

強レーザー場中での N_2 および O_2 分子の光電子スペクトル

(東北大・多元研¹、Tata Institute of Fundamental Research²)

○奥西みさき¹、嶋田浩三¹、Prüemper Georg¹、Mathur Deepak^{1,2}、上田潔¹

【序】強いレーザー場中におかれた原子・分子は光子場との相互作用により容易にイオン化を起こす。光電子分光法はこの種の強光子場中での原子・分子のイオン化過程の研究において極めて有力な実験手法であるが、従来の研究はその対象がほぼ希ガス原子に限られており、分子の詳細な光電子測定の例は非常に限られている¹⁻³。そこで、本研究では、フェムト秒レーザー（800nm パルス幅 100fsec）を用いて強レーザー場中（ $\sim 10^{14} \text{ W cm}^{-2}$ ）での2原子分子（ N_2 , O_2 ）の光電子スペクトルを幅広いエネルギー領域で測定し、これらを希ガス原子の光電子スペクトルと比較することで強レーザー場中でのイオン化過程における分子効果についての探索を行った

【実験】光電子測定には長さ 268 mm の飛行時間(TOF)型電子エネルギー分析装置を用いて行い、飛行時間から電子の運動エネルギー分布を測定した。再生増幅型フェムト秒チタンサファイアレーザーシステムから出力した波長 800 nm のレーザー光（パルス時間幅 100fsec、繰り返し周波数 1kHz）を焦点距離 60 mm のレンズで超高真空チェンバー内に集光し分子をイオン化した。レーザーの偏光は、(TOF 軸に平行な)直線偏光および円偏光にして実験を行った。

【結果と考察】直線偏光および円偏光のレーザー光を光源として測定した、 N_2 分子および（比較のための）Ar 原子の光電子スペクトルの一例を図 1 に示す。直線偏光と円偏光のレーザー光強度は両者の電場強度がほぼ一定の値になるように調整した。ここで N_2 分子および Ar 原子はほぼ同じ大きさのイオン化エネルギーを持つので原子極限では極めてよく似た電子スペクトルを示すものと予想される。一方、 O_2 分子および Xe 原子もほぼ等しい

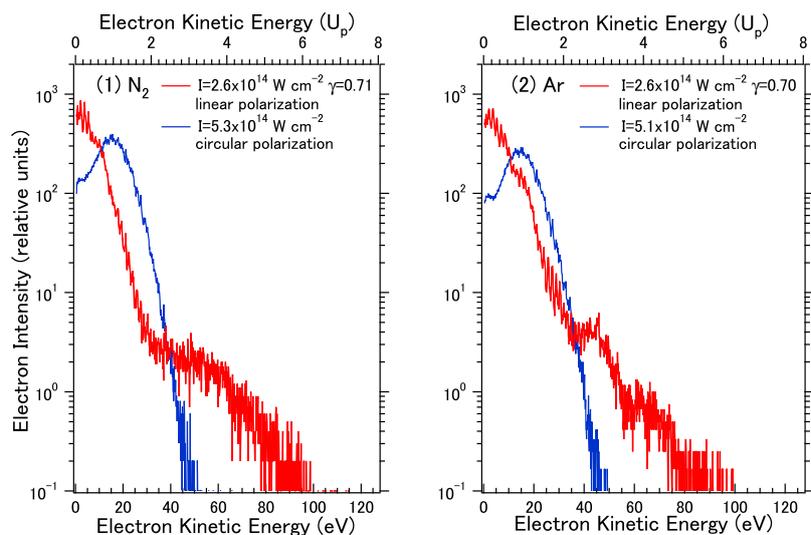


図 1 直線偏光および円偏光の光を用いて測定した (1) N_2 分子および (2) Ar 原子の光電子スペクトル (γ は Keldysh パラメータ)

比較のための) Ar 原子の光電子スペクトルの一例を図 1 に示す。直線偏光と円偏光のレーザー光強度は両者の電場強度がほぼ一定の値になるように調整した。ここで N_2 分子および Ar 原子はほぼ同じ大きさのイオン化エネルギーを持つので原子極限では極めてよく似た電子スペクトルを示すものと予想される。一方、 O_2 分子および Xe 原子もほぼ等しい

