

Projet COMMAS

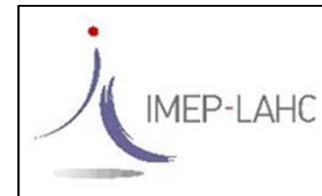
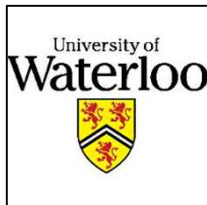
Conception et qualification de commutateurs MEMS
Miniatures et **M**atrices pour les **A**pplications **S**patiales

C.Dieppedale, CEA/LETI

Journées Nationales Nanosciences et
Nanotechnologies 2012

Contexte

- Projet Franco-Canadien; $T_0 = 01/03/2010$
- Financements ANR et NSERC
- Partenaires
 - COM DEV International
 - Université de Waterloo
 - Université du Québec à Trois-Rivières
 - CEA / LETI
 - NovaMEMS
 - IMEP / LAHC



Objectifs

- Développer des **switches MEMS multiports** et des grandes **matrices** de switches MEMS pour des applications **spatiales**
- Améliorer la fiabilité des switches MEMS
- Investiguer la possibilité d'augmenter leur vitesse de commutation
- Application visée : switches de redondance pour les systèmes d'émission / réception en remplacement des switches mécaniques ou semi-conducteurs
 - Switches mécaniques
 - ✓ Très bonnes performances RF, gestion de la puissance
 - ✗ Lourds, encombrants et lents
 - Switches semi-conducteurs
 - ✓ Rapides, petits, légers
 - ✗ Moins efficaces pour gérer la RF et la puissance
 - Switches MEMS => pourraient à terme réunir les avantages des 2 précédents

Choix d'une technologie

- Avantages et inconvénients des technologies de switches développées au LETI

| Actionnement | Contact | Avantages | Inconvénients |
|--|-----------|--|---|
| Thermique (+ maintien électrostatique) | Ohmique | Fabrication "above IC" validée | Temps de commutation élevé |
| Piézoélectrique | Ohmique | Faible tension d'actionnement | Faible force de contact Faible amplitude de déplacement |
| Magnétique | Ohmique | Fabrication maîtrisée Fiabilité éprouvée Grande force de contact | Actuellement pas optimisé pour la RF |
| Electrostatique (membrane Al) | Capacitif | Fabrication simple | Fonctionne en bande étroite de fréquence. Fiabilité limitée (charging du diélectrique utilisé pour le contact) |
| Electrostatique (membrane SiN) | Ohmique | Fonctionne sur une large gamme de fréquence | Fiabilité limitée (charging du diélectrique entre les électrodes) mais améliorable par conception |

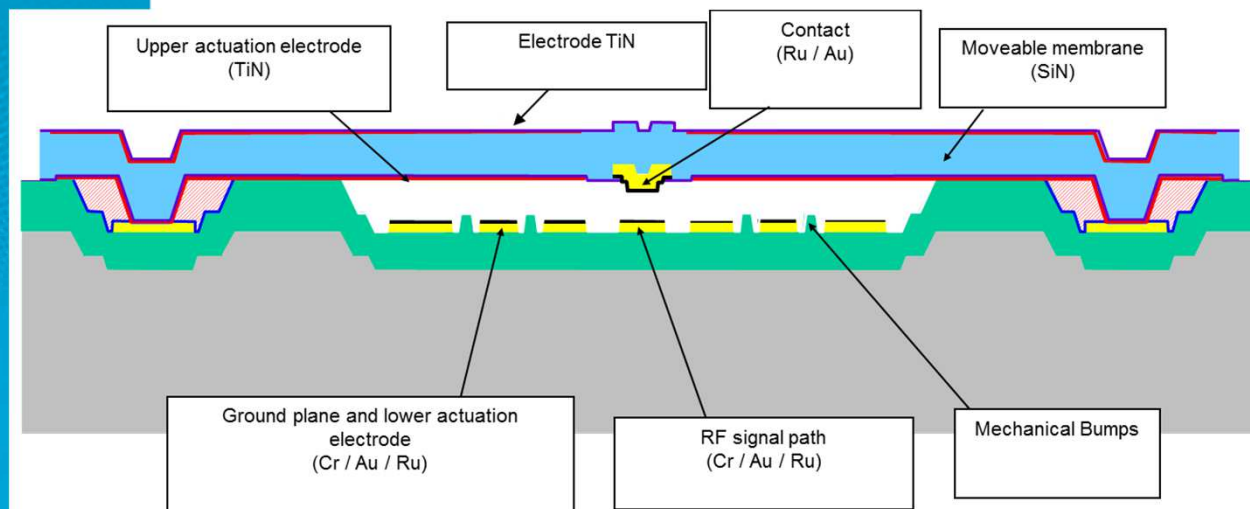


Choix d'une techno à actionnement électrostatique et contact ohmique, avec une conception qui résout le problème de charging

