

Mid-Infrared Fiber Lasers

(STO-TR-SET-170)

Executive Summary

Mid-infrared laser technology is critical for active sources to defeat a growing spectrum of heat-seeking missiles, as well as for remote sensing of targets and threats. Fiber lasers have distinct advantages over conventional bulk solid-state lasers in thermal management, resisting misalignment, and tolerating challenging environmental conditions. Their geometry supports distributed system architectures. Despite recent advances, few fiber lasers operate beyond 3 μm , and passive IR fiber and fiber-based components remain rare, lossy and fragile. Extending fiber technology into the mid-IR would provide laser sources that are efficient, robust, compact, high in power, and well-suited to critical military applications like infrared countermeasures.

The SET-170 Programme of Work focused on three tasks:

- 1) Direct lasing in rare-earth-doped fibers;
- 2) Supercontinuum generation for broadband output; and
- 3) Fiber pump sources for bulk mid-IR frequency conversion devices.

To keep the scope manageable, sources with wavelengths shorter than 3 μm and fiber-based components were not considered, in spite of their critical role in eventual systems.

Task 1 identified trivalent holmium at 3.9 μm as the active ion most likely to result in a successful laser, and fluoroindate fiber as the host material due to its transparency to 5.5 μm , and its ability to incorporate the dopant ions. Spectroscopic analysis and modelling were used to evaluate the possibility of developing a viable Ho: fiber laser, and to identify suitable fiber specifications. Funding constraints prevented fabrication of an actual fiber, but lasing was demonstrated in a sample of the Ho-doped glass; an encouraging first result.

Task 2 focused on increasing the output power, bandwidth, and mid-IR efficiency of supercontinuum sources. Key results include power scaling demonstrations in fluoride and chalcogenide fibers; demonstration of the most efficient power distribution at wavelengths longer than 3 μm ; and a comparison of different fiber-based pumping techniques. The most significant factors limiting the long-wavelength edge of the supercontinuum spectrum were found to be fiber non-linearities, bend-induced loss and bulk absorption.

Task 3 considered pumping strategies for ZGP, PPLN, and OPGaAs, representing the current spectrum of non-linear materials. A particularly intriguing result was modelling suggesting the viability of pumping an OPGaAs OPO at wavelengths as short as 1550 nm despite the material's two-photon absorption in this region. Unfortunately this result could not be investigated experimentally because the right OPGaAs material was not available, leaving this among our recommendations for future work.

SET-170's programme of work was ambitious, guided by the goal of maximizing our contribution to the field with the resources available. To that end, we were successful in that each task produced results that were noteworthy, and more importantly, useful in the further study of mid-IR fiber lasers. Task Group activity resulted directly in 10 journal publications, plus two planned; and several conference presentations and proceedings. A new Exploratory Team (ET-086) has been approved to continue investigation of mid-IR fiber-based sources, building on the work of this Task Group.

Lasers à fibre fonctionnant dans l'infrarouge moyen (STO-TR-SET-170)

Synthèse

La technologie des lasers à infrarouge moyen est cruciale si l'on veut que les sources actives mettent en échec un spectre de plus en plus large de missiles à autoguidage thermique et détectent à distance les objectifs et les menaces. Les lasers à fibre présentent de nets avantages par rapport aux lasers classiques à semi-conducteurs massifs en matière de gestion thermique, résistance au défaut d'alignement et tolérance aux conditions environnementales hostiles. Leur géométrie accepte les architectures de système distribuées. En dépit des progrès récents, peu de lasers à fibre ont une portée supérieure à 3 μm ; la fibre optique passive et les composants à base de fibre restent rares, fragiles et entraînent des pertes de données. L'élargissement de la technologie de fibre au moyen infrarouge produirait des sources laser efficaces, robustes, compactes, très puissantes et bien adaptées aux applications militaires essentielles telles que les contre-mesures infrarouges.

Le programme de travail du SET-170 s'est orienté selon trois directions :

- 1) Effet laser direct dans les fibres dopées aux terres rares ;
- 2) Production d'un supercontinuum pour sortie à large bande ; et
- 3) Sources de pompage pour fibre destinées aux appareils massifs de conversion de fréquence dans le moyen infrarouge.

Afin que l'objectif reste réalisable, les sources à longueur d'onde inférieure à 3 μm et les composants à base de fibre n'ont pas été étudiés, malgré leur rôle crucial dans les systèmes éventuels.

La tâche numéro 1 a déterminé que l'ion holmium trivalent à 3,9 μm était le plus susceptible de donner un laser réussi et a désigné la fibre de fluorindate en tant que matériau hôte en raison de sa transparence jusqu'à 5,5 μm et de sa capacité à incorporer les ions dopants. L'analyse spectroscopique et la modélisation ont servi à évaluer la possibilité de développer un laser à fibre Ho et à identifier les caractéristiques techniques adéquates de la fibre. Les contraintes de financement ont empêché la fabrication d'une fibre réelle, mais l'effet laser a été démontré dans un échantillon de verre dopé à l'holmium, ce qui est un premier résultat encourageant.

La tâche numéro 2 s'est concentrée sur l'accroissement de la puissance de sortie, de la bande passante et de l'efficacité dans l'infrarouge moyen des sources supercontinuum. Les résultats clés sont notamment des démonstrations d'augmentation de la puissance avec des fibres en fluorure et en chalcogénure, la démonstration de la répartition de puissance la plus efficace à des longueurs d'onde supérieures à 3 μm et la comparaison de différentes techniques de pompage à base de fibre. Les facteurs les plus importants limitant l'élévation de la longueur d'onde en bordure du spectre du supercontinuum se sont révélés être les non-linéarités de fibre, la perte induite par les coudes et l'absorption par la masse.

La tâche numéro 3 a étudié les stratégies de pompage pour les substrats en ZGP, PPLN et OP-GaAs, qui représentent le spectre actuel des matériaux non linéaires. Un résultat particulièrement intrigant a été obtenu : la modélisation a suggéré la viabilité du pompage d'un OPO en OP-GaAs à de courtes longueurs

d'onde (1550 nm) malgré l'absorption à deux photons du matériau dans cette région. Malheureusement, ce résultat n'a pas pu être étudié de manière expérimentale, parce que le matériau en OP-GaAs n'était pas disponible, ce qui nous amène à placer ce sujet dans nos recommandations de travaux futurs.

Le programme de travail du SET-170 était ambitieux, guidé par l'objectif d'optimisation de notre contribution dans le domaine à l'aide des ressources disponibles. Nous avons atteint cet objectif, dans la mesure où chaque tâche a produit des résultats notables et, plus important, utiles à l'étude ultérieure des lasers à fibre dans le moyen infrarouge. L'activité du groupe de travail a directement abouti à 10 publications, deux autres étant en prévision, et à plusieurs présentations et débats en conférence. Une nouvelle équipe exploratoire (ET-086) a été approuvée et continue d'examiner les sources à base de fibre dans le moyen infrarouge, en s'appuyant sur les travaux du présent groupe de travail.

