

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 19.08.97.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 26.02.99 Bulletin 99/08.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71 Demandeur(s) : OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET
DE RECHERCHES AEROSPATIALES ETABLISSE-
MENT PUBLIC — FR.

72 Inventeur(s) : DAVID JEAN PIERRE et BONORA
LIONEL.

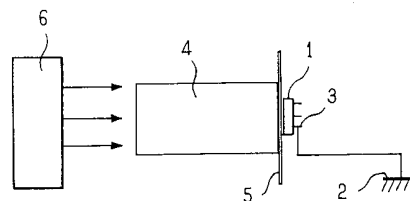
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : REGIMBEAU.

54 PROCEDE POUR MAJORER LES MIGRATIONS DE CHARGES: APPLICATION AUX DEGRADATIONS PAR
RADIATIONS IONISANTES DE COMPOSANTS PARTIELLEMENT OU TOTALEMENT BIPOLAIRES.

57 Il peut être utile de pouvoir faire migrer des charges
dans des composants électroniques (1), lesquelles charges
sont inactivables dans les conditions de polarisation usuel-
les desdits composants (1). La présente invention propose
un procédé permettant, dans ce cas, de déplacer lesdites
charges. Ce procédé est destiné à assurer une migration de
charges dans au moins un composant électronique (1) ca-
ractérisé en ce que l'on applique un champ électrique par un
moyen externe audit composant.

Ce procédé est particulièrement utile et efficace lorsque
l'on veut simuler, en laboratoire, dans des conditions de «
pire-cas », les dégradations que subissent les composants
(1) de technologie partiellement ou totalement bipolaire,
destinés à des missions dans l'espace, c'est à dire lorsqu'ils
sont soumis à des radiations ionisantes. Pour cette applica-
tion particulière, le composant (1) est mis à la masse (2) par
au moins l'une de ses broches (3). Un champ électrique est
créé par une électrode accélératrice (4) portée à un poten-
tiel fortement positif. Une source de radiation ionisante (6)
est placée à proximité.



**Procédé pour majorer les migrations de charges :
application aux dégradations par radiations ionisantes de composants
partiellement ou totalement bipolaires**

5 La présente invention concerne le domaine des procédés destinés à assurer une migration des charges dans des composants électroniques. Plus précisément, le procédé selon l'invention permet la migration de charges immobiles dans les conditions de polarisation usuelles desdits composants, par application d'un champ électrique externe.

10 Ce procédé peut être utilisé à des fins variées.

Ainsi il peut servir, comme étape de fabrication de composants électroniques, à déplacer des charges pour la diffusion volontaire d'un dopant ou le balayage d'un agent polluant, dans des zones appropriées.

15 Il peut aussi, comme dans le cas qui est développé ci-dessous, permettre de mesurer, en laboratoire, les dégradations des composants dues à des radiations ionisantes. En particulier, la présente invention y est utilisée pour simuler les dégradations que les composants subissent lorsqu'ils sont en environnement spatial.

20 En effet, pour toute application spatiale, les composants doivent subir tout un ensemble d'évaluations visant à certifier leur fiabilité dans les conditions de fonctionnement inhérentes à l'application. L'une des contraintes à prendre en compte est la dose absorbée induite par les radiations ionisantes.

25 Le principe de qualification d'un type de composant par rapport à cette contrainte est fondé sur le dépôt, en laboratoire, d'une dose équivalente à celle qui est prévue pour toute la durée de la mission. Qui plus est, les conditions de « pire-cas » sont réalisées, ceci visant à obtenir la dégradation maximale dans le cadre d'une mission donnée. Cette démarche assure le bon déroulement de la mission dès lors que tout
30 composant supporte cette dose cumulée sous les pires conditions de fonctionnement.

Ce principe est cependant entravé par les effets du facteur d'accélération de la vitesse de dépôt de la dose (effet du débit de dose). Pour des raisons pratiques et de coût associées évidentes, la dose équivalente pour une application donnée est déposée en laboratoire en
5 quelques heures, ou tout au plus en quelques jours, alors que cette même dose le sera en dix ou quinze ans dans l'environnement naturel. Cet effet d'accélération à long terme a été considéré comme un facteur aggravant la dégradation des composants et, de ce fait, ne s'opposait pas au principe de pire-cas.

10 Depuis quelques années cependant, il a été montré que les transistors bipolaires subissaient des dégradations supérieures, pour une dose donnée, à faible débit de dose.

