

‘Femtocast’

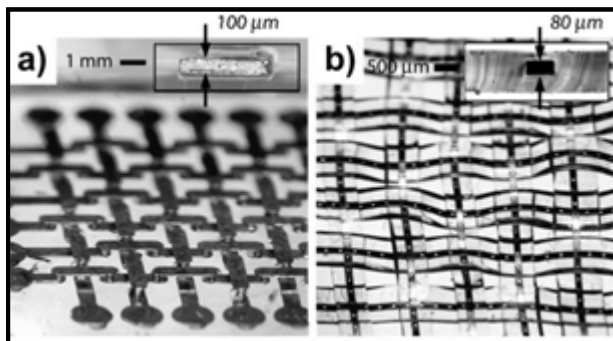
‘La micro-fonderie des métaux nobles’

Yves Bellouard, Andreas Mortensen



Comment fabriquer des pièces métalliques 3D de formes arbitraires et ayant des résolutions (sub-) micrométriques ?

‘Micro-solidics’



George Whitesides, Harvard, 2007

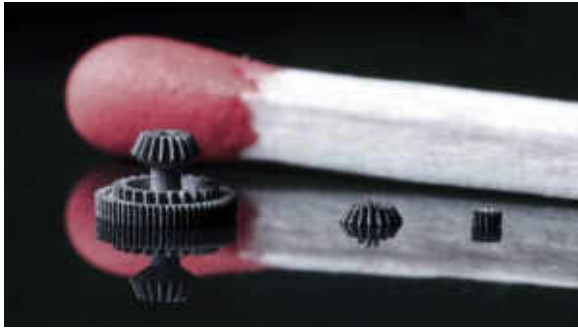


Feng Chen Group @ Xi'an Jiaotong University, China (2014)

Métaux bas point de fusion
(Ga,...) injectés dans des canaux

Comment fabriquer des pièces métalliques 3D de formes arbitraires et ayant des résolutions (sub-) microniques ?

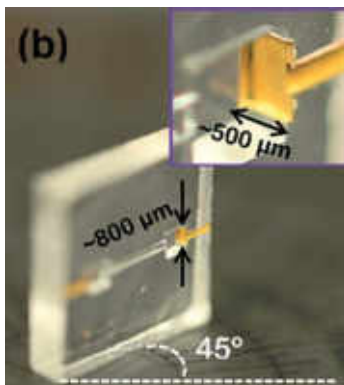
'Impression 3D' / Frittage laser



Source: 3D-Micromac AG

Limité en résolution
(tailles des poudres)
Procédé lent
Etape(s) supplémentaire(s)
d'usinage

Comment fabriquer des pièces métalliques 3D de formes arbitraires et ayant des résolutions (sub-) microniques ?



K. Sugioka, Riken (2015)

Mimotec (2014)



**Métallisation sans
electrode**

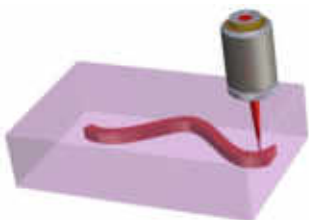
Qualité de surface médiocre /
Usinages supplémentaires

Dépôt galvanique

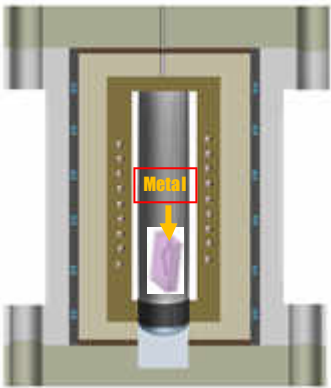
Choix limités de métaux /
Contraintes de design (2.5D)

Notre idée : Combiner l’infiltration de métaux avec l’impression 3D dans le verre par usinage femtoseconde

Etape 1 / Exposition par laser femtosecondes



Etape 2 / Attaque chimique



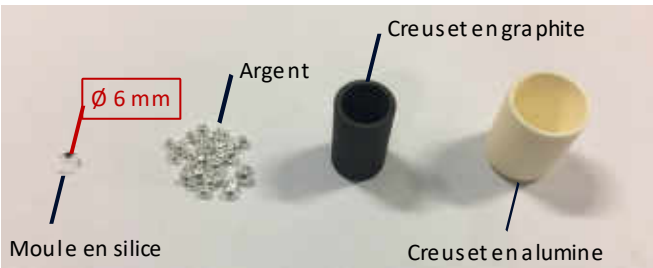
Etape 3 / Le métal est infiltré sous pression dans les cavités imprimées 3D

