

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse

Herausgeber: Electrosuisse

Band: 106 (2015)

Heft: 1

Artikel: Les OLED ou la lumière dans tous ses états

Autor: Nisato, Giovanni / Fernández, Oscar / Ferrini, Rolando

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-856586>

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: 17.02.2026

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

Les OLED ou la lumière dans tous ses états

Un atout de taille dans la course à l'éclairage durable

Les diodes organiques électroluminescentes sont passées en deux décennies de la paillasse de laboratoire à l'écran d'affichage pour portables et téléviseurs. Aujourd'hui, elles apparaissent comme étant la source d'éclairage la moins énergivore. Cependant, il reste encore des défis à relever, notamment en ce qui concerne la réduction des coûts et la réalisation de systèmes intégrés et de gestion de la lumière, défis que le CSEM relève.

La création de différentes couleurs peut se faire par différents moyens :

- en créant des semi-conducteurs à très large bande ;
- en mélangeant (littéralement) différents matériaux ;
- en disposant des matériaux émettant des couleurs complémentaires côté à côté.

Mais les détails de fonctionnement des semi-conducteurs organiques vont bien au-delà de cet article¹⁾.

Giovanni Nisato, Oscar Fernández, Rolando Ferrini, Sylvain Nicolay

La génération de lumière répond à une nécessité primaire et une quantité considérable de l'énergie produite est consommée chaque année pour l'éclairage. Les sources lumineuses peuvent se résumer en trois différentes catégories : celles qui exploitent l'incandescence par combustion (bougies), la décharge de gaz (lampes fluorescentes et à induction) ou la radiation émise par des corps solides (lampes à filament, diodes électroluminescentes).

L'éclairage à l'état solide, ou « solid state lighting » (SSL) en anglais, est en train de modifier le paysage du marché de l'éclairage et de l'affichage. L'exemple actuellement le plus répandu est la technologie LED inorganique, sujet récemment primé par un prix Nobel (S. Nakamura, en 2014). Les avantages de l'éclairage à l'état solide consistent en principe en une efficacité énergétique élevée, l'absence de métaux lourds, une longue durabilité, la possibilité d'intégration avec des systèmes de contrôle sophistiqué, ainsi que la flexibilité de design offerte par des formats différents.

Les diodes organiques électroluminescentes (OLED) constituent une évolution ultérieure de ce domaine et, après leur introduction dans les écrans d'affichage notamment pour les applications de téléphonie mobile, elles commencent à apparaître dans les applications avec source étendue, par exemple sous forme de dalles dans l'éclairage. Une brève vue d'ensemble des atouts et défis des technologies OLED, en particulier pour l'éclairage, est présentée dans cet article, ainsi

que quelques exemples de projets de recherche et de développements en cours au CSEM dans ce domaine.

Principe

Le principe de fonctionnement des OLED est relativement simple. Il est basé sur l'électroluminescence. La différence de taille par rapport aux diodes classiques (LED) réside dans les matériaux semi-conducteurs utilisés : ces derniers sont organiques et leur choix porte sur des molécules disposant d'un grand nombre de liaisons conjuguées. En jouant sur la composition chimique, notamment sur leur degré de conjugaison, la délocalisation de charges et le niveau de dopage, il est possible d'obtenir une variété colossale de bandes d'énergie permettant l'émission de photons dans tout le spectre visible.

