

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 16 日現在

機関番号：24201

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22310064

研究課題名（和文）エネルギー・環境応用を目指した高結晶性ナノ粒子の創製プロセス開発

研究課題名（英文）Development of highly crystalline nanoparticles synthesis process for energy and environmental applications

研究代表者

ビー. ジャヤデワン（B. Jayadevan）

滋賀県立大学工学研究科・教授

研究者番号：80261593

研究成果の概要（和文）：金属粒子の合成技術開発に関する基礎的研究をベースとした実施計画を立て、エネルギー・環境分野への応用を目指した高結晶性ナノ粒子の創製と物性評価を行った。光電変換材料開発に関連して、サイズ及び形状を制御した純粋な酸化銅（CuO、Cu₂O）ナノ粒子の合成技術を開発し、その半導体特性を確認すると同時に酸化銅-C₆₀太陽電池セルを作製し、量子効率を評価した。また燃料電池触媒として、貴金属であるPt使用量の減量、PtのCO被毒改良と使用後のPt回収を目的としたFe-Pt磁性合金ナノ粒子合成と特性評価を行い、Fe₃₃Pt₆₆ナノ粒子は純Pt粒子に比べて高性能を示すことを確認した。また、Ni₉₅Pt₅及びNi₉₀Pt₁₀磁性合金ナノ粒子を合成し、水素化反応においては純Pt粒子と同程度の触媒性能を示すことを確認した。さらに、電磁波吸収体・アンテナ素材としての応用を目指したFeCoやFeNiなどFeベース合金粒子の合成技術開発と物性評価を行い、それらの材料のポテンシャルや課題を明確にした。特にFeCo合金粒子のアンテナ材料としての高いポテンシャルを確認した。

研究成果の概要（英文）：Research plan was founded on the basic research to develop techniques to synthesize highly crystalline nanomaterials for energy and environmental related applications. We synthesized highly pure copper oxides (CuO, Cu₂O) nanoparticles for photoelectric conversion and confirmed their semi-conductor properties. We also constructed Cu₂O:C₆₀ solar cells and evaluated their photo efficiency. We also developed techniques to synthesize Fe-Pt and Ni-Pt nanoparticles as catalytic electrodes for fuel cells. We demonstrated that Fe-Pt nanoparticles with fct crystalline structure on activated carbon could be used as an alternative candidate for Pt in PEFCs. Furthermore, Ni₉₅Pt₅ and Ni₉₀Pt₁₀ performed comparably with Pt particles in hydrogenation reaction, in spite of low Pt concentration. Finally, we also developed techniques to synthesize Fe-Co and Fe-Ni particles as electromagnetic wave absorbers and antenna material, respectively, and measured their high frequency properties. Fe-Co exhibited particle size dependent resonance peak in the range of a few GHz. On the other hand, Fe-Ni alloy nanoparticles, synthesized by hydrazine assisted polyol process, exhibited shape dependent low magnetic loss in the MHz region.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 22 年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
平成 23 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
平成 24 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ工学・ナノ材料・ナノバイオサイエンス

