

3:: Réalisations technologiques d'écrans plats à effet de champ

>.. problématique

La fabrication d'un écran à effet de champ pose en fait le problème principal de la possibilité d'étendre facilement une méthode de mise en place d'éléments émissifs: à faibles coûts, sur de grandes surfaces. On va s'intéresser aux deux grandes technologies: par [micro-pointes](#), par [nanotubes](#).

[au minimum: la diagonale d'une télévision étant de 40" (1m) et celle d'un moniteur informatique, de 15" (38cm); 1" = 2,54cm]

b.. à partir de nanotubes de carbone

1. Nanotube

définition, concrétisation de β , fabrication

Les nanotubes de carbone sont une [nouvelle forme allotropique du carbone](#) – découverte par le Japonais Iijima en 1991. Ils présentent, outre leurs propriétés mécaniques et électriques, la caractéristique du [ratio](#) de la longueur ($l \approx 30-50\mu\text{m}$) sur le diamètre ($d \approx 20-30\text{nm}$): dont l'ordre de grandeur est $\beta \approx 1000$. On distingue cependant deux familles de nanotubes: les monofeuillets, les multifeuillets.

Le LETI a choisi la méthode de dépôt de vaporisation chimique par filament incandescent HFCVD sous température assez élevée (au plus 650°C) qui fonctionne par décomposition du gaz sur un catalyseur, elle est revêt les qualités de production [extensive](#), [orientée et sélective](#).

[PECVD: Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition, HFCVD: Hot Filament Chemical Vapor Deposition]

2. Croissance

plots, diffusion, orientation

■ Procédé

[Figures3::5] photos des tubes du LETI!

On réalise la croissance par un processus en quatre étapes:

- un [prétraitement](#) du substrat, On nettoie la surface interne du verre, suivant un protocole chimique.
- le [dépôt](#) du catalyseur, On dépose, sur le substrat de verre, des « coussins » de Nickel par vaporisation thermique ou par impulsion magnétique.
- la [recuison](#) du catalyseur, On élève ensuite la température de l'ensemble autour de 600°C, les coussins de Nickel se fragmentent alors en nanogouttes dont le diamètre varie en fonction de leur épaisseur.
- enfin, la [croissance](#) des nanotubes. On introduit le gaz d'hydrocarbures. Les nanotubes ne poussent qu'au niveau des plots, par passage du filament incandescent orientant ainsi leur croissance.

Pratiquement, les coussins de Nickel mesurent 5 μm de large sur 10 μm de long et 3 à 10 μm d'épaisseur, ils sont espacés de 15 μm dans le sens de la longueur. Pour un seul pixel, trois rangées de coussins sont nécessaires, et avec une densité moyenne de 1,75.10⁵ coussins/cm², le pavage de la plaque de verre représente environ 10% de la surface totale de la cathode.

■ Mécanisme de croissance:

[Figure3::6] modèles de Amelinckx, Yarmulke...

Les différents travaux sur la croissance des nanotubes convergent majoritairement vers le mécanisme initialement proposé pour les fibres de carbone.

- Le gaz d'hydrocarbure se [décompose](#) d'abord sur la surface de la particule catalytique.
- Le carbone [diffuse](#) alors à travers les bords – et non au sein – de la particule selon un gradient thermique.
- Le carbone [s'accumule](#) en sortie et [précipite](#) de l'autre côté de la particule en « pré-nanotube ».

Ce mécanisme explique non seulement la croissance des nanotubes, mais aussi l'ascension observée de la particule catalytique qui se trouve – en fin de processus – au sommet du tube.

[Une autre approche décrit la situation de croissance à partir de la base.]

Il n'est pourtant valable que si la particule a une taille supérieure à la valeur critique ($\geq 0,6\text{nm}$ de diamètre), il y a sinon un phénomène d'[encapsulation](#) qui désactive le catalyseur. Le nanotube qui se forme a un [diamètre sensiblement égal](#) à celui de la particule et sa longueur est grossièrement [inversement proportionnelle](#) à son diamètre. Ces deux caractéristiques sont très intéressantes pour le contrôle du ratio des nanotubes, et donc l'émission d'électrons.

3. Perspectives et Limitations

◆ points positifs:

précision de 10 μm , facteur β , la recherche

- La précision requise n'est que de 10 μm : on a gagné un [ordre de grandeur](#) par rapport à la technique des micro-pointes (1 μm).
- Le facteur d'amplification du champ électrique est désormais de l'ordre de $\beta \approx 1000 \gg 200$. Il en résulte donc une nette diminution des tensions d'adressage qui correspondent aux normes CMOS: voltage inférieur à 15V.
- Le secteur envisagé aujourd'hui avec les nanotubes est [très ouvert](#), des progrès de dépôts sont donc encore susceptibles de connaître des améliorations.

◆ points épineux:

complexité des paramètres

- Les difficultés rencontrées sont essentiellement dues au [nombre](#) et à la [complexité des paramètres](#) en jeu.

Le LETI, par exemple, se focalise actuellement sur le problème de la densité des tubes fonctionnant véritablement. Une connaissance plus approfondie de la croissance est nécessaire.

a.. à base de micro-pointes (Pixtech)

La première technologie s'organise autour de micro-pointes de Nickel recouvertes d'un film de carbone. Le LETI a énormément contribué par ses travaux au développement de cette technique, et s'est notamment illustré au travers de la société Pixtech... bien qu'il s'agisse en fait d'un demi-échec!

1. Principe de fabrication:

[Figure3::1, ::2, ::3]

On part d'une plaque composée d'un substrat de verre recouvert d'une cathode métallique, d'un isolant, d'une grille.

- Par photogravure, et gravure ionique réactive de la grille, on effectue des trous dans celle-ci.
- On effectue une gravure de la silice, pour atteindre le support métallique (par voie humide ou sèche).
- On nettoie par rotation et évaporation les trous effectués.
- On dépose une couche de Nickel pour fabriquer les micro-pointes proprement dites.
- On évacue par dissolution électrochimique la couche de Nickel.

Il s'agit ensuite de déposer un film de carbone sur ces pointes pour augmenter les performances de l'effet de champ.

2. Débouchés et Problèmes

[Figure3::4] écrans N-B & couleurs (Pixtech)

Les écrans plats FEDs de première génération ont démontré par l'intermédiaire de sociétés comme Pixtech, Futuba que la technologie était viable. Ces écrans atteignent la taille maximale de 12", et peuvent être monochromes comme en couleurs; ils équipent certains véhicules (Audi) et sont aussi utilisés dans le milieu médical comme moniteurs de contrôle.

Cependant, des problèmes de coûts ont stoppés les développements de cette première génération. On peut essentiellement dégager des causes: les procédés lithographiques utilisés demandent une précision de l'ordre $1\mu\text{m}$ (taille et profondeur des trous), rendant impossible le traitement de grandes surfaces; les tensions d'adressage pour déclencher l'émission d'électrons par effet de champ restent importantes, de l'ordre de 100V pour le potentiel grille (à cause d'un facteur d'amplification $\beta \approx 200$ relativement faible), induisant des difficultés pour l'intégration avec les normes en composants électroniques CMOS.