

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :
(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 500 959

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21) **N° 81 03982**

(54) Boîtier de dispositif électronique à forte dissipation thermique.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). H 01 L 23/46, 23/02.

(22) Date de dépôt..... 27 février 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 35 du 3-9-1982.

(71) Déposant : Société dite : THOMSON-CSF, société anonyme, résidant en France.

(72) Invention de : Christian Val.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Thomson-CSF, S.C.P.I.,
173, bd Haussmann, 75360 Paris Cedex 08.

A
BOITIER DE DISPOSITIF ELECTRONIQUE

A FORTE DISSIPATION THERMIQUE

L'invention concerne un boitier de semiconducteur de puissance, ce boitier réunissant dans un même ensemble les fonctions d'encapsulation du semiconducteur et de refroidissement des calories dégagées par le semiconducteur en fonctionnement, le refroidissement étant assuré par un flux thermique dirigé depuis l'embase vers le couvercle du boitier.

- De façon tout à fait générale et schématique, un boitier d'encapsulation de semiconducteur de puissance est composé d'une embase et d'un couvercle. La pastille de semiconducteur est fixée sur l'embase, quelquefois directement par brasure, mais également par l'intermédiaire d'une pastille isolante électriquement et bonne conductrice de la chaleur, et les connexions d'accès à la pastille de semiconducteur traversent l'embase. Le couvercle qui est fixé, après le montage de la pastille sur l'embase, a essentiellement une fonction de protection mécanique du semiconducteur. Dans certains cas toutefois, c'est à dire dans le cas d'encapsulation de certains thyristors, triacs, ou dans un domaine très voisin, dans le cas de circuits hybrides, il arrive que les connexions traversent le couvercle du boitier. L'état actuel de la technologie de réalisation des semiconducteurs fait qu'une limitation à la puissance des semiconducteurs, qu'ils soient sous forme discrète ou sous forme de circuit hybride, est apportée par le problème de l'évacuation de la chaleur dégagée au niveau des jonctions dans le semiconducteur, c'est à dire au niveau de la pastille de semiconducteur. Les résultats atteints avec la technologie actuelle sont extrêmement positifs, mais ils n'empêchent pas que le problème de l'évacuation des calories n'est pas totalement résolu.
- Selon l'art connu, le flux de chaleur dans les boîtiers conventionnels est dirigé depuis la pastille de semiconducteur vers un radiateur qui est fixé contre l'embase du boitier. C'est à dire que le flux de chaleur suit une direction qui va de la pastille de semiconducteur vers son substrat et vers un radiateur en contact mécanique et thermique avec l'embase du boitier. Mais l'évacuation des calories se heurte dans ce cas à une chaîne de résistances

thermiques qui sont au nombre de sept et qui sont :

- la résistance thermique dans l'épaisseur du substrat du semiconducteur, c'est à dire classiquement le silicium ;
- la résistance thermique de brasure de la pastille sur un isolant, le cas 5 échéant ;
- la résistance thermique de l'isolant électrique ;
- la résistance thermique de brasure de l'isolant sur l'embase du boitier ;
- la résistance thermique de l'embase de boitier lui-même ;
- 10 - la résistance thermique de contact de l'embase avec le radiateur ;
- la résistance thermique du radiateur lui-même.

Ce schéma de sept résistances thermiques peut évidemment être simplifié si, par exemple, la pastille du semiconducteur est directement brasée sur l'embase métallique d'un boitier d'encapsulation, ou si, autre 15 exemple, il s'agit de la pastille d'un semiconducteur brasée sur un substrat en oxyde de beryllium ou en alumine qui dans un circuit hybride remplit la double fonction d'embase du boitier d'encapsulation et d'isolant électrique.

De toutes façons, l'évacuation des calories dans les boîtiers classiques montés sur un radiateur du côté de leur embase, présente une chaîne de 20 résistances thermiques qui diminue l'efficacité des systèmes de refroidissement.