Le principe du pire-cas n'est alors plus satisfait pour tout composant électronique partiellement ou entièrement bipolaire. Le
15 procédé proposé ici vise, par conséquent, à réaliser en laboratoire des conditions expérimentales permettant de satisfaire au principe de pire-cas pour ces technologies.

Il est connu que les radiations ionisantes produisent des trous et des électrons dans les oxydes d'isolement des composants de technologie
20 partiellement ou complètement bipolaire. Parmi ces trous, ceux qui échappent à une recombinaison initiale, peuvent migrer vers l'interface oxyde/semi-conducteur, où ils forment des centres de recombinaison pour les porteurs, électrons ou trous, qui assurent le transport dans ces composants. Ceci diminue le gain du transistor bipolaire et caractérise sa
25 dégradation.

Certains de ces trous sont piégés de manière métastable. Plus le débit de dose augmente, plus les trous piégés de manière métastable sont nombreux et plus ceux-ci ralentissent le transport des autres trous vers l'interface oxyde/semi-conducteur. La dégradation due à l'irradiation
30 s'en trouve ralentie.

La technique d'évaluation de la tenue à la dose et au débit de dose est correctement maîtrisée pour les technologies purement MOS. Le champ existant dans les oxydes de grille de ces dernières participe à leur fonctionnement. Il est donc à la fois connu et modifiable.

5 Mais, la complexité des oxydes de passivation recouvrant les composants bipolaires (épais, sillonnés de pistes métalliques aux potentiels non connus, chargés de pièges, etc.) rend impossible une détermination précise de la valeur du champ dans le volume de cet oxyde.

10 Le comportement de ces technologies diffère donc totalement des technologies MOS plus largement étudiées, rendant ainsi caduques les méthodes de test antérieures basées sur des irradiations à fort débit de dose, suivies de guérisons en température. Pour y pallier, plusieurs méthodes ont été ou sont proposées.

15 La première consiste à déposer un surcroît de dose cumulée ΔD , à fort débit de dose, de façon à ce que la dégradation observée, pour une dose cumulée de $D + \Delta D$, soit identique à celle relevée à faible débit de dose pour D . Cette technique s'est, dans les faits, avérée inapplicable pour deux raisons essentielles :

20 - la dégradation des composants, lors des irradiations à fort débit de dose, tend à saturer avant le niveau désiré et ce, quel que soit le surcroît de dose déposé,

- il s'avère difficile d'évaluer, a priori, l'effet de ce dépôt supplémentaire, l'effet pouvant fluctuer considérablement entre
25 technologies, mais aussi entre types et lots au sein d'une même technologie.

La seconde technique, axée sur l'exaltation du transport des charges générées dans les oxydes, consiste à procéder aux irradiations à fort débit de dose, à une température supérieure à celle ambiante
30 (typiquement de 60 à 150° C).

Mais :

- l'augmentation de la détérioration, bien que sensible, est apparue insuffisante à reproduire les effets du faible débit de dose sur plusieurs technologies,

- 5 - la détermination de la température optimale doit se faire au cas par cas et peut différer de façon notable entre technologies.

Par conséquent, aucune de ces méthodes n'est pleinement satisfaisante. Aucune ne permet la reproduction des dégradations subies lors des irradiations à faible débit de dose.

- 10 Le sujet reste donc ouvert et l'invention proposée ici permet de compenser la sensibilité moindre des composants lorsque le débit de dose est élevé, en majorant la migration des trous dans les oxydes d'isolement, sans provoquer de phénomènes de guérison.

- 15 Le procédé suivant l'invention est destiné à assurer une migration de charges, dans au moins un composant électronique par application d'un champ électrique par un moyen externe audit composant.

Lors de l'irradiation, la génération de charges se fait de façon continue et homogène dans le corps de l'oxyde. L'application du champ extérieur suit deux objectifs :

- 20 - Augmenter le nombre de paires électron/trou qui échappent à la recombinaison initiale, ce nombre étant d'autant plus important que l'intensité du champ électrique régnant est forte.

- 25 - Favoriser le transport des charges, le champ, orienté perpendiculairement à la surface du composant et dirigé vers celle-ci, facilitant le drainage des porteurs vers l'interface oxyde/semi-conducteur, qui sont les zones actives des composants. Ceci rend l'irradiation à un débit de dose donné plus efficace.

