

The logo for ULCO (Université Littoral-Côte d'Opale) is displayed in white text on a blue square background. The letters 'u', 'l', and 'c' are lowercase, while 'o' is uppercase. A white wave-like line passes through the 'l' and 'c'.

Photo-inscription par laser de guides d'ondes optiques dans les verres chalcogénures

Pascal Masselin

Lab. Physico-Chimie de l'Atmosphère,
Université du Littoral-Côte d'Opale, France

Technique de photo-inscription de guide d'onde par laser à impulsion ultra-brève

- Apparue il y a plus de 20 ans

November 1, 1996 / Vol. 21, No. 21 / OPTICS LETTERS 1729

Writing waveguides in glass with a femtosecond laser

K. M. Davis, K. Miura, N. Sugimoto, and K. Hirao

*Hirao Active Glass Project, Exploratory Research for Advanced Technology, Research Development Corporation of Japan,
15 Mori Moto-Cho, Shimogamo, Sakyo-Ku, Kyoto 606, Japan*

Received May 6, 1996

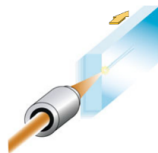
With the goal of being able to create optical devices for the telecommunications industry, we investigated the effects of 810-nm, femtosecond laser radiation on various glasses. By focusing the laser beam through a microscope objective, we successfully wrote transparent, but visible, round-elliptical damage lines inside high-silica, borate, soda lime silicate, and fluorozirconate (ZBLAN) bulk glasses. Microellipsometer measurements of the damaged region in the pure and Ge-doped silica glasses showed a 0.01–0.035 refractive-index increase, depending on the radiation dose. The formation of several defects, including Si E' or Ge E' centers, nonbridging oxygen hole centers, and peroxy radicals, was also detected. These results suggest that multiphoton interactions occur in the glasses and that it may be possible to write three-dimensional optical circuits in bulk glasses with such a focused laser beam technique. © 1996 Optical Society of America

Technique de photo-inscription de guide d'onde par laser à impulsion ultra-brève

- Apparue il y a plus de 20 ans
- Consiste à focaliser une impulsion ultra-brève dans un matériau pour induire une variation localisée de l'indice de réfraction (Δn)
- Appliquée dans une grande variété de matériaux (polymère, cristaux, verres, ...)

Géométrie d'inscription

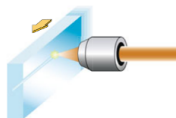
Géométrie longitudinale



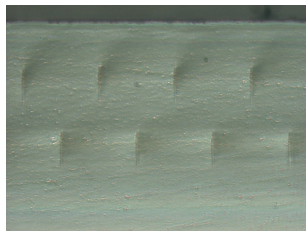
- Haut degré de symétrie de Δn
- Longueur limitée par la distance de travail de l'optique de focalisation

Géométrie d'inscription

Géométrie transversale



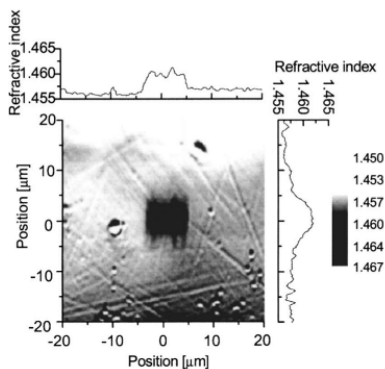
- Utilisable pour tout type de matériaux
- Longueur n'est pas limitée
- Faible symétrie de Δn



Exemples de réalisation

Silice

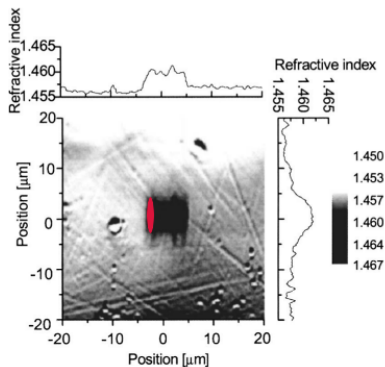
- Géométrie transversale
- 1 kHz, faible énergie
- Technique “multiscan”
- 0,1 dB/cm



