

Cathodes pour tubes hyperfréquences de grande puissance

G. NOEL

LABORATOIRES D'ÉLECTRONIQUE
ET DE PHYSIQUE APPLIQUÉE

Sommaire

L'examen des propriétés des cathodes classiques (cathodes à oxydes, cathodes en tungstène thorié, cathodes bombardées) révèle que, parfaites pour la réalisation de tubes hyperfréquences de faible ou de moyenne puissance, elles présentent certains inconvénients lorsqu'on veut aborder le domaine des puissances élevées.

L'auteur décrit deux types de cathodes à réserve (cathode L et cathode imprégnée) que leurs propriétés remarquables désignent pour l'équipement des klystrons amplificateurs de puissance. Il expose les différentes opérations de fabrication des cathodes imprégnées dont l'élément essentiel est un disque de tungstène poreux imprégné d'aluminates de baryum.



1. Introduction

Avant d'aborder l'examen des cathodes pour tubes hyperfréquences, il convient d'abord de se demander quelles propriétés ces cathodes doivent présenter, et à quelles exigences elles doivent satisfaire.

La réponse semble évidente. En effet, on est entré dans le domaine des tubes dits « spéciaux » pour atteindre des performances que l'on ne pouvait obtenir par les procédés classiques. Les tubes U.H.F. ont donc des caractéristiques générales poussées : puissance et rendement élevés, sûreté de fonctionnement et longue durée de vie.

On se doute alors que les cathodes pour tubes hyperfréquences de grande puissance devront être dotées de performances analogues à celles de bonnes cathodes

des courantes, et, de plus, présenter une robustesse et une longévité supérieures.

Les cathodes pour tubes U.H.F. doivent remplir les conditions suivantes (chacune constituant un critère de qualité) :

- 1) Bonne émission.
- 2) Saturation pour des densités de courant les plus élevées possibles.
- 3) Travail de sortie de l'électron hors de la couche le plus bas possible.
- 4) Bon rendement thermique.
- 5) Insensibilité aux effets de la très haute tension (*sparking*).
- 6) Résistance élevée aux bombardements ioniques.
- 7) Longue durée de vie.

2. Les cathodes classiques

Les cathodes à oxydes

De toutes les cathodes courantes, celles qui, à première vue, semblent offrir les conditions les plus avantageuses paraissent bien être les cathodes à oxydes. Elles présentent une bonne émission et leur très faible travail de sortie constitue une caractéristique intéressante.

Considérons l'équation bien connue de Richardson, qui régit l'émission thermoélectronique :

$$J = A_0 T^2 e^{-\frac{e\varphi_0}{kT}}$$

où :

J ($A \cdot cm^{-2}$) représente la densité de courant,
 A_0 ($A \cdot cm^{-2} \cdot ^\circ K^{-2}$) une constante dépendant du type de la cathode,

T ($^\circ K$) la température de la couche émissive,

φ_0 (eV) le travail de sortie,

e (C) la charge de l'électron,

et k la constante de Boltzmann.

On obtient une valeur φ_0 variant de 1,0 à 1,5 eV selon le métal-support utilisé.

Leur température de chauffage n'étant pas très élevée (de l'ordre de 850 $^\circ C$), ces cathodes ont un bon

rendement thermique, environ 0,25 ampère de courant électronique pour 1 watt de courant de chauffage, en régime continu. La fabrication en est très facile, et le coefficient d'émission secondaire de la couche d'oxydes, relativement bon, fait qu'elles seraient intéressantes à employer dans les magnétons.

Mais ces qualités s'accompagnent malheureusement de défauts assez importants pour que l'on ait dû abandonner leur utilisation dans certains domaines. L'inconvénient majeur de cette cathode est sa fragilité, défaut qui devient un vice rédhibitoire lorsqu'on aborde le domaine des tubes de grande puissance. En effet, la cathode à oxydes supporte très mal le bombardement ionique.

Ce bombardement destructif se manifeste dès que l'on utilise des faisceaux électroniques à grande densité de courant et à forte accélération. Sous l'impact de ces ions, non seulement la cathode s'empoisonne à plus ou moins longue échéance, mais elle se dégrade par pulvérisation cathodique. De plus, cette cathode résiste mal aux effets de la haute tension, surtout en régime continu. Des forces électrostatiques, résultant de la tension appliquée au tube, s'exercent sur la cathode et font que des particules de la couche sont arrachées et précipitées dans le faisceau. Elles apparaissent sous forme d'étincelles.

