

Toepassing van Elektroluminescente Composieten in Lichtreclame

Bacheloropdracht Industrieel Ontwerpen

Marco Heersink
s1185373

1 November 2016



UNIVERSITEIT TWENTE.

Toepassing van Elektroluminescente Composieten in Lichtreclame

Bacheloropdracht Industrieel Ontwerpen

Auteur

Marcus Eduard Heersink
s1185373

Opleiding

Bachelor Industrieel Ontwerpen

Afsluitende Tentamen

.... November 2016

Opdrachtgever:

Parthian Technology B.V.
Zuidelijke Havenweg 40
7554 RR Hengelo (OV)
Nederland

Beoordelingscommissie:

G.M. Bonnema - Voorzitter

*Associate Professor in Multidisciplinary Systems Design
Universiteit Twente*

T.G.M. Krone - UT-begeleider

*Assistant Professor Design Engineering
Universiteit Twente*

E. Temmink - Bedrijfsbegeleider

*Managing Partner
Parthian Technology B.V.*

Bijlagen

- Vertrouwelijk Verslag
- Vertrouwelijke Bijlagen

Voorwoord

Voor u ligt de openbare informatie van het verslag “Toepassing van Elektroluminescente Composieten in Lichtreclame” van de bacheloropdracht Industrieel Ontwerpen die ik in de zomer van 2016 heb uitgevoerd voor Parthian Technology B.V. Dit verslag is geschreven in het kader van de afronding van mijn opleiding Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit Twente in Enschede.

Tijdens de uitvoering van deze opdracht was ik bijna dagelijks aanwezig bij het bedrijf, waar ik met vragen altijd terecht kon bij mijn begeleider, Evert Jan Temmink, of een van de medewerkers van het bedrijf die altijd veel interesse hebben getoond en me hebben gesteund in het voltooien van deze opdracht. Voor hulp en begeleiding voor mijn opdracht stond vanuit de Universiteit Twente Theo Krone altijd voor mij klaar om het schrijven van mijn verslag in goede banen te leiden.

Ik wil bij dezen mijn begeleiders en alle medewerkers van Parthian, Thales en RGN die mij hebben geholpen bij het uitvoeren van deze opdracht bedanken voor het delen van hun kennis en het hun ondersteuning bij de uitvoering van mijn opdracht, en in het bijzonder de medewerkers van Parthian ook voor de gezellige tijd die we samen op de werkvloer hebben doorgebracht. Het was een bijzondere ervaring om met composieten en functionele pigmenten te leren werken en ik heb naast het uitvoeren van de opdracht enorm veel inzicht gekregen in een wereld die voor mij nog onbekend was.

Marco Heersink

Enschede, 1 november 2016

Samenvatting

Parthian Technology B.V. is als mede-eigenaar van Xcite Solutions B.V. benaderd met de vraag of zij een elektroluminescent systeem kunnen verwerken op een groot formaat in een product van vezelversterkte kunststof. Het doel hiervan is om bestaande lichtbakken te vervangen door een efficiëntere vorm van lichtreclame.

Dit houdt in dat een oplichtend systeem dat eerder door Xcite is ontwikkeld moet worden aangepast om verwerkt te worden in producten van glasvezel en epoxyhars. Het doel van deze opdracht is: aantonen dat het mogelijk is om dit systeem te verwerken in een product dat bestaande lichtbakken kan vervangen.

Om te onderzoeken of het mogelijk is om deze techniek op een dergelijke manier toe te passen is allereerst gekeken hoe elektroluminescentie werkt, waarna met de opgedane kennis het systeem dat Xcite is geanalyseerd. Het oorspronkelijke systeem bleek volgens deze analyse niet geschikt te zijn voor de wensen van de opdrachtgever. Door het aanpassen van verschillende materialen en het selecteren van een nieuwe productiemethode is aangetoond dat de techniek ook kan worden gebruikt om grotere oppervlakken op te laten lichten.

Vervolgens is er als proof-of-concept een product ontworpen dat dienst kan doen als een demonstratiemodel voor de opdrachtgever. Tijdens het ontwerpen van dit demonstratiemodel is er geprobeerd om het systeem te optimaliseren door verbeteringen toe te passen die het systeem zuiniger laten werken en feller laten schijnen. Omdat de toepassing nog in kinderschoenen staat, is er in grove lijnen uitgezet hoe een definitief product eruit zou zien. Vervolgens is er een functionerend demonstratiemodel geproduceerd.

Het demonstratiemodel en de uitgevoerde testen bieden een basis voor de ontwikkeling van een definitief product en geven inzicht in de mogelijkheden die Parthian Technology B.V. op het moment te bieden heeft qua toepassing van een elektroluminescent systeem in een composietproduct.

Summary

As a co-owner of Xcite Solutions, Parthian Technology was approached to look into the possibilities of applying Xcite's electroluminescent system within a composite product. The overall goal of this application is replacement of existing signage and light boxes with a more efficient form of illuminated advertisement. For this assignment, the electroluminescent system that Xcite Solutions has developed for luminescent road markers has to be fitted for use in composite products.

First, a detailed inquiry was performed in electroluminescent effects and the existing EL-system has been analyzed thoroughly, after which was determined that it was not fit for use in composite panels and thus meet the clients' requirements. By changing several materials, design parameters and production methods the system was repurposed for lighting up larger areas in products made of glass fiber and epoxy resin.

Thereafter, as a proof-of-concept a product was designed in such a way that the client would be able to use it as a demo. During the design process, the optimization of several components has been realized to make the system more efficient and to make it shine as bright as possible. Since the development of this system has just started, a rough outline of the system has been created after which a functional demonstration model has been produced.

The produced model and performed test provide a structural basis for development of a final product and provide insights in the technologies that Parthian Technology has to offer at this moment regarding the application of electroluminescent systems within composite panels.

Voorwoord	3
Samenvatting.....	4
Summary	5
1. Inleiding	7
2. Elektroluminescentie.....	10
3. Analyse van het EL-Systeem	14
4. Ruimte Voor Ontwikkeling	16
5. Egaal licht.....	18
6. Basismateriaal	20
7. Productiemethode	22
8. Methode C.....	24
9. Ontwerp en productie Proof of Concept.....	27
10. Elektrode X	29
11. Optimaliseren de diëlektrische lagen.....	31
12. Wit Uiterlijk en Grafische Weergave.....	34
13. Elektrisch Circuit	35
14. Evaluatie van het demomodel.....	37
15. Conclusie en Aanbevelingen voor Electroluminescente Composieten in lichtreclame	40
16. Reflectie	42
Referenties	43

1. Inleiding

In dit verslag wordt antwoord gegeven op de vraag: Is het mogelijk om bestaande lichtreclame te vervangen door een product van composiet waarin elektroluminescente technologie is verwerkt. Bij de uitvoering van deze opdracht zijn vier bedrijven betrokken: Parthian, Anker Stuy, Xcite en RGN. Xcite is een bedrijf dat uit een samenwerking van het verfbedrijf Anker Stuy en het composietbedrijf Parthian is ontstaan en is gespecialiseerd in bijzondere “functionele” pigmenten. RGN Brand Identity Services heeft Xcite benaderd om een nieuwe techniek te vinden voor lichtreclame in producten van composiet.

1.1 Parthian Technology B.V.

Parthian Technology B.V. in Hengelo is een jong bedrijf dat werkzaam is in de composietindustrie en zich specialiseert in zowel ontwerp- als productieprocessen. In 2011 is het bedrijf begonnen op het Kennispark in Enschede, waarna het al snel verhuisde naar het High Tech Systems Park in Hengelo. Doordat ze hier een testlaboratorium van Thales hebben overgenomen, kunnen ze hier veel materiaalkundige proeven uitvoeren. Met ongeveer vijftien medewerkers is Parthian op het moment een groeiende partner voor producenten van een breed scala aan producten van composiet die zich onderscheidt door nauwe samenwerking en betrokkenheid met haar klanten. Het bedrijf werkt veel samen met studenten en heeft onder andere ook het Solar Team Twente ondersteund met werkzaamheden aan de Red One zonneauto. Voor deze opdracht heb ik als student veel gebruik mogen maken van de faciliteiten die Parthian Technology in Hengelo voorhanden heeft.



1.2 Anker Stuy B.V. en Xcite Solutions B.V.

Anker Stuy houdt zich bezig met het ontwikkelen van verf en pigmentpasta's. In het eigen laboratorium zijn zij bezig met innovatieprojecten zoals fosforescente wegmarkeringen en verf op bio-basis. Samen met Parthian Technology hebben zij, om toepassingen te vinden en te ontwikkelen voor “functionele” pigmenten in verf en epoxyhars, Xcite Solutions opgericht. Xcite Solutions heeft onderzoek gedaan naar bijvoorbeeld thermochrome en fotochrome pigmenten en is op het moment bezig met het ontwikkelen van een elektroluminescentiesysteem (EL-systeem) dat kan worden toegepast in producten van vezelversterkte kunststof.



1.3 Aanleiding Opdracht

RGN Brand Identity Services beheert en implementeert merkidentiteiten en visuele uitstraling voor veel organisaties en ziet mogelijkheden om elektroluminescente composieten toe te passen als vervanging van de bestaande lichtreclame. Zij hebben Parthian Technology benaderd om een haalbaarheidsanalyse uit te voeren voor het gebruik van het elektroluminescente composietsysteem in lichtreclame.



RGN is onder andere verantwoordelijk voor de uitstraling van retaillocaties die zijn voorzien van bestickering en oplichtende logo's door middel van lichtbakken. Om de opdracht een minder algemeen karakter te geven is ervoor gekozen om de resultaten van het onderzoek te verwerken in een fictieve business case voor het vervangen van de lichtbakken van één van de cliënten van RGN. Voor universele toepasbaarheid is RGN geïnteresseerd in een product dat wit licht uitstraalt.

1.5 Opdrachtschrijving

Parthian Technology geeft de opdracht om het huidige EL-systeem van Xcite Solutions aan te passen aan de wens van RGN en aan te tonen dat het systeem kan worden gebruikt voor lichtreclame in composieten met daarbij als proof-of-concept een functionerend prototype dat aan de wensen van RGN voldoet.

1.6 Composieten en Pigmenten

Een composiet is een mengsel van verschillende materialen om betere eigenschappen te verkrijgen dan de afzonderlijke materialen. (Joostdevree, 2016) In dit verslag wordt met het woord composiet een product bedoeld dat bestaat uit glasvezel en kunststof. Composieten zijn erg licht en sterk vergeleken met bijvoorbeeld staalconstructies van gelijke sterkte. Ook bieden composieten meer vrijheid qua vorm en vertonen ze geen moeheid. Bij Parthian Technology zijn composieten opgebouwd uit meerdere lagen van gewoven glasvezels die worden geïmpregneerd met epoxyhars. De vezels worden de *(versterkings-)fase* genoemd en zorgen voor de sterkte in het materiaal. De epoxyhars is de *matrix* en die zorgt ervoor dat de vezels op de juiste plek blijven liggen en het product dus zijn vorm behoudt. Producten van composiet worden gemaakt in een mal. Er zijn over het algemeen twee manieren om een product te fabriceren: handlamineren en vacuüminfuseren. Bij de eerste methode wordt de mal met de hand bekleed met reeds geïmpregneerde vezelmatten. Deze plakken op elkaar en de hars hardt vervolgens uit, waarna het product uit de mal kan worden gehaald. Bij de tweede methode worden verschillende lagen glasvezel op elkaar gelegd en vervolgens wordt hier een plasticfolie overheen geplaatst. Alle lucht wordt onder het plasticfolie weggezogen waardoor er een vacuüm ontstaat. Vervolgens wordt er epoxyhars in het vacuüm gezogen en ontstaat er een dun product van hoge kwaliteit.

Een pigment is een stof die aan een basismateriaal wordt toegevoegd om er een kleur aan te geven. Xcite Solutions is gespecialiseerd in het verwerken van pigmenten die méér doen dan alleen kleur geven, zogenaamde *functionele pigmenten*. Deze pigmenten zorgen ervoor dat het product extra functies kan vervullen. Thermochrome en fotochrome pigmenten kunnen ervoor zorgen dat het product reageert op veranderingen in licht of temperatuur. Wanneer direct zonlicht moet worden geweerd kan er bijvoorbeeld een pigment worden toegevoegd dat donker wordt wanneer er zonlicht op valt. Het EL-Systeem van Xcite bestaat niet uit één pigment maar uit meerdere pigmenten die als een systeem samenwerken. Door het EL-Systeem toe te voegen in een product, verandert het composiet dus in een lamp.

1.7 Eerder onderzoek

Bij Xcite Solutions is al eerder onderzoek gedaan naar elektroluminescentie en het verwerken van een EL-systeem in vezelversterkte kunststoffen en andere materialen. Dit is voor een groot deel uitgevoerd door twee studenten die ook een Bacheloropdracht Industrieel Ontwerpen hebben gedaan in opdracht van Parthian Technology. In 2014 is Rianne van der Pol begonnen met de ontwikkeling van het systeem door onderzoek te doen naar verschillende elektroluminescente pigmenten, diëlektrica en materialen voor de geleidende boven en onderlaag. Dit onderzoek heeft geresulteerd in een aantal suggesties voor materialen waarvan verder kon worden onderzocht hoe deze verwerkt moesten worden. In 2015 heeft Goffe-Jan Mellema het onderzoek van Xcite en Van der Pol gebruikt om het EL-systeem verder uit te werken en toe te passen in wegmarkering. Tijdens het uitvoeren van de opdracht is er veel informatie gehaald uit de verslagen en onderzoeken van beide.

1.8 Begrippenlijst

Voor een uitgebreide begrippenlijst kunt u bijlage A raadplegen.

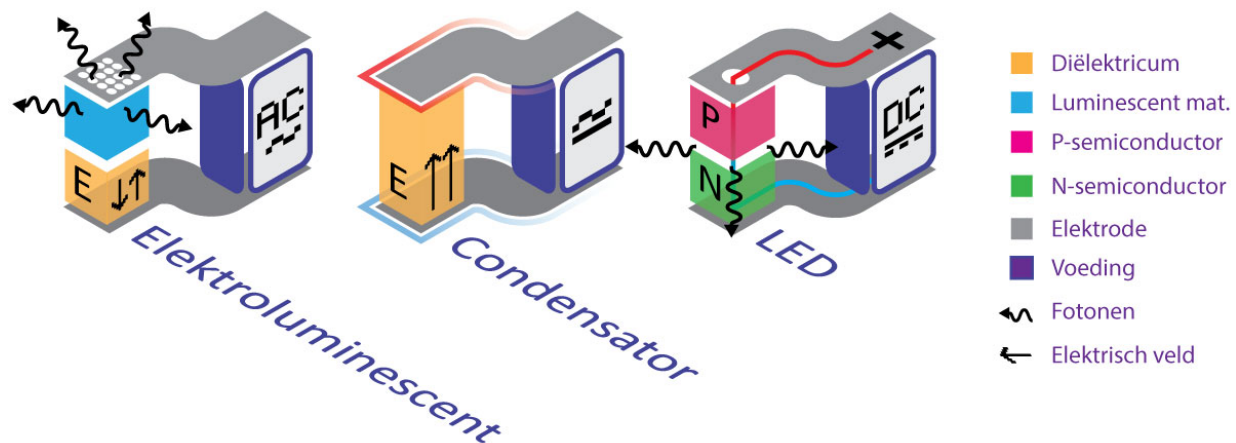
1.9 Inhoud van deze opdrachtreportage

Deze opdrachtreportage bevat de openbare informatie uit de bacheloropdracht 'Toepassing van Elektroluminescente Composieten in Lichtreclame'. In verband met geheimhouding zijn recepten van compounds, productiemethoden, bijlagen en andere specifieke data uit het verslag verwijderd en wordt louter de werkwijze van de opdracht omschreven.

