

L'arséniure de gallium : un matériau optique non linéaire pour le moyen infrarouge.

E. Lallier¹, D. Faye¹, A. Grisard¹, B. Gérard²

1. Thales Research & Technology, RD 128, F-91767 Palaiseau, France

2. Alcatel-Thales III-V Lab, RD 128, F-91767 Palaiseau, France

eric.lallier@thalesgroup.com

Résumé : La fabrication de cristaux de GaAs à quasi-accord de phase à faibles pertes a récemment permis la démonstration de sources cohérentes efficaces dans l'infrarouge moyen. L'exposé abordera à la fois la croissance de ces cristaux et leur caractérisation optique.

Mots-clés : infrarouge, optique non linéaire, quasi-accord de phase, arséniure de gallium.

Les sources cohérentes de rayonnement dans l'infrarouge moyen peuvent être utiles à de nombreuses applications civiles et militaires exploitant les bandes de transmission atmosphériques, ou, à l'opposé, les bandes d'absorption d'un grand nombre de molécules. Les matériaux optiques non linéaires jouent un rôle clé dans la réalisation de ces sources dans la mesure où ils permettent de convertir en fréquence le rayonnement laser issu de sources matures et puissantes émettant dans le proche infrarouge (1 à 2 μm).

L'Arséniure de Gallium (GaAs) possède d'excellentes propriétés pour la conversion de fréquence et constitue probablement l'un des matériaux non linéaires les plus attractifs pour l'infrarouge moyen. Il combine en effet un coefficient optique non linéaire d'ordre 2 élevé ($d_{14} \approx 100 \text{ pm/V}$), une gamme de transparence appropriée (1-16 μm), et d'excellentes propriétés mécaniques et thermiques [1]. Si son caractère optique isotrope interdit la réalisation de l'accord de phase par biréfringence, il est possible de recourir à la technique du quasi-accord de phase pour exploiter au mieux ses propriétés non linéaires. Le quasi-accord de phase consiste en pratique à inverser périodiquement l'orientation du cristal pour changer le signe du coefficient non linéaire et à rétablir la bonne relation de phase.

Les limitations rencontrées avec les premiers cristaux de GaAs à quasi-accord de phase basés sur la soudure de lames minces à orientations alternées [2] ont été dépassées en développant un procédé de fabrication sur substrat entier mettant en œuvre des technologies matures de l'optoélectronique [3] : on rapporte dans un premier temps un film mince de GaAs sur un substrat de GaAs par adhésion atomique, puis on définit des bandes périodiques par photolithographie et attaques sélectives. On procède enfin à une croissance épaisse de GaAs par épitaxie en phase vapeur aux hydrures (EPVH). L'EPVH permet d'atteindre une vitesse de croissance de 30 $\mu\text{m/h}$ tout en préservant la périodicité d'orientation et avec un très faible dopage résiduel, un point essentiel pour la transparence dans l'infrarouge. Il est ainsi possible de réaliser des couches de 0,5 à 1 mm d'épaisseur permettant la propagation libre des faisceaux en interaction.

Après un bref historique des recherches menées dans ce domaine, l'exposé détaillera les différentes étapes technologiques permettant d'aboutir de façon reproductible à des structures épaisses de plusieurs centimètres et caractérisées par de très faibles pertes ($\approx 0.01 \text{ cm}^{-1}$). Il se poursuivra par la présentation de résultats récents de sources infrarouges basées sur l'oscillation paramétrique et la différence de fréquences, mettant en valeur la qualité optique des cristaux réalisés [4-6].

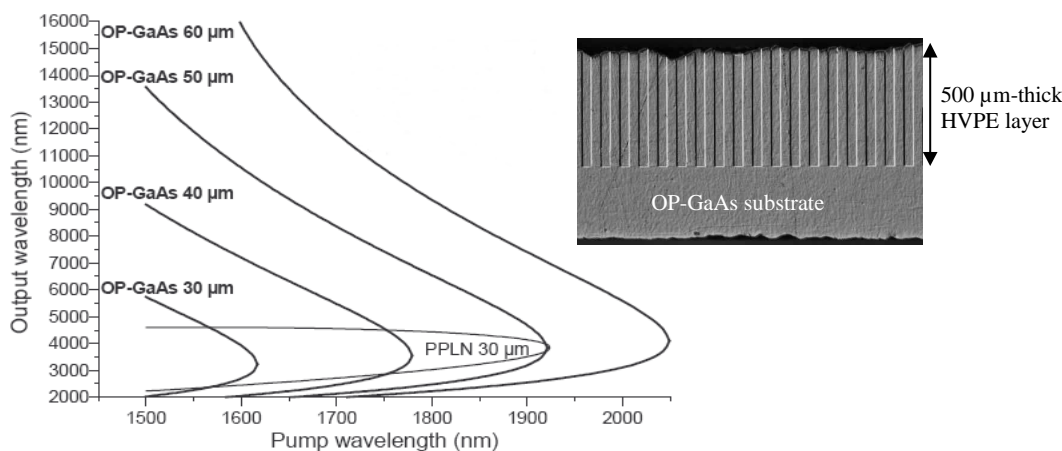


Figure 1: accordabilité d'un oscillateur paramétrique optique à base de GaAs à quasi-accord de phase en fonction de la longueur d'onde de pompage et pour différentes périodes d'orientation (gauche). Section révélée chimiquement d'un échantillon avec une structure périodique (63 μm) de 500 μm d'épaisseur (droite).

