



Mesure de température des composants électroniques de puissance GaN

Bertrand BOUDART

LES RENDEZ-VOUS FIABILITE DU CFF

1^{er} juin 2021















- 1. Introduction
- 2. Spectroscopie Raman
 - Informations obtenues
 - Comment mesurer « la température » d'un composant polarisé
- 3. Micro-thermomètres Raman
- 4. Conclusion

1. Introduction



- GREYC: Groupe de REcherche en Informatique,
 Image et Instrumentation de Caen
- Sous les tutelles du CNRS, ENSI Caen et Unicaen
- Basé à Caen avec des antennes à Lisieux, Alençon,
 - Vire, St Lô et Cherbourg
- Créé en 1995
- + 180 membres





Le laboratoire

- 6 équipes de recherche:
 - ✓ AMACC (Algorithmes, Modèles de calcul, Aléa, Combinatoire, Complexité)
 - ✓ CODAG (COntraintes, DAta mining, Graphes)
 - ✓ MAD (Modèles, Agents, Décision)
 - ✓ SAFE (Sécurité, Architecture, Forensique, biomEtrie)
 - ✓ Image
 - ✓ Electronique



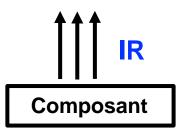
L'équipe électronique est organisée en 3 axes :

- Axe 1 : Physique des composants à semi-conducteurs : bruit, température, défauts électroniques
- Axe 2 : Oxydes fonctionnels : des couches minces aux capteurs
- Axe 3 : Systèmes complexes de mesure et de détection: bruit, instruments, applications, capteurs (champs électriques et magnétiques, rayonnements IR et X, gaz, température...)



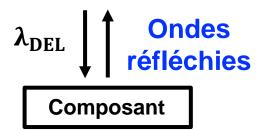
- Méthodes électriques :
 - Basées sur la connaissance de l'évolution des caractéristiques électriques des composants en fonction de la température
 - Possibilité d'extraire une température moyennée
- Méthodes optiques :
 - Possibilité d'extraire une température locale

Thermographie IR



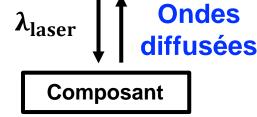
- Très utilisée
- Limitée spatialement :3-10 µm

Thermoréflectance



> Surtout les métaux

Spectroscopie Raman



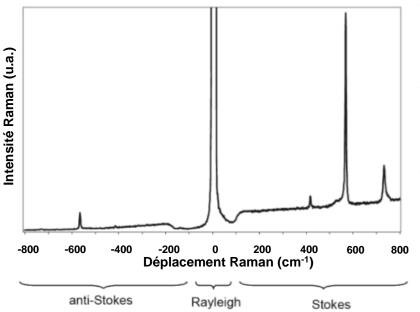
Surtout pas les métaux

2. Spectroscopie Raman





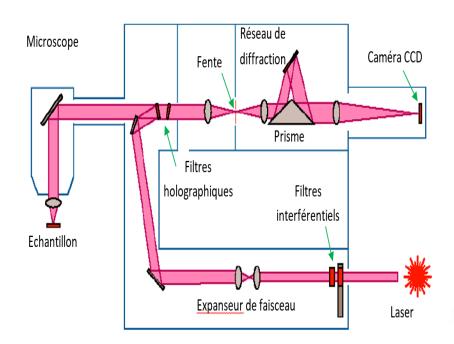
- ➤ En 1928, C. Raman découvre l'effet « Raman » qui lui a valu le prix Nobel de physique en 1930.
- La diffusion de la lumière par un matériau se fait selon 3 processus :



- La diffusion Rayleigh sans changement de longueur d'onde
- La diffusion Stokes (10⁻⁶ fois plus faible en intensité)
- La diffusion anti-Stokes encore moins intense



