

PBA ontwerp- en realisatieproblematiek in het RoHS tijdperk

Bits & Chips Hardware Conference 2010
17 juni 2010

Geert Willems
imec
EDM programma



Inhoud

1. RoHS en PBA: wat is er veranderd sinds 2006?
2. De PBA realisatieketen: wie doet wat?
3. Wat er kan mislopen...
4. Wat doen we er aan?
Wetenschappelijke aanpak van PBA realisatie

1. Wat is er veranderd sinds 2006?

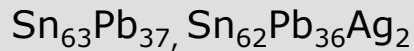
1 juli 2006: RoHS verbiedt lood in heel wat elektronica

- Loodvrij solderen leidt tot een grootschalige, opgelegde verandering in de elektronische industrie op korte termijn: *een revolutie*.
- De verandering beperkt zich niet tot de assemblagefabriek maar heeft een grote impact op de totale toeleveringsketen en niet in het minst op het ontwerp.
- Nog steeds is de elektronische toeleveringsketen - vooral de OEM die de keten aanstuurt - onvoldoende bewust van de impact van RoHS en onvoldoende gewapend om de uitdagingen het hoofd te bieden.
- Er komt een aanpassing van RoHS met belangrijke wijzigingen! Wees voorbereid!

1. Wat is er veranderd sinds 2006? Solderen

SnPb Era

Soldeer: Tm 179-183°C



Reflow-solderen:

205°C - 235°C

typisch: 215°C

procesvenster: 30°C

Golfsolderen

245°C-255°C

RoHS Era

Soldeer: Tm *199-**210-217-227°C

-SAC: $\text{SnAg}_3\text{Cu}_{.5}$, $\text{SnAg}_4\text{Cu}_{.7}$, $\text{SnAg}_{3.8}\text{Cu}_{.7}$

-Laag Ag SAC: SACX, $\text{SnAg}_1\text{Cu}_{.5}$

-SnCu legering

-*SnZn, SnBiZn

-**SnAgBi

Reflow-solderen:

SAC: 232°C - 245°C (260°C)

typisch: 240-245°C (+25-30°C)

procesvenster: 13°C (28°C)

Golfsolderen

260°C-270°C



- Meer variatie in legeringen
- Hogere temperaturen
- Kleinere procesvenster

1. Wat is er veranderd sinds 2006?

Componenten

SnPb Era

IC verpakkingen

J-STD-20 kwalificatie

Tmax: 220°C-235°C



Terminaalafwerking

SnPb3-10%, NiPdAu

Passieve componenten:
NiAu, NiSn, Ag, AgPd,...

BGA balls

Sn₆₃Pb₃₇, Sn₁₀Pb₉₀ (CBGA)

RoHS Era

IC verpakkingen: nieuwe materialen

J-STD-20D.1 kwalificatie

Tmax: 245°C-250°C-260°C

Non-IC:

soldeerprocescompatibiliteit

J-STD-075 kwalificatie (augustus 2008)

Process Sensitivity Level PSL: W3A, R6N

Toepassing?

Terminaalafwerking: loodvrij

Zuiver Sn (whiskers), SnBi (whisker, SnPb compatibiliteit), **NiPdAu** (kost, beschikbaarheid), SnAg, NiSn, SnAgCu, Ag, AgPd,...

Anti-whisker behandeling en test

Procesgevoeligheid (MSL,PSL) en terminaalmetallurgie zijn essentiële ontwerpparameters geworden.

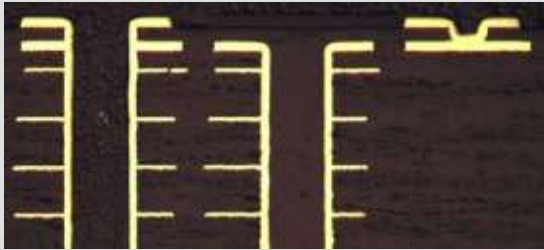
1. Wat is er veranderd sinds 2006? Printed Circuit Board

SnPb Era

Laminaat (standaard)

FR4 Tg=130°C-140°C

Hoog Tg FR4 Tg tot 180°C



Afwerking

SnPb HASL

ENIG NiAu

OSP



RoHS Era

Laminaat (Loodvrij soldeer compatiebel)

Delaminatie, via cracking, CAF,...

Hoge Tg is GEEN oplossing.

Grote variatie aan nieuwe FR4-type materialen met verschillende thermische performantie

12 loodvrij compatiebele FR4 types in IPC-4101C.

Afwerking: grote variatie

Geen ultieme afwerking

De sterke toename van het gebruik van **ENIG NiAu** in een loodvrije soldeerconfiguratie leidt tot ernstige betrouwbaarheidsrisico's!

De PCB wordt de zwakke schakel. Laminaatkeuze en soldeerbare afwerking zijn kritische ontwerpparameters.

1. Wat is er veranderd sinds 2006? Assemblage en toeleveringsketen

SnPb Era

Component ID

Functioneel

Verpakkingstype



Traceerbaarheid

Alleen voor specifieke toepassingen

Assemblage

Eén
soldeer
Eén

RoHS Era

Component ID

Functioneel & verpakking

RoHS, RoHS5 (telecom), non-RoHS, non-EU RoHS

SnPb soldeerbaar, loodvrij SAC soldeerbaar.
Applicatie specifieke compatibiliteitsvereisten.

“Green” components, loodvrije componenten,...

