

1P010

高強度フェムト秒レーザー場における
多光子遷移レーザーアシステッド電子散乱の観測

(東大・院理) 石田角太, 歸家令果, 森本裕也, 山内 薫

Observation of multiphoton transitions in laser-assisted electron scattering
in a femtosecond intense laser field

(School of Science, the University of Tokyo) Kakuta Ishida, Reika Kanya, Yuya Morimoto,
and Kaoru Yamanouchi

【序】 レーザー場において電子が原子によって散乱される際、散乱電子のエネルギーが $nh\nu$ (n : 整数, $h\nu$: 光子エネルギー) だけ変化する現象は、Laser-Assisted Electron Scattering (LAES) と呼ばれている。LAES 過程の観測は、連続発振レーザーやマイクロ秒レーザーによる比較的低いレーザー場強度 ($< 10^9 \text{ W/cm}^2$) において古くから行われてきたが [1, 2], 当研究室では最近、高強度フェムト秒レーザーによる $n = \pm 1$ の LAES 過程の観測に初めて成功した [3]。高強度レーザー場における LAES 過程では、原子や分子が光ドレスト電子状態を形成し、その特性が LAES 信号に現れることが理論的に予測されている [4]。従って、LAES 過程を利用すれば、強光子場における光ドレスト電子状態の観測が可能になると期待される。特に、高強度レーザー場との非摂動的相互作用によって原子・分子中の電子雲が大きく変形するとき、電子雲の時間発展にレーザー周期の高調波成分が出現することに起因して、光ドレスト電子状態形成の影響が多光子遷移を伴う LAES 信号 ($|n| > 1$) に強く現れると予測される。そこで本研究では、当研究室が開発したフェムト秒 LAES 観測装置 [5]を用いて高強度フェムト秒レーザー場における LAES 測定実験を行い、多光子遷移を伴う LAES 信号 ($n = \pm 1, \pm 2, +3$) の観測に初めて成功した。

【実験】 実験装置の概略を図 1 に示す。真空チャンバー中に噴射された Xe ガスにレーザービームパルス ($I_{\text{peak}} = 4.7 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$, $\lambda = 800 \text{ nm}$, $\Delta t = 350 \text{ fs}$) と電子ビームパルス (1 keV , $\Delta t = 50 \text{ ps}$) が同時に入射され、散乱電子はスリットによって切り出される。切り出された散乱電子はトロイダル型電子エネルギー分析器によってエネルギーと散乱角度が同時に分析され、二次元検出器によって観測される。この観測の信号カウントレートは約 50 cps, 総積算時間は約 103 時間であった。エネルギー分解能は約 0.6 eV であり, $h\nu (= 1.55 \text{ eV})$ のエネルギー差を十分に識別することができる。なお、非散乱電子や散乱角度が 2° 以下の小角散乱電子は、スリット前に設置されたファラデーカップによって遮断されている。

【結果と考察】 検出器において観測された電子の像を、図 2 に示す。図 2(a) はレーザー場における散乱信号, 図 2(b) はレーザー照射の 100 ps 後の散乱信号 (LAES 信号に対する背

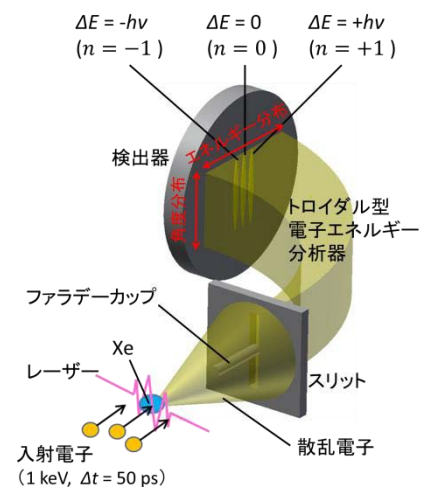


図 1. 実験装置の概略.

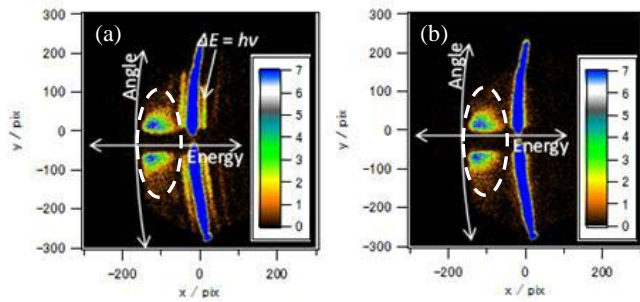


図 2. Xe による散乱電子の像. (a) レーザー場における信号. (b) 背景信号.