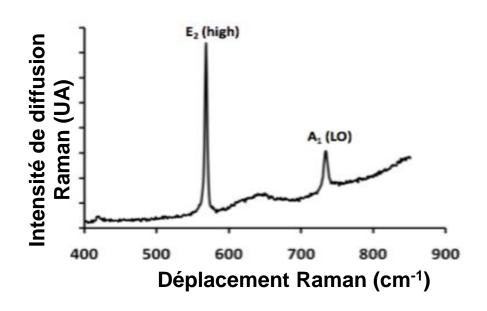
Instrument

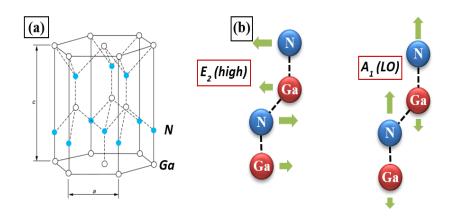






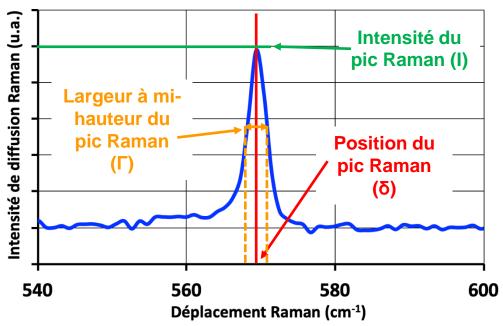
Spectre de GaN





> Informations issues d'un spectre Raman :



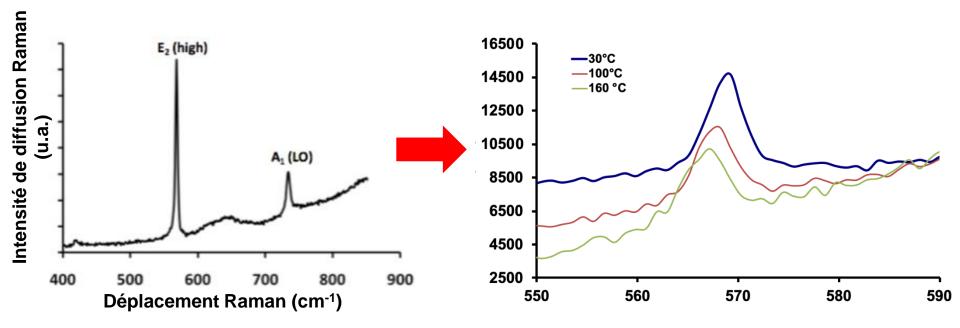


A une température donnée

- → La position des pics Raman permet d'identifier le matériau caractérisé
- → La position des pics Raman dépend de l'état de contrainte du matériau étudié
- → La largeur à mi-hauteur des pics Raman d'avoir des informations sur la qualité cristalline du matériau analysé
- → L'amplitude des pics Raman dépend du matériau mais aussi de la configuration, de la durée d'enregistrement et de la puissance laser.



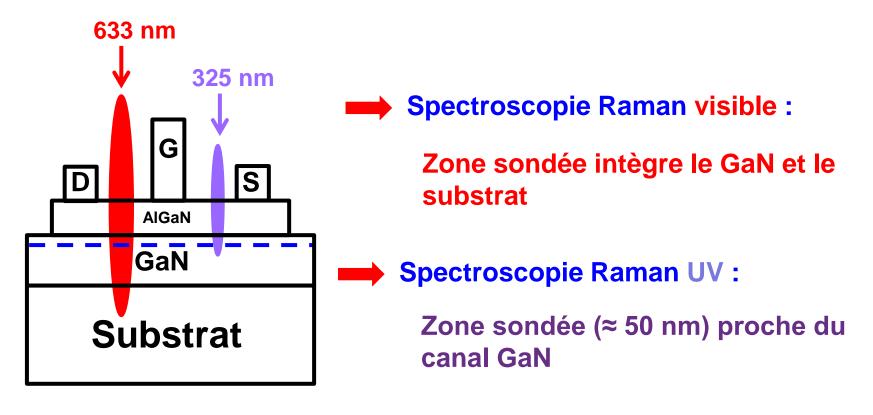




- → La position du pic Raman (δ) diminue avec la température
- → La largeur à mi-hauteur du pic Raman (Г) augmente avec la température
- → L'intensité du pic Raman diminue avec la température

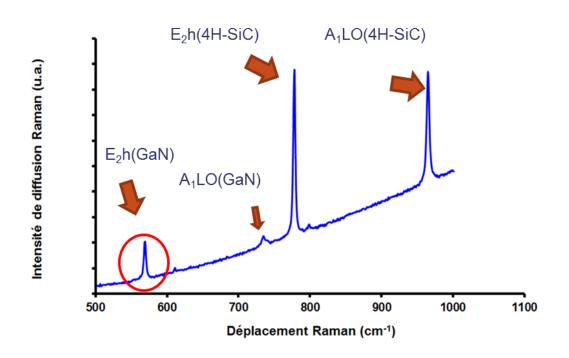


➤ Informations obtenues par la spectroscopie Raman visible et UV :





