



|              |                                                                                                                                                       |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | Control of magnetic and transport properties via elastic lattice deformation in nano-thin films                                                       |
| Author(s)    | 森田, 利明                                                                                                                                                |
| Citation     | 大阪大学, 2026, 博士論文                                                                                                                                      |
| Version Type |                                                                                                                                                       |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/105512">https://hdl.handle.net/11094/105512</a>                                                                 |
| rights       |                                                                                                                                                       |
| Note         | やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論 文 内 容 の 要 旨

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名 ( 森田 利明 )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                 |
| 論文題名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Control of magnetic and transport properties via elastic lattice deformation in nano-thin films<br>(弾性格子変形によるナノ薄膜の磁性および輸送特性の制御) |
| <p>論文内容の要旨</p> <p>本論文は、フレキシブル基板上に製膜した磁性体ナノ薄膜に弾性格子変形（ひずみ）を導入することにより、磁性および輸送特性を制御することを目的とした研究である。原子間隔は電子状態を決定づける基本的なパラメータの一つであり、物質の性質を左右する。一般的に、バルク固体に印加可能なひずみ量は0.1%程度であり、それを超えるひずみの印加により不可逆な変形が生じる。ところが、物質をナノメートルスケールまで薄膜化すると1%を超えるひずみを可逆的に印加することができる。つまり、ナノ薄膜では可逆的に巨大な格子変形を導入することができ、それによる物性の変調を観測することが可能となる。磁性体にひずみを印加すると、磁気弾性効果を介して磁気異方性が変化することが知られているが、本論文では、ナノ薄膜の優れた機械特性および薄膜構造設計の自由度を活用し、磁気異方性の変化にとどまらない新たなひずみ誘起物性制御の原理実証を行った。</p> <p>第1章では本論文の研究背景を紹介し、第2章では本論文で用いた実験手法について説明した。</p> <p>第3章では、フレキシブル基板を引っ張った状態で製膜プロセスを実施することで、製膜された薄膜に圧縮ひずみを埋め込む手法を提案した。磁化測定により、意図した圧縮ひずみが薄膜中に導入されていることを確認し、本手法により作製したスピントロニクス素子においてセンサ性能の向上を実証した。さらに、本手法を拡張することで、多層膜中の各層に大きさおよび方向の異なるひずみを任意に埋め込んだ「ひずみ超格子」を作製可能であることを提案し、その基礎検証として試作膜を作製し、特性評価を行った。</p> <p>第4章では、強磁性体における磁気輸送現象である異常ホール効果をひずみによって制御し、その微視的な起源の解明を試みた。特徴的な結果として、ひずみの印加により等温・可逆的に異常ホール効果の符号反転を誘起可能なことが分かった。起源解明のため、異常ホール効果を構成する内因性および二つの外因性の寄与を分離する解析を行ったところ、外因性の寄与がひずみによって支配的に変調されている可能性が高いことが分かった。その他の磁気輸送現象へのひずみの効果からも、外因性の寄与、特に不純物散乱に起因する効果がひずみによって変調されている可能性が示された。</p> <p>第5章では、典型的な室温強磁性体であるNiおよびCoから成る薄膜の強磁性相転移をひずみによって制御可能なことを実証した。垂直磁化膜の強磁性状態の評価に有効な異常ホール効果の測定をひずみ印加下で実施した結果、強磁性状態の安定化が確認された。各ひずみ量におけるキュリー温度を評価したところ、引張ひずみの印加によりキュリー温度が上昇することが分かった。本効果は等温・可逆的に制御可能であり、膜厚の調整によって室温近傍でのひずみ誘起強磁性相転移も観測した。さらに、Ni層とCo層の膜厚比を変化させることにより、ひずみによるキュリー温度変調に特徴的な傾向が見出され、その起源について複数の可能性を挙げて議論した。</p> <p>第6章にて本論文の総括をし、今後の展望について述べた。</p> <p>これらの結果は、薄膜研究における弾性格子変形の新たな可能性を実証したものである。特に、第3章で提案したひずみ超格子の概念は、磁性体の研究にとどまらず広く物性研究に応用可能であり、巨大な物性変調や新奇な物理現象の発見が期待される。</p> |                                                                                                                                 |

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏 名 ( 森 田 利 明 ) |     |     |        |
|-----------------|-----|-----|--------|
|                 | (職) | 氏 名 |        |
| 論文審査担当者         | 主 査 | 教 授 | 千葉 大地  |
|                 | 副 査 | 教 授 | 石渡 晋太郎 |
|                 | 副 査 | 教 授 | 松原 正和  |

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、ナノ薄膜における弾性格子変形を能動的な設計自由度として捉え、磁性および磁気輸送特性の制御へと展開した一連の研究成果を体系的にまとめたものである。学位申請者・森田利明氏は、フレキシブル基板を用いた独自の実験手法を基盤として、従来の物性制御の枠組みにとらわれない新しい制御概念を提示し、その有効性を多角的な実験結果によって明確に示した。

本論文の特筆すべき点は、成膜時に基板へひずみを印加する「ひずみ埋め込み法」を提案し、薄膜中に任意の大きさおよび方向のひずみを組み込むことを可能とした点にある。この手法により、磁気異方性の制御や直交磁化配置を有するスピントロニクス素子の実証により、層ごとに異なるひずみを導入した新しい設計概念を示し、薄膜材料設計の自由度を大きく拡張する成果となっている。

さらに、異常ホール効果の符号反転や強磁性相転移温度の可逆的制御など、磁気輸送現象および相転移現象をひずみによって制御できることを明確に示した点は、基礎物理および応用の両面から高く評価される。これらの成果は、磁性材料に限らず、広く固体物性研究や機能性材料開発へ展開可能な汎用的アプローチであり、物質材料の枠を超えた発展が期待される。

審査においては、研究の着想の独創性、実験設計の妥当性、結果の再現性および考察の論理性について詳細な検討を行ったが、当日の口頭試問における質疑応答も含めて、学位論文として十分な完成度を有していることが確認された。

以上のように、本論文は独創性、体系性、将来展開性のいずれにおいても高い水準にあり、関連分野への学術的・技術的波及効果も大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認める。