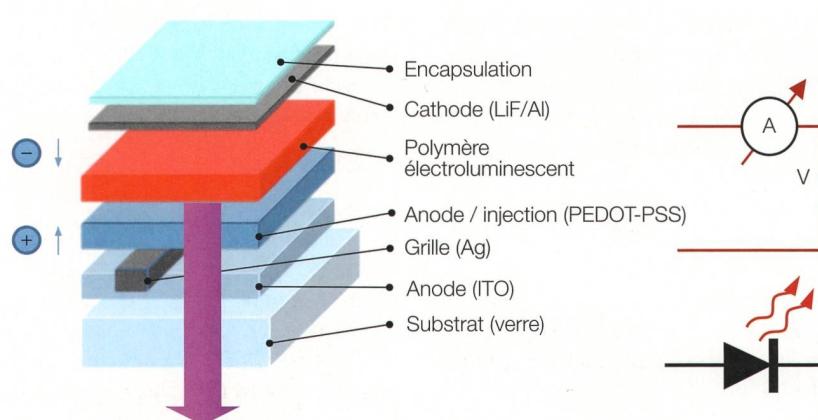


Figure 1 Coupe simplifiée d'une OLED.

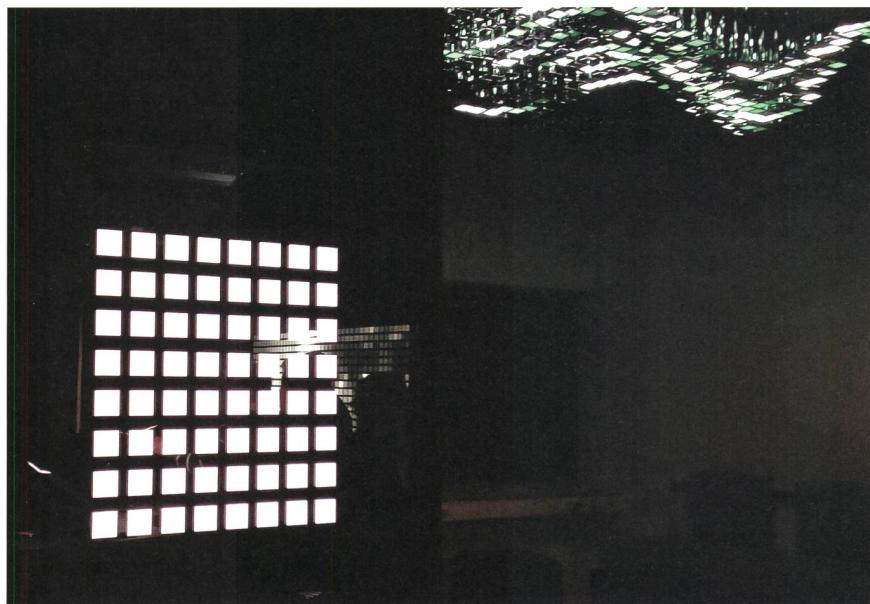


Figure 2 Exemples de luminaires OLED commercialisés par Philips.

également en développement depuis des années. L'électrode transparente et conductrice (anode) est, quant à elle, composée typiquement d'oxyde d'indium-étain (ITO). Les diodes nécessitant un courant électrique relativement élevé pour fonctionner convenablement, il est parfois nécessaire d'ajouter une grille de conduction pour réduire les pertes ohmiques.

La cellule OLED basique est constituée d'un empilement de couches organiques fines prises en sandwich entre l'anode transparente et la cathode métallique. La couche d'injection est assurée par des semi-conducteurs organiques (PEDOT:PSS, un mélange de deux polymères transparent, conducteur et très ductile) réduisant le potentiel d'injection de trous dans le semi-conducteur organique (ici un polymère électroluminescent). Une couche d'injection d'électrons à faible fonction de travail (fluorure de lithium, baryum, calcium) est nécessaire pour obtenir des dispositifs efficents. Ces matériaux étant hautement réactifs et oxydables, il est important d'encapsuler les OLED de façon hermétique.

La cathode est quant à elle composée de bons conducteurs (aluminium). En jouant sur l'épaisseur des cathodes, il est en outre possible de réaliser des dispositifs semi-transparents.

Production

Il existe principalement deux méthodes utilisées pour la fabrication de produits OLED :

- la sublimation d'oligomères ;
- et la déposition de solutions de matériaux polymères.

