

PROPRETE DES CARTES ELECTRONIQUES INTRODUCTION

POURQUOI NETTOYER?

De façon évidente, on nettoie pour que ce soit propre ! La réponse paraît simple, trop simple même. En effet on ne sait pas toujours ce que recouvre la notion de propreté. Au Chapitre IV nous étudierons les méthodes de caractérisation de la propreté. Dun point de vue pragmatique, **propre** signifie que toute la contamination a été éliminée.

L'aspect esthétique n'est pas à négliger. Cependant une propreté *visuelle* n'est pas une garantie d'une élimination totale des contaminants susceptibles de gêner le fonctionnement des composants électroniques.

Les sources de contamination et les types de contaminants sont nombreux. Ceci sera passé en revue au Chapitre I

Selon les types de contaminants, il y a certains effets indésirables sur le matériel électronique. L'importance de ces effets est différente selon qu'il s'agit d'électronique grand public, de matériel informatique, d'électronique automobile, de matériel aéronautique ou spatial ou encore médical. La propreté est donc définie de différentes façons selon les types d'application.

Ainsi, il est préconisé d'établir un cahier des charges, dont le contenu doit considérer la durée de vie de l'équipement assemblé ainsi que les conditions de fonctionnement.

Certains contaminants sont isolants et empêchent le contact électrique (contacts enfichables, pointes de test, ...). C'est le cas des résines telles que la colophane.

D'autres contaminants entraînent des pertes d'isolement, surtout lorsqu'ils sont en présence d'humidité et ionisés. Ceci se traduit par des sons parasites dans les systèmes audio (ex. autoradios, téléphones portables, interphones par radio, ...) ou par des erreurs de transmission dans les appareils digitaux (informatique par exemple). Un défaut d'isolement peut avec le temps conduire à une véritable corrosion des pistes de circuit imprimé allant jusqu'à la coupure du conducteur. La détection de tels défauts est d'autant plus difficile qu'ils sont généralement aléatoires.

Au Chapitre II, nous étudierons les moyens de nettoyer en conformité avec les réglementations que nous passerons en revue au chapitre III.

Dans certains procédés d'assemblage en électronique, il n'est pas possible de procéder à un nettoyage final (par exemple, un assemblage par collage conducteur serait endommagé si on le nettoyait, quelque soit le solvant). Il en résulte que la propreté nécessaire doit être obtenue à chaque étape de la fabrication du matériel électronique:



depuis la puce de silicium jusqu'à l'assemblage final en passant par les circuits imprimés et les composants.

PROPRETE DES CARTES ELECTRONIQUES CHAPITRE I

Les sources de contamination et les types de contaminant.

Depuis la fabrication de la puce de silicium jusqu'à l'assemblage final d'un dispositif électronique, chaque étape ajoute un risque de contamination. La puce elle-même et les composants actifs ou passifs sont généralement fabriqués en salle blanche, ce qui limite le risque de contamination extérieure.

Mais les composants finis subiront des traitements superficiels destinés à améliorer la brasabilité. Ces traitements mettent en jeu des produits acides dont l'élimination totale n'est pas toujours facile.

La fabrication des circuits imprimés met en jeu des produits acides (ou quelquefois alcalins) tels que les solutions de placage électrolytique ou chimique, les agents de gravure, et les flux utilisés pour l'étamage à chaud (Voir l'article "Finitions des circuits imprimés" publié par le comité technique du GFIE et téléchargeable sur le site www.gfie.fr).

Les traitements mécaniques des circuits imprimés (perçage, détournage, ...) sont susceptibles d'engendrer des poussières qui peuvent se déposer sur la plaque de circuit imprimé.

L'environnement de l'atelier de fabrication peut aussi contribuer à la pollution des circuits imprimés (poussières, traces d'huiles, de graisse, ...). Enfin la pollution humaine (traces de doigts, transpiration, ...) présente un risque généralement mal maîtrisé.

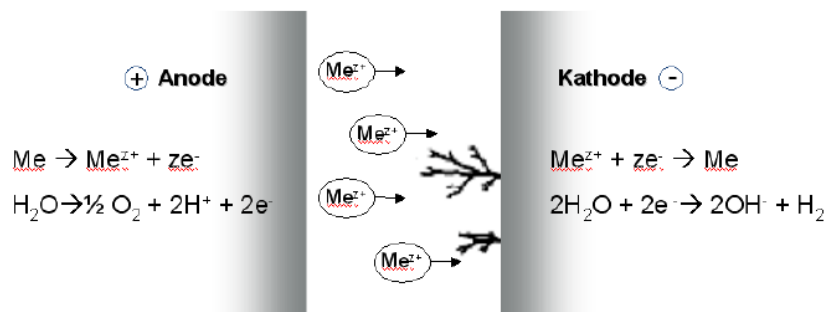
Ainsi, contrairement à l'environnement « protégé » d'une salle blanche, celui de la fabrication des CI et de l'assemblage est propice à une contamination de l'environnement.

