

プロジェクト中間評価報告書

評価委員会開催日：平成20年10月20日

評価委員：（敬称略、五十音順）

加藤 隆史 東京大学大学院工学系研究科 教授
 河本 邦仁 名古屋大学大学院工学研究科 教授
 宮山 勝 東京大学先端科学技術研究センター 教授

確定年月日：平成20年11月11日

プロジェクト名	ナノチューブ・ナノシートの創製と機能発現に関する研究
研究責任者の所属・役職・氏名	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点ナノマテリアル分野コーディネーター 佐々木高義
実施期間	平成18年度～平成22年度
研究全体の目的、目標、概要	<p>研究目的及び具体的な研究目標：</p> <p>新規のナノチューブやナノシートを探索・創製し、その機能や構造の解明を通じて、将来のIT技術、環境やバイオ等への応用展開を図るための基礎・基盤技術を確立する。</p> <p>ナノチューブでは、従来合成が困難とされてきたSiC、ZnOやZnSなどのワイドギャップ半導体特性を有する新規ナノチューブを探索・創製するとともに、BNナノチューブの高純度・大量合成技術を開発し、それらナノチューブとポリマー等とのナノコンポジット化を実現する。また、ナノシートでは、層状遷移金属酸化物ならびに水酸化物をソフト化学手法により単層剥離し、強磁性、誘電性、レドックス性を示す新規酸化物及び水酸化物ナノシートを創製する。さらにそれらナノシートを精密にレイヤーバイレイヤー累積して、多層ナノ薄膜や超格子の薄膜を構築する液相プロセスを確立する。この新しいナノ構造構築技術を活用して、ナノレベルの薄さでも機能するHigh-k材料、紫外光に応答して動作する透明磁性薄膜など、単一の物質・材料では実現困難な新しい電子的・磁氣的機能を有するナノ複合材料を開発する。</p> <p>研究計画概要：</p> <p>上記目標を達成するための具体的アプローチとして、以下の3項目を重点研究項目として研究を推進している。</p> <p>(1) 新規ナノチューブ・ナノシートの合成</p> <p>CVD法など様々な合成技術を駆使して、SiC、ZnO、ZnS、GaNなどのワイドギャップ半導体特性が期待されるナノチューブの合成を行う。一方、層状遷移金属酸化物(Ti、Nb、Ta系)ならびにこれにCoやFeなどの磁性元素を導入した化合物を単層剥離し、電子的・磁氣的機能に優れたナノシートを合成する。さらにCoやFeなどを主成分とする層状複水酸化物を均一沈殿法により合成し、ナノシート化する。</p> <p>(2) ナノチューブ・ナノシートの特性評価</p> <p>新規ナノチューブならびにナノシートの物性を詳細に把握し、かつ予期せぬ新規特性・現象の発見を期待して、電気的、磁氣的、機械的、光学的など広範な物性について評価する。</p> <p>(3) 機能化・材料化</p> <p>BとMgOを高温でアンモニアと反応させる高純度BNナノチューブ大量合成法を確立するとともに、FやCなどのドーピングにより半導体化を検討する。またBNナノチューブ表面を有機分子で修飾して、ポリマーなどとの複合化を検討し、優れた熱伝導性、機械的特性などを有するナノコンポジット材料の開発を目指す。</p> <p>TiやNb酸化物ナノシートを室温の溶液プロセスにより高品位累積し、厚さ10nm前後の極薄領域で高誘電性(比誘電率：>100)を発揮する多層超薄膜を創製する。また強磁性酸化物ナノシートの様々な組成制御、精密累積により、紫外光に応答して動作する磁性超薄膜の合成を行う。</p>

<p>平成18年度～平成20年度中間評価時までの成果等</p>	<p>研究成果（アウトプット）、成果から生み出された効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）：</p> <p>プロジェクト研究前半期において15種類を超える新規ナノチューブ・ナノシートの合成に成功した。これらの中には半導体性を示すCドープBNナノチューブ、高い誘電機能を持つ$Ti_{0.87}O_2$ナノシート、室温で強磁性を示す$Ti_{0.8}Co_{0.2}O_2$、$Ti_{0.6}Fe_{0.4}O_2$ナノシートなど新しい展開をもたらす可能性を秘めたナノチューブ、ナノシートが多数含まれている。またその物性の詳細な解明を進める中で、ナノスケールで独特の特性が発現することが明らかになってきている。さらに、BNナノチューブの電気的特性が機械的な変形に対応して可逆的に変化することや、酸化チタンナノシートを孤立させた状態で加熱すると異常ともいえる高い温度まで安定に存在することなど、新しい現象・特性も見出された。これらの成果はナノ物質に関する基礎科学の充実、発展に大きく貢献すると考えられる。</p> <p>一方、応用展開・実用化が期待できるシーズ的な成果も多数得られてきている。BNナノチューブをポリマー中に分散する技術が確立されたことにより、機械的強度、熱伝導性に優れたポリマーフィルムの開発に手がかりを得た。カーボンナノチューブを分散した同等品とくらべて、高い透明性を実現できることが最大の利点であり、広範な用途が期待できる。酸化チタンナノシート超薄膜が10 nm前後の厚みでも100を超える比誘電率を与えることを明らかにできたことは、現在開発が急がれている次世代High-k材料の有力な候補として、有機エレクトロニクス用絶縁膜など様々な応用展開が期待できることを示している。またCoまたはFe置換酸化チタンナノシート膜では波長300 nm前後の紫外光に応答して10^4 deg cm^{-1}を超える極めて高い磁気光学効果を与えることが明らかとなり、光アイソレータ一用材料などへの応用の可能性が示された。これらはいずれも広い波及効果が期待できる成果であり、複数の企業との共同研究・開発に発展している。</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメントおよび評価点</p>
<p>①研究開発の目的・目標管理・マネジメント</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 特異な形状に由来する新規な機能とその材料を創製しようとするものであり、革新的なテーマである。 ・ 本プロジェクトは基礎のしっかりした、レベルの高い優れた内容の研究である。新規物質探索の方向性やアプローチの重要性も十分に理解できる。 ・ 物質・材料の構造や物性のユニークなものが見出されており、今後の発展が期待される。 ・ 基礎研究を基本とする研究の進め方は適切と思われる。その中で応用に結びつく成果を見出した場合は、共同研究など、適切な方法で応用研究も試みるのが良い。 ・ 共同研究等を通して、他分野の材料との融合がさらに進めば、また異質の興味深い材料が得られてゆく可能性がある。 ・ 理論・シミュレーション、物性、有機材料研究など他分野との連携があると、さらに広がる分野である。 ・ サブテーマ2（水酸化物ナノシート）はサブテーマ1（酸化物ナノシート）のサブ的存在である。これも物性研究者と協力すると、将来の方向がクリアになるであろう。
<p>評価基準</p>	<p>評価点（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点）を、下記評価基準を参考に記入してください。：</p> <p>9：よく練られており、全く問題ない。</p> <p>7：優れている。</p> <p>5：概ね問題はない。</p> <p>3：修正が必要である。</p>

