



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

**(11) PI 0906029-4 B1**



**(22) Data do Depósito: 18/02/2009**

**(45) Data de Concessão: 24/04/2019**

---

**(54) Título:** APARELHO E MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS

**(51) Int.Cl.:** G01N 21/86.

**(30) Prioridade Unionista:** 29/02/2008 US 12/039,830.

**(73) Titular(es):** INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION.

**(72) Inventor(es):** LLOYD BUMM; DAMINDA DAHAYANAKA; PHILIP A. KASZUBA; LEON MOSZKOWICZ; JAMES A. SLINKMAN.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2009034350 de 18/02/2009

**(87) Publicação PCT:** WO 2009/111163 de 11/09/2009

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 27/08/2010

**(57) Resumo:** APARELHO E MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS Fornece-se um método para detecção de estresse mecânico local em dispositivos integrados, método este que compreende: capacitar a detecção de uma diferença fotovoltaica entre um dispositivo sensor de varredura (14) e uma parte da superfície (30) de um dispositivo integrado (18), estando o sensor de varredura (14) configurado para defletir em resposta à diferença fotovoltaica; medir a deflexão do dispositivo sensor de varredura (14) em resposta à diferença fotovoltaica entre o dispositivo sensor de varredura (14) e a parte da superfície (3) do dispositivo integrado (18); e calcular um nível de estresse local no dispositivo integrado, por meio da determinação de uma função de trabalho local da parte da superfície (30) do dispositivo integrado (18) com base na deflexão do dispositivo sensor de varredura (14).

## **APARELHO E MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**

### **CAMPO DA INVENÇÃO**

Esta invenção está relacionada a um aparelho e método para  
5 detecção de estresse mecânico local em dispositivos integrados.

### **ANTECEDENTES DA INVENÇÃO**

A metrologia de estresse de produção em linha atual é conduzida apenas no nível de monitoramento do wafer. Para os fins de projeto, o estado de estresse em regiões ativas do dispositivo tem sido inferido através de dados  
10 elétricos. É evidente que o estresse é um dos fatores mais importantes nos projetos e na fabricação de dispositivos de Integração em Escala Muito Larga (VLSI). O estresse mecânico nas tecnologias de silício (Si) de profundidade sub-micro pode alterar drasticamente a mobilidade do transportador (por exemplo, dependente aproximadamente em 25% da geometria do dispositivo) e então  
15 afetar o desempenho do dispositivo.

### **SUMÁRIO DA INVENÇÃO**

Os problemas da técnica anterior são superados e outras vantagens são fornecidas através do estabelecimento de um método de detecção de estresse mecânico em dispositivos integrados, dito método compreendendo: a  
20 capacitação de detecção de uma diferença fotovoltaica entre um dispositivo sensor de varredura e uma parte da superfície de um dispositivo integrado, estando o sensor de varredura configurado para defletir em resposta à diferença fotovoltaica; a mensuração da deflexão do dispositivo sensor de varredura em resposta à diferença fotovoltaica entre o dispositivo sensor de varredura e a parte  
25 da superfície do dispositivo integrado; e o cálculo de um nível de estresse local no dispositivo integrado, por meio da determinação de uma função de trabalho local da parte da superfície do dispositivo integrado com base na deflexão do dispositivo sensor de varredura.

Os problemas da técnica anterior são superados e outras vantagens são ainda fornecidas através do estabelecimento de um método de detecção de estresse mecânico em dispositivos integrados, dito método compreendendo: a irradiação com um primeiro sinal de laser e um segundo sinal de laser em uma parte da superfície do dispositivo integrado capacitando a detecção de uma diferença fotovoltaica entre um dispositivo sensor de varredura e a parte da superfície do dispositivo integrado, estando o sensor de varredura suspenso acima do dispositivo integrado; a mensuração da deflexão do dispositivo sensor de varredura em resposta à diferença fotovoltaica; e o cálculo de um nível de estresse local no dispositivo integrado, por meio da determinação de uma função de trabalho local da parte da superfície do dispositivo integrado com base na deflexão do dispositivo sensor de varredura.

Os problemas da técnica anterior são superados e outras vantagens adicionais são fornecidas através da disponibilização de um aparelho de detecção de estresse em dispositivos integrados, dito aparelho compreendendo: um dispositivo integrado tendo uma porção de superfície com uma função de trabalho local, um dispositivo sensor de varredura suspenso acima da do dispositivo integrado, um controlador óptico configurado para possibilitar a detecção da diferença fotovoltaica estando o sensor de varredura configurado para defletir em resposta à diferença fotovoltaica entre dispositivo integrado e o dispositivo sensor de varredura; o dispositivo sensor de varredura estando configurado para mover em resposta à diferença fotovoltaica, um detector de sensor de varredura estando configurado para a medir os movimentos do dispositivo sensor de varredura em resposta à diferença fotovoltaica; uma unidade de processamento em comunicação de sinal com o dispositivo sensor de varredura, a unidade de processamento estando configurada para calcular um nível de estresse local no dispositivo integrado, por meio da determinação de uma função de trabalho local da parte da superfície do dispositivo integrado com base na deflexão do dispositivo sensor de varredura.

Outras características e vantagens são obtidas através das técnicas da presente invenção. Outras concretizações e aspectos da invenção são aqui descritos em detalhe e são considerados parte da invenção reivindicada. Para

uma melhor compreensão da invenção com vantagens e características, pede-se fazer referência à descrição e aos desenhos.