Et il y a finalement l'assemblage où on utilise un *flux* qui, même s'il est décrit comme **no clean**, réagit avec les métaux en présence et de ce fait peut laisser des résidus. La pollution de l'environnement après assemblage présente également un risque. A bien noter que la technologie NO CLEAN ne signifie pas sans résidus, et ce quelque soit la nature du flux.

Il serait illusoire de vouloir caractériser tous les contaminants étant donné qu'ils sont présents en très petites quantités (généralement en dessous des limites de détection) et que, outre les produits initiaux, on trouve des produits de réaction (de nature variable selon les facteurs externes tels que la température, l'humidité et la durée d'exposition). Il est plus raisonnable d'avoir une approche pragmatique et de classer les contaminants en isolants électriques et ionisables, c'est-à-dire susceptibles de devenir conducteurs électriques en présence d'humidité.

Les contaminants isolants (exemple colophane, poussière de verre ou d'époxy, résines,...) ne sont gênants que lorsque l'on désire faire un contact électrique (contact enfichable, pointes de test, ...) mais sont susceptibles de masquer des résidus ionisables. Les effets de ces derniers sont connus (fuites de courant allant jusqu'au court-circuit franc).

Schéma de réaction électrolytique/oxydo-réduction =

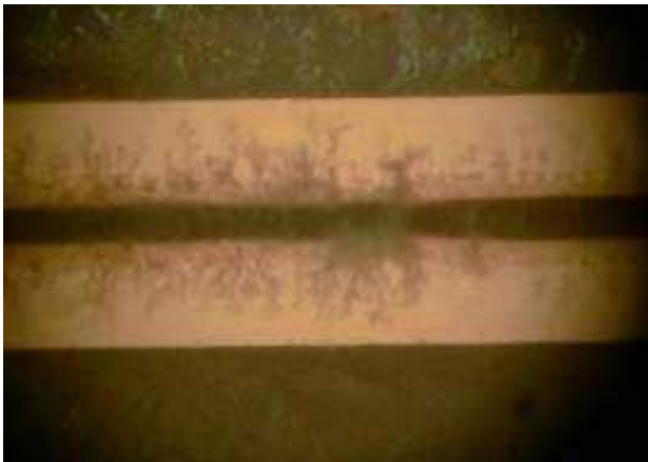


Me= Métal

Kathode = Cathode

A la cathode se produit la réduction des ions métalliques (Me^{z+}) en Metal (Me comme élément) et la formation de dendrites (oxydation électrochimique).

Photo de dendrite=



Le choix du procédé de nettoyage, c'est-à-dire le choix du ou des solvants et de l'équipement pour les mettre en œuvre, doit être rigoureusement sélectionné afin d'éliminer toute la contamination. C'est ce qui est traité au Chapitre II.



PROPRETE DES CARTES ELECTRONIQUES Chapitre II

LES PROCEDES

Il existe différents procédés de nettoyage qui ont été développés pour remplacer les anciennes technologies, à savoir les solutions à base de solvants chlorés comme les CFC (chlorofluorocarbones), les HCFC (hydro chlorofluorocarbones), etc. Ainsi, ces nouveaux procédés sont à base de solvants non chlorés avec ou sans présence d'eau comme agent de rinçage.

Le point critique est l'état de propreté du circuit assemblé car influent sur la fiabilité du dispositif électronique.

De façon à maîtriser la propreté d'un CI, il est important de contrôler les paramètres influant aux différentes étapes de la fabrication.

Ainsi, deux familles de paramètres sont identifiées = les paramètres AMONT et AVAL.

Paramètres AMONT : ils concernent les éléments intervenant AVANT l'assemblage : substrats et polluants

Formulation:

- Composition du flux = environ 15 composants dont les activateurs, les solvants, les agents thixotropiques et autres agents de réaction
- Les polluants « non maîtrisés » provenant de l'environnement de production et des précédentes étapes de fabrication

Application:

- Profils de refusion
- Nature des substrats (design des composants et des circuits, taille, géométrie, constituants de nature métallique..).
- Temps entre la refusion et le nettoyage.

