



Vers l'électronique imprimée à l'IMS Bordeaux -plateforme technologique TAMIS (Technologie Alternative aux Microsystèmes Silicium)

Hélène Debéda, Ludivine Fadel-Taris, Isabelle Favre, Jean Tomas

► To cite this version:

Hélène Debéda, Ludivine Fadel-Taris, Isabelle Favre, Jean Tomas. Vers l'électronique imprimée à l'IMS Bordeaux -plateforme technologique TAMIS (Technologie Alternative aux Microsystèmes Silicium). 2014. <hal-01717704>

HAL Id: hal-01717704

<https://hal.science/hal-01717704v1>

Submitted on 26 Feb 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Vers l'électronique imprimée à l'IMS Bordeaux - plateforme technologique TAMIS (Technologie Alternative aux Microsystèmes Silicium)

Hélène Debéda, Ludivine Fadel-Taris, Isabelle Favre, Jean Tomas
helene.debeda@ims-bordeaux.fr

Pôle CNFM de Bordeaux, Laboratoire IMS, 351 Cours de la Libération, 33405 Talence Cedex

RESUME

L'électronique imprimée « Printed Electronics » prend de nos jours de plus en plus d'importance. Parmi les techniques d'impression, les plus répandues sont la sérigraphie, le jet d'encre et la flexographie, cette dernière étant une technique roll to roll (R2R) permettant d'augmenter la vitesse d'impression. Nous disposons au niveau de la plateforme de technologie TAMIS (Technologie Alternative aux Microsystèmes) hébergée au Laboratoire IMS de Bordeaux des deux premières techniques d'impression dédiées à la recherche et à l'enseignement. La sérigraphie reste cependant la plus utilisée de par sa simplicité, sa flexibilité et son bas coût. Elle permet la réalisation de résistances, conducteurs ou isolants sur des supports variés, céramiques mais aussi plastiques ou papier. Des jauges de déformation pour application microsystèmes ont été notamment réalisées sur PCB et supports plastiques, tout comme des patches à base de conducteurs pour antennes RFID. Pour l'application composant « flip-chip », la réalisation de bossages (« bumps ») imprimés en brasures ou en résines chargées est aussi envisagée à court terme. Ces évolutions vers l'électronique imprimée pour des composants ou systèmes ou pour l'assemblage sont illustrées chaque année auprès d'une soixantaine d'étudiants issus des filières électronique du niveau licence 3 au niveau doctorat.

Mots clés : impression, substrats flexibles, sérigraphie, jet d'encre, flexographie, encre composite, capteurs, patch RFID, flip-chip, bumps

1 INTRODUCTION

L'électronique imprimée offre des avantages majeurs par rapport aux applications électroniques « classiques » réalisées à partir de silicium dont :

- le bas coût : procédé additif (figure 1), large volume et rapidité d'impression, bas coût d'investissement ;
- la versatilité : nature des couches imprimées, type de substrats, facteurs de forme et température du procédé ;
- la qualité de l'impression : bonne répétabilité avec une bonne résolution.

L'essor-grandissant dans le domaine de l'électronique imprimée a permis de montrer la faisabilité de divers éléments passifs et actifs de l'électronique tels que les transistors, les diodes, les cellules photovoltaïques, les écrans, les antennes RFID etc. Parmi les techniques d'impression, les plus répandues sont la sérigraphie, le jet d'encre et la flexographie, cette dernière étant une technique roll to roll (R2R) permettant d'augmenter la vitesse d'impression. Ces technologies offrent la possibilité de réaliser des composants ou microsystèmes sur des supports variés, type céramiques, plastiques ou papier (figure 2) ainsi que l'assemblage de composants électroniques qui deviennent plus performants (type « flip-chip »). Leur principe sera présenté dans la partie suivante.