Exemples de réalisation

Silice

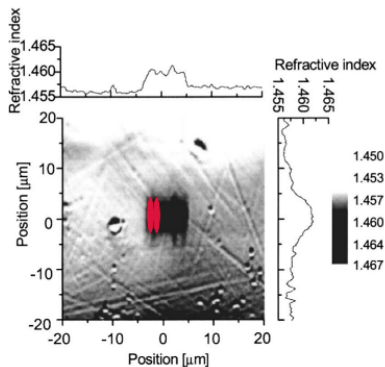
- Géométrie transversale
- 1 kHz, faible énergie
- Technique “multiscan”
- 0,1 dB/cm



Exemples de réalisation

Silice

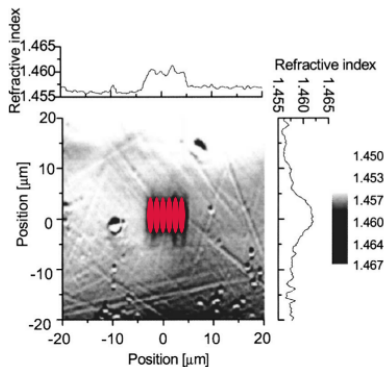
- Géométrie transversale
- 1 kHz, faible énergie
- Technique “multiscan”
- 0,1 dB/cm



Exemples de réalisation

Silice

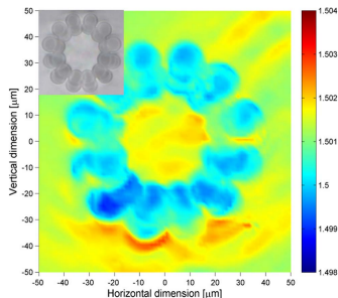
- Géométrie transversale
- 1 kHz, faible énergie
- Technique “multiscan”
- 0,1 dB/cm



Exemples de réalisation

ZBLAN dopé aux ions de terre rare

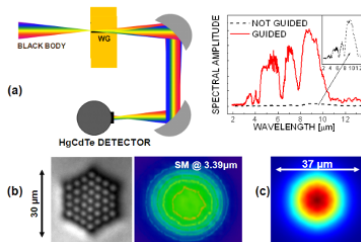
- Géométrie transversale
- MHz, faible énergie
- 0,22 dB/cm



Exemples de réalisation

Verre chalcogénure : $\text{Ge}_{15}\text{As}_{15}\text{S}_{70}$

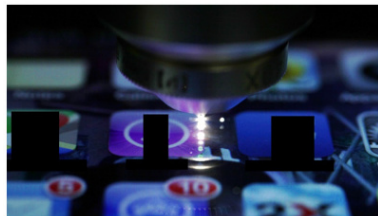
- Géométrie longitudinale
- 100 kHz
- 1 dB/cm ($\lambda = 3,39 \mu\text{m}$)



Exemples de réalisation

Gorilla Glass Corning

- Géométrie transversale
- 300 - 1000 kHz
- 0.053 dB/cm

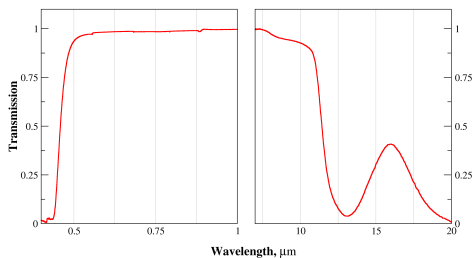


Composition utilisée :

90 [80GeS₂–20Ga₂S₃] - 10 CsCl

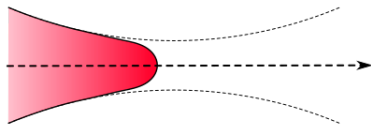
- Transparent jusque 10 μm
- Indice de réfraction non-linéaire très élevé :

$$n_2 = 2.57 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \cdot \text{GW}^{-1}$$



Propagation d'impulsion femtoseconde

- Très forte auto-focalisation du faisceau



- Comme le diamètre diminue, l'intensité augmente
⇒ La probabilité d'ionisation multi-photonique augmente

