



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
03.11.2004 Bulletin 2004/45

(51) Int Cl.7: **H01J 7/44, H01J 1/304**

(21) Numéro de dépôt: **04101249.3**

(22) Date de dépôt: **25.03.2004**

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR
 Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK

(72) Inventeurs:
 • **MARTIN, Jean-Luc**
38620, SAINT-GEOIRE EN VALDAINE (FR)
 • **BIETH, Claude**
38640, CLAIX (FR)
 • **DELORME, Nicolas**
38000, GRENOBLE (FR)

(30) Priorité: **27.03.2003 FR 0350071**

(71) Demandeur: **COMMISSARIAT A L'ENERGIE**
ATOMIQUE
75752 Paris Cédex 15 (FR)

(74) Mandataire: **Poulin, Gérard**
Brevatome
3, rue du Docteur Lancereaux
75008 Paris (FR)

(54) **Dispositif et procédé de commande et de contrôle d'une dose d'électrons émise par un micro-émetteur**

(57) L'invention concerne un dispositif de commande et de contrôle d'une dose d'électrons émise par un micro-émetteur comportant

- un module senseur (30) qui reçoit le courant fourni par le micro-émetteur ainsi qu'une tension pour ajuster le point de polarisation dudit dispositif,
- un module comparateur qui reçoit une tension de seuil permettant le réglage de la quantité de char-

ges à émettre,

- un module logique pour initialiser l'émission électronique, et pour définir si le micro-émetteur doit ou non émettre,
- un module de commande qui élabore les tensions nécessaires à l'initialisation et à l'extinction de l'impulsion de courant du micro-émetteur,
- des moyens de variation de la tension de seuil.

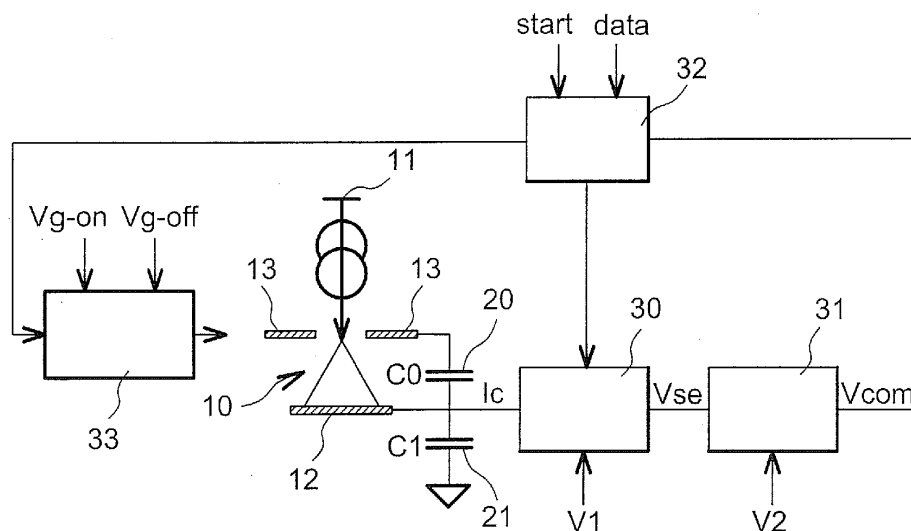


FIG. 4

Description

DOMAINE TECHNIQUE

5 [0001] La présente invention concerne un dispositif et un procédé de commande et de contrôle d'une dose d'électrons émise par un micro-émetteur, par exemple par une micropointe.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

10 [0002] Dans la suite de la description on considérera à titre d'exemple non limitatif des micro-émetteurs de type micropointes.

[0003] Le domaine des micropointes, rejoint aujourd'hui par celui des nanotubes, définit un champ d'applications tant dans le domaine des afficheurs FED (« Field Emission Display ») que celui des micro-émetteurs, dans lequel les exigences en terme de commande et de contrôle des flux émis sont très sévères.

15 [0004] Dans le cas de l'émission chaude (diodes, triodes, tubes cathodiques), les électrons acquièrent, par agitation thermique, une énergie suffisante (dénommée « travail de sortie ») pour parvenir au-dessus de la barrière de potentiel, qui les retient aux noyaux. Ils se dirigent alors vers la surface du matériau et, s'il existe un champ électrique qui les attire, ils peuvent être extraits de ce matériau. A la température ordinaire l'énergie d'agitation thermique est insuffisante pour que les électrons sortent du matériau.

20 [0005] Dans le cas de l'émission froide, qui est basée sur le principe d'un contrôle par effet de champ dans une enceinte sous vide, un effet tunnel permet aux électrons d'être extraits de l'émetteur (cathode) dans le vide, puis d'être collectés sur une anode. Les émetteurs travaillant en émission froide sont considérés comme des sources de courant commandées en tension, le flux d'électrons émis obéissant aux équations de Fowler-Nordheim.

25 [0006] C'est par exemple le cas d'une micropointe 10 en Tungstène, utilisée en émetteur d'électrons. Son schéma électrique est représenté sur la figure 1A. Un flux d'électrons s'établit entre l'anode 11 et la cathode 12. Une tension de contrôle est appliquée entre la grille d'extraction 13, dénommée « gate », et la cathode 12. La figure 1B présente le symbole comportemental d'une telle micropointe 10 utilisable avec un simulateur électrique générique (type « Spice »).

30 [0007] Le régime d'émission d'une telle micropointe 10 se caractérise par une forte non-linéarité du courant d'émission I_{tip} en fonction de la tension appliquée sur la grille d'extraction 13. Le courant de pointe I_{tip} répond à la loi :

$$35 \quad I_{tip} = a_{fn} V^2 \exp \frac{-b_{fn}}{V_{gc}}$$

[0008] Les coefficients a_{fn} et b_{fn} dépendent des caractéristiques géométriques de la micropointe. Une telle caractéristique courant-tension est illustrée sur la figure 2. Un exemple de point de fonctionnement ($I_{tip}=I_{on}$ pour $V_{gate-cathode}=V_{on}$) est représenté sur cette figure. La caractéristique idéale est référencée 14.

40 [0009] Dans la réalité, une telle caractéristique n'est pas reproductible d'une micropointe à une autre. On obtient ainsi des courbes 15 représentées en pointillé.

[0010] L'un des inconvénients de l'émission froide est donc de révéler une certaine instabilité dans la valeur du courant, ce qui équivaut à un bruit qui est engendré par des fluctuations du travail de sortie inhérentes à des contaminations de surface locales. Ces fluctuations sont variables d'une micropointe à une autre et sont également variables dans le temps, pour une même micropointe.

45 [0011] Deux types de commande de la micropointe sont possibles :

- une commande en courant par un dispositif de régulation de courant : une telle possibilité est utilisée dans les FED (« Field emission display ») via un transistor simple ou « multigate » situé en série dans le circuit de la cathode, comme décrit dans les documents référencés [1] et [2] en fin de description. Le courant émis par chaque micropointe peut théoriquement être programmé. Il est indépendant de la qualité et des caractéristiques de chaque micropointe. D'une micropointe à une autre, ou dans le temps, c'est la tension V_{gc} qui est modulée. Un des défauts d'une telle commande est de mixer au niveau du circuit de commande et de contrôle du transistor une tension basse (LV) et une tension haute (HV), parce que l'électrode d'extraction doit être portée à quelques dizaines de volts. L'affichage visuel s'accommode de la précision et de la fréquence de fonctionnement limitées de ce type de commande.

- une commande en tension : si l'on n'y prend garde, c'est le courant d'émission qui est modulé, ce qui peut être inacceptable pour certaines applications. Dans la mesure où l'excursion en courant est connue, notamment les extremums, et où la quantité à contrôler est la charge électrique, une telle solution est satisfaisante lorsqu'elle est conjuguée à une fenêtre temporelle d'observation variable, T_{nom} .

5

$$Q = I_{nom} * T_{nom} = 2I_{nom} * \frac{T_{nom}}{2} = \frac{I_{nom}}{2} * 2T_{nom}$$

10 **[0012]** Le dispositif de l'invention est un circuit de ce type, qui est naturellement plus rapide et dont les défauts de linéarité constatés sont corrigés, les circuits HV de pilotage de grille d'extraction étant indépendants des circuits LV de contrôle de la charge électrique, ce qui simplifie la mise en oeuvre du circuit et diminue la sensibilité aux bruits.

15 **[0013]** Plusieurs solutions sont donc possibles pour mesurer la quantité d'électrons émise par une micropointe. Dans certains cas, comme illustré sur les figures 3A et 3B, il est possible de travailler en régulation de courant. L'émission pendant un certain temps d'un courant calibré (générateur 16) permet de délimiter une charge électrique selon la loi $Q=I.t$. Un tel système de régulation de courant comprend un élément sensible de détection du courant de pointe 17, un élément de contrôle du courant de référence 18 et un élément de réglage du courant 19. Ce système peut fonctionner :

- 20 - En boucle ouverte dans le cas d'une calibration séquentielle, puis de la programmation d'un certain nombre de mesures avec une même référence comme illustré sur la figure 3A.
- En boucle fermée dans le cas d'un asservissement du courant en temps réel comme illustré la figure 3B, et comme décrit dans le document référencé [3].

