
Samenvatting

Spectroscopie op Metaalhalogenidelampen onder Verschillende Zwaartekrachtcondities

Wereldwijd wordt 20% van de elektriciteit gebruikt voor verlichting. Efficiënte lampen zijn daarom belangrijk, zowel om economische redenen als vanwege de positieve milieuaspecten.

Hoge-intensiteit-gasontladinglampen (high intensity discharge lamps, HID) zijn efficiënte lampen. De meest voorkomende HID-lamp is de metaalhalogenidelamp (MH-lamp). MH-lampen hebben een goede kleurweergave. Het zijn hogedruklampen gebaseerd op de lichtemissie van een elektrische boog (plasma). Ze worden met name toegepast waar een hoge lichtintensiteit gewenst is, zoals in etalageverlichting, straatverlichting, de verlichting van sportstadions en gevelverlichting van gebouwen. MH-lampen zijn erg efficiënt (tot wel 40%) en geven wit licht.

De MH-lamp bevat een buffergas (meestal kwik) en additieven die vooral in het zichtbare deel van het spectrum licht uitzenden. De additieven verhogen de efficiëntie en de kleurweergave. Ze worden als zout toegevoegd. In dit proefschrift gebruiken we vooral dysprosiumjodide (DyI_3) als zoutadditief.

Het doel van dit proefschrift is het karakteriseren van een goed verifieerbare lamp en het verkrijgen van een set betrouwbare meetdata. De experimenteel verkregen data wordt gebruikt om bestaande numerieke modellen van de MH-lamp te verifiëren, zodat we de plasmageeigenschappen en de transportverschijnselen in de lamp beter kunnen gaan begrijpen.

Als de lamp in verticale positie brandt, treedt er segregatie van de additieven op en zien we kleurscheiding. Het niet-uniforme licht verlaagt de efficiëntie en verslechtert de kleurweergave van de lamp. De verdeling van de Dy-atomen wordt bepaald door convectie en diffusie in de lamp.

Convectie wordt geïnduceerd door zwaartekracht en daarom wordt de lamp gemeten onder verschillende zwaartekrachtcondities. De lamp wordt onderzocht in het laboratorium en tijdens paraboolvluchten. Tijdens deze vluchten meten we de lamp tijdens

perioden van ongeveer 20 s van microzwaartekracht ($0g$, waar g de zwaartekracht op aarde is) en hyperzwaartekracht ($\sim 1.8g$). De lamp wordt ook in een centrifuge ($0-10g$) geplaatst. Deze centrifuge, met een diameter van ongeveer 3 m, wordt gebruikt als instrument om de (kunstmatige) zwaartekracht te variëren en hiermee de convectiesnelheid in de lamp te veranderen. De centrifuge kan langdurig op een constant zwaartekrachtniveau blijven, in tegenstelling tot de paraboolvluchten, waar slechts periodes van 20 s beschikbaar zijn. Hierdoor zijn we er in de centrifuge zeker van dat de lamp gestabiliseerd is.

Om betere lampen te kunnen ontwikkelen kan de kennis van de zwaartekrachtstudie worden toegepast op andere parameters die de convectiesnelheid beïnvloeden. Voorbeelden uit de praktijk zijn het veranderen van de druk van het buffergas of het wijzigen van de verhouding tussen de lengte en straal van de lamp.

Bij $1g$ meten we de radiaal en axiaal opgeloste dichtheid van de Dy-atomen in de grondtoestand. Dit wordt gedaan met behulp van laserabsorptiespectroscopie. De radiaal opgeloste metingen laten een hol dichtheidsprofiel zien. Het maximum in de dysprosiumdichtheid ligt ergens tussen het centrum en de wand van de lamp. In het buitenste gebied domineren de moleculen. Verder is in het centrum de atomaire Dy-dichtheid lager doordat er ionisatie optreedt.