Selon l'invention, le flux de chaleur et la direction dans laquelle ce flux de chaleur est évacué est inversé par rapport à l'art connu. Ainsi, dans un boitier de semiconducteur selon l'invention, le flux est dirigé depuis la 25 pastille de semiconducteur vers un radiateur constitué par le couvercle du boitier d'encapsulation, le transfert des calories se faisant au moyen d'un fluide caloporteur qui baigne la ou les pastilles de semiconducteur, au contact de laquelle il entre en ébullition : les vapeurs du liquide caloporteur, se déplaçant à l'intérieur du boitier vont se condenser sur la paroi interne du 30 couvercle du boitier d'encapsulation. Dans ce cas, la chaîne des résistances thermiques est diminuée et ne comporte plus que :

- la résistance thermique dans l'épaisseur de la pastille du semiconducteur ;
- la résistance thermique de transfert en phase gazeuse depuis la

pastille de semiconducteur vers le radiateur ;

- la résistance thermique du couvercle de boîtier qui est adapté pour remplir la fonction de radiateur.

En outre, la chaîne est diminuée, dans certains cas de boîtier, du fait 5 des connexions externes qui aboutissent sur la pastille de semiconducteur, lorsque ces connexions traversent le couvercle de boîtier.

L'invention concerne donc un boîtier de semiconducteur de puissance comportant une embase sur laquelle est fixé au moins un semiconducteur de puissance, et un capot de boîtier, embase et capot étant rendus solidaires 10 sur leur pourtour pour former une cavité étanche, qui enferme le dispositif électronique, ce boîtier étant caractérisé en ce qu'un liquide caloporteur est introduit à l'intérieur du boîtier qu'il remplit partiellement, en contact direct avec le dispositif électronique, et en ce que les calories dégagées par le dispositif électronique au cours de son fonctionnement sont principalement éliminées par le capot du boîtier, par l'intermédiaire du liquide dont 15 les vapeurs, à l'ébullition, se condensent sur la paroi interne du capot.

L'invention sera mieux comprise par la description d'un exemple de réalisation, laquelle s'appuie sur les figures suivantes qui représentent :

- figure 1 : schéma d'évacuation des calories dégagées par un semiconducteur dans un dispositif selon l'art connu ;

- figure 2 : schéma d'évacuation des calories dégagées par un semiconducteur dans un dispositif selon l'invention ;

- figure 3 : vue en coupe d'un boîtier d'encapsulation incorporant le dispositif de refroidissement selon l'invention ;

25 - figure 4 : une vue partielle du couvercle de boîtier montrant des détails de réalisation du dispositif.

L'invention est applicable à différents types de boîtiers, tels que les boîtiers de diodes, thyristors, triacs, de type DO₄ ou DO₅, ou encore à des boîtiers du genre des boîtiers de circuits hybrides, et elle est applicable à 30 une ou plusieurs pastilles encapsulées dans un seul boîtier : de façon à clarifier l'exposé, la description d'un exemple de réalisation se fera sur le cas d'une seule pastille de semiconducteur encapsulée dans un boîtier céramique de circuit hybride.

La figure 1 est un schéma en coupe partielle d'une pastille de

semiconducteur montée dans un dispositif classique. Elle permet de représenter le système d'évacuation des calories dégagées par le semiconducteur au cours de son fonctionnement.

Sur cette figure, la pastille de semiconducteur 1 est soudée par l'intermédiaire d'une brasure 2 sur une métallisation 3 déposée sur le fond de boîtier céramique 4 d'un circuit hybride de grandes dimensions. Celui-ci est à son tour soudé par l'intermédiaire d'une brasure 5 sur un radiateur 6. Les contacts sur la pastille de semiconducteur sont pris par des connexions 7 sur des métallisations 8.

Dans ce montage classique, le flux thermique principal est dirigé du semiconducteur vers le radiateur, à travers l'isolant et l'embase du boîtier, ainsi que les métallisations, ce qui est représenté sur la figure 1 par une série de flèches. Les résistances thermiques qui limitent l'évacuation de ce flux thermique et par conséquent la puissance disponible du semiconducteur, sont entre autres :

- la résistance thermique dans l'épaisseur du substrat 1 du semiconducteur ;
- celle de la brasure 2 et de la métallisation 3 de soudure de pastille sur le substrat isolant.

Cette résistance thermique est liée au manque toujours possible d'uniformité dans la brasure et à la présence éventuelle de bulles, impossible à déceler puisqu'elles se trouvent entre une pastille opaque de silicium et un substrat céramique opaque ;

- celle du pavé isolant 4.

