



HAL
open science

Caractérisation et simulation électrothermique des couches minces

N'Doua Luc Arnaud Kakou, Raphaël Sommet

► **To cite this version:**

N'Doua Luc Arnaud Kakou, Raphaël Sommet. Caractérisation et simulation électrothermique des couches minces. Journées scientifiques du PEPR électronique, Mar 2026, Lyon, France. 125, pp.178 - 185, 2003. ⟨hal-05573992⟩

HAL Id: hal-05573992

<https://hal.science/hal-05573992v1>

Submitted on 31 Mar 2026

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License



Les composants pour les télécommunications

Projet ciblé **T-REX-6G**



PROGRAMME DE RECHERCHE ÉLECTRONIQUE

Caractérisation et simulation électrothermique de couches minces

N'Doua Luc Arnaud Kakou¹, Raphael Sommet¹

¹XLIM Université de Limoges, UMR7252
Campus Universitaire de Brive, 16 rue Jules Vallès 19100 Brive la Gaillarde
ndoua-luc-arnaud.kakou@cnrs.fr

Objectif

Déterminer la conductivité thermique des couches minces grâce à une ligne résistive avec les méthodes suivantes :

- Mesures électriques
- Thermoréfectance
- Simulation thermique (ANSYS)
- Analytique (théorique)

Méthodologie

Mesure électrique :

- À $T_{amb}(^{\circ}C)$, Varier $I(A)$, mesurer $U(V)$, calculer $P(W)$ et $R(\Omega)$, Tracer $R(\Omega) = f(P(W))$
- Fixer $I(A)$, Varier $T(^{\circ}C)$ support thermique, mesurer $U(V) = f(T)$, tracer $R(\Omega) = f(\Delta T(^{\circ}C))$

Mesure Thermoréfectance :

- Calibration : déterminer $C_{th}(K^{-1})$ pour une longueur d'onde choisie
- Mesure : fixer $I(A)$, relever $U(V)$, mesurer $\Delta T(^{\circ}C)$, calculer $R_{th}(^{\circ}C/W)$ et $k(W/m^{\circ}C)$

Analytique (théorique) :

Calculer R_{th} (propagation de chaleur basée sur modèle conique avec rayon équivalent)

Simulation numérique ANSYS : (conditions aux limites thermique (T) et électrique (E))

- Étude électrique : Imposer $I(A)$ et Court-circuit, extraire $U(V)$ aux bornes de la ligne résistive
- Étude thermique : Imposer $T_{ref}(^{\circ}C)$ à la base, appliquer $P(W)$ et extraire $T_{max}(^{\circ}C)$ face sup. ligne résistive

Conductivité thermique :

$$k^* = \frac{H_{substrat}}{\pi \cdot r_{eq} \cdot R_{th} \cdot (r_{eq} + H_{substrat} \cdot \tan \alpha)}$$

- r_{eq} rayon équivalent (disque)
- α angle de propagation pris à 45°
- $H_{substrat}$ épaisseur du substrat
- R_{th} résistance thermique

