

1P014

高感度フェムト秒レーザーアシステッド弾性電子散乱観測装置の開発
(東大院・理) ○石田角太, 歸家令果, 山内 薫

Development of a highly-sensitive apparatus for femtosecond laser-assisted elastic electron scattering

(School of Science, The University of Tokyo) ○Kakuta Ishida, Reika Kanya, and Kaoru Yamanouchi

【序】レーザー場中の原子や分子によって電子が弾性散乱される時、散乱電子のエネルギーは、入射電子のエネルギーからレーザー光子エネルギーの整数倍だけ増減する。この現象は、レーザーアシステッド弾性電子散乱 (laser-assisted elastic electron scattering; LAES) と呼ばれる。中赤外域の CO₂ レーザーを用いた比較的弱いレーザー場 ($< 10^9$ W/cm²) における LAES 信号は 1970 年代にすでに観測されていたが[1], 最近になって我々は独自の LAES 観測装置[2]を開発し、近赤外域の高強度フェムト秒レーザー場 ($\lambda = 795$ nm, $\Delta t = 200$ fs, $I = 1.8 \times 10^{12}$ W/cm²) における LAES 信号の観測に成功した[3]。このフェムト秒 LAES 過程を利用することによって、高強度レーザー場における原子内電子ダイナミクス計測やフェムト秒の時間分解能をもつ時間分解気体電子回折法が可能となる。2014 年に我々は、CCl₄ 分子によるフェムト秒 LAES 信号を観測し、レーザーアシステッド電子回折 (laser-assisted electron diffraction; LAED) 信号を解析することによって、レーザーが照射された瞬間の分子の幾何学的構造を決定できることを実証した[4]。しかし、これまでに測定されたフェムト秒 LAES 信号は極めて微弱であり、原子内電子ダイナミクス計測や時間分解 LAED 計測を実現するためには、S/N 比の飛躍的な向上が必要であった。そこで本研究では、フェムト秒 LAES 信号を高感度で観測するための実験装置を新たに開発した。

【実験】実験装置の概略図を図 1 に示す。開発した装置は、光陰極型超短パルス電子銃、ガス導入ノズル、電子エネルギー分析器、および、電子検出器によって構成される。金カソードへの紫外レーザーパルス照射による光電効果によって電子パルスを生成し、1000 eV に加速した後に電磁レンズによって集束する。電子ビームパルス、フェムト秒レーザーパルス、および、ガス導入ノズルからの漏れ出し原子ビームは、散乱点において同時に衝突し、非散乱電子はビームブロックで阻止される。試料原子により散乱された電子は、スキマ (14 mm ϕ) を通過した後に、角度分解飛行時間型電子エネルギー分析器に導入される。分析器内において、散乱電子は約 5 eV まで減速され、飛行管を通過した後に、約 1000 eV まで再加速され時間位置敏感型検出器に

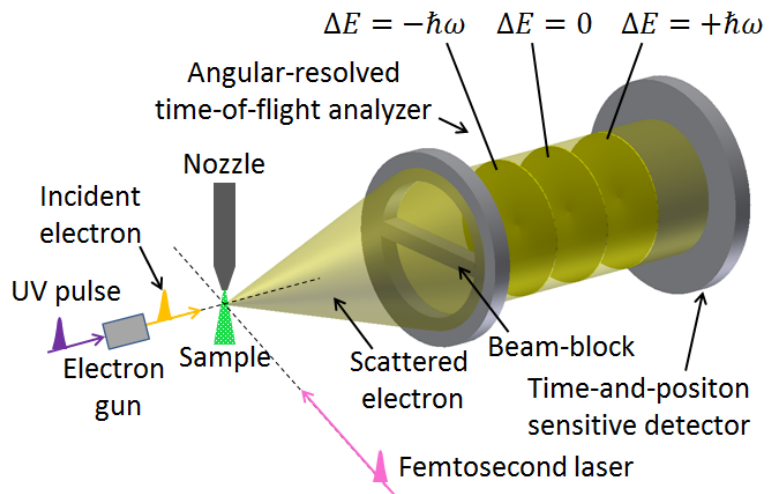


図 1. 実験装置の概略図。

よって検出される。検出器における電子の検出位置と到達時刻から、散乱電子の散乱角度とエネルギーが求められる。開発した装置の性能を評価するために、レーザー場が存在しない条件の下、Xe 原子を標的とした電子散乱実験を行い、弾性散乱電子の散乱角度分布とエネルギー分布を計測した。

