

Untersuchung des Emitter-Effekts von seltenen Erden in HID-Lampen

Cornelia Ruhrmann

Hochdruck-Gasentladungslampen (HID-Lampen) sind sehr effiziente und wirtschaftliche Punktlichtquellen mit hohem Lichtstrom, guter Farbwiedergabe und langer Lebensdauer. Daher werden sie in vielen Bereichen eingesetzt, z.B. sowohl in der Shop-, Anlagen-, Industrie-, Architektur-, Straßen- oder Automobilbeleuchtung, als auch in Videoprojektionssystemen. Dennoch führt die hohe thermische Belastung der Wolframelektroden zu hohen Elektrodentemperaturen, die die Lebensdauer der Elektroden und folglich der Lampe limitieren.

Keramische Metallhalogenidlampen (CMH-Lampen) werden mit Metallsalzen dotiert, da diese Jodide hauptsächlich Strahlung im sichtbaren Spektralbereich erzeugen. Insbesondere die Zugabe von Jodiden der seltenen Erden (z.B. DyI_3 , CeI_3 , LaI_3 , TmI_3 , HoI_3) erzeugt ein breitbandiges Linien-Emissionsspektrum. Folglich bestimmen die verdampften Metalle die Farbeigenschaften des von der Bogenentladung emittierten, Lichts. Weiterhin verursachen die Metalljodide häufig einen aus der Gasphase erzeugten Emitter-Effekt. Dabei scheidet hauptsächlich ein auf die Kathode gerichteter Emitter-Ionenstrom eine Monolage elektropositiver Emitter-Atome auf der Elektrodenoberfläche ab. Diese Monolage reduziert die effektive Austrittsarbeit der Elektrode durch ein Absenken der Potentialbarriere für Elektronen, die von der Elektrode emittiert oder absorbiert werden. Dies führt zu einer reduzierten Elektrodentemperatur und einer erhöhten Lebensdauer der Lampe. Üblicherweise ist der Dampfdruck der Metalljodide in der Lampe gesättigt. Die Menge an verdampften Jodiden hängt von der Temperatur des kältesten Punkts im Entladungsgefäß (Cold-Spot) ab, an dem sich das zumeist flüssige Salz im Lampenbetrieb ansammelt. Eine optimale Bedeckung der Elektrodenoberfläche durch Emitter-Atome wird von der Cold-Spot-Temperatur, dem Emitter-Dampfdruck, den Emitter-Eigenschaften (z.B. Elektronegativität, Ionisationsenergie, Atommasse, effektive Austrittsarbeit, Adsorptionsenergie) und den elektrischen Betriebsparametern (z.B. Signalform, Amplitude, Frequenz) beeinflusst.

An speziellen CMH-Lampen für Forschungszwecke wird der Gasphasen-Emitter-Effekt von Ce, Cs, La und Tm in Abhängigkeit vom Betriebsstrom oder von der Eingangsleistung bei verschiedenen Betriebsfrequenzen untersucht. Dazu werden phasenaufgelöste Bilder vom Bogenansatz und phasenaufgelöste Messungen der Elektrodentemperatur und der Elektrodenverlustleistung mittels 2D-Mikrofotographie und Pyrometrie mit CCD-Kameras durchgeführt. Die CCD-Kameras wurden mittels der Radianz einer Wolframbandlampe absolut kalibriert. Zusätzlich werden Plasmatemperaturen und Emitter-Atom- und Ionen-Dichten in absoluten Einheiten anhand von phasen- und orts aufgelöster optischer Emissions- und Absorptionsspektroskopie bestimmt. Ferner werden Emitter-Dampfdrücke thermodynamisch berechnet. Ein Vergleich mit den spektroskopischen Messergebnissen führt zur Cold-Spot-Temperatur der Lampe. Ce-, Cs-, La- oder Tm-Atome und -Ionen im Lichtbogen erzeugen einen Gasphasen-Emitter-Effekt in der kathodischen Phase. Dabei stellt sich ein Gleichgewicht zwischen dem Emitter-Ionenstrom, der die atomare Emitter-Monolage auf der Elektrodenoberfläche abscheidet, und der thermischen Desorption ein. Da die Adsorptionenergie von Ce, La und Tm und damit die Lebensdauer der Monolage ausreichend groß ist, breitet sich der Emitter-Effekt dieser Elemente bei Frequenzen von einigen hundert Hertz sogar auf die anodischen Phase aus. Eine Erhöhung der Emitter-Füllung, eine Beimischung von NaI zur Lampenfüllung oder eine externe Heizung des Cold-Spots führt zu einer Zunahme des Emitter-Dampfdrucks und somit der Bedeckung der Elektrodenoberfläche mit Emitter-Atomen. Die Messungen zeigen, dass sich durch Variation der Cold-Spot-Temperatur und folglich des Emitter-Dampfdrucks optimale Bedingungen für den Emitter-Effekt einstellen lassen.