Tijdens de paraboolvluchten meten we laterale dichtheidsprofielen van Dy-atomen in de grondtoestand. Dit doen we met behulp van eendimensionale laserabsorptiespectroscopie op één bepaalde axiale positie in de lamp. Uit deze profielen halen we de mate van axiale segregatie. De gemeten lampspanning en de geïntegreerde lichtopbrengst stemmen overeen met de resultaten voor de dysprosiumdichtheid. Drie processen met verschillende tijdconstanten zijn van belang als we van hyperzwaartekracht naar microzwaartekracht gaan. Axiale diffusie is het traagst en de tijdconstante (~ 30 s) is evenredig met de hoeveelheid kwik. Vanwege de tijdschaal van deze constante is de lamp aan het einde van de fase van microzwaartekracht nog niet gestabiliseerd.

De nieuwe meettechniek Beeldvormende Laserabsorptiespectroscopie (Imaging Laser Absorption Spectroscopy, ILAS) meet de 2D-verdeling van de dichtheid van de grondtoestand van het Dy-atoom over de lamp. De metingen van de Dy-dichtheid met behulp van ILAS laten duidelijk zien dat de opstelling en meettechniek een bruikbaar hulpmiddel zijn om meer inzicht in de lamp te verkrijgen.

E. Fischer heeft een theorie ontwikkeld die de mate van axiale segregatie als functie van de hoeveelheid convectie beschrijft, voor een oneindig lange lamp. We breiden dit model uit voor onze lampen, die een eindige lengte en een axiale temperatuurgradiënt hebben. Door het veranderen van de temperatuur verschuift het chemisch evenwicht tussen zoutmoleculen, -atomen en -ionen. Dit nieuwe model geeft de gecorrigeerde Fischerparameter λ_c , die alleen kan worden bepaald als de invloed van de temperatuur niet dominant is. De axiale inhomogeniteitsparameter α is een maat voor de niet-uniformiteit van een willekeurige lampeigenschap in axiale richting. Wij gebruiken de parameter α als maat voor de axiale inhomogeniteit van de dichtheid van het additief.

Diverse lampen met Hg en DyI₃ worden gemeten met behulp van ILAS. De gecor-

rigeerde segregatieparameter λ_c geïntroduceerd in dit proefschrift volgt het gedrag dat voorspeld wordt in het model van Fischer beter dan de oorspronkelijke Fischer parameter λ , omdat deze het temperatuureffect niet meeneemt. De verschillende lampen liggen op andere posities op de Fischercurve. In korte lampen is bij $10g$ de Dy-dichtheid het hoogste bovenin de lamp. Dit wordt veroorzaakt door het dominante temperatuureffect.

De ILAS-techniek is nauwkeurig, maar is geoptimaliseerd voor een bepaalde geometrie van de MH-lamp en DyI₃ als zoutvulling en kan niet eenvoudig aan een andere lamp worden aangepast. Als toevoeging aan deze meettechniek wordt een eenvoudige en snelle methode van emissiespectroscopie geïntroduceerd. Deze methode bepaalt axiale intensiteitsprofielen voor elke gewenste golflengte. Vervolgens wordt uit de lijnintensiteiten direct de inhomogeniteit in de axiale intensiteitverdeling bepaald, onder verschillende zwaartekrachtcondities. De met deze techniek verkregen meetresultaten komen overeen met de resultaten van de ILAS-metingen voor lampen met DyI₃. Vervolgens wordt de techniek toegepast op de commerciële Philips CosmoWhite-lamp met een andere zoutmix.

De ILAS-metingen worden vergeleken met de resultaten die verkregen zijn met numeriek modelleren met TU/e-plasmamodelleringsplatform PLASIMO. De resultaten laten een goede overeenkomst zien. Door de resultaten naast elkaar te leggen, kunnen we de competitie tussen convectie en diffusie kwalitatief begrijpen.

Concluderend: de metingen aan de MH-lampen zijn succesvol en leveren betrouwbare en consistente data. De overeenkomst tussen experiment en model is goed en de set meetdata kan gebruikt worden ter validatie van nieuwe numerieke modellen.