## EFEITOS TÉCNICOS

5 Como resultado da invenção sumarizada, conseguimos obter tecnicamente uma solução para detectar e medir o estresse mecânico local em dispositivos integrados.

## DESCRIÇÃO RESUMIDA DOS DESENHOS

10 O tema considerado como sendo a invenção está destacado particularmente e claramente reivindicado nas reivindicações constantes da conclusão das especificações. Os antecedentes e outros objetos, características e vantagens da invenção transparecem na descrição detalhada a seguir, tomada em conjunto com os desenhos que a acompanham, nos quais:

15 A FIG. 1 ilustra um diagrama esquemático de um equipamento de varredura de microscopia fotovoltáica kelvin de acordo com um exemplo de concretização.

A FIG. 2 ilustra uma visão em perspectiva superior de uma primeira fonte emissora de luz e de uma segunda fonte emissora de luz dispostas em ângulo  $\theta_3$  uma em relação à outra e num ângulo respectivo de incidência à amostra na FIG. 1, em conformidade com um exemplo de concretização, e

20 A FIG. 3 ilustra um diagrama de fluxo de dados do equipamento de varredura de microscopia fotovoltáica kelvin implementando um método para detecção de estresse mecânico local em dispositivos integrados.

25 A descrição detalhada explica as concretizações preferenciais da invenção, juntamente com as vantagens e características, por meio de exemplo com referência aos desenhos.

## DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

A presente invenção e os detalhes das várias características e vantagens são explicados de forma mais completa com referência às concretizações não restritivas que estão ilustradas nos desenhos anexos e detalhadas na descrição a seguir. Deve-se notar que as características ilustradas nos desenhos não estão necessariamente elaboradas em escala. Foram omitidas descrições de componentes e de técnicas processuais bem conhecidas ou convencionais, de modo a não incluir detalhes desnecessários à invenção. Os exemplos utilizados têm meramente a intenção de facilitar o entendimento dos modos pelos quais a invenção pode ser colocada em prática e, além disso, permitir que os versados na matéria possam colocá-la em prática. Da mesma forma, os exemplos não devem ser interpretados como limitações do escopo da invenção.

Os inventores no presente documento reconheceram que possibilitar a detecção de um diferencial fotovoltaico de superfície entre um dispositivo integrado (e.g., um dispositivo de memória) e um dispositivo sensor de varredura permite a caracterização de estresse mecânico local em aproximadamente uma escala de 100 nanômetros (nm) (ou menos), o que facilita com vantagem a análise do projeto, fabricação e de falha das tecnologias atuais de Integração em Escala Muito Larga (VLSI). Os inventores reconheceram ainda que a sequência da luz incidente no silício (material comum para a fabricação de dispositivos integrados) permite a detecção de eventual alteração no *gap* da energia local e, conseqüentemente, na função local de trabalho (ou mais geralmente a mudança na superfície fotovoltaica (SPV)) do mesmo, o que permite, como vantagem, a medição da mudança na função local de trabalho, permitindo dessa forma a deconvolução do nível de estresse local no dispositivo baseado em silício. A caracterização do estresse em estruturas reais do dispositivo permite a otimização do projeto para variação dos tamanhos do dispositivo e permite o diagnóstico de dispositivos com falha, o que se tornará mais claro com a discussão abaixo.

Para melhor entendimento da invenção e sua operação, referimo-nos aos desenhos; a Figura 1 é um diagrama esquemático ilustrando os elementos básicos de um exemplo de concretização da presente invenção. Mais especificamente, a Figura 1 ilustra um aparelho de varredura de microscopia 5 fotovoltáica kelvin (SKPVM) 10 de acordo com um exemplo de concretização da presente invenção. O aparelho ou equipamento 10 compreende um conjunto sensor detector 12, em geral suspenso sobre um dispositivo sensor de varredura 14, um estágio plataforma 16, e efetivamente sobre uma amostra 18 de material 10 semiconductor (e.g. silício), que se situa no topo do estágio plataforma 16. O equipamento 10 inclui ainda um controlador ótico 20 posicionado próximo à amostra 18 de forma tal que não interfira mecanicamente com o dispositivo sensor de varredura 14. Mais ainda, o equipamento compreende uma unidade de processamento central (CPU) 22 em comunicação elétrica com o conjunto sensor detector 12, um controlador de sensor 24, e uma fonte de energia 26.

15 De acordo com uma concretização, a amostra 18 é um dispositivo semiconductor convencional de qualquer tipo. A amostra 18 em geral é composta de uma multiplicidade de dispositivos e/ou circuitos eletrônicos criados sobre uma bolacha (*wafers*) feita de material semiconductor como, por exemplo, silício, junto com vários componentes semicondutores e fabricada através de várias etapas 20 bem conhecidas de processamento fotográfico e/ou químico conforme uma concretização. Fica estabelecido que outras técnicas convencionais de processamento e manufatura da amostra e de materiais para fabricá-la podem ser usadas de acordo com exemplos de concretizações da presente invenção. A amostra 18 possui uma função de trabalho em diferentes locações, que é 25 dependente do material da amostra 18 adicionalmente ao estado de estresse naquelas locações da amostra 18. Esses estresses podem se formar na amostra durante, por exemplo, processos de fabricação ou devido a dano decorrente de utilização. Em qualquer caso, algumas partes da amostra 18 podem ter um componente de estresse variável espacialmente para modificar, provocando, 30 dessa forma, a função de trabalho nessas partes, doravante designadas neste trabalho como função de trabalho local.