キーワード：ナノ材料創製、ナノ機能材料、ナノ粒子ポリオール法、アルコール還元法、酸化

1. 研究開始当初の背景

遷移金属や合金ナノ粒子は、酸化物ナノ粒子ほど産業応用が進んでいるとはいえない。これは合成法が限られていることに加え、ナノサイズ化に伴って耐酸化性が著しく低下するためである。そのため、酸化されにくい遷移金属ナノ粒子の合成プロセス開発が望まれており、21世紀初頭には非水溶液系の合成法が再び注目され始めた。このような背景から、申請者らは液相合成法の一つであるポリオール法を用いた、遷移金属および合金ナノ粒子の合成研究に着手した。本法では、多価アルコール（ポリオール）が溶媒、還元剤、そして界面活性剤の役割を担うこと、他の非水系合成法と比較して合成装置が簡便であること、安価なグリコール溶媒を用いるためコスト的に優位であるなどの特長を持つ。本合成法に関する研究の一環として、申請者らは高密度磁気記録媒体に応用可能な磁性ナノ粒子の研究開発を提案し、高い耐酸化性を有するCo、Ni等の純粋な遷移金属ナノ粒子だけでなく、FePt、CoPt、FePd、CoPtRuなどの遷移金属と貴金属との合金ナノ粒子の合成、さらにはこれらを用いた単層微粒子膜の作製に成功した。それら一連の研究を通して、ポリオールプロセスに関する豊富な知識やノウハウを蓄積するとともに、遷移金属・合金ナノ粒子の合成における本手法の有効性を強く認識した。その一方で、粒子の生成過程や反応機構については未解明の部分を残していた。申請者らは、これらを解明することで、遷移金属のみで構成される合金粒子のテラーメイド合成を実現できると考え、「ポリオールプロセスを用いた多目的用均一粒径ナノ粒子合成技術の確立」を目的とした研究を提案し、ポリオールプロセスにおけるナノ粒子の生成機構解明、遷移金属および合金ナノ粒子の合成、粒子の組成・構造の精密制御プロセスの確立という三つの課題を掲げ研究を遂行した。その結果、金属Coナノ粒子の生成過程における粒子析出前の溶液中での金属錯体の構造変化、および粒子析出後の固体中間生成物の構造解析から、反応の経路をより明確にした。また、金属Fe粒子の合成において、これまで提唱されていた鉄水酸化物の自己分解反応とは異なる粒子生成機構を見出した。ポリオール中での金属原料の反応過程の理解と金属Fe粒子の合成で得た知見をもとに、直径30 nmのFeCo合金粒子の合成および組成制御に世界で初めて成功した。本プロセスを用いて合成した金属粒子は、現段階ではその原因は未解明であるが、合成後に特別な酸化防止処理を施していないにも関わらず大気中で安定であり、他のプロセスで合成した粒子よりも耐酸化性に

優れる。例えばFeCo合金微粒子では、微量分析が可能なメスバウアー分光分析でも酸化物は検出されなかった。このことから、これまで耐酸化性をもたせることが困難であったシングルナノサイズ金属微粒子に対しても、ポリオールプロセスの更なる改良による耐酸化性付与が大いに期待される。

2. 研究の目的

申請者らは液相合成法の一つであるポリオール法を利用し、金属・合金ナノ粒子のサイズ、および結晶構造の制御を目指して研究してきた。その結果、通常の水溶液系プロセスでは困難な、耐酸化性に優れたFeやCuなどの遷移金属、ならびに合金ナノ粒子の合成に成功した。現在は、より単分散性に優れた金属ナノ粒子の合成を目指し、新たな合成法の開発に取り組んでいる。しかし、実際に金属ナノ粒子を工学・医学分野などに用いるには、粒子を溶媒中に安定に分散させて流動性を保ち、インク状にする必要がある。そのためには、シングルナノオーダーの粒子サイズ、高い耐酸化性、溶媒への高分散性という三点をクリアする必要がある。そこで本研究では、〔1〕金属ナノ粒子インクの作製に必要不可欠な、①シングルナノオーダーの高結晶性金属微粒子合成、②耐酸化性の向上処理、③分散性向上のための表面修飾処理という要素技術の開発を目的とする。これと並行して、〔2〕エネルギー・環境分野への応用を試みる。具体的には、申請者がこれまでに研究してきた、a)燃料電池電極触媒、b)光電変換材料およびc)電磁波吸収体・アンテナなどの高周波用途へ応用可能な金属ナノ粒子をターゲットとし、新たな技術開発が望まれているエネルギー・環境分野の発展に貢献するものである。

3. 研究の方法

a) 光電変換材料の開発：現在提案されているCdTeなどは高い光電変換効率を示すが、鉱物資源が限られており将来の需要増加に対応できない。そのため、大量供給が可能であり、かつ低コストな代替材料の開発が急務である。代替材料の候補としてCu₀、Cu₂OやCuSのナノ結晶が有望視されている。申請者が開発した金属Cuナノ粒子の合成プロセスでは、高結晶性のCu₀ナノ粒子が中間体として生成する。この方法で得られた金属Cuナノ粒子を硫化することでCuSナノ粒子が生成する。Cu₀ナノ粒子のサイズや結晶性、硫化方法などを制御し、高効率な光電変換材料を開発する。本材料開発においてアルコール還元法を用いることにした。合成手順は以下の通りである。四つ口フラスコに、酢酸銅二水和物、1-ヘプタノール、オレイルアミンを加え、攪拌

