

Eindrapportage Los Bacos

Gegevens project

- TEZ0214014
- Low-cost and simplified back-contact module concept
- DSM, ECN, Dycomet
- 01/03/2015 - 01/06/2017

Samenvatting

Back-contact modules gebaseerd op een geleidende folie hebben een aantal voordelen in vergelijking met conventionele modules gemaakt met tabbing. Het rendement van back-contact cellen en modules is hoger dan van de conventionele cellen en modules en het proces voor het maken van de modules is minder complex en belastend voor de cellen. Het moduleconcept zijn geschikt voor MWT- en IBC-cellen en ook voor hele dunne cellen, met een dikte ver onder wat mogelijk is met solderen van tabbing.

De grootste barrière voor het breed toepassen van back-contact modules is de beschikbaarheid en kosten van de materialen. Met name de geleidende back-sheet en de geleidende lijm die gebruikt worden om contact te maken tussen de cellen en de back-sheet worden als duur gezien. Dit kan gedeeltelijk opgelost worden door opschalen van productie, maar ook door het gebruik van goedkoper en/of minder materiaal. In Los Bacos is gekeken naar het toepassen van aluminium als vervanger van koper in de geleidende back-sheet en naar het gebruik van een poeder coat encapsulant om de hoeveelheid geleidende lijm te minimaliseren.

De hoeveelheid geleidende lijm wordt bepaald door de afstand tussen de cellen en de geleidende back-sheet. De lijm wordt geprint, of op de back-sheet of op de cellen. Conventionele encapsulanten waaronder EVA en TPO worden standaard geleverd in diktes vanaf 200 micron. De geleidende lijm wordt geprint met een hoogte van minimaal 300 micron om een betrouwbare verbinding te maken. Reductie van de dikte van de encapsulant tot 100 micron staat een reductie van tot 80% toe in gebruik van geleidende lijm. De lijm verbinding kan minder hoog geprint worden en ook met een gereduceerde diameter. In dit project is een poeder coat resin gebruikt als encapsulant tussen cellen en geleidende back-sheet. Omdat dit als poeder wordt toegepast was het mogelijk om de dikte te regelen en te beperken tot 100 micron. Printen van de geleidende lijm op de cel in plaats van op de geleidende back-sheet maakte het mogelijk om nog minder geleidende lijm te gebruiken. Een aantal module met vier cellen werden gemaakt met poeder coating als encapsulant en met een gereduceerd hoeveelheid geleidende lijm om het principe aan te tonen.

Aluminium kan niet als de geleider worden gebruikt in plaats van koper zonder een contactlaag op het aluminium aan te brengen. De oppervlakte van aluminium oxideert spontaan in lucht met een dunne isolatielaag als gevolg. De contactweerstand van een onbehandelde aluminium geleider is te hoog om een goed werkende module te maken. Koper wordt gebruikt om de contactlaag te maken. Dit kan door het oxide te verwijderen bij een verhoogde temperatuur, onder vacuüm en door een koperlaag op te dampen. Dit is een complex proces waarvoor dure apparatuur nodig is. In Los Bacos is een alternatief toegepast: cold-spray van de koper. Bij cold-spray worden koperdeeltjes met een diameter van 5-10 micron door de oxidelaag geaccelereerd om contact te kunnen maken met het onderliggende aluminium. In dit project is het proces onderzocht en geoptimaliseerd voor het maken van back-contact modules met aluminium als geleider. Een geschikte koper poeder en de parameters voor het aanbrengen van de poeder zijn gevonden. Modules met vier cellen zijn getest in klimaatkamers in damp-heat en thermal cycling en vergeleken met module gemaakt met koper als de geleider. Er is ook onderzoek gedaan naar mogelijke corrosie problemen in een dergelijk systeem. De resultaten lieten zien dat het mogelijk was een module te maken met aluminium en cold-spray met minder degradatie tijdens damp-heat en thermal cycling dan met koper als de geleider. Het proces van cold-spray is ook toegepast op een full-size module met 60 cellen.

