Centre Français Fiabilité





Regroupement d'experts de la fiabilité des systèmes et des composants électroniques



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Contribution à l'évaluation de la fiabilité des assemblages QFN et WLP : études thermo- et hygro-mécaniques des résines d'encapsulation

> Ariane TOMAS Thèse CIFRE – IMS et UMS





Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Initiative

Le Centre Français de Fiabilité

Regroupement d'experts de la fiabilité des systèmes et des composants électroniques





ASTech Paris Region, pôle de compétitivité dans le domaine de l'aéronautique, de l'espace et de la défense.

NAE (Normandie AeroEspace), la filière d'excellence en Normandie dans l'aéronautique, le spatial, la défense et la sécurité.



NAZ

Pôle de compétitivité européen, **NextMove** rassemble en Normandie et Île-de-France, la « Mobility valley » française, toutes les énergies de l'écosystème Automobile et Mobilités.

Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF sont un évènement mensuel, organisé en visioconférence sur des travaux en lien avec les thématiques du CFF.

Cette année, nous vous proposons de profiter de ce temps d'échanges pour vous présenter les compétences au sein de la communauté CFF, et de donner « carte blanche » à un membre pour présenter des travaux, des projets, des résultats et des perspectives, sur un sujet particulier en lien avec la Fiabilité des Composants et Systèmes Electroniques.













Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Modalités

Format de la webconférence :

La webconférence se déroule via l'outil de conférence Cisco WebEx.

La webconférence dure 60 minutes, de 13h00 à 14h00.

Une séance de Questions / Réponses se tiendra durant 10 mn à l'issue de l'intervention.

Règles de fonctionnement de la webconférence :

Pour l'intervenant : il aura le rôle de présentateur pour afficher son support de présentation.
Dans la mesure du possible, il allumera sa webcam durant son exposé.
Pour les auditeurs : vos micros seront coupés durant la webconférence.
Vous pourrez poser vos questions par le chat de l'application durant l'exposé.
Il n'y a pas de nécessité de connecter sa webcam.
Pour des soucis de qualité, nous vous conseillons de vous munir d'un système audio adapté.

Et après :

Les présentations seront mises à disposition via un lien de téléchargement sur le site du CFF. Il n'y aura pas de replay pour des raisons de confidentialités de certains éléments échangés.









Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Expertises de l'intervenant

Contact :Ariane TOMASThèse : Contribution à l'évaluation de la fiabilité des assemblagesQFN et WLP :

études thermo- et hygro-mécaniques des résines d'encapsulation

Cette thèse est en partenariat avec le **laboratoire IMS** et l'entreprise **UMS** (United Monolithic Semiconductors).

ims



Participez vous à des groupes de normalisation ?

✓ Non □ Si oui, lesquels :



Thématiques :



Fiabilité des composants électroniques de puissance et leur packaging

Fiabilité des technologies liées à la connectique et à

l'assemblage (connectiques, PCB, Busbars...) Fiabilité des systèmes mécatroniques

Expertises :

- Connaissances et moyens d'investigations sur les matériaux « électriques » et les composants
- Ingénierie de l'environnement (mécanique, climatique et Compatibilité électromagnétique [CEM])
- Management thermique
- DataScience, Statistique et IA
- Analyse de construction
- Analyse de défaillance











Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF Agenda

Date du webinar 2 ^e mardi du mois	Interven 13h00 - 1	ant 4h00	Sujet	Inscription
19/10/2023	IMS UMS	ims	Fiabilité des assemblages QFN et WLP Étude des résines d'encapsulation	inscription
28/11/2023	GeePs	Geeps	 la mesure de résistivité sans contact d'un wafer le fonctionnement du silicium à haute température 	Inscription
27/02/2024	ELEMCA IRT Saint Exupé	Ery Exupery	Fiabilité des brasures sans plomb	Inscription
28/05/2024	CRISMAT GPM	Coupe de Thysique des Matériaus	SiC-Ageing	Inscription

L'agenda est susceptible d'être modifié. Voir agenda NAE pour confirmation. Lien









Centre Français Fiabilité





Regroupement d'experts de la fiabilité des systèmes et des composants électroniques



Les Rendez-Vous Fiabilité du CFF

Contribution à l'évaluation de la fiabilité des assemblages QFN et WLP : études thermo- et hygro-mécaniques des résines d'encapsulation

