

CINETIQUE DE FORMATION DES RESEAUX DE BRAGG DANS LES FIBRES DE TELECOMMUNICATION STANDARD HYPERSENSIBILISEES

M. Lancry, P. Niay, M. Douay, B. Poumellec*

Laboratoire de Physique des Lasers, Atomes et Molécules, Unité mixte de recherche 8523,
Université des Sciences et Techniques de Lille, Bâtiment P5, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France
matthieu.lancry@phlam.univ-lille1.fr

* Laboratoire de Physico-Chimie de l'Etat Solide. Université Paris Sud, Orsay, France

RESUME

Un procédé d'augmentation de la photosensibilité des fibres optiques et des guides planaires germanosilicates consiste à charger ces composants en hydrogène, à les insoler uniformément puis à faire diffuser l'hydrogène à l'extérieur du composant. L'inscription d'un réseau de Bragg dans la zone pré insolée se révèle plus efficace que si elle est réalisée dans une partie vierge. Dans cette présentation, nous nous proposons d'étudier les mécanismes de cette photosensibilisation.

1. INTRODUCTION

L'hypersensibilisation au moyen d'une insolation UV uniforme d'une fibre optique germanosilicate hydrogénée suivie de la désorption accélérée de l'hydrogène résiduel a montré son efficacité pour verrouiller la photosensibilité des fibres [1]. Un schéma réactionnel à deux réactions successives du premier ordre $A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} C$ a tout d'abord été proposé pour expliquer le mécanisme de la présensibilisation et rendre compte de ses propriétés [2]. Dans ce schéma, une espèce B est formée en présence d'hydrogène à partir d'une espèce A lors de l'insolation uniforme. On suppose que la réaction $A \xrightarrow{k_1} B$ est inopérante au cours de la post-insolation (écriture du réseau) et que B est transformée en une espèce C. La modulation d'indice est supposée proportionnelle à la concentration des espèces C [2]. Selon ce schéma réactionnel, la concentration en espèces C augmente avec la durée t d'inscription selon une loi de croissance mono-exponentielle saturée. La deuxième étape du modèle a été récemment précisée afin d'expliquer pourquoi, dans les expériences présentées en [3] (hypersensibilisation et inscription réalisées avec un laser UV continu), la modulation d'indice n'augmente pas avec la durée t d'inscription selon une loi de croissance mono-exponentielle saturée mais selon une loi du type (1) [3]:

$$\Delta n = n_1 t + n_2 (1 - e^{-kt}) \quad (1)$$

Dans ce nouveau schéma, la transformation de l'espèce B en C libère de l'hydrogène qui devient disponible pour catalyser la réaction de $A \rightarrow B$.

Cependant, dans ces schémas, aucune hypothèse n'a été formulée sur le nombre de photons mis en jeu lors du processus d'absorption associé à la réaction $B \rightarrow C$ lorsque l'insolation est réalisée avec un laser à impulsions. Ce nombre de photons conditionne l'évolution de la photosensibilité initiale ($\frac{d(\Delta n)}{dt} \quad t \rightarrow 0$) avec la densité d'énergie par impulsion après la photosensibilisation. Notre objectif consiste donc à déterminer le nombre de photons mis en jeu dans le processus d'absorption en enregistrant les cinétiques de croissance des variations d'indice de réfraction en fonction de la densité d'énergie par impulsion utilisée pour inscrire les réseaux.

2. DETAILS EXPERIMENTAUX

Les expériences ont été réalisées dans une fibre standard de télécommunication (SMF28, Corning). Les insolutions ont été effectuées à l'aide d'un laser pulsé à KrF ($\lambda_p=248$ nm). Les nombres d'impulsions choisis pour réaliser l'hypersensibilisation UV ont été fixés à $N_{pré} = 20000$ ($\lambda_p=248$ nm; $F_{pré}=220$ mJ/cm²). Le dégazage de l'hydrogène a ensuite été accéléré en plaçant la fibre dans un four à 110°C durant trois jours. Des réseaux de Bragg de longueur 1 mm ou 4 mm ont été inscrits à l'aide d'un masque de phase (Lasiris, pas = 1061 nm) dans les fibres hypersensibilisées. La longueur d'onde de résonance de Bragg est située aux environs de

1535 nm. Le paramètre de l'expérience est la densité d'énergie par impulsion F_i incidente sur le coeur de la fibre lors de l'inscription des réseaux ($30 \text{ mJ/cm}^2 \leq F_i \leq 280 \text{ mJ/cm}^2$). Nous avons vérifié la reproductibilité de nos mesures en effectuant deux fois chaque inscription.

