

レーザーアシステッド電子衝突イオン化観測装置の開発

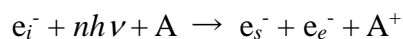
¹東大院・理, ²マックス・プランク研究所
○廣井 卓思¹, 森本 裕也², 歸家 令果¹, 山内 薫¹

Development of apparatus for laser-assisted electron impact ionization

○Takashi Hiroi¹, Yuya Morimoto², Reika Kanya¹, Kaoru Yamanouchi¹,
¹Department of Chemistry, The University of Tokyo, Japan
²Max Planck Institute of Quantum Optics, Germany

【Abstract】 We developed an apparatus equipped with a set of homemade angle-resolved time-of-flight analyzers for the measurement of electron impact ionization of atoms and molecules in an ultrashort intense laser field, and investigated the electron impact ionization of He. The scattered electrons and the ejected electrons were guided respectively towards one analyzer collecting electrons in the small angle region and the other analyzer collecting electrons in the wide angle region, and were detected in coincidence. A count rate of the coincidence detection achieved by this asymmetric configuration of the two analyzers was estimated to be two orders of magnitude higher than the commonly adopted symmetric configuration. By using this newly developed apparatus, we investigated electron impact excitation and electron impact ionization of rare gas atoms.

【序】 レーザー場の下で電子衝突イオン化が起こると、電子の散乱過程において光子エネルギーが授受され、レーザーアシステッド電子衝突イオン化(laser-assisted electron impact ionization; LAEII)と呼ばれる過程



が起こる [1]。ここで e_i は入射電子を、 e_s は散乱電子を、 e_e はイオン化により放出された電子を、 A は散乱体である原子や分子を表す。この LAEII 過程には、散乱体と光が強く結合したことによる光ドレスト効果が現われると期待されると期待される[2]ことから、その観測が待ち望まれている。しかしながら、LAEII は断面積が極めて小さいこともあり、2005 年に Höhr ら[3]がヘリウムに対してナノ秒レーザー ($\lambda = 1064 \text{ nm}$, $\Delta t = 7 \text{ ns}$, $I = 4 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$) を用いて初めて観測して以来、その報告例は無い。我々は LAEII 過程を高い効率で観測するために実験装置を製作し、予備的な計測実験を行った。

【方法】 装置の概略図を図 1 に示す。中心波長 800 nm のレーザーパルスの 3 倍波を石英基板に蒸着した厚さ 10 nm の金の薄膜に照射することによって、時間幅約 20 ps のパルス電子を発生させ、生じた電子を 1000 eV に加速した後に試料ガスに照射した[4]。2つのアラインメントコイルによって、電子ビームの照射位置を 0.1 mm の精度で調整し、電子衝突イオン化を誘起させた後、散乱された電子と放出された電子とをコインシデンス計測した。電子衝突イオン化の三重微分散乱断面積は、散乱電子が小角側に散乱され、放出電子が広角側に放出されるときに最も大きくなる。そのため、図 2 で示したように、自作の角度時間分解型分析器からなる 2つの検出系を非対称に配置して測定を行い、従来の対称配置での測定に比べて高い検出効率を達成した。また、この角度時間分解型分析器を用いることによって、1 eV 以下のエネルギー分解能で散乱電子と放出電子のエネルギーを決定することが可能となった。

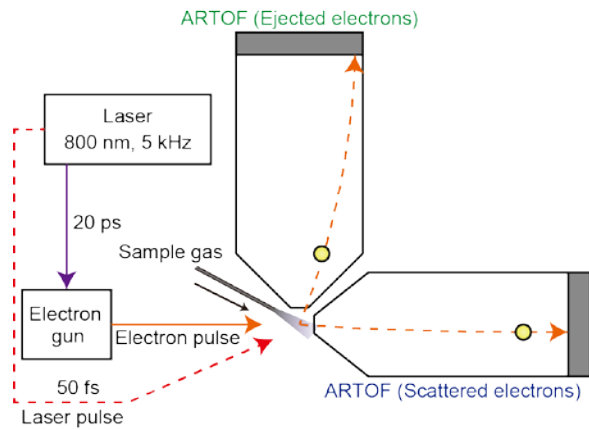


Fig. 1. Experimental setup of electron impact ionization with the asymmetric detection configurations.

