

Sujet de thèse de doctorat
Impression d'OLEDs rapides pour des applications aux
télécommunications en lumière visible.

L'équipe Photonique Organique et Nanostructure du Laboratoire de physique des lasers(LPL) et l'Université Sorbonne Paris Nord d'une part, et le laboratoire d'Informatique Signal et Image, Électronique et Télécommunications (LISITE) de l'Institut Supérieur d'Electronique de Paris (ISEP) d'autre part, s'associent pour proposer un sujet de thèse intitulée « Impression d'OLEDs rapides pour des applications aux télécommunications en lumière visible ».

Des découvertes récentes ont montré qu'en associant les technologies microondes avec l'optoélectronique organique, des diodes électroluminescentes organiques (OLED) sont capables d'émettre des impulsions lumineuses sub-nanosecondes, ce qui leur confèrent des bandes passantes supérieures à celles des LEDs [1, 2]. Ceci définit un nouveau domaine de recherche qui constitue une révolution scientifique: L'optoélectronique organique rapide avec des applications aux télécommunications optiques.

Les OLEDs rapides réalisées dans les thèses précédentes ont été fabriquées par évaporation sous vide. Cette technique repose sur un processus, où les matériaux organiques sont déposés sur le substrat à travers un masque creux. Lors de l'évaporation, une quantité importante de matériau est gaspillée car elle est déposée sur le masque au lieu d'être déposée sur le substrat, et des contaminants (des impuretés) et des particules peuvent être facilement introduits, provoquant des défauts qui entraînent de faibles conductivités, de faibles rendements et des coûts élevés (perte des matériaux).

Nous développons dans le laboratoire une technique de dépôt qui utilise des imprimantes à matériaux basées sur la technologie à jets d'encre pour déposer localement des couches organiques avec une précision mieux que 50µm. Cette technique permettrait de contourner les problématiques rencontrés avec le dépôt sous vide. De plus les techniques par impression permettent d'envisager des productions industrielles supérieures à celles des techniques par évaporation. Un deuxième avantage de la technique d'impression est qu'elle permet de déposer des macromolécules et notamment des polymères conducteurs, qui contrairement aux petites molécules ne sont pas déposables par évaporation sous vide. Ces polymères conducteurs offrent souvent des mobilités plusieurs ordres de grandeurs supérieurs à celles des petites molécules, ce qui a potentiellement un impact sur la dynamique du composant. En effet, la mobilité, que ce soit celle des polarons positifs μ_{p+} et celles des polarons négatifs μ_{p-} , est un paramètre clef dans la dynamique des polarons [3]:

$$\frac{d N_p}{dt} = \frac{J(t)}{qd} + \gamma N_p^2$$

où N_p est la densité de population de polarons, $J(t)$ est la densité de courant traversant l'OLED, q la charge de l'électron, d l'épaisseur de l'OLED, et γ est le facteur de Langevin définissant le taux de recombinaison des polarons pour former des excitons susceptibles de

se recombinaison radiativement. La mobilité intervient dans le taux de recombinaison de Langevin γ et participe ainsi directement à la constante de temps [3] de la réponse optique de l'OLED:

$$\gamma = \frac{q}{\epsilon} (\mu_{p^+} + \mu_{p^-})$$

Ce potentiel impact des mobilités des polymères conducteurs sur la dynamique du composant constitue une originalité scientifique forte qui n'a jamais été étudiée et qui est au cœur de cette thèse et qui constituera une première mondiale.

Cependant, beaucoup de questions restent ouvertes quant à l'optimisation de la fabrication par impression d'OLED rapides ce qui constitue le premier enjeu de cette thèse : Il s'agit de concevoir et de fabriquer des OLEDs à base de polymères conducteurs, utilisant une technique de fabrication par impression et offrant des performances en termes de bande passante qui soient comparables à celle d'OLEDs fabriquées par évaporation à base de petites molécules, voire des performances bien supérieures. On s'appuiera également sur un savoir-faire local fort pour implanter un élément diffractif permettant d'augmenter la directivité du faisceau pour limiter sa divergence et augmentant l'intensité lumineuse émise dans la direction souhaitée, ce qui constituera le deuxième objectif de cette thèse.