Nous disposons au niveau de la plateforme de technologie TAMIS (Technologie Alternative aux Microsystèmes) hébergée au Laboratoire IMS de Bordeaux de deux équipements dédiés à l'impression : une machine de Sérigraphie et une de Jet d'encre. Toutes les deux sont utilisées à la fois pour la recherche et l'enseignement. Des résistances ou conducteurs à base d'encres nanocomposites pour applications capteurs ou pour antennes RFID ont notamment été réalisées et seront présentées dans la troisième partie de ce document. Pour l'application composant « flip-chip », les techniques d'impression pour la réalisation de bossages (« bumps ») en brasures ou en résines chargées s'avèrent aussi attractives et les procédés de fabrication en cours de développement à l'IMS seront détaillés dans cette même troisième partie. Une solution alternative de fabrication de « bumps » pour des prototypes disponibles prochainement au niveau de TAMIS sera aussi exposée (méthode « stud-bumping »).

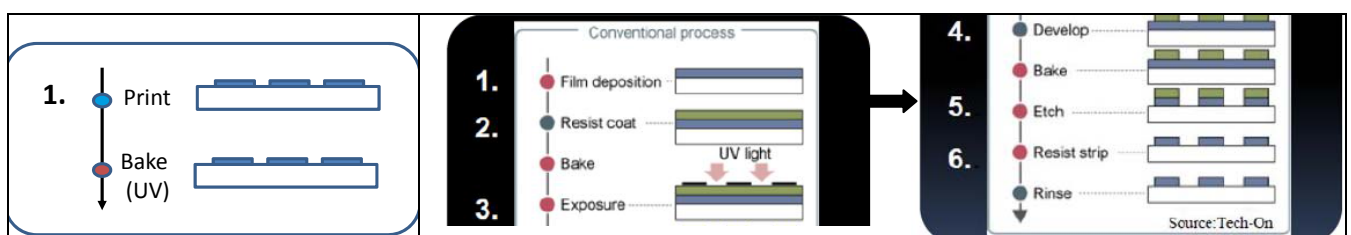


Figure 1 : Electronique imprimée : une seule étape (a) par rapport au procédé conventionnel [1]