- Plasma induit une variation transitoire de l'indice de réfraction :

$$\Delta n_p = -\frac{\rho(t)}{2\rho_c}$$

où ρ = densité de charge

- Plasma induit une variation transitoire de l'indice de réfraction :

$$\Delta n_p = -\frac{\rho(t)}{2\rho_c}$$

où ρ = densité de charge

- Signe négatif \implies Défocalisation

Propagation d'impulsion femtoseconde

- Plasma induit une variation transitoire de l'indice de réfraction :

$$\Delta n_p = -\frac{\rho(t)}{2\rho_c}$$

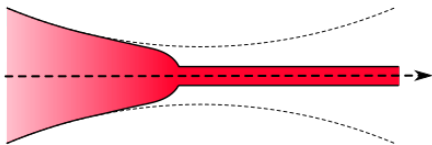
où ρ = densité de charge

- Signe négatif \implies Défocalisation

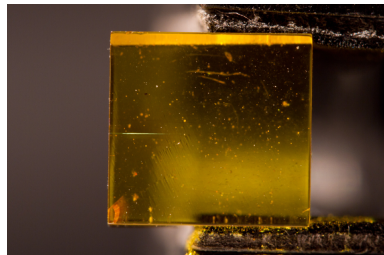
$\longrightarrow \exists$ Compétition entre ces deux effets !

Propagation d'impulsion femtoseconde

Cependant \exists une condition d'équilibre portant sur l'intensité

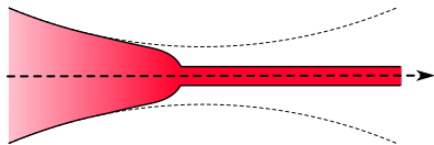


→ Formation d'un filament



Propagation d'impulsion femtoseconde

Cependant \exists une condition d'équilibre portant sur l'intensité



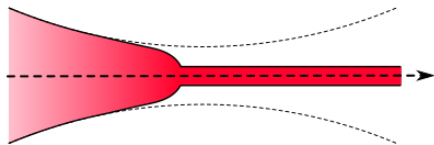
Conséquences sur le processus d'inscription

- Self mode cleaning

→ Symétrie axiale de Δn

Propagation d'impulsion femtoseconde

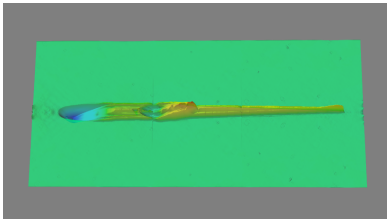
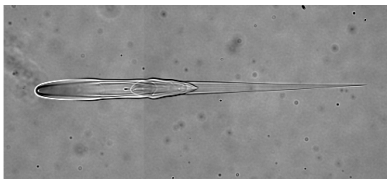
Cependant \exists une condition d'équilibre portant sur l'intensité



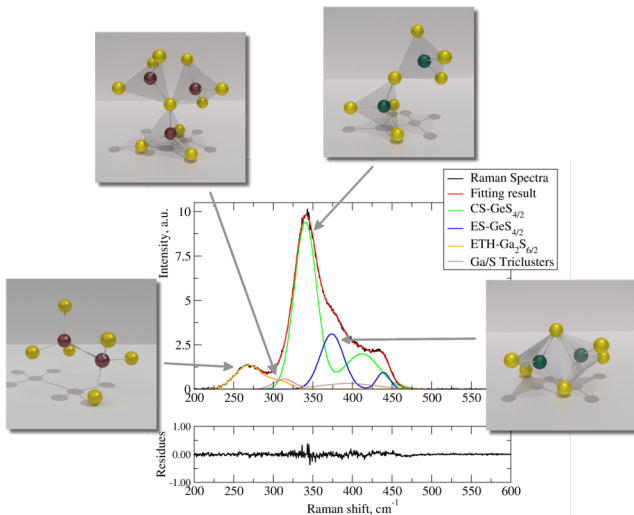
Conséquences sur le processus d'inscription

