

大学から理研へ ～研究者としての第一歩を踏み出して～

理化学研究所 レーザー物理工学研究室

中嶋 聖介

Research in RIKEN as a first step toward a scientist

Seisuke Nakashima

The Institute of Physical and Chemical Research

1. 無秩序スピネル酸化物薄膜の磁気特性

学部から大学院における六年間を通して、筆者は「無秩序スピネル酸化物薄膜における磁気的性質と局所構造」に関する研究に取り組んだ。本稿前半では無秩序亜鉛フェライト(ZnFe_2O_4)薄膜における磁気特性、およびカチオン分布の評価に関する主な研究成果について紹介する。

鉱物などに多く見られるスピネル型酸化物は、酸素の面心立方格子における四面体配位および八面体配位の格子間サイトをカチオンが部分的に占める構造をとる。そのため、カチオンの種類や二種類のサイトに対する分布の違いにより、様々な磁気特性や電気的特性を示す。例えば、通常 ZnFe_2O_4 は亜鉛 (Zn) と鉄 (Fe) イオンが規則正しく配列した正スピネル型構造をとるため、ネール温度 (~ 10 K) 以下で反強磁性転移を起こし、室温では磁化の小さい常磁

性体となる (図1左)。ところが、超急冷法などの非平衡状態を利用した作製法を用いると、カチオンの配置に部分的な無秩序化を起こし、比較的高い磁化を有する準安定スピネル ZnFe_2O_4 相となり得ることが知られている (図1右)。そこで筆者らは、急冷効果の高いスパッタ法を作製に用いることで、容易に非平衡状態が達成され、カチオン分布が大きく乱れた準安定 ZnFe_2O_4 薄膜を作製できると考えた。酸素雰囲気中でガラス基板上に作製した ZnFe_2O_4 薄膜の TEM 写真を示す (図2)。確認できる 10 nm 程度の微結晶は準安定スピネル ZnFe_2O_4 相であり、得られた薄膜はフェリ磁性的な高い磁化を室温で持つことが明らかとなった。ま

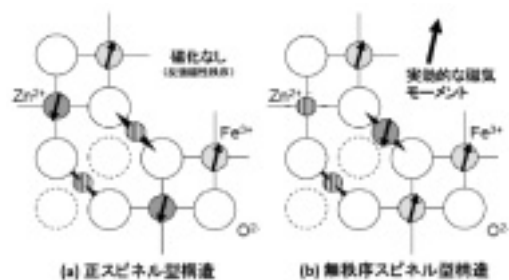


図1 カチオン分布と磁気構造との関係

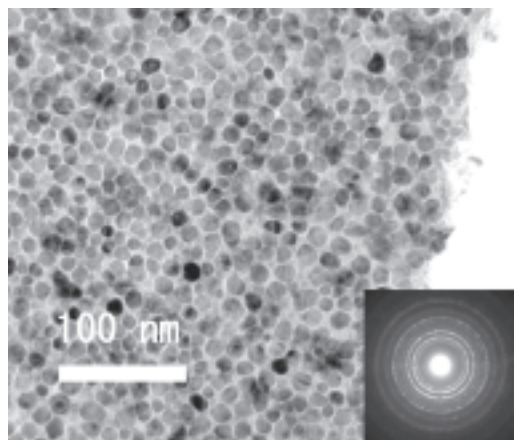


図2 ZnFe₂O₄ スパッタ薄膜における明視野 TEM 像と電子線回折

た、微結晶内部に形成した磁気クラスター間に働く相互作用が競合することで、室温での超常磁性転移を観測した^{1),2)}。

カチオン分布の無秩序化を実証するためにシンクロトロン放射光を用いた X 線吸収微細構造 (XAFS) の測定とその理論解析を行った。通常、カチオン分布の評価方法として XRD リートベルト解析を行うが、薄膜試料の場合、半値幅の広がりにより十分な精度が得られないため用いることができない。図 3 は Zn の K 吸収端近傍における XAFS スペクトルと内殻電子空孔効果を考慮した第一原理計算による理論スペクトルとの比較である。正スピネル型構造とカチオン位置の反転を取り入れた無秩序スピネル型構造のモデルに対してそれぞれ理論スペクトルを計算した。薄膜試料のスペクトル (下段実線) は標準 ZnFe₂O₄ 試料のスペクトル (上段実線) と形状が異なり、且つ二種の理論スペクトル両方の特徴をもつ。60% の反転率を仮定した理論スペクトルが薄膜試料のスペクトルの傾向をほぼ再現しており、これは磁化の値から推測される反転率と一致する。このように、本手法はカチオン分布の有効な評価方法の一つとなり得る³⁾。