D'autre part, la couche d'oxydes est assez fortement résistive. Lorsque la cathode débite, la puissance

dissipée par effet Joule provoque un échauffement qui, s'il devient excessif, contribue à la destruction de la couche émissive. C'est là une limitation importante de la cathode à oxydes.

Comment alors utiliser ces cathodes dans des conditions rentables ? On ne peut y parvenir qu'en les faisant fonctionner avec de très faibles densités de courant : en régime continu, le débit est limité à $0,5 \text{ A/cm}^2$ et, dans les cas où la durée de vie de la cathode joue un rôle prépondérant, cette limite est ramenée à une valeur comprise entre $0,03$ et $0,1 \text{ A/cm}^2$.

De cette façon le bombardement ionique rapporté à l'unité de surface devient moindre. Mais, en agissant de la sorte, on aboutit rapidement à des cathodes de grand diamètre et, par suite, à des faisceaux larges plus difficiles à utiliser.

Plusieurs solutions ont été expérimentées afin d'augmenter la solidité de la couche, ou de protéger les oxydes des phénomènes destructifs cités plus haut. Ainsi est née la cathode dite « *Nickel-Matrix* ». Cette cathode offre l'avantage d'avoir une surface peu fragile, bien que poreuse, et dont la couche sous-jacente abrite dans sa maille spongieuse les oxydes de baryum en réserve. Elle est utilisée avec succès dans des magnétrons fonctionnant dans des conditions particulièrement difficiles. En effet, les électrons qui, pour des raisons de non-concordance de phase, n'ont pu contribuer au phénomène d'oscillation sous l'influence des champs électriques et magnétiques combinés, « retombent » sur la cathode en lui cédant leur énergie cinétique. Une partie de cette énergie sert à extraire d'autres électrons par émission secondaire, mais la plus grande partie est transformée en chaleur. Cet apport calorifique est à ce point important que, dans certains types de magnétrons, il peut à lui seul maintenir la cathode à une température proche de celle de fonctionnement, ce qui permet de réduire considérablement le chauffage du filament. En revanche, ces électrons qui retournent vers la cathode la soumettent à un bombardement destructif.

La cathode « *Nickel-Matrix* » est constituée par du nickel spongieux, imprégné de carbonates par badigeonnage. L'épaisseur totale de la couche émissive est d'environ 200 à 300μ . Ce nickel spongieux est préalablement obtenu à partir de couches d'oxyde de nickel, successivement réduites et frittées par chauffage dans une enceinte contenant de l'hydrogène purifié.

Ce procédé, choisi parmi bien d'autres que nous ne décrirons pas, donne de bons résultats dans le cas de tubes à moyenne puissance; mais lorsqu'on veut aborder le domaine des grandes puissances en régime de fonctionnement continu, on rencontre des difficultés qui ne peuvent être surmontées que par l'utilisation de matériaux émissifs pratiquement indestructibles mais possédant néanmoins des propriétés d'émission satisfaisantes.

Les cathodes en tungstène thorié

Le premier élément auquel on songe est évidemment le tungstène car il résiste parfaitement aux bombardements ioniques et aux effets de la haute tension. Mais le tungstène n'est pas sans défauts. De tous les émetteurs couramment utilisés, c'est celui qui a le plus mauvais rendement thermique ($6 \cdot 10^{-3} \text{ A/W}$) et un travail de sortie situé parmi les plus élevés : $4,52 \text{ eV}$. De plus, la difficulté rencontrée pour le travailler, si l'on n'utilise aucun artifice, en limite beaucoup le champ d'application. Il faut alors trouver une solution qui permette d'abaisser le travail d'extraction des électrons émergeant du métal et d'augmenter le rendement thermique de la cathode.

Un procédé consiste à incorporer au tungstène du thorium, à partir de la thorine ThO_2 dans une proportion de l'ordre de 2% . On chauffe à haute température, vers 2800°C , pour provoquer la fusion de la thorine déposée sur le tungstène. On ramène ensuite la température à 2100°C . L'oxygène est fixé par le tungstène pour former un oxyde que l'on évacue sous vide. Le thorium, ainsi obtenu par réduction, diffuse à l'intérieur du réseau cristallin du tungstène et forme, en surface, une couche monomoléculaire. On obtient ainsi un émetteur dont le travail d'extraction est inférieur à celui du tungstène pur.

