



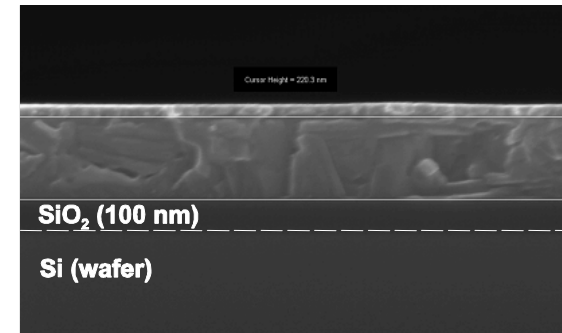
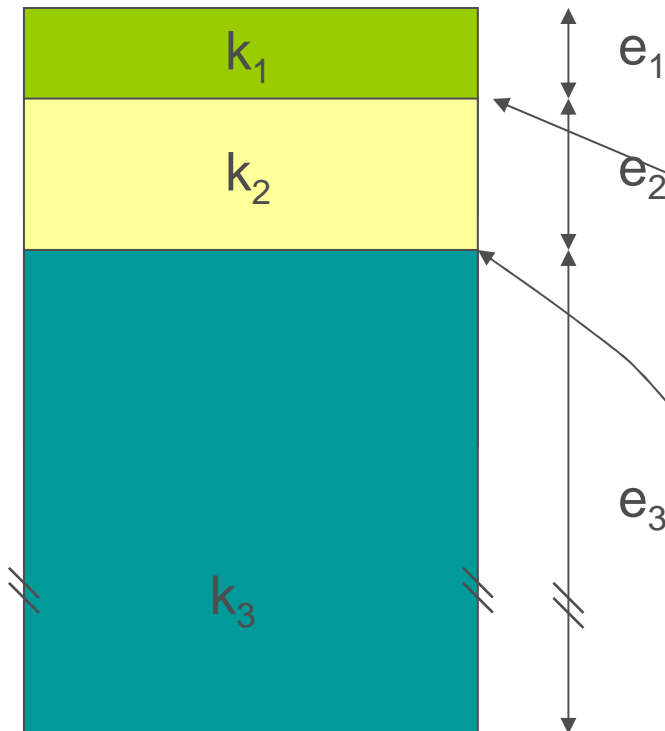
# Caractérisation thermique à haute température de films fins par Radiométrie PhotoThermique

**Andrea CAPPELLA, Vincent SCHICK,  
Jean-Luc BATTAGLIA, Andrzej KUSIAK**

- **Matériaux caractérisés**
- **Montage expérimentale**
- **Applications**
- **Conclusions**

# Film en couche mince

Plusieurs couches minces peuvent constituer le dépôt



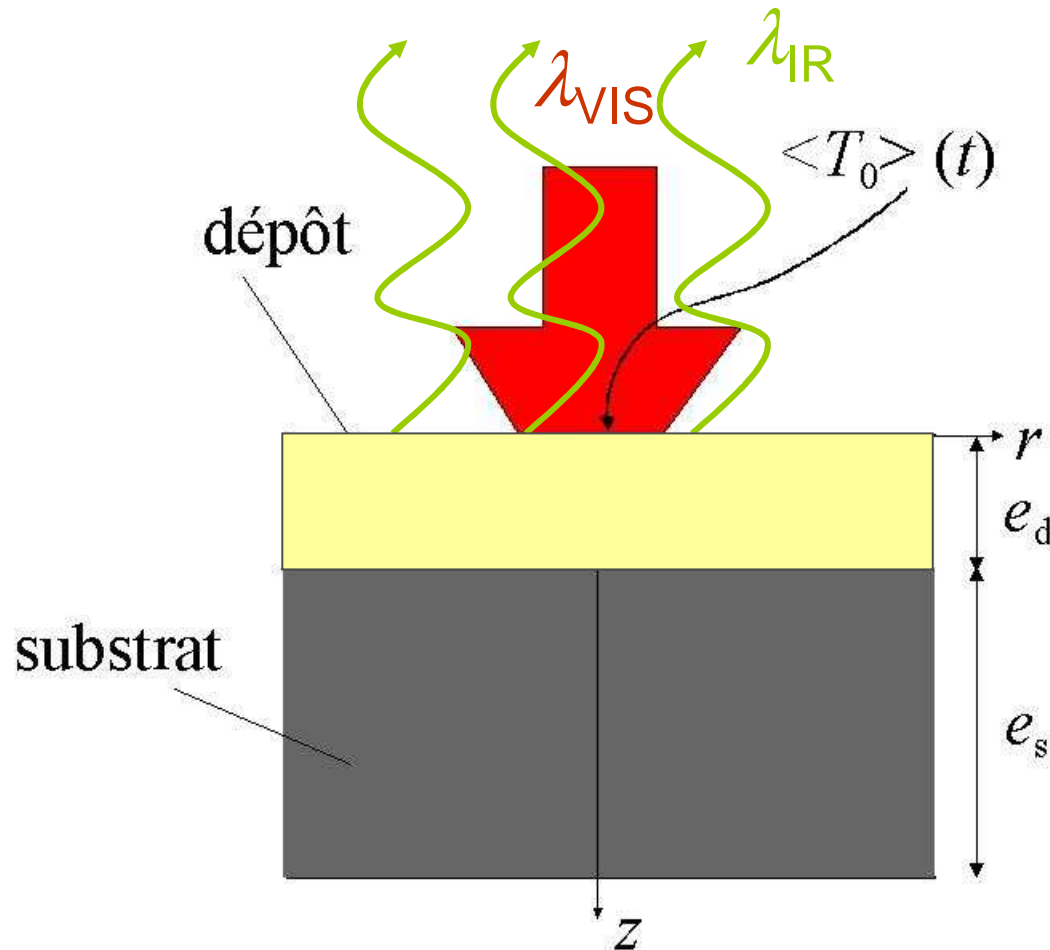
$$R_T = \frac{e_1}{k_1} + R_i^1 + \frac{e_2}{k_2} + R_i^2 + \frac{e_3}{k_3}$$

La résistance thermique mesurée est donc donnée par :

- ✓ la résistance thermique de chaque couche
- ✓ la résistance de contact entre les couches

$$\sum_j \frac{e_j}{k_j} + \sum_j R_i^j$$

# Radiométrie Photothermique Modulée



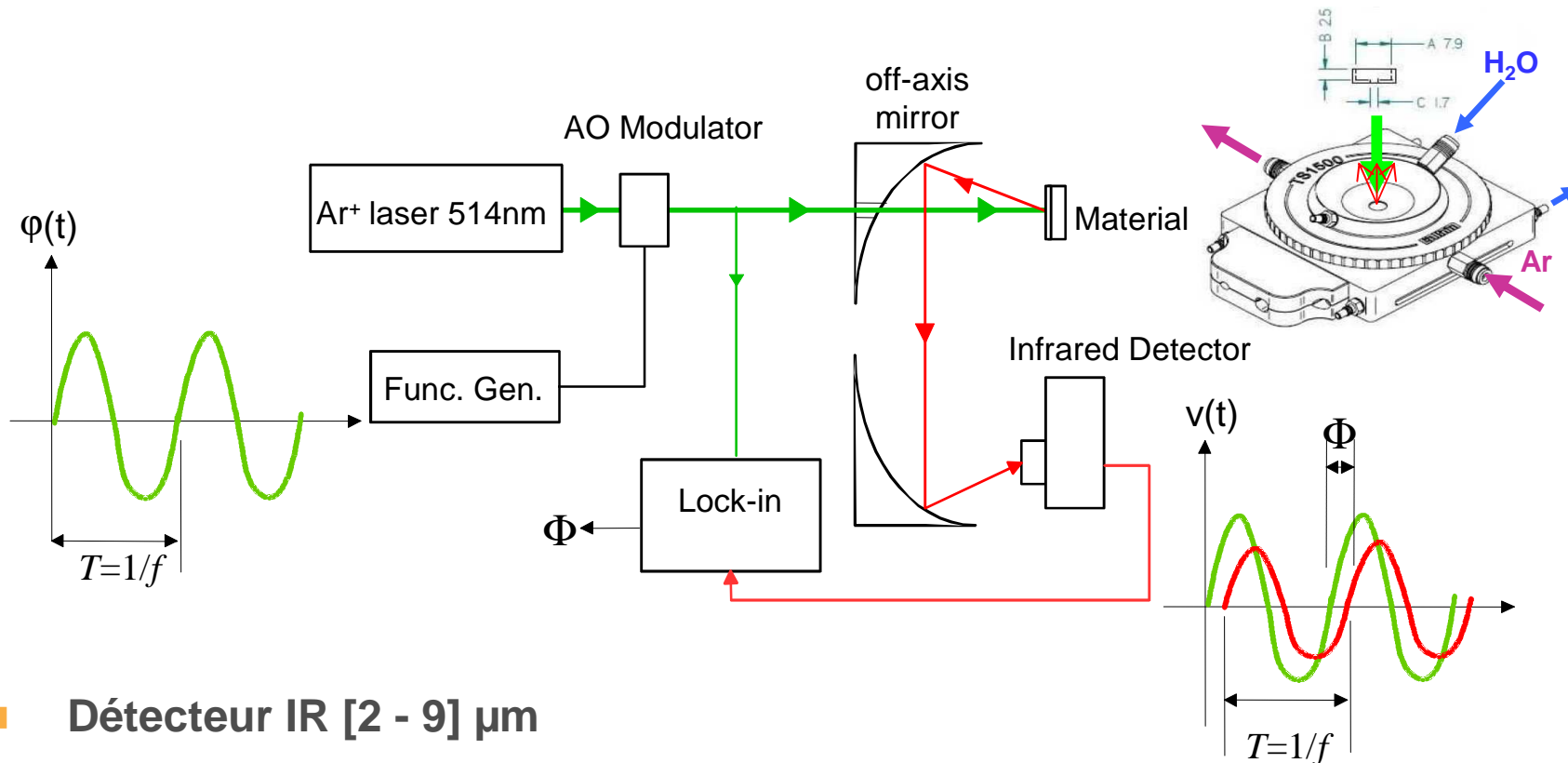
## ■ Hypothèses :

- ✓ Le flux émis est proportionnel à la température de surface visé par le détecteur
- ✓ Petite excitations

