10ps チタンサファイア発振器の縦モード制御による 超高繰り返し深紫外パルス列の強度安定化

Stabilization of pulse energies of a ultrahigh-repetition-rate, DUV pulse-train
by controlling longitudinal modes of a 10 ps Ti:sapphire oscillator

東大工¹, 東大理² ◦大間知 潤子¹, 吉岡 孝高², 五神 真^{1,2}

Graduate School of Eng., The Univ. of Tokyo¹, Graduate School of Sci., The Univ. of Tokyo²,
◦Junko Omachi¹, Kosuke Yoshioka², and Makoto Kuwata-Gonokami^{1,2}

E-mail: gonokami@phys.s.u-tokyo.ac.jp

高分解能角度分解光電子分光では、光電子スペクトルを高いスペクトル分解能(< 1 meV)を保ちながら、より短時間で高い信号雑音比を実現することが重要である。ピコ秒モード同期レーザーの波長変換により得られる深紫外パルス光源と高分解能光電子アナライザを用いた従来の方法では、スペクトル分解能を劣化させる空間電荷効果を回避するためにパルスエネルギーを極力下げる必要があり、長時間測定を避けられなかった。これを解決するためには、パルス光源の繰り返し周波数を劇的に上げることが必須である。そこで私たちはファブリーペロー共振器(以下ではFP共振器)を用いて、深紫外パルス光の繰り返し周波数の遜倍化を行った。FP共振器の縦モード間隔がピコ秒モード同期チタンサファイアレーザーの四倍波(209 nm)の繰り返し周波数(74 MHz)の15倍となるように共振器長を能動制御し、繰り返し周波数1.1 GHzのピコ秒深紫外光源を実現した。これにより、分解能を損なわずに測定時間を二桁以上短縮できることを8 KにおけるAuの多結晶の光電子分光測定において実証した[1]。

さらなる低温や複雑な電子状態の測定等、分解能を更に追求する用途においては、深紫外パルス列の強度を均一にして空間電荷効果を究極的に抑制する必要がある。しかし、安定化されていないピコ秒モード同期レーザーの発振周波数の変動が大きいことに起因して、FP共振器の能動制御を実現するにはフィネスを下げる必要があった。除去すべき縦モードの残留度は時間領域での強度変調の強さを意味するため、上記のような用途には不十分である。本研究では、十分なフィネスのFP共振器によるフィルタリングを実現するため、自作単一縦モードレーザーを用いてピコ秒モード同期レーザーの縦モードを安定化し、超高繰り返し深紫外パルス列の強度安定化を行った。

FP共振器の線幅は元の繰り返し周波数1/10以下に設定した。一方、レーザーの四倍波の縦モードの揺らぎもFP共振器の能動制御の帯域(< 10 kHz)以下の速さでこの共振器の線幅以内の変動幅に収まることが要求される。レーザーの縦モードの揺らぎには、繰り返し周波数とオフセット周波数の二つからの寄与がある。前者は容易に制御でき、また安定であることを確認している。一方、後者はレーザーの特性や環境に大きく依存し、制御も難しい。実際に本モード同期レーザーのオフセット周波数の変動量は100 msで数10 MHzであることを確認した。さらにレーザーの四倍波のオフセット周波数の揺らぎは四倍に強調される。本研究では10ピコ秒モード同期レーザーの縦モード安定化を簡便に行う方法として、自作の単一縦モードレーザーに対してモード同期レーザーの縦モードの1本が位相同期するように、モード同期レーザーの共振器長に対してフィードバックを行った。この方法は、10ピコ秒パルスのようにパルス内の縦モードの本数が1000本程度に限られる場合に有効である。発表で詳細を報告する。

[1] 大間知 他、第74回応用物理学会秋季学術講演会、19p-A14-2 (2013)。