

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: 2007.01.31	(73) Titular(es): UNIVERSITE PAUL CEZANNE AIX-MARSEILLE III 3, AVENUE ROBERT SCHUMAN 13628 AIX EN PROVENCE CEDEX 1 FR
(30) Prioridade(s): 2006.02.03 FR 0650388	
(43) Data de publicação do pedido: 2008.10.22	
(45) Data e BPI da concessão: 2010.07.07 199/2010	(72) Inventor(es): OLIVIER PALAIS FR MARCEL PASQUINELLI FR
	(74) Mandatário: PEDRO DA SILVA ALVES MOREIRA RUA DO PATROCÍNIO, N.º 94 1399-019 LISBOA PT

(54) Epígrafe: **FONTE LUMINOSA ESTENDIDA E MODULÁVEL ELECTRICAMENTE, DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO PARA CARACTERIZAR UM SEMICONDUTOR COMPREENDENDO UMA FONTE DESTE TIPO**

(57) Resumo:

RESUMO

"FONTE LUMINOSA ESTENDIDA E MODULÁVEL ELECTRICAMENTE, DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO PARA CARACTERIZAR UM SEMICONDUTOR COMPREENDENDO UMA FONTE DESTE TIPO"

A invenção refere-se a uma fonte luminosa destinada a injectar portadores em excesso numa pastilha semicondutora ao iluminar uma superfície da pastilha (4). De acordo com a invenção, a fonte (1) inclui, pelo menos, um conjunto de fontes (2) pontuais espaçadas a intervalos regulares na direcção X e na direcção Y, de modo a que a fonte emita um feixe monocromático cuja dimensão é, pelo menos, igual à da superfície a iluminar da pastilha semicondutora. Cada uma das fontes (2) pontuais é modulada de modo sinusoidal por um modulador (3) eléctrico comum, sendo a distância (d) entre duas fontes pontuais e a distância (D) entre a fonte (1) e a superfície (4) a iluminar da pastilha semicondutora escolhidas de modo a que o referido feixe luminoso monocromático ilumine uniformemente a referida superfície.

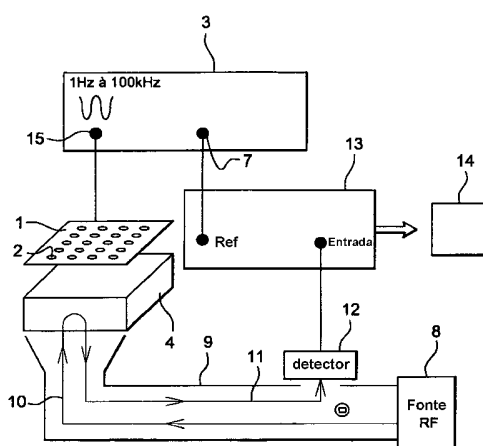


Fig. 4

DESCRIÇÃO

"FONTE LUMINOSA ESTENDIDA E MODULÁVEL ELECTRICAMENTE, DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO PARA CARACTERIZAR UM SEMICONDUTOR COMPREENDENDO UMA FONTE DESTE TIPO"

A presente invenção refere-se a uma fonte luminosa estendida e modulável electricamente destinada a injectar portadores em excesso numa pastilha semicondutora iluminando-a. Em particular, esta fonte, associando-se a um dispositivo de medição, permite caracterizar propriedades eléctricas desta pastilha semicondutora, tal como a duração de vida volúmica e a velocidade de recombinação superficial dos portadores minoritários de uma pastilha semicondutora. A invenção aplica-se, mais particularmente, ao domínio da indústria fotovoltaica e da microelectrónica.

Os novos componentes electrónicos e a futura produção dos dispositivos no âmbito da tecnologia microelectrónica e, em particular, no domínio da Integração a Grande Escala dos circuitos integrados, exigem materiais de partida dos níveis com uma pureza cada vez maior, passando-se o mesmo com as células fotovoltaicas. Os metais são os principais responsáveis pela contaminação das fracções de silício. A presença destes metais diminui os desempenhos, a fiabilidade e a proporção dos dispositivos, nomeadamente, o número de "bons" dispositivos de uma pastilha de silício dividido pelo número total de dispositivos dessa mesma pastilha. Por exemplo, nos transístores, os metais alcalinos introduzem uma carga móvel na

fina camada de óxido que, então, neutraliza as propriedades de isolamento dos óxidos. Do mesmo modo, os metais de transição agem como armadilhas de electrões. Assim, uma concentração de impurezas superior a 10^{10} cm^{-3} , pode tornar uma pastilha de silício totalmente inutilizável para o fabrico de determinados dispositivos.