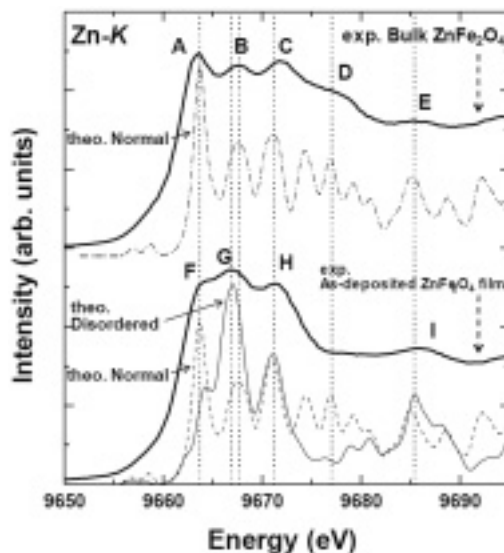


図3 XANES スペクトルのカチオン分布の違いによるシミュレーション

2. 現在の研究と環境について

(1) ポスドクとして理化学研究所へ

大学の研究室では平尾一之教授の下、ガラスなどの透明材料にフェムト秒レーザーを集光照射することで、材料内部に構造改質を起し様々な機能性物質を形成させる研究が盛んに行われていた。そのため、筆者は短パルス光の引き起こす劇的な構造変化、及びそれに伴う物性変化に対して興味を抱き、先述の研究内容に加えて、超短パルスレーザーを用いた磁性制御に関する研究にも着手した。その結果、正スピネル型構造をもつ ZnFe₂O₄ 安定相薄膜にフェムト秒レーザー照射するとその照射部位において磁化増加が誘起されることを見出した。これは局所領域での瞬間的な加熱が起り、エントロピー効果により無秩序化したカチオン配列が凍結され、準安定スピネル相となるためと推測される。筆者はさらに磁性体や半導体など幅広い材料を対象として、フェムト秒レーザーを用いた構造変化誘起に関する研究に取り組みたいと考え、幸運にも理化学研究所の緑川レーザー物理工学研究室の杉岡幸次博士の下、平成 19 年

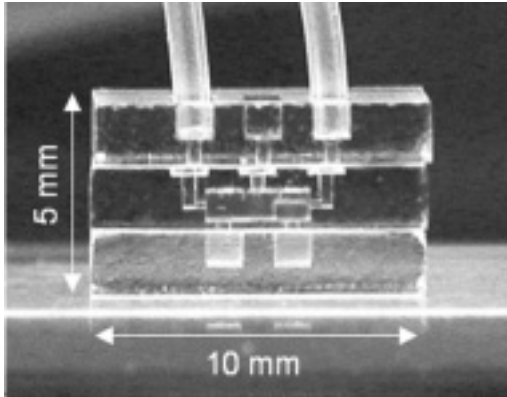


図4 圧縮空気による流路制御が可能なマイクロバルブへの応用例

度4月より協力研究員のポストに就くことになった。

(2) 超短パルス光を用いたマイクロナノ加工

筆者の属する研究チームでは主に超短パルスレーザープロセッシングに関する基礎および応用研究を行っている。最近の顕著な成果として、フェムト秒レーザーによる感光性 Forturan ガラス (Schott 社製) の3次元マイクロ加工技術の確立について述べる。Forturan とは Ce および Ag イオンがドーブされたりチウムアルミノケイ酸塩ガラスである。波長 775 nm のフェムト秒レーザーを内部に集光照射することで多光子吸収が起これ、ガラス内部に局所的な構造変化が誘起される。具体的には欠陥準位を介した2ステップのバンド間遷移によって生じた自由電子が Ag イオンを還元する。適切な温度での熱処理を施すとレーザー光の走査を行った部分に Ag クラスタを中心としてメタケイ酸リチウム結晶相が析出し、これを 10% フッ酸水溶液に浸漬することで結晶相は選択的にエッチング除去される。作製されたマイクロ中空構造は、マイクロ流体デバイス (図4) やマイクロ総合分析システム (μ -TAS), あるいは微生物観察用マイクロチップなど幅広い用途への応用が期待される⁴⁾。筆者は現在、こうした超短パルス光を利用した3次元改質技術を半導体材料へ拡張する試みに取り組んでいる。以前、本研

