

カーボンナノチューブの二酸化炭素吸蔵効果に関する研究

代表研究者 堀家 匠平
神戸大学 環境保全推進センター 准教授

研究要旨

カーボンニュートラル実現に向け、大気中から CO₂ を直接回収する DAC (Direct Air Capture) 技術が重要視されている。本研究では、優れた電子物性と比表面積を持つカーボンナノチューブ (CNT) の DAC 材料としての可能性を探索した。CNT は空気中で自然に p 型半導体特性を示すが、これに大気中の CO₂ と H₂O から生じる炭酸が関与しているとの仮説を立てた。そこで、プロトン酸によるドーピング状態を安定化させる塩として lithium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide (Li-TFSI) に着目し、その共存下での空気暴露によるドーピング効果の解明と DAC 機能の実証を目的とした。

単層 CNT を用いて自立膜および薄膜を作製し、Li-TFSI 溶液への浸漬処理を行った。処理後のサンプルについて、導電率、ゼーベック係数、吸収スペクトルの測定を行い、キャリア密度と電子状態の変化を評価した。また、ドーピングメカニズムを解明するため、不活性ガス (N₂) 雰囲気下および CO₂、加湿環境下での電気抵抗変化をその場観察した。

実験の結果、Li-TFSI 処理を施した CNT 膜は、未処理品と比較して導電率が大幅に向上し、ゼーベック係数の挙動からホール密度の増大が確認された。しかし、N₂ 雰囲気下において CO₂ や H₂O を導入しても抵抗値の低下（ドーピング）は観測されず、空気暴露によって初めて急激なドーピングが進行した。これにより、ドーピングの主因は当初想定した炭酸（CO₂ 由来）ではなく、酸素分子であることが示唆された。すなわち、Li-TFSI は酸化剤としてではなく、酸素による酸化生成物をアニオン交換により安定化させる助剤として機能していることが判明した。

当初期待した CO₂ 回収機能（DAC）の実証には至らなかったものの、Li-TFSI の添加効果により、酸素による自然酸化が促進され、かつその p 型ドーピング状態が劇的に安定化することを見出した。本手法で作製した p 型 CNT は 100 °C の高温環境下でも安定であり、強酸を用いずに塩を添加する簡便な手法で、高耐久な p 型 CNT を獲得する新たなプロセスを得るに至った。