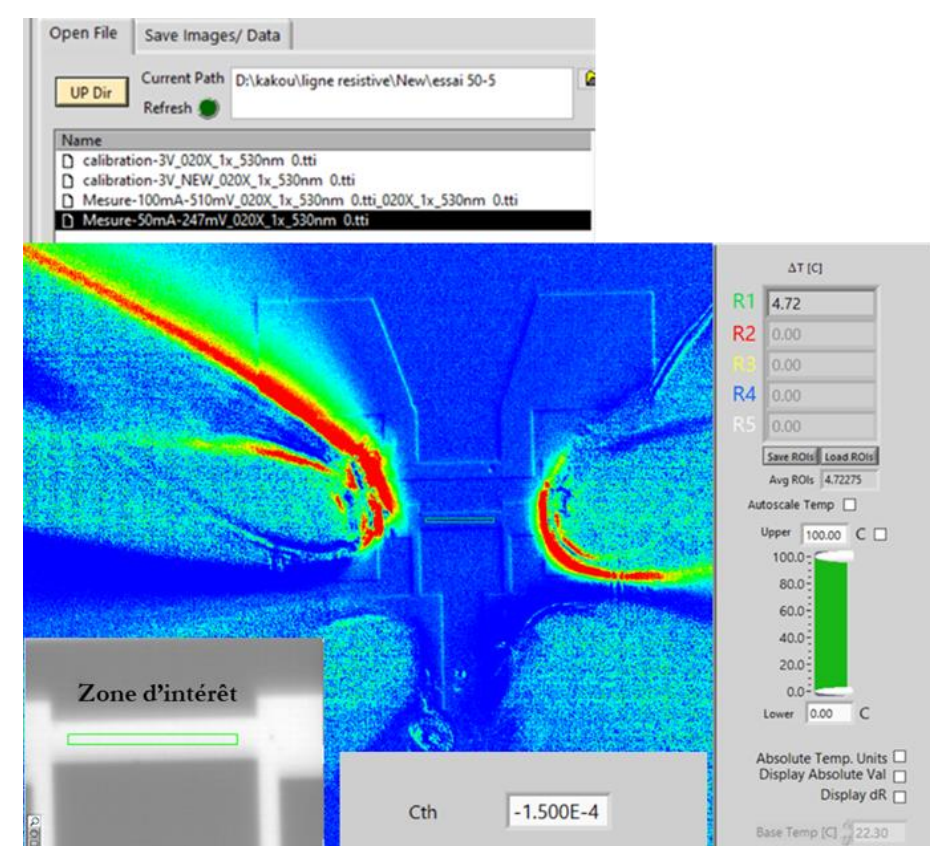
Résultats



Composant étudié (IEMN)
Couche mince ou substrat :
InP semi infini (InPSI)

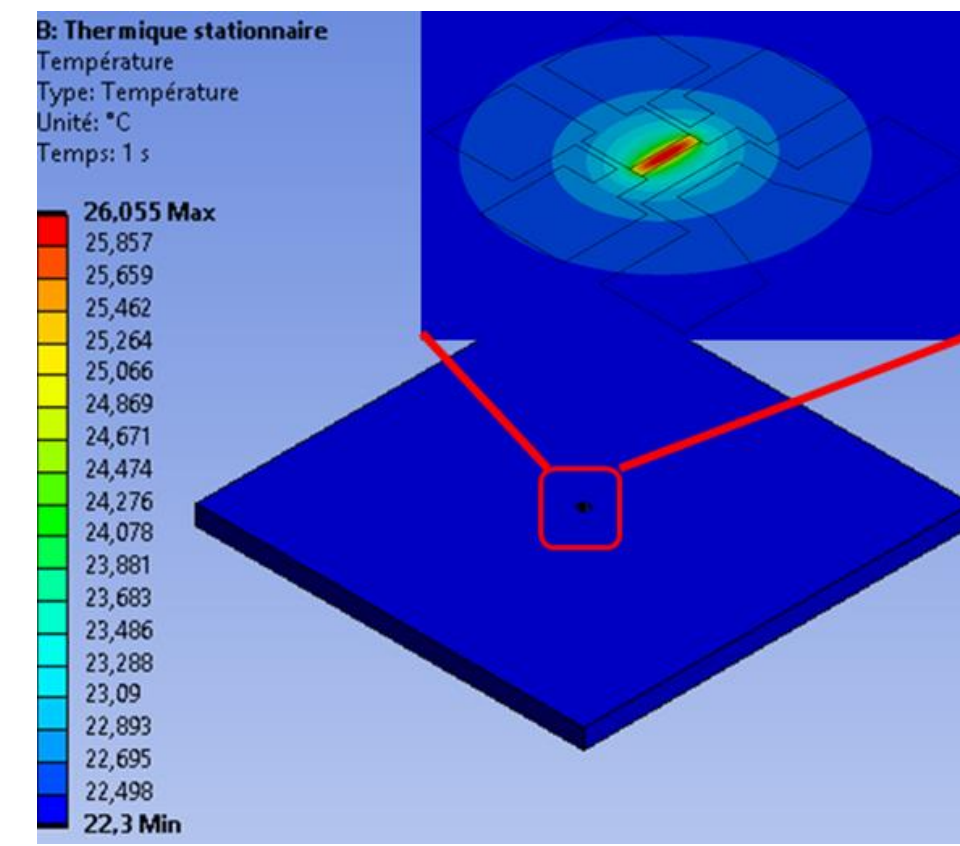
Conductivité thermique InP semi infini (InPSI) dans la littérature :