究室ではワイドギャップ半導体である窒化ガリウム (GaN) のエキシマレーザー多重波長照射による加工に関する基礎研究が行われたが、表面加工に限られることや低解像度であることなどの問題点があった⁵⁾。新しい半導体微細加工手法として GaN や酸化亜鉛 (ZnO) などの3次元マイクロナノ加工技術の確立を目指している。

(3) 理研での研究環境

大学が研究機関であると同時に教育機関としての役割を果たす一方で、理研は純粋な研究機関として存在する。しかし実際は、理研でも教育や若手の育成活動は行われており、大学に所属する学生を実質は理研での研究活動に当たらせながら指導を行うケースも少なくない。こうした中で、筆者の感じた理研と大学との相違点について述べる。今後、理研などの研究機関に職を希望される読者に対して何らかの参考になることを望むが、筆者の視野も限られているため、その範囲内での意見であることを、まずはご了承ください。

大学の研究室は大部分が学生からなるため、研究室内部での連帯感が生まれ易く居心地は良い。その結果、自由度の高いのびのびした研究生活となる場合が多い。一方で理研における研究室では多くが博士号を持つ様々な身分の研究者であり、各々が独自性の強い研究テーマに取り組む。それだけに研究室には緊張感のある空気が漂っているように感じられる。そうした空気に触れるためか、理研に通う学生達の研究に対するモチベーションは非常に高く、筆者は彼らの積極的な姿勢に大変驚かされた。

理研は異分野である研究室間の融合研究を特に奨励している。研究員は自らの判断で異分野に関する知識や技術を積極的に得る機会が与えられている。例えば、研究員であれば誰でも、理研に存在する概ね全ての実験装置を共用装置として利用可能である。大学における学部や専攻などの垣根の違いによる制限も殆どない。また、研究者間の平等意識が高く、若手の研究員

であっても他研究室の主幹研究員に対して、研究の提案を行ったり意見を求めたりすることが比較的容易である。こうしたフェアな意識は、若手研究者の育成において効果的な役割を果たすと感じた。

3. おわりに

研究と教育とは分ち難い密接な関係にある。今日の学問および科学技術の発展は言うまでもなく一人の偉業によって達成されたわけではない。長い年月をかけて知識が伝達され蓄積されてきた結果であり、その知識を伝える役割を担うのが教育である。しかし、伝わるものは知識だけではなく、ものの考え方や価値観も含まれる。すなわち教育とは知識、考え方などを交換するコミュニケーションそのものでありそれによって形成される人と人とのつながりもやはり研究には欠くことのできない要素であるように思われる。例えば、異分野同士の研究者や異なる意見をもつ研究者が関りあい、相互作用しあうことで新たな発想やアイデアが生まれ、さらなる発展へと寄与する可能性は大いにある。筆者は研究者としてまだ第一歩を踏み出したばかりの身ではあるが、そうした人としてのつながりの一部に加わることに研究者としての喜びを感じる。その中でより多くの知識や価値観を吸収し、自らの中で反芻し、それを他の研

究者にも伝える、こうした繰返しが科学の発展に貢献できることを心より信じる。願わくは、これからも人のつながりを意識しながら研究と教育に関わっていくことができれば幸いである。

参考文献

- 1) K. Tanaka, S. Nakashima, K. Fujita, and K. Hirao, "High magnetization and large Faraday effect of zinc ferrite thin film prepared by the sputtering method", *Journal of Physics: Condensed Matter*, 15, L469 (2003).
- 2) S. Nakashima, K. Fujita, K. Tanaka, and K. Hirao, "High magnetization and the high-temperature superparamagnetic transition with intercluster interaction in disordered zinc ferrite thin film", *Journal of Physics: Condensed Matter*, 17, 137 (2005).
- 3) S. Nakashima, K. Fujita, K. Tanaka, K. Hirao, T. Yamamoto, and I. Tanaka, "First-principles XANES simulations of spinel zinc ferrite with a disordered cation distribution", *Physical Review B*, 75, 174443 (2007).
- 4) K. Sugioka, Y. Cheng, and K. Midorikawa, "Three-dimensional micro and nanochips fabricated by femtosecond laser for biomedical applications", *Photon-based Nanoscience and Nanobiotechnology*, 239, 307 (2006).
- 5) T. Akane, K. Sugioka, and K. Midorikawa, "High-speed etching of hexagonal-GaN by laser ablation and successive chemical treatment", *Applied Physics A*, 69, S309 (1999).