25 **[0014]** Dans la réalisation illustrée sur la figure 3A, le cahier des charges du système doit permettre de laisser persister séquentiellement des instants nécessaires pour réaliser les calibrations. Une telle réalisation ne permet pas de corriger des imperfections du faisceau électronique dont la fréquence de récurrence est supérieure à la fréquence de rafraîchissement des calibrations.

30 **[0015]** Dans la réalisation illustrée sur la figure 3B, la stabilité de la boucle de contre-réaction est essentielle et doit être garantie le plus souvent au prix d'une compensation active de la bande passante du système bouclé, et donc au détriment de ses performances en vitesse.

[0016] Les exigences en terme de vitesse, de stabilité, de bruit, et de linéarité ne permettent pas, dans de nombreuses applications d'utiliser de telles réalisations.

35 **[0017]** Une méthode globale pour effectuer un contrôle de faibles charges électriques consiste, moyennant l'utilisation de quelques variables d'entrée de configuration, à définir la quantité de charges voulue, à interrompre le faisceau d'électrons lorsque une telle dose voulue a été atteinte (« dose control »). Dans ce cas la quantité de charges électriques est définie a priori. Le dispositif permettant un tel contrôle doit fonctionner sur une dynamique de courant de pointe, englobant notamment les fluctuations du courant dans le temps pour une même micropointe. Une telle méthode autorise théoriquement une très bonne linéarité. Toutefois, l'utilisation de modules fonctionnels réels et l'exigence d'un fonctionnement en haute fréquence se traduit par de fortes non linéarités de la charge électrique contrôlée en fonction du régime de courant.

40 **[0018]** Un document de l'art connu, référencé [4] en fin de description, décrit un réseau bidimensionnel de cathodes miniatures utilisées comme des émetteurs de faisceaux d'électrons, qui sont adressables numériquement. Ce réseau comprend une focalisation électronique interne pour chaque émetteur, un circuit de contrôle de dose d'électrons en boucle fermée permettant de piloter chaque émetteur en contrôlant précisément le débit d'électrons. Un tel circuit de contrôle de dose, connecté à un émetteur, permet d'obtenir une dose, délivrée pendant chaque cycle d'écriture, adaptée malgré des effets de désadaptation émetteur-à-émetteur, de température et de vieillissement. Ce circuit de contrôle permet de terminer l'émission à une dose fixée et non à un temps fixé. C'est un composant intégré et connecté à l'émetteur.

50 **[0019]** Mais un tel circuit de contrôle est source de non-linéarités. Il ne permet pas non plus, pour un arrangement linéaire ou bidimensionnel de micropointes, de compenser les dispersions de doses émises dues aux dispersions de courant inhérentes aux micropointes.

[0020] L'invention a pour objet de compenser de telles non linéarités, de manière à rendre le dispositif de commande linéaire et utilisable, et d'apporter des solutions spécifiques pour des dispositifs linéaires ou bidimensionnels.

55

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0021] L'invention concerne un dispositif de commande et de contrôle d'une dose d'électrons émise par un micro-

émetteur, par exemple une micropointe, caractérisé en ce qu'il comporte :

- un module senseur qui reçoit le courant fourni par le micro-émetteur ainsi qu'une tension pour ajuster le point de polarisation dudit dispositif,
- un module comparateur qui reçoit le signal de sortie dudit module senseur ainsi qu'une tension de seuil permettant le réglage de la quantité d'électrons à émettre,
- un module logique qui reçoit le signal de sortie du module comparateur, ainsi qu'un signal de démarrage pour initialiser l'émission électronique, et un signal logique pour définir si le micro-émetteur doit ou non émettre,
- un module de commande qui reçoit le signal de sortie dudit module logique qui élabore les tensions nécessaires à l'initialisation et à l'extinction de l'impulsion de courant du micro-émetteur,
- des moyens de variation de la tension de seuil tels que, pendant l'émission d'électrons, la somme $S = N_{\text{start}} + N_{\text{measure}} + N_{\text{off}}$ reste constante, N_{start} étant le nombre d'électrons du temps d'initialisation de l'impulsion de courant, N_{measure} étant le nombre d'électrons du temps de mesure de cette impulsion de courant, N_{off} étant le nombre d'électrons du temps d'extinction de cette impulsion de courant.

[0022] Dans un premier exemple de réalisation, le dispositif de l'invention comprend des moyens de modulation dans le temps de la tension de seuil à partir du signal d'initialisation de manière à programmer un contrôle de dose variable dans le temps tel que l'excès d'électrons émis pendant les temps d'initialisation et d'extinction soit strictement compensé par une diminution au cours du temps de la dose programmée.

[0023] Dans un second mode de réalisation le dispositif de l'invention comprend, en outre :

- un module de détection du courant de micro-émetteur, qui est capable de reproduire exactement le courant de pointe I_{tip} ou d'introduire un gain sur le courant,
- un module de génération de tension variable qui délivre en sortie une tension de consigne $V2 = f(I_{\text{tip}})$.

[0024] L'invention concerne également un dispositif linéaire ou matriciel de commande et de contrôle de doses d'électrons émises par un ensemble de micro-émetteurs, caractérisé en ce qu'il comporte, pour chaque micro-émetteur :

- un module senseur, qui reçoit le courant fourni par le micro-émetteur ainsi qu'une tension pour ajuster le point de polarisation,
- un module comparateur qui reçoit le signal de sortie dudit module senseur ainsi qu'une tension de seuil permettant le réglage de la quantité d'électrons à émettre,
- un module logique qui reçoit le signal de sortie du module comparateur, ainsi qu'un signal de démarrage pour initialiser l'émission électronique, et un signal logique pour définir si le micro-émetteur doit ou non émettre,
- un module de commande qui reçoit le signal de sortie dudit module logique qui élabore les tensions nécessaires à l'initialisation et à l'extinction de l'impulsion de courant du micro-émetteur,
- des moyens de variation de la tension de seuil tels que, pendant l'émission d'électrons, la somme $S = N_{\text{start}} + N_{\text{measure}} + N_{\text{off}}$ reste sensiblement constante, N_{start} étant le nombre d'électrons du temps d'initialisation de l'impulsion de courant, N_{measure} étant le nombre d'électrons du temps de mesure de cette impulsion de courant, N_{off} étant le nombre d'électrons du temps d'extinction de cette impulsion de courant

[0025] L'invention concerne également un procédé de commande et de contrôle d'une dose d'électrons émise par un micro-émetteur comportant

- une étape de conversion du courant fourni par le micro-émetteur et d'ajustement du point de polarisation de fonctionnement,
- une étape de comparaison du signal obtenu en sortie de l'étape précédente à une tension de seuil permettant le réglage de la quantité d'électrons à émettre,
- une étape logique, pour initialiser l'émission électronique, et pour définir si le micro-émetteur doit ou non émettre,
- une étape de commande qui élabore les tensions nécessaires à l'initialisation et à l'extinction de l'impulsion de courant du micro-émetteur,

caractérisé en ce qu'il comprend une étape de variation de la tension de seuil telle que, pendant l'émission d'électrons, la somme $S = N_{\text{start}} + N_{\text{measure}} + N_{\text{off}}$ reste constante, N_{start} étant le nombre d'électrons du temps d'initialisation de l'impulsion de courant, N_{measure} étant le nombre d'électrons du temps de mesure de cette impulsion de courant, N_{off} étant le nombre d'électrons du temps d'extinction de cette impulsion de courant.

[0026] Une telle invention présente un large champ d'application :

- émission électronique par cathode froide,
- commande et contrôle de faibles charges électriques,
- compensation d'erreurs de mesures de charges,
- haute fréquence de fonctionnement,
- solution compatible avec des circuits intégrés spécifiques (ASIC).

