

# Lijmen, een verantwoord alternatief voor solderen

*Lagere procestemperaturen en geringere milieubelasting zijn belangrijke voordelen die een (elektrisch) geleidende lijmverbinding kan hebben boven een conventionele lood-houdende soldeerverbinding. Deze voordelen worden benadrukt door de inzetbaarheid van geleidende lijmen in het kader van bijvoorbeeld miniaturisatie in de micro-elektronica waarbij conventionele methoden tegen fysische begrenzingen aanlopen. Daarnaast is er de Europese wetgeving omtrent loodvrij solderen waarbij elektrisch geleidende lijmen als alternatief kunnen worden ingezet. Ondanks deze voordelen vindt toepassing van geleidende lijmen in de elektronica- en microsystemeindustrie vooralsnog op beperkte schaal plaats. Kosten, veelheid aan lijmkeuze mogelijkheden en beperkte duurzaamheidservaring uit de praktijk zijn hier onder andere debet aan.*

• *Monique van den Nieuwenhof<sup>1</sup>, Erik Eikelboom<sup>2</sup>* •

In het kader van SUNOVATION, een project op het gebied van Photo Voltaïsche (PV) zonneenergie, uitgevoerd met E.E.T. subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen en het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, werd in samenwerking met onder andere Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)<sup>3\*)</sup> gekeken naar de mogelijkheden om de loodhoudende soldeerverbindingen in een PUM zonnepaneel (afbeelding 1 en 2) te vervangen door elektrisch geleidende lijmverbindingen.

Toepassing van geleidende lijmen binnen de wereld van PV stelt afwijkende eisen aan de lijmverbinding dan binnen de micro-elektronica toepassingen. De combinatie van contac-

<sup>1</sup> TNO Industrie

<sup>2</sup> ECN

<sup>3\*)</sup> Volledige consortium bestond uit Shell Solar Energy bv, TUe, ECN en TNO

Industrie. Inmiddels is een vervolgproject opgestart, Sunovation II, waarbij de samenstelling van het consortium is gewijzigd: ECN, OTB, DOPT, Solland Energy bv en TNO Industrie

## LIJMEN IN PLAATS VAN SOLDEREN



Afbeelding 1. Een PUM zonnepaneel zoals deze gemaakt is in het E.E.T. project Sunovation I (bron: ECN)

ten met lage weerstand (orde grootte  $m\mu$ ), hoge stroomdichtheid tijdens gebruik, en extreme gebruikerscondities (temperatuurwisselingen, vocht, zonlicht etc.) met een uiteindelijke levensduurgarantie van minimaal 20 jaar roept vragen op. Kan een dergelijke garantie op een elektrisch geleidende lijmverbinding worden afgegeven en op welke test-normen wordt een dergelijke garantie gebaseerd? Het huidige SUNOVATION II project, eveneens mede gefinancierd door E.E.T., richt zich met name op deze vraagstelling.

### Lijmkeuze

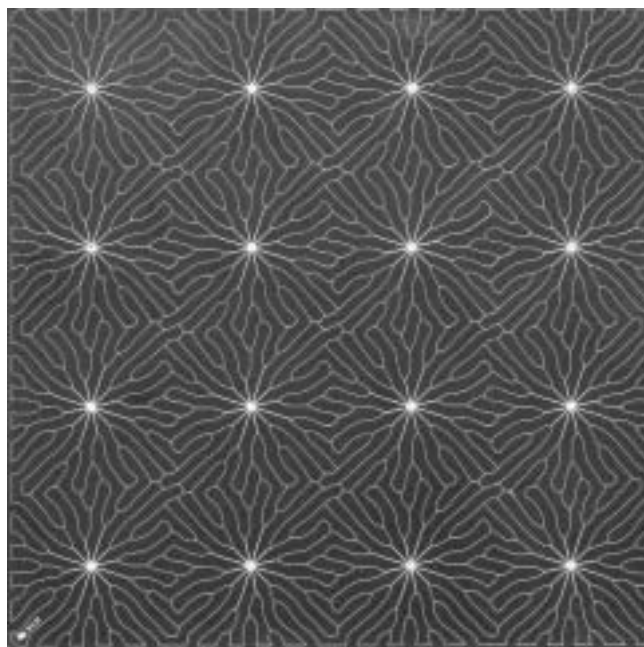
De voor elektrische interconnectie beschikbare lijmen zijn grofweg in een viertal hoofdcategorieën onder te verdelen welke worden toegelicht in het overzicht (zie kadertekst). Om een goede lijmkeuze te kunnen maken is het van belang dat de productspecificaties (elektrisch, mechanisch, chemisch, thermisch en wellicht ook optisch) in een zo vroeg mogelijk stadium helder zijn. Daarnaast moet vooraf een goede inschatting worden gemaakt van de mogelijke faalmechanismen welke de lijmverbinding tijdens productie en in de praktijksituatie kunnen bedreigen. Aan de hand van de lijst van productspecificaties en faalmechanismen kan een lijmkeuze worden gemaakt. Is er geen standaard lijm verkrijgbaar, die voldoet aan de gestelde eisen, dan kan gekozen worden voor een wijziging in het productontwerp (bij-

