



(11)

EP 3 039 694 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
22.12.2021 Bulletin 2021/51

(51) Int Cl.:
H01F 41/02 ^(2006.01) **H01F 1/34** ^(2006.01)
H01F 27/255 ^(2006.01) **H01F 27/28** ^(2006.01)
H01F 27/32 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **14753101.6**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2014/067852

(22) Date de dépôt: **21.08.2014**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2015/028389 (05.03.2015 Gazette 2015/09)

(54) **PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UN COMPOSANT ÉLECTROMAGNÉTIQUE MONOLITHIQUE**

VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER MONOLITHISCHEN ELEKTROMAGNETISCHEN
KOMPONENTE

METHOD FOR PRODUCING A MONOLITHIC ELECTROMAGNETIC COMPONENT

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

• **LABOURÉ, Eric**
F-94230 Cachan (FR)

(30) Priorité: **26.08.2013 FR 1358177**

(74) Mandataire: **Lavoix**
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(43) Date de publication de la demande:
06.07.2016 Bulletin 2016/27

(56) Documents cités:
JP-A- 2004 022 814 JP-A- 2010 177 319

(73) Titulaires:
• **Centre National de la Recherche Scientifique
(C.N.R.S.)**
75016 Paris (FR)
• **Ecole Normale Supérieure de Cachan**
94235 Cachan Cedex (FR)

• **MAZALEYRAT F ET AL: "XXIst Century Ferrites",
JOURNAL OF PHYSICS: CONFERENCE SERIES,
INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING, BRISTOL,
GB, vol. 365, no. 1, 18 mai 2012 (2012-05-18), page
12001, XP020223227, ISSN: 1742-6596, DOI:
10.1088/1742-6596/365/1/012001**

(72) Inventeurs:
• **MAZALEYRAT, Frédéric**
F-91400 Orsay (FR)
• **ZEHANI, Karim**
F-94230 Cachan (FR)
• **LOYAU, Vincent**
F-75011 Paris (FR)

• **F Mazaleyrat ET AL: "Introduction M ferrite W
ferrites Ni-Zn-Cu spinnel ferrites XXIst Century
ferrites", , 8 mai 2012 (2012-05-08), XP055107296,
Extrait de l'Internet:
URL:http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/82/38/68/ANNEX/Mazaleyrat_ICRTP2.pdf
[extrait le 2014-03-12]**

EP 3 039 694 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne un procédé de fabrication de composants électromagnétiques monolithiques.

[0002] Plus précisément, l'invention concerne un procédé de fabrication d'un composant électromagnétique monolithique comprenant plusieurs éléments dont un noyau magnétique de ferrite spinelle et au moins une bobine planaire comprenant plusieurs spires.

[0003] Les recherches récentes en électronique de puissance se concentrent sur la miniaturisation des convertisseurs et des composants électroniques qu'ils comprennent, en particulier sur la diminution de la taille des composants actifs et passifs.

[0004] Dans ce contexte, il existe un besoin de composants monolithiques capables d'être intégrés au plus près des semi-conducteurs et de transférer des puissances volumiques de plus en plus importantes, c'est-à-dire de travailler à plus haute fréquence et d'évacuer plus efficacement la chaleur.

[0005] De manière connue, certains ferrites spinelles sont utilisés pour fabriquer ce type de composant par frittage conventionnel à des températures de l'ordre de 950°C. Les ferrites obtenus présentent alors de bonnes performances jusqu'à quelques centaines de mégahertz, grâce à une résistivité élevée.

[0006] Toutefois, la fabrication de composants électroniques monolithiques à partir de ces ferrites via les procédés connus n'est possible qu'avec des bobines constituées de métaux nobles de type argent ou palladium, ce qui rend coûteuse la fabrication en grande quantité de ces composants de puissance. En outre, les procédés de fabrication connus impliquent de nombreuses étapes distinctes réalisées dans des lieux distincts les uns des autres, et entraînent parfois des délaminations, des fissures dans les matériaux ou des diffusions de matière aux interfaces entre le métal et les oxydes.

[0007] Il est également connu des documents « *XXst Century Ferrites* » de Mazaleyra F et al et JP-A-2010177319 des procédés complexes de fabrication de composants électroniques monolithiques.

[0008] L'un des objets de la présente invention est de proposer un procédé de fabrication de composant électromagnétique monolithique qui ne présente pas ces inconvénients.

[0009] A cet effet, l'invention concerne un procédé selon la revendication 1.

[0010] Selon d'autres modes de réalisation, le procédé selon l'invention comprend une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles des revendications 2 à 8.

[0011] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui va suivre, faite uniquement à titre informatif et non limitatif, et en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la Figure 1 est une représentation schématique d'un composant électromagnétique monolithique ;

- la Figure 2 représente des vues en coupe d'un composant électromagnétique monolithique comprenant une unique bobine.
- la Figure 3 représente des vues en coupe d'un composant électromagnétique monolithique comprenant deux bobines.
- la Figure 4 est une illustration schématique d'un procédé selon l'invention de fabrication d'un composant électromagnétique monolithique ;
- la Figure 5 est une illustration schématique d'une étape du procédé de la Figure 4 ;
- la Figure 6 est une illustration schématique du spectre de perméabilité complexe d'un composant électromagnétique réalisé par un procédé de fabrication selon l'invention ;
- la Figure 7 est une illustration du spectre de perméabilité complexe d'un ferrite d'un composant électromagnétique réalisé par une variante d'un procédé de fabrication ne faisant pas partie de l'invention telle que revendiquée ;
- la Figure 8 est une illustration schématique de la micrographie au microscope électronique à balayage, ainsi que l'analyse EDS de l'interface entre une bobine et du ferrite d'un composant électromagnétique monolithique réalisé par un procédé selon l'invention ;
- la Figure 9 est un diagramme de représentation de la mesure de l'inductance et du coefficient de surtension en fonction de la fréquence d'un composant électromagnétique monolithique réalisé par un procédé de fabrication selon l'invention ; et
- la Figure 10 est un diagramme de représentation de l'inductance du primaire et du secondaire et du coefficient de surtension d'un composant électromagnétique monolithique réalisé par un procédé selon l'invention.

[0012] En référence à la figure 1, un composant électromagnétique monolithique de référence générale 10 réalisé par un procédé selon l'invention, ci-après composant 10, comprend une embase 12, une bobine 14 agencée dans l'embase 12, et un matériau diélectrique 15 isolant électriquement.

[0013] Dans l'exemple de la Figure 1, le composant 10 est une inductance destinée à être utilisée conjointement à d'autres composants électroniques, par exemple pour la réalisation de convertisseurs de puissance ou de dispositifs de filtrage. En outre, il est destiné à fonctionner dans une bande de fréquences donnée préférentiellement comprise parmi la plage de fréquences 100 kHz - 30 GHz. Enfin, il est fabriqué selon le procédé selon l'invention, comme décrit ci-dessous.

[0014] L'embase 12 constitue la structure la plus volumineuse du composant 10 et lui confère son allure générale.

[0015] L'embase 12 présente une forme générale cylindrique d'axe longitudinal X-X', de hauteur h et de diamètre d.

[0016] Dans l'exemple de la Figure 1, la hauteur h est comprise entre 1 et 2 mm, et le diamètre d est compris entre 8 et 20 mm.

[0017] En variante, le diamètre d est compris entre 5 et 50 mm, et la hauteur h est comprise entre 1 et 20 mm.

[0018] L'embase 12 présente une résistivité élevée.

[0019] L'embase 12 est réalisée à partir d'un ferrite spinelle. Les spinelles sont des ferrites de formule générale (G) suivante: $AB_{2-\delta}O_4$, où A est de valence moyenne 2 et est un élément ou une combinaison d'éléments du groupe des cations formé préférentiellement par Mg^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , V^{2+} , Ti^{2+} , Sc^{2+} , Mn^{2+} et éventuellement Fe^{2+} , où B est de valence moyenne 3 et est un élément ou une combinaison d'éléments du groupe des cations formé préférentiellement par Fe^{3+} et Al^{3+} , et où δ représente un éventuel défaut de matière. Le défaut de matière δ peut être volontairement introduit et est par exemple compris entre 0 et 0,05. En outre, les ferrites spinelles ont la structure cristallographique du composé de référence $MgAl_2O_4$.

[0020] Préférentiellement, le ferrite spinelle du composant 10 présente une composition de formule (1) suivante:

$Ni_xZn_{1-x-y-\varepsilon+\delta}Cu_yCo_\varepsilonFe_{2-\delta}O_4$, avec $0,15 \leq x \leq 0,6$; $0 < y \leq 0,2$; $0 \leq \varepsilon \leq 0,1$ et $0 \leq \delta \leq 0,05$.

[0021] Il a ainsi été observé que les composants 10 dont le ferrite de l'embase 12 présentait la formule (1) présentaient de bons résultats en termes de performances magnétiques (pertes faibles) dans la bande de fréquence entre 300 kHz et 3 MHz en particulier et de densification lors de frittage à basse température (en dessous de 1000°C).

[0022] Comme on le verra par la suite, le ferrite 12 est obtenu par densification d'un mélange d'oxydes nanométriques ou encore par broyage et calcination successifs d'un mélange d'oxydes nanométriques, la calcination étant réalisée à une température comprise entre 600 °C et 1100 °C.

[0023] Pour les composants dont le ferrite obéit à la formule (1), les oxydes nanométriques sont des oxydes de zinc ZnO, de cuivre CuO, de nickel NiO, de cobalt Co_3O_4 et de fer Fe_2O_3 , le mélange présentant également une composition obéissant à la formule (1).

[0024] Par nanométrique, on entend que la granulométrie des oxydes peut varier jusqu'à 5 μm au maximum. La granulométrie est alors déterminée en fonction de la fréquence à laquelle le composant 10 est destiné à fonctionner.

[0025] Dans l'exemple de la Figure 1, le diamètre des oxydes utilisés pour réaliser l'embase 12 est compris entre 230 et 270 nm, et vaut sensiblement 250 nm en moyenne.

[0026] La bobine 14 est propre à autoriser la bonne circulation des courants électriques à travers elle et à être solidarisée au ferrite de l'embase 12 par cofrittage.

