

University of Groningen

The photophysics of solution processable semiconductors for applications in optoelectronic devices

Abdu-Aguye, Mustapha

DOI:

[10.33612/diss.111696164](https://doi.org/10.33612/diss.111696164)

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2020

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Abdu-Aguye, M. (2020). *The photophysics of solution processable semiconductors for applications in optoelectronic devices*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. University of Groningen. <https://doi.org/10.33612/diss.111696164>

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Samenvatting

Zonne-energie heeft de potentie om in grote mate te voorzien in de toenemende wereldwijde vraag naar energie, daar het zowel een hernieuwbare als wijdverspreide bron van energie is. In de afgelopen decennia heeft zonne-energie voet aan de grond gekregen door toenemende inspanningen op het gebied van onderzoek en ontwikkeling, alsmede door een toegenomen internationale aandacht voor klimaatverandering, de opwarming van de aarde en de noodzaak vervuiling aan banden te leggen om zo een duurzame toekomst te bewerkstelligen. Hoewel traditioneel gezien silicium zonnecellen de bestverkochte zonnecellen zijn en tegenwoordig een module-efficiëntie hoger dan 20% hebben, worden opkomende zonneceltechnologieën (gebaseerd op bijvoorbeeld organische materialen, colloïdale quantum dots (CQD's) en perovskieten) in toenemende mate populair en dagen ze voortdurend de dominantie van silicium uit. Dit is zeker het geval in gebieden waar hun flexibiliteit, lage gewicht en grote kleurbereik deze technieken een voordeel bieden ten opzichte van silicium. De mogelijkheid om ultradunne lagen te fabriceren die zich conformeren aan het onderliggende substraat maakt hen ideaal voor technologieën zoals wegwerpelektronica, sensoren, semi-transparante barrières, *wearables* en zelfs in gevels van gebouwen, waar esthetiek belangrijk is. Hoewel voor de meeste van deze opkomende technologieën de economische obstakels die in de weg staan van wijdverspreide commercialisatie (in termen van het USD per Watt genormaliseerde kostencriterium) nog niet zijn overwonnen, opent de positionering van deze technologieën als kandidaten voor ofwel nichetoeepassingen (zoals hierboven) of als een efficiënte sub-cel voor tandemarchitecturen een veel bredere markt dan de al door silicium gedomineerde zonnecellenmarkt.

Deze thesis begint met een introductie in de verschillende typen van uit oplossing vervaardigbare halfgeleiders en behandelt hun meest relevante eigenschappen voor de onderwerpen die in deze thesis aan bod komen, dit wordt gevolgd door een korte discussie van de belangrijke concepten en methodologieën voor de karakterisaties die later in de thesis uitgevoerd worden.

Hoofdstuk 2 behandelt een strategie voor het vervaardigen van een drie-componenten (ternair) mengsel bestaande uit een polymeer, fullereenderivaat en loodsulfide (PbS) QD's met als doel het verhogen van de diëlektrische constante van het mengsel. De diëlektrische constante van mengsels voor organische zonnecellen is één van de limiterende factoren die in de weg staan van adequate excitonenscheiding en daarmee van een verbeterde efficiëntie. Hoewel het idee van een ternair mengsel voor organische fotonvoltaïsche (OFV) cellen op zichzelf niet

nieuw is, was het voornaamste idee altijd om een groter deel van het zonnenspectrum te bestrijken door materialen met complementaire absorptie te gebruiken in plaats van het gebruiken van een derde component om de diëlektrische constante van het mengsel te verhogen. In dit hoofdstuk voegen we kleine hoeveelheden PbS QD's toe aan een mix van een copolymeer met een smalle bandkloof en een fullereenderivaat en gebruiken we de fotoluminescentie van de raakvlakladingsoverdrachtstoestand als een maat voor de lokale diëlektrische constante van het mengsel. De resultaten van dit hoofdstuk wijzen sterk op een reductie van de initiële populatie van de ladingsoverdrachtstoestand wanneer PbS QD's worden toegevoegd, hetgeen we interpreteren als bewijs voor een lokaal verhoogde diëlektrische constante van het ternaire mengsel.