Kostenberekeningen laten zien dat door toepassing van een dunne encapsulant en met aluminium als de geleider in de back-sheet het mogelijk is om een kostenreductie van de back-contact module van 8% ten opzichte van een back-contact module met 200 micron encapsulant en koper als de geleider.

Deze kostenbesparing, samen met de eerder vernoemde voordelen van de back-contact module, maakt dat deze back-contact modules kunnen concurreren met conventionele modules.

Inleiding

Back-contact modules worden gezien als het ultieme moduultype met een hoger vermogen dan conventionele modules. In conventionele modules wordt de voorkant van een cel elektrisch verbonden met de achterkant van de naburige cel door middel van het solderen van platte draden of tabs aan de metallisatie op de cel. Een back-contact cel heeft beide contacten zowel plus als min op de achterkant van de cel. Back-contact cellen kunnen elektrisch verbonden met elkaar worden doormiddel van een geleidende back-sheet. Een geleidende back-sheet is een back-sheet met een geleidende laag, normaal van koper. De geleidende laag is gepatroneerd om een serieschakeling te vormen in combinatie met het contactpatroon op de cellen. Back-contact cellen omvatten metal wrap through (MWT) en interdigitated back-contact (IBC) cellen.

Het module concept met een geleidende folie bestaat al een aantal jaren en apparatuur is beschikbaar om modules te maken volgens dit principe, maar de technologie is nog niet doorgebroken. Een van de nadelen die vaak genoemd wordt zijn de kosten en beschikbaarheid van de geleidende back-sheet. Ook de geleidende lijm, gebruikt om de cellen met de geleider te verbinden, wordt als duur gezien. De kosten van de geleidende folie zullen verlaagd worden door enerzijds de productie van de folie te verhogen wat buiten dit project valt en door toepassing van goedkopere materialen, met name het gebruik van aluminium in plaats van koper als geleider. Aluminium is meer dan een kwart goed koper dan koper voor een vergelijkbare geleiding. Reductie van de kosten van de geleidende lijm is lastiger omdat de geleiding gewaarborgd wordt door zilverdeeltjes in de lijm en alternatieven hebben nog niet de vereiste stabiliteit laten zien. Kosten kunnen wel gereduceerd worden door minimalisatie van de hoeveelheid lijm in een module. De hoeveelheid lijm wordt bepaald door de dikte van de encapsulant tussen de cellen en de geleidende folie. Voor conventionele encapsulanten is dit minimaal 200 micron. Een reductie van de afstand tussen cellen en geleider tot 100 micron zal volgens berekeningen resulteren in een reductie van lijmgebruik tot 70%.

Gebruik van aluminium als geleider heeft een nadeel en dat is het oxide die zich spontaan vormt op de oppervlakte bij contact met lucht. Aluminiumoxide is een isolator en resulteert in een hoge contactweerstand tussen de geleidende lijm en de folie. Om aluminium alsnog te kunnen gebruiken moet het oxide verwijderd worden en afgedekt met een contactlaag, zodat verder oxidatie wordt voorkomen. In dit project wordt koper gebruikt als deklaag vanwege zijn lage contactweerstand en compatibiliteit met de geleidende lijm. Het oxide kan mechanisch of thermisch verwijderd worden. De koper kan aangebracht worden door opdampen of, zoals in dit project, door de aluminium oppervlakte te bombarderen met koperdeeltjes. De koperdeeltjes met een doorsnede van 5-10 micron worden versneld door het verhitten van een draagas en door hun snelheid breken ze door het oxide op het aluminium. Vervolgens deformerend ze en vormen ze een conforme coating. Dit proces heet cold-spray omdat de deeltjes zelf niet worden verhit. De gerealiseerde kopercoating heeft een lage contactweerstand tussen geleidende lijm en aluminiumfolie en heeft een goede hechting met het aluminium. Modules gemaakt met geleidende folies van aluminium met een koper cold-spray coating werden getest in damp-heat en thermal cycling en vergeleken met geleidende folies op basis van alleen koper en van aluminium met opgedampt koper.