Traceerbaarheid

Een algemene vereiste: legaal & kwaliteit.
Niet gerealiseerd!

Assemblage

SnPb soldeer plus één of meer loodvrije legeringen.

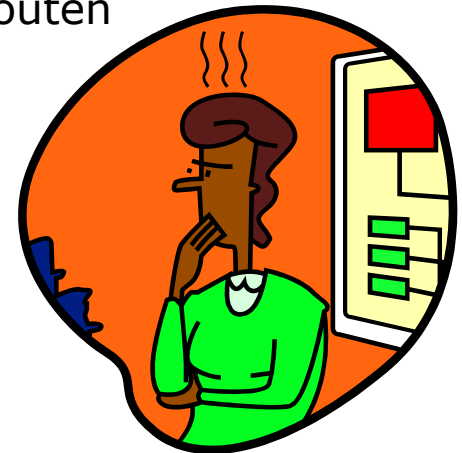
- **RoHS ≠ loodvrij ≠ loodvrij soldeerbaar**
- **Traceerbaarheid is vereist maar niet gerealiseerd.**
- **Veel meer parameters per component:**
Complexere identificatie – complexere logistiek

1. Wat is er veranderd sinds 2006?

Samenvatting

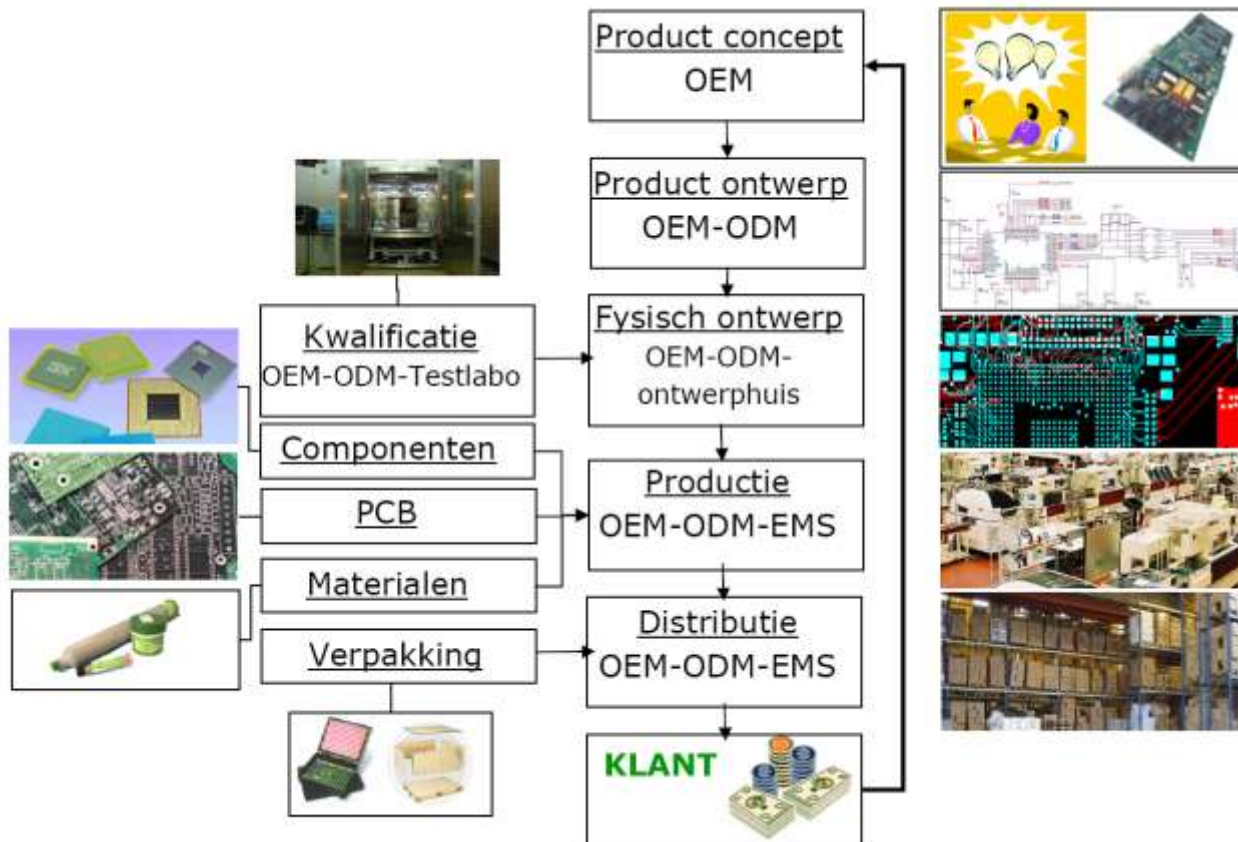
PBA ontwerp en productie is:

- Heel wat complexer geworden met veel meer parameters die gecontroleerd moeten worden.
- Heel wat kritischer geworden door de hogere temperaturen en het kleinere procesvenster.
- Met een beduidend hoger kans op productfaling door:
 - Versterkt falingsmechanismen (vermoeiing, via-cracking, delamination,...)
 - Nieuwe falingsmechanismen (whisker, kirkendall voiding, pad cratering...)
 - Verschuiving van falingsgebied: van soldeerverbinding naar de omgeving van de soldeerverbinding.
 - Identificatie en traceringsfouten wegens menselijke fouten en onaangepaste MRP systemen.
 - Toenemend probleem van vervalste componenten.
 - De steile leercurve waar we nog lang niet door zijn.
- ... en nog heel wat onbekenden.



