

京都大学教育研究振興財団助成事業  
成 果 報 告 書

平成26年12月24日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団

会 長 辻 井 昭 雄 様

所属部局・研究科 化学研究所 ナノスピントロニクス領域

職 名・学 年 助 教

氏 名 森 山 貴 広

助 成 の 種 類	平成26年度・研究者交流支援・在外研究短期助成	
研 究 課 題 名	反強磁性薄膜のテラヘルツ分光	
受 入 機 関	米国国立標準局 (NIST)	
渡 航 期 間	平成26年 9月 4日 ~ 平成26年12月 5日	
成 果 の 概 要	タイトルは「成果の概要／報告者名」として、A4版2000字程度・和文で作成し、添付して下さい。「成果の概要」以外に添付する資料 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有( )	
会 計 報 告	交付を受けた助成金額	892,000 円
	使用した助成金額	892,000 円
	返納すべき助成金額	0円
	助成金の使途内訳	航空券代 216,780円
		日当 5,200円 x 92日 (京都大学規定)
		宿泊費 196,820円 (92日分)
その他 不足分は先方負担		
当財団の助成について	(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。)	

京都大学教育研究振興財団助成事業・在外研究短期助成  
「反強磁性薄膜のテラヘルツ分光」 成果の概要報告  
京都大学 化学研究所 森山貴広

在外研究短期助成事業により、2014年9月4日から12月5日の約3か月間の日程で、米国国立標準技術研究所（NIST）にて在外研究を行った。申請者はこれまで、スピントロニクスの根幹をなす物理現象である、電子スピンと局在磁気モーメント（磁化）の相互作用（スピントルク効果）に興味を持ち様々な研究を行ってきた。特に磁気共鳴を用いてその相互作用を定量化する手法を開発し強磁性体のスピントルク効果を解明してきた。一般的に強磁性体の場合、共鳴周波数は数 GHz 程度であり、従来の金属導線を用いたマイクロ波回路を利用した測定が可能であった。しかしながら、近年同様のスピントルク効果の発現が報告されてる FeMn や NiO 等の反強磁性体は数百 GHz から THz 付近に共鳴周波数をもつため、金属導線を用いた回路は該当周波数でのインピーダンス整合が物理的に困難になり利用できない。受入先である NIST の Dr. McMichael は高周波磁気測定の特権家であり、現在光ファイバ導波路を用い、薄膜磁性材料を対象にした THz 領域の測定系の構築を進めている。そこで、今回の在外研究助成を利用して、磁性薄膜におけるテラヘルツ領域測定技術の開発および測定系の構築に関する共同研究を行った。

光学系を用いた GHz~THz 帯の一般的な測定技術は磁性薄膜を対象にしたもの以外も含めると多数報告されているが、ほとんどの場合において光学測定系の維持・管理・調整に関して高度な専門性とノウハウを要するため測定技術の構築自体が一大研究分野になっている。このため、上述したような磁性物理現象を解明の為にこのような測定技術を積極的に用いるまでに至っていないのが現状である。本研究では、磁性薄膜（反強磁性体および強磁性体）の評価に適切、かつ簡便な GHz~THz 領域測定原理の実証および測定系の構築を目的とした。

図1に簡単な測定原理を示す。光源には波長 1550nm の連続波赤外ファイバレーザーを用いる。光学強度変調器（electro-optic modulator）によってレーザー強度を GHz~THz の周波数で変調する。その後、直線偏光し磁性薄膜試料に入射する。強度変調光のエネルギーにより磁気共鳴条件下において変調周波数の磁化ダイナミクスが誘発される。同時に、磁気光学カー効果により磁化方向の時間変化にともない反射光の偏光角が時間変化する。すなわち、偏光の変化を光学的に捕えることで磁化ダイナミクスを測定することができる。光学系は試料直前まで全て光ファイバで構築されており、コヒーレンスを保ったまま簡単に試料に光を導くことができる。また、利用する 1550nm