- 30 Plus généralement, le procédé décrit ici peut s'appliquer à tout processus expérimental devant être assisté par un champ électrique, combiné ou non à un autre paramètre. On peut ainsi concevoir des applications en test de fiabilité de composants électroniques : le champ

électrique extérieur appliqué à l'intégralité de la puce peut provoquer des migrations d'impuretés faiblement activables avec les polarisations habituelles du composant, révélant ainsi des modes de dégradation latents.

5 Pour faciliter la compréhension, le procédé suivant l'invention ne sera décrit ci-dessous que dans son application à un composant. Mais, bien entendu, il peut être appliqué simultanément à plusieurs composants, voire à l'ensemble d'un circuit intégré, ou d'un circuit imprimé.

10 Le champ électrique externe est produit entre deux électrodes. L'une de ces électrodes est reliée à la masse et connectée à au moins l'une des broches du composant (broche de masse pour les circuits intégrés, substrat pour les composants discrets, etc). L'autre électrode est positionnée à proximité du composant mais est isolée électriquement de
15 celui-ci. Un film isolant est disposé entre cette dernière électrode et le composant, si celui-ci est dépourvu d'enrobage isolant. Cette dernière électrode est portée à un potentiel tel, que le champ électrique entre le composant connecté à la masse et ladite électrode, est supérieur à la valeur minimale efficace pour le transport des charges, mais reste
20 inférieur à la valeur qui provoque un claquage dans le milieu dans lequel est mis en oeuvre le procédé. Cette dernière électrode est pour cette raison appelée électrode accélératrice. Son potentiel peut être de l'ordre d'une dizaine de kilovolts (kV).

L'électrode accélératrice peut être avantageusement disposée par
25 rapport au composant de manière à générer un champ électrique avec une direction qui correspond à celle voulue pour faire migrer les charges dans le composant.

Le procédé selon l'invention peut être mis en oeuvre en association avec une source de radiations ionisantes pour constituer un
30 moyen pour majorer, dans un composant électronique, la migration des charges générées par lesdites radiations. Le procédé, dans cette

application, peut ainsi constituer un moyen pour simuler en laboratoire les dégradations du composant, dues auxdites radiations.

Pour une meilleure compréhension de l'invention, on pourra se référer aux figures 1, 2, 3 et 4.

5 La figure 1 est une représentation schématique d'un montage expérimental particulier, mais non limitatif, mettant en oeuvre l'invention dans son application à la qualification de composants vis-à-vis de radiations ionisantes.

10 Les figures 2, 3 et 4, dans des représentations graphiques, montrent l'effet du champ électrique extérieur sur le Taux Moyen de Dégradation (TMD) de différents composants sous irradiation à des débits de dose différents.

Ce taux est défini :

1 - pour les composants discrets par : $100.(\beta_{\text{pré-irrad}} - \beta) / \beta_{\text{pré-irrad}}$, où β
15 est le gain en courant

2 - pour les circuits intégrés par : $I_{\text{bias}} / I_{\text{biaspré-irrad}}$

La figure 2 représente le TMD pour des transistors PNP discrets 2N2907A en boîtier métal (nécessitant une décapsulation). Deux débits de dose (ddd), 115 et 57 krad(Si)/h, sont employés, le champ étant appliqué
20 lorsque E_{on} est précisé.

La figure 3 représente le TMD pour des transistors NPN discrets 2N3904 en boîtier plastique. Le ddd utilisé est 90 krad(Si)/h, le champ étant ou non activé.

La figure 4 représente le TMD pour le courant I_{bias} d'amplificateurs
25 opérationnels LM741 irradiés à 90 krad(Si)/h avec ou sans champ appliqué.

Le procédé selon l'invention peut être mis en oeuvre, sans que cette utilisation particulière soit limitative, pour tester des composants électroniques soumis à des radiations ionisantes en laboratoire, dans des
30 conditions de « pire-cas », afin de qualifier des composants électroniques destinés à être embarqués dans l'espace.

Dans ce cas, la mise en oeuvre du procédé selon l'invention consiste, par exemple, à mettre le composant 1 irradié au potentiel de référence : cette condition est réalisée par la mise à la masse 2 d'au moins une broche 3 du composant (la broche de masse pour un circuit intégré
5 ou le substrat pour les composants discrets, etc). Le champ électrique accélérateur est ensuite créé par une électrode plane 4, dite accélératrice, positionnée à proximité de la face opposée aux broches du composant, dans un plan parallèle au plan du composant. Cette électrode est portée à un potentiel fortement positif de l'ordre d'une dizaine de kV et
10 préférentiellement égal à environ + 8000 V par rapport à la masse.

