

Etude de la robustesse des transistors RF des technologies SiGe et GaN sous stress Électromagnétique et Thermique

Dr/HDR Moncef KADI

- Responsable du pôle Electronique et Systèmes de l'IRSEEM
- Co-Coordonnateur du réseau électronique de la région Haute Normandie



01 Avril 2015



Préambule

- ESIGELEC : Ecole d'ingénieur Située à saint Etienne du Rouvray (76)
 - Grande Ecole d'Ingénieurs créée en 1901 \checkmark
 - ✓ Association loi 1901
 - Conseil d'Administration formé de 4 collèges : \checkmark

Sigelec

DF ROLIEN

- ✓ institutionnels (CCI ROUEN HAUTE
- diplômés \checkmark
- ✓ entreprises
- ✓ académique

irseem



Ecole associée



AIRCELLE, EDF, ORANGE, THALES, VALEO, SYNCHRONIC, UIMM





Préambule

- IRSEEM : Institut de Recherche en Systèmes
- Electroniques Embarqués
 UNE RECHERCHE PARTENARIALE
 à destination des filières
 - automobile
 - aéronautique
 - électronique
 - énergie
 - télécommunications
 - logistique

3 pôles de recherche

- Électronique & Systèmes (électromagnétisme, CEM, hyperfréquences et fiabilité)
- Automatique & Systèmes (diagnostic et contrôle moteur, surveillance
- des systèmes complexes)
- Instrumentation, Informatique & Systèmes (navigation, transport intelligent)

irseem



Préambule

Thématiques de recherche

Trois thématiques complémentaires qui concourent à la grande thématique de la sureté de fonctionnement :

- Compatibilité Electromagnétique (CEM) des composants et des systèmes
- ✓ Fiabilité des Composants et des systèmes
- ✓ Intégrité du signal et Hyperfréquence



<u>irseem</u>



Plan de la présentation

- Contexte des travaux
- Banc champ proche comme banc de stress
- Robustesse des HBTs en technologie SiGe
 - Caractérisations électriques
 - Analyse des défaillances
- Robustesse des HEMTs en technologie AlGaN\GaN
 - Bancs de robustesse
 - Essais et analyses des dégradations
- Conclusions et perspectives





Contexte des travaux

- Problématique des Interférences électromagnétique (EMI)
- Tester la robustesse des systèmes électroniques face à des stress électromagnétiques :
 - Conduits en CW ou en transitoire (ESD et EOS)
 - Rayonnés en CW ou pulsé

irseem

- Effet sur les composants et systèmes RF :
 - Transistors faibles Bruit utilisés dans les LNA
 - Transistors RF de puissance utilisés dans les HPA
 - Transistors de puissance utilisés en commutation













Le banc champ proche comme 8 banc de stress



Le Banc champ proche de l'IRSEEM:

- o Automatisation pour le contrôle de la position
- o Différentes configurations de sondes
- o Transformation du mode conduit en mode rayonné
- o Perturbations rayonnées fortes et localisées



Plan de masse



Le banc champ proche comme banc de stress Ο

Configuration du stress



Le champ dominant émis par la sonde est le champ magnétique

Rayonnement localisés de la sonde

 Phénomène de couplage entre la sonde et la ligne microruban (accès vers la base)

- La base est la plus sensible aux dégradations
- La sonde est placée perpendiculairement à 1 mm Ο au-dessus de la ligne microruban reliée à la base du
- La sonde est située à 3 mm devant la capacité de liaison reliée à la base du TBH



Simulation du champ rayonné

Magnitude du champ magnétique (P=40 dBm, d=1 mm)





Le banc champ proche comme 10 banc de stress

• Simulation HFSS du couplage sonde-ligne microruban



- La charge de la ligne microruban est égale à l'impédance d'entrée du TBH (à partir du modèle ADS du pied de test)
- Tension induite dépasse le 1V à l'entrée du TBH





Le banc champ proche comme 11 banc de stress

Modélisation du couplage sonde-pied de test sous ADS



Modèle ADS global assemblant le pied de test et la sonde (couplage magnétique)

irseem

Validation du modèle complet par comparaison avec la simulation HFSS



Robustesses des HBTs en technologie SiGe

Caractéristique	Valeur	Conditions		
f _T / f _{MAX}	60 GHz/60 GHz	Avant mise en boitier		
f _T	10 GHz	Transistor en boitier		
β	200	$V_{ce} = 2V$, $I_c = 5 \text{ mA}$		
Boîtier (SOT-343)	2 mm ×1.25 mm × 0.6 mm	4 pattes		









