

Caractérisation thermique de nanostructures poreuses par pyrométrie rapide

Eliane AMIN CHALHOUB

Journée thématique SFT : caractérisations
thermo-physiques et applications microélectroniques

18 novembre 2011



Sommaire

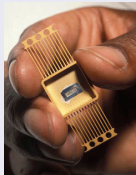
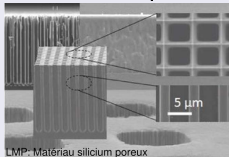
- 1 Matériaux poreux
- 2 Système expérimental
- 3 Caractérisation thermique
- 4 Conclusion et Perspectives

Structures poreuses

Etude des propriétés thermiques des matériaux nanostructurés

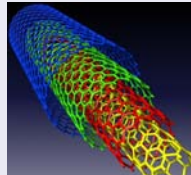
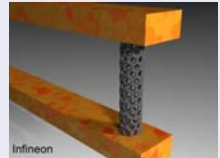
Silicium poreux

Micro- et opto-électronique



Nanotubes de carbone

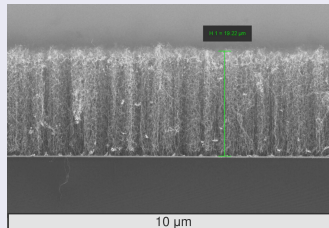
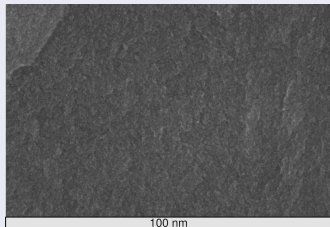
Drains thermiques, vias



Structures poreuses étudiées

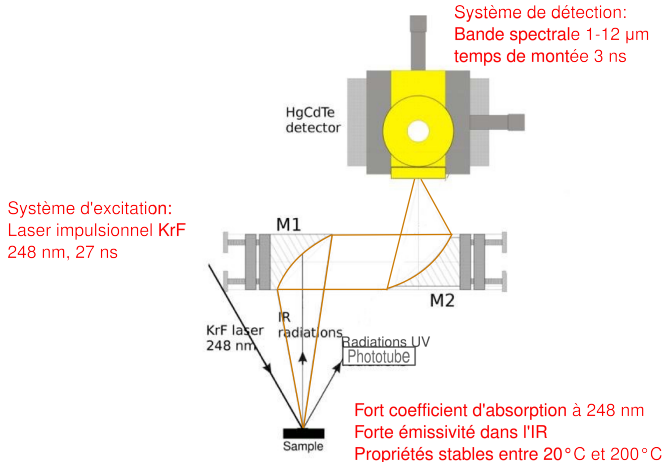
Caractéristiques morphologiques des échantillons étudiés

Echantillon	Porosité	Diamètre (nm)	Elaboration	Epaisseur (μm)
Si mésoporeux	30%	5 - 10	électrochimie	50
nanotubes de carbone	70%	20 - 27	PECVD	10-30



Dispositif expérimental

Système expérimental : Pyrométrie IR rapide



Pyrométrie IR rapide

Conditions

- Absorption homogène du faisceau laser à la surface de l'échantillon traité
- Eviter les phénomènes 'parasites' : type photoluminescence

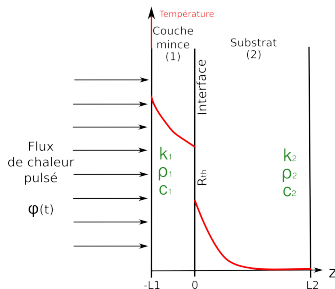
Solution

Dépôt d'une couche : transducteur thermique

- surface dense et homogène
- absorption importante dans l'UV
- émissivité élevée dans l'IR
- émissivité stable en fonction de la température
- Couche mince de Ti

Détermination des propriétés thermiques

Comparaison des résultats expérimentaux avec le modèle analytique

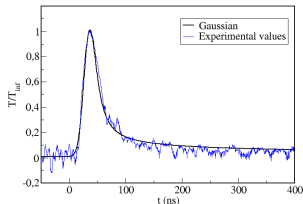


$$V(t) = \frac{T(-L, t)}{T_{inf}} = f(\kappa_i, (\rho \cdot c_p)_i, R_{th})$$

$$V(t) = f(\varphi(t))$$

Validation du modèle : Ti sur Si monocristallin

Distribution gaussienne de l'impulsion

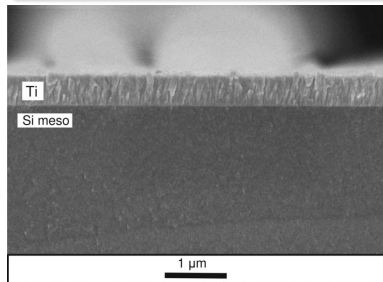


	Ti	Si
κ ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	22 ± 2	160 ± 10
ρc_p ($J.K^{-1}.m^{-3}$)	$(1,5 \pm 0,3) \cdot 10^6$	$(1,9 \pm 0,2) \cdot 10^6$
R_{th} ($K.m^2.W^{-1}$)	$(0,7 \pm 0,3) \cdot 10^{-9}$	

