

Leuchtende Zukunft

— Die Entwicklungsgeschichte anorganischer Leuchtstoffe ist lang und noch längst nicht zu Ende —

Für die Erzeugung von Licht geeigneter spektraler Verteilung werden in Kathodenstrahlröhren, Plasmabildschirmen, Flüssigkristall-Bildschirmen (LCDs), Energiesparlampen, Leuchtstoffröhren, und LEDs in der Regel anorganische Leuchtstoffe verwendet. Diese Substanzen emittieren Licht im nicht-thermischen Gleichgewicht, wobei der zu Grunde liegende physikalische Prozess als Lumineszenz bezeichnet wird und von der Schwarzkörperstrahlung abgegrenzt werden muss.



Prof. Thomas Jüstel,
Münster University of Applied Sciences

nenstrahlen sowie Röntgenstrahlung sichtbar zu machen. Aus den Experimenten von Geissler, Braun und Röntgen resultierten auch die ersten praktischen Anwendungen: Leuchtstoffröhren, Kathodenstrahlröhren und Röntgenschirme.

Technische Anwendungen

Die ersten Leuchtschirme enthielten zunächst nur jeweils einen einzigen anorganischen Leuchtstoff. Das emittierte Licht war folglich nicht weiß, sondern farbig. Um 1900 fand das bläulich leuchtende Mineral Scheelit CaWO_4 , sowohl in Röntgenschirmen als auch in der Braun'schen Kathodenstrahlröhre sowie in Edisons erster Fluoreszenzlampe Verwendung.

Durch die Entwicklung verbesserter Gasentladungen mit diversen Ne/Ar/Hg-Mischungen konnten in Kombination mit geeigneten anorganischen Leuchtstoffen und gefärbten Gläsern farbige Leuchtstoffröhren entwickelt werden. Diese Lampen wurden für Werbezwecke auf der Weltausstellung 1937 in Paris der Öffentlichkeit vorgestellt. Ein Jahr später gelang es dann, durch eine Kombination mehrerer Leuchtstoffe im Leuchtschirm weiße Leuchtstoffröhren für die Allgemeinbeleuchtung zu realisieren. Trotz der Vorteile von Leuchtschirmen mit mehreren Leuchtstoffen sind Halophosphatlampen, die lediglich das weiß emittierende $\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_2(\text{Cl},\text{F})\text{:Sb}^{3+},\text{Mn}^{2+}$ enthalten, aufgrund der geringen Kosten noch immer im Umlauf. Auch wenn die Quantenausbeute dieses breitbandig emittierenden Halophosphats mit über 90% sehr gut ist, so ist die Lichtausbeute, welche die spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges berücksichtigt, nicht sehr hoch. Insbesondere die Emission roter Strahlung jenseits von 620 nm reduziert die Lichtausbeute dieser Fluoreszenzlampen, da die Empfindlichkeit des menschlichen Auges dort stark abfällt.

Lumineszenzprozesse beruhen auf diskreten Energiezuständen in einem Festkörper und lassen sich nach Art der Anregung klassifizieren: So spricht man u.a. von Bio-, Chemo-, Elektro-, Kathodo-, Foto-, Radio-, Sono-, Thermo- oder auch von Tribolumineszenz, wobei in Abhängigkeit von der Lebensdauer τ des Lumineszenzprozesses zwischen Fluoreszenz ($\tau < 10$ ms) und Phosphoreszenz ($\tau > 0.1$ s) unterschieden wird. In der praktischen Anwendung werden Leuchtstoffe meist durch Elektronen, elektromagnetische Felder, UV-Strahlung oder blaues Licht angeregt, sodass Elektro-, Kathodo- sowie Fotolumineszenz von besonders hoher Bedeutung für die Lichterzeugung sind.

