

## 4P014

### FEL 同期レーザーを用いた希ガスの時間分解シングルショット光電子分光

(名大院・理<sup>1</sup>, 理研 XFEL<sup>2</sup>, 新潟大院・理<sup>3</sup>, 分子研<sup>4</sup>, JASRI<sup>5</sup>)

伏谷 瑞穂<sup>1,2</sup>, 彦坂 泰正<sup>2,3</sup>, 松田 晃孝<sup>1,2</sup>, 遠藤 友随<sup>1</sup>, 繁政 英治<sup>2,4</sup>, 永園 充<sup>2</sup>,  
佐藤 堯洋<sup>2</sup>, 登野 健介<sup>2</sup>, 富樫 格<sup>2</sup>, 大橋 治彦<sup>2,5</sup>, 仙波 泰徳<sup>5</sup>, 矢橋 牧名<sup>2</sup>,  
石川 哲也<sup>2</sup>, ○菱川 明栄<sup>1,2,4</sup>

【序】自然放射光から立ち上がる,いわゆる自己増幅自発放射 (SASE: self-amplified spontaneous emission) 型の自由電子レーザー (FEL) ではショット毎にその波長および強度に「ゆらぎ」が生じる。こうしたゆらぎはその揺れ幅で起きた現象をすべて平均化してしまうため,共鳴現象など波長や強度に敏感な現象が覆い隠されてしまう。最近我々のグループでは, FEL 光のゆらぎをレーザーショット毎に計測する手法を導入することで, この「ゆらぎ」を積極的に利用した精密観測を行い, 極端紫外(EUV)強レーザー場における希ガス原子の非線形光学過程を明らかにすることに成功した[1]。本研究では, このシングルショット計測の時間分解光電子分光への応用を目指し, EUV-FEL パルスとこれに外部同期した超短パルスレーザーを用いた希ガス原子の 2 色 2 光子イオン化過程の光電子計測を行った。

【実験】図 1(a)に実験装置の概略図を示す。理化学研究所播磨研究所 SCSS 試験加速器から発生した EUV-FEL 光 (50-62 nm, ~10  $\mu$ J, ~100 fs, 20 or 30 Hz) を楕円ミラー(EM)および円筒ミラー(CM)からなる前置集光系を用いて相互作用領域に集光した(~5 TW/cm<sup>2</sup>)。FEL の光強度の制御および計測はビームライン上流に設置された Ar ガス減衰器を用いて行った。加速器マスタートリガー (238 MHz) と同期した Ti:Sapphire レーザー出力から波長変換した UV レーザーパルスを  $f = 1000$  mm のレンズ(L)および Al ミラー(SM)を用いて, EUV-FEL パルス光と約 1 度の入射角で相互作用領域に導入した。FEL と光学レーザーパルスとの時間遅延は光学ステージ (精度 1  $\mu$ m) を用いて制御した。光電子のエネルギー校正は FEL 光 (24.4 eV) の 3 次高調波(73.2 eV)によって放出される Xe のオージェ電子スペクトルおよび酸素原子の自動イオン化スペクトルを用いて行った。

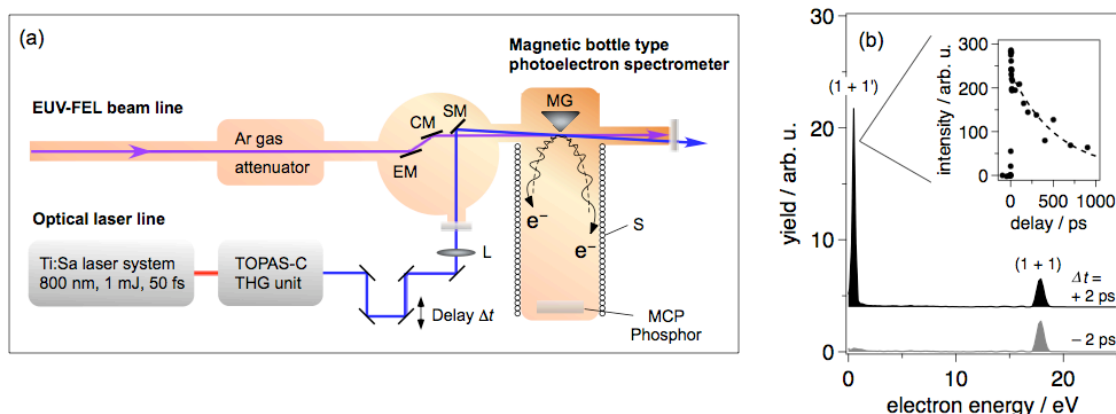


図 1(a)磁気ボトル型光電子分光器を用いた実験装置の概念図。(b)遅延時間  $\Delta t = +2$  および  $-2$  ps における He の共鳴 2 光子イオン化スペクトル(FEL:58.2 nm,UV: 324 nm)。(挿入図) 共鳴 2 色 2 光子イオン化ピークの時間変化。

