Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 107 (2016)
Heft: 8

Artikel: Übers Licht hinaus
Autor: Mahlkow, Adrian
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857182

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Übers Licht hinaus

Anwendungen von LEDs ausserhalb des sichtbaren Spektrums

Mit energieeffizienten und lichtstarken LEDs wurde die Innen- und Aussenbeleuchtung revolutioniert. Aber nicht nur im sichtbaren Bereich können emittierende Dioden wertvolle Dienste leisten: Im Infrarotbereich werden sie beispielsweise in Gasanalyse-Sensoren oder als IR-Scheinwerfer für Nachtsichtkameras eingesetzt. Auch im Ultraviolettbereich gibt es zahlreiche interessante Anwendungen. Die emittierenden Dioden eignen sich für das schnelle Aushärten von Lacken in Druckereien, für die Detektion von Anthrax-Sporen oder die Entkeimung von Wasser.

Adrian Mahlkow

Um die Anwendungsvielfalt von LEDs (Licht emittierenden Dioden) über den sichtbaren Spektralbereich hinaus zu beschreiben, kann man ganz am Anfang beginnen: beim Urknall. Zusammen mit Raum und Zeit entstand auch das elektromagnetische Spektrum. Es erstreckt sich über unzählige Grössenordnungen von Wellenlängen im Bereich einiger Ym (Yotta Meter, 10^{24} m), assoziiert mit den Eigenschwingungen des Universums, bis hin zu den höchsten Energien von einigen EeV für Photonen der kosmischen Strahlung mit Wellenlängen von einem Tausendstel ym (Yokto Meter, 10^{-24} m), die Physiker mit Grossexperimenten wie Icecube oder H.E.S.S. zu erhaschen versuchen. Dankenswerterweise sind Photonen mit dem Impuls eines 200 km/h schnellen Tennisballs sehr selten.

Im Vergleich zu diesen über 50 Grössenordnungen sind die Bereiche, die sich mit LED («Licht emittierenden Dioden»), eigentlich SED (für «Strahlung emittierende Dioden») erzeugen lassen, fast vernachlässigbar, nämlich etwas über eine Grössenordnung: Heutzutage können Strahlungen von rund 5 µm bis 200 nm optoelektronisch erzeugt werden. Die dafür notwendigen Betriebsspannungen steigern sich mit steigender Energie der emittierten Photonen. Bei Wellenlängen von einigen Mikrometern kommen Spannungen von deutlich unter 1 V vor, bis hin zu derzeit 7–8 V Flussspannung für UVEDs, die bei 265 nm emittieren. Die physikalisch notwendige Mindestspannung hängt direkt mit der Wellenlänge zusammen.

Kompakte Sensoren

Im Bereich der grössten erreichbaren Wellenlängen sind die Anwendungen vor allem bei der Sensorik zu finden. Bei Wellenlängen von über 3 µm zeigen viele organische Substanzen in wässriger Lösung charakteristische Absorptionsbanden. Sehr kompakte Aufbauten mit einer IRED bei z.B. 3,5 µm und einem entsprechenden PbSe-Empfänger bilden eine Art Lichtschranke, mit der sich z.B. die Aromenverschleppung in Form von Limonen bei der Getränkeindustrie messen lassen **(Bild 1)**. Dabei sollte man bei all diesen Anwendungen die Anregung des sogenannten Wasserabsorptionsbandes um 3 µm und 6 µm meiden. Dazu kommen auch Transmissionseinbrüche bei verschiedenen Gläsern und den meisten Kunststoffen. Bei der Entwicklung solcher Aufbauten und Messstrecken ist dies zu beachten.