Paramètres AVAL : ils concernent les facteurs du procédé de nettoyage

Formulation:

Différentes chimies utilisées =

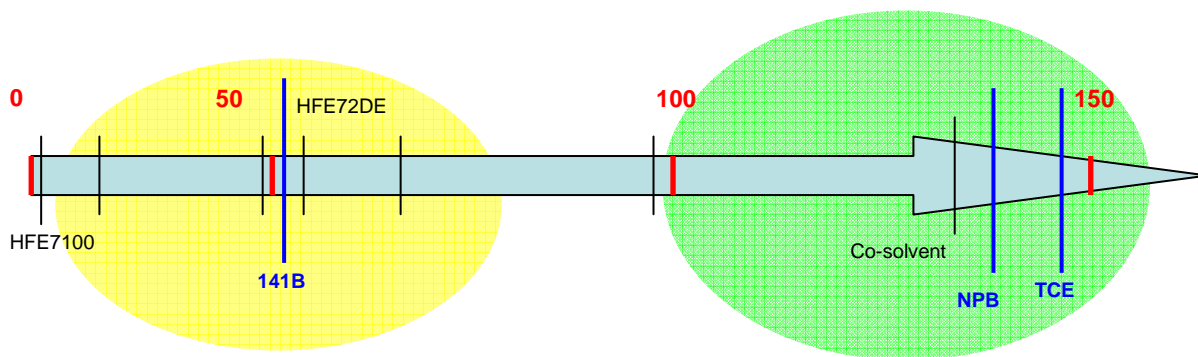
- Compositions non ou peu miscibles à l'eau tels que les hydrocarbures ou alcools modifiés ou solvants halogénés

Ces agents de nettoyage exempts d'eau sont communément classifiés par leur indice Kb (Kauri Butanol). Cet indice utilisé internationalement mesure le pouvoir solvant (selon ASTM D1133) en comparant l'aptitude à dissoudre de la résine kauri présente dans une solution de butanol sans générer de trouble.

Plus la valeur de l'indice Kb est élevée, plus le pouvoir solvant l'est aussi. Les solvants ayant un indice entre 10 et 20 sont ainsi dits « légers ».

Quelques valeurs de Kb =

- o HCFC 141b (complètement interdit d'utilisation par le protocole de MONTREAL depuis 2008 dans la Communauté Européenne) = 56
- o HFC/HFE + Co-solvant (HC) > 150



Nota bene =

- 141b = produit COV + Protocole de Montréal
- TCE (Trichloroethylene), classifié CMR 2 (R45)
- NPB (n-Bromo Propane), classifié CMR 2 (toxique, R60, R63)

- Formulations totalement ou partiellement solubles à l'eau :

L'eau étant un solvant par définition, et de surcroît le meilleur solvant pour les contaminants ionisables, les solutions aqueuses sont formulées à partir d'eau comme principal ingrédient. Ces compositions contiennent:

- Des agents alcalins qui permettent, à une certaine température, la saponification des résidus de substances organiques.
- Des solvants donnant des propriétés hydrophiles et lipophiles qui permettent une action soluble de composants organiques dans un environnement aqueux. Ces solvants sont en général à base d'alcool.
- Des agents tensioactifs qui diminuent la tension superficielle et augmentent la vitesse à laquelle les polluants sont enlevés.

Chaque formulation est caractérisée par son pH et peut être utilisée:

- PURE en permettant la solubilisation rapide des résidus organiques non nettoyable à l'eau.
- EN DILUTION conduisant au mécanisme de saponification des polluants organiques résiduels sur le PCB.

REMARQUE =

Un exemple pratique est résumé dans le tableau suivant:

Produit de Nettoyage	Contrôle Visuel	Contamination ionique
Produit A	Résidu blanc	0.211 µg/cm ²
Produit B	Propre	0.223 µg/cm ²

A procédé et cycle de nettoyage identiques, les résultats de contamination ionique ci-dessus sont similaires et pourtant uniquement un des deux produits de nettoyage utilisé permet d'obtenir un résultat visuel acceptable.

Pour éliminer ces résidus, les autres variables (à savoir les paramètres du procédé de nettoyage) doivent être ajustées pour avoir les résultats de nettoyage optimums.

