(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

PCT

(43) Date de la publication internationale
29 janvier 2009 (29.01.2009)

(10) Numéro de publication internationale
WO 2009/013419 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G06F 11/24 (2006.01) *G01R 31/308* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2008/051166

(22) Date de dépôt international : 26 juin 2008 (26.06.2008)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0756687 23 juillet 2007 (23.07.2007) FR

(71) Déposant *(pour tous les États désignés sauf US)* : **EUROPEAN AERONAUTIC DEFENCE AND SPACE COMPANY EADS FRANCE** [FR/FR]; 37, Boulevard de Montmorency, F-75016 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants *(pour US seulement)* : **BUARD, Nadine** [FR/FR]; 24 rue des Longs Réages, F-92190 Meudon (FR). **MILLER, Florent** [FR/FR]; 37 rue Tournefort, F-75005 Paris (FR). **BOUGEROL, Antonin** [FR/FR]; 73 Boulevard Henri Sellier, F-92150 Suresnes (FR). **HEINS, Patrick** [FR/FR]; Hameau de Saint Martin de Vère, F-81140 Castelnau de Montmiral (FR). **CARRIERE, Thierry** [FR/FR]; 1 rue des Réservoirs, F-78510 Triel sur Seine (FR).

(74) Mandataire : **SCHMIT, Christian**; Schmit - Chretien - Schihin, 8, place du Ponceau, F-95000 Cergy (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, GH,

[Suite sur la page suivante]

(54) **Title:** METHOD FOR TESTING A SOFTWARE APPLICATION

(54) **Titre :** PROCÉDÉ DE TEST D'UNE APPLICATION LOGICIELLE

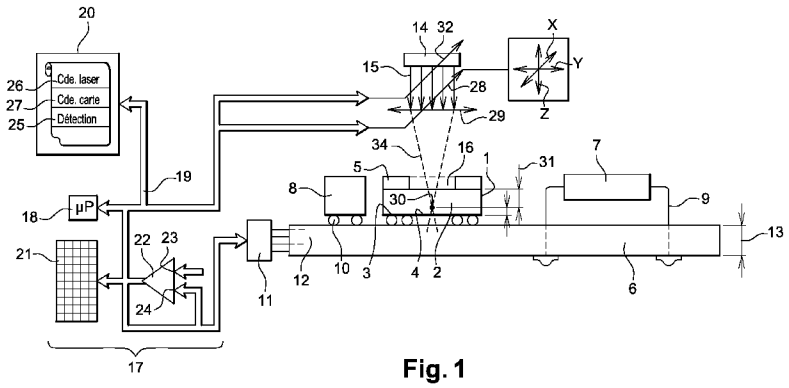


Fig. 1

26 Laser control
27 Board control

(57) **Abstract:** In order to test a software application, the method comprises submitting an electronic board (16) including a component (1) implementing an application to a laser radiation (15) generated in test equipment (17). The component is excited with laser pulses having very short durations distributed during complex operational phases of the component for running the application, and the reaction of the component and the application is observed.

[Suite sur la page suivante]

WO 2009/013419 A1

GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale*

— *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues*

(57) Abrégé : Pour tester une application logicielle, on soumet une carte électronique (16) portant un composant (1) mettant en œuvre une application à un rayonnement laser (15) produit par une installation (17) de test. On excite le composant avec des impulsions laser de très courtes durées réparties pendant des phases complexes de fonctionnement du composant pour réaliser l'application et on observe la réaction du composant et de l'application.

Procédé de test d'une application logicielle

La présente invention a pour objet un procédé de test d'une application logicielle. Elle est utilisable dans le domaine des cartes électroniques quelle que soit l'application mise en œuvre par de telles cartes. Les cartes électroniques visées sont principalement celles qui sont soumises à des interactions énergétiques externes. Par application logicielle on entend un traitement, numérique ou analogique, de données d'entrées pour produire des données de sorties. Les données d'entrées peuvent être des mesures provenant d'un organe de mesure ou des états électriques d'un tel organe, porté ou non par la carte. Les données de sorties sont soit des données de même type que les données d'entrées, mais corrigées ou transformées, soit des attributs de ces données, soit des commandes d'actionneurs pilotés par la carte électronique. Une carte électronique se distingue d'un composant électronique en ce sens qu'elle peut comporter un ensemble de composants électroniques servant à la logistique de maintien en service d'un composant principal porté par la carte. Une carte électronique comporte essentiellement un connecteur ou dispositif de connexion permettant à la carte d'être connectée à l'intérieur d'un appareil.

Le fonctionnement des composants électroniques, typiquement des circuits intégrés électroniques, peut être perturbé par l'environnement dans lequel ils évoluent, par exemple l'environnement radiatif naturel ou artificiel ou l'environnement électromagnétique. Des agressions extérieures provoquent la création de courants parasites par interaction avec la matière constitutive du composant. Ces courants peuvent être à l'origine du dysfonctionnement transitoire ou permanent du composant et de l'application qui l'utilise.

Pour l'environnement radiatif naturel, ces effets dénommés de façon générique effets singuliers sont créés par des particules. Par exemple, des ions lourds et protons dans l'espace, affectent les équipements électroniques des satellites et des lanceurs. A des altitudes moins élevées où évoluent des avions, on note surtout la présence de neutrons qui créent également des effets singuliers. Sur le sol terrestre, de telles agressions peuvent aussi être rencontrées et affecter les composants électroniques, qu'elles soient dues aux particules de l'environnement naturel, aux particules radioactives

présentes dans des boîtiers, à des problèmes d'immunité, d'intégrité de signal, d'instabilités thermiques et de procédé. Dans la suite du texte, les effets des particules seront plus particulièrement considérés, mais l'invention reste applicable aux mêmes types d'effets créés par des environnements divers et variés.

On distingue, de façon usuelle, différents types d'effets singuliers :

- les fautes transitoires: un courant transitoire créé par une ionisation provoque soit un courant transitoire qui se propage dans le circuit, soit un basculement d'un ou plusieurs états électriques (dans le cas d'une mémoire ou d'un registre). Dans ce dernier cas l'effet est qualifié de transitoire car, si le contenu de la mémoire ou du registre est réécrit, l'erreur disparaît;

- les fautes permanentes nécessitant une intervention non prévue dans le fonctionnement normal de l'application, par exemple une reconfiguration de la logique ou une intervention sur l'alimentation (arrêt puis remise en service). Suite à cette intervention, le composant est de nouveau fonctionnel;

- les effets destructifs conduisant à la mise hors service définitive du composant.

Toutes ces fautes produites dans le composant n'ont pas un effet immédiat ou retardé sur l'application car les différentes ressources du composant ne sont pas forcément utilisées ou sollicitées en même temps. Un problème se présente donc de savoir si une faute produite dans le composant a un effet néfaste sur une application logicielle menée avec ce composant monté sur une carte électronique ou si cette dernière est capable de s'en affranchir.