Notre idée : Combiner l’infiltration de métaux avec l’impression 3D dans le verre par usinage femtoseconde



Etape 1 – ‘définition d’un volume 3D’ /
Impression par lasers femtosecondes

Permet la création de pièces *tri-dimensionnelles* complexes avec potentiellement une résolution *sub-micronique*

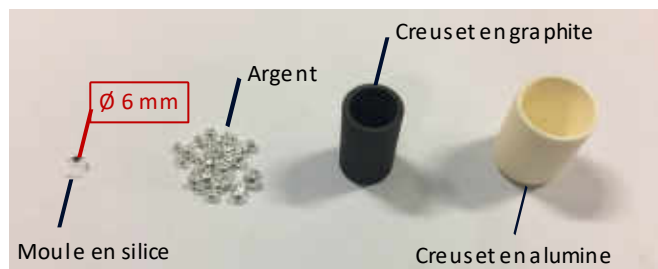


Notre idée : Combiner l'infiltration de métaux avec l'impression 3D dans le verre par usinage femtoseconde



Etape 2 – 'formation de cavités 3D' / Attaque chimique (HF ou KOH)

Permet la création de pièces *tri-dimensionnelles* complexes avec potentiellement une résolution *sub-micronique*

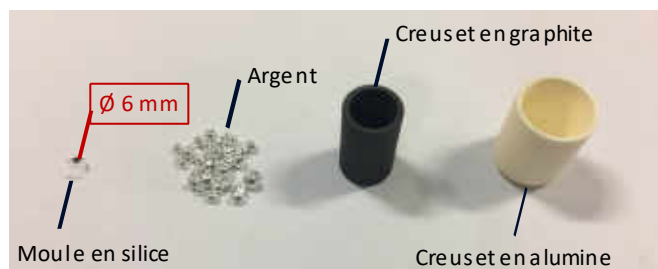


Notre idée : Combiner l'infiltration de métaux avec l'impression 3D dans le verre par usinage femtoseconde



Etape 3 – Charge métallique / L'échantillon est placé dans une chambre sous vide (1 mBar)

Permet la création de pièces *tri-dimensionnelles* complexes avec potentiellement une résolution *sub-micronique*

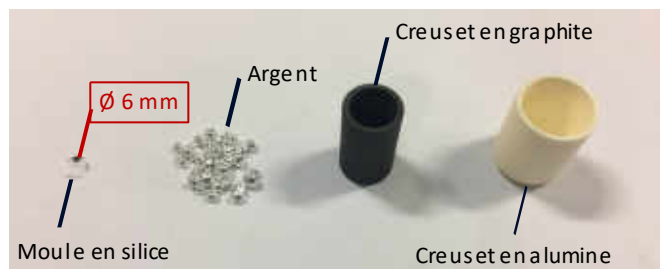


Notre idée : Combiner l'infiltration de métaux avec l'impression 3D dans le verre par usinage femtoseconde

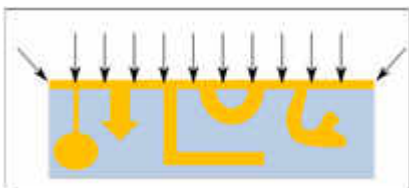


Etape 4 – Le métal est amené à son point de fusion / $T > 1000^{\circ}\text{C}$

Permet la création de pièces *tri-dimensionnelles* complexes avec potentiellement une résolution *sub-micronique*

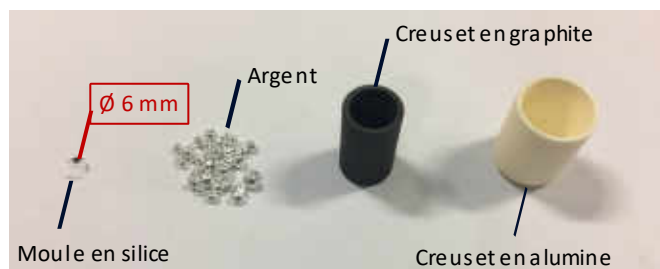


Notre idée : Combiner l'infiltration de métaux avec l'impression 3D dans le verre par usinage femtoseconde