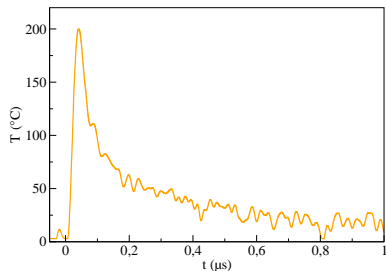
Caractérisation thermique du Si mésoporeux

Propriétés thermiques du Si mésoporeux

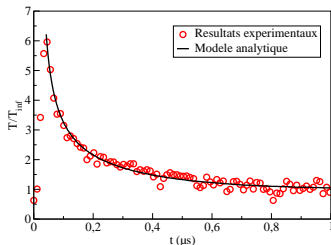
600 nm de Ti/Si mesoporeux



Fluence laser = 150 mJ.cm^{-2}



Propriétés thermiques du Si mésoporeux

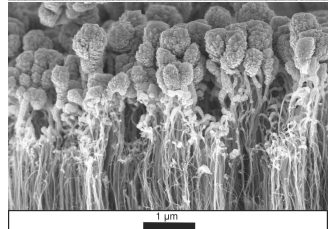
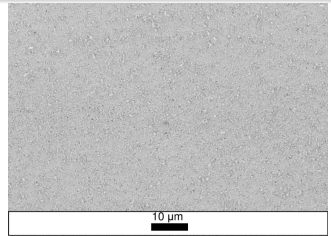
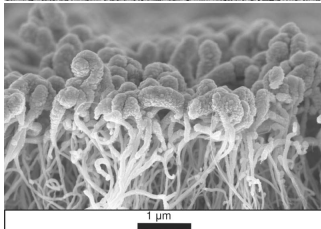
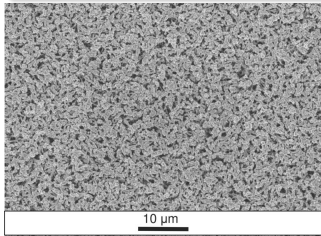


	Ti	meso-Si(35%)
κ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	22	50 ± 10
ρc_p ($J \cdot K^{-1} \cdot m^{-3}$) $\cdot 10^6$	2,00	1,06
R_{th} ($K \cdot m^2 \cdot W^{-1}$) $\cdot 10^{-9}$	3	

Caractérisation thermique d'un tapis de nanotubes de carbone

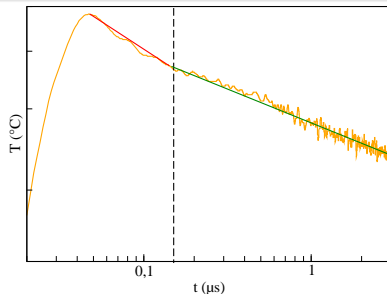
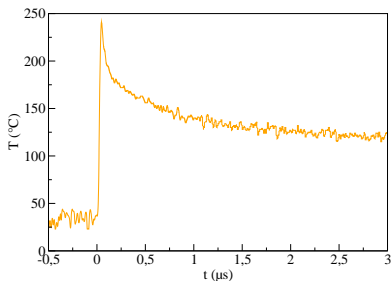
Caractéristiques des dépôts sur NTC

denses, homogènes, épaisseurs > 300 nm



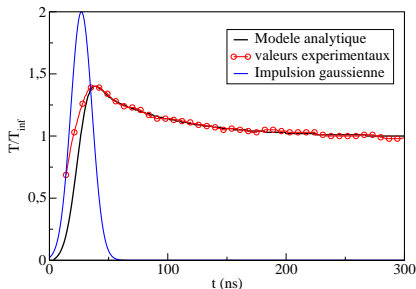
Propriétés thermiques du tapis de NTC

Variations de température de surface après un pulse laser de 150 mJ.cm^{-2}



Propriétés thermiques du tapis de NTC

Impulsion gaussienne



	Ti	CNT
κ ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	22 ± 2	200 – 400
ρc_p ($J.K^{-1}.m^{-3}$)	$(1,4 \pm 0,15) .10^6$	$(4 \pm 0,5) .10^4$
R_{th} ($K.m^2.W^{-1}$)	$(2,5 \pm 0,2) .10^{-7}$	

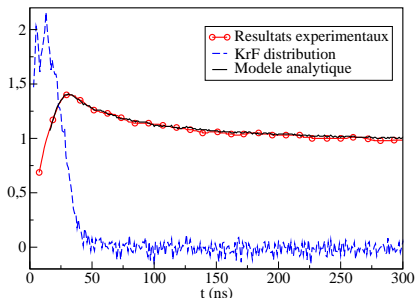
Propriétés thermiques du tapis de NTC

Améliorer la sensibilité du modèle envers la conductivité thermique du tapis de NTC