↓

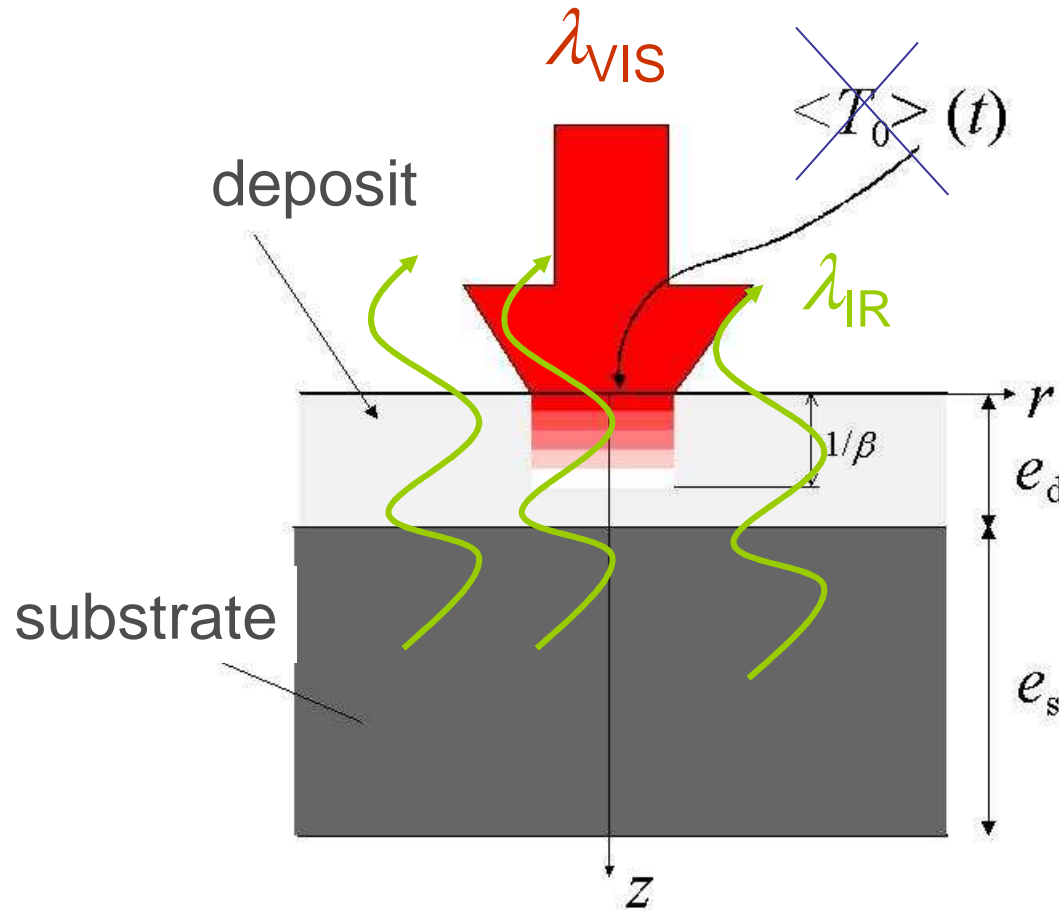
$$\varphi(\omega) = \varphi_0 (1 + \cos \omega t)$$

# Radiométrie Photothermique Modulée



- Détecteur IR [2 - 9]  $\mu\text{m}$
- [100 – 100k] Hz
- $T_{\text{amb}} \rightarrow 1200 \text{ }^\circ\text{C}$
- Sous vide ou en atmosphère inerte

## ■ Milieux semi-transparentes



La longueur de pénétration optique ou d'émission volumique :

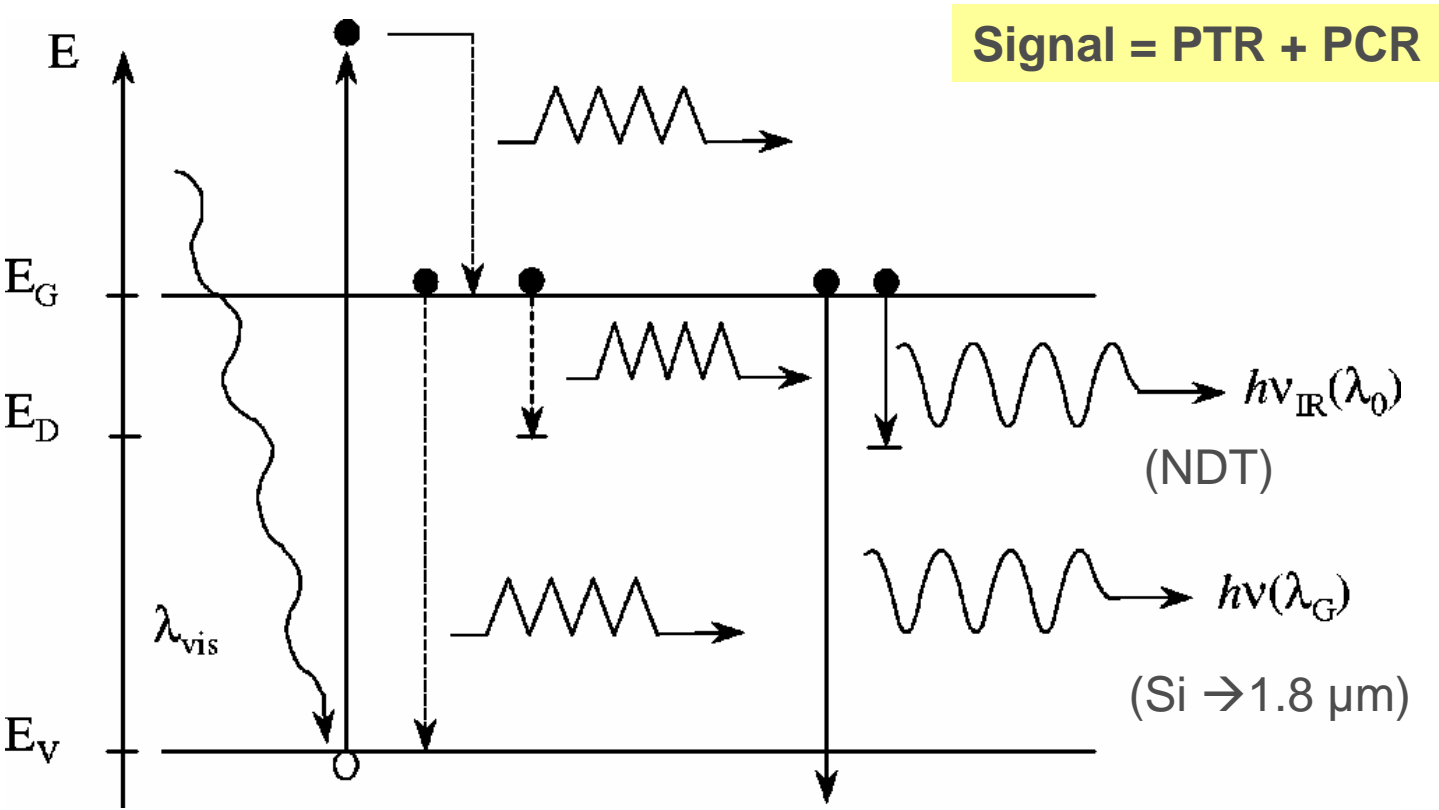
$$\frac{1}{\beta_h} = \frac{\lambda_{VIS}}{4\pi\kappa_{VIS}}$$

&

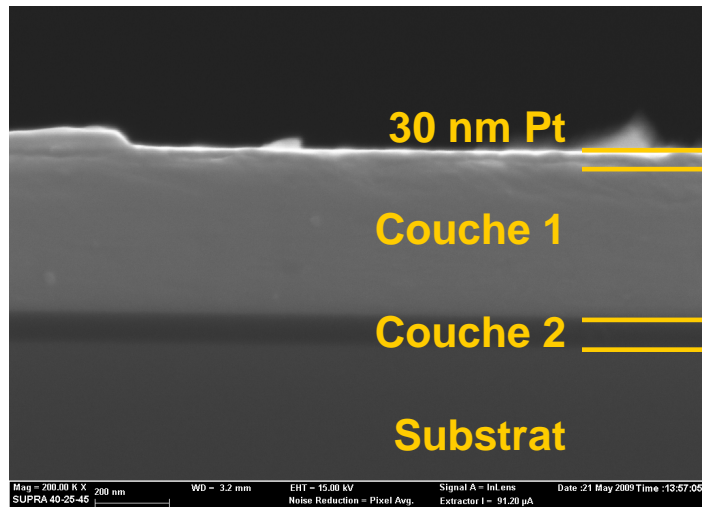
$$\frac{1}{\beta_e} = \frac{\lambda_{IR}}{4\pi\kappa_{IR}}$$

# Radiométrie Photothermique Modulée

## Matériaux semi conducteurs

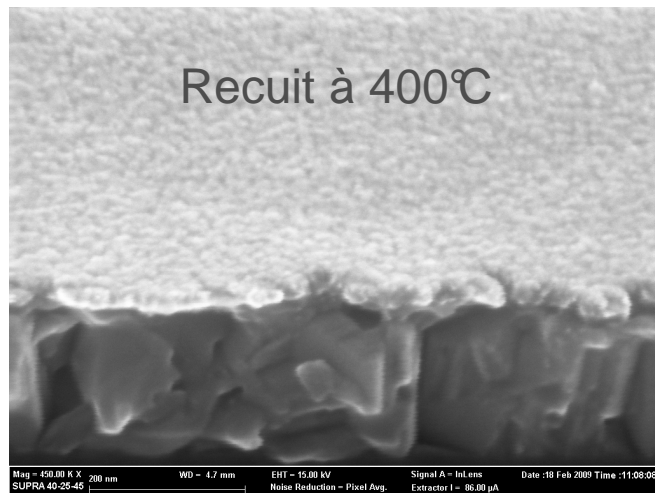


A. Mandelis et al., Phys. Rev. B **67**, 205208 (2003)



## ■ 30 nm de Pt déposé par PVD

- ✓ Afin de limiter l'oxydation et l'évaporation des dépôts
- ✓ Afin d'absorber le laser ( $k=4.5$  at 512 nm)
- ✓ Transducteur thermique



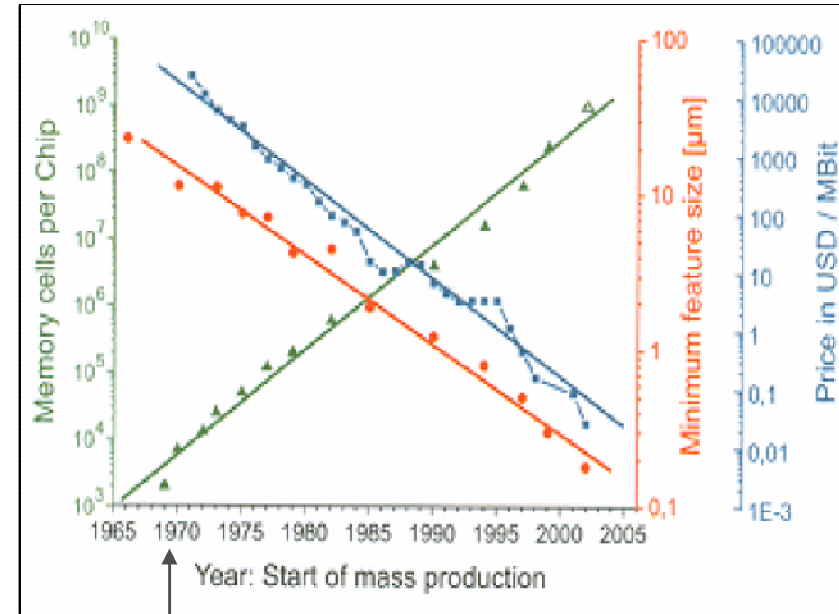
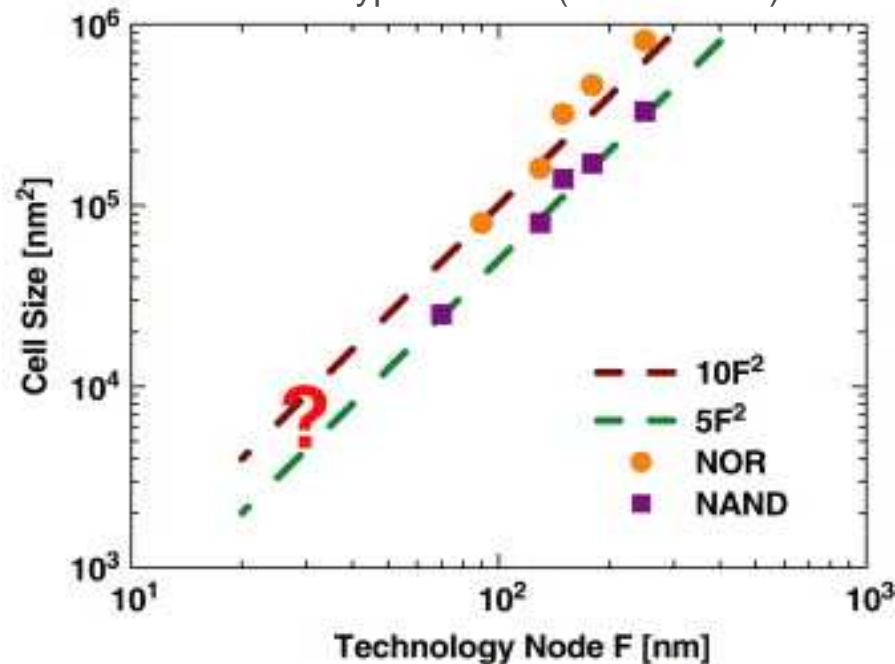
- ✓ Le transducteur en platine n'a pas changé pendant le recuit



