

OBJECTIFS du projet

Le projet "NANORESEAUX 3D" a pour but d'évaluer le potentiel des nanotubes de carbone (NTCs) pour réaliser des interconnexions dans le domaine de la microélectronique, en remplacement ou bien en complément du cuivre. La feuille de route des circuits intégrés prévoit en effet une augmentation significative de la densité d'intégration des interconnexions. Aux géométries ultimes visées (<20 nm), les propriétés exceptionnelles (résistance électrique, fiabilité, thermique) des NTCs pourraient apporter une solution aux limites identifiées des technologies d'interconnexions à base de cuivre.

Les objectifs du projet sont donc de développer et d'évaluer la faisabilité de connexions traversantes à travers un circuit (via traversant) d'une part et, d'autre part de réseaux d'interconnexions à 2 et 3 dimensions (vias et lignes) pour les circuits intégrés CMOS.

NANOTUBE de CARBONE : notions de base



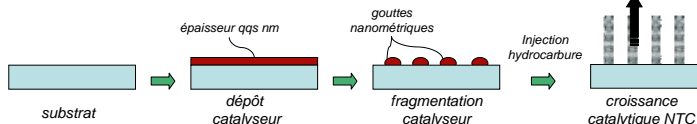
NTC mono pari

Dimensions typiques	Diam. : 1 à 10 nm Long. = μm à mm
Densité de courant max.	Cuivre x 1000
Résistance	6.5 Kohms / tube



NTC Multi parois

Dépôt de NTC in situ : Chemical Vapor Deposition



VIA traversants

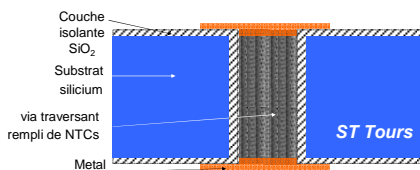
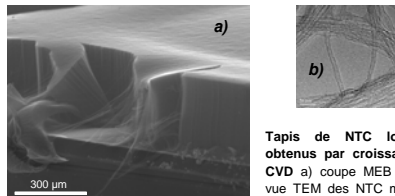


Schéma de principe d'une connexion traversante entre les 2 faces d'un circuit électronique. L'épaisseur de la plaque de silicium est d'environ 300 μm . Les NTCs assurent la continuité électrique entre les électrodes réalisées sur chaque face.

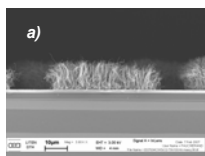
→ mettre au point un procédé de croissance de NTCs longs



Tapis de NTC longs obtenus par croissance CVD a) coupe MEB ; b) vue TEM des NTC multi-parois

LPICM

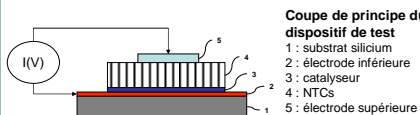
→ développer les briques d'intégration des NTCs (localisation)



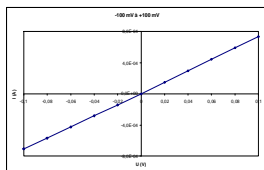
Croissance localisée de NTCs par CVD sur électrode métallique (Vues MEB) : a) coupe d'une brosse de NTCs ; b) vue de dessus réseau de brosses

CEA Liten / ST Tours

→ développer les procédés de contact et étudier la résistance électrique des dispositifs

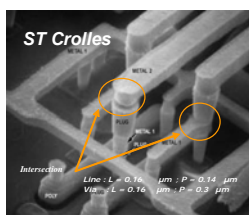


Caractéristique courant vs. tension contact électrique linéaire sous faible tension
ST Tours / GREMI

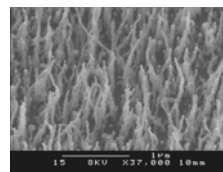


VIA et LIGNES Circuits Intégrés

→ développer un procédé de croissance de NTC sur cuivre

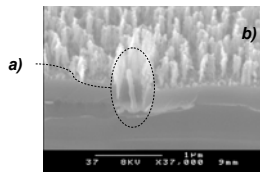


État de l'art des interconnexions en cuivre

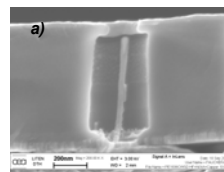


Tapis de NTCs multi parois verticaux croissance DECR-PECVD vue microscope électronique (MEB) IMN / STM Crolles

→ développer la croissance localisée de NTC dans des vias de dimensions < 300 nm

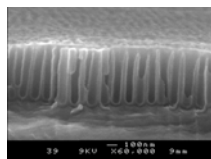


Intégration dans un via d'un NTC multi-parois produits par DECR-PECVD à 520°C coupe MEB : a) NTC b) feuillet en carbone IMN / ST Crolles

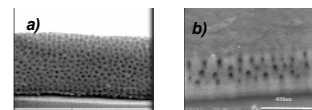
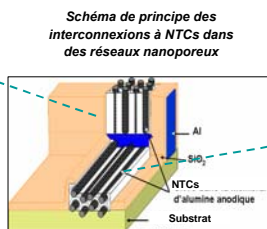


Nanofibre de carbone individuelle synthétisée à l'intérieur d'un via par PECVD RF à 530°C vues MEB : a) coupe ; b) vue de dessus d'un réseau de via avec NTCs CEA Liten / ST Crolles

→ contrôler l'orientation horizontale et verticale des NTCs au moyen de réseaux nano poreux (alumine poreuse)

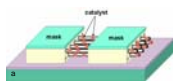


Nanopores verticaux d'alumine produits par oxydation anodique (coupe MEB) IMN / ST Tours



Réseaux de nanopores horizontaux de différentes densité coupes MEB : a) 15 rangées ; b) 3 rangées LPICM

→ réaliser des bifurcations NTC – NTC par croissance d'un NTC à partir d'un catalyseur greffé sur NTC



Bifurcation : croissance de NTC à partir de catalyseur localisé sur un autre NTC

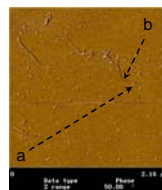


Image AFM (microscope à force atomique) de nanoparticules de Ferrite (a) greffées par fonctionnalisation sur des NTCs (b) CEA LEM

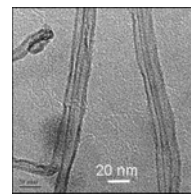


Image TEM (microscope électronique en transmission) de NTCs multi-parois synthétisés par CVD à partir de nano particules de ferrite LPICM / CEA LEM