Bei etwas kürzeren Wellenlängen bis 1,5 µm zeigen viele molekulare Gase charakteristische Absorptionsbanden **(Tabelle)**. Mit einer IRED (Infrarot emittierende Diode) steht eine einfach zu modulierende und auch in der Strahlungsleistung sehr stabile Strahlungsquelle zur Verfügung. In einem klassischen Sensoraufbau mit einer Referenzzelle, dem zu detektierenden Gas in bekannter Konzentration und einem optischen Messpfad können mit hoher Genauigkeit und unterstützt durch elektrische Verfahren (wie Lock-In) geringe Konzentrationen absolut bestimmt werden. Im Vergleich zu Laser-anordnungen kann mit IREDs keine so hohe Spezifizität erreicht werden, dafür ist der Sensor um mehrere Grössenordnungen einfacher und vor allem preiswerter. Die IRED ist (wie alle SED) elektrisch mit hoher Frequenz modulierbar und es fallen keinerlei bewegte Teile an. Dies macht sehr kompakte Aufbauten mit wenigen Kubikmillimetern möglich. Im Bereich zwischen 3 und

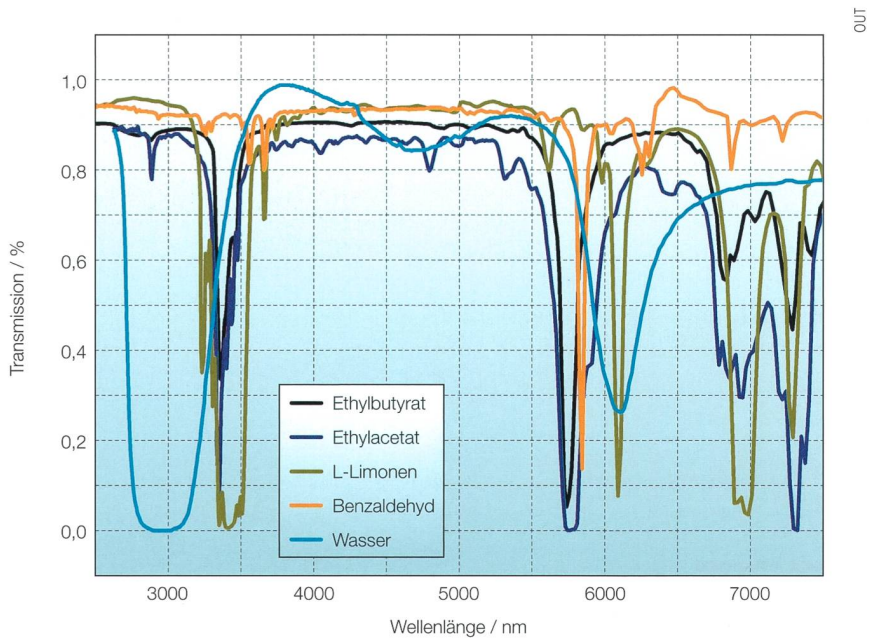

Bild 1 Absorptionsbanden von Aromen, die in der Getränkeindustrie eingesetzt werden.

CH_4 1,65 µm 2,30 µm 3,2–3,45 µm	CH_5 2,00 µm 2,65 µm 4,2–4,3 µm	CH_6 2,6–2,85 µm 1,86–1,94 µm	CH_7 4,0–4,54 µm	CH_8 2,99–3,09 µm	CH_9 2,6–2,9 µm	CH_{10} 3,33–3,7 µm	CH_{11} 2,27 µm 2,94 µm
C_2H_4 3,1–3,4 µm	HBr 3,7–4,0 µm	OH 2,38–2,63 µm	NO+ 4,08–4,44 µm	C_2H_6 3,3 µm	HI 2,27–2,3 µm	H_2CO 3,38–3,7 µm	HNO_3 5,74–5,98 µm
CH_3Cl 3,22–3,38 µm	H_2S 3,7–4,4 µm 2,5–2,8 µm	CO 2,24 µm 4,4–4,8 µm	NO_2 3,4 µm	OCS 3,45 4,87 µm	HCN 2,94–3,1 µm	HO 2,73–3,1 µm	SO_2 4,0 µm
C_6H_6 2,44–2,47 µm 3,17–3,33 µm	$CHBr_3$ 2,39 µm 3,29 µm	$C_2H_4Cl_2$ 3,23–3,51 µm	$C_2H_2Cl_2$ 2,50–2,86 µm	C_2HCl_3 3,22–3,25 µm 4,20–4,35 µm	H_2O_2 3,70–3,85 µm 4,17–4,35 µm	HF 2,33–2,78 µm 4,17–4,43 µm	C_3H_8 3,28–3,57 µm

Tabelle Charakteristische Absorptionsbanden von molekularen Gasen.