Vanwege de tweeledige aard van deze opdracht betreft het eerste deel van deze rapportage de analyse en ontwikkeling van het Xcite EL-systeem en het tweede deel de toepassing van dit systeem als vervanging van de huidige lichtreclame van een cliënt van RGN. De verschillende hoofdstukken in het verslag zijn niet per se op chronologische volgorde geplaatst aangezien veel onderzoeken tegelijkertijd zijn uitgevoerd.

2. Elektroluminescentie

Het begrip elektroluminescent kan op meerdere manieren worden geïnterpreteerd. Om verwarring te voorkomen en consequent te werk te gaan is in het begin van de opdracht elektroluminescentie omschreven zoals het begrip wordt gebruikt bij Xcite Solutions.



Figuur 1 - Schematische weergave van de sterk op elkaar lijkende LED, Condensator en Elektroluminescente lamp

Elektroluminescentie is de productie van licht onder invloed van een elektronenstroom of een sterk elektrisch veld, waarbij elektrische energie direct wordt omgezet in zichtbaar licht. Er zijn drie vormen van elektroluminescentie, namelijk: veldionisatie-, impactionisatie- en ladingsinjectie-elektroluminescentie. (Piper, 1955) Het verschil tussen deze vormen is dat er bij de eerste twee licht wordt geproduceerd door het bewegen en botsen van elektronen in een elektrisch veld, en bij de ladingsinjectie-elektroluminescentie de elektronen direct worden omgezet in licht. Een voorbeeld van de laatste vorm van elektroluminescentie is de LED. Het EL-systeem van Xcite is echter gebaseerd op de eerste twee vormen van Elektroluminescentie. Om de werking van elektroluminescente lampen te vergelijken worden hierna een condensator, een elektroluminescente lamp en een led met elkaar vergeleken. In figuur 1 zijn deze verschillende systemen schematisch weergegeven.

2.1 Condensator

Condensatoren zijn componenten om een elektrische capaciteit in op te slaan. Deze zijn opgebouwd uit twee elektroden waartussen zich een niet geleidende stof bevindt, een diëlektricum. Er kunnen geen elektronen stromen, maar er kan wel een elektrisch veld in het diëlektricum ontstaan. Een elektrisch veld kan kracht uitoefenen op elektronen en ze dus aantrekken of afstoten. Wanneer er een elektrisch potentiaalverschil, een voltage, op beide elektroden van de condensator wordt gezet, zal de negatieve elektrode zich vullen met elektronen en door het overschot aan negatieve elektronen zal dit de elektronen aan de andere kant van het diëlektricum afstoten. Dit betekent dat er een overschot aan elektronen (een negatieve lading) of een overschot aan holes (een positieve lading) kan voorkomen. Hierdoor ontstaat er in het diëlektricum een evenwijdig, uniform elektrisch veld. Hoe groter het oppervlak van de elektroden is hoe meer ruimte er is voor een lading, en hoe dunner het diëlektricum hoe sterker het elektrische veld is. De capaciteit van een condensator is dus sterk afhankelijk van de oppervlakte van de elektroden en de dikte van het diëlektrische materiaal.

2.2 Elektroluminescente lamp

Een elektroluminescente lamp, of *EL-lamp* is in principe een condensator met een bijzondere diëlektrische laag. Deze laag bestaat uit een diëlektrische laag en een fluorescente, oplichtende, laag. Wanneer er een wisselspanning op de elektroden wordt gezet wisselt de richting van het elektrische

veld in de diëlektrische laag continu. Door het wisselen van dit elektrische veld worden de elektronen van de luminescente materialen sterk beïnvloed, waarbij licht vrijkomt. Dit heet het Destriau-effect.

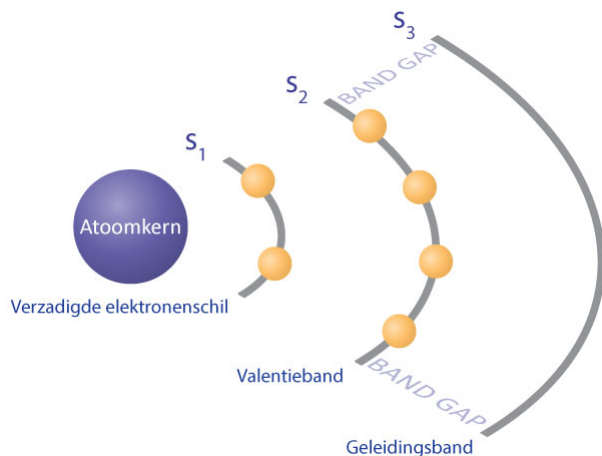
2.3 LED

Een led is een diode die afhankelijk van de polariteit, geleidt of zich gedraagt als een condensator. Een led bestaat namelijk uit twee bijzondere halfgeleiders: een P-type met holes, openingen voor vrije elektronen, en een N-type een met veel vrije elektronen. Waar de twee types elkaar raken, bij P-N-junction, vullen de vrije elektronen de holes op. (Piper, 1955) Verder van de junction hebben de beide halfgeleiders hun eigen eigenschappen. Holes hebben een lager energieniveau dan elektronen. Wanneer een elektron een hole vult is er energie over die verdwijnt in de vorm van een foton. Omdat er nu teveel elektronen in het P-type zitten wordt er een elektron afgevoerd waardoor er weer een hole ontstaat voor het volgende elektron. Omdat bij deze vorm van elektroluminescentie ook licht ontstaat door het terugvallen van een elektron, lijkt deze erg op de gebruikte techniek. Het is echter belangrijk om deze niet te verwarren met het Destriau-effect.

2.4 Het Destriau-effect

Nu het verschil tussen de LED, de condensator en de EL-lamp is omschreven zal de werking van de EL-lamp wat gedetailleerder worden uitgelegd. Om het effect te creëren moeten er namelijk vier lagen aanwezig zijn. In al deze lagen hebben elektronen een andere functie.

Om een atoom kan een elektron zich op verschillende niveaus begeven in zogenaamde elektronenschillen. Dit is grafisch weergegeven in figuur 2. Wanneer de eerste schil gevuld is wordt de volgende schil gevuld enzovoort. Iedere schil heeft een maximum aantal elektronen dat gelijk is voor alle materialen. Hoeveel elektronen een atoom bevat is terug te vinden in het periodiek systeem. De elektronen met het hoogste energieniveau bevinden zich aan de buitenkant van het atoom in de *valentieband*. Deze elektronen kunnen een binding aangaan met elektronen in de valentieband van een andere atoom. De hoogste bezette schil heet de HOMO, *highest occupied molecular orbital*. Boven de valentieband zit nog een energieniveau, de LUMO, *lowest unoccupied molecular orbital*. (Hunt, 2016) Elektronen op dit niveau zijn zo ver van de kern verwijderd dat ze vrij kunnen bewegen van atoom naar atoom. Dit is de *geleidingsband*. In geleidende materialen kunnen elektronen vrij bewegen van de valentieband naar de *geleidingsband* en dus door het materiaal reizen. Bij isolerende materialen liggen deze banden verder uit elkaar en ontstaat er een verboden ruimte tussen deze twee banden. De afstand van deze band wordt *band gap of bandkloof* genoemd. De elektron kan hier alleen doorheen wanneer er genoeg energie aan wordt toegevoegd om de band gap te overbruggen. Dit kan bijvoorbeeld in de vorm van warmte of een elektrisch veld. (Nave, 2016)



Figuur 2 - Een schematische weergave van een atoomkern met de verschillende elektronenschillen.

Elektrode

De eerste en laatste laag van een EL-systeem zijn elektroden, dit zijn geleiders. Wanneer er een voltage op de elektroden wordt gezet, vult de negatieve elektrode zich met elektronen en worden de elektronen uit de positieve elektronen getrokken zodat er holes ontstaan. Hierdoor ontstaat er een elektrisch veld van de negatieve naar de positieve elektrode dat kracht uitoefent op elektronen

tussen de elektroden en dus gebruikt kan worden om arbeid te verrichten. De voornaamste functie van een elektron is op dit punt het laden van de elektrode.

Diëlektricum

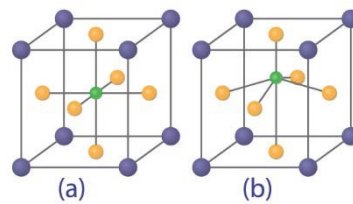
Om ervoor te zorgen dat de twee elektroden geen contact maken moet er een elektrische isolator tussen zitten. Dit is materiaal met een bandkloof die zo groot is dat de elektronen zelfs door het sterke elektrische veld niet in de geleidingsband terecht kunnen komen.

Wanneer dit toch gebeurd slaat het materiaal door en ontstaat er kortsluiting. De laag moet dus een hoge doorslagspanning hebben. De doorslagspanning is afhankelijk van het materiaal en de dikte van de laag. Hoewel het volgens de klassieke mechanica onmogelijk lijkt, zijn er toch elektronen die zich door de isolator kunnen verplaatsen zonder dat deze kapot gaat. Van dit effect, dat *quantum-mechanical tunneling* heet, is nog niet precies duidelijk hoe het werkt maar het is gebaseerd op kwantummechanica. (Ivey, 1957) Als dit ook voorkomt in het systeem van Xcite, dan is er naast veldionisatie ook sprake van impactionisatie in de fluorescente laag.

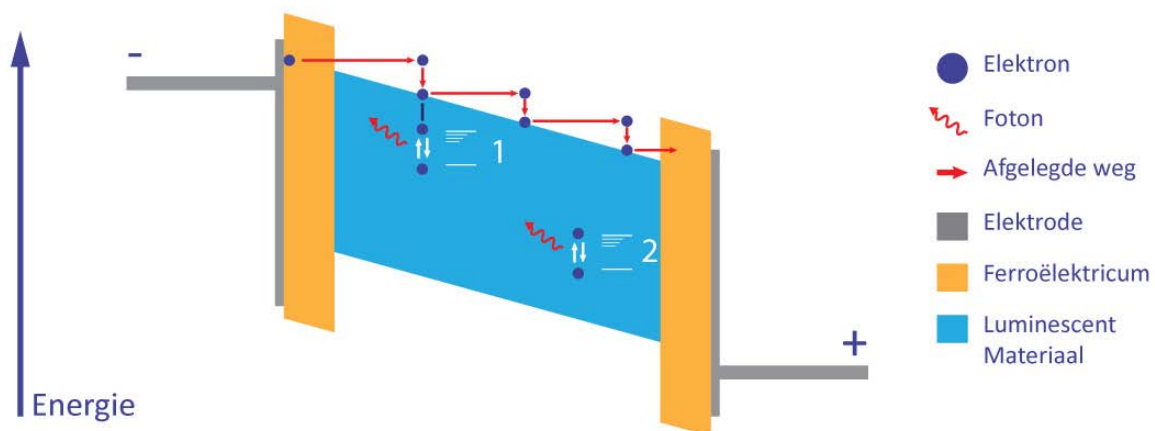
De diëlektrische laag in het systeem van Xcite bevat een ferroëlektrisch materiaal, wat betekent dat het materiaal een elektrische pool heeft zoals in figuur 3. Dat wil zeggen dat de ene kant elektronen afstoot terwijl de andere deze aantrekt. Wanneer de spanning hoog genoeg is zal door de wisseling van het elektrische veld, de polarisatie van het ferroëlektrische materiaal omklappen. Hoewel de precieze invloed van dit materiaal op het systeem nog niet is onderzocht, lijkt het erop dat het een ondersteunende werking heeft bij het laten oplichten van de pigmenten.

Fluorescente laag

In het fluorescente pigment gaan de elektronen bijzonder gedrag vertonen onder invloed van het wisselende elektrische veld. Door dat elektronen energie opnemen en verliezen in de vorm van fotonen, ontstaat er licht in deze pigmenten. Er zijn veel verschillende manieren waarop elektronen hier aangeslagen raken. Dit kan bijvoorbeeld doordat een elektron uit zijn schil wordt getrokken naar een hoger energieniveau en hierbij een hole achterlaat. Open holes kunnen worden samengevoegd met een elektron waarbij een foton vrijkomt. Dit is een van de meest waarschijnlijke verschijnselen. Wanneer er elektronen worden geïnjecteerd door middel van tunnelen is er ook nog een ander waarschijnlijk verschijnsel: De geïnjecteerde vrije elektronen kunnen tegen de fluorescente deeltjes



Figuur 3 - Het bijzondere diëlektrische. Boven de curietemperatuur (a) is het materiaal neutraal. Onder deze temperatuur verplaatst het middelste atoom zich uit het rooster (b) en raakt het materiaal elektrisch gepolariseerd.



Figuur 4 - Twee vormen van elektroluminescentie. (1) een elektron wordt in het luminescente materiaal geïnjecteerd en slaat verschillende elektronen aan. (2) Door het sterk wisselende veld raakt een elektron aangeslagen en valt weer terug.

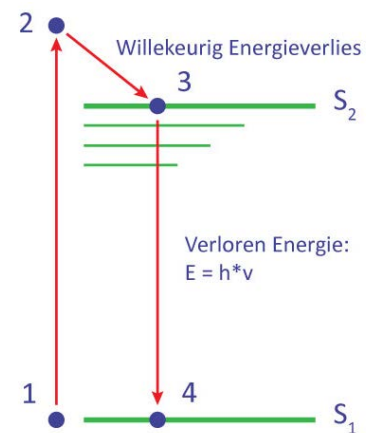
botsen. Bij iedere botsing verliest de elektron energie aan de elektron waartegen deze botst. Dit

elektron raakt hierdoor aangeslagen en laat een hole achter. Vervolgens wordt geïnjecteerde, vrije elektron door het elektrische veld tegen de volgende elektron geforceerd om uiteindelijk de positieve elektrode te bereiken. In figuur 4 is schematisch weergegeven hoe dit verloopt.

