 e um reboque X 924 que pode ser conduzido ao longo da ponte (direção X).

[000161] Uma coluna Z 925, móvel na direção Z, sustenta uma portadora de caneta 161 com uma caneta fixada 162.

[000162] O portal formado pelas colunas verticais 921, 922 e a ponte 923 pode ser movido na direção Y. As fontes de luz e detectores alojados, por exemplo, em um controlador CMM (não mostrado) são novamente conectados por fibras óticas com os componentes do sistema de monitoramento ótico fornecidos na portadora de caneta 161 ou na caneta 162, como mostrado acima.

Exemplos/Simulações

[000163] Para simulações, os seguintes parâmetros são selecionados:

parâmetros de feixe

$$w_0 := 6.3\mu\text{m} \cdot 0.5 \quad \text{fiber core (Hi-Flex)}$$

$$\lambda := 1.55\mu\text{m} \quad z_0 := \frac{\pi \cdot w_0^2}{\lambda} = 20.111 \cdot \mu\text{m}$$

parâmetro de fibra

$$f := 3,8 \text{ mm} \quad \text{comprimento focal de lente colimadora}$$

$$w_1 := \frac{f \cdot w_0}{z_0} = 0.595 \cdot \text{mm} \quad \text{atrás da lente na posição da cintura (feixe de medição)}$$

$$z_1 := \frac{\pi \cdot w_1^2}{\lambda} = 718.006 \text{ mm}$$

faixa de Rayleigh é igual à faixa de medição
tamanho = 4mm dimensão de campo de propagação

[000164] O feixe de sonda possui um diâmetro de 1,2 mm. O comprimento de Rayleigh de cerca de 70 cm é maior do que duas vezes a distância de medição utilizando uma caneta de 30 cm de comprimento. Consequentemente, o feixe pode ser presumido como colimado ao longo de todo o comprimento de propagação de feixe livre. A distribuição de intensidade medida dos componentes de luz do feixe retornado, após passar um filtro cromático segmentado como descrito com referência à Figura 2a, é exibida na Figura 27a - 27d.

[000165] A área total coberta pelo filtro segmentado (tamanho de imagem) é $(4 \text{ mm})^2$. Como pode ser deduzido a partir da Figura 27a - 27d, também evidente a partir da distribuição de intensidade desigual, o feixe retornado é deslocado em 100 μm e direção à parte inferior (Figura 27c, Figura 27d).

[000166] Utilizando-se um retro-refletor 79 na extremidade da caneta 61 (cf Figura 11), esse deslocamento de 100 μm corresponde à flexão da caneta de 50 μm . (Uma possível inclinação do retro-refletor pode ser desprezada).

[000167] A energia ótica transmitida pelos 4 canais (segmentos de filtro) é:

$$P = \begin{pmatrix} 0.189 \\ 0.189 \\ 0.321 \\ 0.321 \end{pmatrix} \cdot \text{mW}$$

[000168] A energia ótica lançada no feixe de sonda é 1 mW em cada um dos quatro componentes de luz espectrais. A transmissão dos dois canais inferiores é maior do que um dos canais superiores, devido ao deslocamento de feixe.

[000169] Na parte adicional de propagação de luz, as quatro partes de feixe (campo ótico) se propagam independente uma das outras em direção à lente do colimador de fibra ótica (lente Grin) e à fibra ótica:

propagação para lente

$$z := f = 3.8 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Ff} := \text{LPForward} \left(\frac{z}{\text{m}}, \text{Ff} \right)$$

A partir da lente até a fibra (focalizando)

$$f = 3.8 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Ff} := \text{LPLensFresnel} \left(\frac{f_2}{\text{m}}, \frac{z}{\text{m}}, \text{Ff} \right)$$

resolvendo a integral de di-

fração de Fresnel-Kirchhoff.

[000170] A Figura 28 mostra em sua parte superior o modo da fibra ótica, em uma vista em corte transversal. As duas partes inferiores da Figura 28 mostram perfis de intensidade na direção X e Y para um dos quatro feixes parciais de propagação livre.

[000171] No plano de fibra ótica, não há desvios relevantes de simetria, como ilustrado na Figura 29a – a Figura 29d mostra fotos da distribuição de intensidade dos quatro feixes parciais.

[000172] O filtro cromático segmentado fica localizado no plano de Fourier (plano de pupila de entrada do colimador de fibra ótica), o sombreamento da pupila não resulta em um deslocamento de feixe, porém afeta apenas o diâmetro e fase de feixe. Os feixes se tornam simétricos no plano de fibra ótica.

[000173] A eficiência de acoplamento é quase similar (cerca de 27%) para todos os quatro feixes parciais:

$$C_r := \frac{\left[\left[\sum_i \left[\sum_j \left[(E_r)_{i,j} \cdot \overline{E_{Fiber_{i,j}}} \right] \right] \right]^2 \right]}{\sum_i \sum_j \left[(E_r)_{i,j} \cdot \overline{(E_r)_{i,j}} \right] \cdot \sum_i \sum_j \left(\overline{E_{Fiber_{i,j}}} \cdot E_{Fiber_{i,j}} \right)}$$

$$C = \begin{pmatrix} 27.173 \\ 27.173 \\ 26.82 \\ 26.82 \end{pmatrix} \cdot \%$$

eficiência de acoplamento de fibra

mediante o deslocamento do feixe de 100 µm, correspondente a uma flexão de caneta de 50 µm, um contraste de 50% é obtido, como pode ser determinado a partir de um cálculo de intensidade:

$$P_{fiber} := (P \cdot C) = \begin{pmatrix} 51.295 \\ 51.294 \\ 86.218 \\ 86.218 \end{pmatrix} \cdot \mu W$$

$$\text{contrast} := \frac{\max(P_{fiber}) - \min(P_{fiber})}{\text{mean}(P_{fiber})} = 50.794\%$$

energia acoplada à fibra

[000174] Assim, a posição do feixe retornado é decodificada no espectro de intensidade dos quatro canais óticos como pode ser observado na Figura 30, por exemplo, para um deslocamento de feixe de 100 µm.

[000175] Em outro exemplo, o feixe retornado é deslocado em uma direção oblíqua. Utilizando-se um fator de calibração, a posição para x e y pode ser determinada a partir das intensidades (Figura 31). A calibração é apenas linear em uma primeira aproximação, e para obter uma maior precisão, dois ou três parâmetros devem ser usados para calibração.

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo de detecção de superfície que compreende

- uma base,
- uma cabeça de sonda para estabelecer e manter uma conexão de medição por contato ou sem contato a uma superfície que será medida, sendo que a cabeça de sonda é ligada de maneira móvel à base por pelo menos uma junta, em que a cabeça de sonda compreende uma portadora de caneta (61, 161) e uma caneta oca (62, 62', 162) com uma ponta da caneta, e
 - um sistema de monitoramento ótico para medir um deslocamento da ponta da caneta em relação à portadora de caneta, sendo que o sistema de monitoramento ótico compreende
 - meio emissor de luz (111, 112, 113, 114, 811, 812, 813, 814, 825, 825', 911) para gerar um feixe que será dirigido para dentro da caneta (62, 62', 162) em direção à ponta da caneta, onde pelo menos partes do feixe são refletidas como um feixe retornado que se propaga ao longo de uma trajetória de retorno ótico, e
 - meio detector (141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941) do feixe retornado que é capaz de gerar um sinal de saída elétrico indicativo do deslocamento da ponta da caneta,
 - caracterizado pelo fato de que
 - o meio emissor de luz é construído de modo que o feixe possua pelo menos duas características de luz distinguíveis com uma determinada distribuição de características,
 - o sistema de monitoramento ótico compreende adicionalmente um componente oticamente codificador (100, 200, 300, 500, 600) posicionado na portadora de caneta (61, 161) na trajetória de retorno ótico e desenhado para transformar as informações de uma posição de colisão (50, 50') do feixe retornado no componente codifica-

dor ótico (100, 200, 300, 500, 600) em uma mudança da distribuição de características do feixe retornado, e

- o meio detector (141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941) é sensível a pelo menos duas características de luz distinguíveis e construído para gerar o sinal de saída elétrico dependente da distribuição de características alterada do feixe retornado.

2. Dispositivo de detecção de superfície, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o componente opticamente codificador (100, 200, 300, 500, 600) é desenhado de modo que a distribuição de características do feixe retornado seja modificada dependente da posição de colisão do feixe retornado através do componente codificador ótico (100, 200, 300, 500, 600), de modo que o feixe retornado com a distribuição de características modificada que se propaga a partir do componente codificador ótico (100, 200, 300, 500, 600) até o meio detector (141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941) seja indicativo do deslocamento da ponta da caneta independente de uma trajetória de propagação exata do feixe retornado dentro da trajetória de retorno ótico, para permitir a guia de onda ótica do feixe retornado com a distribuição de características modificada até o meio detector por uma fibra ótica sem perder a indicação ótica do deslocamento da ponta da caneta conduzida pelo feixe retornado.

3. Dispositivo de detecção de superfície, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que

- o dispositivo de detecção de superfície é fornecido como uma máquina de medição por coordenada com um braço articulado, uma extremidade desse forma a base e a outra extremidade desse compreende um soquete para fixar de maneira removível a cabeça de sonda,

- o meio emissor de luz (111, 112, 113, 114, 811, 812, 813, 814, 825, 825', 911), que compreende particularmente uma ou mais fontes de luz laser, e o meio detector (141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941), que compreende particularmente um ou mais detectores de luz, são posicionados fora da cabeça de sonda, particularmente em que o meio emissor de luz (111, 112, 113, 114, 811, 812, 813, 814, 825, 825', 911) e o meio detector (141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941) são alojados na base, e

- o feixe gerado pelo meio emissor de luz (111, 112, 113, 114, 811, 812, 813, 814, 825, 825', 911) bem como o feixe retornado que se propaga a partir do componente óticamente codificador (100, 200, 300, 500, 600) até o meio detector (141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941) são guiados por onda no braço articulado por fibras óticas, particularmente em que o feixe é desacoplado e o feixe retornado é acoplado em uma fibra de transmissão (119) utilizando um circulador (150) como um dispositivo de guia de feixe

ou

- o dispositivo de detecção de superfície é fornecido como uma máquina de medição por coordenada tipo ponte que compreende

- duas colunas verticais (921, 922), sendo que as colunas verticais (921, 922) são conectadas de maneira móvel à base e sustentam uma ponte (923),

- um reboque X (924) móvel ao longo da ponte, e
 - uma coluna Z (925) que é conectada de maneira móvel ao reboque X (924) e compreende um soquete para fixar de maneira removível a cabeça de sonda,

particularmente em que o soquete fornece um grau rotativo de liberdade da cabeça de sonda em relação à coluna Z (925) ou à

outra extremidade do braço articulado, respectivamente.

4. Dispositivo de detecção de superfície, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que pelo menos duas características de luz distinguíveis são fornecidas pelos componentes de luz do feixe gerado que possui

- comprimentos de onda ou faixas de comprimento de onda diferentes e/ou

- estados de polarização diferentes, e

a distribuição de características é determinada por uma proporção ou fração de cada componente de luz.