> Ariane TOMAS Thèse CIFRE – IMS et UMS



















Ariane TOMAS – ariane.tomas@ims-bordeaux.fr







Contribution à l'évaluation de la fiabilité des assemblages QFN et WLP : études thermo- et hygro-mécaniques des résines d'encapsulation

- Thèse Cifre : IMS, Université de Bordeaux et UMS
- Encadrement :
 - Hélène FREMONT, Nathalie MALBERT, Nathalie LABAT : IMS
 - Benoit LAMBERT, Mehdy NEFFATI : UMS



EMC : Epoxy Mold Compound QFN : Quad Flat No-lead FOWLP: Fan-Out Wafer Level Package RDL : Redistribution Layer





Laboratoire IMS

IMS : Intégration du Matériau au Système

- Tutelles :
 - CNRS
 - Université de Bordeaux
 - Bordeaux Aquitaine INP

Effectifs :

- 135 chercheurs
- 150 doctorants et post-doc
- 65 ingénieurs et équipes te
- Thèmes de recherches
 - Modélisation et de mise en

- nts et de microsystèmes,
- Modélisation, conception, mise en œuvre et analyse de naomté de composants, circuits et assemblages microélectroniques
- Identification, contrôle automatisé, diagnostic des systèmes, traitement du signal et de l'image
- Génie de production, génie cognitif et humain, bioélectronique





Laboratoire IMS – Groupe Fiabilité

- Equipe RIAD : Fiabilité de systèmes et d'assemblages innovants en environnements contraints et sévères
- Equipe RESS : Fiabilité des nouveaux systèmes de stockage d'énergie
- Equipe REMI : Fiabilité des appareils et systèmes contre les interférences électromagnétiques involontaires et intentionnelles
- Equipe WBG : Fiabilité des composants à grand gap







UMS

Fournisseur européen de solutions Rf et mmWave

- Services de fonderie GaAs et GaN
- Effectif : 420 personnes
 - UIm (Allemagne): développement et production des technologies GaAs & GaN
 - Villebon (France): développement des produits, production back-end et support





Développement des plateformes d'assemblages plastiques : QFN, BGA, WLP

FOWLP

Puce



Problématique des matériaux

- Sous contraintes thermiques ou humidité : comportements différents
- Interaction selon contraintes environnementales \rightarrow Risque de défaillances
- Problématique des résines d'encapsulation
 - Comportement mécanique fortement dépendant de la température
 - Matériau hydrophile



Etudes thermo- et hygro-mécaniques des résines d'encapsulation



Méthodologie globale





[1] H. Frémont, G. Duchamp, A. Gracia, and F. Verdier, 'A methodological approach for predictive reliability: Practical case studies', *Microelectronics Reliability*, vol. 52, no. 12, Art. no. 12, Dec. 2012, doi: <u>10.1016/j.microrel.2012.07.016</u>.



- Introduction des travaux de thèse
- Analyse thermomécanique
- Mécanismes de défaillances : Impact de l'humidité sur le boitier plastique
 - Bibliographie
- Méthodologie pour l'étude en humidité
- La diffusion d'humidité dans l'EMC et le boitier
- Le vieillissement du matériau plastique dû à l'absorption de l'humidité
 Propriétés mécaniques
- Conclusion









- 1. Corrosion et électromigration des métaux
- 2. Effet « popcorn »
- 3. Contraintes hygromécaniques
- 4. Vieillissement du matériau plastique
- 5. Dégradation de la force d'adhérence aux interfaces

EMC : Epoxy Mold Compound QFN : Quad Flat No-lead FOWLP: Fan-Out Wafer Level Package RDL : Redistribution Layer



- 1. Corrosion et électromigration des métaux
 - Quand l'humidité arrive sur ces métaux → Le plus souvent quand elle pénètre jusqu'à la puce ou dans le RDL dans le cas BGA/FOWLP



Corrosion de pad en aluminium à cause de la présence de chlore et humidité [2]



Dendrites d'argent sur la surface d'un circuit intégré GaAs après test HAST(121°C/100%HR, 4V, 60min) [3]

- [2] 'JEP122F Failure Mechanisms and Models for Semiconductor Devices'. JEDEC, Nov. 2010.
- [3] Roesch, W. J. (2006). Compound semiconductor activation energy in humidity. *Microelectronics Reliability*, 46(8), 1238-1246.