2. De PBA realisatieketen: wie doet wat?

PBA realisation



Kenmerken

- Veel spelers
- Internationaal
- Zeer complex
- Versplinterde verantwoordelijkheid
- Weinig academische ondersteuning
- Geen ingenieursopleidingen op PBA niveau

Gevolg

- Zwakke PCB/PBA productspecificatie
- Zwakke controle van de toeleveringsketen
- Ontwikkeling van ontwerprichtlijnen is stilgevallen.

2. De PBA realisatieketen: wie doet wat?

De praktijk

- OEM *BestProduct* definieert de functionaliteit van een nieuw elektronisch product. *BestProduct* ontwerpt het elektrisch schema van de "moederkaart" en specificeert kritische componenten.
- Layout moederkaart wordt uitbesteed aan ODM *CreateIt* evenals het volledige ontwerp van een aantal ondersteunende PBA.
- ODM *CreateIt* besteedt de PCB fabricage uit aan PCB plant *Print*.
- De PCB assemblage wordt door *CreateIt* uitbesteed aan EMS *StuffIt*.
- *StuffIt* betreft componenten van verschillende leveranciers inbegrepen component brooker *GetItAll*.
- De kritische componenten (kost, leveringstijd, IP) worden door OEM *BestProduct* besteld en geleverd aan ODM *CreateIt* die vervolgens de verschillende *StuffIt* PBA plants bevoorraadt.
- Functionele test van de "moederkaart" gebeurt door OEM *BestProduct* ter bescherming van haar intellectuele eigendom (IP).
- Falende moederkaarten en "field"-falingen worden naar een West-Europese vestiging van EMS *StuffIt* verstuurd voor herstelling.
- ODM *CreateIt* is verantwoordelijk voor "Engineering Change Orders".

2. De PBA realisatieketen: wie doet wat?

De praktijk

Vraag: Wie maakt de spelregels?

- Wie specificeert wat? (geheel of gedeeltelijk)
 - PCB (*BestProduct*, *CreateIt*, *Print*, *StuffIt*)?
 - Componenten (*BestProduct*, *CreateIt*, *StuffIt*, *GetItAll*)?
 - Assemblage materialen (*BestProduct*, *CreateIt*, *StuffIt*)?
 - Assemblage (*BestProduct*, *CreateIt*, *StuffIt*)?
 - Betrouwbaarheidsvereisten in relatie tot de operationele werkingsomstandigheden (*BestProduct*, *CreateIt*, *Print*, *StuffIt*)?
- Zijn er ondubbelzinnige afspraken gemaakt?
- Is er op de juiste plaats de juiste kennis aanwezig?
- Hoe controleren dat aan de specificaties worden voldaan?
- Communicatie tussen de schakels?

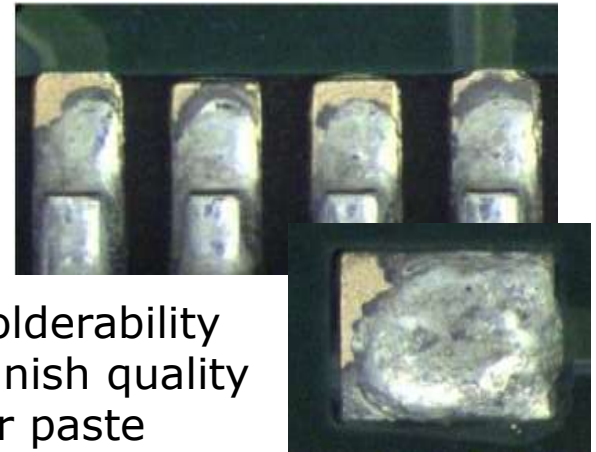


3. Wat er kan mislopen...

In assemblage: Yield en kwaliteit



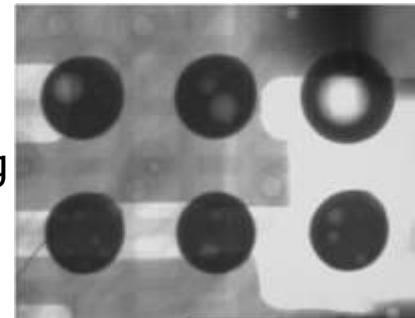
- Poor quality
- Components
 - PCB
 - Assembly process
 - Design



- Poor solderability
- PCB finish quality
 - Solder paste
 - Storage conditions



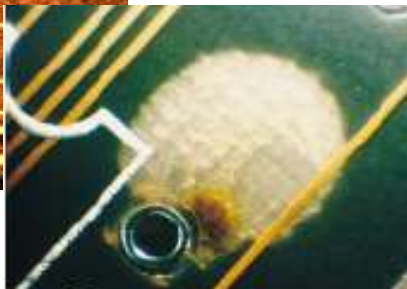
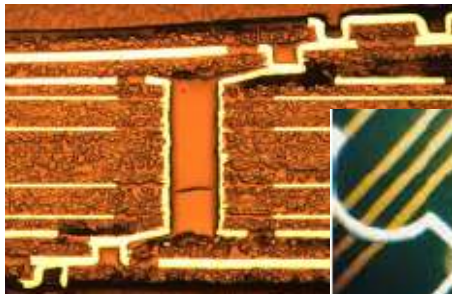
- Through-hole filling
- Solder process
 - Solderability of component or PCB