[0027] Préférentiellement, la bobine 14 est réalisée à partir de cuivre.

[0028] En variante, elle est réalisée à partir d'un métal

noble comme l'argent Ag ou le palladium Pd, ou d'un alliage de Palladium Pd, ou d'un alliage de Palladium Pd et d'argent Ag.

[0029] La bobine 14 est au moins partiellement noyée dans le ferrite de l'embase 12.

[0030] Toujours en référence à la Figure 1, la bobine 14 comprend plusieurs spires 16 dont une spire interne 161 et une spire externe 162.

[0031] Dans l'exemple de la Figure 1, les spires 16 présentent une forme générale de spirale circulaire et présentent une section sensiblement circulaire.

[0032] En variante (non représentée), les spires présentent une forme générale de spirale carrée.

[0033] La bobine 14 comprend également une patte interne 18 et une patte externe 19, qui constituent des extrémités coudées de la spire interne 161 et de la spire externe 162 respectivement.

[0034] La bobine présente en outre une épaisseur e non nulle, est sensiblement planaire et est orthogonale à l'axe X-X', de sorte que la bobine 14 est sensiblement comprise dans une tranche discoïdale T de l'embase 12, orthogonale à l'axe X-X' et d'épaisseur e.

[0035] Les spires interne 161 et externe 162 délimitent respectivement une portion discoïdale interne 20 et une portion discoïdale externe 22 d'épaisseur e de la tranche T et du composant 10.

[0036] En outre, deux spires 16 successives de la bobine 14 délimitent un interstice 24 radial.

[0037] Les Figures 2a à 2d représentent des exemples de réalisation d'un composant 10 réalisé par un procédé selon l'invention comprenant une seule bobine 14.

[0038] En référence à la Figure 2b, dans l'exemple de cette Figure, les interstices 24, ainsi que les portions discoïdales interne 20 et externe 22, sont au moins partiellement remplis de matériau diélectrique 15.

[0039] Seules les parties supérieures et inférieures des spires 16 de la bobine 14 sont au contact du ferrite.

[0040] Cet exemple permet avantageusement de limiter les capacités parasites pouvant apparaître entre les spires 16 lors du fonctionnement du composant 10 via l'isolation électrique résultant de la présence du matériau diélectrique 15.

[0041] En référence à la Figure 2c, dans l'exemple de cette Figure, les interstices 24 ainsi que la portion discoïdale interne 20 sont au moins partiellement remplis de matériau diélectrique 15, et la portion discoïdale externe 22 est remplie de ferrite.

[0042] Cet exemple est avantageusement utilisé afin de limiter les capacités parasites pouvant apparaître entre les spires 16 lors du fonctionnement du composant 10, tout en minimisant la quantité de matériau diélectrique 15 utilisée.

[0043] En référence à la Figure 2a, dans cet exemple, le composant 10 est dépourvu de matériau diélectrique 15, la bobine 14 étant ainsi intégralement noyée dans le ferrite de l'embase 12.

[0044] Cette variante est avantageusement utilisée lorsque la fréquence à laquelle le composant 10 est des-

tiné à fonctionner est inférieure à 10 MHz. Au-delà de cette valeur, l'ajout de matériau diélectrique 15 est préférable.

[0045] En référence à la figure 2d, dans cet exemple, seuls les interstices 24 sont au moins partiellement remplis de matériau diélectrique 15.

[0046] Les pattes interne 18 et externe 19 sont propres à permettre le raccord du composant 10 à d'autres éléments, par exemple à un dispositif électronique auquel il est intégré.

[0047] A cet effet, les pattes interne 18 et externe 19 sont soudées par rapport à la spire interne 161 et la spire externe 162 respectivement.

[0048] La patte interne 18 est orientée selon l'axe X-X' et présente une longueur telle qu'elle affleure la surface supérieure du composant 10.

[0049] La patte externe 19 est orientée radialement et présente une longueur telle qu'elle affleure la surface latérale du composant 10.

[0050] En variante, les deux pattes 18, 19 sont orientées selon l'axe X-X' et affleurent la surface supérieure et/ou inférieure du composant 10.

[0051] Les pattes 18, 19 sont destinées à être mises en contact avec un câble conducteur d'électricité (non représenté), par exemple directement ou via une laque métallique rapportée au composant 10 qui permet de faciliter la mise en contact du câble avec les pattes 18, 19.

[0052] Les Figures 3a à 3c illustrent trois exemples de réalisation distincts d'une variante du composant 10 réalisé par un procédé selon l'invention, et dans laquelle, en sus des éléments déjà décrits dans l'exemple de la Figure 1, le composant 10 comprend une deuxième bobine 14B.

[0053] La deuxième bobine 14B est au moins partiellement noyée dans le ferrite de l'embase 12.

[0054] La deuxième bobine 14B est sensiblement comprise dans une tranche discoïdale T_B du composant 10 parallèle à la tranche T et espacée de celle-ci, de sorte que les deux tranches T et T_B définissent entre elles une couche C d'épaisseur c du composant 10.

[0055] Dans l'exemple de la Figure 3, cette bobine 14B est sensiblement de même structure et de mêmes dimensions que la bobine 14.

[0056] En variante, la deuxième bobine 14B présente un nombre de spires différent du nombre de spires de la bobine 14. Cette variante est avantageusement mise en œuvre pour modifier le comportement des bobines 14, 14B à conditions de fonctionnement similaires.

[0057] Dans l'exemple des Figures 3b et 3c, le composant 10 est un transformateur ou un coupleur magnétique dont les deux bobines 14, 14B sont couplées magnétiquement et isolées électriquement.

[0058] Dans cette variante, lors du fonctionnement du composant 10, le courant entrant dans l'une des bobines 14, 14B se traduit par un courant sortant par l'autre bobine et induit magnétiquement dans celle-ci.

[0059] La valeur de c est alors prédéterminée en fonction de critères connus de l'homme du métier, tels que la valeur souhaitée de l'inductance des bobines, de l'in-

ductance mutuelle et du coefficient de couplage entre les bobines.

[0060] Ainsi, la valeur de c est comprise entre 100 μm et 1 mm.

[0061] Lorsque le composant 10 est un transformateur, une valeur de c proche de 100 μm est préférable. A l'inverse, lorsque le composant 10 est un coupleur magnétique, une valeur de c proche de 1 mm est préférable.

[0062] Dans l'exemple des Figures 3b et 3c, la couche C est au moins partiellement remplie de matériau diélectrique 15.

[0063] Dans l'exemple de la Figure 3b, seule une portion de la couche C centrée sur l'axe X-X', d'épaisseur c et de diamètre sensiblement égal au diamètre de la spire externe 162 de la bobine 14 est remplie de matériau diélectrique 15.

[0064] Cet exemple est avantageusement mis en œuvre afin de limiter les capacités parasites pouvant apparaître entre les spires 16 respectives des deux bobines 14, 14B lors du fonctionnement du composant 10, ou lorsqu'il est souhaitable de modifier la topologie du champ magnétique de chacune des spires 161.

[0065] Dans l'exemple de la Figure 3c, seule une portion de la couche C centrée sur l'axe X-X' et délimitée radialement d'une part extérieurement par la position de la spire externe 162 de la bobine 14, et d'autre part intérieurement par la position de la spire interne 161 de la bobine 14, est remplie de matériau diélectrique 15.

[0066] Cet exemple est avantageusement mis en œuvre afin d'optimiser le couplage entre les bobines, par exemple lorsque le composant 10 est un coupleur magnétique, et de limiter les champs de fuite susceptibles d'apparaître lors du fonctionnement du composant 10.

[0067] Dans l'exemple de la Figure 3a, le composant 10 ne comprend pas de matériau diélectrique 15. Les deux bobines 14, 14B sont intégralement noyées dans le ferrite de l'embase 12.

[0068] Cet exemple est avantageusement utilisé lorsqu'il est souhaitable de ne pas altérer le champ magnétique résultant de la circulation du courant dans chacune des spires 161.

[0069] En variante (non représentée), en sus des éléments déjà décrits dans les exemples de réalisation des Figures 3b et 3c, le composant 10 comprend au moins deux couches métalliques parallèles aux bobines 14, 14B.

[0070] Deux couches métalliques successives sont alors séparées par une couche au moins partiellement remplie de matériau diélectrique 15.

[0071] Le procédé de fabrication 30 selon un exemple ne faisant pas partie de l'invention telle que revendiquée pour la fabrication d'un composant 10 réalisé à partir d'un ferrite de composition générale (G) et préférentiellement de composition (1) va maintenant être décrit en référence à la Figure 4.

[0072] Tout d'abord, au cours d'une étape initiale 110, on obtient un précurseur 32 du ferrite qui composera

l'embase 12 du composant 10.

[0073] Le précurseur 32 est une poudre de ferrite obtenue par une alternance de broyages et de calcinations successifs d'un mélange d'oxydes nanométriques, ladite calcination étant réalisée à une température sensiblement comprise entre 600 °C et 1100 °C, et de préférence sensiblement égale à 760° C.

[0074] Pour un ferrite de composition (1), le précurseur 32 est une poudre de ferrite obtenue par une alternance de broyages et de calcinations successifs d'un mélange d'oxydes nanométriques de zinc ZnO, de cuivre CuO, de nickel NiO, de cobalt Co₃O₄ et de fer Fe₂O₃, ladite calcination étant réalisée à une température sensiblement comprise entre 600 °C et 1100 °C, et de préférence sensiblement égale à 760° C.

[0075] Les broyages ont pour but de diminuer le diamètre des oxydes, et ainsi abaisser la température de frittage de la poudre de ferrite obtenue.

[0076] Les calcinations ont pour but de former la phase spinelle du ferrite, c'est-à-dire de transformer le mélange d'oxydes de base en une seule phase de structure spinelle.

[0077] Par phase, on entend structure cristallographique.

[0078] Lors des broyages, il peut se produire que des ajouts indésirables de fer soient réalisés via les outils utilisés, tels des billes d'acier.

[0079] L'étape initiale 110 comprend alors la compensation de ces ajouts indésirables dans le mélange obtenu, par exemple par formation d'un excès d'oxyde de fer de l'ordre de 5% par exemple.