2. Effet popcorn

- 1. Accumulation de l'humidité dans le boitier
- 2. Variation de température rapide \rightarrow Typiquement un reflow
- 3. L'humidité n'a pas le temps de désorber \rightarrow Elle s'évapore et est sous pression
- 4. Peut causer des délaminages ou fissures pour s'extraire du boitier





Analyse par Bernard PLANO - IMS





3. Contraintes hygromécaniques

- 1. Gonflement hygroscopique du matériau absorbant
 - CME : Coefficient d'expansion par l'humidité

Mécanisme	Condition	Туре	de comp	osant
		top	bottom	PoP
Thermomécanique	90°C	15,7	27,1	40,0
Hygromécanique	85°C85%	20,6	14,3	13,5







Bottom

[4] W. Feng, 'Caractérisation expérimentale et simulation physique des mécanismes de dégradation des interconnexions sans plomb dans les technologies d'assemblage a très forte densité d'intégration « boitier sur boitier » - Chapitre 4', thesis, Bordeaux 1, 2010. [Online]. Available: http://www.theses.fr/2010BOR14014



18

Vieillissement du matériau plastique 4.

- \rightarrow Changement de ses propriétés thermomécaniques
 - Pas de changement au niveau du module d'élasticité par l'humidité
 - Baisse de la résistance mécanique du matériau
 - Baisse de la valeur de température de transition vitreuse Tg

Shift of the glass transition temperature (ΔTg) induced by moisture saturation [5]

Material	Tg [°C]	ΔTg [°C]
Henkel GR9810 1P	152	-8
Shin Etsu KMC 2280	186	-31
Sumitomo 6600 CS	138	-12

H. Walter et al., 'Moisture induced swelling in epoxy moulding compounds', in 2013 IEEE 63rd ECTC, May [5] 2013, pp. 1703-1708. doi: 10.1109/ECTC.2013.6575803.





5. Dégradation de la force d'adhérence aux interfaces

- Causée par :
 - Interaction des chaines polymères et des molécules d'eau aux interfaces
 - L'effet popcorn
 - Des contraintes hygromécaniques
 - Du vieillissement du polymère



Observations MEB de délaminages dans boîtier QFN après 3 reflow à 260°C avec préconditionnement MSL3 [6]

[6] M. S. Zhang, S. W. R. Lee, and X. J. Fan, 'Hygrothermal Delamination Analysis of Quad Flat No-Lead (QFN) Packages', in *Moisture Sensitivity of Plastic Packages of IC Devices*, in Micro- and Opto-Electronic Materials, Structures, and Systems. Boston, 2010. doi: 10.1007/978-1-4419-5719-1_15.





20

- 1. Corrosion et électromigration des métaux
- 2. Effet « popcorn »
- 3. Contraintes hygromécaniques
- 4. Vieillissement du matériau plastique
- 5. Dégradation de la force d'adhérence aux interfaces





Axes d'étude :

- 1. Modélisation de la diffusion d'humidité dans le composant
- 2. Modélisation de déformation hygromécanique
- 3. Caractérisation de l'interface EMC/leadframe





- Introduction des travaux de thèse
- Analyse thermomécanique
- Mécanismes de défaillances : Impact de l'humidité sur le boitier plastique
 - Bibliographie
- Méthodologie pour l'étude en humidité

La diffusion d'humidité dans l'EMC et le boitier

Le vieillissement du matériau plastique dû à l'absorption de l'humidité
 Propriétés mécaniques

Conclusion

[7] Tomas, A., Frémont, H., Malbert, N., Neffati, M., & Lambert, B. (2023). "Moisture absorption and desorption in epoxy mould compounds: Characterization of Fickian and non-Fickian behaviours in complex packages." *Microelectronics Reliability*, 115088.