- BGA voiding
- Reflow process
 - Solder paste
 - PCB design

3. Wat er kan mislopen...

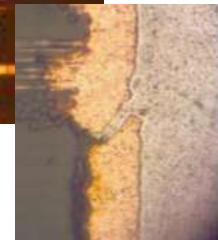
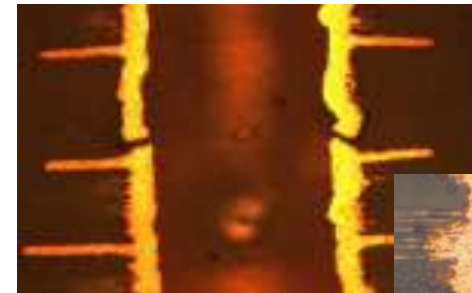
In assemblage: beschadigde PBA



Delamination

- PCB lead-free compatibility
- Process: overheating

PCB



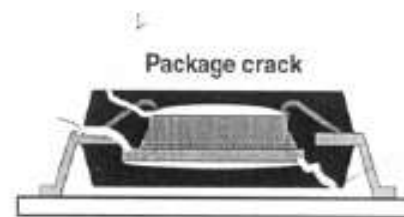
Via cracking

- PCB lead-free compatibility
- Process: overheating
- Excessive # repair cycles

Component



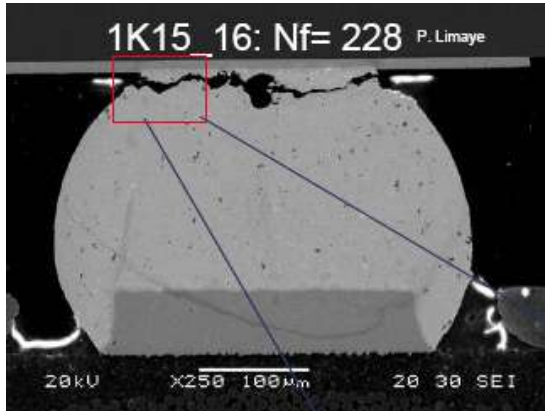
- Overheating
- Incompatibility of component with lead-free soldering



- Moisture level rating
- Component quality
- Logistics of moisture sensitive components

3. Wat er kan mislopen...

Tijdens werking: faling soldeerverbinding



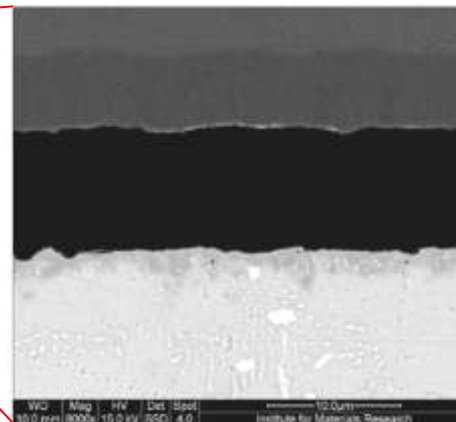
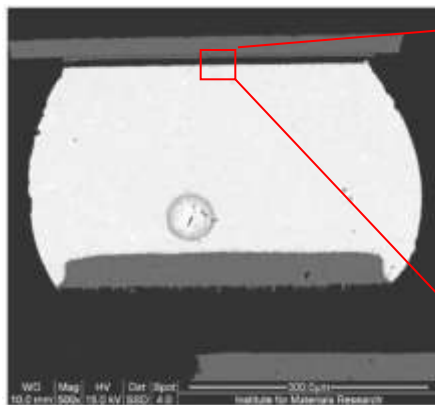
Solder joint fatigue

- Design: CTE mismatch
- Design vs. operational conditions
- Lead-free solder alloy



Interface failure

- Use of NiAu: weak Ni-solder
- PCB: ENIG quality
- Design vs. mechanical load: shock, vibration, tensile stress



3. Wat er kan mislopen...

Tijdens werking: faling isolatie

PCB oppervlak

SIR failure: dendrite growth

- PCB quality: ionic contamination
- PBA assembly quality
- Solder material flux classification
- Environment vs. design

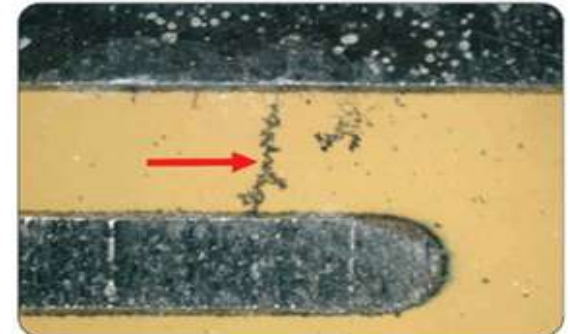
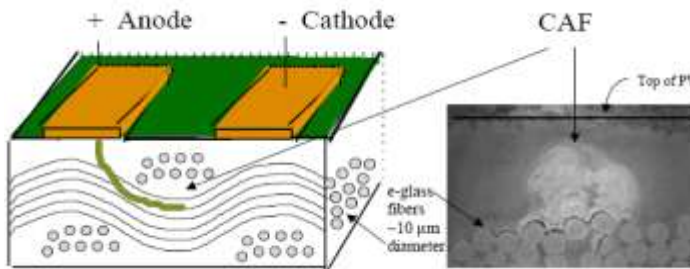


Figure 3-1: Dendrite growth between positively and negatively biased conductors (top and bottom).