Assim, a contaminação constitui uma ameaça, relativamente dispendiosa, para a indústria da microelectrónica e é, por conseguinte, essencial medir e controlar esta contaminação, durante o processo de fabrico dos circuitos integrados.

Por outro lado, se para a indústria fotovoltaica a ameaça é considerada menos crítica, as contaminações metálicas podem degradar o rendimento de conversão das células e podem, então, exercer um impacto evidente no preço de venda do produto final.

As técnicas físico-químicas, tradicionalmente utilizadas, para medir a contaminação, não são aplicáveis a um controlo em linha. Era necessário extrair da pastilha as soluções aquosas das contaminações metálicas e medi-las, em seguida, de acordo com métodos espectroscópicos. Estas técnicas são demasiado demoradas, demasiado dispendiosas e destrutivas, por conseguinte, não aplicáveis para uma utilização em linha.

Propõem-se técnicas baseadas na medida dos efeitos eléctricos da contaminação, em vez da concentração das impurezas, tais como a técnica de decaimento da fotocondutividade em hiperfrequência (micro-PCD). Estas técnicas consistem em medir a duração τ_p de vida dos portadores minoritários na pastilha semicondutora, sendo a duração de vida dos portadores minoritários um parâmetro ligado à concentração

de impurezas.

Contudo, a medida deste parâmetro τ_b está ligada à velocidade S de recombinação superficial e não é fácil extrair directamente o seu valor. As técnicas alternativas propostas medem, geralmente, uma duração τ_{eff} de vida efectiva que está ligada, ao mesmo tempo, à τ_b e S . De modo a poder extrair τ_b , é necessário, por conseguinte, determinar de forma muito precisa o valor de S e tornar a velocidade S de recombinação negligenciável em relação a τ_b . De um modo geral, a solução proposta consiste numa etapa suplementar de passivação da superfície das fracções de silício antes da etapa de medição. Contudo, esta etapa de passivação de superfície não está muito adaptada para ser implementada numa linha de produção, porque corre o risco, por um lado, de danificar a pastilha e, por outro lado, de induzir um atraso suplementar no processo de medição e controlo de qualidade da pastilha, provocando, por conseguinte, um custo de produção adicional.

O documento de O.Palais, A. Arcari, "Contactless measurement of bulk lifetime and surface recombination velocity in silicon wafers", Journals of Applied Physics, A. Arcari, "Contractless measurement of bulk lifetime and surface recombination velocity in Silicon wafers" Jornal of Applied Physics, vol. 93, N° 8, 15 de Abril de 2003; pp.4686-4690 descreve outra técnica alternativa de medição baseada na medição do desfasamento de microondas entre o sinal de modulação de uma fonte excitadora luminosa e as microondas reflectidas por uma pastilha semicondutora, assim iluminada pela fonte excitadora luminosa. Contrariamente às técnicas previamente citadas, esta técnica permite aceder independentemente à duração τ_b de vida volúmica dos portadores minoritários e às velocidades S de

recombinações superficiais na pastilha semicondutora sem ter que proceder a uma passivação das superfícies da pastilha.

O dispositivo compreende duas fontes. A primeira fonte é uma fonte fotónica excitadora laser, emitida no infravermelho próximo modulada com uma baixa frequência f . Esta fonte, ao emitir um feixe luminoso monocromático com um diâmetro compreendido entre 25 e 50 μm , ilumina localmente uma das duas faces da pastilha semicondutora e cria, assim, na amostra, uma determinada população de portadores em excesso. A segunda fonte é uma fonte sonda de microondas que emite um campo de microondas a 10 GHz. Esta segunda fonte de microondas irradia a mesma amostra ao mesmo tempo que a primeira fonte, mas pela face não iluminada pela primeira fonte. As propriedades das microondas reflectidas dependem da densidade ou população de portadores induzida pela primeira fonte laser e, medindo o desfasamento $\Delta\phi$ das microondas da reflexão em função da frequência f de modulação, pode-se determinar as propriedades eléctricas da pastilha que são a duração τ_b de vida volúmica e a velocidade S de recombinação superficial dos portadores minoritários.