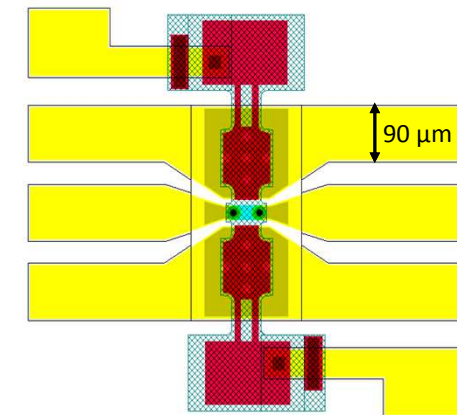
Schéma de principe

- Pour éviter les problèmes de charging :
 - Suppression du diélectrique entre les électrodes d'actionnement
 - Ajout de butées mécaniques anti-collage

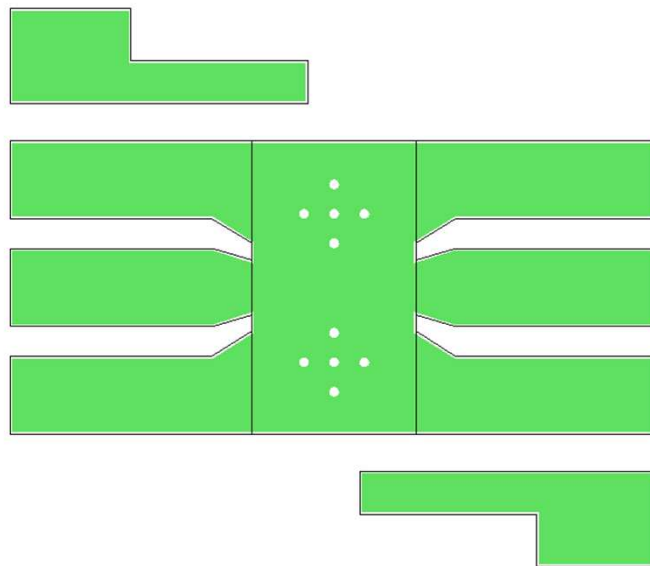
Schéma en coupe



*Vue de dessus du switch de base
(Design SW1)*



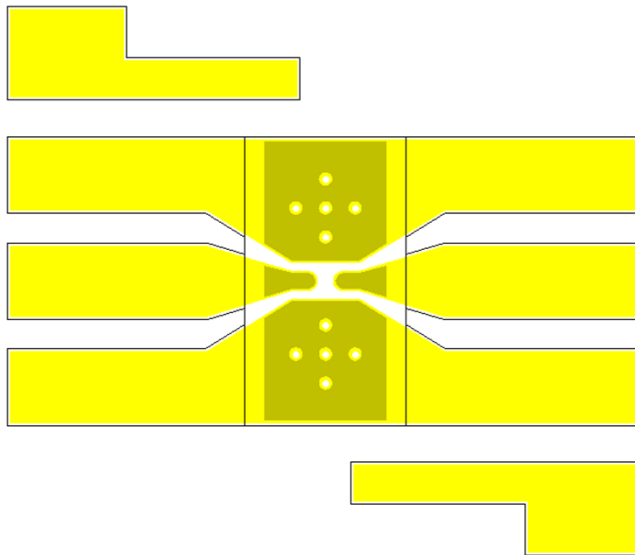
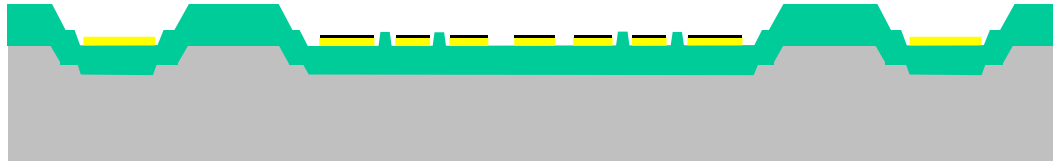
Process-flow



