

Imaging Antiferromagnets using Second Harmonic Generation

A. Barbet, H. Grardel, F. Balembois (LCF)

L'objectif du projet TiSaLED était d'explorer les possibilités de pompage par diodes électro-luminescentes (LED) du cristal de saphir dopé au titane (Ti:saphir) en utilisant les nouvelles opportunités offertes par les LED visibles en terme de puissance, de longueur d'onde et de coût. Le projet s'est déroulé en plusieurs phases menées en parallèle décrites dans la suite.

1) étude des LED

Grâce à notre collaboration avec EFFILUX, nous avons pu mener une veille très efficace sur les LED durant tout le projet. Cette veille a été capitale pour le projet car la technologie des LED a évolué très rapidement durant les deux dernières années.

Il est maintenant possible d'approvisionner des LED de section 1mm*1mm montées sur des embases très simples qui peuvent être assemblée "à façon" par l'utilisateur grâce à des PCB (Printed Circuit Board), comme par exemple les LED LUXEON Z, Philips Lumiled Lighting Company. La gamme des longueurs d'onde visibles s'est largement étendue : quasiment tout le spectre visible et l'infrarouge proche est couvert par les LED (le spectre d'une LED étant de l'ordre de 20 à 50 nm, selon les longueurs d'onde). En parallèle, le coût par watt a été divisé par 4 en deux ans.

Au niveau des performances optiques, l'éclairement au niveau de la surface des LED atteint 1W/mm² en régime continu.

En régime impulsionnel, nos tests ont démontré 8W/mm² pour des impulsions microsecondes et 3W/mm² pour des impulsions millisecondes.

2) étude des possibilités de pompage direct par LED de lasers solides

Les LEDs présentent plusieurs propriétés qui rendent le pompage optique de cristaux laser délicat : leur éclairement est fortement limité (typiquement 4 à 5 ordres de grandeur inférieurs à l'éclairement à la surface d'une diode laser), leur diagramme d'émission comporte des angles très ouverts et leur spectre est large.

L'une des premières actions dans ce projet a été de réaliser un état de l'art du pompage par LED de laser. Il ressort que très peu de publications ont été faites sur le sujet. Elles datent majoritairement des années 1970, avant l'apparition de diodes laser efficaces. A cette époque, les lasers pompés par LED utilisaient des cristaux dopés au néodyme ou à l'ytterbium refroidis en dessous de la température ambiante pour favoriser leurs propriétés d'émission. Plus récemment, quelques lasers à colorant pompés par LED ont été réalisés. Ainsi, le pompage par LED est un véritable challenge que les nouvelles performances des LEDs permettent de revisiter.

Nous avons ensuite réalisé une étude systématique des cristaux absorbant dans le visible et l'infrarouge proche pour connaître leur potentiel dans une perspective de pompage par LED. Un "bon" cristal pour le pompage par LED doit avoir un produit section efficace*temps de vie élevé et une absorption importante pour confiner la lumière de pompage dans un petit volume. Cette étude montre que le Ti:saphir est l'un des cristaux les plus difficiles à pomper par LED. Elle montre aussi que le cristal de Nd:YVO₄ a un potentiel intéressant. Comme c'est un cristal que le groupe laser du LCF maîtrise très bien, nous avons décidé de lancer une première étude de faisabilité sur un laser Nd:YVO₄ pompé par LED.

Le laser est composé d'une cavité à 2 miroirs pompée transversalement par 36 LED de 1mm*1mm qui délivrent une énergie totale par impulsion de 7,4 mJ pour une durée de 100 μs (cadence 250 Hz). Une énergie maximale de 40 μJ est atteinte. Par rapport à l'énergie réellement absorbée (1,5 mJ), le rendement optique atteint 2,6%.

A l'aide d'un logiciel de tracé de rayons, nous avons simulé la carte de gain du laser et nous avons pu en déduire le gain du laser par aller et retour. Nous avons validé notre code de calculs sur les données expérimentales fournies par le Nd:YVO₄.

Il faut noter que ce laser est le premier Nd:YVO₄ pompé par LED. C'est l'un des seuls lasers à solide pompé par LED fonctionnant à température ambiante. Dans la perspective du projet, le laser Nd:YVO₄ nous donne un point de départ solide, avec une démonstration technique et une validation théorique.

3) étude d'un concentrateur pour augmenter l'éclairement au niveau du milieu laser

Les éléments précédents montrent que le pompage direct par LED du saphir dopé au titane sera très difficile. La spectroscopie du saphir dopé au titane étant fixée, le seul paramètre variable est l'éclairement de pompe. Il faut donc trouver un moyen de l'augmenter. Une solution est de concevoir un concentrateur de lumière. Des mesures préliminaires, que nous avons réalisées sur un matériau luminescent pompé par des LED bleues et émettant dans le vert-jaune, montrent qu'il est possible d'augmenter l'éclairement de pompe d'un facteur 10 via ce transformateur de luminance.

Ces études sont encore en cours actuellement.

L'objectif fixé initialement, développer un laser saphir dopé titane pompé par LED, était très ambitieux pour une réalisation en deux ans. Notre étude montre que cet objectif est plus un horizon qu'un développement possible à court terme.

Dans cette perspective, nous avons réalisé une première expérience prometteuse : le premier laser Nd:YVO₄ pompé par LED à température ambiante. Notre étude systématique des cristaux laser en vue du pompage par LED montre que d'autres cristaux pourraient être intéressants : on peut citer le Cr:LiSAF, l'alexandrite ou le rubis.

De plus, l'étude de concentrateurs pompés par LED représente une voie pour gagner en éclairement avec des LED : cette voie semble prometteuse mais elle a encore besoin d'être confirmée.

L'objectif fixé initialement, développer un laser saphir dopé titane pompé par LED, était très ambitieux pour une réalisation en deux ans. Notre étude montre que cet objectif est plus un horizon qu'un développement possible à court terme. Dans cette perspective, nous avons réalisé une première expérience prometteuse : le premier laser Nd:YVO4 pompé par LED à température ambiante. Notre étude systématique des cristaux laser en vue du pompage par LED montre que d'autres cristaux pourraient être intéressants : on peut citer le Cr:LiSAF, l'alexandrite ou le rubis. De plus, l'étude de concentrateurs pompés par LED représente une voie pour gagner en éclairage avec des LED : cette voie semble prometteuse mais elle a encore besoin d'être confirmée.

A. Barbet, H. Gardel, A. Paul, J.-P. Blanchot, F. Balembois, et al.. *LED side-pumped Nd³⁺:YVO4 laser at room temperature* (Orale). Photonics West 2015, Conference on Solid State Lasers XXIV - Technology and Devices, Feb 2015, San Francisco, United States. Proc. SPIE, 9342, pp.934210.

Résultats obtenus dans le cadre du projet TISALED financé par le thème émergence du LabEx PALM et porté par François Balembois (LCF).