[0080] Dans certains exemples où le défaut de fer δ n'est pas nul, l'étape initiale 110 comprend également la suppression de la quantité de fer correspondante du précurseur 32. Ceci permet de s'assurer de l'absence de Fe²⁺ qui pourrait apparaître suite à une légère réduction lors du frittage (lié à la présence de carbone) ou un ajout de fer lors du broyage. A noter que la présence de Fe²⁺ doit être évitée car elle augmente très largement la conductivité du ferrite ce qui produirait des pertes additionnelles par courants de Foucault lors du fonctionnement du composant. Aussi, préférentiellement, l'élément A de la formule générale du ferrite n'est pas du fer ou ne contient pas de fer.

[0081] A l'issue de cette étape initiale 110, le précurseur 32 obtenu est une poudre de ferrite dont la composition obéit à la formule générale (G), préférentiellement à la formule (1), et dont la phase spinelle est formée.

[0082] Au cours d'une étape suivante de préparation 120, on noie dans un moule 34 les éléments du composant dont la ou les bobines 14 et autres que le ferrite dans le précurseur 32 du ferrite.

[0083] Elle se déroule donc de manière légèrement variable en fonction de la structure du composant 10 que l'on souhaite obtenir.

[0084] Plus spécifiquement, en référence aux Figures 2 et 5, pour un composant avec une seule bobine 14 et ne comprenant pas de matériau diélectrique 15, on dé-

pose dans le moule 34 une première couche 36 de précurseur 32, sur laquelle on dépose ensuite la bobine 14. Puis on dépose une deuxième couche 38 de précurseur 32 sur la bobine 14, de façon à obtenir la structure et les dimensions de composant souhaitées, les éléments du composant 10 n'étant pas encore solidarisés les uns aux autres.

[0085] Pour un composant à une seule bobine 14 comprenant du matériau diélectrique 15, après avoir déposé la bobine 14 sur la première couche 36 de précurseur 32, on dépose, sur la bobine 14 et la première couche 36 le matériau diélectrique 15, à l'exception d'au moins les emplacements des spires 16 de la bobine 14, et ce de façon à former la structure de la tranche T souhaitée (Figures 2b, 2c et 2d). Enfin, on dépose une deuxième couche 38 de précurseur 32, de sorte à obtenir la structure générale du composant 10 souhaitée, les éléments n'étant pas encore solidarisés les uns aux autres.

[0086] Pour un composant 10 comprenant deux bobines 14, 14B et du matériau diélectrique 15, après la première couche 36, on dépose une couche de matériau diélectrique 15 de façon à former la structure de la tranche T et de la couche C souhaitées, puis on dépose la deuxième bobine 14B. On dépose ensuite une deuxième couche de matériau diélectrique d'épaisseur valant sensiblement e à l'exception d'au moins les emplacements des spires 16 de la deuxième bobine 14B, de façon à former la structure de la tranche T_B souhaitée. La deuxième couche 38 de précurseur 32 est enfin déposée en dernier.

[0087] Pour un composant 10 à deux bobines 14, 14B ne comprenant pas de matériau diélectrique, lors de l'étape 120, le dépôt des couches de matériau diélectrique 15 décrit ci-dessus est alors remplacé par le dépôt de couches de précurseur 32.

[0088] Cette étape de préparation 120 est préférentiellement réalisée en milieu contrôlé, par exemple sous hotte étanche, ce qui a pour effet de limiter la présence de particules parasites pouvant se déposer dans le moule et ainsi diminuer la qualité du composant 10 obtenu.

[0089] Cette étape 120 est par exemple réalisée de façon manuelle, ou encore automatisée par tout dispositif approprié.

[0090] Le moule 34 est préférentiellement réalisé à partir de graphite. En variante, il est réalisé à partir de métal ou d'un alliage métallique réfractaire, ou de céramique conductrice électriquement.

[0091] A la suite de cette étape de préparation 120, au cours d'une étape de cofrittage 130, on solidarise le précurseur 32 du ferrite avec les autres éléments du composant 10 par cofrittage sous charge par courant électrique pulsé. Par « sous charge », on entend que les éléments du composant sous soumis à un effort, en particulier un effort axial tendant à comprimer les composants 10.

[0092] Au cours d'une étape de compression 131 de cette étape de cofrittage 130, on place le moule 34 obtenu par l'étape de préparation 120 sous gaz neutre, et on le

soumet à une pression uniaxiale comprise entre 50 et 100 MPa. Cette pression est représentée par des flèches sur la Figure 5. Cette pression est maintenue jusqu'à la fin de l'étape de cofrittage 130.

[0093] En variante, le moule 34 est placé sous vide ou sous oxygène.

[0094] Ensuite, au cours d'une étape de décharge 132 de cette étape 130 et qui correspond au cofrittage par courant électrique pulsé à proprement parler, on décharge à travers le moule 34 un courant électrique d'intensité contrôlée et comprise entre 1 A et 20000 A, et de préférence entre 1 A et 1000 A ou entre 1 et 10 A par millimètre carré de surface de composant. Ceci permet d'élever la température dans le moule 34 et de solidariser les éléments du composant 10 les uns aux autres. La température à l'intérieur du moule 34 est maîtrisée via le contrôle de l'intensité du courant.

[0095] L'étape de décharge 132 comprend un palier de cofrittage, au cours duquel la température à l'intérieur du moule 34 est maintenue entre 650 °C et 850 °C, et de préférence entre 700 °C et 800 °C. Le palier de cofrittage présente une durée comprise entre 1 min et 30 min.

[0096] Le déroulement de l'étape de décharge 132 est le suivant. La température est initialement portée à une vitesse d'environ 100 °K par minute, à partir de la température ambiante, à une valeur comprise entre les valeurs ci-dessus. Le palier de cofrittage est ensuite réalisé. Ensuite, la température à l'intérieur du moule 34 est rapidement abaissée par interruption du courant. Comme indiqué précédemment, la pression uniaxiale résultant l'étape de compression est maintenue pendant l'étape de décharge 132.

[0097] La durée moyenne de l'étape de décharge 132 est comprise entre 10 min et 60 min, et avantageusement vaut sensiblement 20 minutes.

[0098] Cette étape de décharge 132 est réalisée de préférence de façon automatisée, via un dispositif programmable adapté pour contrôler la température dans le moule 34, de sorte que la température dans le moule 34 soit rapidement portée à une température de consigne et maintenue à cette température lors des paliers de frittage.

[0099] Selon l'invention, le précurseur 32 obtenu à l'issue de l'étape initiale 110 est un mélange d'oxydes nanométriques répondant à la formule générale (G), préférentiellement à la formule (1) et dont la phase spinelle n'est pas formée.

[0100] Pour l'obtention de ce précurseur 32, au cours de l'étape initiale 110, on pèse les différents oxydes, on les mélange puis on broie le mélange obtenu afin de mélanger ces oxydes et de diminuer leur diamètre. Comme précédemment, l'apport en fer dû aux outils de broyage doit alors être compensé. Aucune calcination n'a lieu lors de cette étape, à l'inverse du mode de réalisation précédemment décrit.

[0101] Les étapes suivantes du procédé 30 demeurent les mêmes, à l'exception de la phase de décharge 132 au cours de laquelle on observe un premier palier de

réaction. La fonction du premier palier de réaction est de réaliser la formation de la phase spinelle du précurseur 32. Ce premier palier de réaction est réalisé à une température comprise entre 400 °C et 600 °C. Le premier palier de réaction est préalable au palier de cofrittage.

[0102] Le procédé 30 selon l'invention porte le nom de frittage réactif, au cours duquel le mélange d'oxydes broyés se transforme en phase spinelle lors de la phase de décharge 130, à l'inverse du procédé décrit ci-dessus qui porte le nom de frittage direct et dans lequel le précurseur 32 est une poudre de ferrite broyée et calcinée et dont la phase spinelle est déjà formée à l'issue de l'étape initiale 110.

[0103] Ce procédé 30 présente plusieurs avantages :

- il n'est plus nécessaire de réaliser des calcinations lors de la phase initiale 110, de sorte que le procédé 30 selon l'invention est simplifié, la phase spinelle du ferrite se formant directement lors de la phase de décharge 132,
- elle permet l'obtention de noyaux magnétiques doux pour hautes fréquences et très hautes fréquences à partir d'un frittage réalisé à une température inférieure à celle des procédés connus.

[0104] En variante (non représentée), et ne faisant pas partie de l'invention telle que revendiquée, au cours de l'étape initiale 110, on procède à l'obtention du précurseur 32 de composition générale (G), préférentiellement de formule (1), par voie chimique, les étapes initiales 110 des procédés de frittage direct et réactif décrites ci-dessus correspondant à des voies dites solides. Cette variante permet d'obtenir une poudre de ferrite de composition plus homogène et présentant une distribution granulométrique plus étroite que par voie solide.

[0105] Le précurseur 32 obtenu par voie chimique est alors une poudre de ferrite de composition générale (G) dont les grains sont des particules de spinelles mixtes. Pour une poudre de ferrite de formule (1), les particules de spinelles simples sont par exemple Fe_3O_4 , NiFe_2O_4 , CoFe_2O_4 ou des particules de composition plus complexes, telles que par exemple de composition (1).

[0106] L'étape initiale 110 selon la voie chimique est alors réalisée selon l'un des trois protocoles suivants :

- La synthèse par coprécipitation, qui consiste en la précipitation de solutions aqueuses contenant les ions métalliques à concentration contrôlée pour former le ferrite de composition visée. La cinétique de précipitation est lente et la phase qui précipite est amorphe. La taille des nanoparticules obtenues est comprise entre 5 nm et 7 nm.
- La synthèse par Sol-gel, qui consiste en l'hydrolyse de solutions d'alkoxydes de formule $\text{Me}(\text{OR})_n$ en milieu alcoolique. On obtient des solutions colloïdales où les nanoparticules sont maintenues en suspension avec une taille de l'ordre de 5 nm, que l'on précipite ensuite.

