

# Ontwerp en ontwikkeling van nabij-infraroodupconverters aan de hand van oplossingsgebaseerde productietechnieken

Nick Aerts

Jonathan Verreydt

master IIW energie

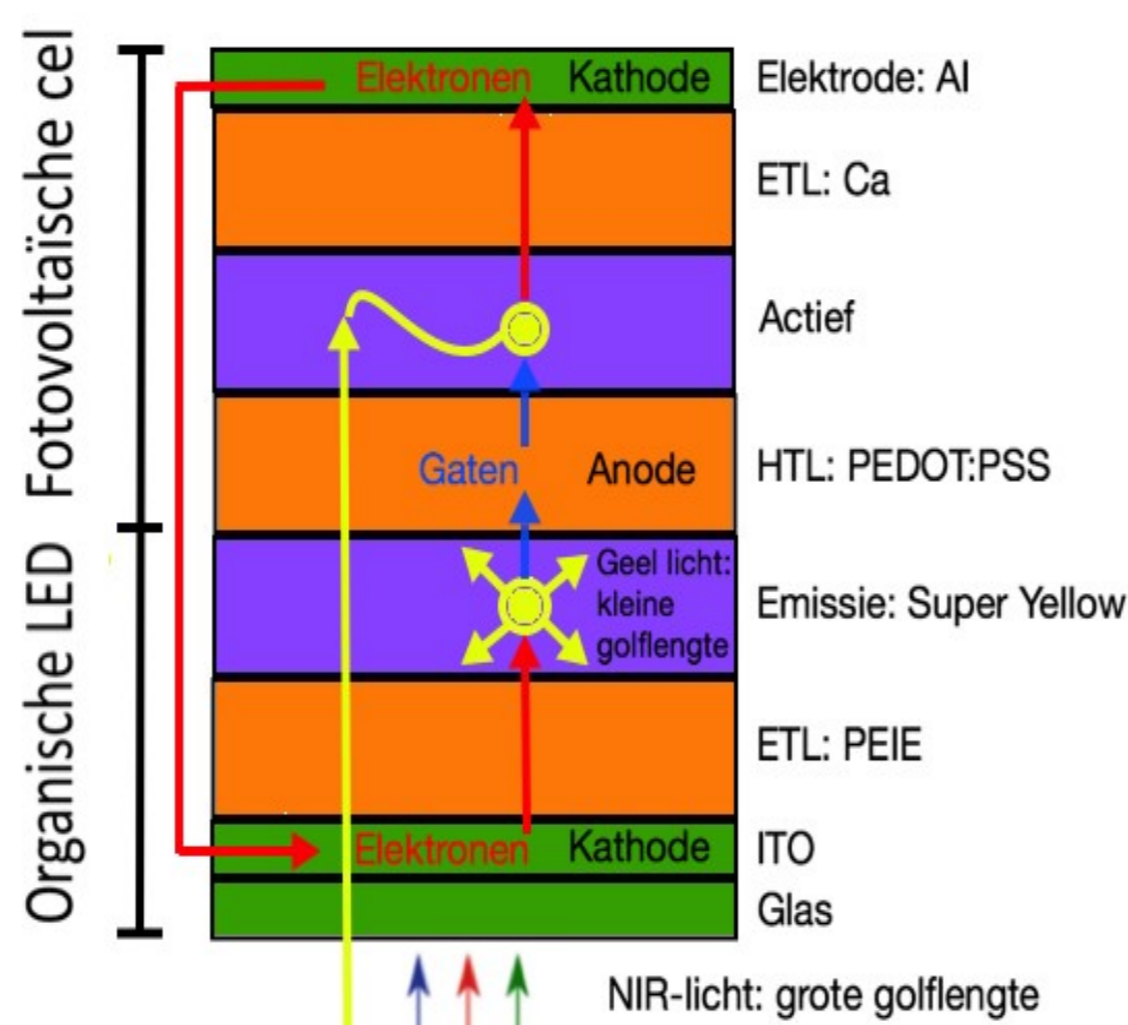
master IIW elektromechanica

## Situering

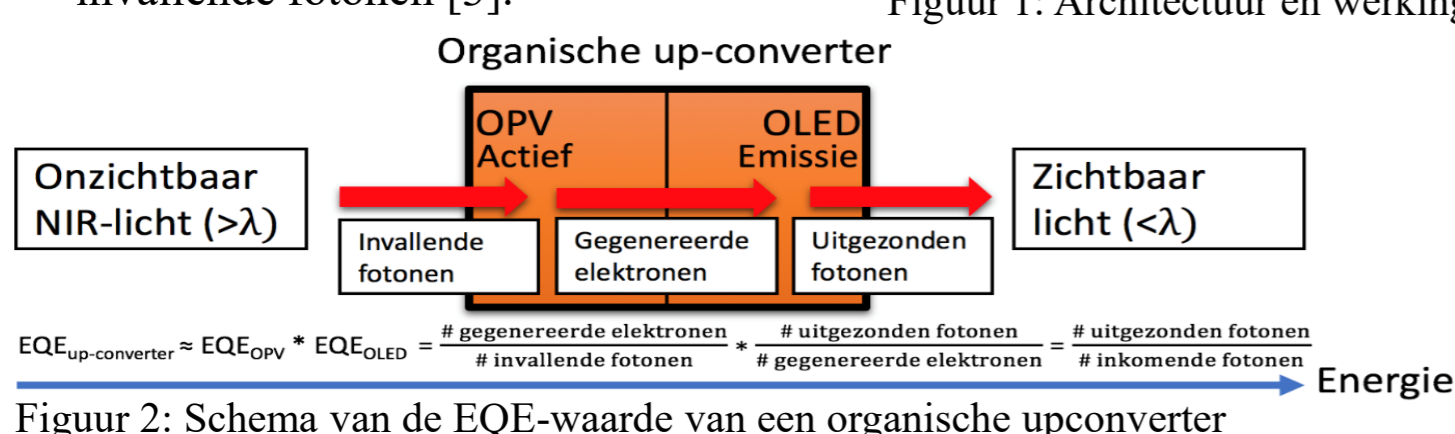
- De expertise van onderzoeksgroep IMO-IMOMEC van UHasselt in organische leds (OLED's) en organische fotovoltaïsche cellen (OPV's) maakt de weg vrij naar nieuwe technologieën, waaronder de upconverter, die **onzichtbaar** nabij-infrarood (NIR) licht omzet in **zichtbaar** licht.
- Upconverters** kennen **toepassingen** in: nachtzicht, beveiliging, medische beeldvorming, entertainment en industriële procesopvolging [1], [2].

### Werkingsprincipe [3]:

- Bij de huidige upconverterarchitectuur (Fig. 1) vallen de NIR-fotonen (golflengte  $\lambda$  tussen 780 nm en 2500 nm) in aan de **substraatzijde** (glas) en penetreren ze bovenliggende lagen tot de **actieve laag** [3].
- Bij aanleggen van een externe spanning, zendt de **emissie laag** dan hoger energetische **zichtbare fotonen** ( $\lambda < 780$  nm), die de upconverter verlaten via **substraatzijde**, uit in alle richtingen [3].
- Externe kwantumefficiëntie (EQE, Fig. 2) = aantal uitgaande fotonen/aantal invallende fotonen [3].