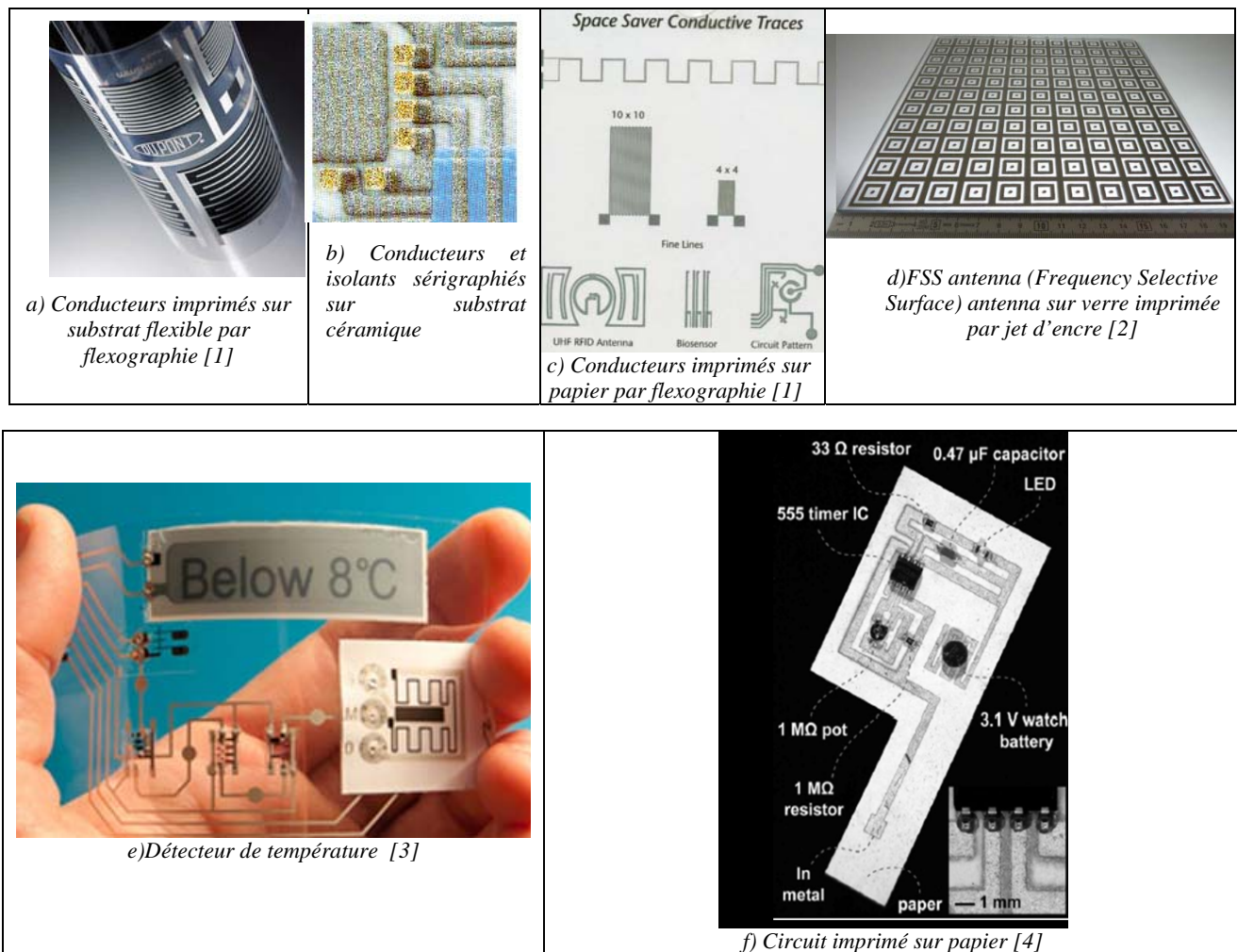


Figure 2 : Exemples de circuits imprimés sur substrats variés: des conducteurs jusqu'au microsystème complet

2 LES TECHNIQUES D'IMPRESSION

2.1 La sérigraphie (« screen-printing »)

Le principe consiste à faire passer de l'encre (pâte formée d'un mélange de poudre et de liant organique) au travers des mailles d'un écran (figure 3). L'écran est constitué par un cadre sur lequel est tendue une toile en fils d'acier partiellement recouverte d'une résine photosensible pour définir les motifs à imprimer. Pour reproduire ces motifs sur le substrat, l'encre est enduite sur le cadre puis étalée à l'aide d'une râcle. Une fois l'encre déposée, elle subira un traitement thermique dépendant de sa composition initiale. Le type d'encre déposée dépend des applications (fonction conductrice, résistive ou isolante) et du substrat. On distingue deux types d'encres : les encres polymères et les encres minérales qui, de compositions différentes, ne subissent pas les mêmes traitements thermiques après sérigraphie. Ces traitements thermiques permettent d'assurer l'accrochage de la couche sur le substrat et sa cohésion. Les encres polymères qui permettent de réaliser des dépôts sur substrats plastiques ou papier de par leur traitement thermique à basse température ($<200^{\circ}\text{C}$) prennent de plus en plus d'importance. Des exemples d'utilisation de ce type d'encre seront donnés partie 3. Avec ce procédé d'impression, la définition est de 50 lignes/cm avec des épaisseurs variant entre 2.5 et 100 μm (classiquement 20-30 μm).

2.2 Le jet-d'encre (« ink-jet »)

Le jet d'encre (ou plus généralement de matière), principalement utilisé dans l'industrie du graphisme, est actuellement en plein essor dans de nombreux autres domaines de haute technologie. Les possibilités qu'offre ce procédé additif sont intéressantes pour diverses applications industrielles, notamment en microélectronique, où la non pollution, la précision et l'économie de matière sont des éléments primordiaux. Cette technique est un procédé d'impression sans contact reposant sur la formation de goutte par rupture d'un jet de fluide continu, sous l'effet d'une petite perturbation telle qu'une onde de pression. Il existe deux grandes catégories de procédés : le jet d'encre continu (CIJ), et la goutte à

la demande (DOD) (figure 4). Tout comme pour la sérigraphie, l'encre est un mélange de liant organique et de particules solides; la viscosité de l'encre est cependant bien plus faible que pour les encres de sérigraphie (<20mPa.s contre 0.1-10 Pa.s pour les encres de sérigraphie). Cette technique permet enfin d'imprimer 200 lignes/cm avec des épaisseurs variant entre 1 μm et 0.5mm.