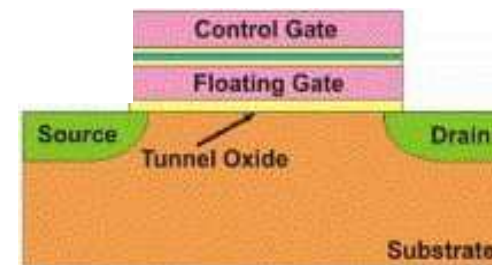
## Loi de Moore

- ✓ le nombre de transistors sur une puce microprocesseur de silicium double tous les 2 ans.

Loi de Moore appliquée à la technologie des mémoires de type FLASH (source STM)



Introduction de la technologie de stockage des données à puits flottants



## Matériaux à changement de phase pour le stockage des données



$T_{\text{amb}} \rightarrow 130^{\circ}\text{C}$   
→



- pas d'ordre à longue distance
- $k \sim 2$  à 600 nm
- Résistance électrique élevée

- ordre à longue distance
- $k \sim 4$  à 600 nm
- Résistance électrique élevée

Propriétés Optiques



CD & DVD RW

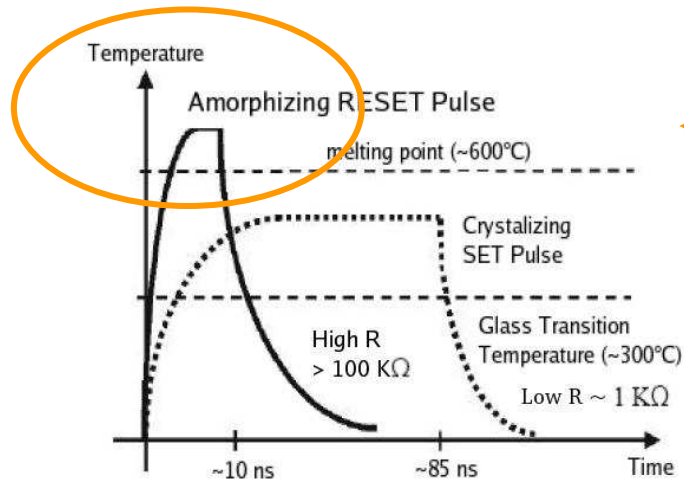
Propriétés Électriques



Mémoire de stockage des données

# Problèmes thermique

## ■ Hautes températures requises



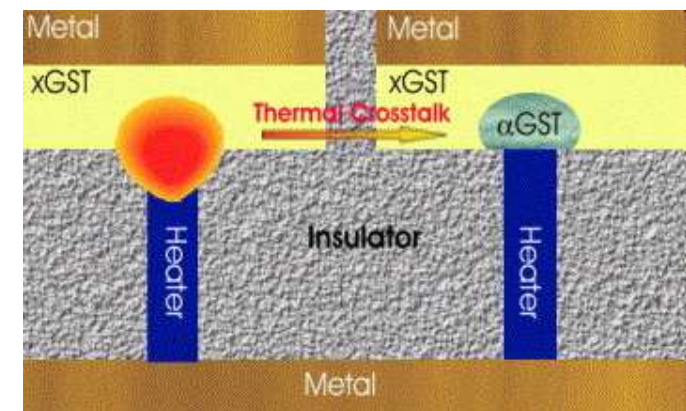
←  $T > 600^{\circ}\text{C}$  pendant 10 ns

$\lambda_{\text{GST}}$  de la phase liquide ?

Pas de données dans la littérature !

## ■ Connaissance des paramètres thermiques :

- ✓ Dimensionnement du transistor de contrôle
- ✓ Dimensionnement de la matrice de cellules

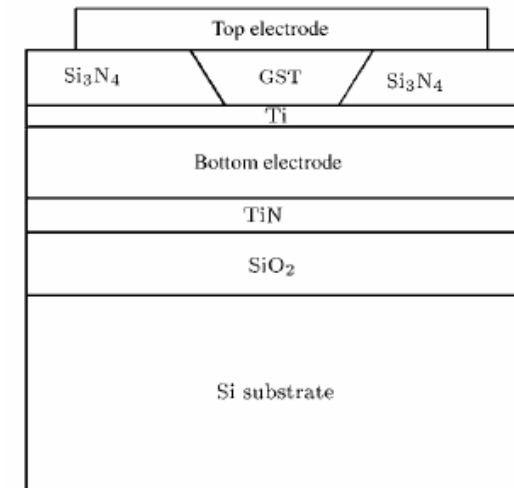


# Problèmes thermiques

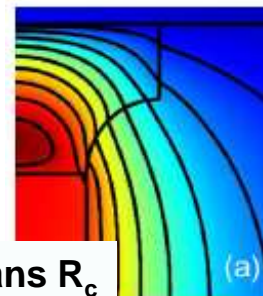
## ■ Effets d'interface :

David L. Kencke, IEEE 2007

« **Les simulations montrent que la présence de résistances de contact réduit de 40% le courant nécessaire pour rendre le GST de nouveau amorphe** »



## ■ Simulation du « reset » de la PCM sans et avec une RC



Sans  $R_c$

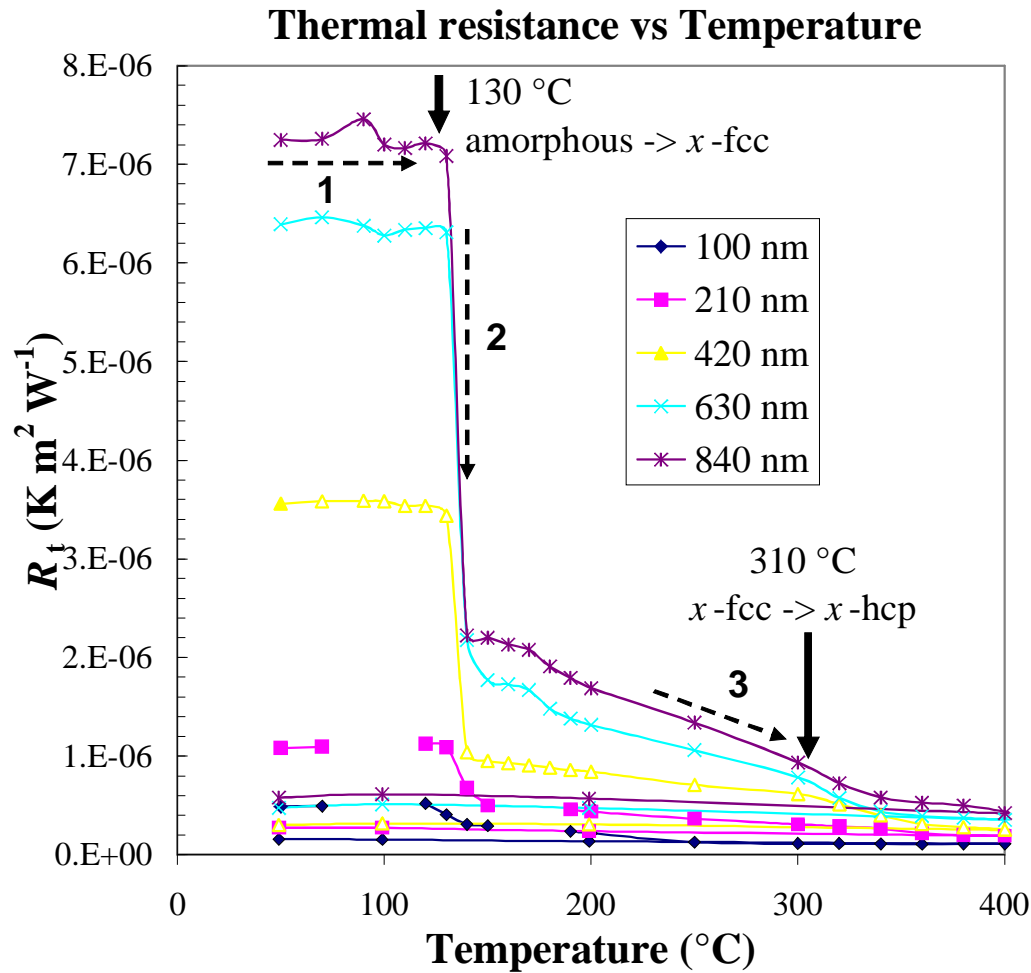


Avec une  $R_c$   $5 \times 10^{-8} \text{ K m}^2 \text{ W}^{-1}$

REIFENBERG *et al.*: IEEE EL. DEV. LET., VOL. 29, 2008

## ■ Pas de données expérimentaux concernant l'évolution de $R_c$ pendant un cycle thermique et en fonction de la phase structurelle du matériau