Fabrication sur une ligne MEMS
Silicium 200 mm

→ Caissons + butées

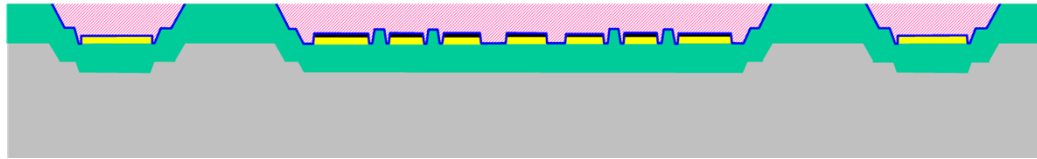
Process-flow



→ Plans de masse + électrodes inférieures
→ Ligne de signal

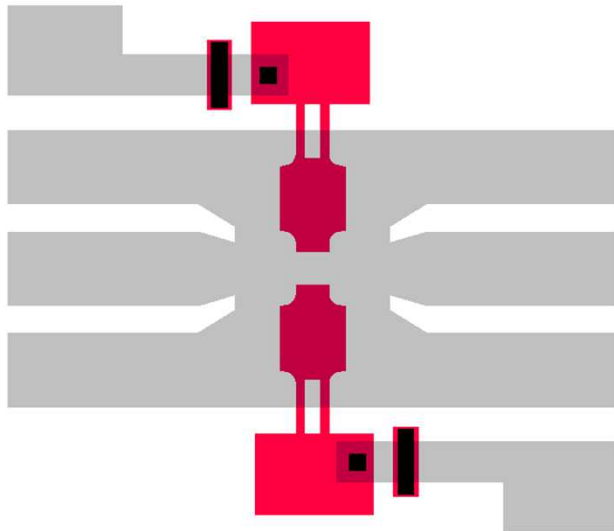
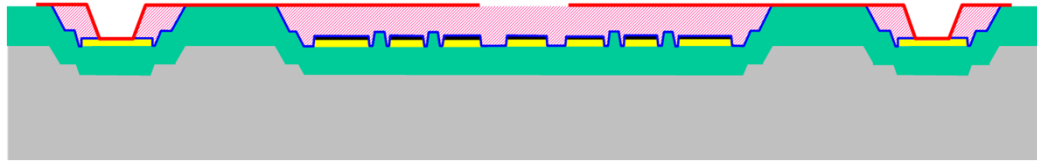
Couche éventuelle de Ru pour améliorer la
fiabilité à long terme des contacts

Process-flow



→ Couche sacrificielle planarisée
= bon contrôle des gaps

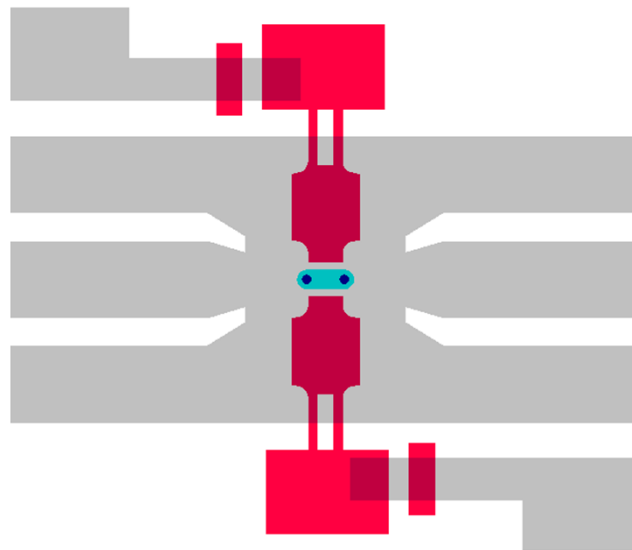
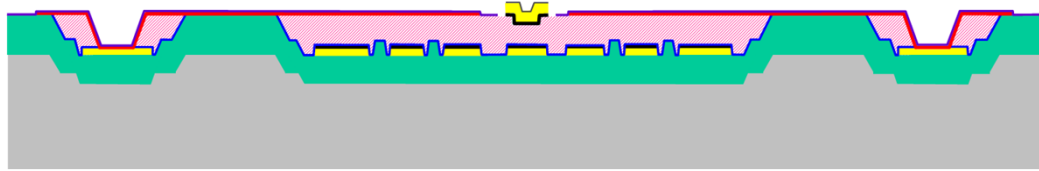
Process-flow