Contudo, este dispositivo permite, sobretudo, estabelecer uma cartografia de duração de vida volúmica da pastilha. Com efeito, o dispositivo de medição associado a esta técnica de medição compreende uma pequena fonte modulada de modo sinusoidal em torno de um nível de iluminação constante. Este dispositivo permite apenas medir localmente a duração de vida dos portadores da pastilha, sendo necessário, por conseguinte, repetir as medições para poder varrer toda a superfície da placa deslocando a fonte excitadora fotónica, zona por zona, de modo a estabelecer uma cartografia (S, τ_b) da pastilha. Este dispositivo necessita, por conseguinte, de um tempo de medição,

relativamente longo, para obter os dados de duração de vida dos portadores para toda a pastilha, necessitando a duração de estabelecimento das cartografias, de um modo geral, várias horas. Consequentemente, esta fonte torna a técnica de medição e o dispositivo associado inadequados para as medições de duração de vida volumica e controlo de contaminação de impurezas em linha.

Ora, na indústria da microelectrónica e fotovoltaica, é imperativo ter uma técnica de medição simples, que possa efectuar a medição rapidamente e adaptar-se à dimensão da pastilha semicondutora.

O objecto da invenção é propor uma fonte luminosa simples, em termos de concepção e no seu modo operacional permitindo medições globais sobre uma amostra, nomeadamente, esta fonte associada a um dispositivo de medição permite determinar em linha, rápida e eficazmente, uma duração τ_b de vida volumica e as velocidades S de recombinação superficiais dos portadores minoritários de uma pastilha semicondutora durante o processo de fabrico de circuitos integrados e de células fotovoltaicas, o que permite, entre outras coisas, de destacar uma eventual contaminação metálica por meio da medição da duração de vida dos portadores minoritários.

Em particular, esta fonte deve adaptar-se a qualquer tipo de material da pastilha semicondutora e deve iluminar, de forma homogénea, toda a superfície da pastilha, independentemente da sua dimensão, permitindo, assim, efectuar medições globais e obter, numa só medição, um valor médio da duração de vida volumica e da velocidade recombinação dos portadores minoritários.

Para esse efeito, a invenção refere-se a uma fonte luminosa destinada a injectar portadores em excesso numa pastilha semicondutora ao iluminar totalmente uma superfície desta pastilha semicondutora.

De acordo com a invenção, esta fonte compreende, pelo menos, um conjunto de fontes pontuais espaçadas a intervalos regulares na direcção X e na direcção Y, de modo a que esta fonte emita um feixe monocromático cuja dimensão é, pelo menos, igual à da superfície a iluminar da referida pastilha semicondutora, sendo cada uma destas fontes pontuais modulada de modo sinusoidal por um modulador eléctrico comum, sendo a distância (d) entre duas fonte pontuais e a distância (D) entre a fonte e a superfície a iluminar da pastilha escolhidas de modo a que o feixe luminoso monocromático ilumine uniformemente a superfície a iluminar da pastilha.

Em diferentes formas de realização possíveis, a presente invenção refere-se, igualmente, às características que surgirão durante a descrição que se vai seguir e que deverão ser consideradas separadamente ou de acordo com todas as suas combinações técnicas possíveis:

- o modulador eléctrico modula as fontes numa gama de frequência compreendida entre 1 Hz e 100 kHz,
- numa forma de realização particular, cada fonte pontual é um díodo laser de fibras ópticas,
- numa outra forma de realização particular, cada fonte pontual é um díodo electroluminescente,

- a distância (d) de intervalo entre dois díodos está compreendida, de um modo preferido, entre 0 cm e 1,5 cm,
- um filtro neutro de difusão é colocado, de um modo preferido, entre a fonte e a face a iluminar do objecto para tornar o feixe luminoso emitido pela fonte mais uniforme.

A invenção refere-se, igualmente, a um dispositivo compreendendo esta fonte luminosa para a medição da duração de vida volúmica e da velocidade de recombinação superficial dos portadores minoritários de uma pastilha semicondutora, compreendendo ainda este dispositivo, por conseguinte:

- o modulador eléctrico compreendendo uma saída para alimentar a fonte luminosa e uma saída de sinal de referência de frequência idêntica à frequência f de modulação da fonte luminosa,
- uma fonte sonda, para criar um campo de ondas, irradiando as ondas emitidas a face não iluminada da referida pastilha semicondutora,
- um guia de onda ou uma antena que permita encaminhar as ondas emitidas sobre a face não iluminada da referida pastilha semicondutora e as ondas reflectidas para um detector de microondas, estando o referido guia de onda ou a referida antena, associados ao referido detector de microondas destinados a recolher o sinal produzido pelas ondas reflectidas, pela referida pastilha semicondutora assim excitada pela referida fonte luminosa,
- uma unidade de controlo recebendo o sinal de referência

proveniente de uma das duas saídas do modulador eléctrico e o sinal de ondas reflectidas à saída do detector, sendo o sinal de ondas reflectidas medido à frequência f do sinal de referência,

- uma unidade de processamento dos sinais recebendo a medição do desfasamento $\Delta\phi$ das ondas reflectidas da unidade de controlo para extrair dois parâmetros da pastilha semicondutora que são a duração τ_b de vida dos portadores minoritários e a velocidade S de recombinação superficial.

