

BBOP350 - Détecteurs bolométriques pour les bandes 300-500 μm

Assemblée Générale du Labex FOCUS

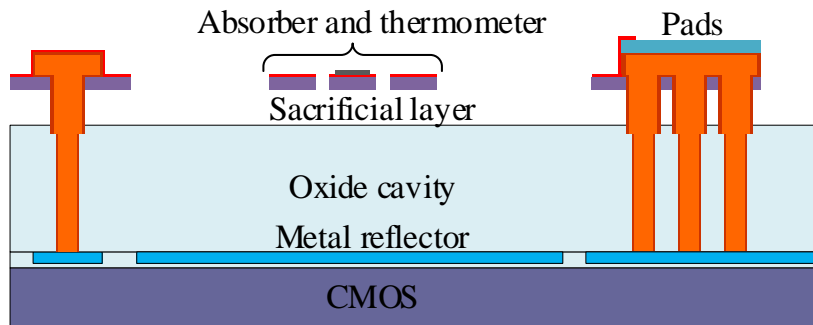
27/09/2023

LETI: L. Dussopt, H. Kaya, V. Goudon, A. Aliane.
IRFU: L. Rodriguez, V. Revéret.



Contexte

- Développement d'une filière de **détecteurs polarimétriques en gamme sub-mmtrique** dans le cadre du Labex Focus et du prog. SPICA.
- Schéma d'**intégration de type Above-IC**: Détecteurs sur circuit de lecture CMOS
- Besoin applicatif: bandes 60, 100, 200, 350 μm et au-delà



Coupe techno des détecteurs B-BOP-100 μm

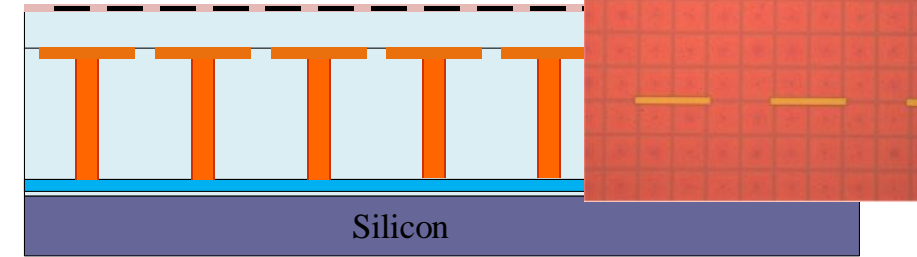
~13.5 μm entre absorbeurs et réflecteur
... équivalent à ~29 μm compte tenu des indices optiques des matériaux
... soit $\sim\lambda/4$ pour la bande 100 μm mais $\lambda/12$ à 350 μm .

- **Verrou**: ce schéma d'intégration ne permet pas de réaliser une cavité optique quart d'onde classique dimensionnée pour la bande 350 μm .
 - Solution proposée: Surfaces Haute Impédance (HIS) (projet HIS350)

Contexte

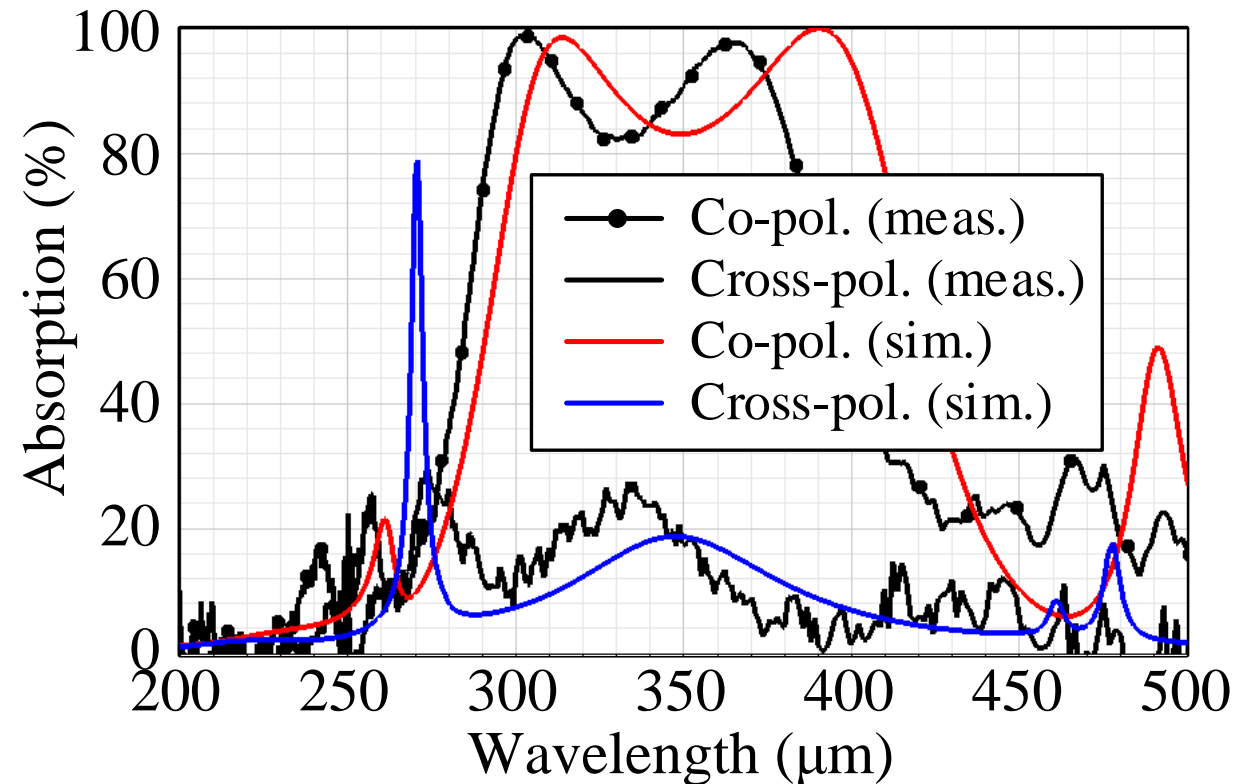
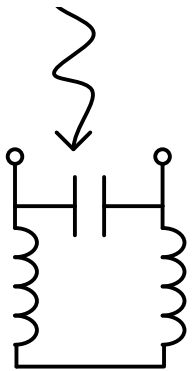
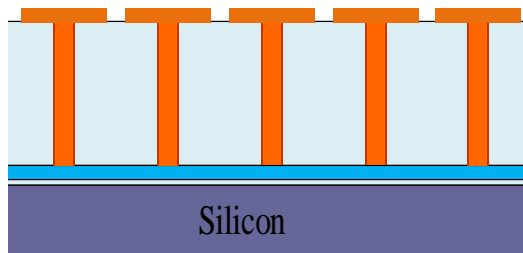
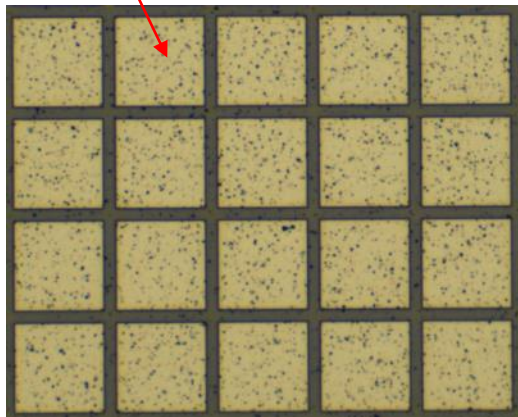
Projet Focus HIS350: Preuve de concept