Dans le cas d'un circuit hybride, l'isolant 4 constitue le fond du boîtier du circuit hybride, mais dans le cas d'un semiconducteur monté dans un boîtier métallique de transistor de puissance par exemple, l'isolant est souvent constitué par un pavé d'oxyde de beryllium qui isole le collecteur du transistor de son boîtier d'encapsulation. Ce point est particulièrement important puisqu'il conduit à choisir l'oxyde de beryllium, malgré les dangers présentés par sa nocivité, plutôt que l'alumine comme isolant, car le coefficient de conductivité thermique de l'alumine est 10 fois inférieur à celui de l'oxyde de beryllium, ce qui constitue donc pour les puissances élevées une limitation inacceptable.

- Celle de la brasure 5, de l'isolant sur le radiateur 6.

Les graisses ou les intermédiaires visqueux ne sont pas admis dans certains types de matériels tels que les matériels militaires ou spatiaux, et seuls les collages ou les brasures peuvent assurer une liaison thermique 5 reproductible. Il n'en reste pas moins que la fixation du substrat 4 sur un radiateur 6 se fait par l'intermédiaire d'un interface 5 qui présente donc toujours une résistance thermique non négligeable.

- Celle enfin du radiateur 6.

Le radiateur 6 peut être selon les cas un radiateur en alliage 10 d'aluminium muni d'ailettes bien connu, ou plus simplement une tôle ou une tôle émaillée telle qu'utilisée dans les montages de circuits hybrides de grandes dimensions. L'efficacité du radiateur 6 dépend de sa forme : toutefois, comme l'aluminium et ses alliages ou le cuivre sont le plus généralement utilisés, d'importants problèmes de désadaptation se posent par effet 15 bilame entre le substrat et le radiateur, dès que le boîtier d'encapsulation du ou des semiconducteurs atteint des dimensions notables.

La présente invention obtient des résultats supérieurs aux résultats obtenus avec les boîtiers classiques, grâce à l'inversion du sens du flux 20 thermique. La somme des résistances thermiques mises en évidence à l'occasion de la figure 1 n'est plus à considérer car le flux thermique dans le dispositif selon l'invention est transmis de la pastille de semiconducteur vers le radiateur au moyen d'un seul intermédiaire qui est un liquide caloduc, inerte vis à vis des pastilles de semiconducteur.

La figure 2 représente le schéma d'évacuation des calories dans un 25 boîtier selon l'invention. Elle est à rapprocher pour comparaison avec la figure 1.

Dans ce montage, la pastille de semiconducteur 1 est brasée par l'intermédiaire d'une brasure 2 sur une métallisation 3, sur un substrat 4 ou sur un fond de boîtier. Ce montage est tout à fait classique. Mais les 30 calories dégagées par la pastille de semiconducteur sont évacuées, telles que représentées par une série de flèches, directement de la pastille de semiconducteur 1 vers le couvercle de boîtier 9 par l'intermédiaire d'un liquide caloporteur 10 qui baigne la pastille de semiconducteur.

Le liquide caloporteur est un liquide à point d'ébullition relativement

faible, compris entre 50 et 200°C par exemple et chimiquement inerte vis à vis des composants qui sont encapsulés à l'intérieur du boîtier. Le liquide caloporteur, en contact avec la pastille de semiconducteur, entre en ébullition, en raison des calories dégagées par le semiconducteur, et les 5 vapeurs chaudes du liquide vont se condenser au contact de la paroi interne du couvercle du boîtier, celui-ci étant réalisé en un matériau et selon une forme telle qu'il remplit la fonction de radiateur pour dissiper le flux thermique provenant du semiconducteur.

Dans le cas du dispositif de refroidissement selon l'invention, il faut 10 alors considérer la chaîne des résistances thermiques présentées par :

- La résistance thermique dans l'épaisseur de la pastille de semiconducteur. Les calories étant dégagées au niveau des jonctions, dont une partie est en surface et une partie également à l'intérieur du cristal, il ne faut pas négliger les transferts des chaleurs depuis l'intérieur du cristal 15 jusqu'à sa surface externe.