しながら 120°Cまで加熱し、2h 保持する。TMAOH を添加した後、さらに 150°Cまで加熱し、3h 保持し反応させる。反応終了後、室温まで放冷してから析出物を回収し、メタノールで洗浄した後トルエンに分散させ、一酸化銅ナノ粒子分散液を得た。生成物に対して、X 線回折による結晶構造同定、透過型電子顕微鏡による微細構造観察、分光光度計による光吸収測定を実施し、さらにキセノンランプソーラーシュミレーター (AM 1.5 100mW/cm²) とポテンショガルバスタットを用いた I-V 測定も行った。

b) 遷移金属-白金合金磁性ナノ粒子を用いた電極触媒の開発 :

申請者らの研究グループでは燃料電池電極用の Fe-Pt 微粒子触媒の開発に取り組んでいる。アルコール燃料電池に用いられる金属 Pt 触媒は CO により被毒され、時間経過とともに触媒性能が低下する。現在は CO 被毒による劣化の少ない Ru-Pt 触媒が使用されているが、資源・コスト面の問題を克服できる代替材料が求められている。予備実験の結果、新規に開発した Fe-Pt 微粒子は金属 Pt 触媒よりも高い CO 耐性を示した。そこで、本研究では、遷移金属元素のなかでも水素酸可能の高い Fe, Ni, Co に焦点を絞って Pt と合金化した微粒子を調製し、安価で CO 耐性に優れた触媒を開発する。あ供する。構造評価は、粉末 X 線回折 (XRD) および Rigaku R-XAS LooperX 線分光器による X 線吸収分光 (XAS) により実施した。また、1-オクテンの水素化反応により触媒活性の評価を実施した。

c) 高周波材料の開発 :

近年の携帯電話や無線 LAN の急激な普及、モバイル機器などの電子機器の小型化、集積化および高周波数化に伴い、電磁ノイズによって電子機器が誤作動するなどの問題が顕在化し始めた。この問題に対処するため、特に GHz 帯で有用な磁性体の電磁波シールド材料の開発が望まれている。申請者らが開発した粒子径数十 nm の高飽和磁化 FeCo ナノ粒子に加え、高透磁率を示す FeNi ナノ粒子の合成およびの形状制御を試み、GHz 帯で高透磁率を示す高周波材料を開発する。本研究ではポリオール法を用い Fe-Co ナノ粒子を作製した。Fe-Co ナノ粒子合成手順を以下に示す。塩化鉄四水和物 (FeCl₂ · 4H₂O), 酢酸コバルト四水和物 (Co (OCOCH₃)₂ · 4H₂O), 水酸化ナトリウム (NaOH) およびポリビニルピロリドンをエチレングリコール (C₂H₄(OH)₂) 100 ml 中に溶解した。N₂ ガス吹込および攪拌しつつ溶液を 130 °Cまで加熱し、その温度で2 時間保持した。反応溶液を室温まで冷却した後、磁石を用いて生成物を回収し、

エタノールによる洗浄を複数回行った。生成物の結晶構造および粒子径、組成、磁気特性は X 線回折 (XRD), X 線吸収微細構造 (XAFS), 蛍光 X 線分析 (XRF), X 線光電子分光 (XPS), 走査型および透過型電子顕微鏡 (SEM, TEM), 振動試料型磁力計 (VSM), メスバウアー分光により評価した。

ポリオール法単独では合成が困難な、FeNi 合金微粒子の合成を試みた。ヒドラジンを還元アシスト剤として用いることで、目的とした組成が Fe₂₀Ni₈₀ のパーマロイ相の合金微粒子合成に成功した。反応溶媒にエチレングリコールおよび 1-ヘプタノール を用いて得られた試料に対してメスバウアー分光により Fe の状態分析を行った結果、100 Oe 以上の保磁力を示した 1-ヘプタノールを用いて得られた試料は、Fe-rich および Ni-rich 相の混相であり、目的としたパーマロイ相の合金粒子ではなかった事が判明した。一方、保磁力が 40 Oe 程度のエチレングリコールを用いて得られた試料は、パーマロイ単相に近いものであった。また、他の溶媒を用いて同様の粒子合成実験を行った結果、オクタノール系で得られた粒子はエチレングリコールで得られたものと同程度の保磁力および高い飽和磁化を示した。ヒドラジンアシスト式のポリオール法の溶媒と生成物の特性との関係についてより詳細に検討を行うことで、バルクに近い磁気特性を示す FeNi 合金微粒子が得られる可能性が示唆された。