1,5 µm sind sowohl Glas als auch die meisten Kunststoffe noch ausreichend transparent, was die Entwicklung vereinfacht, da man auf Erfahrungen aus dem sichtbaren Spektralbereich zurückgreifen kann.

Im Bereich zwischen 1,5 µm und 0,85 µm finden sich vor allem sicherheitsrelevante und medizinische Anwendungen. Bei Wellenlängen von 950 nm und 850 nm kann für Kameras, aber nicht für das menschliche Auge sichtbar beleuchtet werden. Wenn man sicherheitssensible Gebäude bei Nacht betrachtet und keine weitere Beleuchtung findet, so kann man ein leicht brombeerrotes Glimmen an den Kameras erkennen. Hier emittieren Scheinwerfer mit IRED zumeist bei 860 nm, seltener auch bei 940 nm und erhellen die Umgebung. Auch bei Anwendungen des sogenannten «Night Vision» im Automobilbereich oder bei der Erfassung von Augenbewegungen für die Rechner- oder Konsolensteuerung kommen IRED dieser Wellenlängen zum Einsatz.

Im medizinischen Bereich wird beispielsweise die Fluoreszenz von Markersubstanzen im Bereich zwischen 1000 nm und 700 nm genutzt, um Rheumadiagnostik zu betreiben. Hier nutzt man Arrays von Hochleistungs-LED, um entsprechende Bestrahlungsstärken zu erreichen und auch sehr bequem mit der Auslesung der Kameras zu synchronisieren **(Bild 2)**.

Mivenion

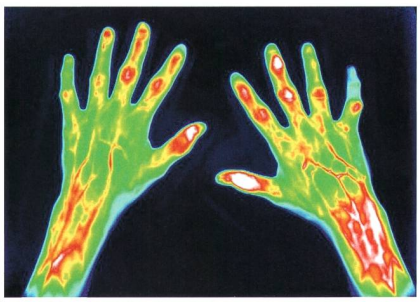

Bild 2 Rheumadiagnostik durch Detektion von Markersubstanzen im Bereich zwischen 700 und 800 nm.

Im sichtbaren Spektralbereich zwischen rund 800 nm bis 400 nm lassen sich alle Wellenlängen mit LEDs erzeugen. Es ist z.B. Stand der Technik, LED-Flasher zu bauen, die das vollständige Sonnenspektrum auch in der Intensität mit über 1000 W/m² im Bereich 1100 nm bis 280 nm erzeugen, um Solarzellen testen zu können. Es existieren etwa für die Algenforschung grosse Hallen, in denen LEDs mit über 1 MW Anschlussleistung installiert sind und einstellbare Spektren heller als die Sonne erzeugen. Die LED ist damit auch eine der hellsten künstlichen Strahlungsquellen geworden.

Ultraviolett-Anwendungen

Wenn man den sichtbaren Spektralbereich zu noch kürzeren Wellenlängen verlässt, folgt der UV-Bereich. Hier lässt sich mit UVEDs (Ultraviolett emittierende Dioden) derzeit mit Wirkungsgraden von mindestens 1 % Strahlung zwischen 380 nm bis 280 nm erzeugen. Der Bereich UV-C mit bis zu 200 nm ist Gegenstand der Forschung, bei spezifischen Wellenlängen, z.B. 365 nm, sind einige Bauelemente kommerziell verfügbar.