$k @ 60-70 W/m^{\circ}C$



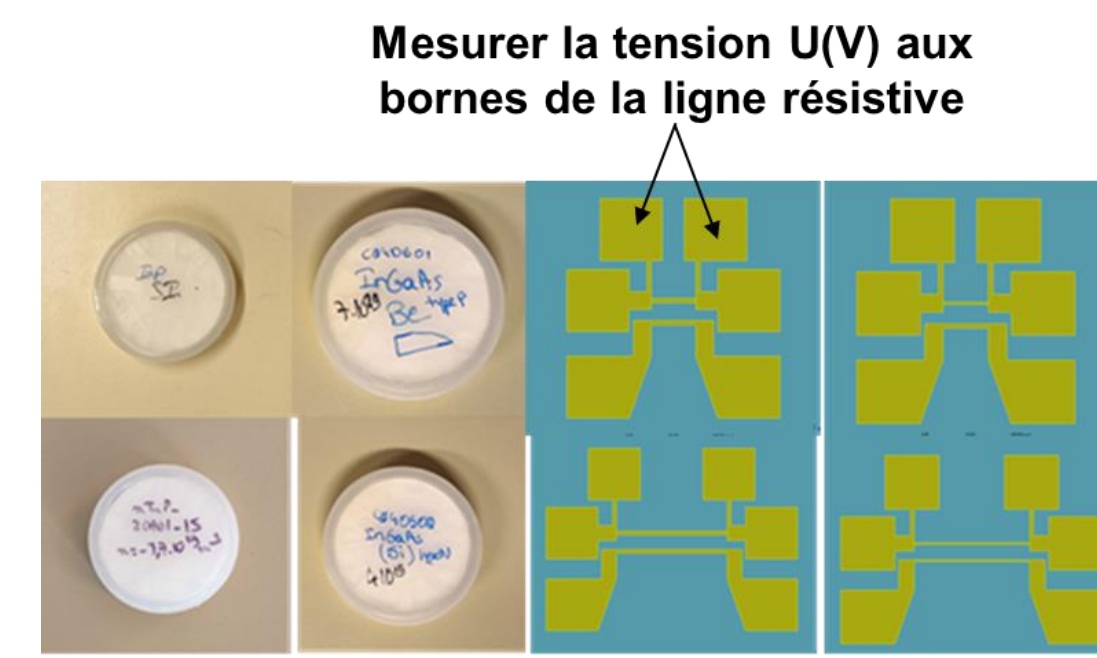
Mesure thermoréfectance

$C_{th} @ -1.5 \times 10^{-4} K^{-1}$
Longueur d'onde @ 530 nm
 $P @ 12.35 mW, \Delta T @ 4.72^{\circ}C$
 $R_{th} @ 382^{\circ}C/W$
 $k @ 64 W/m^{\circ}C$