Dans le cas où les capots de ces composants sont conducteurs, il convient de les ouvrir pour permettre au champ électrique de pénétrer dans les oxydes des composants.

Il est aussi nécessaire d'isoler le composant de l'électrode
15 accélératrice 4. Ceci est réalisé lorsque le composant ne dispose pas déjà d'un enrobage isolant, en disposant un film isolant 5 entre l'électrode accélératrice 4 et le composant 1.

Les irradiations étant le plus souvent réalisées au moyen de sources Co_{60} 6, on pourra utiliser une électrode en aluminium qui aura
20 l'avantage de réaliser l'équilibre électronique du rayonnement et donc satisfaire au mieux les normes de dosimétrie et d'irradiation.

L'effet de ce procédé peut être quantifié au moyen de transistors MOS dont on aura calibré préalablement la dégradation en fonction du champ électrique interne provoqué directement par la tension grille-
25 source Vgs. La comparaison des dégradations avec champ interne ou externe permet une mesure du champ externe appliqué.

Le procédé amène d'autant plus de dégradations que le débit de dose est faible, il est donc possible d'augmenter à volonté (jusqu'à saturation) la dégradation obtenue pour une dose donnée.

30 Le procédé est ici appliqué à un composant électronique de technologie partiellement ou totalement bipolaire.

Les essais ont porté sur des transistors discrets de types NPN et PNP et sur des circuits intégrés de type Amplificateurs Opérationnels (AO) bipolaires.

Les paramètres étudiés pour évaluer la dégradation sont :

5 1. La chute du gain en courant β ou H_{fe} des transistors bipolaires NPN ou PNP.

2. L'augmentation des courants de polarisation (I_{bias}) ou d'offset (I_{offset}) des Amplificateurs Opérationnels.

Les résultats de ces essais sont représentés sur les figures 2, 3 et 4.

10 L'application visée est l'utilisation de ce procédé pour une évaluation, réalisant des conditions de « pire-cas », de la tenue en dose absorbée des composants électroniques de technologie bipolaire ou BICMOS destinés à des applications spatiales.

15 Le procédé peut aussi être utilisé pour tester la fiabilité de composants électroniques 1 vis-à-vis de la migration latente d'impuretés.

Revendications

1. Procédé destiné à assurer une migration de charges dans au moins un composant électronique (1) caractérisé en ce que l'on applique
5 un champ électrique par un moyen externe audit composant.

2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que le champ électrique est produit entre deux électrodes, l'une, reliée à la masse (2) et à au moins l'une des broches (3) du composant (1), l'autre, dite électrode accélératrice (4), positionnée à proximité du composant (1) mais
10 électriquement isolée de celui-ci, et portée à un potentiel tel que le champ électrique entre le composant (1) et l'électrode accélératrice (4) est supérieur à la valeur minimale efficace pour le transport des charges et inférieur à la valeur de claquage du milieu dans lequel est mis en oeuvre le procédé.

15 3. Procédé selon la revendication 2 caractérisé en ce que ladite électrode accélératrice (4) est disposée par rapport au composant (1) de manière à générer ledit champ électrique avec une direction qui correspond à celle voulue pour faire migrer les charges dans le composant (1).

20 4. Procédé selon la revendication 3 caractérisé en ce que l'électrode accélératrice (4) est parallèle à la face du composant (1) opposée à celle où se situe les broches (3).

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il constitue, en association avec une source (6) de radiations
25 ionisantes, un moyen pour majorer la migration des charges générées par lesdites radiations dans le composant (1).

6. Procédé selon la revendication 5 caractérisé en ce qu'il constitue un moyen de simuler les dégradations dues auxdites radiations du composant (1), de technologie partiellement ou totalement bipolaire.