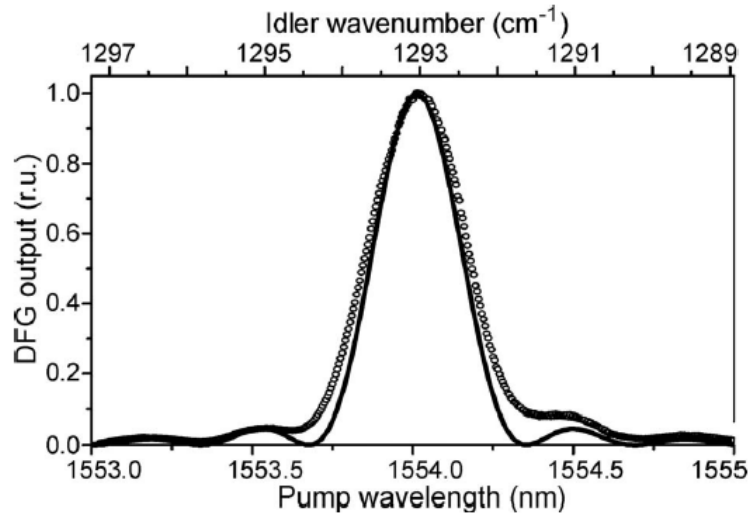


Figure 2 : génération de rayonnement vers 8 μm par différence de fréquences à partir de sources laser à fibres dopées Er^{3+} (1,5 μm) et Tm^{3+} (1,9 μm). L'acceptance spectrale mesurée (points) sur l'échantillon de 33 mm est proche de la courbe théorique (ligne), (réf. 6).

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier C. Kieleck, M. Eichhorn et A. Hirth de l'institut Saint-Louis (ISL) pour la réalisation des expériences d'oscillation paramétrique, ainsi que S. Vasilyev, S. Schiller et A. Nevsky de l'université de Düsseldorf pour les expériences de différence de fréquences. Les auteurs tiennent également à remercier la Direction générale de l'armement (DGA/UM-TER/CGN), ainsi que la Communauté européenne (projets VILLAGE [<http://www.neo.no/village>] et MIRSURG [<http://www.mirsurg.eu>]).

Références

- [1]. E.D. Palik, *Handbook of Optical Constants of Solids* (Academic Press, Orlando, 1985).
- [2]. L.A. Gordon, G.L. Woods, R.C. Eckardt, R.R. Route, R.S. Feigelson, M.M. Fejer, and R.L. Byer, "Diffusion-bonded stacked GaAs for quasi-phase-matched second-harmonic generation of a carbon dioxide laser", *Electron. Lett.* **29**, 1942-1944 (1993).
- [3]. L.A. Eyres, P.J. Tourreau, T.J. Pinguet, C.B. Ebert, J.S. Harris, M.M. Fejer, L. Becouarn, B. Gerard, and E. Lallier, "All-epitaxial fabrication of thick, orientation-patterned GaAs films for nonlinear optical frequency conversion," *Appl. Phys. Lett.* **79**, 904-906 (2001).
- [4]. K. L. Vodopyanov, O. Levi, P. S. Kuo, T. J. Pinguet, J. S. Harris, M. M. Fejer, B. Gérard, L. Becouarn, E. Lallier, "Optical parametric oscillation in quasi-phase-matched GaAs", *Opt. Lett.* **29**, 1912-1914 (2004).
- [5]. C. Kieleck, M. Eichhorn, A. Hirth, D. Faye and E. Lallier., "High efficiency 20-50 kHz mid-infrared orientation-patterned GaAs optical parametric oscillator pumped by a 2 μm holmium laser", *Opt. Lett.*, **34**, pp. 262-264, 2009.
- [6]. S. Vasilyev, S. Schiller, A. Nevsky, A. Grisard, D. Faye, E. Lallier, Z. Zhang, A. J. Boyland, J. K. Sahu, M. Ibsen and W. A. Clarkson, "Broadly tunable single-frequency cw mid-infrared source with milliwatt-level output based on difference frequency generation in orientation-patterned GaAs", *Opt. Lett.*, **33**, pp. 1413-15 (2008).