Caractéristiques

À l'heure actuelle, à titre d'exemple, des modules OLED sur verre d'une superficie d'environ 100 cm² sont disponibles avec des efficacités de l'ordre de 60 lm/W et une durée de vie de plus de 40 000 h T70 (temps de fonctionnement jusqu'à 70% de la luminance initiale) pour un flux lumineux de 850 lm avec 85% d'homogénéité. L'intensité lumineuse produite par des modules OLED commerciaux est aussi remarquable et largement suffisante pour répondre aux besoins d'éclairage extérieur. Par exemple, les Lumiblades (Philips) d'une surface de l'ordre de 100 cm² (**figure 2**) peuvent émettre environ 300 lm, ce qui correspondrait à plus de 10 000 lm pour un plafonnier ou luminaire mural d'environ 70 x 70 cm².

Les coûts, en baisse constante, atteignent encore plusieurs milliers de francs suisses par mètre carré. Ils sont certes trop élevés pour un impact de masse, mais déjà suffisamment bas pour trouver des applications de niche.

En tenant compte des développements actuels, on s'attend, dans les années à venir, à disposer de systèmes dont l'épaisseur serait inférieure à 1 mm, voire qui seraient complètement flexibles, et qui auraient une durée de vie en fonctionnement supérieure à 25 000 h, une surface de l'ordre du mètre carré, le tout associé à une efficacité d'environ 80 lm/W.

Avantages

Les promesses, à long terme, des technologies OLED s'appuient sur des combinaisons de caractéristiques uniques pour réaliser des sources lumineuses de grande surface, d'une épaisseur très réduite, d'une haute efficacité et capables d'émettre une lumière diffuse aux couleurs variables et d'une grande richesse spectrale. Les supports seront de plus en plus flexibles et pourront se conformer à des designs révolutionnaires.

Les oligomères, tout comme les polymères semi-conducteurs, permettent d'émettre dans une gamme de longueurs d'onde couvrant tout le spectre visible, ce qui permet d'avoir un indice de rendu des couleurs bien supérieur à celui des sources fluorescentes compactes, et ce, avec une bien meilleure efficacité que les sources incandescentes. On retrouve ainsi la même « chaleur » dans les couleurs.

L'émission des OLED est homogène dans tout l'espace (émetteurs lamberiens), que ce soit en termes d'intensité ou d'un point de vue spectral. Ainsi, pour autant que des sources étendues soient