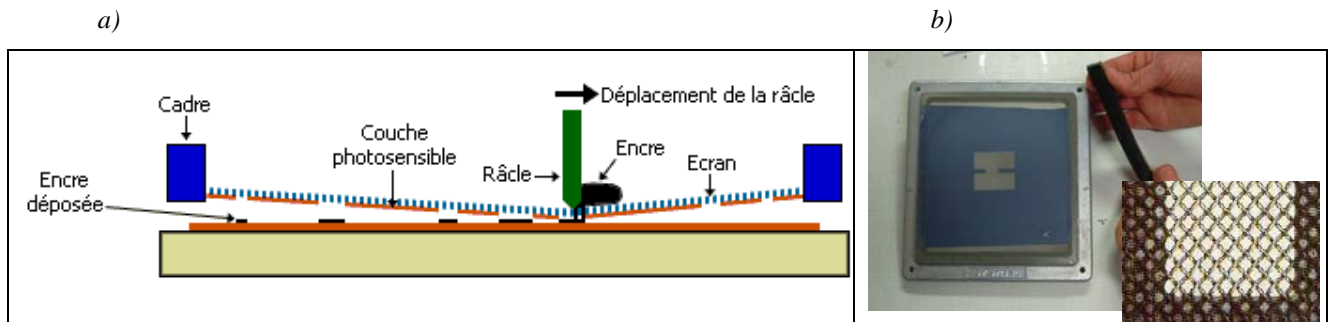


Figure 3 : Principe de la sérigraphie (a) Ecran, et raclette de sérigraphie (b)

2.3 La flexographie (« flexography »), une technique roll to roll (R2R)

Ce procédé est largement utilisé dans le monde de l'imprimerie. L'outil d'impression est constitué d'un système d'alimentation de l'encre à imprimer et de trois cylindres : le cylindre de « contre pression », celui « porte cliché », et le rouleau anilox (figure 5). Le motif à imprimer est gravé sur une plaque de photopolymère recouvrant le cylindre « porte-cliché ». L'encre est déposée sur la plaque de photopolymère grâce au rouleau anilox. Celui-ci est constitué de cellules dont la géométrie contrôle la rapidité et la constance de dépôt de matériau sur la plaque de photopolymère. La quantité de ce dépôt dépend de plus de la pression exercée entre le cylindre « porte cliché » et rouleau anilox. Une légère pression appliquée par le cylindre de « contre-pression » permet enfin le transfert du motif sur le substrat flexible défilant. Cette technique permet d'imprimer 70 lignes/cm. Les épaisseurs des couches déposées par flexographie sont de quelques microns et dépendent de la vitesse de la presse, des caractéristiques de transfert du produit, de sa viscosité (0.01-0.5 Pa.s) et de l'état de surface du support.

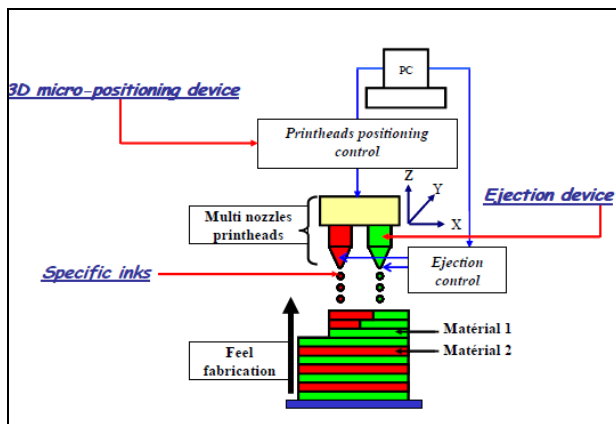


Figure 4 : Principe du jet d'encre (goutte à la demande)[2]

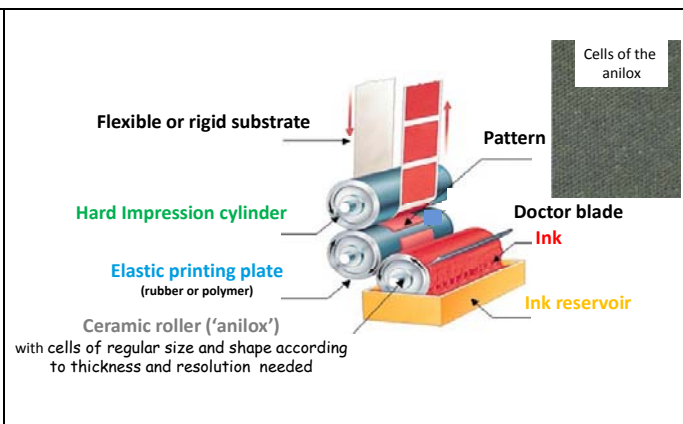


Figure 5 : Principe de la flexographie [5]