Le potentiel de sortie est $4,5$ volts pour le tungstène, $3,4$ volts pour le thorium et $2,7$ volts pour l'alliage. On multiplie ainsi par 10 le rendement thermique par rapport à celui du tungstène pur. Mais ce rendement est encore faible : de l'ordre de $7 \cdot 10^{-2} \text{ A/W}$. Pour la préparation de ces cathodes, la température est réglée de telle sorte que la vitesse de diffusion du thorium à travers la masse du tungstène soit au moins égale à celle des atomes de thorium en surface. Cette température est de l'ordre de 1800°C pour une émission de 3 A/cm^2 . Possédant un assez bon pouvoir émissif, ce type de cathode résiste bien aux effets électrostatiques. Mais il présente un grave défaut : le thorium s'évapore rapidement, ce qui écourte la durée de vie de la cathode. On peut y remédier en formant une couche de carbure de tungstène W_2C à la surface de la cathode. Cette pellicule superficielle, obtenue par décharge électrique dans du méthane, abaisse la vitesse d'évaporation du thorium, mais les propriétés thermo-électroniques s'en ressentent quelque peu.

Cette cathode présente une émission meilleure que celle du tungstène pur, mais son utilisation est restreinte par le fait qu'elle ne peut s'adapter à toutes les exigences. Et, par surcroît, elle résiste mal aux bombardements d'ions gazeux rapides.

De toutes façons, la cathode en tungstène thorié ne peut prétendre concurrencer les cathodes dites « à réserve » que nous décrirons plus loin.

Les cathodes bombardées

Ces cathodes, fabriquées le plus souvent en tantale ou en tungstène thorié, sont chauffées par bombardement électronique, à partir d'une source auxiliaire d'électrons, située au-dessous de la cathode.

Lorsqu'on a affaire à des cathodes de grand diamètre, ce mode de chauffage permet d'obtenir une température uniforme sur la surface émissive. Mais le réglage est critique. La complication de fonctionnement de ce type de cathode fait qu'il ne sau-

rait être question d'en généraliser l'emploi. En effet, sur certains tubes, la puissance d'alimentation nécessaire pour le bombardement dépasse de beaucoup le kilowatt. D'autre part, si la cathode est reliée à la haute tension (anode à la masse) il faut tenir compte des problèmes d'isolement.

Nous venons de passer rapidement en revue les principaux types de cathodes courantes, et d'en montrer les avantages et les inconvénients.

Nous pouvons maintenant essayer de définir la cathode parfaite. Ce serait celle qui, dans l'état actuel de nos connaissances expérimentales, allierait à la solidité du tungstène des propriétés d'émission au moins aussi bonnes que celles de la cathode à oxydes.

C'est en partant de cette idée directrice qu'ont été mises au point les cathodes dites « à réserve ».

3. Les cathodes à réserve

Nous n'étudierons ici que deux types de cathodes à réserve : les cathodes du type L⁽¹⁾ et les cathodes imprégnées du type B⁽²⁾.

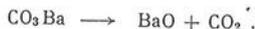
La cathode L

Description.

Elle est constituée, dans le cas d'une cathode à surface émissive plane (dite cathode plane), par un corps de molybdène cylindrique à deux compartiments (fig. 1 a).

Le compartiment supérieur est étanche. Il est fermé par un disque de tungstène poreux soudé au molybdène. Dans ce volume est placée une pastille composée de carbonates doubles de baryum et de strontium. Le compartiment inférieur, non fermé, est réservé au filament.

Pendant la formation de la cathode, lorsqu'on chauffe ce filament, les carbonates doubles sont transformés en oxydes doubles correspondants, avec dégagement de gaz carbonique, selon la réaction :



Cette transformation doit se faire lentement, afin d'éviter les réactions possibles entre les carbonates et le tungstène. Lorsqu'il n'y a plus de libération de CO_2 , on considère que la formation est terminée. On s'en rend compte, en cours de pompage, par une baisse rapide de la pression. On augmente alors la température jusqu'à 1150 °C pour finir l'activation.

Les atomes de baryum peuvent alors diffuser à travers le tungstène poreux et se répandre sur la surface émissive en une couche monomoléculaire. La cathode est ainsi prête à fonctionner.

Caractéristiques de la cathode L.

1) ÉMISSION

L'émetteur ainsi réalisé présente, à peu de choses près, les qualités thermoélectroniques de la cathode à oxydes tout en possédant la solidité du tungstène. Le baryum déposé sur le tungstène abaisse le travail de sortie de 4,52 à 1,7 eV ; ce travail n'est que de 1,0 à 1,5 eV pour la cathode à oxydes qui, sur ce point, montre une légère supériorité. Mais, avec la cathode L, il n'y a plus de limitation du courant électronique, car la couche émissive ne présente qu'une résistance négligeable. On a vu qu'il fallait limiter l'émission de la cathode à oxydes à 0,5 A/cm² afin d'éviter un échauffement excessif de la couche

⁽¹⁾ Cathode L : cathode développée par H.J. Lemmens, Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven.