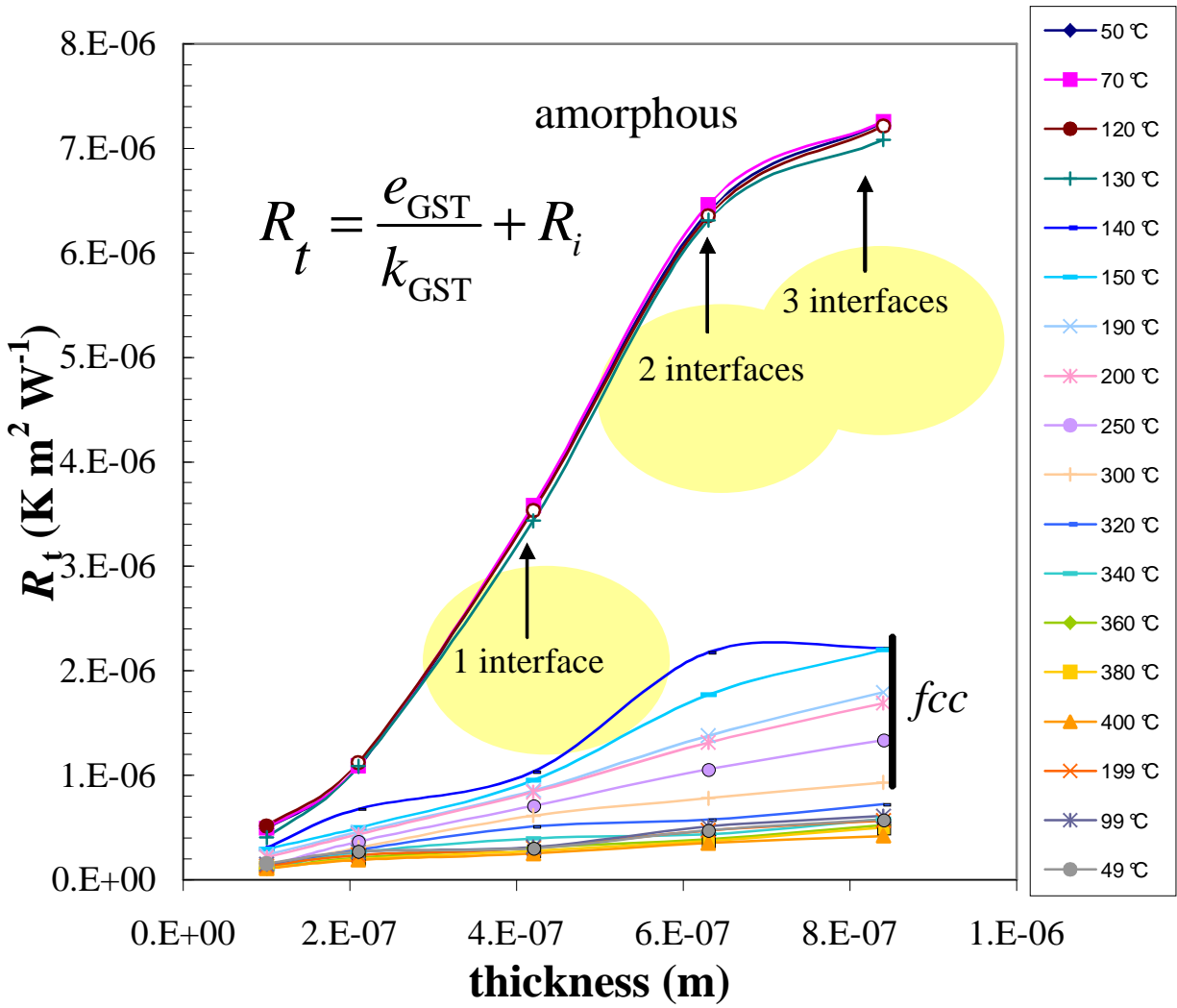
## ■ Résistance thermique totale du dépôt



$$R_t = \frac{e_{\text{GST}}}{k_{\text{GST}}} + R_i$$

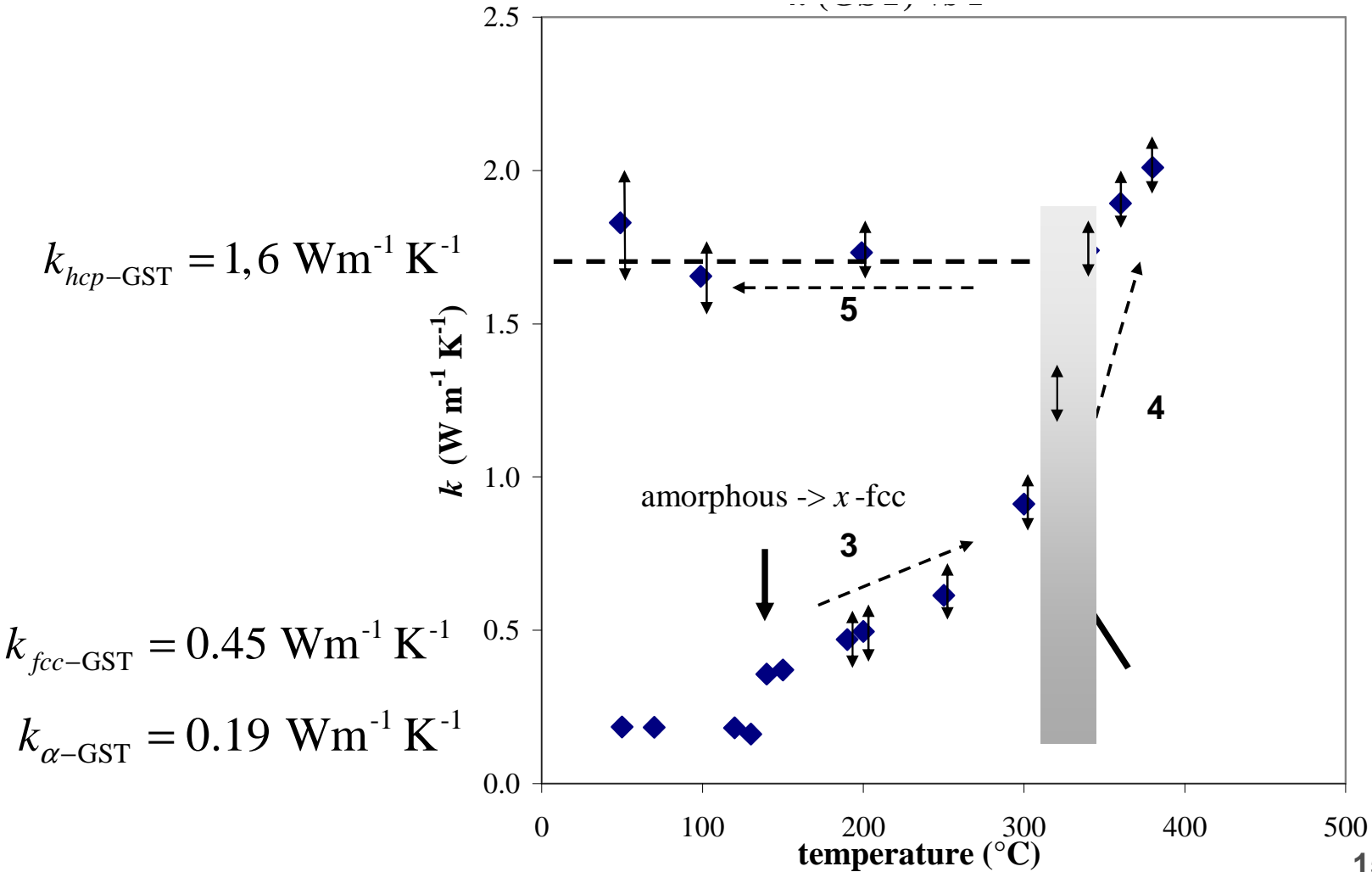
# Radiométrie Photothermique Modulée

## Conductivité intrinsèque et résistance d'interface

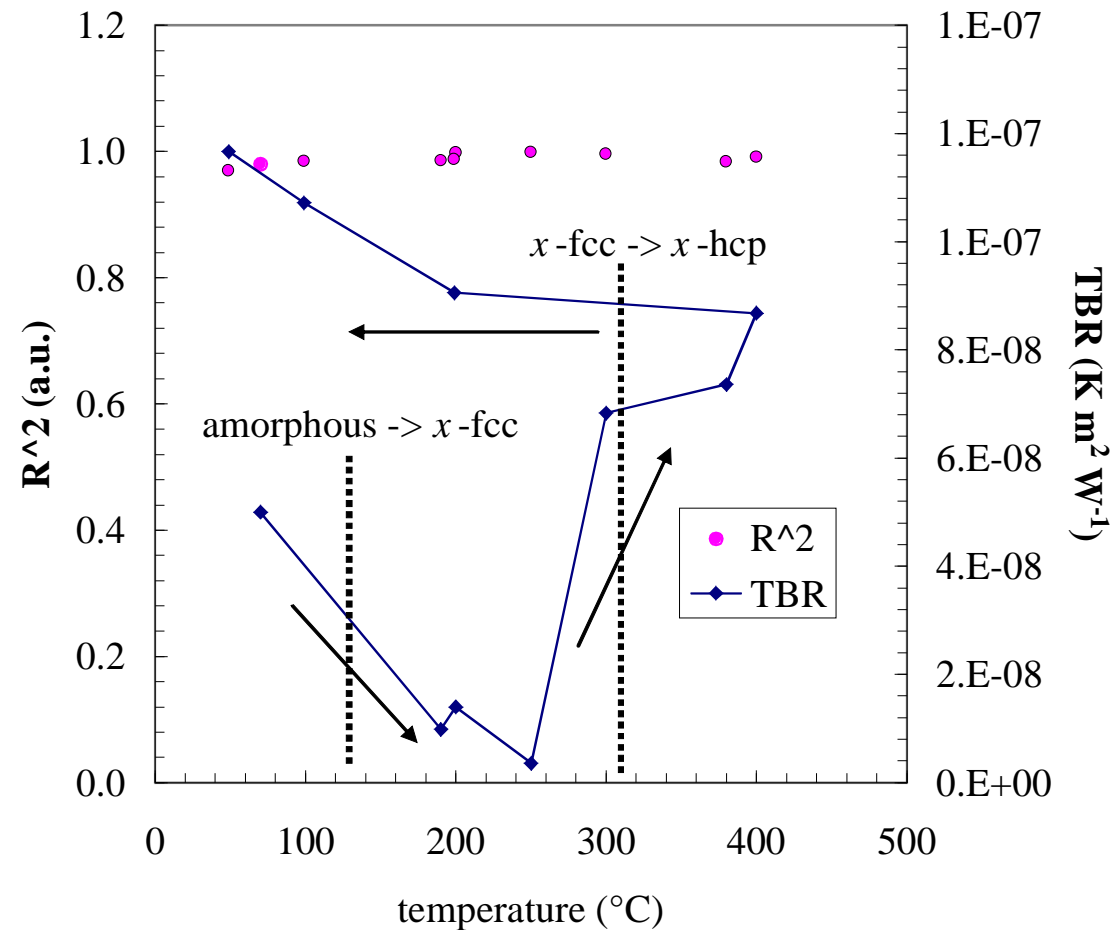


# Radiométrie Photothermique Modulée

## ■ Conductivité thermique du GST



## ■ Résistance thermique de contact

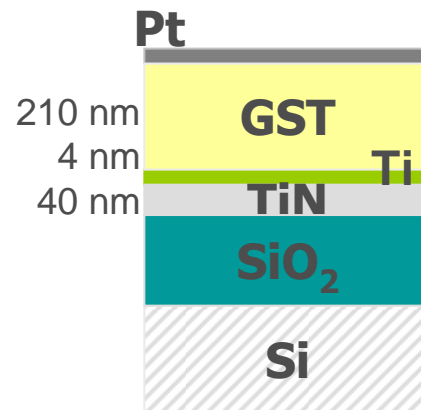
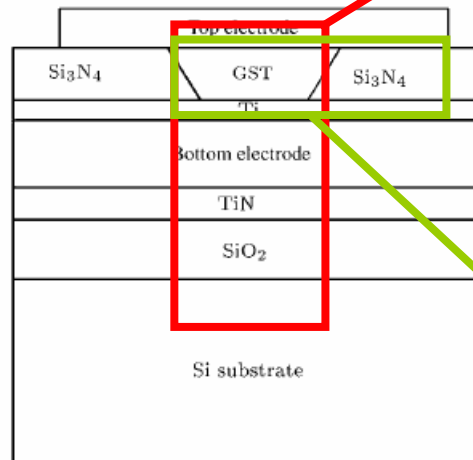