3 EXEMPLES DE REALISATIONS

3.1 Capteurs à base d'encres résistives composites à base de noir de carbone

a) Jauges de déformation

Une jauge de déformation imprimée sur une carte PCB (Printed Card Board) type FR4 permet la mesure des contraintes exercées sur la carte (figure 6). L'encre utilisée sérigraphiable est une encre polymère résistive composite à base d'époxy et de noir de carbone (encre commerciale RS12113 de la société ESL). L'intérêt de ce type d'encre est sa polymérisation à basse température (150°C) qui permet une sérigraphie sur le substrat FR4 verre/époxy. Un circuit d'électronique de conditionnement associé à la jauge indique le seuil de déformation grâce à l'allumage d'une diode. Ce circuit à base de composants CMS est constitué de 3 étages à base d'amplificateurs [6]. La fabrication de ce capteur de déformation associé à l'électronique de traitement est proposée aux étudiants en licence EEA à l'Université de

Bordeaux, en complément d'un enseignement autour des capteurs et microsystèmes. Une impression de cette jauge sur substrat plastique ou sur du papier ensuite déformé est aussi possible (figure 7). Les composants CMS doivent ensuite être collés sur papier au lieu d'être brasés, comme illustré figure 2f.

b) Capteurs d'humidité

La même encre résistive à base de noir de carbone, chargée à l'aide de nanoparticules (NPs) bistables a permis de détecter des variations de taux d'humidité sur une large gamme. Pour cette détection, le gonflement des nanoparticules bistables modifie le seuil de percolation des particules de carbone et par suite la résistance du film de carbone (figure 8). Ce type de capteur, bien que réalisé sur un substrat céramique à base d'alumine laisse envisager des applications de capteurs d'humidité sur des substrats flexibles.

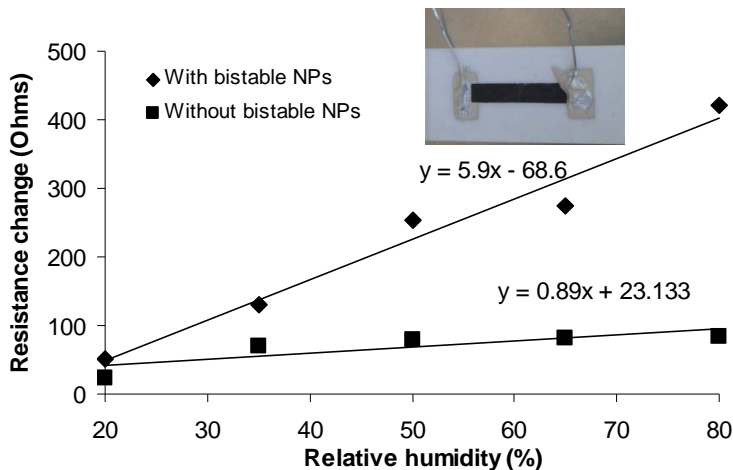
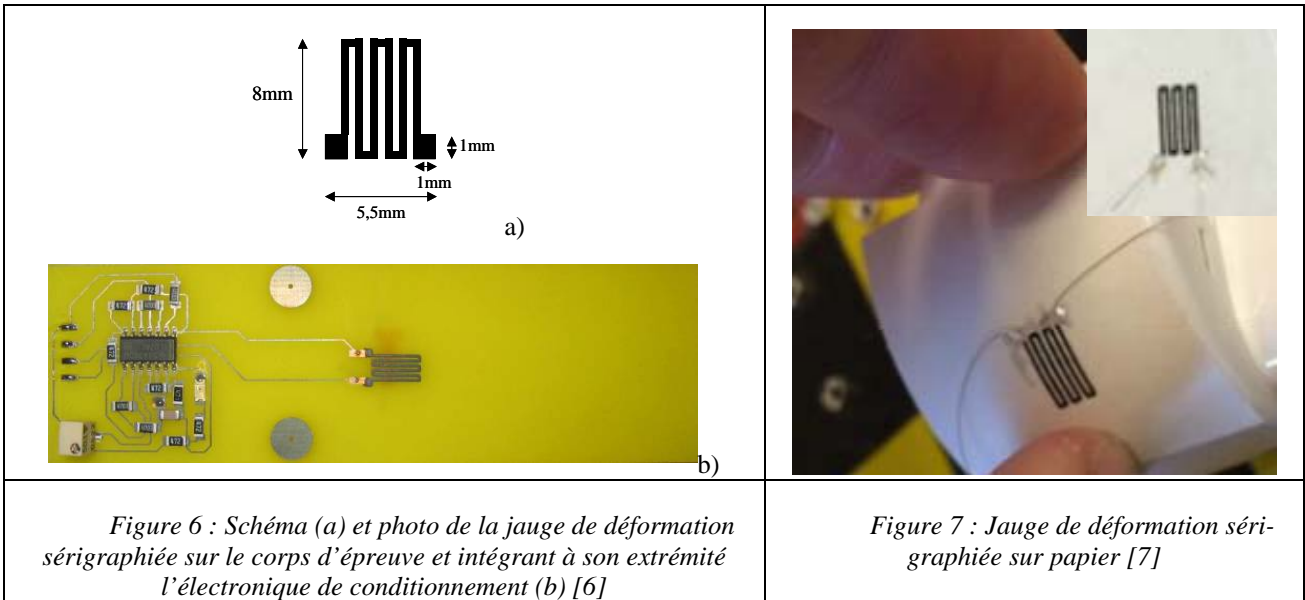
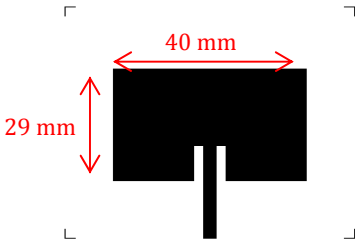

