

(様式)

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 藤原 健志

電子デバイスおよびパワーデバイスの高性能化、高集積化に伴い、それぞれの素子における単位面積当たりの発熱量が急激に増大している。一般に、電子デバイスは様々な材料から構成されているため、温度が上昇するとそれぞれの材料の持つ熱膨張係数の違いから熱応力が発生し、破壊が起こりやすくなる。したがって、電子デバイスのさらなる高性能化を進める上で、素子からの効率良い放熱技術(サーマルマネジメント)の確立が必須である。本論文はこの放熱技術を支える材料として近年注目されているTIM(Thermal Interface Material)の高性能化に資する新たな材料設計とそれを可能にするプロセス開発に関するものである。

本研究では、これまでに取り組まれてきた有機無機ハイブリッド材料中のフィラーの配向制御という機能改善コンセプトを更に一步推し進め、より高度な三次元マイクロ構造制御手法を提案する。また、熱伝導を向上させる為には単純にフィラーの配向制御を行うのみならず、フィラー同士が連結し、更に膜面の表から裏まで貫通した柱状構造体の形成が有効であるというマテリアルデザインを提唱し、具現化するとともに、熱伝導解析を通じてその仮説の正しさを実証する。また、SEMやX線回折などの既存のハイブリッド材料の構造解析手法に加え、マイクロフォーカスX線CTスキュン法を適用し、三次元マイクロ領域の構造解析における同手法の優位性を明らかにする。

以上に基づき、相反する二つ以上の機能を同時に満たす事の出来る超ハイブリッド材料とも言うべき材料創成における新たな材料設計手法ならびにそのプロセスの提案、実証により、ハイブリッド材料の新たな可能性を探索することを目的とした。

この目的を達成するために、本論文ではスイッチング直流電場とマイクロ構造電極という二つの新たなプロセスを提案し、実証している。BN柱状構造体の合成手法では、その柱は膜面の裏から表まで貫通はしているものの、柱の場所、密度、直径などは制御出来なかった。これに対し、マイクロレベルで微細構造を制御したシリコン板を電極として電界を印加させることにより、その凸凹構造によって柱の場所、密度を制御出来る事を明らかにした。ここで、電磁界シミュレーション結果からは、マイクロレベルの凸凹では電極の表面近傍でしか電界集中が生じないにもかかわらず、また、片面の電極は平板であるにもかかわらず、このような制御が出来たことは特筆すべき点である。片面だけにマイクロレベルの凸凹を付ければ良いことから、安価に所望の位置に三次元構造を形成出来ることを意味している。また、スイッチング回数の制御により、柱状構造体の直径を制御出来ることも見いだした。

さらに、AFMと特殊なヒータープローブのシステムにより、マイクロ領域のサーマルマッピングの計測に成功し、BN柱状構造に基づく熱伝導の向上が局所的に発現していることを可視化出来た。この知見から、BNの凝集体を三次元制御することで、マイクロ熱流路を具現化出来る事を実証したこととなり、本材料が、より高度なマイクロレベルでのサーマルマネジメントに資する材料であることを実証出来たと言える。

本論文は、「サーマルマネジメントの高度化に資する新規無機フィラー配列構造の設計とプロセスの研究」と題し、以下の5章より構成されている。

第1章の「緒言」では、近年のサーマルマネジメント材料の材料設計指針、ならびに研究動向について述べ、本論文において重要となる基礎的な事象ならびに材料について説明を与えた。

第2章では、「マイクロ構造制御基板への毛細管力を活かしたフィラー構造制御手法」として、マイクロレベルの構造を活かした異方性フィラーの整列や、剪断力、毛細管現象を活かしたフィラーの配向制御手法について開発を行った。

第3章の「スイッチング電界を利用した柱状構造凝集体の創製と構造解析」では、正負スイッチン

グ直流電場印加という新規手法を用いることで、ハイブリッド材料中に無機物凝集体からなる柱状構造体を明瞭に形成する手法を提案し、実証した。また、マイクロフォーカス X 線 CT スキャンという手法をハイブリッド材料中の三次元マイクロ微細構造解析に適用し、本手法の優位性を明らかにした。

第 4 章の「マイクロ構造制御電極による柱状構造凝集体の組織制御」では、3 章で得られた BN 凝集体からなる柱状構造体というユニークな構造を更に高度に制御すること、特に、柱の間隔、配置、太さなど的人為的かつ簡便な制御を目的とし、マイクロレベルで電界集中を引き起こすためのマイクロ構造を付与した電極によって、これを実現した。更に、AFM の先端にヒーターを組み込んだ局所領域熱伝導解析法により本材料の局所的な熱伝導率を解析し、電場配向により形成された特異なマイクロ柱状構造に起因した熱伝導パス形成がなされていることを実証した。

第 5 章の「総括」では、本研究の成果を取りまとめ、スイッチング直流電場およびマイクロ構造制御電極というコンセプトにより、比較的安価にハイブリッド材料中の 3 次元マイクロ微細構造を巧妙に制御出来る事を提案し、これを構造解析および局所領域の熱伝導解析など多角的な手法で実証した。