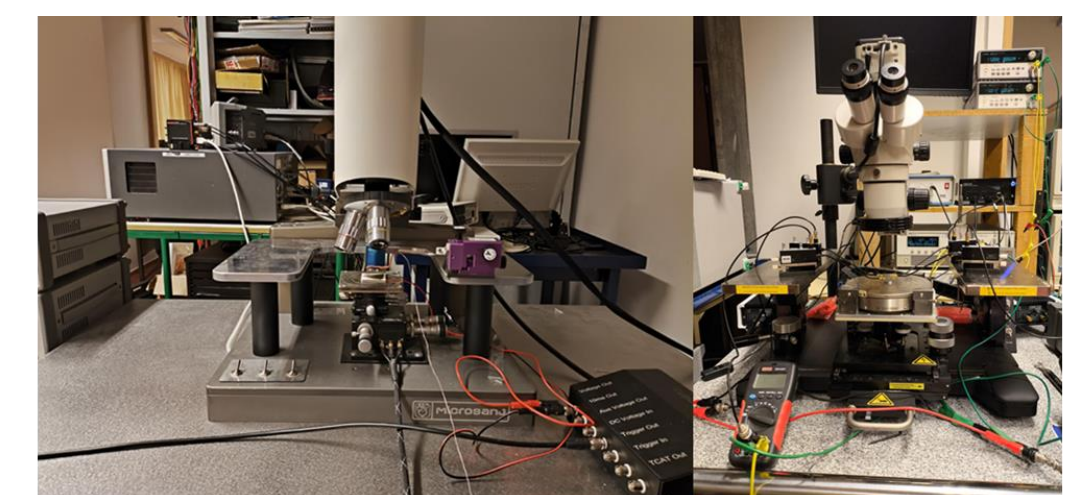


Simulation ANSYS

$P @ 12.35 mW, \Delta T @ 3.755^{\circ}C$
 $R_{th} @ 304^{\circ}C/W$
 $k_{InPSI} (ANSYS) @ 68 W/m^{\circ}C$
 $\alpha @ 45^{\circ}, k_{calculée} @ 81 W/m^{\circ}C$
 $\alpha @ 50^{\circ}, k_{calculée} @ 68 W/m^{\circ}C$



