



**HAL**  
open science

## Mise en forme et caractérisation d'une photonique intégrée organique par impression 3D : motifs micronique 2.5D de type guides d'ondes

Eros Gavini, Sylvain Pernon, Christophe Levallois, Arnaud Saint-Jalmes,  
Nathalie Coulon, Alain Moreac, Bruno Bêche

### ► To cite this version:

Eros Gavini, Sylvain Pernon, Christophe Levallois, Arnaud Saint-Jalmes, Nathalie Coulon, et al.. Mise en forme et caractérisation d'une photonique intégrée organique par impression 3D : motifs micronique 2.5D de type guides d'ondes. Journée Mécatronique de l'ENS de Bruz, Sep 2022, Bruz, France. hal-03762509v1

**HAL Id: hal-03762509**

**<https://hal.science/hal-03762509v1>**

Submitted on 27 Aug 2022 (v1), last revised 29 Aug 2022 (v2)

**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.

# Mise en forme et caractérisation d'une photonique intégrée organique par impression 3D : motifs micronique 2.5D de type guides d'ondes

Eros GAVINI, Avec Sylain PERNOT, Christophe LEVALLOIS, Arnaud SAINT-JAMES, Nathalie COULON, Alain MOREAC et Bruno BÊCHE

ENS Rennes - IETR CNRS 6164 avec FOTON CNRS 6082 et IPR CNRS 6251

**RESUME** – Le stage fût réalisé de manière immersif sur 5 semaines. Il avait pour but de comprendre si il était possible de fabriquer une photonique intégrée planaire à l'aide d'une imprimante 3D. Les résultats sont concluant pour le transport de la lumière et déboucheront sur un travail de réalisation d'une photonique intégrée par la suite

*photonique intégrée - impression 3D - organiques - guide d'onde - matière molle - tension de surface - ellipsométrie*

## 1. INTRODUCTION

La photonique intégrée est en pleine essor aujourd'hui. Elle trouve son application dans les communications à haut débit, pour des sources laser, pour la métrologie fine et les capteurs (comme la concentration en plutonium dans du combustible nucléaire), ainsi que les applications ou contrôles sans contact. La production de cette photonique reste cependant très couteuse puisque elle est réalisée en salle blanche par des séries de manipulations qui demande l'intervention d'un ingénieur spécialisé. Ce stage avait pour but de valider l'idée de pouvoir fabriquer cette nouvelle photonique à l'aide de fil organique et donc partir avec une simple imprimante 3D. Le stage se devait de construire un guide d'onde puis de vérifier le comportement de notre matériaux une fois fondu, d'analyser la bonne tenue des propriétés souhaitées (caractérisation de la forme, indice de réflexion, état de la matière, capacité à guider la lumière).

## 2. PRISE EN MAIN DE L'IMPRIMANTE RAISE 3D

### 2.1. Langage G-CODE

Une prise en main du langage G-Code à été nécessaire pendant le stage. Ce dernier permet à l'utilisateur de programmer chacune des actions de son imprimante 3D, on peut concevoir nous même le code qui serait généré par un sliceur.

L'objectif est dans un premier temps de réaliser des guides d'ondes en polymère à l'aide d'une impression 3D. Le polymère sélectionné est le TPU, c'est un thermoplastique élastomère qui allie les propriétés élastiques des élastomères et les propriétés mécaniques des thermoplastiques. Il nous fallut donc créer une code en G-code afin de répondre au besoin de création d'un guide d'onde. Il était important de comprendre le fonctionnement de l'imprimante afin d'adapter notre code pour générer les formes planaires.