- La synthèse hydrothermale, qui consiste en la dissolution de composés précurseurs (ou de dérivés intermédiaires) du précurseur 32 lui-même, suivie d'une précipitation des solutions obtenues. La synthèse hydrothermale diffère des autres protocoles par les conditions de température et de pression mises en œuvre, et est réalisée à des températures comprises entre 90 °C et 500 °C dans un réacteur sous une pression de l'ordre de quelques dizaines d'atmosphères. Cette synthèse par voie hydrothermale est avantageuse car elle produit des poudres très fines, faiblement agglomérées, et bien cristallisées. En outre, elle se produit à relativement basse température, les poudres de ferrites peuvent être obtenues à l'état doux, c'est-à-dire présenter une aimantation spécifique à saturation élevée et à champ coercitif de faible valeur, les caractéristiques des particules synthétisées sont facilement contrôlables via le contrôle des conditions de la réaction (sa température, sa durée, etc.), et la poudre de ferrite obtenue est adaptée pour être frittée à basse température tout en produisant un matériau massif et dense.

[0107] En fonction des conditions de réaction et du protocole de synthèse choisi, le précurseur du précurseur 32 obtenu à l'issue du protocole peut ne pas présenter de phase spinelle formée, ou présenter une phase spinelle partiellement formée.

[0108] Dans ce cas, l'étape initiale 110 comprend une phase de calcination supplémentaire visant à former la phase spinelle du précurseur 32, de sorte que le précurseur 32 obtenu à l'issue de l'étape 110 présente une phase spinelle formée.

[0109] En variante encore, ne faisant toujours pas partie de l'invention telle que revendiquée, lors de l'étape initiale 110, le précurseur 32 est obtenu par voie dite « polyol », au cours de laquelle on dissout des composés simples d'acétate, nitrate et chlorure dans des polyols liquides, tels que le 1,2- propane diol, le 1,2- éthane diol et le bis(2-hydroxy éthyl) éther. En raison de leur constante diélectrique assez élevée qui leur permet de dissoudre les solides inorganiques, ces polyols constituent des milieux propices à l'obtention de matériaux inorganiques divers : métaux, hydroxydes et oxydes. Se forment alors des complexes comprenant des groupes alkoxo, à partir desquels on obtient des oxydes et hydroxydes par hydrolyse et polymérisation.

[0110] La compétition entre ces réactions est contrôlable via la régulation du taux d'hydrolyse et de la température de réaction. Le contrôle des étapes de germination et de croissance permet d'obtenir des particules nanométriques, submicroniques et microniques présentant des propriétés optimisées à partir desquelles on obtient le précurseur 32.

[0111] Comme précédemment, en fonction des conditions de réalisation de l'étape initiale 110 par voie polyol, le précurseur du précurseur 32 obtenu peut ne pas pré-

senter de phase spinelle formée, ou présenter une phase spinelle partiellement formée.

[0112] Dans ce cas, l'étape initiale 110 comprend une phase supplémentaire de calcination visant à former la phase spinelle du précurseur 32, de sorte que le précurseur 32 obtenu à l'issue de l'étape 110 présente une phase spinelle formée.

[0113] En résumé, le précurseur 32 de formule générale (G), préférentiellement de formule (1), obtenu à l'issue de l'étape initiale 110 est:

- une poudre de ferrite présentant une phase spinelle formée obtenue par une alternance de broyages et de calcinations successifs d'un mélange d'oxydes nanométriques, et est obtenu par voie solide, variante ne faisant pas partie de l'invention telle que revendiquée, ou
- un mélange d'oxydes nanométriques ne présentant pas de phase spinelle et est obtenu par voie solide selon l'invention, ou
- une poudre de ferrite présentant une phase spinelle formée et est obtenu par voie chimique par synthèse par coprécipitation, par synthèse Sol-gel ou par synthèse hydrothermale, variante ne faisant pas partie de l'invention telle que revendiquée, ou
- une poudre de ferrite présentant une phase spinelle formée et est obtenu par voie polyol, variante ne faisant pas partie de l'invention telle que revendiquée.

[0114] La Demanderesse a mis en œuvre le procédé 30 décrit ci-dessus avec succès et a obtenu entre autres un exemple de composant 10 dont le ferrite de composition $\text{Ni}_{0.195}\text{Cu}_{0.2}\text{Zn}_{0.5999}\text{Co}_{0.006}\text{Fe}_2\text{O}_4$ a été cofritté avec une bobine de cuivre 14 par frittage direct sous une pression uniaxiale de 50 MPa, sous argon, et à une température comprise entre 650 °C et 800 °C.

[0115] Le composant 10 qui a été obtenu présente un moment magnétique à saturation égal à 54 A.m²/kg et une densité relative supérieure à 90%.

[0116] Le procédé 30 selon l'invention permet de réaliser le cofrittage de ferrites avec des métaux autres que les métaux nobles tels que l'argent Ag ou le Palladium Pd. En particulier, il permet la réalisation de composants monolithiques présentant une ou plusieurs bobines réalisées à partir de cuivre, ce que les procédés connus n'autorisent pas.

[0117] En effet, les méthodes de frittage conventionnelles imposent l'exposition prolongée, pour des durées allant parfois jusqu'à plusieurs jours, des éléments du composant à des températures relativement proches de la température de fusion du cuivre.

[0118] Ceci a pour effet d'induire des diffusions du cuivre dans le ferrite, ce qui dégrade voire rend inutilisables les composants obtenus.

[0119] Les composants obtenus par le procédé selon l'invention sont donc de moindre coût.

[0120] En outre, du fait qu'il ne contient que peu d'étapes, le procédé 30 diminue les risques d'occurrence

d'une erreur de manipulation des éléments du matériau, ou de leur dégradation lors de leur transports entre les lieux où elles se déroulent respectivement, de sorte que le procédé selon l'invention est globalement plus sûr et moins coûteux que les procédés de fabrication de ce type de composants électroniques connus.

[0121] En outre, le procédé selon l'invention ne présente pas de susceptibilité particulière aux dimensions des composants souhaités, à l'inverse des procédés comme le procédé dit LTCC (qui vient de l'anglais « Low Temperature Cofired Ceramic ») qui ne peut réaliser que des composants de faible taille (au maximum 10 mm de diamètre et 2 mm d'épaisseur, des dimensions supérieures se traduisant par des délaminations et des fissures), de sorte que les seules limitations du procédé 30 relèvent de limites intrinsèques aux matériaux utilisés.

[0122] Les composants 10 obtenus selon un tel procédé 30 ne font l'objet d'aucun surdimensionnement imposé par d'éventuelles limitations liées à leur procédé de fabrication, et présentent une compacité de 100%.

[0123] Par ailleurs, les composants électromagnétiques obtenus présentent une structure magnétique fermée qui confine totalement le flux magnétique et évite que ces composants ne rayonnent et n'interfèrent avec les composants voisins, de sorte que l'intégration des composants 10 obtenus par le procédé 30 est facilitée.

[0124] A l'inverse, un procédé comme le LTCC, qui ne permet la réalisation que de petits composants, rend très difficile la fabrication de composants dont le flux magnétique est confiné, les composants obtenus s'avérant complexes à intégrer.

[0125] En référence à la Figure 6, qui illustre le spectre de perméabilité complexe en fonction de la fréquence d'un composant électromagnétique 10 obtenu par le procédé 30 de frittage réactif selon l'invention avec sa partie réelle, μ' , repérée sur l'échelle de gauche et sa partie imaginaire, μ'' , sur l'échelle de droite, on constate que la perméabilité initiale est voisine de 120 jusqu'à une fréquence f_r égale à 10 MHz et diminue au-delà. En ce qui concerne la perméabilité imaginaire μ'' , elle est inférieure à 0.01 jusqu'à 2 MHz et augmente au-delà jusqu'à une fréquence f_r de résonance égale à 30 MHz. Ainsi le facteur de mérite μ''/f_r est égal à 6.6 GHz.

[0126] En référence à la Figure 7, qui illustre spectre de perméabilité complexe en fonction de la fréquence d'un ferrite d'un composant 10 et réalisé par le procédé 30 de frittage direct ne faisant pas partie de l'invention telle que revendiquée avec sa perméabilité réelle repérée sur l'échelle de gauche et sa perméabilité imaginaire repérée sur l'échelle de droite, on constate que la perméabilité initiale μ' est voisine de 60 jusqu'à une fréquence égale à 10 MHz, elle augmente jusqu'à 67 pour une fréquence égale à 50 MHz et diminue au-delà. En ce qui concerne la perméabilité imaginaire μ'' , elle est inférieure à 0,01 jusqu'à 10 MHz et augmente au-delà jusqu'à une fréquence f_r de résonance égale à 100 MHz. Ainsi le facteur de mérite μ''/f_r est égal à 6 GHz.

[0127] En référence à la Figure 8, dont la Figure 8a

illustre la micrographie au microscope électronique à balayage (MEB) de l'interface ferrite/cuivre d'un composant 10, et dont la Figure 8b illustre l'analyse EDS de l'interface entre une bobine 14 et du ferrite de ce composant 10, on constate d'après la Figure 8a que la tenue mécanique après cofrittage est satisfaisante. Les interfaces sont régulières et ne présentent ni délaminages ni fissures.

[0128] La Figure 8b montre que la frontière entre les deux éléments est parfaitement visible. La feuille de cuivre reste localisée entre les deux couches de ferrite et se retrouve sur une épaisseur de 100 μm . Au vu de cette Figure 8b, nous pouvons donc conclure que le cofrittage est parfaitement réussi entre le cuivre et le ferrite du composant 10 obtenu.

[0129] Quant à elles, la Figure 8c présente la micrographie de l'interface BaTiO_3/Cu observée au MEB et la Figure 8d représente l'analyse EDS de cette interface.

[0130] On observe une bonne tenue mécanique de la pièce cofrittée et une interface régulière entre les différents matériaux. Le cuivre reste bien confiné entre les couches de diélectriques et de ferrite. En outre, on ne retrouve aucun des éléments du diélectrique dans la couche du cuivre et inversement, on ne retrouve pas de cuivre dans le diélectrique. Ceci indique qu'il n'y a pas eu de diffusion entre les différents éléments de chaque couche à l'échelle du micron.