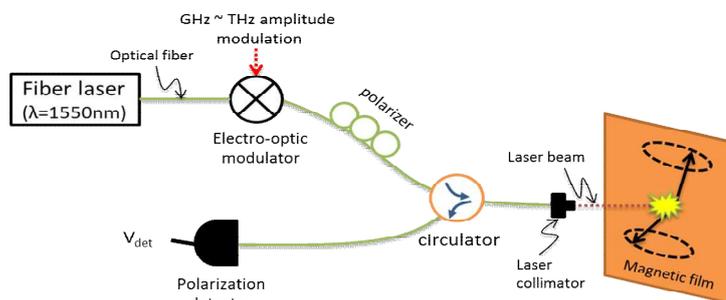


図1：測定原理の模式図

波長帯は、近年の高速光ファイバ通信で多用されている帯域であり、光源や変調器、方向性結合素子（circulator）など様々な光ファイバ型基本光学素子が既存であり、簡単に入手・設定可能である。本測定系では、光ファイバ内を伝達する搬送波は強度変調した 1550nm 赤外光で

あり、強度変調周波数の上限は光ファイバの利用可能波長領域幅で決まる。一般的に利用可能波長幅は 10nm 程度であるため、周波数に換算すると数 THz がこの測定系の原理的上限周波数となる。共同研究開始時点でこれらの測定原理を実証した例はなく、まったく新規かつ磁性薄膜に適した超高周波測定技術と言える。

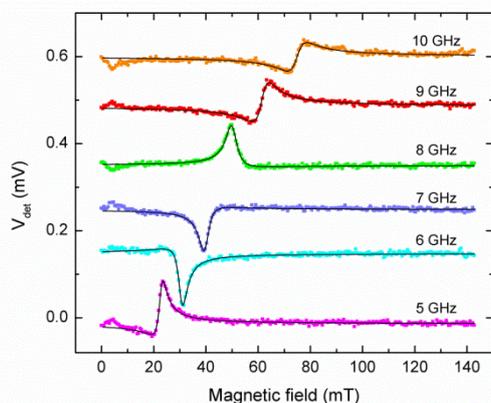


図 2 : GHz 帯を用いた磁気共鳴測定原理の実証データの一例

磁気光学カー効果により、反射光の偏光面が変化していることによると考えられる。さらに詳細な解析の結果、ピークの高さから磁化ダイナミクスの強度、ピークの形からは磁化ダイナミクスの位相の情報が得られることが分かった。これらの結果は、今のところ GHz 帯での実験ではあるものの、1550nm 光ファイバ光学系を用いた初めての磁気共鳴実験の実証である。(本成果は査読付き論文に投稿準備中である。)

滞在期間中に THz 帯における実験までに至らなかったが、今回の GHz 帯での測定原理実証実験は同様の THz 帯測定が可能であることを裏付けるものとなった。今後も McMichael と緊密に連絡を取り、THz 帯に向けた実証に向けて共同研究を行うつもりである。また、本在外研究で自身にとっては新たな分野である光学技術に関わる実験に実際に取り組み、測定系構築の知識や技術を習得できたことは非常に有意義であった。将来の自身の研究活動の幅を広げる上でとても良い経験になったと感じている。3 か月というある程度の仕事を成すには十分な期間の助成を頂き、本助成事業には深く感謝しています。

3 か月の滞在期間中には、本原理を実証するために、まずは GHz 帯の周波数を用いて共鳴周波数特性がよく知られている強磁性薄膜についての測定系を構築した。図 2 は強度変調周波数を 5~10GHz の一定値に固定し、薄膜に与える外部磁場を掃引した時の偏光検出器 (polarization detector) の電圧変化である。ある磁場範囲で測定電圧にピークが見られた。周波数を増加させると、ピークを与える磁場も増加していることが分かる。これらのピーク磁場・周波数の関係は通常の (金属導線を用いた場合の) 強磁性共鳴測定のものと同じであった。これらのピークは強磁性共鳴下における磁化ダイナミクスおよび磁