
Unité Mixte de Recherche du CNRS - UMR 5005

Génie Electrique, Automatique, Bio-ingénierie

Thématique de la thèse (à impérativement choisir dans la liste suivante :

1. Automatique (priorités M1 et M3, T1)
2. Electronique, Micro et Nanoélectronique, Optique et Laser (priorités E2, voire T2 et projet phare)
- 3. Génie Electrique (priorités E1, E2, T1 voire T2)**
4. Ingénierie pour le vivant (priorités B1, T2)

Établissement d'inscription : Université Claude Bernard Lyon 1

Titre de la thèse

Etude et développement de procédés d'impression pour la réalisation de dispositifs plastroniques 3D.

Domaine et contexte scientifiques

Dans le domaine de la Plastronique, les dispositifs interconnectés moulés (MID Molded Interconnected Device en anglais) connaissent un développement important par exemple pour la fabrication de masse des antennes de téléphone portable. Un MID 3D est un circuit électronique créé à la surface d'une pièce 3D en polymère injecté. Parallèlement au procédé industriel existant (structuration laser), le développement de procédés innovants basés sur des techniques d'impression (microtamponnage, tampographie) doit apporter des solutions alternatives et complémentaires pour la réalisation de MIDs.

Les contrats FUI COMPROMI et Plastronics ont permis de démontrer que le microtamponnage permet de réaliser des MIDs sur des formes 3D simples (thèse K. Cheval). Les objectifs de la thèse s'inscrivent donc dans la continuité de ce travail.

Mots-clefs

Plastronique, microtamponnage (microcontact printing), tampographie, métallisation de polymères, adhérence métal polymère, dispositifs plastroniques 3D, packaging,

Objectifs de la thèse

Il s'agira de développer les techniques de microtamponnage (méthode de référence développée au laboratoire) et de tampographie (méthode non abordée jusqu'à présent) pour localiser des pistes conductrices adhérentes sur des substrats polymères 3D complexes. Par rapport au procédé industriel par structuration laser, ces procédés reposent sur une impression des motifs réalisée directement en 3D, ce qui présente potentiellement des avantages considérables en termes de coût, de résolution d'impression, etc. L'objectif de la thèse est de démontrer l'intérêt de ces procédés.

Cela passe par une compréhension des déformations des tampons en silicone lors des phases d'impression sur des surfaces non planaires. Sur la base des travaux existant au laboratoire (modèle original), l'étudiant prendra notamment en compte le comportement hyper élastique des tampons pour développer une stratégie de fabrication de ceux-ci.

Il sera également nécessaire d'optimiser l'adhésion des pistes créées en surface du polymère.

Enfin en collaboration avec les partenaires universitaires et industriels du laboratoire, des démonstrateurs (antennes, capteurs) seront réalisés pour valider les développements.

Verrous scientifiques

Les premiers résultats obtenus par microtamponnage ont montré la faisabilité de MID sur des surfaces 2,5 D. Le tamponnage repose sur l'utilisation de tampons comportant un réseau de nervures sortantes (représentatives de circuit des interconnexions électriques). Un premier point bloquant est constitué par la fabrication et la mise en œuvre des tampons comportant ces motifs en 3D. Sur la base du modèle hyper élastique développé au laboratoire, il s'agira d'étudier différentes géométries de tampons pour réduire les défauts d'impression sur des surfaces complexes.

Par ailleurs, la tampographie repose sur l'utilisation d'un tampon conique sans motif, qui est écrasé une première fois contre un encreur plan (comportant des canaux 2D représentatifs du motif des pistes) afin d'en prélever l'encre, puis qui est écrasé une deuxième fois contre la surface 3D de l'objet afin de transférer le motif des pistes. Un point bloquant à étudier provient des déformations des motifs des pistes qu'il devrait être possible de prédire, réduire et/ou compenser à l'aide du modèle hyper élastique.

