

# Électronique imprimée grandes surfaces

Que se cache-t-il derrière le vocable « électronique imprimée », souvent associé à « électronique organique », grandes surfaces et supports flexibles ?

L'électronique imprimée est souvent caractérisée par la possibilité d'utiliser des procédés d'impression conventionnels afin d'élaborer des systèmes « électroniques » plus ou moins complexes. L'intérêt d'utiliser ces procédés pour le secteur d'activité de l'électronique et de la microélectronique réside essentiellement dans leur potentiel de production élevée à faible coût (« low cost and large area ») [1]. Il est cependant nécessaire d'intégrer que ces technologies ne sont actuellement pas en mesure de remplacer les techniques employées dans l'industrie du silicium, puisqu'elles ne présentent pas encore les précisions de dépôt suffisantes et ne les présenteront peut-être jamais. Elles n'en demeurent pas moins attractives pour un certain nombre d'applications et doivent être considérées comme complémentaires à celles de l'industrie du silicium dont la productivité et les coûts de production sont les principaux inconvénients.

Ainsi, les premiers marchés à être rentables seront ceux de fort volume comme le marché de la RFID (« radio frequency identification »), des cartes à puces, des capteurs (applications biométriques), des écrans (notamment OLED), des TFT ou OTFT (« organic thin film transistor ») utilisés comme circuits intégrés pour la gestion des affichages, des batteries flexibles ultraplates ou des cellules photovoltaïques [2]. Il n'existe cependant pas de procédés d'impression uniques adaptés à l'électronique imprimé. Les principaux sont l'offset, la sérigraphie,

l'héliogravure, la flexographie et le jet d'encre, chacune de ces technologies ayant ses propres avantages et inconvénients.

La figure ci-dessous montre un panel d'impressions réalisées au Laboratoire de Génie des Procédés Papetiers (LGP2, Grenoble).

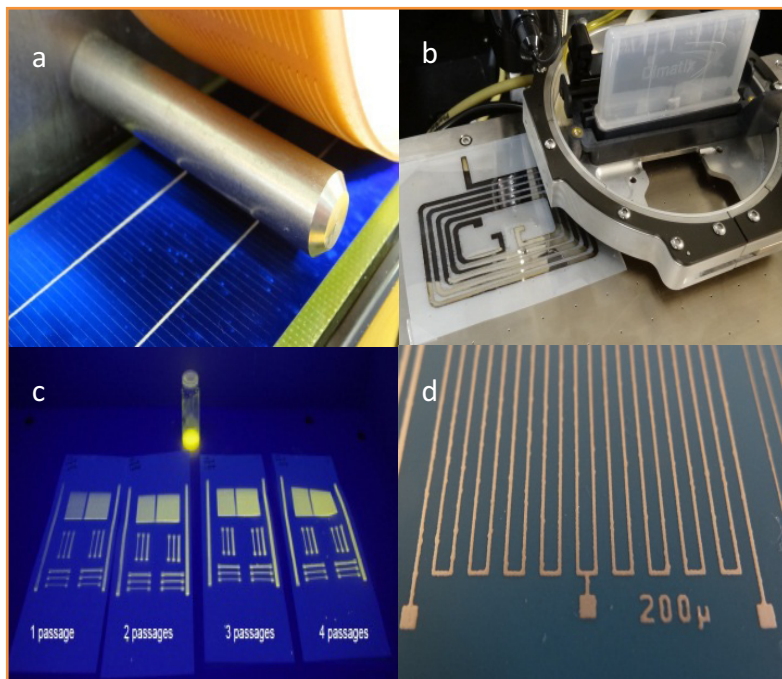
Pour illustrer le fait que l'intérêt principal d'utiliser les procédés d'impression réside essentiellement dans leur potentiel de production élevée [2], le tableau I (p. 128) compare la production horaire de presses d'impression standard à la production annuelle d'une usine moderne fabricant des plaquettes de silicium pour la réalisation de circuits intégrés. Les temps de production des presses d'impression pour absorber la production annuelle de l'usine de plaquettes de silicium se situent entre 35 minutes et environ 12 heures.

Cependant, comme le souligne le tableau II (p. 128), la précision de ces procédés d'impression n'est pas encore suffisamment élevée pour des applications semblables à celles de l'industrie du silicium. Il est néanmoins intéressant de remarquer que même si l'augmentation de la précision de ces procédés nécessitait de réduire par cent la vitesse de ces machines d'impression, les temps de production seraient encore compris entre 3 et 48 jours !