→ Electrodes supérieures

Pas de diélectrique entre les électrodes
= limitation du pb de charging

Process-flow

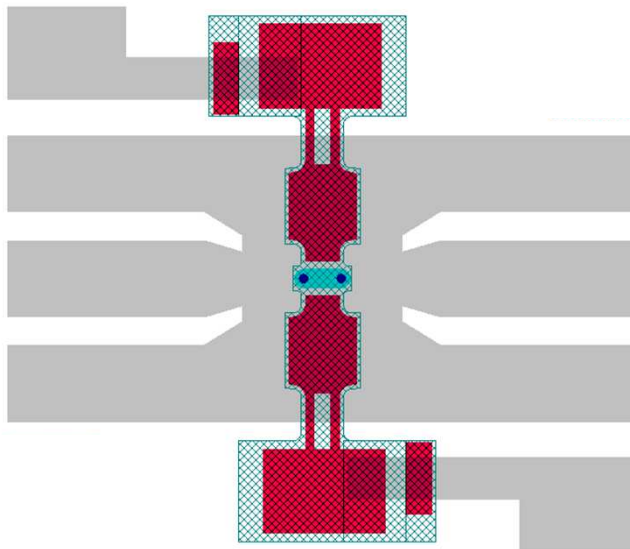
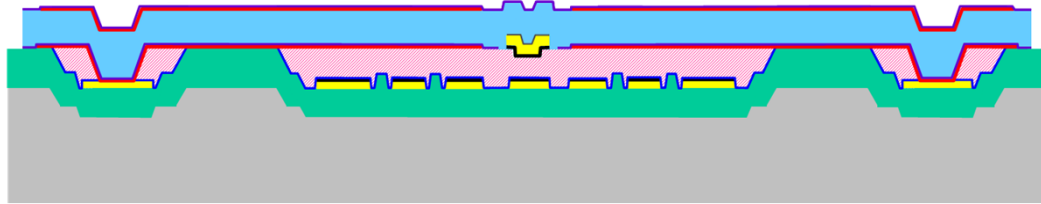


→ Empreinte

→ Contact supérieur

Couche éventuelle de Ru pour améliorer la fiabilité à long terme des contacts

Process-flow

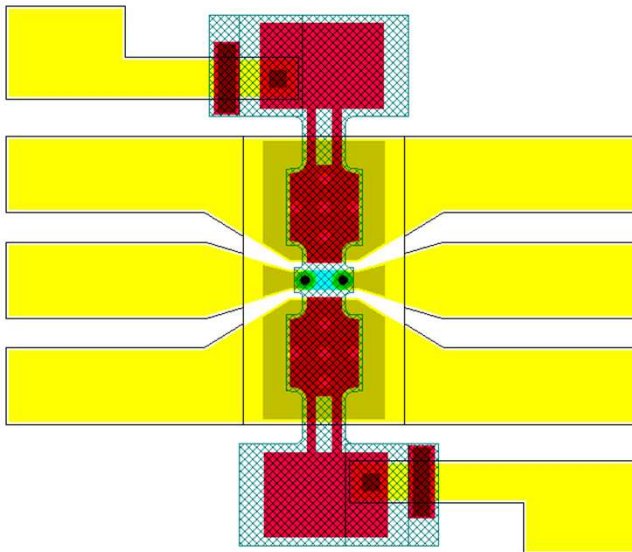
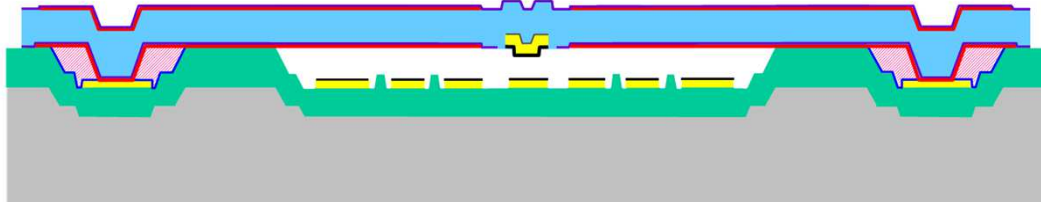