Méthode de sensibilisation	$N_{\text{pré}}$	$F_{\text{pré}}$	Conditions de dégazage	F_i
Hypersensibilisation ($\lambda_p = 248 \text{ nm}$)	20000	220 mJ/cm^2	3 jours à 110°C	30, 90, 130, 170, 230, 280 mJ/cm^2

Tab. 1 : Conditions de sensibilisation des fibres SMF 28 et d'inscription des réseaux

Les spectres en transmission des fibres ont été enregistrés au cours de l'inscription à l'aide d'un laser accordable (Tunics, Photonetics SA) et d'un mesureur de puissance (RIFOCS inc. 575 L). Les mesures de la réflectivité R et de la longueur d'onde de résonance de Bragg (λ_B) permettent de déterminer les amplitudes de modulation d'indice Δn_{mod} et d'indice moyen Δn_{moy} . La précision des mesures de R et λ_B est estimée respectivement à 1 % et 10 pm.

3. RÉSULTATS

L'évolution de l'amplitude de modulation d'indice de réfraction du coeur de la fibre est représentée sur les figures 1 ($L = 4 \text{ mm}$) et 2 ($L = 1 \text{ mm}$) en fonction du nombre d'impulsions incidentes N_i ($\lambda_p = 248 \text{ nm}$). Les conditions de l'insolation sont rappelées dans la légende de cette figure. Les variations photo induites d'indice moyen atteignent des valeurs de l'ordre de grandeur de la différence des indices de réfraction entre le coeur et la gaine de la fibre optique. De ce fait, nous avons corrigé par une méthode itérative les amplitudes des variations d'indice de réfraction. Ces valeurs corrigées sont celles présentées sur les figures 1 et 2. Les évolutions de Δn_{mod} sont monotones croissantes en fonction de N_i . Une tendance à la saturation apparaît pour un nombre d'impulsions assez faible (N_i inférieur à 50 000). Par ailleurs, les cinétiques en fonction de la fluence cumulée ont d'autant plus rapides que la valeur de F_i est élevée.

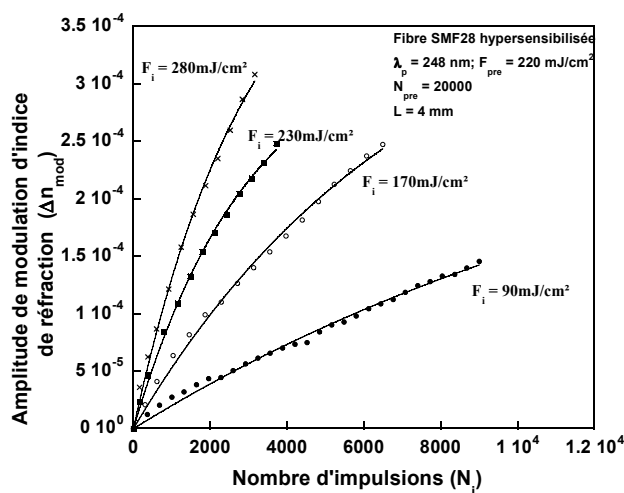


Fig. 1 : Evolution de Δn_{mod} au cours de l'inscription ($\lambda_p = 248 \text{ nm}$) de réseaux de Bragg ($L = 4 \text{ mm}$) dans la fibre SMF 28 hypersensibilisée par UV

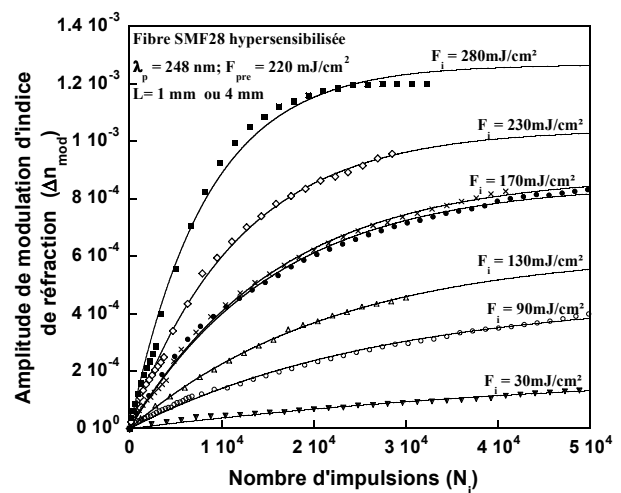


Fig. 2 : Evolution de Δn_{mod} au cours de l'inscription ($\lambda_p = 248 \text{ nm}$) de réseaux de Bragg ($L = 1 \text{ mm}$) dans la fibre SMF 28 hypersensibilisée par UV

Les cinétiques de croissance de l'indice moyen (non représentées) sont similaires à celles représentées sur les figures 1 et 2. Cependant, quelle que soit la valeur de F_i , la valeur de l'indice moyen est supérieure à celle de la modulation d'indice de réfraction. Ce résultat peut s'interpréter en supposant que la visibilité des franges d'interférences créées par le masque de phase est inférieure à 1. Les données ont été représentées en fonction du nombre d'impulsions N_i à l'aide d'une loi de croissance de

type mono-exponentielle simple [$\Delta n = \Delta n_0(1 - \exp(-\frac{N_i}{\tau}))$]. En effet, l'ajustement d'une loi du type (1) sur les données expérimentales conduit à de larges erreurs sur la détermination du coefficient k. Il apparaît ainsi que la valeur de Δn lorsque $N_i = 50000$ augmente de façon sensiblement linéaire avec la densité d'énergie par impulsion F_i (dans la gamme de densité d'énergie étudiée). Cette dépendance est décrite sur la figure 3.