De acordo com uma concretização, a plataforma estágio 16 dá suporte à amostra 18 e está configurada para mover a amostra 18 abaixo do dispositivo sensor de varredura 14 no eixo-x e/ou eixo-y. Ao fazê-lo, o dispositivo sensor de varredura 14 pode fazer uma varredura no topo de uma superfície 30 da amostra 18 no eixo-x e no eixo-y enquanto a superfície inferior 32 está sobre a plataforma estágio 16 conforme mostrado. Num exemplo de concretização, a plataforma estágio 16 está configurada para se movimentar pelo eixo-x e por uma única linha do topo da superfície 30 da amostra 18 para obter uma topografia de superfície da única linha e novamente pela mesma única linha do topo da superfície 30 da amostra 18 para permitir a detecção de uma diferença fotovoltaica entre o dispositivo sensor de varredura e a área de interesse da amostra 18, o que é permitido pelo controlador ótico 20. A diferença fotovoltaica é criada devido às diferenças na função de trabalho entre o dispositivo sensor de varredura 14 e a amostra 18.

De acordo com uma concretização, o controlador ótico 20 está em relação facial com a amostra 30 e com o dispositivo sensor de varredura 14 e localizado próximo a eles. O controlador ótico 20 está configurado para irradiar luz na amostra 18 de acordo com um exemplo de concretização. Num exemplo de concretização, o controle ótico 20 inclui uma primeira fonte emissora de luz 40, uma segunda fonte emissora de luz 42, e um processador (não mostrado) para controlar a primeira fonte emissora de luz 40 e a segunda fonte emissora de luz 42. A primeira fonte emissora de luz 40 e a segunda fonte emissora de luz 42 estão configuradas para irradiar a amostra com um primeiro sinal luminoso, que está indicado pela seta 44 na Figura 1, e um segundo sinal luminoso, que está indicado pela seta 46 na Figura 1, respectivamente. O primeiro sinal luminoso 44 e o segundo sinal luminoso 46 acoplam-se localmente a um primeiro vetor de onda na amostra e a um segundo vetor de onda na amostra respectivamente, dependendo da polarização dos sinais luminosos. De acordo com uma concretização da invenção não restritiva, a primeira fonte emissora de luz 40 é uma primeira fonte laser configurada para irradiar a amostra 18 com um primeiro sinal de laser enquanto a segunda fonte emissora de luz 42 é uma segunda fonte laser configurada para irradiar a amostra 18 com um segundo sinal a laser.

Certamente podem ser usadas outras fontes emissoras de luz de acordo com exemplos de concretizações da presente invenção e não devem ser limitadas à configuração descrita acima.

5 A primeira fonte emissora de luz 40 encontra-se disposta a um primeiro ângulo de incidência  $\theta_1$  em relação a uma parte da superfície da amostra 18 de acordo com um exemplo de concretização. Numa concretização exemplificada não restritiva, o primeiro ângulo de incidência  $\theta_1$  está aproximadamente a um ângulo de Brewster (e.g., aproximadamente 10-20 graus) em relação à parte da superfície da amostra 18. Adotando o mesmo procedimento  
10 com a luz magnética polarizada, a maior quantidade de luz da primeira fonte emissora de luz 40 pode ser absorvida pela amostra 18, assim reduzindo reflexão indesejável, o que fornece uma leitura mais precisa. Conforme melhor mostrado na Figura 2, a primeira fonte emissora de luz 40 possui um ângulo  $\theta_3$  em relação à segunda fonte emissora de luz 42. De acordo com uma concretização, pode-se,  
15 por exemplo, atribuir 90 graus a  $\theta_3$ . Ainda de acordo com outra concretização, pode-se escolher zero grau para  $\theta_3$ .

A segunda fonte emissora de luz 42 encontra-se disposta a um segundo ângulo de incidência  $\theta_2$  em relação à porção da superfície da amostra 18 de acordo com um exemplo de concretização tal que a segunda fonte emissora  
20 de luz 42 e a primeira fonte emissora da luz 44 estejam posicionadas para direcionar luz a qualquer tempo dado para a mesma localização da amostra 18. Numa concretização exemplificada não restritiva, o segundo ângulo de incidência  $\theta_2$  está posicionado aproximadamente a um ângulo Brewster (e.g., aproximadamente 10-20 graus) em relação à amostra 18. Estabelece-se que o  
25 primeiro ângulo de incidência  $\theta_1$  da primeira fonte emissora de luz 40 pode ser diferente do segundo ângulo de incidência  $\theta_2$  da segunda fonte emissora de luz 42 e não se limita necessariamente à configuração descrita.

A primeira fonte de emissão de luz 40 e a segunda fonte de emissão de luz 42 são configuradas para permitir a detecção de uma diferença fotovoltaica  
30 entre o dispositivo sensor de varredura 14 e a amostra 18 devido a estresse. Mais especificamente, o primeiro sinal luminoso 44 e o segundo sinal luminoso 46

de maneira correspondente à primeira fonte de emissão de luz 40 e à segunda fonte de emissão de luz 42 são configurados para irradiar na amostra 18 permitindo a detecção de mudança no *gap* de energia local e, dessa forma, na função de trabalho local (ou de modo equivalente à mudança na superfície 5 fotovoltaica) devido aos componentes de estresse locais e espaciais existentes na amostra 18. A medição da mudança na função de trabalho local fornece efetivamente a medida da mudança no nível de estresse local. Vários componentes de estresse podem ser medidos na amostra 18 mediante a variação do estado da polarização de luz, do ângulo de incidência e da orientação da 10 amostra, que podem variar dependendo, por exemplo, do material da amostra 18 de acordo com um exemplo de concretização.