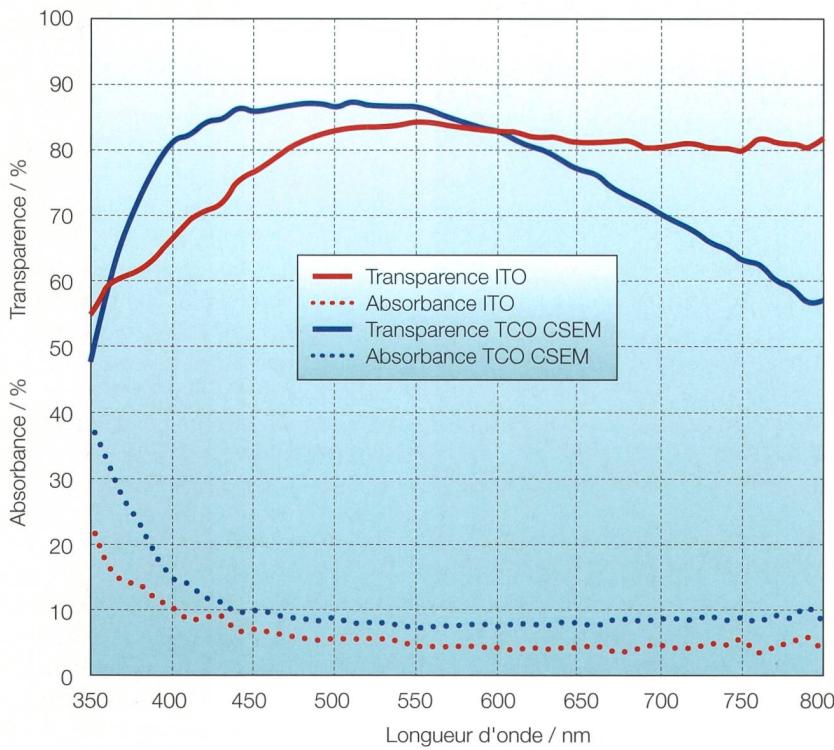


Figure 3 Propriétés optiques des conducteurs transparents réalisés par le CSEM, dont la résistance de surface est inférieure à $8 \Omega/\square$ pour une épaisseur inférieure à 90 nm.

souhaitées, il n'est pas nécessaire de disposer de systèmes optiques sophistiqués pour gérer la dispersion de la lumière, contrairement aux LED classiques. Ces dernières possèdent une très grande efficacité mais une surface émissive et un angle d'émission extrêmement réduits. L'alimentation électrique des OLED est relativement simple et la dissipation de chaleur aisée, alors que pour les LED classiques, il est nécessaire de gérer et de dissiper la forte chaleur ponctuelle émise par celles-ci, ainsi que par leur alimentation.

Marchés et perspectives

Aujourd'hui, les OLED sont déjà présentes dans les afficheurs portables à haute résolution (téléphones portables) et les écrans de télévision. Nombre de « smart watches » intègrent également des écrans OLED, dont certains sont flexibles.

Les OLED suscitent aussi beaucoup d'enthousiasme et apportent de nouvelles perspectives dans le domaine de l'éclairage. En effet, des dalles OLED sont disponibles pour du prototypage de produits depuis quelques années. En 2014, leur production et commercialisation ont débuté aussi bien en Asie (LG) qu'en Europe (Philips). Quant aux luminaires OLED, il est possible depuis peu d'en trouver sur le marché pour quelques centaines de francs suisses.

Par ailleurs, le secteur automobile s'intéresse aussi aux sources d'illumination monochrome et plusieurs constructeurs européens ont déjà présenté des concepts à l'instar du groupe Audi. Des applications ultérieures dans la signalétique sont aussi envisagées, dès lors que les technologies flexibles, ainsi que leur prix, auront atteint plus de maturité.

Défis à relever

Il y a encore bon nombre de défis à relever dans ce domaine. L'amélioration de l'efficacité quantique des matériaux

semi-conducteurs (en particulier ceux des émetteurs phosphorescents bleus), du transport de charge et du dopage sont toujours des sujets d'actualité. Les avancées significatives sont cependant de plus en plus difficiles à atteindre. L'amélioration de l'extraction de lumière de la cavité optique fait quant à elle l'objet d'études intensives : elle permettrait des gains considérables en termes d'efficacité, puisque moins de 30% des photons générés sortent effectivement du dispositif et sont donc exploitables.

Bien que la durée de vie des OLED se soit nettement allongée, ce qui a permis leur utilisation dans des applications commerciales (afficheurs) depuis des années, il reste toujours à parfaire nos connaissances dans la compréhension des défauts et autres mécanismes de dégradation à long terme, et ce, surtout pour les matériaux émettant dans le bleu. La stabilité des différentes couleurs est liée à des facteurs très divers :

- les structures chimiques des matériaux utilisés ;
- le procédé de synthèse et de purification ;
- la structure des dispositifs ;
- et, finalement, leur profil d'utilisation pouvant engendrer des phénomènes de vieillissement différentiel des couleurs.

L'encapsulation des OLED est primordiale puisqu'elle protège le dispositif sous-jacent de l'agression de l'humidité. Des solutions techniques existent pour les supports flexibles, cependant des solutions économiquement acceptables sont encore en développement. Les degrés d'herméticité requis sont d'ailleurs tels qu'il n'existe que très peu de méthodes d'évaluation des matériaux utilisés.