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0027]

Les figures 1A et 1B illustrent respectivement le schéma électrique, et le symbole comportemental d'une micropointe, la figure 2 illustre les caractéristiques courant-tension d'une micropointe. les figures 3A et 3B illustrent respectivement un système de régulation du courant d'une micropointe en boucle ouverte et en boucle fermée, la figure 4 illustre un dispositif de commande et de contrôle d'une dose d'électrons émise par une micropointe, la figure 5 illustre le module senseur du dispositif de la figure 4, la figure 6 illustre le module comparateur du dispositif de la figure 4, les figures 7A et 7B sont des chronogrammes illustrant le fonctionnement du dispositif de la figure 4, la figure 8 illustre une matérialisation de l'erreur sur le nombre d'électrons programmés, la figure 9 illustre une compensation de l'erreur sur le nombre d'électrons programmés par seuil variable, la figure 10 illustre la décomposition d'une impulsion de courant en temps élémentaires, la figure 11 illustre une décomposition simplifiée par rapport à celle illustré sur la figure 10, la figure 12 illustre la répartition des doses pendant les différents temps élémentaires, les figures 13A et 13B illustrent des courbes donnant le nombre d'électrons relatifs par rapport au courant de pointe respectivement sans utiliser de compensation et en utilisant une compensation active sur le courant, la figure 14 illustre un exemple de compensation temporelle selon l'invention, les figures 15 et 16 illustrent un schéma simplifié de compensation en fonction du courant de pointe selon l'invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

[0028] Le dispositif de commande et de contrôle d'une dose d'électrons émise par un micro-émetteur, illustré sur la figure 4, est constitué d'une micropointe 10, avec une anode 11, une cathode 12, et une grille d'extraction 13, capable de fournir un courant lorsque la tension de la grille d'extraction 13 par rapport à la cathode 12 devient supérieure à la tension d'extraction dans le vide. Des capacités parasites 20 et 21 sont inhérentes à la fabrication d'une telle micropointe 10 en microtechnologie.

[0029] Ce dispositif comporte :

- un module senseur 30 qui réalise une conversion électrons-tension, et qui reçoit le courant I_c fourni par cette micropointe 10 ainsi qu'une tension V_1 pour ajuster le point de polarisation dudit dispositif, la sensibilité d'un module $\mathfrak{R}$ pouvant s'exprimer en volts/électrons,
- un module comparateur 31 qui reçoit le signal de sortie V_{se} dudit module senseur 30 ainsi qu'une tension de seuil V_2 permettant le réglage de la quantité d'électrons à émettre, et qui délivre un signal de détection de charge suffisante V_{com} ,
- un module logique 32 qui reçoit ce signal V_{com} , ainsi qu'un signal de démarrage Start pour initialiser l'émission électronique, et un signal logique data pour définir si la micropointe doit ou non émettre,
- un module de commande 33 qui reçoit le signal de sortie dudit module logique 32 ainsi que des signaux V_{g-on} et V_{g-off} , qui élabore les tensions nécessaires à l'initialisation et à l'extinction de l'impulsion de courant de la micropointe (plusieurs dizaines de volts).

[0030] Ce dispositif est en effet applicable à un arrangement de plusieurs micropointes soit sous la forme d'un arrangement linéaire (barette), soit sous la forme d'un arrangement bi-dimensionnel (matrice). Toutes les combinaisons d'arrangements sont également possibles. Ce dispositif peut être réalisé en technologie spécifique haute-tension, et permettre de contrôler les doses d'électrons émis avec des cadences élevées.

[0031] On va à présent analyser chacun de ces modules 30, 31, 32 et 33.

Module senseur 30

[0032] Le rôle de ce module 30 est de traiter l'information de base disponible sur la micropointe 10 et de la convertir en une grandeur qui puisse être comparée à une grandeur d'entrée, afin de prendre une décision sur le nombre N d'électrons émis.

[0033] Ce module peut être avantageusement constitué d'un amplificateur CTIA (« capacitive transimpédance amplifier ») qui réalise une conversion courant-tension. La variable d'entrée est alors le courant cathode de la micropointe I_c . Cet amplificateur se caractérise par son gain de conversion R qui s'exprime en Volt/e⁻. Il est constitué d'un amplificateur 35, d'un condensateur de contre-réaction (C_{fb}) 36, et d'un dispositif de remise à zéro 37. On obtient pour l'excursion de sortie ΔV_s du module senseur :

$$\Delta V_s = \frac{-I_c * T_{int}}{C_{fb}} = \frac{N * q_e}{C_{fb}} = N \mathfrak{R}$$

[0034] Une telle solution est avantageuse par rapport à une solution réalisant une intégration directe sur la capacité de micropointe pour plusieurs raisons :

- Elle n'est pas sensible, en ce qui concerne le signal, aux capacités parasites situées en amont.
- Son gain de conversion peut être fixé de manière précise. Il est défini par la valeur de C_{fb} . Il peut être, par exemple, de 23μV/e⁻ pour $C_{fb} = 7fF$.
- Le point de polarisation de la cathode est fixé par la variable externe V1

Module comparateur 31

[0035] Ce module 31 reçoit sur ses entrées deux tensions analogiques :

- la tension V_{se} de sortie du module senseur 30,
- la tension de commande V2 qui fixe la valeur du seuil de comparaison.

[0036] Ce module comprend un amplificateur 40 en boucle ouverte dont le niveau de sortie comporte deux états (VDD et VSS) équivalents à deux états logiques en fonction des tensions d'entrée :

- Tant que $V_{se} > V2$, la sortie logique V_{com} reste à « 1 ».
- Lorsque $V_{se} = V2$, la sortie logique V_{com} commute et vient se positionner au « 0 » logique.

Module logique 32

[0037] Ce module 32 a plusieurs fonctions de séquençage et de génération de signaux internes. Il a pour rôle :

- de maintenir (« latch ») la prise de décision V_{com} obtenue en sortie du module comparateur 31 jusqu'à l'arrivée d'un signal de remise à zéro.
- de générer des phases non-recouvrantes utiles pour la remise à zéro du module senseur 30 et du module de commande 33.

[0038] Ce module est initialisé par un signal de démarrage start en début de séquence, et obéit au signal data, de la manière illustrée par la table suivante :

Data	Action
1	Emission de la micropointe
0	Pas d'émission de la micropointe

Module de commande 33

[0039] Ce module 33 a la charge d'établir la tension de grille d'extraction nécessaire à l'émission par la micropointe

du courant désiré de manière synchrone avec l'apparition du signal start. Lorsque la dose d'électrons émis a été atteinte (signal de décision Vcom émis par le module comparateur 31). Ce module 33 coupe le flux en amenant la tension de grille d'extraction à un niveau tel que le courant électronique est diminué de plusieurs décades. Ces valeurs d'allumage et d'extinction dépendent de la transconductance de la micropointe et de son modèle géométrique. Les tensions de pilotage peuvent être commutées de 20V à 50V environ, ce qui nécessite alors l'usage d'une technologie spécifique haute tension (HVCMOS). La principale fonction de ce module 33 est donc de réaliser la translation de niveau [0-3v] à [20v-50v].

[0040] Un tel dispositif de commande et de contrôle présente de nombreuses limitations, inhérentes au principe utilisé. En effet, la tension V_{se} obtenue en sortie du module senseur 30 est proportionnelle au courant de cathode I_c émis par la micropointe. En considérant V1 comme le niveau de tension d'initialisation, le nombre N_e d'électrons émis par la micropointe est tel que :

$$N_e = \frac{Q_c}{q} = \frac{(V_{se} - V1)}{\mathfrak{R}} \quad \text{avec} \quad \mathfrak{R} = \frac{q}{C_{fb}}$$

[0041] Q_c étant la charge électrique émise et q la charge de l'électron.

[0042] Une charge calibrée Q_c peut donc être programmée par V2 avec la relation :

$$N_C = \frac{Q_c}{q} = \frac{(V2 - V1)}{\mathfrak{R}}$$

[0043] La valeur du seuil de comparaison V2 fixe la charge électrique programmée. Si tous les modules étaient parfaits, le module senseur 30 transmettrait immédiatement une représentation V_{se} du courant cathode I_c , le module comparateur 31 ne présenterait aucun retard, et la commande de grille d'extraction actionnerait instantanément l'établissement ou l'extinction du flux électronique, selon le chronogramme de la figure 7A. Quel que soit alors le niveau du courant électronique, la charge émise serait identique et, comme illustré sur la figure 7B :

- un courant nominal $I_{c_{nom}}$ serait interrompu au bout d'un temps t_{nom} .
- un courant $2 \cdot I_{c_{nom}}$ serait interrompu au bout d'un temps $t_{nom}/2$.
- un courant nominal $0.5 \cdot I_{c_{nom}}$ serait interrompu au bout d'un temps $2 \cdot t_{nom}$.

Les aires représentées en grisé dans chacun des trois cas sont égales.

[0044] Dans la réalité, la durée globale de l'impulsion de courant n'est pas linéaire en fonction du niveau de courant programmé. En effet, à cause des capacités parasites 20 et 21 évoquées précédemment, une commutation de plusieurs dizaines de volts de la grille d'extraction 13 perturbe transitoirement l'entrée du module senseur 30 dont il faut maintenir la polarisation pour éviter toute saturation de celui-ci. Une telle saturation nécessiterait alors une constante de temps importante pour un retour à l'équilibre et ne permettrait pas un fonctionnement en haute fréquence. Pendant ce temps de maintien de la polarisation du module senseur 30 à l'établissement du flux électronique, des charges électroniques sont déjà émises et sont à comptabiliser dans le bilan global des charges émises, bien qu'on ne puisse pas les mesurer car elles dépendent du niveau de courant qui n'est pas connu d'emblée. Un tel phénomène est une première source de non-linéarités.