Application:

Les paramètres du procédé de nettoyage sont:

- le nombre de cuves
- la concentration du bain de nettoyage
- les paramètres physico-chimiques (taux de saturation, indice d'acide...) du bain
- la température du bain
- le temps du contact

- le type d'action/agitation mécanique

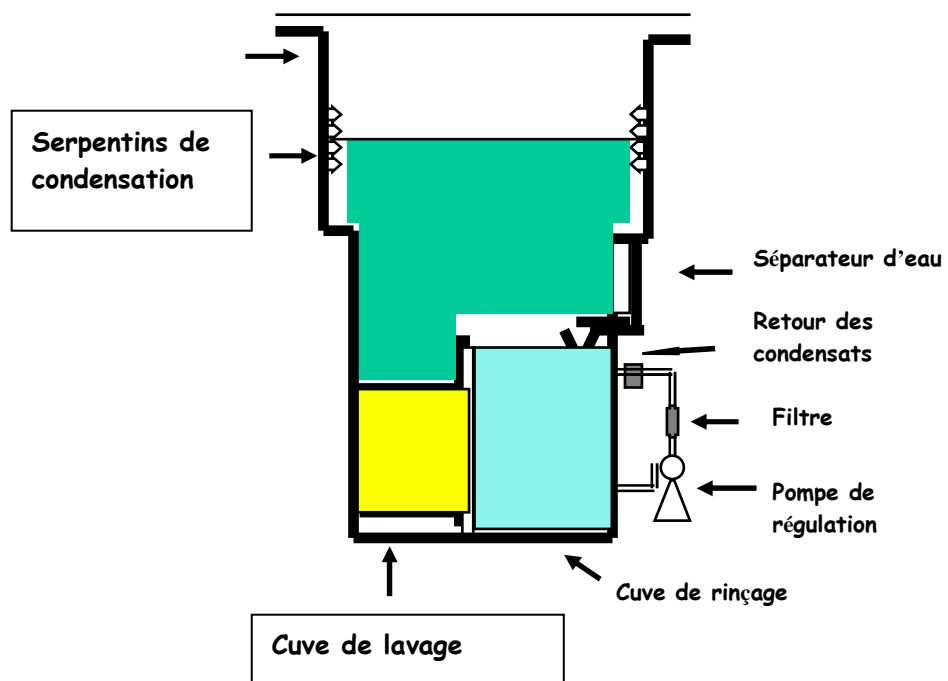
Pour optimiser les performances du nettoyage, il est conseillé de trouver un procédé de nettoyage alliant l'action chimique et l'action mécanique lors de sa mise en œuvre.

Ainsi il existe comme procédé industriel de nettoyage des systèmes automatiques de mise en œuvre au trempé ou en aspersion.

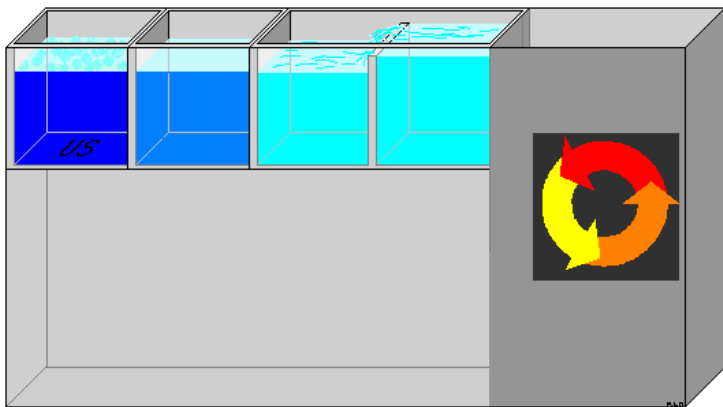
- PROCÉDE DE NETTOYAGE AU TREMPÉ:
 - multi cuves de travail dans lesquelles les CI sont immergés dans les bains
 - o Avec ou sans US
 - o Avec ou sans jets immergés

Les solutions au trempé se déclinent sous deux formes:

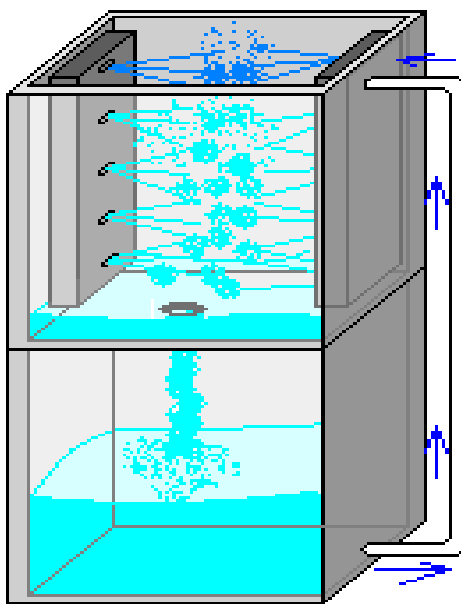
- Procédé phase vapeur = à base de solvant en ébullition



- Procédé au trempé = à base de détergent



- PROCÉDE DE NETTOYAGE PAR ASPERSION: mono chambre de travail dans laquelle les CI sont aspergés



Conclusion

- Les paramètres en amont et en aval sont tous importants.
- Plus ces paramètres sont sous contrôle, plus les résultats peuvent être optimisés.
- Il n'y a pas de solution universelle car chaque ligne de production est différente

PROPRETE DES CARTES ELECTRONIQUES

CHAPITRE III = REGLEMENTATION

A ce jour, la réglementation liée aux produits de nettoyage résulte des principaux textes législatifs suivants:

HCFC 141b et Le Protocole de Montréal

Responsable de la destruction de la couche d'ozone, les CFC (Chloro Fluoro Carbones) sont interdits de fabrication et d'utilisation depuis 1996 dans les pays développés et 2002 dans les pays en développement.