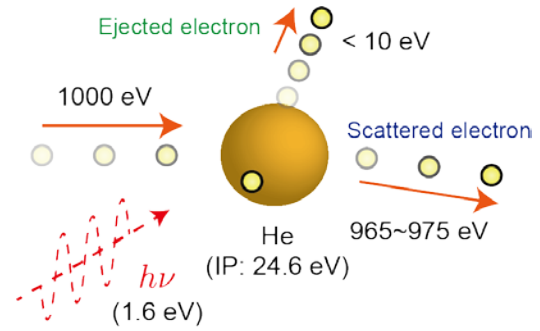


Fig. 2. Electron impact ionization and laser-assisted electron impact ionization.

【結果・考察】 ヘリウムを試料ガスとした場合に、小角側に設置した角度時間分解型分析器によって測定した散乱電子の飛行時間スペクトルを図3に示す。電子の飛行時間は、図3の上を示したように、散乱時に電子が失ったエネルギーに変換できる。最も飛行時間が短い 386 ns に観測されたピークは、弾性散乱された電子に対応する。437 ns と 446 ns に観測されたピークはいずれも非弾性散乱過程によるもので、電子衝突によりヘリウムの 1s 軌道の電子が 2p 軌道および 3p 軌道に励起され、その励起に伴ってエネルギーを失った電子に帰属される。図3の青色で塗りつぶされた部分の電子、すなわち、453 ns よりも遅い飛行時間で検出された電子は、全てヘリウムのイオン化ポテンシャル以上のエネルギーを失って散乱された電子である。これらの電子は、散乱の際に電子衝突イオン化が起こり、イオン化に伴って電子が放出されたことを示している。イオン化に伴って放出された電子を、広角側に設置したもう一つの角度時間分解型分析器によって測定したところ、散乱電子と放出電子が 1 count/s 程度のカウンタ数で同時に検出され、同時検出された電子のエネルギーの和は入射電子のエネルギーからイオン化ポテンシャルを引いた値と一致することが確かめられた。このカウンタ数 (1 count/s) は、レーザー場の下で LAEII 過程を現実的な時間で観測するために十分に大きな値である。

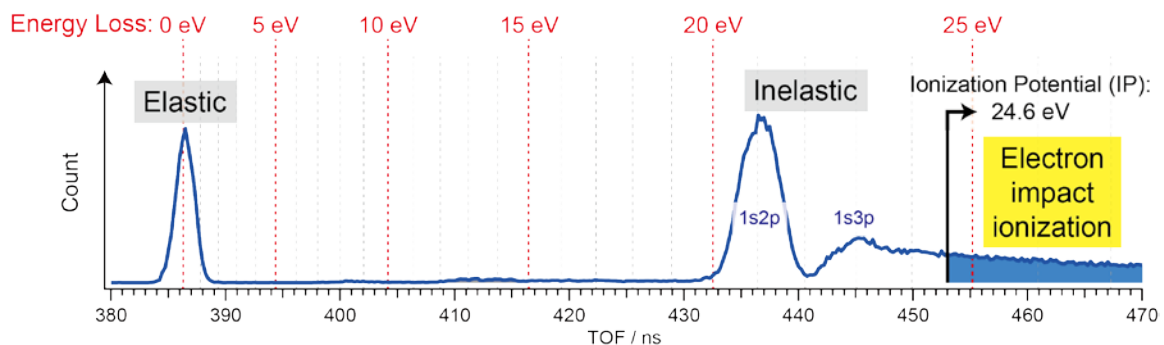


Fig. 3. Observed electron energy loss spectrum of He.

【参考文献】

- [1] P. Cavaliere *et al.* *J. Phys. B*, **13**, 4495 (1980).
- [2] C. J. Joachain *et al.* *Phys. Rev. Lett.*, **61**, 165 (1988).
- [3] C. Höhr *et al.* *Phys. Rev. Lett.*, **94**, 153201 (2005).
- [4] R. Kanya *et al.* *Rev. Sci. Instrum.*, **82**, 123105 (2012).