

# Packaging-technologie voor hybride microsystemen

*Een van de speerpunten van TNO Industrie is de industriële vervaardiging van microsystemen. Microsystemen hebben in het algemeen een aantal kenmerken en eigenschappen waarin ze afwijken van gangbare micro-elektronica. Daardoor zijn bestaande vervaardigingsprocessen uit de semi-conductorindustrie niet zonder meer inzetbaar.*

*Daar waar packages van elektronica gekenmerkt worden door een hoge mate van standaardisatie, lopen de eisen voor verschillende soorten microsystemen zo sterk uiteen dat er van standaardisatie nauwelijks sprake is. Door het ontbreken van standaardisatie kunnen met name de kosten van packaging en assembly oplopen tot meer dan 70% van de vervaardigingskosten [1]. TNO Industrie ontwikkelt daarom een packaging-technologie die het mogelijk moet maken om voor relatief lage kosten tot produceerbare microsystemen te komen. De ontwikkeling van deze packagingtechnologie gaat hand in hand met de ontwikkeling van automatische microassemblage.*

• Erik Veninga, Jan Eite Bullema, TNO Industrie •

## W

### **Wat zijn microsystemen?**

Het Nexus Task force report [2] geeft als definitie voor microsystemen:

*'Microsystems are micro miniaturised and integrated systems based on micro electronics, photonics, RF and micro electro mechanical systems [MEMS] and packaging technology' [2].*

Bestaande toepassingen van microsystemen zijn bijvoorbeeld

- Versnellingssensoren in airbags
- Koppen voor harde schijven
- Inktjetkoppen
- Uitleessystemen voor CD en DVD

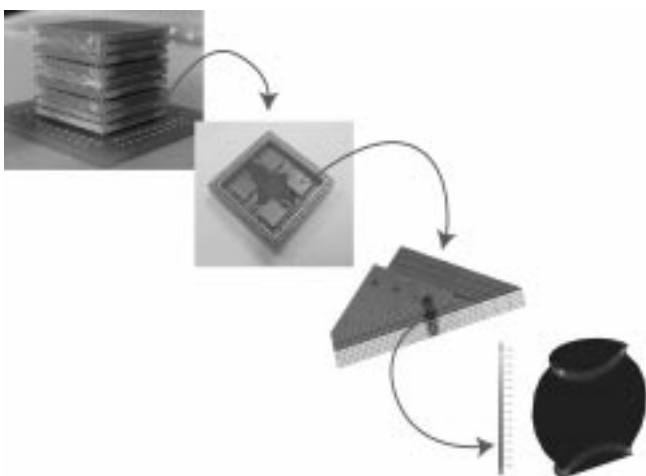


Afbeelding 1. Een voorbeeld van een hybride microsysteem, een druksensor

Microsystemen die sterk in opkomst zijn:

- Optische schakelaars
- Draadloze chips
- Biomedische applicaties (point of care analysis, microTAS)

Microsystemen zullen naar verwachting van een aantal marktonderzoeken een steeds belangrijkere rol spelen in de economie [2,3]. De verwachting is dat is dat de markt voor microsystemen in de komende tien jaar gaat groeien naar een omvang vergelijkbaar met de huidige semi-conductor industrie. Een van de grootste uitdagingen om deze belofte van microstelsysteemtechnologie in te lossen, is het realiseren van efficiënte en betrouwbare vervaardigingsprocessen. Met name problemen met betrekking tot het ontwikkelen van betrouwbare productie-teststrategieën en efficiënte packaging en assembly oplossingen.



Afbeelding 2. DEsign, MOdelling, PArts and Testing (DEMOPAT) toegepast bij een soldeerprobleem van een gestapelde MST package

### *Vershil tussen Micro Elektronica en Micro Systeem Technologie (MST)*

Het verschil begint al bij het hart van een microsysteem. Wat de semi-conductorchip is voor de elektronica is een Micro Electro-Mechanical System (MEMS) voor de meeste microsystemen. Voor de fabricage van MEMS zijn vaak verschillende, maar vooral speciale etsprocessen nodig. Hierdoor kunnen dergelijke onderdelen meestal niet in een standaard semi-conductoromgeving gemaakt worden. De uiteindelijke microsystemen, gebouwd rondom een MEMS, hebben vervolgens een hybride opbouw omdat deze vaak elektronica of andere onderdelen nodig hebben.