Onderzoek is ook gedaan naar mogelijke corrosie van de cold-spray koper. Bij een verbinding in de module komen verschillende metalen samen waaronder aluminium, koper en zilver. Bekend is dat in een vochtige omgeving en in aanwezigheid van een zuur, dat uit de encapsulant kan komen, een corrosiereactie kan optreden. In dit project is het systeem van aluminium, koper en zilver getest en het verschil in corrosiegevoeligheid tussen cold-spray en opgedampt koper getoetst.

Om de dikte van de encapsulant te reduceren is gekozen een poedercoating te gebruiken. Poedercoating wordt gebruikt als lak voor een aantal toepassingen waaronder auto's en meubels. De poederdeeltjes worden aangebracht met een spuitpistool. Dit geeft controle over de dikte van de coating. In dit project is onderzocht of het mogelijk is met een poedercoating een betrouwbare encapsulantlaag te vormen en een tool te ontwikkelen om poedercoating encapsulant te gebruiken in een back-contact module. Er is ook gekeken naar het aanbrengen van geleidende lijm op de cel in plaats van op de folie om zo het volume geleidende lijm te reduceren.

Als laatste is een kostenberekening gemaakt om het effect van een geleidende folie van aluminium met cold-spray en van een afname van de hoeveelheid geleidende lijm te bepalen op de kosten van de module.

Doelstelling

1. Ontwikkelen en demonstreren van het cold-spray proces op aluminium, optimaliseren van gebruik koper en onderzoeken van het effect van verschillende typen koperdeeltjes
2. Vergelijken van vermogen en reliability van vier-cel modules met modules gemaakt met een geleidende folie van koper en van een commercieel verkrijgbaar aluminiumfolie met opgedampte koper
3. Opschalen van cold-spray proces voor het maken van een aantal full-size demonstratie modules met 60 cellen
4. Toetsen van corrosiegevoeligheid van geleidende back-sheet van aluminium met cold-spray koper en vergelijken met geleidende folies van koper en aluminium met opgedampte koper, koppelen aan resultaten van damp-heat testing van de mini-modules
5. Ontwikkelen poedercoating encapsulant concept, onderzoeken verschillende poeders en parameters voor het aanbrengen van een coating, aanpassen van het proces om het geschikt te maken voor back-contact modules
6. Demonstreren van poedercoating encapsulant op single en vier-cel modules, aanpassen van de methode voor het aanbrengen van de geleidende lijm om een volumereductie te kunnen realiseren

Werkwijze

Cold-spray experimenten werden uitgevoerd door Dycomet. Dycomet heeft ervaring en apparatuur om dit te kunnen doen. Verder was Dycomet verantwoordelijk voor de acquisitie en evaluatie van verschillende koperdeeltjes en voor het opschalen van cold-spray voor full-size modules.

Karakterisatie van de opbouw van de coating, aangebracht door cold-spray, werd uitgevoerd door ECN. Mini-modules met verschillende back-sheets werden gemaakt door ECN met de mini-module lijn en getest in de klimaatkamers. De karakterisatie van de modules is ook uitgevoerd door ECN. DSM heeft laminaten geleverd van back-sheets met aluminium als de geleider en ook referentiefolies met koper en aluminium met opgedampte koper als geleider. Daarnaast heeft DSM het onderzoek uitgevoerd naar mogelijke corrosie in de module. DSM heeft corrosie-experts voor vergelijkbare materialen die gebruikt worden in de verpakkingindustrie.

Voor poedercoatings zijn poeders van DSM getest en vergeleken met commerciële poeders uit de auto-industrie. De poeders werden aangebracht door ECN in een daarvoor geschikte spuitcabine. Bij ECN is een methode en apparaat ontwikkeld om lokaal poeder te verwijderen bij het contact op de cellen en folies. ECN ontwikkelde ook een methode om geleidende lijm te screenprinten op de cellen met als doel een vermindering van het volume van de geleidende lijm. Modules gemaakt met poeder coated encapsulant werden gekarakteriseerd en getest door ECN.