voorbeeld ten aanzien van de vorm of de metallisatie van een contactvlak), of een aanpassing in de chemische samenstelling van de lijm. In het geval van geleidende lijmverbindingen in een zonnepaneel dient de uitharding van de lijm samen te vallen met een min of meer standaard stap in het assemblageproces waarbij de procescondities reeds zijn vastgelegd. De uithardcondities van de lijm zullen moeten zijn afgestemd op deze betreffende processtap.

Figuur 4 geeft een overzicht van de te doorlopen stappen om te komen tot een optimale lijmverbinding met levensduurindicatie vooraf. Uiteindelijk wordt, aan de hand van een iteratie-proces van elektrische en mechanische testen, een uitspraak ten aanzien van de verwachte levensduur gegeneerd. Steeds vaker worden in dit proces computer simulaties toegepast om op een relatief snelle en goedkope manier uitspraken te kunnen doen over verschillende ontwerpvarianten.

### Thermo-mechanische modellering

Computer simulaties worden op verschillende niveaus ingezet in het totale proces om te komen tot een goede lijmverbinding met een gegarandeerde levensduur. Bijvoorbeeld bij het maken van de juiste lijmkeuze, in combinatie met de



Afbeelding 2. De voorzijde van een PUM zonnecel met 16 gaatjes waar door de voorzijde contacten naar de achterzijde worden geleid. (bron:ECN)

**Hoofdcategorieën zijn:**

**ACA** (anisotropic conductive adhesive), in één richting geleidende lijm of ookwel z-geleidende lijm genoemd. Deze heeft een zodanige vulgraad van metaaldeeltjes dat de lijm na samendrukken alleen in de richting van samendrukken geleidend wordt.

**ACF** (anisotropic conductive foil) of anisotroop geleidende folie. Bij deze folies zijn de metaaldeeltjes in de lijm gefixeerd in de gedeeltelijk voorvernetten lijmmatrix, waardoor in vergelijking met een anisotroop geleidende lijm fijnere pitches (20 micron) haalbaar zijn. Folies bieden ook het voordeel dat ze relatief onnauwkeurig gepositioneerd kunnen worden en dat er weinig kans op versmering van de lijm bestaat.

**ICA** (isotropic conductive adhesive) of in alle richtingen geleidende lijm. Indien deze geleidende lijmen worden toegepast voor een kleine pitch, vereist dit een zeer nauwkeurige aanbrengmethode opdat kortsluiting voorkomen wordt.

**NCA** (non conductive adhesive) of niet geleidende lijm. De elektrische verbinding wordt door de lijm mechanisch bewerkstelligd, door de kleefkracht en de krimpspanning van de lijm worden elektrische oppervlakken als het ware op elkaar getrokken. Deze vorm van 'geleidend' lijmen wordt bijvoorbeeld bij sommige flip-chip varianten toegepast.

eigenschappen van de omliggende materialen, om spanningsopbouw in de verbinding tijdens assemblage te voorkomen. Maar ook bij het inschatten van de effecten van belastingen van buitenaf, zoals trillingen, schokken, temperatuurwisselingen en temperatuurgradiënten in het zonnepaneel. De effecten van de onder invloed van deze factoren veranderende eigenschappen van lijm en omliggende materialen op de gelijkde elektrische interconnectie en op het functioneren van het zonnepaneel kunnen in een model worden doorgerekend. De resultaten van de berekeningen kunnen worden gebruikt bij het opzetten van experimenten om bepaalde uit het model naar voren gekomen faalmechanismen nader te onderzoeken.