- Self mode cleaning
 - Symétrie axiale de Δn
- Verrouillage de l'intensité
 - Immunité vis à vis des fluctuations du laser
 - Homogénéité
 - Diamètre fixe du filament

Irradiation statique avec un taux de répétition de 76 MHz



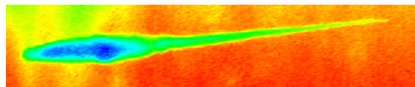
Spectre Raman de la matrice non-irradiée : [80GeS₂ – 20Ga₂S₃]



Analyse μ -Raman 2D

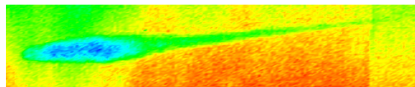
Tétraèdre GeS_4 partageant un sommet

0.904 0.943 0.982 1.02



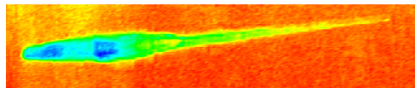
Tétraèdre GeS_4 partageant une arête

0.927 0.962 0.997 1.03



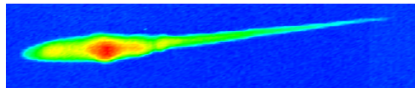
Unité de type éthane Ga_2S_3

0.865 0.916 0.968 1.02

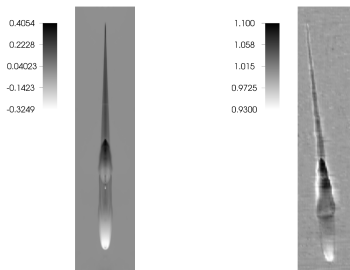


Tricluster $[\text{GaS}_{1/3}\text{S}_{3/p}]_3$

0.944 1.30 1.65 2.00



- $\Delta n > 0$ lié à l'augmentation du nombre de triclusters
- $\Delta n < 0$ est concomitant avec la diminution de l'intensité Raman totale



- $\Delta n > 0$ lié à l'augmentation du nombre de triclusters
- $\Delta n < 0$ est concomitant avec la diminution de l'intensité Raman totale
- $\Delta n < 0$ possiblement attribuable à la présence de nanopores comme dans la silice

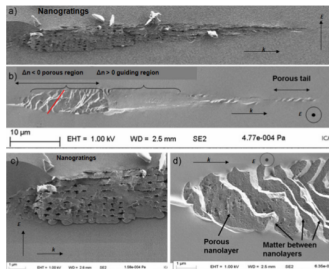
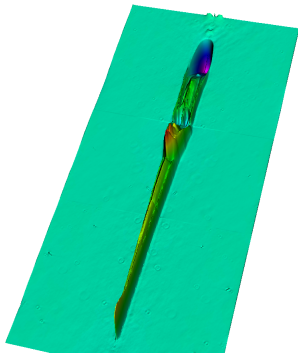


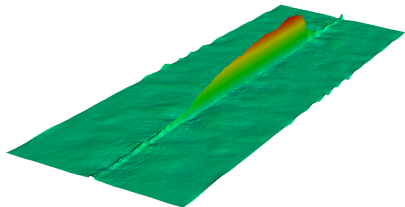
Fig. 4. FEG-SEM. Secondary electron images of laser tracks cross-section for each writing laser polarisation. The laser parameters were: 0.5 μJ/pulse, 1030 nm, 300 fs, 200 kHz, 200 μm/s. A focusing lens of 0.5 NA was used. With the laser polarisation perpendicular (a) and parallel (b) to the scanning direction. (c) and (d) show close-ups of the nanograting and nanoplane regions respectively.