- La résistance thermique de transfert en phase gazeuse de la pastille de semiconducteur vers le radiateur. Une certaine résistance thermique de contact entre la surface extérieure du cristal de semiconducteur 1 et le liquide caloporteur 10 peut éventuellement apparaître s'il y a formation de bulles, mais cette formation de bulles est à la base même de la notion 20 d'ébullition, et le transfert thermique est maximal à la température d'ébullition. Il existe actuellement une grande variété de liquides stables dont les températures d'ébullition, sous atmosphère, sont situées entre 50 et un peu plus de 200°C. Pour ces liquides stables, du type des dérivés 25 organiques fluorés, la chaleur de vaporisation en calories par gramme est comprise entre 16 et 21, et la rigidité diélectrique en kilovolts par millimètre est comprise entre 15 et 18, ce qui est amplement suffisant pour permettre de refroidir un semiconducteur sans altérer les caractéristiques électriques.

- La résistance thermique due au radiateur et à sa forme. Le radiateur 30 étant constitué par le couvercle 9 du boîtier, celui-ci sera préférentiellement réalisé soit en oxyde de beryllium, ou en une céramique bonne conductrice de la chaleur, soit en un alliage métallique doté de passages et d'isolateurs, au niveau des connexions externes 7 du semiconducteur ou du

circuit hybride encapsulé. Le radiateur est également préférentiellement moulé puisque le moulage est le type de fabrication le plus aisé, qu'il s'agisse d'aluminium ou d'oxyde de beryllium fritté à chaud, avec des ailettes de dissipation extérieure.

5 Les conséquences principales de ce dispositif de refroidissement sont donc les suivantes :

- En raison de l'inertie chimique des liquides de refroidissement, il est possible de laisser un contact direct entre les surfaces des pastilles de semiconducteurs à refroidir et les liquides caloporteurs.

10 - Le chemin thermique étant beaucoup plus court que dans un schéma classique, et ne passant plus par le substrat du circuit hybride, il devient possible d'utiliser des substrats en alumine plutôt qu'en oxyde de beryllium, auxquels sont liés des problèmes de toxicité et d'adhérence des conducteurs au moyen d'interfaces en métaux réfractaires de type molybdène, molyb-

15 dène/manganèse, molybdène/tungstène, et tungstène.

- Les problèmes de liaison entre le substrat et le radiateur, c'est à dire l'effet bilame qui a été précédemment évoqué, deviennent beaucoup moins critiques puisque le radiateur fixé éventuellement du côté du substrat n'est plus chargé d'évacuer que quelques pourcents du flux thermique. Ainsi, le
20 montage d'un boîtier selon l'invention sur un radiateur 6 tel que représenté en figure 2 reste une possibilité technique, mais n'est pas une obligation et le radiateur peut alors être constitué par une tôle dans le genre des tôles émaillées, supports de circuits de grandes dimensions.

- L'utilisation de liquides caloporteurs du type des composés organiques fluorés, directement sur des pastilles nues de semiconducteurs est possible en raison des passivations minérales, fréquemment appelées glassifications, mises au point sur les filières technologiques des semiconducteurs de puissance.

La figure 3 représente une vue en coupe d'un boîtier d'encapsulation
30 comportant le dispositif selon l'invention, le boîtier représenté étant, comme dans les cas précédents, celui d'un circuit hybride.

Le boîtier à forte dissipation de chaleur comporte un substrat 4 sur lequel est soudé un capot 9 au moyen de brasure ou de soudure tendre effectuée sur le pourtour extérieur du capot en 11. Le capot est réalisé soit