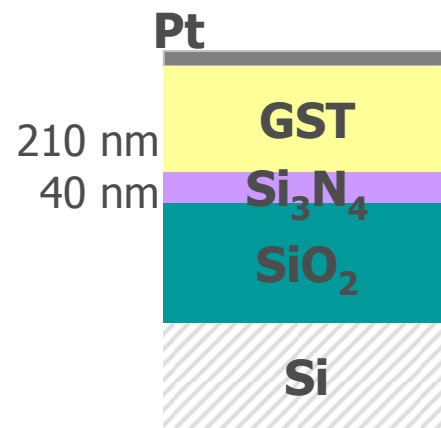
# Démarche expérimental

- Mesure des paramètres thermiques de tous les éléments composant la cellule de mémoire à changement de phase

Structure typique d'une PCM



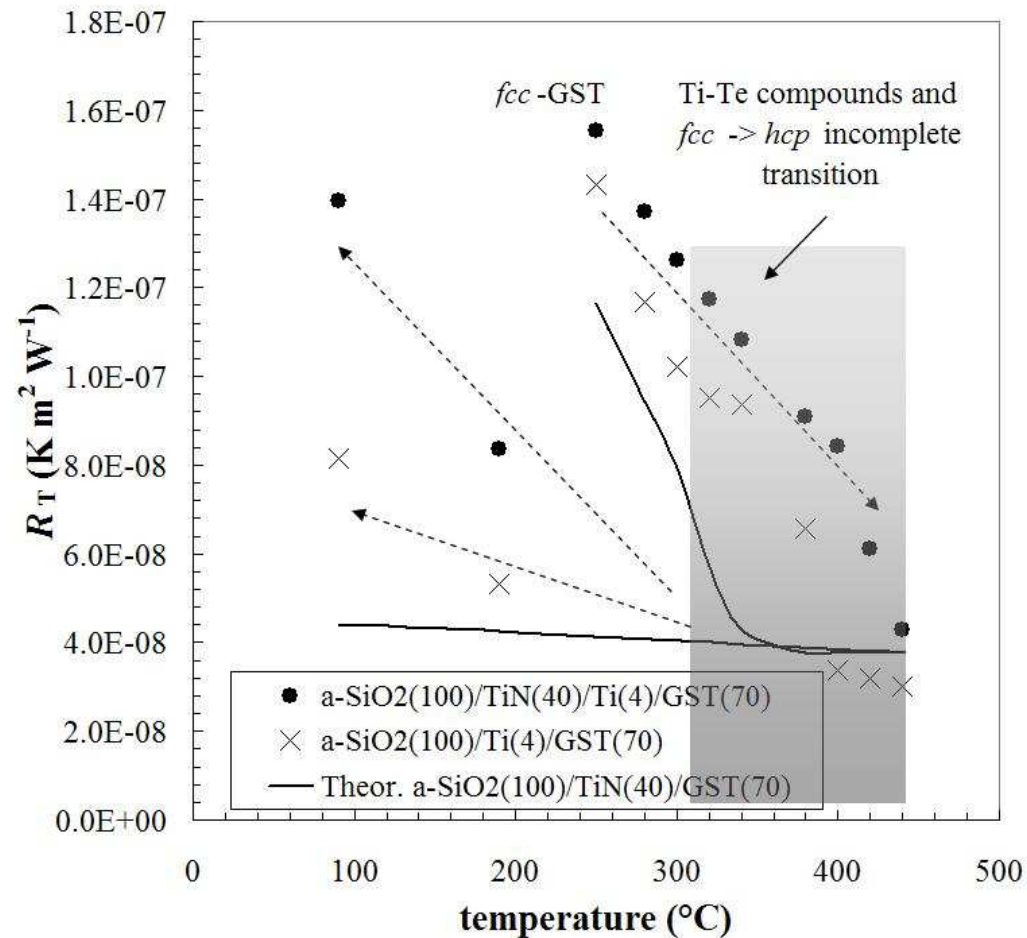
Identification d'une résistance de contact globale entre le GST et le substrat en fonction de la température



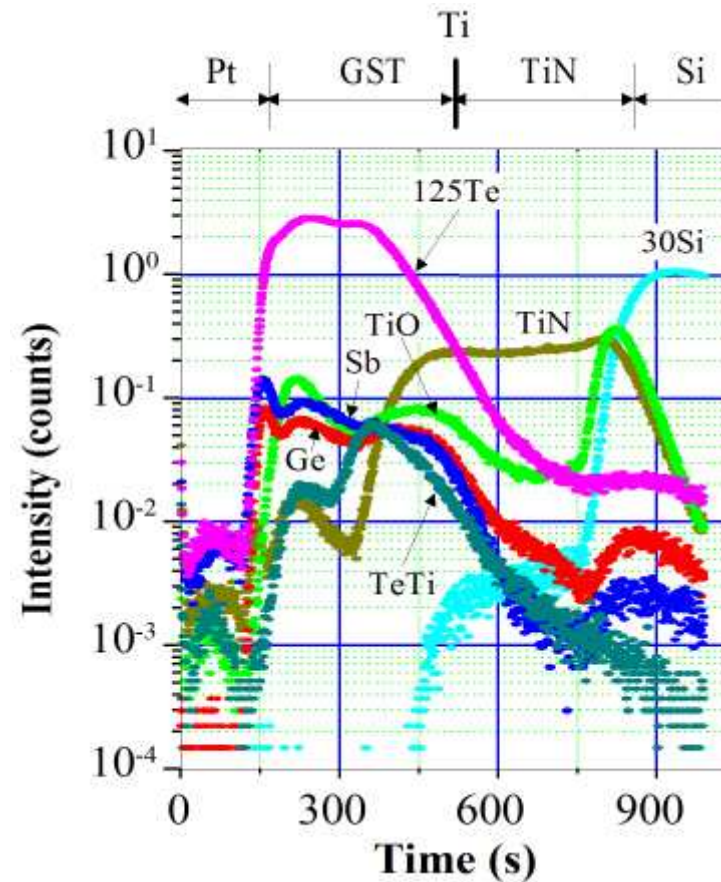
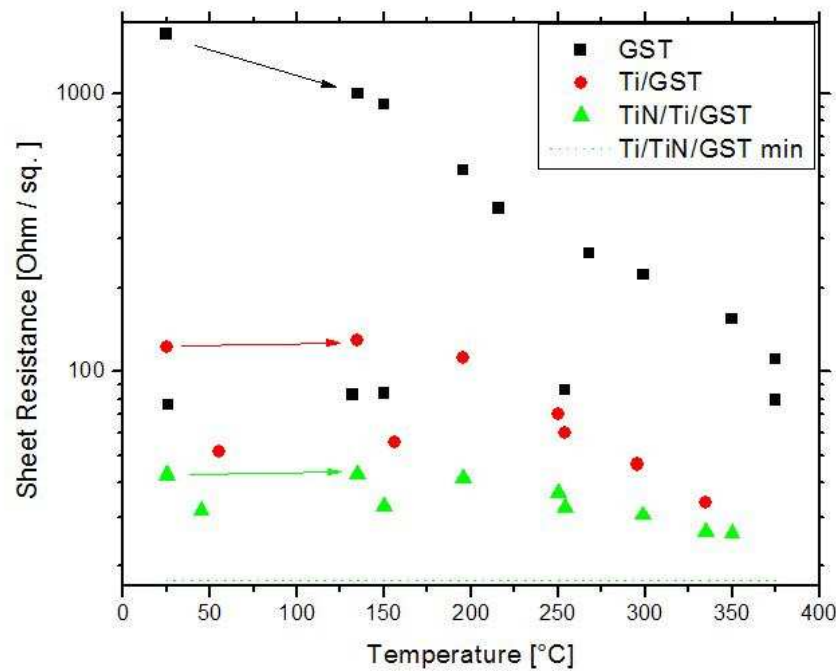
Identification d'une résistance de contact entre le GST et le nitrure en fonction de la température

## ■ Résistance de contact GST - substrat

Effets importants  
 entre 400°C et T<sub>amb</sub>

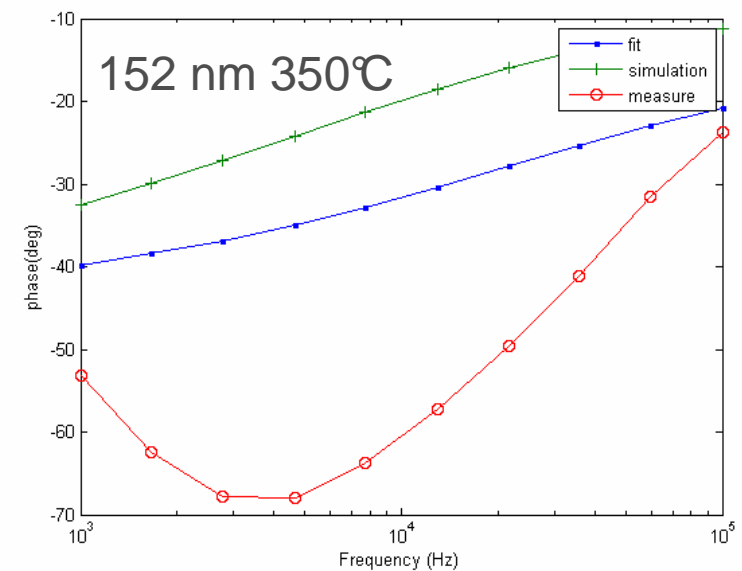
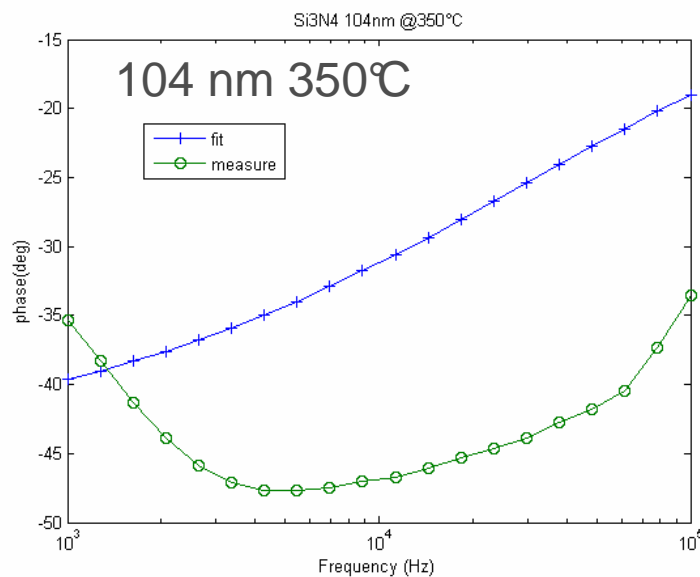
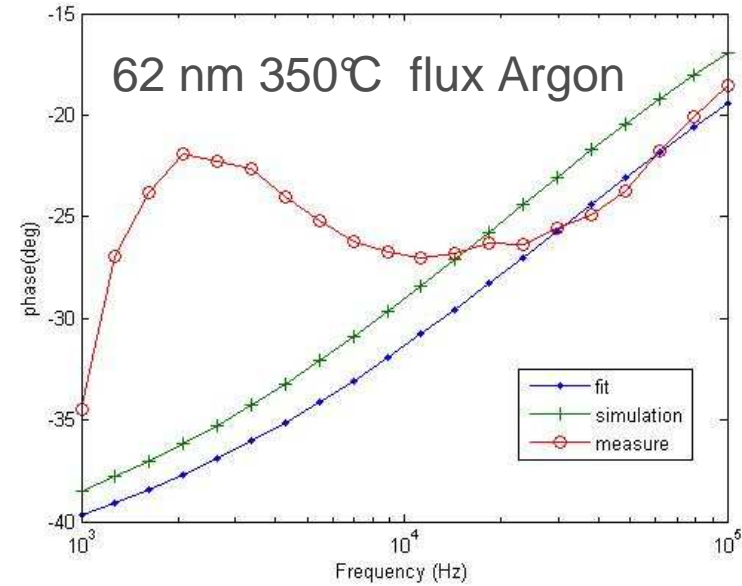