5. Dispositivo de detecção de superfície, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que o componente opticamente codificador (100, 200, 300, 500, 600) compreende um filtro ótico segmentado (100, 200, 300, 500, 600) localizado em um plano de pupila de entrada de um segundo colimador de fibra ótica (72) na trajetória de retorno ótico, o filtro (100, 200, 300, 500, 600) compreende pelo menos dois segmentos (101, 102, 103, 104, 105, 106, 201, 202, 203, 301, 302, 501, 502, 503) de características de transmissão diferentes, de preferência, não sobrepostos, em particular em que o filtro ótico segmentado (100, 200, 300, 600) é um filtro cromático (100, 200, 300, 600) fornecido com janelas de transmissão espectralmente não sobrepostas com distância espectral de 100 ou 200 GHz, ou seja, 0,8 nm ou 1,6 nm na banda C e L, correspondente à norma ITU de telecomunicação.

6. Dispositivo de detecção de superfície, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o componente opticamente codificador (100, 200, 300, 500, 600) compreende um componente de refração ótico (303) para o feixe retornado capaz de um local no plano de recepção que varia a deflexão do feixe retornado em uma direção perpendicular à direção de propagação do

feixe retornado.

7. Dispositivo de detecção de superfície, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, a caneta oca (62, 62', 162) possui um comprimento de caneta, caracterizado pelo fato de que o componente oticamente codificador (100, 200, 300, 500, 600) compreende um segmento desenhado para transmissão de sinal para uma medição de distância interferométrica para determinar mudanças no comprimento de caneta.

8. Dispositivo de detecção de superfície, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que o feixe retornado é dirigido para o componente oticamente codificador (100, 200, 300, 500, 600) após passar pelo menos um divisor de feixe (17, 97a, 97b) que forma um distribuidor de feixe (19, 99), em particular em que o distribuidor de feixe (19, 69) é fornecido juntamente com o componente oticamente codificador (100, 200, 300) como um componente micro-ótico que é fixado, sendo que o dito componente micro-ótico é particularmente fornecido com uma armadilha de luz (20), especialmente com um vidro preto de absorção para reduzir reflexões perturbadoras de luz não transmitida.

9. Dispositivo de detecção de superfície, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que o componente oticamente codificador é um filtro ótico segmentado (500) e é fornecido com segmentos (501, 502) com transmissão seletiva de polarização, em particular compreende adicionalmente uma placa de $\frac{1}{4}$ de comprimento de onda (503) que permite a determinação de uma relação de fase entre as trajetórias de feixe de retorno de polarização diferente utilizando um polarímetro.

10. Dispositivo de detecção de superfície, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de que

- o meio emissor de luz (111, 112, 113, 114, 811, 812, 813,

814, 825, 825', 911) é uma grande quantidade de fontes de luz laser (111, 112, 113, 114, 811, 812, 813, 814, 911) que são emitidas em comprimentos de onda diferentes,

- particularmente em que o sistema de monitoramento ótico é adicionalmente fornecido com um multiplexador (120, 720, 820) desenhado para combinar espectralmente a luz de comprimentos de onda diferentes a partir da grande quantidade de fontes de luz laser (111, 112, 113, 114, 811, 812, 813, 814, 911) e acoplar a luz combinada em uma primeira fibra ótica (117) saindo do multiplexador, e

- o meio detector (141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941) é formado por uma grande quantidade de detectores (141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941) sensíveis aos comprimentos de onda diferentes,

- particularmente em que o sistema de monitoramento ótico é adicionalmente fornecido com um demultiplexador (130, 720, 820, 830, 830') desenhado para separar espectralmente a luz do feixe retornado em frações de feixe de comprimentos de onda diferentes para detecção pela grande quantidade de detectores (141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941).

11. Dispositivo de detecção de superfície, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado pelo fato de que o meio emissor de luz é um diodo emissor de luz superluminescente (825, 825'), particularmente com uma banda de emissão de cerca de 10 nm de largura de banda, cuja emissão espectral é separada no feixe retornado pelo componente óticamente codificador (100, 200, 300, 600) em uma pluralidade de feixes parciais de comprimentos de onda diferentes que serão fornecidos ao meio detector (141, 142, 143, 144, 145, 541, 542, 543, 544, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 941).

12. Dispositivo de detecção de superfície, de acordo com

qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado pelo fato de que o meio emissor de luz (111, 112, 113, 114, 811, 812, 813, 814, 825, 825', 911) é uma grande quantidade de fontes de luz laser (111, 112, 113, 114, 811, 812, 813, 814, 911) emitidas em comprimentos de onda diferentes e moduladas em frequências diferentes correspondentes a múltiplas frequências (f_1 , f_2 , f_3 , f_4) em um espectro de Fourier, e o meio detector (145) é sensível às características de luz distinguíveis, sendo que os sinais individuais são separáveis por demodulação analógica ou digital.

13. Dispositivo de detecção de superfície, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, caracterizado pelo fato de que

- a cabeça de sonda compreende um sensor tátil (80) para estabelecer e manter uma conexão de medição por contato à superfície que será medida, sendo que o sensor tátil (80) é fornecido, de preferência, com um retrorrefletor (79), ou

- a cabeça de sonda compreende um sensor ótico-tátil para estabelecer e manter uma conexão de medição por contato à superfície que será medida, o sensor ótico-tátil compreende uma ponta de sensor transmissiva à luz ou uma ponta de sensor perfurada para transmissão de luz,

ou

- a cabeça de sonda compreende um sensor ótico (85, 85') para estabelecer e manter uma conexão de medição por contato à superfície que será medida, sendo que o sensor ótico (85, 85') é, de preferência, fornecido com uma fibra monomodo (88) que se estende a partir de um multiplexador de divisão de comprimento de onda (89) até a ponta da caneta,

particularmente em que

- um atuador rotativo é fornecido, a caneta (62, 62', 162) é

conectada à portadora de caneta (61, 161) conduzida pelo atuador rotativo, e compreende uma fibra de medição de distância (88'), de preferência, com uma bobina de fibra (88' a), ou

- é fornecido com um acoplador rotativo ótico (93) para a fibra monomodo (88) desenhada para permitir a rotação ilimitada da caneta (62, 62', 162), uma parte do acoplador rotativo ótico (93) é conectada e girável juntamente com a caneta (62, 62', 162), enquanto outra parte do acoplador rotativo (93) é estacionária.

14. Dispositivo de detecção de superfície, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 13, caracterizado pelo fato de que esse é fornecido com uma capacidade de medição de 3 eixos (X, Y, Z) , que compreende

- um filtro cromático segmentado adicional (600) fornecido com pelo menos dois segmentos (105, 106) de características de transmissão, de preferência, espectralmente não sobrepostas, e

- um distribuidor de feixe (99) com divisores de feixe para uso com uma combinação de filtros óticos segmentados (100, 200, 300, 600), o distribuidor de feixe (99) compreende prismas de desvio de feixe (96a, 96b), divisores de feixe (97a, 97b, 97c) e filtros cromáticos segmentado (100, 200, 300, 600), um divisor de feixe inferior (97a) é fixado em uma extremidade de caneta superior móvel na direção Z, enquanto as outras partes do distribuidor de feixe (99) são alojadas fixadas na portadora de caneta (61), em que o feixe retornado é dividido pelo divisor de feixe (97a) em duas partes, uma parte que se propaga em direção ao divisor de feixe (97b) que conduz um filtro cromático segmentado (100, 200, 300), a outra parte é dirigida sobre o prisma (96b) até o filtro cromático segmentado (600).

15. Cabeça de sonda de um dispositivo de detecção de superfície, como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 14, sendo que a cabeça de sonda é formada para estabelecer e manter

uma conexão de medição por contato ou sem contato à superfície que será medida, em que a cabeça de sonda compreende uma portadora de caneta (61, 161) e uma caneta oca (62, 62', 162) com uma ponta da caneta,

caracterizada pelo fato de que

- a cabeça de sonda compreende meios para receber um feixe que possui pelo menos duas características de luz distinguíveis com uma determinada distribuição de características do dispositivo de detecção de superfície guiado por onda por uma fibra ótica e meio para desacoplar o feixe da fibra ótica e dirigir o mesmo para dentro da caneta (62, 62', 162) em direção à ponta da caneta, onde pelo menos partes do feixe são refletidas como um feixe retornado que se propaga ao longo de uma trajetória de retorno ótico,

- um componente oticamente codificador (100, 200, 300, 500, 600) como parte de um sistema de monitoramento ótico para medir um deslocamento da ponta da caneta em relação à portadora de caneta, o componente oticamente codificador (100, 200, 300, 500, 600) fica posicionado na portadora de caneta (61, 161) na trajetória de retorno ótico e desenhado para transformar as informações de uma posição de colisão do feixe retornado através do componente oticamente codificador (100, 200, 300, 500, 600) em uma mudança da distribuição de características do feixe retornado, e

- meio para acoplar o feixe retornado – que possui a distribuição de características alterada – em uma fibra ótica, para permitir o guia de onda ótico do feixe retornado no dispositivo de detecção de superfície.

16. Cabeça de sonda, de acordo com a reivindicação 15, caracterizada pelo fato de que a portadora de caneta (61, 161) compreende adicionalmente pelo menos um entre

- um circulador (150) conectado a uma fibra de transmis-

são (119) e a uma primeira fibra ótica (117) e uma segunda fibra ótica (118) para

- injeção do feixe recebido da fibra de transmissão (119) na primeira fibra ótica (117) conectada a um primeiro colimador de fibra ótica (71), e

- injeção do feixe retornado – que é acoplado na segunda fibra ótica (118) por um segundo colimador de fibra ótica (72) – na fibra de transmissão ótica (119);

- um distribuidor de feixe (19, 99) que compreende um divisor de feixe (17, 97a, 97b).

17. Método de monitoramento para uma cabeça de sonda de um dispositivo de detecção de superfície, sendo que a cabeça de sonda compreende uma portadora de caneta (61, 161) e uma caneta oca (62, 62', 162) com uma ponta da caneta, sendo que o método de monitoramento é desenhado para medir um deslocamento da ponta da caneta em relação à portadora de caneta, sendo que o método de monitoramento compreende:

- dirigir um feixe – que possui pelo menos duas características de luz distinguíveis com uma determinada distribuição de características – dentro da caneta (62, 62', 162) em direção à ponta da caneta, onde pelo menos partes do feixe são refletidas como um feixe retornado que se propaga ao longo de uma trajetória de retorno ótico,

- transformar

- as informações de uma posição de colisão do feixe retornado em um componente óticamente codificador (100, 200, 300, 500, 600) posicionado na portadora de caneta (61, 161) na trajetória de retorno ótico

- em uma mudança da distribuição de características do feixe retornado,

- detectar pelo menos duas características de luz distinguíveis

veis do feixe retornado, e

- determinar o deslocamento da ponta da caneta em relação à portadora de caneta dependente da distribuição de características alterada do feixe retornado,

- em particular em que – após a etapa de transformar – o feixe retornado é guiado por onda por uma fibra ótica.

18. Método de monitoramento, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que o deslocamento da ponta da caneta é determinado em uma direção X e/ou Y em relação à portadora de caneta, particularmente em que o deslocamento da ponta da caneta é determinado adicionalmente em uma direção Z ao

- defletir o feixe retornado dependente do deslocamento na direção Z antes de realizar a etapa de transformar e então determinar o deslocamento da ponta da caneta também na direção Z dependente da distribuição de características alterada do feixe retornado, ou

- utilizar um sistema de medição de distância eletrônica, em particular com um sensor indutivo.

