

## 極端紫外強レーザーパルスによる He の多光子 2 電子励起

(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>, FJU<sup>5</sup>, 電通大<sup>6</sup>, JST さきがけ<sup>7</sup>, JASRI<sup>8</sup>)

○ 伏谷 瑞穂<sup>1,2</sup>, 彦坂 泰正<sup>2,3</sup>, 松田 晃孝<sup>1,2,4</sup>, Liu Chien Nan<sup>5</sup>, 森下 亨<sup>6,7</sup>, 繁政 英治<sup>2,4</sup>, 永園 充<sup>2</sup>, 登野 健介<sup>2</sup>, 富樫 格<sup>2</sup>, 大橋 治彦<sup>2,8</sup>, 木村 洋明<sup>2,8</sup>, 仙波 泰徳<sup>8</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】** 近年登場した極端紫外(EUV)域の自由電子レーザーにより、極端紫外強レーザー場中における原子・分子の非線形光学現象に関する研究が盛んに行われてきている。我々は FEL 光の波長ゆらぎをレーザーショット毎に測定する手法を導入することで、FEL 光のゆらぎを積極的に利用した精密計測が可能であることを示してきた[1]。本研究では、このシングルショット光電子計測を用いて、多光子吸収による He の 2 電子励起状態の観測を行った。

**【実験】** 理化学研究所播磨研究所 SCSS 試験加速器から得られた EUV FEL 光を用いて実験を行った。水平方向に偏光した FEL 光 ( $\sim 24$  eV,  $\sim 10$   $\mu$ J,  $\sim 100$  fs,  $\sim 5$  TW/cm<sup>2</sup>, 20 Hz) を楕円ミラーおよび円筒ミラーからなる前置集光系を用いて試料ガスに集光した。FEL 光の相対強度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制御・計測した。FEL 光に対する He の非線形応答を詳細に観測するため、磁気ボトル型光電子分光器を用いたシングルショット計測を行った。エネルギー分解能 ( $\Delta E$ ) は  $E/\Delta E = 20$  ( $E < 100$  eV) であった。光電子のエネルギー校正は FEL 光 (24.3 eV) の 3 倍波(72.9 eV)によって放出される Xe のオージェ電子スペクトルを用いて行った。

**【結果と考察】** 光子エネルギー 24.1 eV の FEL 光照射による He の光電子スペクトルを図 1(a)に示す。11 eV に観測された 2 重線は波長モニター用に導入した Xe の 1 光子イオン化で生じた光電子に起因している。一方、6.9, 24 および 48 eV に検出されたピーク (A),(B)および(C)は He 由来の光電子である。エネルギー保存則より、ピーク(B)は FEL の 2 光子吸収または 2 次光によりイオン化して生じた光電子に由来し、ピーク(A)および(C)は FEL の 3 光子吸収または 3 次光によるイオン化により、それぞれ He<sup>+</sup>の電子励起状態( $N=2$ )および基底状態( $N=1$ )へと遷移して生成した光電子であると帰属した。

図 1(b)にシングルショット毎に解析したピーク(A),(B)および(C)の FEL 基本波の光強度に対する依存性を示す。ピーク(A)は傾き  $k=2.3$  をもつ顕著な依存性が観測され、多光子過程に由来することが明らかとなった。一方、ピーク(B)および(C)では低 FEL 光強度においてほぼ一定値をとる。これはピーク(B)および(C)には FEL の高次光による寄与が大きいことを示している。これらのピークに対する FEL 基本波の吸収は、光強度の増加に伴う緩やかな強度増加に反映されている。高次光の寄与を除いて光電子ピークの相対強度を求めたところ、レーザー場強度 5 TW/cm<sup>2</sup>において(A) : (B) : (C) = 24 : 1 : 0.3 となった。この強度比は FEL の多光子吸収による寄与に対応し、3 光子吸収イオン化(A+C)が 2 光子吸収イオン化(B)よりも

効率よく進行していることを示している。

ピーク(A)には微細構造が観測され、そのシングルショット解析からこの3光子吸収のエネルギー領域に存在する He の 2 電子励起状態[2]への共鳴が明らかとなった。このことは時間依存超球座標法による理論計算[3,4]によって確認され、共鳴に関与する 2 電子励起状態の帰属が明らかとなった。これらは、多光子吸収によって 2 電子励起状態が極めて効率よく生成することを示すはじめての成果であり、極端紫外あるいは X 線領域の非線形過程を理解する上で 2 電子励起状態の寄与が重要であることを意味している。

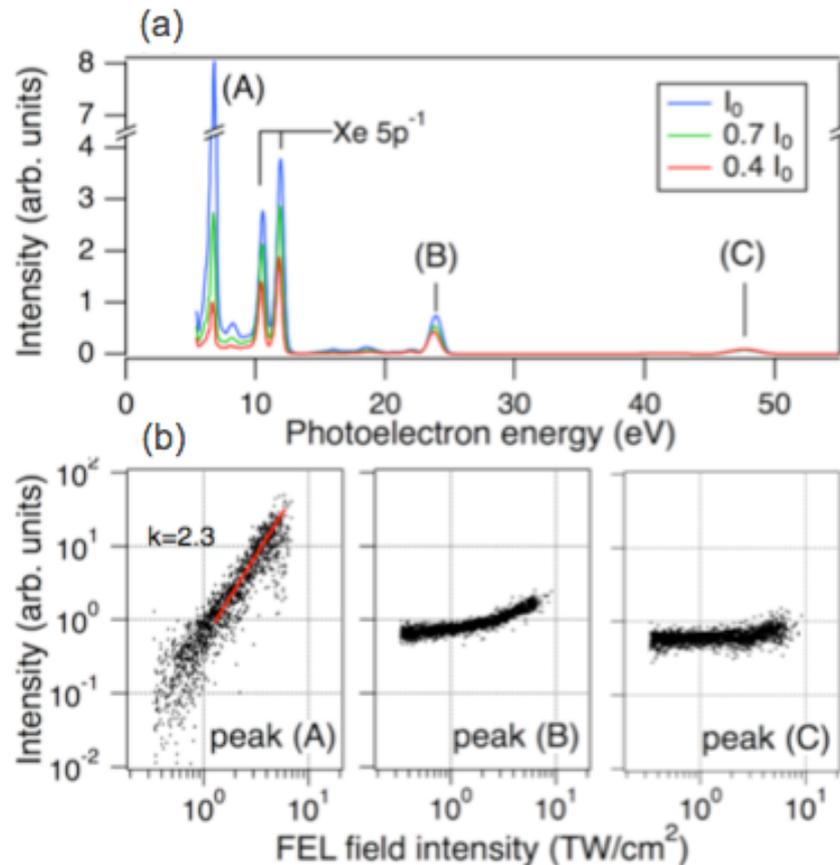


図 1 (a) FEL 光 ( $h\nu = 24.1\text{eV}$ ) 照射によって観測された He の光電子スペクトル。(b) 光電子ピーク (A), (B) および (C) の FEL 強度依存性 (強度  $I_0 \approx 5\text{ TW/cm}^2$ )。

### 【参考文献】

- [1] Y. Hikosaka, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **105**, 133001 (2010).
- [2] D. W. Lindle, *et al.*, Phys. Rev. A **31**, 714 (1985).
- [3] C. D. Lin, Phys. Rep. **257**, 1 (1995).
- [4] A. Hishikawa, *et al.*, submitted.