

2P018

分子の再散乱電子スペクトルと電子・イオン微分散乱断面積抽出方法についての検討

(東北大・多元研¹、電通大・先進理工²、テキサス A&M 大学・化学³)

伊藤雄太¹、○奥西みさき¹、森下亨²、Robert R. Lucchese³、上田潔¹

Extraction procedure of differential scattering cross sections from rescattering photoelectron spectra of molecules

(Tohoku Univ.¹, Univ. of Electro-Communications², Texas A&M Univ.³)

Y. Ito¹, ○M. Okunishi¹, T. Morishita², Robert R. Lucchese³, K. Ueda¹

【序】高強度近赤外レーザー光を気相中の原子・分子に照射するとトンネルイオン化により電子が放出され、その一部はレーザー電場の向きの反転に伴って進行方向を変え、親イオンと再衝突する。再衝突電子が親イオンにより後方弾性散乱されることで、親イオンの構造に関する情報を含んだ再散乱電子が放出される。この電子の再散乱過程はレーザー電場の1周期(波長 800 nm の光で約 2.7 fs)未満の短時間で起こることから、原子・分子の超高速ダイナミクスをフェムト秒の時間分解能で観測できることが期待される。

森下らは、TDSE 計算により得られた角度分解再散乱電子スペクトルから、最大の運動量で再衝突したときの電子・イオン微分散乱断面積を抽出することが可能であることを示した[1]。Chen らは、より小さな再衝突運動量の範囲においても、同様の解析により微分散乱断面積を抽出できることを示した[2]。

当研究室ではこれまで、波長 800 nm のフェムト秒レーザー光を用いて希ガス原子や簡単な分子の再散乱電子スペクトルを測定し、森下らおよび Chen らの手法を用いて実験結果から電子・イオン微分散乱断面積の抽出を行ってきた。この結果と、理論計算により求めた微分散乱断面積が良い一致を示すことから、この手法の有効性を確認してきた[3]。

現在では、C₂H₄ 分子を試料としたとき、より長波長のレーザー光を用いることによって再衝突電子の運動量を 3 a.u. (エネルギーにして 122 eV) 程度まで増大させることができている。また、装置の改良によって観測できる電子の散乱角の範囲も広がった。したがって実験的に得られる微分散乱断面積から原子間距離の情報を抽出できる可能性が期待される。原子間距離の情報は、微分散乱断面積に観測される異なる原子からの散乱波の干渉項から得られる。この干渉項(分子散乱因子)を求めるには精度良く断面積の干渉項を抽出することが肝要である。本研究では、実験的に測定した C₂H₄ 分子の再散乱電子スペクトルから微分散乱断面積を異なる手法で抽出し、得られる分子散乱因子を理論計算と比較検討した。

【実験】Ti:Sapphire レーザー(800 nm, 100 fs, 1.5 mJ, 1 kHz)の出力光を OPA により波長 1200-1700 nm に変換し、超高真空槽内に漏れ出し分子線として導入した試料に照射した。イオン化に伴い放出された電子を飛行時間型電子エネルギー分析器で検出した。 $\lambda/2$ 板を用い入射光の偏光方向を回転させながら測定することで、エネルギースペクトルの角度分布を得た。

【結果と考察】Fig. 1 に波長 1650 nm のレーザー光を用いて測定した C₂H₄ 分子の角度分解再散乱電子スペクトルから抽出した微分散乱断面積の角度分布を示す。森下らおよび Chen らの

断面積抽出手法では、再衝突運動量 p_r とレーザー電場から受け取るドリフト運動量 A_r の比 p_r/A_r を 1.26 に固定している。一方 Blaga らは、レーザー電場中におけるトンネル電子の運動を古典論に基づいて計算することで p_r/A_r を決定し、実験で得られた再散乱電子スペクトルから微分散乱断面積を抽出している[4]。古典計算において、再衝突運動量 p_r が最大となるとき p_r/A_r は 1.26 と一致する。本研究では p_r/A_r を 1.26 に固定した場合と古典計算に基づいて p_r/A_r を変化させた場合とで抽出される微分散乱断面積の比較を行った。古典計算に基づく結果では高角度側の微分散断面積が小さくなり、理論的に求めた断面積との一致も良いことが分かった。ここで構成原子である C 原子と H 原子の原子微分散乱断面積の(原子数の重みつき)和を原子成分の基準値として図に示してある。