**Oppervlaktebewerking**

Voor zowel de elektrische als de mechanische eigenschappen van de uiteindelijke lijmverbinding is het van belang dat de lijm op een schoon oppervlak wordt aangebracht. Een onvoldoende schoon oppervlak (vet, oxides) kan initieel of op termijn leiden tot een slecht elektrisch en/of mechanisch contact. Er zijn grofweg drie gradaties aan te geven in voorbereidingsstappen:

1. ontvetten met bv aceton of alcohol
2. ontvetten, mechanische behandeling (zandstralen, plasma), verwijderen losse deeltjes
3. ontvetten en (nat) chemisch reinigen (etsen)

Welke voorbereidingstap voor een bepaald product geschikt is, wordt mede bepaald door de uitgangssituatie van de te verbinden oppervlakken, de layout van het product en de levensduureisen welke aan het product worden gesteld. De levensduureis voor een mobiele telefoon bijvoorbeeld, is beperkt (enkele jaren) in vergelijking tot de levensduureisen gesteld aan zonnepanelen (20-30 jaar). Een onvoldoende gereinigd oppervlak kan ten grondslag liggen aan een degradatiemechanisme dat uiteindelijk leidt tot falen. De kans hierop neemt toe wanneer een product geacht wordt langer te blijven functioneren (10, 20 of zelfs 30 jaar). Ook als de elektrische weerstand van de verbinding kritisch is voor de werking van het product, zullen de eisen gesteld aan de oppervlaktegesteldheid van de te verbinden onderdelen streng zijn.

**Aanbrengmethode**

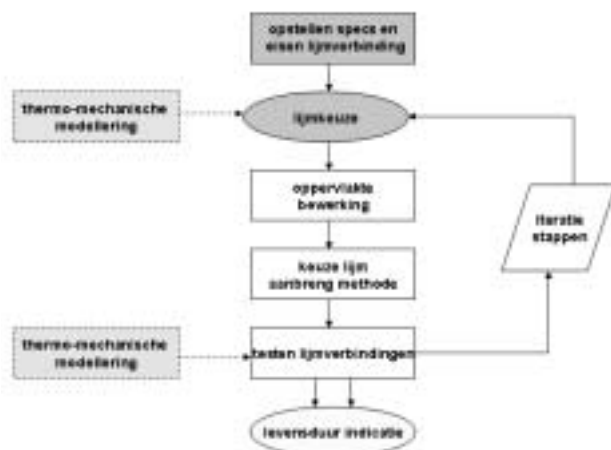
Er zijn verschillende mogelijkheden om lijm op een substraat aan te brengen. In afbeelding 6 is een aantal hoofdgroepen weergegeven. Afhankelijk van het type product en de bijbehorende lijm kan nu een aanbrengmethode gekozen worden.

Pin-transfer is met name geschikt voor het in één keer overbrengen van vele lijmdotjes in een vast patroon. Een of meerdere pinnetjes worden in een dunne lijmlaag (enkele  $\mu\text{m}$ 's) gedrukt, de lijm blijft aan de pinnetjes hangen en wordt uiteindelijk via deze pinnetjes op het product afgezet. De stempel-methode is uitermate geschikt om zeer dunne lijmvlakken en structuren over te brengen met een dikte van enkele  $\mu\text{m}$ 's.

Het printen van geleidende lijmen wordt met name toegepast voor het aanbrengen van een ingewikkeld lijnen- en/of vlakjespatroon waarbij de lijmlaagdikte zich in de orde van  $80\mu\text{m}$  bevindt.

Op het moment dat er lijmpatronen gelegd moeten worden met een bepaald volume kan worden gekozen voor een dispensmethode. Het snel en contactloos dispensen (jetten, principe van inktjetten) van elektrisch geleidende lijm met een zeer grote elektrische geleiding (hoge vulgraad en grillig gevormde deeltjes, veelal zilver) is vooralsnog niet mogelijk. In het geval van de elektrisch geleidende lijmverbindingen in zonnepanelen, waarbij de hoogte van de lijmdot mede bepalend is voor het uiteindelijke resultaat, is een

## LIJMEN IN PLAATS VAN SOLDEREN



Afbeelding 4. Flowchart lijmproces

contact (of naald) -dispensetechniek op dit moment de enige optie. In principe zijn alle genoemde contact-dispensmethoden geschikt voor het aanbrengen van de zilvergevulde lijm (afbeelding 7).