Historische Aspekte

Leuchtende anorganische Substanzen wurden erstmalig im 10. Jahrhundert in China und Japan und dann im Mittelalter in Europa erwähnt. Die ersten Mineralien, bei denen Lumineszenz beobachtet wurde, waren Zn_2SiO_4 (Willemite), CaWO_4 (Scheelit) und CaCO_3 (Calcit), welche durch Verunreinigungen wie z.B. Mn^{2+} zu leuchtenden Materialien werden. Um das Jahr 1600 herum zog der "Stein von Bologna" das Interesse von Galileo Galilei auf sich. Das zu Grunde liegende Mineral BaSO_4 (Barit) emittiert gelbes bis orangefarbenes Licht mit einer langen Abklingzeit, nachdem es dem Sonnenlicht ausgesetzt wurde. Ohne den physikalischen Mechanismus zu kennen, schloss Galilei aus, dass es sich bei diesem Phänomen um etwas Mystisches handelt. Durch die thermische Behandlung von Barit mit Kohle gelang es dann Athanasius Kircher 1671 das Lumineszenzphänomen deutlich zu verstärken, wobei durch die Bildung von BaS deutlich wurde, dass nicht das Mineral selbst, sondern eine Verunreinigung in dem Mineral Ursache für die Lichtemission sein muss.

Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts wurden lumineszierende Materialien lediglich für dekorative Zwecke verwendet. Dann wurden erstmals anorganische Leuchtstoffe in Form von Leuchtschirmen eingesetzt, um UV-Strahlung emittierende Gasentladungen, Elektro-

Nach der Entwicklung der ersten Lanthanoid-Leuchtstoffe in den 60er Jahren schlugen 1971 M. Koedam und J.J. Opstelten vor, diese Materialien in Fluoreszenzlampen zu verwenden. Die Verwendung von Lanthanoiden als Aktivatoren in anorganischen Leuchtstoffen war ein Durchbruch, denn auf Basis der schmalen Emissionslinien der 4f-4f Übergänge lassen sich Leuchtstoffe darstellen, die neben einer hohen Quantenausbeute auch eine hohe Lichtausbeute und Stabilität zeigen. Allerdings lässt sich eine Lichtquelle mit einer ausreichend hohen Farbwiedergabe nur dann realisieren, wenn man einen rot, einen grün sowie einen blau emittierenden Leuchtstoff kombiniert, womit RGB-Leuchtstoffmischungen die Basis der Dreibandlampen sind.

Ähnliche Überlegungen bzgl. Lichtausbeute und Farbe gelten auch für Farbbildschirme, sodass Kathodenstrahlröhren, Plasma- und LCD-Bildschirme an dem Konzept der RGB-Farbmischung mit Hilfe von Leuchtstoffen und/oder Farbfiltern bis heute festhalten.

Leuchtstoffe für anorganische LEDs

Mit der Entwicklung der LEDs auf Basis eines Chips mit (In,Ga)N als Halbleitermaterial legte der Japaner Shuji Nakamura 1993 das Fundament für einen grundlegenden Technologiewechsel in der Allgemein-, Signal- und Hintergrundbeleuchtung (LCD-Bildschirme) an.

Wurden bis dahin entweder ineffiziente (Halogen-)Glühlampen ggf. auch mit Farbfilter sowie Hochdruck- oder Niederdruckentladungslampen verwendet, bot sich durch Violett- bis Blaulicht emittierende LEDs die Möglichkeit, mit Hilfe von anorganischen Leuchtstoffen weiß emittierende Leuchtdioden für die Allgemeinbeleuchtung zu realisieren. Damit war ein weiterer wesentlicher Schritt für den Übergang in das im Jahr 2000 von Andrew Rickman, damals CEO von Bookham Technology, als „Jahrhundert des Photons“ ausgerufenen 21. Jahrhundert vollzogen. Im Jahr 2014 wurde Shuji Nakamura für seine Arbeiten gemeinsam mit Isamu Akasaki und Hiroshi Amano mit dem Physik-Nobelpreis ausgezeichnet.

Für weiße LED-Lichtquellen mit einem blau oder violett emittierenden (In,Ga)N Halbleiter als Primärquelle werden gegenwärtig einerseits gelb- bis grün-emittierende Granate ($\text{Y,Gd}_3\text{Al}_2\text{O}_{12}\text{:Ce}$ oder ortho-Silikate ($\text{Ba,Sr}_2\text{SiO}_4\text{:Eu}$ und andererseits rot-emittierende Nitride, wie ($\text{Ca,Sr})\text{AlSiN}_5\text{:Eu,O}$ oder ($\text{Ca,Sr})\text{Si}_2\text{N}_8\text{:Eu}$, sowie Mn^{2+} -aktivierte Fluoride, z.B. $\text{K}_2\text{SiF}_6\text{:Mn}$ im Leuchtschirm eingesetzt.