2.8 Fluorescentie

De vrije elektronen hebben tijdens het transport geen licht geproduceerd maar wel een proces in gang gezet. De elektronen waar ze in het fluorescente materiaal tegenop zijn gebotst hebben namelijk energie geabsorbeerd waardoor ze niet meer op hun stabiele niveau verblijven. De elektronen zijn in *aangeslagen toestand*, wat betekent dat ze terug willen vallen naar hun stabiele niveau. Dit gebeurt in twee stappen: Terugvallen naar het dichtstbijzijnde energieniveau en vanaf dat energieniveau terugvallen naar het stabiele energieniveau. Bij het terugvallen komt energie vrij. (Piper, 1955) Wanneer het elektron naar het dichtstbijzijnde niveau terugvalt, kan dat worden gezien als een dwarrelend blaadje dat willekeurig wat energie verliest. Het elektron verliest hier spin in de vorm van fononen, energiegolven. Wanneer de elektron vervolgens van een aangeslagen niveau terugvalt naar de grondtoestand

gebeurt dat in een strakke beweging waarbij ineens een pakketje energie vrijkomt. Dit pakketje energie bevat precies de hoeveelheid energie die gelijk is aan het energieverschil tussen de twee niveaus en heet een foton. Wanneer deze hoeveelheid energie overeenkomt met die van een foton die in het zichtbare spectrum valt noemen we dat licht. Afhankelijk van welk niveau de elektron terugvalt en hoeveel energie hierbij vrijkomt wordt de kleur van het licht bepaald. De kleur is namelijk afhankelijk van de frequentie waarop het foton trilt en de energie van een foton is afhankelijk van een constante waarde en de frequentie. Als er meer energie vrijkomt is de frequentie dus de enige variabele waarin de energie kan worden opgeslagen. De vergelijking voor de hoeveelheid energie die een foton bevat is $E=h*\nu$. De energie, uitgedrukt in joule, is gelijk aan de frequentie waarop het foton trilt in Hz vermenigvuldigd met de constante van Planck, $6.626*10^{-34}$ joule per seconde.



Figuur 5 - Een Jablonski-diagram waarin het aanslaan en terugvallen van een elektron naar zijn grondtoestand te zien is.

Analyse van het Xcite EL-Systeem

3. Analyse van het EL-Systeem

Het startpunt van de opdracht is het reeds door Xcite Solutions ontwikkelde EL-systeem. Om een duidelijk beeld te krijgen van de situatie bij aanvang van de opdracht is het systeem grondig geanalyseerd en vervolgens in kaart gebracht.

3.1 Het “Originele” Xcite EL-Systeem

Omdat het systeem nog in ontwikkeling is, is er bij aanvang van de opdracht nog geen concreet product dat kan worden geanalyseerd. Er is echter wel onderzoek gedaan naar hoe het systeem er ongeveer uit zou moeten zien. Het systeem dat tot nu toe wordt nagestreefd bij de productie van samples is als volgt opgebouwd:

In het EL-systeem van Xcite Solutions zijn de twee lagen van het diëlektricum aan te brengen als een vloeistof op vaste elektroden op deze volgorde:

- **Elektrode X**
- **Ferroëlektrische laag**
Omdat een egale laagdikte van belang is bij het aanbrengen van deze laag wordt deze op het moment aangebracht met Methode A. Het systeem is nog in ontwikkeling en wordt nog niet op grote schaal geproduceerd. De productiemethode die tot nu toe is uitgewerkt is voor productie in lange stroken. (Mellema, 2016) Het materiaal is gebaseerd op Materiaal α waaraan Pigment B is toegevoegd.
- **Elektroluminescente laag**
Ook deze laag is gebaseerd op Materiaal α , hier is echter Pigment A aan toegevoegd.
- **Elektrode X**

Naast een analyse van de componenten is er ook gekeken naar de prestaties en aansturing van het paneel. Deze zijn nog niet optimaal.

Om dit systeem op te laten lichten wordt het aangesloten op de testopstelling van Parthian Technology. Wanneer er een ideaal systeem wordt aangesloten zou dat volgens de specificaties het gewenste licht uitstralen op een signaal met een specifieke frequentie en amplitude.



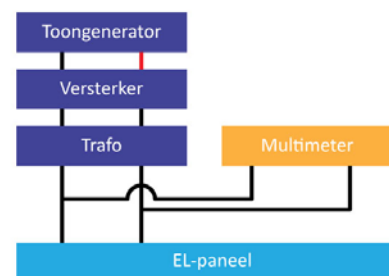
Figuur 6 - Een testpaneel dat is gemaakt vóór de start van de bacheloropdracht. Deze proef is door Xcite gedaan om te kijken of er grote oppervlakten kunnen worden gemaakt. Er zijn veel onzuiverheden te zien in het oplichtende paneel.

3.3 Testopstelling

Om verschillende samenstellingen, laagdiktes en materialen te testen worden binnen Xcite monsters geproduceerd die kunnen worden getest in een testopstelling. Deze testopstelling is weergegeven in figuur 7 en bestaat uit:

Toongenerator

Een apparaat dat een elektrisch signaal met een sinusvorm genereert met een variabele amplitude en frequentie.



Figuur 7 - Een schematische weergave van de testopstelling die aanwezig is bij Parthian in Hengelo

Versterker

Hier wordt de stroom van het signaal vergroot zodat er genoeg vermogen is om een paneel aan te sturen.

Transformator

Hierin wordt de amplitude van het signaal afhankelijk van hoeveel stroom er loopt verhoogt tot het gewenste niveau

Multimeter

een meetapparaat dat verschillende waarden kan meten, waaronder: gelijkspanning, wisselspanning, weerstand en frequentie.

Parthian Technology heeft naast deze testopstelling ook beschikking over diverse andere meetapparaten zoals bijvoorbeeld een oscilloscoop en een elektronenmicroscoop. Omdat veel testresultaten afhankelijk zijn van de hoeveelheid licht die een monster produceert, is de testopstelling geplaatst in een donkere kamer zodat de observaties niet worden beïnvloed door licht dat van buiten naar binnen lekt.

3.4 Eerste proefplaat

Voor een externe partij heeft Xcite twee prototypes van het EL-systeem geproduceerd. Deze werken op een specifiek elektrisch signaal. Om ze op te laten lichten moeten ze worden aangesloten op een externe toongenerator.

Voorafgaand aan deze opdracht is er al een poging gedaan om een egaal oplichtende plaat te maken van groot formaat. Dit is gedaan door de lagen in plaats van met Methode A, met Methode B aan te brengen op de elektrode. Hier is vervolgens weer een elektrode op geplaatst en daarna is het systeem afgewerkt met een doorschijnende coating om de plaat een glad uiterlijk te geven. Deze plaat is weergegeven in figuur 6. Er waren veel onzuiverheden te zien in het licht van dit paneel en bij aanvang van de opdracht was het paneel reeds doorgebrand.

3.5 Ontwikkeling

Naast het zoeken naar een systeem dat op een grotere oppervlakte kan worden aangebracht, wordt er ook onderzoek gedaan naar het vervangen van de elektroden door een ander geleidend materiaal: Elektrode Y. Dit materiaal is verwerkt in een formule die kan worden aangebracht als een dunne laag, die vervolgens op 80 graden moet worden getemperd om een geleidende laag te vormen. Gebruik van dit materiaal brengt een aantal voordelen met zich mee. Een nadeel van dit materiaal is dat het door de viscositeit en gewenste laagdikte erg kwetsbaar is. Omdat er voordelen schuilen in het toepassen van Elektrode Y, is het meegenomen in de ontwikkeling van het systeem.

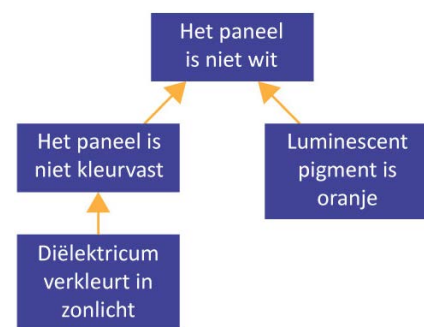
4. Ruimte Voor Ontwikkeling

Het is de bedoeling dat het EL-systeem een universeel toepasbaar systeem wordt in composietproducten. Bij het verder ontwikkelen van het systeem wordt er rekening mee gehouden het niet alleen geschikt moet zijn voor gevelreclame maar bijvoorbeeld ook in verkeersborden en straatmeubilair. Om het EL-systeem verder te ontwikkelen zullen eerst de tekortkomingen ervan in kaart worden gebracht, waarna er, aan de hand van hoeveel impact deze tekortkomingen hebben, wordt gekeken wat de ideale manier is om deze te verhelpen.

Om te ontdekken waar de grootste ruimte is voor ontwikkeling, zijn de bestaande ontwerpen en testers van Xcite geanalyseerd. Door te onderzoeken waar de meeste tekortkomingen van het systeem zitten is het mogelijk om die knelpunten het eerst aan te pakken. Zo is het mogelijk om een rationele keuze te maken bij het verbeteren van het systeem.

4.1 Problem perception mapping

De problemen van het huidige product zijn in kaart gebracht met een tweetal problem perception maps. Voor het maken van een problem perception map worden alle mankementen van het systeem verzameld om algemene problemen te formuleren. Er is een map voor algemene problemen en een map voor technische mankementen. Een van de onderdelen van de map is weergegeven in figuur 8. De volledige maps zijn te vinden in bijlage B. Voor de algemene problemen kan nu een doel worden gesteld in de vorm van een eis of wens waaraan het prototype of uiteindelijke product moet voldoen.



Figuur 8 - Een gedeelte van een problem Perception map. Problemen zijn verzameld en vervolgens met elkaar gelinkt met een oorzaak-gevolgrelatie

Uit deze analyse zijn zes hoofdproblemen gegenereerd:

- Het paneel is niet wit
- Er wordt geen afbeelding verlicht
- De kwaliteit van het licht is laag
- Het paneel is onbruikbaar voor de consument
- Het product is niet gebruiksvriendelijk
- Het product gaat stuk

4.2 Ranking van de problemen

Deze problemen zijn zoals in figuur 9 te zien is in een tabel gevoegd en vervolgens is ieder probleem op impact vergeleken met de 5 andere problemen om te ontdekken welk probleem het grootst is. Hoewel de inschatting grotendeels op gevoel is gebaseerd is er bij het vergelijken rekening mee gehouden of het probleem erg onderhevig is aan veranderingen in het ontwerpproces, in hoeverre het de productie van een prototype belemmert, en of het probleem eerder of later in het ontwerpproces thuishoort.

Probleem Ranking	1	2	3	4	5	6	Score	Rang
1. Het paneel is niet wit	●	●	●	●	●	●	3	3
2. Er wordt geen afbeelding verlicht	●	●	●	●	●	●	2	4
3. De kwaliteit van het licht is laag	●	●	●	●	●	●	5	1
4. Het paneel is onbruikbaar voor de consument	●	●	●	●	●	●	4	2
5. Het product is niet gebruiksvriendelijk	●	●	●	●	●	●	1	5
6. Het product gaat stuk	●	●	●	●	●	●	0	6

Figuur 9 - Ranking van de problemen. Door de problemen te vergelijken zijn op volgorde te plaatsen van meeste naar minste negatieve impact

De doelstelling is om in het resultaat van de opdracht de drie grootste problemen te verhelpen, omdat het vanwege de beperkte tijd die beschikbaar is voor de opdracht belangrijk is dat er efficiënt naar oplossingen wordt gezocht. De drie grootste problemen volgens de ranking zijn:

- De kwaliteit van het licht is laag
- Het paneel is onbruikbaar voor de consument
- Het paneel is niet wit

Deze drie onderdelen zijn essentieel gebleken voor een proof-of-concept en er moet worden onderzocht hoe deze problemen verholpen kunnen worden. Het streven is om al deze problemen zo te verhelpen dat alle onderliggende problemen uit de problem perception map ook worden opgelost.

4.3 Programma van Eisen en verdere ontwikkeling

Het systeem is geanalyseerd en er is een aantal mankementen van in kaart gebracht die in deze opdracht zoveel mogelijk zijn verholpen. Dit is gedaan aan de hand van een programma van eisen dat te vinden is in bijlage C. Per onderdeel van het systeem zijn de eisen verzameld en ook is er gekeken naar wensen die het systeem nog aantrekkelijker maken. De eisen zijn gebaseerd op problemen die zijn ontstaan in de productie van vorige panelen en informatie vanuit RGN. Doordat sommige informatie pas later beschikbaar was, en het programma van eisen continu werd aangepast zal het demonstratiemodel niet aan alle eisen voldoen. Deze eisen kunnen echter wel worden meegenomen bij verdere ontwikkeling van het systeem.

In de hoofdstukken 5, 6 en 7 zijn de elektroden, de diëlektrische lagen en de productiemethode bekeken en onderzocht of ze geschikt zijn voor het maken van een product dat aan de gestelde eisen voldoet. Waar nodig zijn er aanpassingen gedaan aan het productieproces zodat het in theorie mogelijk zou zijn om een demonstratiemodel te produceren. Daarna zijn alle onderdelen van het demonstratiemodel uitgewerkt en is er daadwerkelijk een model geproduceerd dat kan worden getoetst aan de hand van deze eisen.

Aan de hand van bevindingen uit dit onderzoek en de ervaringen die binnen het bedrijf zijn opgedaan is er een product ontworpen waarin specifiek voor retaillocaties lichtreclame op vernieuwende wijze in is toegepast.

5. Egaal licht

De kwaliteit van het licht bleek het grootste probleem te zijn volgens de probleemranking. Om deze kwaliteit te verbeteren is er onderzocht wat de oorzaken zijn van deze slechte kwaliteit. Eén van de oorzaken is het nog onverklaarde effect dat in het testpaneel te zien is, vanaf nu *Fenomeen 1*. Er waren verschillende vermoedens over het ontstaan van effect. Aangezien er wordt gewerkt met frequenties en Elektrode X zou er sprake kunnen zijn van een frequentieafhankelijk probleem. Ook zou het te wijten kunnen zijn aan niet optimale uitlijning van Elektrode X, waardoor er door het al dan niet overlappen hiervan *Fenomeen 1* ontstaat.

In het programma van eisen staat “Het product moet egaal licht uitstralen”. Om deze eis meetbaar te maken is ervoor gekozen om het verschil in lichtopbrengst per vierkante centimeter maximaal 5 candela te laten zijn. Dit betekent dat er op die vierkante centimeter wél grotere verschillen mogen zijn. Dit is zo gedaan opdat Elektrode X nog te gebruiken is. Verschil in lichtopbrengst is namelijk inherent aan het gebruik van Elektrode X. Deze kleine schommelingen in opbrengst zijn nauwelijks zichtbaar met het blote oog. Het *Fenomeen 1* dat zichtbaar was in het paneel betreft een groter oppervlak en is dan ook van veraf waarneembaar, daarom is het belangrijk dat dit wordt voorkomen.