- Prototypes d'absorbeurs représentatifs des détecteurs BBOP.
- Très bonne réponse en absorption à chaud et à froid
- Réponse similaire quelle que soit l'orientation des absorbeurs



Motif élémentaire:

- période $37.5 \mu\text{m}$
- gap $4.6 \mu\text{m}$
- via $\varnothing 3 \mu\text{m}$

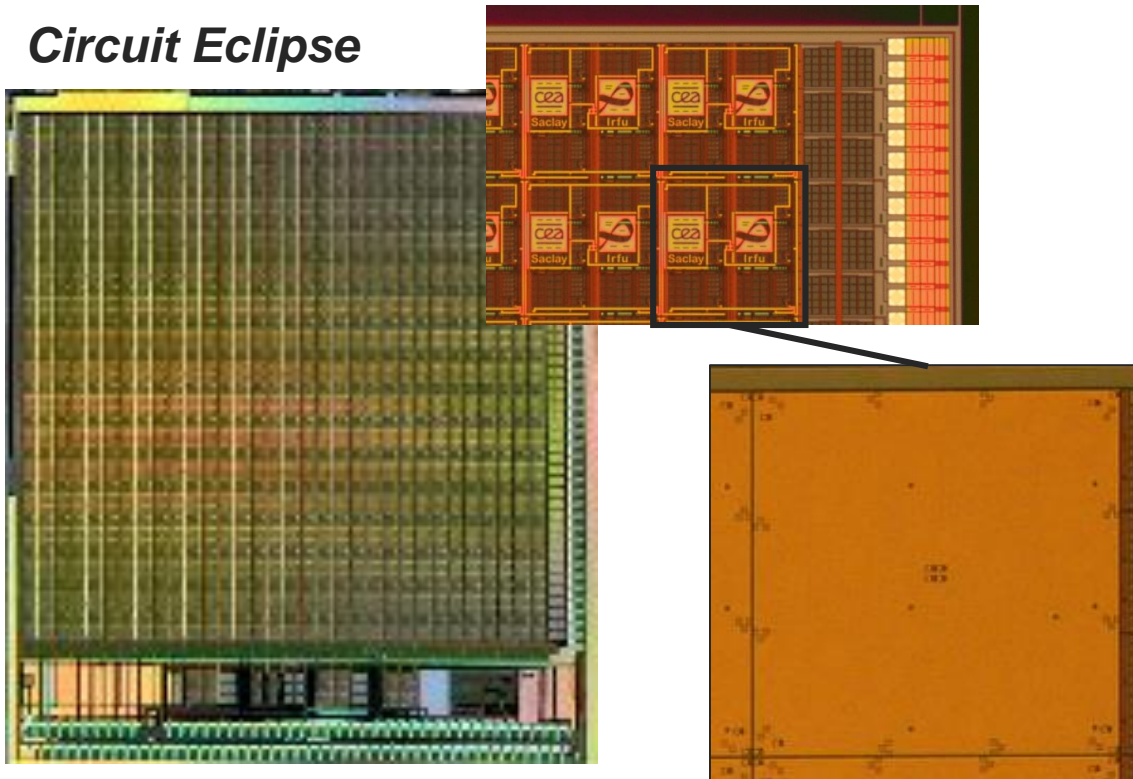


Contexte

Projet BBOP350: Développement de matrices fonctionnelles

- Spécifications pour un instrument au sol type ArTéMiS
- Circuit de lecture (Eclipse) inchangé: fixe la taille pixel et l'empreinte des connexions circuit-détecteur

Circuit Eclipse

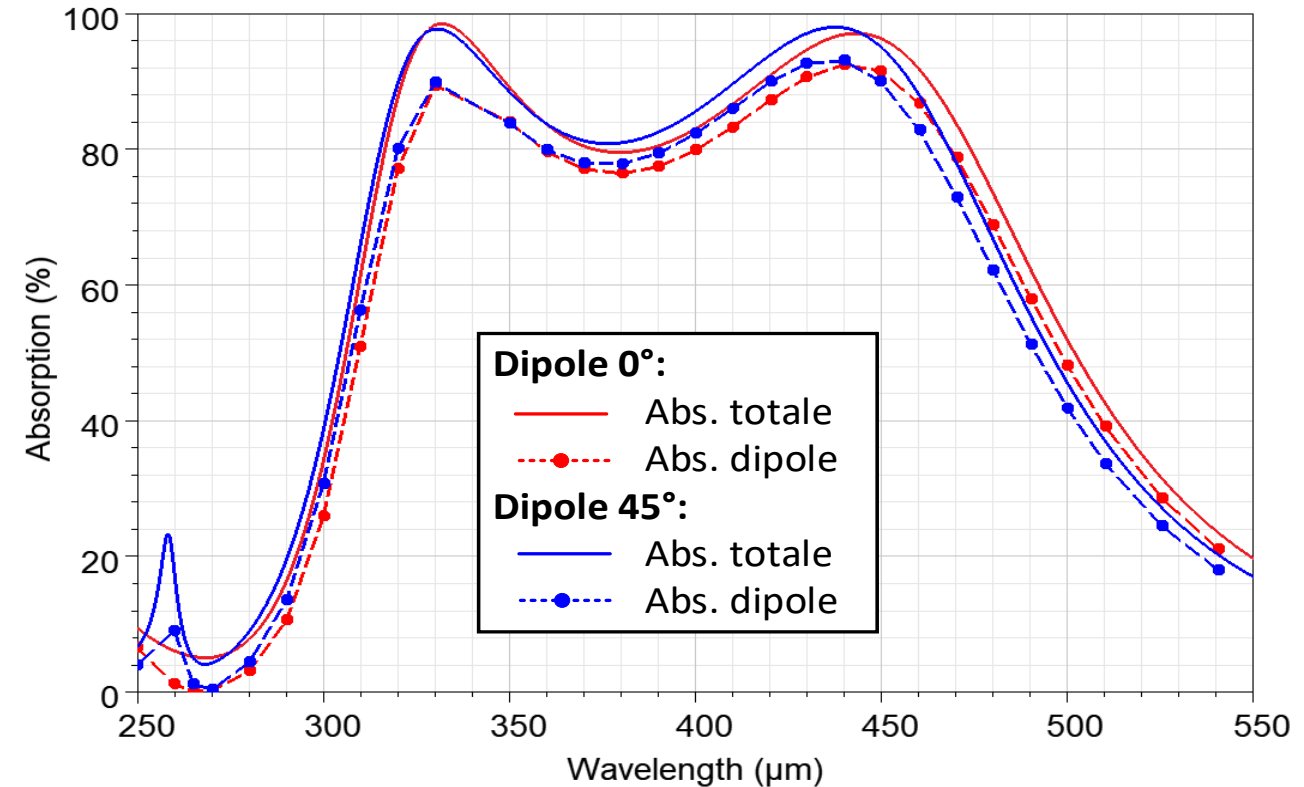
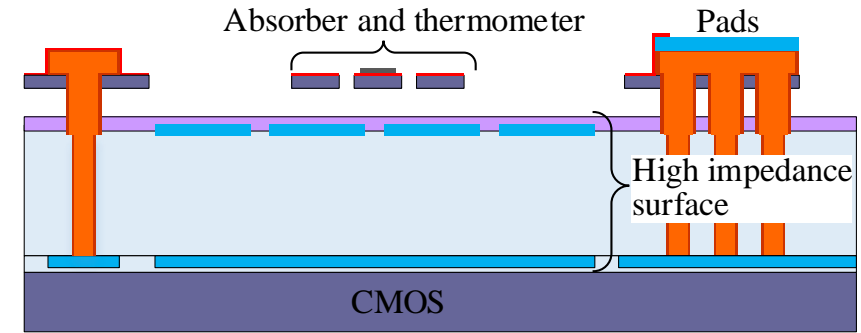
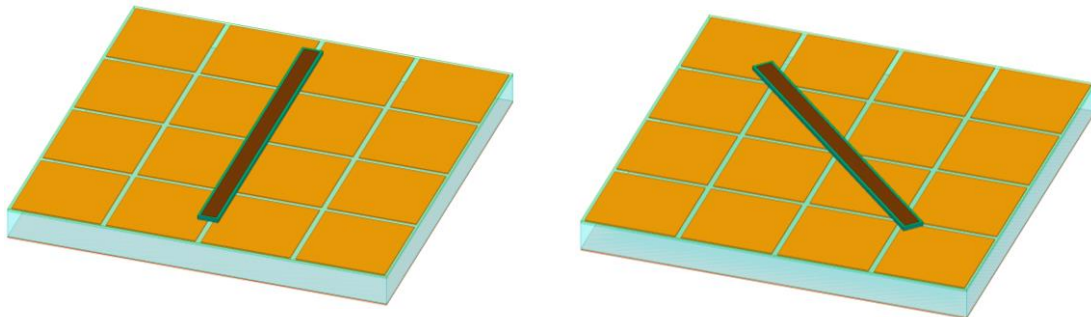