- en oxyde de beryllium, soit en alumine ou en céramique bonne conductrice de la chaleur, ou encore en un alliage métallique ; dans ce cas il doit comporter les moyens nécessaires pour assurer l'isolement des connexions externes 7 et éviter que celles-ci ne soient court-circuitées entre elles par le métal du capot. Sur le substrat 4 est réalisé un circuit selon l'art classique comportant un certain nombre de semiconducteurs ou d'éléments 1 et 1', fixés sur le substrat par l'intermédiaire de brasures 2 qui sont réalisées sur des métallisations 3. Les connexions externes 7, qui sur cette figure sont représentées à sorties à travers le capot 9 passent à travers des trous 14 dans le capot et l'étanchéité est assurée par des soudures 12 sur des métallisations 13 qui entourent les trous 14 dans le capot 9. Un liquide bon conducteur de la chaleur, 10, est introduit à l'intérieur du boîtier et celui-ci est rendu étanche par différents moyens, dont la soudure d'une pastille 15 sur l'un des trous 14 prévus à cet effet.
- 15 Accessoirement, le boîtier peut également, selon l'art connu, être fixé sur un radiateur auxiliaire 6, ou sur une plaque dissipant la chaleur, par l'intermédiaire d'une couche de colle ou d'une brasure en 5.
- Concernant l'introduction du liquide à l'intérieur du boîtier, et la conservation de ce liquide, plusieurs méthodes peuvent être utilisées. Le boîtier étant presque achevé dans sa réalisation, il est nécessaire qu'il comporte au moins un orifice d'accès 14 pour introduire le liquide caloporteur à l'intérieur du boîtier, au moyen d'une seringue, ou d'une pipette ou de tout autre moyen. L'introduction du liquide caloporteur se fait avantageusement en atmosphère d'azote sec.
- 25 Si le moyen d'introduction du liquide à l'intérieur du boîtier est un trou 14, tel qu'il est représenté figure 3, un bouchon céramique ou métallique est appliqué sur le trou 14 et brasé sur la métallisation 13 de ce trou au moyen d'un système de chauffage localisé tel qu'un fer à souder ou un chalumeau à air chaud. Le passage d'un boîtier dans un four tunnel n'est pas possible puisque cette opération ferait bouillir le liquide et par conséquent déplacerait le bouchon 15 pendant son opération de fixation.

D'autres procédés de soudure peuvent également utilisés, tels que par exemple la soudure par point ou par thermocompression ou par ultrasons.

Un autre procédé d'introduction du liquide caloporteur 10 est possible.

Il suffit pour cela de réserver l'une des connexions externes 7 qui est constituée par un tube, ayant donc un orifice d'accès à l'extérieur du boîtier et un orifice à l'intérieur du boîtier. Dans ce cas, le liquide caloporteur est introduit à l'intérieur du boîtier au moyen d'une seringue dont l'aiguille 5 pénètre à l'intérieur du tube d'une connexion 7. Le liquide étant introduit en quantité suffisante, la connexion qui a servi à introduire le liquide est écrasée de façon à refermer le boîtier.

Des perfectionnements peuvent être apportés au boîtier en ce qui concerne la sécurité du fonctionnement.

10 Par exemple, l'épaisseur du bouchon 15 et le diamètre du trou 14 peuvent être calculés de façon telle que le bouchon constitue une soupape de sécurité si une pression trop importante s'élevait à l'intérieur du boîtier.

La figure 4 représente une vue d'un couvercle de boîtier montrant d'autres détails de réalisation du dispositif selon l'invention.

15 Le boîtier représenté sur la figure 4 a été simplifié, en vue d'en faciliter le dessin et la représentation schématique, et les ailettes dont il est normalement muni, afin de dissiper la chaleur, sont omises sur cette figure 4. On voit donc que le boîtier constitué par le substrat 4 et un couvercle 9 laisse apparaître sur sa face extérieure un certain nombre de 20 connexions 7 soudées chacune dans une métallisation 13. Le circuit à l'intérieur du boîtier est évoqué par quelques composants représentés en pointillés.

Une amélioration au fonctionnement du boîtier à fort refroidissement consiste à utiliser comme bouchon sur l'orifice 14 par lequel est introduit le 25 liquide caloporteur, une jauge de contrainte 16, sous forme d'une résistance déposée sur le bouchon en céramique ou tout autre jauge extensométrique ou de température existante et selon l'art connu. La jauge 16 est donc ainsi soumise à la pression et à la température interne au boîtier et il est facile de la faire intervenir dans un circuit de régulation de puissance afin de 30 limiter la température admissible à l'intérieur du boîtier ou, ce qui est lié, la pression de vapeur du liquide, en vue d'éviter la détérioration du boîtier en cas de surcharge de puissance. Dans ce cas, le module de puissance est d'une fiabilité accrue puisque sa température ne peut pas dépasser celle prévue. Ceci est d'autant plus facile à transposer que la température de jonction est

très proche, à quelques degrés près de la température de la vapeur, donc de la température de la jauge 16.