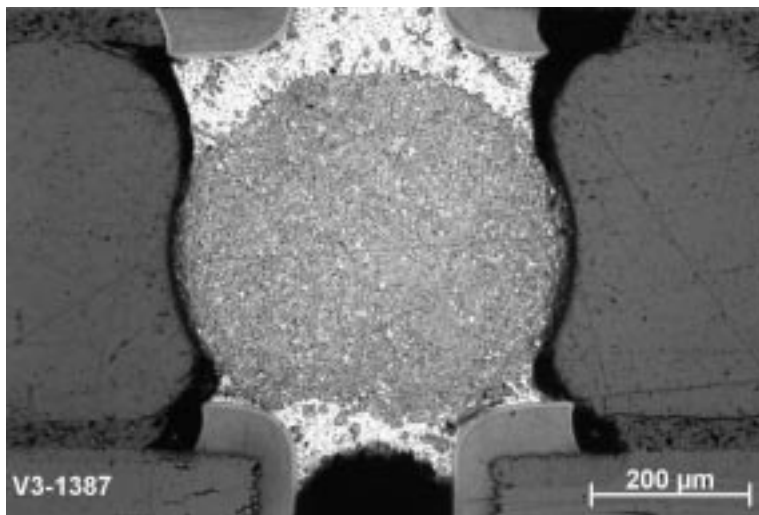
De package bij standaard elektronica is nodig voor signaalgeleiding, bescherming (mechanisch, elektrisch en chemisch) en de verwerkbaarheid. Bij microelektronica is er geen interactie met de omgeving, anders dan via elektrische signalen. Bij een microsystemen is het voor de functionaliteit vaak noodzakelijk dat er interactie is met de omgeving, contact met gassen, vloeistoffen of licht, hetgeen op gespannen voet staat met de bescherming en de functionele stabiliteit van de micro-onderdelen.

De IC-behuizingen voor micro-elektronica zijn door de jaren heen van relatief grote leaded Dual in Line (DIL) packages geëvolueerd tot onder andere zeer kleine, op Surface Mount Technology (SMT) gebaseerde, Area Array packages. Een van de laatste trends is het toepassen van gestapelde IC's en stapelbare behuizingen.

### **DEMOPAT: de koppeling tussen FEM modellen en rapid prototyping**

Bij het packagen van microsystemen wordt veelal gebruik gemaakt van technologie die ontwikkeld is voor micro-elektronica. Omdat er een grote diversiteit aan toepassingen en eisen is voor verschillende microsystemen moet er vaak op deelaspecten een specifieke oplossing gevonden worden. TNO gebruikt een combinatie van experimenteel onderzoek en modelleren [5,6] om tot produceerbare microsystemen te komen.

Deze benadering wordt binnen TNO DEMOPAT genoemd (DEsign, MOdelling, PArts and Testing). Al in de eerste ontwerp fase worden (eindige elementen) modellen toegepast. Met deze modellen wordt het gedrag in verschillende domeinen beoordeeld: mechanisch, thermisch, elektrisch, RF. Vervolgens worden prototype producten gerealiseerd. Vaak worden voor de realisatie van deze prototypes rapid prototyping technieken ingezet die in de laboratoria van TNO Industrie beschikbaar zijn. Vervolgens worden de prototype producten onderworpen aan tests volgens de klassieke MIL-spec tests om gebruiks zekerheid van de technologie te beoordelen. Door de koppeling tussen



Afbeelding 3. Een gerealiseerde void-vrije soldeerverbinding in een Match-X package

modelleren en rapid prototyping kunnen iteratieslagen in het ontwerp voorkomen worden en kunnen eerste functionele modellen snel gerealiseerd worden.

Ter illustratie: Een probleem bij het assembleren van gestackte packages (in dit voorbeeld Match-X) is het beheersen van de temperatuurgradiënt tijdens het solderen. Zonder de juiste procesinstellingen en de juiste voorzieningen loopt de soldeer tijdens het soldeerproces uit de package weg. Er ontstaat dan een probleem met holtes in de verbinding (voids) die leiden tot een te geringe bedrijfszekerheid. Door de combinatie van modelstudies (eindige elementen berekeningen aan het gedrag van de soldeerverbinding) en praktijktests, is TNO in staat geweest dit probleem op te lossen. Er treden geen holtes meer op in de verbinding (zie afbeelding 3).

### System in a Package (SiP)

Een veelbelovende oplossing voor het packagen van onder andere hybride microsystemen is de zogenaamde System-in-a-Package (SiP). Waar het bij de SiP benadering op neerkomt, is dat een compleet functioneel systeem of sub-systeem ondergebracht is in een behuizing met het formaat van een standaard IC-package. Aan de buitenzijde lijkt het bijvoorbeeld net alsof we met een gewone Ball Grid Array (BGA) of Chip Scale Package (CSP) te maken hebben, terwijl binnenin zogenaamde integratietechnologieën zijn toegepast zoals:

- Wafer thinning;
- Die-stacking;
- Low loop wire bonding;
- Flip chip;
- Multifunctionele substraattechnologie;

- Embedded passives;
- High-density structuring;
- Geleidende banen met 3D structuren.