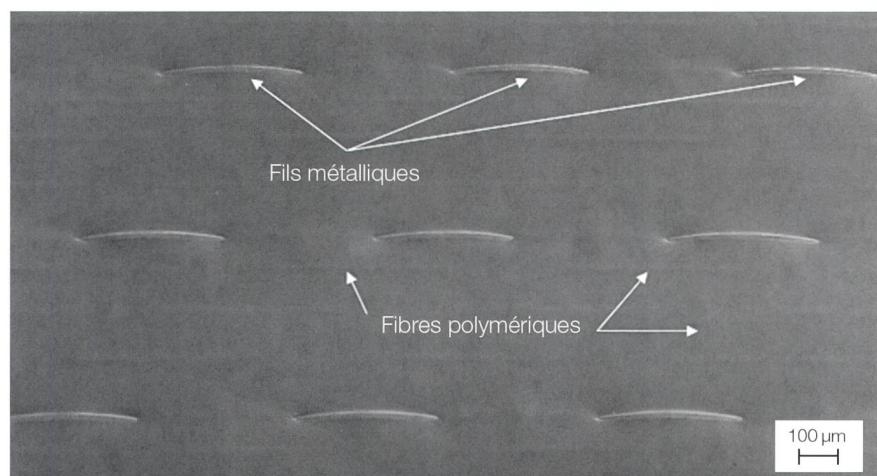


Figure 4 Image au microscope électronique d'un tissu incorporant des fils métalliques. Le diamètre de ces fils est de l'ordre de 20 µm.

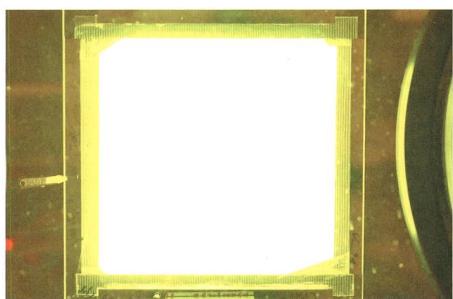


Figure 5 OLED réalisée sur un substrat flexible Sefar (10x10 cm², 3500 cd/m², 12 cd/A, 10 V).

Au niveau du dispositif électrique, la réduction des tensions de fonctionnement des diodes (qui sont largement dépendantes de la nature des matériaux), ainsi que l'électronique d'alimentation spécifique des OLED permettront aussi des gains d'efficacité ultérieurs.

Les dispositifs OLED pour l'éclairage ont d'ores et déjà atteint des performances acceptables pour des applications commerciales et sont déjà disponibles. Toutefois, les coûts de production actuels restent encore trop élevés pour avoir un impact significatif d'un point de vue commercial.

Les OLED au CSEM

Le CSEM dispose de laboratoires et d'équipements pour modéliser, fabriquer et tester tous les éléments d'une OLED réalisée par le biais de techniques de fabrication en solution. Ces infrastructures et l'expertise associée sont mises à la disposition de l'ensemble des acteurs du domaine, que ce soit les entreprises développant de nouveaux matériaux chimiques, les équipementiers (comme les fournisseurs de machines à impression), les fabricants de composants ou les intégrateurs d'OLED. Les contributions du CSEM se concentrent essentiellement sur le développement des procédés et dispositifs.

Recherche d'alternatives à l'ITO

L'élément critique d'un système OLED reste l'anode, l'électrode conductrice transparente, puisque ses coûts de fabrication sont très élevés. Typiquement, les successions de couches qui la composent reposent sur des oxydes d'indium-étain qui, bien que suffisamment transparents, n'ont qu'une conductivité limitée. De ce fait, pour réaliser des sources lumineuses OLED de grandes surfaces (supérieures à 5 x 5 cm²), il est nécessaire d'avoir recours à des grilles conductrices métalliques (invisibles à l'œil nu) afin d'accroître la conductivité sans pertes ohmiques et ainsi produire suffisamment de lumière de façon homogène sur toute la surface. De plus,

l'indium est un métal relativement rare et coûteux, comme le sont, par ailleurs, les procédés de déposition des oxydes. Des évolutions technologiques sont donc nécessaires pour que des produits comme des dalles ou des rouleaux OLED de plusieurs mètres carrés voient le jour.

