05/10/2022 – COS

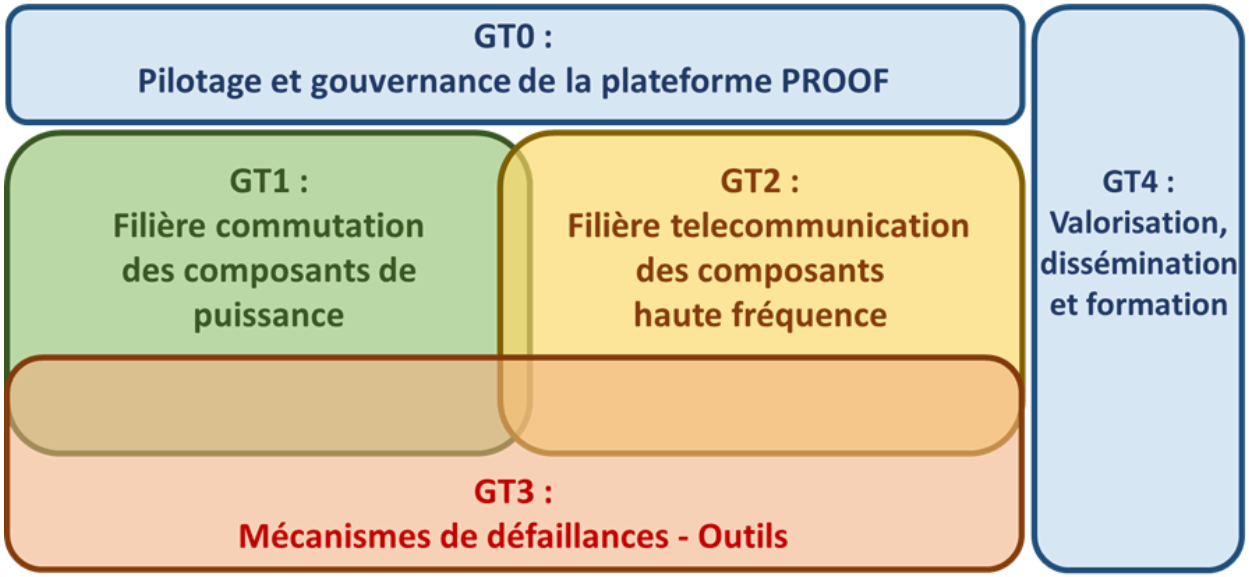
Platform of Reliability tOOls for Failure analysis
dedicated to wide bandgap devices

GT3 : Mécanisme de défaillances - Outils

Richard MONFLIER
Julien ROUL
Nicolas MAURAN

PROJET COFINANCÉ PAR LE FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL

Mécanisme de défaillances - Outils



- *Identifier les marqueurs de dégradation*
- *Connaitre leurs origines, voire le mécanisme de dégradation*

Grand-gap
- Adapter les techniques de caractérisations existantes
- Développer un banc de photoluminescence/Raman

Sommaire

- Les moyens existants de la plateforme
- Présentation du nouveau banc optique
- Développements en cours/futurs

Sommaire

- Les moyens existants de la plateforme
- Présentation du nouveau banc optique
- Développements en cours/futurs

Thermographie InfraRouge

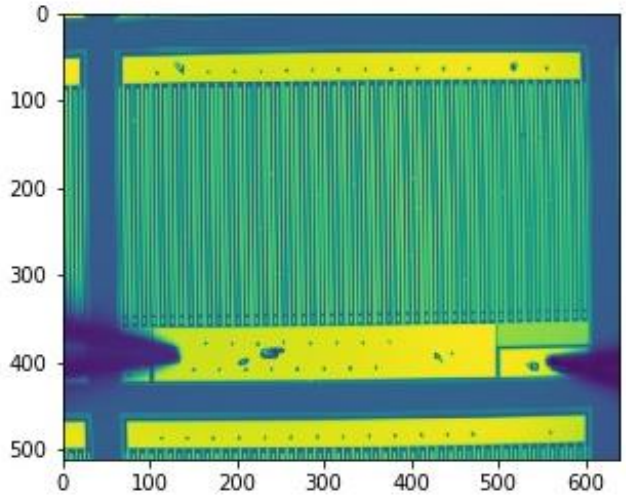
Caméra FLIR X6580sc

**** Continue**

→ Suivre l'évolution de la température dans le temps
→ Déduire la température maximale de la zone active
→ Diagnostiquer les défaillances
→ Quantifier les pertes thermiques