De plus l'architecture de l'équipement ou du système peut offrir une certaine protection. Les applications embarquées présentent donc une certaine tolérance aux fautes qu'il convient de quantifier. Cette quantification n'est pas accessible aujourd'hui.

Un certain nombre de méthodes et techniques au niveau matériel, système d'exploitation et logiciel d'application permettent de protéger une application embarquée vis-à-vis des fautes transitoires et permanentes. Elles sont appelées techniques de mitigation. L'invention porte plus spécifiquement sur une méthode permettant l'évaluation et la validation de la tolérance aux fautes des applications et des techniques de mitigation vis-à-

vis des effets transitoires et des effets permanents qui affectent les composants électroniques logiques et analogiques.

Un composant électronique peut être constitué, entre autres, d'une partie mémoire utilisateur, d'une partie mémoire nécessaire à sa configuration, de ressources logiques permettant d'effectuer les opérations, de ressources nécessaires à la communication entre les différents blocs logiques et de ressources nécessaires à la communication de ce composant avec son environnement.

Les applications basées sur des composants logiques ou analogiques présentent une certaine tolérance aux fautes, c'est-à-dire que certaines fautes créées au niveau silicium n'auront pas de conséquences visibles sur l'application. Par exemple dans le cas du changement d'état d'une cellule d'une mémoire, si cette cellule n'est pas utilisée par l'application avant d'être réécrite, il n'y aura pas d'erreur induite sur l'application. Il y a donc dans ce cas une différence importante entre le test d'un composant qui révélerait alors un dysfonctionnement et le test d'une application qui, dans les mêmes conditions, ne révélerait pas de dysfonctionnement.

De même dans la logique combinatoire (exemple au cœur d'un microprocesseur), un courant parasite peut se propager dans une suite de portes logiques, et s'atténuer puis disparaître sans jamais être mémorisé par un registre. Cependant, si toutes les applications présentent une certaine tolérance aux fautes, le problème du concepteur est de quantifier cette tolérance afin d'appliquer un juste niveau de mitigation.

De nombreuses méthodes de mitigation peuvent être mises en œuvre de manière à limiter, à empêcher, à détecter et/ou corriger les effets que peuvent avoir les fautes transitoires et les fautes permanentes sur l'application.

Il est ainsi connu des méthodes destinées à détecter et/ou corriger les fautes qui peuvent apparaître dans des circuits logiques afin de prévenir les défaillances de l'application utilisant le composant. On peut, à titre d'exemple, citer les codes de correction d'erreur, qui vont permettre de détecter et corriger une ou plusieurs erreurs. Les codes de correction d'erreur les plus complexes peuvent détecter et corriger plusieurs erreurs simultanées. D'autres techniques de mitigation sont la réécriture périodique des données ou la vérification périodique des données susceptibles d'être

corrompues et suivie de la réécriture de ces données si une erreur est détectée.

Il existe également des méthodes au niveau carte, équipement ou système qui ne vont pas corriger ou détecter une faute mais qui vont permettre d'éviter que celle-ci ne mette en défaillance le système. On peut, à titre d'exemple, citer les méthodes de redondance (le plus souvent il s'agit d'une triplication) avec système de vote. Ces méthodes sont basées sur la redondance, qu'elle soit physique, au niveau du nombre de circuits réalisés, ou encore temporelle, de tout ou partie des ressources réalisant les opérations de l'application. Un système de vote, placé en aval, permet, dans l'hypothèse ou une erreur apparaît au niveau d'une des ressources dupliquées, d'éviter que l'erreur ait une conséquence sur la fonction réalisée par le composant ou la carte.

Les erreurs multiples sont aussi possibles et de plus en plus fréquentes dans les nouvelles technologies de mémoires. Leur correction demande des codes de correction d'erreur beaucoup plus évolués (type Reed Solomon), pénalisants pour les performances de l'application. Quand cela est possible, des méthodes de séparation physique des ressources sont mises en œuvre pour éviter qu'un événement puisse modifier deux ressources physiquement proches à la fois. Néanmoins, cette séparation nécessite une connaissance parfaite de l'architecture logique du composant qui n'est pas toujours disponible pour le concepteur.

Enfin, au-delà du composant, des mitigations peuvent être mises en place au niveau du système d'exploitation, au niveau du logiciel d'application, au niveau de l'architecture de l'équipement électronique, et au niveau supérieur de l'architecture du système global.

Toutes les méthodes décrites précédemment peuvent être couplées entre elles de manière à optimiser la protection du composant et/ou de la fonction qu'il réalise.

Néanmoins, l'implantation de toutes ces méthodes n'est pas aisée car elles sont spécifiques pour un composant et une application donnée. Elles peuvent faire l'objet d'une erreur de réalisation due à leur complexité de mise en œuvre. De plus, leur efficacité n'est pas forcément connue à l'avance. En effet, en fonction de certains paramètres technologiques et en particulier de l'architecture logique du composant, certaines techniques de

mitigation se révéleront inefficaces en cas d'erreurs multiples. Or, du fait de l'intégration des composants électroniques, les erreurs multiples, dues à l'interaction d'une unique particule, prennent une part de plus en plus importante. Ainsi, il est nécessaire d'évaluer l'efficacité des techniques de mitigation mises en œuvre, au niveau composant, au niveau équipement et au niveau système. D'autre part, l'utilisation spécifique d'un composant par une application donnée peut rendre inefficace une technique de mitigation par ailleurs validée.

Il est connu, dans le document PCT/US2004/022531, un système basé sur un laser pulsé focalisé sur la surface d'un composant électronique pour injecter des fautes dans ce composant électronique et observer la réaction de ses tensions et/ou courants d'alimentation. Cependant, dans ce document, le composant testé n'est pas en situation réelle d'exécuter une application. En outre, pour éviter de soumettre le composant à une agression longue, ce document prévoit de synchroniser l'agression. Enfin, pour assurer la détection vis-à-vis des effets identifiés ci-dessus, des durées d'impulsion longues, au moins supérieures à une microseconde sont prévues. Les mesures ne sont alors pas réalistes.

Dans l'invention présente, pour remédier à ce problème, le composant est monté sur une carte d'utilisation et est en train d'exécuter son application. En outre, le rayonnement laser est focalisé à l'intérieur du composant au niveau des zones qui présentent une sensibilité à l'injection de charges. La carte est intégrée ou non dans un équipement et/ou un système. L'injection des fautes permet de quantifier, en direct ou après analyse, la tolérance aux fautes transitoires et permanentes de l'application, et/ou de valider les techniques de mitigation mises en œuvre pour protéger l'application vis-à-vis de ces mêmes fautes. La répétitivité dans le temps des agressions effectuées par le laser et la brève durée de ces excitations permettent de caractériser de manière réaliste la réaction du composant, alors que l'application s'exécute.