Dans le cas du microtamponnage, des précurseurs de métallisation sont déposés à la surface du polymère et la métallisation est effectuée par voie électroless. Il conviendra d'optimiser un procédé déjà développé au laboratoire pour réduire les contraintes des couches métalliques tout en conservant un temps de fabrication raisonnable (point bloquant). Dans le cas de la tampographie, la voie privilégiée est l'impression directe de nanoparticules, procédé qu'il conviendra de mettre en place. Pour les procédés de tamponnage et de tampographie, les points clés à étudier sont la conductivité, l'épaisseur et l'adhésion des pistes électriques sur les substrats 3D.

Contributions originales attendues

La tampographie est un procédé utilisé actuellement dans l'industrie de la plasturgie essentiellement pour « décorer » des objets 3D. Par rapport à d'autres procédés d'impression comme le jet d'encre, la tampographie permet de mettre en œuvre des produits de forte viscosité. Ce travail constitue une première étape pour transformer la tampographie en procédé de sérigraphie 3D, ce qui ouvre des perspectives dans de nombreux domaines. Il s'agit ici non pas d'imprimer des images mais des motifs fonctionnels. De manière générale, une démonstration de réalisation de MIDs par tampographie devrait fortement intéresser les plasturgistes.

Le microtamponnage est une technique de lithographie douce qui permet d'imprimer des motifs sans faire intervenir de solvant, ce qui lui donne un avantage théorique considérable pour des impressions en 3D. La contribution attendue est la réalisation de MIDs de forme complexe en 3D par localisation des motifs par tamponnage. Ce travail a pour but de contribuer à développer le tamponnage en tant qu'outil de lithographie 3D.

Programme de recherche et démarche scientifique proposée

Ce sujet de thèse repose sur la **localisation de motifs sur un substrat 3D à l'aide d'un tampon 3D**. Les premiers résultats ont démontré qu'il est possible de localiser les pistes d'un MID 2,5D par microtamponnage. Cependant afin d'obtenir une méthode parfaitement maîtrisée en 3D, il est indispensable d'entreprendre une étude fondamentale conduisant à simuler l'évolution de la déformation du tampon 3D en PDMS sous forte contrainte et de valider nos calculs par des résultats expérimentaux.

Cela nécessite de qualifier le substrat et le tampon avec des méthodes de métrologie 3D et de réaliser l'impression avec une machine de tamponnage dédiée. Ainsi la compréhension des déformations du tampon, permettra de mettre en place des stratégies de fabrication de celui-ci, afin de minimiser les défauts d'impression observés et de maîtriser ensuite le tamponnage 3D basse (100 μm) et moyenne résolution (5 μm).

Des tests en tampographie devront être réalisés en parallèle afin de qualifier cette méthode et de la comparer avec le microtamponnage.

Le doctorant aura accès à l'ensemble des protocoles de métallisation développés au laboratoire (donc la métallisation électroless en lien avec le microtamponnage). Le regroupement rationnel des moyens expérimentaux au sein de la plateforme, lui permettra de procéder à une campagne d'optimisation permettant d'améliorer l'adhérence des couches métalliques réalisées par métallisation électroless. Une étude du dépôt de nanoparticules conductrices par tampographie 3D sera effectuée.

Prévention et sécurité

Le candidat utilisera les moyens de la plateforme « Plastronique / Packaging avancé » en cours d'installation, qui dispose notamment de machines de tamponnage, de tampographie, de moyens de métallisation electroless, de moyens de caractérisation (MEB, profilomètre, adhésion, etc...).

Encadrement scientifique :

Directeur de thèse : V. SEMET, MCF (hors classe) HDR, laboratoire Ampère, Département EE/ Priorité E2, 50% pour cette thèse.

M. CABRERA, CR CNRS laboratoire Ampère, Département EE/ Priorité E2, (25%)

P. LOMBARD, MCF laboratoire Ampère, Département EE/ Priorité E2, (25%)

L'équipe d'encadrement est composée de trois chercheurs dont les compétences sont complémentaires : Physique des matériaux instrumentation (V. Semet), Plasturgie Polymères (M. Cabrera), Electronique (P. Lombard).

Financement de la thèse (origine, employeur, montant, durée du financement, etc.)