**** Lock-in**

→ Détection de défauts



Caractérisations :

- composants discrets sous microscope avec une résolution de 5 µm
- circuits imprimés de 15 cm de taille maximale

Thermographie InfraRouge

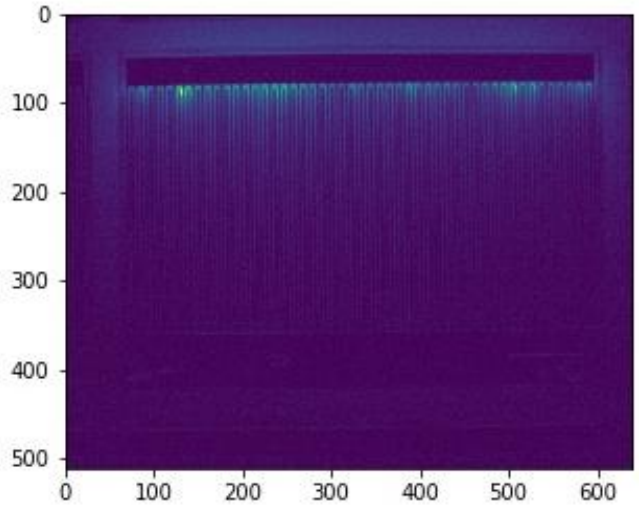
Caméra FLIR X6580sc

**** Continue**

→ Suivre l'évolution de la température dans le temps
→ Déduire la température maximale de la zone active
→ Diagnostiquer les défaillances
→ Quantifier les pertes thermiques

**** Lock-in**

→ Détection de défauts

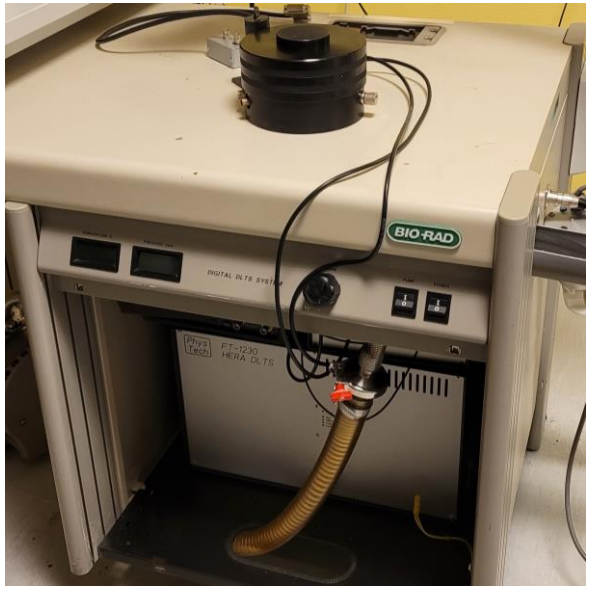


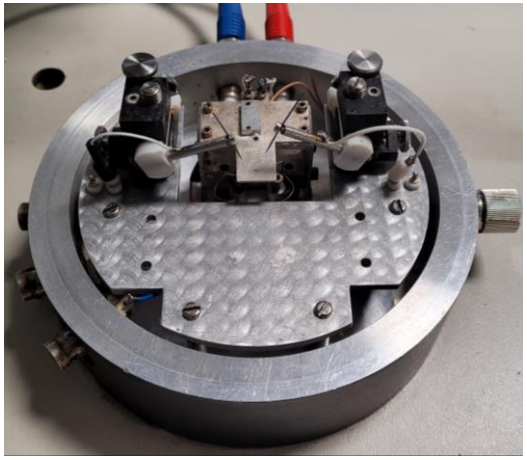
Caractérisations :

- composants discrets sous microscope avec une résolution de 5 µm
- circuits imprimés de 15 cm de taille maximale

Deep-Level Transient Spectroscopy (DLTS)