Vor dem Hintergrund der steigenden Effizienz und Leistungsdichte der auf (In,Ga)N basierenden LEDs rücken seit einiger Zeit zunehmend neue Anwendungen in den Fokus der Entwicklung. Dazu gehören u.a. die Anwendung in der Fahrzeug-, Flugzeug- oder Flugfeldbeleuchtung. Allerdings leiden selbst vermeintlich stabile anorganische Leuchtstoffe, wie die Granate oder Nitride, unter der stetig steigenden Chiptemperatur und Leistungsdichte. Daher rückt die Reduktion sowohl der thermischen Löschung, der Farbpunktverschiebung als auch der Sättigung bei hoher Anregungsdichte zunehmend in den Fokus der weiteren Optimierung anorganischer LED-Leuchtstoffe.

Prof. Thomas Jüstel, Professor für Anorganische Chemie und Materialwissenschaften, Münster University of Applied Sciences, Steinfurt

tj@fh-muenster.de
www.fh-muenster.de/juestel

Anorganische Leuchtstoffe & LEDs

Physikochemische Grundlagen und Anwendungen

24. und 25. April 2017,
Frankfurt am Main
GDCh-Kurs: 803/17
Leitung: Prof. Thomas Jüstel

Weitere Informationen und Anmeldung über:
Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), Fortbildung
Tel.: +49 69 7917 291
oder +49 69 7917 364
fb@gdch.de
www.gdch.de/fortbildung

Gedruckte Elektronik: Technologie der Zukunft, heute im Alltag

Dünn, leicht, flexibel und robust: Organische und gedruckte Elektronik steht für eine revolutionäre neue Art von Elektronik. Sie ermöglicht die Herstellung einer Vielzahl von elektronischen Komponenten in kostengünstigen Prozessen und somit massenproduktfähig zugleich. Sie eröffnet neue Einsatzfelder durch die Integration von Elektronik in alle Gegenstände des täglichen Lebens. Durch ihre Flexibilität macht sie etliche Anwendungen überhaupt erst möglich, in denen Silizium-Elektro-

nik aufgrund ihrer starren Beschaffenheit wenige Chancen hat.

Gedruckte Elektronik gilt als Schlüsseltechnologie für das Internet der Dinge, das Auto der Zukunft mit flexiblen Displays und Sensoren sowie die nächsten Generationen von Wearables für Gesundheitswesen und Sport. Dabei sind Smart Labels, Smart Watches, intelligente Kleidungsstücke und Armaturenbretter nur einige wenige Beispiele von Endprodukten, in denen gedruckte Elektronik eingesetzt wird.

Insgesamt zeigen viele Anwendungsmöglichkeiten deutlich auf, dass sich die organische und gedruckte Elektronik als wichtige Wachstumsindustrie etabliert hat.

Um die Position auf dem Markt der Unterhaltungselektronik weiter auszubauen, präsentierte die VDMA-Arbeitsgemeinschaft OE-A das Thema gedruckte Elektronik Anfang Januar auf der Elektronikmesse CES 2017 in Las Vegas, Nevada, USA

„Gedruckte Elektronik wird heute schon im großen Stil eingesetzt,

aber es ist erst die Spitze des Eisbergs“, sagte Stan Farnsworth, Chief Marketing Officer NovaCentrix und OE-A Vice Chair North America. Die CES ist die ideale Plattform, um die Hersteller von Unterhaltungselektronik über die Möglichkeiten der organischen und gedruckten Elektronik auf den neuesten Stand zu bringen.

„Hier bringen wir Anwender und Anbieter zusammen und fördern so die Kooperation“, sagte Farnsworth. (mr)

oe-a



Messe München
Connecting Global Competence

Die ganze Welt der gedruckten Elektronik

Seien auch Sie bei diesem Branchenereignis dabei und profitieren Sie von

- **Wegweisenden Plenary Sessions** – mit Fokus auf Trends und aktuellen Entwicklungen.
- **Business, Technical, Scientific Conferences** – Präsentationen für alle Interessensgebiete.
- **Branchenorientierung** – für beste Marktchancen.

Hier wird gedruckte Elektronik lebendig.



Buchen Sie jetzt Ihr Ticket!
lopec.com

©: AUDI AG (oben), Holst Centre (unten links), Bosch Rexroth AG (unten rechts)

Fachmesse: 29.–30. März 2017
Kongress: 28.–30. März 2017

Messe München

LOPEC
Internationale Fachmesse und Kongress für gedruckte Elektronik