1. Contrat unique d'une durée de 3 ans

Objectifs de valorisation des travaux de recherche :

1. Publications dans des revues internationales et dépôts de brevets
2. Conférences internationales : 3D MID, IEEE, conf réseau européen 4M, etc
3. Contraintes de confidentialité éventuelle : non
4. Calendrier prévisionnel (même très prospectif) :

Année 1 : Etude du comportement des tampons sous forte compression (tamponnage, tampographie)

Année 2 : Optimisation de protocole de métallisation electroless localisé par microtamponnage et développement du protocole de dépôt de nanoparticules par tampographie.

Année 3 : Validation des développements effectués avec des démonstrateurs (antennes, capteurs) réalisés en collaboration avec les partenaires universitaires et industriels du laboratoire ; rédaction de la thèse.

Profil du candidat recherché (prérequis)

Le candidat devra avoir une formation soit en Matériaux, soit Génie électrique.

Des connaissances de bases en chimie seront appréciées. Il devra avoir un goût pour l'expérimentation et devra s'adapter à la « multidisciplinarité » du sujet.

Compétences qui seront développées au cours du doctorat

Le travail de thèse amènera le candidat à un niveau d'expert en plastronique dans le contexte de la plateforme Plastronique du laboratoire Ampère, en lien direct avec les industriels de la plasturgie impliqués dans ce domaine (S2P, CTI IPC, grands groupes et PME). Il s'appuiera aussi sur la dynamique impulsée par la formation en plastronique devant ouvrir en septembre 2017 à l'INSA.

Perspectives professionnelles après le doctorat

Selon son projet professionnel, le doctorant pourra mettre ses compétences au service d'un centre industriel de type R&D ou postuler à un poste d'enseignant-chercheur ou de chercheur dans le domaine de la plastronique.

Références bibliographiques sur le sujet de thèse

- 1) K. Cheval, *Etude et réalisation de circuits imprimés sur substrats polymères 3D (MID 3D) par microtamponnage.*, Thèse de l'Ecole Doctorale EEA (Electronique, Electrotechnique et Automatique) de l'Université Claude Bernard Lyon 1 soutenue le 11 mai 2015. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01280884/>
- 2) K. Cheval, J. Coulm, S. Gout, Y. Layouni, P. Lombard, D. Léonard, F. Bessueille, V. Semet, M. Cabrera (2014). *Progress in the Manufacturing of Molded Interconnected Devices by 3D Microcontact Printing*. In *Advanced Materials Research* (Vol. 1038, pp. 57-60).
- 3) M. Cabrera, F. Bessueille, S. Gout, K. Cheval, J. Coulm, D. Léonard, Y. Layouni, V. Semet, *3D Microcontact Printing for Molded Interconnect Devices*, Proceedings of the 10th International Congress Molded Interconnect Devices, Nuremberg-Fuerth, Germany, 19-20 September 2012
- 4) M. Cabrera, V. Semet, P. Lombard, K. Cheval, Y. Layouni, R. Dahmani, *Mechanical issues in 3D microcontact printing for molded interconnect devices*, Proceedings of the 11th International Congress Molded Interconnect Devices, Würzburg, Germany, 28-30 September 2016
- 5) S. Kamotesov, P. Lombard, C. Vollaire, V. Semet, M. Cabrera, R. Dahmani, A. Veille, M. Moguedet, *Modelization and characterization of 2D and 3D MID inductors for multidirectional inductive proximity sensing*, Molded Interconnect Devices (MID), 2016 12th International Congress. IEEE, 2016. p. 1-6 DOI: 10.1109/ICMID.2016.7738936

Dans le cas d'une thèse partenariale, le sujet de thèse déposé sous SIGED doit porter la mention ci-dessous et doit être cosignée par le doctorant et le directeur de thèse :

« Le doctorant et le directeur de thèse s'engagent à ce que le doctorant passe au moins 25% de son temps consacré à l'activité de recherche au sein du (ou des) laboratoire(s) d'accueil associé(s) à l'école doctorale EEA ».