5.1 Frequentie

Wanneer het fenomeen te maken zou hebben met de frequentie van het signaal dat op het paneel wordt gezet, dan zou het patroon naar alle waarschijnlijkheid veranderen wanneer de frequentie wordt aangepast. Omdat beide panelen bij aanvang van de opdracht al zijn doorgebrand is er niet met zekerheid na te gaan of het *Fenomeen 1* veranderde wanneer het signaal werd veranderd. Werknemers van Xcite die met het paneel hebben gewerkt waren er echter van overtuigd dat het *Fenomeen 1* niet veranderde tijdens het testen met verschillende frequenties. Daarom is ervoor gekozen om eerst te onderzoeken of het probleem te maken heeft met de uitlijning van Elektrode X. De test hiervoor is namelijk eenvoudiger uit te voeren en waarschijnlijk heeft het probleem niet te maken met de frequentie.

5.2 Fenomeen 1

Er zijn grote overeenkomsten tussen het effect dat wordt waargenomen en een effect uit een andere industrie. Om erachter te komen of dit daadwerkelijk het effect is dat is waargenomen in het paneel uit figuur 6, is er een test bedacht. Om materialen, en tijd te besparen is er een testopstelling gemaakt waarbij de elektroden kunnen worden hergebruikt: de lagen zijn niet met elkaar verbonden maar alleen op elkaar gelegd. Om ervoor te zorgen dat het elektrische veld zo sterk mogelijk is worden de twee lagen onder een glasplaat sterk op elkaar gedrukt.

5.3 Testresultaten

Doordat er niet veel Elektrode X beschikbaar was ten tijde van de test is er de testsample hergebruikt. Deze Elektrode X was nog over uit een vorig onderzoek. De eigenschappen van deze elektrode zijn slechter dan die van een gebruikelijke elektrode, waardoor het effect minder goed waarneembaar was. Desalniettemin voldeden de waarnemingen aan het genoemde effect. Door de gelijkenissen met het fenomeen dat in theorie zou ontstaan, wordt aangenomen dat *Fenomeen 1* wordt veroorzaakt door gebruik van Elektrode X in het systeem.

Het is wenselijk dat het systeem tóch wordt uitgevoerd met twee Elektrodes A. In principe is het mogelijk om het effect volledig op te heffen, of het effect drastisch te verminderen. Dit kan op de volgende manieren:

Oplossing 1

Er is een drietal oplossingen bedacht voor het verhelpen van Fenomeen 1. De eerste oplossing houdt in dat alleen onder ideale omstandigheden het product zal werken, maar dan zal het ook optimaal werken. De foutmarge is echter zo gering dat kleine productiefoutjes desastreus effecten kunnen hebben.

Oplossing 2

De tweede oplossing houdt juist in dat de het zichtbare effect van Fenomeen dermate wordt verminderd door de elektrodes op minst ideale manier worden geplaatst. De prestaties van het paneel zullen slechter zijn, het fenomeen is echter wel verholpen.

Oplossing 3

De derde oplossing houdt in dat er een nieuwe elektrode wordt ontworpen waarbij Fenomeen 1 niet voor kán komen. Dit is op het moment wel mogelijk, maar dat zou erg veel onderzoek vereisen en de panelen zullen hoogstwaarschijnlijk slechter presteren.

5.5 Conclusie

Er is aangetoond dat Fenomeen 1 ontstaat door het gebruik van Elektrode X. Het effect dat ontstaat kan op dezelfde manier worden voorspeld als het vergelijkbare effect. Door middel van Oplossing 2 kan Elektrode X in de werkplaats van Parthian worden gebruikt voor het maken van een systeem dat voldoet aan het programma van eisen.

Hoewel het in theorie efficiënter is om andere elektroden te gebruiken in plaats van Elektrode X, gaat de voorkeur van de opdrachtgever uit naar een systeem mét Elektrode X. Omdat in andere ontwikkelingen die parallel lopen aan deze opdracht Elektrodes A beter tot hun recht komen dan een andere elektrode wordt er bij verder onderzoek gefocust op een systeem met Elektrode X.

6. Basismateriaal

De ontwikkeling van het EL-systeem is toegespitst op gebruik als een ander product, hiervoor zijn de pigmenten verwerkt in Materiaal α , dat eigenlijk is ontwikkeld voor een ander doeleinde. Hoewel met dit materiaal een systeem kan worden gemaakt dat voldoet aan het programma van eisen, is er onderzocht of het ook mogelijk is om het systeem te verwerken in Materiaal β dat voorhanden is bij Parthian.

Naast dat Materiaal α speciaal is ontwikkeld voor een ander doeleinde en niet optimaal is voor het verwerken in een composiet, zit er nog een groot nadeel aan. Hoewel het in theorie niet zou moeten, veranderen de dunne lagen onder invloed van hoge temperaturen. De epoxyharsen die worden gebruikt in composietproducten moeten vaak uitharden onder temperaturen van 80°C en bereiken soms nóg hogere temperaturen. Wanneer een dunne laag van Materiaal α wordt verwarmd tot deze temperatuur, begint deze te vervormen en blijft na het afkoelen vervormd. Omdat het waarschijnlijk nadelige gevolgen heeft wanneer er in een composietproduct grote oppervlakken van dit materiaal zitten, is er gekeken of Materiaal α kan worden vervangen door Materiaal β .

6.1 Elektroluminescent Materiaal β

Materiaal β , dat door Parthian Technology wordt gebruikt is, naast dat het stevig en duurzaam is ook erg transparant en Uv-bestendig. Het materiaal zal dus niet snel verkleuren onder invloed van zonlicht, wat een voordeel is aangezien lichtreclame buiten wordt geplaatst. Bij het onderzoek naar Elektrode Y treedt er bij gebruik van Materiaal α een probleem op. Elektrode Y moet namelijk op een temperatuur van 80 - 120°C worden getemperd waardoor Materiaal α de neiging heeft om te vervormen.

6.2 Fenomeen 2

Om te testen of Materiaal β geschikt is voor het maken van dunne lagen is er geprobeerd om een lange strook te produceren zoals dat ook gebeurt bij Materiaal α . Hiervoor zijn de mengverhoudingen van de laag op basis van Materiaal α aangehouden, en is alleen dat materiaal vervangen door hetzelfde gewicht aan Materiaal β .

Na het produceren van de eerste laag van Materiaal β met behulp van Methode A viel meteen op dat Fenomeen 2 zich voordeed. Dit is een bekend fenomeen binnen de bedrijfstak van Parthian en de oorzaken ervan zijn ook bekend. Om dit effect te voorkomen zijn er testen uitgevoerd waarbij verschillende parameters van het productieproces zijn veranderd. De omstandigheden waarin de test werd uitgevoerd zijn zo gelijk mogelijk gehouden en er is steeds geprobeerd om een egale laag van 15cm breed te produceren met behulp van Methode A. In bijlage D zijn de omstandigheden waarin iedere laag is geproduceerd nauwkeuriger omschreven.

Veranderde Parameters

Er zijn vijf verschillende parameters gewijzigd om te testen of Fenomeen 2 kan worden verholpen bij de productie van een elektroluminescente laag op basis van Materiaal β . Er zijn lagen geproduceerd in verschillende omgevingen en ook zijn de materiaaleigenschappen van de laag gewijzigd met wisselend resultaat.

6.3 Conclusie

Het produceren van de laag op specifieke oppervlakken vermindert Fenomeen 2 aanzienlijk. De effecten die nog zichtbaar zijn, ontstaan waarschijnlijk doordat er stof aanwezig is in de werkplaats dat is geland op het Materiaal β . Het systeem kan waarschijnlijk goed worden aangebracht op een ondergrond die al bestaat uit Materiaal β of een soortgelijk materiaal. Het is moeilijk om met Materiaal β een laag te produceren die, zoals met Materiaal α , kan worden gebruikt zonder een

permanent substraat. Verder onderzoek naar het verhelpen van dit probleem is op het moment nog niet nodig.

Omdat er een geschikte productiemethode moet worden gezocht voor het EL-systeem op een groter formaat kan er rekening mee worden gehouden dat het systeem in Materiaal β geproduceerd gaat worden. Dit betekent dat het systeem direct op het eindproduct of een onderdeel daarvan moet worden geproduceerd omdat het de elektrode er permanent op moet worden bevestigd.

7. Productiemethode

Een van de grootste problemen waar tegenaan wordt gelopen bij het maken van het EL-systeem is dat er geen zuivere egale lagen worden geproduceerd. Er ontstaan veel oneffenheden tijdens het maken van teststroken die ervoor zorgen dat er geen betrouwbare tests mogelijk zijn. Om dit probleem op te lossen is er gezocht naar een betere productiemethode die zowel op kleine schaal toe te passen is in de werkplaats van Parthian Technology als in productie op grotere schaal.

7.1 Vereisten voor de productie

De huidige manier van aanbrengen is Methode A. Methode A heeft veel nadelige eigenschappen waardoor het systeem niet naar wens kan worden geproduceerd op deze manier. De testpanelen die worden gemaakt met methode A zijn niet van gelijke kwaliteit en zorgen er dus voor dat zinvolle testen en productie nog niet mogelijk zijn met deze methode. Om ervoor te zorgen dat laagdikte en vorm van de laag consistent worden, opdat testen en productie van het systeem hierdoor worden verbeterd, is er gezocht naar een productiemethode die naar alle waarschijnlijkheid de productie van egale lagen van grotere oppervlakte mogelijk maakt, om deze methode vervolgens te testen.

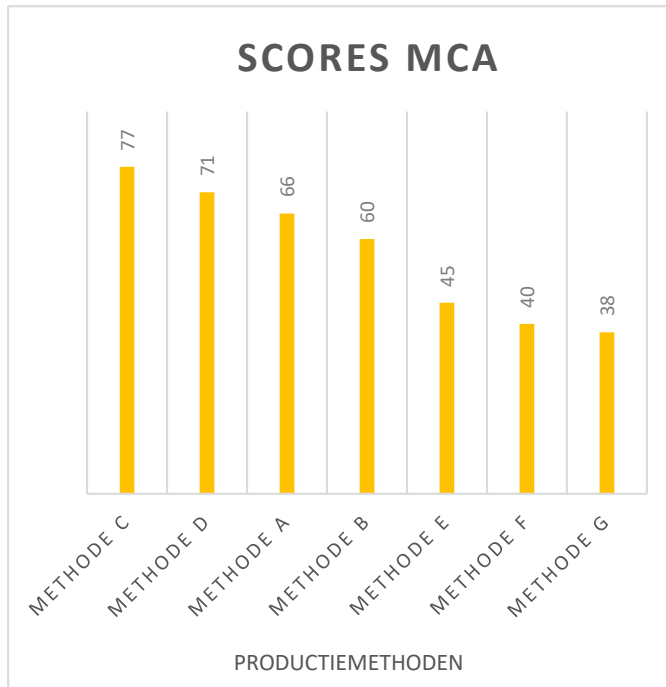
Om een geschikte methode te kiezen is er een lijst van methoden opgesteld om een dunne egale laag te produceren van Materiaal β . Deze lijst, met een gedetailleerde omschrijving per productietechniek en de voor- en nadelen ervan, is te vinden in Bijlage E.

7.2 Multicriteria-analyse

Om meest geschikte productietechniek te kiezen zijn de processen onder andere vergeleken op toepasbaarheid op kleine én grote schaal, op kwaliteit en controle van de laagdikte en op vormvrijheid van de individuele lagen. Omdat Elektrode Y op dezelfde manier kan worden aangebracht, is de mogelijkheid om deze te verwerken ook meegenomen in de beoordeling.

Met behulp van een MCA, een multicriteria-analyse, is er geprobeerd om een rationele keuze te maken voor een geschikte productiemethode. Deze methodes zijn vergeleken op onder andere: egale laagdikte, toepassing voor een prototype, opschaalbaarheid en de mogelijkheid om sjablonen toe te passen voor complexere vormen in lagen.

In figuur 10 is de beoordeling van de verschillende productiemethoden weergegeven. Methode C scoort het hoogst en Methode D scoort daarna erg hoog. Het puntenverschil tussen de twee technieken zit in de mogelijkheid om op kleine schaal te worden toegepast. Het is mogelijk om op kleine schaal Methode C toe te passen, wat deze methode bij uitstek geschikt maakt voor deze opdracht.



Figuur 10 - De gescoorde punten per productiemethode aan de hand van de multicriteria-analyse

7.3 Methode C

Methode C blijkt uit de multicriteria-analyse de meest geschikte methode om het systeem mee te produceren. Het is in theorie mogelijk om met deze methode lagen te produceren met een groter oppervlak en zelfs met complexe vormen. Aan de hand van deze voordelen is ervoor gekozen om een installatie samen te stellen zodat er onderzoek kan worden gedaan naar het produceren van de verschillende lagen van het EL-systeem met behulp van Methode C, waaronder ook de lagen van Elektrode Y vallen.

8. Methode C

Omdat het gebruik van Methode C in combinatie met elektrische componenten relatief nieuw is, en al helemaal niet gebeurt op kleine schaal in Materiaal β , is er gekeken welke onderdelen er nodig zijn om een eerste prototype te maken. Vervolgens is er met de aangeschafte gereedschappen een viertal testpanelen geproduceerd om aan te tonen dat Methode C een geschikte productiemethode is en het een logische stap is om hier verder onderzoek naar te doen. Bijlage F1 en F2 bevatten de testrapportages waarin testmethodes, verschillende compounds en analyses van de eerste vier panelen zorgvuldig omschreven staan.

8.1 Methode C

Op veel plekken wordt Methode C gebruikt, het is een techniek die op hobbyschaal wordt gebruikt, maar ook in grote fabrieken voor massaproductie van bijvoorbeeld halffabricaten voor de meubelindustrie. Hierdoor is er veel mogelijkheid om de techniek te analyseren en een gedeelte van de werkwijze te kopiëren en toe te passen op de elektroluminescente panelen. Er zijn twee belangrijke gereedschappen die invloed hebben op de eigenschappen van een laag die met behulp van deze methode wordt geproduceerd.

8.2 Methode C - installatie

De laagdikte wordt voornamelijk bepaald door eigenschappen van Gereedschap II. Omdat het EL-Systeem van Xcite bestaat uit lagen van een specifieke dikte is het gereedschap hierop uitgezocht. Dit betekent dat deze laagdikte niet kan worden gewijzigd, tenzij hiervoor een nieuw gereedschap wordt aangeschaft. In documentatie van eerdere testen staat echter wel dat een dunnere laag een hogere lichtopbrengst zou hebben. (R. van der Pol, 2016) Om Elektrode Y te testen is hier ook een gereedschap voor aangeschaft. Omdat de ideale laagdikte van deze elektrode ver onder die van de diëlektrische lagen ligt, was het mogelijk om hier een fijner gereedschap voor te selecteren. Overige onderdelen van de installatie die zijn aangeschaft zijn terug te vinden in Bijlage F1.