		1：大きな問題がある。プロジェクトを中止すべきである。
	各委員の 評価点	9、9、8（順不同）
	平均評価 点	8.7（小数第二位以下四捨五入）
②研究開発の進捗状 況及び進め方		<ul style="list-style-type: none"> ・多くの研究成果が得られており、大変順調に研究開発が進んでいる。 ・オリジナリティーの高い物質・材料をさらに生み出すことが期待される。 ・予想以上に着実に進展し、成果を挙げている。他分野からのアイデア、知恵を採り入れて、さらにナノ物質科学を進展させることが期待される。
	評価基準	<p>評価点（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点）を、下記評価基準を参考に記入してください。：</p> <p>9：極めて順調であり、研究資源の再配分を増やすべきである。</p> <p>7：優れており、このまま継続すべきである。</p> <p>5：進み具合は妥当である。</p> <p>3：進み具合が遅れており、計画の見直しが必要である。</p> <p>1：大幅に遅れており、研究を中止すべきである。</p>
	各委員の 評価点	9、10、8（順不同）
	平均評価 点	9.0
③論文、特許等の直接 の成果、効果・効用、 波及効果		<ul style="list-style-type: none"> ・論文・特許等はよく出されている。 ・論文の質・量ともに申し分ない。 ・素晴らしい成果である。 ・成果は大きなインパクトを与えている。
	評価基準	<p>評価点（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点）を、下記評価基準を参考に記入してください。：</p> <p>9：質・量共に世界的水準である。</p> <p>7：優れた成果・効果が出ている（見込まれる）。</p> <p>5：平均的水準である。</p> <p>3：平均より少なく、対応策を練る必要がある。</p> <p>1：質・量共に大いに問題があり、プロジェクトは中止すべきである。</p>
	各委員の 評価点	8、9、9（順不同）
	平均評価 点	8.7（小数第二位以下四捨五入）
④総合評価		<ul style="list-style-type: none"> ・基礎のしっかりした、ハイレベルの研究であり、ユニークな構造・物性が見出されている。他分野材料との融合を進めることにより、新たな材料が得られる可能性がある。今後の発展が期待される。 ・今後も基礎を中心に幅広く研究を進める（可能な材料系や新機能探索も含む）とともに、応用への発展も意識して研究を進めてほしい。 ・ナノ材料科学の中で、ナノシートをビルディングブロックにして、新しい構造をアセンブリーすることにより、革新的な機能発現の芽をいくつか出している点は、高く評価できる。世界を先導している優れたプロジェクトである。

	評価基準	総合評価点（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点）を、 下記評価基準を参考に記入してください。： 9：すべての点において模範的に優れている。 7：総合的に優れている。 5：平均的なプロジェクトである。 3：期待されたほどではない。計画の見直しが必要である。 1：上記評価項目①～③の評価結果に大きな問題があり、研究を 中止すべきである。
	各委員の 評価点	8、9、9（順不同）
	平均評価 点	8.7（小数第二位以下四捨五入）
その他 （気になる点、ヒアリングの第一印象など、なんでも） ・時間の関係もあったが、若手（ポスドククラス）の育成という観点からの話も聞きたかった。		

なお平均評価点は、公表時一般にもわかり易いように、以下のようにS, A, B, Cを併記する。
 評価委員の点数の平均点（小数点第二位以下四捨五入）をXとすると、S:X=10, S-:9≤X<10, A+:8≤X<9, A:7
 ≤X<8, A-:6≤X<7, B+:5≤X<6,（以下同じ考え方）・・・とする。

平均評価点まとめ

研究開発の目的・目標管 理、マネジメント	研究開発の進捗状況及 び進め方	論文、特許等の直接の成果、 効果・効用、波及効果	総合評価
A+	S-	A+	A+