[0131] En référence à la Figure 9, qui présente en fonction de la fréquence l'inductance série L_s en trait épais et en trait fin le facteur de surtension Q d'une inductance monolithique intégrée réalisée par le procédé selon l'invention à 800 °C pendant cinq minutes, sous une pression uni-axiale de 50 MPa et sous argon, on constate que la valeur d'inductance série L_s de ce composant 10 selon l'invention est égale à 3,4 μH jusqu'à 10 MHz, le coefficient de surtension Q étant supérieur à 35 à 1 MHz et s'annulant à 10 MHz. La Figure 10 présente les mesures de l'inductance primaire et secondaire d'un transformateur 10 sans matériau diélectrique 15 et fonctionnant de 100 kHz à 10 MHz en fonction de la fréquence. Ce transformateur 10 est réalisé par le procédé de fabrication ne faisant pas partie de l'invention telle que revendiquée au cours duquel du matériau ferrite $\text{NiZnCuFe}_2\text{O}_4$ est cofritté avec une bobine 14 de cuivre de forme spirale circulaire par cofrittage direct à 800 °C pendant cinq minutes sous une pression uniaxiale de 50 MPa et sous argon. La valeur de l'inductance primaire et secondaire de ce transformateur 10 est repérée sur l'échelle de gauche (en μH) et est voisine de 1.8 et 2.2 μH jusqu'à 10 MHz, le coefficient de surtension étant repéré sur l'échelle de droite et étant supérieur à 25 à 1 MHz et s'annulant à 40 MHz.

[0132] Un composant 10 réalisé par un procédé selon l'invention comprenant une unique bobine 14 est par exemple une inductance destinée à être utilisée dans un dispositif de filtrage.

[0133] Un composant 10 réalisé par un procédé selon l'invention comprenant deux bobines 14, 14B est par

exemple un transformateur ou un coupleur magnétique.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un composant électromagnétique monolithique (10) comprenant plusieurs éléments dont une embase (12) réalisée à partir de ferrite spinelle et au moins une bobine (14, 14B) planaire comprenant plusieurs spires (16), l'un des éléments du composant électromagnétique monolithique (10) étant un matériau diélectrique (15), **caractérisé en ce qu'il** comprend la succession d'étapes suivantes :

- au cours d'une étape initiale (110), on obtient un précurseur (32) du ferrite, le précurseur (32) du ferrite étant un mélange d'oxydes ne présentant pas de phase spinelle formée, la granulométrie des oxydes étant de 5 μm au maximum.
- au cours d'une étape de préparation (120), dans un moule (34), on noie dans le précurseur (32) les éléments du composant électromagnétique monolithique (10) autres que le ferrite dont ladite au moins une bobine (14, 14B) et
- au cours d'une étape de cofrittage (130), on solidarise ledit précurseur (32), qui ne présente pas de phase spinelle formée, avec les autres éléments du composant électromagnétique monolithique (10) dont ladite au moins une bobine (14, 14B) par cofrittage sous charge par courant électrique pulsé.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la ou chaque bobine (14, 14B) est réalisée à partir de cuivre.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le ferrite présente une composition de formule $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x-y-\varepsilon+\delta}\text{Cu}_y\text{Co}_\varepsilon\text{Fe}_{2-\delta}\text{O}_4$, avec :

$$0,15 \leq x \leq 0,6 ;$$

$$0 < y \leq 0,2 ;$$

$$0 \leq \varepsilon \leq 0,1 ;$$

et

$$0 \leq \delta \leq 0,05.$$

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les spires (16) de la ou chaque bobine (14, 14B) présentent une

forme générale de spirale circulaire ou de spirale carrée.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**au cours de l'étape de préparation (120), on dépose dans le moule (34) une première couche (36) de précurseur (32) du ferrite, puis on dispose les autres éléments du composant électromagnétique monolithique dont la ou chaque bobine (14, 14B), puis on dépose une deuxième couche (38) de précurseur (32).

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'étape de cofrittage (130) comprend les étapes suivantes :

- une étape de compression (131), au cours de laquelle le moule (34) est soumis à une pression uniaxiale comprise entre 50 et 100 MPa, et
- une étape de décharge (132), au cours de laquelle un courant électrique d'intensité i comprise entre 1 A et 20000 A, et de préférence entre 1 A et 1000 A ou entre 1 et 10 A par millimètre carré de surface de composant, est délivré à travers le moule (34), de sorte que la température dans le moule (34) s'élève et les éléments du composant électromagnétique monolithique (10) se solidarisent les uns aux autres.

7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** l'étape de décharge (132) comprend un palier de cofrittage au cours duquel la température à l'intérieur du moule (34) est maintenue entre 650 °C et 850 °C, et de préférence entre 700 °C et 800 °C, pour une durée comprise entre 1 min et 30 min.

8. Procédé selon la revendication 6 ou 7, **caractérisé en ce que** l'étape de décharge (132) comprend également un premier palier de réaction au cours duquel la température dans le moule (34) est comprise entre 400 °C et 600 °C, et au cours duquel la phase spinelle du précurseur (32) se forme.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer monolithischen elektromagnetischen Komponente (10), umfassend eine Vielzahl von Elementen, darunter einen Sockel (12) aus Spinellferrit und mindestens eine planare Spule (14, 14B) umfassend eine Vielzahl von Windungen (16), wobei einen der Elemente der monolithischen elektromagnetischen Komponente (10) ein dielektrisches Material (15) ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** es die folgende Abfolge von Schritten umfasst:

- im Verlauf eines anfänglichen Schritts (110) wird ein Vorläufer (32) des Ferrits erlangt, wobei der Vorläufer (32) des Ferrits ein Gemisch von Oxiden ist und keine gebildete Spinellphase aufweist, wobei die Korngröße der Oxide höchstens $5\text{ }\mu\text{m}$ ist,
- im Verlauf eines Vorbereitungsschritts (120) in einer Form (34) werden die Elemente der monolithischen elektromagnetischen Komponente (10) F, die kein Ferrit sind, einschließlich der mindestens eine Spule (14, 14B), in den Vorläufer (32) eingebettet, und
- während eines Co-Sinterschritts (130) wird der Vorläufer (32), der keine gebildete Spinellphase aufweist, mit den anderen Elementen der monolithischen elektromagnetischen Komponente (10), einschließlich der mindestens eine Spule (14, 14B), durch Co-Sintern unter Last mittels eines gepulsten elektrischen Stroms verbunden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die oder jede Spule (14, 14B) aus Kupfer gefertigt ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ferrit eine Zusammensetzung der Formel $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x-y-\varepsilon-\delta}\text{Cu}_y\text{Co}_\varepsilon\text{Fe}_{2-\delta}\text{O}_4$ aufweist, wobei:

$$0,15 \leq x \leq 0,6;$$

$$0 < y \leq 0,2;$$

$$0 \leq \varepsilon \leq 0,1;$$

und

$$0 \leq \delta \leq 0,05.$$

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Windungen (16) der oder jeder Spule (14, 14B) eine allgemeine kreisförmige Spiralförmigkeit oder eine quadratische Spiralförmigkeit aufweisen.
5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Verlauf des Vorbereitungsschritts (120) eine erste Schicht (36) eines Vorläufers (32) des Ferrits in der Form (34) abgeschieden wird, dann die anderen Elemente der monolithischen elektromagnetischen Komponente angeordnet werden, einschließlich der oder jeder Spule (14, 14B), und dann eine zweite Schicht (38)

des Vorläufers (32) abgeschieden wird.

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt eines Co-Sinterns (130) die folgenden Schritte umfasst:

- einen Kompressionsschritt (131), bei dem die Form (34) einem einachsigen Druck zwischen 50 und 100 MPa ausgesetzt wird, und
- einen Entladungsschritt (132), bei dem ein elektrischer Strom mit einer Stärke i zwischen 1 A und 20.000 A, vorzugsweise zwischen 1 A und 1000 A oder zwischen 1 und 10 A pro Quadratmillimeter Komponentenoberfläche, durch die Form (34) geleitet wird, sodass die Temperatur in der Form (34) ansteigt und sich die Elemente der monolithischen elektromagnetischen Komponenten (10) miteinander verbinden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Entladungsschritt (132) eine Co-Sinterphase umfasst, in deren Verlauf die Temperatur im Inneren der Form (34) über einen Zeitraum zwischen 1 Minute und 30 Minuten zwischen $650\text{ }^\circ\text{C}$ und $850\text{ }^\circ\text{C}$, vorzugsweise zwischen $700\text{ }^\circ\text{C}$ und $800\text{ }^\circ\text{C}$, gehalten wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Entladungsschritt (132) auch eine erste Reaktionsphase umfasst, in deren Verlauf die Temperatur in der Form (34) zwischen $400\text{ }^\circ\text{C}$ und $600\text{ }^\circ\text{C}$ liegt und während der die Spinellphase des Vorläufers (32) gebildet wird.

Claims

1. A method for producing a monolithic electromagnetic component (10) comprising several elements including a base (12) made from spinel ferrite and at least one planar coil (14, 14B) comprising several turns (16), one of the elements of the monolithic electromagnetic component (10) being a dielectric material, **characterized in that** it comprises the following steps:

- during an initial step (110), a precursor (32) of the ferrite is obtained, the precursor (32) of the ferrite being a mixture of oxides which do not exhibit a spinel formed phase, the granulometry of the oxides being at most $5\text{ }\mu\text{m}$,
- during a preparation step (120), in a mold (34), the elements of the monolithic electromagnetic component (10), including said at least one coil (14, 14B) and other than the ferrites, are submerged in the precursor (32), and
- during a co-sintering step (130), said precursor (32) is secured with the other elements of the

monolithic electromagnetic component (10), including said at least one coil (14, 14B), by co-sintering under a load by pulsed electric current.