Toujours dans le cadre du Protocole de Montréal, les composés de substitutions tels les HCFC (Hydro Chloro Fluoro Carbones) ont vu leur utilisation réglementée. Ces substances étant elles-mêmes potentiellement nuisibles pour la couche d'ozone, les HCFC ont été progressivement éliminés.

La révision de la directive CE 3094/95 stipule dans son article 5 l'interdiction des HCFC comme solvants pour le nettoyage de pièces et dans tous les usages solvants, depuis le 1^{er} janvier 2002. A l'exception du nettoyage de précision de composants électriques ou autres dans les applications aérospatiale et aéronautique pour lequel l'interdiction entrera en vigueur au 31 décembre 2008.

C 123/28

EN

Official Journal of the European Communities

4.5.1999

COMMON POSITION (EC) No 19/1999

adopted by the Council on 23 February 1999

with a view to adopting Council Regulation (EC) No .../1999 of ... on substances that deplete the ozone layer

(1999/C 123/03)

Ci-dessous sont repris (Annexe I) un certain nombre de substances chlorées dont le CFC 113, le HCFC 141b, avec indication de leur ODP (Ozone Depleting Potential = Potentiel de Destruction de l'Ozone)

ANNEX I

Controlled substances covered

Group	Substance	Ozone-depleting potential ⁽¹⁾
Group I	CFCl ₃ (CFC-11)	1,0
	CF ₂ Cl ₂ (CFC-12)	1,0
	C ₂ F ₃ Cl ₃ (CFC-113)	0,8
	C ₂ F ₄ Cl ₂ (CFC-114)	1,0
	C ₂ F ₅ Cl (CFC-115)	0,6
Group II	CF ₃ Cl (CFC-13)	1,0
	C ₂ FCl ₅ (CFC-111)	1,0
	C ₂ F ₂ Cl ₄ (CFC-112)	1,0
	C ₃ FCl ₇ (CFC-211)	1,0
	C ₃ F ₂ Cl ₆ (CFC-212)	1,0
	C ₃ F ₃ Cl ₅ (CFC-213)	1,0
	C ₃ F ₄ Cl ₄ (CFC-214)	1,0
	C ₃ F ₅ Cl ₃ (CFC-215)	1,0
	C ₃ F ₆ Cl ₂ (CFC-216)	1,0
	C ₃ F ₇ Cl (CFC-217)	1,0
	Group III	CF ₂ BrCl (halon-1211)
CF ₃ Br (halon-1301)		10,0
C ₂ F ₄ Br ₂ (halon-2402)		6,0
Group IV	CCl ₄ (carbon tetrachloride)	1,1
Group V	C ₂ H ₃ Cl ₃ ⁽²⁾ (1,1,1-trichloroethane)	0,1
Group VI	CH ₃ Br (methyl bromide)	0,6
Group VII	CHFBr ₂	1,00

- **Le protocole de Kyoto** est un traité international proposant un calendrier de réduction des émissions de gaz à effet de serre, qui sont considérés comme une cause possible du réchauffement planétaire. Il a été négocié à Kyoto, en décembre 1997.

Dans ce Protocole, 38 pays industrialisés s'obligent à abaisser leurs émissions de gaz à effet de serre entre 2008 et 2012 à des niveaux inférieurs de 5,2 % à ceux de 1990

Les composés chimiques dont les émissions sont concernées sont:

Le dioxyde de carbone (CO₂);

L'hexafluorure de soufre (SF₆).

Les hydrofluorocarbones (HFC);

Les hydrocarbures perfluorés (PFC);

Le méthane (CH₄);

L'oxyde nitreux (N₂O).



- Révision de la Directive sur les Composés Organiques Volatiles 1999/13/EC:

DIRECTIVE 2004/42/CE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL

of 21 April 2004

on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain paints and varnishes and vehicle refinishing products and amending Directive 1999/13/EC

- La directive européenne sur les solvants CMR soit Carcinogènes, Mutagènes et Toxiques pour la reproduction et sa transcription dans les textes nationaux (en France, Décret CMR 2001/97 du 1er février 2001) indique l'obligation de substitution de ce type de solvants partout où cela est possible et dans les meilleurs délais comme le décrivent les paragraphes 37-42 de la directive Européenne 199/13/EC. Les produits comportant les phrases de risques R40, R45, R46, R49, R60, R61 sont soumis à cette réglementation, ce qui inclut des solvants comme le Trichloréthylène et le 1-Bromopropane (nPB).

