

Composants à semi-conducteur de puissance pour des applications à haute température de fonctionnement

B. Allard, M. Lazar, H. Morel, D. Planson : CEGELY INSA de Lyon

G. Coquery, L. Dupont, Z. Khatir : LTN INRETS

S. Lefebvre : SATIE ENS Cachan – CNAM

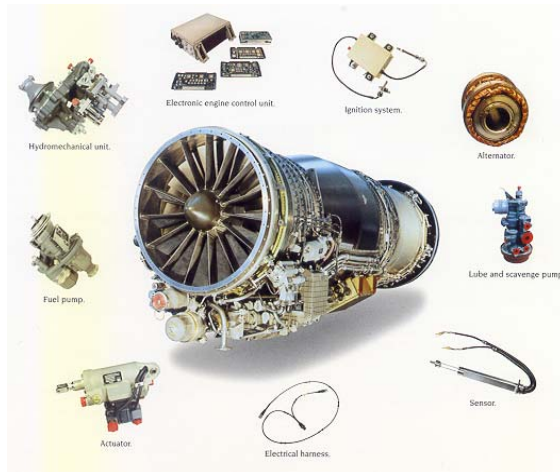
R. Meuret : Hispano-Suiza

Plan de la présentation

- ▶ **Introduction**
- ▶ **Problématique**
- ▶ **Choix du semi-conducteur**
- ▶ **Choix des puces**
- ▶ **Assemblage**
- ▶ **Connexions**
- ▶ **Synergie Automobile / Avionique**
- ▶ **Conclusion**

Introduction

Environnement moteur (engine)



- Pompe hydraulique
- Pompe à carburant
- Moteurs
- Alternateur
- Démarreur ...

19/03/2004

J-EEA Cergy-Pontoise

3

Introduction

Collaboration HISPANO-SUIZA / SATIE / LTN INRETS / CEGELY

Projet « Avion supersonique »

Réalisation d'un convertisseur pour la commande d'un EMA
(Electro-Mecanical Actuator)

- Puissance de sortie : quelques kW
- Température ambiante : 200 °C
- MTBF 50 000 h
- Cycles Décollage/Atterrissage : 5000 cycles (-55°C +200°C à 10°C/min)
- DC Voltage : 48 à 350Vdc
- Environnement moteur : (humidité,vibration,choc,altitude)

19/03/2004

J-EEA Cergy-Pontoise

4

Problématique

Température de Fonctionnement élevée
($T_a = 200^\circ\text{C}$)

Cycles de température
(5000 cycles -55°C à 200°C à $10^\circ\text{C}/\text{min}$)

Durée de vie élevée
(50000heures)

Puces

Assemblage

Tenue en température :

Courants de fuite, Von, ...

Brasures :

Délamination, fissures...

Viellissement :

Dégradation de l'oxyde...

Fils de Bonding :

Levé

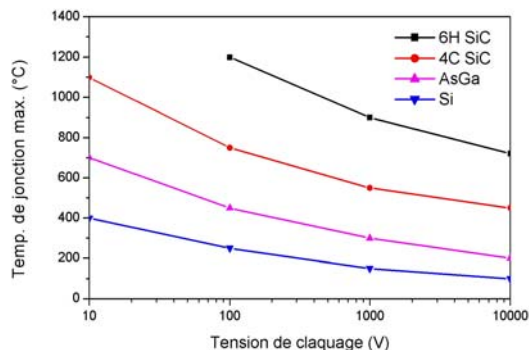
19/03/2004

J-EEA Cergy-Pontoise

5

Choix du semi-conducteur

Limitation en température : courant de fuite (E_G , V_{BR})



(cf. Wondrak pour des jonctions PIN - 1999)

V_{BR} / Matériaux	Si	SiC
100 V	$\approx 250^\circ\text{C}$	800°C
1000 V	$\approx 175^\circ\text{C}$	600°C