[0045] Un autre phénomène se produit à l'extinction du faisceau électronique, lorsque V_{se} atteint V2. Le module comparateur 31 présente un retard à la prise de décision inhérent à tout module électronique. Pendant ce retard, la micropointe 10 continue d'émettre et il existe donc une charge d'extinction additionnelle qui s'ajoute dans le bilan global des charges émises. La figure 8, qui représente une matérialisation de l'erreur sur le nombre N d'électrons programmés, illustre un tel phénomène. Si l'on trace, en fonction du temps, le nombre d'électrons émis par rapport au nombre d'électrons programmés, à retard constant on constate une erreur sur le nombre d'électrons émis qui dépend du niveau de courant. Sur cette figure la courbe 45 correspond à $2 \cdot I_{nom}$, la courbe 46 correspond à I_{nom} et la courbe 47 à $I_{nom}/2$, la courbe 48 correspond au nombre d'électrons émis. Il y a donc un dépassement (« overshoot ») sur la charge émise par rapport à la charge programmée, ce qui est une seconde source de non-linéarités.

[0046] Une première solution pour compenser de telles non-linéarités utilise un seuil de comparaison qui varie en fonction du temps. Il suffit pour cela d'envoyer une rampe 50, ou un « stair-case », sur l'entrée V2 du module comparateur 31 comme illustré sur la figure 9.

[0047] L'invention a pour objet de compenser de telles non-linéarités en proposant d'autres méthodes de compensation par contrôle du courant de cathode I_c et par rétroaction sur la valeur du seuil V_2 .

[0048] En analysant le profil 55 de l'impulsion du courant de la micropointe, il est possible de la décomposer en une suite de temps élémentaires t_1 à t_6 :

- t_1 : temps d'établissement de la tension V_{gate} + reset CTIA
- t_2 : temps de maintien du reset CTIA pour annuler les effets d'injection de charges et les transitoires,
- t_3 : temps de mesure,
- t_4 : temps de retard de prise de décision du comparateur,
- t_5 : temps de retard dû à la coupure de V_{gate} (logique),
- t_6 : délai pour éteindre le flux d'électrons.

[0049] Certains de ces temps élémentaires peuvent être regroupés, pour aboutir au modèle simplifié :

- $t_1+t_2=t_{start}$: temps d'initialisation qui s'étend depuis $t_{début}$ (correspondant au début de l'impulsion) jusqu'à $t_{début_contrôle}$ (correspondant au début effectif du contrôle de dose)
- $t_3=t_{mesure}$: temps de mesure réellement contrôlable qui s'étend depuis $t_{début_contrôle}$ jusqu'à $t_{fin_contrôle}$ (correspondant à la fin du contrôle de la dose)
- $t_4+t_5+t_6=t_{off}$: temps d'extinction qui s'étend depuis $t_{fin_contrôle}$ jusqu'à t_{fin} correspondant à la fin effective de l'émission de dose

[0050] Si on considère que le courant atteint sa valeur nominale I_{steady_state} rapidement pendant le temps d'initialisation t_{start} et qu'il se maintient pendant le temps d'extinction t_{off} , il est donc au premier ordre constant pendant toute la durée de l'impulsion de courant. En effet, au début, le temps d'établissement de V_{gate} est court, et à la fin, les retards logique et d'extinction de V_{gate} sont largement dominés par le retard du module comparateur 31 à la prise de décision.

[0051] La dose totale émise en nombre d'électrons peut s'exprimer comme :

$$N_{beam} = N_{mesure} + \frac{I_{steady-state} * (t_{start} + t_{off})}{q_e}$$

Avec

$$N_{mesure} = \frac{(V_2 - V_1)}{\mathfrak{R}} \quad \text{avec } \mathfrak{R} = q_e / C_{tia}$$

[0052] La dose d'électrons prévue est fixée par N_{mesure} , mais une dose excédentaire vient s'ajouter en réalité à cause des instants d'initialisation et d'extinction non-nuls. La figure 12 illustre une courbe du nombre d'électrons émis en fonction du régime de courant.

[0053] En théorie, comme indiqué précédemment, le nombre d'électrons émis devrait rester le même quel que soit le courant I_{tip} , comme illustré par la courbe horizontale 56.

[0054] Les courbes 57 et 58 illustrent le nombre d'électrons émis respectivement pendant les temps d'initialisation et d'extinction. Le séquençement peut être tel que les temps t_{start} et t_{off} restent constants quel que soit le courant, c'est-à-dire que les électrons émis pendant ces temps t_{start} et t_{off} ne dépendent que du régime de courant (fonction affine).

[0055] Le nombre d'électrons émis apparaît sur la courbe 59, qui, pour toute valeur de l'abscisse X, représente la somme des courbes 56 + 57 + 58.

[0056] L'indication numérique relative obtenue à partir de ces courbes montre une erreur sur le nombre d'électrons émis par rapport à la consigne d'un facteur 1.3 à 2.6 en excès. Ceci n'est pas acceptable pour la précision de contrôle d'émission désirée.

[0057] L'objet du dispositif de l'invention est d'être capable d'émettre avec précision un nombre d'électrons programmé quel que soit le régime de courant de la micropointe et d'interrompre le faisceau électronique dès que cette valeur a été atteinte. La somme des électrons émis pendant chacun des temps décrits précédemment doit donc rester constante, i.e que le nombre total d'électrons émis soit linéaire et constant, quelque soit le courant de pointe I_{tip} .

[0058] La loi de variation du nombre d'électrons émis pendant les temps d'initialisation et d'extinction de l'impulsion de courant (fonction affine) est connue. Il est donc possible d'intervenir sur le contrôle du nombre N_{mesure} d'électrons effectivement mesurés pour que la somme $S = N_{start} + N_{mesure} + N_{off}$ reste constante. On fait donc décroître N_{mesure}

lorsque I_{tip} croît.

[0059] Pour ce faire on modifie la valeur de la tension de détection de seuil V2 au cours de l'exposition électronique. La compensation est réalisée sur des quantités d'électrons excédentaires répondant à la loi :

$$\frac{I_{tip} * t}{q_e}$$

[0060] Deux types de compensation sont possibles : une compensation temporelle ou une compensation en fonction du courant. Les figures 13A et 13B illustrent respectivement les courbes théorique 60 et mesurés 61 et les courbes théorique 60 et mesurée 61' du nombre d'électrons relatif en fonction du courant de pointe I_{tip} , respectivement sans compensation et avec compensation en fonction du courant. La courbe 61' illustre l'amélioration que l'on désire obtenir en utilisant une telle compensation active en fonction du courant.

[0061] On peut constater sur la figure 13B la stabilité du nombre d'électrons émis en fonction du courant de pointe, bien qu'il subsiste un offset inhérent à la méthode utilisée. En effet le temps dénommé $t_{measure}$ ne peut pas être nul car on ne contrôlerait plus rien. Le temps minimal nécessaire au bon fonctionnement de la compensation doit être tel que le bruit ramené par le module senseur 30 reste faible devant le signal traité par ce module (typiquement $N_{offset}=400$ électrons, soit $\Delta V_{s_min}=8mV$).

[0062] L'invention concerne également un dispositif linéaire ou matriciel de commande et de contrôle de doses d'électrons émises par un ensemble de micro-émetteurs, qui comporte, pour chaque micro-émetteur, les différents modules 30, 31, 32 et 33 ainsi que des moyens de variations de la tension de seuil, tels que décrits ci-dessus.

Exemples de réalisation

Compensation temporelle

[0063] Une telle compensation est illustrée sur la figure 14. Elle ne couvre pas tous les besoins. Elle est capable de compenser des disparités entre micropointes, mais pas des fluctuations haute fréquence sur une même micropointe. Elle est cependant utilisable dès lors que l'on est sûr que la fréquence de récurrence des fluctuations de courant est inférieure à la fréquence d'apparition des impulsions programmés. La tension de seuil V2 est modulée dans le temps à partir du signal d'initialisation start de manière à programmer un contrôle de dose variable dans le temps tel que l'excès d'électrons émis pendant les phases t_{start} et t_{off} soit strictement compensé par la diminution au cours du temps de la dose programmée.

$$Dose \text{ programmée} = N_{prog} = \frac{|V2(t) - V1|}{\mathfrak{R}} \text{ avec } \mathfrak{R} = \frac{q_e}{C_{tia}}$$

[0064] Cette variation temporelle est contrôlée par le générateur 65.

Compensation active en fonction du courant

[0065] Lorsque la fréquence des fluctuations du courant est telle que celui-ci peut varier pendant un temps d'exposition élémentaire, la correction temporelle précédente n'est plus suffisante. En effet, dans l'expression de bilan du nombre d'électrons émis :

$$N_e = \frac{I_{tip} * T}{q_e}$$

[0066] Les deux variables I_{tip} et T varient simultanément pendant le contrôle. Il n'est donc plus possible de contrôler une des variables tout en mesurant l'autre. Il faut assumer une correction active en fonction du courant.