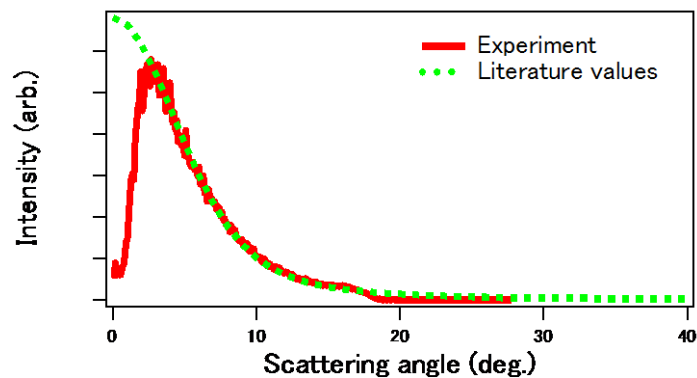


図2. Xe 原子により弾性散乱された電子の散乱角度分布. 実線: 実験値. 点線: 文献値[5].

【結果と考察】Xe 原子によって散乱された弾性散乱電子の散乱角度分布を図2に示す。実線は実験結果を示す。文献値[5] (点線) との比較から、観測可能な散乱角度 θ の範囲が $2^\circ \leq \theta \leq 18^\circ$ であることが示された。分析器の手前に幅 3 mm のビームブロックを設置しているため、 $\theta < 2^\circ$ の領域の散乱電子は観測されていない。散乱角度 $2.5^\circ \leq \theta \leq 3.5^\circ$ に弾性散乱された電子のエネルギースペクトルを図3に示す。実線は、入射電子ビームのエネルギー (E_i) を 1000 eV に設定した場合の弾性散乱信号を示す。図3では、

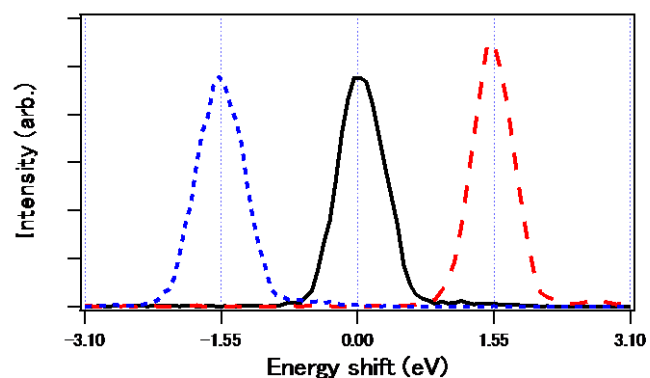


図3. Xe 原子により弾性散乱された電子のエネルギースペクトル. 電子のエネルギーは、998.45 eV (点線), 1000 eV (実線), 1001.55 eV (破線) である。

加速電圧を1光子分のエネルギー (1.55 eV) だけ変え、 $E_i = 998.45$ eV (点線), および、 $E_i = 1001.55$ eV (破線) とした場合に得られた弾性散乱電子のエネルギースペクトルを示した。この図から、本装置のエネルギー分解能は 0.5 eV であり、この装置を用いれば、LAES 過程に伴って1光子分だけエネルギーが変化した散乱電子を分離して観測できることが示された。また、本装置の信号検出効率は従来の我々の装置の約 40 倍であり、フェムト秒 LAES 信号の S/N 比を大幅に向上させることが示された。

【謝辞】この研究は JSPS 科研費 (24245003, 24750011, 26288004, 15H05696) , および、イノベーションシステム整備事業の支援を受けて行われた。

【参考文献】

- [1] N. J. Mason, *Rep. Prog. Phys.* **56**, 1275 (1993).
- [2] R. Kanya, Y. Morimoto, and K. Yamanouchi, *Rev. Sci. Instrum.* **82**, 123105 (2011).
- [3] R. Kanya, Y. Morimoto, and K. Yamanouchi, *Phys. Rev. Lett.* **105**, 123202 (2010).
- [4] Y. Morimoto, R. Kanya, and K. Yamanouchi, *J. Chem. Phys.* **140**, 064201 (2014).
- [5] A. Jablonski, F. Salvat, and C. J. Powell, NIST Electron Elastic-Scattering Cross-Section Database (SRD64), Version 3.2, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD (2010).