Conductive Anodic Filament

- Design
- PCB laminate selection
- PCB quality
- PBA quality

PCB intern

Component terminaal

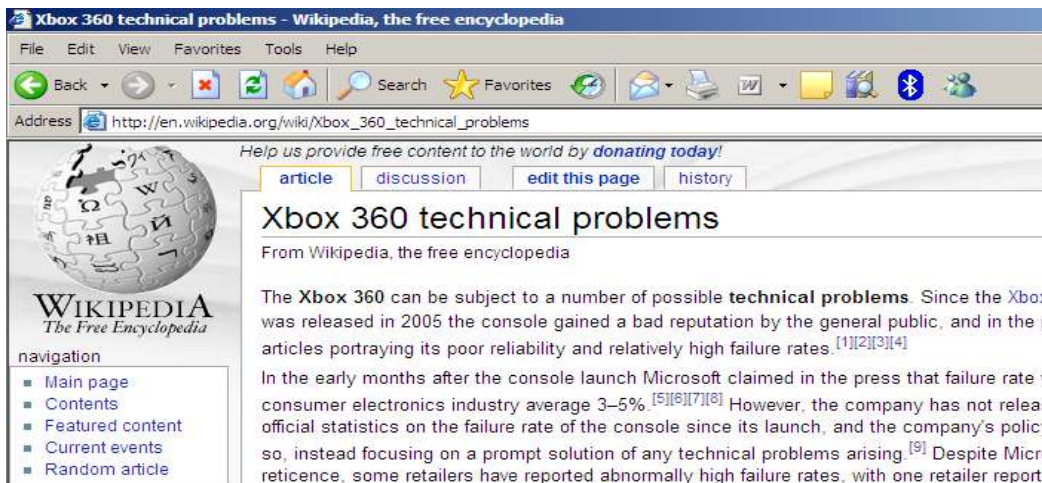
Sn whisker

- Use of Sn, SnCu
- Lack of mitigation practice
- Component selection



3. Wat er kan mislopen...

Meer dan een academische discussie: Microsoft Xbox 360



Estimated failure rate: 25-33%

Cost: >US\$ 1.000.000.000

4. Wat doen we er aan? Wat is nodig?

- De realisatie van een elektronisch product is veel **meer dan** het “over de muur gooien” van een elektrisch schema.
- Een legaal elektronisch product met een bepaald kwaliteit- en betrouwbaarheidsniveau en met een voorspelbare kost en leverbetrouwbaarheid vergt dat component, PCB en assemblage met **kennis van zaken** gespecificeerd en gerealiseerd worden.
- De vereiste kennis (bij voorkeur kwantitatief):
 - Technologisch: componenten, PCB, PB Assemblage
 - Productietechnisch: kwaliteitsrisico, logistieke en kostfactoren
 - Betrouwbaarheid: falingsmechanismen, kwalificatietesten, levensduur

Vertaald in Design-for-X richtlijnen.

4. Wat doen we er aan? Wat is nodig?

Het OEM perspectief: aansturing

- 1. Definieer** de productvereisten op vlak van kost, kwaliteit en betrouwbaarheid onder de voorziene werkomstandigheden van het elektronisch product.
- 2. Definieer** de ontwerpregels en selectiecriteria voor PCB, componenten, PBA materialen en processen.
- 3. Specificeer** expliciet elk onderdeel en elk relevant aspect.
- 4. Kwalificeer** onderdelen (componenten, PCB) en hun leveranciers.
- 5. Controleer** dat aan de specificaties **blijvend** wordt voldaan.

4. Wat doen we er aan? Hoe? Wetenschappelijke aanpak

PCB/PBA ontwerp- en productiepraktijk:

- Voornamelijk gebaseerd op ervaring
- "Recepten van goede praktijk"
- Geval-per-geval empirische evaluatie → geen inzicht.

Niet aangepast aan de huidige complexiteit en revolutionaire veranderingen zoals het loodvrij solderen.

We hebben een wetenschappelijk onderbouwde methodologie nodig om PBA ontwikkeling en productie te beheersen en productinnovatie te ondersteunen.

Wetenschappelijke methodologie

- Vertrekpunt: hypothese/model/theorie consistent met de natuurwetten (fysica/chemie/materiaalkunde).
- Experimenten zijn gericht op de verificatie en kwantificatie van de basistheorie en model.
- Gekenmerkt door een brede toepasbaarheid binnen **en buiten** het ervaringsdomein.

4. Wat doen we er aan? Hoe? Wetenschappelijke aanpak

- **Elektrisch ontwerp** (schematics) **en IC realisatie is wetenschappelijk onderbouwd, de "2nd level interconnect hardware" realisatie is dat niet! Dit moet en kan anders!**
- IC realisatie als inspiratiebron:
elk IC realisatie-element heeft een PBA "broertje".

