

フェムト秒中間IRパルスを発生する シンプルな光源

5~20 μm のいわゆる指紋スペクトル領域を放射する中間赤外(中間IR)レーザーは多くの有機材料の検出と識別に役立ち、生物学、医学、そして、とりわけ食物、プラスチック、薬品などの工業分野に有用である。中間IR波長で、かつ超短レーザーパルスであれば、その用途は超高速パルスの非線形効果によってさらに拡大するであろう。

しかし、強力なフェムト秒中間IRレーザー装置は一般に複雑である。米ロチェスター大学の光学研究所の研究者、ユーホン・ヤオ氏(Yuhong Yao)とウエイン・ノックス氏(Wayne Knox)は、フォトニック結晶ファイバ(PCF)内のソリトン自己周波数シフトを使って赤方偏移させたソリトンを発生させ、それをポンプレーザー光と差周波混合させる比較的単純なアプローチに取り組んでいる。この研究チームは、光学会(OSA)年次会議Frontiers in Optics 2012(10月14~18日、米ロチェスター)のポストデッドラインセッションにおいて彼らの成果を発表した⁽¹⁾。

ヤオ氏とノックス氏はこの種の装置で生成される一般的には弱いパルスエネルギーを、従来のPCFの単一ゼロ分散波長(ZDW)ではなく、2つのZDWを持つPCFを使って高めている。単一ZDFはPCFをスペクトル間隔あたりの強度が最適値より低い広帯域スーパーコンティニウム発生に制限する。単一PCFにおけるデュアルZDWは、互いにスペクトル的に緻密であり、高いスペクトル強度をもつデュアルピーク狭帯域コンティニウムを発生することができる。

その結果は平均パワーが2.4~3mW

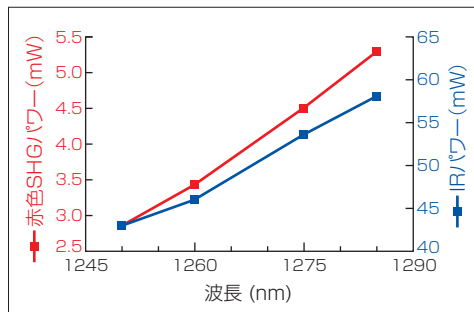


図1 AGS結晶によって誘導されたストークスパルスと第2高調波発生パルスはそれぞれ50と4mW台であった。

で40MHzパルス列を発生する1つの光源になる。その波長は5.3~6 μm の範囲で同調可能である。このシステムはより高い平均パワーへと規模を拡大することもできる。研究者たちは、異なるZDWをもつPCFを使うか、あるいはPCFにテーパー加工を行いファイバ分散プロファイルを変化させることによって、他の中間IR波長範囲まで到達可能であることに注目した。

ヤオ氏とノックス氏はGaSeの代わりにAGS結晶を使って、1.36Wの平均パワーが得られる40MHzで320fs幅のパルスを発生するイッテルビウムファイバチャープパルス増幅器(CPA)を独自に製造した。これらのパルスは1035nmのピーク波長と15nmの帯域幅を持つ。CPAの出力の一部はデンマークのクリスタル・ファイバ社(現在はNKTフォトニクス社の一部)によって作製された1022と1075nmの2つのZDWを持つ商用PCFに結合された。CPAパワーの残りは装置内のポンプアームにおいて使用された。ポンプアームは調整可能な遅延線を使ってシグナルアームと同期され、テレスコープ光学系に

よってモード整合される。

差周波発生(DFG)結晶は、50°カットした硫化ガリウム銀(AgGaS₂またはAGS)の2mm厚スタブである(図1)。研究者たちは、標準的なセレン化ガリウム(GaSe)に比べて、表面損失、複屈折、群速度分散などが低く、より円形に近い出力ビームを生成し、群速度不整合によるパルス広がりがないAGSを選択したと語っている。

86mWの閾値パワーで、装置はそのパワーのほとんどが含まれる単峰型のストークスサイドコンティニウムを生成した。そのピーク波長は50mW台のパワーで1250と1285nmの間で調節可能である。波長を変更した時には、出力を維持するためにDFG結晶の位相整合角を調整する。

その結果は5.3 μm から6 μm の間で可変同調可能であり、最大パワーは5.5 μm で3mWに達した。周波数相互相関トレースは出力パワーの測定によって得られる。それは遅延線の調整によって生じる遅延の関数であり、結果は220fs幅だった(実際の出力パルス幅は分散とパルス広がりより多少長くなる)。

炭素-炭素二重結合と炭素-酸素二重結合を含む有機化合物の超高速分光がこの装置の出力波長範囲で可能で、これにはアミノ酸と蛋白質も含まれる。

(John Wallace)

参考文献

- (1) Y. Yao and W. H. Knox, "Femtosecond mid-IR laser source based on intense Stokes pulse generation in a photonic crystal fiber," Session FW6B.1, FiO 2012 Postdeadline Papers, ISBN 978-1-55752-955-8.