⁽²⁾ Cathode B : cathode développée par Roberto Levi, Philips Laboratories, Irvington on Hudson, U.S.A.

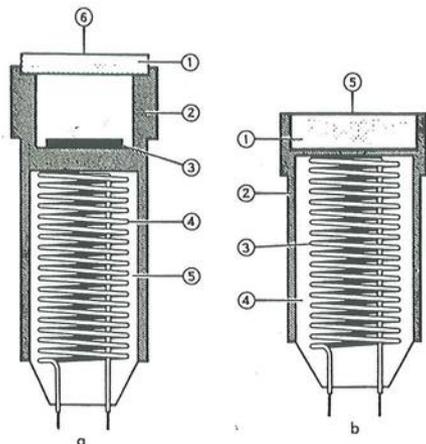


Fig. 1. Cathodes planes.

a) cathode du type L :

- 1 : disque de tungstène poreux
- 2 : corps de molybdène
- 3 : pastille de carbonates de baryum et de strontium...
- 4 : filament
- 5 : matière isolante
- 6 : surface émissive

b) cathode imprégnée :

- 1 : pastille de tungstène poreux imprégné d'aluminates de baryum
- 2 : corps de molybdène
- 3 : filament
- 4 : matière isolante
- 5 : surface émissive

par effet Joule et l'auto-amplification du courant électronique résultant de l'accroissement concomitant de la température avec l'émission. On s'en rend facilement compte quand on considère l'équation de Richardson où la température figure, d'une part, sous la forme T^2 et, d'autre part, sous la forme

$$-\frac{1}{T} \text{ dans le terme exponentiel.}$$

Le débit normal de la cathode L à 1050 °C est de 2 A/cm² en régime continu. En régime pulsé, il peut atteindre 300 A/cm².

2) INFLUENCE DU BOMBARDÈMENT IONIQUE

La cathode L résiste très bien au bombardement d'ions gazeux rapides. En cas de dégazage accidentel dans un tube en fonctionnement, on remarque tout

au plus une baisse passagère de l'émission. Mais la cause cessant, tout rentre très vite dans l'ordre. On peut toutefois accélérer la remontée de l'émission en surchauffant momentanément la cathode. Cette facilité de récupération est due, d'une part, à la surface de tungstène de cette cathode, d'autre part, au renouvellement continu du film de baryum. On a vu que la cathode à oxydes ne présentait pas une telle propriété de défense contre l'empoisonnement. Mais, naturellement, la cathode L peut, comme les autres cathodes, être détériorée par une entrée d'air.

3) DURÉE DE VIE

Un aspect remarquable de ce type de cathode est que la durée de vie ne dépend pas de la grandeur du courant électronique pour une température donnée. Elle ne dépend, pour une cathode de dimensions données (3), que de la vitesse d'évaporation

(3) En effet, la durée de vie dépend aussi de la quantité de baryum accumulée sous la surface émissive.

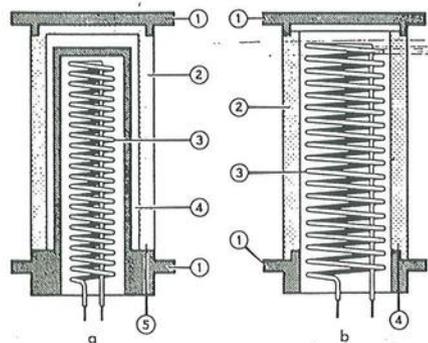


Fig. 2. Cathodes cylindriques.

a) cathode du type L :

- 1 : pièces en molybdène
- 2 : corps de tungstène poreux
- 3 : filament
- 4 : réserve de carbonates de baryum et de strontium
- 5 : surface émissive

b) cathode imprégnée :

- 1 : pièces en molybdène
- 2 : cylindre de tungstène poreux imprégné d'aluminates de baryum
- 3 : filament
- 4 : surface émissive

du baryum en réserve. Or cette vitesse d'évaporation est fonction de la température. Donc plus la température de fonctionnement sera élevée, moins la durée de vie sera longue.

Pour un service normal, à $1\ 050\ ^\circ\text{C}$, la durée de vie dépasse 5 000 heures. La vitesse d'évaporation du baryum sous la forme Ba et BaO a été mesurée. Elle atteint $1,7 \cdot 10^{-9}$ gramme de baryum par centimètre carré et par seconde à une température de $1\ 465\ ^\circ\text{K}$.

La cathode imprégnée

Description et propriétés.

