

低熱抵抗カーボンナノチューブ／SiC 放熱材料を開発

(カーボンナノチューブの新用途展開へ)

名古屋大学エコトピア科学研究所教授、楠美智子、財団法人ファインセラミックスセンター(JFCC)らの研究チームは、SiC 基板の熱分解法で成長させた高密度・高配向カーボンナノチューブ(CNT)層が極めて小さい熱抵抗を持つことを世界で初めて実証しました。

CNT はチューブの軸方向に極めて高い熱伝導度を有することが知られており、放熱デバイスへの応用が期待されていますが、未だ有効な応用報告例がありません。我々は、SiC 表面分解法により様々な形態の SiC 基板を用意し、高密度・高配向 CNT を作製し、これを用いた放熱構造とその放熱特性について検討しました。その結果、発熱体および冷却体の間に、基板 SiC 自身の熱伝導度が高い材料である上に、その表面に形成された CNT 層を介在させることで、発熱体と冷却体間の温度差が激減し、高効率で放熱できることが分かりました。

パーソナルコンピュータやモバイル電子機器の高機能化、高密度実装化に伴い、CPU、GPU、チップセット、メモリーチップ等の発熱源の単位面積当たりの発熱量が飛躍的に増大するなど、半導体デバイスの発熱問題は年々深刻化しており、高効率で放熱できる材料やデバイスが求められています。通常、自然対流や電動送風装置を用いた強制対流を用いて放熱を図っています。しかし、冷却方式固有の限界があるため、大量の熱を放熱するためには、放熱する面積を拡大するヒートシンク、ヒートスプレッダーと称する放熱装置が用いられています。具体的には、半導体素子などの発熱体を銅などの冷却体と接触させて放熱させていますが、発熱体や冷却体の表面に存在する微細な凹凸部に存在する空気のために大きな熱抵抗となり、界面にグリースなどを用い補完剤を塗布して接触性を向上させることで、熱抵抗を下げているのが現状です。しかし、グリース自体の熱伝導率が小さいため、グリースが実用厚さになると熱抵抗が大きくなってしまうため十分な放熱効果が得られない、という問題がありました。熱伝導率の比較的高い銀粒子入りグリースも販売されていますがコストアップに通じてしまいます。また、長期間のグリース使用時には共通して、揮発や変質の問題もありました。

我々は、高密度で垂直配向したCNTの先端がしなる性質（弾性変形）を有することから、発熱体および冷却体表面に存在する微細な凹凸に隙間なく侵入することで、グリースを用いなくても接触性が格段に向上することで熱抵抗が激減することを発見し、熱抵抗が最も低下するCNTの成長条件の探索を行いました。

その結果、CNT の合成法として一般に用いられる CVD 法等では、CNT の基板への密着力が小さく接触時に CNT 層が剥離してしまうのに対し、本表面分解法を用いると高い密着強度

のために剥離せず低熱抵抗が実現できることが分かりました。例えば、SiC 基板の両面に 50 μm 程度の厚さで CNT 層を形成した場合の熱抵抗は、同厚さでグリースを使用した場合の約半分まで低下することが分かっています。さらに、従来は図 1 のように半導体の発熱を一気に大面積のヒートシンクに伝えるため、ヒートスプレッダーで熱を横方向に急速に拡げる必要がありますが、この時、熱膨張による歪緩和のため、CuW, CuMo 合金を用いる必要があります。しかし、昨今の W, Mo などの資源高騰の折から、コスト高が緊急の問題になってきています。この点、基板として用いる SiC は Cu 並みに熱伝導率の高いセラミックスであり、図 2 のような CNT/SiC/CNT の複合体に差し替えるだけで、縦方向と横方向の熱の流れを一挙に問題解決することが可能となります。

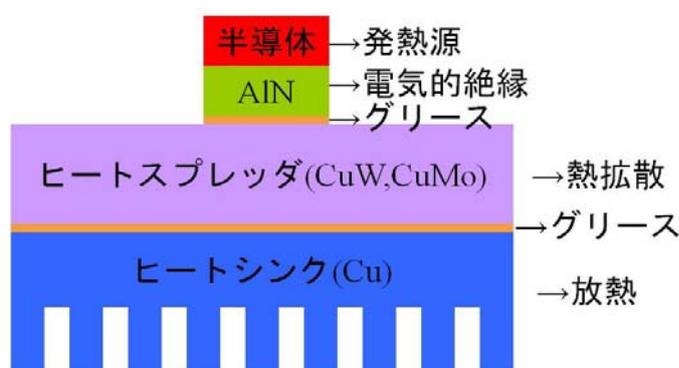


図 1 従来の一般的放熱構造

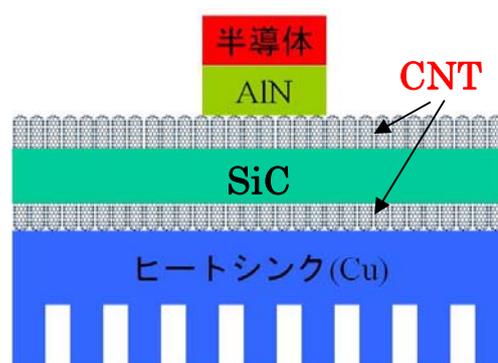


図 2 CNT/SiC を用いた新規放熱構造

用いる SiC 基板としては、高価な SiC 単結晶ウエハ以外に安価な多結晶 SiC を用いても同じ効果が得られることが分かりつつあり、また、SiC 基板を真空中で熱処理するだけの極めて簡単な方法であるため、量産性が高く低コストでの合成が可能であると考えています。また、この CNT は凝集状態にあるため、針状 CNT に比べ安全性が高いことが確認されていますが、特に本目的のためには出発原料として CNT の粉末を用いる必要がなく、基板上に固定されているため、昨今懸念されている CNT による健康面への影響もほとんど考慮する必要がないと考えています。

以上、本テーマは、我々が開発してきた SiC 表面分解法によって得られる CNT の特徴である高密度・高配向・高密着・高純度という、他の合成法では得られない特徴を最大限生かしたユニークな応用であり、本放熱構造は、家電製品から車載用まで様々な放熱デバイスに展開できると考えており、今後有望な応用製品開発へと進展させていく予定です。

本研究の成果は、「フラーレン・ナノチューブ学会」（8月27日）及び「応用物理学会」（9月4日）で発表の予定です。