Der nahe Bereich des UV-A (380 nm bis 315 nm) wird vor allem in industriellen Produktionsprozessen genutzt, beispielsweise für die Aushärtung, Lacktrocknung oder Oberflächenfunktionalisierung mit Photokatalyse. In der Druckindustrie sind 6 m breite Aushärteeinheiten mit einigen kW Anschlussleistung Stand der Technik. Der wichtigste Vorteil gegenüber herkömmlichen Quellen liegt in der extrem schnellen Ein- und Ausschaltzeit. Es ist mittlerweile möglich, hochwertige Fotodrucke auch auf Seide zu trocknen, da man die Strahlungsquelle nur für die wenigen Millisekunden einschalten kann, in denen das Foto unter der Quelle entlangfliegt. Kunststoffoberflächen zu funktionalisieren, um dann im Anschluss Schnelltests (wie den berühmten Schwangerschaftstest) aufzubauen, wird ebenfalls vornehmlich mit UVED durchgeführt. Hier ist die Bestrahlungsdosis viel besser regelbar als bei jeder anderen Quelle. Auch Bestrahlungsstärken von über 80 W/cm² (also 800 kW/m²) sind möglich und mit anderen Strahlungsquellen kaum erreichbar **(Bild 3)**.

OUT

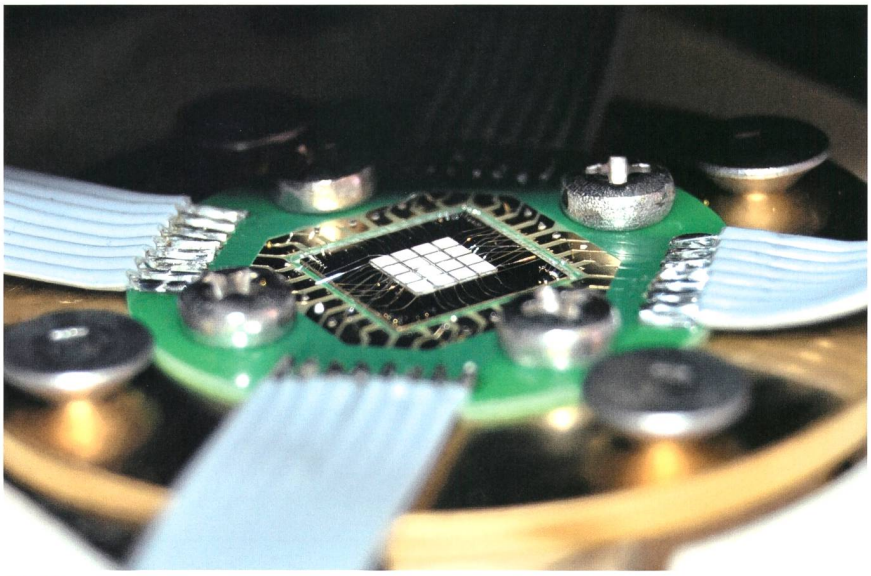

Bild 3 Mit LED können Bestrahlungsstärken von über 80 W/cm² erreicht werden. Dies ist mit anderen Strahlungsquellen kaum erreichbar.

OUT

Bild 4 Lebensmittelüberwachung mit Fluoreszenzanalyse bei 280 nm. Viele organische Substanzen wie beispielsweise Proteine zeigen eine deutliche Fluoreszenz.

Zu noch kürzeren Wellenlängen folgt der UV-B-Bereich (315 nm bis 280 nm). Hier ist die bekannteste und berüchtigtste Anwendung wohl die Detektion von Anthrax-Sporen. Zudem sind mittlerweile UVEDs verfügbar, die einige 10 mW emittieren und somit auch eine direkte Wasserentkeimung (sogenannte Point-of-use-Anwendungen) ermöglichen. An der Spitze eines Wasserhahns sitzt eine kompakte Quelle (UVED, die teilweise sogar über den Wasserfluss und eine Miniturbine betrieben wird), die das Wasser vor dem Austritt aus dem Hahn desinfiziert. Andere, weit verbreitete Anwendungen finden sich in der Fluoreszenzanalyse, da bei 280 nm viele organische Substanzen, vor allem Proteine, eine deutliche Fluoreszenz zeigen. Hier sind Sensoren in der Lebensmittelüberwachung und -Produktion im Einsatz. Es sind mit entsprechenden Bestrahlungsstärken Sensoren möglich, die eine Empfindlichkeit von unter 10 Kolonie-bildende Einheiten pro 100 ml durch eine rein optische Messung ermöglichen (Bild 4). Die Erweiterung des nutzbaren Spektralbereichs unterhalb von 280 nm wird sicher viele weitere Sensorik- und Diagnostik-Anwendungen initiieren.

