

カーボンナノチューブ複合紙の二次元光電子分光マッピングと特性評価

大野真也¹, 今堀樹¹, 大矢剛嗣¹, 小澤健一², 間瀬一彦²¹ 横浜国立大学大学院理工学府² 高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所

カーボンナノチューブ(CNT)複合紙は、紙に導電性を付与することが可能で、色素増感太陽電池等の半導体素子への応用が期待されている[1]。安価、軽量で湾曲可能なフレキシブル材料としても期待が大きい。本研究では、光電子分光での研究が希少な紙材料の特性評価の事例を紹介する。

従来、光電子分光法は絶縁材料の解析において中和銃による帯電補正などの注意が必要であることが知られている[2]。セルロースやリグニンは繊維質で絶縁性が高いが、熱分解反応に関連する光電子分光による研究報告例もある[3]。この場合、中和銃により帯電補正しない場合には artifact にアサインされる余分のスペクトル成分が観測されると報告されている。本研究では、カーボンナノチューブ(CNT)を含有し導電性を高めた CNT 複合紙試料においてホール注入障壁が 0.7 eV 以下となり、また 4 端子法測定でも良好な伝導特性を示すことを確認した。この材料では、中和銃による検討はしていないが、内殻状態、価電子状態ともに帯電現象を示唆するブロードニングやスペクトルの揺らぎは観測されなかった。

このことから、繊維質ではこれまでに報告例がないと思われる二次元光電子分光マッピングを試み、応用上重要な熱分解反応に焦点を当てて解析を進めることとした。過去の研究例では、セルロースについて 600-1200°C の熱分解後の変化が考察されている[3]。熱分解の作用は、大まかにはセルロース中の酸素が炭素と結びつき主として CO₂ および C_xH_yO_z で表される脱離種を生成放出しながら炭化していく過程に対応する[4]。本研究では、真空中で CNT 複合紙に直接通電することで 200-800°C の加熱を行った。直接通電による熱分解反応の報告例はまだないと思われる。

Fig. 1 に光電子マッピングデータの一例を示す。加熱温度の上昇により酸素強度が顕著に減少する様子が捉えられている。また、内殻状態に関してピーク強度だけでなくピーク位置の解析により組成変化が明瞭に判定できることが分かる。更に、分解反応が進むにつれて試料の均一性が高まる様子も観測された。この他、熱分解が進行するとホール注入障壁が減少しマクロな抵抗も整合して減少する様子も観測された。また、熱分解と共に仕事関数が減少する傾向を見出した。これらの知見は、CNT 複合紙の物性を用途に合わせて最適化するための指標になると考えている。

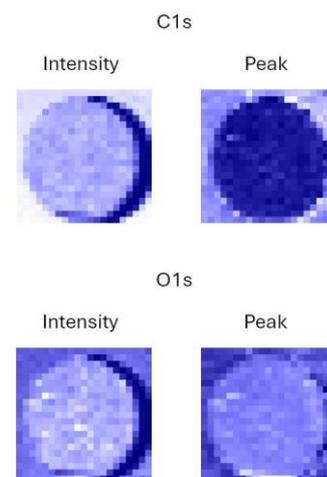


Fig. 1 光電子分光マッピング例

[1] Y. Kou, and T. Oya, *J. Composite Sci.* **7**, 232 (2023).

[2] 日本表面科学会編, 「X線光電子分光法」(丸善, 1998).

[3] T. Haensel *et al.*, *Appl. Surf. Sci.* **255**, 8183 (2009).[4] Q. Wang *et al.*, *Sci. Rep.* **10**, 3626 (2020).