In hoofdstuk 3 grijpen we terug op een alternatieve benadering van organische fotonvoltaïsche cellen: het concept van ferroëlektrische OFV-cellen (FE-OFV), met als doel het verenigen van verschillende denkbeelden in de literatuur. Een nieuw ontwikkelde (en niet eerder gerapporteerde) halfgeleidende ferroëlektrische blokopolymeer is gebruikt als een verenigbaarheidsbevorderaar om de sterke fasesegregatie die vaak plaatsvindt wanneer ferroëlektrische met halfgeleidende polymeren gemengd worden tegen te gaan. De dunne films met copolymeer verkregen met behulp van ons geoptimaliseerde recept waren effen en vrij van gaten, wat ons in staat stelde het effect van een suboptimale morfologie te elimineren. Hierdoor hebben we kunnen concluderen dat onze observaties voorgaande aannames bevestigen en dat ferroëlektrische compensatie in de mengsels de dipolaire uitlijning in het ferroëlektrische materiaal teniet doet, wat de FE-halfgeleidermengselstrategie voor FE-OFV onwerkzaam maakt.

Weer een andere benadering in het veld van opkomende FV-materialen is de verschuiving naar hybride organisch-anorganische materiaalsystemen. Deze systemen behouden hun gemak van verwerkbaarheid uit oplossing en zijn over het algemeen robuuster op het gebied van operationele stabiliteit en efficiëntie vergeleken met organische materialen. In hoofdstuk 4 wordt een dergelijke materiaalsysteem geïntroduceerd: hybride perovskieten, en de invloed van zowel de microstructuur van de dunne laag alsmede de elektronextractielagen op de prestatie van perovskiete zonnecellen (PZC) wordt bestudeerd: met in het bijzonder de nadruk op het zogenaamde lichtverzadigingseffect. Dit lichtverzadigingseffect is een omkeerbare toename in de prestatie van perovskiete zonnecellen wanneer deze wordt blootgesteld aan licht; deze tijdsafhankelijke instabiliteit is een uitdaging die overkomen dient te worden alvorens PZC-technologie commercieel haalbaar kan

Summary

worden. De resultaten van dit hoofdstuk verhelderen de rol die een compacte dan wel ruwe microstructuur speelt in de prestatie van het apparaat alsmede de rol van de elektronextractielaag op het lichtverzadigingseffect. Dit verbetert ons begrip van PZC's en hoe hun efficiënte verbeterd kan worden.

Tot slot wordt nog een ander hybride organisch-anorganisch systeem bestaande uit met perovskiet geëncapsuleerde PbS QD's bestudeerd. Hierin wordt een gedetailleerde fotofysische karakterisatie van met bismut-perovskiet geëncapsuleerde PbS QD's uitgevoerd. Recentelijk zijn perovskieten en met perovskiet geëncapsuleerde PbS QD's koplopers geworden in tal van opto-elektronische toepassingen en blijven hoogstwaarschijnlijk technologisch relevant in de komende jaren. Om deze redenen zijn temperatuur- en vermogensafhankelijke fotoluminescentiemetingen gebruikt voor de karakterisatie van dunne lagen gemaakt van een op bismut-perovskiet geëncapsuleerde PbS QD's gebaseerde inkt. Onze experimenten onthulden het bestaan van luminescente toestanden in de bandkloof bij lage temperaturen, gelijkend op die van eerder bestudeerde liganden. Daarnaast tonen we aan dat de fotoluminescentie-efficiëntie van de met oliezuur afgetopte QD's veel hoger is dan die van de met bismut gekapselde QD's die sterk onderhevig zijn aan ladingsvallen; welke hoogstwaarschijnlijk aan het oppervlak gevormd zijn tijdens de liganduitwisselingsreactie in oplossing. Desalniettemin laten veldeffecttransistor-metingen de geslaagde verwijdering van de oorspronkelijke oliezuur-liganden zien, met dominant elektrontransport en mobiliteiten die vergelijkbaar zijn met gerapporteerde waarden voor met perovskiet geëncapsuleerde PbS QD's; die uitgebreid bestudeerd zijn in de literatuur.

Ter conclusie, deze thesis presenteert de resultaten van experimenten op verschillende klassen van uit oplossing vervaardigbare opto-elektronische materialen (polymeren, perovskieten en QD's). Daarnaast behandelt het methodologieën zoals het gebruik van QD-toevoegingen om de diëlektrische constante van organische fotovoltaiische mengsels te verhogen, de (gerelateerde) FE-OFV-strategie van het gebruik van intrinsieke dipolaire uitlijning van een ferro-elektrische polymeer om de efficiëntie van OFV's te verhogen, onderwerpen met betrekking tot hybride organische-anorganische fotovoltaiische technologieën: zoals het lichtverzadigingseffect in perovskiete zonnecellen en de fotovoltaiische eigenschappen van met perovskiet geëncapsuleerde PbS QD's. De uiteindelijke resultaten in dit werk vergroten ons begrip van deze klassen uit oplossing vervaardigbare halfgeleiders en wijzen de weg naar mogelijkheden tot verdere verbetering van dergelijke materialen en materiaalsystemen.