[0067] La figure 15 illustre un schéma simplifié de compensation en fonction du courant de pointe. Un module de détection du courant de pointe 67 est capable de reproduire exactement le courant de pointe ou d'introduire un gain (X) sur ce courant, par exemple au moyen d'un miroir de courant. C'est ce courant de sortie qui est mesuré par le module senseur 30. Le courant d'entrée I_{tip} sert également de référence pour le module de génération de tension variable 68 qui délivre en sortie une tension de consigne $V2 = f(I_{tip})$. La décision sur le temps est toujours prise par

le module comparateur 31, mais le seuil de décision V2 est indexé sur la valeur instantanée du courant d'émission. On aboutit ainsi à une compensation optimale.

[0068] Plus précisément, en reprenant les notations de la figure 11, on peut calculer le nombre d'électrons émis dans chacune des phases :

- Phase d'initialisation

$$N_{start} = \frac{I * (t_{début_contrôle} - t_{début})}{q}$$

- Phase de mesure

$$N_{measure} = \frac{I * (t_{fin_contrôle} - t_{début_contrôle})}{q}$$

- Phase d'extinction

$$N_{stop} = \frac{I * (t_{fin} - t_{fin_contrôle})}{q}$$

[0069] Le nombre d'électrons déposés en trop à compenser en modifiant la tension V2 correspond à

$$N_{start} + N_{stop} = \frac{I}{q} [(t_{début_contrôle} - t_{début}) + (t_{fin} - t_{fin_contrôle})] = \frac{I}{q} [t_{start} + t_{off}]$$

[0070] D'où en fonction de $\Delta V2$:

$$N_{start} + N_{stop} = \frac{C * \Delta V2}{q} \text{ soit } \Delta V2 = \frac{I}{C} [t_{start} + t_{off}]$$

[0071] La capacité du bloc senseur et les temps $t_{start} + t_{off}$ étant connus, la variation de V2 à programmer est directement proportionnelle à I. La différence de tension à programmer par rapport à Vref (tension à appliquer pour obtenir pendant la phase de mesure la dose souhaitée si Nstart et Nstop n'existaient pas) peut donc être mise en oeuvre, par exemple par l'intermédiaire d'une résistance R_L permettant d'établir une tension $R_L * I$ avec $R_L = (t_{start} + t_{off}) / C$. Dans le cas particulier où l'amplificateur CTIA est rechargé à un état haut, cette tension $R_L * I$ doit être rajoutée à la tension Vref pour stopper, plus rapidement que dans le cas idéal (sans Nstart et Nstop), l'alimentation de la micropointe et donc son émission.

[0072] Le bloc 68 de la figure 15 peut alors par exemple, être réalisé de la manière illustrée sur la figure 16.

[0073] Les dimensions des transistors sont choisies pour remplir la fonction spécifiée de façon connue par l'homme du métier.

[0074] Un tel mode de réalisation est avantageux dans le sens où il permet de réaliser l'intégralité des fonctions exigées à proximité ou dans le site d'émission des électrons ce qui a pour avantage :

- de compenser les non-uniformités d'émission de micropointes ou de tout autre dispositif individuellement,
- de réaliser ces différentes fonctions dans un circuit intégré spécifique (ASIC ou « Application Specific Integrated Circuit »).
- de participer, en conséquence, à l'amélioration des rendements de fabrication des micropointes et de leur durée de vie,
- de pouvoir accéder ainsi à des grandes tailles d'émetteurs bidimensionnels sans complexifier le nombre d'interfaces périphériques (auto-traitement du signal in-pixel).

REFERENCES

[0075]

[1] « Structure optimisation of transistor-based Si field emitter arrays » de T. Matsukawa, K. Koge, S. Kanemaru, H. Tanoue and J. Itoh (TIDW'98, pages 671-674, FED 2-4)

[2] "Active matrix field-emitter arrays for the next-generation FEDs" de J. Itoh, S. Kanemaru, T. Matsukawa (199, SID)

[3] US 6,392,355 B1

[4] "Digital electrostatic electrom-beam array lithography" de L.R. Baylor, D.H. Lowndes, M.L. Simpson, C.E. Thomas, M.A. Guillorn, V.I. Merkulov, J.H. Whealton, E.D. Ellis, D.K. Hensley, A.V. Melechko (J.Vac.Sci.Technol. B20 (6), Nov-Dec 2002, pages 2646-2650)

Revendications

1. Dispositif de commande et de contrôle d'une dose d'électrons émise par un micro-émetteur, **caractérisé en ce qu'il comporte** :

- un module senseur (30), qui reçoit le courant fourni par le micro-émetteur ainsi qu'une tension pour ajuster le point de polarisation dudit dispositif,
- un module comparateur (31) qui reçoit le signal de sortie dudit module senseur ainsi qu'une tension de seuil permettant le réglage de la quantité d'électrons à émettre,
- un module logique (32) qui reçoit le signal de sortie du module comparateur (31), ainsi qu'un signal de démarrage pour initialiser l'émission électronique, et un signal logique pour définir si le micro-émetteur doit ou non émettre,
- un module de commande (33) qui reçoit le signal de sortie dudit module logique qui élabore les tensions nécessaires à l'initialisation et à l'extinction de l'impulsion de courant du micro-émetteur,
- des moyens de variation de la tension de seuil tels que, pendant l'émission d'électrons, la somme $S = N_{\text{start}} + N_{\text{measure}} + N_{\text{off}}$ reste sensiblement constante, N_{start} étant le nombre d'électrons du temps d'initialisation de l'impulsion de courant, N_{measure} étant le nombre d'électrons du temps de mesure de cette impulsion de courant, N_{off} étant le nombre d'électrons du temps d'extinction de cette impulsion de courant.

2. Dispositif selon la revendication 1, qui comprend des moyens de modulation dans le temps de la tension de seuil (V2) à partir du signal d'initialisation (start) de manière à programmer un contrôle de dose d'électrons variable dans le temps tel que l'excès d'électrons émis pendant les temps d'initialisation (t_{start}) et d'extinction (t_{off}) soit pour tout ou partie compensé par une diminution au cours du temps de la dose programmée.

3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, qui comprend :

- un module de détection du courant de micro-émetteur (67), qui est capable de reproduire le courant de pointe I_{tip} ou d'introduire un gain sur le courant,
- un module de génération de tension variable (68) qui délivre en sortie une tension de consigne $V2 = f(I_{\text{tip}})$.

4. Dispositif linéaire ou matriciel de commande et de contrôle de doses d'électrons émises par un ensemble de micro-émetteurs, **caractérisé en ce qu'il comporte**, pour chaque micro-émetteur :

- un module senseur (30), qui reçoit le courant fourni par le micro-émetteur ainsi qu'une tension pour ajuster le point de polarisation,
- un module comparateur (31) qui reçoit le signal de sortie dudit module senseur ainsi qu'une tension de seuil permettant le réglage de la quantité d'électrons à émettre,
- un module logique (32) qui reçoit le signal de sortie du module comparateur (31), ainsi qu'un signal de démarrage pour initialiser l'émission électronique, et un signal logique pour définir si le micro-émetteur doit ou non émettre,
- un module de commande (33) qui reçoit le signal de sortie dudit module logique qui élabore les tensions

nécessaires à l'initialisation et à l'extinction de l'impulsion de courant du micro-émetteur,

- des moyens de variation de la tension de seuil tels que, pendant l'émission d'électrons, la somme $S = N_{\text{start}} + N_{\text{mesure}} + N_{\text{off}}$ reste sensiblement constante, N_{start} étant le nombre d'électrons du temps d'initialisation de l'impulsion de courant, N_{mesure} étant le nombre d'électrons du temps de mesure de cette impulsion de courant, N_{off} étant le nombre d'électrons du temps d'extinction de cette impulsion de courant.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque micro-émetteur est une micropointe.

6. Procédé de commande et de contrôle d'une dose d'électrons émise par un micro-émetteur comportant

- une étape de conversion du courant fourni par le micro-émetteur et d'ajustement du point de polarisation de fonctionnement,
- une étape de comparaison du signal obtenu en sortie de l'étape précédente à une tension de seuil permettant le réglage de la quantité d'électrons à émettre,
- une étape logique pour initialiser l'émission électronique, et un signal logique pour définir si le micro-émetteur doit ou non émettre,
- une étape de commande qui élabore les tensions nécessaires à l'initialisation et à l'extinction de l'impulsion de courant du micro-émetteur,

caractérisé en ce qu'il comprend :

- une étape de variation de la tension de seuil (V_2) telle que, pendant l'émission d'électrons, la somme $S = N_{\text{start}} + N_{\text{mesure}} + N_{\text{off}}$ reste sensiblement constante, N_{start} étant le nombre d'électrons du temps d'initialisation de l'impulsion de courant, N_{mesure} étant le nombre d'électrons du temps de mesure de cette impulsion de courant, N_{off} étant le nombre d'électrons du temps d'extinction de cette impulsion de courant.