Em diferentes formas de realização possíveis, a invenção será descrita de modo mais pormenorizado, recorrendo aos desenhos anexos nos quais:

- a figura 1.A representa, esquematicamente, uma vista frontal de uma fonte luminosa da invenção compreendendo um conjunto de fontes pontuais dispostas a intervalos regulares e a figura 1.B é uma vista de perfil de uma linha de fontes pontuais da figura 2;
- a figura 2 é uma vista de perfil da fonte luminosa em configuração de iluminação directa sobre uma pastilha semicondutora;
- a figura 3 é uma vista de perfil da fonte luminosa em configuração de iluminação indirecta sobre uma pastilha semicondutora, estando a fonte disposta 90° em relação à pastilha semicondutora,
- a figura 4 representa, esquematicamente, um dispositivo de medição compreendendo uma fonte luminoso da invenção para

determinar a duração de vida volúmica e a velocidade de recombinação superficial dos portadores minoritários de uma pastilha semicondutora.

A invenção refere-se a uma fonte luminosa destinada a injectar portadores em excesso numa pastilha semicondutora pela iluminação de uma superfície desta pastilha semicondutora de um modo contínuo e modulado. A figura 1.A representa uma vista em planta de um exemplo desta fonte luminosa que tem uma geometria rectangular. A forma da fonte pode ser, igualmente, circular ou oval.

A fonte luminosa compreende um conjunto de fontes 2 pontuais espaçadas a intervalos regulares na direcção X e na direcção Y, formando, assim, uma rede de fontes pontuais. Cada fonte pontual emite um feixe monocromático e com o mesmo comprimento de onda, de modo a que a fonte global emita um feixe monocromático. A dimensão do feixe emitido pela fonte 1 é, pelo menos, igual à da superfície a iluminar da pastilha semicondutora.

De um modo vantajoso, a distância (d) entre duas fontes pontuais e a distância (D) entre a fonte e a superfície a iluminar da pastilha semicondutora são escolhidas, de modo a que o feixe luminoso monocromático ilumine uniformemente toda a superfície a iluminar da pastilha semicondutora.

Esta iluminação uniforme sobre toda a superfície de uma pastilha semicondutora permite modificar a população de portadores em toda a pastilha semicondutora.

A dimensão da fonte varia em função do número de fontes pontuais constituintes, proporcionando, assim, de um modo vantajoso, uma flexibilidade para adaptar facilmente a dimensão do feixe luminoso emitido pela fonte em função da dimensão da pastilha semicondutora a irradiar.

De um modo preferido, para uma medição de toda a pastilha semicondutora, a dimensão do painel de iluminação é, pelo menos, igual à dimensão da pastilha semicondutora.

Todas as fontes 2 pontuais, são alimentadas por um modulador eléctrico comum e cada uma destas fontes pontuais é modulada de modo sinusoidal por um modulador eléctrico comum com uma frequência f .

De um modo preferido, este modulador eléctrico trabalha numa gama de frequência f compreendida entre 1 Hz e 100 kHz.

De um modo vantajoso, o comprimento de onda do feixe emitido pela fonte luminosa é passível de alteração em função do material da pastilha semicondutora a estudar, substituindo o conjunto das fontes pontuais por outras fontes pontuais tendo um comprimento de onda adequado.

Numa forma de realização particular da invenção, a fonte luminosa pode compreender vários conjuntos de fontes pontuais emitindo, cada um, um feixe monocromático de comprimento de onda diferente. Assim, para fazer variar o comprimento de onda da fonte luminosa, basta escolher um dos conjuntos de fontes pontuais emitindo o feixe luminoso de comprimento de onda adaptado.

Numa forma de realização, a fonte 2 pontual é um díodo laser de fibras ópticas e a fonte luminosa compreende um conjunto de díodos lasers de fibras ópticas. De um modo preferido, uma lente de focagem é colocada à saída de cada díodo laser de fibras ópticas.

Numa outra forma de realização, cada fonte pontual é um díodo electroluminescente e a fonte luminosa compreende um conjunto de díodos electroluminescentes.