Ook zijn onderdelen als antennes en shieldings soms geïntegreerd in de package. Een SiP gaat in die opzichten verder dan een Multi Chip Module (MCM) benadering. Een MCM is een package die in het verleden al ingezet werd als mogelijkheid om meerder chips in een behuizing te plaatsen.

Het is in aan aantal gevallen technisch mogelijk om functionaliteit (bijvoorbeeld sensoren, actuatoren en elektronica) te combineren op een chip. De zogenaamde monolithische microsystemen. Deze monolithische oplossingen zijn niet altijd de meest kosteneffectieve oplossingen, vanwege - nu nog - lage fabricage opbrengsten in de waferfab. Het is de verwachting dat in de komende jaren eerst de System-in-a-Package oplossingen fors terrein zullen gaan winnen. Deze oplossing waarbij meerdere chips in een behuizing zijn ondergebracht, biedt met name uitkomst bij de realisatie van microsystemen. Voor dergelijke systemen heeft de packaging-technologie meestal zowel in technisch als in economisch opzicht een uiterst bepalende rol. Er wordt daarom wereldwijd gezocht naar kosteneffectieve packagingstrategieën voor Systems-in-a-Package. MID (Moulded Interconnect Devices), Wafer Level Packaging en 3D assemblage zijn de belangrijkste kandidaten [4].

### 3D-stacking

Een ontwikkeling van de laatste jaren zijn stapelbare modulaire packages. Deze packages bieden de mogelijkheid om modulariteit op ontwerp- en assemblageniveau te creëren. Er kan snel en eenvoudig een configuratie samengesteld wor-

den die als werkend MST product ingezet kan worden. Het grote voordeel is dat de ontwikkelkosten van een MST applicatie sterk gereduceerd kunnen worden. Met de vervanging van slechts één module kan bijvoorbeeld een geheel sensorsysteem op een andere frequentie gezet worden (bijvoorbeeld van 868 Mhz naar 2,4Ghz). Of door het vervangen van een sensor kan de meetfunctionaliteit veranderd worden. Omdat de basis van het systeem steeds hergebruikt wordt, is het niet nodig om steeds de besturing van het systeem of de data bus in het systeem opnieuw te ontwikkelen. De ontwikkelkosten van een nieuw systeem zijn hooguit 25% van de kosten van een nieuwe ontwikkeling. Omdat de technologie (interconnectie en assemblage) in principe gestandaardiseerd is, kan er ook relatief goedkoop geassembleerd worden. Voor high-volume producten gelden andere overwegingen, maar juist voor middelgrote series stackingconcepten met modulaire bouwblokken zeer interessant.

TNO werkt momenteel aan twee 3D-stacking concepten voor MST packages: (1) het Match-X concept dat door Fraunhofer IZM ontwikkeld [7] is en (2) het 3D-MSP concept dat TNO zelf ontwikkeld heeft [8].

### **Match-X (micro systemen met afmetingen van kubieke centimeters)**

Het Match X concept kenmerkt zich door een eenvoudige technologie basis die het mogelijk maakt om zeer kostengunstig en bij nagenoeg alle printed circuit board leveranciers stackable onderdelen te kopen ([www.match-x.org](http://www.match-x.org)). Doordat er een groot aantal functionele modules ontwikkeld zijn, is het theoretisch mogelijk om een werkend microstelsel van enkele kubieke centimeters voor lage ontwikkelkosten en lage productiekosten te produceren.

Match-X is feitelijk een set stapelbare Top-Bottom Ball Grid Array's (TB-BGA's) met signaal doorvoerende zijwanden. Het concept staat beschreven in VDMA Einheitsblatt 66305" [9]. Het grote voordeel van dit concept is dat het de mogelijkheid biedt om microsystemen te combineren met gestandaardiseerde interfaces. TNO Industrie heeft aan de ontwikkeling van een stack-verbinding voor het systeem gewerkt en het concept toegepast voor het vervaardigen van een autonoom draadloos sensorsysteem. Dit draadloze sensorsysteem, gebaseerd op de Match-X technologie is bij uitstek geschikt voor de bewaking en regeling van high-end machines ook goed inzetbaar in medische toepassingen. Door de toegepaste technologie kunnen de kosten van de sensoren en de bijbehorende infrastructuur bescheiden gehouden worden.