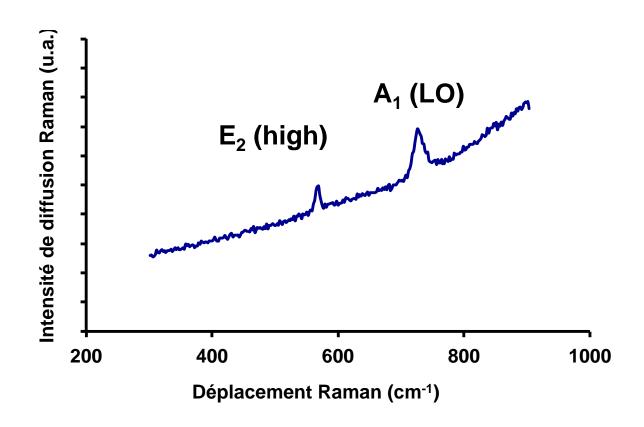
Spectroscopie Raman visible :



- → Possibilité d'avoir la température du GaN
- → Possibilité d'avoir la température du substrat SiC



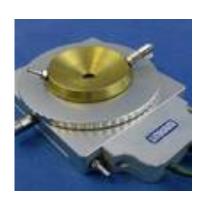
■ Spectroscopie Raman UV :



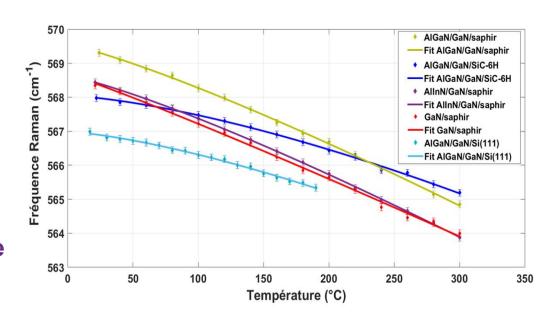
→ Possibilité d'estimer la température d'une zone proche du canal



Courbe de calibration :



Cellule en température (LINKAM TS 1500) :



Il n'existe pas de courbe universelle : la courbe dépend du substrat, des matériaux (nature, épaisseur, technique de dépôt,...)

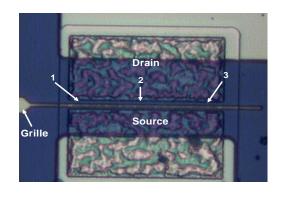


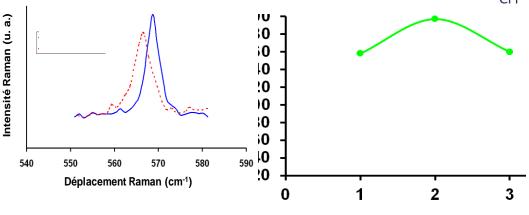
Pour chaque composant à étudier il faut au préalable réaliser cette courbe de calibration sur un composant jumeau.

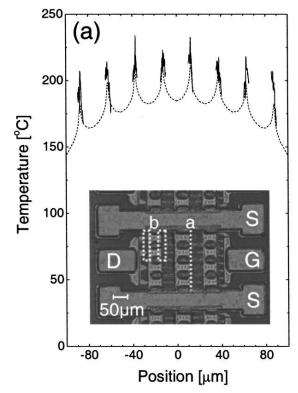
Mesure de la température de HEMTs polarisés