Caractérisations électriques







Caractérisations électriques

irseem





Caractérisations électriques







15

Analyses des défaillances

- Caractérisations physiques
 - Préparation de l'échantillon













Date 3 Apr 200 Time :9:19:14

10 µm

16

Analyses des défaillances



- Observation de dégradations
 - Comparaisons des structures globales avant et après dégradations



- Déformation de la couche de titane sur les parties hautes des contacts
- Dégradation visibles sur tous les contacts (E,B, C)

ırseem



 Electromigration de l'or dans le titane



Augmentation de la résistivité des couches **ESIGELEC**

Robustesse des HEMTs en technologie AlGaN/GaN



Transistor HEMT AIGaN/GaN

Fabriquant= NitronexRéférence= NBTP00050Fréquence= 4 GHzPuissance de sortie= 50 W V_{DS} = 28 V V_{gs} =-3...3V I_{DS_max} = 3AGain= 12 dB

GaN Cap	Cap Layer (15 A)			
AIGaN Barrier	Barrier of Composition - x (26% AI) and Thickness - d (180 A)			
GaN Channel & Buffer	2DEG ns = 8.5 x 10 ¹² /cm ² +/- 2.9% μ _n = 1,500 cm ² / V-s +/- 2.5% Semi-insulating GaN Buffer Layer (0.8 μm			
Transition layer	Stress Mitigating Transition Layer			
Silicon	High Resistivity Silicon Substrate (10,000 Ω-cm)			







Robustesse des HEMTs en technologie AlGaN/GaN



- ✓ Une fréquence centrale de 3 GHz.
- ✓ Une puissance de sortie maximale de 43 W.
- ✓ Une tension de polarisation du drain de 28 V.
- ✓ Un courant de drain de 2,3 A.
- ✓ Un gain de 11,12 dB.
- ✓ Un rendement de puissance de 60%.



Bancs de Robustesse







Bancs de Robustesse





Climatic chamber Thermotron 8200 T°: - 40°C up ~ 180°C





Caractéristiques DC

Puissance dans la sonde=40dBm;

Puissance d'entrée=30dBm (Puissance pulsée, 500µs\50%)

Stress

E



Caractéristiques RF



Stress EM



irseem



Joh J, Alamo J A. A current-transient methodology for trap analysis for GaN high electron mobility transistors. IEEE transaction on electron devices. Vol 58.No 1. Junuary 2011



	Avant stress	EM	T=90°C	T=-40°C	EM+90°C	EM+(-40°C)
Gain (dB)	11,17	9,7	10,6	12,12	10,6	12,12
ldsmax (mA)	369,7	311,15	255,6	441,7	257,6	439,5
Vth	-1,55	-1,5	-1,5	-1,43	-1,51	-1,58
Rds (28V)	76,17	90,45	108,7	62,6	108,9	63,8
Gmmax(S)	2,19	1,94	1,8	3,2	1,905	3,51
D.E(%)(Pin=30dBm)	32	22	28	38	28	38

- La contrainte thermique dégrade principalement les caractéristiques statiques
- L'effet de la contrainte thermique est plus important que la contrainte EM,





Conclusions et perspectives

- Le stress électromagnétique est en mesure d'activer des mécanismes de défaillances liés aux phénomènes de piégeage ou d'électromigration des métaux,
- Ce moyen peut être super utile pour étudier l'effet de perturbations électromagnétiques d'origines volontaire ou fonctionnelle,
- L'application du champ proche permet une meilleure investigation des faiblesses des composants sous test grâce à la génération d'un champ perturbateur très localisé,
- La maitrise des conditions de stress est extrêmement importante dans l'objectif de reproduire des profils de missions proche de la réalité,
- Cette technique est très répondue en CEM et peu appliquée dans les études de fiabilité et robustesse