7. Procédé selon la revendication 6, qui comprend une étape de modulation dans le temps de la tension de seuil (V_2) à partir du signal d'initialisation (start) de manière à programmer un contrôle de dose d'électrons variable dans le temps tel que l'excès d'électrons émis pendant les temps d'initialisation (t_{start}) et d'extinction (t_{off}) soit pour tout ou partie compensé par une diminution au cours du temps de la dose programmée.

8. Procédé selon la revendication 6, qui comprend :

- une étape de détection du courant de pointe, pour reproduire le courant de pointe I_{tip} ou d'introduire un gain sur le courant,
- une étape de génération de tension variable (V_2) qui délivre en sortie une tension de consigne $V_2 = f(I_{\text{tip}})$.

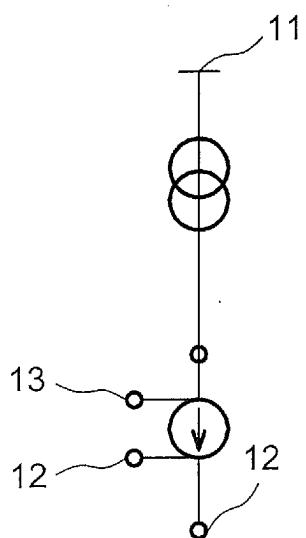


FIG. 1A

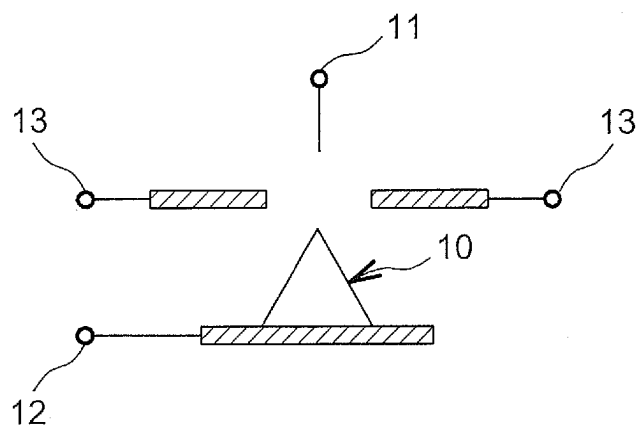
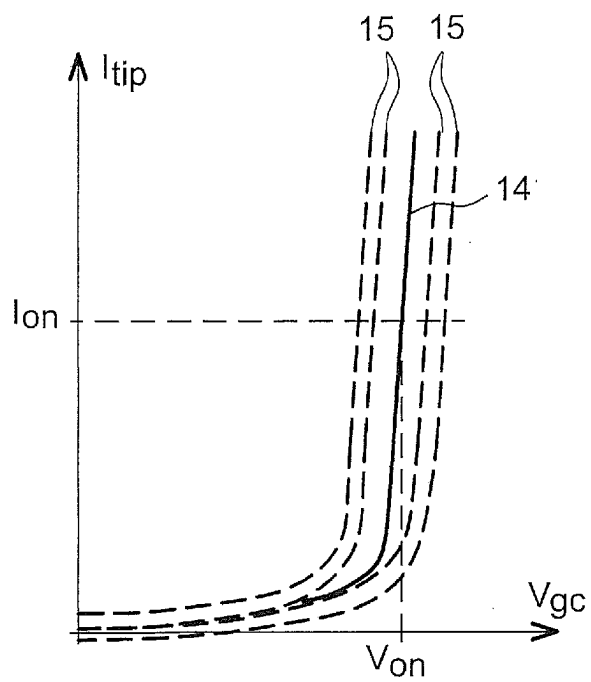


