

Croissance contrôlée par nanolithographie de réseaux de nanotubes de carbone individuels et orientés.

Application aux cathodes froides à émission de champ pour la réalisation de tubes hyperfréquences.

Présentation du projet CANAST - RMNT n°105

La substitution des cathodes conventionnelles (émission thermoionique) par des cathodes froides à base de matériaux nanostructurés comme les nanotubes de carbone (CNTs), conduit au développement d'une nouvelle génération de sources hyperfréquences plus compactes que les tubes à ondes progressives (TOP) actuels.

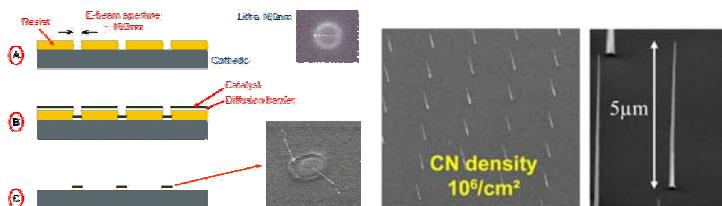
Les effets thermiques induits dans les dispositifs à émission thermoionique imposent des distances grille-anode de ~ 100 à 200 µm, ce qui limite leur fréquence de fonctionnement à quelques GHz à cause d'un temps de transit des électrons entre cathode et grille trop long.

La possibilité de positionner la grille à proximité de la surface émettrice (~ 10 µm) dans les tubes à cathode froide permet de réaliser des sources micro-ondes miniatures, de type triode plane, opérant jusqu'à 50-100 GHz.

Croissance d'un seul nanotube par plot catalytique par nanolithographie électronique

Première étape : Microscope à faisceaux d'ions, érosion progressive et contrôlée des plots de catalyseur (Ni) de diamètre initial 1 µm. On observe, pour des diamètres de plot de nickel inférieurs à 200 nm et supérieurs à 10 nm, la croissance d'un seul nanotube.

Deuxième étape : Lithographie par masquage électronique en privilégiant des plots de 100 à 200 nm de diamètre.

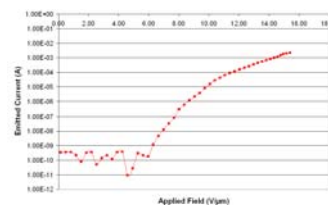


Croissance contrôlée par nanolithographie de réseaux de nanotubes de carbone individuels et orientés verticalement.

Techniques de mesures et caractéristiques d'émission de champ

Étude de la grille : La grille d'extraction utilisée est en silicium dopé N (résistivité 3mΩ·cm), épaisseur 100 µm, micro-usinage par Reactive Ion Etching (RIE).

Intégration cathode - grille : Réalisation d'un dispositif permettant l'intégration de la cathode et de la grille d'extraction. La grille est séparée de la cathode par une cale d'épaisseur 100 µm en quartz. Cet ensemble est ensuite placé dans la chambre ultravide pour réaliser les mesures d'émission de champ.



Les densités de courants atteintes sont de 1 A / cm².

Conception et réalisation de la microtriode plane

Simulation DC de la triode

La simulation de la densité du courant d'émission électronique a montré un optimum lorsque la distance séparant deux nanotubes du réseau correspondait à deux fois leur hauteur.

Réalisation de la microtriode

TED a développé et testé un véhicule de type triode hyperfréquence fonctionnant à une fréquence de 32 GHz, avec une cathode froide à base de nanotubes de carbone. Le concept retenu est celui d'un tube à grille, constitué de deux cavités résonantes séparées par une grille planaire.

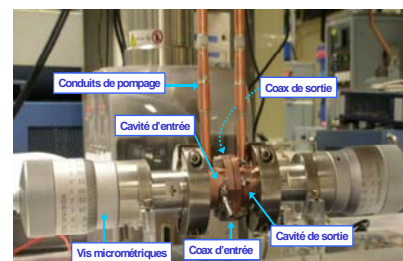
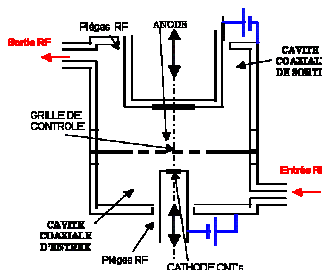


Schéma de principe et photographie de la microtriode.

Étude du réacteur de croissance industriel

A partir du cahier des charges des conditions de croissance des CNTs en HF PECVD (méthode retenue), un concept innovant de bâti de croissance a été conçu par IBS. Ce concept, basé sur un mélange des technologies PECVD et P3I (Plasma Immersion Ion Implantation) possède les avantages suivants :

- Eloignement de la source plasma du substrat permettant une meilleure homogénéité du dépôt sur de grandes surfaces.
- Décorrélation entre les paramètres plasma et la tension d'accélération des ions.
- Grande adaptation à l'industrialisation du procédé (l'éventualité de la suppression des filaments chauds).
- Possibilité de la fabrication des précurseurs métalliques dans le même bâti, soit par pulvérisation cathodique, soit par implantation ionique.



Vue générale du bâti et du porte-substrats 4 x 4 pouces.