IC realisatie

- **Materiaaltechnologie**
halfgeleiders, metalen, isolatoren, interfaces
- **Processtappen**
oxidatie, implantatie, depositie, lithografie,...
- **Productieflow**
IC procesflow
- **Test en analyse**
- **Ontwerp – layout - TAD**
- **Reliability**



PCB/PBA realisatie

- **Materiaaltechnologie**
polymeren, metalen, soldeer, interfaces
- **Processtappen**
laminatie, boren, plating, lithografie, assemblage, solderen,...
- **Productieflow**
PCB build-up, PBA assemblage
- **Test en analyse**
- **Ontwerp – layout - DfManufacturing**
- **Reliability**



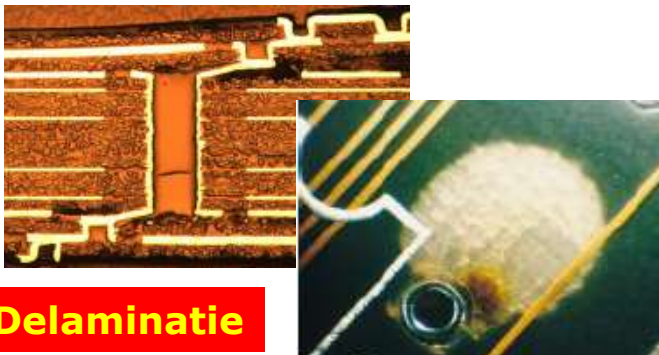
4. Wat doen we er aan?

Wetenschappelijke aanpak PBA: een voorbeeld

Naast het elektrische schema ontwerp vergt de realisatie van een PBA het ontwerp van de fysische entiteit PBA die:

- Tegen de materiaalgrenzen wordt belast bij het produceren
- Thermisch en mechanisch wordt belast tijdens werking
- Een volwaardig ontwerp specificeert de materialen
- PCB: “doe maar FR4” ?!
IPC: 12 loodvrij soldeer-compatiebele FR4 categorieën!

Een niet geschikt FR4-type leidt tot:



Delaminatie



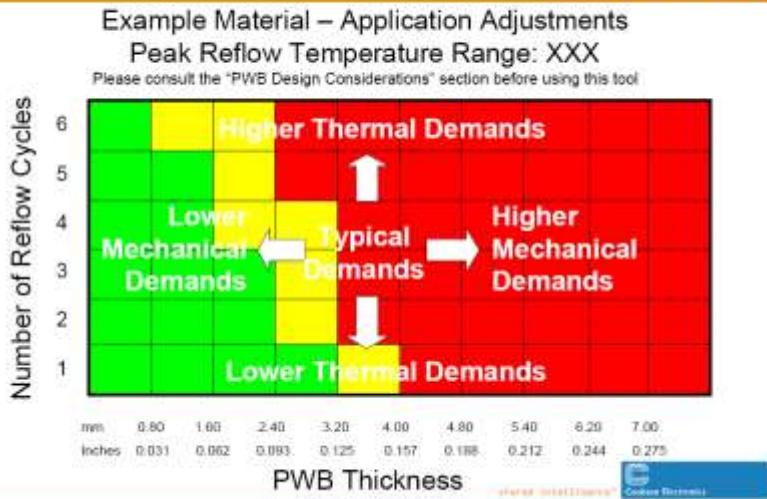
Via cracking

4. Wat doen we er aan?

Wetenschappelijke aanpak PBA: een voorbeeld

Hoe FR4 materiaal kiezen/specificeren: de industrieaanpak

polyclad



"Ervaringsgebaseerd"

The "Safety Warning"

The following tool has been developed based on considerable data, from various sources, and practical application experience. It is intended to serve as a general guide for typical PWB applications. No such tool can address all possible technology and design demands. As such, it is the users responsibility to confirm acceptability of any material recommended using this tool, for it's intended PWB application.

FR-4 Grade product recommendations

Peak reflow temperature range: 235 –260°C

Please consult the "PWB Design considerations" section before using this tool

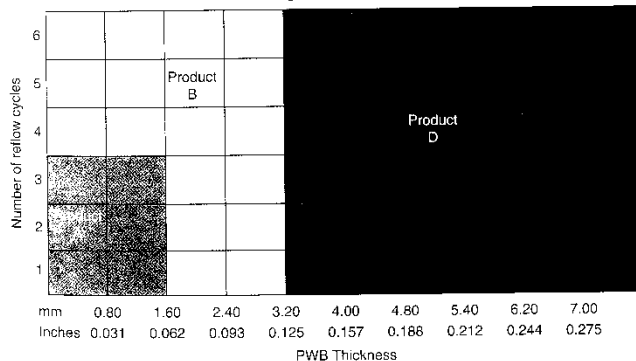
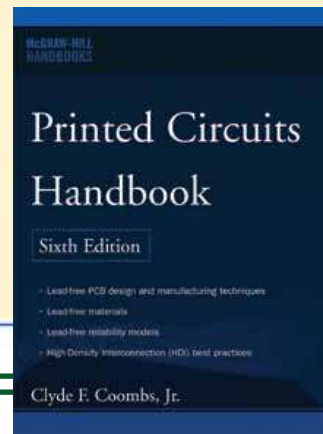


FIGURE 11.12 Summary of recommendations in lead-free assembly for materials A through D.

Book Review: Printed Circuits Handbook 6th Edition, continued from page 32



provides important information on the most recent approaches to manufacturing printed circuits that involve high density interconnections which appears to be substrate of choice for many future projects.

In summary, *Printed Circuits Handbook* is in this writer's opinion one of the most important books in the electronics manufacturing industry and in many ways the standard by which other such books must be measured. It will surely continue to be so for as long as the formula that Clyde

Coombs has laid out is followed. Finally, it is not possible to name all of the authors who have contributed to the book over time and do each of them the justice they deserve for writing efforts and individual careers, but it is safe to say that they represent the top of the top of industry talent and especially in their fields of individual expertise. Clyde Coombs, the *Printed Circuits Handbook's* extraordinary editor, would have it no other way.

