

PP-MgSLT を用いた OPO+DFM による高効率中赤外レーザー光源開発と CFRP のレーザー超音波探傷への応用

Development of efficient mid-IR laser by OPO+DFM using PP-MgSLT and it's application to LUT of CFRP

○畑野秀樹、竹川俊二、渡邊誠、北村健二、山脇寿(物質・材料研究機構)、R. Slater (RS Photonics)

○H. Hatano, S. Takekawa, M. Watanabe, K. Kenji, H. Yamawaki (NIMS), R. Slater (RS Photonics)

HATANO.Hideki@nims.go.jp

レーザー超音波探傷法 (LUT) は非接触で遠隔操作が可能な非破壊検査技術であり、近年航空機用途などで注目を浴びている炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の欠陥検査への活用が期待されている。本検査においては、レーザーによる超音波励起感度の向上が最大の課題の一つとなっており、そのためには樹脂層への適度な吸収深さを有する、波長 $3.0\sim 3.5\mu\text{m}$ の中赤外パルスレーザーが最適である¹⁾。しかしながら LUT 励起用として、実用的に十分な出力と適切なパルス幅を備え、可搬性に優れたレーザーは市販されていないのが現状である。筆者らは独自開発の高効率波長変換素子 (PP-MgSLT) を用いた光パラメトリック発振 (OPO) 技術により、CFRP の超音波励起に適した波長 $3.2\mu\text{m}$ 近傍の中赤外レーザー光を、高効率に発振させる技術をすでに開発し、CFRP の超音波励起光源としての有効性を示した²⁾。

OPO 発振では、ポンプ波 (ω_p) がシグナル波 (ω_s) とアイドラ波 (ω_i) に変換される。今回の応用では中赤外光はアイドラ波であり、Manley-Rowe の関係によりその変換効率は最大 33% に制限される。そこで、共振器内に差周波変換 (DFM) を組み込むことで、シグナル波がアイドラ波と差周波波 (ω_d) に変換され、アイドラ生成効率の改善が可能である。その原理を Fig.1 に示す。

実験に用いた共振器はシグナル波に対する単共振型発振器 (SRO) として構成した。共振器ミラーは平行平板型で共振器長は約 110mm とした。OPO と DFM 用の非線形素子として、周期がそれぞれ $31.1\mu\text{m}$ 、 $32.73\mu\text{m}$ の周期分極反転 (QPM) 型 Mg 添加 SLT 素子 (入射開口 $3\text{mm}\times 3\text{mm}$) を用い、各々独立したオープンにマウントした。ポンプレーザーとして、Q-SW 型 YAG レーザー (Quantel 社 Centurion) を用いた。パルス幅は 9ns (FWHM)、繰り返し 100Hz 、パルスエネルギーが 36mJ_{max} で使用した。ビームはウェスト直径が 1.9mm のトップハット形状とした。

OPO 出力は $T_1=40^\circ\text{C}$ においてアイドラ波長 $3.22\mu\text{m}$ 、シグナル波長 $1.59\mu\text{m}$ であり、これに対して差周波波長は $3.15\mu\text{m}$ となる。Dolev ら³⁾ の Sellmeier 屈折率分散式を用いて設計した DFM の位相整合温度 $T_2=104.7^\circ\text{C}$ に対して、実際は 114°C で整合した。この条件での入射ポンプ波のパルスエネルギーと中赤外出力光パルスエネルギーの関係を Fig.2 に示す。OPO のみの場合に比べ、OPO+DFM の場合には、閾値は一定で変換効率が約 1.3 倍に改善しており、DFM の効果が確認された。現段階では、各条件は最適化されているとはいえ、さらなる大幅な効率の向上が期待できる。

参考文献

- 1) M. Dubois, P. W. Lorraine, R. J. Filkins, T. E. Drake, Appl. Phys. Lett. 79 (2001), 1813.
- 2) H. Hatano, M. Watanabe, K. Kitamura, M. Naito, H. Yamawaki, R. Slater, J. Optics (to be published in 2015).
- 3) J. Dolev, A. Ganany-Padovicz, O. Gayer, A. Arie, J. Mangen, G. Gadret, Appl. Phys. B-96 (2009) 423.

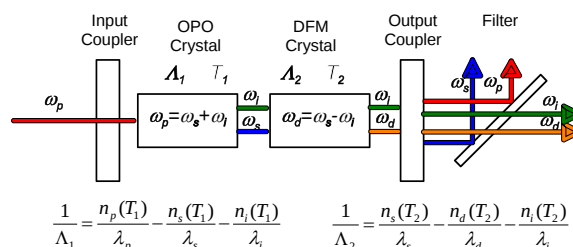


Fig.1 Concept of photon recycling using OPO+DFM configuration. The symbols ω , λ , Λ , n , T represent radian frequency, wavelength, QPM grating pitch, optical index, temperature, respectively, and subscripts p, s, i, d denote pump, signal, idler, differential, respectively.

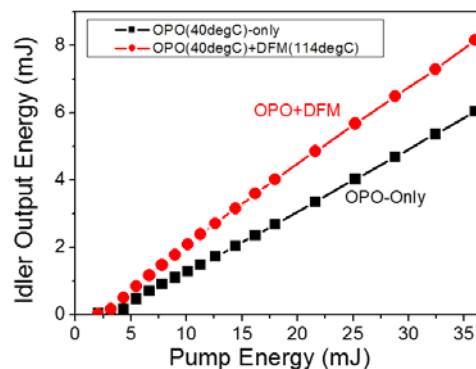


Fig.2 Experimental data for mid-IR output energy as a function of input pump energy.