Un troisième objectif sera de modéliser ces OLEDs, avec une approche système pour fournir une prédiction réaliste de cette technologie OLED dans des systèmes de télécommunications en lumière visible (Visual Light Communication, VLC). Cette modélisation système n'a jamais été réalisée avec des OLEDs rapides et constituera une première mondiale.

Le sujet de thèse intitulé « impression d'OLEDs rapides pour des applications aux télécommunications en lumière visible » est structuré autour de 3 étapes spécifiques : Fabrication, caractérisation et modélisation au niveau système

1. Conception et fabrication des OLEDs rapides à base de polymères conducteurs électroluminescents avec 3 sous étapes :
 - a. Micro-NanoFabrication en salle blanche d'électrodes coplanaires en oxyde d'étain et d'indium (ITO) par gravure sèche plasma sur substrats de verre suivant une conception inspirée des techniques microondes et suivant un process breveté mis au point dans le cadre de la thèse de Alex Chime et qui constitue une première originalité forte [1, 4].
 - b. Ajout d'une structure photonique du type DFB du second ordre conçue et implémentée par lithographie électronique selon une technique mise au point dans le cadre de la thèse de Amani Ouirimi, permettant une meilleure directivité du faisceau d'émission, plus de puissance dans la direction souhaitée et donc un meilleur rapport signal à bruit [5]. Un dispositif de lithographie par interférence laser pourra être utilisé pour permettre cette structuration sur de larges zones [6].

- c. Intégration localisée sur les électrodes coplanaires grâce à la technique à l'état de l'art d'impression jet d'encre en s'appuyant sur les travaux menés depuis deux années dans le cadre de la collaboration LPL/ISEP [7].
2. Caractérisations électriques et optiques des OLEDs ainsi fabriquées
 - a. Caractérisations standards en régime continue avec mesures courant-tension (IV) et courant-puissance lumineuse (LI) et estimation des efficacités.
 - b. Mesure directe de leur bande passante en utilisant la technique d'analyse combinée hyperfréquence et optique de mesure de bruit d'intensité relative (Relative Intensity Noise) suivant une technique à l'état de l'art mise au point dans le cadre de la thèse de Nihal Munshi [8,9].
3. Implémentation d'un modèle physique ou compact sur la base des résultats obtenus lors des caractérisations afin de fournir une prédiction réaliste de cette technologie OLED pour le fonctionnement dans un circuit électrique pour des applications télécommunication. Cela sera réalisé par les activités suivantes :
 - a. Les paramètres électriques seront utilisés pour définir un modèle physique décrit dans un premier temps sous LTSpice et qui sera validé avec des simulations de circuits électriques simples. Le résultat de ces simulations permettra de définir une métrique de performance qui sera appliquée à des Figure-de-Mérite (FoM) pour une comparaison adéquate avec des technologies existantes.
 - b. Ce modèle sera alors exporté via une description de type Verilog-A (simulations sous Cadence) et appliqué dans un environnement technologique en utilisant une librairie probablement de type Process Design Kit (PDK) [6] ; pour plus de cohérence un modèle extrinsèque des OLEDs incluant des éléments parasites dus aux connexions (entre autres) sera également proposé.
 - c. Application des modèles obtenus à des systèmes permettant de réaliser des protocoles de télécommunication spécifiques comme ceux en rapport avec la VLC. Dans ce cadre-là une étude de performance sera également produite pour justifier l'utilisation de l'impression pour la fabrication d'OLEDs rapides.

Les travaux de thèse en rapport avec la fabrication et les caractérisations électriques et optique se dérouleront au sein de la Centrale de Proximité en Nanotechnologie de Paris Nord, salle blanche de nanofabrication à taille humaine hébergée au sein du campus de Villetaneuse. Les activités de recherches en relation avec la modélisation/simulation sous Cadence et l'implémentation système pour les protocoles de télécommunication seront faits au sein du LISITE de l'Isep.