8.3 Testen

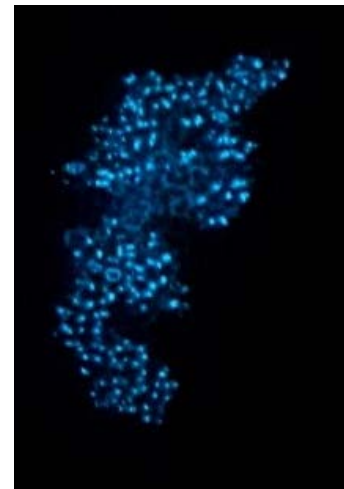
Om inzicht te krijgen in Methode C en om een uitgangspositie te creëren voor volgende testen is er een aantal testpanelen geproduceerd. Ieder paneel is geanalyseerd en vervolgens is er een gedeelte van het maakproces aangepast voor het volgende paneel. Het doel van de test was: aantonen dat er met Methode C een stabiel oplichtend paneel, dat niet doorbrand na verloop van tijd, kan worden gemaakt. Het aanpassen is herhaald tot er een stabiel paneel was geproduceerd. Een lastig aspect hierbij is dat niet bekend is wanneer een paneel door zal branden en dat er bij het testen schade kan ontstaan aan de verschillende lagen waardoor het paneel daarna niet meer bruikbaar is voor testen.

8.4 Testpanelen

In totaal zijn er 4 testpanelen geproduceerd om inzicht te krijgen in welke richting onderzoek kan worden gedaan om het systeem te verbeteren en afzonderlijke onderdelen hieraan aan te passen. Gedetailleerde informatie over de panelen en de productie ervan is te vinden in Bijlage F1 en F2.

Om te leren gaan met de productie-installatie en te testen of het bestaande systeem in Materiaal α direct kan worden gebruikt met Methode C is er geprobeerd om een paneel te maken van Elektrode Y en Materiaal α . De kwaliteit van het paneel was erg slecht en er werd verwacht dat deze plaat niet zou werken. De eerste elektrode is net na productie doorgemeten met een nieuwe oppervlakteweerstandmeter en deze bleek intact te zijn. De bovenste laag is met dezelfde probe gemeten en hieruit bleek dat deze laag niet geleidend was. Toen echter met een 2-punts-probe op kleinere afstanden werd gemeten bleek dat de bovenste elektrode uit veel kleine geleidende eilandjes bestaat.

Door deze eilandjes los aan te sluiten lichtten er kleine oppervlakten op zoals in figuur 11. Het systeem bleek toch te werken maar er ontstaan veel vonken en na een tijdje branden de eilandjes door.



Figuur 11 Een oplichtend "eilandje" van 2 cm breed en 6 cm hoog.

8.5 Parameter Materiaal β

De slechte kwaliteit van de eerste panelen bleek grotendeels te liggen aan het feit dat Materiaal β nog niet geschikt is voor gebruik met deze productiemethode. Er is één specifieke eigenschap van het materiaal die de productie het meest belemmert. Deze eigenschap is verbeterd door er een materiaal aan toe te voegen dat, binnen een bepaalde marge, geen nadelige invloed heeft op Materiaal β en er wel voor zorgt dat het beter geschikt is voor gebruik met productiemethode C. Er is een hoeveelheid van dit materiaal toegevoegd die precies in het midden van de door een leverancier genoemde marges valt.

8.6 Elektrode X

Hoewel de eerste panelen op basis van Elektrode Y eerst wél functioneerden in de testopstelling, bleek dat de elektrode doorbrandt in de buurt van het aansluitpunt en ook op willekeurige andere plekken. Tevens was dit materiaal erg kwetsbaar en onhandelbaar in de werkplaats. Er is geprobeerd om, net als bij Materiaal β , parameters te veranderen, hetgeen resulteerde in een niet geleidende laag. Door de slechte ervaringen met Elektrode Y, en door aanwijzingen dat er mogelijk een patent rust op het gebruik van dit materiaal, is er in overleg met de opdrachtgever voor gekozen om er niet verder mee te testen. Elektrode X is een stabiel alternatief, en efficiënt genoeg om licht te genereren.

8.7 Luchtbellen

In Materiaal β waren kleine luchtbellen zichtbaar. Het vermoeden was dat dit werd veroorzaakt doordat er werd geproduceerd met een "schoon gereedschap". De eerste geproduceerde laag was meteen de definitieve. Het bleek bevorderlijk te zijn om eerst een proeflaag te produceren alvorens de definitieve te produceren.

8.8 Stabiel paneel

Het vierde testpaneel dat is geproduceerd is stabiel bevonden. In verband met een tekort aan Elektrode X is het oppervlak van dit paneel geen 30 bij 40 cm maar 15 bij 15 cm. Wanneer er wordt

gekeken naar de kwaliteit van de lagen van het paneel ervoor lijkt het erop dat het vergroten van de oppervlakte geen drastische invloed zal hebben op het functioneren van het paneel.

Het is opgebouwd uit:

- Elektrode X
- Oplichtende laag op basis van Materiaal β met Pigment B
- Diëlektrische laag op basis van Materiaal β met Pigment A
- Elektrode X

Het paneel licht duidelijk op en de lagen zijn gesloten. Tevens is Fenomeen 1, verholpen. Naar dit paneel zal worden verwezen als 'het eerste stabiele paneel'.

Mankementen van dit paneel zijn:

- Er komt blauw licht uit terwijl hetzelfde pigment wit licht oplevert in andere toepassingen.
- Er zit een oneffenheid tussen de lagen waardoor het functioneren wordt verstoord.
- Er is een nieuw fenomeen ontstaan, het lijkt op Fenomeen 1 maar is door andere eigenschappen te onderscheiden als Fenomeen 3.

8.9 Vervolg

Er is veel ervaring opgedaan tijdens het produceren van de eerste vier panelen. De verbetering in de kwaliteit komt niet alleen door het aanpassen van de materialen maar ook door meer affiniteit met Methode C. Methode C heeft een lange set-up tijd maar het daadwerkelijke produceren van de lagen gaat erg snel. Wanneer dit proces machinaal wordt uitgevoerd kan dit waarschijnlijk nog veel sneller. Het lijkt erop dat Methode C een geschikte mogelijkheid is voor het maken van het systeem.

Vanuit de basis die nu is ontwikkeld kan er gedetailleerder worden gekeken naar verbeteringen van het systeem. In de volgende hoofdstukken wordt gekeken naar hoe Fenomeen 3 voorkomen kan worden, hoe de oppervlakte van de individuele lagen nog beter kan worden geproduceerd en wat betere verhoudingen zijn van de pigmenten in de dragers. Dit wordt gedaan door de kennis die er nu is over het systeem toe te passen in een ontwerp voor een demonstratiemodel.

Ontwikkeling van het EL-Systeem als uithangbord

9. Ontwerp en productie Proof-of-Concept

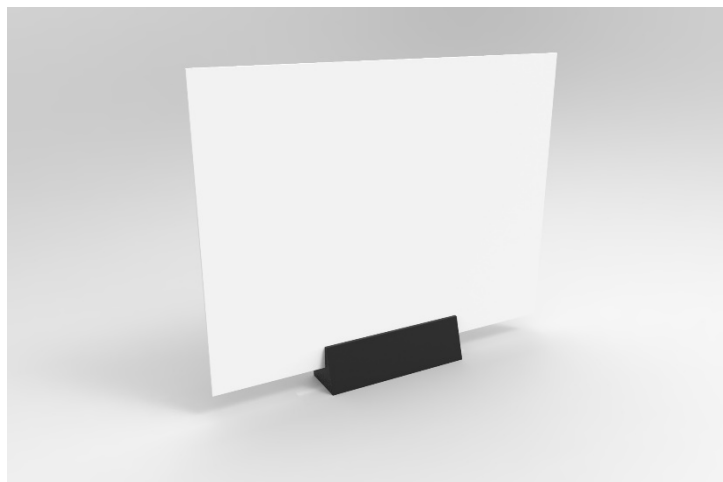
Methode C heeft een stabiel paneeltje opgeleverd. Dit paneeltje is echter nog niet afdoende bewijs om te stellen dat het een geschikte methode is om oplichtende witte panelen te produceren. Ook waren er een aantal mankementen die nog verholpen moeten worden voor mooi resultaat, denk bijvoorbeeld aan de afwerking van het paneel, insluiting van oneffenheden en het onverwachte Fenomeen 3.

Met behulp van de opgedane ervaring en met het programma van eisen als een leidraad is er een model ontworpen dat dient als proof-of-concept voor de nieuwe productiemethode en daarnaast ook nog dienstdoet als demonstratiemodel.

Doordat er tijdelijk geen Elektrode X meer beschikbaar was om mee te testen, zijn sommige onderdelen onder voorbehoud ontworpen. Ten tijde van het ontwerpen was bijvoorbeeld de optimale verhouding tussen Pigment A en Pigment B nog niet getest. In de volgende hoofdstukken wordt besproken hoe het ontwerp tot stand is gekomen en per onderdeel genoemd hoe het is verbeterd ten opzichte van het eerste werkende paneel, hoe het is geproduceerd in de demo en hoe dit zou kunnen op grotere schaal. Vervolgens wordt het geproduceerde paneel geëvalueerd en worden er aanbevelingen gedaan voor verdere ontwikkeling van het paneel.

9.2 Ontwerp

De demo bestaat uit een lichtgevend rechthoekig paneel dat in een houder is gemonteerd zodat het als tafelmodel kan worden gebruikt. Het ontwerp bestaat uit twee hoofdonderdelen: een paneel en een houder. Het paneel is opgebouwd uit twee lagen glasvezel, een elektroluminescente plaat en daarop weer twee lagen glasvezel. Deze plaat wordt geïnfuseerd met hars waardoor er één composietpaneel ontstaat waar een oplichtend paneel in zit verwerkt. Voor de witte afwerking wordt een doorschijnende coating aangebracht. Een afbeelding wordt als laatste op de plaat aangebracht. Dit zal in het demomodel een doorschijnende sticker betreffen.



Figuur 12 - Een render van het demonstratiemodel. (Vertrouwelijke informatie is weggelaten)

Het paneel is bevestigd in een zwarte houder waarin een aantal componenten zijn bevestigd. Om aan te tonen dat het paneel niet vanuit de onderkant wordt belicht is de houder smaller dan het paneel zelf. In de houder zit een kleine inverter zodat het paneel niet op de testopstelling hoeft worden aangesloten om aan te tonen dat er licht uitkomt. De inverter werkt op 12 volt dus kan worden aangestuurd met een kleine adapter of batterij. Omdat de ingebouwde elektronica waarschijnlijk niet optimaal werkt, is het ook mogelijk om het paneel aan te sluiten op een externe toongenerator. Het

elektrische circuit is zo ontworpen dat wanneer er een externe toongenerator wordt aangesloten, deze geen schade kan aanrichten aan de interne inverter. De houder is gemaakt van hout omdat dit materiaal goedkoop en eenvoudig te bewerken is.

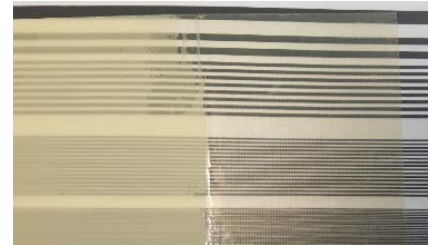
10. Elektrode X

Tijdens het produceren van het eerste stabiele paneel en voorgaande testen ontstond er in sommige gevallen Fenomeen 3 in het Materiaal β . Het vermoeden was dat dit door bepaalde eigenschappen van Elektrode X komt. De problemen werden verholpen en er is een nieuwe Elektrode X ontworpen die geschikt is voor het maken van het demomodel.

10.1 De oorspronkelijke elektrode

De Elektrode X die op het moment wordt gebruikt is een halffabricaat afkomstig uit een andere industrie. Door de eigenschappen van dit halffabricaat aan te passen is het product geschikt om er elektroluminescente panelen mee te maken.

Een nadeel van deze elektrode is dat een van de onderdelen die erin verwerkt zit niet heel erg transparant is. In figuur 13 is te zien dat de lichtdoorlatendheid van een component van Elektrode X sterk afhankelijk is van de oppervlakte. Wanneer er een dunne laag hars over de oppervlakte wordt aangebracht, zoals dat in een composietproduct ook gebeurt, wordt het onderdeel vrijwel transparant. De gele kleur is afkomstig uit een van de nu nog niet geoptimaliseerde grondstoffen van dit onderdeel..



Figuur 13 – Een onderdeel van Elektrode X. Het rechtergedeelte is voorbehandeld en aanzienlijk transparanter.

Elektrode X die werd gebruikt bij de eerste testen was in samenwerking met een ander bedrijf geproduceerd als een vriendendienst, en er zijn weinig eigenschappen van de gebruikte materialen gedocumenteerd. Alleen de 2D tekeningen waren beschikbaar en er was niet onderdelen er precies zijn gebruikt. Met een aantal medewerkers van het andere bedrijf is er beoordeeld wat er waarschijnlijk is geleverd zodat er een uitgangspositie was voor het ontwerpen van een nieuwe elektrode.

10.2 Fenomeen 3

Tijdens het testen van Methode C verscheen Fenomeen 3 in de lagen die op een Elektrode X werden geproduceerd. Bij de lagen die op Elektrode Y werden geproduceerd verscheen dit fenomeen niet. Er was helaas een kleine hoeveelheid van Elektrode X over, dus was er weinig ruimte om te testen. Om te kijken of het fenomeen ontstaat door bepaalde ontwerpfouten en of het voorkomen kan worden is er één test uitgevoerd en zijn vooral verschillende geproduceerde samples geanalyseerd.

Interactie tussen Elektrode X en Gereedschap II

Om een aantal vermoedelijke oorzaken voor het probleem uit te sluiten was het nodig om te bewijzen dat Fenomeen 3 niet kon ontstaan doordat Gereedschap II interactie had met Elektrode X. Dit is gedaan door Gereedschap II niet in contact te brengen met Elektrode X tijdens de productie van een teststrook. Hoewel de productie van de teststrook slaagde, was Fenomeen 3 nog steeds zichtbaar op deze strook. De interactie tussen de twee componenten is dus niet van invloed op Fenomeen 3.

Onvolkomenheid Elektrode X

Tijdens het analyseren van Elektrode X onder de microscoop kwam het vermoeden naar voren dat Fenomeen 3 ontstaat doordat de elektrode bezwijkt onder de invloeden van Methode C, hoewel de grootste moeite werd genomen om Elektrode X zo goed mogelijk te bevestigen in de productie-installatie. Vermoedelijk komt dit doordat er overbodige onderdelen aan Elektrode X zijn bevestigd die optimaal functioneren dwarsbomen.

Om deze stellingen te onderbouwen is er gezocht naar elektroden die niet zijn voorzien van deze overbodige onderdelen. Op deze elektroden is Fenomeen 3 inderdaad niet waargenomen. Een kanttekening die hierbij gemaakt moet worden is dat deze elektroden vanwege een andere verschillende parameter beter geschikt waren voor Methode C. Omdat er geen elektroden meer beschikbaar waren zonder deze overbodige onderdelen kon de Elektrode X alleen maar worden getest door een nieuwe elektrode, Elektrode Z, te laten maken, wat een erg kostbaar proces is.

