

論文 / 著書情報
Article / Book Information

| | |
|-------------------|--|
| 題目(和文) | |
| Title(English) | Terahertz time-domain spectroscopy on ordered magnetic alloys |
| 著者(和文) | MaoHuilong |
| Author(English) | Huilong Mao |
| 出典(和文) | 学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12612号, 授与年月日:2023年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:佐藤 琢哉,藤澤 利正,納富 雅也,平原 徹,村上 修一 |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12612号, Conferred date:2023/12/31, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,, |
| 学位種別(和文) | 博士論文 |
| Category(English) | Doctoral Thesis |
| 種別(和文) | 審査の要旨 |
| Type(English) | Exam Summary |

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

| 報告番号 | 甲第 | 号 | 学位申請者氏名 | Mao Huiling | | |
|-------------|-----|-------|---------|-------------|-------|----|
| 論文審査 審査員 | | 氏名 | 職名 | | 氏名 | 職名 |
| | 主査 | 佐藤 琢哉 | 教授 | 審査員 | 村上 修一 | 教授 |
| | 審査員 | 藤澤 利正 | 教授 | | | |
| | | 納富 雅也 | 教授 | | | |
| 平原 徹 | | 教授 | | | | |

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Terahertz time-domain spectroscopy on ordered magnetic alloys」と題し、重金属元素を含む規則型/不規則型磁性層と磁性金属層の二重層を用いた単一周期テラヘルツ波パルス放射の実験的研究であり、6章よりなる。

第1章「Introduction」ではテラヘルツ技術とスピントロニクスを概観したのち、フェムト秒レーザーを用いて磁性金属元素と重金属元素の合金からのテラヘルツ波放射について述べている。最後に本論文の全体を概観している。

第2章「Background」では磁性と磁性材料の基礎として、磁気エネルギー、磁気構造、磁気秩序、磁氣的輸送現象、超高速磁気現象を説明している。さらにテラヘルツ波やその発生、検出法とメカニズムを詳細に説明している。従来のスピントロニクス・テラヘルツ放射では、磁性金属/重金属二重層から単一周期テラヘルツ電磁パルスが放射される。フェムト秒レーザーパルスで磁性金属を励起すると、磁性金属中にスピン流パルスが誘起される。そのスピン流パルスは重金属層に入り、逆スピンホール効果を介して電荷パルスに変換され、単一周期テラヘルツ電磁パルスが放射される。スピントロニクスでは、重金属は一般に高い変換効率を持つスピン-電荷変換器とみなされていることが説明された。

第3章「Experimental Methods」ではテラヘルツ放射およびテラヘルツ時間領域分光法 (THz-TDS) の実験系が紹介されている。これらは単一周期テラヘルツパルス生成と検出技術を使用している。テラヘルツ放射分光法は、テラヘルツ波形の振幅と位相を測定することで、表面の対称性、キャリア分布、および非線形光学効果を評価するのに重要であるとしている。一方で、THz-TDS は吸収係数、屈折率、透過率といった試料の光学特性を測定するために活用される。さらに、X線回折測定装置、振動試料型磁力計、原子間力顕微鏡、マグネトロンスパッタ成膜装置の原理についても述べている。

第4章「THz Spectroscopy of Antiferromagnetic L1₂-ordered Mn₃Ir」では反強磁性 L1₂規則型 Mn₃Ir 層を用いたテラヘルツ放射分光法に関する研究がまとめられている。得られたテラヘルツ放射スペクトルを Pt の場合と比較することで、Mn₃Ir 層のスピン-電荷変換効率の定性的評価を行い、スピンホール角が 0.3~2.2 THz の周波数範囲でほぼ一定値の 0.035 であることを明らかにした。この値は、(111) 配向した不規則型 Mn₃Ir 膜を用いた輸送実験から見積もられた先行報告値 (0.10~0.15) よりも小さい値であった。Mn₃Ir 膜の混合結晶 (L1₂規則型および不規則型) が逆符号のスピンホール効果を持つため、正味の値が小さくなったと結論づけている。

第5章「THz Spectroscopy of Ferromagnetic Ordered/Disordered FePt Alloys and Fe/Pt Bilayer」では、強磁性規則型/不規則型 FePt 合金層におけるテラヘルツ分光法に関する研究がまとめられている。「スピンホール効果とその逆効果が、強磁性層への重金属元素の導入によって変化しうるかどうか」という提起がなされた。テラヘルツ放射分光法を用いて、FePt 結晶の秩序・無秩序がスピンホール効果や逆スピンホール効果に及ぼす影響が調べられた。FePt の結晶秩序は、温度、基板の配向などの成膜条件によって制御できる。X線回折測定により見積もられた FePt 合金の L1₀ 秩序変数は、400°C から 500°C の間に 0 から 0.7 まで急激に増加し、それに伴って磁化容易軸は面内から面直方向へと変化した。従来のテラヘルツ時間領域分光法により、これらの FePt 合金のテラヘルツ放射特性を測定した。アニールなしの不規則型 FePt からは、Fe/Pt 多層膜の約 8 倍もの強いテラヘルツ波が観測された。材料組成、構造秩序、スピン電荷ダイナミクスを考慮することで、テラヘルツスペクトル領域におけるスピン-電荷変換現象の理解を深めることができ、スピントロニクスデバイスの性能向上により、実用化への道を開くことができるとされた。

第6章「Conclusion」では論文全体を概観し、さらに今後の展望について述べている。材料の構造、磁気特性、およびアニールプロセスがテラヘルツ放射特性に影響を及ぼすことが強調され、テラヘル

ツ・スピントロニクス of 新しい理解の助けになることが述べられている。

以上をまとめると本論文は、テラヘルツ・スピントロニクス of 応用として、磁性金属/重金属二重層からの単一周期テラヘルツ放射において、純粋な重金属層を重金属元素が含まれる磁性層に置き換えることにより、テラヘルツ放射性能も兼ね備える磁性材料の可能性を実験的に探ることを目指したものである。磁性材料として反強磁性 $L1_2$ 規則型 Mn_3Ir 層と強磁性 $L1_0$ 規則型/不規則型 $FePt$ 合金層を用いたところ、いずれもテラヘルツ放射が観測され、そのメカニズムに考察を加えている。このような切り口は従来ほとんど例がなく、本博士論文で初めて定量的測定が試みられたものであり、今後の波及が期待される。よって、本論文は、理学の発展に資するものと判定され、博士（理学）の学位論文として価値があると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。