### **3D-MSP (microsystemen met afmetingen van kubieke millimeters)**

TNO Industrie heeft zelf een modulair packaging concept ontwikkeld dat geminiaturiseerd kan worden tot Chip Scale Package (CSP) specificaties. Dit 3D-MEMS Scale Package (3D-MSP) concept is net zoals het Fraunhofer Match-X concept modulair en stapelbaar en kan samengebouwd worden met standaard elektronica assemblage processen. Een belangrijk verschil is de veel kleinere afmeting. 3D-MSP is ongeveer vier keer kleiner.

Het concept bestaat uit dunwandige spuitgegoten 'bakjes' met fijne geleidende structuren (tot 100 micron steek) aan binnen en/of buitenzijde (zie afbeelding 4 en tabel 1). Elektronica en MEMS kunnen in de 'bakjes' geassembleerd worden. Door microsolderverbindingen kunnen de verschillende modules tot een compleet microstelsel geassembleerd worden. Door een interposer kunnen de 3D-MSP systemen op een drager gesoldeerd worden conform 'JEDEC standards'.

Binnen het 3D-MSP concept kunnen packages van verschillende materialen en afmetingen worden vervaardigd. De ruimte op een PCB kan daardoor op efficiënte wijze gebruikt worden. Het 3D-MSP systeem kan ontwikkeld worden als System-in-a-Package.

Het concept bevindt zich nog in de fase van technologie ontwikkeling. Dit geldt met name voor een aantal deelttechnologieën, bijvoorbeeld het 3D aanbrengen van fine pitch sporen en de assemblage van de verschillende modules.

### **Conclusies**

De huidige hoge assemblagekosten van microsystemen vormen een uitdaging. Enerzijds is flexibele micro-assemblage apparatuur nodig om midden en kleine serie productie van microsystemen mogelijk te maken. Gestackte



Afbeelding 4. De door TNO ontwikkelde 3D-MEMS Scale Package (3DMSP)

Tabel met typische specs 3D-MSP		
Onderdeel	Specificatie	Technologie 3D-MSP
Package carrier	2nd level interconnectie pitch [mm]	0,8
	Diameter solder spheres [mm]	0,5
	Vervaardiging solder spheres	P&P en reflow solderen preformed spheres
	Carrier materiaal	FR4
	Carrier dikte [mm]	0,8
	Conductor breedte/spacing [ $\mu\text{m}$ ]	100 / 100
	Min.Via diameter carrier [ $\mu\text{m}$ ]	100
	Via vervaardigingstechnologie	mech. drilled
	1st Level interconnectie pitch [ $\mu\text{m}$ ]	500
Package-opbouw	Interconnectie pitch met carrier [mm]	0,4 (fine pitch), enkele rij
	Materiaal	LCP (Liquid Cristal Polymer)
	Circuit structuring	Laser Direct Imaging
	Spoorbreedte/spacing [ $\mu\text{m}$ ]	150 / 150 (enkelzijdig)
	Wanddikte [ $\mu\text{m}$ ]	300

Tabel I

modulaire packaging van microsystemen kan er toe bijdragen dat het mogelijk wordt om microsystemen kosten-effectief te ontwikkelen en tegen acceptabele kosten te produceren. De doorgaande ontwikkeling van Systems-in-a-Package en de benodigde integratietechnologieën maakt het mogelijk, ook voor kleine en middelgrote volumes, een brug te slaan, tussen MEMS aan de ene kant en de meer traditionele elektronica aan de nadere kant. Er liggen grote kansen voor bedrijven die in staat zullen zijn om de packagingkosten wezenlijk te reduceren.

### Literatuur

- 1] G. Reinhardt, M. Schilp, D. Jacob, 'Economic and sensitive assembly of micro systems in small quantities' Euspen 2002, p. 439..442
- 2] Market Analysis for Micro Systems II 2002 – 2005, A Nexus Task Force Report
- 3] Small Technologies Mean Big Business, Verkenning Micro Systeem Technologie, 2003, Ministerie van Economische Zaken
- 4] Rao Tummala, Fundamentals of Micro Systems Packaging, ISBN 0-07-137169-9, McGraw-Hill, 2001
- 5] J. Bullema, E. Veninga, M. Meuwissen, 'Design Study for stacked MEMS', Proceedings Eurosime 2003
- 6] J. Bullema, E. Veninga, L. Tillie, 'Design for micro Assembly', Proceedings EUSPEN 2003
- 7] Rahmenprogramm für Foerderung 2004-2009 Mikrosysteme, Bundesministerium fuer Bildung und Forschung
- 8] Nederlandse octrooiaanvraag 1021245, TNO.
- 9] VDMA – Einheitsblatt 66305, "Bausteine und Schnittstellen der Mikrotechnik", stand: August 2002, <http://www.pb.izm.fhg.de/match-x/Match-X/vereinsgruendung.html>