10.3 Ontwerp Elektrode Z

Tijdens het gehele onderzoek naar Methode C is er veel ervaring op gedaan over de eigenschappen van de Elektrode X. Zo is er voor Elektrode Z een uitgebreid eisenpakket ontstaan dat voldoende eisen bevat voor een gedetailleerd nieuw ontwerp. Aan de hand van deze eisen is een Elektrode Z ontworpen die in samenwerking met een technisch tekenaar van de elektrodeleverancier is uitgewerkt voor productie.

11. Optimaliseren de diëlektrische lagen

Wat het meest opviel aan de eerste testpanelen is dat, hoewel er pigment werd gebruikt dat wit licht uit zou moeten stralen, ze blauw oplichtten. Om de kwaliteit en hoeveelheid licht te verbeteren is er gezocht naar een manier om een betere diëlektrische laag te maken en is de oorzaak van het blauwe licht onderzocht.

11.1 Wit licht

Op het moment zijn er bij Parthian Technology drie verschillende kleuren pigment aanwezig. Deze drie kleuren zijn in vorige onderzoeken getest en ook tegelijkertijd verwerkt in panelen om ze met elkaar te kunnen vergelijken. Wanneer het eerste stabiele paneel echter wordt vergeleken met de eerdere panelen, blijkt dat de kleur van het pigment niet overeenkomt. Er wordt fel blauw licht geproduceerd door het pigment dat in eerdere testen wit licht produceerde.

De leverancier is benaderd en deze heeft een nieuw pigment gestuurd waarbij het probleem misschien zou zijn verholpen.

Verhoudingentest

In de hoop dat met het nieuwe pigment het probleem verholpen zou zijn, is er een nieuwe test bedacht om ook meteen te onderzoeken wat er gebeurt wanneer er verschillende verhoudingen van pigmenten worden gebruikt. Er zijn bij Xcite onderzoeken gedocumenteerd waarin wordt vastgesteld dat aan Materiaal α een specifieke hoeveelheid Pigment A of Pigment B moet worden toegevoegd. Deze hoeveelheden zijn gebaseerd op analyses van andere systemen en op eigen onderzoek, waarin verschillende panelen zijn gemaakt die allemaal afzonderlijk zijn getest. Hoe de lichtopbrengst is getest, is niet gedocumenteerd. Omdat de dichtheid van Materiaal β anders is dan die van Materiaal α , en omdat de vorige tests erg oppervlakkig zijn gedocumenteerd, is ervoor gekozen om opnieuw te kijken naar de optimale verhoudingen voor de pigmenten.

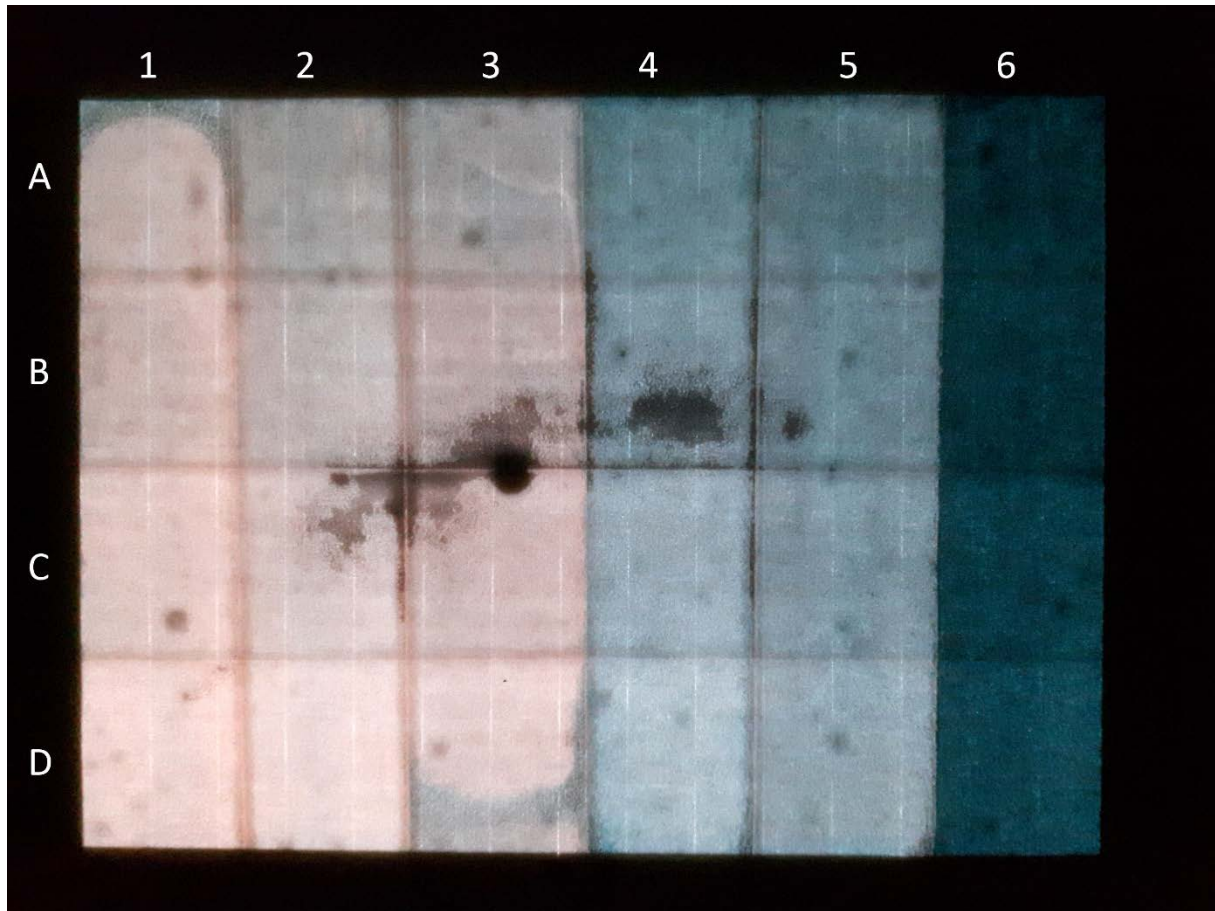
Omdat de ontwikkeling van het systeem zich in een dermate vroeg stadium bevindt dat er grof onderzoek wordt gedaan waarbij verbeteringen met het blote oog overduidelijk zichtbaar zijn, is ervoor gekozen om niet alles te meten, om op die manier zo snel mogelijk de grove lijnen voor een product te kunnen schetsen.

Door vier horizontale stroken met verschillende percentages Pigment A te produceren en zes verticale stroken met verschillende percentages Pigment B ontstaat er in theorie één EL-paneel waarin 24 vlakjes met verschillende samenstellingen tegelijkertijd onder dezelfde omstandigheden oplichten. De verhoudingen en hoeveelheden zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

Overzicht Verhoudingentest							
	Pigment B						
Pigment	Hoeveelheid	1	2	3	4	5	6
A	A	A1	A2	A3	A4	A5	A6
	B	B1	B2	B3	B4	B5	B6
	C	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	D	D1	D2	D3	D4	D5	D6

Volgens de gedocumenteerde testen zou er een piek in lichtopbrengst zijn rond de vlakjes die zijn aangeduid met B4 en C4. Wat er uit het testpaneel blijkt wijst echter op een compleet andere lijn. Pigment B heeft ogenschijnlijk véél minder invloed heeft op de hoeveelheid licht dan Pigment A. Het lijkt alsof in rij D het licht daadwerkelijk feller schijnt, of dit wordt veroorzaakt door Pigment A is echter niet duidelijk. Het toevoegen van verschillende hoeveelheden pigment heeft namelijk ook effect op de productie van de laag.

Het meest opvallende aan het paneel is dat de vlakjes verschillende kleuren licht produceren. Hoe het komt dat er bij kleine hoeveelheden pigment alleen maar blauw licht wordt geproduceerd is nog niet duidelijk. Waarschijnlijk is een systeem dat oranje of geel licht produceert afhankelijk van het blauwe licht. Bij het produceren van het paneel moet echter voorkomen worden dat er alleen blauw licht wordt geproduceerd, en er moet dus voldoende pigment aanwezig zijn. De sterkte van het elektrische veld en het aanpassen van de frequentie hebben geen invloed op de blauwe kleur.



Figuur 14 - Het licht dat door het verhoudingen-testpaneel wordt geproduceerd

11.2 Pigment A

Al vanaf het begin van de opdracht is Pigment A een vreemde eend in de bijt. De precieze toevoeging van het materiaal is niet duidelijk. Door bepaalde eigenschappen van het materiaal, lijkt het logisch dat er beter elektrisch veld ontstaat de oppervlakte van een pure laag van dit materiaal. Of de diëlektrische eigenschappen van een laag Materiaal α of Materiaal β met daarin Pigment A beter zijn dan zonder, is nog niet getest. In figuur 14 is te zien dat significant verschillende hoeveelheden van Pigment A weinig invloed hebben op de kwaliteit van het licht. Het pigment houdt ook veel licht tegen en zorgt voor een verschil in kleur tussen de beide kanten van het paneel. Omdat het pigment daarbij ook nog de neiging heeft om aggregaties te vormen is en het dus lastig te verwerken is in Materiaal β , is ervoor gekozen om het pigment niet te gebruiken in het demomodel.

11.3 Egale Laag

In paragraaf 8.5 is een parameter van Materiaal β gewijzigd door een product toe te voegen dat die parameter voordelig beïnvloedt. Er is echter nog niet onderzocht wat de precieze invloed hiervan was. Er zijn verschillende lagen geproduceerd met verschillende hoeveelheden van dit product. Hieruit bleek dat wanneer er minder van dit product wordt toegevoegd, Fenomeen 2 zichtbaar wordt

in de geproduceerde lagen. Wanneer er echter teveel wordt toegevoegd, ontstaat er een te ruwe laag voor een EL-paneel. Er is waarschijnlijk een “sweet-spot” waarbij een laag zonder Fenomeen 2 ontstaat die compleet egaal is.

11.4 Ontwerp Diëlektrische lagen

De samenstelling van de diëlektrische laag is erg veranderd ten opzichte van het oorspronkelijke EL-Systeem. Om ervoor te zorgen dat er wit licht wordt geproduceerd en om een dichte egale laag te produceren zal zijn de compounds voor de deze lagen aangepast aan de bevindingen uit de verhoudingentest. In theorie zou deze laag in combinatie met de elektroden een werkend EL-systeem opleveren.

12. Wit Uiterlijk en Grafische Weergave

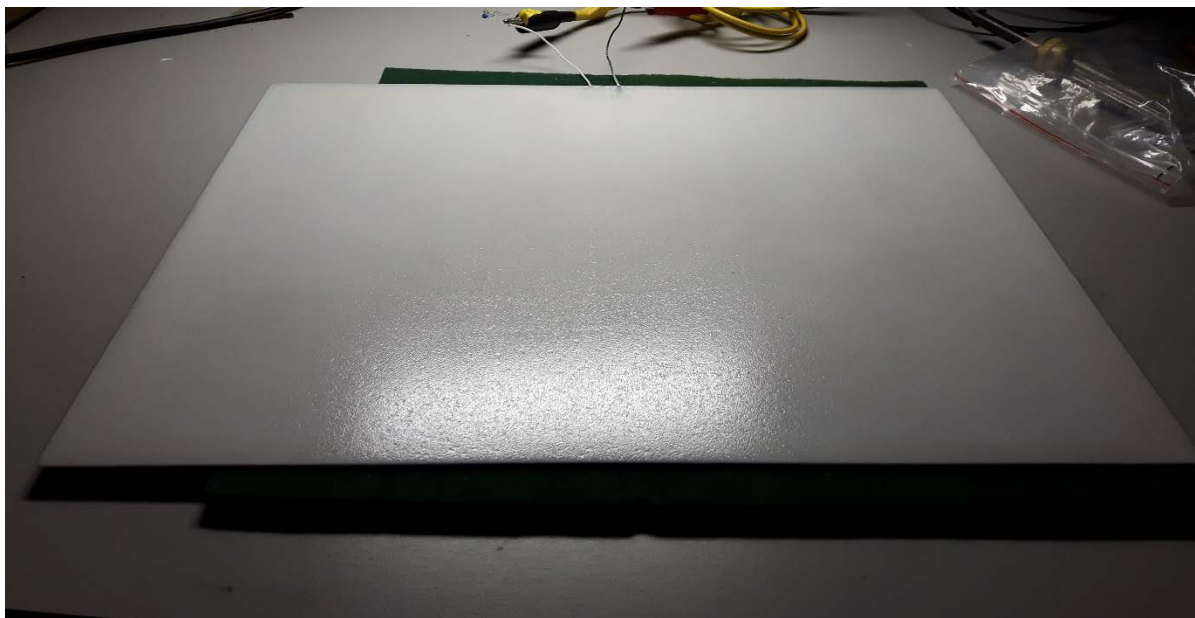
Als proof-of-concept is er gevraagd naar een wit demonstratiemodel dat wit licht uitstraalt. Er is dus een manier nodig om het systeem te sealen in een materiaal dat niet alleen wit, maar ook erg lichtdoorlatend is. Tevens is het belangrijk dat wanneer het paneel gebruikt wordt voor het weergeven van een afbeelding. De afbeelding goed zichtbaar is.



Figuur 15 - Het paneel dat wit oplicht.

Uit een vragenlijst die is ingevuld door medewerkers van RGN blijkt dat de huidige lichtbakken worden voorzien van kleur en afbeeldingen door middel van bestickering of zeefdrukken. Een volledig uitgewerkt product zou in theorie ook bestickerd of bedrukt kunnen worden waarbij er geen extra afwerking nodig is. Het demomodel is echter ruw en de mogelijkheid om er een logo op te zeefdrukken is niet aanwezig. Om de bedrukking te simuleren wordt het demomodel voorzien van een witte transparante coating waarover een doorzichtige bedrukte folie wordt geplakt met daarop een logo van een bedrijf. Hierdoor ontstaat een erg doorschijnende laag die wit oogt zoals in figuur 15. Het recept is gebaseerd op een afwerking voor het wegmarkeringssysteem. Omdat die laag veel dikker was dan de afwerking van het demomodel zijn de concentraties pigmentpasta en glaspoeder verdubbeld.

De uiteindelijke opdruk is gemaakt van een transparante inkjetfolie. Door deze extra dik te bedrukken met inkjetinkt ontstaat er een kleurenfilter dat de gebruikelijke bedrukking of bestickering kan simuleren.



Figuur 16 - In zowel schemering als fel licht lijkt de laag egaal wit. Doordat de laag met een roller is aangebracht is deze wat ruwer dan wanneer deze was gespoten.

