

二国間交流事業 共同研究報告書

平成 23年 3月 28日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

共同研究代表者所属・部局 東京大学・大学院理学系研究科

職・氏名 教授・長谷川 哲也

1. 事業名 相手国 (インド) との共同研究 振興会対応機関 (DST)

2. 研究課題名 ナノ構造材料の新奇な半導体・磁気特性

3. 全採用期間

平成 21年 6月 1日 ~ 平成 23年 3月 31日 (1年 10ヶ月)

4. 研究経費総額

(1) 本事業により交付された研究経費総額 1920千円

初年度経費 980千円、 2年度経費 940千円、 3年度経費 _____千円

(2) 本事業による経費以外の国内研究経費総額 _____千円

5. 研究組織

(1) 日本側参加者

氏名 <small>(ふりがな)</small>	所属・職名	研究協力テーマ
はせがわてつや 長谷川 哲也	東京大学・教授	ナノ構造材料の合成と物性評価
こもり ふみお 小森 文夫	東京大学・教授	ナノ構造材料の局所電子状態解析
ふじもり あつし 藤森 淳	東京大学・教授	磁性イオンの電子状態解析
のむら まさはる 野村 昌治	高エネルギー加速器研究機構・教授	放射光を用いた電子状態・構造評価

(2) 相手国側研究代表者

所属・職名・氏名 サハ核物理学研究所・主任研究員・Satyaban Bhunia

(3) 相手国参加者（代表者の氏名の前に○印を付すこと）

氏名	所属・職名（国名）	研究協力テーマ
○Satyaban Bhunia	サハ核物理学研究所・主任研究員	放射光を用いたナノ構造材料の構造解析
M. K. Sanyal	サハ核物理学研究所・教授	ナノ構造材料の電子状態解析
E. V. Sampathkumaran	タタ基礎科学研究所・教授	ナノ構造材料の合成とマクロな物性評価

6. 研究概要（研究の目的・内容・成果等の概要を簡潔に記載してください。）

ナノ構造に基づく新機能・新現象は物性研究の一つの大きな潮流となっている。ナノスケールの微細構造では量子効果が期待されるほか、1次元や2次元など、構造の形状を自由に制御することで、界面や表面に由来する現象も発現する。これらの形状を制御したナノ構造は、デバイス作製へと直結しているため、応用上も極めて有用性が高い。

ナノ構造に基づく物性研究は、学際的な性格が強く、例えば、物性のデザインには、固体物理、表面科学、化学反応の知識が不可欠であり、構造の作製にあたっては、材料科学、結晶工学、とりわけ各種薄膜合成技術の助けが必要である。また、対象がナノサイズであるため、計測に関しても新たな概念や技術の導入が不可欠である。さらに、学術的な側面だけではなく、各種機能性材料、触媒、センサーなど応用面からの期待も大きく、応用工学的な発想も重要となる。

ナノ構造に関連した研究を俯瞰すると、我が国は非常に高い水準にあり、特に、半導体、有機結晶、触媒を含む表面科学、各種分光分析などは、世界をリードする立場にある。一方、インドでは、材料科学を中心に、新規なナノ物質の作製が盛んであり、また物性の理解のための理論的な研究もトップレベルにある。

本申請では、ナノ構造に基づく新奇半導体・磁気特性に焦点を絞った共同研究を行った。本共同研究における課題の1つとして、まず酸化物系磁性半導体の発現機構解明、ならびに実用化を視野に入れた特性の大幅な向上、デバイス化を掲げる。TiO₂系などの酸化物磁性半導体では、室温強磁性や巨大磁気光学効果など、従来材料には見られない顕著な特性を示すが、その発現機構には不明の部分が多い。特に、添加した磁性不純物イオンが、ダイマーや酸素欠陥との複合体を形成し、このナノ構造形成が得意な物性の起源である可能性が指摘されており、そのナノ構造の形状とその電子状態を探るため、X線吸収微細構造(XAFS)、走査トンネル分光、X線MCD測定、高分解能光電子分光など、各種先端分光法による評価を行った。

その結果、磁性イオンは酸素欠損と複合体を形成し、その構造や電子状態は、磁性イオンの価数と密接に関係していることが明らかとなった。遷移金属イオンは、+2価あるいは+3価をとりやすいが、+2価の場合のみ、強磁性が発現した。これは、以下の様に解釈できる。磁性イオンの価数が+2の場合、電荷忠誠を保つため、磁性イオンと酸素欠損は1:1の複合体を形成するのに対し、+3価の場合には磁性イオン-酸素欠損-磁性イオンからなる3体構造を形成する。3体構造では、各磁性イオンのスピンは半今日磁性的に結合するため、試料全体として強磁性は発現しない。

また、磁性半導体は、本質的に非平衡相であるため、試料の物性は、合成法によるところが大きい。そこで、CVDやスパッタリング、パルスレーザー蒸着など、様々な手法で合成した試料を用意し、その差異が何に由来するのかを明らかにすることも目的の一つに掲げた。その結果として、スパッタリングの様な高エネルギーの粒子源を用いた場合には、酸素欠損が比較的均一に分散し、従って強磁性シグナルも増強される傾向にあることを見出した。

もう一つの対象として、マルチフェロイック材料も取り上げた。マルチフェロイック材料とは、強磁性と強誘電性のように、複数の秩序状態が共存している物質を指す。上記分光法によるアプローチがマルチフェロイック物性の機構解明にも有用である。磁性半導体ほど系統的な解析は進まなかったが、電圧印加により膜厚が変化するという興味ある現象を観測した。これは、解明における新現象を捉えた可能性が高く、今後詳しく解析することで、巨大なマルチフェロイック物性への手がかりが得られるものと期待される。