L'invention a donc pour objet un procédé de test d'une application logicielle mise en œuvre à l'aide d'un composant électronique en circuit intégré dans lequel

- on mesure la sensibilité de l'application aux fautes induites par les particules énergétiques dans le composant dans une installation de test alors

qu'il est en fonctionnement et qu'il opère l'application,

- avec cette installation de test, on met le composant électronique en service fonctionnel et, du fait de cette mise en service, le composant est synchronisé par un signal d'horloge et possède un temps de cycle d'application,

- un état de service fonctionnel étant différent d'un état de service statique en ce que le composant réalise, en service fonctionnel, une fonction d'application, autre qu'une fonction de logistique interne mise en œuvre en état de service statique,

- on excite le composant électronique ainsi mis en service à l'aide d'impulsions d'un rayonnement laser pulsé produit par l'installation de test,

- le composant reçoit au cours de ce test sur ses entrées des signaux d'entrée variables dans le temps, et produit en correspondance sur ses sorties des signaux de sortie variables dans le temps,

- et on mesure un défaut de fonctionnement de l'application opéré par le composant électronique mis en service correspondant à cette excitation,

- ce défaut de fonctionnement se matérialisant par des signaux de l'application, variables dans le temps, différents des signaux de l'application, variables dans le temps, attendus.

caractérisé en ce que pour cette mesure,

- le composant en circuit intégré est monté sur une carte électronique capable d'opérer l'application,

- on place la carte électronique capable de l'application dans l'installation de test,

- les impulsions d'excitation sont déclenchées par un signal asynchrone ou synchrone de ce signal d'horloge du cycle de l'application.

- on focalise le rayonnement laser à différentes profondeurs dans le composant, et

- on limite la durée des impulsions à une durée inférieure ou égale à une nanoseconde

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent. Celles-ci ne sont données qu'à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention. Les figures montrent :

- Figure 1 : Une représentation schématique d'un dispositif utilisable

pour mettre en œuvre le procédé de l'invention ;

- Figure 2 : Un diagramme temporel montrant des signaux d'horloge du composant, des dates d'impulsion du laser de l'invention et des temps de cycle de l'application mise en œuvre;

- Figure 3 : Pour une zone d'intérêt selon l'invention, un relevé d'énergie critique pour laquelle des interactions sont critiques, en fonction d'une profondeur de focalisation, et un choix d'énergie d'excitation.

La figure 1 montre un dispositif utilisable pour mettre en œuvre le procédé de l'invention. Le but de l'invention est de mesurer les effets d'interactions énergétiques dans un composant électronique 1. Le composant électronique 1 comporte ainsi, d'une manière connue, et présenté à l'envers, un cristal semi-conducteur 2 dans lequel sont réalisées diverses implantations: des caissons et des zones implantées par des impuretés. Des connexions, typiquement métalliques, telles que 3 débouchent sur une interface 4 de connexion du composant électronique 1. La dalle semi-conductrice 2 peut être surmontée par une protection 5, par exemple une métallisation. La protection 5 est située sur une face du cristal 2 opposée à celle où sont réalisées les connexions 3.

Dans l'invention, pour mesurer les défauts de fonctionnement de l'application opérée par un composant électronique 1 qui serait soumis à des interactions énergétiques, on monte ce composant 1 sur une carte électronique 6 de type circuit imprimé, monocouche ou multicouches. La carte 6 peut-être une carte réelle d'utilisation du composant 1. La carte 6 comporte à cet égard d'autres composants tels que 7 et 8, du type à broches 9 de connexion traversant la carte 6, ou du type à boules de soudure telles que 10 pour composants montés en surface. Dans l'exemple, le composant 1 est lui-même du type composant monté en surface, avec des boules de soudures connectées aux métallisations 3, mais ce n'est pas une obligation.

La carte 6 possède des composants 7 et 8 utiles à son fonctionnement. Par exemple ces composants sont du type quartz d'horloge, filtres de transmission, composants de découplage, commutateurs ou interrupteurs, voire microcontrôleurs. Le composant 1 peut-être par exemple, un microprocesseur, avec ou sans mémoire associée intégrée ou un composant logique programmable (FPGA).

La carte 6 possède un connecteur 11. Dans l'invention, on utilise ce

connecteur 11 pour connecter la carte 6 à l'appareil de test. Le connecteur 11 est relié dans la carte à des pistes telles que 12 menant aux composants 1, 7 et 8. Les pistes 12 peuvent être réparties dans l'épaisseur 13 de la carte pour une carte électronique de type multicouche.

Pour mesurer la sensibilité du composant 1 et de l'application aux particules énergétiques, on utilise un appareil de test. Avec cet appareil, on excite le composant 1 au moyen d'une source laser 14. Cette source laser 14 émet un rayonnement 15 qui vient agresser le composant électronique 1. De manière à favoriser cette agression, de préférence, le composant 1 est soumis à cette agression par sa base 5. De manière à favoriser cette agression, de préférence la protection 5 est ouverte (notamment par processus chimique ou mécanique) dans une fenêtre 16 par laquelle peut pénétrer le rayonnement 15 du laser 14.

Au moment du test, le composant électronique 1 est relié par son interface 11 à un dispositif d'alimentation et de commande 17. Le dispositif 17 comporte, d'une manière schématique, un microprocesseur 18 relié par un bus 19 de commandes, d'adresses et des données à une mémoire programme 20, à une mémoire de donnée 21, à l'interface 11, à la source laser 14 et à un système 32 d'atténuation de l'énergie laser. Le dispositif 17 comporte par ailleurs, schématiquement représenté, un comparateur 22 recevant d'une part sur une entrée de consigne 23 une grandeur électrique attendue et sur une entrée de mesure 24 des signaux électriques de l'application prélevés par l'interface 11 alors que le composant 1 subit les interactions et les excitations du laser 14. Cette partie du dispositif permet d'identifier les défauts de fonctionnement de l'application. La grandeur 23 peut être celle produite par une autre carte identique à la carte 6, synchronisée avec cette dernière, mais qui n'est pas soumise à agression.

De manière optionnelle, le dispositif 17 comporte aussi autre un comparateur recevant d'une part sur une entrée de consigne une grandeur électrique du composant attendue et sur une entrée de mesure des signaux électriques prélevés par l'interface 11 dans le composant 1, alors que ce dernier subit les interactions et les excitations du laser 14. Cette partie optionnelle du dispositif permet d'identifier les fautes du composant 1.