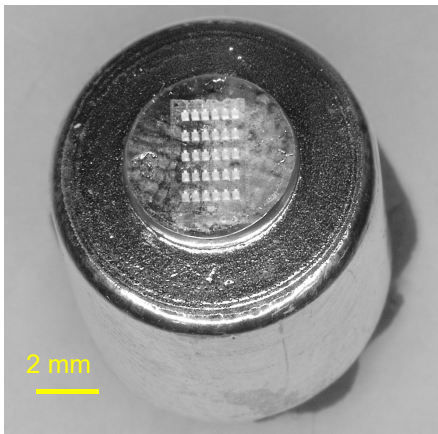


Etape 5 – Mise sous pression / gaz (Ar) sous pression à 100 bar (10 MPa)

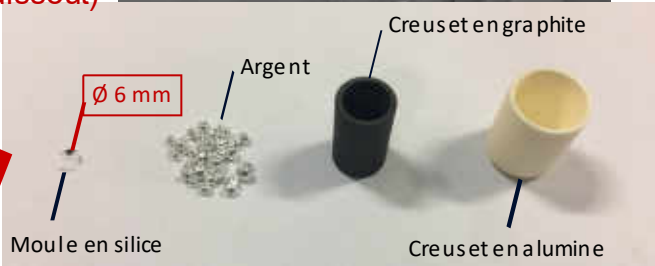
Permet la création de pièces *tri-dimensionnelles* complexes avec potentiellement une résolution *sub-micronique*



Notre idée : Combiner l’infiltration de métaux avec l’impression 3D dans le verre par usinage femtoseconde

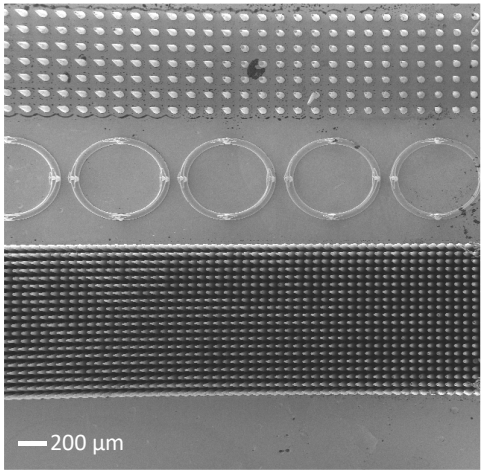


Microscopie électronique
(le substrat a été dissout)

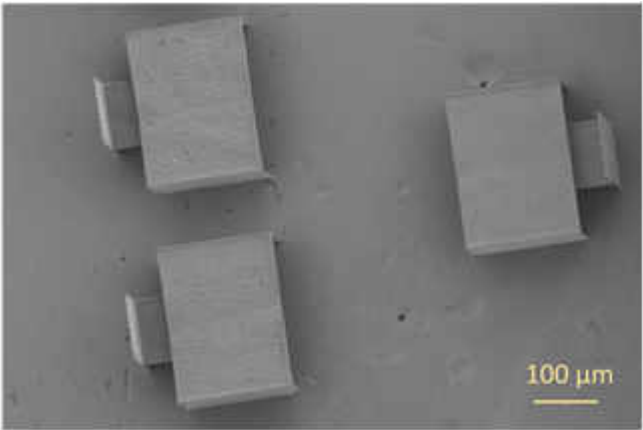


infiltration

Caractérisques...