景信号) である. 白色矢印によって示したように, 横方向がエネルギー分布を, 縦方向が散乱角度分布を表す. 図 2(a), (b)の中央部に現れている弧状の強い信号は弾性散乱信号であり, 白色破線によって囲まれた部分に現れているのは非弾性散乱電子由来の迷電子信号である. 図 2(b)においては弾性散乱信号と迷電子信号のみが観測されているのに対して, 図 2(a)においては弾性散乱信号からエネルギーシフトした複数の弧状の信号も観測されている.

図 2 に示した信号を散乱角度分布に対して積分すると, 図 3(a)のようなエネルギースペクトルが得られた. 赤丸はレーザー場における信号を, 黒丸は背景信号を表わす. レーザー場における信号では, 光子エネルギー (1.55 eV) の整数倍だけエネルギーシフトをした位置に信号の増加が見られる. レーザー場における信号から背景信号を差し引くと, 図 3(b)のようなエネルギースペクトルが得られる. また, 図 3(c)は, 図 3(b)の青色破線によって囲まれた部分を拡大したものである. $n = -3$ の信号は迷電子信号の影響により確認できなかったが, $n = \pm 1, \pm 2, +3$ に対応するエネルギーシフトでは明らかな信号の増加が観測された. 緑実線は LAES 信号の数値シミュレーションの結果を示す. 数値シミュレーションでは, Kroll-Watson の微分散乱断面積の式 [6]を用い, 実験条件における分子ビーム, レーザービームパルス, 電子ビームパルスの時間的・空間的な重なりを考慮して信号強度を見積っている. 実験値と計算値の間には良い一致が見られ, $n = \pm 1, \pm 2, +3$ の LAES 信号が確かに観測されていることが示された.

【参考文献】

- [1] D. Andrick, and L.Langhans, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **9**, L459 (1976).
- [2] A. Weingartshofer, J. K. Holmes, G. Caudle, E. M. Clarke, and H. Krüger, *Phys. Rev. Lett.* **39**, 269 (1977).
- [3] R. Kanya, Y. Morimoto, K. Yamanouchi, *Phys. Rev. Lett.* **105**, 123202 (2010).
- [4] F. W. Byron Jr, C. J. Joachain, *J. Phys. B* **17**, L295 (1984).
- [5] R. Kanya, Y. Morimoto, and K. Yamanouchi, *Rev. Sci. Instrum.* **82**, 123105 (2011).
- [6] N. M. Kroll, K. M. Watson, *Phys. Rev. A* **8**, 804 (1973).

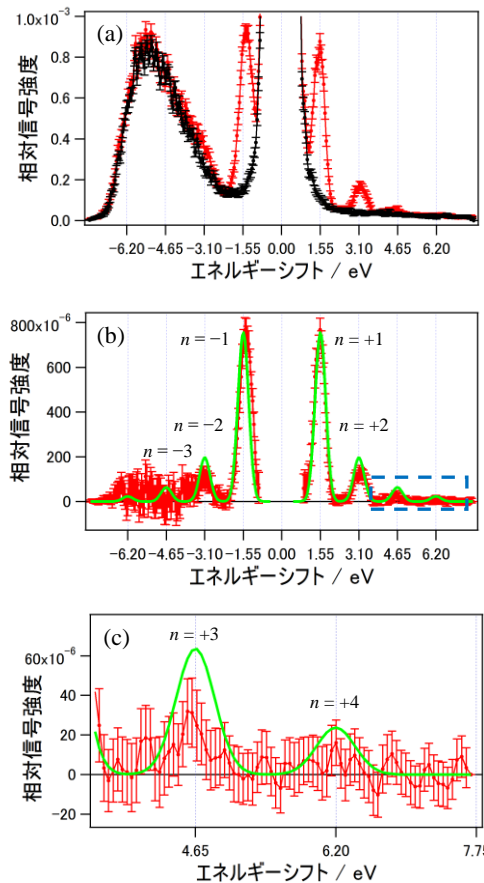


図 3. (a) Xe 原子を試料としたときの散乱電子のエネルギースペクトル. 信号強度は弾性散乱信号のピーク強度によって規格化されている. 赤丸: レーザー場における信号, 黒丸: 背景信号. (b) レーザー場における信号から背景信号を差し引いたエネルギースペクトル. 赤丸: 実験値, 緑実線: 計算値. (c) $n = +3$ の信号付近 (図 3(b)の青色破線部分) の拡大図.