Phystech FT1230

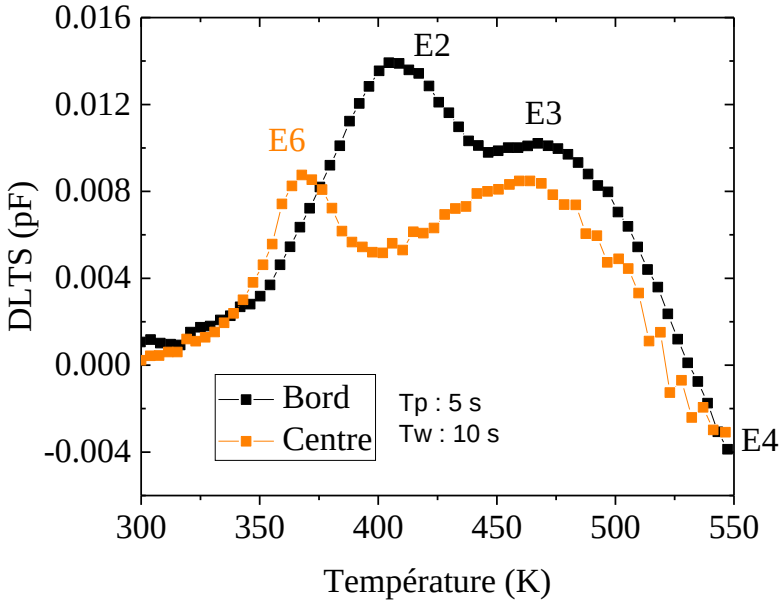




**** C-, I-, U-, Q- DLTS (85 à 550 K)**

→ Identification des pièges → Energie d'activation / Concentration

→ Localisation en profondeur

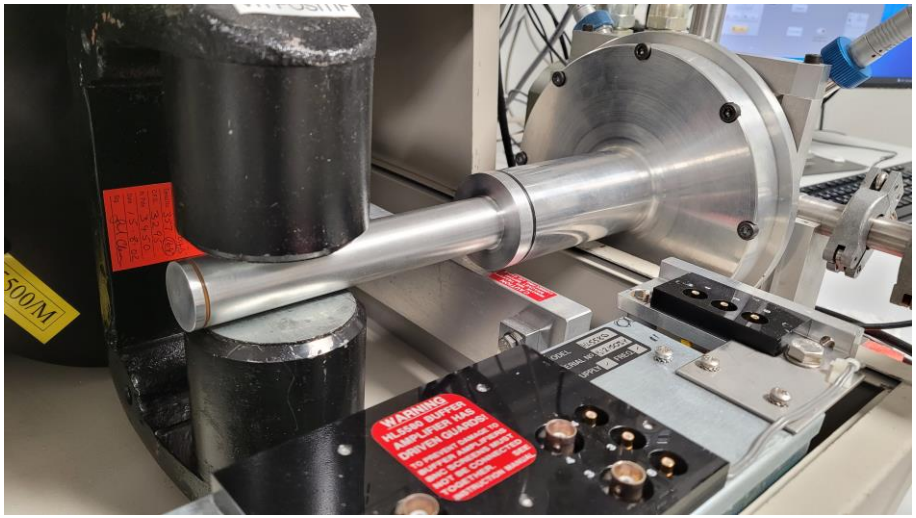


Caractérisations :

- Diodes Schottky, PN ou Capacité MIS

Effet Hall

ACCENT HL5500



**** à température ambiante sous pointes**

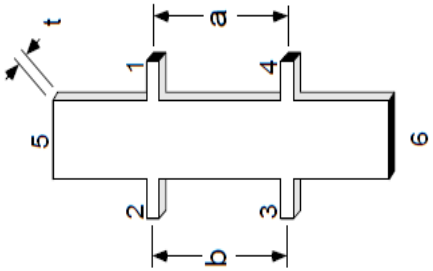
**** en température (20 à 550 K)**

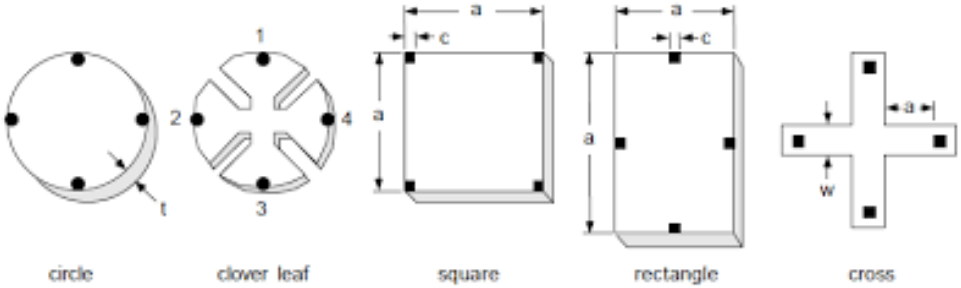
→ Extraction de la mobilité, du dopage actif