【結果と考察】 図 1(b)に FEL 光 (58.4 nm) および UV レーザー (324 nm) の照射により観測された He の光電子スペクトルを示す。17.9 eV に観測された光電子ピークは He $2^1P$  状態を経由した FEL 光の 2 光子共鳴イオン化に起因する。一方、0.45 eV に出現した光電子ピークは  $2^1P$  状態に励起した後、UV レーザーによりイオン化して生成した光電子に由来する。この 2 色 2 光子共鳴イオン化による光電子ピークの時間変化を計測したところ、 $2^1P$  状態の寿命 (560 ps [2]) に対応する 540(80) ps の減衰を示した。

次に、計測システムの時間分解能を詳細に評価するため、FEL 光の波長を共鳴準位のない 59.8 nm に設定し、He の非共鳴 2 色 2 光子イオン化過程を調べた。時間遅延  $\Delta t = 0$  fs における FEL 光および UV レーザー (269 nm) の照射により観測されたシングルショット毎の光電子スペクトルおよび積算した光電子スペクトル (白線) を図 2(a)に示す。スペクトルには非共鳴 2 色 2 光子イオン化に由来するピーク (0.74 eV) の他に、FEL 波長ゆらぎによって共鳴励起した He  $2^1P$  準位 (58.4 nm) を経由したピーク (1.25 eV) が観測された。図 2(b)に示すように、これら 2 種類の成分はシングルショット解析によって分離可能であることが明らかとなった。このうち非共鳴ピーク(NR)信号強度の時間依存性は 360(30) fs の半値全幅 (FWHM)をもつガウス型関数でよく再現できた。FEL 光および UV レーザーのパルス幅は 100 fs 程度であるため、この時間分解能は主としてレーザー同期信号のジッターを反映しているものと考えられる。

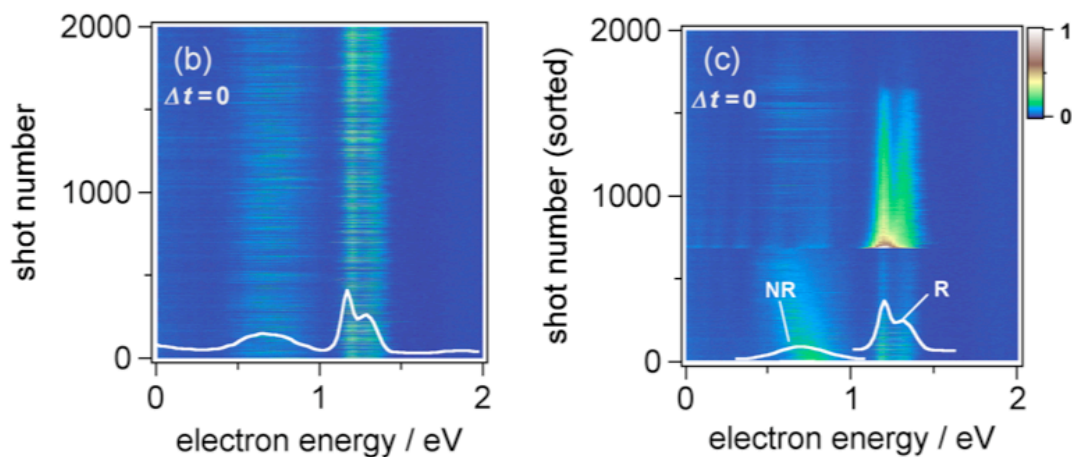


図 2 (a)FEL 光(59.8 nm)および UV 光(269 nm)の遅延時間  $\Delta t = 0$  fs における He の 2 色 2 光子イオン化過程のシングルショット光電子スペクトル。(b)共鳴ピーク(R)および非共鳴(NR)ピークの強度を基に並び替えたシングルショット光電子スペクトル。

### 【参考文献】

- [1] Y. Hikosaka, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **105**, 133001 (2010).
- [2] M. Žitnik, *et al.*, J. Phys. B **36**, 4175 (2003).