De acordo com um exemplo de concretização, o processador do controlador ótico 20 está configurado para modular eletronicamente ("chopping") o primeiro sinal luminoso 44 e o segundo sinal luminoso 46 de forma controlada. 15 Esta técnica aumenta a sensibilidade à fotovoltagem (e, portanto, à detecção de estresse). Por exemplo, o primeiro sinal luminoso 44 e o segundo sinal luminoso 46 operam de maneira modulada ou pulsante, em que os dados de fotovoltagem são anotados com a primeira fonte de emissão de luz 40 ligada e com a segunda fonte de emissão de luz 42 desligada, em seguida, anotando-se os dados de 20 fotovoltagem com a segunda fonte de emissão de luz 42 ligada e a primeira fonte de emissão de luz 40 desligada. Esse método alternado de iluminação resulta numa fotovoltagem diferencial em tempo real. Num exemplo de concretização, os dados fotovoltaicos são anotados com a primeira fonte de emissão de luz 40 e armazenados, em seguida, os dados fotovoltaicos são anotados com a segunda 25 fonte de emissão de luz 42 e armazenados. As diferenças nos dados fotovoltaicos armazenados são então subtraídos uns dos outros resultado num diferencial fotovoltaico.

De acordo com um exemplo de concretização, o dispositivo sensor de varredura 14 inclui um cantiléver flexível 52 com uma ponta fina eletricamente 30 condutora 56 suspensa sobre a amostra 18. O dispositivo sensor de varredura 14 pode ser qualquer dispositivo sensor de varredura usado geralmente em varredura de microscopia sensora. A ponta eletricamente condutora 56 possui

um raio de curvatura (e.g. aproximadamente menos de 15nm) na extremidade do cantiléver flexível 52 de acordo com uma concretização, como é de conhecimento dos especialistas. O dispositivo sensor de varredura 14 inclui um dispositivo de controle do z-piezo 54 configurado para posicionar o cantiléver 52 mecanicamente na direção-z, isto é, na direção vertical, aproximando-se e afastando-se da amostra 18. O dispositivo de controle do z-piezo 54 está, além disso, configurado para fazer a ponta do cantiléver oscilar a aproximadamente uma frequência ressonante mecânica de acordo com uma concretização da invenção. Numa concretização, o dispositivo de controle do z-piezo 54 aplica um estímulo elétrico de duração variável à ponta do cantiléver com uma frequência que seja a frequência ressonante mecânica do cantiléver 52 ou próxima a ela. O dispositivo sensor de varredura 14 está configurado para responder quando a amostra 18 estiver irradiada com o primeiro sinal luminoso 44 e o segundo sinal luminoso 46. Mais especificamente, o cantiléver 52 do dispositivo sensor de varredura 14 deflete em resposta ao diferencial fotovoltaico formado entre a ponta 56 e a amostra 18 quando os sinais luminosos são modulados numa forma alternada. De acordo com um exemplo de concretização não restritivo, tanto o primeiro sinal luminoso 44 quanto o segundo sinal luminoso 46 possuem uma frequência irradiadora próxima à frequência ressonante mecânica do cantiléver 52 (e.g., 50 kHz), resultando numa sensibilidade aumentada para o diferencial fotovoltaico e, conseqüentemente, para o estado de estresse na amostra 18. As mudanças locais no *gap* de energia estão relacionadas à mudança na função de trabalho local da amostra 18 causada por estresse. A medição da alteração na função de trabalho local é uma função da posição do dispositivo sensor de varredura 14. Como tal, o estresse local na amostra 18 pode ser medido. Áreas diferentes da superfície superior 30 da amostra 18 podem resultar em diferentes alterações na função local de trabalho dependendo do estresse naquela área local.

De acordo com um exemplo de concretização, o conjunto sensor detector 12 suspenso sobre o dispositivo sensor de varredura 14 e efetivamente sobre a amostra 18 está configurado para a aquisição da topografia de cada linha de superfície da amostra 18 para capturar a imagem topográfica da amostra 18. A topografia de cada linha da superfície da amostra 18 é caracterizada pela

medição da altura da amostra 18 em cada linha de superfície. A altura é medida em ângstroms, nanômetros, microns, ou outro. A topografia de cada linha de superfície da amostra 18 é conseguida movendo a amostra pelo eixo-x e pelo eixo-y através da plataforma estágio 16 ou, alternativamente, movendo o dispositivo sensor de varredura 14 pelo eixo-x e eixo-y relativo a uma amostra 18 montada parada. Esta mesma operação é usada para medir a alteração na função de trabalho local na linha de superfície da amostra 18 devido ao estresse e, em consequência, para caracterizar o estresse local em cada linha de superfície da amostra 18 numa escala de 100 nm (ou menos) de acordo com um exemplo de concretização. Isto é conseguido mediante a irradiação da amostra 18 com o primeiro sinal luminoso 44 e o segundo sinal luminoso 46 conforme descrito acima. Entretanto, considera-se que pode ser obtida, em outro exemplo de concretização, sensibilidade em escala menor do que 100 nm.