イオン化エネルギーを持つことから、同様に測定した O_2 分子および Xe 原子の光電子スペクトルを図 2 に示す。ここで U_p は電子が光子場から受け取る平均のエネルギー (ponderomotive energy) である。図に示すように、直線偏光で測定した光電子スペクトルは電子の運動エネルギー (E_{kin}) の増加とともに急激に減少し ($E_{kin} < 2 \sim 3U_p$)、エネルギーが $2 \sim 3U_p$ を超えると傾きが急に緩やかになり、 $10U_p$ 付近でほぼ完全にゼロに近づく。低エネルギーの領域 ($E_{kin} < 2 \sim 3U_p$) で測定される電子は光子場による直接イオン化により放出されたものであるのに対し、後者の領域 ($2 \sim 3U_p < E_{kin} < 10U_p$) では最初に放出された電子がレーザー電場により分子に再衝突・再散乱された後放出された電子によるものと考えられている^{4,5}。実際、再衝突が不可能な円偏光の光によるイオン化では再衝突領域は観測されない。

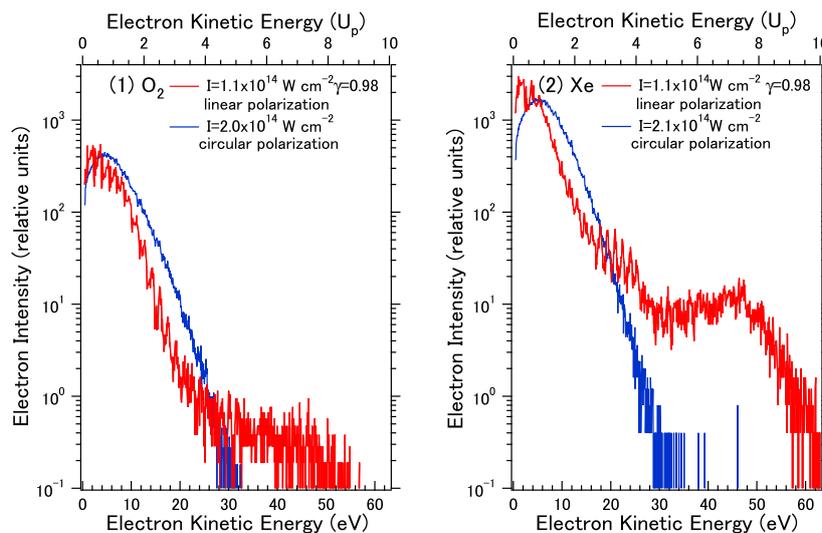


図 2 直線偏光および円偏光の光を用いて測定した(1) O_2 分子および(2)Xe 原子の光電子スペクトル

図 1 から N_2 分子と Ar 原子の光電子スペクトルは再散乱領域の形状を除き強度・形状ともに非常に類似している。これは N_2 分子のイオン化過程が原子に類似したイオン化過程を経ていることを示唆している。Ar 原子の $E_{kin} \sim 3U_p$ 付近に見られる光電子強度の増加は n 光子吸収過程 (n : 整数) が丁度イオン化限界付近に一致する場合に現れるも

ので、channel-closing 共鳴と呼ばれ⁶、原子の場合に特に顕著に現れるものと考えられる。一方、図 2 より O_2 分子の光電子スペクトルは Xe に比べて強度が 1 桁近く小さく、特に $E_{kin} < 1 \sim 1.5U_p$ の低エネルギー領域と再散乱領域の強度が極めて小さいことが判る。低エネルギー領域での光電子強度の低下はイオン化に主に関与する O_2 分子の最外殻軌道が反対称軌道 π_g であるために 2 つの等価な O 原子から散乱される電子の散乱波が干渉効果によって打ち消し合うためと考えられている⁷。

[1] M. J. DeWitt and R. J. Levis, Phys. Rev. Lett. 81, 5101 (1998).

[2] E. E. B. Campbell *et al.*, Phys. Rev. Lett. 84, 2128 (2000).

[3] F. Grasbon *et al.*, Phys. Rev. A 63, 041402 (2001).

[4] G. G. Paulus *et al.*, Phys. Rev. Lett. 72, 2851 (1994).

[5] N. B. Delone and V. P. Krainov, Physics-Uspekhi 41, 469 (1998) [Usp. Fiz. Nauk 168, 531 (1998)].

[6] G. G. Paulus *et al.*, Phys. Rev. A 64, 021401 (2001).

[7] F. Grasbon *et al.*, Phys. Rev. A 63, 041402 (2001).