Influence du taux de répétition du laser (Exposition statique)

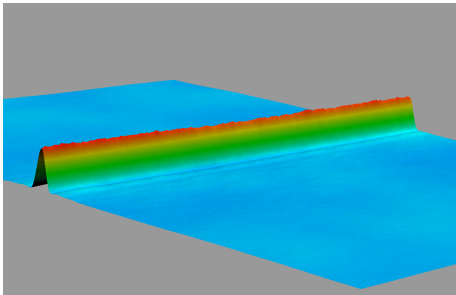
76 MHz



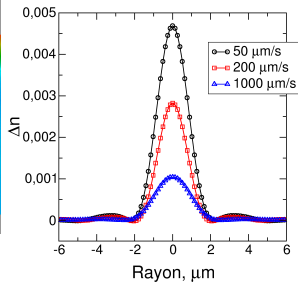
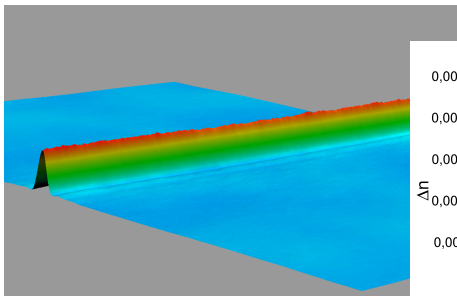
200 kHz



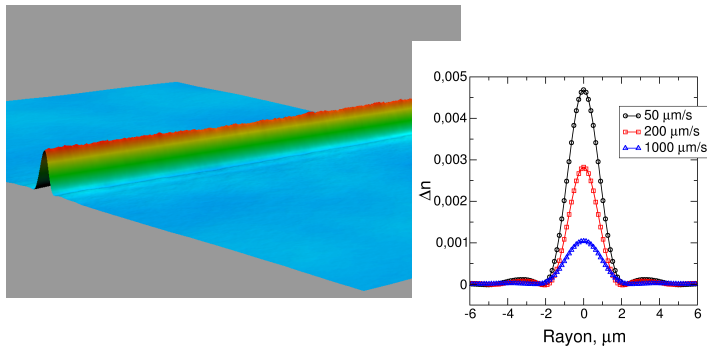
Translation longitudinale de l'échantillon



Translation longitudinale de l'échantillon

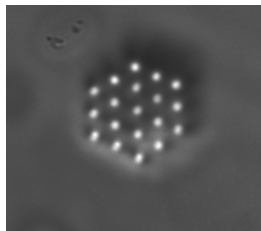
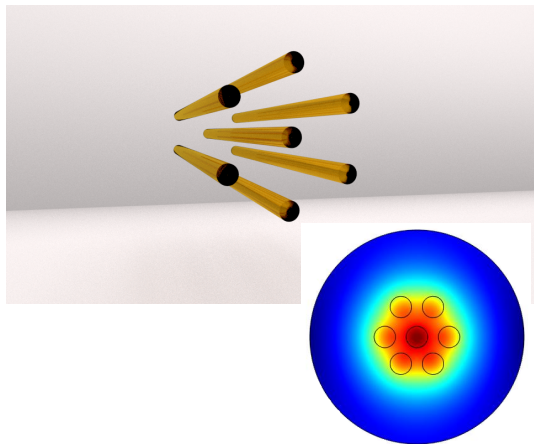


Translation longitudinale de l'échantillon



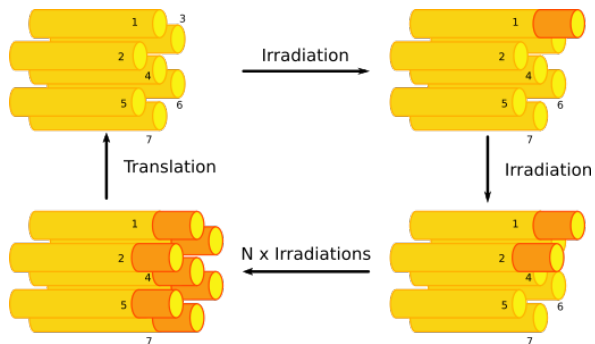
Comment contrôler le rayon ?

