

Suppression de la diffusion Raman stimulée dans les lasers kW avec le RSS (suppresseur de diffusion Raman)

Michel Bégin, M. Sc. A., Gestionnaire gamme de produits – Lasers à fibre, indie

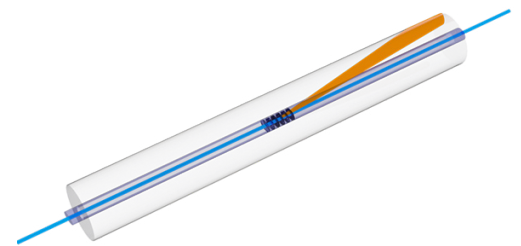
La diffusion Raman stimulée (SRS) est un processus optique non linéaire bien connu et qui est l'un des principaux facteurs qui limitent la mise à l'échelle de la puissance des lasers à fibre. Au-delà d'un certain niveau de puissance appelé seuil SRS, les photons laser commencent à être convertis en photons de moindre énergie, la différence d'énergie des photons étant transférée aux vibrations du réseau. Au niveau spectral, il en résulte un transfert d'énergie vers une bande de longueur d'onde qui est décalée vers le rouge par rapport à la longueur d'onde d'émission laser (appelée décalage de Stokes). Étant donné que la plupart des applications ne peuvent pas tolérer la réduction associée de l'irradiance spectrale laser, un certain nombre de compromis de conception au niveau système sont généralement nécessaires pour gérer ce problème. De tels compromis s'accompagnent trop souvent d'une complexité et d'un coût accru du laser. indie propose une solution efficace pour résoudre ce problème.

Bénéfices

En supprimant sélectivement les photons de diffusion Raman stimulée (SRS) à des endroits stratégiques de la chaîne optique, le RSS d'indie est un nouvel outil très efficace pour les concepteurs de lasers à fibre qui recherchent plus de puissance de sortie. Grâce à une technologie exclusive de réseau de Bragg à fibre inclinée à pas variable (CTFBG) qui reflète les photons Stokes du signal présent dans le cœur de la fibre vers la gaine de pompe RSS offre de nombreux avantages, notamment:

- Une grande atténuation aux longueurs d'onde SRS (> 20 dB)
- Une large bande passante (> 15 nm)
- De faibles pertes à la longueur d'onde du signal (< 0.15 dB)
- Une réflectivité minimale du signal présent dans le cœur à la longueur d'onde SRS

La figure 1 représente schématiquement les spectres de sortie normalisés d'un oscillateur laser fonctionnant à un niveau de puissance de sortie donné, avec et sans RSS. Pour la même puissance de sortie, la contribution de la bande de Stokes est considérablement réduite lors de l'utilisation du RSS, améliorant ainsi l'irradiance spectrale du laser.



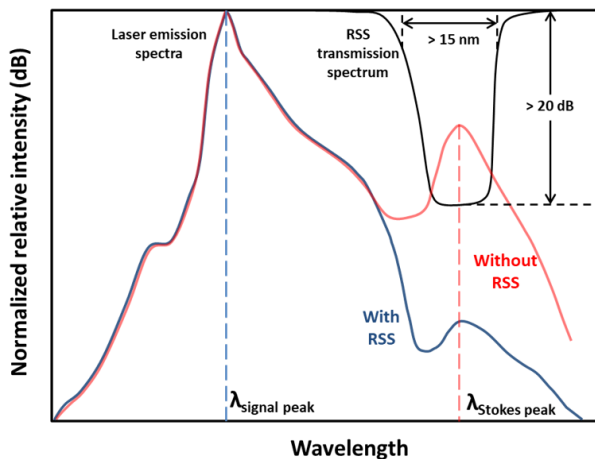


Figure 1: Illustration de la suppression du SRS avec le RSS pour un laser à fibre Yb typique avec une puissance de sortie donnée

En repoussant les limites imposées par le SRS, le RSS permet d'augmenter jusqu'à 40%¹ la puissance de sortie utilisable des oscillateurs laser à fibre. Cette marge SRS supplémentaire peut représenter des économies importantes pour les systèmes multi-kW reposant sur la combinaison de plusieurs oscillateurs individuels, car moins d'oscillateurs sont nécessaires pour atteindre la même puissance de sortie.

Étant donné que le niveau de SRS est directement relié à la longueur de fibre utilisée, le RSS est également particulièrement utile pour les configurations nécessitant de longues fibres de distribution et/ou de longues chaînes optiques. C'est souvent le cas pour les lasers reposant sur des architectures MOPA et également pour les applications où le faisceau laser est partagé. De plus, l'utilisation du RSS facilite le pompage des lasers et amplificateurs à fibre Yb avec des diodes laser relativement peu coûteuses émettant autour de 915 nm. Les pompes à 915nm sont plus économiques par rapport à celle à 976 nm qui sont plus coûteuses, mais le pompage à 915 nm nécessite généralement des fibres plus longues et est donc plus sujet à la génération de SRS. En réduisant cette limitation, le RSS permet une configuration de pompage plus économique.