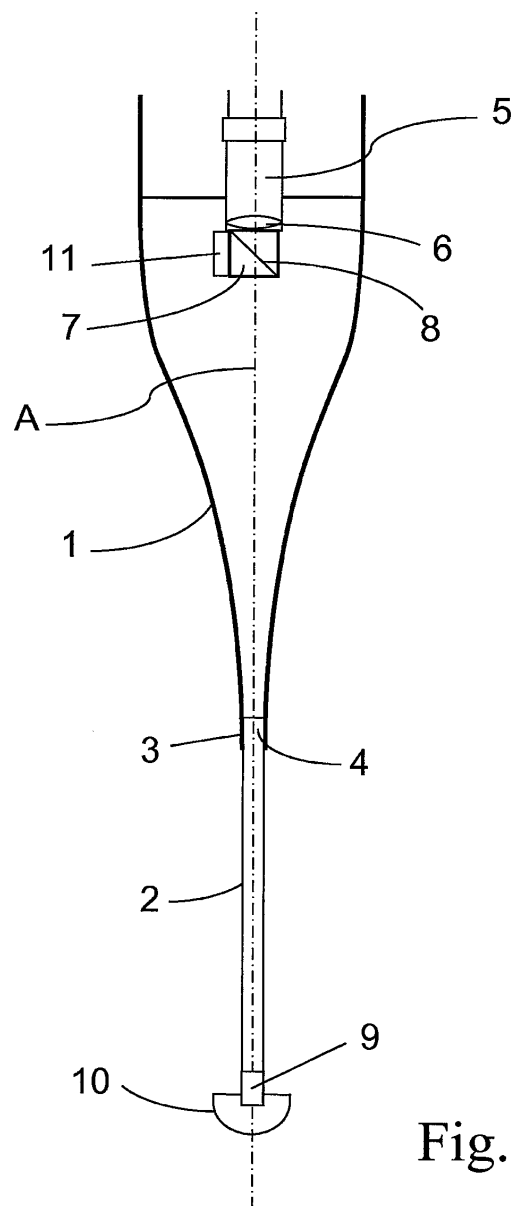


Fig. 1

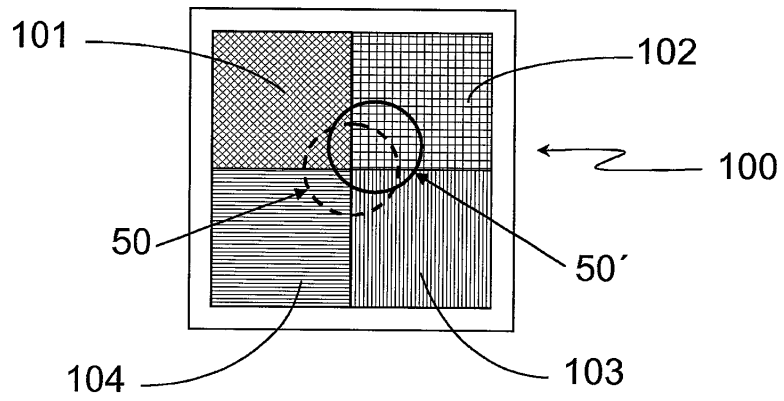


Fig. 2a

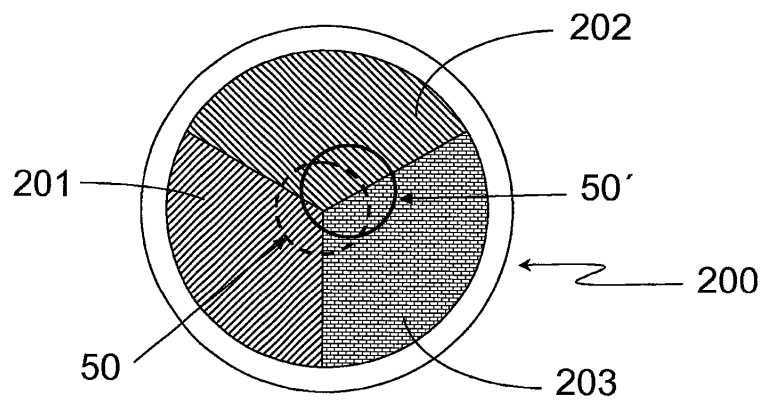


Fig. 2b

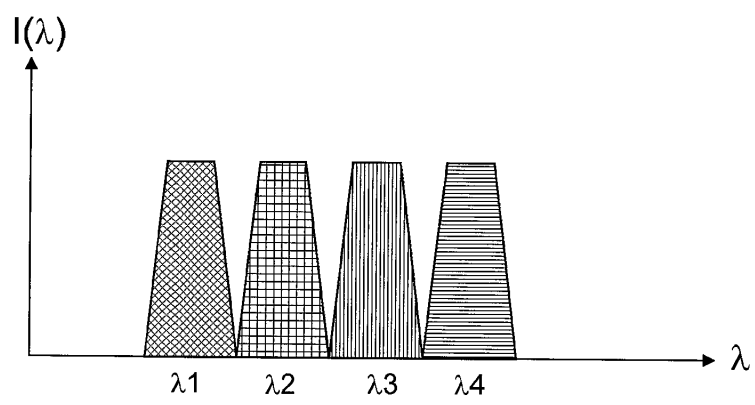


Fig. 3

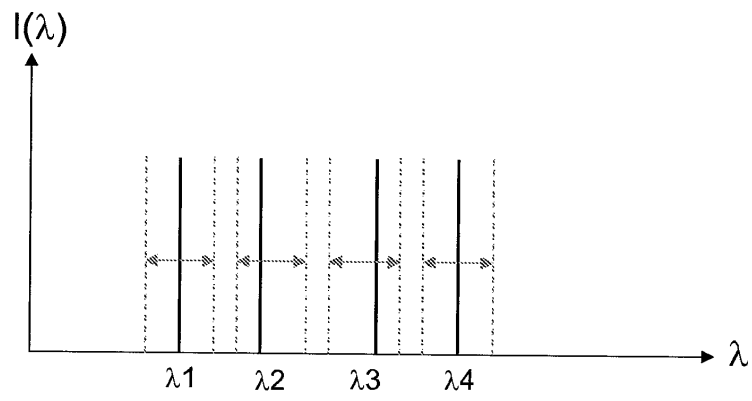


Fig. 4a

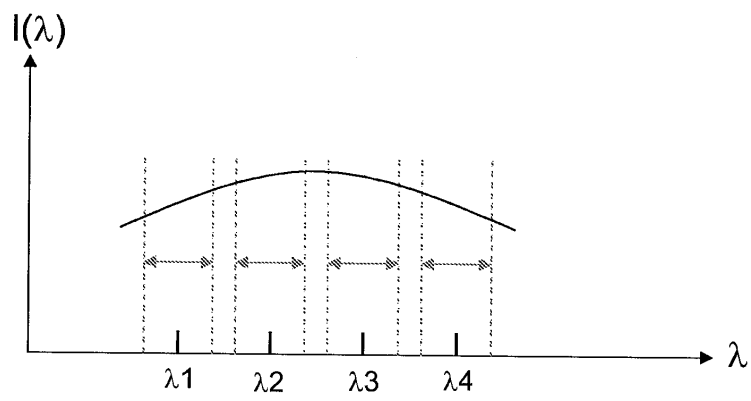


Fig. 4b