Bei einigen Wellenlängen liegen die Wirkungsgrade bei 70 % für kommerziell verfügbare Bauelemente. Die LED (oder eigentlich die SED) ist damit eine in den Anwendungsmöglichkeiten fast unbegrenzte Quelle. Im sichtbaren Spektralbereich sind nur noch die Metalldampf-Lampen eine Konkurrenz, ausserhalb hängen die Mitbewerber noch von einigen Randbedingungen ab.

Wenn sich die Wirkungsgrade weiter wie bisher entwickeln, dann wird in vielleicht 15 Jahren die LED im gesamten Bereich zwischen 5 µm und 250 nm die effektivste Strahlungsquelle überhaupt sein. Im sichtbaren Spektralbereich ist sie dies bereits heute.

Autor

Adrian Mahlkow, Dr. Ing., ist Vorstandsvorsitzender des Optotransmitter-Umweltschutz-Technologie e.V.
OUT, DE-12555 Berlin, mahlkow@out-ev.de

Dieser Artikel ist inspiriert durch einen Vortrag des Autors, gehalten am 6.6.16 auf dem OTTI-Seminar «Intelligentes Licht mit LED», Regensburg, Deutschland.

Electrosuisse / ITG-Kommentar

Eine weitere Revolution

In vielen Artikeln wurde schon oft über die LED-Revolution geschrieben. Der Fokus war meist auf das sichtbare «weisse» Licht gerichtet. Die Möglichkeit, individuelle Spektren mit LEDs zu erzeugen, hat auch bei der Lichtplanung einen wesentlich höheren Stellenwert erlangt. Seitdem wird viel über das Spektrum diskutiert. Dass es aber nicht nur Anwendungen zwischen 380 und 780 nm gibt, ging bislang allzu oft vergessen. Was für die LED gilt, gilt auch für die SED – Die Revolution hat gerade erst begonnen.

Prof. **Björn Schrader** ist Mitglied im Organisationskomitee des LED-Forums der ITG und Leiter der Themenplattform Licht@hslu.

Résumé

Au-delà de la lumière

Application des LED en dehors du spectre visible

Les LED à faible consommation d'énergie et forte intensité lumineuse ont révolutionné l'éclairage intérieur et extérieur. Toutefois, les diodes électroluminescentes ne sont pas uniquement utiles dans le domaine du visible : dans le domaine infrarouge, elles sont utilisées en tant que capteurs pour l'analyse de gaz, pour la détection du transfert d'arômes dans l'industrie des boissons ou en tant que projecteur IR pour les caméras de vision nocturne. De plus, il existe des applications, comme pour le diagnostic du rhumatisme, qui impliquent l'utilisation de la fluorescence de substances de marquage. Les applications dans le domaine ultraviolet sont tout aussi variées : les diodes électroluminescentes permettent le durcissement rapide de laques dans l'imprimerie, la détection de spores d'anthrax ou la désinfection de l'eau. Si les degrés d'efficacité continuent d'évoluer, la LED pourrait devenir, peut-être dans une quinzaine d'années, la source de rayonnement la plus efficace sur l'ensemble du spectre situé entre 5 µm et 250 nm. Elle l'est déjà aujourd'hui dans le spectre visible. No

Anzeige

Kennen Sie www.bulletin-online.ch schon?

Die Beiträge dieser Ausgabe finden Sie auch auf Bulletin-Online. Dort können Sie die Artikel bewerten und Ihren Kommentar abgeben. Damit aus einer Einweg-Kommunikation ein spannender Dialog wird.

Das elektronische Bulletin lädt Sie ein zum Schnuppern, zum «Durchwühlen» des Archivs und zum Lesen der aktuellsten Kurzbeiträge. Wir freuen uns auf Ihren Besuch!

www.bulletin-online.ch

Bulletin
Fachzeitschrift von Electrosuisse und VSE
Revue spécialisée d'Electrosuisse et de l'AES