Resultaten

Voor koper cold-spray is een aantal aspecten aangetoond:

- Het is mogelijk gebleken om met een relatief goedkope koperpoeder een contactlaag aan te brengen op een aluminiumfolie als onderdeel van een geleidende back-sheet
- Contactweerstandsmetingen met geleidende lijm laten zien, dat de contactweerstand van een aluminium back-sheet met koper cold-spray lager is dan van een koper geleidende back-sheet en dat de weerstand langer laag blijft in klimaatkamer testen
- Een aantal mini-modules met vier cellen is gemaakt met een aluminium met koper cold-spray geleidende back-sheet. Het rendement van de module is vergeleken met modules met een koper geleidende back-sheet en de resultaten laten zien dat het mogelijk is om een module te maken met dezelfde eigenschappen gebruik makend van dezelfde cellen
- Klimaatkamer tests (damp-heat en thermal cycling) van vier-cel modules laten zien dat de modules met een aluminium met koper cold-spray geleidende back-sheet beter presteren, vooral in damp-heat waar een testtijd van 4000 uur is bereikt met een reductie in vermogen van onder de 5%

- Corrosie-experimenten met koper cold-spray lieten zien, dat het materiaal zelf gevoeliger voor corrosie kan zijn in een zure en vochtige omgeving, zoals verwacht kan worden in een module. Tijdens de proeven is het materiaal niet geëncapsuleerd en is er geen geleidende lijm. De conclusie is dat de ruwe oppervlakte van de koper cold-spray, als het niet geëncapsuleerd is, een groot reactieoppervlak geeft wat gevoelig kan zijn voor corrosie, echter dezelfde ruwe oppervlakte resulteert in goede hechting tussen geleidende lijm en encapsulant wat, gebaseerd op de damp-heat resultaten van de mini-modules, corrosie voorkomt
- Een methode werd ontwikkeld waarmee het mogelijk is om een full-size folie te bedekken met koperlijnen op de plekken waar de geleidende lijm contact maakt met de folie. Een tijd van 40 seconden is nodig om alle koper aan te brengen wat in lijn is met de snelheid waarmee een module geproduceerd kan worden op de huidige apparatuur
- Een aantal demonstratiemodules is gemaakt gebruik makend van geleidende folies op basis van aluminium met koper cold-spray. De folies waren geschikt voor het productieproces en het was mogelijk om werkende modules te maken

Voor poedercoating als encapsulant zijn de volgende uitkomsten gevonden:

- Voor de geteste materialen was het mogelijk om een goed hechtende laag poedercoating aan te brengen op zowel de cellen als op glas en de geleidende back-sheet. Een proces is ontwikkeld om de poedercoating te stabiliseren na het aanbrengen om te voorkomen dat de poeder eraf valt tijdens manipulatie
- Een apparaat en methode zijn ontwikkeld om poedercoating te verwijderen van de cel en folie, zodat geleidende lijm aangebracht kan worden voor het maken van de module. Dit proces is aangetoond door het maken van single- en vier-cel modules
- Het aanbrengen van de geleidende lijm op de cel in plaats van op de folie is mogelijk gemaakt door het gebruik van een screen, zoals wordt gebruikt voor het aanbrengen van de metallisatie op de cel. Hiermee was het mogelijk om het lijmvolume te reduceren met 80%
- Een aantal werkende demonstratiemodules is gemaakt met een encapsulandikte van onder de 100 micron en met geprinte contacten op de cel. Demonstratiemodules zijn ook gemaakt met een geleidende folie van aluminium met koper cold-spray

Kostenberekeningen en vervolgactiviteiten

- Kostenberekeningen zijn uitgevoerd voor zowel het toepassen van koper cold-spray als het toepassen van poedercoating met gereduceerd volume geleidende lijm en de combinatie hiervan. Materiaalkosten van back-contact modules met een koper geleidende back-sheet en 200 micron encapsulant werden gebruikt als referentie
- Een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd voor dikte van de encapsulant, volumereductie van de geleidende lijm, productiecapaciteit, koperprijs en gebruik en het patroon voor het aanbrengen van koper cold-spray wat gekoppeld is aan de gebruikte cellen
- Voor poedercoating vormt volumereductie van de geleidende lijm de grootste kostenreductie. De maximale reductie is rekend op €7,63 per module van 280 Wp
- Voor koper cold-spray is de grootste besparing in het vervangen van koper als geleider door aluminium. Hiermee kan €3,20 gespaard worden per module van 280 Wp
- Als beide technieken toegepast worden kan een besparing van €10,83 bereikt worden wat overeenkomt met een besparing van 8% in vergelijking met een geleidende back-sheet van koper en een encapsulant met een dikte van 200 micron
- Vervolgactiviteiten zijn het verder ontwikkelen en opschalen van het cold-spray proces om het geschikt te maken voor massaproductie en het verder verfijnen van de methode voor het aanbrengen van gereduceerde volumes geleidende lijm. De verwachting is dat deze activiteiten opgepakt zullen worden door de partners van het Los Bacos project met een tijdslijn van 5 jaar om de ontwikkelingen te gebruiken in productie