### Uitharden

Lijmen zijn op grond van hun uithardingseigenschappen onder te verdelen in de volgende groepen:

- anaërobe reactie
- blootstellen aan UV-licht
- anionische reactie (bv secondenlijm)
- activeringssysteem
- vochtuitharding (siliconen, urethaan)
- warmteuitharding (epoxies)

De meeste elektrisch geleidende lijmen vallen onder de categorie warmte-uithardend.

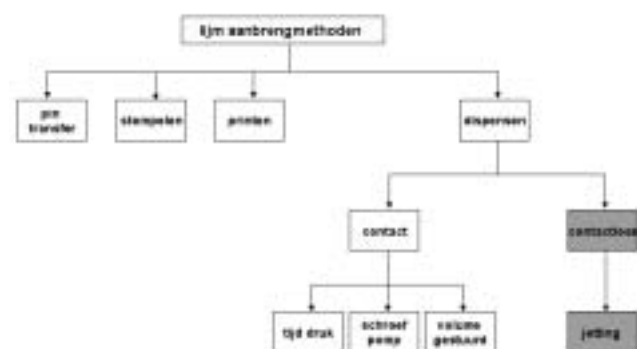
De keuze van het type lijm wordt enerzijds bepaald door de te verlijmen materialen en de vorm van de lijmverbinding, en anderzijds door de mogelijkheden welke een product biedt voor het uitharden van de lijm.

In het geval van de verlijmde contacten in een zonnepaneel was de keuze beperkt. Omdat de lijmverbinding opgesloten zit tussen een silicium zonnecel en een aluminium dragerfolie was een UV-uithardende lijm geen optie. Ook een lijm met een anionische reactie was niet bruikbaar omdat bij dit type lijm het uithardingsproces wordt geïnitieerd door licht alkalische oppervlakken (luchtvochtigheid op het te verlijmen oppervlak). Een thermisch uithardende lijm daarentegen past uitstekend in het huidige zonnepaneel-productieproces, waarbij het zonnepaneel, opgebouwd uit verschil-

lende lagen, in één assemblage stap wordt gelamineerd tot een geheel. De uitdaging ligt in het het afstellen van de lijm op de betreffende laminator-cyclus, zodanig dat de lijm niet te snel en toch zo volledig mogelijk uitgehard moet zijn (7-25 minuten).

