中空糸ファイバーを用いた sub-10 fs 極超短光パルスの発生

佐藤勇士

小澄研究室

自然科学の分野において、フェムト秒 (10^{-15} s: fs)の時間スケールで起こる超高速現象を観測・解明するためには光パルスを用いることが唯一の手法である。特に sub-10 fs 光パルスは、物質を構成する原子のコヒーレントな運動の実時間観測を可能にする。そこで本研究では、中空糸ファイバー光パルス圧縮器を用いて 10 fs 以下のパルスを発生させる技術を構築することを目的とした。

エネルギーと時間はフーリエ変換の関係にあり、その関係は不確定性原理より$\Delta\nu \cdot \Delta\tau \geq C$ と表される。スペクトル幅: $\Delta\nu$はエネルギーに、パルス幅: $\Delta\tau$は時間に対応するので、より短いパルス幅を得るためにはスペクトル幅を広げなければならない。本研究では、チタンサファイア再生増幅器から出力された 100 fs レーザーパルス (平均出力: 1 W, パルス繰り返し: 1 kHz)を希ガスが充填された中空糸ファイバー中を伝搬させることによりスペクトル幅を広げ、さらに負の群速度分散を持つチャープミラーを用いてパルス圧縮を行うことで、極超短光パルスを発生させた。媒質中を伝搬する高強度光パルスにより誘起される周波数変化は、$\Delta\omega = \frac{n_2}{c}\frac{dI(t)}{dt}z$で表される (自己位相変調)。ここで、$n_2$は強い光による屈折率変化を表し、3 次の非線形感受率に比例する量である。$I(t)$は光の強度、z は媒質中での伝搬長である。光パルスにより誘起される周波数変化が大きいほど出力パルスのスペクトルは広帯域化する。非線形媒質として、化学的安定かつ損傷閾値の高い希ガスを充填した長さ 1.0 m の中空糸ファイバー (コア径: 250 μm)を用いた。希ガスに Ne を用いた場合には、スペクトルの広がりが十分ではなく、15 fs 程度のパルス幅しか得られなかった。そこでより大きな n_2 を持つ Ar を用いることで、より広帯域スペクトル (FWTM: 160 nm)を持つ光パルスの発生に成功した (図 (a))。また、そのパルス時間波形をフリンジ分解自己相関計測器を用いて観測したところ、パルス幅 8 fs が得られた (図 (b))。

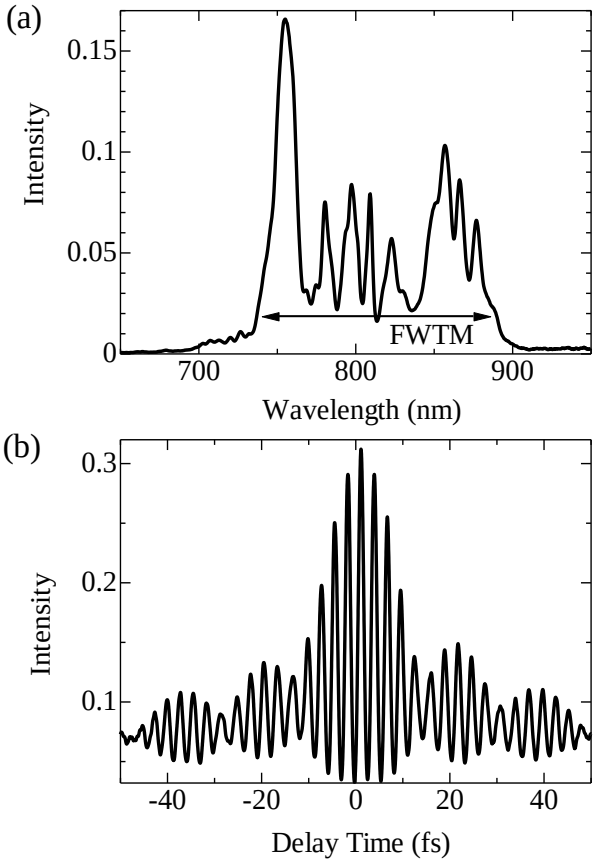

図: Ar を用いて得られた光パルスの(a) スペクトルと(b) 自己相関波形。