

MODULE DE COMMANDE POUR IMPLANTEUR IONIQUE EN MODE IMMERSION PLASMA

La présente invention concerne un module de commande pour implantateur ionique.

Le domaine de l'invention est celui des implanteurs ioniques opérant en mode immersion plasma. Ainsi, l'implantation ionique d'un substrat consiste à l'immerger dans un plasma et à le polariser en tension négative, de quelques dizaines de Volts à quelques dizaines de kilovolts (généralement moins de 100 kV), ceci de façon à créer un champ électrique capable d'accélérer les ions du plasma vers le substrat de sorte qu'ils s'y implantent. Les atomes ainsi implantés sont dénommés dopants.

La profondeur de pénétration des ions est déterminée par leur énergie d'accélération. Elle dépend d'une part de la tension appliquée au substrat et d'autre part de la nature respective des ions et du substrat. La concentration d'atomes implantés dépend de la dose qui s'exprime en nombre d'ions par cm^2 et de la profondeur d'implantation.

Un des paramètres essentiels lors de l'implantation est la dose des dopants implantés. Cette dose doit être connue avec précision. Elle est généralement estimée au moyen du courant d'alimentation délivré par le générateur de polarisation.

On considère maintenant le cas où la polarisation du substrat est pulsée.

En référence à la figure 1, le document WO 01/15200 propose de polariser le substrat au moyen d'une alimentation qui comporte :

- un générateur GEN dont le pôle positif est raccordé à la masse,
- un premier interrupteur IT1 dont le premier pôle est raccordé au pôle négatif du générateur GEN et dont le second pôle est raccordé à la borne de sortie O de cette alimentation, et
- un deuxième interrupteur IT2 dont le premier pôle est raccordé à la borne de sortie O et dont le second pôle est raccordé à la masse.

Lorsque le premier interrupteur IT1 est ouvert et le second interrupteur IT2 est fermé, un courant de déplacement est produit qui est dû à la capacité équivalente de l'implanteur.

Cette capacité équivalente est la somme de toutes les capacités parasites de la machine :

- capacité des câbles,

- capacité entre les pièces polarisées et les pièces à la masse, notamment la capacité entre le plateau porte-substrat et la chambre d'implantation,
- capacité des transformateurs d'isolation, et
- 5 - capacité de la gaine plasma.

Il apparaît que le courant de déplacement est un courant qui ne sert pas à l'implantation mais qui dérive pourtant du courant d'alimentation.

Lorsque l'on estime la dose implantée, il convient donc de prendre en compte ce courant de déplacement pour le soustraire du courant d'alimentation.

10 Ainsi, le document US 6,433,553 propose d'agencer une capacité de mesure C_m en parallèle avec le porte-substrat.

Cette capacité de mesure C_m devrait être égale à la capacité équivalente de l'implanteur mais cette dernière est pratiquement impossible à déterminer.

15 De plus, le courant de déplacement I_d vaut la dérivée temporelle de la charge Q :

$$I_d = dQ / dt$$

La charge Q est le produit de la tension V par la capacité de mesure :

$$Q = C_m \cdot V$$

20 Il vient que :

$$I_d = C_m \cdot dV / dt + V \cdot dC_m / dt$$

Le document sus-mentionné prend en compte uniquement le premier terme de l'équation ci-dessus. Il considère que la capacité équivalente est constante, ce qui n'est pas le cas notamment du fait des variations de la gaine
25 plasma.

La présente invention a ainsi pour objet de déterminer le courant de déplacement de manière plus précise.

Selon l'invention, un module de commande pour implanteur ionique comporte une alimentation et cette alimentation comprend :

- 30 - un générateur électrique dont le pôle positif est raccordé à la masse,
- un premier interrupteur dont le premier pôle est raccordé au pôle négatif de ce générateur et dont le second pôle est raccordé à la borne de sortie de cette alimentation,
- un deuxième interrupteur dont le premier pôle est raccordé à la borne
35 de sortie et dont le second pôle est relié à une borne de neutralisation ;

de plus, ce module de commande comprend un circuit de mesure du courant qui s'écoule entre le second pôle du second interrupteur et la borne de neutralisation.