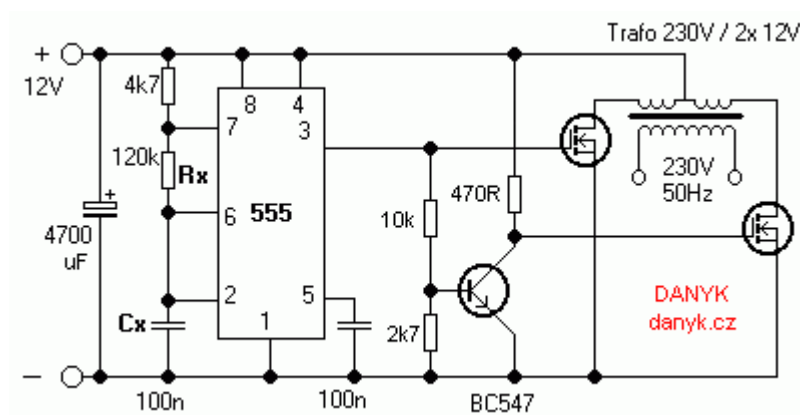
13. Elektrisch Circuit

Om het paneel op te laten lichten moet er een signaal van 400Hz doorheen met voldoende spanning. Dit betekent dat er componenten bij het systeem horen die dit signaal genereren en dat de aangesloten moeten worden op bijvoorbeeld het lichtnet.

Lichtreclame wordt aangesloten op netstroom, dit is een wisselstroom van 230 volt met een frequentie van 50 Hz. Het is erg omslachtig om dit signaal direct om te zetten naar een 400Hz signaal dat het paneel kan aansturen. Om het systeem universeel toepasbaar te maken, zodat het bijvoorbeeld ook in voertuigen kan worden aangesloten of bijvoorbeeld op een zonnepaneel, is het voordelig om de netstroom om te zetten in gelijkstroom. 12 volt gelijkstroom is een voorziening die op relatief veel plekken te realiseren is. Daarom is er besloten om het systeem te laten werken op 12 volt gelijkstroom. Het paneel kan in dat geval met een eenvoudige adapter worden aangesloten op de netstroom.

13.1 Inverter

Er zijn veel manieren om een toongenerator te maken. De belangrijkste onderdelen zijn een transformator en een oscillator. In figuur 17 is een eenvoudig circuit van een inverter weergegeven. Aan de linkerkant van het schema zijn een 555 IC, de weerstand Rx en de condensator Cx te zien. Deze drie componenten bepalen welke frequentie er uit de inverter komt. In de IC zit een digitale schakeling die een *flipflop* heet. Afhankelijk van de weerstand en de condensator wisselt deze op een bepaalde frequentie tussen een hoog en een laag signaal, waardoor er uit uitgang 3 van de IC een signaal met een blokgolf komt. Vervolgens wordt dit signaal gebruikt om in de transformator aan de rechterkant van het schema de amplitude van het signaal naar het gewenste voltage te transformeren.



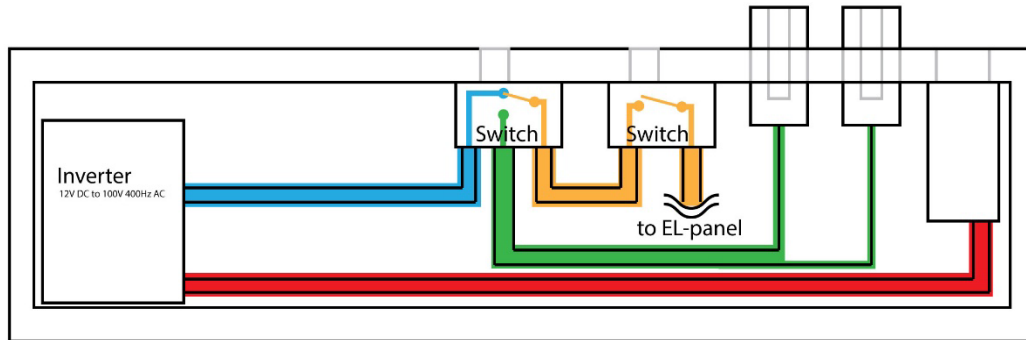
Figuur 17 - Een simpele digitale inverter op die gelijkstroom werkt. (via http://www.danyk.cz/menic230_en.html)

De componenten die in het schema te zijn, zijn klein genoeg om te verwerken in een product van composiet. Er is zelfs de mogelijkheid om deze te integreren in de bestaande elektroden.

De inverter wordt in het demomodel vervangen door een standaardinverter voor EL-wire. Deze inverter was op voorraad bij Xcite en zou in theorie het paneel kunnen aansturen. De inverter werkt op 12 volt en produceert afhankelijk van de capaciteit van het paneel een signaal waarop het paneel zou kunnen functioneren.

13.2 Het elektrische circuit

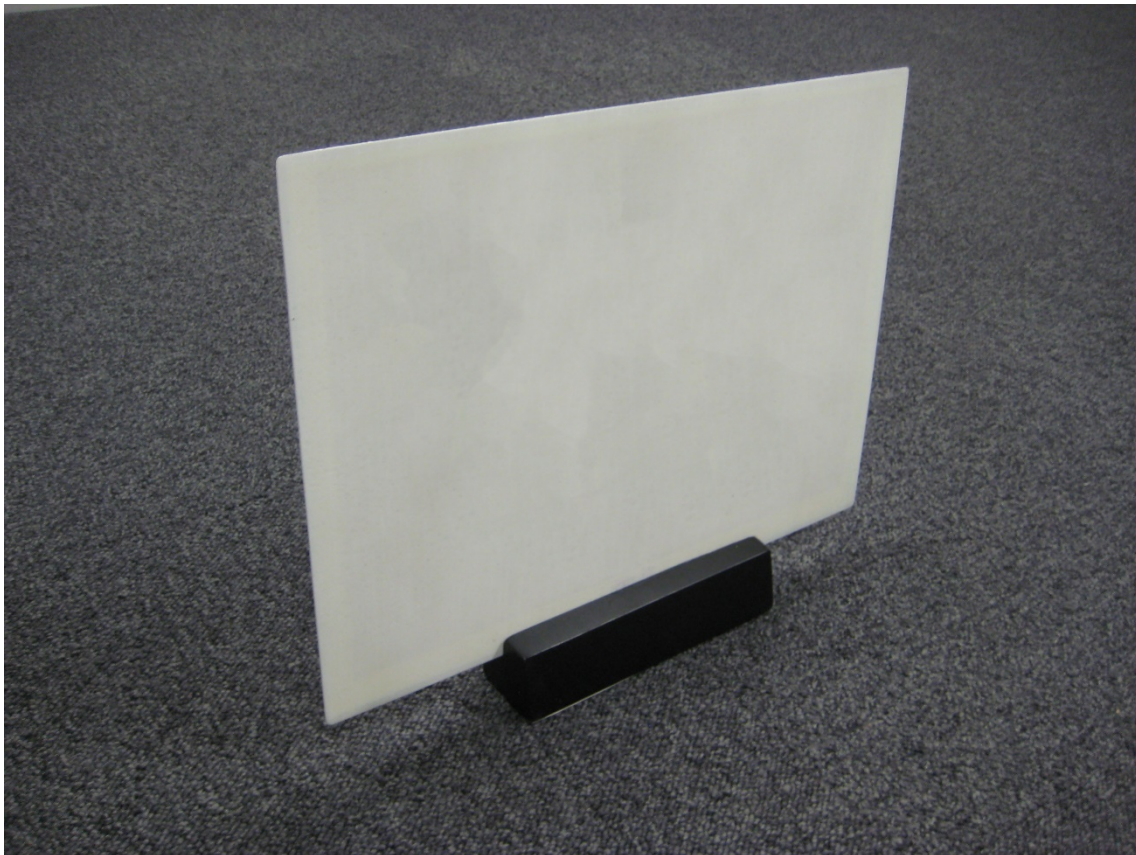
Omdat de inverter wordt vervangen door een “black box” die niet optimaal is afgestemd op het paneel, is er een circuit ontworpen dat het ook mogelijk maakt om een externe toongenerator aan te sluiten op het paneel. In het onderstaande figuur zijn de verschillende onderdelen van het circuit ingedeeld in een holte in de houder van het paneel. Het paneel kan aan en uit worden geschakeld en door een schakelaar te plaatsen tussen de input van de interne en externe toongenerator, is de interne toongenerator beveiligd tegen de hoge voltages die de testopstelling kan produceren.



Figuur 18 - Het elektrische circuit, schematisch weergegeven in de houder van het paneel.

Alle componenten zijn aan elkaar gesoldeerd en vervolgens in de houder van het paneel geplaatst. Er zijn draadjes aan het paneel gesoldeerd zodat het na infusie in een composiet paneel eenvoudig kan worden aangesloten op de rest van het circuit.

14. Evaluatie van het demomodel



Het is gelukt om met de gekozen componenten en productiemethoden een werkend paneel te produceren. In dit hoofdstuk wordt beoordeeld in hoeverre dit demomodel voldoet aan de gestelde eisen en worden er verbeterpunten aangekaart zodat er in het volgende hoofdstuk een vertaalslag kan worden gemaakt naar een haalbaar product in de nabije toekomst.

In het programma van eisen dat te vinden is in bijlage C staat een aantal eisen dat niet van toepassing is op het demomodel. Het is namelijk niet relevant om het model te beoordelen op hoe goed het aan een muur of plafond te bevestigen is, aangezien het daar natuurlijk niet voor is ontworpen. De eisen die wel relevant zijn voor een proof-of-concept zijn hieronder uitgelicht.

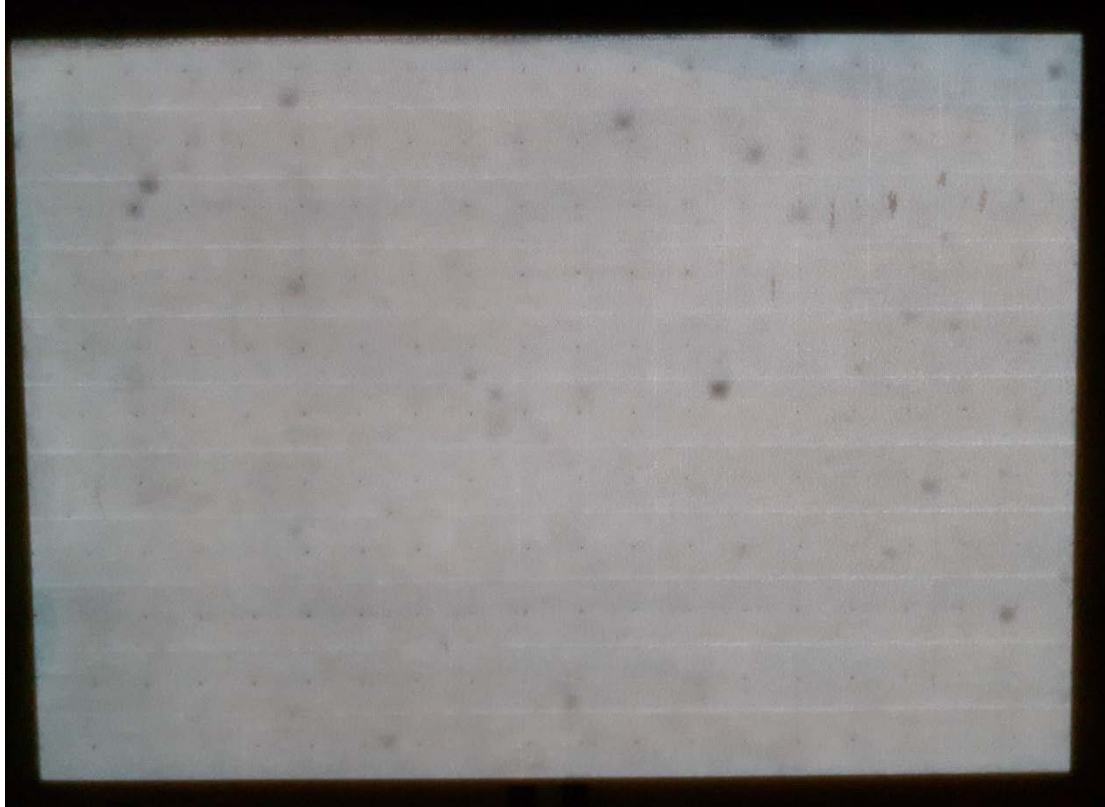
14.1 Gehaalde doelstellingen

#	Eis	Eenheid	Specificatie	Resultaat
1.1	Het product moet de oppervlakte van een A3 vel papier hebben.	mm	297x420	280x380
1.3	Het product moet wit zijn			
1.5	Het systeem moet licht van gewicht zijn	g	300	550 (incl. voet)
1.6	Het product is een dunne vlakke plaat	mm	< 4	1.5
2.1	Het product werkt op het lichtnet			
2.3	Het product kan een afbeelding verlicht weergeven			

Op enkele verwaarloosbare afwijkingen na voldoet het demomodel aan de bovengenoemde eisen. De oppervlakte wijkt af van die van een A3 vel papier omdat dit in verband met de kleine oplage niet

kosten-efficiënt kon worden gerealiseerd. De kleur van het paneel en de manier waarop een afbeelding moet worden weergegeven zijn niet nader gespecificeerd en met het model is aangetoond dat het mogelijk is.

14.2 Kwaliteit van het licht



Figuur 19 – Het oplichten van het demomodel in een donkere ruimte.

#	Eis	Eenheid	Specificatie	Resultaat
1.2	Het product moet wit licht uitstralen	°K	5500-6500	
1.7	Het product moet egaal licht uitstralen	$\Delta\text{Cd}/\Delta\text{cm}^2$	0.5	
2.7	De lichtopbrengst moet instelbaar zijn			

De eisen 1.2, 1.7 en 2.7 betreffen de kleur, hoeveelheid en kwaliteit van het geproduceerde licht. De lichtopbrengst is afhankelijk van het voltage en de frequentie die op het paneel worden gezet en deze is dus instelbaar door configuratie van de interne inverter, of door het veranderen van het signaal van de externe inverter. RGN heeft aangegeven dat de hoeveelheid lichtopbrengst niet aan een bepaalde eis moet voldoen. Aan eis 2.7 is dus voldaan. De eigenschappen van de andere twee eisen zijn nog niet getest hoewel de witte kleur van het licht kan worden veranderd door de frequentie van het signaal te verhogen of te verlagen is niet met zekerheid te zeggen hoe nauwkeurig bepaalde kleuren kunnen worden benaderd.

Ook de egale lichtopbrengst is nog niet nagemeten, en hiervoor is geen testopstelling aanwezig bij Parthian. Het is wel duidelijk dat er geen egaal licht wordt geproduceerd. Een gedeelte van deze onzuiverheden wordt veroorzaakt door de manier van produceren en doordat dit nog een nieuwe methode is binnen het bedrijf. Andere onzuiverheden komen aantoonbaar door de niet geoptimaliseerde componenten waaruit het demomodel is gefabriceerd.