Les caractéristiques générales de fonctionnement de la cathode imprégnée du type B diffèrent assez peu de celles de la cathode L. Les principales améliorations concernent surtout le rendement et la facilité de réalisation.

La différence fondamentale réside dans le fait que les carbonates de baryum et de strontium sont remplacés dans la cathode imprégnée par des aluminates de baryum et que ces derniers, au lieu d'être placés sous un disque de tungstène poreux, sont noyés, par fusion, dans le disque même. Pour permettre le stockage du baryum, ce disque est plus volumineux que celui de la cathode L. Naturellement, plus on donnera d'importance à ce réservoir, plus on pourra espérer une longue durée de vie.

La figure 1 permet de comparer la structure d'une cathode L à celle d'une cathode imprégnée. Cette dernière, beaucoup plus simple, est constituée essentiellement par une pastille de tungstène poreux imprégné d'aluminates, fixée à un corps de molybdène par sertissage ou par soudure. La soudure assure un meilleur échange thermique.

Ce type de cathode résulte de travaux destinés à améliorer la cathode L qui présentait les inconvénients suivants :

- 1) Difficulté de réaliser des cathodes de formes complexes, pour des raisons de logeabilité des réserves de baryum.
- 2) Lenteur de dissociation des carbonates entraînant une longue durée d'activation pendant le pompage.
- 3) Nécessité absolue d'effectuer des soudures étanches entre le corps de molybdène et le disque de tungstène, pour éviter les fuites de baryum.

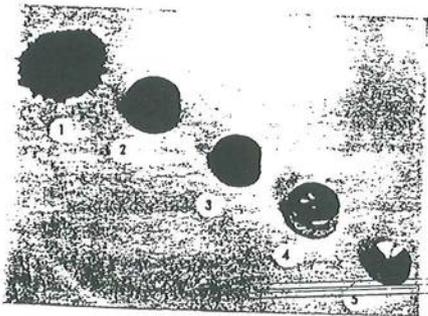


Fig. 4. Les différents stades de fabrication d'une cathode imprégnée.

- 1 : poudre de tungstène très pur
- 2 : pastille pré-frittée
- 3 : pastille frittée à 83%
- 4 : pastille imprégnée de cuivre
- 5 : pastille usinée, débarrassée du cuivre et imprégnée d'aluminates de baryum.

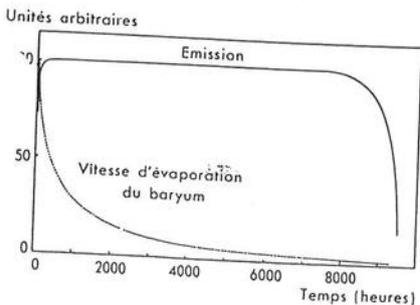


Fig. 3. Courbes donnant l'allure, en fonction du temps, de l'émission et de la vitesse d'évaporation du baryum dans une cathode imprégnée.

La figure 2 permet de comparer deux cathodes « cylindriques » (cathodes à surface émissive cylindrique) : la structure de la cathode imprégnée est plus simple que celle de la cathode L.

La cathode imprégnée du type B offre une facilité et une précision de fabrication remarquables. En outre, la suppression du réservoir à baryum permet une meilleure conduction calorifique entre le filament et la surface émissive, ce qui se traduit par une augmentation du rendement thermique.

Tandis que la durée d'activation est de plusieurs heures pour la cathode L, pour la cathode imprégnée elle n'excède pas une heure ou deux, selon les conditions de pompage. Il y a en effet très peu d'éléments à dégazer, et l'arrivée du baryum en surface est immédiate dès que l'on commence à chauffer la pastille de tungstène.

Un autre avantage de la cathode imprégnée est que la vitesse d'évaporation du baryum est très inférieure à celle que l'on enregistre dans le cas de la cathode L.

Après 2 000 heures de fonctionnement, et pour une température de 1 465 °K, les résultats suivants ont été obtenus :

— Cathode imprégnée

Vitesse d'évaporation du baryum (sous forme Ba et BaO) :

$$2.10^{-10} \text{ g. cm}^{-2} . \text{s}^{-1} .$$

— Cathode L

Vitesse d'évaporation du baryum (sous forme Ba et BaO) :

$$1,7.10^{-9} \text{ g. cm}^{-2} . \text{s}^{-1} .$$

On peut donc dire que, pour une quantité équivalente de baryum en réserve et si l'on fait abstraction des phénomènes d'empoisonnement à long terme dans les deux cas, la cathode imprégnée aura une durée de vie plus longue que la cathode L.

Des essais de durée ont été effectués avec des cathodes imprégnées dont la partie émissive est un disque de 15 mm de diamètre et 4 mm d'épaisseur. Ils nous ont permis de constater une durée de vie de 9 000 heures en débit permanent.