→ Membrane

Poutre en SiN tensile
= Reste tendue après libération

Poutre quasi symétrique
= Pas d'effet bilame

Process-flow

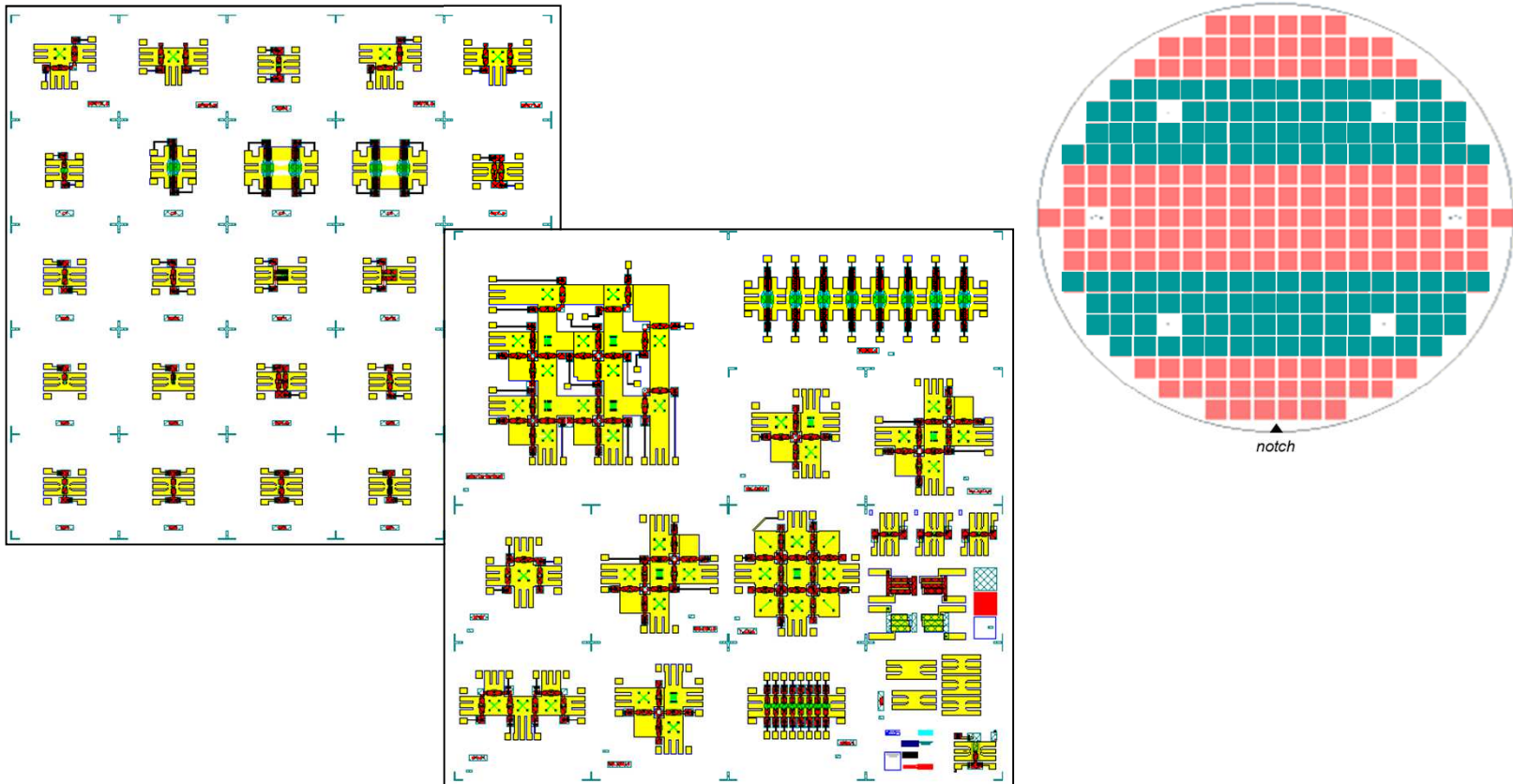


→ Libération

Procédé de gravure sèche
= pas de pb de collage

Différents designs

- Séparés en 2 champs photorépétés sur le wafer par zone

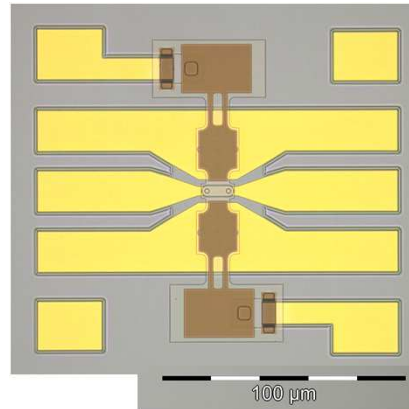


Différents designs

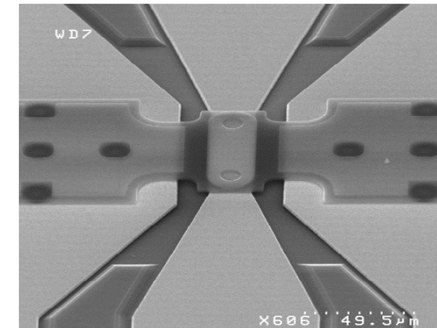
- Switches série à contact ohmique (normalement off)
 - Différentes variantes d'électrodes
 - De type cantilever (poutre mono-encastree)
- Switches shunt (normalement on)
 - A contact ohmique
 - A contact capacitif
 - Unitaire
 - Associés (déphaseurs, DMTL)
- Switches multi-ports
 - SP3T, SP4T
 - Matrice 3x3 => 24 switches