→ Identification des mécanismes de diffusion

Caractérisations :

- Van der Pauw
- MOS barre de Hall
- Barre de Hall



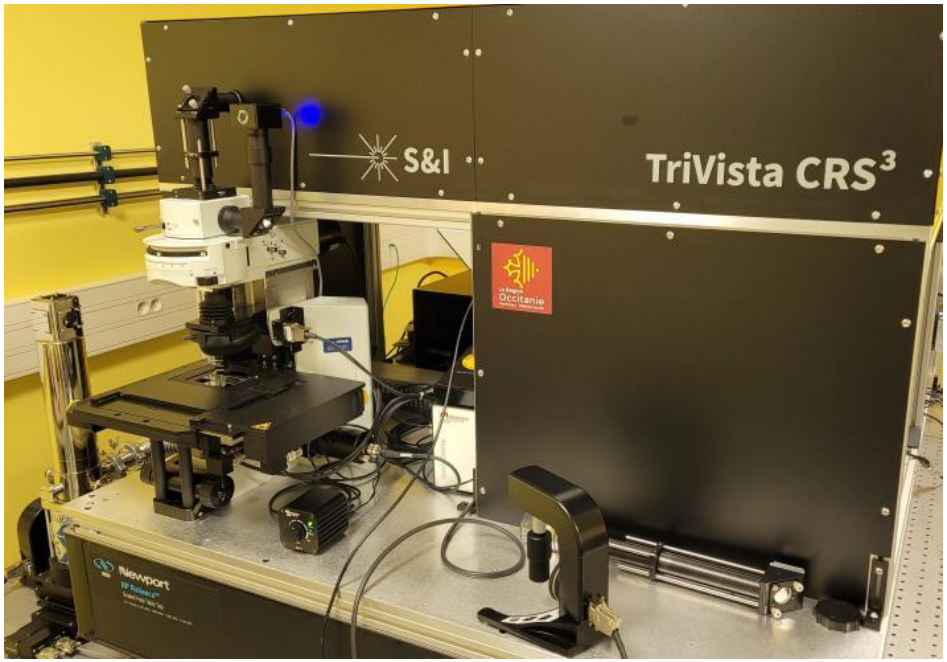


Sommaire

- Les moyens existants de la plateforme
- Présentation du nouveau banc optique
- Développements en cours/futurs

Photoluminescence - Raman

S&I TriVista



**** Raman**

→ Cristallinité du matériau
→ Identification des espèces chimiques
→ Extraction du dopage, de la mobilité
→ Extraction de la température

**** Photoluminescence (PL)**

→ Analyse du gap optique
→ Identification des défauts

Caractérisation de matériaux grand-gap :

- Diamant
- GaN
- SiC

$= \lambda_{ex} \searrow$ (nm) → UV

<u>Elaboration d'un banc sur-mesure</u>

Photoluminescence - Raman

Sources d'excitation

- Laser Ti:Saphir accordable (210 à 1040 nm)
- Laser HeCd à 325 nm
- Diode laser 532 nm

Optiques compatibles UV/Vis/NIR

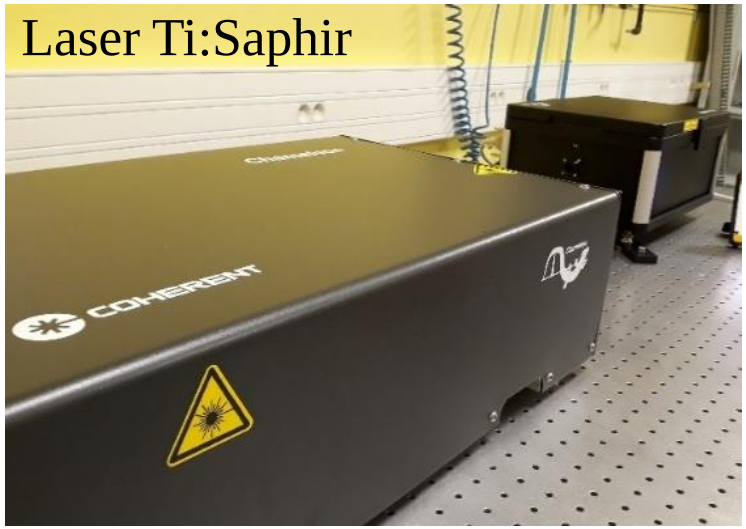
- Miroirs aluminium
- Objectifs
- Filtres, triples monochromateurs