Spécifications

Taille pixels	750 μ m
Bande	300-500 μ m
Polarisation	2 polarisations/pixel: 0°/90° et \pm 45°
Format	16x16 pixels, aboutage sur 2 bords
Flux de fond/pixel	20-40 pW
Temps de réponse	5 ms (\sim 30 Hz)
NEPphoton	7.5×10^{-17} W/Hz ^{0.5}
Pjoule	\sim pW/pixel
Température	270 mK

Absorption optique

- **Dimensions** communes pour les 2 types de pixels:
 - Dipôles: $120 \times 6 \mu\text{m}$, 4 ohm/sq.
 - HIS: période $36,75 \mu\text{m}$, gap $2,2 \mu\text{m}$
- **Bande proche de 50%**
 - Pixel $0/90^\circ$: $319\text{-}507 \mu\text{m}$
 - Pixel $\pm 45^\circ$: $306\text{-}499 \mu\text{m}$



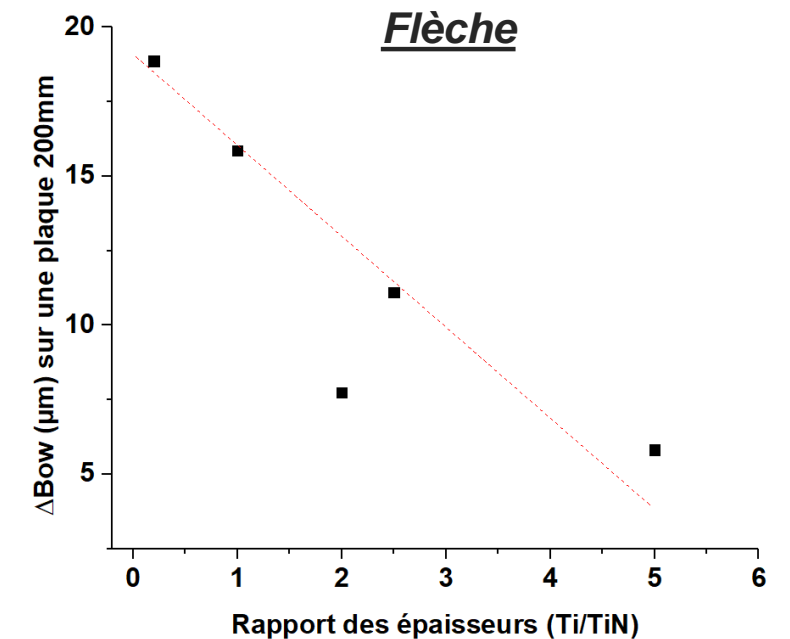
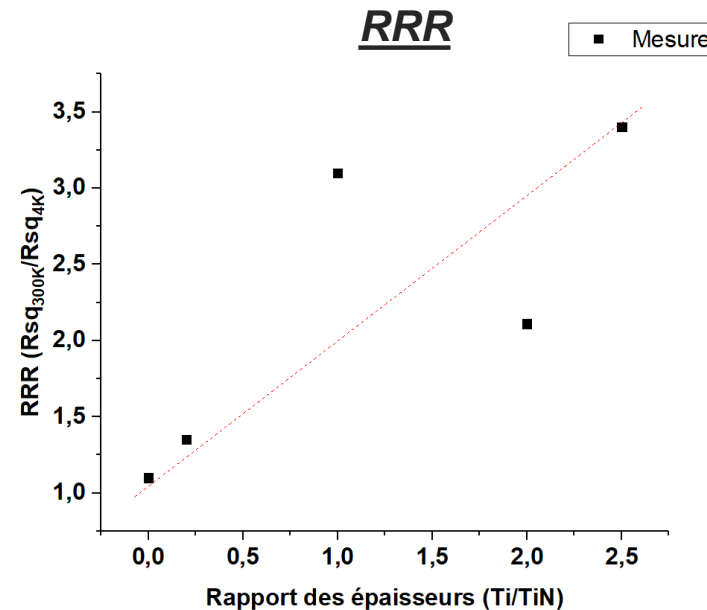
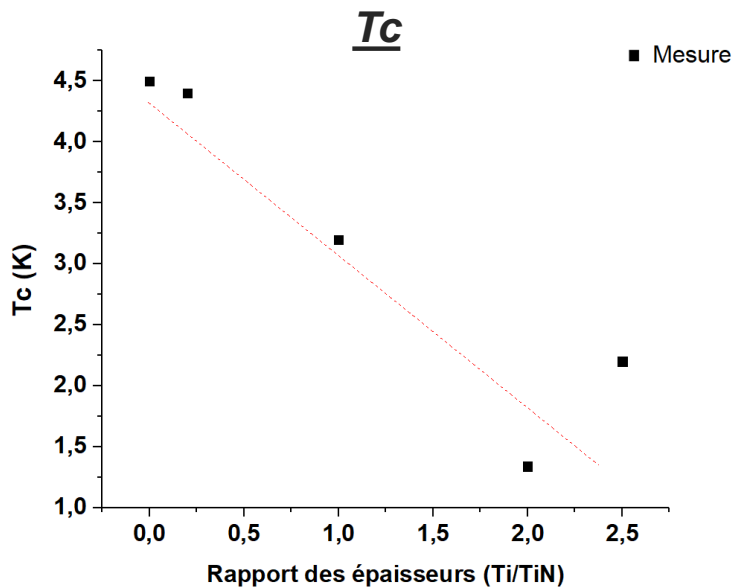
Absorption optique

Films supraconducteurs pour les absorbeurs: **bicouche Ti/TiN**

- **Objectifs:** Résistivité $\sim 3\text{-}5 \Omega/\square$ @ $350 \mu\text{m}$, $T_c \gtrsim 0,8 \text{ K}$
- Ajustement des épaisseurs => impact sur Stress, T_c et Résistivité
- Bon compromis : **Ti:50nm/TiN:20nm**