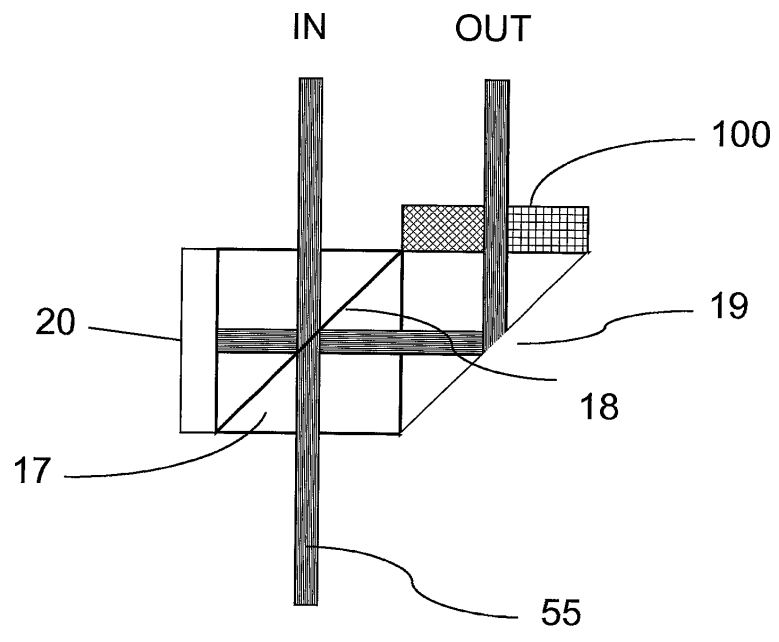


Fig. 5

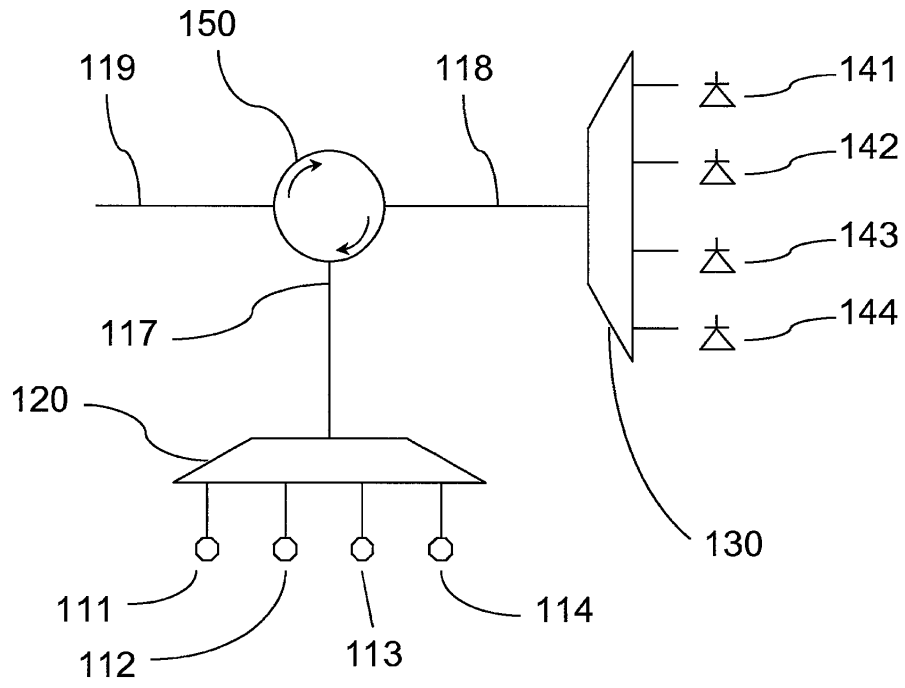


Fig. 6a

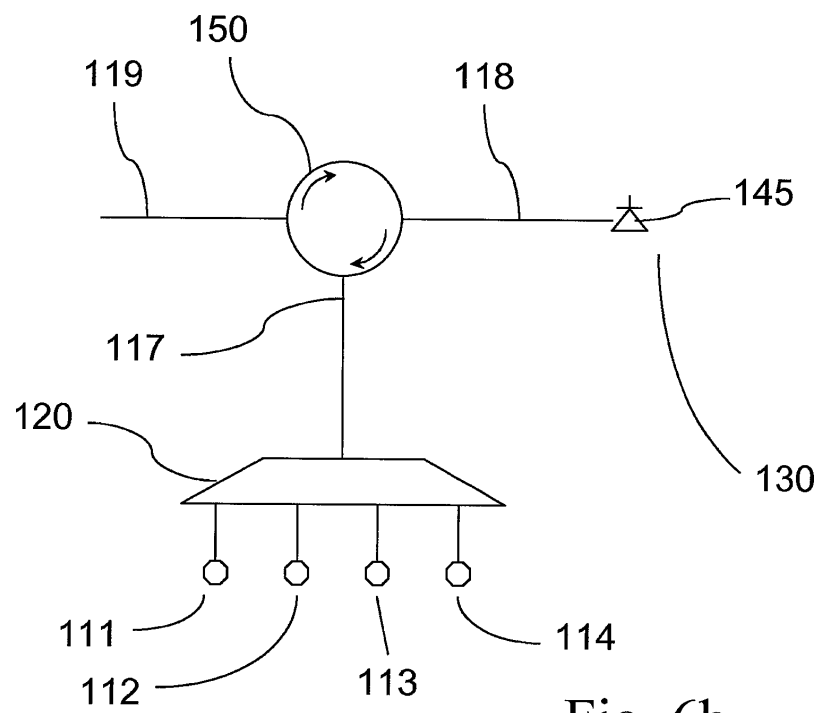


Fig. 6b

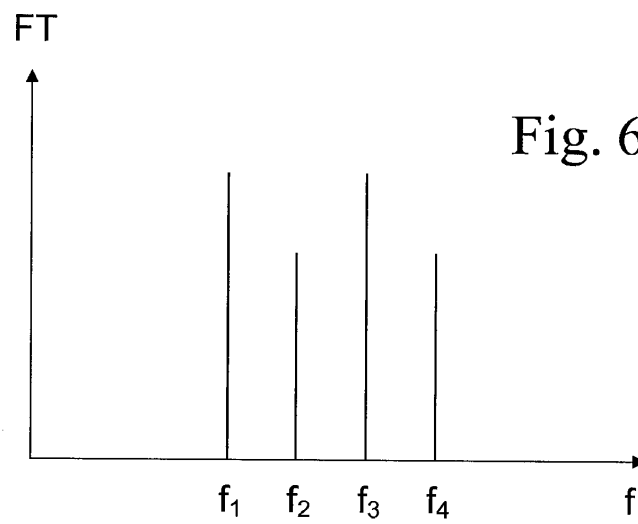


Fig. 6c

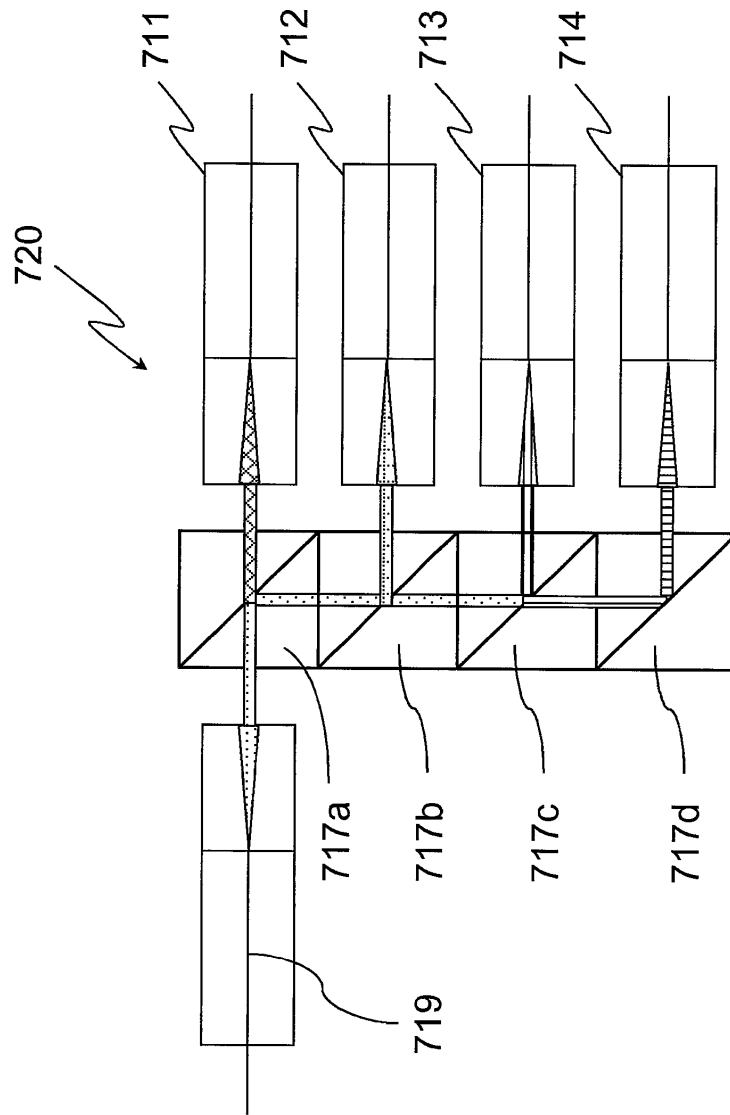


Fig. 7a

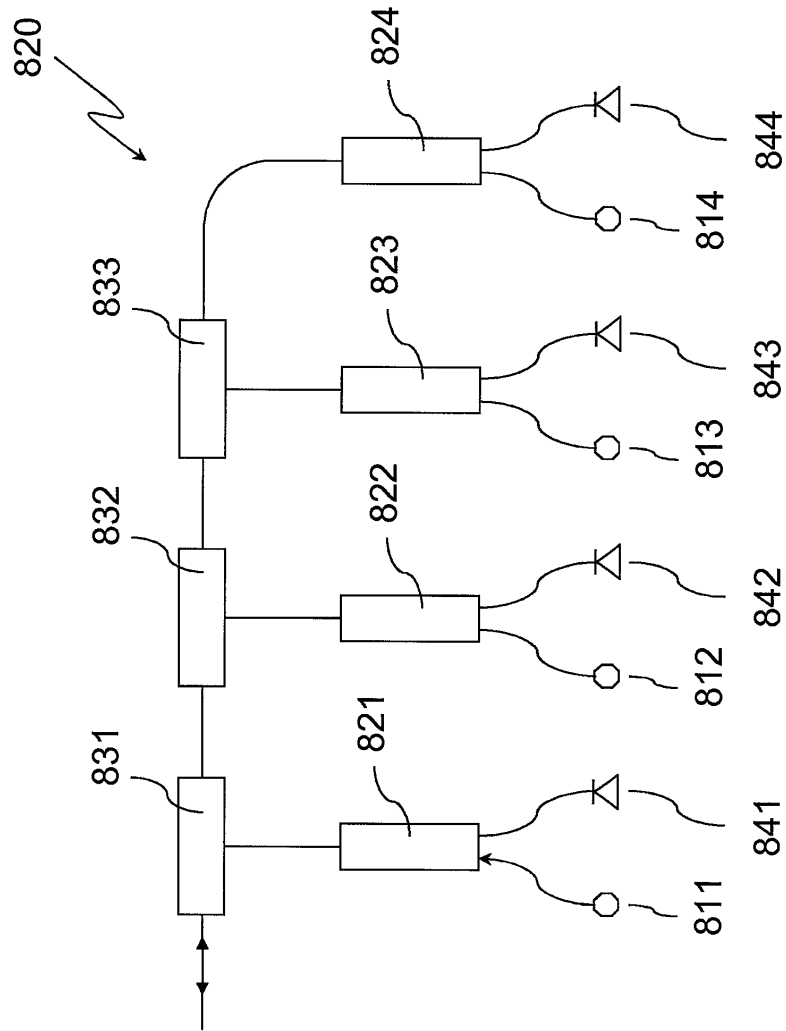


Fig. 7b