Caractérisations MEB

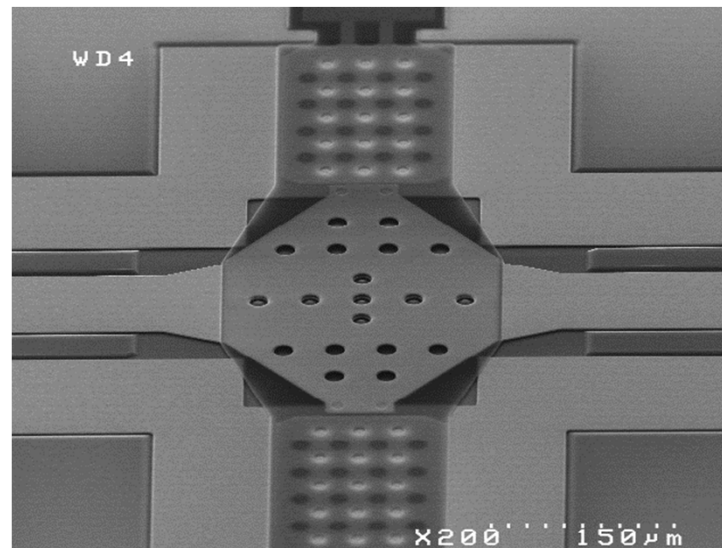
Switch de base



Switch ohmique



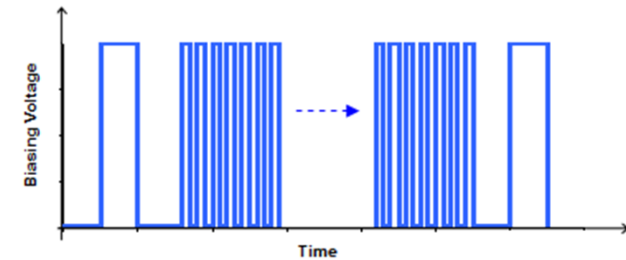
Switch capacitif (grande capa)



Tests de fonctionnalité

- Protocole

- Test sous atmosphère contrôlée (N_2), éqt = PAV200
- Caractérisation initiale, 4 points (0/+V/+V/0)
- Cyclage unipolaire, 100 cycles, 50Hz
- Caractérisation finale, 4 points (0/+V/+V/0)
- Dispositifs testés = switches de base (SW1)
- Tension d'actionnement = 32 V



- Résultats

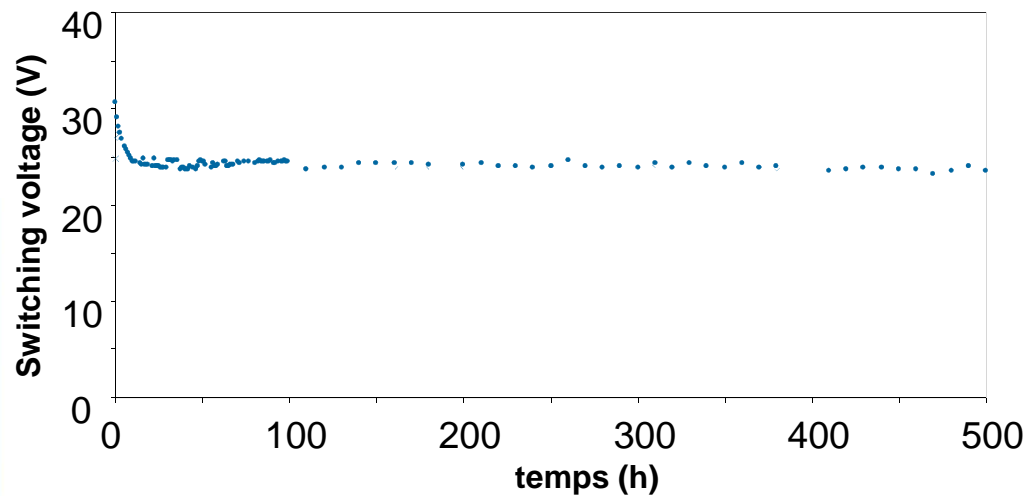
| Wafer Nb | P02 | P11 | P16 | P18 | P19 | P20 |
|----------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Contacts | Ru/Ru | Au/Ru | Au/Au | Au/Au | Au/Au | Au/Au |
| Ron_fin (ohm) | 15,82 | 3,27 | 2,99 | 2,08 | 1,54 | 2,12 |

