

摩擦帯電メカニズムの解明に向けた絶縁性高分子の電子構造の観測:

ポリエチレンモデル化合物の高感度光電子分光

Direct Observation of Insulating Polymer to Elucidate of Tribocharging Mechanism:

High-Sensitivity Photoemission Spectroscopy of Model Compound of Polyethylene

千葉大工学部¹, 千葉大院融合理工学部², 新構造材料技術研究組合³, 千葉大先進⁴, 千葉大 MCRC⁵,

山口 雄生¹, 清水 康平², 松崎 厚志², 佐野 大輔², 佐藤 友哉³, 石井 久夫^{1,2,4,5}

FE Chiba Univ.¹, GSSE Chiba Univ.², ISMA³, CFS Chiba Univ.⁴, MCRC Chiba Univ.⁵,

E-mail: ishii130@faculty.chiba-u.jp

絶縁性高分子材料の摩擦帯電現象はレーザープリンタや電子写真機、ナノ発電機など幅広く応用されているにも関わらずその基本的なメカニズムは議論が収束していない。一般に絶縁性高分子材料はバンドギャップが大きいので、単なる機械的な接触によって最高占有軌道(HOMO)や最低非占有軌道(LUMO)へ電荷が直接移動することは考えにくい。そのため、Lowell らや Duke らが提案するようにバンドギャップ内に何らかの準位が存在し電荷移動が起こっていることが推測されてきた^[1]。一方で、接触により高分子の主鎖が断裂しメカノラジカルやメカノアニオンが生成されることで帯電が生じるモデル、絶縁性高分子のバルク内に侵入した帯電水により帯電するモデルなど、ギャップ準位が直接は関与しないモデルも提案されており、帯電モデルを決定するには至っていない^[1]。そもそも帯電を生じうるだけの状態密度(DOS)がギャップ内に存在するかどうかを判断するため、以前、我々は高感度光電子分光を用いて Nylon-6,6 の摩擦帯電特性との関連を報告した^[2]。Nylon-6,6 は帯電列^[3]によれば正に帯電しやすいが、DOS を測定しただけではこの帯電特性を議論するには不十分であった。そこで、本研究では、Nylon-6,6 とは異なり負に帯電しやすい特性を持つポリエチレン(PE)をとりあげ、そのモデル化合物であるテトラテラコンタン(TTC)C₄₄H₉₀ 薄膜のギャップ準位を含む DOS の測定を試みた。

TTC 膜はアニール処理を施すことで結晶性の高い表面構造を示すことが知られている。本研究では ITO 基板に TTC を蒸着して製膜したものとさらに、アニール処理をしたものの二種類を用意し表面構造の違いでどのように電子状態が異なるのかについても研究を行った。HS-UPS の測定結果を Fig.1 に示す。(a)はアニール処理をした TTC 膜、(b)はしていない TTC 膜である。励起波長 $h\nu$ を細かく変えながら測定し得られたスペクトルを接続することで約 6 桁にわたる DOS の測定に成功しており、バンドギャップ内の幅広い範囲にわたってギャップ準位が分布していることがわかる。また、どちらの DOS 分布も Nylon-6,6 と同様に指数関数的(Aexp(E/E_0))に減衰している。減衰パラメータ E_0 はそれぞれ、 $E_0 = 275\text{meV}$, 323meV であり、アニール処理をしていない方が緩やかに減衰していることがわかる。さらに、アニール処理をしていない TTC 膜はフェルミ準位よりも低エネルギー側にも準位が存在している。これは何らかのトラップ電子が観測されていると考えられる。本講演では実測した DOS 分布をもとに二種類の TTC の帯電量とギャップ準位の関係について議論し、また、Nylon-6,6 の帯電特性と比較する予定である。

[1] S. Matsusaka *et al.*, Chem. Eng. Sci. 65, 5781 (2010) and references therein.

[2] Sato *et al.*, Appl. Phys. Lett. 110, 111102 (2017)

第 75 回応用物理学会秋季学術講演会18p-A2-12

[3] A. F. Diaz, and R. M. Felix-Navarro, J. Electrostat. 62, 277 (2004)

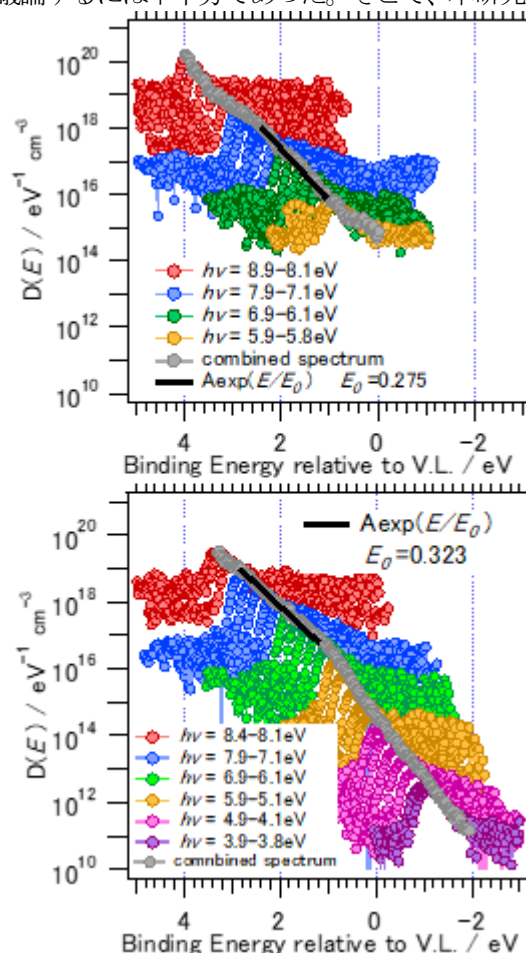


Fig. 1. Semi-log plot of the HS-UPS spectra of TTC film (a) with and (b) without annealing.