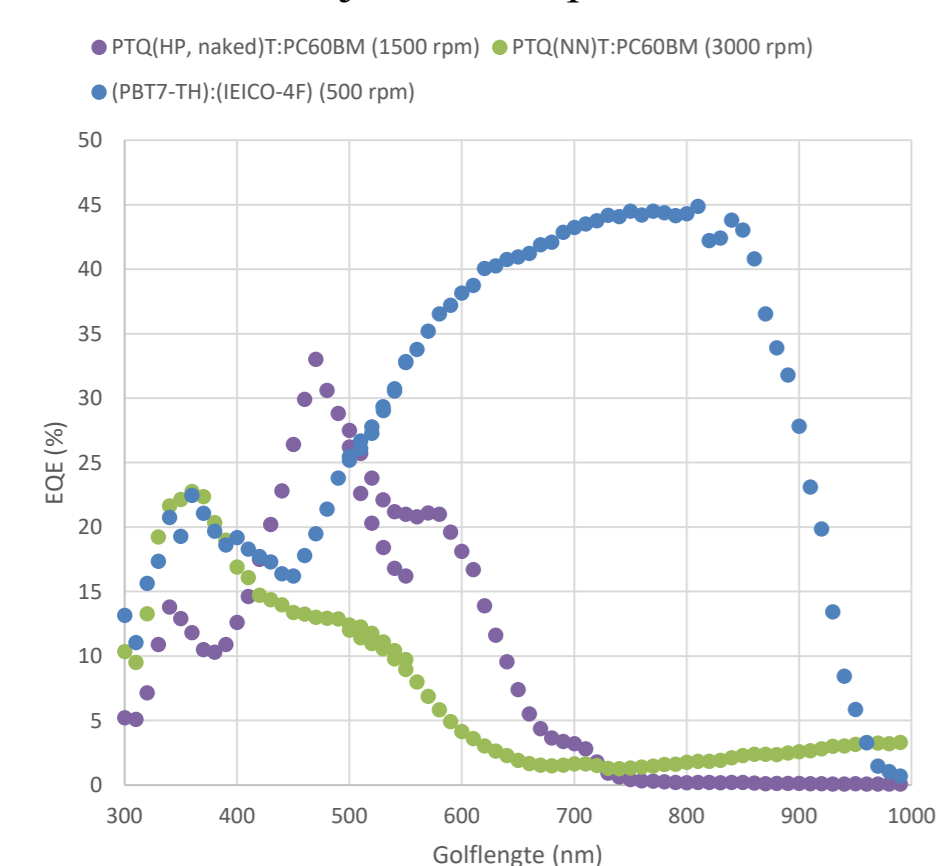


Figuur 1: Architectuur en werking organische upconverter

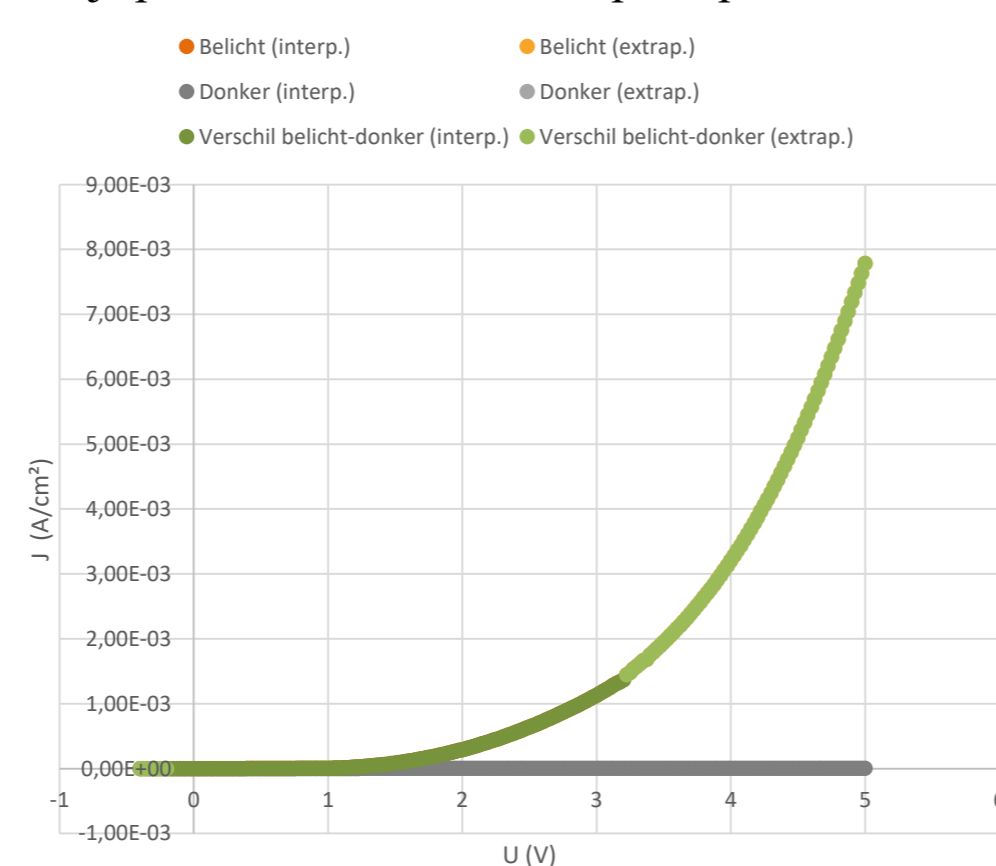


Figuur 2: Schema van de EQE-waarde van een organische upconverter

- Het onderzoek toont aan dat de organische upconverter, waarvan de actieve laag (PBT7-TH):(IEICO-4F) gespincoat is met een draaisnelheid van **500** toeren/min en een draiversneling van **500** toeren/min/s (laagdikte van 60,33 nm), een EQE<sub>OPV</sub> **groter dan 1%** bereikt over een **breed NIR-golflengtegebied** (tussen 700 nm en 950 nm) met een maximale EQE<sub>OPV</sub> van 45% bij 800 nm (Fig. 7).
- Deze heeft slechts **2,9 V** spanning nodig om een stroomdichtheid van **1,02 mA/cm<sup>2</sup>** te bereiken.
- De **software** voor het bepalen van de JV-curves van een upconverter uit de JV-curves van een OLED en OPV levert de **verwachte resultaten** op (Fig. 8).
- De literatuurstudie besluit dat **USC** een **haalbare productietechniek** is om upconverters op industriële schaal te produceren. De upconverteronderdelen die via USC zijn gefabriceerd blijken hieruit namelijk dezelfde prestaties te hebben als bij spincoaten of thermisch opdampen.



Figuur 7: EQE - waarde in functie van de  $\lambda$  van een OPV met verschillende actieve lagen die gespincoat zijn met hun optimale draaisnelheid (in rpm)



Figuur 8: JV-curve van één van de upconverters OPV((PBT7-TH):(IEICO-4F), 500rpm) + OLED(SY, Al 80nm)