- Approche multicoeur

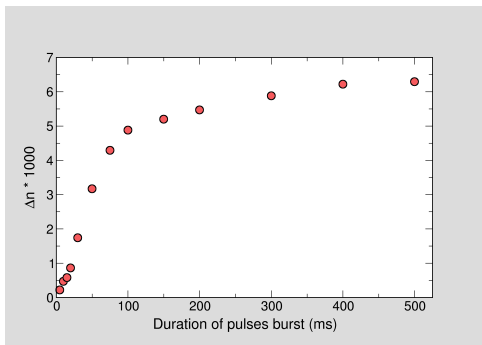


- Procédure d'inscription

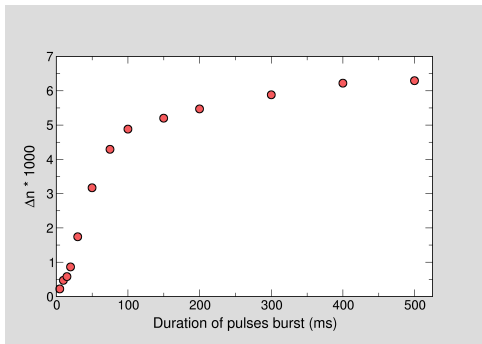
→ Exposition statique à une rafale d'impulsions



- Le rôle de la durée de la rafale d'impulsions

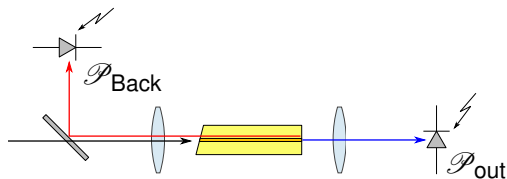


- Le rôle de la durée de la rafale d'impulsions



Contrôle simple et total des dimensions
et de l'amplitude de Δn

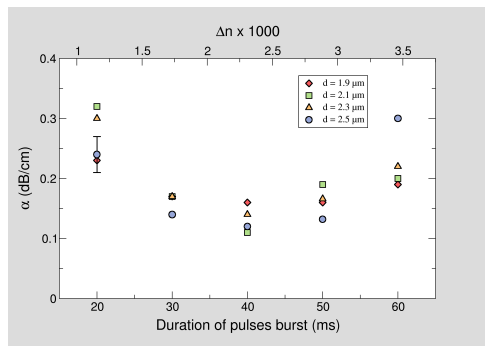
- Méthode du faisceau réfléchi



$$\alpha = \frac{1}{L} \log \left[\frac{\mathcal{P}_{\text{out}} \cdot (1 - T_{w-a}) \cdot T_{\text{BS}}}{\mathcal{P}_{\text{Back}}} \right] \quad (1)$$

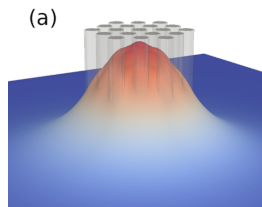
- Mesures des pertes de propagation

Longueur de l'échantillon = 3.1 cm

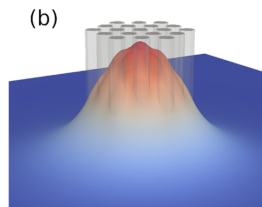


Evaluation des performances

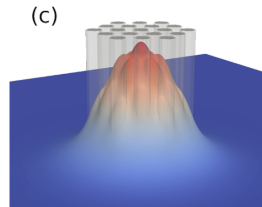
- Calcul du mode guidé



$\Delta n = 0.002$

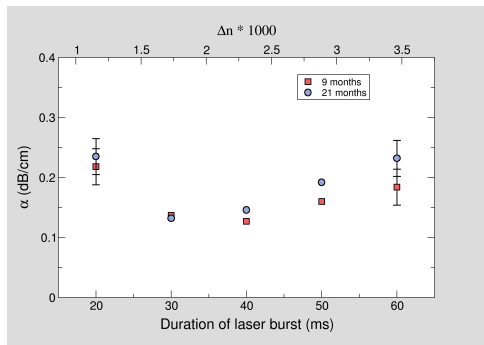


$\Delta n = 0.004$



$\Delta n = 0.007$

- Stabilité temporelle



Conclusions

- Méthode innovante et des résultats compétitifs
- Nouvelles fonctionnalités
- Ouverture vers le moyen infrarouge

Remerciements



Eugène Bychkov
LPCA, Université du Littoral
Côte d'Opale



David Le Coq
EVC-ISCR, Université de
Rennes



CPER P4S