#### 2.1.1. Calcul de l'extrusion

Le but était dans un premier temps de réaliser un guide d'onde qui serait de la même section que celle en sortie de la buse de notre imprimante. Nous avons réglé la vitesse d'extrusion du fil  $E$  en fonction de la vitesse de la buse dans l'espace de création de l'imprimante.

$$E = \left(\frac{D_{buse}}{D_{fil}}\right)^2 \times \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (1)$$

Cette dernière équation nous permet de déterminer la vitesse d'extrusion pour respecter notre objectif. ( $X$ ,  $Y$  et  $Z$  sont les valeurs de déplacements de la buse pour chacun des axes de la machine)

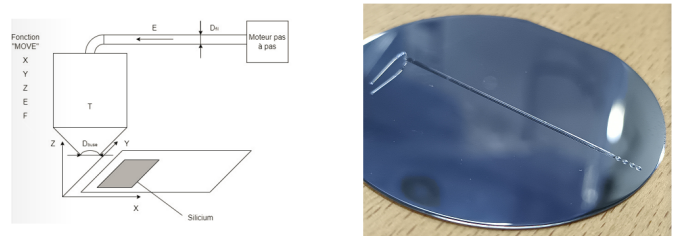


FIG. 1. Caractéristiques de l'impression - Guide d'onde sur wafer base de Si

## 3. CARACTÉRISATION DE L'ORGANIQUE

L'objectif de cette partie était de déterminer les propriétés mécaniques et optiques de notre organique.

### 3.1. Recherche biblio

Nom de l'organique : TPU "Polyuréthane Thermoplastique"

TABLEAU 1. Principales propriétés de l'organique

| Propriétés de l'organique | Densité ( $Kg/m^3$ ) | Transition vitreuse ( $^{\circ}C$ ) | Température de fusion ( $^{\circ}C$ ) | indice optique en fct de $\lambda$ |
|---------------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| TPU                       | 1210                 | 100                                 | 225                                   | inconnu                            |

### 3.2. Goutte pendante

Pour déterminer le comportement mécanique de notre organique, nous avons décidé d'utiliser la méthode de la goutte pendante. Cette expérience nous permettra de déterminer la tension de surface entre le TPU et l'air (environ  $30mN.m^{-1}$ ).

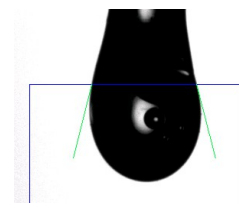


FIG. 2. Tension superficielle entre TPU et l'air

### 3.3. Méthode et caractérisation au point triple

Pour cette approche, nous avons fondue une partie de notre organique afin de déposer une goutte sur notre wafer de  $SiO_2$ . Nous obtenons un point triple et à partir de ce dernier, nous avons pu calculer la tension superficielle qu'il existe entre le TPU et le wafer de  $Si/SiO_2$ .

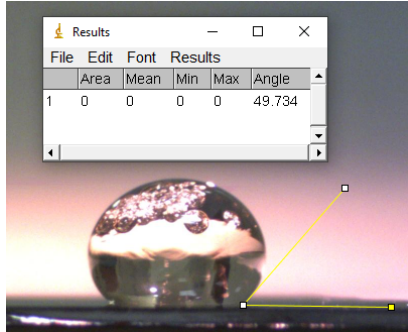


FIG. 3. Angle du TPU sur wafer  $Si/SiO_2$  au point triple dans de l'air

En effet, au point triple on peut calculer la valeur de  $\gamma_{SL}$  (S -> Solid -  $SiO_2$ ; L -> Liquid - TPU), en utilisant la valeur donnée par l'angle pris par la goutte de TPU fondue, et en utilisant l'équivalence avec la seconde loi de Newton projetée :

$$\gamma_{SL} = \gamma_S - \gamma_L \cdot \cos(\theta)$$

$$\gamma_{SL} = 49.4 - 30 \cdot \cos((180 - 49.7)) = 68.8 \text{ mN.m}^{-1}$$

Cette valeur de tension superficielle renseigne sur le comportement mécanique de la matière molle lorsqu'elle interagira avec le support de silicium.

## 4. ANALYSE DES PROPRIÉTÉS DE NOTRE GUIDE

### 4.1. Caractérisation de la forme

La figure ci-dessous est issue d'une caméra optique imageant le champ de section du guide après propagation sur plus d'un centimètre. Elle nous a permis d'accéder à la forme des sections de notre guide après impression, ainsi nous pourrions par la suite comparer la forme de notre impression à la théorie qui pourra être développée grâce aux mesures de tensions de surface.