Lorsque de longues fibres sont nécessaires, les concepteurs de systèmes à haute puissance sont souvent obligés de choisir des fibres ayant un diamètre de cœur plus grand qu'ils ne le souhaiteraient pour éviter l'apparition de SRS.

¹ Guillaume Brochu, Samuel Gouin, Evelyne Brown-Dussault, Mathieu Huneault, Dominic Faucher, Mathieu Faucher, and François Trépanier "High performance FBG-based components for kilowatt fiber lasers power scaling", Proc. SPIE 11261, Components and Packaging for Laser Systems VI, 112610P (21 February 2020); <https://doi.org/10.1117/12.2548351>.

Une conséquence importante de ce choix est une plus grande exposition à l'instabilité de mode transverse (TMI), qui provoque des fluctuations dans la distribution spatiale de la puissance laser.

De telles fluctuations sont généralement préjudiciables à la stabilité de la plupart des procédés laser industriels. En empêchant l'accumulation de l'onde de Stokes le long de la fibre, le RSS élimine le besoin d'augmenter le diamètre du cœur de la fibre. C'est donc la solution parfaite pour maintenir une stabilité optimale du processus laser dans les systèmes à haute puissance qui utilisent de longues fibres.

Enfin, un autre avantage du RSS est qu'il fonctionne dans les deux sens de propagation. Le filtrage bidirectionnel garantit que toute onde SRS résiduelle se propageant dans le signal présent dans le cœur de la fibre et provenant de rétro-réflexions aux interfaces système situées en aval du RSS est efficacement supprimée.

Considérations d'intégration

Le RSS se présente comme un morceau de fibre multi-gaine dans lequel un CTFBG a été écrit. Le composant peut être fusionné en tant que filtre en ligne à la sortie de la cavité laser à fibre, comme illustré à la figure 2 pour deux configurations optiques courantes de lasers à fibre. Sur la figure 2A), un supprimeur du signal de pompe dans la gaine joue non seulement son rôle d'élimination de la pompe résiduelle, mais élimine également la lumière SRS rétro-réfléchiée par le RSS dans la gaine. Des configurations omettant la gestion de la lumière SRS à l'aide d'un supprimeur du signal de pompe sont également possibles, comme l'arrangement MOPA de la figure 2B), tant que la conception du laser peut tolérer une certaine quantité de lumière SRS se propageant dans la gaine de pompe de la fibre.

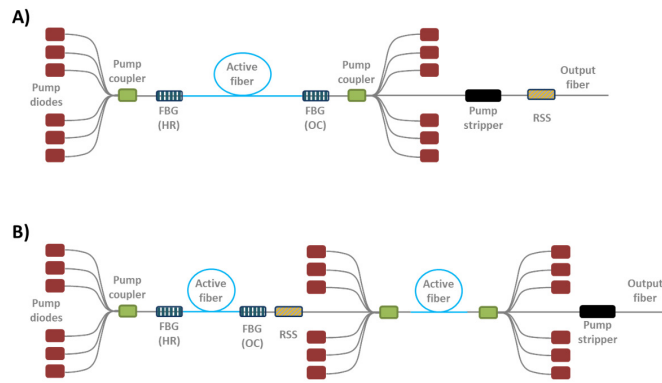


Figure 2: Exemple d'intégration d'un RSS dans 2 configurations communes de laser à fibre. A) Oscillateur laser B) MOPA

L'épissurage du RSS s'effectue essentiellement en appliquant les bonnes pratiques comme pour les autres composants de forte puissance optique de la cavité laser. Cela implique un revêtement d'épissure approprié avec un matériau à faible indice de réfraction (RI) approprié et une dissipation thermique suffisante de l'épissure et du RSS (y compris sur une longueur de 40 mm de sa fibre amorcée à l'entrée) pour garantir une température de fonctionnement sécuritaire (généralement inférieure à 70 °C). D'autres bonnes pratiques pour intégrer le RSS incluent la diminution des sources de rétroaction optique dans la bande de gain Raman et l'augmentation progressive de la puissance lors du pompage initial du système, tout en surveillant son spectre de sortie pour s'assurer que la suppression du SRS est optimale.

En résumé

Indie s'efforce de repousser les limites de ses composants haute puissance en développant des solutions innovantes qui offrent de nouvelles opportunités à l'industrie. Grâce à la suppression Raman que permet le RSS, l'accès à des puissances plus élevées dans les lasers à fibre devient possible sans sacrifier la stabilité et les performances du système. Utilisation de fibres plus longues, de pompes moins chères et une stabilité supérieure à haute puissance... êtes-vous prêt pour le RSS?

“Une solution révolutionnaire pour la mise à l'échelle de la puissance des lasers à fibre”

- Client