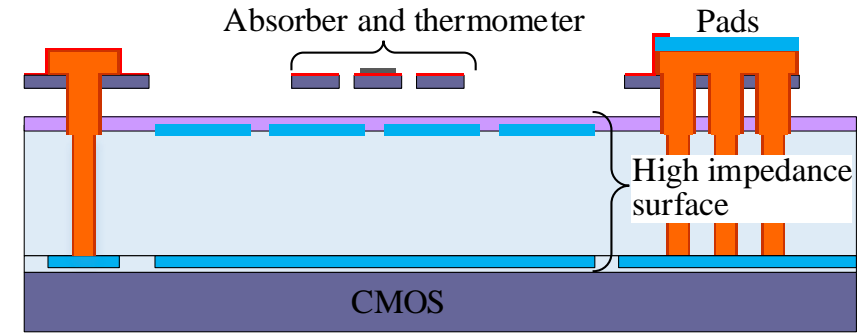
D19S3419	P02	P04
Dépôt et épaisseur	Ti/TiN (50nm/20nm) @ 100°C	Ti/TiN (50nm/50nm) @ 100°C
Rsq @ 300K (DC)	10.44 Ω/\square	8.88 Ω/\square
T_c	2.2-2.3 (K)	3.2-3.25 (K)
RRR	3.4	3.1
Rsq @ 4K (DC)	3.07 Ω/\square	2.86 Ω/\square
Rsq @ 4K (350 μm)	3.21 Ω/\square	3.16 Ω/\square

Mesures basse température à l'Institut Néel (C. Winkelmann).

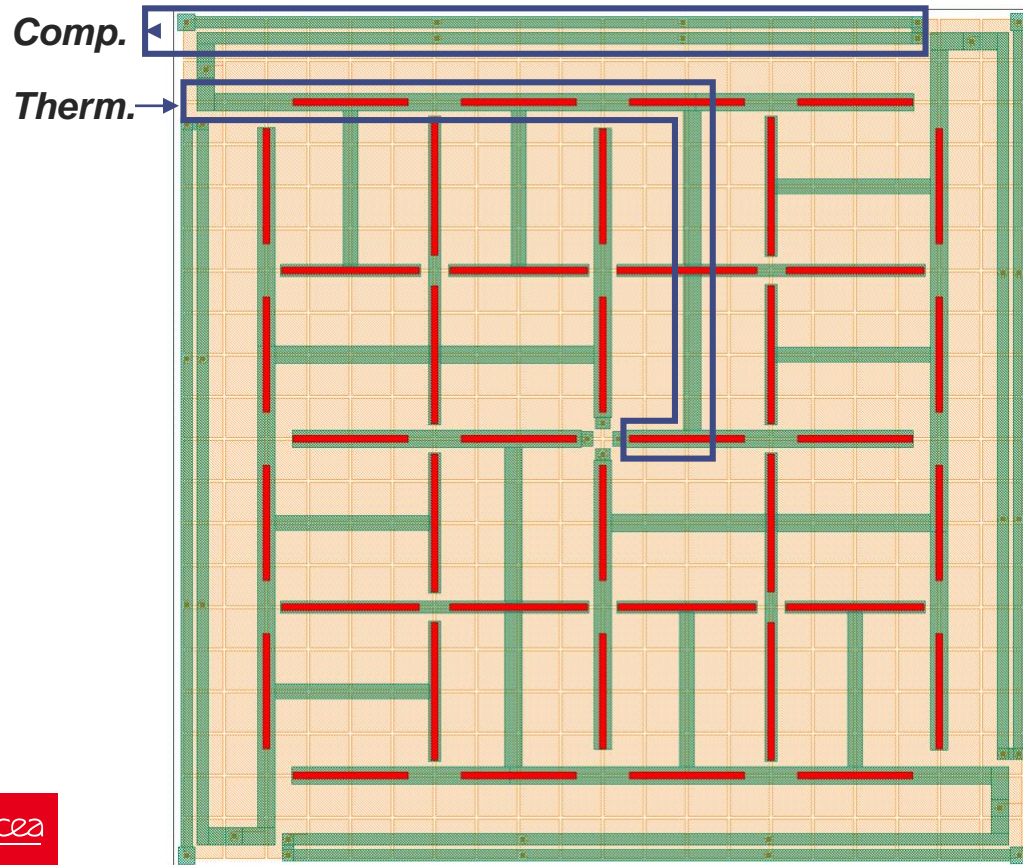


Technologie et Layout

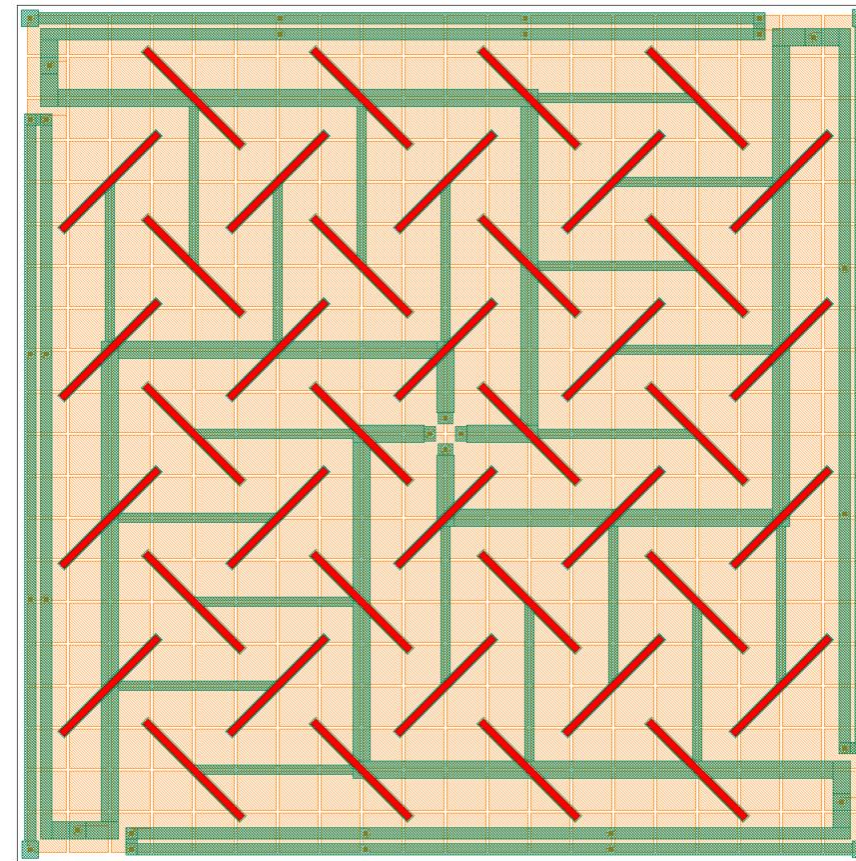
- 4x5 absorbeurs ($120 \times 6 \mu\text{m}$) dans chaque direction
- Résistances de compensation et thermomètres dimensionnés pour une réponse similaire des 2 pixels



Pixel 0°/90°



Pixel ±45°



Réponse électro-optique (1)