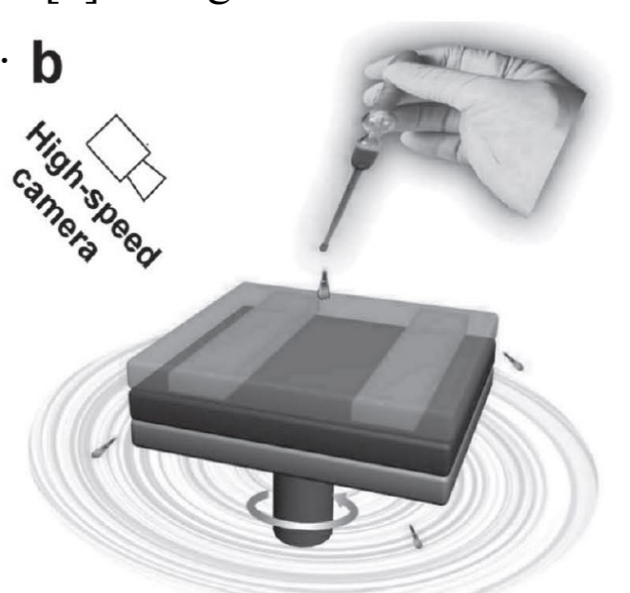
## Probleem- en doelstellingen

### Problemen:

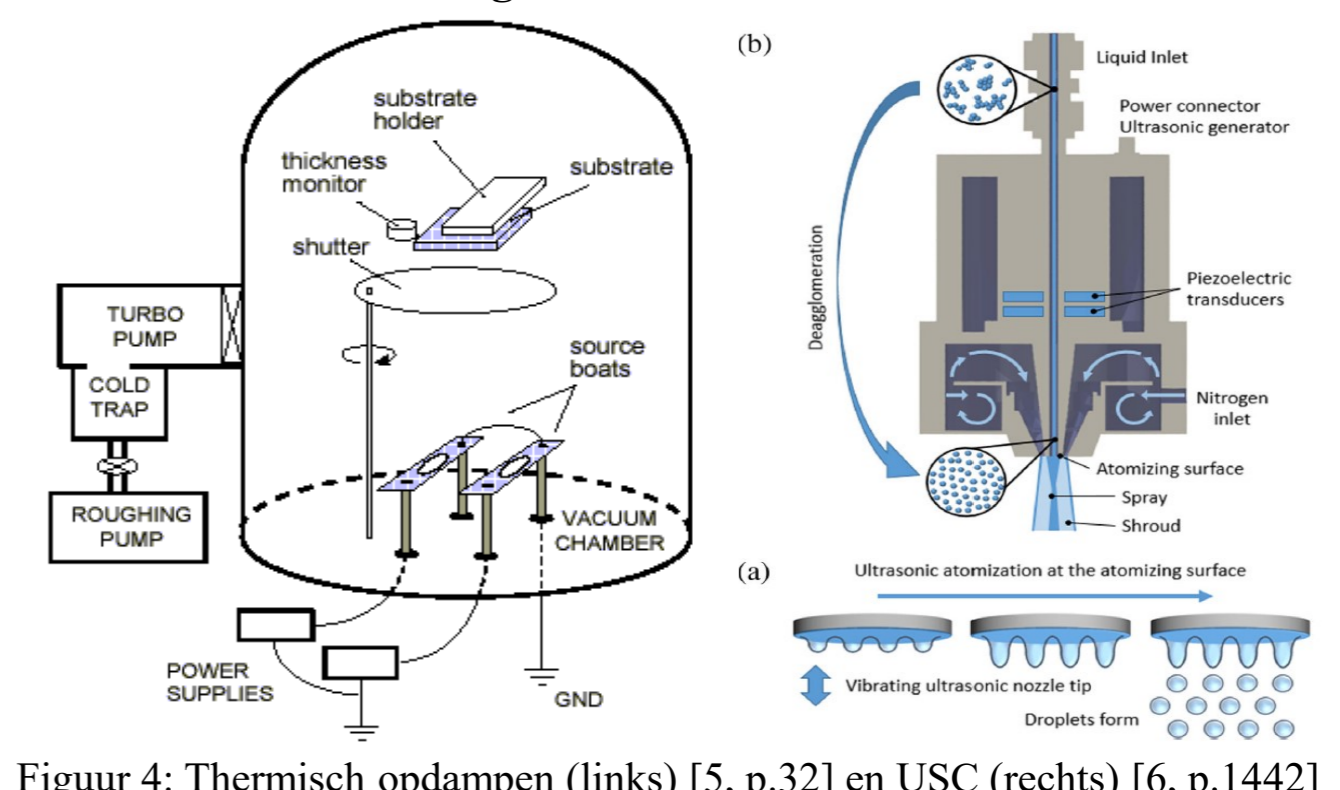
- Bestaande NIR-upconverters (uit conversiematerialen of anorganische halfgeleiders) zijn **inefficiënt** en hebben hoge materiaalkosten en complexe fabricageprocessen. Bovendien treedt het zichtbare licht uit aan **dezelfde zijde** waar het NIR-licht invalt [2]. Dit geeft problemen bij toepassing in doorlaatfilters [2].
- Huidige upconverters worden enkel op **laboschaal** geproduceerd [2]. Dit gebeurt onder andere via **spincoating** (Fig. 3) en thermisch **opdampen** (Fig. 4) [4], [5].