En effet le courant de déplacement s'écoule entre le plateau porte-
5 substrat et la borne de neutralisation.

Suivant une première option, la borne de neutralisation est raccordée à la masse.

Suivant une deuxième option, la borne de neutralisation est raccordée au pôle positif d'une source de tension dont le pôle négatif est raccordé à la
10 masse.

Suivant un premier mode de réalisation, le circuit de mesure de courant est une bobine entourant le câble qui relie le second pôle du second interrupteur à la borne de neutralisation.

Suivant un deuxième mode de réalisation, le circuit de mesure de
15 courant comprend une résistance de mesure connectée entre le second pôle du second interrupteur et le pôle de neutralisation, un condensateur d'intégration en parallèle sur cette résistance de mesure et un circuit de mesure de tension également en parallèle sur cette résistance de mesure.

Avantageusement, le module de commande comporte de plus un
20 condensateur de régulation agencé entre le pôle négatif du générateur et la masse.

Ainsi, le module de commande comportant un module d'estimation du courant d'implantation délivré par le générateur, il comporte encore un circuit de contrôle pour estimer le courant d'implantation par différentiation du courant
25 d'alimentation et du courant de déplacement.

Par ailleurs, le courant d'implantation étant donc la différence entre le courant d'alimentation et le courant de déplacement, ce courant d'implantation ne représente pas uniquement le courant des ions implantés.

En effet, les charges positives ne sont pas dues seulement aux ions
30 positifs atteignant le substrat, mais elles proviennent aussi de la génération d'électrons secondaires libérés à la surface du substrat.

Sur les implanteurs par faisceau d'ions, les électrons secondaires sont peu énergétiques, si bien qu'on peut les ramener vers le substrat au moyen d'une cage de Faraday qui entoure ce dernier, cette cage étant fermée
35 optiquement par une barrière de potentiel négatif.

Sur un implanteur fonctionnant en mode immersion plasma, les électrons secondaires sont accélérés avec une énergie sensiblement identique à celle des ions positifs du plasma, si bien qu'il est beaucoup plus difficile de les ramener vers le substrat.

5 La présente invention a ainsi également pour objet de prendre en compte la contribution des électrons secondaires au courant d'implantation.

Selon l'invention, le module de commande comportant un module d'estimation du courant d'alimentation délivré par le générateur, recevant un courant de perturbation issu d'un détecteur d'électrons secondaires, il comporte
10 encore un circuit de contrôle pour estimer le courant ionique en soustrayant du courant d'alimentation le courant de déplacement et le courant de perturbation.

De plus, lorsque le circuit de contrôle reçoit d'un spectromètre la proportion d'une espèce ionique prédéterminée, ce circuit de contrôle affecte cette proportion au courant ionique pour estimer la dose implantée.

15 L'invention vise encore un implanteur ionique pourvu d'un module de commande muni d'un plateau porte-substrat, la borne de sortie de cette alimentation étant raccordée au plateau porte-substrat.

La présente invention apparaîtra maintenant avec plus de détails dans le cadre de la description qui suit d'un exemple de réalisation donné à titre illustratif
20 en se référant aux figures jointes parmi lesquelles :

- la figure 1 représente une alimentation haute tension selon l'état de l'art,
- la figure 2 représente un implanteur ionique pourvu d'un module de commande,
- 25 - la figure 3 représente une alimentation électrique haute tension selon l'invention, et
- la figure 4 représente un mode de réalisation du circuit de mesure de courant.

Les éléments présents sur plusieurs figures sont affectés d'une seule et
30 même référence.

En référence à la figure 2, un implanteur ionique comporte plusieurs éléments agencés à l'intérieur et à l'extérieur d'une enceinte à vide ENV. Pour les applications microélectroniques, il est préconisé d'utiliser une enceinte en alliage d'aluminium si l'on souhaite limiter la contamination en éléments
35 métalliques tels que Fer, Chrome, Nickel ou Cobalt. Un revêtement en silicium ou en carbure de Silicium peut aussi être utilisé.

Un plateau porte substrat PPS, se présentant sous la forme d'un disque à plan horizontal, mobile autour de son axe vertical AXT, reçoit le substrat SUB devant subir l'implantation ionique.