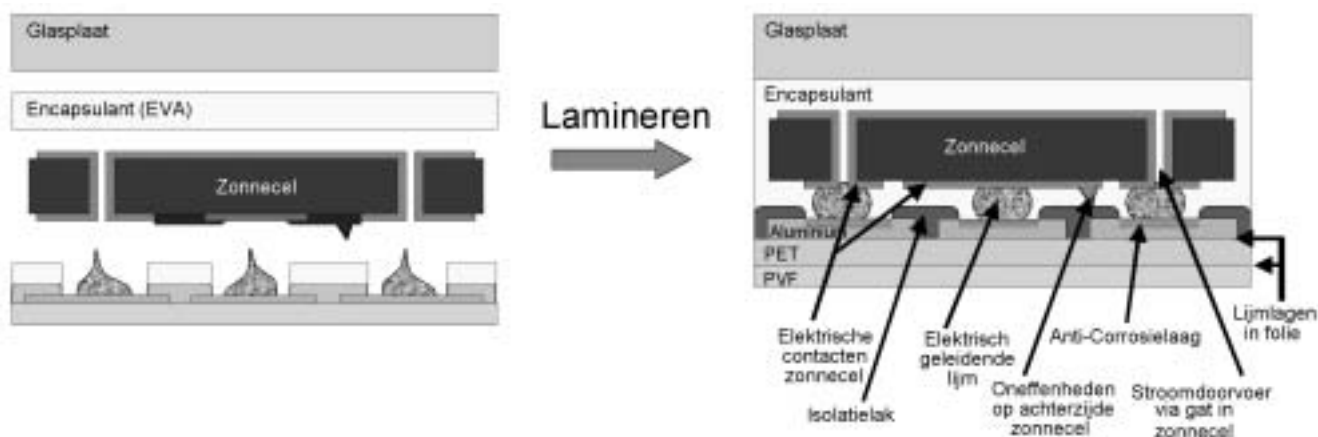
### Testen

Het uiteindelijke doel van de diverse iteratieslagen is het gedrag van de lijmverbindingen in een compleet product, in dit geval een zonnepaneel, te kunnen voorspellen. Op deze manier kan een onderbouwde levensduurindicatie voor een dergelijk product worden afgegeven. Het lange-termijngedrag van de elektrisch geleidende lijm is één van de bepalende factoren voor het functioneren van een zonnepaneel. Het testen van de elektrisch geleidende lijm op zowel (thermo) mechanische als elektrische belasting gebeurt onder extreme omstandigheden en in eerste instantie volledig buiten het zonnepaneel. De lijmsamples worden volgens IEC-norm getest: damp/heat (85 $\mu$ C/85%RH), thermo-cycling (-40 $\mu$ C / +85 $\mu$ C) en humidity/freeze. De samples worden online elektrisch gemonitord, hetgeen rechtstreeks informatie oplevert omtrent de variatie in contactweerstand van de verbinding. Omdat de informatie ten aanzien van de duurzaamheid van elektrisch geleidende lijmverbindingen beperkt is en de ervaringen opgedaan “in het veld” niet verder teruggaan dan enkele jaren, is het van belang testmethoden toe te passen waarbij de verouderingsomstandigheden zo reëel mogelijk worden nagebootst. Deze resultaten kunnen weer worden ingegeven aan het thermo-mechanische model waarmee het inzicht in de effecten van verouderende lijm op het functioneren van het zonnepaneel wordt vergroot en een volgende iteratieslag gemaakt kan worden.



Afbeelding 6. Overzicht diverse lijm aanbrengmethoden.





Afbeelding 7. De geleidende lijmdots in een PUM-zonnepaneel. (bron: ECN)

### Duurzaamheid

De huidige gesoldeerde zonnepanelen worden onderworpen aan de IEC 61215 test. In combinatie met de in de afgelopen decenia opgedane ervaring met soldeerverbindingen, wordt door het zonnepaneel fabrikant, op basis van deze test een levensduurgarantie van 20-30 jaar afgegeven.

Elektrisch geleidende lijmen zijn de laatste jaren sterk in opmars. Een echte staat van dienst, zoals solderen, heeft deze interconnectiemethode nog niet opgebouwd. Er zijn nog (te) weinig praktijkresultaten van elektrisch geleidend verlijmde interconnecties beschikbaar, waardoor de interpretatie van de resultaten behaald naar aanleiding van de huidige IEC test vertaald naar duurzaamheid heel moeilijk is. Uiteindelijk wil een fabrikant bij het introduceren van een zonnepaneel met een nieuwe interconnectiemethode wel een garantie van minimaal 20 jaar af kunnen geven.

De correlatie tussen experimenten en de praktijk is een bekend probleem bij elk onderzoek naar verbindingen waar levensduur een grote rol speelt, elke meting bevat slechts een deel van de informatie ten aanzien van de uiteindelijke kwaliteit van de verbinding. Er ontbreekt een eenduidige relatie tussen bestaande tests en de verwachte levensduur van elektrisch geleidende lijmvverbindingen, zoals de IEC 61215 dat voor gesoldeerde interconnecties is.

### Toekomst

In het inmiddels afgeronde Sunovation I-project is aangetoond dat een geleidende lijmvverbinding elektrisch gezien een volwaardig alternatief is voor de tot nu toe gebruikelijke loodhoudende gesoldeerde interconnectie. Een van de doelen van het nieuwe Sunovation II-project is het verder vastleggen van de verbanden tussen mogelijke faalmechanismen, lijmeigenschappen, materiaalcombinaties etc ener-

zijds en de praktijkbelasting van een zonnepaneel anderzijds. Uiteindelijk moet met de opgebouwde kennis (model en praktijk) een onderbouwde levensduurverwachting van de gelijkde elektrische interconnecties in het zonnepaneel kunnen worden afgegeven.

Een traject voor elektrisch geleidende lijmvverbindingen in zonnepanelen, zoals in dit artikel geschetst, kan ook voor andere type lijmen en lijmvverbindingen worden doorlopen en uiteindelijk resulterend in een testmethode en een levensduurindicatie.

### Conclusie

Uit het Sunovation I project is gebleken dat elektrische geleidende lijmvverbindingen als vervanger voor de op dit moment gangbare soldeerverbindingen, elektrisch gezien geheel verantwoord zijn. Of dezelfde lijmvverbinding ook voldoende duurzaam is, is een vraag die in Sunovation II beantwoord moet gaan worden.

Niet alleen elektrisch gezien is de lijmvverbinding verantwoord, ook op het milieu-technische vlak is het vervangen van de loodhoudende soldeerverbindingen door lijmvverbindingen een verantwoorde zaak.