### Doelstellingen:

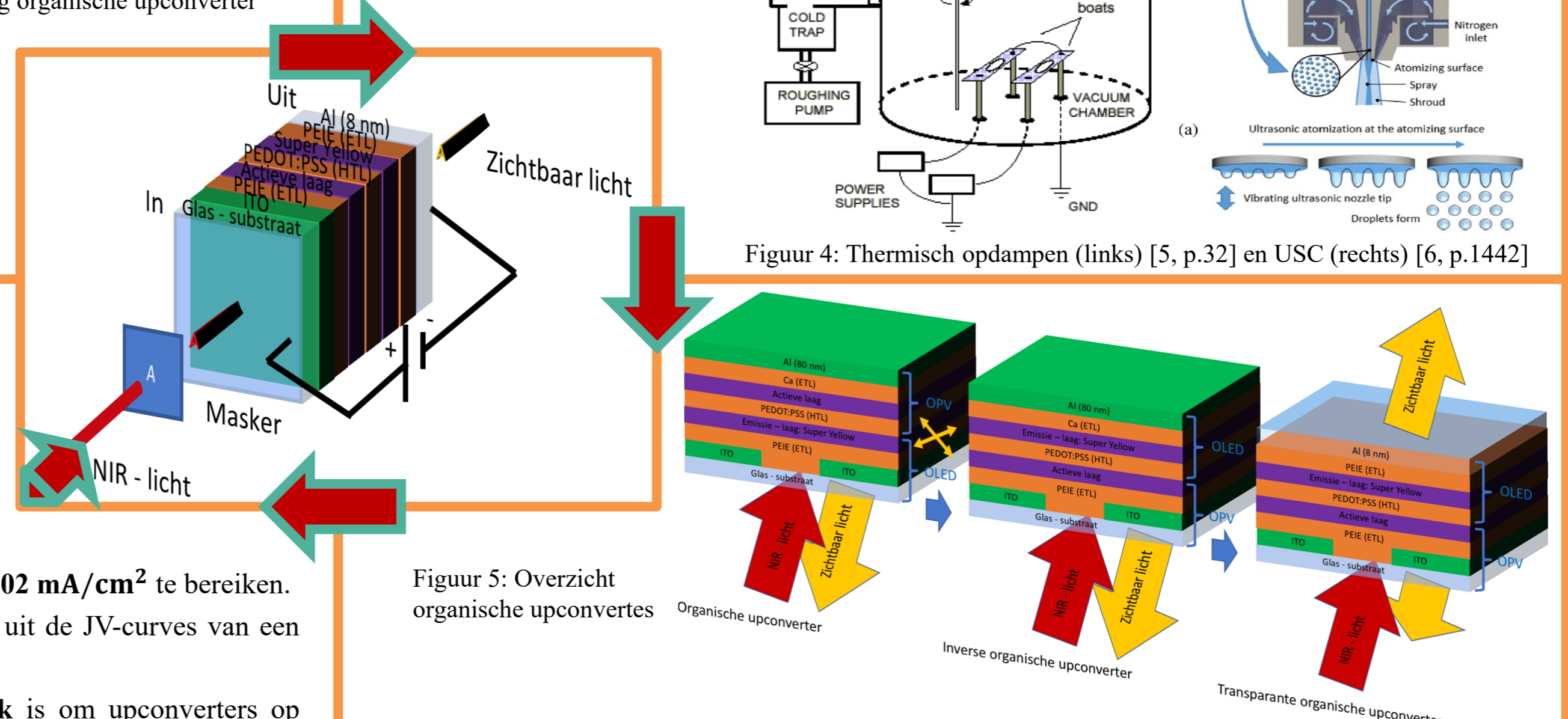
- Fabriceren en optimaliseren van een theoretisch werkende **transparante organische upconverter** waarbij NIR-licht invalt aan de ene zijde en zichtbaar licht uitgaat aan de **overstaande zijde**, via spincoating en thermisch opdampen. De EQE<sub>OPV</sub> hiervan moet bovendien minstens **1%** zijn in het NIR-gebied.
- Onderzoeken van ultrasoon spraycoaten (USC, Fig. 4) als **schaalbare productietechniek voor industrialisering**.