L'émission.

Les propriétés et les constantes physiques d'émission de la cathode imprégnée sont sensiblement les mêmes que celles de la cathode L. Nous n'y reviendrons donc pas. Notons seulement que l'émission est fortement liée à la vitesse d'évaporation du baryum.

En fonction du temps, cette vitesse décroît suivant

une loi en $t^{-\frac{1}{2}}$. Le moment où elle atteint une valeur négligeable correspond à l'épuisement de la cathode. Mais il est remarquable de constater que l'émission ne suit pas la même loi d'affaiblissement. Pendant la plus grande partie de la phase d'évaporation, l'émission reste constante. Elle ne baisse brutalement que lorsque les réserves de baryum touchent à leur fin. A ce moment, l'arrivée de baryum devient insuffisante pour recouvrir d'une couche monomoléculaire toute la surface émissive d'une façon continue.

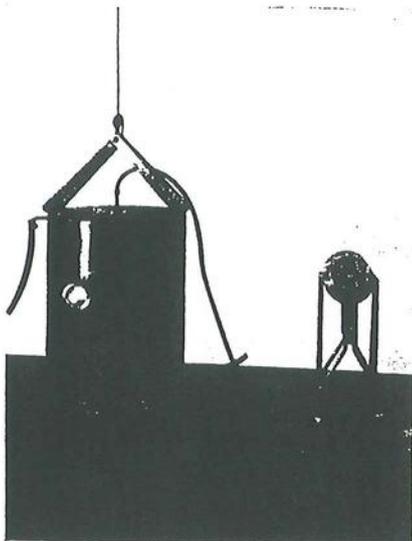


Fig. 5. Fours utilisés pour le frittage des pastilles de tungstène.

Le four de gauche, muni de sa cloche à hydrogène, est en fonctionnement.

Seu comportement de l'émission est illustré par la figure 3 où l'on a pris en ordonnées des unités arbitraires.

Procédé de fabrication.

Nous avons déjà mentionné la souplesse de fabrication que l'on rencontre dans la réalisation des cathodes imprégnées. Pour compléter notre description sommaire des principaux types de cathodes utilisées dans les tubes de puissance, nous donnerons quelques détails de fabrication d'une cathode. Nous choisirons pour cela la cathode imprégnée, développée par Roberto Lévi aux Laboratoires Philips d'Irvington on Hudson. Comme nous l'avons vu, cette cathode est formée de trois principaux éléments : un filament, un corps de molybdène et une pastille de tungstène poreux imprégné d'aluminates de baryum. Il va sans dire que la pastille émissive en tungstène constitue la partie essentielle de la cathode. Aussi, nous allons suivre les différentes étapes de son élaboration (fig. 4).

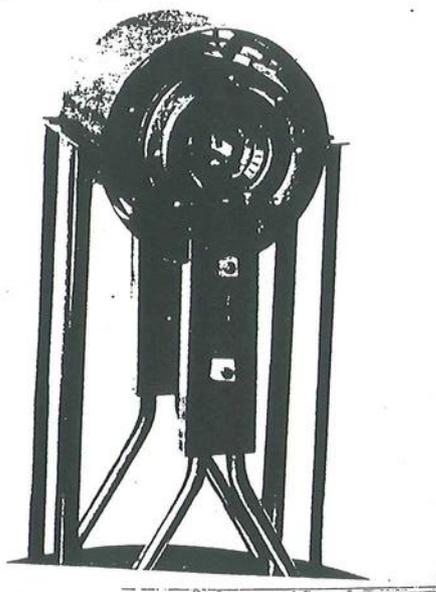


Fig. 6. Vue partielle d'un four de frittage.

On distingue, dans l'enceinte du four, une pastille de tungstène.

PREMIÈRE OPÉRATION : PRESSAGE ET FRITTAGE

La matière première est de la poudre de tungstène qui doit être convenablement traitée pour la débarrasser de toute impureté, en particulier de SiO_2 et qui doit avoir des dimensions granulométriques bien définies. Les grains de tungstène sont choisis d'une grosseur comprise entre 5 et 15 microns. Cette poudre est soumise, dans un moule de forme déterminée, à une pression d'environ 2 000 kg/cm^2 . L'ébauche ainsi obtenue est d'abord préfrittée, puis frittée dans l'hydrogène à une température de brillance de 2 400 °C. Les figures 5 et 6 représentent des fours de frittage utilisés pour cette opération.

Le frittage a pour but d'amener le tungstène à la densité 16, soit environ 83 % de celle du tungstène massif (densité 19,3).