La partie supérieure de l'enceinte ENV reçoit le corps de source CS, cylindrique, d'axe vertical AXP. Ce corps est en quartz. Il est extérieurement entouré, d'une part par des bobines de confinement BOCi, BOCj, et d'autre part par une antenne radiofréquence ANT extérieure. L'entrée de gaz plasmagène ING est coaxiale à l'axe vertical AXP du corps de source CS. Cet axe vertical AXP rencontre la surface du plateau porte substrat PPS sur lequel est disposé le substrat à implanter SUB.

Il est possible d'utiliser tout type de source plasma pulsée : décharge, ICP (pour « Inductively Coupled Plasma » en anglais), Helicon, micro-ondes, arc. Ces sources doivent travailler à des niveaux de pression suffisamment faibles pour que le champ électrique créé entre le plateau PPS à haute tension et l'enceinte ENV à la masse n'allume pas un plasma de décharge qui vienne perturber le fonctionnement pulsé de la source.

L'implanteur comporte encore un détecteur d'électrons secondaires DES disposé face au substrat SUB. Il comporte aussi un spectromètre SPC, par exemple un spectromètre de masse ou un spectromètre optique, agencé dans l'enceinte ENV. Ce spectromètre identifie la proportion de l'espèce implantée dans le plasma.

Le module de commande MP de l'implanteur comporte essentiellement quatre éléments :

- une alimentation électrique haute tension PS,
- un circuit de mesure du courant de déplacement AMP,
- un organe d'estimation du courant d'alimentation CUR, et
- un circuit de contrôle CC.

En référence à la figure 3, l'alimentation PS comporte :

- un générateur haute tension HT dont le pôle positif est raccordé à la masse,
- un premier interrupteur SW1 dont le premier pôle est raccordé au pôle négatif du générateur HT et dont le second pôle est raccordé à la borne de sortie S de cette alimentation,
- un deuxième interrupteur SW2 dont le premier pôle est raccordé à la borne de sortie S et dont le second pôle est relié à une borne de

neutralisation N soit directement, soit par l'intermédiaire d'une résistance de décharge R_d qui vaut typiquement $1k\Omega$,
- de préférence, un condensateur de régulation C_r connecté en parallèle sur le générateur HT.

5 La borne de sortie S est raccordée au plateau porte-substrat PPS de l'implanteur.

Un organe d'estimation du courant d'alimentation CUR, l'équivalent d'un ampèremètre, donne une mesure du courant d'alimentation délivré par le générateur HT au plateau porte-substrat PPS.

10 La borne de neutralisation peut être raccordée à la masse. Elle peut également être raccordée au pôle positif d'une source de tension dont le pôle négatif est raccordé à la masse. Cette tension positive est choisie sensiblement égale au potentiel plasma qui est généralement compris entre + 10 et + 20 Volts.

Un circuit de mesure de courant AMP mesure le courant de
15 déplacement qui s'écoule entre le second pôle du deuxième interrupteur SW2 et la borne de neutralisation N.

Suivant un premier mode de réalisation, ce circuit de mesure de courant est une bobine entourant le câble qui véhicule ce courant de déplacement. Il s'agit là de la mesure du courant instantané or ce courant varie
20 extrêmement rapidement. Pour éviter de recourir à une électronique de mesure rapide, on préfère mesurer la valeur moyenne de ce courant.

Ainsi, en référence à la figure 4, suivant un second mode de réalisation, le circuit de mesure du courant AMP est un circuit de moyennage. Il comprend une résistance de mesure R_m connectée entre le second pôle du second
25 interrupteur SW2 et le pôle de neutralisation, un condensateur d'intégration C_i en parallèle sur cette résistance de mesure R_m et un circuit de mesure de tension U également en parallèle sur cette résistance de mesure R_m . La tension mesurée reflète la valeur moyenne du courant de déplacement.

La résistance de mesure R_m doit avoir une valeur telle que la tension à
30 ses bornes soit suffisante pour être aisément mesurée avec précision. Sa valeur typique est de l'ordre de 10Ω .