Figuur 3: Spincoaten [4, p.1402]

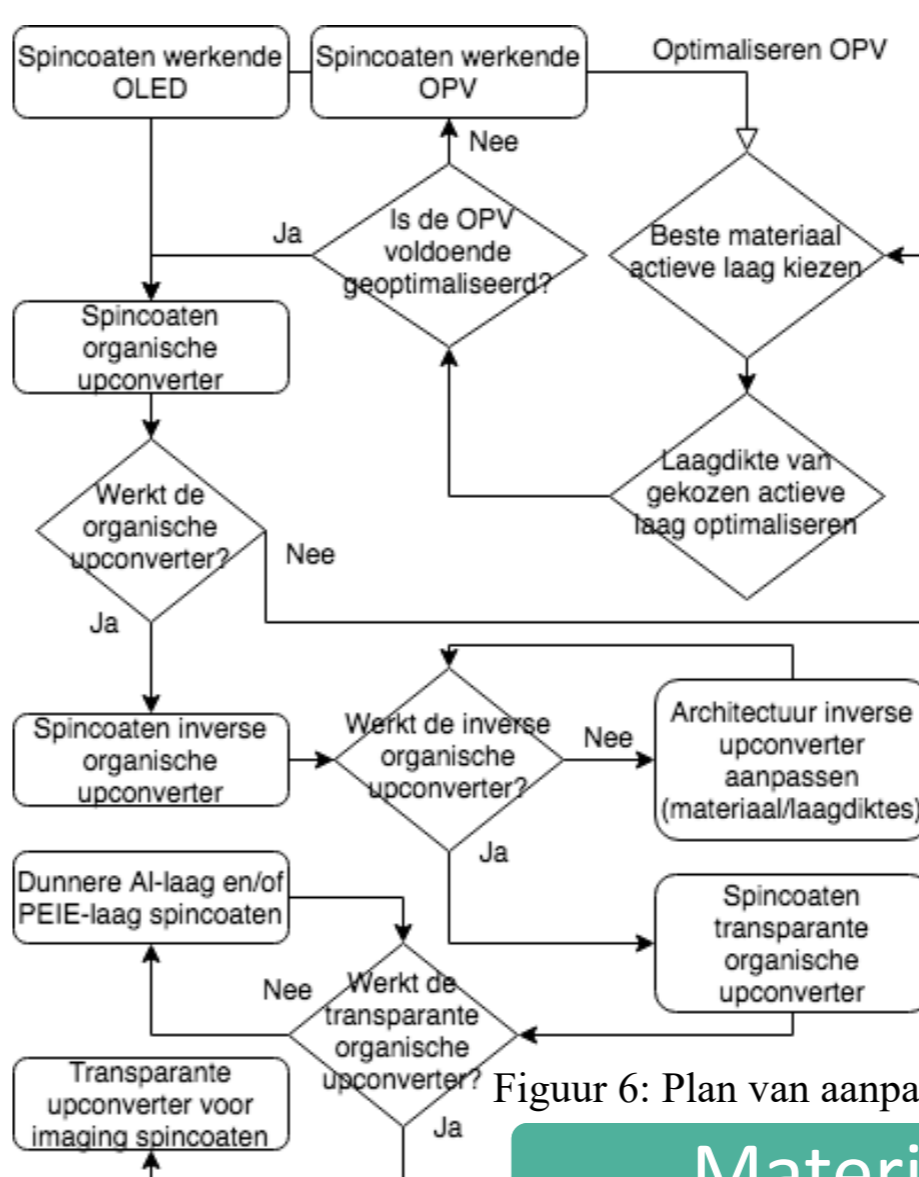


Figuur 4: Thermisch opdampen (links) [5, p.32] en USC (rechts) [6, p.1442]



Figuur 5: Overzicht organische upconverters

### 1. Upconverteronderdelen (OLED's en OPV's) fabriceren via spincoating en thermisch opdampen



Figuur 6: Plan van aanpak

- Deze worden **geoptimaliseerd** met verschillende architecturen, materialen en productieparameters en **gekaracteriseerd** via **EQE- en stroomdichtheid-spannings- (JV-) metingen**.
  - De masterproef stelt dan **software in Python** op om via deze JV-curves de theoretische JV-karakteristieken van de upconverter af te leiden.
  - Hierdoor kunnen in volgend onderzoek werkende, efficiënte (transparante) organische upconverters of dubbele organische upconverters (waarvoor **geen externe spanningsbron** nodig is) worden gefabriceerd.
2. Een **literatuurstudie** bepaalt bovendien de haalbaarheid van industriële productie met USC.

## Resultaten en besluiten

## Materiaal en methode

Promotoren / Copromotoren:

Prof. dr. ir. Wim Deferme  
Prof. dr. ir. Koen Vandewal

[1] Z. Tang, Z. Ma, A. Sánchez-Díaz, S. Ullbrich, Y. Liu, B. Siegrund, A. Mischok, K. Leo, M. Campoy-Quiles, W. Li en K. Vandewal, „Polymer:Fullerene Bimolecular Crystals for Near-Infrared Spectroscopic Photodetectors,” *Advanced Materials*, vol. 29, nr. 33, pp. 1-8, 2017.  