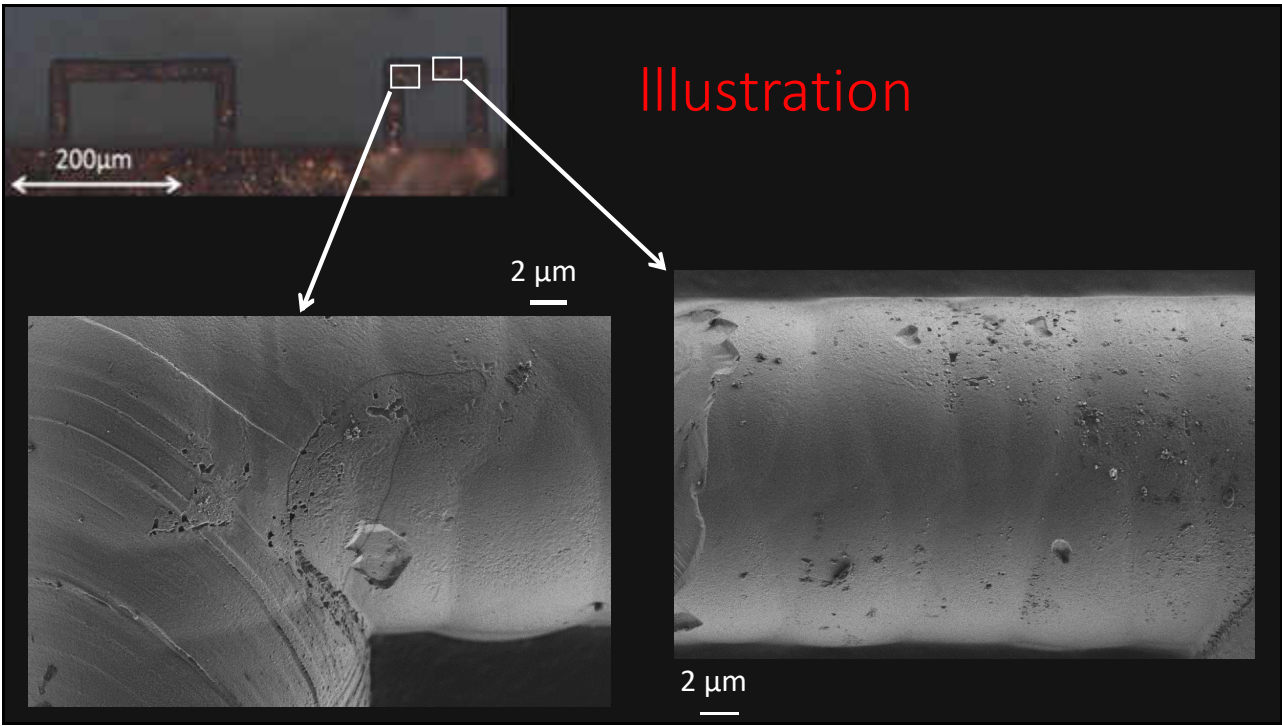
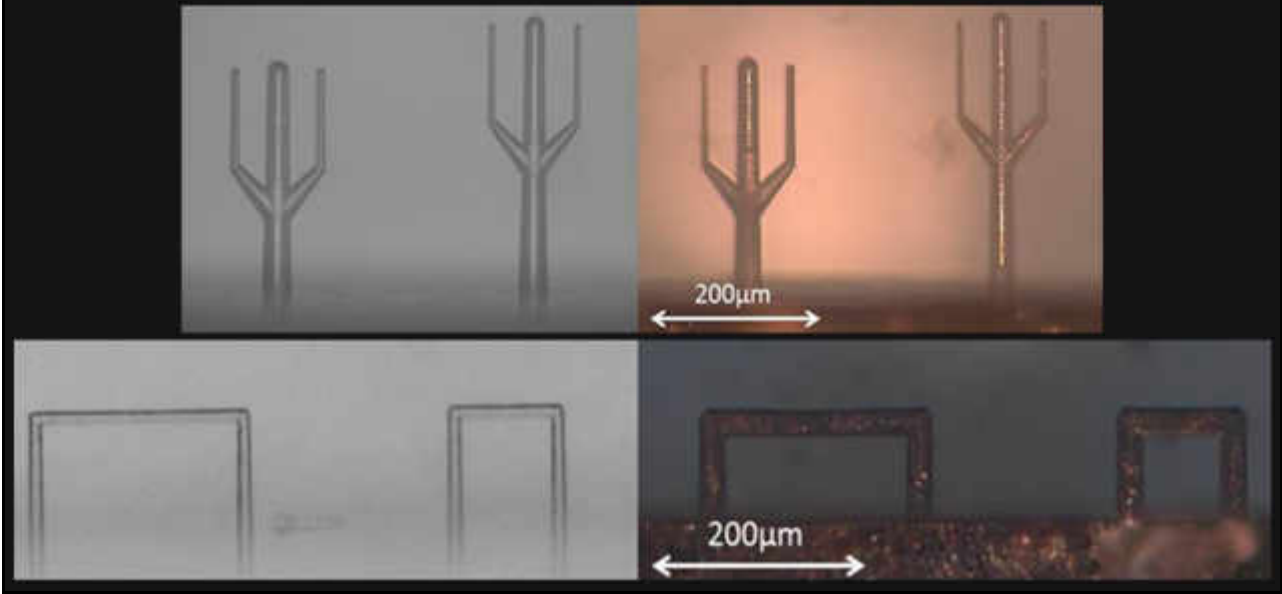