En pratique, il peut y avoir deux comparateurs : un premier comparateur, optionnel, qui permet de mesurer la défaillance du composant

et un deuxième comparateur qui permet de mesurer une défaillance correspondante de l'application. Le premier comparateur peut par exemple comporter un programme pour, après une agression, aller lire une cellule mémoire ou un registre et en vérifier le contenu, alors que cette cellule mémoire ou ce registre ne sont pas sollicités par l'application. Le deuxième comparateur mesure de signaux de sortie de l'application pour vérifier s'ils sont cohérents.

Les comparateurs peuvent être remplacés par un sous-programme de mesure de la cohérence du signal reçu de l'application et/ou du composant électronique 1 avec un signal attendu. Le fonctionnement de la mesure peut être statique : on teste dans ce cas uniquement des valeurs de potentiels et de courants disponibles sur des plots de l'interface 11. Il est essentiellement dynamique. Dans ce cas, le microprocesseur 18 comporte en outre une horloge qui égrène certaines opérations dont le déroulement doit subir un historique connu, et on mesure si cet historique se reproduit de manière attendue ou s'il présente des anomalies.

La mémoire programme 20 comporte dans ce but un programme 26 de commande de la source laser 14, de ses déplacements XYZ, de sa puissance et de ses instants de déclenchement. La mémoire 20 comporte enfin de préférence un programme 27 de commande du fonctionnement de la carte 6. Selon ce fonctionnement, la carte 6 réalise l'application pour laquelle elle est conçue: traitement des données d'entrées reçues sur ses connexions 3, éventuellement provenant du bus 19, et production de données de sorties pour l'essentiel appliquées sur le bus 19 ou sur les autres composants 7 et 8 de la carte 6. Les deux programmes 26 et 27 peuvent se dérouler de manière simultanée, séquentielle ou asynchrone. Le programme 26 peut tenir compte de phases du programme 27 pour lancer opportunément des excitations à des instants choisis.

La figure 2 montre un premier diagramme temporel 33 égrenant les impulsions d'une horloge de cadencement du composant 1. Cette horloge peut être portée par la carte 1 ou reliée au bus 19. De préférence ses impulsions sont gérées, au moins prises en compte, par le programme 26. Un deuxième diagramme temporel 34 montre la distribution temporelle des impulsions laser, de courtes durées, telles que 35 émises à des instants 36 à 42 calés ou non par rapport à un signal particulier de l'horloge 33. Un

troisième diagramme temporel 43 montre des phases 44 à 46 d'actions du composant 1. Ces phases d'actions correspondent à des actions, des opérations complexes, de sélection, de calcul, de reformatage, de transmission, de vérification ou autres effectuées par le composant 1 dans le cadre de l'application mise en œuvre avec la carte 16. Un temps de cycle 47 de l'application peut ainsi être défini comme celui pendant lequel une ou des phases de traitement sont exécutées. Selon l'invention, il importe alors que les dates 36 à 42 soient choisies, ou au moins réparties, par rapport à ces cycles de l'application, qui sont différents d'un cycle 48 de l'horloge 33. Ce qui est important est que ces impulsions 35 soient distribuées pendant le cycle 47, et non pas tant qu'elles soient placées à un moment donné par rapport au début 49 ou la fin 50 d'une impulsion quelconque de l'horloge 33.

D'une manière classique il est connu, notamment avec le microprocesseur 18, de déplacer la source 14 dans des directions XY à la surface du cristal 2 à l'aide d'un actionneur 28. En effectuant ce déplacement, il est possible de repérer les localisations d'intérêts où on mesure que les interactions entre le rayonnement 14 et le composant semi-conducteur 1 sont les plus fortes, voire deviennent critiques. Mais cette connaissance est insuffisante. Elle ne donne pas de renseignement sur la profondeur.

Le trou formé par la fenêtre 16 peut-être plus petit que l'étendue de la dalle 2 du composant 1. La trace de l'impact du rayonnement 15 sur la surface du composant 1 est bien entendu inférieure au trou 16, sinon le balayage en X et Y de la fenêtre 16 serait inutile.

Avec une telle technique, on repère des zones d'intérêt dans le composant 1 au sens où ces zones sont les sièges d'interactions néfastes pour le fonctionnement du composant 1 et/ou de l'application. Le but de l'invention est de savoir si le composant va être en un endroit quelconque de sa structure le siège d'une interaction néfaste.

Dans l'invention, pour obtenir ce résultat, on a prévu de focaliser le rayonnement laser 15 à l'aide d'un dispositif de focalisation, ici schématiquement représenté par une lentille 29, et de faire varier à l'aide de cette lentille 29 une profondeur de focalisation d'un foyer 30 du rayonnement 15 ainsi focalisé. Par exemple, une profondeur 31 montrée est ici située sous la l'interface 2-5. On tient bien entendu compte de l'indice de réfraction de

cristal 2, différent de l'indice de réfraction de l'air. Ceci n'est pas montré sur la figure 1 où le rayonnement focalisé présente des rayons rectilignes 34. Selon l'invention, pour chaque profondeur de focalisation on mesure les interactions énergétiques du rayonnement sur le composant 1. Le principe de cette mesure est le suivant.

Une fois que la source laser 14 est placée en regard d'une zone d'intérêt, pour une première focalisation donnée, par exemple sur l'interface 2-5, on ajuste par des commandes transmises à l'atténuateur 32, à l'aide du microprocesseur 18 et du bus 19, le niveau d'atténuation de l'énergie laser et on commande, à l'aide du microprocesseur 18 et du bus 19, la source 14 pour effectuer un impulsion laser. La diminution du niveau d'atténuation de l'atténuateur 32 provoque une croissance de l'énergie du laser. Cette croissance a pour résultat que la puissance laser déposée dans le composant 1 augmente.

En pratique, cette administration d'excitations énergétiques est pulsée (notamment afin de ne pas échauffer trop fortement le composant par une illumination continue). Afin de rendre réalistes les mesures, on a découvert que l'impulsion devait être très courte, par exemple de l'ordre d'une centaine de picosecondes, voire bien moins, et donc en tous cas de durée inférieure ou égale à une nanoseconde.

En outre, de préférence mais ce n'est pas une obligation, la modification de puissance peut être effectuée pas à pas. Du point de vue expérimental, on part de la valeur d'énergie (de puissance) laser la plus élevée et on la diminue jusqu'à obtenir la valeur critique (mais l'inverse est ainsi possible : partir de la valeur d'énergie la plus faible et l'augmenter progressivement). Pour chaque impulsion on mesure, à la fin de l'impulsion, la cohérence des signaux lus dans le composant 1 et au niveau de l'application par rapport aux signaux attendus. Si cette cohérence est bonne, on diminue l'atténuation. A un moment donné, on obtient une puissance critique, celle pour laquelle, pour la première fois, la réponse électronique de l'application ou du composant 1 n'est plus celle attendue. On note la valeur de cette puissance critique.

