

課題番号 72

体内植込機器のための生体親和性を有する 高耐久性カーボン電極材料の開発

[1] 組織

代表者：平郡 諭

(大阪工業大学工学部)

対応者：山田 昭博、山家 智之

(東北大学加齢医学研究所)

分担者：岡阪 友希

(大阪工業大学大学院工学研究科)

研究費：物件費 13 万円

[2] 研究経過

近年様々な重篤疾患に対する対策の一つとして体内埋込型デバイスの開発・改良が加速度を増して進められている。一方で、体内埋込型デバイスのバッテリーや高度集積化制御コア、アクチュエータ部の駆動部などでの発熱に対する解決策は未だ見出されていない。デバイスから発生する熱を排除することは、生体へ与える悪影響を最小化するだけでなく体内埋込デバイスの負荷を軽減させデバイスの機能をより飛躍的に発展させるうえで不可欠な課題である。代表者らは埋込型デバイスの駆動時における熱を効率的に排除することをねらいとして、カーボン素材から成る熱伝導性電極材料を複合化させたデバイスの作製を行った。検討を進めるうえでよく知られた導電性ポリマーは、ポリマー自体の構造が脆く化学・熱力学的に不安定であるため体内埋込型デバイスには適さない。炭素繊維は強靱であるが柔軟性に欠け、材料として曲率のある構造体に密着、あるいは蒸着できない。そこで本共同研究では熱伝導性と電気伝導性を有し、生体親和性をも併せ持つカーボン材料を開発することを目的として研究を行った。

本共同研究で提案するカーボン材料はグラファイトを骨格とした極めて安定な構造を有する2次元層

状物質である(図1)。当該材料は安定な構造を有するだけでなくカーボン材料の特長である柔らかさ、軽さ、薄さをも有し体内埋込型デバイスに求められる要件を合わせ持っている。新たなデバイスを追加することで排熱を実現するのではなく、限りなく体積、重量を増加させることなく体内埋込型デバイスの発する熱を取り除き、当局的な電気伝導性を実現する。本共同研究は、医工学と物質科学の融合で実現される研究であり両分野の新たな展開を拓くことが期待される。

メールでの連絡以外に電話での研究打合せを2回、オンラインでの打合せを2回行った。オンラインでの打ち合わせにも双方が慣れてきており、様々な道具を使うことで有意義な議論を行うことができた。対面での打ち合わせと実験を1回行うことができ共同研究としての手応えを実感できた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

グラファイトは高純度で配向性が良いことで知られている人造黒鉛の高配向性熱分解グラファイト(Highly Oriented Pyrolytic Graphite, HOPG)のグレード ZYA, ZYB, ZYD, ZYH を用いた。グレードに依存し

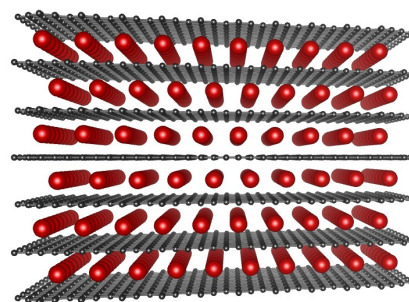


図1 グラファイト骨格を利用した2次元層状物質の構造モデル

て面内方向のモザイク広がり異なり、配向性や劈開面の段差にも影響を与えることが知られており、今回は複数のグレード品を用いて実験を試みた。

試料の合成は酸素濃度が 0.1 ppm 以下であるように管理されたアルゴン雰囲気下のグローブボックス内にて石英管に入れ、真空封入したのち電気炉を用いて熱処理を行った。X 線回折実験から理想的な層状構造を有していることが確認でき、グラファイト層間距離が飛躍的に増加したことを明らかにした。試料の熱伝導性を調べるために室温から低温までの電気抵抗率の温度依存性を調べた。試料の端子付けはアルゴングローブボックス内で行い、独自に開発した嫌気性セルを用いて直流 4 端子法にて測定した。電気抵抗率の温度依存性は降温に伴って単調に減少した(図 2)。低温では温度の減少とともに電気抵抗率の温度依存性に変化が観測された。室温下での電気抵抗率は $6.5 \times 10^{-3} \text{ } (\Omega\text{cm})$ と見積られた。Lorenz 数として一般的な値である $2.3 \times 10^{-8} \text{ } (\text{W}\Omega/\text{K}^2)$ を用い、Wiedemann-Franz 則を仮定して熱伝導率を見積ると $\sim 10^{-2} \text{ } (\text{W}/\text{mK})$ と小さい値となり物質中における熱キャリアは格子が支配的と考えられた。予想よりも小さい値であったが測定の際の端子の接触抵抗を低減することで抵抗率の値は桁で改善されると考えている。熱伝導率を見積もるのに用いた法則は化学ポテンシャル近傍の数 $k_B T$ 程度のエネルギー領域においてスペクトル伝導度がエネルギーの一次関数で近似できる場合に限り有効である。カーボン材料に限らず多くの材料は化学ポテンシャルが band 端近傍に存在するためにスペクトル伝導度がエネルギーの一

次関数で近似できないため注意を要するが、当該材料におけるおおよその熱伝導率の目安を見積もることは可能であると考えられる。

実際に使用する際はデバイスへ粉体塗装することを考えており接触抵抗等の熱伝導を阻害する余分な抵抗成分は取り除くことが可能であると考ええる。組成ずれなく完全に均質な膜の形成は実現不可能であっても今回の結果から大幅な特性の違いが現れるとは考えにくく十分特性を維持できると考えている。今後も共同研究を継続しこれまでに得られた知見を基盤として研究を進展させたい。

(3-2) 波及効果と発展性など

2023 年度の科学研究費を共同研究として申請し基盤研究 B に採択された(研究代表者：山田昭博)。

公立小松大学にて開催された研究会 Salon de K にて本研究成果を招待講演として紹介し、実験動物中央研究所本博士、関博士、旭川医科大学井上准教授らと議論を深めることができた。本共同研究を通して東北大学以外の研究者とのネットワークを構築することができ、当初想定していなかった発展を遂げることができた。

実際の使用条件を想定して試料を粉体膜にして非接触非破壊な条件の下、熱伝導、及び熱拡散を評価し、加齢研山田助教(当時)らと共同して引き続き研究を進めたいと考えている。本共同研究が目指す研究成果は、医工学と物質科学における新たな展開を拓くことが期待される。

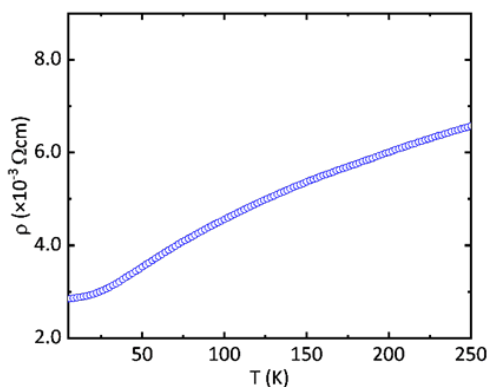


図 2 本共同研究で開発したカーボン材料の電気抵抗率の温度依存性

[4] 成果資料
該当なし