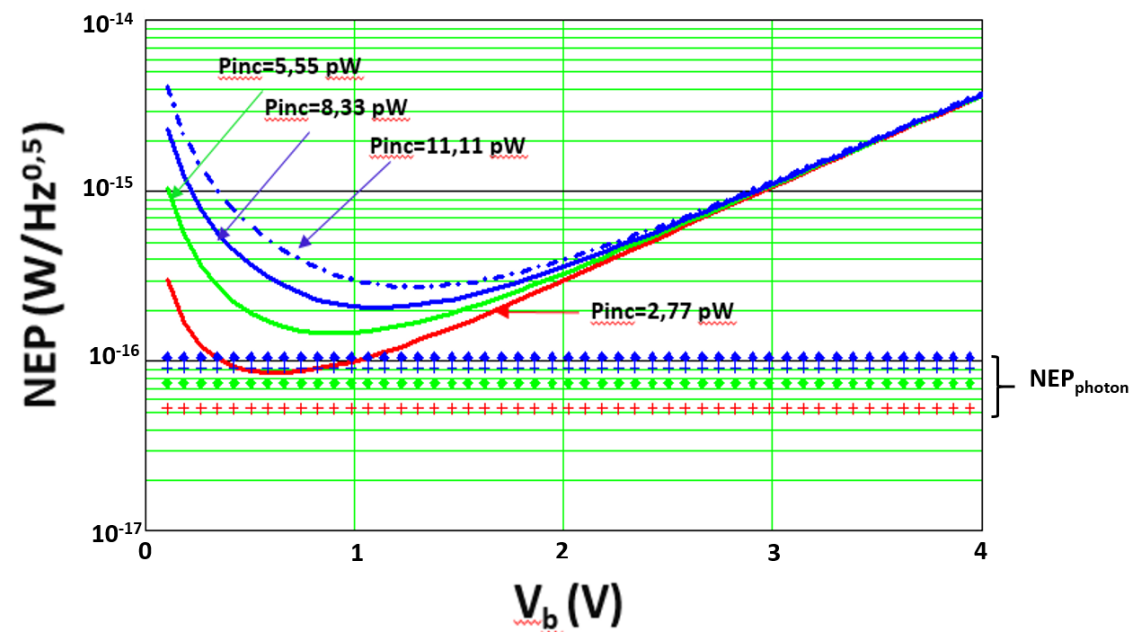
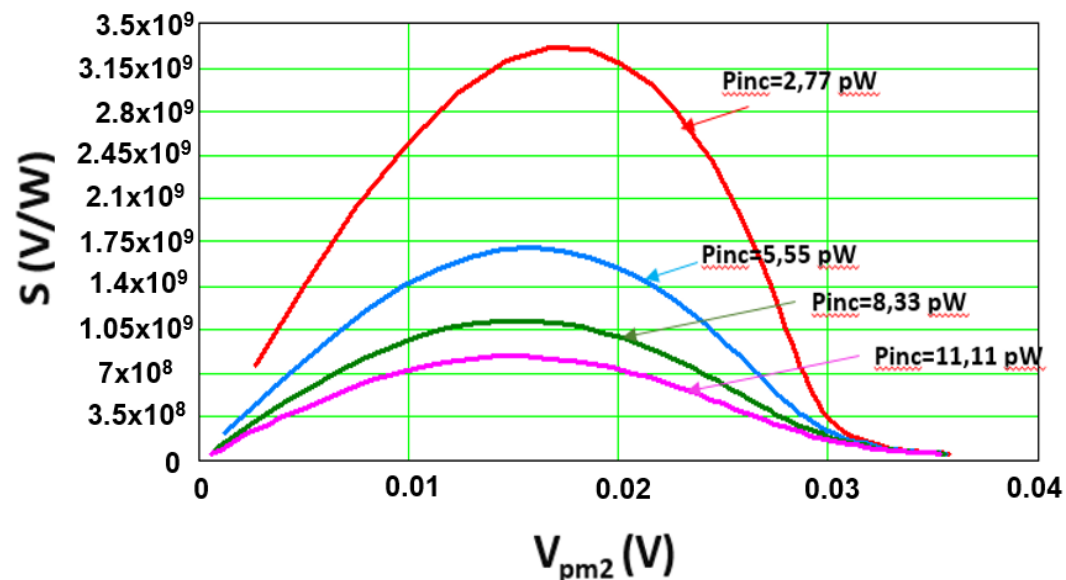
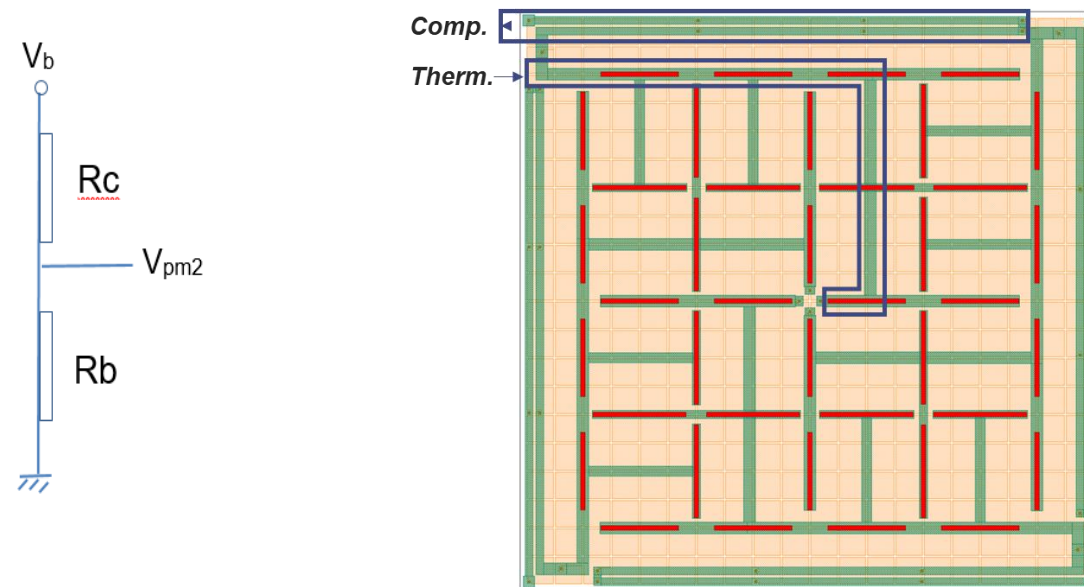
1) Lecture en pont diviseur de tension

- Résist. de compensation (Rc): 10x1200 μm
- Résist. thermomètre (Rb): 15x800 μm

$$R(T) = N_{\square} \cdot R_0 \cdot \exp\left(\sqrt{\frac{T_0}{T}}\right)$$

Optimisation à T=300 mK et flux ~5 pW:

- $T_0=55\text{K}$, $R_0=187\text{ohm}$
- $R_b=7,5\text{ G}\Omega$, $R_c = 17\text{ G}\Omega$ (300 mK)
- Sensibilité = $1,7 \times 10^9\text{ V/W}$
- NEP totale = $1,45 \times 10^{-16}\text{ W/Hz}^{0,5}$ @ $V_b = 900\text{mV}$



Réponse électro-optique (2)