- Même tendance pour les mesures électriques

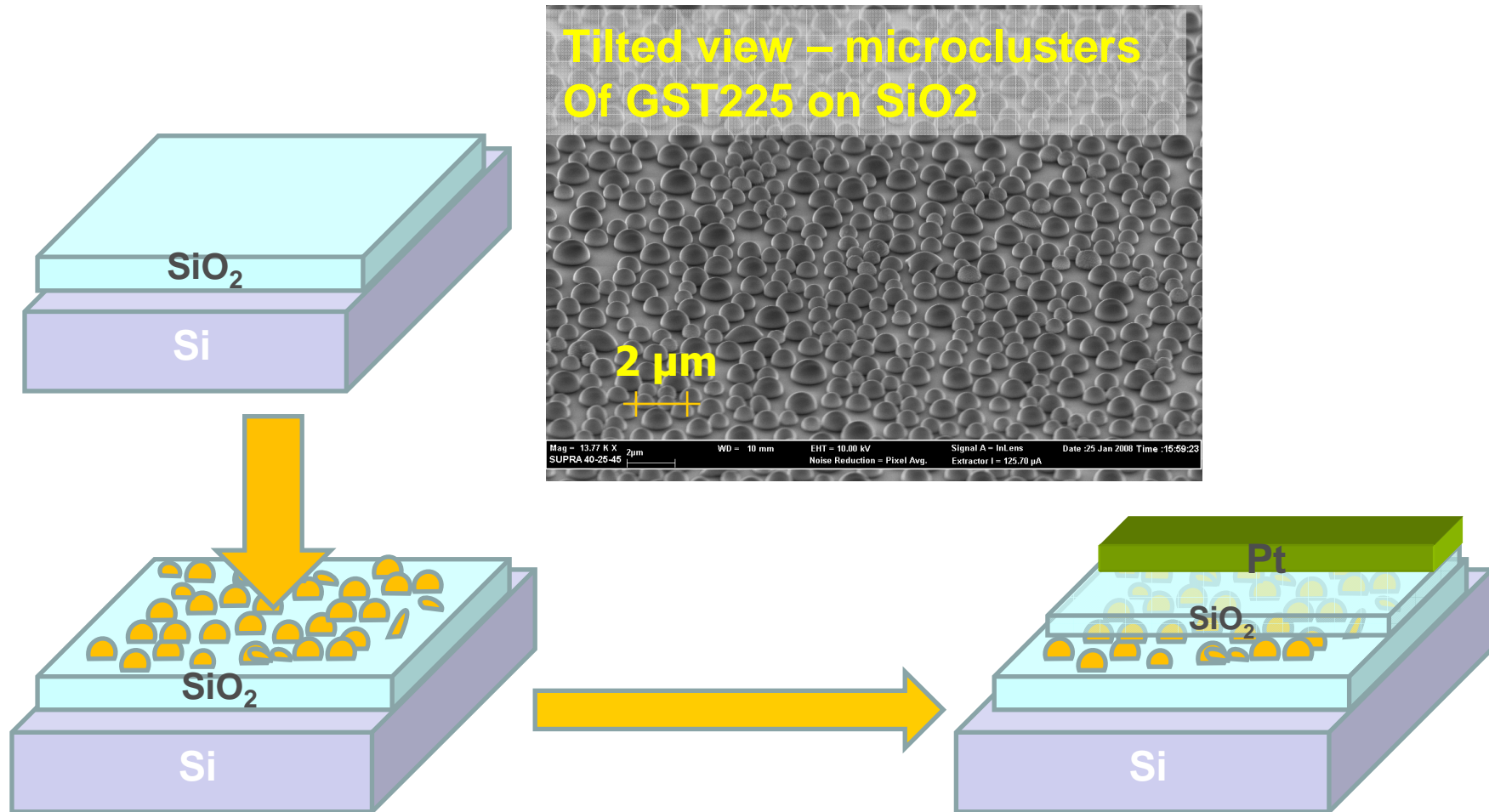


# Radiométrie Photothermique

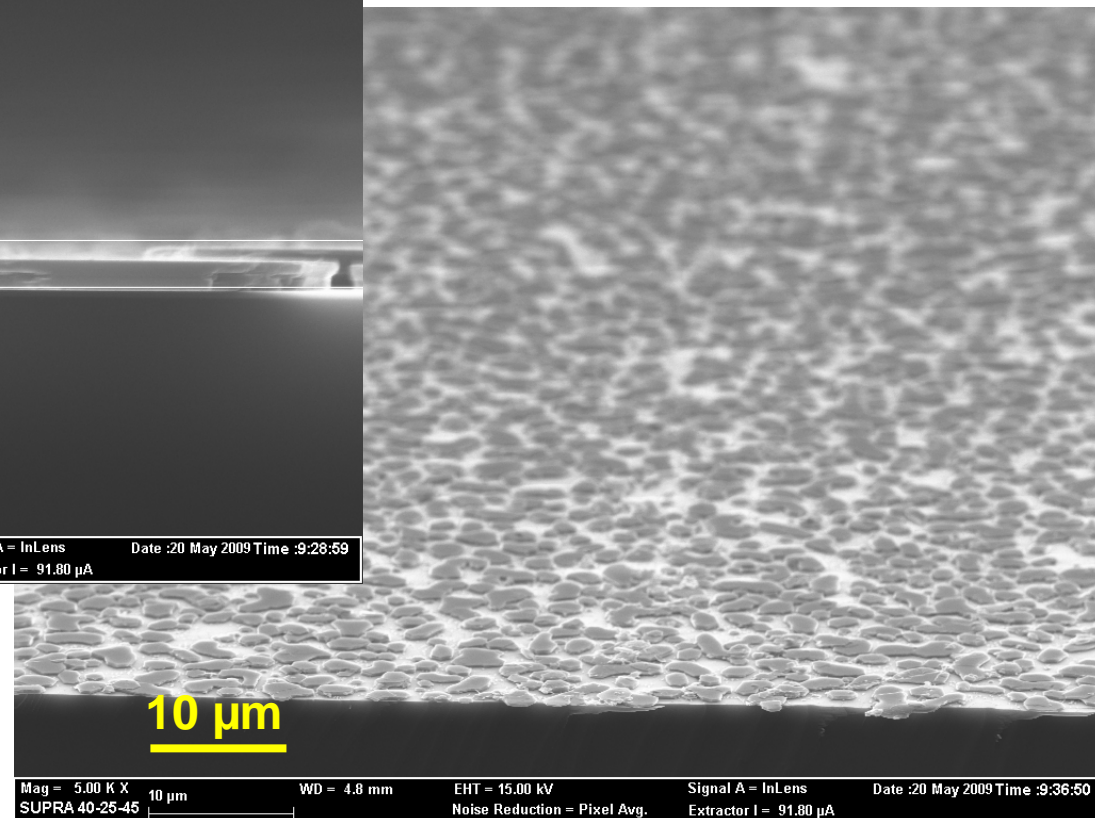
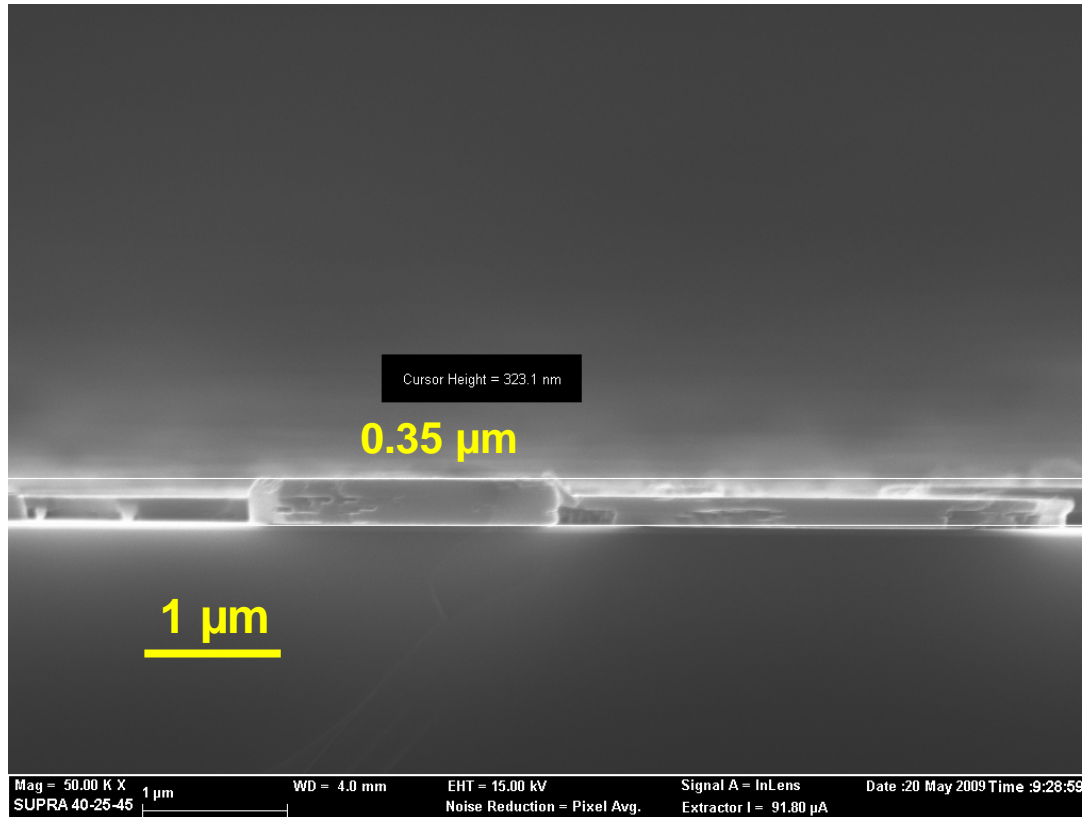
- **Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>**
  - ✓  $\rho C_p = 2200 \cdot 744 \text{ J/km}^3$
  - ✓  $\lambda = 1.3 - 1.5 \text{ W/km}$
- Effets d'épaisseur
- Problèmes aux hautes températures