De acordo com uma concretização, a CPU 22 é acoplada ao conjunto sensor detector 12, ao controlador de sensor 24 e à fonte de energia 26. A CPU 22 pode ser qualquer processador convencional configurado para executar os métodos e/ou funções aqui descritas. Num exemplo de concretização, a CPU 22 engloba uma combinação de hardware e/ou software/firmware com um programa de computador que, quando carregado e executado, permite à CPU 22 operar de forma a realizar os métodos aqui descritos. De acordo com um exemplo de concretização, a CPU 22 está configurada para determinar a imagem topográfica da amostra 18 obtida pelo conjunto sensor detector 12. A CPU 22 está também configurada para determinar as alterações na função de trabalho local da amostra 18 por meio da recepção dos dados fotovoltaicos e dados fotovoltaicos diferenciais medidos pelo conjunto sensor detector 12. O nível ou estado de estresse local na amostra 18 numa escala 100nm (ou menor) é estabelecido pelo diferencial fotovoltaico medido.

De acordo com uma concretização, o controlador de sensor 24 está em comunicação por sinal com a CPU 22 e está configurado para controlar as operações do dispositivo de controle do z-piezo 54 para evitar que a ponta 56 do dispositivo sensor de varredura 14 danifique a amostra 18. De acordo com uma concretização, o controlador de sensor 24 controla o dispositivo de controle do z-

piezo 54 com base nos dados de topografia da linha de serviço da amostra 18 que sofreu a varredura. Em outras palavras, o dispositivo de controle do z-piezo 54 move o dispositivo sensor de varredura 14 pela direção-z com base em ressaltos/depressões e/ou valas que possam existir na linha de superfície da amostra 18. Por exemplo, quando a ponta 56 está se movendo pela linha de superfície da amostra 18 e encontra o início de um vale ou um ressalto, o sensor controlador sinaliza para que o dispositivo de controle do z-piezo 54 ajuste a altura do dispositivo sensor de varredura 14 para evitar que a ponta 56 danifique ou se choque com a amostra 18, formando um sistema de circuito de feedback de topografia entre o dispositivo sensor de varredura 14, o conjunto sensor detector 12, a CPU 22 e o controlador de sensor 24. O sinal fotovoltaico é obtido, portanto, em altura constante do dispositivo sensor de varredura sobre a amostra, removendo, desta forma, a dependência da altura dos dados fotovoltaicos.

De acordo com um exemplo de concretização, a fonte de energia 26 está em comunicação com a CPU e acoplada à amostra 18 e ao dispositivo sensor de varredura 14. A fonte de energia 26 está configurada para gerar uma voltagem de polarização (e.g. voltagem Kelvin) para anular ativamente a diferença fotovoltaica entre a amostra 18 e o dispositivo sensor de varredura 14 enquanto o dispositivo sensor de varredura 14 se move pelas linhas de superfície da amostra 18 e o conjunto sensor detector 12 mede as diferenças fotovoltaicas detectadas em cada linha de superfície da amostra 18. Isto forma um sistema de circuito de feedback de diferença fotovoltaica entre o dispositivo sensor de varredura 14, o conjunto sensor detector 12, a CPU 22, e a fonte de energia 26. Além disso, permite a caracterização do estresse local em vários pontos de cada linha de superfície da amostra 18 assegurando que a função de trabalho medida seja determinada a uma altura constante conforme mencionado previamente.

Em operação, a topografia de superfície de uma linha de superfície da amostra 18 é obtida antes que os dados fotovoltaicos sejam obtidos na mesma linha de superfície, de acordo com um exemplo de concretização. Esta operação é conduzida para cada linha de superfície da amostra 18, formando, dessa forma, uma imagem topográfica da amostra 18. A altura do dispositivo sensor de varredura 14 é ajustada a uma distância predeterminada (e.g., 10 nm) da amostra

18 baseada nos dados topográficos antes dos dados fotovoltaicos serem obtidos de acordo com uma concretização. Em outras palavras, é mantida uma distância predeterminada entre o dispositivo sensor de varredura 14 e a amostra 18 com base nos dados topográficos quando a primeira fonte emissora de luz 40 e a  
5 segunda fonte emissora de luz 42 permitem a detecção de uma diferença fotovoltaica entre o dispositivo sensor de varredura 14 e a amostra 18. Consequentemente, pode ser detectada uma diferença fotovoltaica no espaço entre o dispositivo sensor de varredura 14 e a amostra 18. Considera-se que a topografia de superfície de cada linha de superfície da amostra 18 é obtida antes  
10 da obtenção dos dados fotovoltaicos.

Considera-se que uma tela de vídeo (não representada) mostra a topografia de superfície de cada linha de superfície da amostra 18 e, em consequência, a imagem topográfica da amostra 18 em tempo real. Considera-se ainda que a tela de vídeo mostra os dados fotovoltaicos com a diferença  
15 fotovoltaica medida entre o dispositivo sensor de varredura 14 e a amostra 18.