Para obter um feixe luminoso uniforme sobre toda a superfície da pastilha semicondutora, é necessário generalizar uma configuração óptima de disposição destas fontes pontuais, independentemente do tipo de fonte pontual utilizada.

De um modo preferido, a distância (d) de intervalo entre dois díodos está compreendida entre 0 cm e 1,5 cm de forma a não ter zonas de sombras marcadas, nem de zonas sobreexpostas devido a sobreposição entre dois pequenos feixes. A distância (D) entre a fonte luminosa e a superfície a iluminar da pastilha semicondutora depende do tipo de fonte utilizada.

De um modo vantajoso, esta configuração de disposição das fontes pontuais pode ser generalizada independentemente do ângulo α de emissão dos díodos electroluminescentes e independentemente da distância de focagem das lentes colocadas à saída da fibra óptica se as fontes pontuais forem díodos lasers de fibras ópticas.

A figura 1.B representa, esquematicamente, um exemplo de configuração, no qual as fontes pontuais são díodos electroluminescentes tendo um ângulo de emissão médio igual a

30°. A distância entre dois díodos designada por (d) na figura 1.B é igual a 1 cm, neste caso, uma distância entre a fonte luminosa e a superfície a iluminar da pastilha semicondutora designada por (D) na figura 1.B é igual a 5 cm para obter uma iluminação uniforme sobre toda a superfície da pastilha semicondutora.

A figura 2 representa uma primeira configuração de iluminação onde a fonte luminosa é colocada acima da superfície a iluminar da pastilha semicondutora.

Numa outra configuração de iluminação representada esquematicamente na figura 3, a superfície da pastilha semicondutora é iluminada indirectamente pela fonte que está colocada a 90° em relação à superfície a iluminar da pastilha 4 semicondutora. O feixe luminoso da fonte é, depois, reenviado através de um espelho 5 de reflexão colocado a 45° entre a fonte luminosa e a pastilha semicondutora.

De um modo preferido, um filtro 6 neutro de difusão é colocado entre a fonte e a pastilha semicondutora para uniformizar, ainda mais, o feixe luminoso emitido pela fonte 1 luminosa.

A figura 4 descreve um dispositivo de medição compreendendo uma fonte 4 luminosa descrita acima para o estudo de materiais semicondutores, estando este dispositivo destinado a medir a duração de vida volúmica e a velocidade de recombinação superficial dos portadores minoritários numa pastilha 4 semicondutora. Este dispositivo de medição é baseado na técnica do desfasamento das ondas reflectidas pela face não iluminada da pastilha. A fonte luminosa ilumina, de modo contínuo e modulado,

toda a superfície da pastilha semicondutora, para lhe injectar portadores livres, sendo o nível de injeção quase constante durante a iluminação da superfície da pastilha semicondutora. Assim, esta fonte cria, em toda a pastilha, uma população de portadores em excesso.

O dispositivo compreende um modulador 3 eléctrico que alimenta a fonte luminosa por meio de uma primeira saída 15 e envia, por meio de outra saída 7, simultaneamente, um sinal de referência para uma unidade 13 de controlo para lhe transmitir a referência de fase e a frequência f da modulação da fonte luminosa.

O dispositivo compreende ainda uma segunda fonte 8 sonda de ondas que submete a pastilha semicondutora a um campo de ondas pela face não iluminada pela fonte excitadora fotónica.

De um modo geral, a fonte de ondas é uma fonte de microondas e utiliza-se um díodo de efeito Gunn que trabalha em banda X como fonte de microondas.

De um modo preferido, a fonte de microonda emite um campo de microondas a uma frequência de 10 GHz, irradiando, assim, a face não iluminada da pastilha 4 semicondutora.

É possível utilizar, igualmente, uma fonte de ondas de radiofrequência, trabalhando num espectro de radiofrequência compreendido entre a banda VHF e a banda X.

O princípio da medição de desfasamento de microondas é o seguinte. Quando a pastilha 4 semicondutora é totalmente submetida à luz de excitação modulada de modo sinusoidal da

fonte, é criada uma variação global de densidade de portadores minoritários, induzindo uma variação sinusoidal do coeficiente de reflexão das microondas. Um guia de onda ou uma antena 9, permitem encaminhar as ondas 10 emitidas sobre a face não iluminada da pastilha semicondutora e as ondas 11 reflectidas para um detector 12 de microondas, estando este guia de onda ou esta antena associados ao detector destinados a recolher o sinal produzido pelas microondas reflectidas pela pastilha 4 semicondutora, assim excitada.