4. 研究成果

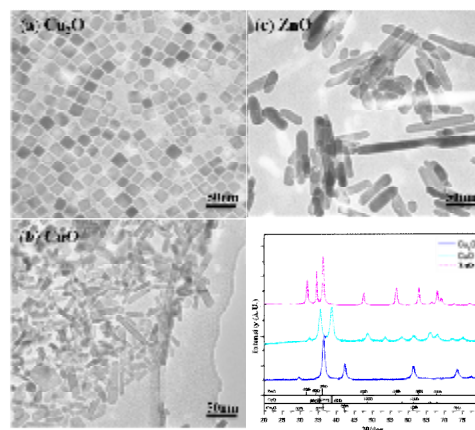


Fig.1 (a) Cu₂O (20nm), (b) CuO (40nm), (c) ZnO (50nm) particles prepared by alcoholic reduction method.

a) 光電変換材料の開発 :

Fig. 1 に、合成した (a) Cu₂O, (b) CuO, (c) ZnO ナノ粒子の TEM 観察結果と X 線回折結果を示す。粒径 (a) 20nm, (b) 40nm, (c) 50nm のナノ粒子を得ることができた。次に、合成した Cu₂O ナノ粒子の詳細な化学組成を導出するた

め行ったリートベルト解析(Rietan-2000)結果、酸素と銅の原子数比は、 $O : Cu = 1 : 1.96$ であった。これより、バルクとほぼ同じ結晶性で、欠陥のほとんどない高純度の Cu_2O ナノ粒子が合成できていることが確認できた。また、同様に CuO 、 ZnO ナノ粒子についても解析を試みた。以上の結果より、高い結晶性の粒子が合成できていることが確認できた。次に、各ナノ粒子に対して、光学特性評価 (I-V、UV-vis 評価) を行い太陽電池材料としての評価を行った。各ナノ粒子とも、整流性を示し、太陽電池材料としての特性を示した。また、Fig. 2 に示す Cu_2O の光吸収測定の結果を用いて、 $A(h\nu/2 - E_g)^{m/2} = (\text{吸光度}) / (IC/p)$ の関係式から算出したグラフから、バンドギャップ

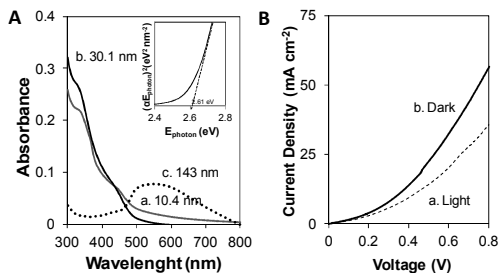


Fig. 2 UV-Vis spectra of Cu_2O with different sizes (A). Inset shows the plot of $(\alpha E_{\text{photon}})^2$ Vs E_{photon} for a direct transition of Cu_2O (10.4 nm). I-V characteristics of Cu_2O film (B) under (a) light (b) and dark illumination.

2.48 (eV) (30 nm) を算出した。同様に、 CuO 、 ZnO ナノ粒子についてもそれぞれバンドギャップを 2.31eV, 3.30eV と算出した。そして、今回合成したナノ粒子を用いて作製した CuO/ZnO 系太陽電池の光電変換効率測定結果から、発電効果を示すことを確認した。

b) 遷移金属-白金合金磁性ナノ粒子を用いた電極触媒の開発:

作製した $FePt/C$ (Fig. 3) の CO 耐性をメ

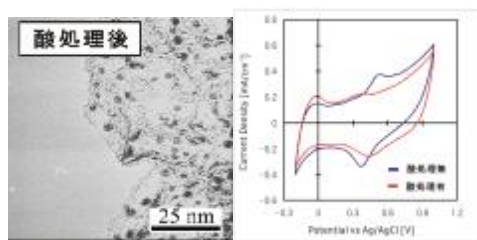


Fig. 3 (a) TEM photograph and (b) cyclic voltammogram of $FePt$ on carbon support