De acordo com uma concretização da presente invenção, é fornecido um exemplo de método para detectar estresse mecânico num dispositivo integrado e acha-se ilustrado na Figura 3. Neste exemplo de método a operação se inicia no bloco 100. Em seguida, permite a detecção de uma  
20 diferença fotovoltaica entre um dispositivo sensor de varredura e uma parte da superfície de um dispositivo integrado, em que o dispositivo sensor de varredura está configurado para deflexão com base na diferença fotovoltaica no bloco 102. De acordo com um exemplo de concretização da invenção, a detecção da diferença fotovoltaica é propiciada por uma primeira fonte emissora de luz e uma  
25 segunda fonte emissora de luz de forma que cada fonte é elevada em ângulos  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  respectivamente com relação ao dispositivo integrado e estão ambas posicionadas a um ângulo  $\theta_3$  uma em relação a outra de acordo com um exemplo não restritivo de concretização. Em seguida, mede a deflexão do dispositivo sensor de varredura em resposta à diferença fotovoltaica entre o dispositivo  
30 sensor de varredura e a parte da superfície do dispositivo integrado no bloco 104. A diferença fotovoltaica é medida por um dispositivo sensor de montagem de acordo com um exemplo de concretização. No bloco 106, calcula um nível de

estresse local dentro do dispositivo integrado mediante a determinação de uma função de trabalho local da parte da superfície do dispositivo integrado baseada na deflexão do dispositivo sensor de varredura. De acordo com um exemplo de concretização, as operações nos blocos 102-106 são executadas em várias partes ao longo de cada linha de superfície do dispositivo integrado.

Os diagramas de fluxo retratados neste trabalho são apenas exemplificativos. Pode haver muitas variações desses diagramas ou das etapas (ou operações) descritas sem fugir do espírito da invenção. Por exemplo, as etapas podem ser executadas em ordem diversa, ou etapas podem ser adicionadas, excluídas ou modificadas. Todas essas variações são consideradas como parte da invenção reivindicada.

Embora a concretização preferencial da invenção tenha sido descrita, fica entendido que os especialistas na matéria, quer atualmente quer no futuro, podem fazer vários aperfeiçoamentos e melhorias que incidam no escopo das reivindicações a seguir. Essas reivindicações devem ser interpretadas de forma a manter a proteção adequada à invenção primeiramente descrita.

## REIVINDICAÇÕES

### 1. **MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, caracterizado pelas etapas de:

- permitir a detecção de uma diferença fotovoltaica entre um dispositivo sensor de varredura (14) e uma parte de superfície (30) de um dispositivo integrado (18), sendo o dispositivo sensor de varredura (14) configurado para mover em resposta à diferença fotovoltaica;
- irradiar o dispositivo integrado (18) com luz a uma frequência de ressonância que faça com que o dispositivo sensor de varredura (14) se mova em resposta a dita luz;
- medir o movimento do dispositivo sensor de varredura (14) em resposta à diferença fotovoltaica entre o dispositivo sensor de varredura (14) e a parte da superfície (30) do dispositivo integrado (18); e
- calcular um nível de estresse local dentro do dispositivo integrado (18) mediante a determinação de uma função de trabalho local da parte da superfície (30) do dispositivo integrado (18) com base no movimento do dispositivo sensor de varredura (14).

2. **MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a irradiação com um primeiro sinal de laser (44) e um segundo sinal de laser (46) no dispositivo integrado (18) permitir a detecção da diferença fotovoltaica.

3. **MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 2,

caracterizado por o primeiro sinal de laser (44) e o segundo sinal de laser (46) serem modulados de forma alternada.

**4. MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por o primeiro sinal de laser (44) estar posicionado num primeiro ângulo de incidência com relação à parte da superfície (30) do dispositivo integrado (18) e o segundo sinal de laser (46) estar posicionado num segundo ângulo de incidência em relação à parte da superfície (30) do dispositivo integrado (18).

**5. MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por o primeiro ângulo de incidência e o segundo ângulo de incidência serem iguais ou diferentes entre si.

**6. MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por o primeiro ângulo de incidência e o segundo ângulo de incidência estarem aproximadamente a um ângulo de Brewster em relação à parte da superfície (30) do dispositivo integrado (18).

**7. MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por o primeiro sinal de laser (44) possuir um terceiro ângulo de incidência com relação ao segundo sinal de laser (46).

**8. MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o nível de estresse local dentro do dispositivo integrado (18) ser medido aproximadamente numa escala de 100-nanômetros.

**9. MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, onde o método de detecção de estresse mecânico em dispositivos integrados é caracterizado pelas etapas de:

- irradiação com um primeiro sinal de laser (44) e um segundo sinal de laser (46) numa parte da superfície (30) de um dispositivo integrado (18), permitindo a detecção de uma diferença fotovoltaica entre um dispositivo sensor de varredura (14) e a parte da superfície (30) do dispositivo integrado (18), ficando o dispositivo sensor de varredura (14) suspenso sobre o dispositivo integrado (18);
- irradiação do dispositivo integrado (18) com luz a uma frequência de ressonância que faça com que o dispositivo sensor de varredura (14) se mova em resposta a dita luz;
- medição do movimento do dispositivo sensor de varredura (14) em resposta à diferença fotovoltaica; e
- cálculo do nível local de estresse dentro do dispositivo integrado (18) na parte da superfície (30) pela determinação de uma função local de trabalho da porção da superfície (30) do dispositivo integrado (18) com base na deflexão do dispositivo sensor de varredura (14).

**10. MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por o nível de estresse local originar-se da medição do movimento do dispositivo sensor de varredura (14)\_em resposta à diferença fotovoltaica.

**11. MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por o primeiro sinal de laser (44) estar posicionado num primeiro

ângulo de incidência em relação à parte da superfície (30) do dispositivo integrado (18) e o segundo sinal de laser (46) estar posicionado num segundo ângulo de incidência em relação à parte da superfície (30) do dispositivo integrado (18).

**12. MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado por o primeiro ângulo de incidência ser aproximadamente um ângulo de Brewster.

**13. MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por o primeiro sinal de laser (44) possuir um terceiro ângulo de incidência em relação ao segundo sinal de laser (46).