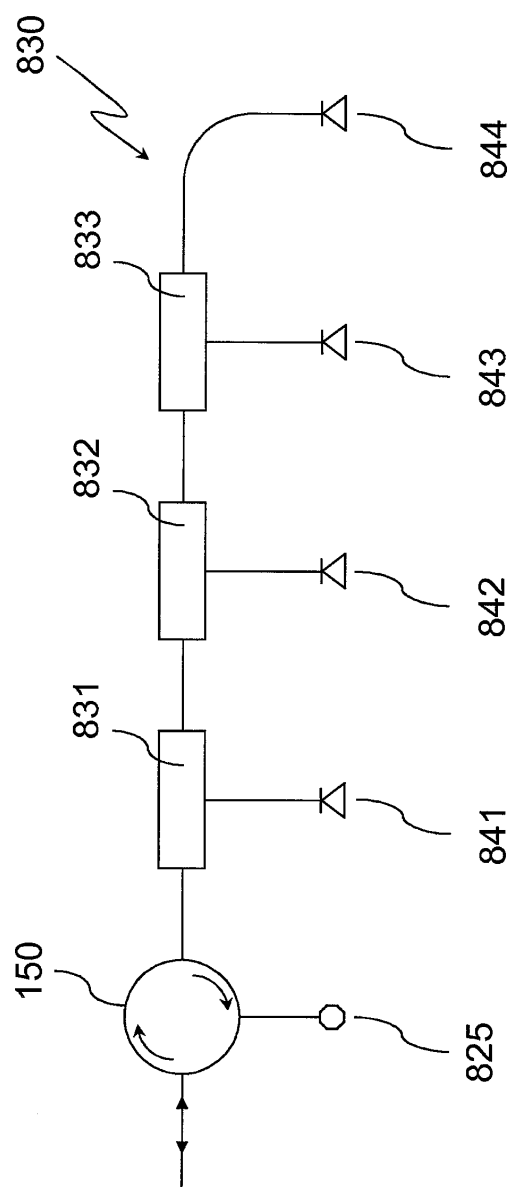


Fig. 7c

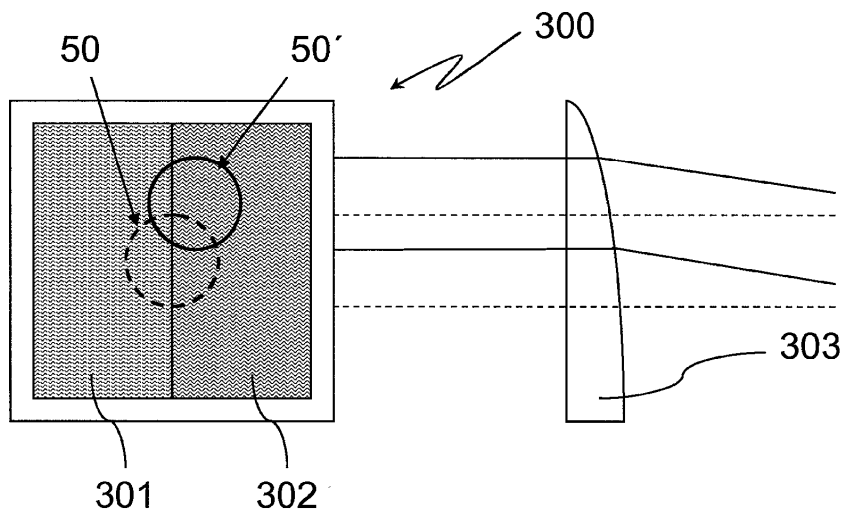


Fig. 8

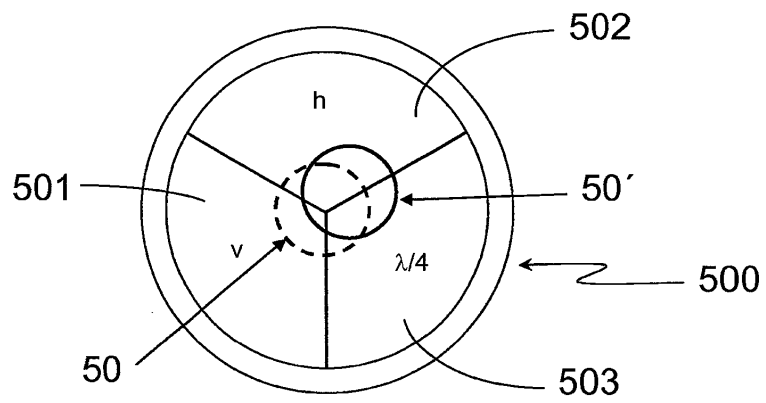


Fig. 9

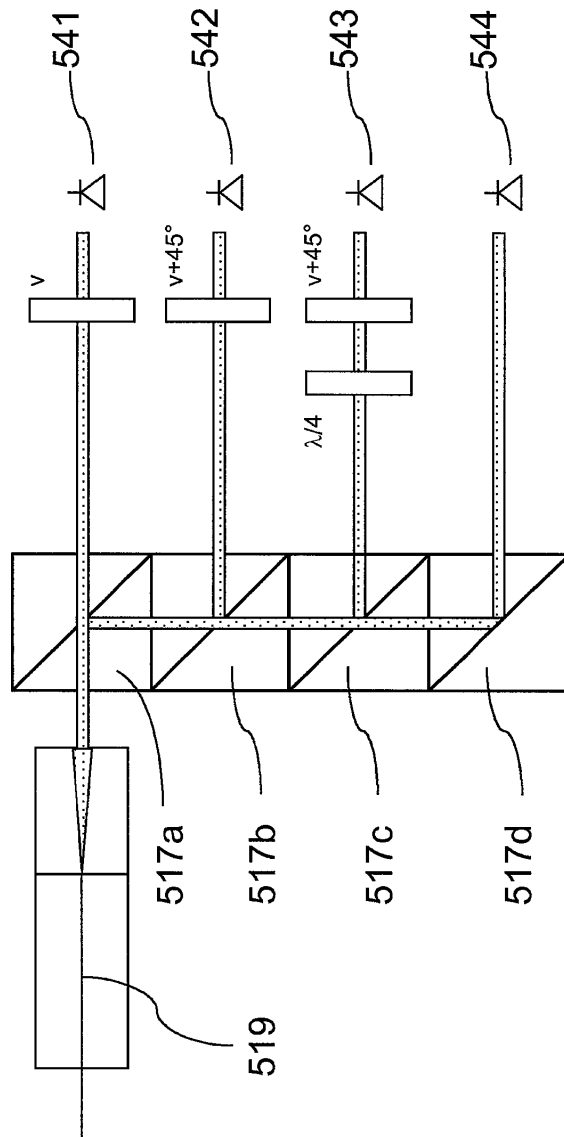


Fig. 10

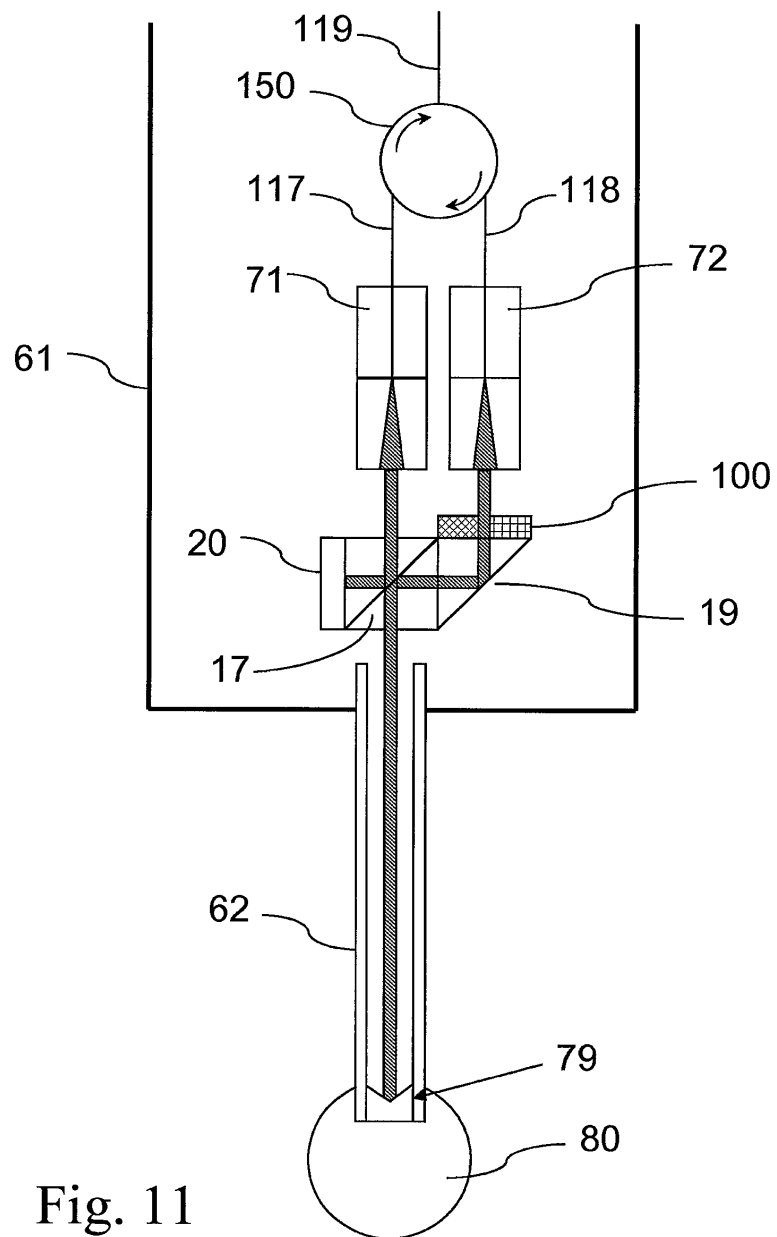
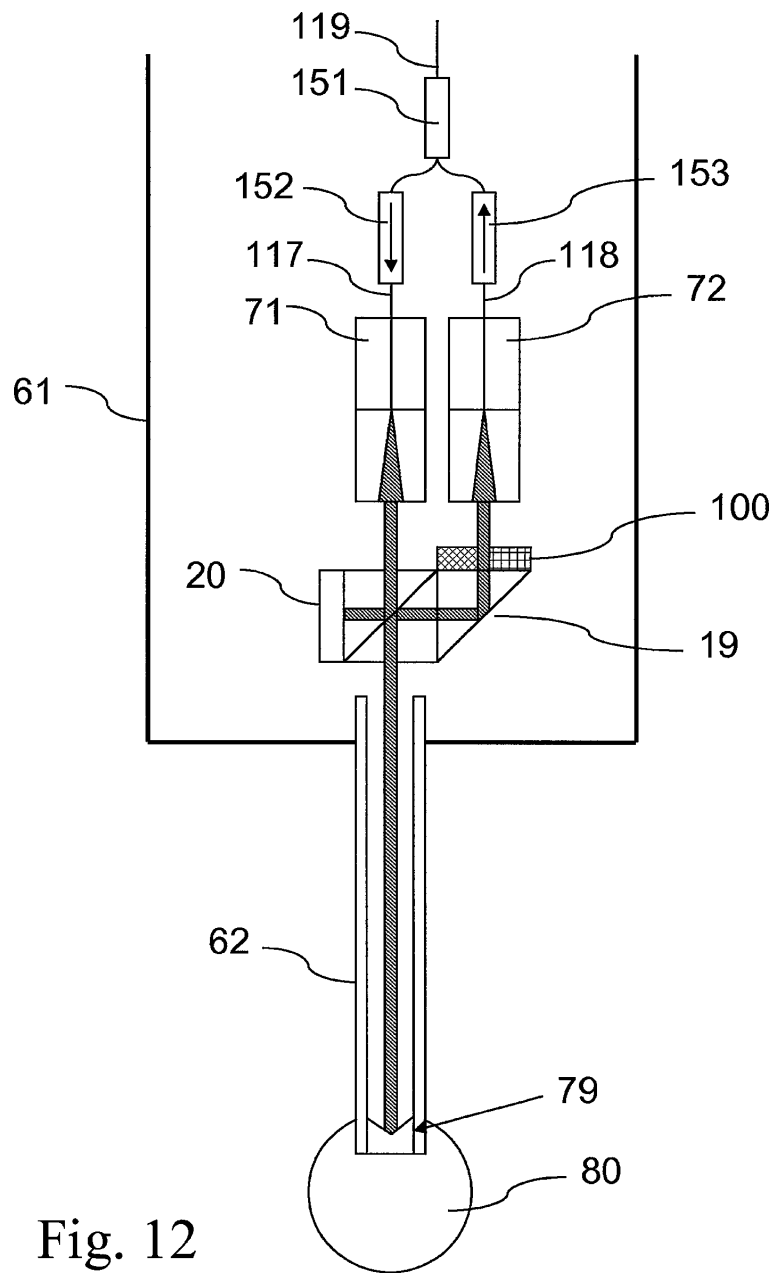
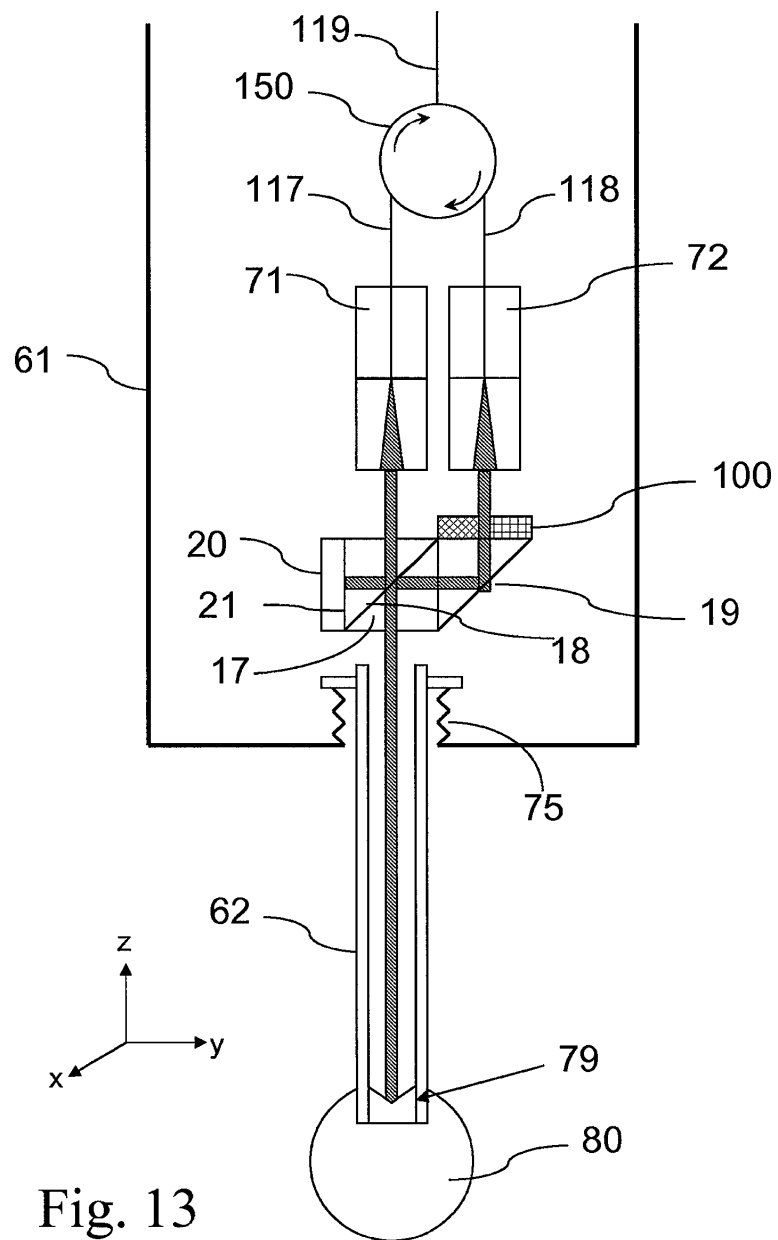