Composants avec 4 motifs dans chaque boîtiers

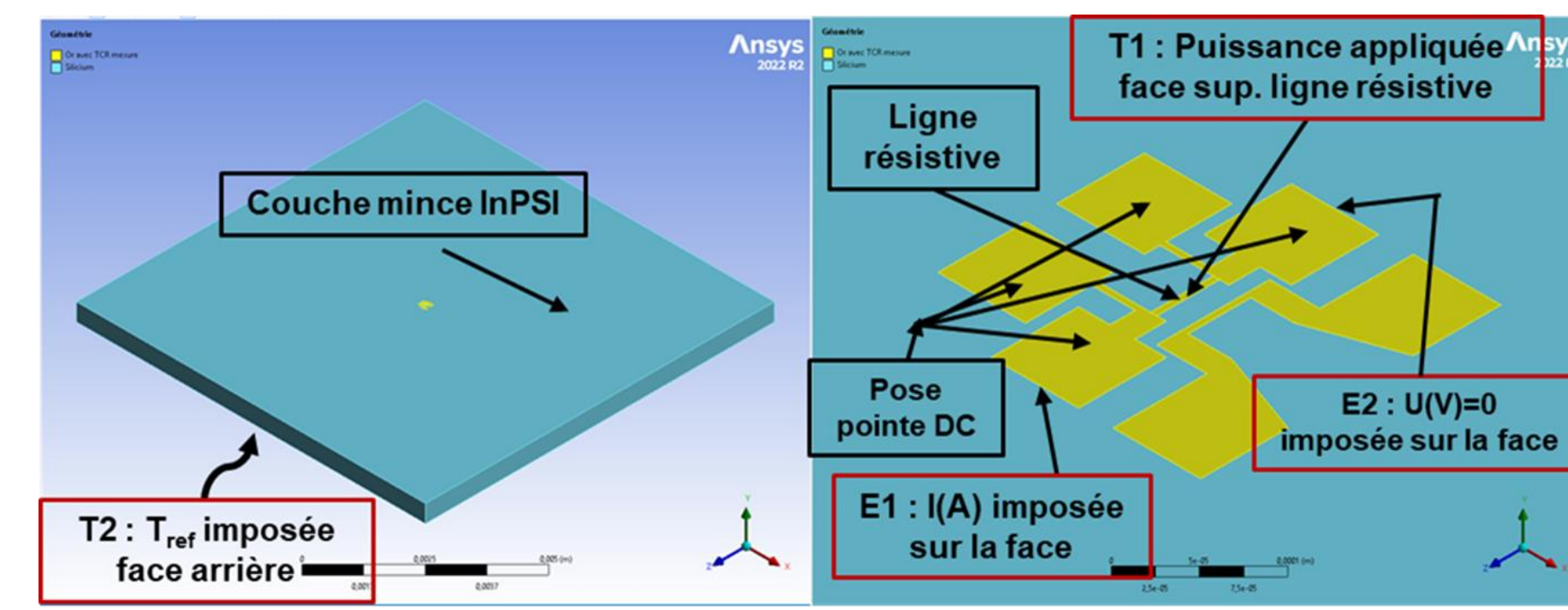


Banc de mesure (thermoreflectance et électrique)

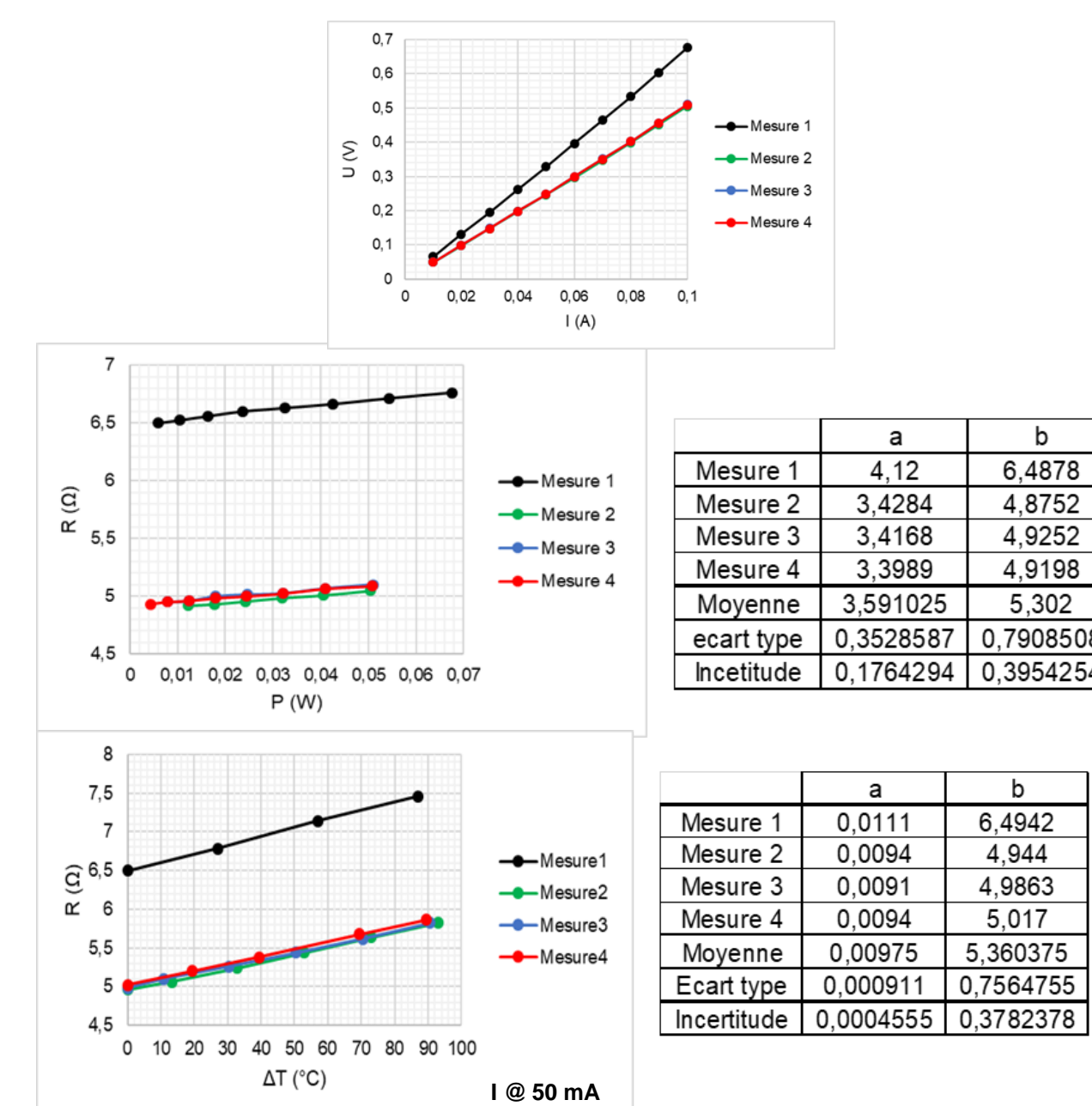
$$R_{th} = \frac{a(R(\Omega) = f(\Delta T(^{\circ}C)))}{a(R(\Omega) = f(P(W)))}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = C_{th} \cdot \Delta T$$