[2] H. Tachibana, N. Aizawa, Y. Hidaka en T. Yasuda, „Tunable Full-Color Electroluminescence from All-Organic Optical Upconversion Devices by Near-Infrared Sensing,” *ACS Photonics*, vol. 4, nr. 2, pp. 223-227, 2017.  
[3] J. Hillen, A. Goossens en K. Vandewal, Omzetting van infrarood tot visuele fotonen met organische halfgeleiders [eindwerk], Diepenbeek: Opleiding Wetenschappen - Fysica UHasselt, 2019.  
[4] F. Zhang, C.-a. Di, N. Berdnikov, Y. Hu, Y. Hu, X. Gao, Q. Meng, H. Stiringhaus en D. Zhu, „Ultrathin Film Organic Transistors: Precise Control of Semiconductor Thickness via Spin-Coating,” *Advanced Materials*, vol. 25, nr. 10, pp. 1401-1407, 2013.  
[5] J. Cramer, Ontwerp en depositie van een gepixeld OLED op flexibele substraten aan de hand van ultrasoon spraycoaten [eindwerk], Diepenbeek: Gezamenlijke opleiding Industriële Ingenieurswetenschappen UHasselt & KU Leuven, 2017.  
[6] J. Stryckers, L. D'Olieslaeger, J. V. M. Silvano, C. K. Apolinario, A. C. G. Laranjeiro, J. Gruber, J. D'Haen, J. Manca, A. Ethirajan en W. Deferme, „Layer formation and morphology of ultrasonic spray coated polystyrene nanoparticle layers,” *Physica Status Solidi A*, vol. 213, nr. 6, pp. 1441-1446, 2016.