Méthodologie de l'analyse de diffusion





23

Protocole expérimental

Les mesures des paramètres de diffusion se font par analyse gravimétrique :

- Pesées manuelles à intervalles réguliers sur une balance numérique
- Pour chaque conditions : 4 échantillons de chaque type d'échantillons





Précision : 0,1 mg



Evolution de la masse de l'échantillon









Mécanismes et modèles d'absorption



26



Date / Ref Doc

https://www.scientificgear.com/water-activity

li information contained in this document remains the sole and exclusive property of UNITED MONOLITHIC SEMICONDUCTORS and shall not be disclosed by the recipient to third party without the prior consent of UNITED MONOLITHIC SEMICONDUCTORS

Modèles de désorption







27

Méthodologie de l'analyse de diffusion





28

EMC C - Absorption

Gain de masse normalisée par le volume de l'EMC



				·
EMC		С		
Conditions	85°C/ 85%RH	70°C/ 85%RH	60°C/ 85%RH	-
		EMC pure		-
D ₁ (mm²/s)	3,21E-06	2,22E-06	1,88E-06	Dépend de la température
D ₂ (mm²/s)	2,04E-08	2,33E-08	2,29E-08	
C_1 (mg/cm ³)	3,3	3,3	3,0	
<i>C</i> ₂ (mg/cm ³)	3,8	2,7	2,1	Dépend de la température

- D₁ : la diffusion fickienne s'accélère ↗ lorsque la température augmente ↗
- D_2 : constant en température $\rightarrow D_2$ est une simplification mathématique
- C_1 : constante en température \rightarrow Le volume libre impose une limite en humidité absorbée
- C₂ : la quantité de liens formés entre l'eau et le polymère augmente ∧ avec la température ∧





Echantillon

40mm

40mm

410un

EMC C – Dépendance en température

Loi d'Arrhenius

$$D_{i} = D_{0,i} \exp\left(-\frac{E_{a_D_{i}}}{kT}\right) \qquad C_{i} = C_{0,i} \exp\left(-\frac{E_{a_C_{i}}}{kT}\right)$$

 $E_{a_{-}D_{i}}$: Energie d'activation du coefficient de diffusion (eV) $E_{a_{-}C_{i}}$: Energie d'activation de la concentration en humidité (eV) $C_{0,i}$ et $D_{0,i}$: Facteurs pré-exponentiels







Echantillon

40mm

40mm

410un





Séchage plus rapide à 125°C qu'à 70°C 1. D₃ augmente ∧ avec la température ∧ 2. D₄ indépendant de la température Que représentent les paramètres $M_{0,3}$ et $M_{0,4}$? $C_{0,3} = \frac{M_{0,3}}{V}$ *M*_{0,4} **C**_{0,4} =



erty of UNITED MONOLITHIC SEMICONDUCTORS and shall not be disclosed by the recipient to third party without the prior consent of UNITED MONOLITHIC SEMICONDUCTOR

EMC C - Absorption et désorption 70°C



 $C(1000h) = C_{tot} = C_1 + C_2$

 C_1 : Concentration d'eau « libre » \rightarrow Saturation de l'eau dans le volume libre

C2: Concentration en eau « liée »

Absor	otion	Désorption		
D₁ (mm²/s)	2,12.10 ⁻⁰⁶	D ₃ (mm²/s)	2,44.10 ⁻⁰⁶	
D ₂ (mm²/s)	1,60.10 ⁻⁰⁸	D ₄ (mm²/s)	2,09.10 ⁻⁰⁹	
C ₁ (mg/cm ³)	3,3 <	C_{0,3} (mg/cm³)	3,9	
C₂ (mg/cm ³)	2,7 >	• C_{0,4} (mg/cm ³)	2,1	
C _{tot} (mg/cm ³)	6	C ₀ (mg/cm ³)	6	

C_{0,4} : Est la quantité d'eau liée avec les liaisons les plus fortes



32

 $C_{0,3}$



Méthodologie de l'analyse de diffusion





34

Plaquettes QFN - Absorption





35

Echantillon













37

Plaquettes QFN - Désorption



\rightarrow Résultats pour les EMC A et B :

- → Augmenter la température 🖊 accélère la désorption 🥕 et fait baisser la quantité d'humidité résiduelle 😒
- → Entre 26% et 41% d'humidité résiduelle dans les plaquettes
 - > Due aux paramètres intrinsèques des EMC étudiés ou à la présence des interfaces ?







38

Méthodologie de l'analyse de diffusion





39

QFN - Absorption



■ A 25h, la 1^{ère} saturation est atteinte → Le volume libre de la résine est saturé d'humidité



→ L'humidité a atteint la puce





Synthèse - Diffusion

Les modèles de diffusion sont établis pour les trois résines.