$$R_{th} = \frac{\Delta T(^{\circ}C \text{ ou } K)}{P(W)}$$

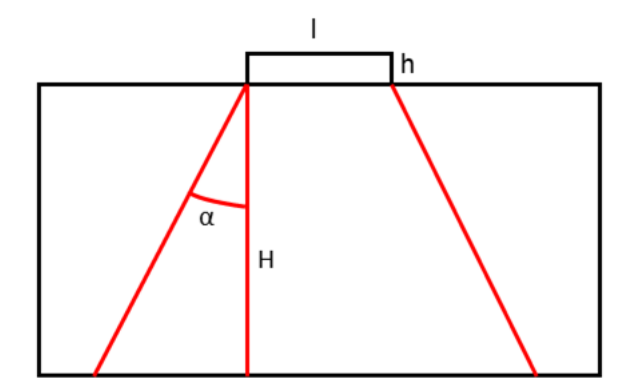


Conditions aux limites simulation ANSYS



Mesure électrique

$R_{th} @ 368 \pm 50^{\circ}C/W$
 $k @ 67 W/m^{\circ}C$



L : Longueur ligne résistive
 l : Largeur ligne résistive
 h : épaisseur ligne résistive
 α : angle
 H : épaisseur substrat
Section de conduction $S(z)$
 $S(z) = \pi \cdot (r_{eq} + z \cdot \tan \alpha)^2$
 $r_{eq} = \sqrt{\frac{L \cdot l}{\pi}}$
Résistance thermique élémentaire
 $dR_{th} = \frac{dz}{k \cdot S(z)}$
Résistance totale
 $R_{th} = \int_0^H \frac{dz}{k \cdot (r_{eq} + z \cdot \tan \alpha)^2}$
 $R_{th} = \frac{H_{substrat}}{\pi \cdot r_{eq} \cdot k_{InPSI} \cdot (r_{eq} + H_{substrat} \cdot \tan \alpha)}$

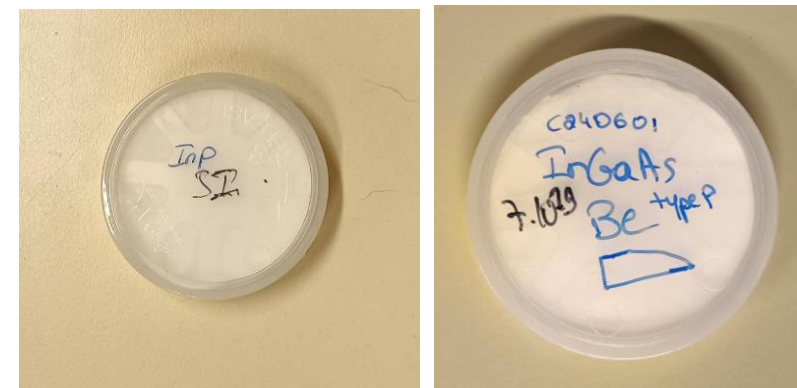
Analytique (théorique)