Fig. 11





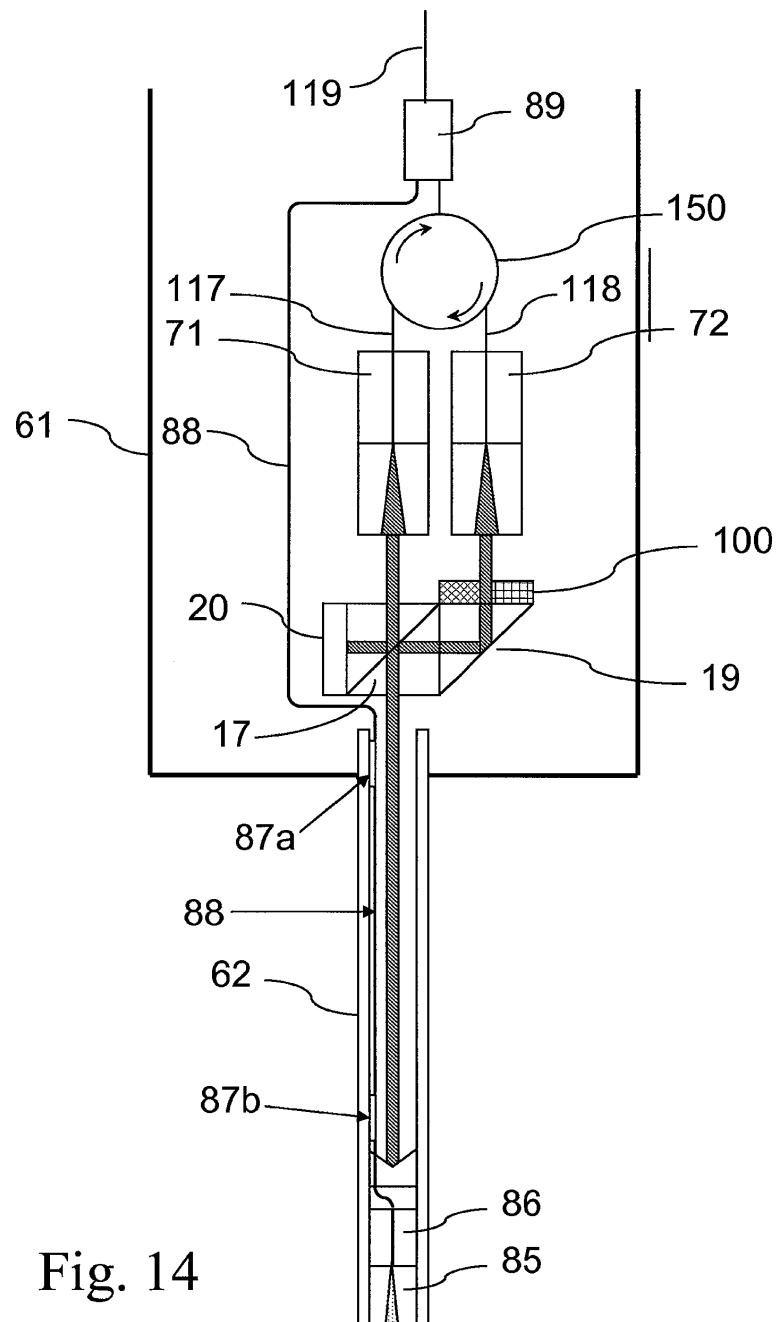
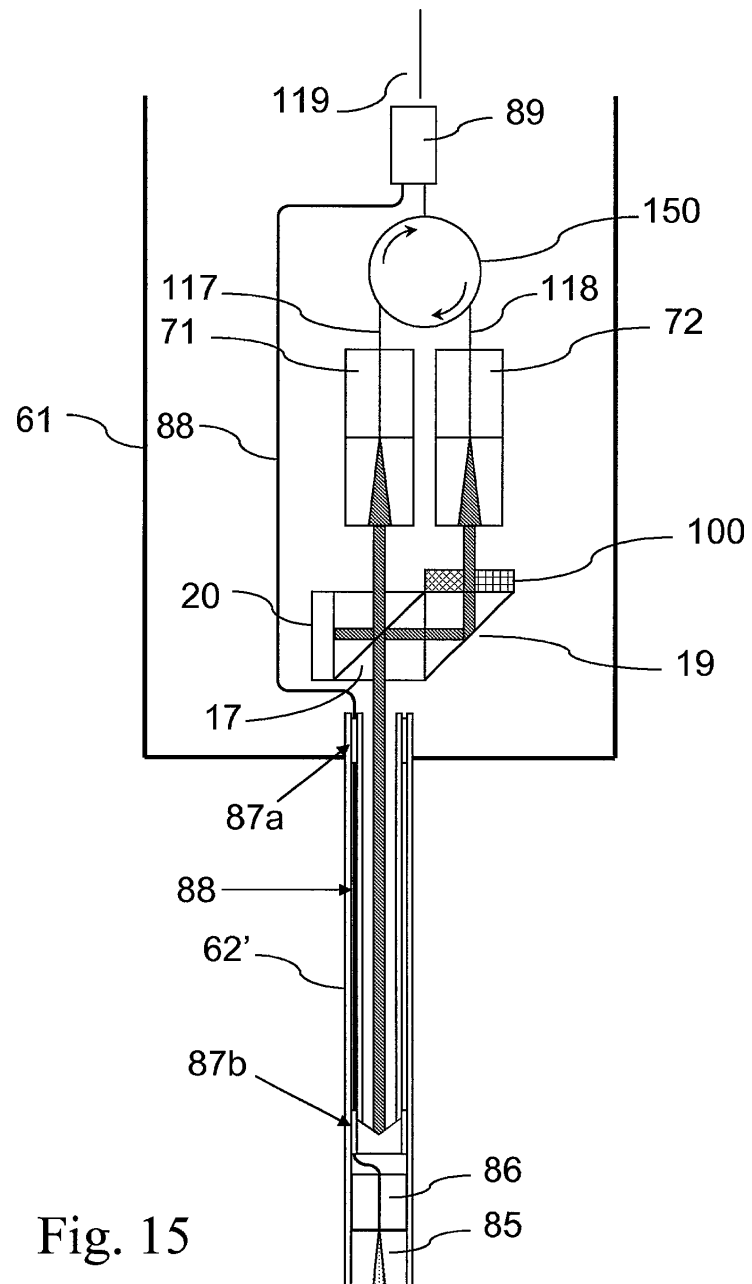