Working switches = moving switches + Ron_init <100Ω + 100 cycles ok + Ron_fin <100Ω

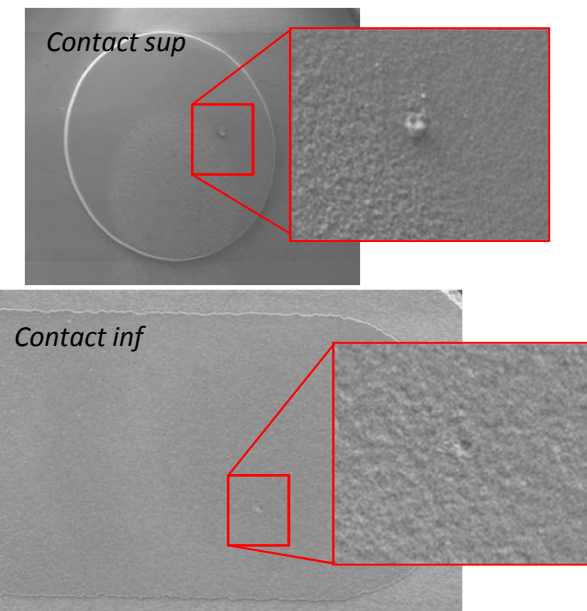
- Bon rendement de fabrication
- Résistance de contact Au/Au << Ru/Ru

Tests de fiabilité

- Test de maintien 500 h à tension constante (34V), switch de base (design SW1)
 - Pas d'effet de charging
 - Diminution de la tension de pull-in puis stabilisation (fluage de la membrane)
 - Faible impact sur le contact Ru/Ru (mécanisme de transfert de matière)

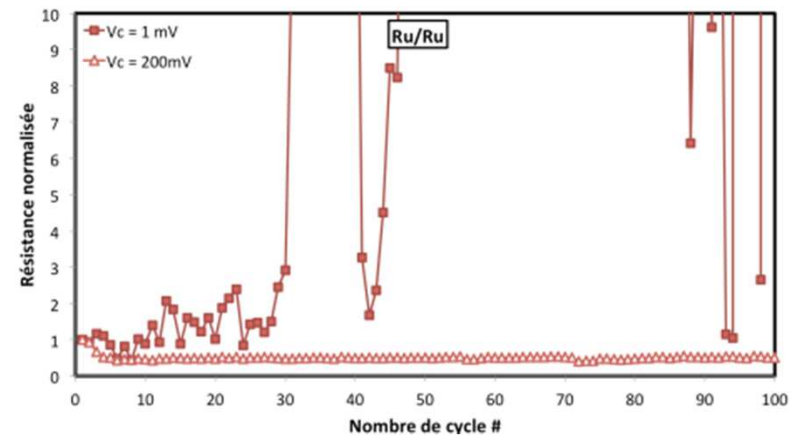
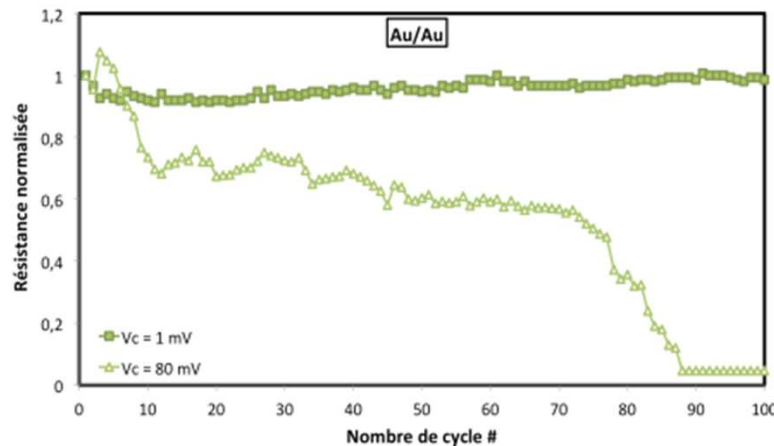


*Evolution de la tension de pull-in pendant 500 h de maintien (CVS)
Switch à contacts Ru/Ru (design de base)*