Ao medir um desfasamento $\Delta\phi$ entre o sinal de modulação da fonte luminosa e o sinal procedente do detector 12 das microondas reflectidas, pode-se extrair os valores de S e τ_b que traduzem as propriedades eléctricas da pastilha semicondutora.

De um modo geral, a unidade 13 de controlo é um medidor de fase.

No caso de um sinal ruidoso e/ou de fraca amplitude, a unidade 13 de controlo é um detector síncrono de modo a melhorar a relação sinal-ruído. Uma unidade 14 de processamento de sinais está ligada a esta unidade 13 de controlo para efectuar um processamento automático a partir dos dados enviados pela unidade de controlo para extrair os parâmetros S e τ_b .

Por outro lado, independentemente da forma de realização da fonte luminosa, para que a variação de densidade de portadores minoritários seja suficiente para induzir uma variação significativa do coeficiente de reflexão das microondas, a potência fornecida pela fonte luminosa deve permitir uma injeção de portadores livres, pelo menos, superior a 10^{-5} vezes a dopagem da pastilha semicondutora.

De um modo vantajoso, o conjunto dos diferentes elementos que constituem o dispositivo de medição representado na figura 4 é automatizado por um programa informático. E um programa de cálculo permite extrair automaticamente os parâmetros τ_b e S a partir dos pares medidos $(f, \Delta\phi)$.

De um modo vantajoso, a fonte luminosa da invenção permite efectuar medições globais destes parâmetros τ_b , S que são as propriedades eléctricas da pastilha semicondutora. Assim, esta fonte luminosa associada a um dispositivo de medição da duração τ_b de vida volúmica e da velocidade S de recombinação superficial dos portadores minoritários permite medir e controlar, rápida e eficazmente, a contaminação metálica e os defeitos cristalográficos da pastilha semicondutora durante as diferentes etapas do processo de fabrico dos circuitos integrados e das células fotovoltaicas.

Lisboa, 7 de Outubro de 2010

REIVINDICAÇÕES

1. Fonte luminosa destinada a injectar portadores em excesso numa pastilha semicondutora ao iluminar uma superfície da referida pastilha (4) semicondutora, estando a referida fonte associada a um dispositivo de medição para caracterizar a referida pastilha semicondutora, caracterizada por a referida fonte (1) compreender, pelo menos, um conjunto de fontes (2) pontuais espaçadas a intervalos regulares na direcção X e na direcção Y, de modo a que a referida fonte emita um feixe monocromático cuja dimensão é, pelo menos, igual à da superfície a iluminar da referida pastilha semicondutora, sendo cada uma das referidas fontes (2) pontuais modulada de modo sinusoidal por um modulador (3) eléctrico comum, sendo a distância (d) entre duas fontes pontuais e a distância (D) entre a referida fonte e a superfície a iluminar da referida pastilha semicondutora escolhidas de modo a que o referido feixe luminoso monocromático ilumine uniformemente a referida superfície a iluminar da referida pastilha semicondutora.
2. Fonte luminosa de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por o referido modulador (3) eléctrico modular cada uma das referidas fontes pontuais numa gama de frequência compreendida entre 1 Hz e 100 kHz.
3. Fonte luminosa de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizada por cada fonte pontual ser um díodo laser de fibras ópticas.

4. Fonte luminosa de acordo com a reivindicação 3, caracterizada por uma lente de focagem ser colocada à saída de cada díodo laser de fibras ópticas.
5. Fonte luminosa de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizada por cada fonte pontual ser um díodo electroluminescente.
6. Fonte luminosa de acordo com as reivindicações 1 a 5, caracterizada por a distância (d) de intervalo entre duas fontes pontuais estar compreendida entre 0 cm e 1,5 cm.
7. Fonte luminosa de acordo com as reivindicações 4 e 6, caracterizada por a distância de focagem das lenticilhas ser uma qualquer.
8. Fonte luminosa de acordo com as reivindicações 5 e 6, caracterizada por o ângulo α de emissão dos referidos díodos electroluminescentes ser qualquer um.
9. Fonte luminosa de acordo com uma qualquer das reivindicações 1 a 8, caracterizada por a referida fonte (1) ser colocada perante a superfície a iluminar da referida pastilha (4) semicondutora.
10. Fonte luminosa de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizada por a referida fonte (1) ser colocada a 90° , em relação à superfície a iluminar da referida pastilha (4) semicondutora, sendo o feixe luminoso emitido pela referida fonte (1) reenviado através de um espelho (5) de reflexão colocado a 45° entre a referida fonte (1) e a referida superfície a iluminar da

referida pastilha (4) semicondutora.