Fig. 14



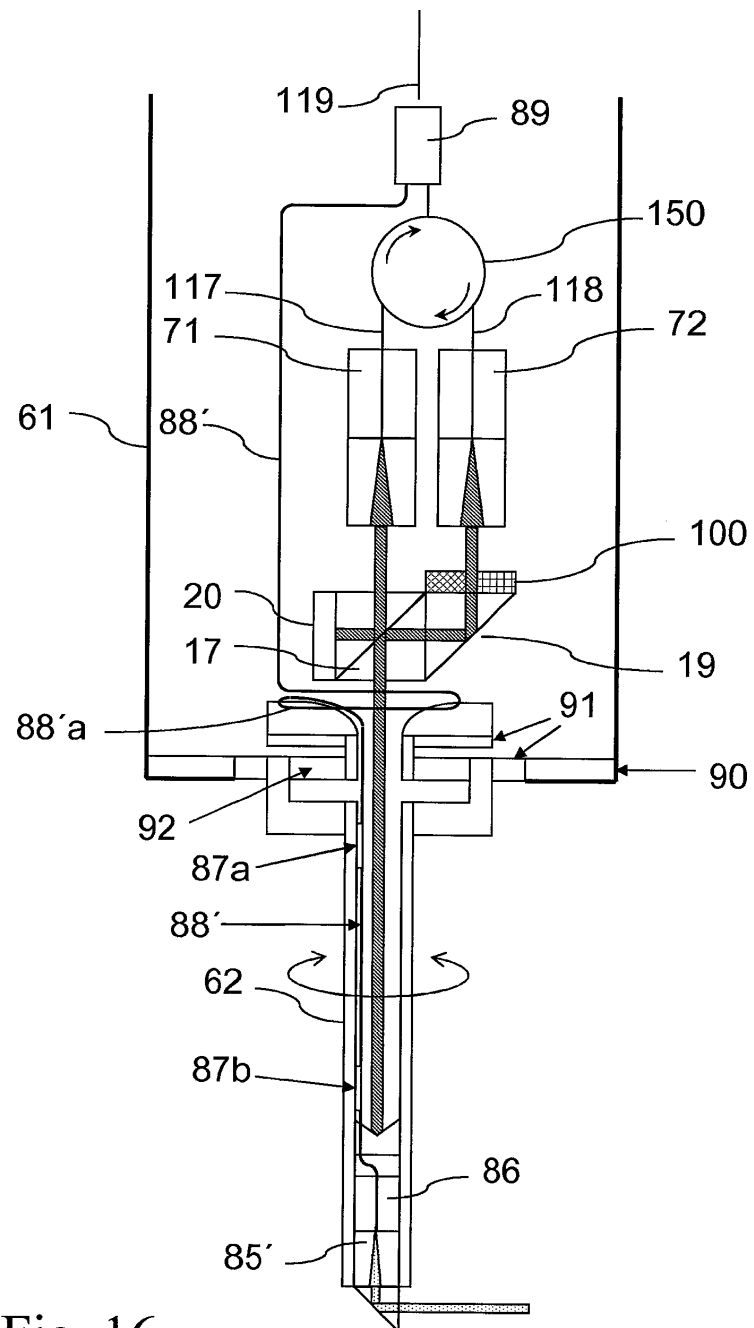


Fig. 16

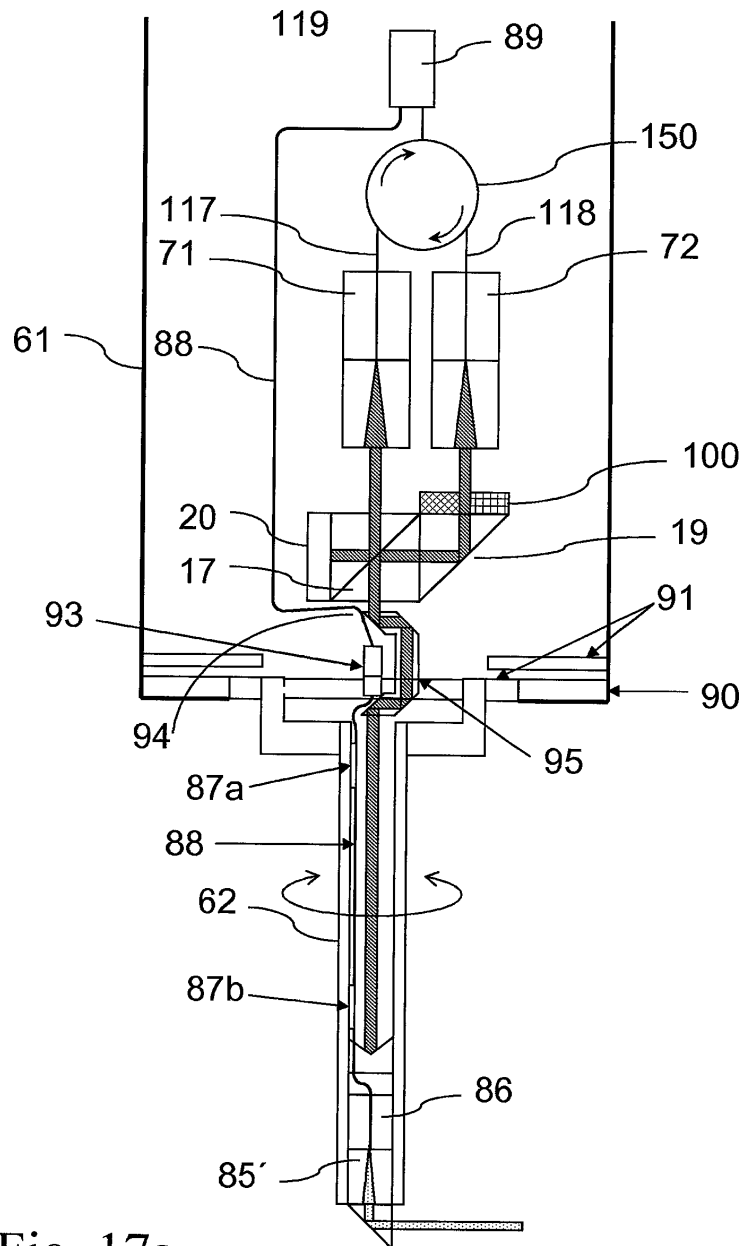


Fig. 17a

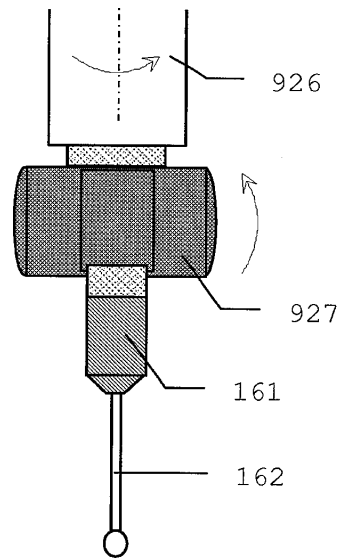


Fig. 17b

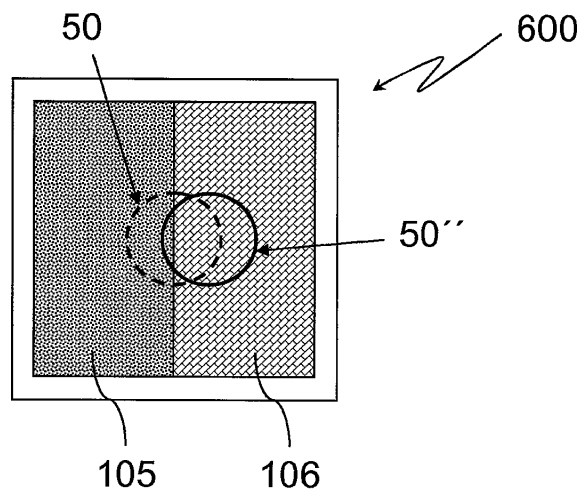


Fig. 18

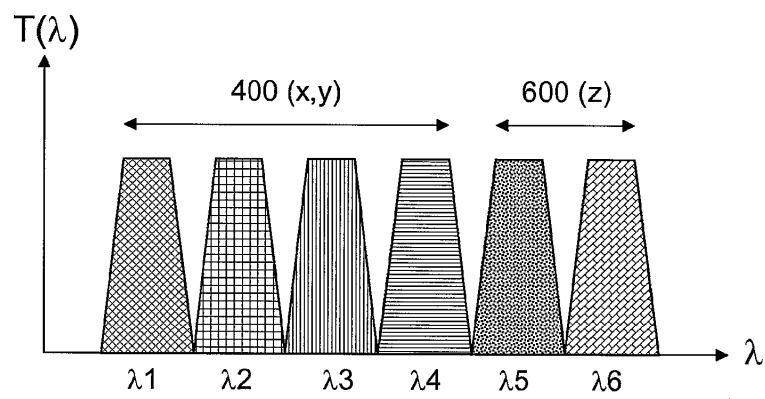


Fig. 19

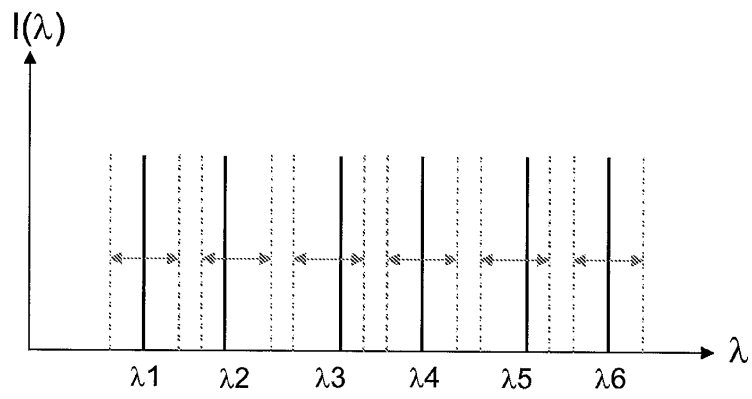


Fig. 20

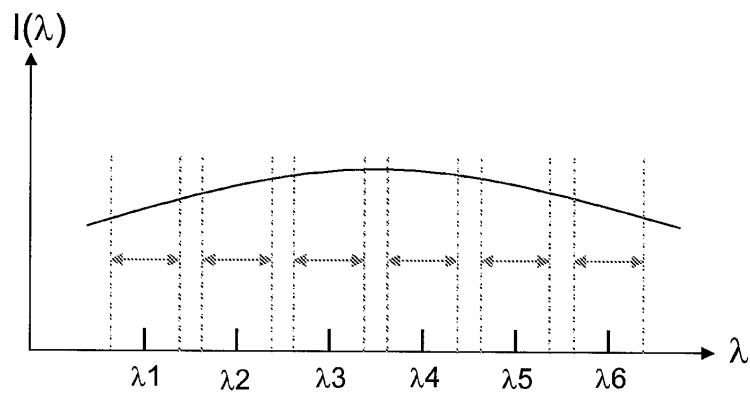


Fig. 21

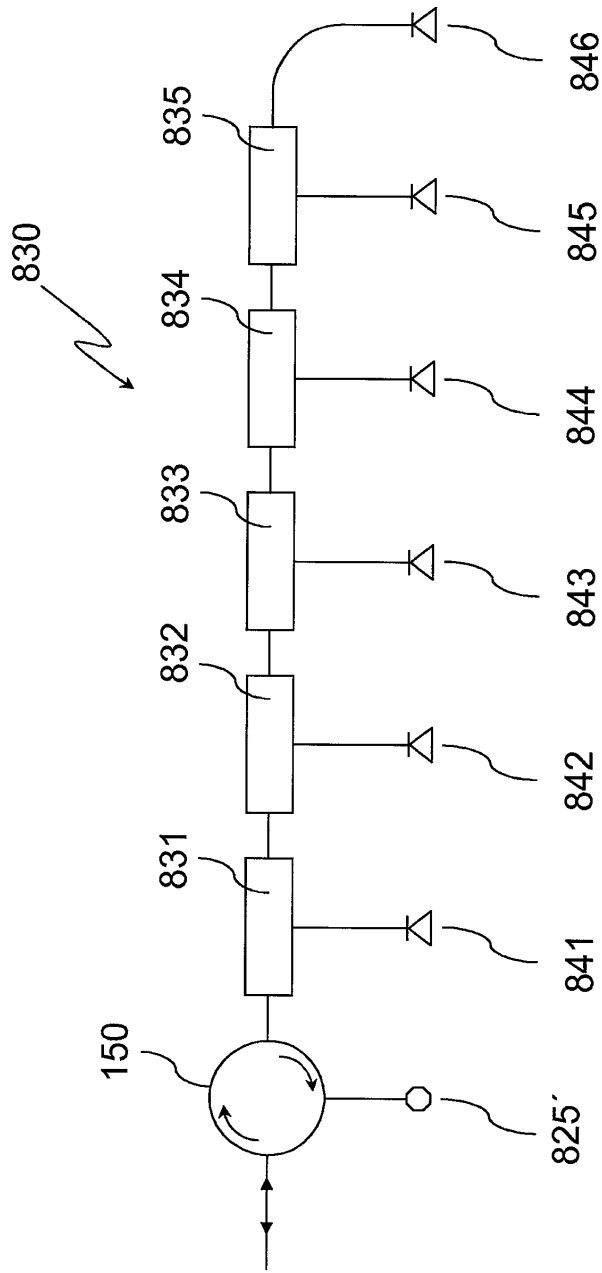
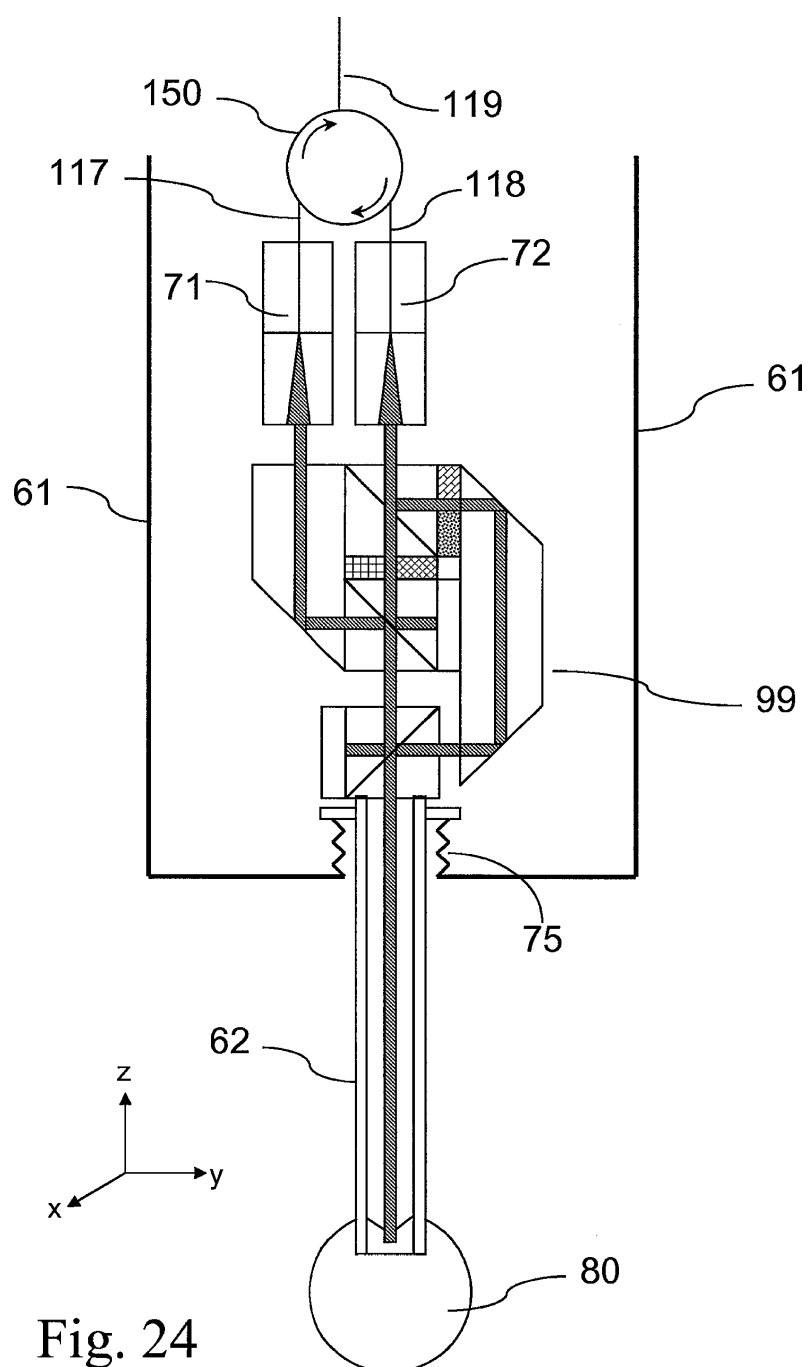