En ce qui concerne les encres conductrices, elles seront formulées à partir d'éléments conducteurs dont le choix dépend des applications finales :

- Des matériaux conducteurs métalliques seront choisis pour obtenir des conductivités stables et élevées ( $10^5 \text{ S.cm}^{-1}$ ). L'argent est communément utilisé sous forme de particules micro- ou nanométriques. Le prix de ces encres argent, supérieur à 1 000 €/kg, n'est pas adapté à des applications finales de faible coût [4]. Notons que le développement d'encres métalliques « bas coût » à base de cuivre notamment est particulièrement étudié.
- Des matériaux organiques conducteurs (polymères à conjugaison  $\pi$ ) comme le polypyrrole ou le polythiophène seront sélectionnés s'il n'est pas nécessaire d'obtenir de fortes valeurs de conductivité. Aujourd'hui, la polyaniline et le PEDOT sont les plus communément employés [5]. Le PEDOT-PSS (polyéthylène dioxythiophène dopé par le polystyrène sulfonate) permet l'obtention de films conducteurs pouvant atteindre  $900 \text{ S.cm}^{-1}$  [6]. Cependant, ces matériaux sont confrontés à des problèmes de stabilité qui nécessitent d'être résolus. Les nanotubes de carbone, quant à eux, permettent l'élaboration de films fins transparents et flexibles pouvant atteindre  $10^3$ - $10^4 \text{ S.cm}^{-1}$ . Le graphite est aussi utilisé pour l'élaboration d'encre dont la stabilité est améliorée par l'utilisation d'agents dispersants (carboxyméthylcellulose, sodium dodécyl sulphate). Les valeurs de conductivité des encres commerciales sont classiquement inférieures à  $20 \text{ S.cm}^{-1}$ .

**Pour conclure**, l'électronique imprimée est un domaine de recherche multidisciplinaire passionnant qui permet l'élaboration de systèmes « électroniques » sur des supports variés (rigides ou souples) en utilisant des encres spécifiques (conductrice, semi-conductrice, électroluminescente...) grâce au choix du procédé



**Exemples d'impression :** (a) Cellule photovoltaïque imprimée par le procédé de flexographie ; (b) Impression jet d'encre d'une antenne ; (c) Impression flexographique d'encre photoluminescente semi-conductrice ; et (d) Impression d'encre conductrice sur céramique par sérigraphie.  
Photographies LGP2/Grenoble INP Pagora, DR.

Tableau I - Comparaison de la cadence de production de wafers de silicium avec celle de certains procédés d'impression (selon [3]).

	Production de plaquettes de silicium (Si-wafer)	Offset feuille	Offset bobine	Héliogravure
Diamètre Si-wafer (cm)	30			
Largeur d'impression (m)		1,02	1,26	3,80
Cadence de production	6 000 wafer/semaine	3 m/s	15 m/s	15 m/s
Surface produite	88 000 m <sup>2</sup> /an	~ 11 000 m <sup>2</sup> /h	~ 68 000 m <sup>2</sup> /h	~ 205 000 m <sup>2</sup> /h
Durée d'impression pour une année de production de Si-wafer (h)		~ 11,4	~ 1,9	~ 0,6

Tableau II - Dimensions caractéristiques de motifs imprimés réalisables par différentes techniques d'impression (selon [3]).

	Si-wafer	Sérigraphie	Héliogravure	Flexographie	Offset	Jet d'encre
Résolution latérale (µm)	0,1	100	15	40	15	50
Épaisseur déposée (µm)	0,05-2	3-15	0,8-8	0,8-2,5	0,5-2	0,3-20
Viscosité de l'encre (Pa.s)		0,5-50	0,05-0,2	0,05-0,5	30-100	0,001-0,04

d'impression le plus adapté. Ceci implique la connaissance du comportement des encres en conditions d'usage (mécanique des fluides, rhéologie, chimie de la formulation...), l'étude des interactions interfaciales encres/substrat (tension et énergie de surface, mouillabilité, adhésion, topographie), et enfin le génie des procédés pour la fonctionnalisation des surfaces. Plus concrètement, cela permet actuellement de réaliser des panneaux solaires, des étiquettes RFID et des encres organiques pour écrans d'affichage.

### Références

- [1] Mark A. *et al.*, Printable electronics: flexibility for the future, *Phys. Status Solidi A*, **2009**, 206, p. 588.
- [2] Thibert S. *et al.*, Silver ink experiments for silicon solar cell metallization by flexographic process, *38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, **2012**, p. 2266.
- [3] Huebler A. *et al.*, High volume printing technologies for the production of polymer electronic structure, *Proceedings of Polytronic, Zalaegerszeg, Hungary*, **2002**, p. 172.
- [4] Tobjörk D. *et al.*, Paper electronics, *Adv. Mater.*, **2011**, 23, p. 1935.
- [5] Stejskal J. *et al.*, Mixed electron and proton conductivity of polyaniline films in aqueous solutions of acids: beyond the 1000 S.cm<sup>-1</sup> limit, *Polym. Int.*, **2009**, 58, p. 872.
- [6] Steffens C. *et al.*, Low-cost sensors developed on paper by line patterning with graphite and polyaniline coating with supercritical CO<sub>2</sub>, *Synth. Met.*, **2009**, 159, p. 2329.

Cette fiche a été préparée par **Didier Chaussy** (didier.chaussy@pagora.grenoble-inp.fr), professeur à Grenoble INP, et **Davide Beneventi** (Davide.Beneventi@pagora.grenoble-inp.fr), chargé de recherche au CNRS, au Laboratoire de Génie des Procédés Papetiers (LGP2), UMR 5518, Grenoble INP-Pagora École Internationale du Papier, de la Communication Imprimée et des Biomatériaux, 461 rue de la Papeterie, CS 10065, F-38402 Saint-Martin-d'Hères Cedex.

Les fiches « Un point sur » sont coordonnées par un comité éditorial mené par Jean-Pierre Foulon et Michel Quarton (contact : bleneau@lactualitechimique.org).