Le tungstène ainsi obtenu est poreux à 17 %. C'est la densité optimale pour que tous les pores qui se

trouvent dans le métal soient interconnectés. La figure 7 reproduit des microphotographies d'échantillons de tungstène poreux, vues prises avec des grossissements différents. Les clichés étant obtenus à l'aide d'un microscope à réflexion, les pores apparaissent en noir.

Pour rendre utilisable ce tungstène à l'état brut, il faut avoir recours à une technique spéciale d'usinage.

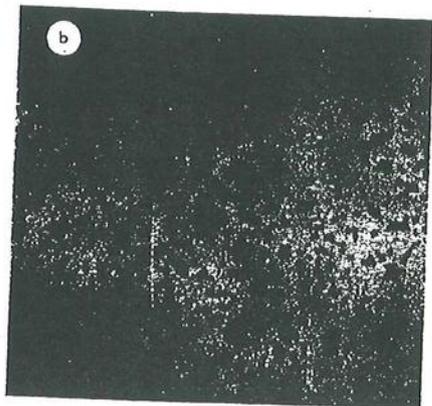
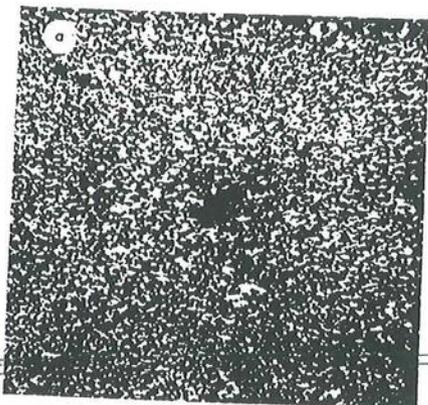


Fig. 7. Echantillon de tungstène fritté.

a : grossissement 125.

b : grossissement 400.

On peut ainsi donner n'importe quelle forme voulue à la pièce de tungstène avec la précision que la machine-outil est susceptible de fournir. On obtient très facilement un fini et un poli excellents de la surface émissive, qui contribuent fortement à abaisser le bruit de fond.

Les traitements ultérieurs ne risquent pas d'entraîner une déformation de la pièce, car ils sont effectués à une température bien inférieure à celle du frittage primitif.

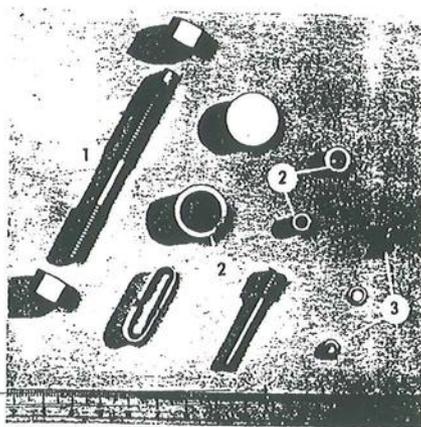


Fig. 8. Echantillons de pièces usinées en tungstène.

- 1 : axe fileté ($\varnothing = 8$ mm)
- 2 : creusets d'évaporation
- 3 : vis avec rondelle et écrou ($\varnothing = 4$ mm).

DEUXIÈME OPÉRATION : IMPRÉGNATION DE CUIVRE ET USINAGE

Les pores du tungstène sont remplis avec du cuivre O.F.H.C. (*Oxygen Free, High Conductivity*) que l'on fait pénétrer par fusion.

Le tungstène cuivré obtenu a la propriété de s'usiner aussi facilement qu'un métal dur quelconque (fig. 8). Le cuivre servant de liant et de lubrifiant, les grains de tungstène sont coupés et non pas arrachés par l'outil, que l'on choisit, de préférence, en « acier rapide ».

TROISIÈME OPÉRATION : ÉLIMINATION DU CUIVRE

La pastille de tungstène, après avoir été amenée, par usinage, à sa cote définitive, est placée dans un

four à vide que l'on porte à une température comprise entre 1 900 et 2 000 °C. L'opération terminée, on retire du four un corps de tungstène spongieux débarrassé de toute impureté. En fin d'évaporation du cuivre, la pression finale est de 10^{-6} mm de mercure.

QUATRIÈME OPÉRATION : IMPRÉGNATION D'ALUMINATES

On réalise un mélange de CO_3Ca , CO_3Ba , Al_2O_3 , dont les proportions sont convenablement choisies. On traite ce mélange pour obtenir le complexe de base :



Le calcium intervient à la fois comme économiseur de baryum, en abaissant la vitesse d'évaporation, et comme agent excitateur de l'émission.