acalication du enc









Etude au point 2

Résultats classiques le long d'un doigt de grille ou pour plusieurs grilles

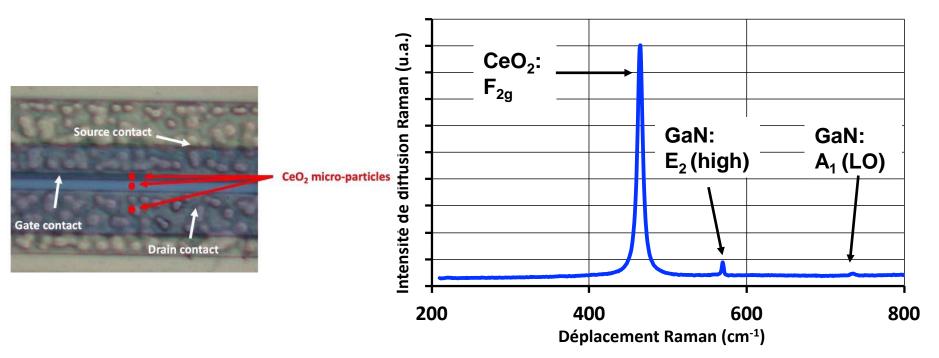
M. Kuball et al dans APL 82 (2003) 124



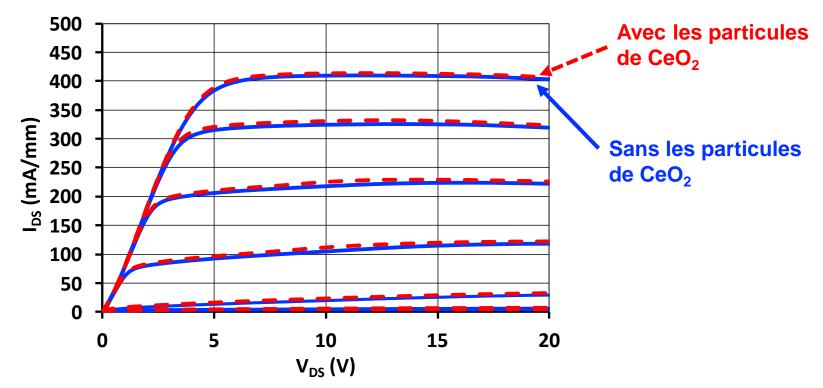
3. Micro-thermomètres Raman

- Impossible de déterminer la température des contacts métalliques par spectroscopie Raman
- ··

Cela devient possible en utilisant des micro-thermomètres Raman





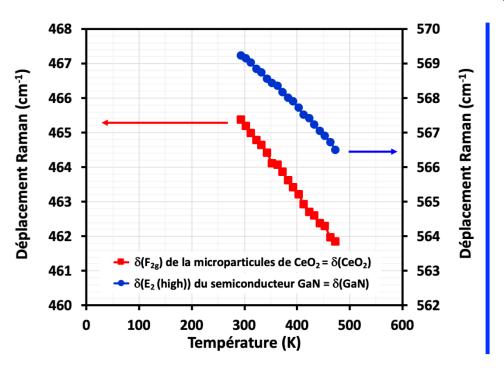


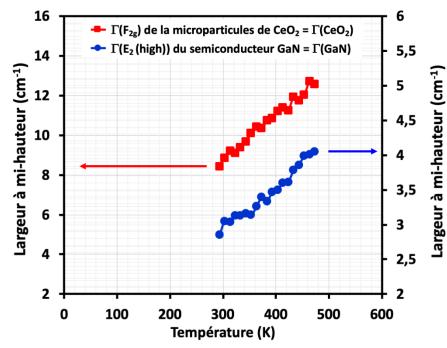


Aucune influence des particules de CeO₂



Courbes de calibration: δ = f(T) et Γ = f(T)







Evolution linéaire et identique pour CeO₂ sur Au et sur GaN



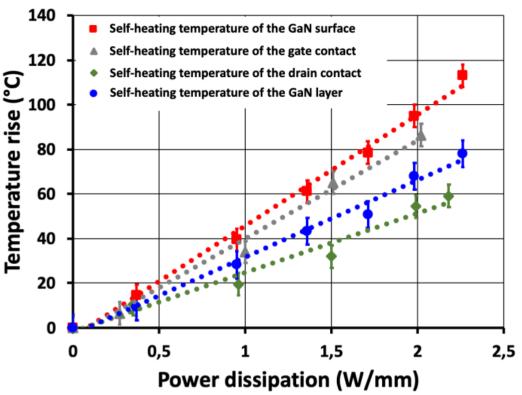
Avantages des micro-thermomètres Raman :

- \succ 2 possibilités d'estimer la température (à partir de δ(CeO₂) et $\Gamma(CeO_2)$)
- > Sensibilité vis à vis de $\Gamma(CeO_2) > \Gamma(GaN)$
- Mesures indépendantes de la contrainte du GaN
 - En effet, une variation de contrainte peut provoquer un déplacement du pic Raman et donc fausser les mesures de température
- ➤ Mesures de température possibles sur les transistors avec field plate, ponts à air,...
- Mesures indépendantes de l'état de surface des métallisations, technique de dépôt, rugosité, ...

Mesures sur AlGaN/GaN



 \triangleright Résultats : estimation de l'élévation de la température (ΔT) des transistors polarisés à partir de $\delta(CeO_2)$ et $\delta(GaN)$



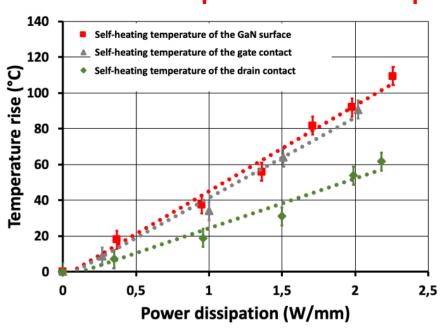
T (surface GaN) > T (surface Grille) > T (volumique GaN) > T (surface Drain)