Puis on change la focalisation de la source laser, par exemple en déplaçant la lentille 29 en direction du composant 1 (ou éventuellement en utilisant une lentille à focale variable), de manière à ce que le foyer 30

pénètre plus avant dans le cristal 2. Pour cette autre position en profondeur de ce foyer 30, on réitère l'opération de croissance (on peut aussi procéder par décroissance) et on obtient une nouvelle valeur de puissance critique. En agissant ainsi, on peut relever une cartographie en profondeur, et non plus seulement en surface, du défaut de fonctionnement du composant électronique 1.

Le faisceau laser est incident par la face arrière, du côté du substrat du composant 1. Le faisceau laser ne pénétrant pas les métallisations, l'irradiation par face arrière est préférable pour révéler toutes les zones sensibles. Le montage sur la carte électronique 6 est donc tout à fait compatible avec la méthode, de même qu'il permet l'ouverture de la fenêtre 16.

L'énergie critique correspond, pour une durée donnée d'impulsion, à une puissance critique. Si la courbe de l'énergie critique, dite aussi énergie seuil, est tracée en fonction de la profondeur de focalisation dans la configuration de la figure 1, elle aura l'allure représentée sur la figure 3. C'est l'exploitation de cette courbe (recherche du minimum) qui fournit la profondeur de la zone sensible de collection. En effet, la zone critique est celle où il faut le moins de puissance au laser 14 pour dérégler le fonctionnement du composant 1.

Pour une position d'intérêt, la focalisation du faisceau laser est ajustée de manière à identifier la focalisation pour laquelle le composant présente une sensibilité maximale vis-à-vis d'une impulsion laser. Cette sensibilité maximale est obtenue lorsque l'énergie laser nécessaire pour provoquer la défaillance est minimale. Cette opération est effectuée pour une position d'intérêt mais peut également être répétée de manière systématique sur toutes les positions de la cartographie laser ou éventuellement pour des positions choisies aléatoirement. Par exemple, figure 3, pour une position donnée en XY, on a mesuré qu'une énergie minimale 51 était nécessaire à une profondeur 52 pour provoquer une défaillance. A toute autre profondeur, il faut une énergie laser supérieure à l'énergie 51. Ainsi, le minimum de la courbe expérimentale caractérisant l'évolution de l'énergie seuil en fonction de la profondeur de focalisation, correspond bien à la profondeur à laquelle est enterrée la zone sensible.

Ensuite, pour une énergie laser supérieure à cette énergie minimale,

donc supérieure à cette énergie 51, le faisceau laser est déplacé par rapport au composant, de manière connue ou aléatoire, sur tout ou partie de la surface de ce dernier, sur tout ou partie de sa profondeur, pendant tout ou partie des phases 44 à 46. Pour un certain nombre de positions et pour des instants 36 à 42, un tir laser est effectué, synchronisé ou non par rapport à un signal 33 et une vérification est effectuée sur le système de test pour voir si une ou plusieurs défaillances (fautes au sein du composant ou défauts de fonctionnement de l'application) ont eu lieu.

Il est nécessaire d'utiliser un laser pour lequel le matériau étudié du composant 1 ne soit pas transparent (par mécanisme d'absorption linéaire ou non linéaire). Dans le cas de l'absorption linéaire, l'énergie du photon laser doit être supérieure à la barrière de potentiel, à la bande interdite du semi-conducteur. Dans le cas du silicium, il faut que la longueur d'onde du laser soit plus petite que 1,1 micromètre.

Ainsi, le minimum de la courbe expérimentale caractérisant l'évolution de l'énergie seuil en fonction de la profondeur de focalisation, correspond bien à la profondeur à laquelle est enterrée la zone sensible.

Si ses propriétés sont bien choisies, de même que les particules, un laser pulsé et focalisé permet d'ioniser localement et de façon transitoire le semi-conducteur constituant des composants électroniques, induisant des fautes transitoires ou permanentes dans le composant opérant l'application. Pour cela le laser doit posséder une longueur d'onde permettant la génération de charges (par mécanisme d'absorption linéaire ou non linéaire) dans le matériau constitutif du composant.

Le mécanisme d'absorption non linéaire correspond à une excitation à plusieurs photons. Plusieurs photons sont absorbés simultanément par le matériau semi conducteur. La somme d'énergie de ces photons est suffisante pour déclencher la faute. L'avantage de ce dernier mécanisme est de permettre une meilleure résolution spatiale, en profondeur dans le composant et dans le plan de ce composant. Une localisation plus précise de l'impact multi photonique permet alors de caractériser plus exactement le fonctionnement de l'application par rapport aux agressions.

Par exemple, dans le cas de l'absorption linéaire dans le silicium, la longueur d'onde du laser doit être inférieure à 1.1µm. Le laser est utilisé préférentiellement en mono impulsion ou synchronisé par rapport à un signal

du composant ou de l'application sous test. Un système d'optique est utilisé pour focaliser le rayonnement laser au niveau des zones actives du composant. Enfin, il existe sur le chemin optique du faisceau laser un système permettant de modifier l'énergie du laser. Ce système possède une interface qui permet son pilotage depuis un ordinateur.

Tous les éléments peuvent être pilotés pour permettre l'automatisation du test.

Les positions et les instants des tirs laser peuvent être choisis aléatoirement pour reproduire l'impact de particules de l'environnement naturel ou non, ou bien au contraire soigneusement ajustés afin de localiser les positions spatiales et temporelles mettant en faute le composant et provoquant un défaut de fonctionnement de l'application. De même en chaque position l'énergie laser peut être ajustée et la même position est testée à nouveau jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de faute mesurée et/ou de défaut de fonctionnement de l'application observé, ce qui permet d'effectuer une cartographie de la sensibilité du composant et de l'application qui lui est associée. .

Cette procédure peut être effectuée pour le composant et l'application pour lesquels aucune technique de mitigation n'a été appliquée ainsi que pour le composant et l'application pour lesquels une technique de mitigation a été appliquée. La comparaison des deux mesures prouve l'effet de la mitigation. Si l'application opérée par le composant présente un défaut de fonctionnement, on met en œuvre la mitigation et on recommence. Cette procédure peut être effectuée sur un composant isolé dans une carte 6 et sur lequel une application est embarquée, ou sur un composant 1 inclus dans une carte 6, elle-même incluse dans son environnement réel.

Le tableau 1 ci après montre les différentes opérations de vérification et de mesure qui peuvent être lancées selon le présent procédé. Le symbole O signifie oui, le symbole N signifie non.