2. The method according to claim 1, **characterized in that** the or each coil (14, 14B) is made from copper. 5
3. The method according to claim 1 or 2, **characterized in that** the ferrite has a composition with formula $\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x-y-\varepsilon+\delta}\text{Cu}_y\text{Co}_\varepsilon\text{Fe}_{2-\delta}\text{O}_4$, with: 10

$$0.15 \leq x \leq 0.6;$$

$$0 < y \leq 0.2;$$

$$0 \leq \varepsilon \leq 0.1;$$

and

$$0 \leq \delta \leq 0.05.$$

4. The method according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the turns (16) of the or each coil (14, 14B) have a general circular spiral or square spiral shape. 25
5. The method according to any one of the preceding claims, **characterized in that** during the preparation step (120), a first precursor (32) layer (36) of the ferrite is deposited in the mold (34), then the other elements of the monolithic electromagnetic component are arranged, including the or each coil (14, 14B), then a second precursor (32) layer (38) is deposited. 30
6. The method according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the co-sintering step (130) comprises the following steps: 40
- a compression step (131), during which the mold (34) is subjected to a uniaxial pressure comprised between 50 and 100 MPa, and 45
 - a discharge step (132), during which an electric current with an intensity i comprised between 1 A and 20000 A, and preferably between 1 A and 1,000 A or between 1 and 10 A per square millimeter of component surface, is delivered through the mold (34), such that the temperature in the mold (34) rises and the elements of the monolithic electromagnetic component (10) become secured to one another. 50
7. The method according to claim 6, **characterized in that** the discharge step (132) comprises a co-sinter- 55

ing plateau during which the temperature inside the mold (34) is kept between 650°C and 850°C, preferably between 700°C and 800°C, for a duration comprised between 1 min and 30 min.

8. The method according to claim 6 or 7, **characterized in that** the discharge step (132) also comprises a first reaction plateau during which the temperature in the mold (34) is comprised between 400°C and 600°C, and during which the spinel phase of the precursor (32) forms.

