

Quecksilberfreie Alternativen für Hochruckentladungen

H. Schöpp, St. Franke, R. Methling, H. Schneidenbach, H. Heß

INP-Greifswald

<mailto:schoepp@inp-greifswald.de>

Quecksilber ist als umweltschädliche Substanz eingestuft und wird dennoch in Gasentladungslampen als Füllbestandteil verwendet. In der Vergangenheit gab es verschiedene Ansätze quecksilberfreie Entladungen mit gleichwertigen Eigenschaften einzusetzen. Über diese quecksilberfreien Alternativen und über Ergebnisse eigener Forschungsarbeiten wird berichtet.

1 Einführung

Quecksilber wird in Gasentladungslampen wegen seiner herausragenden Eigenschaften häufig eingesetzt. In der Allgemeinbeleuchtung (Büro, Haushalt, Straße, Gebäude) wird dabei in Niederdruck- und Hochdrucklampen unterschieden. Je nach erforderlicher Leuchtdichte werden flächenhafte (Niederdruck-) oder punktförmige (Hochdruck-) Lampen verwendet. In Niederdrucklampen ist die energieeffiziente Erzeugung von UV-Strahlung geeignet, um mittels Leuchtstoffen sichtbares Licht zu erhalten. In Hochdruckentladungen (häufig als HID = high intensity discharges bezeichnet) wirken sich der große Transportquerschnitt für elastischen Elektronenstoß in Verbindung mit der guten Verdampfbarkeit positiv aus. So sorgt der Transportquerschnitt für relativ hohe Feldstärken. Damit sind hohe Brennspannungen bei geringem Entladungsstrom realisierbar, die für geringe Verluste im Versorgungskreis sorgen. Die gute Verdampfbarkeit gewährleistet bei moderaten Entladungsgefäßtemperaturen ausreichend hohe Teilchendichten. Weiterhin wirken sich die geringe Wärmeleitfähigkeit, die zu geringen thermischen Verlusten führt und das chemisch inerte Verhalten bei höheren Temperaturen ebenso günstig aus, wie die relativ hohe Anregungsenergie. Letztere führt im Zusammenwirken mit weiteren Füllbestandteilen dazu, dass Quecksilber kaum an der Lichterzeugung beteiligt ist. Bei der Suche nach Ersatzsubstanzen sind diese Kriterien heranzuziehen, auch alternative Stromformen bzw. Anregungsprinzipien kommen in Betracht.

2 Hg-freie Alternativen

Ende der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts wurde eine Hg-freie HID auf der Basis der Natriumdampf-Hochdruckentladung entwickelt und auf den Markt gebracht („COLORSTAR“, Fa. OSRAM). Diese Lampe unterscheidet sich von den auch heute noch in der Straßenbeleuchtung zu sehenden Natriumdampf-Hochdrucklampen darin, dass neben der Quecksilberfreiheit der Entladung ein

elektronisches Vorschaltgerät eingesetzt wird, mit dem die Stromform beeinflusst wird. Durch eine Strom-Impulsfolge nach einer Strom-Haltephase werden höhere Niveaus des Natrium angeregt, die - neben den durch den hohen Druck stark verbreiterten Resonanzlinien - weitere Linien emittieren. Diese zusätzlichen Linien verbessern die Farbwiedergabe ($R_a \sim 80$) bei annähernd gleich bleibender Effizienz ($\eta \sim 58 \text{ lm/W}$). Eine Variation der Impulsfolge ermöglicht auch die Einstellung unterschiedlicher Farbtemperaturen (umschaltbar von 2500 K auf 2900 K) [1].

Ein anderes Konzept wurde in [2] für eine mikrowellenangeregte Entladung vorgestellt (Fa. PHILIPS). Bei dieser Entladung emittieren Wolfram-Oxibromid-Cluster das Licht. Die spektrale Verteilung der Strahlung ist so gut, dass eine Farbwiedergabe > 80 und Lichtausbeuten um 60 lm/W erreicht werden.

Ebenfalls auf der Mikrowellentechnik beruht die Schwefellampe (Fa. FUSION LIGHTING), bei der die Molekülstrahlung des dimeren Schwefelmoleküls ausgenutzt wird [3, 4]. Auch hier ist die spektrale Verteilung der Strahlung so, dass Farbwiedergabewerte $R_a = 79$ und Lichtausbeute $\eta = 100 \text{ lm/W}$ angegeben werden.

In jüngerer Zeit sind von PHILIPS und OSRAM Autolampen auf den Markt gekommen, die sich durch ihre Hauptfüllbestandteile unterscheiden. Während PHILIPS ein Na/Sc-Halogenid-System bevorzugt, wird bei OSRAM ein Na/Tl/Dy/Tm/Ho-Jodid-System verwendet. Diese Lampen sind für Leistungen um 35 - 50 W ausgelegt und erzielen mittlere Effizienzen (um 60 lm/W). In den Lampen dominiert die Linienstrahlung in Verbindung mit der Linienverbreiterung durch den hohen Druck der verdampften Atome. Zur technischen Realisierung solcher Lampen werden keramische Entladungsgefäße eingesetzt, die häufig durchscheinend und nicht durchsichtig sind, was eine spektroskopische Diagnostik erschwert.