Tableau 1

Opérations	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Tir laser à Energie suffisante	N		O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Contrôle défaillance de l'application - si nécessaire réinitialisation		N	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Contrôle défaillance du composant - si nécessaire réinitialisation			O	O	O	O	O	O	O	O	O	N
Contrôle et réinitialisation du composant ou de l'application entre chaque tir laser ?			O	O	O	O	O	O	O	O	N	N
Cartographie (injection de faute contrôlées spatialement à différentes énergies)			O	O	O	O	N	N	N	N	-	-
Injection de fautes aléatoires spatialement à différentes énergies			N	N	N	N	O	O	O	O	-	-
Détermination du seuil en énergie de la défaillance application			O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Détermination du seuil en énergie de la défaillance au niveau composant			O	O	O	O	O	O	O	O	O	N
Synchro temporelle possible par rapport à l'application ?			O	O	N	N	O	O	N	N	-	-
Synchro temporelle possible par rapport à un signal du composant ?			O	N	O	N	O	N	O	N	-	-

En fonction des résultats délivrés par le dispositif de test en réponse à ces opérations dans les situations A à L, les conclusions à en tirer en matière de validité du test, de validité du composant et ou de l'application logicielle testée sont les suivantes.

Situation A : Augmenter l'énergie et recommencer

Situation B : Sans objet

Situation C: Obtention de la cartographie spatiale et temporelle des défaillances au niveau du composant et de l'application, identification des localisations spatiales et temporelles responsables des défaillances du composant et de l'application et observation exhaustive des modes de défaillance, mesure de section efficace dynamique du composant (nombre

de défaillance par tir laser), ainsi que mesure de la section efficace dynamique de l'application (nombre de défaillance par tir laser)

Situation D : Obtention de la cartographie spatiale des défaillances au niveau du composant - cartographie spatiale et temporelle des défaillances au niveau de l'application, identification des localisations spatiales et temporelles responsables des défaillances de l'application - Identification des localisations spatiales responsables des défaillances du composant, observation exhaustive des modes de défaillance spatialement, et observation exhaustive temporellement des modes de défaillance de l'application, mesure de section efficace dynamique du composant (nombre de défaillance par tir laser), ainsi que mesure de la section efficace dynamique de l'application (nombre de défaillance par tir laser)

Situation E : Obtention de la cartographie spatiale et temporelle des défaillances au niveau du composant -cartographie spatiale des défaillances de l'application Identification des localisations spatiales et temporelles responsables des défaillances du composant, identification des localisations spatiales responsables des défaillances de l'application, observation exhaustive des modes de défaillance spatialement, et observation statistique temporellement, mesure de section efficace dynamique du composant (nombre de défaillance par tir laser), ainsi que mesure de la section efficace dynamique de l'application (nombre de défaillance par tir laser)

Situation F : Obtention de la cartographie spatiale des défaillances au niveau du composant et de l'application Identification des localisations spatiales responsables des défaillances du composant et de l'application, observation exhaustive des modes de défaillance spatialement, et observation statistique temporellement, mesure de section efficace dynamique du composant (nombre de défaillance par tir laser), ainsi que mesure de la section efficace dynamique de l'application (nombre de défaillance par tir laser)

Situation G : Obtention de la cartographie temporelle des défaillances au niveau du composant et de l'application, identification des localisations temporelles responsables des défaillances du composant et de l'application, observation exhaustive temporellement des modes de défaillance, et observation statistique spatialement, mesure de section efficace dynamique du composant (nombre de défaillance par tir laser), ainsi

que mesure de la section efficace dynamique de l'application (nombre de défaillance par tir laser)

Situation H : Obtention de la cartographie temporelle des défaillances au niveau de l'application, identification des localisations temporelles responsables des défaillances de l'application, observation exhaustive temporellement des modes de défaillance de l'application et observation statistique spatialement, mesure de section efficace dynamique du composant (nombre de défaillance par tir laser), ainsi que mesure de la section efficace dynamique de l'application (nombre de défaillance par tir laser)

Situation I : Obtention de la cartographie temporelle des défaillances au niveau du composant, identification des localisations temporelles responsables des défaillances du composant, observation exhaustive temporellement des modes de défaillance du composant et observation statistique spatialement, mesure de section efficace dynamique du composant (nombre de défaillance par tir laser), ainsi que mesure de la section efficace dynamique de l'application (nombre de défaillance par tir laser)

Situation J : Observation statistique temporellement et spatialement des modes de défaillance du composant et de l'application, similaire à ce qui est obtenu lors des tests sous accélérateur de particules, mesure de section efficace dynamique du composant (nombre de défaillance par tir laser), ainsi que mesure de la section efficace dynamique de l'application (nombre de défaillance par tir laser), mesure de section efficace dynamique du composant (nombre de défaillance par tir laser), ainsi que mesure de la section efficace dynamique de l'application (nombre de défaillance par tir laser)

Situation K : Accumulation des défaillances dans le composant, les erreurs multiples ne sont pas identifiées, mesure du nombre de défaillances composant requises pour provoquer une défaillance de l'application, en fonction de l'instant du tir par rapport au cycle de l'application, mesure de la section efficace statique du composant (nombre total de défaillance par rapport au nombre total de tirs laser) et mesure de la section efficace statique de l'application (nombre total de défaillance par rapport au nombre total de tirs laser)

Situation L : Accumulation des défaillances dans le composant, les erreurs multiples ne sont pas identifiées, mesure de la section efficace statique de l'application (nombre total de défaillance par rapport au nombre total de tirs laser)

5

REVENDICATIONS

1 - Procédé de test d'une application logicielle mise en œuvre à l'aide d'un composant (1) électronique en circuit intégré dans lequel

- on mesure la sensibilité de l'application aux fautes induites par les particules énergétiques dans le composant dans une installation de test (17) alors qu'il est en fonctionnement et qu'il opère l'application (44-46),

- avec cette installation de test, on met (27) le composant électronique en service fonctionnel et, du fait de cette mise en service, le composant est cadencé par un signal d'horloge (33) avec un temps de cycle (47) de l'application,

- un état de service fonctionnel étant différent d'un état de service statique en ce que le composant réalise, en service fonctionnel, une fonction d'application, autre qu'une fonction de logistique interne,

- on excite le composant électronique ainsi mis en service à l'aide d'impulsions d'un rayonnement (15) laser pulsé produit par l'installation de test,

- le composant reçoit au cours de ce test sur ses entrées (3) des signaux d'entrée variables dans le temps, et produit en correspondance sur ses sorties (3) des signaux de sortie variables dans le temps,

- et on mesure (22) un défaut de fonctionnement de l'application opéré par le composant électronique mis en service correspondant à cette excitation,

- ce défaut de fonctionnement se matérialisant par des signaux de l'application, variables dans le temps, différents des signaux de l'application, variables dans le temps, attendus (23).

caractérisé en ce que pour cette mesure,

- le composant en circuit intégré est monté sur une carte électronique (16) capable d'opérer l'application,

- on place la carte électronique capable de l'application dans l'installation de test,

- les impulsions d'excitation sont déclenchées par un signal synchrone ou asynchrone (36-42) de ce signal d'horloge, et/ou du cycle de l'application.