30 7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que le potentiel de l'électrode accélératrice (4) par rapport

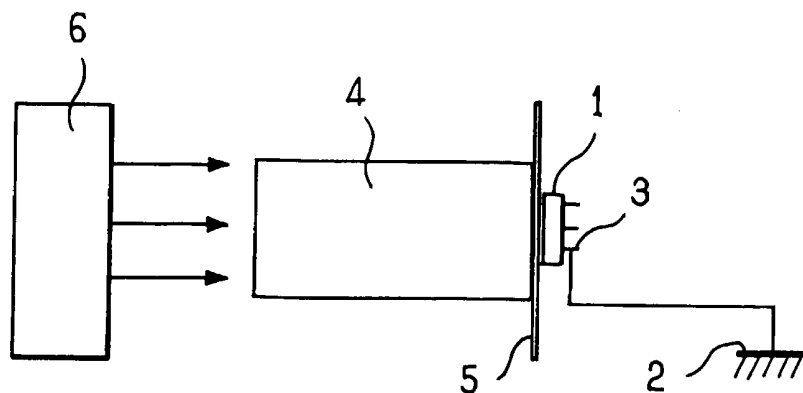
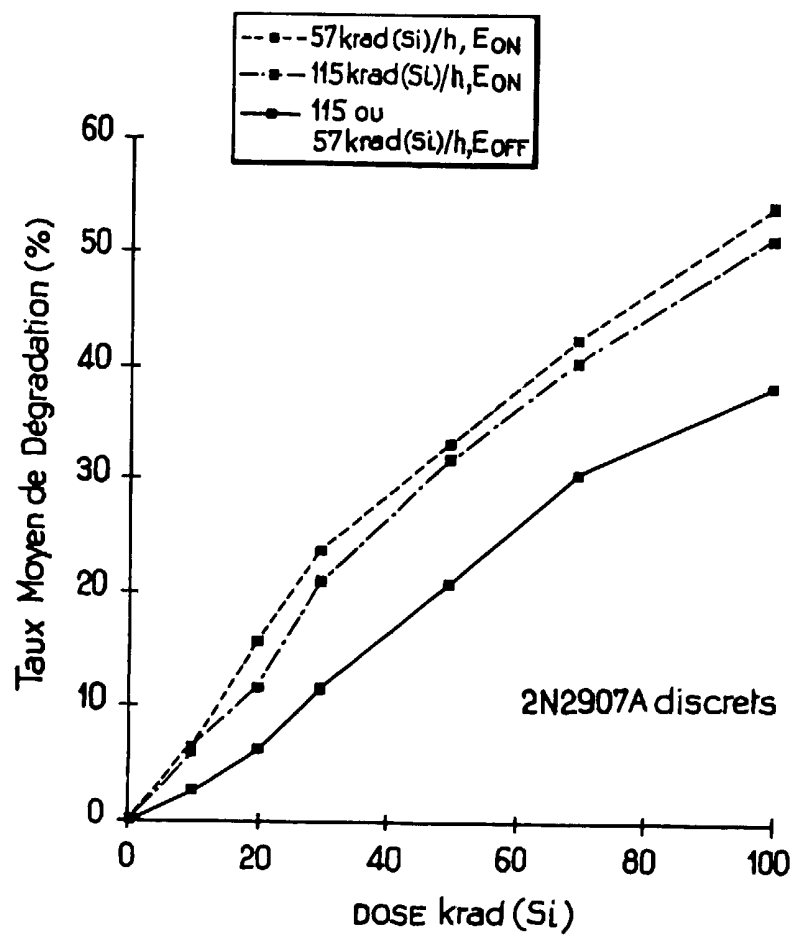
à la masse est de l'ordre d'une dizaine de kV, et préférentiellement égal à environ 8 kV.

8. Utilisation du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes pour tester un composant (1) soumis à des
5 radiations ionisantes.