**14. MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por o primeiro sinal de laser (44) se acoplar localmente a um primeiro vetor de onda na parte da superfície (30) do dispositivo integrado (18) e o segundo sinal de laser (46) se acoplar localmente a um segundo vetor de onda na parte da superfície (30) do dispositivo integrado (18) detectando funções de trabalho diversas na parte da superfície (30) do dispositivo integrado (18).

**15. MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por a diferença fotovoltaica ser detectada pela varredura de uma ponta (56) do dispositivo sensor de varredura (14), sendo aplicado um estímulo elétrico de tempo variável a essa ponta (56), com uma frequência igual ou próxima da frequência ressonante mecânica do dispositivo sensor de varredura (14).

**16. MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por compreender ainda a aplicação de uma voltagem de polarização entre o dispositivo integrado (18) e o dispositivo sensor de varredura (14) baseado na diferença fotovoltaica para anular ativamente a deflexão do dispositivo sensor de varredura (14).

**17. MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por compreender ainda a obtenção de uma imagem topográfica da parte da superfície (30) do dispositivo integrado (18); e a manutenção de uma distância de separação constante entre o dispositivo sensor de varredura (14) e o dispositivo integrado (18) com base na imagem topográfica quando a parte da superfície (30) do dispositivo integrado (18) estiver sendo irradiada com o primeiro sinal de laser (44) e o segundo sinal de laser (46).

**18. APARELHO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, caracterizado por compreender:

- um dispositivo integrado (18) possuindo uma parte da superfície (30) com uma função de trabalho local;
- um dispositivo sensor de varredura (14) suspenso sobre o dispositivo integrado (18);
- um controlador ótico (20) configurado para permitir a detecção de diferença fotovoltaica entre o dispositivo integrado (18) e o dispositivo sensor de varredura (14), sendo o dispositivo sensor de varredura (14) configurado para se mover em resposta à diferença fotovoltaica e a irradiação do dispositivo integrado (18) com luz a uma frequência ressonante fazer com que o dispositivo sensor de varredura (14) se mova em resposta a dita luz ;

- um dispositivo sensor detector de varredura (12) configurado para medir os movimentos do dispositivo sensor de varredura (14) em resposta à diferença fotovoltaica; e
- uma unidade de processamento (22) em comunicação via sinal com o dispositivo sensor de varredura (14), sendo a unidade de processamento (22) configurada para calcular um nível de estresse local dentro do dispositivo integrado (18) mediante a determinação da função local de trabalho da parte da superfície (30) do dispositivo integrado (18) com base no movimento do dispositivo sensor de varredura (14).

**19. APARELHO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado por o dispositivo sensor de varredura (14) incluir um cantiléver (52) com uma ponta fina (56), sendo a ponta fina configurada para oscilar a uma frequência ressonante, e o dispositivo sensor de varredura (14) configurado para mover-se num ao longo de um plano direcional-z.

**20. APARELHO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado por o controlador ótico (20) incluir uma primeira fonte emissora de luz (40) e uma segunda fonte emissora de luz (42).

**21. APARELHO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 20, caracterizado por a primeira fonte emissora de luz (40) ficar posicionada num primeiro ângulo de incidência em relação à parte da superfície (30) do dispositivo integrado (18) e a segunda fonte emissora de luz (42) ficar posicionada num segundo ângulo de incidência em relação à parte da superfície (30) do dispositivo integrado (18).

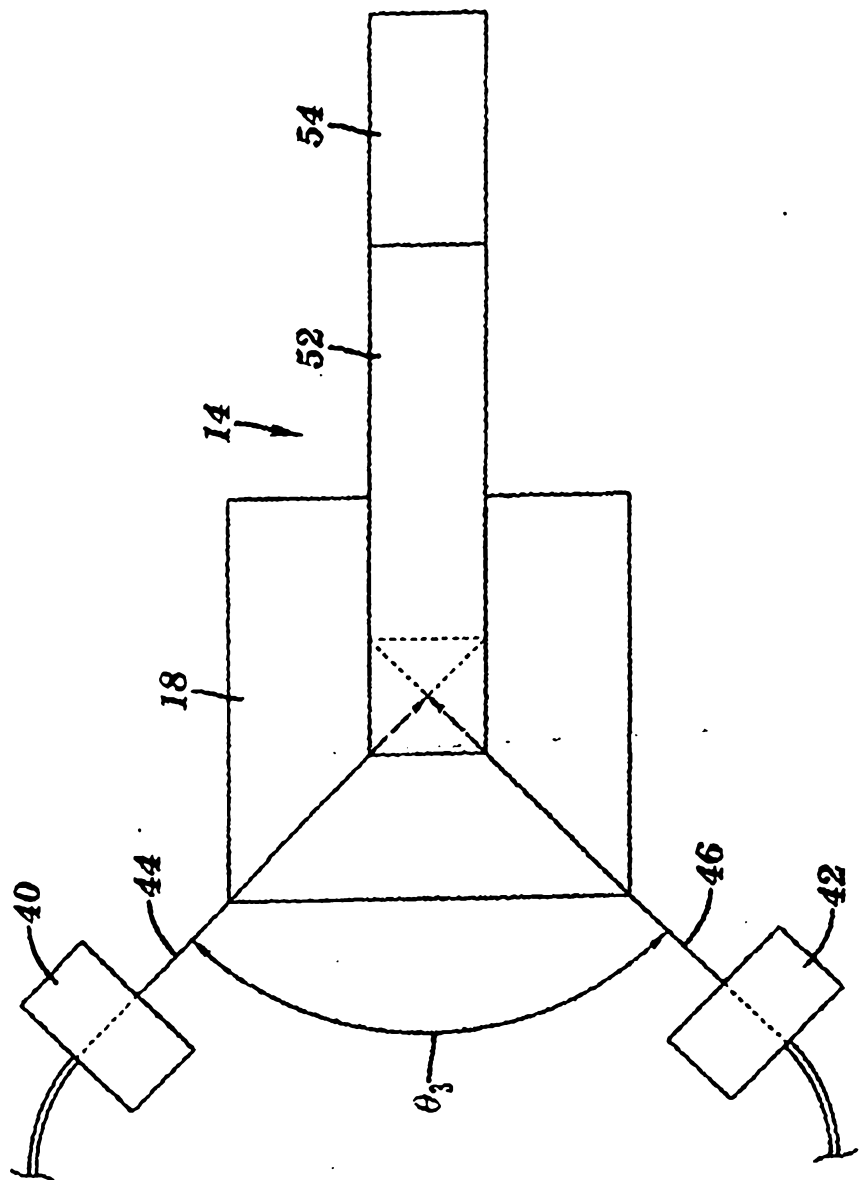
**22. APARELHO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado por o primeiro ângulo de incidência e o segundo ângulo de incidência ficarem aproximadamente a um ângulo Brewster.