- on focalise (29) le rayonnement laser à différentes profondeurs (Z)

dans le composant, et

- on limite la durée des impulsions à une durée inférieure ou égale à une nanoseconde

2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que

- sur une application opérée par un composant et qui présente des défauts de fonctionnement à l'issue d'un test mené selon ce procédé,

- on met en œuvre une mitigation,

- et on réitère les étapes de test pour vérifier l'efficacité de cette mitigation.

3 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 2, caractérisé en ce que

- le temps de cycle par rapport auquel l'excitation laser est déclenchée est celui de la réalisation d'une opération complexe par le composant.

4 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que

- on focalise le rayonnement laser à différentes profondeurs dans le composant pour une localisation d'intérêt

- on recherche la focalisation (37) pour laquelle le composant présente une sensibilité maximale,

- cette sensibilité maximale est obtenue lorsque l'énergie laser nécessaire pour provoquer une faute est minimale (36),

- et on agresse ensuite différents endroits du composant avec une énergie laser supérieure à cette énergie minimale.

5 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que

- pour une profondeur donnée on fait varier (32), de préférence par pas, la puissance du laser,

- et on détermine une puissance critique du laser au delà de laquelle l'interaction devient critique.

6 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que

- on excite le composant par une face d'une dalle (2) de ce composant, cette face étant de préférence opposée à celle sur laquelle sont effectuées des implantations d'impuretés, ce composant possédant des

métallisations (3) du côté opposé à cette dalle.

7 - Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que

- on fait un petit trou (16) dans une protection (5) de la dalle du composant, au minimum de façon à atteindre le silicium,

- ce petit trou étant de surface inférieure à une surface totale de la dalle du composant,

- ce petit trou étant de surface supérieure à la trace d'un impact du rayonnement laser sur le composant.

8 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que

- on mesure l'interaction en comparant un signal de sortie du composant ou de la carte à une valeur attendue, ou on compare une action engendrée par la carte à une action attendue, et

- on détecte (25) les conditions dans lesquelles cette comparaison (22) n'est plus conforme à un critère (23).

9 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que

- l'énergie du photon laser de la source laser est supérieure à la valeur de la bande interdite du composant semi-conducteur ou si l'énergie du photon est inférieure à la valeur de la bande interdite du composant semi-conducteur, on met en œuvre un système d'absorption multiphoton.

10 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que

- la source laser provoque une absorption simultanée de plusieurs photons dans le matériau semi conducteur.

11 - Dispositif de mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 10.

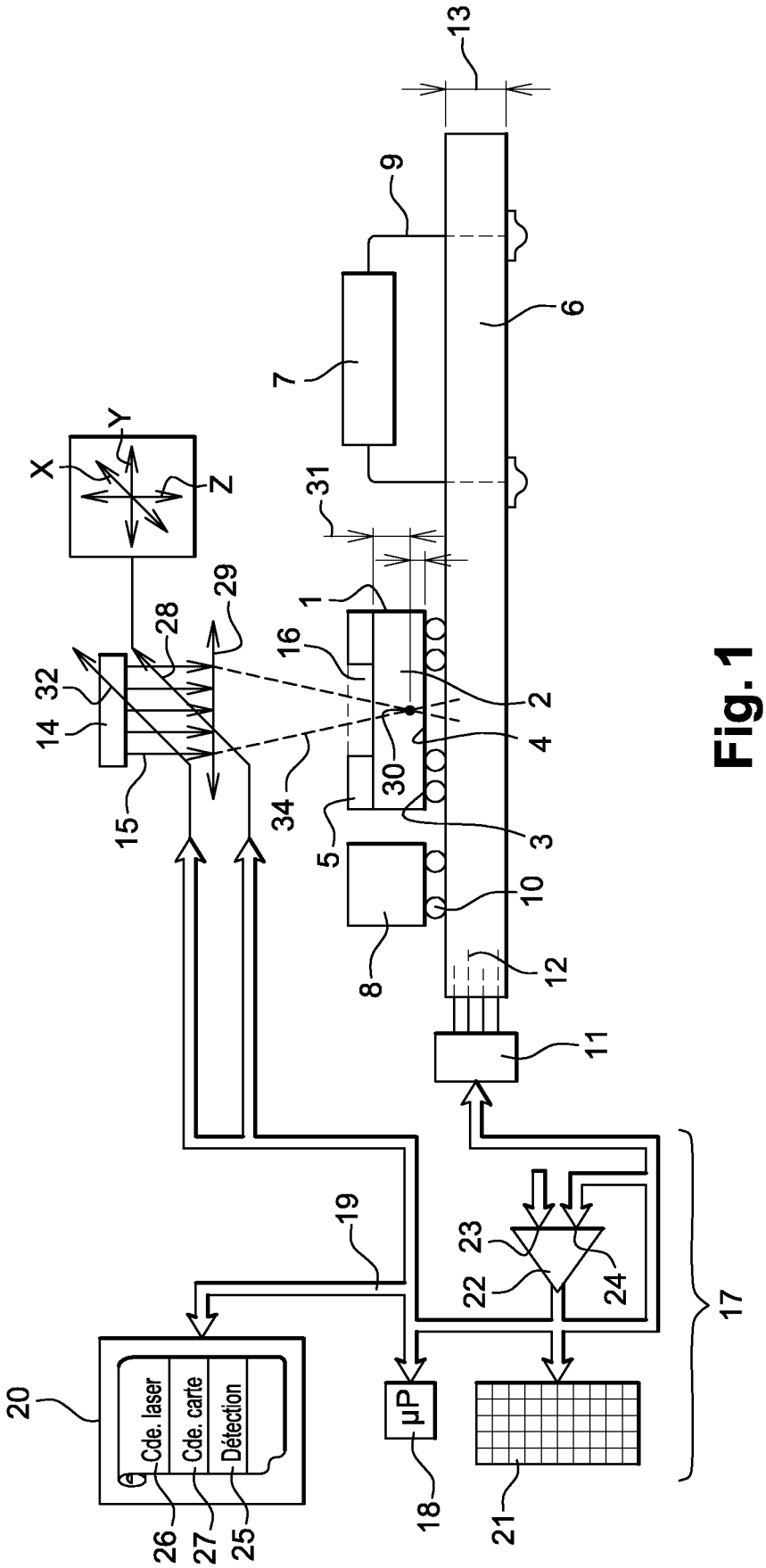

13
9
6
7
31
X
Y
Z
29
28
1
16
2
32
14
4
30
34
15
5
3
10
8
12
11
19
23
22
24
17
20
Cde. laser
Cde. carte
Détection
µP
26
27
25
18
21