La thèse sera dirigée conjointement par les professeurs Lionel Trojman et Alexis Fischer. Les co-encadrants seront Mariam Camara pour la mise au point du procédé d'impression et formulation des matériaux, Mahmoud Chakaroun assurera l'encadrement pour la partie

conception des empilements organiques et choix des matériaux organiques, et Quentin Gaimard pour la partie Photonique et fabrication des réseaux distractifs périodiques. Nixson Loganathan ingénieur salle blanche assistera le doctorant ou la doctorante pour les travaux en salle blanche.

Les candidats ou les candidates recherch(e)s sont des étudiant(e)s de master ou d'école d'ingénieur avec un profil d'électronicien, de microélectronicien ou de physicien (optique ou matériaux organiques) en science appliquée. Des compétences en instrumentation sont les bienvenues. Des compétences en matériaux, en nanotechnologies sont un plus mais ne sont pas exigées.

- [1] A. C. Chime, A. P. A. Fischer, S. Bensmida, J. Solard, M. Chakaroun, and H. Nkwawo, "Analysis of Optical and Electrical Responses of μ -OLED With Metallized ITO Coplanar Waveguide Electrodes Submitted to Nanosecond Electrical Pulses," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 66, no. 5, pp. 2282–2289, May 2019, doi: [10.1109/TED.2019.2905839](https://doi.org/10.1109/TED.2019.2905839).
- [2] D. Lenstra, A. P. A. Fischer, A. Ouirimi, A. C. Chime, N. Loganathan, and M. Chakaroun, "Ultra-short optical pulse generation in micro OLEDs and the perspective of lasing," *J. Opt.*, vol. 24, no. 3, p. 034007, Feb. 2022, doi: [10.1088/2040-8986/ac4cd1](https://doi.org/10.1088/2040-8986/ac4cd1).
- [3] A. Ouirimi, A. C. Chime, N. Loganathan, M. Chakaroun, A. P. A. Fischer, and D. Lenstra, "Threshold estimation of an organic laser diode using a rate-equation model validated experimentally with a microcavity OLED submitted to nanosecond electrical pulses," *Organic Electronics*, vol. 97, p. 106190, Oct. 2021, doi: [10.1016/j.orgel.2021.106190](https://doi.org/10.1016/j.orgel.2021.106190).
- [4] « Etude théorique et expérimentale de micro-OLEDs rapides sur électrodes coplanaires en régime d'impulsions à haute densité de courant », , Le 20 décembre 2017
- [5] « Conception et réalisation de sources lumineuses organiques en micro-cavité à résonateur distribué en régime d'impulsions électriques ultra-courtes » Thèse Amani Ouirimi, Manuscrit de thèse en cours de rédaction. Soutenance prévue en Septembre 2022
- [6] W.D. Chi, M. Carton and N. Paraire A simple process to generate deeply modulated and large dimension submicron gratings on reflecting surfaces *J. Appl. Phys.* 66 (5), pp. 2229-2231, (1989) <https://doi.org/10.1063/1.344277>
- [7] M.D. Dankoco et al., Temperature sensor realized by inkjet printing process on flexible substrate *Materials Science and Engineering B* 205 (2016) 1–5. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mseb.2015.11.003>
- [8] "Communications Digital-to-Light sur matrice de micro-(O)LEDs", Thèse Nihal Mushi,
- [9] Alexis P.A. Fischer, [Daan Lenstra](#), Amani Ouirimi, Nixson Loganathan, Alex Chime, Mahmoud Chakaroun, Nihal Munshi Munshi, Tony Maindron, Luc Maret, Hani Kanaan Sub-ns High-Speed Organic Light Emitting Diodes and Perspectives to Light Communication, [Optical Wireless Communications: Status and Perspectives OWC-SP 2022](#) - online, France, Duration: 10-11 Feb 2022, <http://photonics.scitevents.org/OWC-SP.aspx>
- [10] L. Trojman, E. Holguin, M. Villegas, L. M. Procel et R. Taco, *MDPI Electronics* 2022, 11(4), 525; <https://doi.org/10.3390/electronics11040525>