Tests de fiabilité

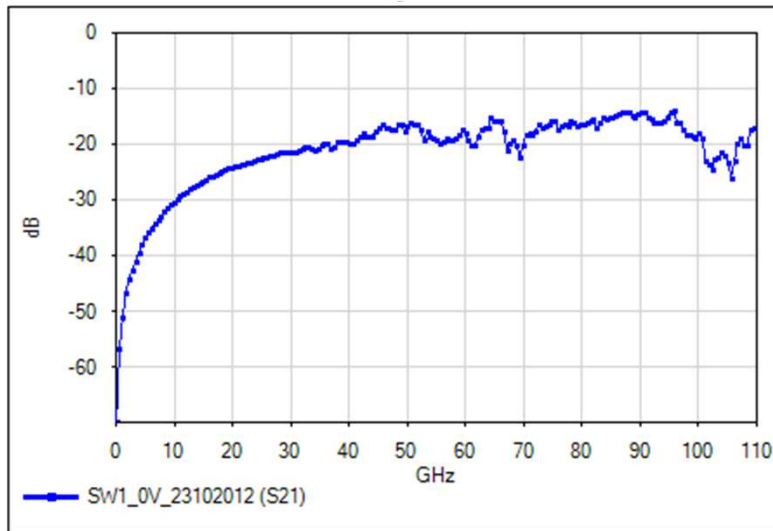
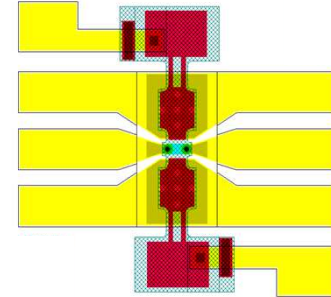
- Impact de l'effet thermique sur la fiabilité du contact
 - Structures de test spécifiques, actionnement au nano-indenteur



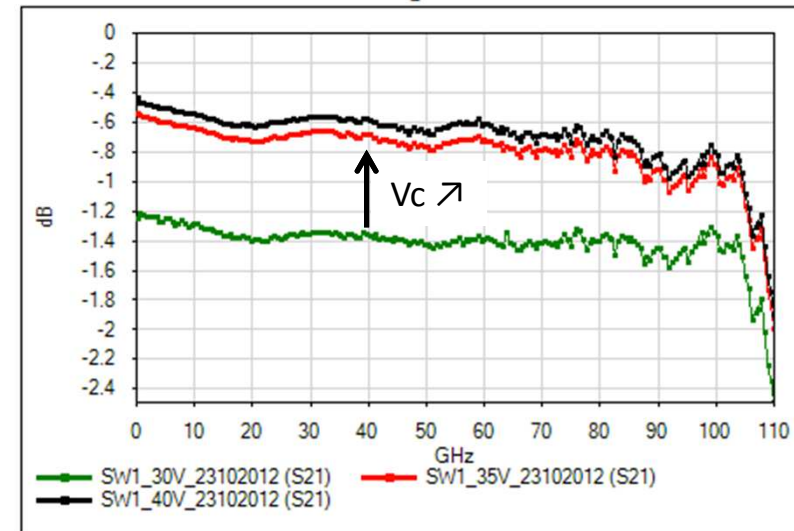
| | | | |
|-------|--------|-------|---|
| Au/Au | 1 mV | 20°C | Rc diminue un peu pdt les premiers cycles puis se stabilise |
| | 80 mV | 116°C | Rc diminue au fur et à mesure du cyclage puis phénomène de collage |
| Ru/Ru | 1 mV | 20°C | Rc est instable et augmente fortement pdt le cyclage. => La force appliquée n'est pas suffisante pour détruire le film isolant à la surface des contacts et ainsi stabiliser l'interface |
| | 200 mV | 435°C | La température de ramolissement du Ru est atteinte à l'interface de contact => Rc est constante tout au long du cyclage |

Tests RF - Switches normalement OFF

- Switch de base (SW1) => **Bonnes performances RF**
 - Isolation ($V_c = 0V$) $S_{21} < -14 \text{ dB @ } 90\text{GHz}$
 - Pertes d'insertion ($V_c = 40V$) $S_{21} < -0,9 \text{ dB @ } 100 \text{ GHz}$
 - Augmentation de V_c => Augmentation de la force de contact
 - => Diminution de la résistance de contact => Diminution des pertes
 - Probable pb de mesure au delà de 100 GHz



Isolation SW1



Pertes d'insertion SW1

Conclusions / Perspectives

- Faisabilité d'une matrice 3x3 de switches RF démontrée grâce à une efficace collaboration Franco-canadienne
- Poursuite des tests RF et des tests de fiabilité sur les premiers dispositifs
 - Tests de fiabilité des switches avec différents matériaux de contact
 - Comportement RF en très basse température
 - Comportement RF en puissance
 - Mesure du temps de commutation
- Fin de fabrication de nouveaux dispositifs optimisés
 - Membrane symétrique de part et d'autre du contact
 - Packaging couche mince
 - Amélioration du design des électrodes des switches multiports
- Publication des résultats prévue prochainement (IEEE-IMS 2013)