Fig. 1

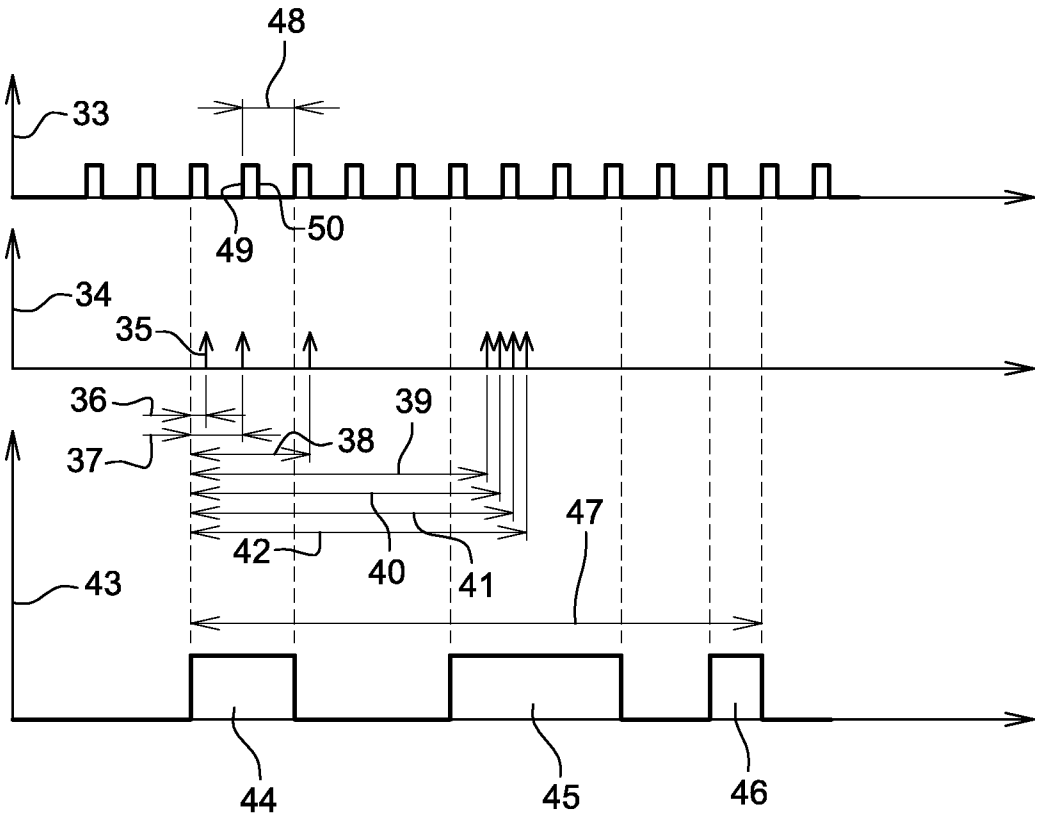

48
33
49
50
34
35
36
37
38
39
42
40
41
47
43
44
45
46

Fig. 2

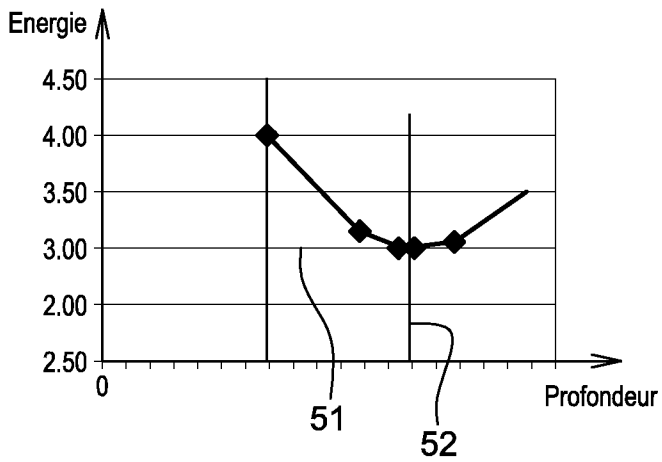

Energie
4.50
4.00
3.50
3.00
2.00
2.50
0
Profondeur
51
52

Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2008/051166

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G06F11/24 G01R31/308

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G06F G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2005/008850 A (CREDENCE SYSTEMS CORP [US]; PERDU PHILLIPPE [FR]; DESPLATS ROMAIN [FR]) 27 January 2005 (2005-01-27) cited in the application page 2, line 18 - line 21 page 5, line 2 - line 31 page 6, line 26 - line 27 page 7, line 30 - page 8, line 8 page 9, line 9 - line 31 page 10, line 20 - line 22; figures 1-3	1,3,6, 9-11
A	US 6 842 021 B1 (WEAVER KEVIN [US] ET AL) 11 January 2005 (2005-01-11) column 4, line 3 - line 60 column 5, line 20 - line 34; figures 1,2	1-11

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
12 décembre 2008	19/12/2008

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Gorzewski, Michael

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2008/051166

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 270 643 A (RICHARDSON NEIL [US] ET AL) 14 December 1993 (1993-12-14) column 6, line 15 - line 31 column 6, line 64 - column 7, line 20 column 16, line 62 - column 17, line 17; figures 4,13	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/FR2008/051166

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2005008850 A	27-01-2005	US 2005006602 A1	13-01-2005
US 6842021 B1	11-01-2005	NONE	
US 5270643 A	14-12-1993	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2008/051166

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. G06F11/24 G01R31/308

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
G06F G01R

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela estréalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 2005/008850 A (CREDENCE SYSTEMS CORP [US]; PERDU PHILLIPPE [FR]; DESPLATS ROMAIN [FR]) 27 janvier 2005 (2005-01-27) cité dans la demande page 2, ligne 18 - ligne 21 page 5, ligne 2 - ligne 31 page 6, ligne 26 - ligne 27 page 7, ligne 30 - page 8, ligne 8 page 9, ligne 9 - ligne 31 page 10, ligne 20 - ligne 22; figures 1-3	1,3,6, 9-11
A	US 6 842 021 B1 (WEAVER KEVIN [US] ET AL) 11 janvier 2005 (2005-01-11) colonne 4, ligne 3 - ligne 60 colonne 5, ligne 20 - ligne 34; figures 1,2	1-11

-/--

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'inven tion revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'inven tion revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
12 décembre 2008	19/12/2008

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Gorzewski, Michael

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2008/051166

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 5 270 643 A (RICHARDSON NEIL [US] ET AL) 14 décembre 1993 (1993-12-14) colonne 6, ligne 15 - ligne 31 colonne 6, ligne 64 - colonne 7, ligne 20 colonne 16, ligne 62 - colonne 17, ligne 17; figures 4,13	1-11

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/FR2008/051166

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2005008850 A	27-01-2005	US 2005006602 A1	13-01-2005
US 6842021 B1	11-01-2005	AUCUN	
US 5270643 A	14-12-1993	AUCUN	