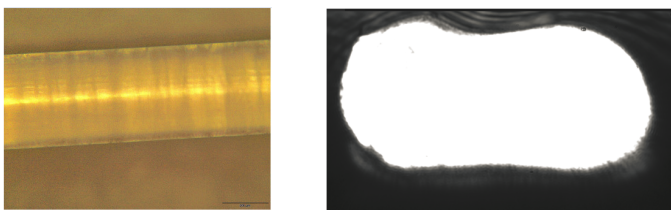


FIG. 4. Imagerie du guide planaire vu de dessus - vu de section par propagation de la lumière ( $\lambda = 800 \text{ nm}$ )

### 4.2. Tracé de la courbe de dispersion

A l'aide d'une mesure par ellipsométrie, nous avons pu déterminer les indices partie réelle et imaginaire de notre organique le TPU.

En bleu, on observe l'indice optique  $n$  (partie réelle) en fonction de la longueur d'onde dans le domaine du visible, et on

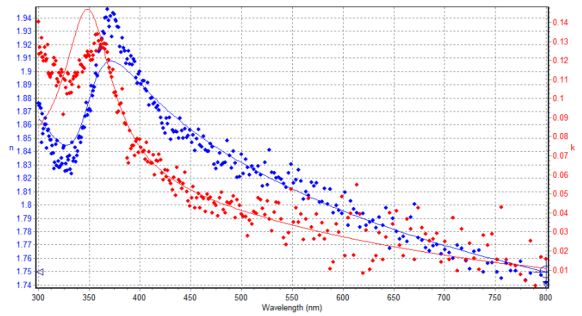


FIG. 5. Courbe de dispersion du TPU partie réel puis imaginaire

observe en rouge  $k$ , qui correspond à la partie imaginaire de la fonction de transfert de notre organique et nous renseigne sur l'absorption de la lumière en fonction de la longueur d'onde. Ainsi en obtenant la partie réelle et imaginaire de la courbe de dispersion, nous aurons précisément la vitesse de notre flux lumineux ( $\frac{c}{n}$ ), ainsi que la manière dont il sera atténué, par rapport à sa longueur d'onde ou en fonction du type de lumière. Des analyses Raman du TPU ont également été réalisées, elles nous renseignent sur la signature moléculaire de l'organique déposé.

## 5. CONCLUSIONS

Après la prise en main de l'espace d'impression, notre objectif premier était de réaliser une série de guides d'ondes. Nous avons réalisé une caractérisation des propriétés relatives à notre guide d'onde et extrait des informations optiques et mécaniques sur l'état de notre organique une fois fondue.

L'objectif aujourd'hui est de répondre aux besoins de l'intégration d'une photonique ainsi de diminuer notre impact écologique sur notre production et consommation, l'impression de photonique intégrée par imprimante 3D est une alternative prometteuse et très peu chères permettant la réalisation de guide planaires propageant la lumière.

Ce travail amènera à la réalisation d'autres motifs microscopiques plus complexes en terme de fonctions, tout en assurant un contrôle de la forme de notre impression et donc du rendu de la photonique intégrée imprimée par impression 3D.

## 6. REMERCIEMENTS

Je souhaite remercier Sylvain Pernot qui m'a accompagné et aidé dans la compréhension de l'interface de l'imprimante 3D, ainsi que Christophe Levallois et Arnaud Saint-James pour leur aide dans les mesures de tensions superficielles et les relevés par ellipsométrie. Un grand merci à Bruno Bêche, un maître de stage avec une qualité humaine non-égalable.

## 7. RÉFÉRENCES

- [1] F. Brochard-Wyart, D. Guéré, « Gouttes, bulles, perles et ondes », Ed. Belin, 2005.
- [2] M. Yonger, « Dynamique du mouillage pseudo-partiel de la silice par fondus de polymère. », in HAL Id : tel-01446532 <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01446532> Submitted on 26 Jan 2017
- [3] L. Lucas & N. Eustathopoulos, E. Ricci et B. Drevet, Techniques de l'ingénieur, " Tension Superficielle ", Réf : M67 V1 & M67 V2, 10 juillet 1984 & 10 mars 1999
- [4] A. Zebda, H. Sabbah, S. Ababou-Girard, F. Solal, C. Godet, « Surface energy and hybridization studies of amorphous carbon surfaces », Volume 254, Issue 16, 15 June 2008, Pages 4980-4991