14.3 Verdere metingen

#	Eis	Eenheid	Specificatie	Resultaat
1.4	Het product mag niet veel vermogen gebruiken	W/m ²	< 120W	■
2.5	Het product moet lang meegaan	Branduren	50.000	-
2.6	Restwaarde van lichtopbrengst na 50000 uur moet relatief hoog zijn	%	70	-

Aan de laatste 3 eisen voldoet het product nog niet omdat het nog niet mogelijk is geweest om dit te testen. De huidige interne inverter is niet optimaal en zorgt ervoor dat er slechts een zwak schijnsel uit het paneel komt. Wanneer het paneel wordt aangesloten op een ■ volt gelijkstroomvoeding stroomt er ■ ampère. Dit betekent dat het hele systeem ■ W per oplichtende vierkante meter verbruikt. Dit is nog erg veel maar het blijft onder de gestelde eis.

De overige twee eisen zijn nog niet gemeten en de invloed kunnen niet worden beïnvloed door de productie van het paneel bij Parthian. Deze eigenschappen zijn namelijk afhankelijk van de kwaliteit van de grondstoffen die worden geleverd.

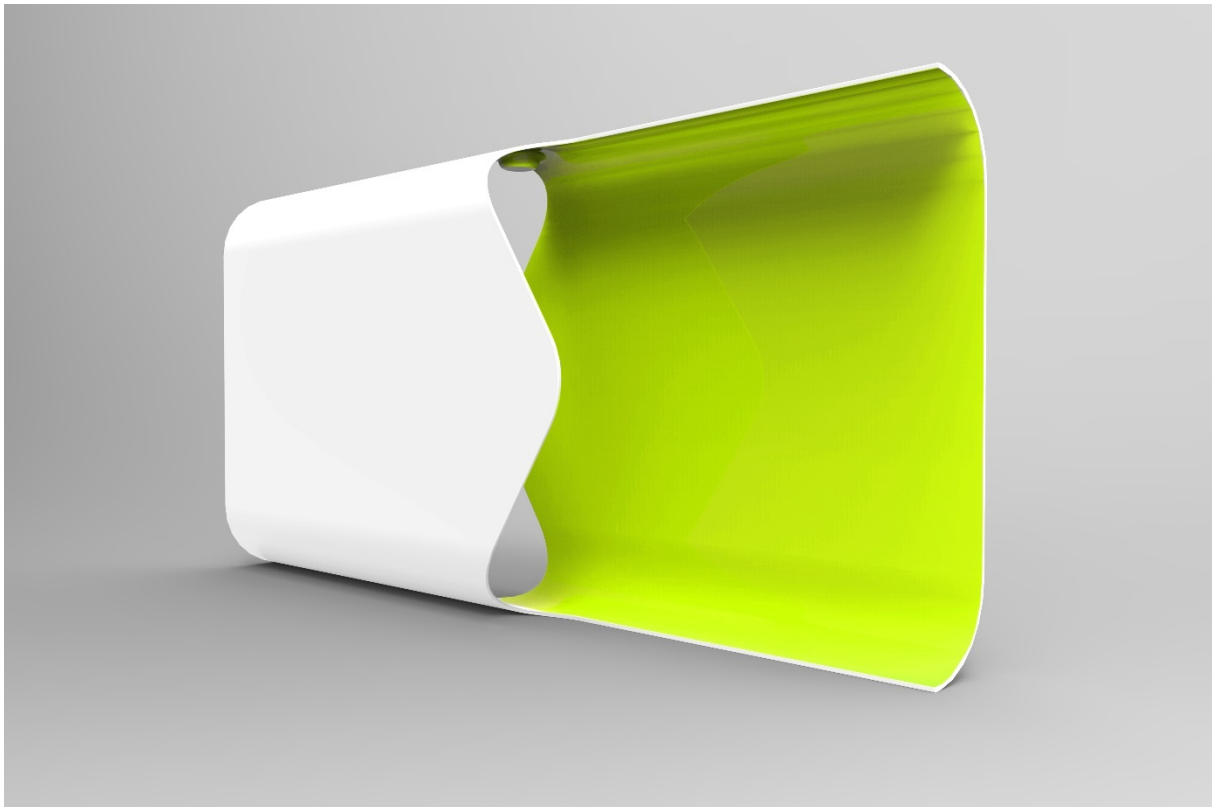
14.4 Conclusie

Met de geslaagde productie van het demomodel door middel van Methode C kan worden gesteld dat het mogelijk is om een groot wit paneel van composiet, wit op te laten lichten om er een afbeelding mee te verlichten. Er is echter nog veel vervolgonderzoek nodig naar verbetering van de kwaliteit en de efficiëntie van het systeem. Ook de elektrische componenten moeten veel nauwkeuriger worden afgesteld op de eigenschappen van het paneel.

15. Conclusie en Aanbevelingen voor Elektroluminescente Composieten in lichtreclame

Het is aannemelijk dat het mogelijk is om elektroluminescente composietpanelen te produceren. Tot nu toe is dat gelukt in de vorm van dunne buigbare panelen die als een insert in een mal kunnen worden geplaatst om vervolgens met de rest van het product in epoxyhars te worden geïnfuseerd. Er is een duidelijker beeld van de benodigde componenten voor zo'n product en er is tijdens deze opdracht ook inzicht verkregen in de mogelijkheden die de ontwikkeling in de nabije toekomst met zich meebrengt. In dit hoofdstuk is wordt duidelijk wat de nieuwe mogelijkheden, en voordelen zijn van elektroluminescente composieten in lichtreclame, en welke mogelijke nadelen er nog aan vast zitten.

15.1 Conclusie: Een nieuwe, onderscheidende lichtbak



Figuur 20 - Een productontwerp dat de nieuwe mogelijkheden voor een lichtbak weergeeft wanneer deze wordt gemaakt van elektroluminescente composieten.

Met behulp van een demomodel als proof-of-concept is bewezen dat het mogelijk is om elektroluminescente panelen te vervaardigen uit composiet. Door het bestaande EL-Systeem aan te passen aan een nieuwe omgeving en het systeem op een nieuwe manier te produceren is het mogelijk om grotere oppervlakken egaal wit op te laten lichten.

Wanneer de het product met de huidige technologie verder wordt ontwikkeld lijkt het in de nabije toekomst mogelijk om retaillocaties op het gebied van lichtreclame te onderscheiden van andere bedrijven door middel van een lichtbak zoals in figuur 20. Het vervaardigen van een lichtbak uit composiet geeft veel vormvrijheid en de producten zijn licht en toch ontzettend sterk. Doordat de panelen aan twee kanten licht uitstralen, ontstaan er in het nieuwe ontwerp vier oplichtende vlakken waardoor er diepte kan worden gecreëerd met verschillende lagen licht achter elkaar.

Doordat de panelen uit zichzelf lichtgeven is er geen behoefte aan een ruimte voor een losse lamp. Dit bespaart veel onderdelen en ook een hoop ruimte. De nieuwe lichtbak is geen omhulsel voor een lamp maar heeft een fris en open ontwerp. Doordat alle elektrische componenten die onderdeel zijn van het systeem ook in de hars zijn gegoten, zijn ze goed beschermd tegen de elementen en is ook hier geen apart onderdeel voor nodig.

15.2 Aanbevelingen

Door de vraag naar een proof-of-concept is er veel aandacht besteed aan het ontwikkelen van een prototype en is er minder aandacht besteed aan andere aspecten van het toepassen van het EL-Systeem in composieten. Met behulp van het prototype zijn de grove lijnen van een uiteindelijk product gerealiseerd. Waar er op technisch gebied veel is uitgewerkt en zelfs het nodige al wat verder is gedetailleerd, is nog niet onderzocht of het ontwikkelen van dit product financieel aantrekkelijk is.

Financiële aspecten

De huidige lichtbakken van gelijke grootte kosten ongeveer 250 euro. Dit is een erg lage prijs en er moet onderzocht worden of hiermee te concurreren valt. De voordelen van elektroluminescente composieten zijn echter dat het systeem erg zuinig is en dat het eenvoudig is aan te sluiten zodat de installatiekosten waarschijnlijk laag zullen blijven.

Elektrode Z als reële elektrode

Bij de opdracht is er aangenomen dat Elektrode Z kan worden gemaakt op een halffabricaat van composiet. Op het moment is dit composiet een materiaal dat wordt gebruikt afkomstig uit een andere industrie. Dit zou kunnen werken als elektrode voor een EL-Systeem maar heeft tot nu toe altijd het nadelige effect met zich meegebracht.

In theorie zijn er ook andere methoden voor het maken van Elektrode Z zoals bijvoorbeeld Methode C.

Detaileren van alle onderdelen

In het demomodel zijn alle onderdelen los ontwikkeld en in een product aan elkaar gemaakt. Er is nog weinig onderzoek gedaan naar het integreren van verschillende componenten. Hierin kan nog veel winst worden geboekt om de lichtbakken eenvoudiger te maken.

Naast de genoemde aanbevelingen moet er ook nog worden gesteld dat Methode C voor het eerst werd gebruikt voor deze toepassing in de werkplaats van Parthian. Hierdoor is er al veel ervaring opgedaan voor productie van testpanelen op kleine schaal. De Methode C is echter nog niet optimaal, wat voor definitieve productie wel het geval moet zijn. Deze methode moet dus nog verder worden uitgewerkt.

16. Reflectie

Deze opdracht heeft de grenzen van mijn kennis als IO'er opgezocht. Doordat er een erg technisch aspect aan verbonden is, bestonden de eerste weken van de opdracht vooral uit het achterhalen van de theorie die er in EL-panelen speelt. In het begin van de opdracht verliepen alle activiteiten volgens een strakke planning en zou er snel een samenwerking beginnen tussen RGN en Xcite. Doordat dit contractueel nog niet rond was en er tijdens de zomervakantie weinig zou gebeuren op dit gebied, heeft de opdracht een veel technischere wending genomen. Hierdoor zijn er veel componenten uitgewerkt en is er minder gefocust op het ontwikkelen van een uiteindelijk product.

Doordat de druk om een werkend model te bouwen erg hoog was, is er vaak belangrijk meetwerk blijven liggen. De grove lijnen van het uiteindelijke product zijn geschetst waardoor er uiteindelijk een product is gerealiseerd. Die manier van werken botste erg met mijn normale aanpak. Ik houd graag controle over alle aspecten en wil daar nog wel eens in doorslaan. Door de werknemers van Parthian, mijn begeleider binnen het bedrijf en mijn begeleider op de UT werd me op die momenten duidelijk gemaakt dat het tijd was voor een volgende stap en ging het ontwikkelproces verder.

Binnen Parthian Technology staat iedereen open voor vragen en wordt je als student veel geholpen bij het ontwikkelen van het EL-Systeem. Doordat iedereen elkaar kent binnen het bedrijf, weet ook iedereen wat er speelt bij elkaar en is de stap om hulp te vragen erg klein. Ik heb erg veel geleerd over het maken van composieten en de toepassingen ervan. Ik ben erg blij dat het daardoor gelukt is om een tastbaar resultaat aan dit onderzoek toe te voegen. Hoewel het demomodel in mijn verwachtingen beter presteerde dan in werkelijkheid, ben ik er nog steeds trots op dat het model werkt. Ook de positieve reacties vanuit de werknemers binnen het bedrijf en vanuit RGN dragen bij aan de tevredenheid over het resultaat.

Referenties

- Bieleman. (1999, 11). New Associative Thickeners and Their Use In Waterborne and High-Solids Coatings. *Paint and Coatings Industry*, 15(11), p. 46. Opgehaald van www.pcimag.com/articles/86154-new-associative-thickeners-and-their-use-in-waterborne-and-high-solids-coatings
- Bredol, M. (2010, 2 23). Materials for Powder-Based AC-Electroluminescence. *Materials*, pp. 1353-1374.
- Dita. (2016, 08 01). *Rotatiezeefdruk, voor diverse voorwerpen en verpakkingen*. Opgehaald van Drukkerij Dita: <http://www.dita.be/nl/rotatiezeefdruk--voor-diverse-voorwerpen-en-verpakkingen>
- Hunt, I. (2016, 08 03). *[pi] Molecular Orbitals*. Opgehaald van UCalgary: <http://www.chem.ucalgary.ca/courses/351/Carey5th/Ch10/ch10-6-0.html>
- Ivey, H. (1957). Electroluminescence and Field Effects in Phosphors. *Technical Review*, pp. 740 - 748.
- Joostdevree. (2016, 08 01). *Composiet*. Opgehaald van Joostdevree: <http://www.joostdevree.nl/shtmls/composiet.shtml>
- Maglaras, A. M. (2004, 12 30). Modeling and analysis of electric field distribution in air gaps, stressed by breakdown voltages. *WSEAS Transaction on Systems*, 3, p. 3144.
- Mellema, G. (2016). *Het ontwerp van elektroluminescente wegmarkering*. Hengelo: Xcite Solutions B.V.
- Nave, R. (2016, 08 03). *Band Theory of Solids*. Opgehaald van Hyperphysics: hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solids/band.html
- Pantel, D. (2010, 10 5). Electroresistance effects in ferroelectric tunnel barriers. *Physical Review B*, 82(13), p. 134105.
- Piper, W. (1955, 06 15). Theory of Electroluminescence. *Physical Review*, pp. 1809-1813.
- R. van der Pol, G. M. (2016, 2 25). 13-008b-07-08-R02 Thickness of dielectric BaTiO₃ Layer. Hengelo, Nederland: Xcite Solutions B.V.

Bijlage A – Begrippenlijst

Composiet – een mengsel van verschillende materialen om betere eigenschappen te verkrijgen dan de afzonderlijke materialen. Glasvezelversterkte kunststof.

Demomodel – EL-Systeem dat als proof-of-concept is geproduceerd om aan te tonen dat het EL-Systeem van Xcite op groot formaat is te verwerken in composiet.

Diëlektricum – Isolerende laag tussen twee elektroden van een EL-Systeem.

EL-Systeem – Een systeem dat licht uitstraalt door middel van het Destriau-effect.

Elektrisch Veld – Grootte en richting van elektrische krachten in een gebied.

Elektrode – Een van de twee geleidende lagen aan weerszijden van een isolerende laag in een EL-Systeem. In deze lagen kan een elektrische lading worden opgeslagen.

Epoxyhars – Een combinatie van een polymeer en een *vernetter*. Twee componenten die uitharden tot een thermohardende kunststof.

IC – Integrated Circuit Combinatie van elektrische componenten en schakelingen op een enkel stuk halfgeleidermateriaal.

Infuseren – Het onder vacuüm impregneren van een opbouw van glasvezelmatten om een composiet product te maken.

Inverter – Toongenerator die uit een uit een gelijkstroom een elektrische golf produceert. Vaak met een hoog voltage en een hoge frequentie.

Lamineren – Het in lagen aanbrengen van glasvezelmatten voor het opbouwen van een composiet.

Pigment – Poeder dat wordt toegevoegd aan een drager om de functie hiervan te veranderen

Problem Perception Map – Techniek om problemen volgens een oorzaak-gevolg-relatie in kaart te brengen om zo algemene problemen te formuleren. Afkomstig uit de xTriz-Methode

Testpaneel – EL-Systeem dat is gemaakt bij wijze van test voor verdere ontwikkeling.