$R_{th} @ 362^{\circ}C/W$
 $k @ 68 W/m^{\circ}C$

Conclusion

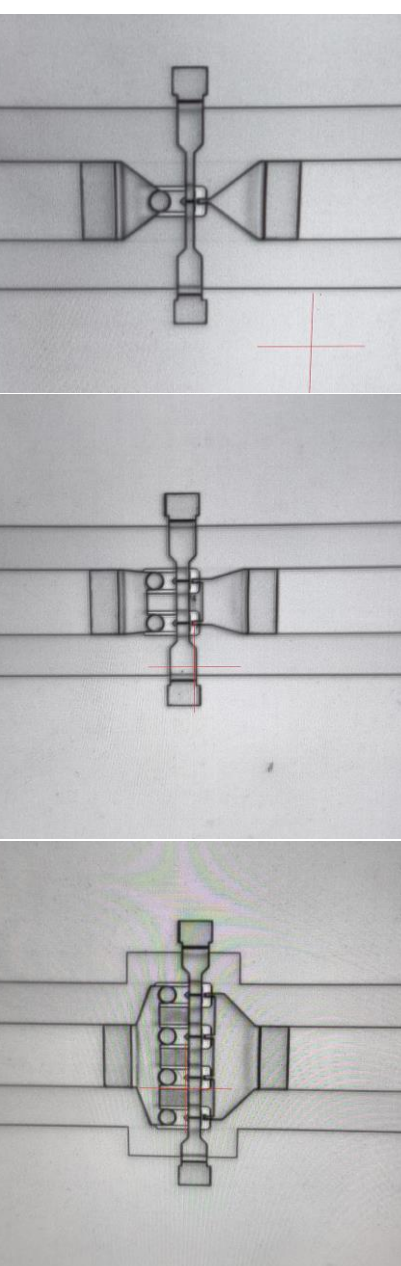
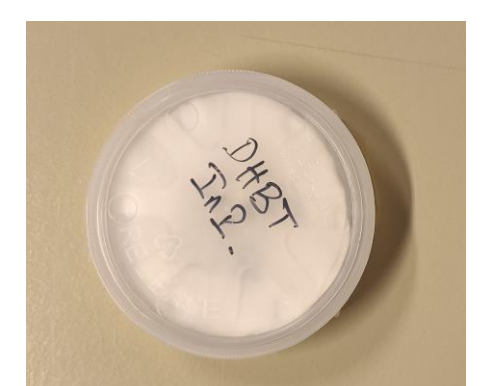
- Corrélation simulations/mesures/analytique (ordre de grandeur)
- Modèle thermique validé
- Dispositifs fiables identifiés
- Résultats exploitables pour l'optimisation thermique

• Dispositifs fiables



Suite des travaux

- Étudier les transistors DHBT InP (IEMN)
- Mesure 3-omega couches minces (à venir)
- Simulations numériques 3-omega (effectuées)
- Comparaison mesure & simulation (conductivité thermique des couches minces) et étendre aux autres composants et boîtier fiable



Référence

'Les composants pour les télécommunications', PEPR Électronique, <https://www.pepr-electronique.fr/les-composants-pour-les-telecommunications/>

*Yovanovich and al, Thermal spreading resistance of eccentric heat sources on rectangular flux channels, DOI: 10.1115/1.1568125



Journées scientifiques – Mars 2026 -Lyon



ANR-22-PEEL-0007