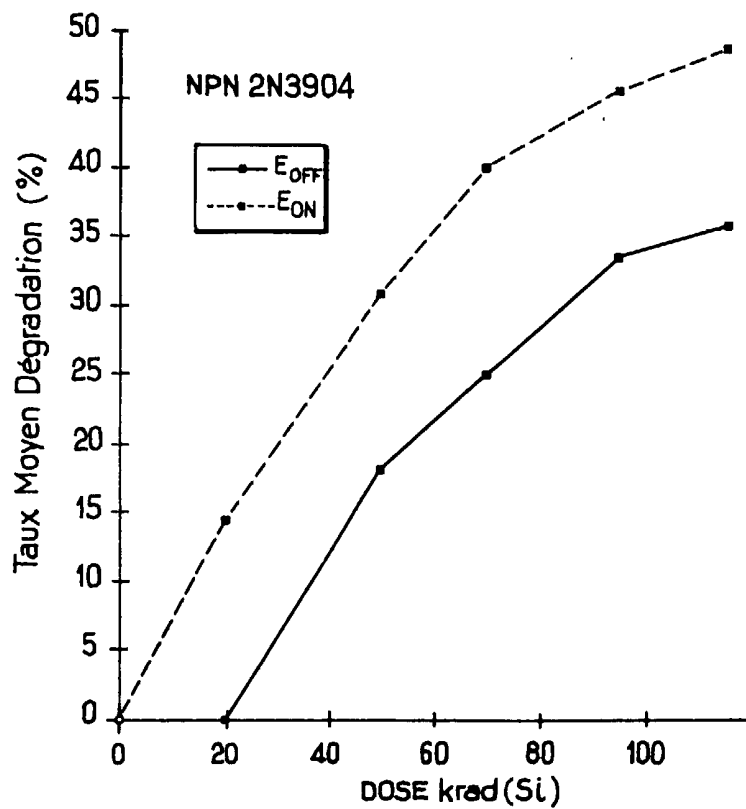
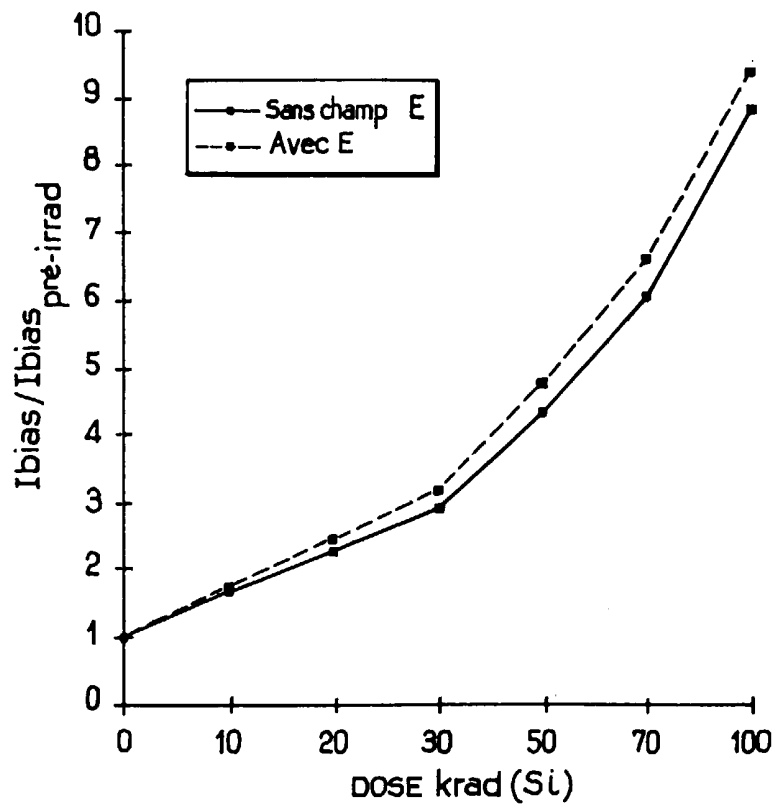
9. Utilisation du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes pour tester, dans des conditions de « pire-cas », des composants électroniques (1) destinés à être embarqués dans l'espace.

10 10. Utilisation du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 pour tester la fiabilité de composants électroniques (1) vis-à-vis de la migration latente d'impuretés.

1 / 2

FIG. 1FIG. 2

2 / 2

FIG. 3FIG. 4

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 013, no. 443 (P-941), 5 octobre 1989 & JP 01 170867 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP), 5 juillet 1989, * abrégé *	1-4
Y		5,7,8
A		9,10
Y	--- US 4 323 842 A (MCGARRITY JAMES M ET AL) 6 avril 1982	7,8
A	* abrégé * * colonne 2, ligne 33 - ligne 39 * * colonne 4, ligne 26 - ligne 35 * * colonne 5, ligne 3 - ligne 19 * * colonne 6, ligne 47 - ligne 60 *	9,10
Y	--- US 5 528 043 A (SPIVEY BRETT ET AL) 18 juin 1996	5
A	* abrégé * * colonne 2, ligne 15 - ligne 33 * * figure 1 *	6
X	--- US 4 014 772 A (WOODS MURRAY HENDERSON ET AL) 29 mars 1977 * abrégé * * colonne 2, ligne 12 - ligne 25 * * figure *	1
A	--- US 4 758 786 A (HAFEMAN DEAN G) 19 juillet 1988 * abrégé * * colonne 1, ligne 51 - colonne 2, ligne 3 * * figure 2 *	1

Date d'achèvement de la recherche		Examineur
29 avril 1998		Lopez-Carrasco, A
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intermédiaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant		