Méthodes de caractérisation avancée pour l'évaluation de la fiabilité des filières GaN

Le salon des radiofréquences, des hyperfréquences, du wireless, de la CEM et de la Fibre Optique

CNIT - Paris La Défense - 1 & 2 avril 2015

<u>Agostino Benvegnù</u> J. Delprato – J.L. Roux – P. Eudeline – M.Campovecchio – D. Barataud













Sommaire

- I. Etude de la Fiabilité sous stress RF monitoré
 - Motivation
 - Etude du Vieillissement RF par monitoring temporel:
 - Présentation du banc de caractérisation temporel
 - Protocole de caractérisation
 - Résultats du monitoring et Evaluation des évolutions de performances entre les stress
 - Conclusion
- II. Etude de la Fiabilité en termes de stabilité pulse à pulse
 - Motivation
 - Définition de la stabilité pulse à pulse (P2P)
 - Résultats de mesures de stabilité P2P
 - Comparaison avec des simulation de stabilité P2P → Modélisation
 - Conclusion



Sommaire

- I. Etude de la Fiabilité sous stress RF monitoré
 - Motivation
 - Etude du Vieillissement RF par monitoring temporel:
 - Présentation du banc de caractérisation temporel
 - Protocole de caractérisation
 - Résultats du monitoring et Evaluation des évolutions de performances entre les stress
 - Conclusion
- II. Etude de la Fiabilité en termes de stabilité pulse à pulse
 - Motivation
 - Définition de la stabilité pulse à pulse (P2P)
 - Résultats de mesures de stabilité P2P
 - Comparaison avec des simulation de stabilité P2P → Modélisation
 - Conclusion



Motivation

Banc de vieillissement RF classique (RF life stress)



J. Joh, J. A. Del Alamo, U. Chowdhury, et J. L. Jimenez, « Correlation between RF and DC reliability in GaN high electron mobility transistors », in *ROCS Workshop, 2008* [*Reliability of Compound Semiconductors Workshop*], 2008, p. 185–194.

A. Benvegnù

VIEILLISSEMENT RF TEMPOREL

A. Benvegnù

- Banc utilisé : LSNA (Large Signal Network Analyzer)
- Evaluer la technologie en très forte compression par le biais d'essais longue durée
- Mesurer des formes d'ondes temporelles (FOT) aux accès du DUT pour différentes conditions d'adaptation et à puissance constante.



Le banc LSNA (1)



Une procédure de calibration complète (absolue et relative) sous pointes permet de déterminer les FOT de la tension et du courant RF dans les plans d'entrée et de sortie du DST:

 Calibration relative avec un kit d'étalonnage Cascade (SOLT) dans les plans d'entrée des coupleurs d'entrée et sortie.



- Calibration absolue en puissance des ondes a et b par un étalon de puissance (wattmètre connectorisé) connecté dans les plans d'entrée du coupleur d'entrée.
- Calibration en phase des ondes a et b par un étalon de phase (HPR : Harmonic Phase Reference).



STEP STRESS de 24H

Conditions de vieillissement:

- 3 différents compression du Gain : 4dBc, 8dBc & 12dBc
- Point de polarisation in classe AB (Ids=50mA @ Vds=50V)
- $\Gamma_{out_opt_PAE}(f_0)=0,65/90,(2f_0)=0,61/72,(3f_0)=0,57/137$
- $F_0 = 4GHz$
- Acquisition **FOT** $(f_0, 2f_0, 3f_0)$ chaque 10 min
- DUT :8x250μm AlGaN/GaN HEMT (L_g=0,5μm)

Protocole caractérisation:

- •Mesures I-V DC (Diode GS, Id-Vg, Id-Vd)
- •Mesures I-V pulsées:
 - réseau **froid** (V_{Gbl}=0V, V_{Dbl}=0V)
 - réseau gate-lag (V_{Gbl}=-5V, V_{Dbl}=0V)
 - réseau drain-lag (V_{Gbl}=-5V, V_{Dbl}=50V)
 - réseau chaud (V_{Gbl}=-1,99V, V_{Dbl}=50V)
- •Mesures paramètres-S pulsés sur la droite de charge
- •Balayages en puissance







Formes d'ondes temporelles pendant les stress

Conditions de vieillissement:

 $F_0 = 4GHz$

- classe AB (Ids=50mA @ Vds=50V)
- $\Gamma_{out_opt_PAE}(f_0)=0,65/90,(2f_0)=0,61/72,(3f_0)=0,57/137$

- Stress @ 4dBc (Pin=20dBm)
- Stress @ 8dBc (Pin=25dBm)
- Stress @ 12dBc (Pin=28dBm)