- Législation **REACH** (Registration, Evaluation Authorization of CHemicals) est une Directive Européenne visant à analyser les risques lors de l'usage de substances produites ou importées à plus de 1 tonne par an en Europe, et ce durant une période de 11 ans à partir du 1^{er} juillet 2007.

En conclusion de ce bref volet réglementaire, les nombreux textes législatifs sont en perpétuelle évolution, parfois contradictoires... Ainsi, il est nécessaire de faire appel à des sociétés compétentes dans le domaine.

Chapitre IV

Caractérisation de la propreté: normes, méthodes et mesures.

Comme il est dit ci-dessus, le propreté d'un sous-ensemble électronique est primordiale pour que son fonctionnement soit fiable. La contamination peut être visible (traces blanches par exemple) mais c'est aussi la contamination non visible par les moyens habituels -loupe, binoculaire, microscope) qui peut être ionisable et entraîner des dysfonctionnements électroniques.

Depuis la mise en application de la réglementation Européenne ROHS, les problèmes de nettoyage et la propreté nécessaire ont augmenté.

CONTAMINATION IONIQUE ET **SANS PLOMB.**

Les alliages sans plomb nécessitent des températures de brasage beaucoup plus élevées que les eutectiques (Sn/Pb) habituels, ce qui entraîne des évolutions importantes sur la nature des flux à utiliser.

Ces flux sont souvent plus actifs et doivent résister à des nouveaux profils de température. Ils présentent donc plus de risques que ceux utilisés précédemment, et la tentation est grande de choisir des paramètres de production permettant de réaliser des joints de brasage brillants

La décontamination ionique en surface des circuits imprimés va donc être plus critique avant vernissage final des cartes, et sa mesure permet, non seulement de quantifier ces risques, mais aussi de maîtriser les procédés d'assemblage en fonction des risques et de projeter la durée de vie ou la fiabilité des sous ensembles finis.

La contamination ionique est un véritable indicateur qualité, facile à mettre en place, et la propreté du CI détermine:

- La régularité quantitative du vernis (conformal coating) à déposer, tant en épaisseur qu'en planéité.
- La qualité et la continuité dans le temps des performances électriques.
- La fiabilité du CI

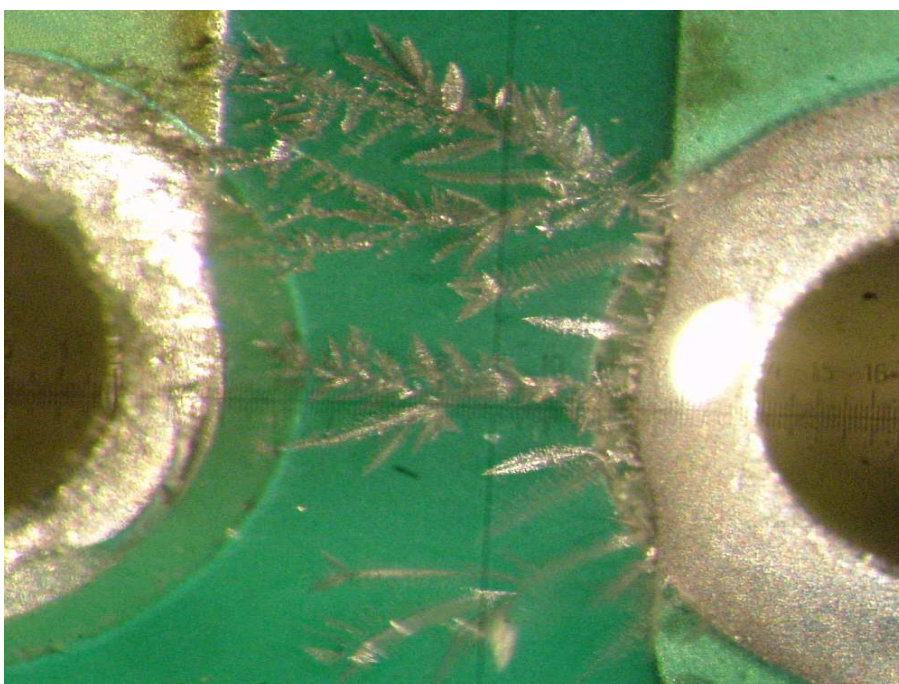
EFFET DE LA CONTAMINATION IONIQUE ET RoHS

Dans un environnement humide, la corrosion est un phénomène courant. Grâce à l'humidité, les ions plus ou moins mobiles deviennent un électrolyte qui sous l'influence des champs électriques présents sur le circuit entraîne des pertes d'isollements et la formation de dendrites, (voir schéma au chapitre 1).