FIG. 1B

FIG. 2



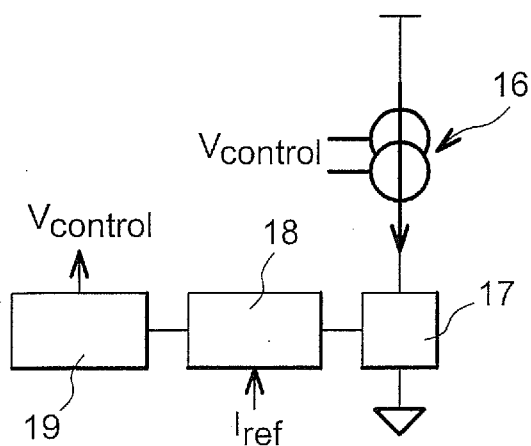


FIG. 3A

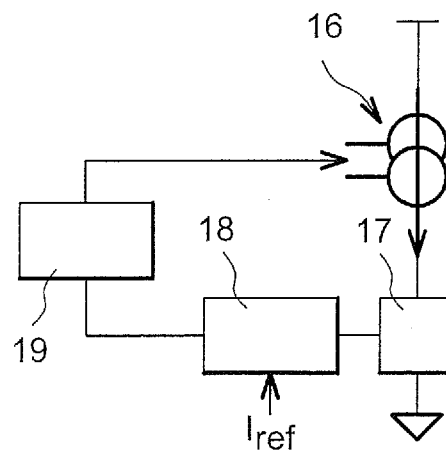


FIG. 3B

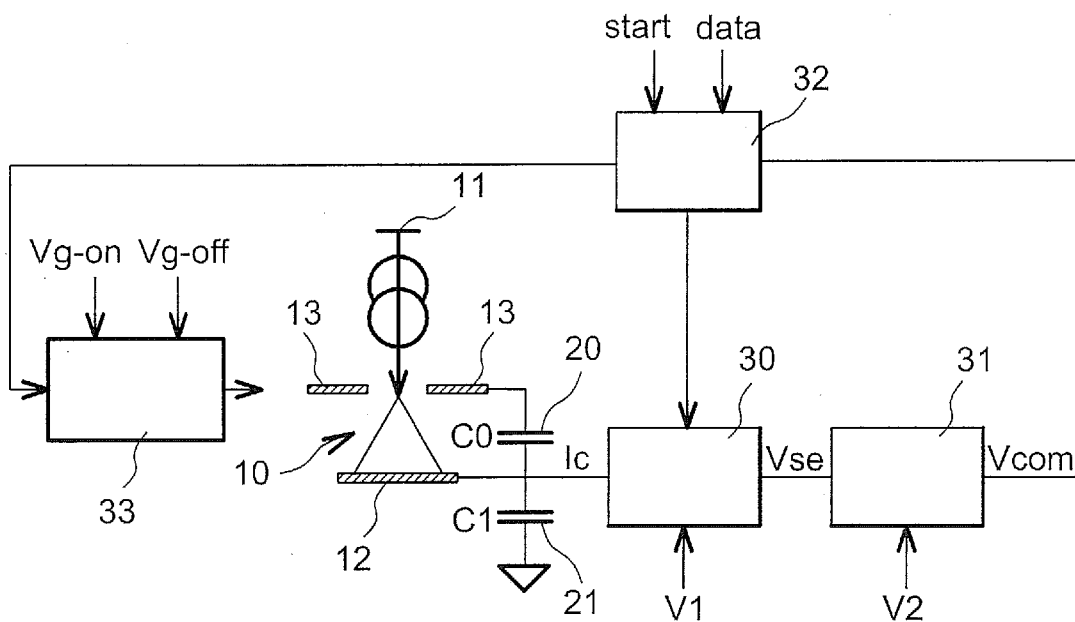


FIG. 4

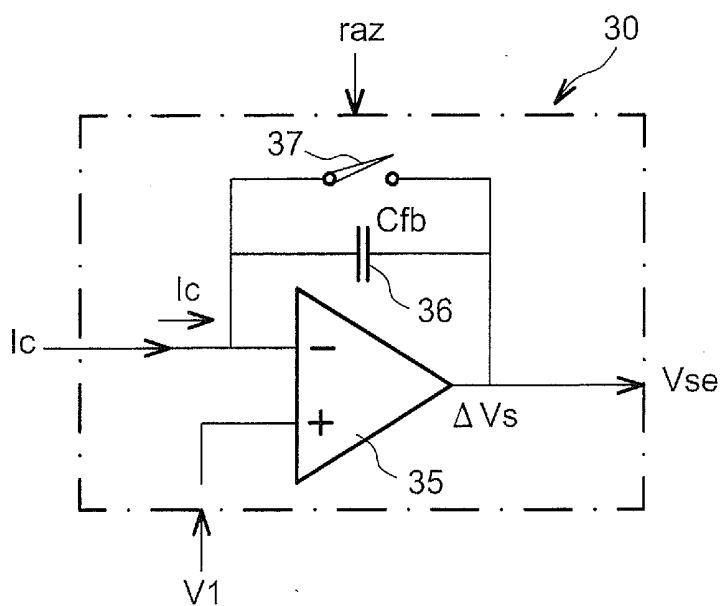


FIG. 5

FIG. 6

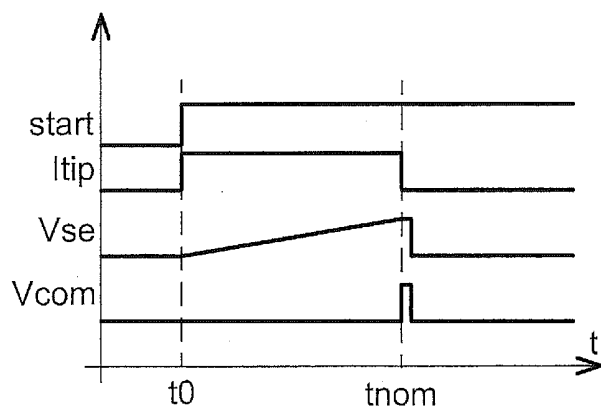
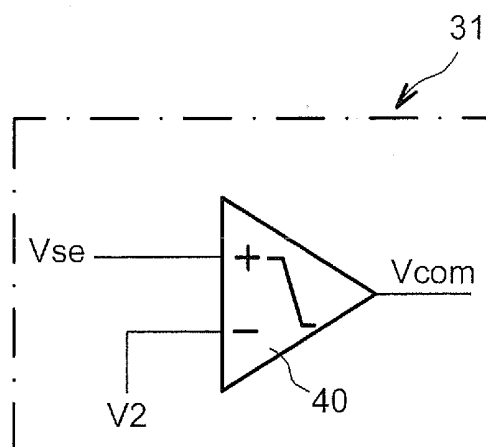


FIG. 7A

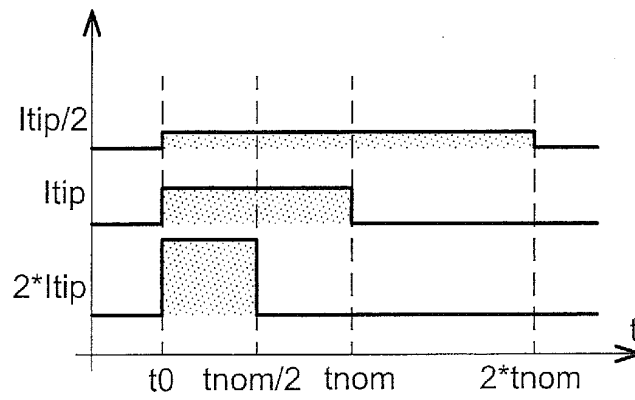


FIG. 7B

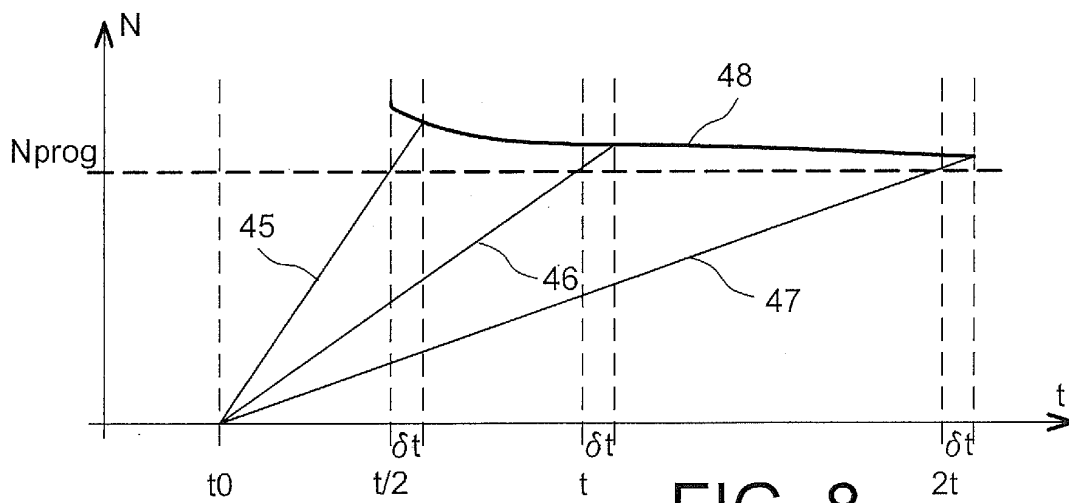


FIG. 8

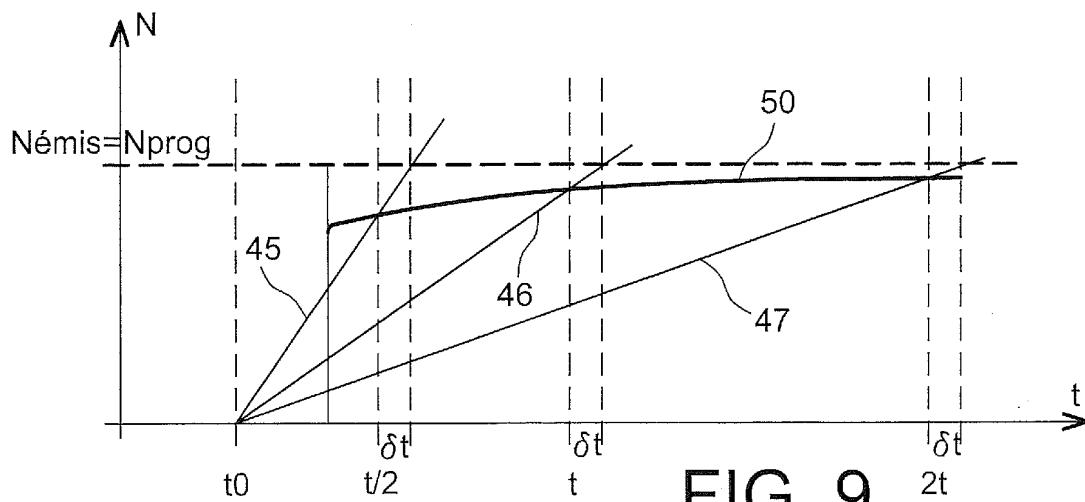


FIG. 9

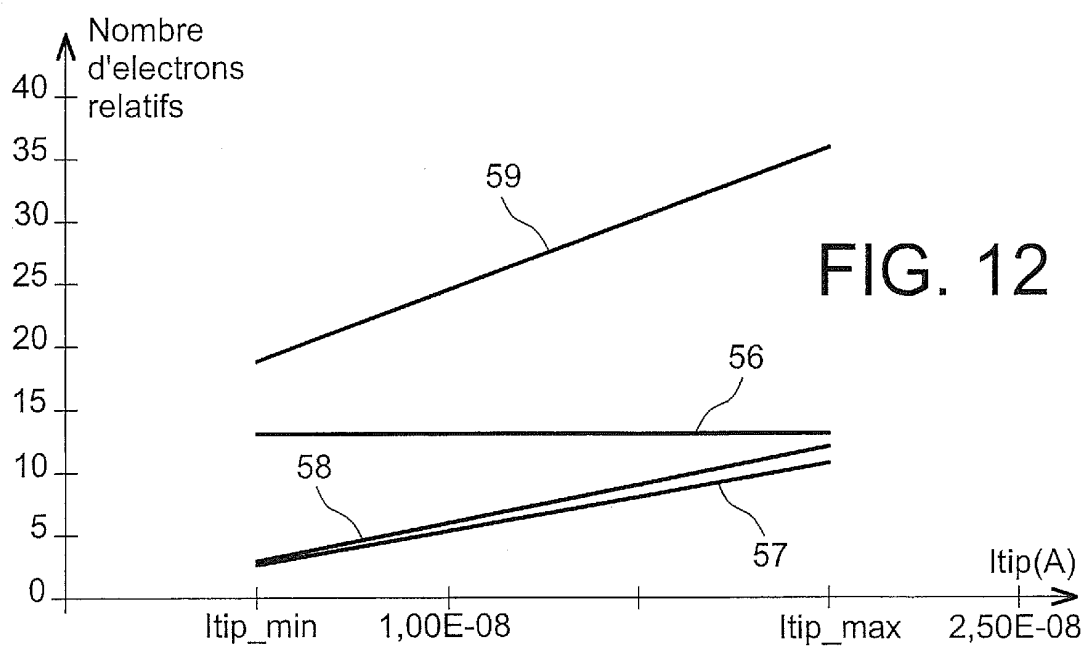
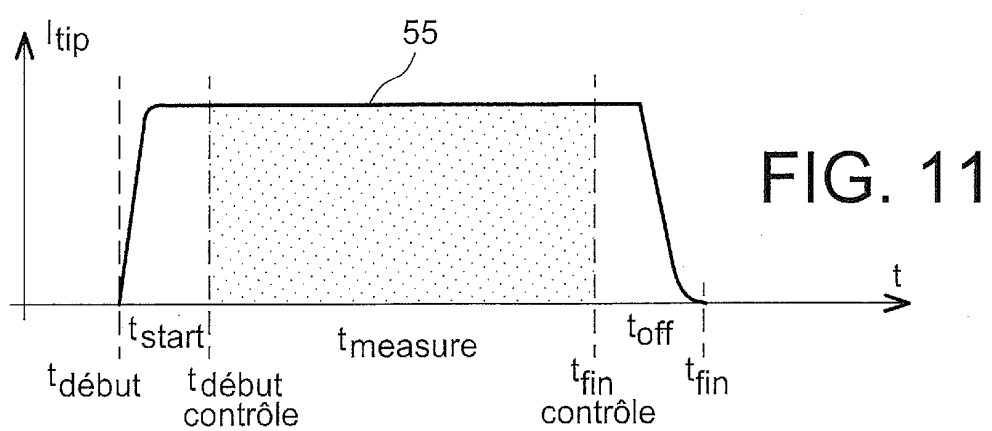
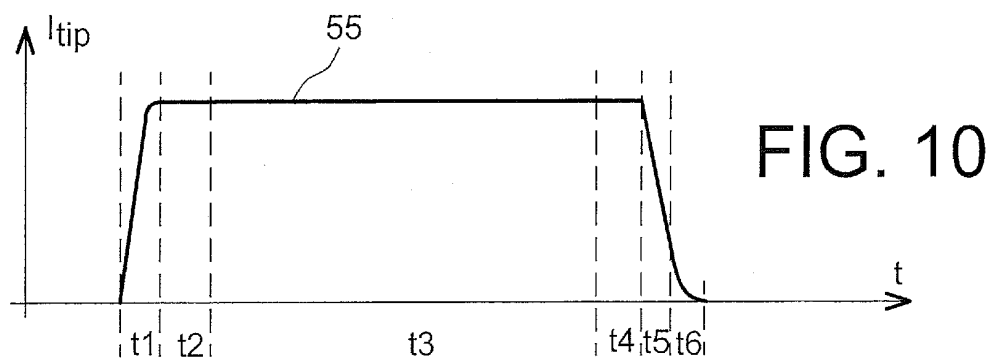