Le boitier selon l'invention a été représenté sur les différentes figures sous la forme d'un boitier de circuit hybride dont les sorties sont perpendiculaires à la surface du substrat. Il est bien entendu qu'appartient au domaine de l'invention un boitier de circuit hybride dont les connexions externes se situeraient dans le plan du substrat et sortiraient du boitier non plus par le couvercle, mais à travers la brasure 11 entre substrat et couvercle ; ceci ne nécessite qu'une couche isolante supplémentaire pour que les connexions externes 7 ne soient pas court-circuitées par le joint de brasure. Appartiennent également au domaine de l'invention les cas de boîtiers de semiconducteurs du type des boîtiers métalliques pour transistors de puissance, triacs, tyristors, etc... De façon plus générale, l'invention est précisée par les revendications ci-après.

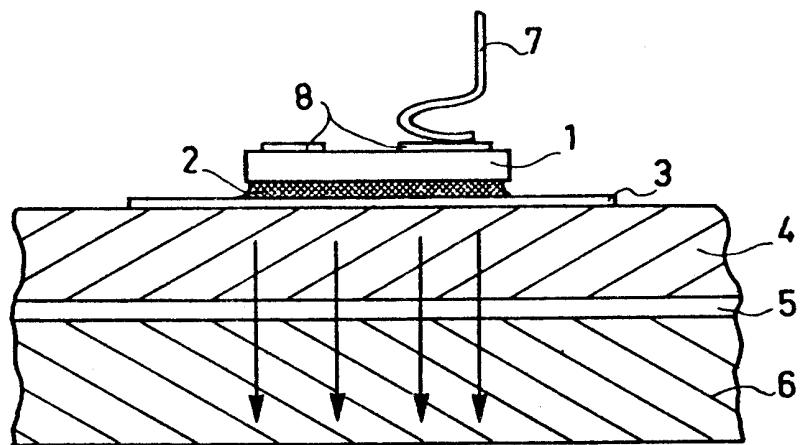
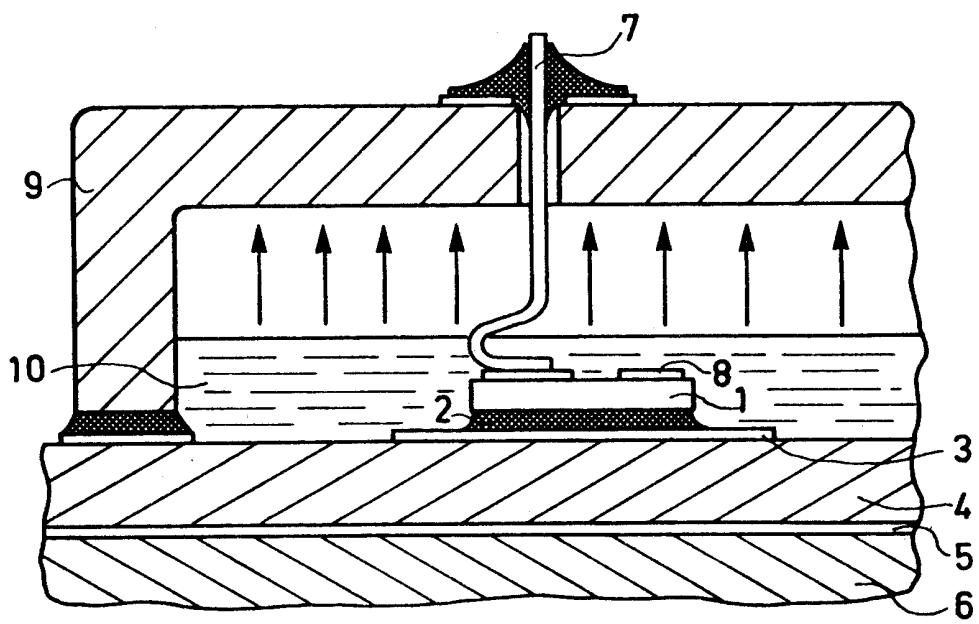
REVENDICATIONS

