

二国間交流事業 共同研究報告書

平成 23年 4月 11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 名古屋工業大学・工学研究科

職・氏名 (ふりがな) 准教授・林 靖彦
ほろし やす ひこ

1. 事業名 相手国 (英国) との共同研究 振興会対応機関 (RS)

2. 研究課題名 スピントロニクスを目指した鉄コバルトナノワイヤー内包カーボンナノチューブ作製評価

3. 全採用期間

平成 21年 4月 1日～平成 23年 3月 31日 (2年 ヶ月 / 日間)

4. 経費総額

(1) 本事業により執行した研究経費総額 5,000,000円

初年度経費 2,500,000円、 2年度経費 2,500,000円、 3年度経費 0円

(2) 本事業経費以外の国内における研究経費総額 0円

5. 研究組織

(1) 日本側参加者（代表者は除く）

氏名 <small>(ふりがな)</small>	所属・職名	研究協力テーマ
種村 眞幸 <small>たねむら まさき</small>	名古屋工業大学・教授	鉄コバルトナノワイヤー内包カーボンナノチューブ作製
金子 賢治 <small>きんず けんじ</small>	九州大学・教授	鉄コバルトナノワイヤー内包カーボンナノチューブ微細構造評価
藤田 武志 <small>ふじた たけし</small>	東北大学・助教	鉄コバルトナノワイヤー内包カーボンナノチューブナノ磁性評価
徳永 知春 <small>とくなが ともはる</small>	名古屋大学・助教	鉄コバルトナノワイヤー内包カーボンナノチューブ微細構造評価
岸 直希 <small>きし なおき</small>	名古屋工業大学・助教	鉄コバルトナノワイヤー内包カーボンナノチューブ作製

(2) 相手国側研究代表者

所属・職名・氏名

University of Cambridge, Professor, Gehan A. J. Amaratunga

(3) 相手国参加者（代表者は除く）

氏名	所属・職名（国名）	研究協力テーマ
Bill Milne	University of Cambridge・Professor （英国）	DC プラズマ CVD による鉄コバルトナノワイヤー内包カーボンナノチューブ作製
Kenneth Teo	University of Cambridge・Lecturer （英国）	DC プラズマ CVD による鉄コバルトナノワイヤー内包カーボンナノチューブ作製
Paul A Midgley	University of Cambridge・Professor （英国）	ナノワイヤー内包カーボンナノチューブの3次元微細構造評価
Neil Mathur	University of Cambridge・Lecturer （英国）	Si 基板上ナノワイヤー内包カーボンナノチューブアレーの磁性評価
Takeshi Kasama	University of Cambridge・PostDocs （英国）	単一のナノワイヤー内包カーボンナノチューブアレーの磁性評価
Hidekazu Kurebayashi	University of Cambridge・Ph.D. Candidate （英国）	Si 基板上ナノワイヤー内包カーボンナノチューブアレーの磁性評価
S. Ravi P. Silva	University of Surrey・Professor （英国）	マイクロ波プラズマ CVD による鉄コバルトナノワイヤー内包カーボンナノチューブ作製
David Carey	University of Surrey・Lecturer （英国）	マイクロ波プラズマ CVD による鉄コバルトナノワイヤー内包カーボンナノチューブ作製
Vlad Stolojan	University of Surrey・Lecturer （英国）	ナノワイヤー内包カーボンナノチューブの微細構造評価

6. 研究実績概要（全期間を通じた研究の目的・研究計画の実施状況・成果等の概要を簡潔に記載してください。）

【目的】カーボンナノチューブ（以後 CNT と呼ぶ）を成長すると同時に鉄コバルトナノワイヤをチューブ内に内包することで、ナノ領域でアスペクト比が大きな形状、CNT により大気から遮断した、「鉄コバルト 単結晶ナノワイヤー」を作製しナノ磁性を評価することで、スピントロニクス・デバイスとして活用できる機能を見出し、①空気中で安定、②室温で大きな保持力、③大きな磁気異方性を併せ持つ機能の発現をより顕在化させる材料設計およびナノスピndeデバイス（メモリ等）実現への知見を本交流事業により得る。

【計画の実施状況】本共同研究では、主に以下の2研究を実施した。

(1) FeCo 内包 CNT の作製

名古屋工業大学ではマイクロ波プラズマ化学気相成長法（CVD）、ケンブリッジ大学（工学部）では DC プラズマ CVD 法およびサリー大学では RF プラズマ CVD 法により、極薄膜 Pd 層との組み合わせを考え、Si 基板上に Fe/Co/Pd 多層金属薄膜を制御して、様々の CVD 法により CNT を成長すると同時に FeCo 単結晶ナノワイヤーをチューブ内に内包する実験を実施した。

今回の共同研究から、どの CVD 法においても CNT を成長すると同時に鉄コバルト単結晶ナノワイヤーをチューブ内に内包することに成功した。内包するキーとなるテクノロジーとして、Si 基板上に Pd 層を含む Fe/Co/Pd 多層金属薄膜を用いることが重要であることを明らかにした。

(2-1) FeCo 内包 CNT のマイクロ・ナノ領域での磁性評価

名古屋大学およびケンブリッジ大学（材料工学科）において、透過型電子顕微鏡により内包した鉄コバルト単結晶ナノワイヤーの1次元金属のナノ領域微細構造評価、「電子線ホログラフィー法」により鉄コバルト単結晶ナノワイヤー内包 CNT のナノ磁性評価を行った。これにより、Fe/Co/Pd 多層金属薄膜の膜厚などの条件とナノワイヤーの結晶構造・磁性特性の関連を明らかにすることができた。特に、単一のナノワイヤー内包 CNT のナノ磁性特に加え、二本のナノワイヤー内包 CNT 間の磁性相互作用を明らかにした。これらの成果はこれまでに報告が無く、本研究の大きな成果と自負できる。

ナノ磁性評価に加え、大面積に成長した Si 基板上に成長した FeCo 単結晶ナノワイヤー内包 CNT アレイにより、超伝導量子干渉素子（SQUID）でマイクロ領域の磁性評価を行い、磁性異方性を明らかにした。

電子線ホログラフィー法に加え、九州大学およびケンブリッジ大学（材料工学科）において、TEM により様々な角度から撮影した試料（微少な基板）の TEM 像をもとにコンピュータ上に3次元像を再構成する「電子線トモグラフィー法」により、基板に垂直に成長した CNT の3次元観察をナノ領域で直接行うことに成功した。