FIG. 13A

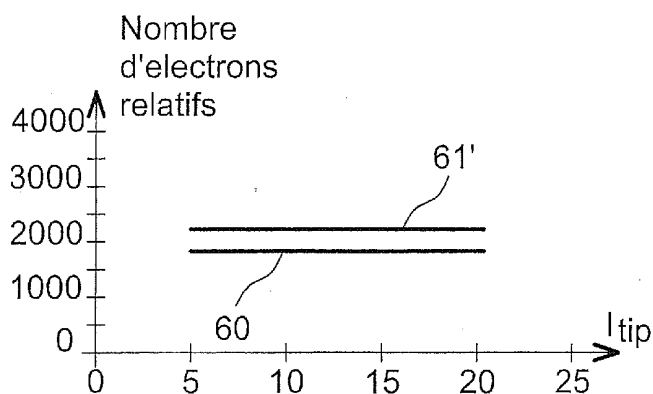
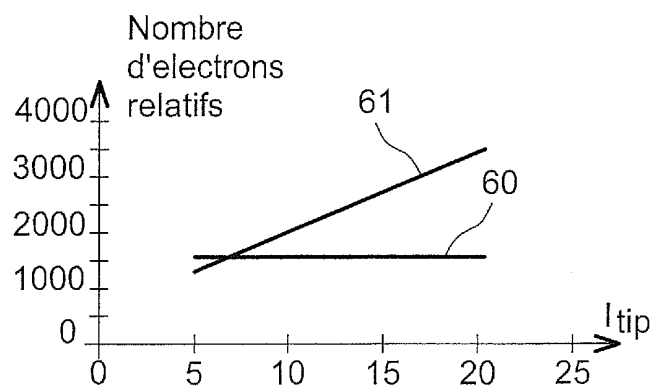
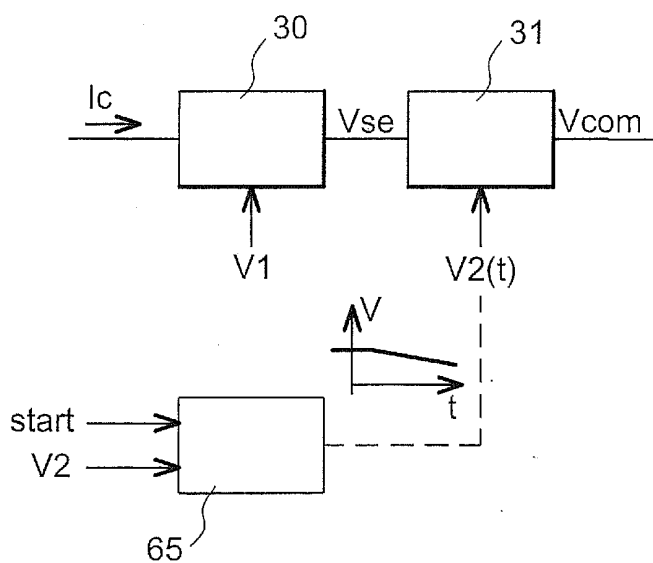


FIG. 13B

FIG. 14



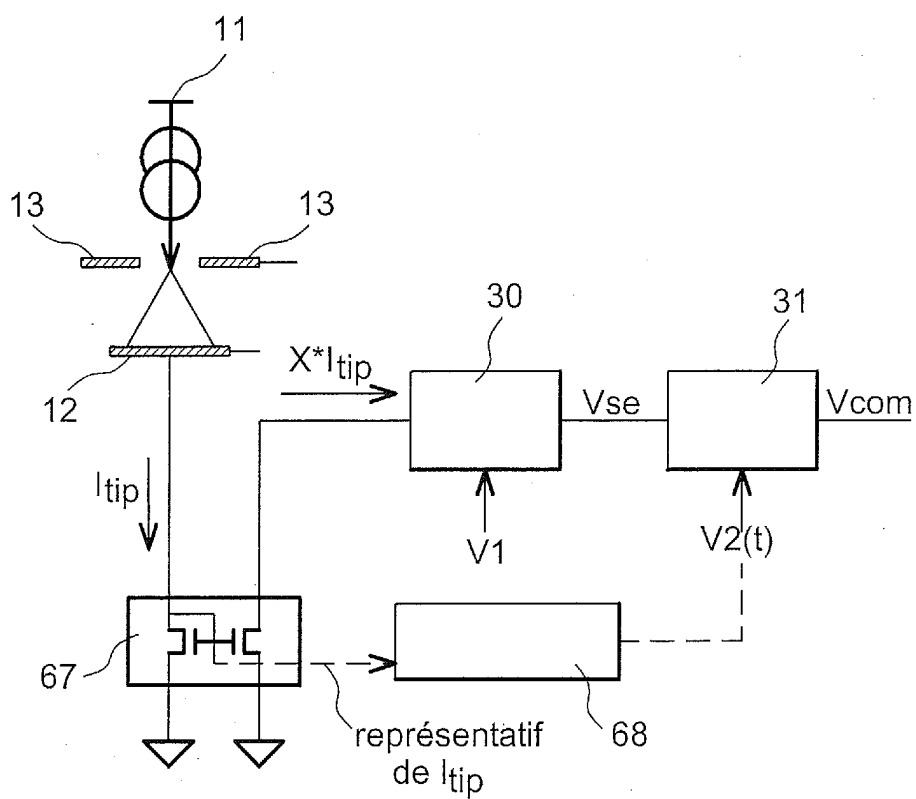


FIG. 15

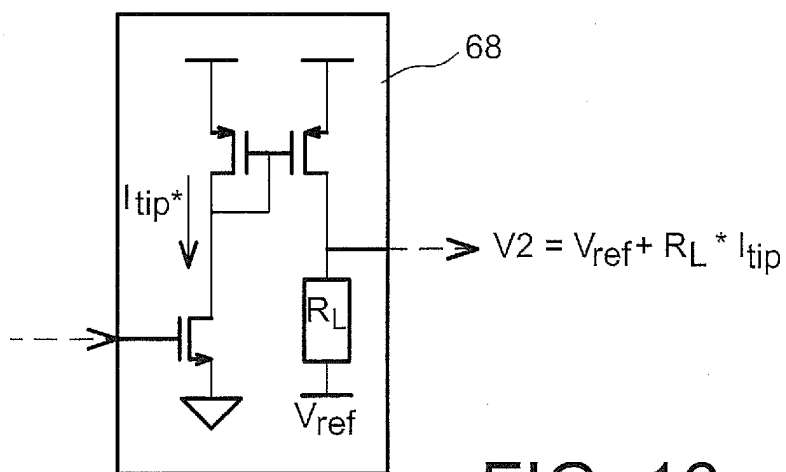


FIG. 16