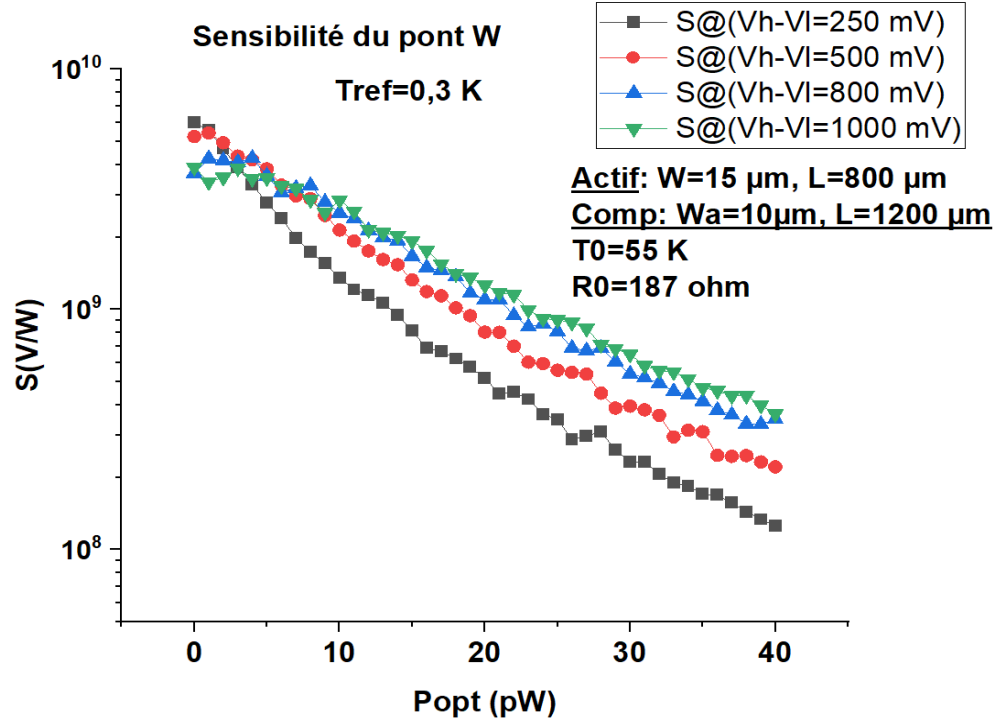
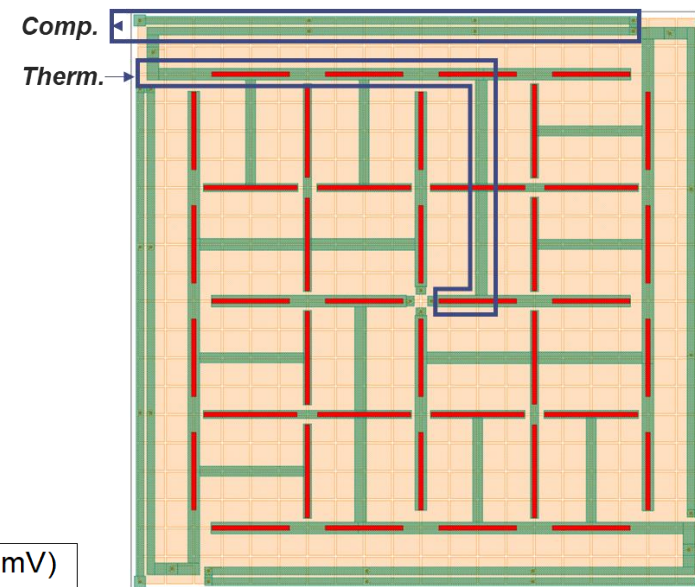
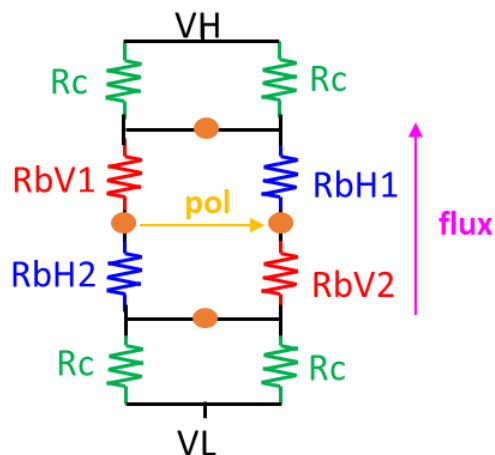
2) Lecture en pont de Wheatstone

- Résist. de compensation (Rc): 10x1200 μm
- Résist. thermomètre (Rb): 15x800 μm

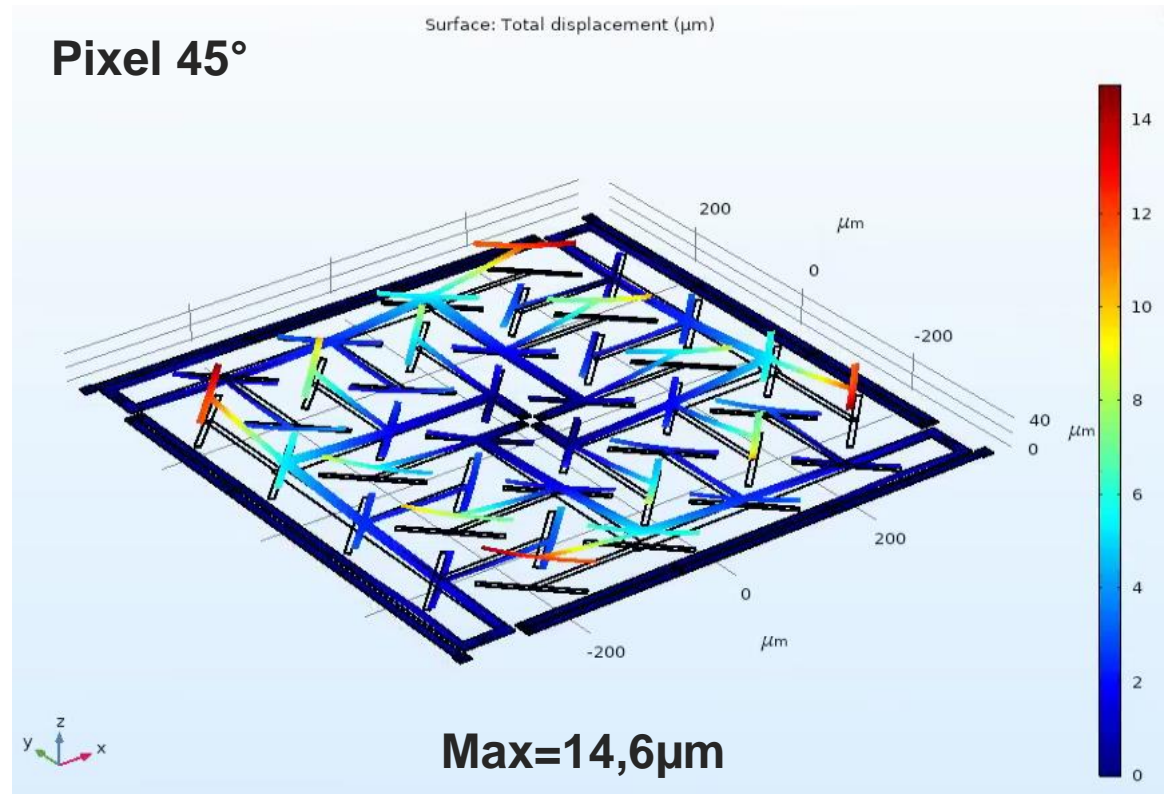
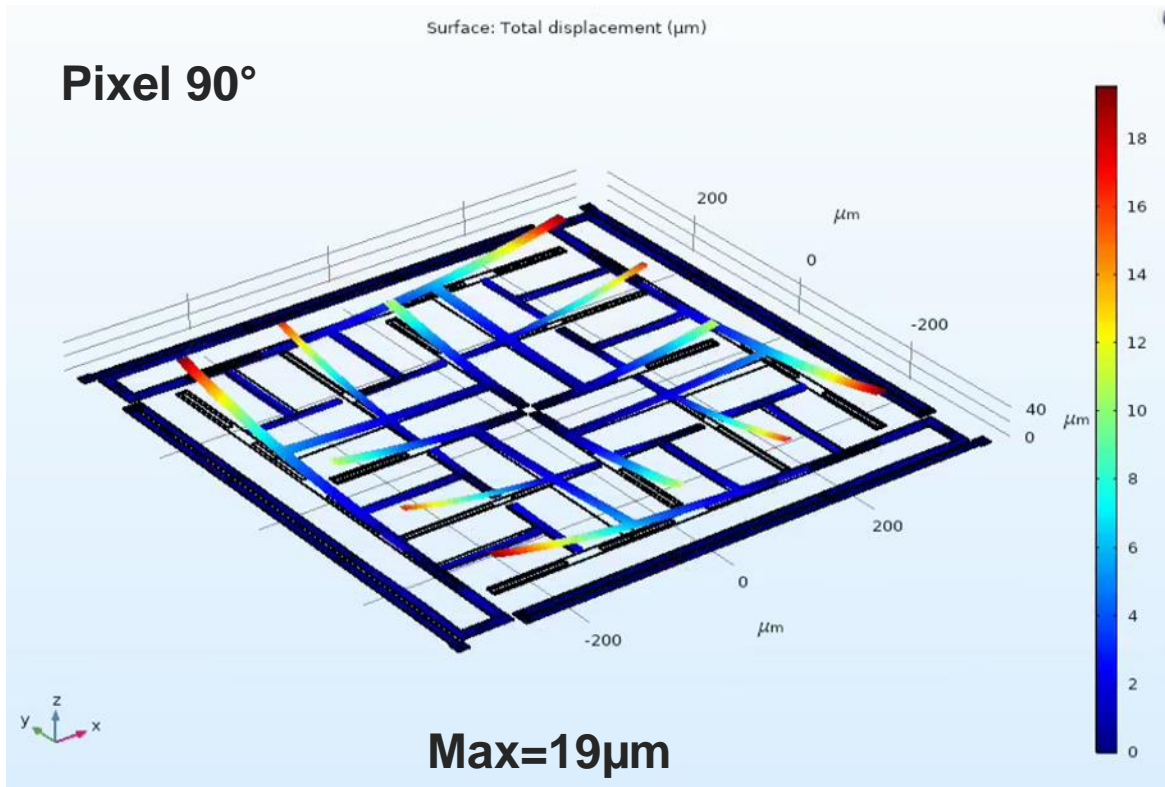
$$R(T) = N_{\square} \cdot R_0 \cdot \exp\left(\sqrt{\frac{T_0}{T}}\right)$$