1. Boitier d'encapsulation pour dispositif électronique de puissance, comportant une embase (4), sur laquelle est fixée au moins un semiconducteur de puissance (1), et un capot (9) de boitier, embase et capot étant rendus solidaires sur leur pourtour (en 11) pour former une cavité étanche,
5 qui enferme le dispositif électronique, ce boitier étant caractérisé en ce qu'un liquide caloporteur (10) est introduit à l'intérieur du boitier qu'il remplit partiellement, en contact direct avec le dispositif électronique, et en ce que les calories dégagées par le dispositif électronique au cours de son fonctionnement sont principalement éliminées par le capot (9) du boitier,
10 par l'intermédiaire du liquide (10) dont les vapeurs, à l'ébullition, se condensent sur la paroi interne du capot (9).
2. Boitier d'encapsulation selon la revendication 1, caractérisé en ce que le liquide caloporteur (10) de transfert des calories vers le capot (9) est un liquide organique, chimiquement inerte et électriquement isolant, de
15 point d'ébullition compris entre 50°C et 250°C.
3. Boitier d'encapsulation selon la revendication 1, caractérisé en ce que le capot (9) du boitier est en un matériau céramique bon conducteur de la chaleur : oxyde de beryllium ou alumine.
4. Boitier d'encapsulation selon la revendication 1, caractérisé en ce
20 que le capot (9) du boitier est en métal ou alliage métallique bon conducteur de la chaleur : aluminium, cuivre, laiton.
5. Boitier d'encapsulation selon l'une quelconque des revendications 3 ou 4, caractérisé en ce que le capot (9) du boitier est muni d'ailettes de dissipation externe de la chaleur transférée.
25
6. Boitier d'encapsulation selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le capot (9) est muni d'au moins un orifice (14) de remplissage du boitier par le liquide (10), cet orifice (14) étant, après remplissage, obturé par un bouchon (15).
7. Boitier d'encapsulation selon la revendication 6, caractérisé en ce
30 que le bouchon (15) d'obturation supporte une jauge de contrainte (16), en température ou en pression, cette jauge ayant une fonction d'asservissement

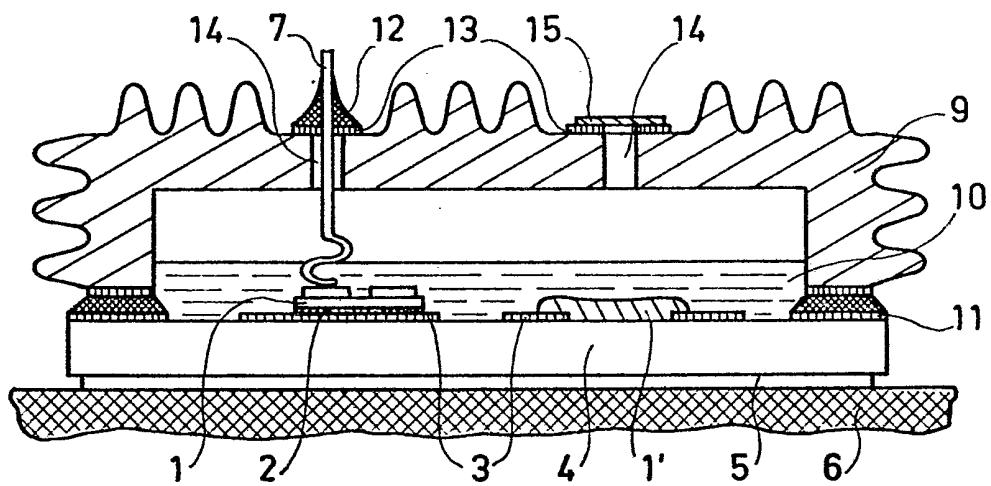
de la puissance dissipée par le dispositif encapsulé dans le boitier.

8. Boitier d'encapsulation selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'orifice (14) de remplissage est constitué par l'une des connexions (7) externes du dispositif, celle-ci étant tubulaire, et écrasée après remplissage.

1/2

FIG.1**FIG.2**

2/2

FIG. 3**FIG. 4**