タノール酸化反応、100ppm CO/H_2 ガス飽和溶液における反応、そして、実際のセルを用いた反応により評価し、固体高分子型燃料電池 (PEFC) の電極触媒への適性を検討した。合金組成比の異なる $FePt/C$ 電極触媒についてメタノール酸化反応を用いた CO 耐性評価試験の結果からは、 Fe の組成比が大きいほど

CO 耐性が向上することが確認された。一方、100ppm CO/H_2 ガス飽和溶液における反応による CO 耐性評価試験では、 $FePt/C$ は純 Pt/C と比べて高い CO 耐性を示したが、組成比による CO 耐性の違いは観測されなかった。また、純 Pt/C を用いる場合でも 100ppm CO/H_2 ガス飽和溶液に Fe イオンを溶解させることによって CO 耐性は向上したが、合金化させた方がより高い CO 耐性向上に対する効果を示した。これにより、 Pt の合金化による CO 耐性の向上は、二元系効果よりも配位子メカニズムが有力であることがわかった。

合成した $FePt/C$ を用い MEA (membrane-electrode assembly) を作製し、市販の Pt/C 及び $PtRu/C$ と比較すると、

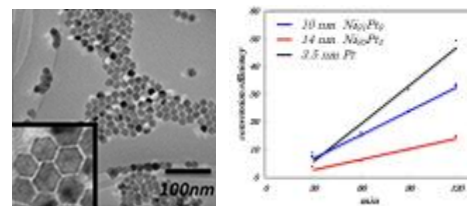


Fig. 4. (a) TEM photograph and (b) the catalytic activity during hydrogenation reaction of $Ni-Pt$ particles.

$FePt/C$ は、 $PtRu/C$ の代替材料となり得る可能性があることが示された。

以上から、作製した $FePt$ 電極触媒は、高い CO 被覆耐性を示し、活性化過電圧及び抵抗過電圧を小さくすることにより、 $PtRu$ 電極触媒の代替材料として利用できるようになると考えられる。

$NiPt$ 合金ナノ粒子は高い触媒活性が期待されるが、 Pt 濃度を低く抑えた組成の粒子開発の例は少ない。本研究ではポリオールプロセスを適用し、数%という低 Pt 濃度でありながら特徴ある物性や形状、構造を有する $NiPt$ 合金粒子合成を試みた。結果、 Pt 濃度 4~6% 程度で粒径の揃った立方体形状の $NiPt$ 粒子を得た。また、水素化反応結果は Fig. 4(b) に示すように、粒子の非表面積を考慮すると純 Pt と同程度の特性を示すといえる。

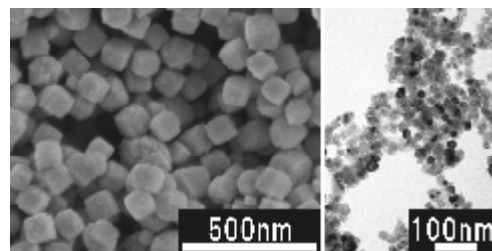


Fig. 5 Electron micrographs of $Fe-Co$ particles synthesized using polyol process.

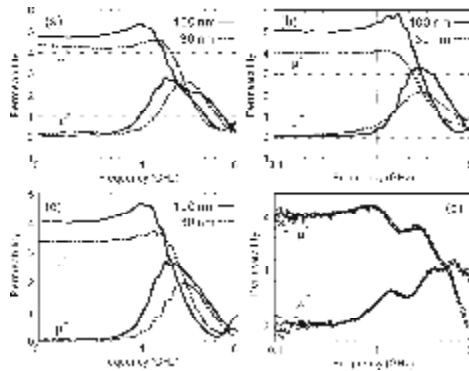


Fig. 6 High frequency permeability of (a) $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$, (b) $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ and (c) $\text{Fe}_{30}\text{Co}_{70}$ particles with average diameters 30 and 100 nm. (d) Example of the characteristic high frequency multiple resonance peaks caused by exchange resonance mode.