11. Fonte luminosa de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizada por um filtro (6) neutro de difusão ser colocado entre a referida fonte (1) e a referida superfície a iluminar da referida pastilha (4) semicondutora de modo a tornar o feixe luminoso emitido por a referida fonte mais uniforme.

12. Dispositivo de medição compreendendo uma fonte luminosa de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores para determinar a duração τ_b de vida volúmica e a velocidade S de recombinação de uma pastilha (4) semicondutora, caracterizado por o referido dispositivo compreender ainda:

- o referido modulador (3) eléctrico compreendendo uma saída (15) para alimentar a referida fonte luminosa e uma saída (7) de sinal de referência em fase e de frequência idêntica à frequência f de modulação da referida fonte luminosa,

- uma fonte (8) sonda para criar um campo de ondas, irradiando as ondas emitidas a face não iluminada da referida pastilha (4) semicondutora,

- um guia de onda ou uma antena (9) permitindo encaminhar as ondas (10) emitidas sobre a face não iluminada da referida pastilha semicondutora e as ondas (11) reflectidas para um detector (12) de ondas, estando o referido guia de onda ou a referida antena, associados ao referido detector de ondas destinados a recolher o sinal produzido pelas ondas reflectidas pela

referida pastilha (4) semicondutora assim excitada,

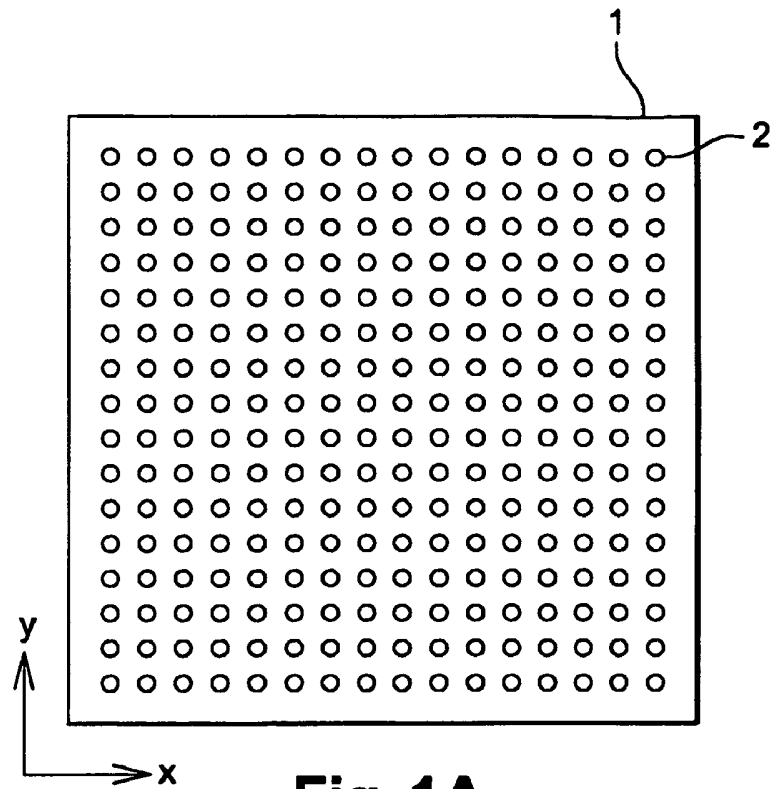
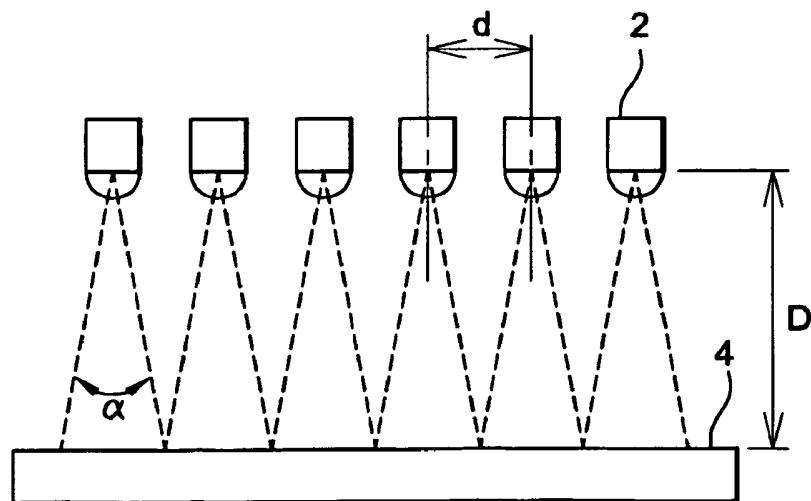
- uma unidade (13) de controlo recebendo o sinal de referência proveniente de uma das duas saídas do referido modulador eléctrico e o sinal onda reflectido à saída do referido detector (12), medindo, assim, um desfasamento $\Delta\phi$ entre a fonte luminosa e as ondas reflectidas,

- uma unidade (14) de processamento recebendo o desfasamento $\Delta\phi$ medido pela referida unidade (13) de controlo para extrair, pelo menos, dois parâmetros da referida pastilha (4) semicondutora que são a duração τ_b de vida dos portadores minoritários e a velocidade S de recombinação superficial.