 \triangleright Résultats : estimation de l'élévation de la température (ΔT) des transistors polarisés à partir de $\Gamma(CeO_2)$



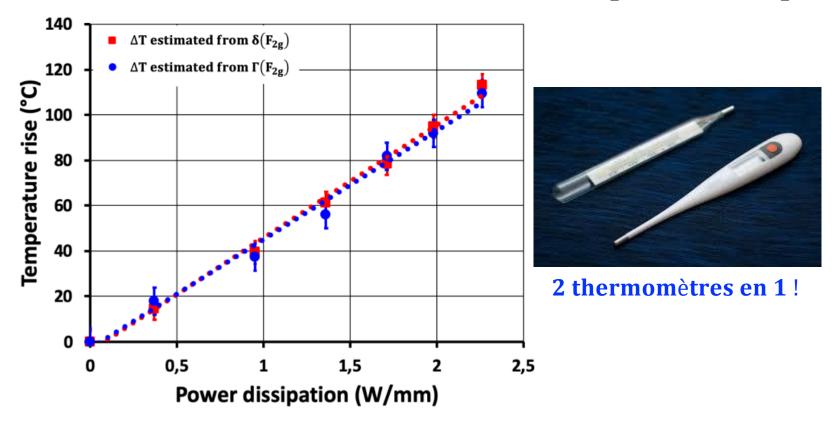
Impossible de déterminer ΔT à partir de Γ(GaN) relatif au GaN car les mesures ne sont pas suffisamment précises







 \triangleright Résultats : comparaison de l'élévation de la température des transistors polarisés estimée à partir de $\delta(CeO_2)$ et de $\Gamma(CeO_2)$





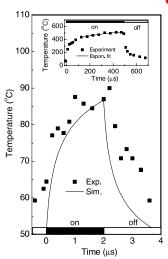
Mesures en transient



——Pulse électrique (10V)

Tension de Drain (V)

Visible



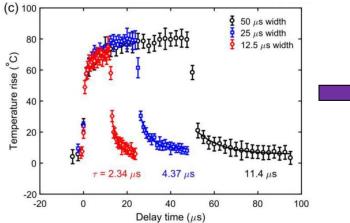
Temperature rise (°C) 200 Time (ns) 50 -Device ---- Sim. 30 -- Exp. 20 -50 0 50 100 150 200 250 300 350 Time (ns)

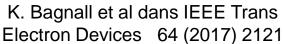
Mesures de température 110 100 90 80 ΔT (K) 60 50 -40 30 20-10

Temps (ns) O. Lancry Thèse Lille (2009)

M. Kuball et al dans Phys.

G.J. Riedel et al dans IEEE Stat. Sol. (a) 6 (2007) 2014 Electron Device Lett. 29 (2008) 416





Pulse électrique de 12,5 μs Pulse optique de 30 ns



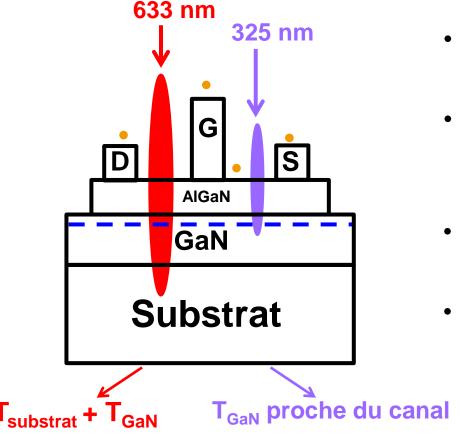
Projet Normand ETHNOTEVE

- Partenariat entre le GREYC et l'IRSEEM de l'ESIGELEC
- Achat d'un nouveau spectromètre Raman pour travailler en régime impulsionnel
- Application à des composants de puissance GaN pour véhicules électriques en mode court-circuit
- Espérons des résultats à venir !!!

4. Conclusion



La spectroscopie Raman permet d'obtenir :



- La température à différentes profondeurs (si possible!)
- La température en différents endroits et sur différents matériaux
- Une température localisée à l'échelle du micron
- La température maximale en surface

+ : Micro-thermomètres de CeO₂ : T
 de la surface GaN et des contacts
 métalliques



Merci de votre attention!

- Un grand Merci aux collaborateurs qui ont travaillé avec moi sur cette thématique ou qui commencent ou qui continuent!
- √ Yannick GUHEL
- √ Fanny BERTHET
- ✓ Guillaume BROCERO
- ✓ Raphael STRENAER
- Mais aussi à Philippe EUDELINE (TAS, NAE) !!!