3 Auswahlkriterien für Ersatzkandidaten

Besondere Eigenschaften, die für die Nutzung des Quecksilbers in den bisher verwendeten Lampen sprechen sind:

- Ein großer Transportquerschnitt von Hg führt zu geringer elektrischer Leitfähigkeit.
- Ein hoher Dampfdruck führt zu hohen Atomdichten.
- Die Atomstrahlung der Zusätze dominiert, eine Transformation von UV-Strahlungsanteilen des Hg erfolgt in sichtbares Licht.

Neben diesen sind zusätzliche Kriterien zu berücksichtigen:

- Nicht giftige Substanzen haben Vorrang.
- Die Emission soll von Atomen/ Kontinuum/ Molekülen vor allem im sichtbaren Spektralbereich erfolgen.
- Entladungsgefäße müssen auf konventioneller Technologie basierend (möglichst in Quarz) herstellbar sein.

Bei der Durchmusterung des Periodensystems und möglicher Halogenid-Verbindungen ist der Dampfdruck von Jodiden vergleichbar mit Hg (oder größer) für die Elemente:

Te, Hf, Zr, I, Ga, Si, Al, As, Sn, Ti, Sb

Die elektrische Leitfähigkeit mit Hg ist annähernd vergleichbar für:

Zr, Hf, Sb, Ti, Al, Te, Sn

Die stöchiometrische Wertigkeit soll so gering wie möglich sein reduzieren sich die möglichen Ersatzkandidaten auf:

[Zr, Hf, Ti, Te, Sn (Wertigkeit 4)]

Sb, Al (; Wertigkeit 3).

Sb ist in einigen Ländern als giftig klassifiziert, es bleibt Al, dieses ist als AlI_3 – Aluminium(III)-Jodid – verwendbar.

Anhand von Versuchen zum elektrischen Verhalten von Entladungen mit Ersatzkandidaten erwiesen sich die zeitabhängigen Spannungsverläufe als ein wertvolles Hilfsmittel einer weiteren Eingrenzung. In Abb. 1 sind derartige Spannungsverläufe dargestellt, die zeigen, dass eine Mischung von AlI_3 mit Xe (letzteres dient auch als Startgas bei der kalten Lampe) einem Vergleich mit quecksilberhaltigen, am ehesten entspricht.

Eine derart gefüllte Lampe erreicht Lichtausbeuten $\eta > 90 \text{ lm/W}$ und Farbwiedergabewerte $R_a > 70$ bei Farbtemperaturen über 4000 K [5, 6].

4 Danksagung

Wir bedanken uns für die gute Zusammenarbeit bei den Kollegen der OSRAM GmbH München. Die Arbeiten wurden vom BMBF gefördert unter FKZ 13N8262 und 13N8261.

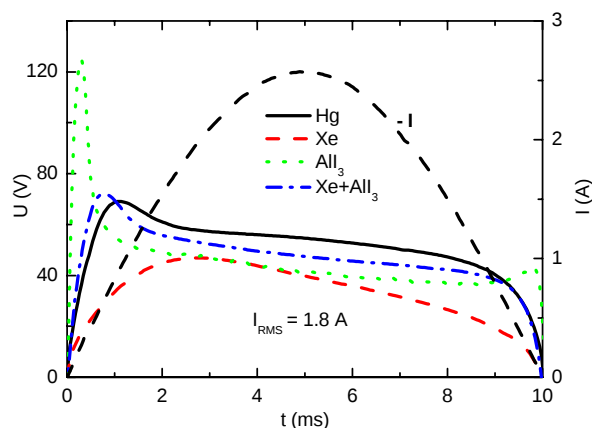


Abb. 1 Zeitabhängige Spannungsverläufe einer Mischungskombination im Vergleich zu einzelnen Ersatzkandidaten und quecksilberhaltiger Lampe bei gleichem Entladungsstrom und gleichen Zusätzen (TI u. Tm-Jodide).

Literatur

- [1] Günther, K.; Kloss, H.-G.; Lehmann, T.; Radtke, R.; Serick, F.: Pulsed Operation of High-Pressure-Sodium Discharge Lamps. *Contributions to Plasmaphysics* 30 (1990) 6, 715-724
- [2] Offermanns, S.: Electrodeless High-Pressure Microwave Discharges. *Journal of Applied Physics* 67 (1990) 1, 115-123
- [3] Turner, B. P.; Ury, M. G.; Leng, Y.; Love, W. G.: Sulfur Lamps-Progress in Their Development. *J. Ill. Eng. Soc.* (1997), 10-16
- [4] Scholl, R.; Weber, B.; Weijtens, C.: New Light Generation Mechanism: Continuous Radiation from Clusters (6th International Symposium on the Science & Technology of Light Sources (LS:6), Budapest, 1992). Vol. 1, S. 335-343
- [5] Franke, St.; Methling, R.; Hess, H.; Schneidenbach, H.; Schöpp, H.; Hitzschke, L.; Käning, M.; and Schalk, B.: Mercury-free high-intensity discharge with high luminous efficacy and good colour rendering index. *J Phys D Appl Phys* in press (2007)
- [6] Franke, St.; Schoepp, H.; Langenscheidt, O.; Methling, R.; Hess, H.; Schneidenbach, H.: Study of noble gases as mercury substitutes in high-pressure discharge lamps. *LEUKOS, The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America* 3 (2007) 3, 217-227