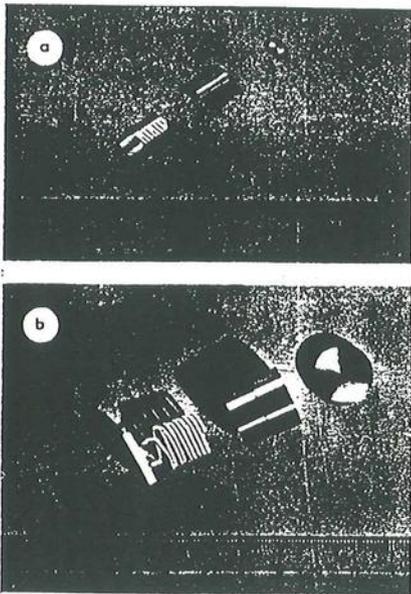


Fig. 9. Cathodes imprégnées.

- a : cathode de 3 mm de diamètre
- b : cathode de 15 mm de diamètre.

Pour l'imprégnation du tungstène par les aluminates, le processus est identique à celui de l'imprégnation de cuivre mais la température nécessaire est plus élevée. Cette imprégnation d'aluminates est la dernière opération de fabrication. Il ne reste plus qu'à faire le montage définitif dans le corps de molybdène. La cathode est terminée et prête à être mise en service. La figure 9 représente deux cathodes imprégnées, de diamètres différents.

Cette série d'opérations constitue la méthode fondamentale de fabrication des cathodes imprégnées. Toutefois, lorsque les conditions le permettent, on peut envisager quelques simplifications. On peut, par exemple, supprimer l'étape d'imprégnation de cuivre, en imprégnant directement le barreau de tungstène fritté avec des aluminates de baryum. Il ne reste qu'à usiner cet échantillon qui

fournira la cathode. Mais il est beaucoup plus délicat d'usiner du tungstène imprégné d'aluminates que du tungstène imprégné de cuivre. Aussi ce procédé ne peut encore être généralisé.

En résumé, on peut donc dire que, jusqu'à présent, les cathodes à réserve sont celles qui présentent les meilleures qualités fonctionnelles pour les tubes de grande puissance, car elles sont robustes tout en conservant de bonnes qualités d'émission. Ce sont des cathodes de choix pour les tubes à modulation de vitesse.

Néanmoins, il ne faudrait pas croire que l'apparition des cathodes imprégnées, par exemple, vient marquer la fin de l'ère des cathodes à oxydes et des autres éléments émissifs.

N'oublions pas que le choix d'une cathode, pour un tube donné, est avant tout déterminé par les caractéristiques que devra posséder ce tube.

Bibliographie

- 1 H.J. LEMMENS, M.J. JANSEN et R. LOOSJES
Une nouvelle cathode à émission thermionique pour fortes charges.
REV. TECH. PHILIPS, vol. 11, n° 12, juin 1950, pp. 349-358.
- 2 G.A. ESPERSEN
The L-Cathode Structure.
PROC. INST. RADIO ENGRS, vol. 40, n° 3, mars 1952, pp. 284-289.
- 3 R. LEVI
New Dispenser Type Thermionic Cathode.
J. APPL. PHYS., vol. 24, n° 2, fév. 1953, p. 233.
- 4 R. LEVI
Improved « Impregnated Cathode ».
J. APPL. PHYS., vol. 26, n° 5, mai 1955, p. 639.
- 5 I. BRODIE et R.O. JENKINS
Impregnated Barium Dispenser Cathodes Containing Strontium or Calcium Oxide.
J. APPL. PHYS., vol. 27, n° 4, avril 1956, pp. 417-418.
- 6 E.S. RITTNER, W.C. RUTLEDGE et R.H. AHLERT
On the Mechanism of Operation of the Barium Aluminate Impregnated Cathode.
J. APPL. PHYS., vol. 28, n° 12, déc. 1957, pp. 1468-1473.
- 7² W.C. RUTLEDGE, A. MILCH et E.S. RITTNER
Measurement of Instantaneous Absolute Barium Evaporation Rates from Dispenser Cathodes.
J. APPL. PHYS., vol. 29, n° 5, mai 1958, pp. 834-839.
- 8 A. VENEMA, R.C. HUGHES, P.P. COPPOLA et R. LEVI
Cathodes à réserve :
I. Introduction et aperçu général (A. VENEMA);
II. La cathode pressée (R.C. HUGHES et P.P. COPPOLA);
III. La cathode imprégnée (R. LEVI).
REV. TECH. PHILIPS, vol. 19, n° 7-8, 1957-1958, pp. 230-244.