Optimisation à T=300 mK et flux 20 pW:

- T₀=55K, R₀=187ohm
- Rb=7,5 GΩ, Rc = 17 GΩ (300 mK)
- Sensibilité ~ 10⁹ V/W (Vh-Vl = 800mV)



Simulations mécaniques



Simulation mécanique à température ambiante du stress total généré dans l'empilement technologique du pixel lors de la fabrication:

- La **couche de TiN** en forte compression dans les dipôles absorbeurs **augmente le stress total** et induit une **forte déflexion des spirales** des bolomètres actifs.
- En fonctionnement à **froid**, on attend une **réduction de cette déformation de 20 à 30%** par rapport à la température ambiante.

Thermomètre seul



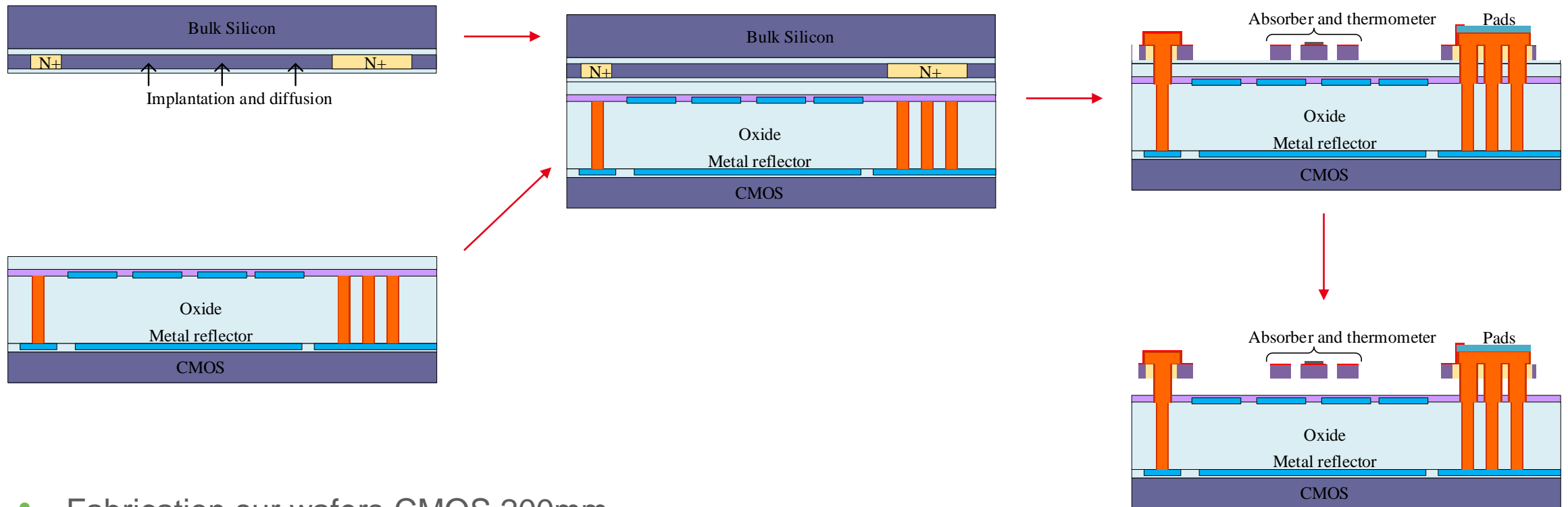
heff	1.598[μm]	1.598E-6 m
Eeff	160[GPa]	1.6E11 Pa
sigma00	0.8[GPa]	8E8 Pa
sigma1	29.5[MPa]	2.95E7 Pa

Thermomètre + absorbeurs



heff2	1.69[μm]	1.69E-6 m
Eeff2	154[GPa]	1.54E11 Pa
sigma000	-1.8[GPa]	-1.8E9 Pa
sigma111	0.1[GPa]	1E8 Pa

Fabrication



- Fabrication sur wafers CMOS 200mm
- Environ 150 étapes technologiques

Perspectives



- Le projet BBOP350 vise à concevoir et fabriquer des **matrices de détecteurs polarimétriques pour la bande 300-500 μm** réutilisant les briques technologiques développées pour BBOP / SPICA.
- Ces détecteurs intégreront pour la première fois des **Surfaces Haute Impédance** permettant de conserver une **intégration Above-IC pour les grandes longueurs d'onde**.
- Les **spécifications sont définies pour une application au sol** pour un instrument type ArTéMiS dans la perspective d'une démonstration sur le ciel.
- La phase de conception est terminée: absorption optique, optimisation des thermomètres, mécanique.
- Les travaux en cours portent sur la conception des masques de fabrication.