Global SMT & Packaging – September 2009 – 35

4. Wat doen we er aan?

Wetenschappelijke aanpak PBA: een voorbeeld

Een wetenschappelijke aanpak van delaminatie (EDM programma 2010)

1. Root cause analyse van delaminatie

- Decompositie van FR4 epoxy matrix bij hoge temperatuur
- Interne drukopbouw leidt tot cohesieve faling

2. Modelleer falingsproces (zo eenvoudig mogelijk)

- Ontbindingsproces
- Drukopbouw
- Falingscriterium

3. Leg relatie tussen modelparameters en gestandaardiseerde parameters en/of materiaalspecificatieparameters

- Td: decompositie temperatuur (5%)
- T260, T288: Time-to-Delamination bij 260°C resp. 288°C

4. Bepaal de kritische parameter(s) (assemblage, werking) als functie van gekende parameters

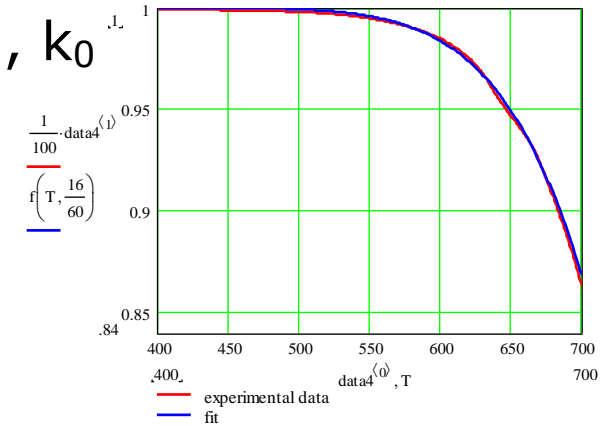
- Aantal soldeercycli $N = f(T_d, T_{260}, T_{288})$

4. Wat doen we er aan?

Wetenschappelijke aanpak PBA: een voorbeeld

1. TGA modellering (Td): activatieenergie E_a , k_0

$$\ln \left[\frac{\rho(T)}{\rho_0} \right] = -k_0 \cdot \frac{1}{\Phi} \cdot \left[T \cdot \exp \left[-\frac{E_a}{R \cdot T} \right] - \frac{E_a}{R} \cdot Ei \left(1, \frac{E_a}{R \cdot T} \right) \right]$$

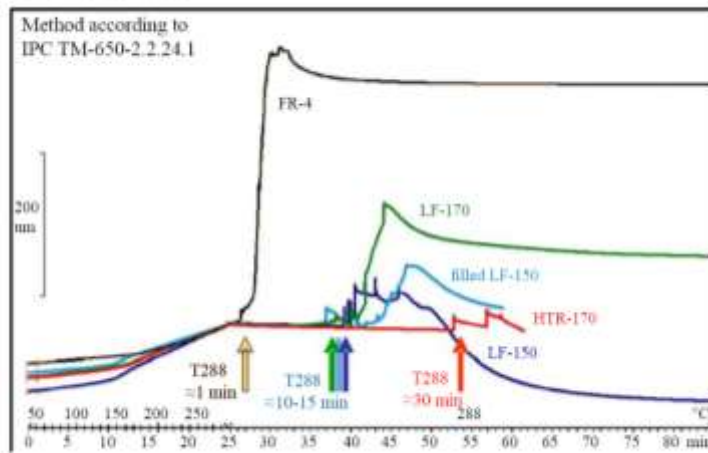


2. Drukopbouw en falingscriterium

$$P = (\rho_0 - \rho_i(T) \cdot \exp(-k(T) \cdot t)) \cdot r \cdot T$$

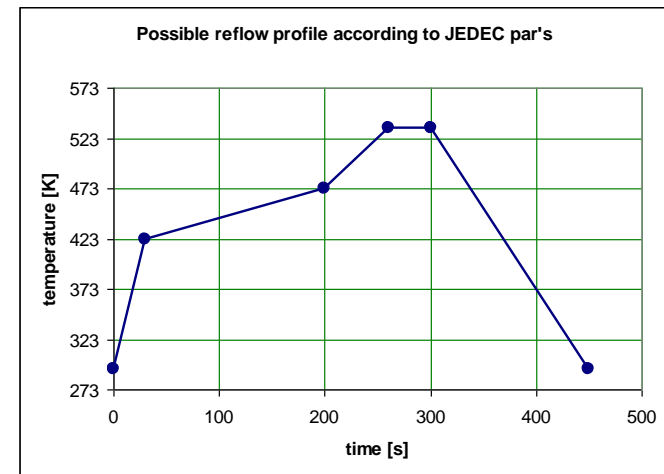
3. Relatie met T260, T288

T288 curves for the different laminates



Time to delamination (TMA) as a function of the test temperature

4. Drukopbouw per reflow cycle:
Kritische parameter: # soldeercycli



4. Wat doen we er aan?

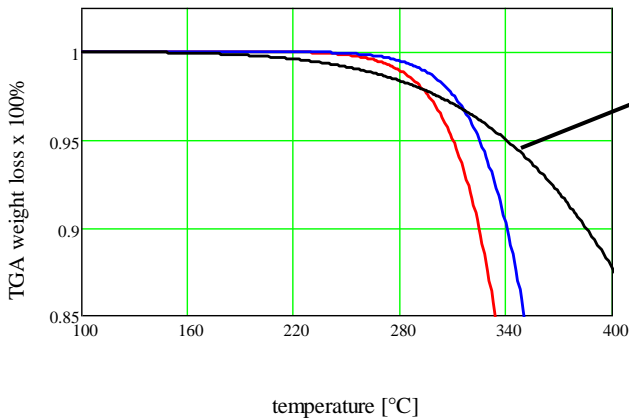
Wetenschappelijke aanpak PBA: een voorbeeld

Het aantal soldeercycli N tot delaminatie kan berekend worden.