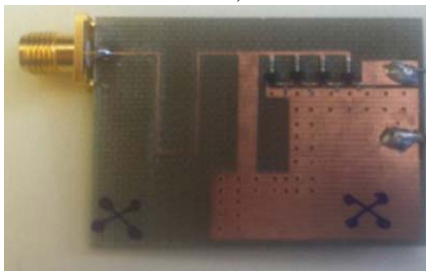


Figure 8 : Variation de résistance de la couche sérigraphiée à base de composite époxy/noir de carbone (« without bistable NPs ») et à base de composite époxy/noir de carbone /particules bistables (« with bistable NPs ») [8]

3.2 Patches à base d'encre composite à l'argent

Pour des applications de récupération d'énergie par voie radiofréquences des antennes patch ont été réalisées par sérigraphie sur un substrat FR4 verre/époxy avec une encre polymère chargée à l'argent (1901S, Société ES), (figures 9 et 10a). L'objectif n'est pas d'établir de communication radio, comme c'est le cas pour les RFID, mais simplement de récupérer de l'énergie puis de la stocker. L'antenne utilisée en émission et en réception est un transducteur réversible permettant de transformer un signal électrique en une onde électromagnétique. La conversion du signal AC haute fréquence en signal DC est ensuite assurée par un circuit électronique comportant un étage d'adaptation et plusieurs étages

de redressement à base de diodes Schottky (figure 10b). Les composants CMS (diodes et capacités) sont reportés par brasage en phase vapeur.

	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>a)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>b)</p>  </div> </div>
<p>Figure 9. Schéma d'une antenne patch rayonnant à 2,4GHz</p>	<p>Figure 10. (a) Antenne patch sérigraphiée sur FR4, (b) électronique associée pour l'application de récupération d'énergie par voie RF</p>

3.3. Bossages (« bumps ») en brasure ou polymère pour flip chip

Les puces nues de type « flip chip » sont des composants de plus en plus attractifs car ils permettent d’améliorer la densité d’intégration tout en améliorant les performances électriques grâce à leurs connexions électriques par bossages (« bumps ») [9] (figure 11). Plusieurs technologies pour la réalisation des « bumps » sont envisageables parmi lesquelles l’impression par sérigraphie de « bumps » en brasure (SnAgCu « solder » notamment) ou en polymère (composite à base d’argent) (figure 12). Les étapes du procédé d’impression de « bumps » en brasure sont illustrées figure 12. Un pochoir métallique en nickel est alors utilisé pour la sérigraphie. Les diamètres standard de « bumps » ainsi déposés sont de 100µm et le « pitch » (distance entre 2 centres de bumps) de l’ordre de 150µm.