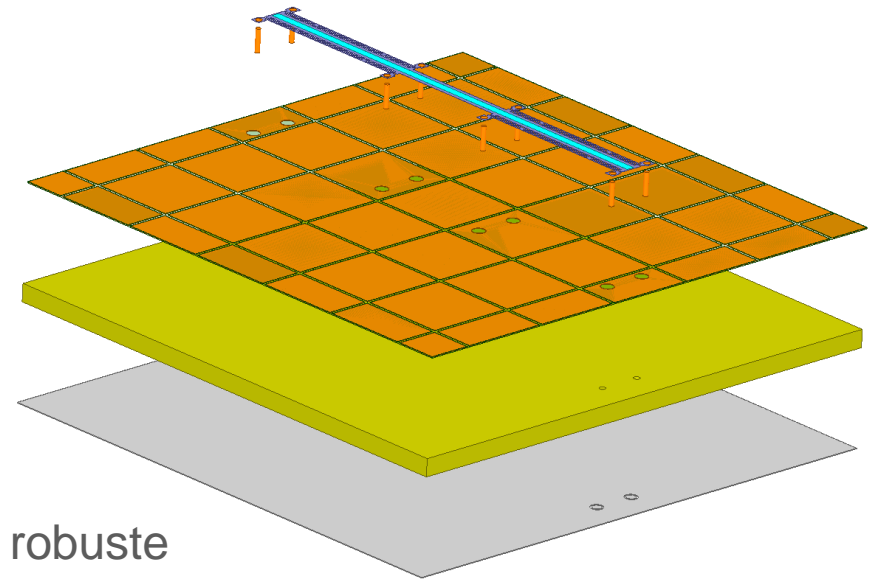
Perspectives

Pixels développés pour des applications non refroidies à 400 GHz et 650 GHz (thèse A. Fournol, CEA-DGA)

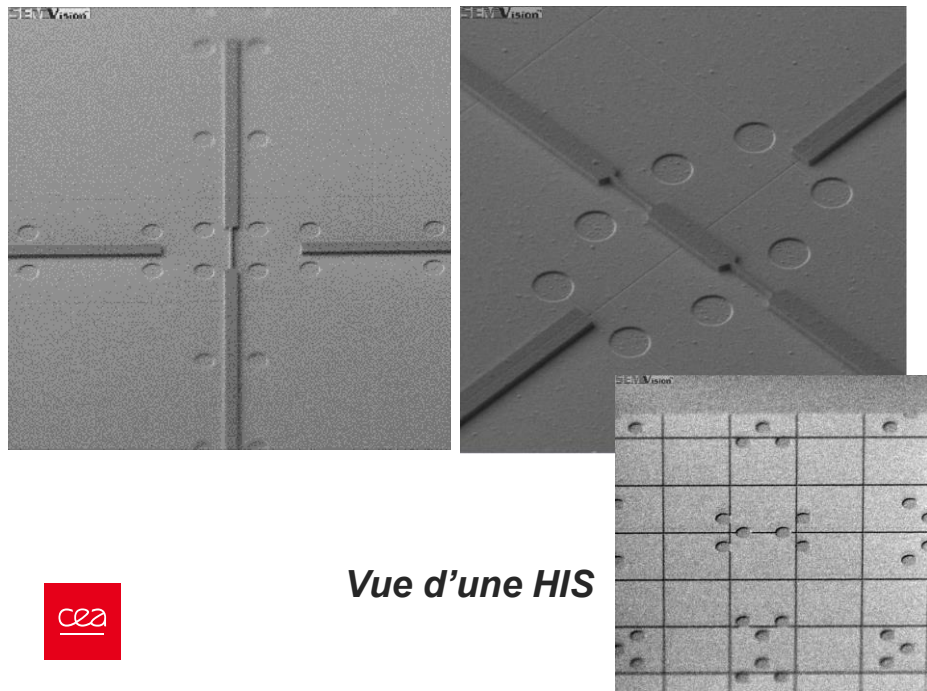
Performances similaires avec bande d'absorption ~30%

Pour aller vers les λ millimétriques:

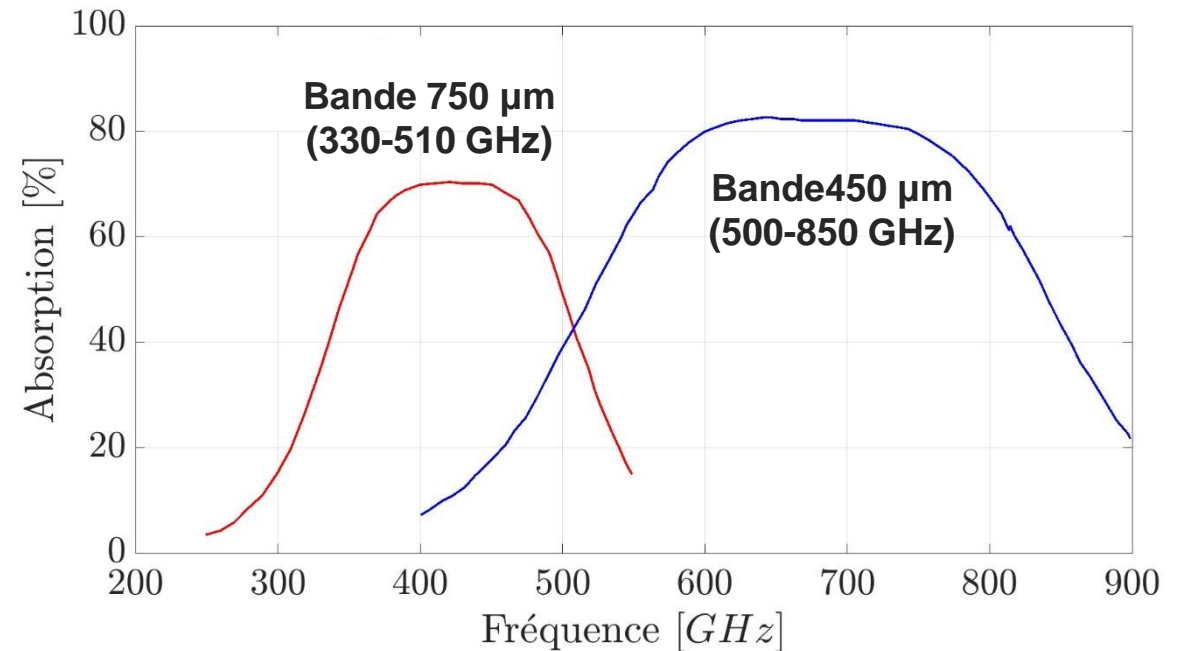
- Besoin d'un gap sub- μm entre patches => limites pour une fabrication robuste



Vues de dipôles (bande 750 μm)

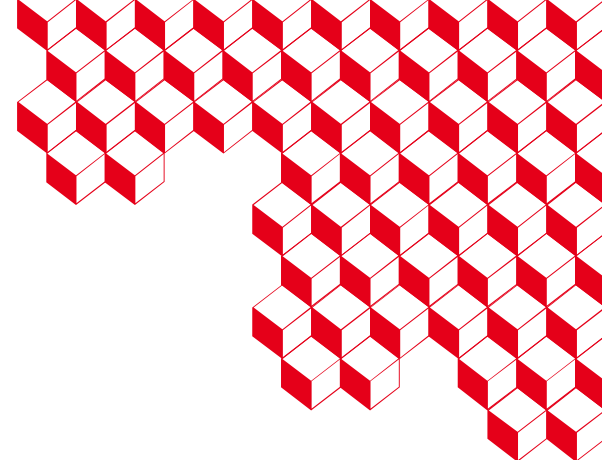


Vue d'une HIS





leti



Merci

CEA-Leti, Grenoble, France

cea-leti.com