Parmi les alternatives (aux matériaux classiques) à l'étude, on retrouve les nanotubes de carbone, les nanofils d'argent ou, plus récemment, le graphène. Jusqu'à ce jour, aucun résultat prometteur n'a permis d'aboutir au remplacement industriel des oxydes d'indium-étain. Le CSEM travaille également sur de nouvelles couches conductrices transparentes et développe avec ses partenaires industriels des approches radicalement différentes basées notamment sur des substrats tissés et flexibles.

Des conducteurs transparents sans indium

Une des activités de recherche du CSEM porte sur des conducteurs transparents sans indium. Des résultats prometteurs ont été obtenus par pulvérisation cathodique sur du verre ou sur du plastique. Les films ainsi produits ont une épaisseur inférieure à 100 nm pour une transmittance (ou transparence) supérieure à 85% dans le domaine du visible et une résistance de surface inférieure à 8 Ω/□. Ceci est à comparer aux valeurs typiques obtenues pour des

couches ITO comparables dont la résistance de surface est comprise entre 20 et 50 Ω/□ (figure 3).

Des substrats conducteurs tissés

Une autre piste proposée par l'entreprise suisse Sefar AG, avec laquelle collabore le CSEM depuis plusieurs années, repose sur l'utilisation de fibres conductrices tissées dans la fabrication des électrodes transparentes. Cette approche a l'avantage de permettre de produire des électrodes d'une excellente conductivité, transparentes (jusqu'à 90% dans le visible) pour des coûts de production compatibles avec les applications visées.

Les substrats tissés produits par Sefar sont constitués de fibres métallisées ou de fils métalliques incorporés lors du tissage (figure 4). Par la suite, les mailles sont recouvertes d'une couche isolante et transparente. La conduction électrique latérale entre les fibres métalliques est assurée par une couche additionnelle de polymère semi-conducteur (PEDOT:PSS). Des résistances de surface de l'ordre de 0,1 Ω/□ sont mesurées pour ce type d'électrode. Le dispositif OLED est par la suite complété par l'empilement d'une couche de polymère photoluminescent et d'une cathode (LiF/Al) déposée par évaporation thermique.

Les couches organiques jouent un rôle essentiel dans la performance et il faut veiller à ce que leur homogénéité soit bien contrôlée. Les couches de PEDOT:PSS et de polymère électroluminescent (épaisseurs finales de l'ordre de 100 nm) sont déposées avec des variations d'épaisseur inférieure à 2 nm. Des dispositifs de 10 x 10 cm², qui correspondent aux dimensions typiques des sources lumineuses OLED actuellement sur le marché, ont été réalisés au CSEM avec des techniques de déposition compatibles avec des méthodes de production/d'impression en rouleau, notamment pour la déposition de

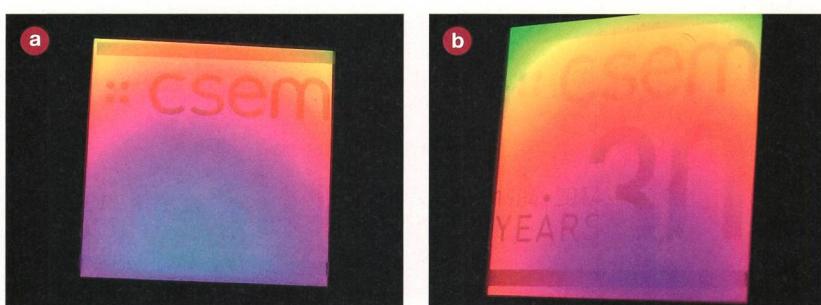


Figure 6 Exemple de film pour gérer la lumière d'une source OLED, selon un angle d'observation à 90° (a) et à 45° (b).