La technologie « stud-bumping » peut aussi être privilégiée pour la réalisation de « bumps » en or (figure 12). Le principe consiste à utiliser la boule (« ball ») formée lors du câblage filaire « ball-bonding » puis à couper le fil pour ne garder que la boule (figure 14). Le « bump » en or, tout comme pour le « ball-bonding », adhérera sur la métallisation de la puce flip chip par thermocompression. Cette méthode est intéressante pour des prototypages rapides (30 bumps/s), les « bumps » ont une taille inférieure à celle de ceux sérigraphiés (environ 40 µm) tout comme le « pitch » (environ 50µm).

<p>The figure consists of two parts. The top part is a schematic diagram of a flip-chip assembly. It shows a blue rectangular die mounted on a green substrate. The die is connected to the substrate by several small, spherical solder bumps. Labels indicate 'Underfill' (the material between the die and the substrate), 'Die' (the blue rectangle), 'Solder bumps' (the small spheres), and 'Solder balls' (the larger spheres on the substrate). The bottom part is a grayscale photograph of a similar assembly. It shows a dark, rectangular substrate with four large, spherical solder balls mounted on its surface. A small red and white logo for 'International Rectifier' is visible in the upper right corner of the photo.</p>	<p>The figure is a flowchart titled 'Flip Chip Bumping Technology Overview'. It categorizes bumping technologies based on four criteria: Material, Method, Process, and Interconnect. The 'Material' column lists 'Solder', 'Au', and 'Polymer'. The 'Method' column lists 'Deposition', 'Plating', 'Ball', and 'Screen Printing'. The 'Process' column lists 'Evaporation', 'Electro Electroless', 'Solder Ball Transfer', 'Stud Bumping', 'Solder Jet', 'Electro Electroless', 'Stud Bump', and 'Cure'. The 'Interconnect' column lists 'Reflow + Underfill', 'Conductive Paste & Underfill', 'Reflow & Underfill', 'ACF (Anisotropic Conductive Film)', 'ACP (Anisotropic Conductive Paste)', 'Thermocompression & Underfill', 'Thermosonic & Underfill', and 'Pressure Contact & Non-condct. Paste'. The flowchart shows that 'Solder' can be used with 'Deposition', 'Plating', 'Ball', or 'Screen Printing' methods, leading to 'Evaporation', 'Electro Electroless', 'Solder Ball Transfer', 'Stud Bumping', or 'Solder Jet' processes, which all result in 'Reflow + Underfill' interconnect. 'Au' can be used with 'Plating' or 'Ball' methods, leading to 'Electro Electroless' or 'Stud Bump' processes, which result in 'Conductive Paste & Underfill', 'Reflow & Underfill', 'ACF (Anisotropic Conductive Film)', 'ACP (Anisotropic Conductive Paste)', 'Thermocompression & Underfill', 'Thermosonic & Underfill', or 'Pressure Contact & Non-condct. Paste' interconnect. 'Polymer' can be used with 'Screen Printing' method, leading to 'Cure' process, which results in 'Conductive Paste & Underfill' interconnect.</p>
<p>Figure 11 : Schéma et photo d'une puce « flip chip »</p>	<p>Figure 12 : Aperçu sur les différentes technologies disponibles pour la réalisation des « bumps »</p>