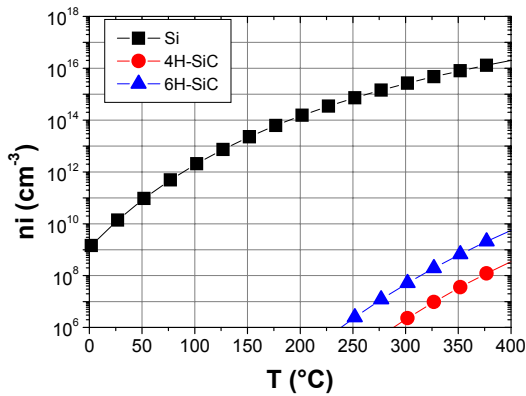
19/03/2004

J-EEA Cergy-Pontoise

6

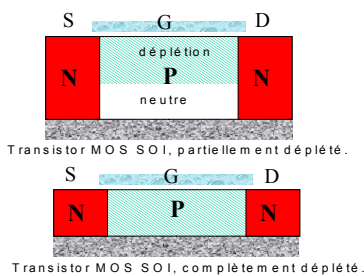
Choix du semi-conducteur

Limitation en température : courant de fuite (E_G, V_{BR})



$$n_i \propto T^{3/2} \exp(-E_g/2kT)$$

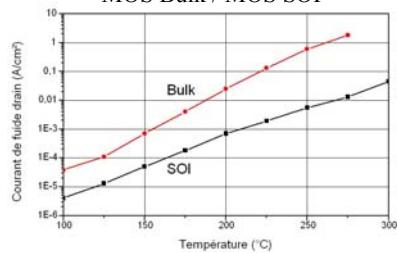
Choix du semi-conducteur : SOI



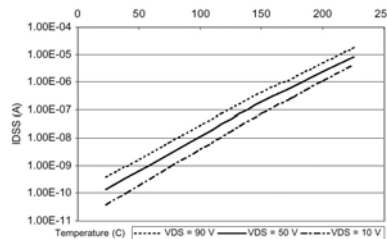
Honeywell HTANFET
Mos de puissance sur SOI

$T_{JMAX} = 225^\circ\text{C}$
90V, 0,4Ω à 25°C

Comparaison MOS Bulk / MOS SOI



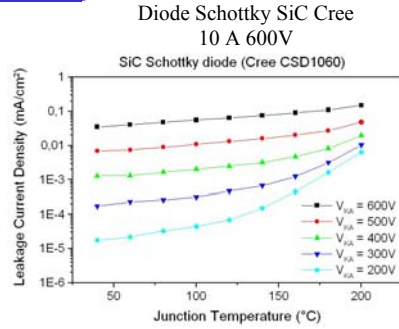
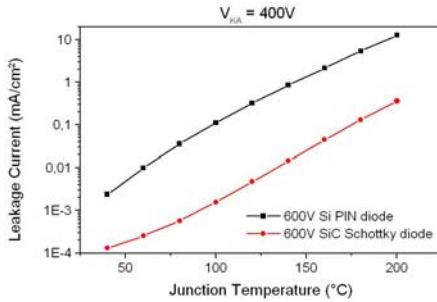
IDSS vs TEMPERATURE



Choix des puces : SiC

Disponibles SiC:

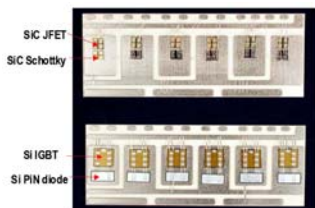
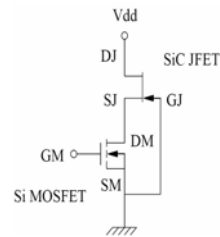
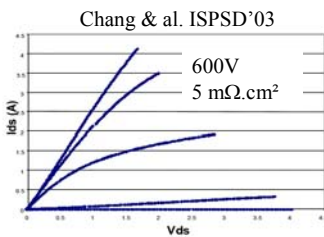
Diodes Scottky 600V (Infineon, Cree...)



Comparison :
Diodes Schottky SiC /
Diode Si PIN (175 °C)

Choix des puces : SiC

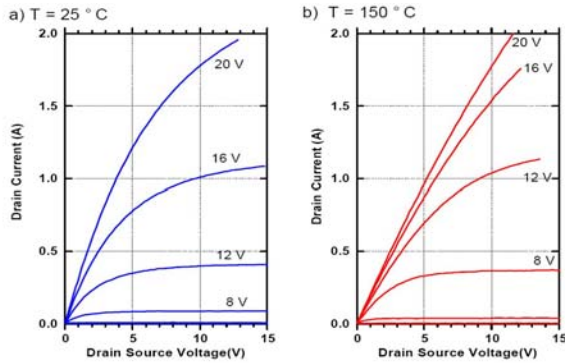
Echantillons SiC : JFET, JFET Cascode



Siced :
MOS Si basse tension
 $V_{BR} = 1000V, R_{ON} < 1,2 \Omega$

Choix des puces : SiC

Développement SiC : MOSFET, diodes PIN



MOSFET 3kV
Peters & al. EPE'03

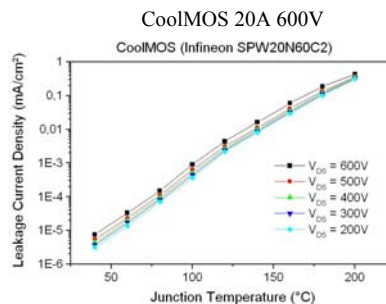
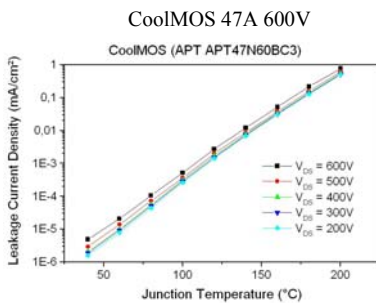
Choix des puces : Si

Jonction PIN \rightarrow $V_{BR} = 1000V; T_{JMAX} = 150^{\circ}C$
 $V_{BR} = 100V; T_{JMAX} = 250^{\circ}C$



Super Junction (CoolMOS)

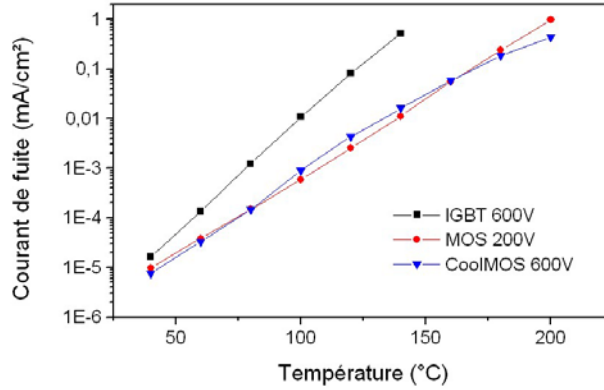
Caractérisations en température



Comparaison

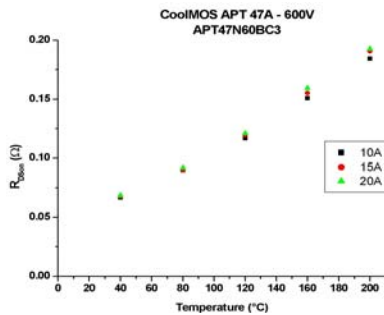
CoolMOS 600V / IGBT NPT 600V / MOS 200V

$$V_{DS} = V_{BR}$$

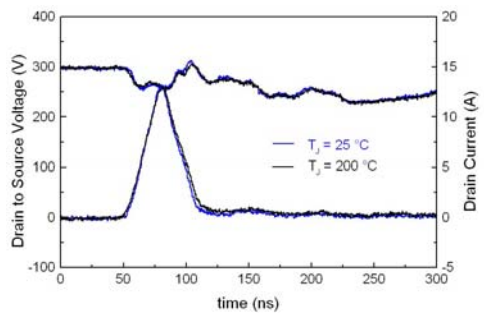


Caractérisations électriques

CoolMOS 47A – 600 V APT47N60BC3



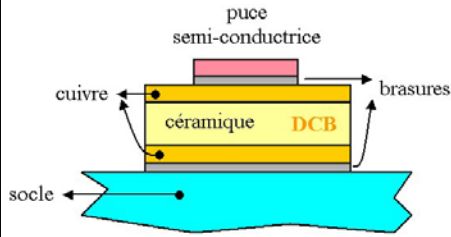
Caractérisation statique (R_{Dson})