Figures: CSEM

couches minces de polymères par enduction (à partir d'une filière à fente de moins de 50 µm d'épaisseur).

En dépit de leur excellent potentiel, les premières réalisations d'OLED sur supports tissés (**figure 5**) n'ont pas été aisées. Les fils métalliques ayant une rugosité de surface importante, les anodes risquaient de ne pas être entièrement recouvertes par les couches organiques électroluminescentes (**figures 1 et 4**). Le risque encouru était de provoquer des courts-circuits avec la cathode obtenue par évaporation. Grâce au financement de la CTI (Commission pour la technologie et l'innovation), le CSEM et Sefar ont résolu ce problème, notamment en mettant au point des méthodes de planarisierung²⁾. Les performances électro-optiques ainsi obtenues sont similaires aux dispositifs réalisés sur des supports en verre/ITO.

Pour relever les défis à venir, les pistes s'orientent vers de nouvelles méthodes d'encapsulation pour les dispositifs flexibles et vers l'intégration de matériaux tissés comme alternative aux grilles métalliques et ITO, tout en restant compatible avec les moyens de fabrication actuels.

Gestion de la lumière

Compte tenu d'une différence importante d'indice de réfraction entre les matériaux organiques et les couches ITO sur verre, bon nombre de photons sont piégés à l'intérieur de la cavité optique ou guidés latéralement dans le substrat. Pour gagner en efficacité (de l'ordre de 50 %), il est possible d'appliquer des couches ou des structures d'extraction de lumière dans l'OLED et même à l'extérieur de l'enveloppe hermétique.

Amélioration de l'extraction des photons

Une des méthodes consisterait à créer des surfaces nanostructurées permettant, dans le cas le plus simple, d'extraire une partie des photons piégés par un guidage d'onde dans le substrat. Toutefois pour que des solutions technologiques soient industrialisables, il faut qu'elles soient compatibles avec une production à grande échelle et à des coûts aussi faibles que possible (du « nano par km² » en quelque sorte).

L'expertise reconnue du CSEM dans le domaine des micro- et nanostructurations de surface (tout comme l'existence de ses infrastructures de laboratoires) est un atout considérable pour servir au mieux les intérêts des industriels dans la réalisation de structures optiques à même

de gérer efficacement les sources OLED. À noter que les substrats plastiques sont aussi avantageux puisqu'ils présentent un indice de réfraction mieux adapté à l'extraction de photons. Par contre, n'étant pas étanches, il devient nécessaire d'appliquer des couches barrières.

Exemple d'application

L'aspect purement esthétique des OLED n'est pas à négliger. Dans certaines applications, comme la signalétique numérique, il est essentiel de guider la lumière dans l'espace et dans un domaine spectral bien défini. Les OLED étant des émetteurs lambertiens (homogènes dans toutes les directions), il s'agit donc d'émettre la lumière selon une direction principale et d'avoir recours à des revêtements spécifiques. La **figure 6** illustre bien cet effet de spectre de couleurs obtenu sur une OLED blanche dont les informations visibles varient selon l'angle d'observation.

Conclusion

L'optimisation des performances électriques et optiques des OLED a permis d'accélérer l'émergence de cette technologie pour les applications dans le domaine de l'éclairage ou des écrans d'affichage flexibles, et ce, notamment en Suisse.

Outre ses activités de recherche technologique, le CSEM est le point de contact du Swiss national laboratory for solid state lighting (Laboratoire national suisse pour l'éclairage semi-conducteur)

du réseau national Swissphotonics, la référence pour toute entreprise ou organisation de recherche en Suisse active dans le domaine précité.