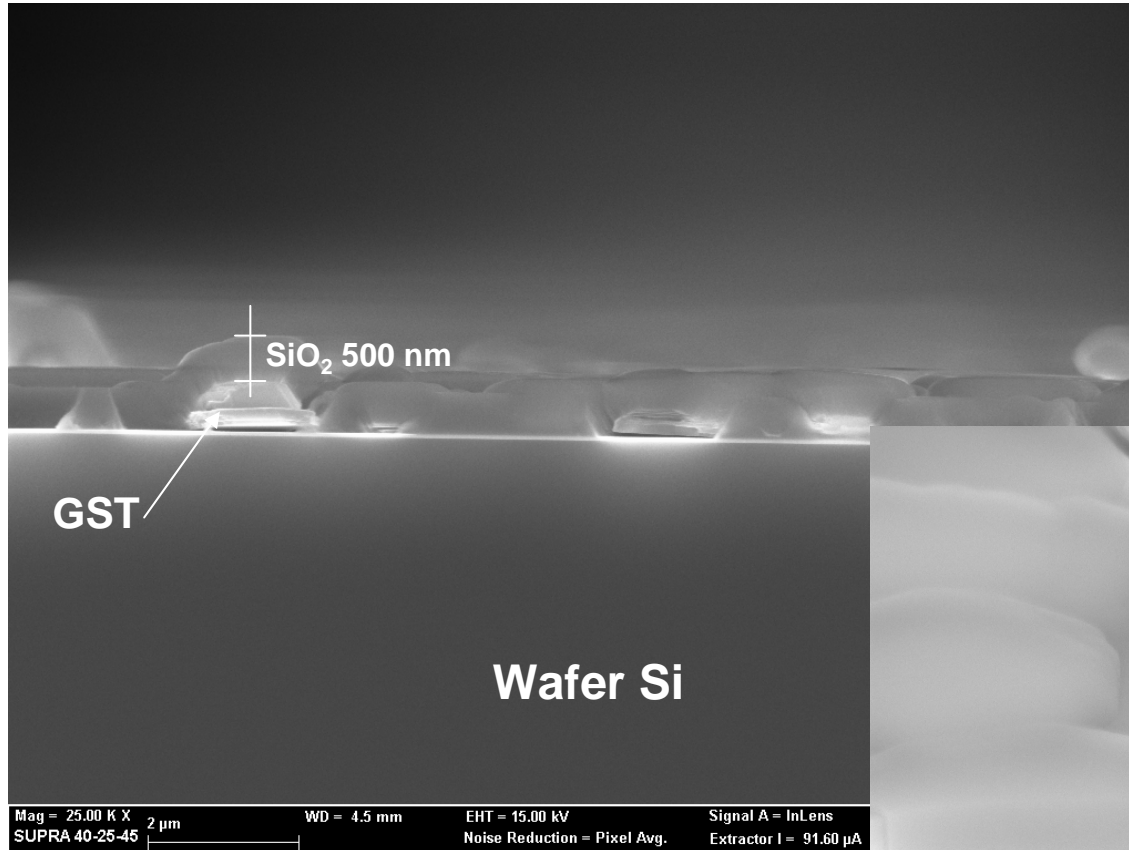
## ■ Structure à gouttes par MOCVD



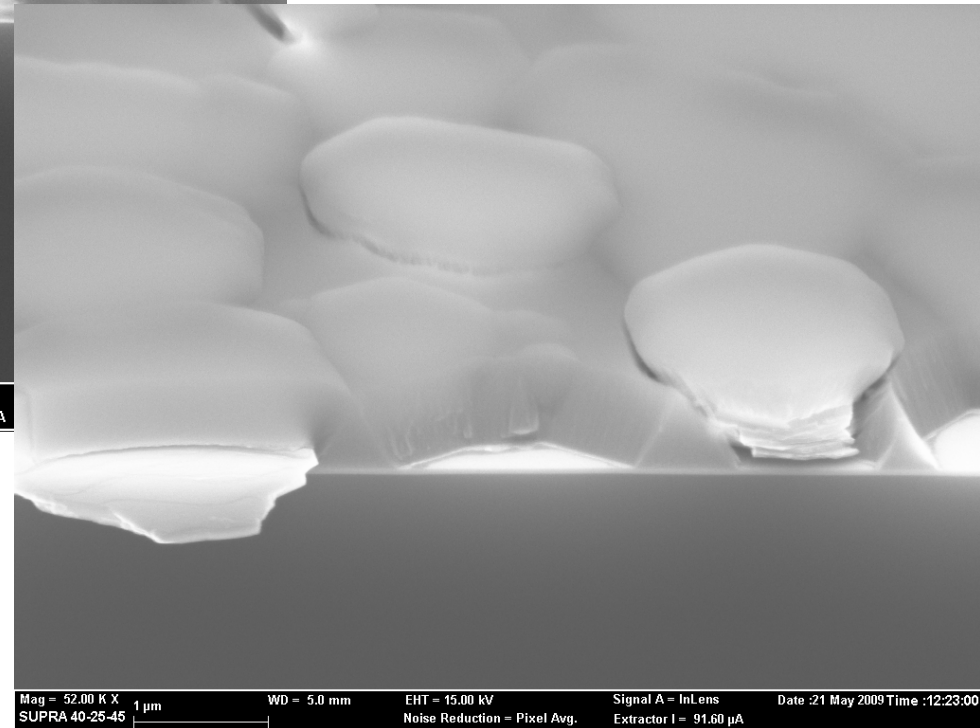
## ■ GST par MOCVD







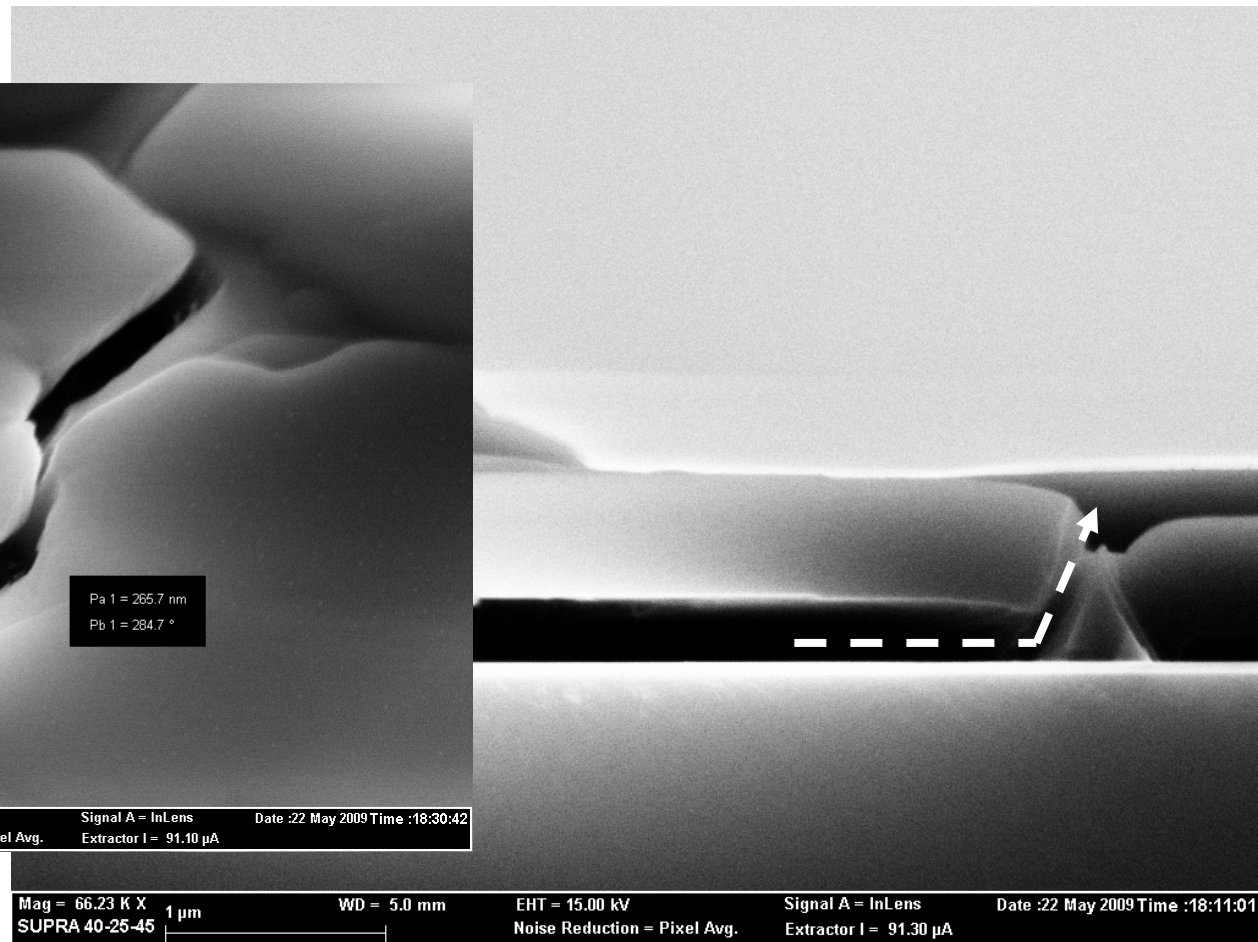
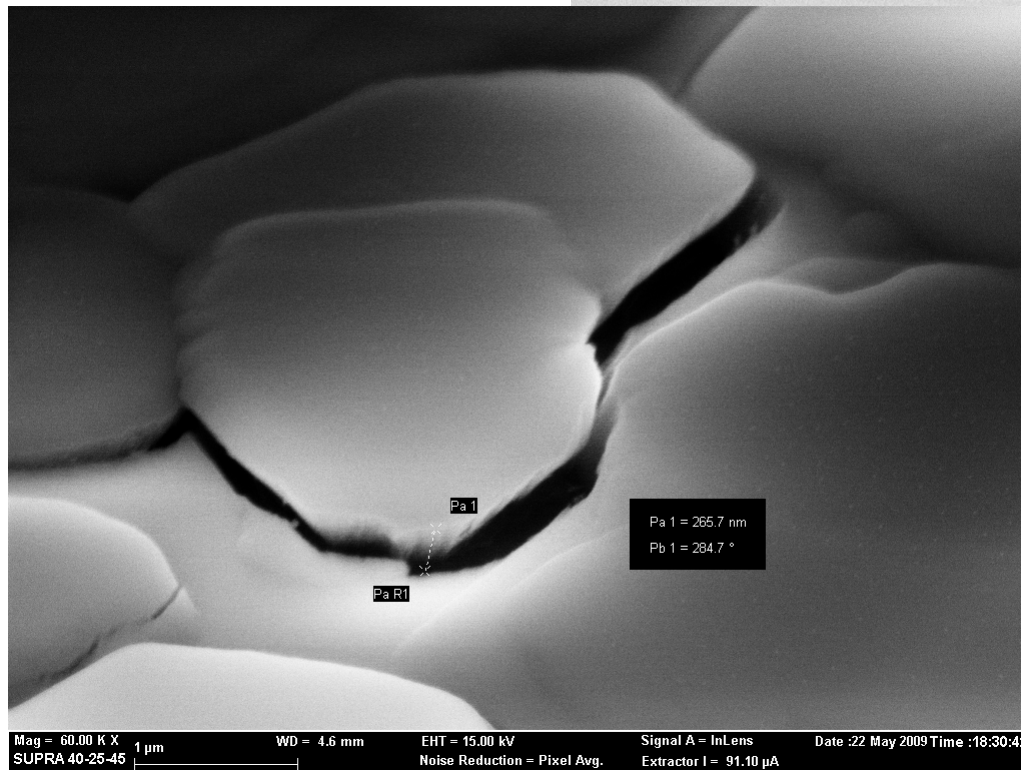
- 500 nm SiO<sub>2</sub>
  - ✓ Protéger le GST en phase liquide
  - ✓ Température de fusion du SiO<sub>2</sub> ~1650°C