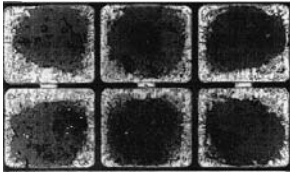
Caractérisation dynamique (à l'ouverture)

Assemblage

Assemblage sur DCB



	Matériau	CTE (ppm/K)	λ (W/mK)
Puce	Silicium	2,6	150
	SiC	3,7	390
Brasure			
Céramique	AlN	5	170
	Al ₂ O ₃	7	25
Brasure			
Socle	Cuivre	16	390
	AlSiC	6,5 - 8,5	160 - 200



Après 43000 cycles d'injection de puissance
Z. Khatir & al., *SemiTherm XVII, San Jose, Mars 2001*

Automobile :

Généralement : céramique Al₂O₃ / Socle Cuivre

Aviation :

Céramique AlN / Socle AlSiC

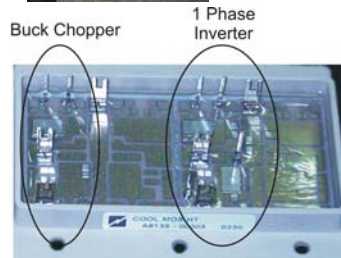
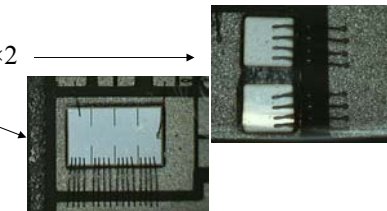
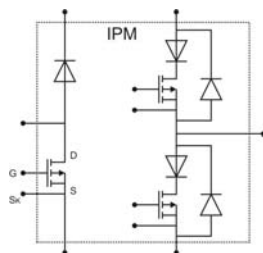
Assemblage

Réalisation d'un démonstrateur (APT Europe)

Céramique AlN / Socle AlSiC

Diodes schottky SiC Cree 600V 10A \times 2

CoolMOS Si APT 600V 47A

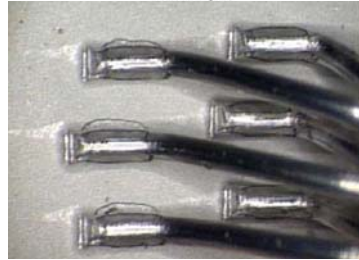
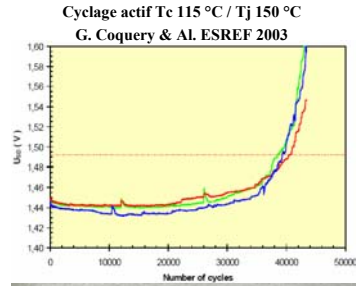


Fils de bonding

Module Econo-Pack 600V 200A



Une des principales causes
de défaillance
à haute température



Synergie Automobile / Avionique

Développement de modules de puissance Haute Température ($175\text{ }^\circ\text{C}$)
dans l'automobile



Onduleur triphasé IXYS
75V 350A
 $T_{JMAX} = 175\text{ }^\circ\text{C}$

Utilisation à $220\text{ }^\circ\text{C}$ à plus faible courant ?

Conclusion

- ▶ Caractérisation module APT (220 °C)
 - Electrique
 - Assemblage

- ▶ Caractérisation module automobile
 - Electrique (déclassé)
 - Assemblage

- ▶ Convertisseur tout SiC : Diodes Schottky
JFET