

4P017

C₂H₄分子の角度分解再散乱電子スペクトルの測定と電子・イオン 微分散乱断面積の抽出

(東北大・多元研¹, 吉林大学², テキサス A&M 大学³, 電通大・先進理工⁴,
Kurchatov 研究所⁵, Aarhus 大学⁶) Chuncheng Wang^{1,2}, 奥西みさき¹, Robert
R. Lucchese^{1,3}, 森下 亨⁴, Oleg I. Tolstikhin⁵, Lars B. Madsen⁶, Dajun
Ding², 上田潔¹

Extraction of electron-ion differential scattering cross sections from angle-resolved rescattering photoelectron spectra of C₂H₄

(IMRAM Tohoku University¹, Jilin University², Texas A&M University³,
The University of Electro-Communications⁴, Kurchatov Institute⁵,
Aarhus University⁶) Chuncheng Wang^{1,2}, Misaki Oknunishi¹, Robert R.
Lucchese^{1,3}, Toru Morishita⁴, Oleg I. Tolstikhin⁵, Lars B. Madsen⁶,
Dajun Ding², Kiyoshi Ueda¹

[序] 気相中の原子・分子に高強度レーザーパルスを照射するとイオン化により電子が放出される。これらの電子の一部は振動するレーザー電場の折り返しに伴いその向きを変え、電子を放出した親イオンに再衝突をする。再衝突電子が親イオンと弾性衝突することで再散乱電子が放出される。後方弾性再散乱電子は再衝突後にレーザー電場による加速により高いエネルギーを持つ光電子として観測される。電子の再衝突現象はレーザー電場の1光学サイクル(800nmのレーザー光で約2.7fs)未満で起こる超高速現象であることから、高エネルギー再散乱電子スペクトルや、再衝突電子の再結合過程によって生成される高次高調波スペクトルを用いた原子・分子の超高速イメージングの可能性が従来から指摘されてきた。

森下ら⁽¹⁾はH原子とAr原子について時間依存シュレディンガー方程式(TDSE)の数値計算により求めた光電子スペクトルの解析から、最も高い衝突エネルギーでイオンに弾性衝突し後方散乱された電子の微分散乱断面積を見積ることが出来ることを示した。更にChenら⁽²⁾はこの研究をより小さな衝突エネルギーでの後方再散乱電子に拡張することでより広いエネルギー範囲で電子の微分弾性散乱断面積が抽出できることを、TDSEの数値計算により示した。我々は最近、O₂分子およびCO₂分子の高エネルギー再散乱電子スペクトルを測定し、森下らおよびChenらの方法で電子・イオン微分弾性散乱断面積を実験的に抽出した。実験的に見積もった断面積を、数値計算によって求めた微分散乱断面積と比較し、両者の間にかなり良い一致を見た⁽³⁾。このことは分子をターゲットにした場合でも電子・イオン衝突の微分散乱断面積を求めるのにこれらの方法が有効な手法

であることを示している。本研究では更にサイズの大きな分子である C_2H_4 分子について角度分解再散乱電子スペクトルを測定から電子・イオン微分散乱断面積を抽出し、それを理論計算と比較し、本手法の有効性を検証した。

[実験] 波長 800nm パルス幅 100fs 繰り返し周波数 1kHz の直線偏光したレーザーパルスを $\lambda/2$ 波長板を用いて偏光方向を回転させながら、超高真空槽中に導入した希ガス原子に短焦点のミラーで集光し、 C_2H_4 分子をイオン化した。放出された電子を長さ 264mm の飛行時間型電子エネルギー分析器で検出し、光電子のエネルギースペクトルを測定した。 $\lambda/2$ 波長板を一定のスピードで繰り返し回転させることでエネルギースペクトルの角度分布を精度良く測定することが出来た。

[結果と考察] C_2H_4 は平面分子であり、その HOMO 軌道は分子面に対して垂直方向にローブを持つ π 軌道であることが知られている。分子のトンネルイオン化は、主に HOMO 軌道からの電子放出に起因することから、そのイオン化確率はレーザーの偏光方向がこの分子の HOMO 軌道の向きを向いたときに最大となる分布を持つ。従って、イオン化確率は偏光方向が分子面に対して垂直方向にピークを持つ分布をしていることが判る。再散乱電子はトンネルイオン化により生成した電子の再衝突によるものであることから、ランダムな配向をした分子の測定においても、特定の配向分布をもつ分子からの再散乱電子スペクトルを測定することが出来ることになる。

実験から求めた電子- $C_2H_4^+$ 弾性衝突の微分散乱断面積（上図）と計算から求めた微分散乱断面積（下図）の 2次元分布図を図にそれぞれ示す。実験的に求められる微分散乱断面積は分子配向

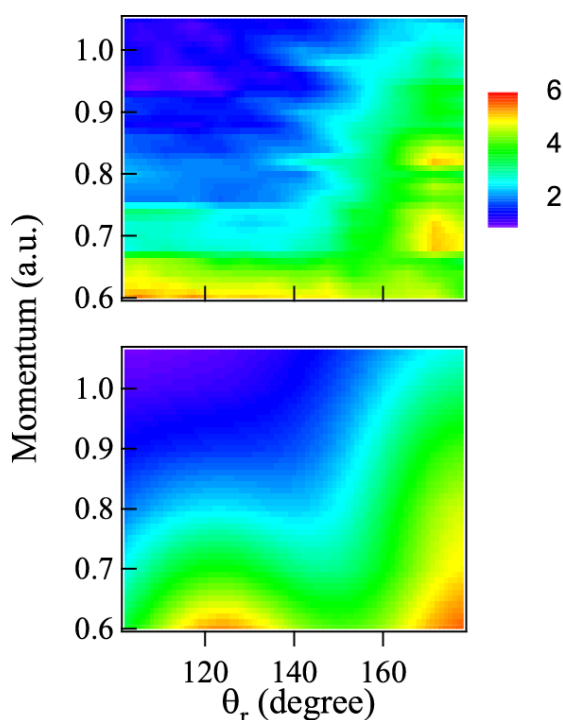


図 1. 実験から抽出した電子・ $C_2H_4^+$ 衝突の微分散乱断面積（上図）およびその計算値（下図）の比較

分布により平均化されたものであり、電子の入射方向はレーザーの偏光方向に平行であることから、計算ではまず様々な配向での分子固定系における微分散乱断面積を計算し、これらをイオン化確率の偏光方向に対する分子配向角依存性で平均化して実験と比較する。イオン化確率の角度依存性は最近提案された漸近近似による手法を用いて計算した⁽⁴⁾。実験で求めた微分散断面積と計算結果が良い一致を示していることから、 C_2H_4 分子のような非直線多原子分子においても、本手法による電子・イオン微分散乱断面積の抽出の有効性を確かめることが出来た。

[参考文献] (1) T. Morishita, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **100**, 013903 (2008). (2) Z. Chen, A-T. Le, T. Morishita, and C. D. Lin, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **42**, 061001 (2009). (3) M. Okunishi, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **106**, 063001 (2011). (4) O. I. Tolstikhin, T. Morishita, and L. B. Madsen, *Phys. Rev. A* **84**, 053423 (2011).