- Température de fusion du GST : 600°C

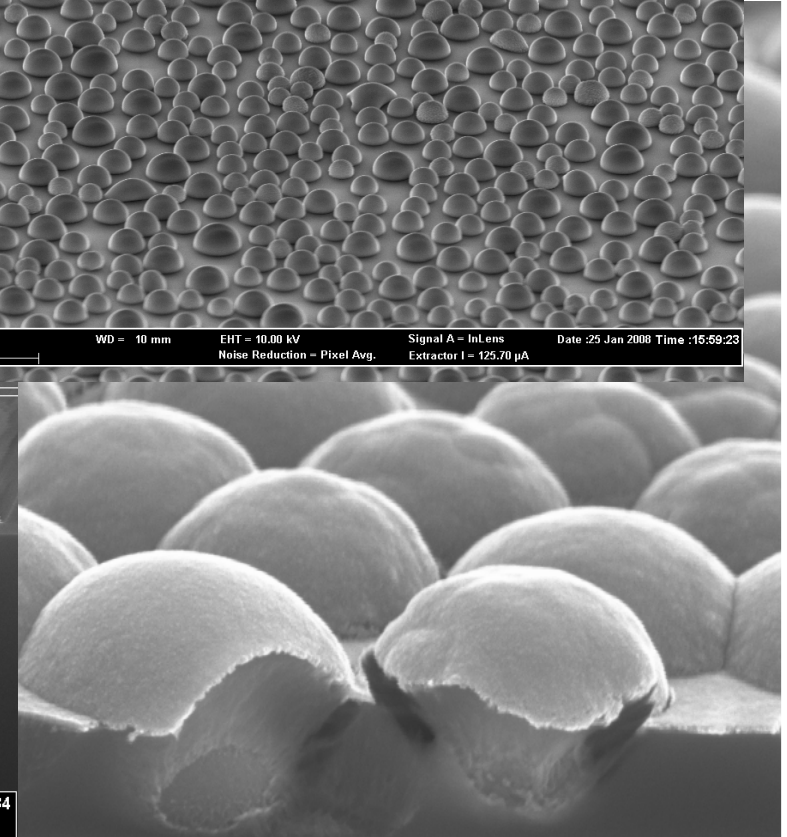
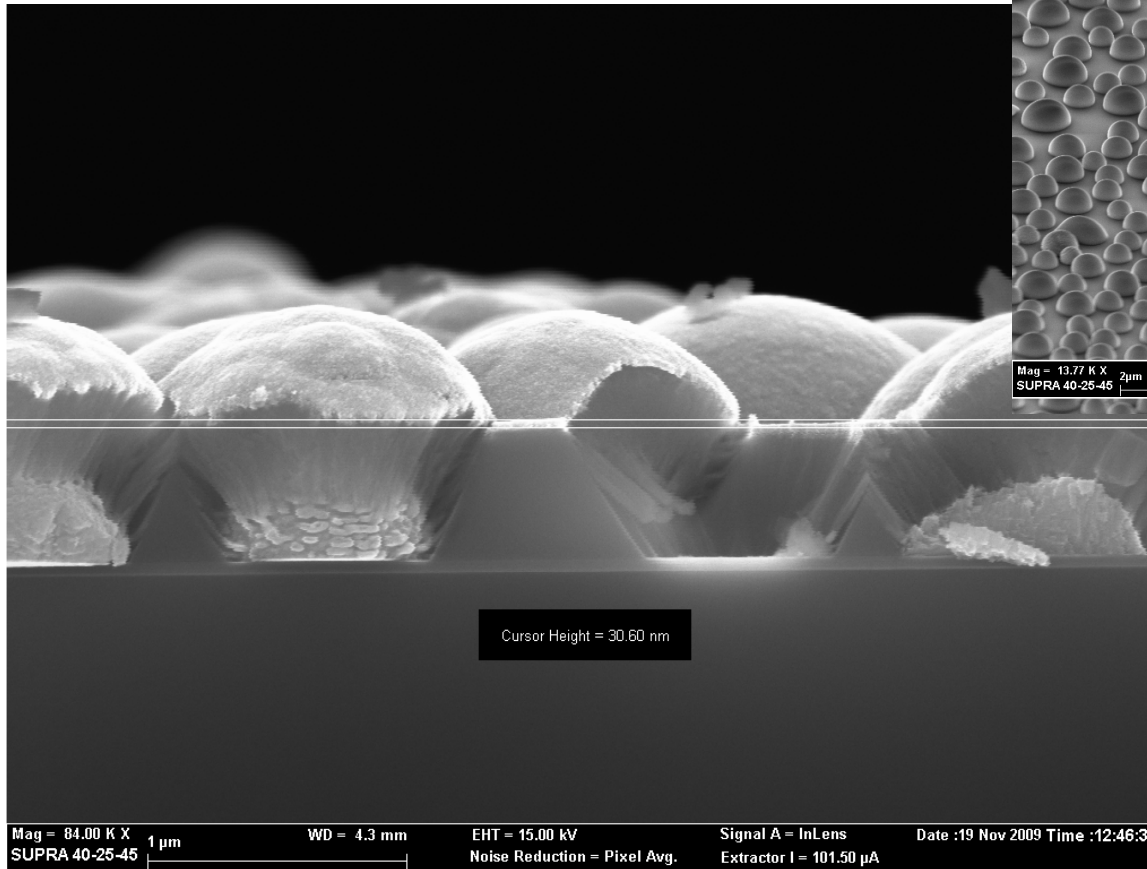
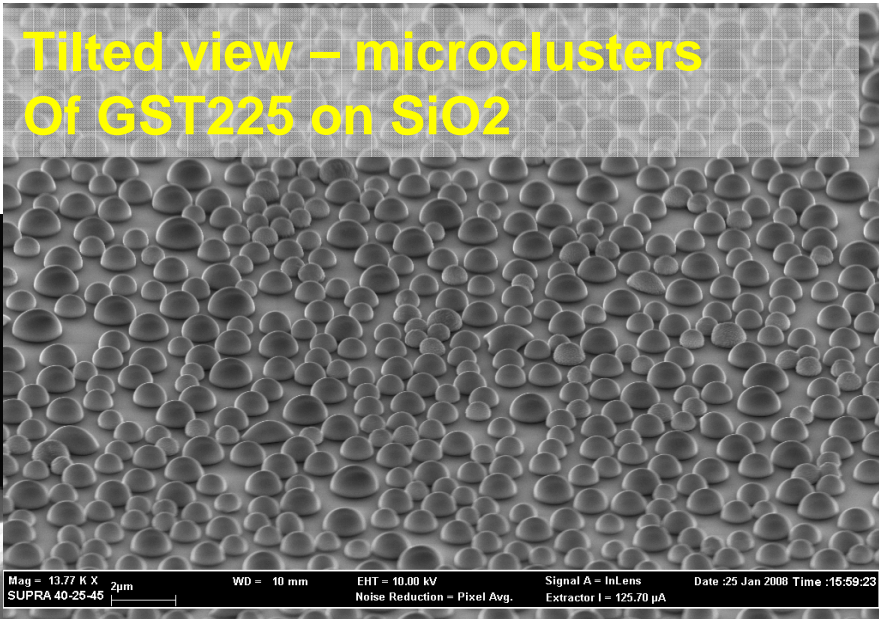
# Propriétés thermiques de la phase fondue

- 30 min à 600°C





# Propriétés thermiques de la phase fondue



# Propriétés thermiques de la phase fondue

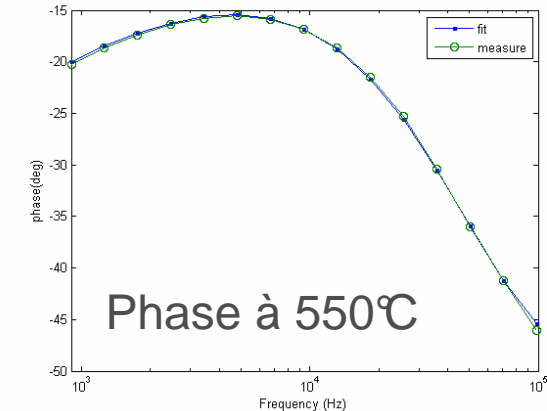
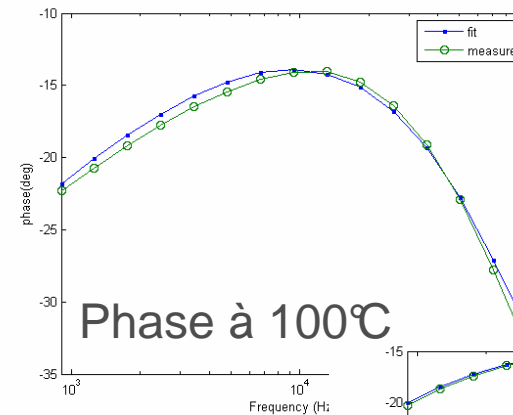
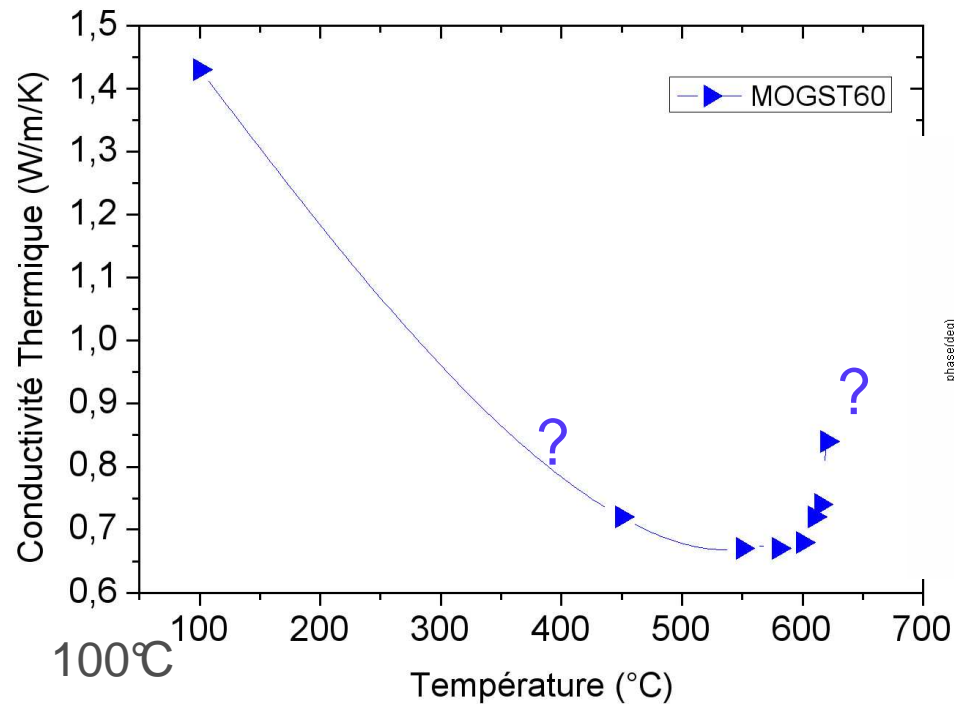
- Structures à gouttes
  - ✓ Analyse en cours
  - ✓ Premiers résultats à valider
  - ✓ Images MEB nécessaires



- ✓  $T_{\text{fusion}} \sim 600^\circ\text{C}$



- ✓  $T_{\text{fusion}} \text{ Te} \sim 450^\circ\text{C}$



# Conclusions

- **Radiométrie PT appliquée aux couches mince à l'état solide**
  - ✓ **Conductivité thermique des matériaux à changement de phase en fonction de la température**
  - ✓ **Résistance thermique entre le matériaux à changement de phase et le substrat en fonction de la température**
  - ✓ **Difficultés pour certain matériaux**
  
- **Radiométrie PT appliquée aux matériaux fondus**
  - ✓ **Analyse en cours**