Auteurs

D' **Giovanni Nisato** a obtenu son doctorat en physique en 1997 de l'Université Louis Pasteur (Strasbourg, France). Il a travaillé ensuite au NIST (National Institute of Standards and Technology à Gaithersburg, USA), puis chez Philips Research où il a, entre autres, coordonné un projet européen sur les OLED flexibles. Il a rejoint le CSEM en 2009. Il y est actuellement responsable des activités dans le domaine de l'électronique imprimable.

CSEM SA, 4132 Muttenz, giovanni.nisato@csem.ch

D' **Oscar Fernandez** a obtenu son doctorat en physique en 2004 (University of North Wales, Bangor, UK) et a toujours été actif depuis dans le domaine de l'électronique organique, notamment au sein du Molecular Electronics Department de l'Université de Bangor, de Cambridge Display Technology (UK) et de Polymer Vision (NL). Il a rejoint le CSEM en 2012, où il fait actuellement partie du secteur Integrated Light Management.

oscar.fernandez@csem.ch

D' **Rolando Ferrini** a obtenu son doctorat en physique en 1999 à Pavie (Italie). Il a ensuite travaillé à l'EPFL sur le développement de composants avancés pour l'optique intégrée, puis sur les dispositifs à base de matériaux organiques pour l'optique, la photo-nique et l'éclairage. En 2011, il a rejoint le CSEM, où il est actuellement responsable du secteur Integrated Light Management.

rolando.ferrini@csem.ch

D' **Sylvain Nicolay** a obtenu son doctorat en opto-électronique quantique à l'EPFL en 2008. Manager de production chez Procter and Gamble de 2008 à 2012, il a par la suite rejoint l'EPFL comme chef de groupe TCO, puis le CSEM en 2013 comme chef du secteur Coatings du PV Center.

sylvain.nicolay@csem.ch

¹⁾ Le prix Nobel de chimie a été décerné en 2000 pour la découverte et le développement des polymères conducteurs.

²⁾ Projet CTI - WOWLED 13466.1 PFFLE-NM.

Zusammenfassung

OLED oder Licht in all seinen Formen

Ein wesentlicher Vorteil im Wettbewerb um eine nachhaltige Beleuchtung

Die organischen Leuchtdioden (OLED) haben sich in zwei Jahrzehnten vom Labortisch bis zum Display für Mobiltelefone und Fernseher «hochgearbeitet». Aktuell gelten sie als Leuchtmittel mit dem niedrigsten Energieverbrauch.

OLEDs bestehen aus mehreren dünnen Schichten und sind deshalb «flache» Leuchtmittel, die auf flexiblen Substraten hergestellt werden können. Die Lichtemission erfolgt gleichmäßig über den gesamten Raum innerhalb eines Wellenlängenbereichs, der das gesamte sichtbare Spektrum abdeckt. Dadurch ergibt sich ein Farbwiedergabeindex, der deutlich über dem von Kompakt-Leuchtstofflampen liegt. Darüber hinaus ist die Stromversorgung relativ unkompliziert und auch die Wärmeableitung stellt kein grösseres Problem dar. Bereits heute verfügbar sind OLED-Module auf Glas mit einer Fläche von ca. 100 cm², einem Wirkungsgrad von rund 60 lm/W und einer Lebensdauer von mehr als 40 000 Stunden, T70 (Betriebszeit bis zu 70% der anfänglichen Leuchtdichte) für einen Lichtstrom von 850 lm. Allerdings bestehen nach wie vor Herausforderungen, die es zu lösen gilt, unter anderem im Hinblick auf die Kosteneinsparung und die Realisierung von integrierten Systemen sowie Lichtmanagement-Systemen.

Der Artikel erörtert in einem kurzen Überblick die Vorteile und Herausforderungen der OLED-Technologie, insbesondere bezogen auf die Beleuchtung, und nennt einige Beispiele für laufende Forschungs- und Entwicklungsprojekte am CSEM in diesem Bereich.

CH