Exemples de corrosion sur Circuits et sur Composants

- **DENDRITES**

Les dendrites sont les phénomènes les plus remarquables de par leur arborescence fractale caractéristique. L'effet des champs électriques entre les pistes organise la position des résidus donnant ainsi des constructions en forme « d'éclair ». Ces dépôts fonctionnent ensuite comme des ponts salins conducteurs en facilitant les courants de fuite donc les corrosions et les pertes en isolement.



Dendrites entre deux trous métallisés



Dendrites sur composant

Les résidus les plus corrosifs sont souvent transparents et ne sont pas facilement décelables à l'œil nu, d'autant plus que ce sont des quantités très faibles, de l'ordre du micro-gramme, mais qui suffisent à générer des corrosions

Historique de la mesure de la contamination Ionique et Normes.

La première Norme sur la contamination est une Norme Militaire Américaine apparue en 1972 et porte le numéro bien connu MIL-P 28809, et sert toujours de référence bien qu'elle ait été ensuite supplantée par d'autres Normes, et spécifications internes aux Entreprises.

Cette première norme était manuelle, et consistait à nettoyer un circuit électronique, à l'aide d'une pissette remplie d'une solution eau/isopropanol.

Ce test ne donnait qu'un bilan qualitatif et non quantitatif car il dépendait simplement de la valeur de

résistivité en fin de test et les conditions de test étaient difficilement reproductibles ou répétables

Cette norme était basée sur des travaux réalisés par le Naval Avionics in Indianapolis (NAFI)

En 1978, la méthode fut améliorée en recherchant une corrélation entre une contamination artificielle réalisée à l'aide de Chlorure de Sodium (ClNa) et les niveaux de résistivité mesurés sur les circuits brasés. En d'autres mots quelle quantité de chlorure de sodium créerait le même niveau de défaut que des résidus sur une carte réelle.

Le Chlorure de Sodium bien connu pour ces effets corrodants, a été logiquement choisi comme référence

UNITE DE CONTAMINATION.

A la suite de ces essais on a introduit une unité relative de mesure :

Le micro gramme équivalent de chlorure de sodium par pouce/carre, soit $\mu\text{g Eq NaCl/pouce}^2$, converti en $\mu\text{g/cm}^2$ pour notre système métrique

Dans la norme **MIL-P-28809**, un seuil de contamination a été déterminé à $1,56 \mu\text{gEq NaCl/inch}^2$ comme limite acceptable pour des cartes brasées avec des flux colophaniques et nettoyés à l'aide de solvants CFC, à une température de 25°C , ce qui en Europe devient à 20°C , $1,31 \mu\text{g Eq NaCl/cm}^2$

DEF STD 10/03

En 1986, le ministère britannique de la Défense publie sa propre norme de contamination DEF STD 10/03 en utilisant une solution 50/50 eau / isopropanol (propanol 2) et un seuil limite à $1.5 \mu\text{g Eq NaCl}$ à 20°C

A la suite de l'arrêt de l'utilisation des CFC La norme **MIL-STD – 28809** fut remaniée et reprise dans la norme MIL-STD-2000A; Les conditions de mesure sont sensiblement les mêmes

Solutions d'extraction

Le choix des solutions de test sont 50/50 ou 75/25 eau-propanol selon les différentes normes. Il n'est pas nécessaire d'extraire d'autres résidus par l'usage d'autres solvants, le but de la mesure étant de déceler les résidus susceptibles de se manifester en cas d'humidité dans le temps.