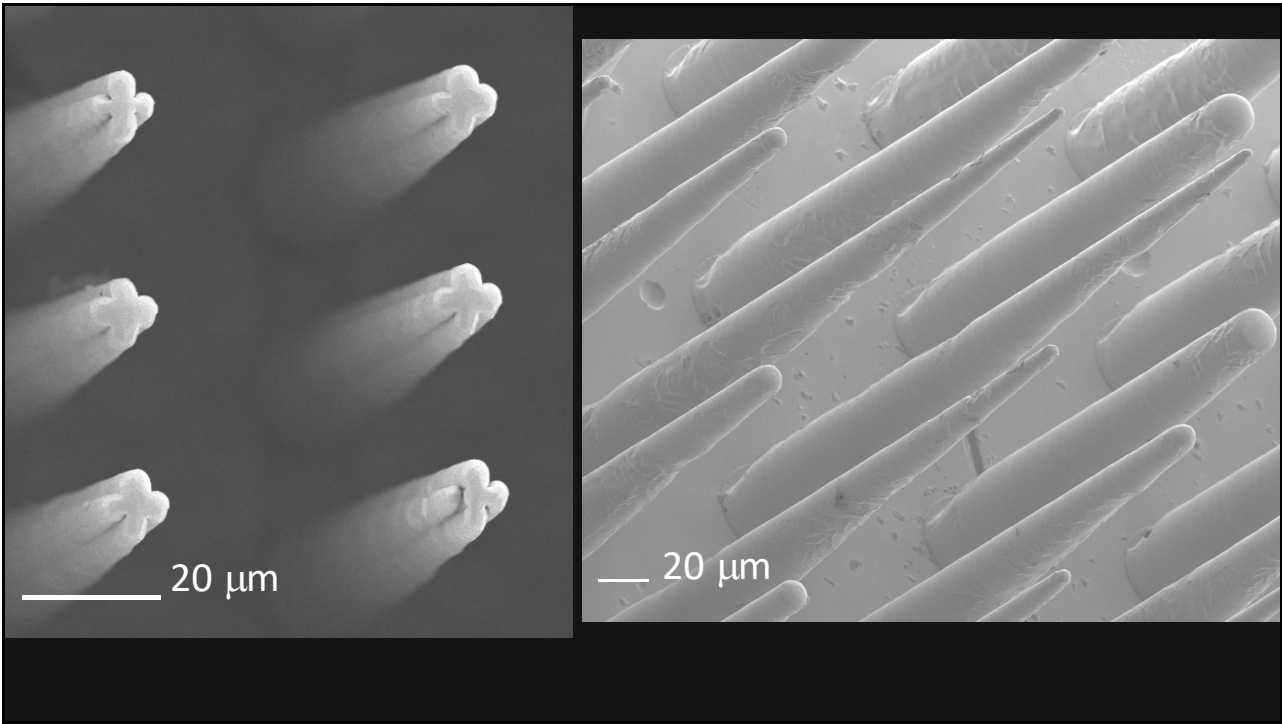
Surface arbitraire (‘scalable’)



Objets réellement tri-dimensionnels
Résolution micronique (voire sub-micronique)
Nouveaux types d’objets: volume métallique arbitraire intégré dans le verre ou libre
Démonstré pour du cuivre pur, de l’argent pur et leurs alliages