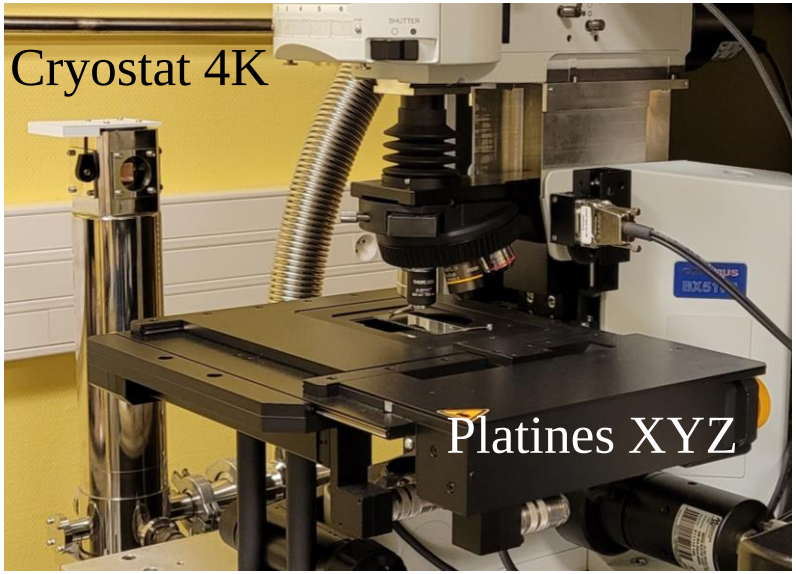
Détecteurs CCD Andor

- 200-900 nm

Mesures

- à Tamb sur des platines motorisées XYZ
- à basse temp avec un cryostat 4 K
- à haute temp avec une platine Linkam





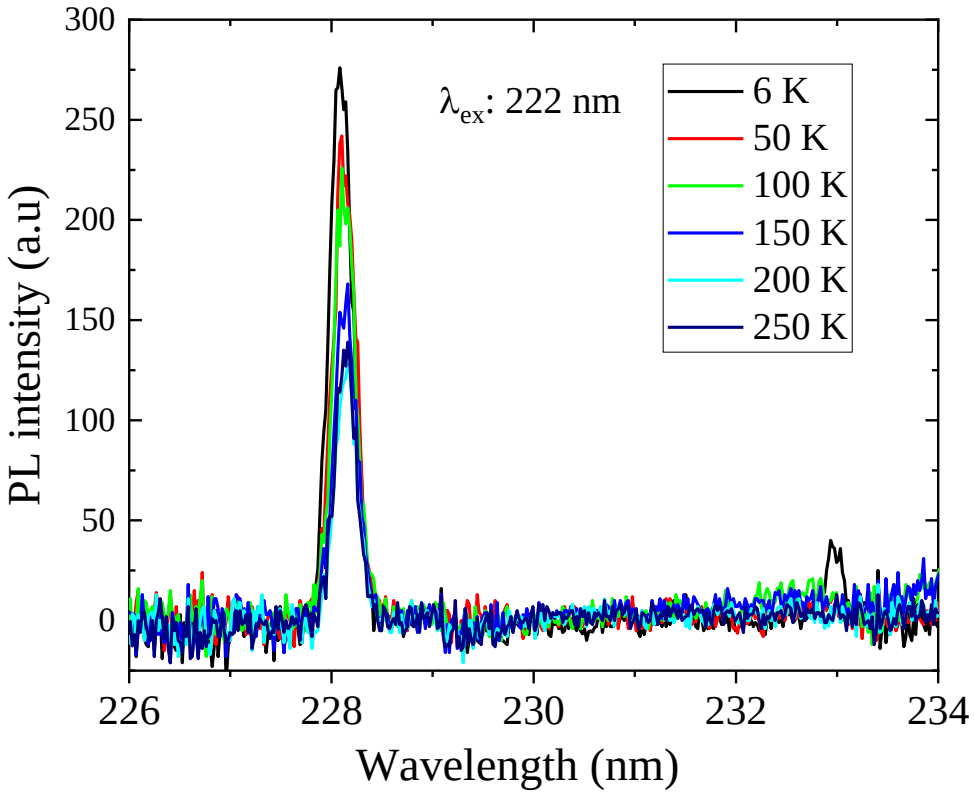
Photoluminescence - Raman

Polyvalent et Automatisé

→ Raman
- à 325 nm
- à 532 nm
- anti-stokes / stokes
- fréquence de coupure < 20 cm^{-1}