rseem







SiaN4

26







Quelques références

- 1. Shall, H.; Riah, Z.; & Kadi, M., "A Novel Approach for Modeling Near-Field Coupling With PCB Traces", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 56, No. 5, Nov 2014; Page(s): 1194 - 1201.
- 2. P. Denis, P. Dherbécourt, O. Latry, M. Kadi, C. Genevois, F. Cuvilly and M. Brault. ; "Robustness of 4H-SiC 1200V Schottky diodes under high Electrostatic Discharge like Human Body Model stresses: a complete failure analysis", Diamond and related materials, Vol 44, pages 62-70, April 2014
- 3. Shall, H.; Riah, Z.; & Kadi, M. (2014), 'A 3D Near-Field Modeling Approach for Electromagnetic Interference Electromagnetic', IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 56, No. 1, Feb 2014, pp. 102-112.
- 4. Zhu, F.; Fouquet, F.; Ravelo, B.; Alaeddine, A. & Kadi, M. (2013), 'Experimental investigation of Zener diode reliability under pulsed Electrical Overstress (EOS)', Microelectronic Reliability Journal, Vol. 53, August 2013, pp 1288–1292.
- 5. Rajkumar, E.R.; Ravelo, B.; Bensetti, M.; Liu, Y.; Fernandez-Lopez, P.; Duval, F. & Kadi, M. (2012), 'Experimental Study of a Computational Hybrid Method for the Radiated Coupling Modelling between Electronic Circuits and Electric Cable', International Journal of Advanced Engineering Technology (IJAET), Vol. 3, No. 1, Mar. 2012, pp. 1-15.
- 6. S. KHEMIRI, M. KADI, A. LOUIS, "Post Reliability study of AlGaN/GaN HEMT under electromagnetic, RF and DC stress", Microelectronics Reliability 51 (2011) 1783–1787.
- 7. Z. RIAH, D. BAUDRY, M. KADI, A. LOUIS, B. MAZARI, "Post Processing of Electric Field Measurements to Calibrate a Near Field Dipole Probe", IET Science, Measurement & Technology, vol. 5, Issue 2, pp.29–36, March 2011.
- 8. ALAEDDINE, C. GENEVOIS, M. KADI, F. CUVILLY, K. DAOUD, "Degradation of Au-Ti contacts of SiGe HBT's during electromagnetic field stress", Journal of Semiconductor Science and Technology. Vol 26 (2011) 025003 (6pp).
- 9. A. ALAEDDINE, M. KADI, K. DAOUD, B. BEYDOUN, "Characteristics degradation of the SiGe HBT under electromagnetic field stress", Microelectronics Reliability, In Press, Available online 24 July 2010, July 2010.
- 10. A. ALAEDDINE, M. KADI, K. DAOUD, H. MAANANE, P. EUDELINE, "Study of electromagnetic field stress impact on SiGe heterojunction bipolar transistor performance", International Journal of Microwave and Wireless Technologies, January 2010.
- 11. A. RAMANUJAN, M. KADI, J. TREMENBERT, F. LAFON, B. MAZARI, "Modeling IC Snapback Characteristics Under Electrostatic Discharge Stress", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 51, n° 4, November 2009.
- 12. A. ALAEDDINE, M. KADI, K. DAOUD, B. MAZARI, "Effects of electromagnetic near-field stress on SiGe HBT's reliability", Microelectronics Reliability, vol 49, pp. 1029–1032, August 2009.





Quelques références

Les systèmes mécatroniques embarqués 1

analyse des causes de défaillances, fiabilité et contraintes sous la direction de Abdelkhalak El Hami et Philippe Pougnet

Collection Génie mécanique et mécanique des solides dirigée par Noël Challamel

234 pages - Mars 2015 Ouvrage papier : 49 EUR ISBN : 978-1-78405-057-3 (papier) ISBN : 978-1-78406-057-2 (ebook)

COLLECTION GÊNIE MÉCANIQUE ET MÉCANIQUE DES SOLIDES

LLECTION GÉNIE MÉCANIQUE ET MÉCANIQUE DES SOLIDES

Les systèmes mécatroniques embarqués 1

analyse des causes de défaillances,

fiabilité et contraintes

sous la direction de Abdelkhalak El Hami et Philippe Pougnet

عاك

rsee

Les systèmes mécatroniques embarqués 2

analyse des causes de défaillances, modélisation, simulation et optimisation

sous la direction de Abdelkhalak El Hami et Philippe Pougnet



Les systèmes mécatroniques embarqués 2

analyse des causes de défaillances, modélisation, simulation et optimisation sous la direction de Abdelkhalak El Hami et Philippe Pougnet

Collection Génie mécanique et mécanique des solides dirigée par Noël Challamel

244 pages - Mars 2015 Ouvrage papier : 49 EUR ISBN : 978-1-78405-059-7 (papier) ISBN : 978-1-78406-059-6 (ebook)



Merci de votre attention