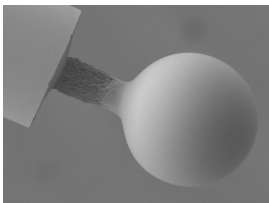
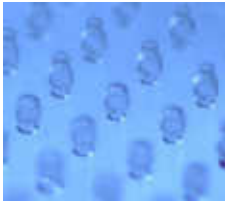
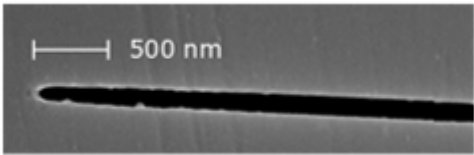
Illustration: formes non-triviales en Cuivre





Potentiel du procédé: Usinage par laser femtosecondes

- **Dépasser la limite de diffraction:** échelles nanométriques (absorption non-linéaire par procédé ‘multi-photons’)
- Grands **aspects de forme** possibles après attaque chimique (>1:300)
- Formes **tri-dimensionnelles** complexes
- Pas de limite sur la taille des substrats
- Rugosité Ra < 200 nm ou moins (‘morphing’)

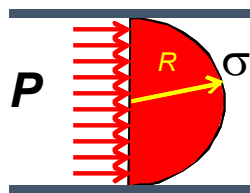


Potential du procédé: Infiltration sous pression

- **Substrat avec de grands aspects de forme contenant des cavités 3D** avec des résolutions **sub-micronique** et capable de tenir des hautes températures (>1200 deg. C)
- Tension de surface des métaux ($\sigma \approx 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$) nécessite **10 MPa** pour infiltrer un canal de **100 nm** ($P \approx \sigma/R$)

$$P \approx R^{-1} \text{ MPa}$$

(avec R en μm)



*La combinaison de l'usinage femtoseconde par laser et de l'infiltration sous pression peut nous permettre de produire des pièces **métalliques 3D** avec une résolution de **0.1 μm***

Potentiel innovatif du procédé **FemtoCast**

FemtoCast

- Structures 3D arbitraires
- Résolution (sub-) micronique
- Métaux et alliages de grandes valeurs
- Composites métal / verre

Applications

Microélectrodes 3D
dans un verre

Vias 3D dans matériaux
diélectriques

Ornements

Optique intégrée /
composants optiques

...

Marchés potentiels

Medtech

Capteurs

HF/ HV &
Electroniques

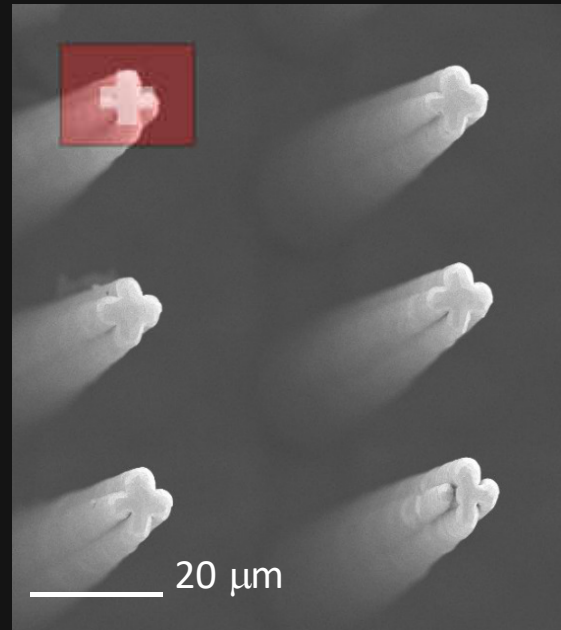
Luxe /
Horlogerie

Nouvelles
sources lasers,
optique

...

Résumé

- Procédé de fabrication **3D de métaux industriels**
- Démontré pour l'argent, le cuivre et leurs alliages
- Nouvelles structures composites Verre / Métal



L'équipe FemtoCast

Sacha Pollonghini, Enrico Casamenti

Yves Bellouard

*Microfabrication laser,
Microtechnique, Optique*

Institute of Microengineering

**Raphaël Charvet, Cyril Dénéreaz,
Luciano Borasi, Léa Deilon**

Andreas Mortensen

*Science des matériaux,
Métallurgie, Infiltration,
solidification*

Institute of Materials