13. Dispositivo de medição de acordo com a reivindicação 12, caracterizado por a referida fonte (1) luminosa emitir um feixe luminoso de uma potência suficiente que permite uma injeção de portadores livres, pelo menos, superior a 10^{-5} vezes a dopagem da referida pastilha (4) semicondutora.
14. Dispositivo de acordo com a reivindicação 12, caracterizado por a referida fonte sonda ser uma fonte de microondas, trabalhando em banda X, para criar um campo de microondas, irradiando as microondas emitidas, a face não iluminada da referida pastilha (4) semicondutora.
15. Dispositivo de acordo com a reivindicação 12, caracterizado por a referida fonte de onda sonda, ser uma fonte de radiofrequência, trabalhando num espectro de

radiofrequência compreendido entre a banda VHF e a banda X, irradiando as ondas emitidas a face não iluminada da referida pastilha (4) semicondutora.

Lisboa, 7 de Outubro de 2010

**Fig. 1A****Fig. 1B**

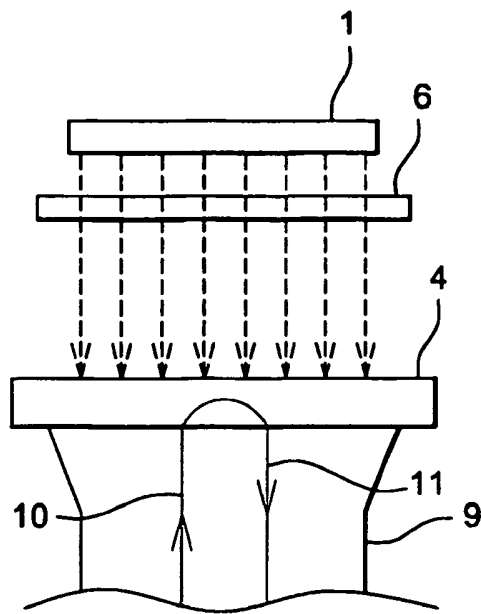


Fig. 2

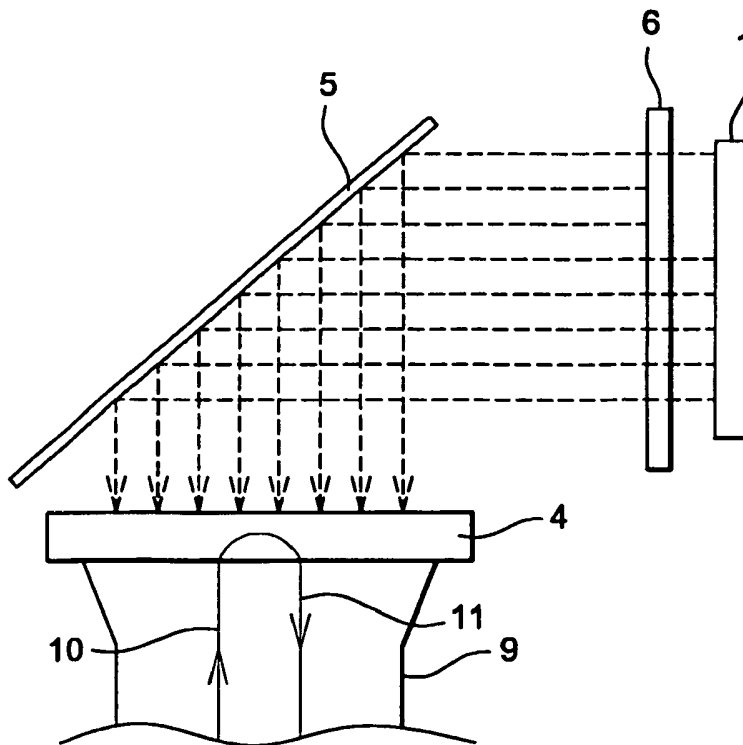


Fig. 3



Fig. 4