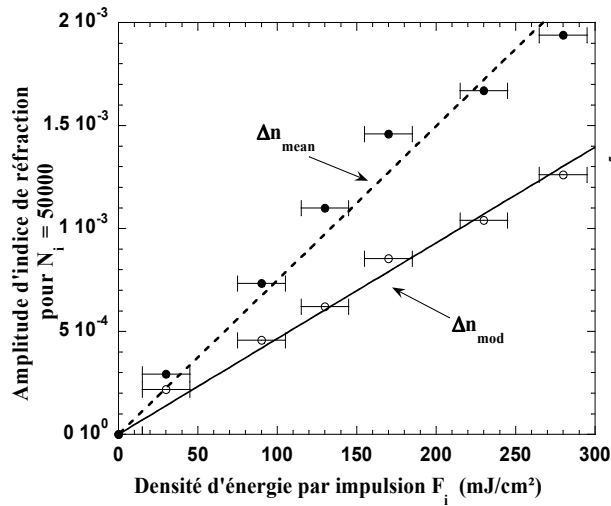


Fig. 3 : Evolution de la variation d'indice (Δn_{mod} ou Δn_{moy}) « à saturation » ($N_i = 50000$) en fonction de la densité d'énergie par impulsion F_i ($\lambda_p = 248$ nm).

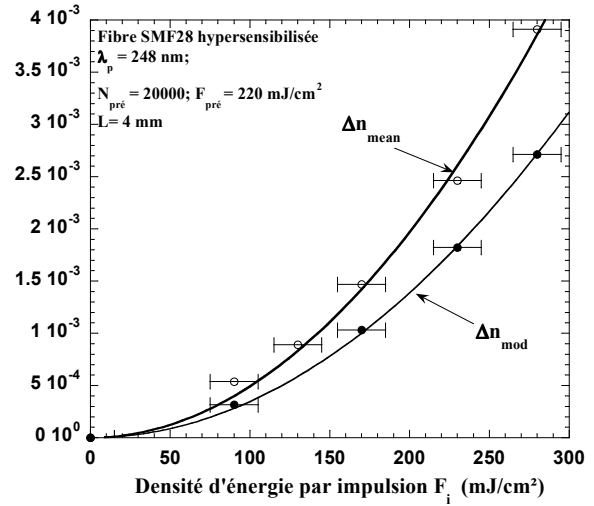


Fig. 4 : Evolution de la quantité $1/N_i$ (Δn_{mod} ou $\Delta n_{\text{moy}} = 5 \cdot 10^{-5}$) en fonction de la densité d'énergie par impulsion F_i ($\lambda_p = 248$ nm).

L'évolution de la quantité $1/N_i$ nécessaire pour obtenir une amplitude de modulation d'indice fixée à $5 \cdot 10^{-5}$ en fonction de F_i est représentée sur la figure 4. Cette quantité (pouvant être assimilée à la pente à l'origine des cinétiques de croissance) croît de façon quadratique en fonction de la densité d'énergie par impulsion F_i du rayonnement ultraviolet. Un modèle phénoménologique permet de rendre compte de ces lois de dépendance: superposition d'une réaction aller à 2 photons et d'une réaction inverse à 1 photon.

4. CONCLUSION

En conclusion, quelle que soit la densité d'énergie F_i ([30 - 280 mJ/cm²]), il apparaît que l'utilisation du laser à KrF pour photo inscrire des réseaux de Bragg dans une fibre SMF28 hypersensibilisée conduit à des cinétiques de croissance qu'il est possible de décrire à l'aide d'une loi mono-exponentielle simple. Dans le domaine de densités d'énergie par impulsion retenues pour l'étude, l'amplitude d'indice de réfraction à saturation dépend linéairement de la densité d'énergie par impulsion. De plus, la pente à l'origine des cinétiques est une fonction quadratique de F_i . Nous étendons donc au cas d'un laser à impulsions une partie des conclusions (absorption à 2 photons) tirées lors d'insolations effectuées avec un laser continu [4]. Des résultats similaires obtenus par une insolation à 193 nm seront présentés en détails lors de la conférence.

REFERENCES

- [1] G.E. Kohnke et al., Optical Fiber Communication Conference (OFC'99), paper PD 20 (1999)
- [2] J. Canning, invited paper, Opt. Fib. Technol. **6**, 275-289 (2000)
- [3] N.K. Vishwanathan and J.F. Brennan, proceedings of OFC 2002, paper Tu Q, 107-108, (2002)
- [4] B. Pommellec, P. Niay Trends in Optics and Photonics Series, vol 87, p 286-290, (2003)