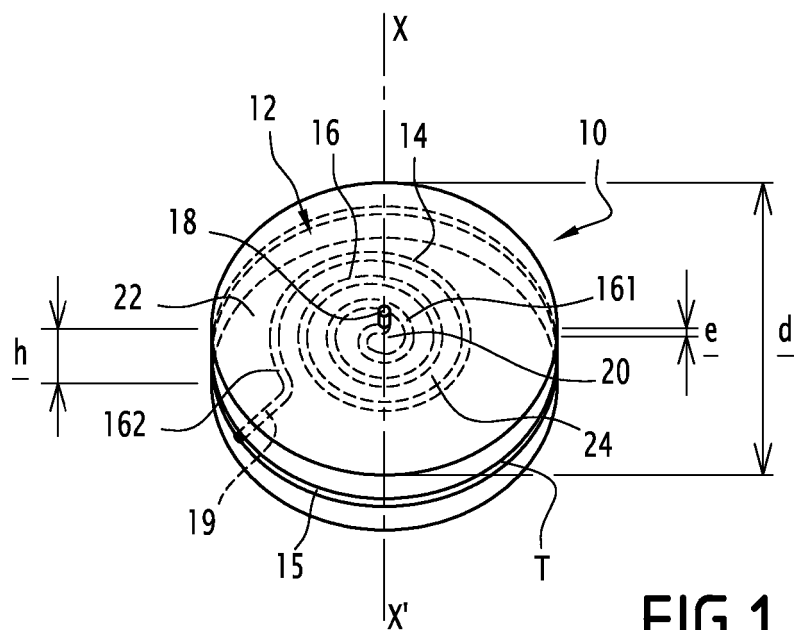


FIG.1

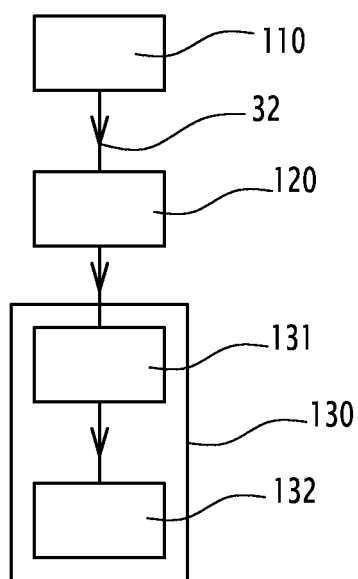


FIG.4

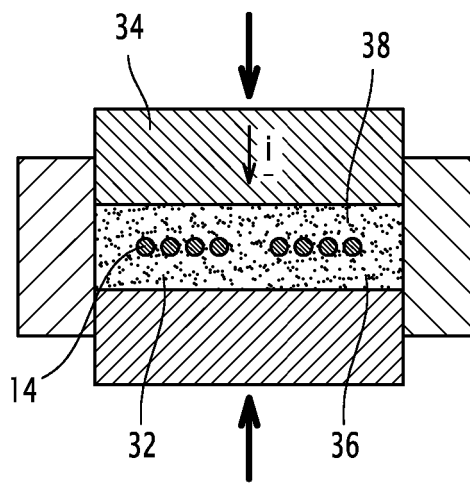


FIG.5

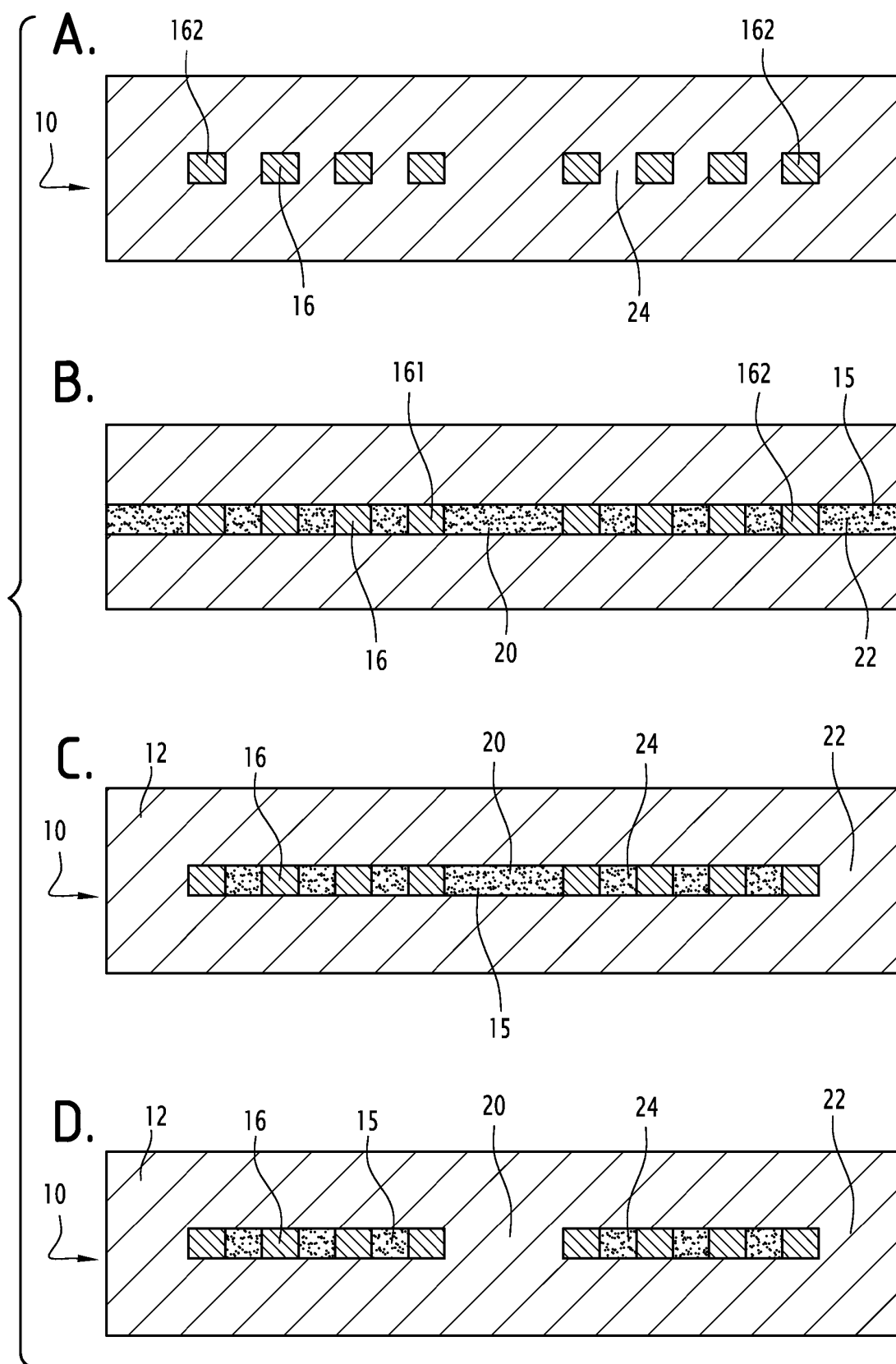


FIG. 2

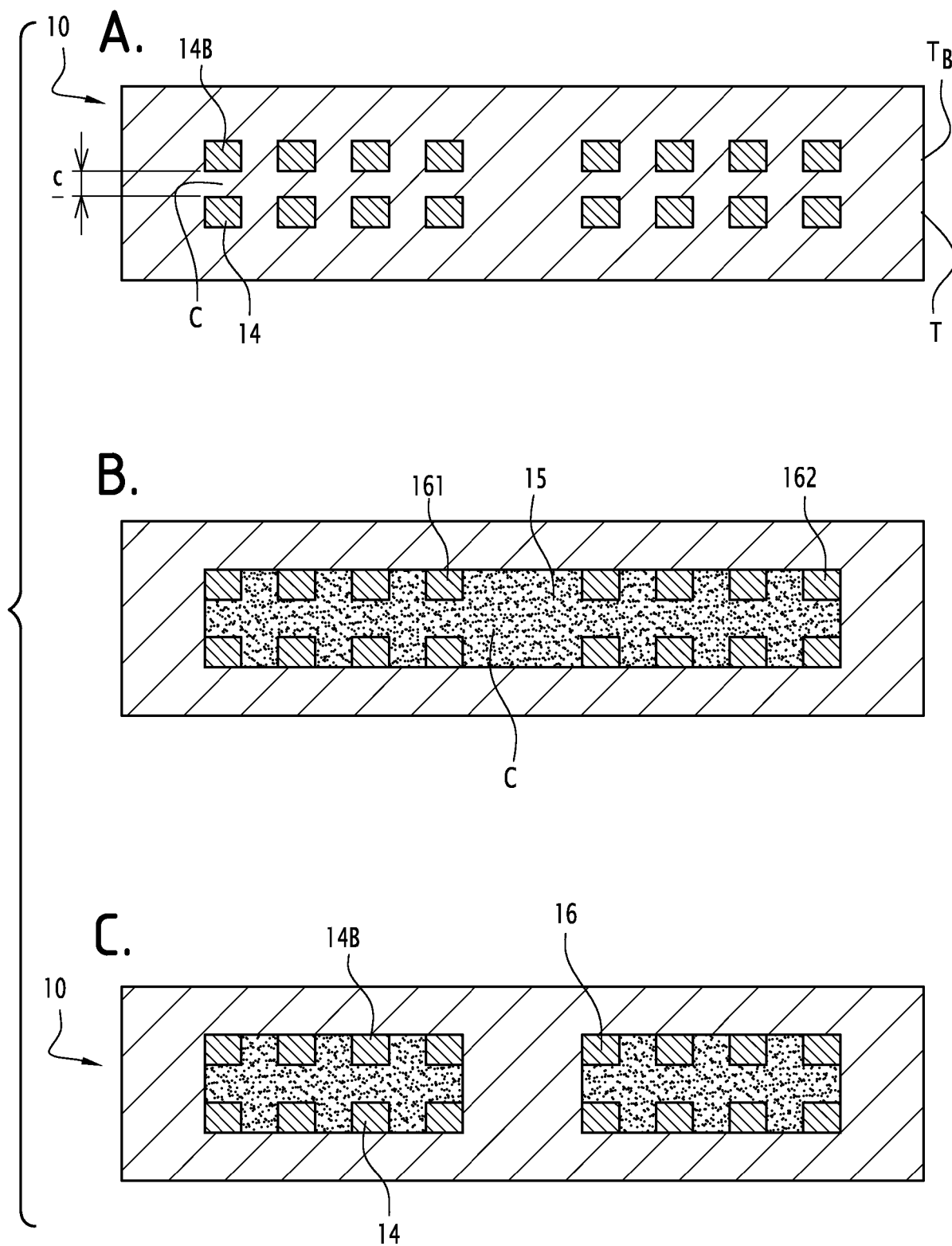


FIG.3

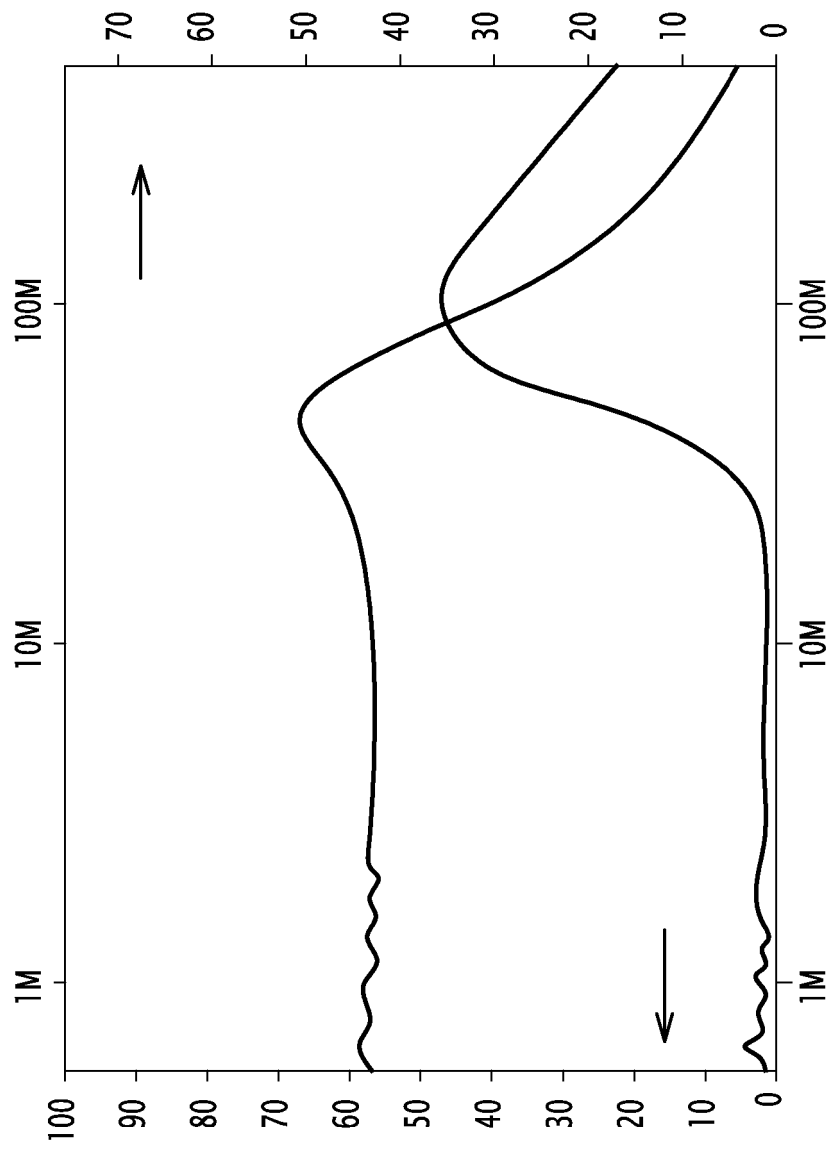
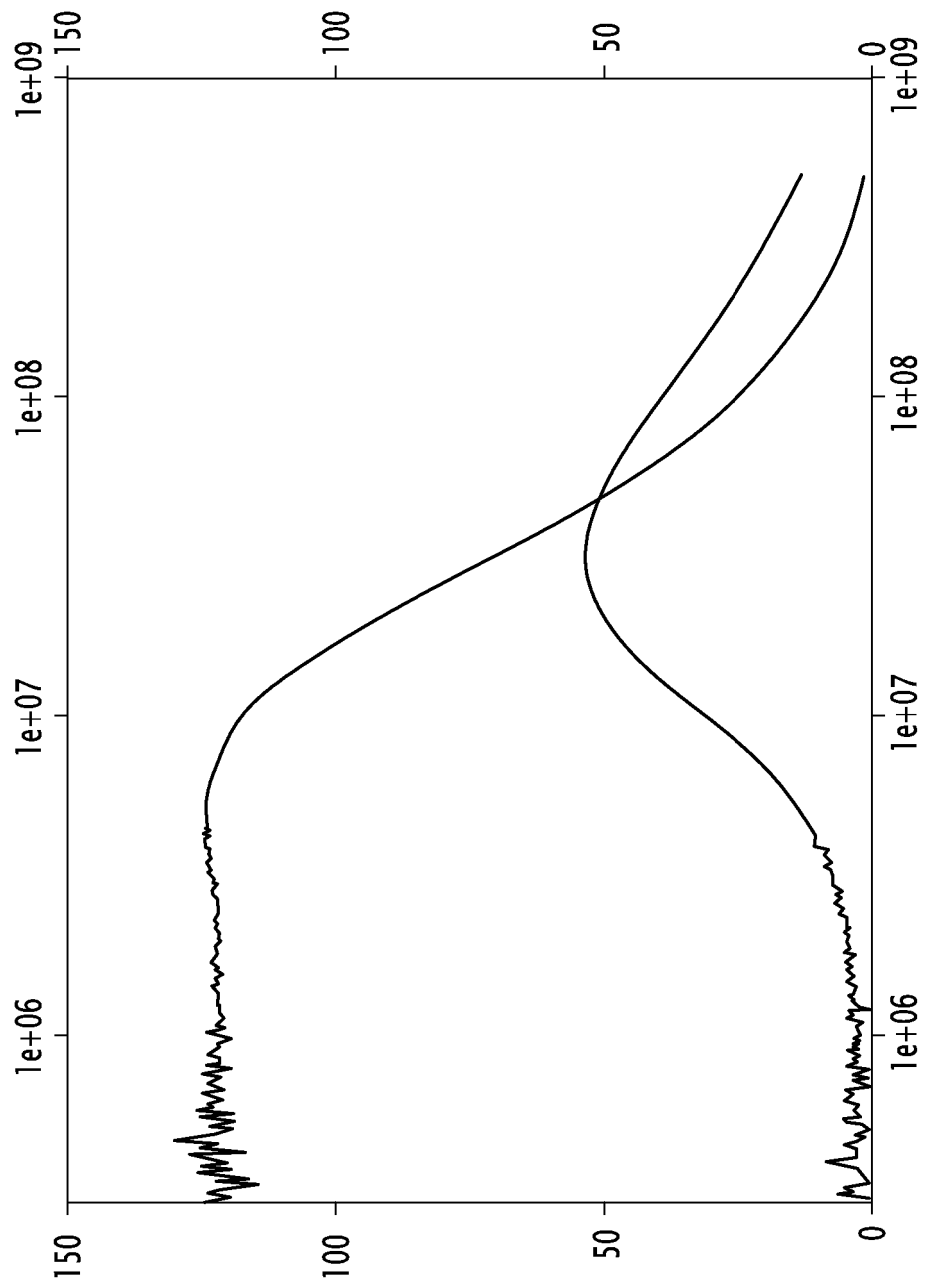