c) **高周波材料の開発**：本研究は、現在のシート状ナノ粒子コンポジット型電磁波吸収体の適応が困難な部分に使用するような、Fe-Co 合金ナノ粒子ベースの電磁波吸収ペーパースト開発を目指すものである。Fig. 5 に得られた Fe-Co 粒子の形態を示す。Fig. 6 に示すとおり、Fe-Co 粒子の粒子径および組成に依存する高周波特性の差異は明瞭には観測されなかった。また、表面酸化層（硬質磁性体層）の存在が全体の高周波特性に影響を及ぼすことが明らかとなった。微粒子複合体の高周波特性はサンプル中での分散状態にも強く依存することが知られている。従って、微粒子複合体の高周波特性制御のためには、粒子表面状態および分散特性の制御が容易な

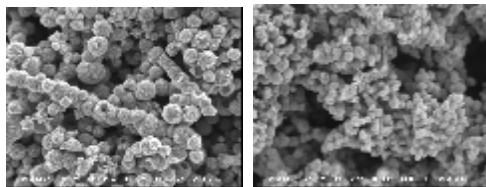


Fig. 7. SEM images of samples synthesized by using (a) EG and (b) 1-heptanol

ナノ粒子を得る合成技術の発展が望まれる。ポリオール法の条件パラメータを最適化して得られた FeNi 微粒子の高周波特性を測定した結果、改良前とは異なる特性を示し、数百 MHz 帯から損失が増加、透磁率は減少し始め、1GHz でそれぞれ 0.2 および 2.5 程度の値を示した。MHz 帯での損失増加は粒子の分散性向上により抑制できると考えられる。そこで、ボールミルを用いた攪拌混合、および粒子の扁平化処理による分散性向上を図った。その結果、MHz 帯での損失は顕著に減少し、半分以下の値を示した。また、透磁率の値も増加し、3 以上の値を示した。組成およ

び磁気特性の異なる粒子の高周波特性について評価した結果、高周波特性は磁気特性の違いよりも扁平粒子の生成度合いに強く依存していることがわかった。

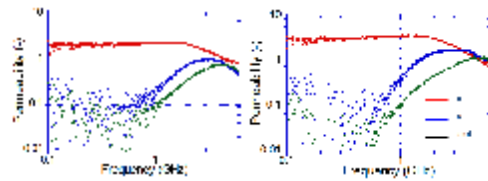


Fig. 8 High frequency properties of the FeNi particles synthesized by using (a) EG and (b) 1-heptanol, and ball milled.

このように、本研究を通して実施した、ポリオール法によるエネルギー・環境応用を目指した高結晶性ナノ粒子の創製と物性評価の結果は、それぞれの分野に大きく貢献できたと考える。しかし、各応用分野での実用性については、更なる研究を推進することによって向上の余地がまだあると期待される。

5. 主な発表論文等

- (1) D. Kodama, K. Shinoda, R. Kasuya, M. Doi, K. Tohji, and B. Jeyadevan, Potential of sub-micron-sized Fe-Co particles for antenna applications, J. of Applied Physics, Vol. 111, (2012) 07A331-1-07A331-3
- (2) K. Fukuda, S. Fujieda, K. Shinoda, S. Suzuki and B. Jeyadevan, Low temperature synthesis of FePt alloy nanoparticles by polyol process, J. of Phys: Conf. Series, Vol. 352, (2012) 012020 (1-6)
- (3) H. Kidowaki, T. Oku, T. Akiyama, A. Suzuki, B. Jeyadevan and J. Cuya, Fabrication and Characterization of CuO-based Solar Cells, J. Mater. Sci. Res. 1, (2012) 138-143
- (4) H. Mamiya & B. Jeyadevan, Hyperthermic effects of dissipative structures of magnetic nanoparticles in large alternating magnetic fields, SCIENTIFIC REPORTS (Nature Publishing) | 1 : 157 (2011) 1-7
- (5) Jhon L. Cuya Huaman, S. Fukao, K. Shinoda and B. Jeyadevan, Novel standing Ni-Pt alloy nanocubes, Crystal Engn. Comm., 13 (2011) 3364-3369
- (6) D. Kodama, K. Shinoda, R. Kasuya, K. Tohji, M. Doi, and B. Jeyadevan, Synthesis of submicron sized $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ particles and their magnetic properties, J. Applied Physics, 107, (2010) 09A320-22
- (7) K. Shinoda, S. Suzuki and B. Jeyadevan, Order-Disorder Transformation of $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ Particles Synthesized by Polyol Process, G. B. Chon, Materials Transactions, Vol.