Discussions pour les assemblages

- Les résultats en température sur les plaquettes et boitiers QFN suggèrent un autre mode de diffusion : influence des interfaces
- Présence d'humidité résiduelle pour les deux EMC

→ L'interaction des matériaux, même avec des matériaux hermétiques, doit être étudiée pour modéliser parfaitement la diffusion d'humidité dans les boitiers plastiques

Perspectives

- 1. Analyse de la diffusion d'humidité dans les résines A et B pures
- 2. Modélisation numérique de la diffusion d'humidité





- Introduction des travaux de thèse
- Analyse thermomécanique
- Mécanismes de défaillances : Impact de l'humidité sur le boitier plastique
 Bibliographie
- Méthodologie pour l'étude en humidité
- La diffusion d'humidité dans l'EMC et le boitier
- Le vieillissement du matériau plastique dû à l'absorption de l'humidité
 - Propriétés mécaniques
- Conclusion





Vieillissement du matériau plastique par l'humidité

Synthèse

- Avec l'absorption de l'humidité dans l'EMC /
 - Pas de variation du module d'élasticité avec l'humidité pour T < Tg</p>
 - Baisse de la résistance à la flexion > avec la présence d'humidité
 - Baisse de la zone de Tg \

Attention à la baisse de Tg

- Une durée prolongée à T > Tg peut mener à des dégradations irréversibles
 Signes d'avudation de l'EMC
 - \rightarrow Signes d'oxydation de l'EMC
 - Matériau plus rigide : module plus élevé
 - Matériau plus cassant : résistance plus faible







44

Etude de la diffusion de l'humidité dans les boitiers QFN

• Modèles de diffusion établis disponibles [7]

Perspectives : Etude et modélisation numérique de la diffusion de l'humidité par les interfaces et dans le boitier QFN

Vieillissement du matériau plastique par l'humidité

Modification des propriétés thermomécaniques

Perspective : Caractérisation de l'expansion par l'humidité pour modéliser numériquement la déformation hygromécanique

ims Bordeaux [7] Tomas, A., Frémont, H., Malbert, N., Neffati, M., & Lambert, B. (2023). "Moisture absorption and desorption in epoxy mould compounds: Characterization of Fickian and non-Fickian behaviours in complex packages." *Microelectronics Reliability*, 115088.















Merci de votre attention





[1] H. Frémont, G. Duchamp, A. Gracia, and F. Verdier, 'A methodological approach for predictive reliability: Practical case studies', *Microelectronics Reliability*, vol. 52, no. 12, Art. no. 12, Dec. 2012, doi: <u>10.1016/j.microrel.2012.07.016</u>.

[2] 'JEP122F - Failure Mechanisms and Models for Semiconductor Devices'. JEDEC, Nov. 2010.

[3] Roesch, W. J. (2006). Compound semiconductor activation energy in humidity. *Microelectronics Reliability*, *46*(8), 1238-1246.

[4] W. Feng, 'Caractérisation expérimentale et simulation physique des mécanismes de dégradation des interconnexions sans plomb dans les technologies d'assemblage a très forte densité d'intégration « boitier sur boitier » - Chapitre 4', thesis, Bordeaux 1, 2010. [Online]. Available: http://www.theses.fr/2010BOR14014

[5] H. Walter *et al.*, 'Moisture induced swelling in epoxy moulding compounds', in *2013 IEEE 63rd ECTC*, May 2013, pp. 1703–1708. doi: <u>10.1109/ECTC.2013.6575803</u>.

[6] M. S. Zhang, S. W. R. Lee, and X. J. Fan, 'Hygrothermal Delamination Analysis of Quad Flat No-Lead (QFN) Packages', in *Moisture Sensitivity of Plastic Packages of IC Devices*, in Micro- and Opto-Electronic Materials, Structures, and Systems. Boston, 2010. doi: 10.1007/978-1-4419-5719-1_15.

[7] Tomas, A., Frémont, H., Malbert, N., Neffati, M., & Lambert, B. (2023). "Moisture absorption and desorption in epoxy mould compounds: Characterization of Fickian and non-Fickian behaviours in complex packages." *Microelectronics Reliability*, 115088.





Contacts CFF : *cff@nae.fr*

Samuel CUTULLIC François BOUVRY

Geoffroy MARTIN Pierre-Alexandre PICTON

Severine COUPE







Notre site internet : Notre compte LinkedIn :

<u>Centre-francais-fiabilite</u> <u>Centre-francais-fiabilite</u>