Fig. 23



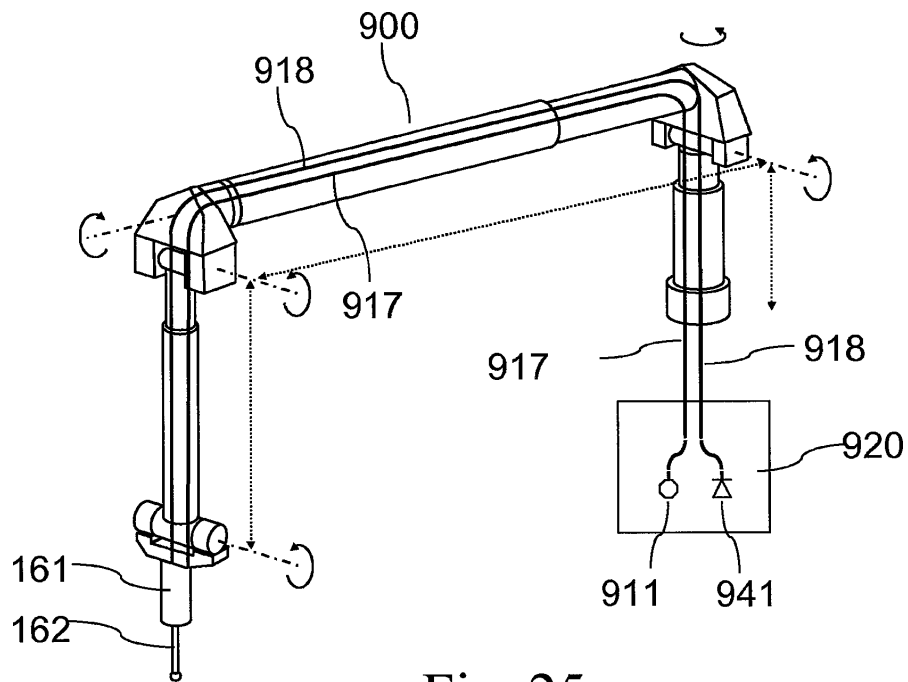


Fig. 25

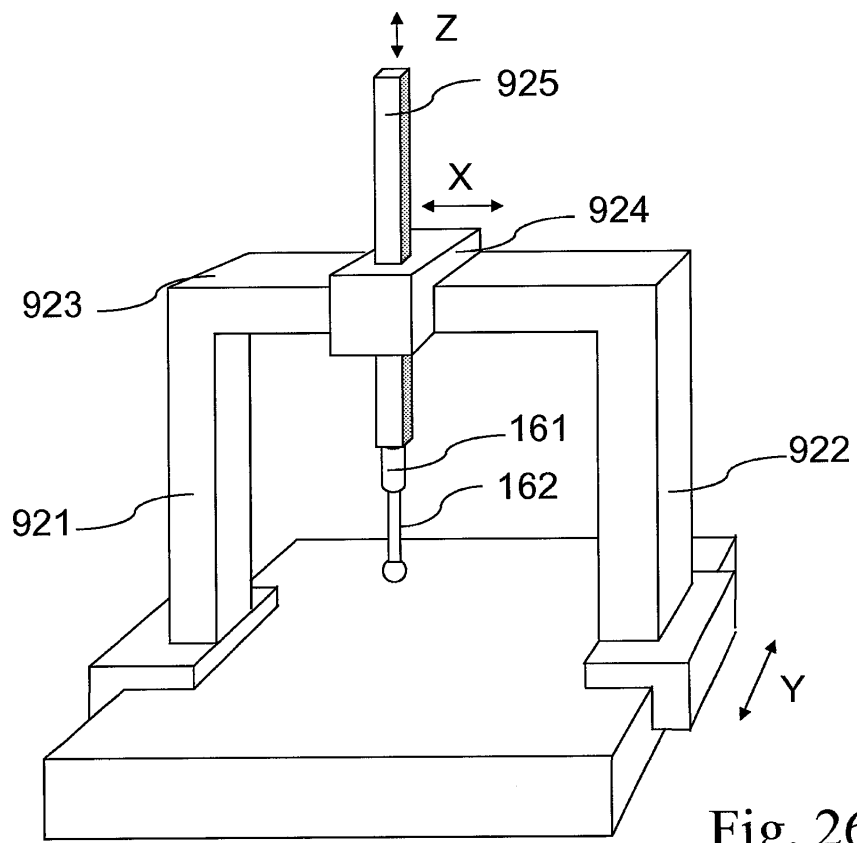
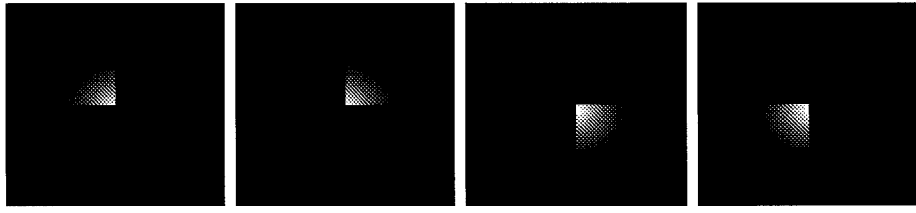


Fig. 26



$$If_0 \cdot \frac{255}{\max(If_0)}$$

Fig. 27a

$$If_1 \cdot \frac{255}{\max(If_1)}$$

Fig. 27b

$$If_2 \cdot \frac{255}{\max(If_2)}$$

Fig. 27c

$$If_3 \cdot \frac{255}{\max(If_3)}$$

Fig. 27d

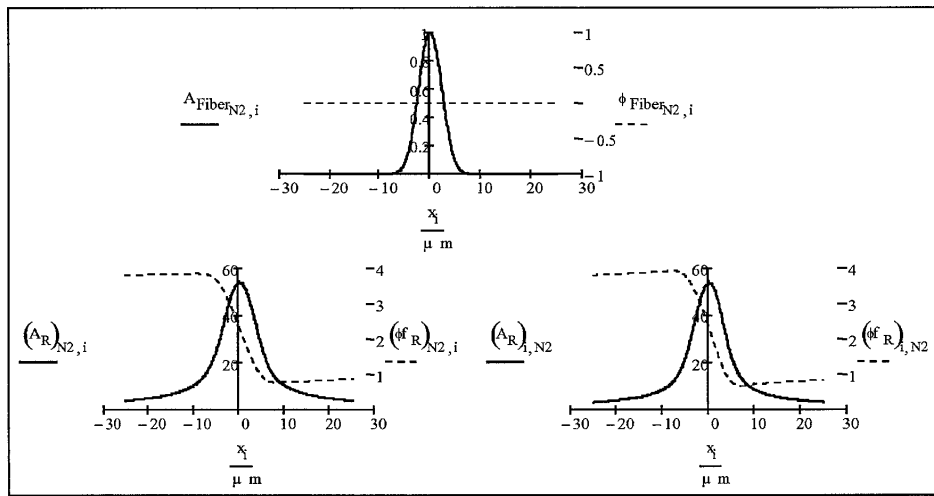
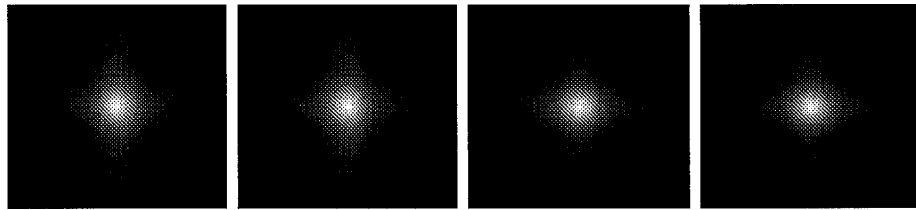


Fig. 28



$$If_0 \cdot \frac{255}{\max(If_0)}$$

Fig. 29a

$$If_1 \cdot \frac{255}{\max(If_1)}$$

Fig. 29b

$$If_2 \cdot \frac{255}{\max(If_2)}$$

Fig. 29c

$$If_3 \cdot \frac{255}{\max(If_3)}$$

Fig. 29d

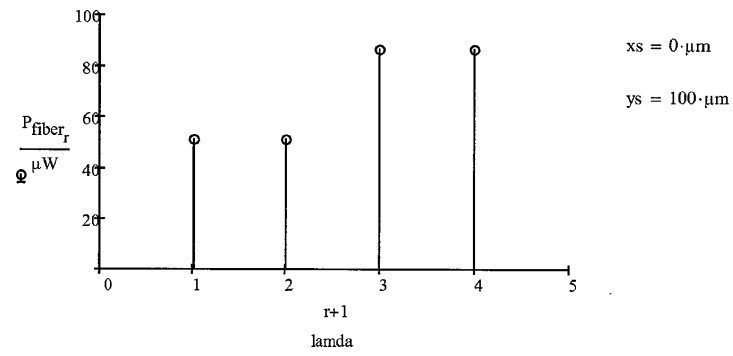
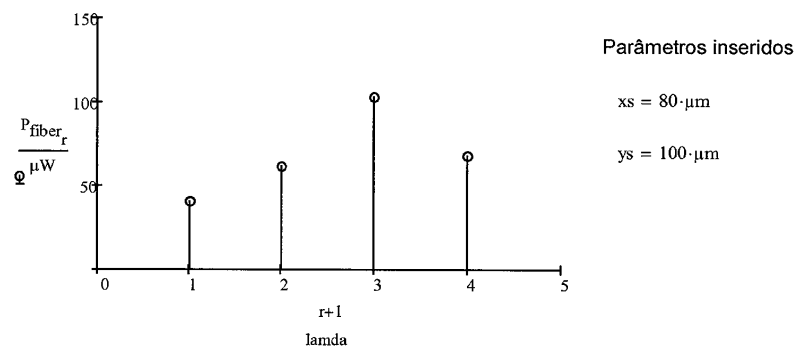


Fig. 30



$$\text{cal} := \frac{100 \mu\text{m}}{255 \mu\text{m}} = 0.392$$

$$x_s := \frac{\sum_r (P_{\text{fiber}_r} \cdot \text{pos}_{r,0} \cdot \text{cal})}{\sum_r P_{\text{fiber}_r}} = 80.256 \mu\text{m}$$

$$y_s := \frac{\sum_r (P_{\text{fiber}_r} \cdot \text{pos}_{r,1} \cdot \text{cal})}{\sum_r P_{\text{fiber}_r}} = 99.595 \mu\text{m}$$

Fig. 31