51(4), (2010) 707-711

(8) **T. Itoh**, M. Uebayashi, K. Tohji, and **B. Jeyadevan**, Inhibition of the Dissolution of Fe from Fe-Pt Nano Particles by a Structural Phase Transitions, Electrochemistry, Vol. 78, pp. 157-160 (2010)

[雑誌論文] (計4件)

(1) **B. Jeyadevan**, Potential of Polyol/Alcohol-based Reduction Techniques for Magnetic Nanoparticle Synthesis, 2nd International Conference Asian Union of Magnetism Societies (招待講演) 2012年10月04日、Nara, Japan

(2) **B. Jeyadevan**, Synthesis and Magnetic Properties of Nickel Nanoparticles, 2nd International Conference Asian Union of Magnetism, Nara, Japan

(3) **B. Jeyadevan**: The role of size and conformation on optimal design of magnetite particles for magnetic hyperthermia 2011 Taiwan-Japan Joint Conference on Magnetic Nanoparticles for Biomedical Applications, Nov. 11-12, (2011), Taichung City, Taiwan

(4) **B. Jeyadevan**, J. L. Cuya Huaman, H. Miyamura, S. Fukao and **K. Shinoda**: Synthesis and Catalytic Property of NiPt Nanocubes Synthesized by Alcohol Reduction Method. 2011 MRS Fall Meeting & Exhibit, Nov. 28-Dec. 2, (2011) Boston-USA

[学会発表] (計1件)

Bio-inspired Materials Synthesis, Edited by Yanfeng Gao, ISBN: 978-81-308-0401-9, Research Signpost, India, 341-376 (2010) Chapter 14, Polyol process for materials synthesis, R. Jusin Joseyphus and Balachandran Jeyadevan

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

(1) 名称: 銀ナノワイヤの製造方法および銀ナノワイヤ
発明者: B. ジャヤデワン、クヤ ウアマン ジョン レマン、藤野 剛聡、兒玉 大輔
権利者: 滋賀県立大学、DOWA エレクトロニクス
種類: 特願
番号: 2012-105786
取得年月日: 平成24年5月7日
国内外の別: 国内

(2) 名称: 銀ナノワイヤの製造方法
発明者: B. ジャヤデワン、クヤ ウアマン ジョン レマン、兒玉 大輔
権利者: 滋賀県立大学、DOWA エレクトロニクス
種類: 特願
番号: 2013-034361
取得年月日: 平成25年2月26日
国内外の別: 国内

○取得状況 (計2件)

(1) 名称: Method for production of silver fine powder covered with organic substance, and silver fine powder
発明者: K. Sato B. Jeyadevan K. Tohji,
取得年月日: 11/04/2010
番号: 20100279006
国内外の別: 海外

(2) 名称: 金属磁性粉およびその製造法,
発明者: 田路和幸、バラチャンドランジャヤデワン、佐藤王高、碓和正
番号: 特許第4734521
権利者: 東北大学、DOWA エレクトロニクス
取得年月日: 2011年5月13日
国内外の別: 国内

[その他]
ホームページ等
<http://metall.mat.usp.ac.jp/>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
ビー ジャヤデワン (B. Jeyadevan)
研究者番号: 80261593
- (2) 研究分担者
伊藤 隆 (イトウ タカシ)
東北大学・学際科学国際高等研究センター・准教授
研究者番号: 40302187
松本 高利 (マツモト タカトシ)
東北大学多元物質科学研究所・助教
研究者番号: 50343041
篠田 弘造 (シノダ コウゾウ)
東北大学・多元物質科学研究所・准教授
研究者番号: 10311549
粕谷 亮 (カスヤ リョウ)
独立行政法人産業技術総合研究所・サステナブルマテリアル研究部門・研究員
研究者番号: 50509734