FIG.6

**FIG.7**

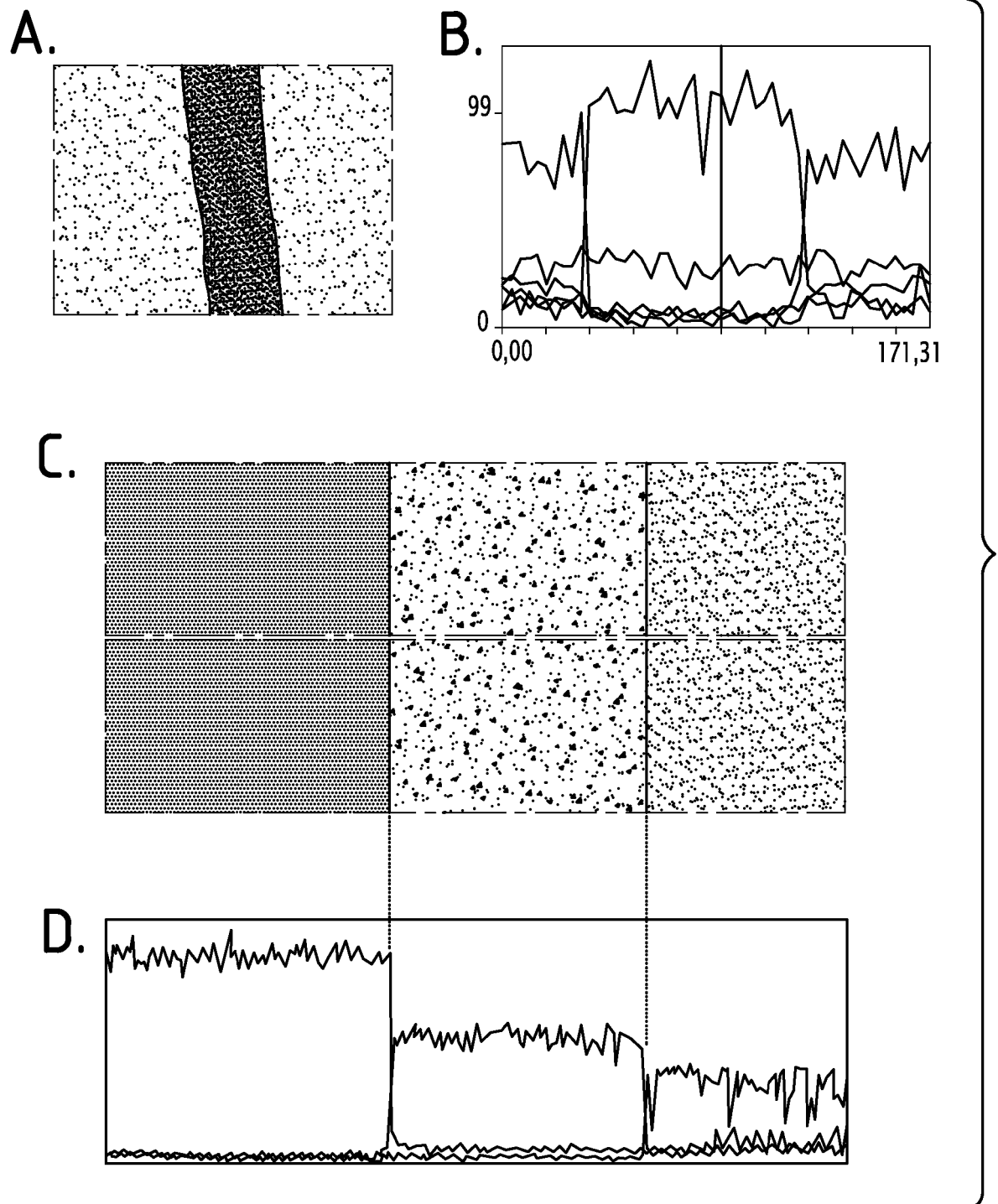
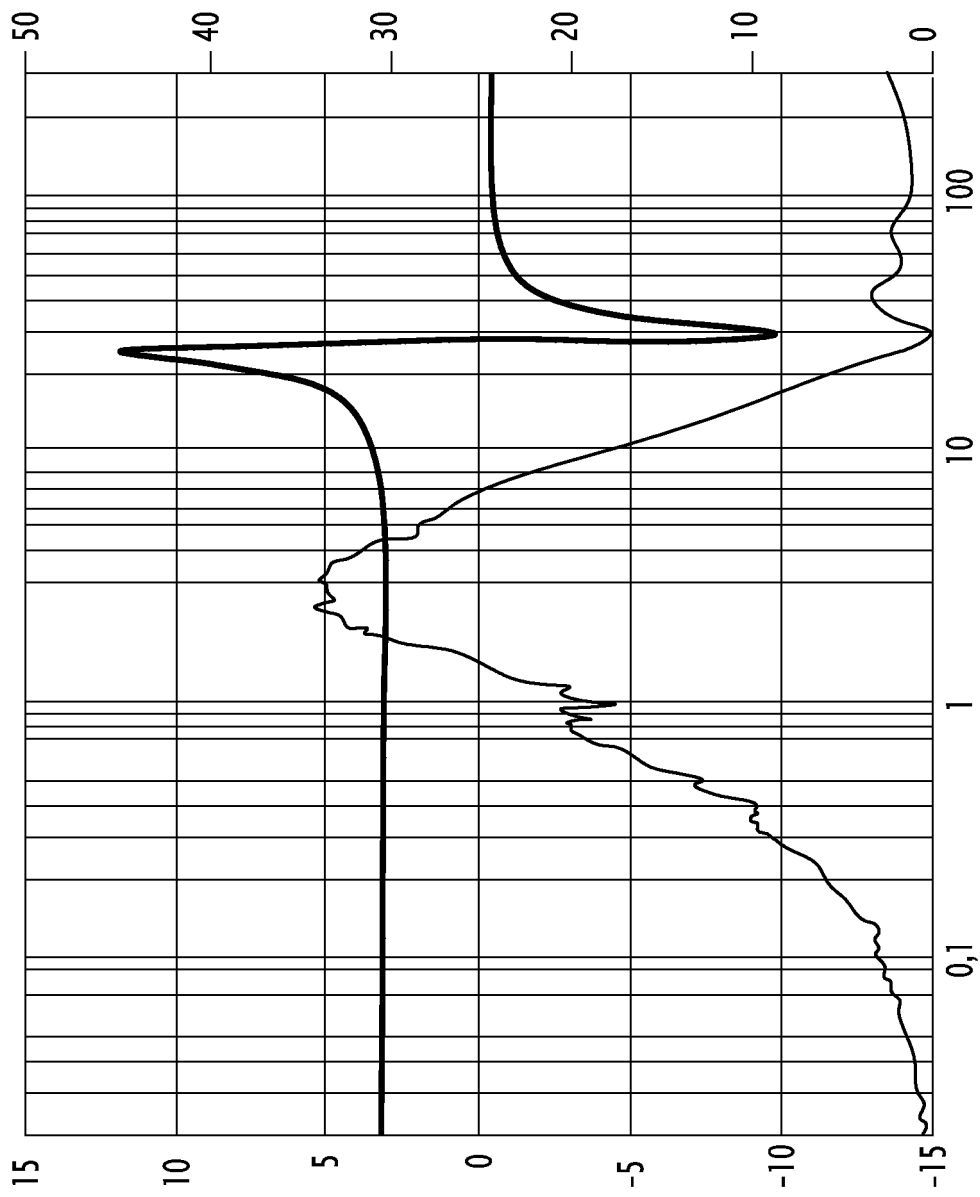
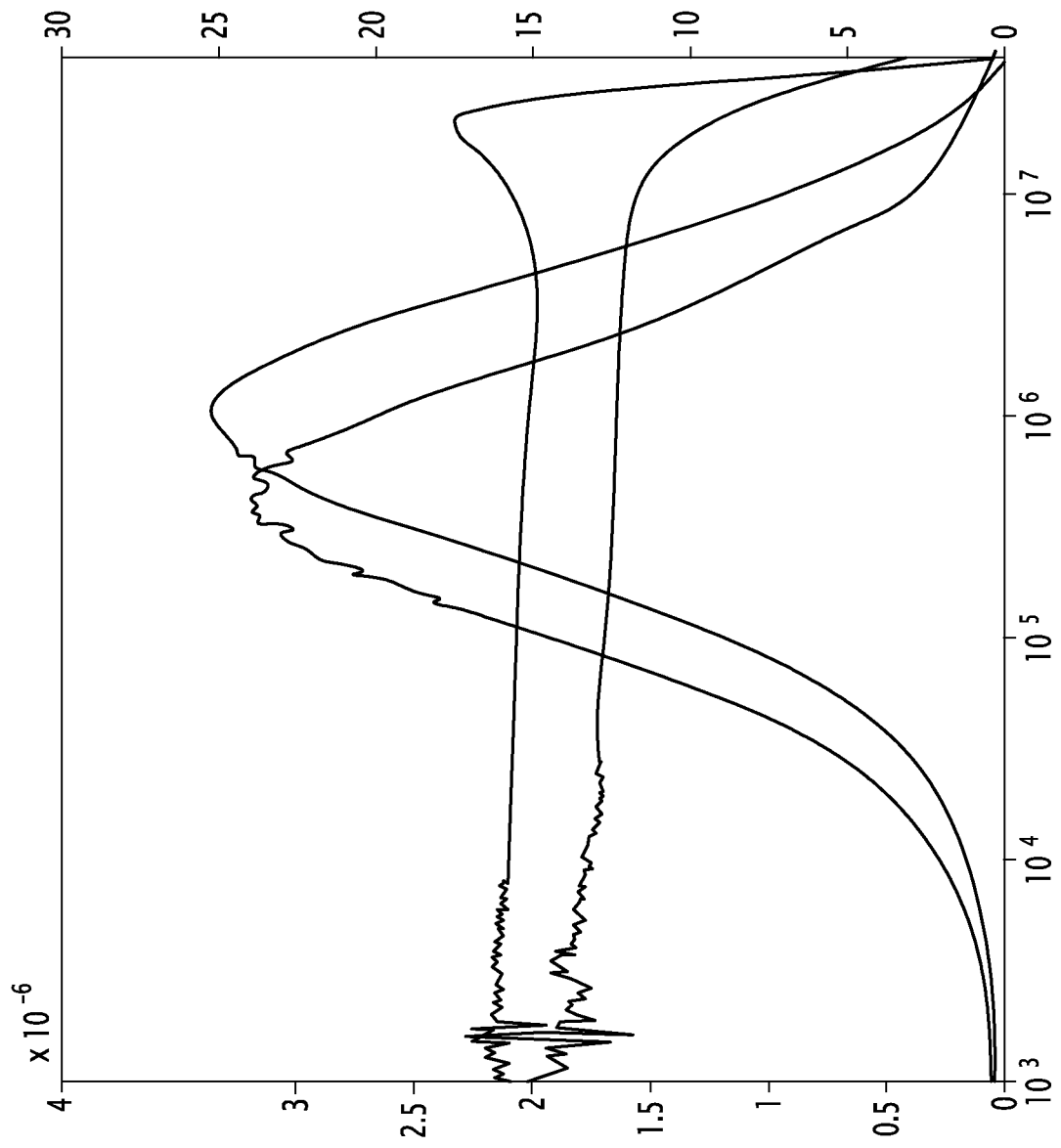


FIG.8

FIG. 9

**FIG.10**

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- JP 2010177319 A [0007]