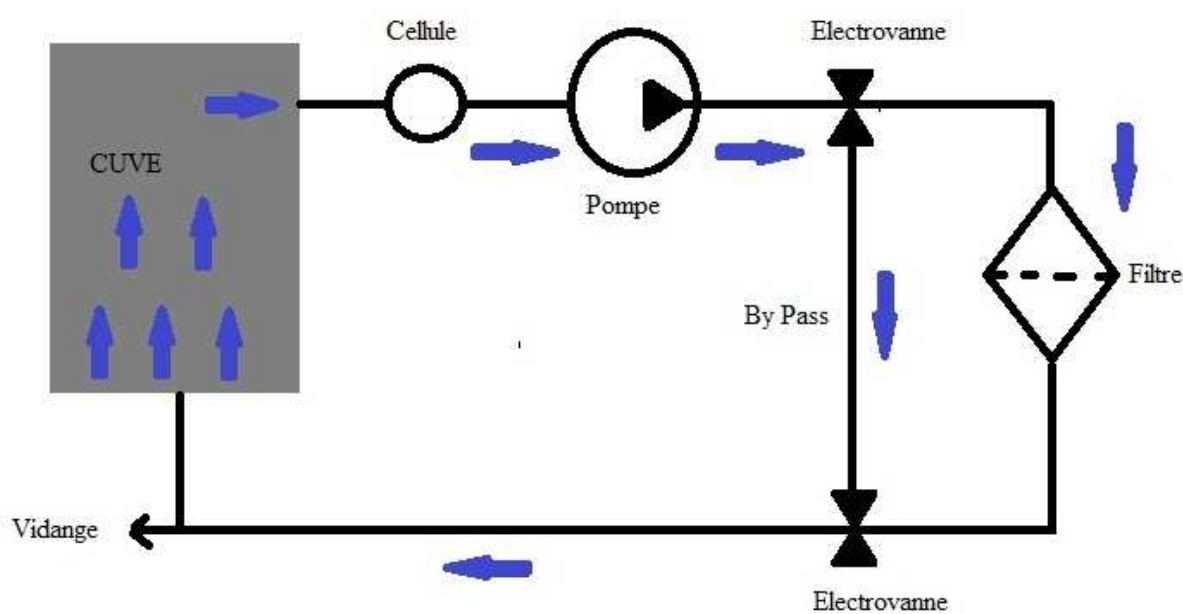
Instruments de mesure de la contamination ionisable.

Actuellement il existe plusieurs instruments pour mesurer la contamination ionisable. Ceci est prévu dans la MIL-Std. 28809 qui indique que la contamination ionique admissible dépend de l'instrument utilisé pour sa mesure.

Le procédé de mesure le plus couramment utilisé correspond à une méthode dite statique: Dans son principe, le circuit (ou tout autre élément dont on veut mesurer la pollution ionique, par exemple composants), est immergé dans le mélange eau/alcool. L'appareil enregistre la variation de la résistivité en fonction du temps. Lorsqu'une valeur stable est obtenue, ou au bout d'un certain temps, l'informatique associée calcule la contamination ionique en $\mu\text{g Eq NaCl}/\text{cm}^2$.

Lorsque la mesure est réalisée, l'appareil recycle le liquide de contrôle (mélange eau/alcool) grâce à une pompe qui le fait passer dans un filtre de désionisation. L'appareil est alors prêt pour une nouvelle mesure.

SCHEMA DE PRINCIPE CONTAMINOMETRE





Documents Metronelec

CONTAMINOMETRE avec accessoires

S.I.R.

Une autre façon de s'assurer de la propreté ionique est de faire une mesure de résistivité superficielle (en anglais Surface Insulation Resistance = SIR).

De toute évidence, ceci ne peut se faire que sur un coupon de test prévu à cet effet, sur un circuit sans composant.

Il faut absolument contrôler pendant la mesure la température ambiante et l'humidité, les deux principaux facteurs susceptibles de modifier les valeurs obtenues.

On applique une tension continue de polarisation pendant la mesure qui se fait également en courant continu.

L'échantillon peut avoir au préalable été soumis à un cycle thermique (chaleur humide, par exemple 85% humidité relative à 85°C).

Ces contraintes impliquent que les mesures soient effectuées en laboratoire et non directement sur la chaîne de production.

La mesure de la SIR est surtout utilisée pour qualifier les flux ou comparer les produits ou procédés de nettoyage.

Dans le cas du contrôle des circuits câblés par cette méthode, on prévoit une "bande test" détachable sur les circuits. Cette bande test aura subi le même traitement que l'ensemble du circuit et la mesure de sa résistivité superficielle sera représentative de la propreté du circuit. Il n'existe à notre connaissance pas de norme internationalement reconnue pour les valeurs de SIR, mais seulement des spécifications internes dans certaines entreprises.

En résumé, pour obtenir une évaluation de la propreté d'un circuit imprimé, il faut:

- Effectuer un contrôle visuel (pas de trace apparente)
- Choisir le référentiel adapté (norme ou spécification interne).
- Utiliser un appareil de mesure adapté (dimension de la cuve de contrôle suffisamment grande pour contenir l'échantillon à mesurer, mais contenant un volume de liquide aussi faible que possible pour réduire la durée de la mesure à un minimum).
- Eventuellement corréler la mesure de contamination ionique aux résultats d'un test SIR effectué en laboratoire.

Mais dans tous les cas, selon un expert:

"L'important c'est que ce soit propre !"