En revenant à la figure 2, le module de commande MP comporte donc le circuit de contrôle CC qui reçoit le courant d'alimentation fourni par l'organe d'estimation du courant CUR et qui reçoit aussi le courant de déplacement fourni
35 par le circuit de mesure AMP. Il fait la différence de ces deux courants pour

calculer le courant d'implantation qui reflète beaucoup mieux la dose implantée que le courant d'alimentation.

On affine la mesure de dose de la manière suivante.

Le circuit de contrôle reçoit de plus le courant de perturbation issu du
5 détecteur d'électrons secondaires DES et il calcule maintenant le courant ionique en soustrayant du courant d'alimentation le courant de déplacement et le courant de perturbation.

On améliore encore sensiblement la mesure de dose au moyen du spectromètre SPC. Le circuit de contrôle reçoit de ce dernier la proportion de
10 l'espèce implantée dans le plasma et la multiplie par le courant ionique pour donner une estimation de la dose.

L'exemple de réalisation de l'invention présenté ci-dessus a été choisi eu égard à son caractère concret. Il ne serait cependant pas possible de répertorier de manière exhaustive tous les modes de réalisation que recouvre cette
15 invention. En particulier, tout moyen décrit peut être remplacé par un moyen équivalent sans sortir du cadre de la présente invention.

REVENDICATIONS

- 1) Module de commande pour implanteur ionique comportant une alimentation, cette alimentation comprenant :
- 5 - un générateur électrique (HT) dont le pôle positif est raccordé à la masse,
- un premier interrupteur (SW1) dont le premier pôle est raccordé au pôle négatif dudit générateur (HT) et dont le second pôle est raccordé à la borne de sortie (S) de cette alimentation,
- 10 - un deuxième interrupteur (SW2) dont le premier pôle est raccordé à ladite borne de sortie (S) et dont le second pôle est relié à une borne de neutralisation (N),
- caractérisé en ce qu'il comprend un circuit de mesure du courant (AMP) qui s'écoule entre le second pôle dudit second interrupteur (SW2) et
- 15 ladite borne de neutralisation (N).
- 2) Module de commande selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite borne de neutralisation (N) est raccordée à la masse.
- 20 3) Module de commande selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite borne de neutralisation (N) est raccordée au pôle positif d'une source de tension dont le pôle négatif est raccordé à la masse.
- 25 4) Module de commande selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit circuit de mesure de courant (AMP) est une bobine entourant le câble qui relie le second pôle dudit second interrupteur (SW2) à ladite borne de neutralisation (N).
- 30 5) Module de commande selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit circuit de mesure de courant (AMP) comprend une résistance de mesure (Rm) connectée entre le second pôle du second interrupteur (SW2) et ledit pôle de neutralisation (N), un condensateur d'intégration (Ci) en parallèle sur cette résistance de mesure (Rm) et un circuit de mesure de tension (U) également en
- 35 parallèle sur cette résistance de mesure (Rm).

- 6) Module de commande selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte de plus un condensateur de régulation (Cr) agencé entre le pôle négatif dudit générateur (HT) et la masse.
- 5
- 7) Module de commande selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que, comportant un organe d'estimation du courant d'alimentation (CUR) délivré par ledit générateur (HT), il comporte encore un circuit de contrôle (CC) pour estimer le courant d'implantation par différentiation dudit courant d'alimentation et dudit courant de déplacement (AMP).
- 10
- 8) Module de commande selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que, comportant un module d'estimation du courant d'implantation (CUR) délivré par ledit générateur (HT), recevant un courant de perturbation issu d'un détecteur d'électrons secondaires (DES), il comporte encore un circuit de contrôle (CC) pour estimer le courant ionique en soustrayant dudit courant d'alimentation ledit courant de déplacement (AMP) et ledit courant de perturbation.
- 15
- 9) Module de commande selon la revendication 8 caractérisé en ce que, ledit circuit de contrôle (CC) recevant de plus la proportion d'une espèce ionique prédéterminée d'un spectromètre (SPC), ce circuit de contrôle (CC) affecte ladite proportion audit courant ionique pour estimer la dose implantée.
- 20
- 10) Implanter ionique pourvu d'un module de commande selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que, muni d'un plateau porte-substrat (PPS), la borne de sortie (S) de cette alimentation (PS) est raccordée audit plateau porte-substrat (PPS).
- 25
- 30