→ Photoluminescence
- diamant
- GaN et SiC

→ Spécifications
- en température (4 à 873 K)
- résolution spectrale ~ 1 cm^{-1}
- résolution spatiale < 1 µm
- cartographie



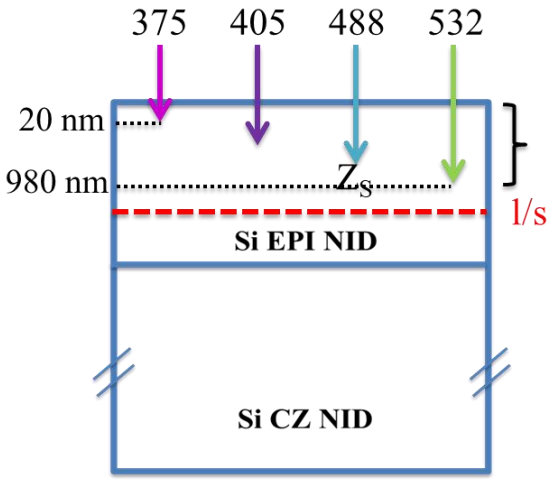
Sommaire

- Les moyens existants de la plateforme
- Acquisition de nouveaux équipements
- Développements en cours/futurs

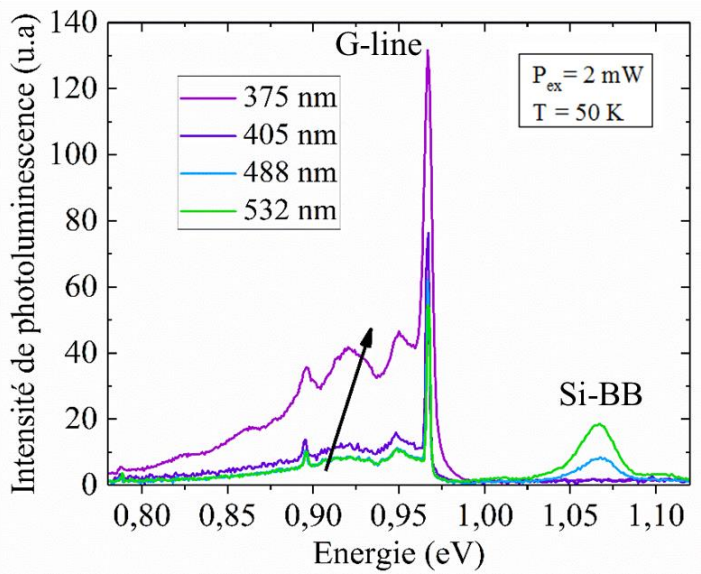
Développements en cours/futur

> Banc de Photoluminescence/Raman

- Optimiser les réglages du banc
- Identifier les défauts en profondeur grâce à l'accordabilité du laser Ti:Saphir



8 J/cm² x10



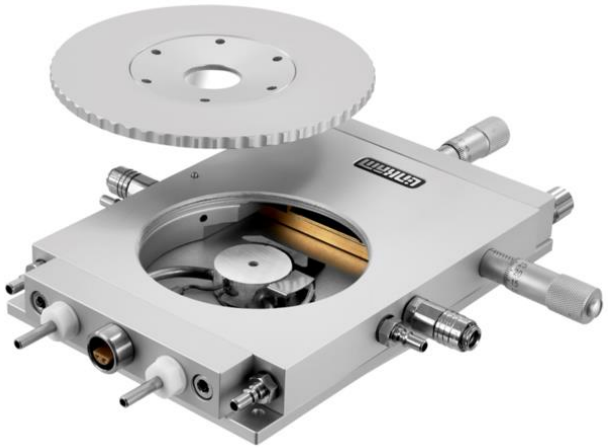
Exemple sur silicium

Asservissement en puissance

Développements en cours/futur

> Banc de Photoluminescence/Raman

- Optimiser les réglages du banc
- Identifier les défauts en profondeur grâce à l'accordabilité du laser Ti:Saphir
- Calibrer les mesures en température par Raman avec une platine Linkam