Discussie, conclusies en aanbevelingen

Uit de resultaten is het duidelijk dat zowel koper cold-spray als poedercoating van encapsulant kunnen resulteren in een significante kostenreductie van de back-contact module. De uitkomsten van het onderzoek pakken twee bezwaren tegen back-contact moduletechnologie aan, namelijk de kosten van de geleidende back-sheet en van de geleidende lijm.

Koper cold-spray op aluminium als geleider in de back-sheet geeft niet alleen een reductie in materiaalkosten, het kan ook resulteren in een verhoogde duurzaamheid van de module, vooral in een warme en vochtige omgeving. Dit was niet te concluderen uit de corrosieproeven op de koper cold-spray zelf, maar werd wel duidelijk gezien in de module. Uitleg hiervoor is dat de ruwe oppervlakte van de koper cold-spray tot betere hechting met geleidende lijm en encapsulant in de module leidt met als resultaat een beter module. Damp-heat en thermal cycling proeven laten zien dat module met koper cold-spray net zo goed en vaak beter presteren dan de alternatieven. Verdere ontwikkeling van de cold-spray proces is nodig om het te kunnen opschalen naar massaproductie.

Het poedercoatingproces van de encapsulant is aangetoond bij mini-modules. Processen zijn ontwikkeld om back-contact modules te kunnen maken. Vooral het screen-printen van geleidende lijm heeft geresulteerd in het verminderde gebruik van dit materiaal. Het was mogelijk om een poeder te vinden waarmee modules gemaakt kunnen worden en klimaatkamerproeven met de modules waren positief. Een nadeel van poedercoating is, dat het proces van poedercoating moeilijk zou kunnen zijn om toe te passen in de huidige modulelijnen. De huidige lijnen zijn gemaakt om te werken met sheet encapsulanten. Ervaring met vloeibare encapsulanten laat zien dat het niet makkelijk is voor fabrikanten om hiervan af te stappen. De duidelijke kostenbesparing laat zien dat poedercoating aantrekkelijk is in combinatie met back-contact modules. Er is meer onderzoek en ontwikkeling nodig om een proces te ontwikkelen dat acceptabel is voor de modiefabrikanten.

Uitvoering van het project

Er waren weinig technisch of organisatorische problemen tijdens het project. De samenwerking tussen de partners verliep goed. De verdeling van taken tussen de partners was duidelijk en iedere partner heeft de verwachte inspanningen geleverd. Technisch was het niet mogelijk om de poedercoating als encapsulant op te schalen naar full-size modules. De investering die nodig zou zijn om dit uit te kunnen voeren was niet binnen de scope van het project. Als alternatief is EVA gebruikt voor de full-size demonstratiemodules. Dit is genoemd als alternatief in het werkplan. Additioneel werk is gedaan aan corrosie om zeker te zijn dat koper cold-spray geen onverwachte problemen zou geven tijdens damp-heat testing. Dit onderzoek paste binnen het budget van DSM. Over het hele project gezien zijn er geen significante verschillen tussen de begroting en werkelijk gemaakte kosten.

Kennisverspreiding is voornamelijk gedaan door presentaties tijdens bijvoorbeeld de EUPVSEC en andere workshops. Gepland is een presentatie tijdens de Back-contact Workshop in Freiburg in november 2017. Er is ook een interview gegeven voor Solar Magazine waar het project als voorbeeld voor TKI-projecten is genoemd. Verder presentaties staan gepland voor de EUPVSEC van 2017 in Amsterdam.