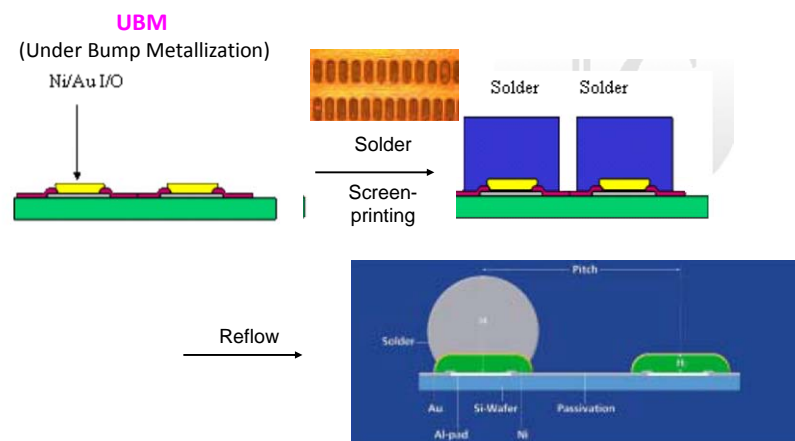


Figure 13. Etapes de fabrication des « bumps » en brasure sérigraphiés

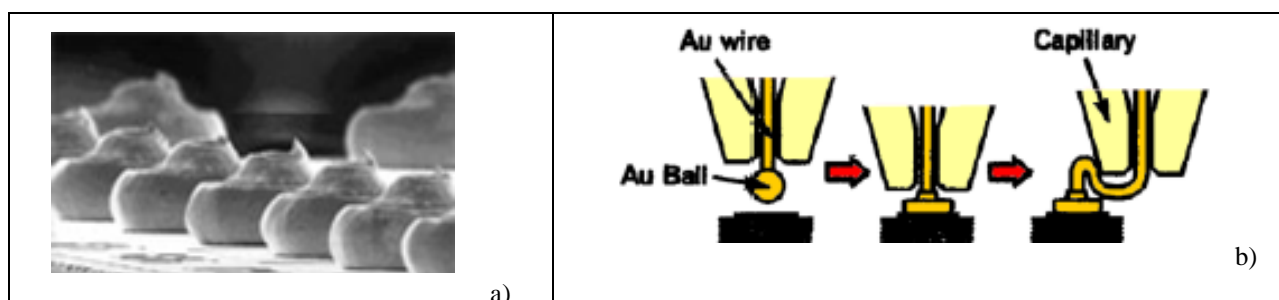


Figure 14 : Photos de « bumps » en or (a) et principe de fabrication de ces « bumps » par « stud-bumping » (b)

4 CONCLUSION

Les principes d'impression par sérigraphie, jet d'encre et flexographie ont été présentés, ainsi que quelques exemples de réalisations. Ces évolutions vers l'électronique imprimée pour des composants ou systèmes ou pour l'assemblage sont illustrées chaque année auprès d'une soixantaine étudiants issus des filières électronique du niveau licence 3 au niveau master, de l'Institut Polytechnique de Bordeaux, ou de l'école doctorale Sciences pour l'ingénieur de Bordeaux (doctorants de l'IMS).

5 REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le CNFM, l'Université de Bordeaux et la région Aquitaine ayant participé à l'achat de machines dédiées à l'assemblage telles que la sérigraphieuse, la câbleuse petits fils « ball-stitch », la machine flip-chip ou très prochainement une machine de câblage rubans et « stud-bumping » (projet région plateforme MICRASS).

6 REFERENCES

- [1] Tracy Lunt, "The Future of Printing Electronics with Flexography, DuPont
- [2] <http://www.ceradrop.fr/>
- [3] <http://www.pstsensors.com/>
- [4] A. C. Siegel et al, "Foldable Printed Circuit Boards on Paper Substrates", Advanced Functional Materials, 2010
- [5] inp.fr/tutoriel/flexographie/page02.htm
- [6] H. Debéda et al, Stage de microassemblage Pôle CNFM de Bordeaux / IMS Bordeaux : réalisation de circuits hybrides et capteurs, Journées pédagogiques CNFM Saint Malo 2012
- [7] Quentin Leguilier, Projet Master 1 EEA, Janvier 2014
- [8] E. Llobet et al, Humidity Sensing Properties of Screen-Printed Carbon-Black and Fe(II) Spin Crossover Compound Hybrid Films, Eurosensors 28ième, Brescia, Italie, 7-10 Sept. 2014.
- [9] Richard Estes, « Flip Chip Using Polymer Flip Chip Processes », tutorial sur www.flipchip.com
- [10] http://www.chipscalereview.com/issues/ES/issues/0501/tutorial_01.html