HFS600E-PB4
T : -196 à 600 °C
150 °C/min
Stabilité de 0,1 °C
Mesures optiques : UV → MIR
Réflexion et transmission
Mesures électrique 4 pointes

Conclusion

- Equipements complémentaires
- Photoluminescence sur des matériaux grand-gap
- Etude en cours avec STM sur des composants HEMT de puissance en GaN :
  - Effet Hall en température
  - Raman
  - PL à basse température

> Back-end

Thermographie IR

Model		FLIR - X6580sc
Detector	Size	640 x 512
	Material	InSb
	Spectral Range	1.5µm - 5µm
	Pitch	15 µm
	Stirling Cooler	FPA temperature < 76K Cool-down time < 5min
	MTBF	> 10000 h
Integration time		500ns - 20ms
Image Frequency	640 x 512	355 Hz
	320 x 256	668 Hz
	160 x 128	1194 Hz
	320 x 8	4568 Hz (max)
Trigger Delay		12.5 ns
Resolution		13 bit
NETD without lens		16.78 mK
Lens G3	Magnification	x 3
	Pixel size	5 µm
	Working distance	22 mm
	FOV	(3.2 x 2.56) mm
	Calibration range	5 - 300°C
	Option : extension rings (observation only)	- x4.7 (3.2µm/pixel) - x5.6 (2.68µm/pixel)
Lens 50mm	Calibration range	5 - 300 °C

DLTS

Modèle	PhysTech GmbH HERA-DLTS FT1230
N° de série	010685/21
Gamme de température	85 à 550 K
Tension maximum	100 V
Fréquence capacimètre	1 MHz
Installation date	01/06/2021

- Types : C-DLTS, I-DLTS, Q-DLTS, Isothermal Transient (C ou I), Laplace DLTS, C(V), I(V), C(t), I(t)

DLTS mode	*C*	*U*	*I*	*Q*
Sensitivity	+	o	-	o
Recovery time	-	-	o	o
Offset compensation	+	+	-	-
Measurement	+	o	+	o
Exponential	o	+	+	o
NT calculation	+	+	o	o
NTs, depth profiles	o	+	-	-

The table on the left makes a **simplified comparison** with '+' as good, 'o' as medium and '-' as bad.

- Gamme de spécification : +- 10 V (résolution : 0,30 mV), +- 20 V (0,61 mV) , +- 40 V (1,22 mV) et +- 100 V (3 mV)

Caractéristique Tp :

- Largeur de pulsation minimum en interne : 10 µs
- Largeur de pulsation minimum avec pulse generator : 20 ns
- Largeur de pulsation maximum en interne : > 100 h

Caractéristique Tw :

- Période minimum : 27 µs
- Période maximum : 110 h

Capacimètre :

- Plage de compensation : 1 pF à 3300 pF
- Signal alternatif de 20 ou 100 mV à la fréquence de 1 MHz
- Gamme : 4 pF - 4000 pF (100 mV)

Amplificateur de courant :

- Courant maximum : 15 mA
- Resolution : < 10 pA

Effet Hall

Electrique

	Standard System	With HL5580PC Buffer Amplifier
Current Source		
Range	10nA - 20mA	1pA - 10µA
Compliance	20V	20V
Output Impedance	$10^{10}\Omega$	$>10^{13}\Omega$
Voltage Measure		
Input Impedance	$10^{10}\Omega$	$10^{13}\Omega$ in parallel with 3pF per input
Input Voltage Operating Range	+6V	+6V
Input Leakage Current	20nA per input (typical)	40fA per input (typical)
Current Input Voltage Noise	0.8µV pk-pk at 0.1 - 10Hz (typical) $15nV/\sqrt{Hz}$ at 213Hz	4.0µV pk-pk at 0.1 - 10Hz (typical)
Measurement Modes	AC(213Hz)/DC	DC
Sample Inputs	Coaxial	Two-lug female coaxial BNC with driven screen. Guard to input potential<100µV
Contact Switching	FET	Dry Reed

Magnétique

Type	Permanent with field reversal by magnet rotation
Field	Strength 0.32T nominal ±1% of marked value
	Stability 0.1% over 10 years
	Uniformity ±1% over 25 mm diameter from center
Pole Gap	33.4mm
Max Measurement diameter	25mm