**23. APARELHO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 20, caracterizado por a primeira fonte emissora de luz (40) possuir um terceiro ângulo de incidência com relação à segunda fonte emissora de luz (42).

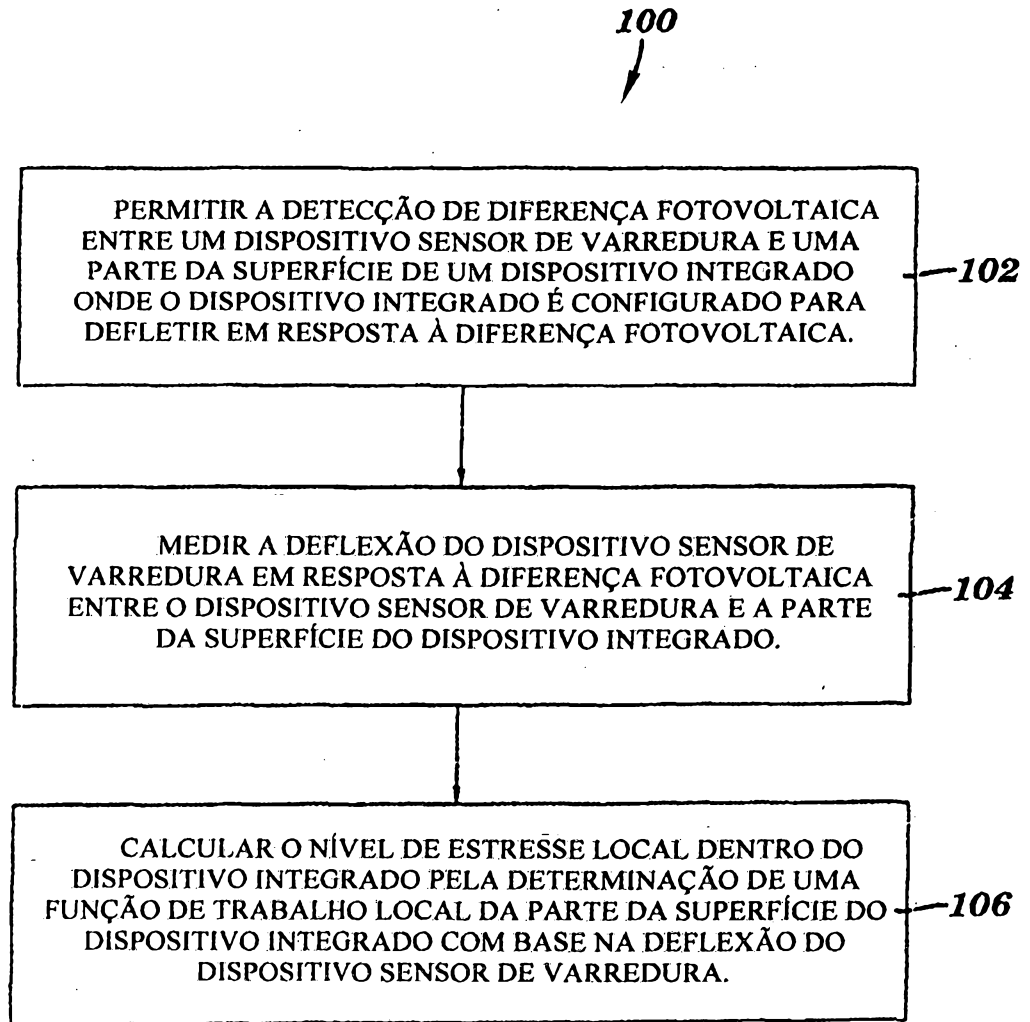
**24. APARELHO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado por compreender ainda uma fonte de energia (26) configurada para aplicação de uma voltagem de polarização entre o dispositivo integrado (18) e o dispositivo sensor de varredura (14) com base na diferença fotovoltaica.

**25. APARELHO PARA DETECÇÃO DE ESTRESSE MECÂNICO LOCAL EM DISPOSITIVOS INTEGRADOS**, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado por compreender ainda um controlador de sensor (24) configurado para ajustar a altura do dispositivo sensor de varredura (14).





**FIG. 2**

**FIG. 3**