Fig. 2 に最大の再衝突運動量を 3.0 a.u.として抽出した微分散乱断面積の角度分布から求めた分子散乱因子を示す。実験結果から抽出した断面積と先ほど示した原子成分の断面積の差をとり規格化することで分子散乱因子を求めた。分子構造に由来する振動構造が観測されており、理論計算より求めた分子散乱因子ともよく一致している。

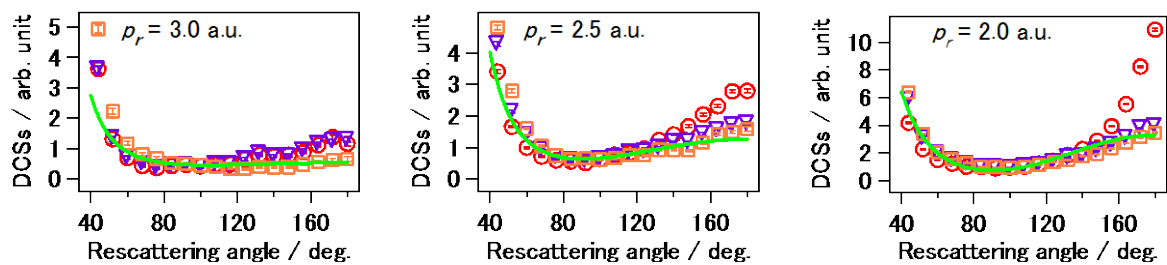


Fig. 1 C_2H_4 分子の角度分解再散乱電子スペクトルから抽出した微分散乱断面積の角度分布 (○: $p_r/A_r=1.26$ 、▽: 最大の再衝突運動量を 3.0 a.u.として p_r/A_r を計算、□: 最大の再衝突運動量を 4.7 a.u.として p_r/A_r を計算)、—: 構成原子の原子散乱断面積の和)

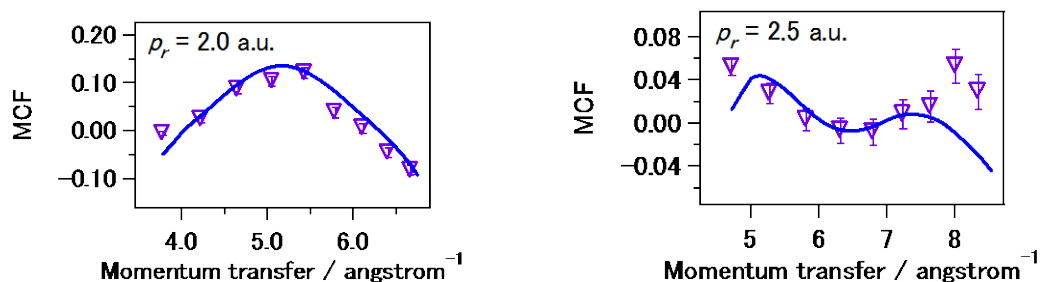


Fig. 2 C_2H_4 分子の微分散乱断面積の角度分布から求めた分子散乱因子 (▽: 実験的に求めた分子散乱因子、—: 理論計算から求めた分子散乱因子)

References

- [1] T. Morishita *et al.*, Phys. Rev. Lett., **100**, 013903 (2008).
- [2] Z. Chen *et al.*, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. **42**, 061001 (2009).
- [3] M. Okunishi *et al.*, Phys. Rev. Lett. **100**, 143001 (2008); M. Okunishi *et al.*, Phys. Rev. Lett. **106**, 063001 (2011); C. Wang *et al.*, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. **45**, 131001 (2012).
- [4] C. L. Blaga *et al.*, Nature, **483**, 194 (2012).