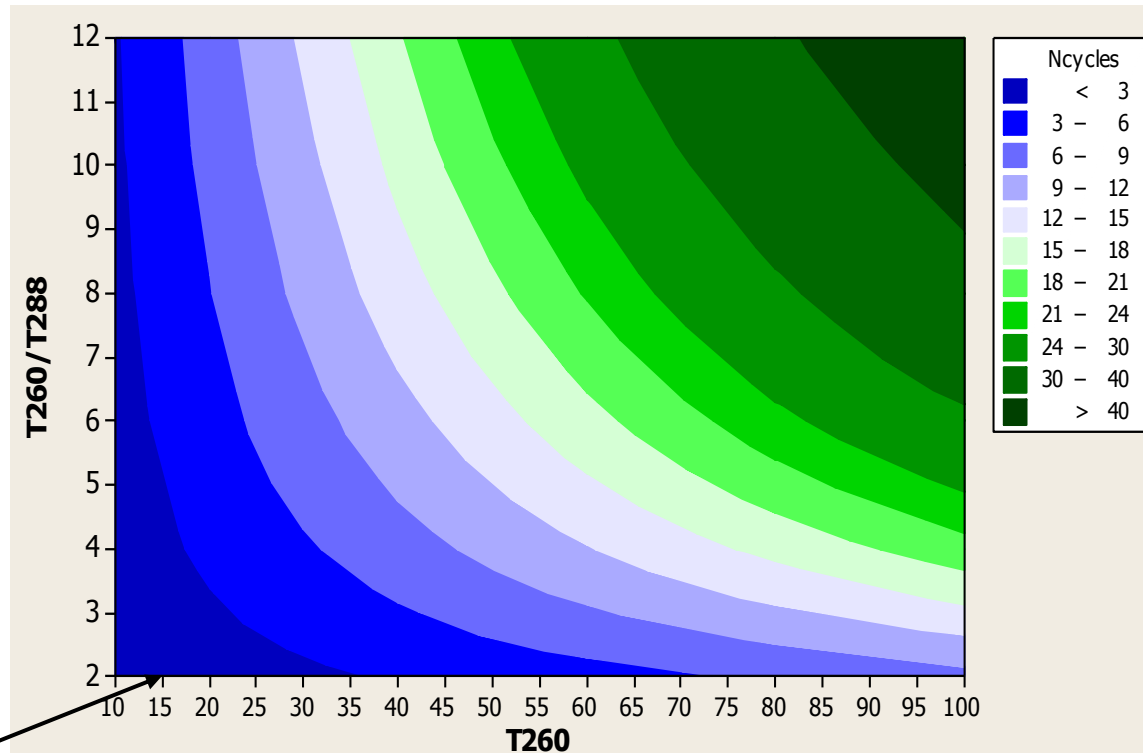
PBA DfM Guideline - section 1
6de EDM Workshop 27/11/09

Ervaring kan misleiden!
 ☹️ IPC-4101C criteria ☹️
 Modelleren verklaart.

TGA IPC4101 (Td/T260/T288)



- 310/30/5; T260/T288=6; decomp@260°C=0.4%
- 325/30/5; T260/T288=6; decomp@260°C=0.2%
- 340/30/15; T260/T288=2; decomp@260°C=1.1%



Category	T _d (°C)	T ₂₆₀ (min)	T ₂₈₈ (min)	N _d	Compliant Classes
Basic	310	30	5	7	/99,/101,/102,/103,/121,/122,/124, /125,/126,/127,/128,/129,/130,/131
Mid	325	50	10	12	/99,/102,/103,/124,/125,/126, /128,/129,/130,/131
High	340	80	15	20	/102,/126,/129,/130,/131

4. Wat doen we er aan?

Wetenschappelijke aanpak PBA: EDM programma

Wetenschappelijke modellen:

- Via cracking
- Soldeervermoeiing
- Thermische soldeerbelasting componenten
- Foutfrequentie assemblage (DPMO)
- Test coverage assemblagetesten
- Kwaliteit- en betrouwbaarheid kwantificatie

Tools

- Rekentools: delaminatie, via,...
- Yield en test coverage
- PBA falingsdistributiesimulatie...

Eerste deel [PBA DfM Guideline](#)



Het **ondersteunen van de industrie** bij de specificatie, ontwikkeling en fabricage van hoogwaardige, betrouwbare en kosteffectieve elektronische modules door **kenniscreatie en kennisverspreiding**, het gebruik van **wetenschappelijk onderbouwde methodologieën** en **samenwerking** doorheen de elektronische toeleveringsketen.

VRAGEN?



Geert Willems
Geert.Willems@imec.be
www.rohsservice.be
www.edmp.be
++32 498 91 94 64



Een gezamenlijke programma van