Prendre en compte la 'vraie' distribution temporelle du faisceau laser KrF

Propriétés thermiques du tapis de NTC

Distribution réelle du faisceau KrF



Amélioration de la sensibilité

$$\kappa_{NTC} = 200 \pm 35 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$l_p = \sqrt{d \cdot \tau} = 550 \text{ nm}, \kappa(\text{partie supérieure}) \neq \kappa(\text{coeur})?$$

Propriétés thermiques du tapis de NTC

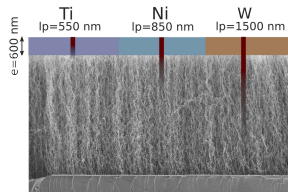
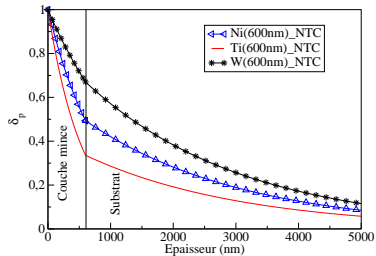
Améliorer la profondeur de diffusion thermique : sonder en profondeur les NTC

- Choisir un matériau ayant une diffusivité plus importante
- Augmenter le temps d'interaction

Propriétés thermiques du tapis de NTC

Choix du matériau

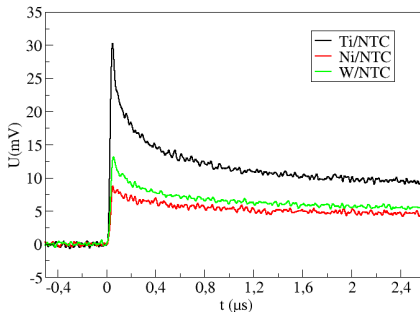
Matériaux	Ti	Ni	W
l_p	550 nm	850 nm	1500 nm



Propriétés thermiques du tapis de NTC

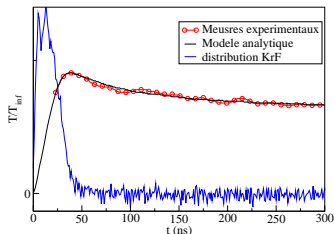
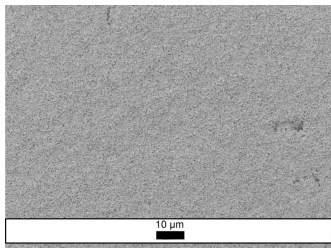
Comparaison des signaux thermiques pour les trois matériaux choisis comme transducteurs thermiques

Pour une fluence laser de 150 mJ.cm^{-2}



Propriétés thermiques du tapis de NTC

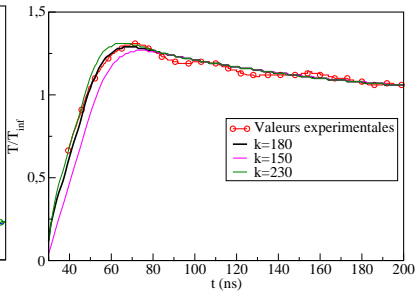
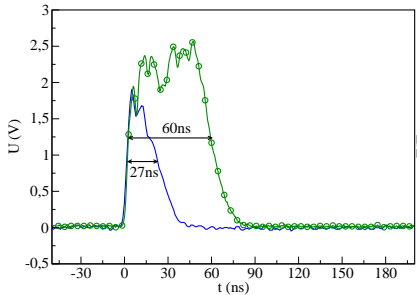
Distribution réelle du faisceau KrF avec W transducteur thermique



	W	CNT
κ ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	120	180 – 240
ρc_p ($J.K^{-1}.m^{-3}$)	$1,8.10^6$	5.10^4
R_{th} ($K.m^2.W^{-1}$)	1.10^{-7}	

Propriétés thermiques du tapis de NTC

Augmenter le temps d'interaction : coupler deux lasers KrF



$$\kappa_{NTC} = 180 \pm 20 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

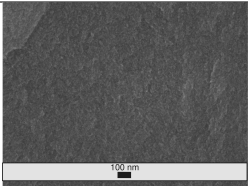
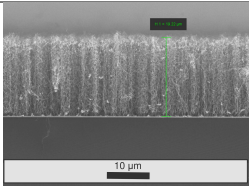
Propriétés thermiques du tapis de NTC

Résumé des étapes suivies pour la détermination de la conductivité thermique du tapis de NTC

Transducteur	Impulsion	Conductivité thermique ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
Ti	Gaussienne	200-400
Ti	KrF	170-230
W	KrF	180-240
Ti	2KrF	160-200

Conclusion

Conclusion

	Si mésoporeux	CNT
κ ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	50	180 – 200
ρc_p ($J.K^{-1}.m^{-3}$)	$1,06.10^6$	4.10^4
R_{th} ($K.m^2.W^{-1}$)	2.10^{-7}	3.10^{-9}
Porosité	30%	70%
MEB		

Perspectives

Perspectives

- Nanotubes de carbone :
 - Déterminer la conductivité thermique d'autres types de tapis de NTC
 - Améliorer la qualité du dépôt métallique à la surface : applications dans le domaine de la microélectronique
- Si poreux
 - Evaluer l'effet de la taille des pores sur la valeur de la conductivité thermique