Paramètres DC pendant les stress

Conditions de vieillissement:

- classe AB (Ids=50mA @ Vds=50V)
- $\Gamma_{out_opt_PAE}(f_0)=0,65/90,(2f_0)=0,61/72,(3f_0)=0,57/137$
- $F_0 = \bar{4}G\bar{H}z$

- Stress @ 4dBc (Pin=20dBm)
- Stress @ 8dBc (Pin=25dBm)
- Stress @ 12dBc (Pin=28dBm)



A. Benvegnù

Paramètres DC entre les stress



Mesures IV impulsionnelles (1) entre les stress





1er avril 2015

Mesures IV impulsionnelles (2) entre les stress



A. Benvegnù

[S] impulsionnels@ 50mA at 50V entre les stress



A. Benvegnù

Mesures Fort signal CW entre les stress





٠

T0

T2

T4

T6

- Méthodologie avancée permettant l'investigation de la fiabilité pour des transistors GaN pour les applications spatiales est présentée
- FOT ne présentent pas de variation et de dégradation au cours du protocole de vieillissement monitoré
- Les caractéristiques I-V (DC et pulsées), à petit signal et à fort signal ne montrent pas de variation et dégradation

Perspectives:

 Incrément pour chaque step stress à 240 heures pour soumettre le transistor à une durée plus réaliste de fonctionnement en stress RF



Sommaire

- I. Etude de la Fiabilité sous stress RF monitoré
 - Motivation
 - Etude du Vieillissement RF par monitoring temporel:
 - Présentation du banc de caractérisation temporel
 - Protocole de caractérisation
 - Résultats du monitoring et Evaluation des évolutions de performances entre les stress
 - Conclusion

II. Etude de la Fiabilité en termes de stabilité pulse à pulse

- Motivation
- Définition de la stabilité pulse à pulse (P2P)
- Résultats de mesures de stabilité P2P
- Comparaison avec des simulation de stabilité P2P→ Modélisation
- Conclusion



Mesure de la cohérence de la phase et amplitude de pulse à pulse Validation tardive de l'exigence stabilité pulse à pulse

Prédiction de la stabilité dès la phase de conception des amplificateurs en technologie GaN

Mesure d'enveloppe

sur des séquences de pulse RF pour la stabilité pulse à pulse.

Simuler en **zone non linéaire**

avec des rafales irrégulières:

Transitoire d'enveloppe

Définir une spécification stabilité pulse à pulse :

Quels font les facteurs qui influent le plus sur la stabilité pulse à pulse ?



Mesure de la stabilité pulse à pulse

> Generation M Rafales Periodiques et cohérentes de N pulses



Définition de la stabilité pulse à pulse



Stabilité pulse-à-pulse RMS instant t_k

$$\overline{stab_{RMS}(t_k)} = 10 \times \log_{10} \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N} \left(\overline{\tilde{x}_{i+1}(t_k)} - \overline{\tilde{x}_i(t_k)} \right)^2 \right]$$

x : phase ou amplitude de l'enveloppe

1er avril 2015

Banc de mesure de stabilité P2P



2 calibrations

- \Box Calibration en paramètres -S:[$\pi_{out} \pi_{meas}$]
- \Box Calibration en puissance : $[\pi_{pow_in} \pi_{in}] \& [\pi_{pow_out} \pi_{out}]$

Influence du silence sur la stabilité d'amplitude



Influence du silence sur la stabilité de phase



Fort impact de la durée du silence sur la valeur de la stabilité P2P



Enveloppes temporelles en amplitude et phase



A. Benvegnù

Stabilités P2P – Influence relative de chaque pulse



Impact du modèle thermique - Stabilité d'amplitude



A. Benvegnù

Impact du modèle thermique - Stabilité de phase



Etude thermique et pièges: Mesures/Simulations

Modélisation non linéaire avec :

- ➤ 3 cellules RC thermiques
- pièges de Drain-Lag



A. Benvegnù

Conclusions et Perspectives

Conclusions :

□ Très fort impact des silences sur la stabilité P2P de phase et d'amplitude.

≻Valeur maximum pour le silence

- □ Impact important du **premier pulse** sur la stabilité.
- □ Importance du modèle thermique pour modéliser la réponse temporelle
 - > 3 constantes de temps
- □ Modèle thermique insuffisant : les pièges doivent être pris en compte

Perspectives :

utilisation du banc pour évaluer la fiabilité au niveau composant en termes de stabilité P2P

Conséquences du stress sur la stabilité pulse à pulse au niveau composant

