

課題番号 74

分子性熱伝導材料を用いた体内埋込型デバイスの排熱

[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

(東北大学加齢医学研究所)

分担者：橋本泰利

(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が加速度を増して進められている。その一方で、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人体だけでなく体内埋込型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。そこで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目的として、分子性物質から成る熱伝導材料を複合化させたデバイスの作製を行った。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蒸着できないことから本研究では用いなかった。

申請者らが提案する分子性熱伝導材料は究極のゼロ次元分子 C₆₀ フラーレンを骨格とした極めて安定な構造を有する 2 次元ポリマーである(図 1)。当該材料は安定な構造を有するだけでなく分子性物質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くことをねらいとする。本共同研究は、医工学と物質科学の融合共同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。

新型コロナウイルスの感染拡大防止に伴う各種規制や自粛措置が徐々に緩和されてきており研究環境が従来通りとはいかないまでも、工夫することで研究計画に沿って成果を得られた。メールでの連絡以外に電話での研究打合せを 1 回、オンラインでの打合せを 3 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。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

研究代表者はフラーレンを骨格とする分子性材料の合成に成功し、隣接するフラーレン分子が連結したポリマー構造を形成していることをフーリエ変換赤外分光測定と X 線回折実験より明らかにした。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グローブボックス内にてペレット型に圧力成型し、石英管に真

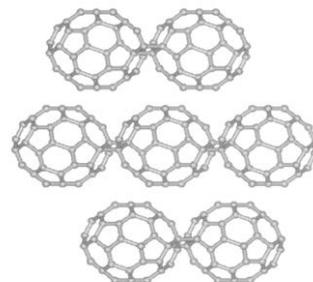


図 1 2 次元ポリマー構造モデル

空封入したのち電気炉を用いて焼結した。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上昇し極大となったのち、さらに低温では温度の減少とともに電気抵抗率は急激に減少した。室温下での電気抵抗率は 1.2×10^4 (Wcm) と見積られた。Lorenz 数として一般的な値である 2.3×10^{-8} (W Ω /K 2) を用い、Wiedemann-Franz 則を仮定して熱伝導率を見積ると $\sim 10^5$ (W/mK) と極めて小さい値となることから物質中における熱キャリアは格子が支配的と考えられる。予想よりも小さい値が得られたが試料の成型方法、及び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。今回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。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ず注意を要するが、当該材料におけるおおよその目安を得るには十分であると考えられる。実際に使用する際はデバイスへ直接蒸着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。組成ずれなく 100%均質な組成薄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期待できる。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。実際の使用条件に近づけるため薄膜状態の

試料を用いて非接触非破壊な条件の下、熱伝導、及び熱拡散を評価し、加齢研山田助教と共同して研究をさらに進展させたいと考えている。

(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た。実際の使用条件に近づけるため薄膜状態の試料を用いて非接触非破壊な条件の下、熱伝導、及び熱拡散を評価し、加齢研山田助教と共同して引き続き研究を進めたいと考えている。加齢医学研究所に訪所し共同実験を行えることを期待している。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。

[4] 成果資料 該当なし

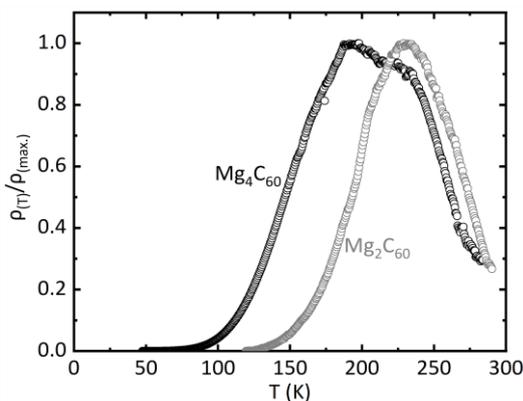


図 2 電気抵抗率の温度依存