

# メタマテリアルを活用した新たなテラヘルツ波発生素子の開発

谷 正彦<sup>1</sup>, Valynn Mag-Usara<sup>1</sup>, 北原 英明<sup>1</sup>, 古屋 岳<sup>1</sup>, 中嶋 誠<sup>2</sup>

1 福井大学 遠赤外領域開発研究センター

2 大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター

## 1. はじめに

光伝導アンテナや非線形光学結晶をフェムト秒レーザーで励起することで、テラヘルツパルス波を発生させることができる。光伝導アンテナや非線形光学結晶にメタマテリアル構造を導入することで、発生するテラヘルツ波の周波数や偏光を制御することができることが知られている。これまでも申請者と受け入れ研究者の中嶋誠准教授の研究グループとは、非線形光学結晶 (GaAs) 上にメタマテリアル構造を導入し、テラヘルツ波の第2高調波発生の効率を増強することを試みたりしている。

一方、最近スピントロニックなテラヘルツ波発生素子が注目を集めている (図1参照)。この素子は磁性金属と非磁性金属の薄膜2重層構造を持ち、磁性金属中で発生したスピン流が、非磁性金属に流れる際に、逆スピンホール効果による実電流が流れることを利用している。光伝導アンテナの効率にはまだ及ばないが、1~1.6 $\mu$ m 帯のファイバーレーザーを励起光源として利用でき、素子構造が簡単で、大面積励起が可能であるなど、テラヘルツ波発生素子として有利な特性を備えている[1]。金属スピントロニックテラヘルツ波発生素子の薄膜構造にメタマテリアル構造を導入することで、発生するテラヘルツ波の周波数を制御したり、発生効率を増強できる可能性がある。

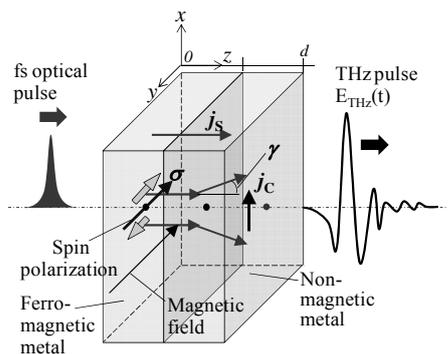


Fig. 1. Schematic diagram of spintronic THz emission from a bilayer consisting of ferromagnetic and non-magnetic thin films.

本研究では、メタマテリアル構造をテラヘルツ波発生素子に導入することで、発生するテラヘルツ波の周波数を制御したり、発生効率を増強することを目指す。特に新たに開発する金属スピントロニックテラヘルツ波発生素子にメタマテリアル構造を導入することで、発生するテラヘルツ波の周波数を制御したり、共鳴周波数でのテラヘルツ波発生効率の増

強を試みる。

本年度は、磁性金属としてFeを、非磁性金属としてPtを用いた金属2重層の金属スピントロニックテラヘルツ波発生素子としての基本特性を明らかにするため、膜厚依存と起波長依存を調べた。

## 2. 素子作成および評価装置

膜厚依存性を調べるために、FeとPtの膜厚が異なる5種類の素子を作成した。素子作成には佐賀大学の郭其新教授のグループの協力を得て、0.5mm厚のMgO基板上にFe膜がMgO基板側、Pt膜が表面側になるように、電子ビーム蒸着法により作成した。作成した膜厚の組み合わせを表1に示す。

表1. 試作したFe膜とPt膜の膜厚組み合わせ。○がついている組み合わせを試作した。

	Fe 2 nm	Fe 2.5 nm	Fe 3 nm
Pt 2 nm	○		○
Pt 2.5 nm		○	
Pt 3 nm	○		○

また、励起波長依存性の測定には、Kaiserslautern大学のRené Beigang教授およびPhotonics Center, KaiserslauternのGarik Torosyan博士に提供していただいた、スピントロニック素子 (MgO基板上にエピタキシャル成長したFe(2nm)/Pt(3nm)の素子)を用いた。素子評価にはテラヘルツ時間領域分光法を用いた。評価装置の模式図をFig.1に示す。レーザー光源として、膜厚依存性評価にはMenlo Systems社のC-Fiber Laserを、励起波長依存性評価には、さらに

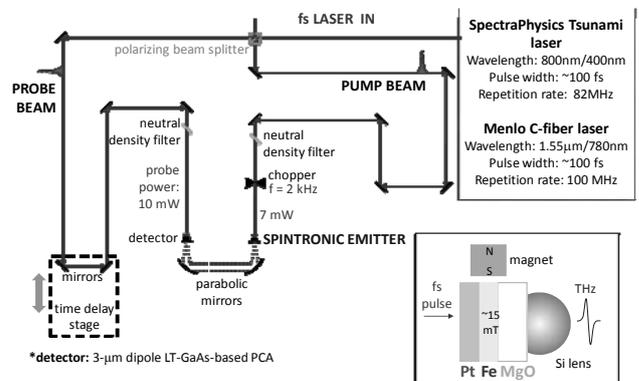


Fig. 2. Experimental setup for evaluation of spintronic THz emitters.

SpectraPhysics 社の Tsunami Laser と SHG モジュールを用いた。スピントロニック素子からの THz 波検出には LT-GaAs 基板のダイポール型光伝導アンテナを用いた。

### 3. 素子の評価結果

Fig. 3 に膜厚が異なる 5 つの素子から得られた THz 波の時間波形を示す。励起レーザー波長は 780nm で、励起パワーは 7mW である。Fig. 3 に示されるように、最大の THz 波強度は Fe 膜厚 3nm、Pt 膜厚 2nm が最適でありことがわかる。

Fig. 4 に、Fe 膜厚 2nm、Pt 膜厚 3nm の素子を、励起レーザーを波長 400nm と 800 nm、および 780nm と 1550nm の場合で得られた THz 波の時間波形を示す。Fig. 4 に示される結果より、これらの波長において、励起レーザーパワーが同じであれば、ほとんど THz 波の放射効率に変化がないことがわかる。

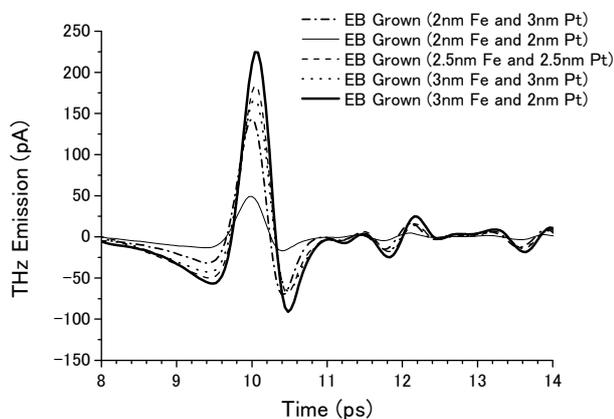


Fig. 3. Thickness dependence of THz emission from spintronic Fe/Pt bilayer.

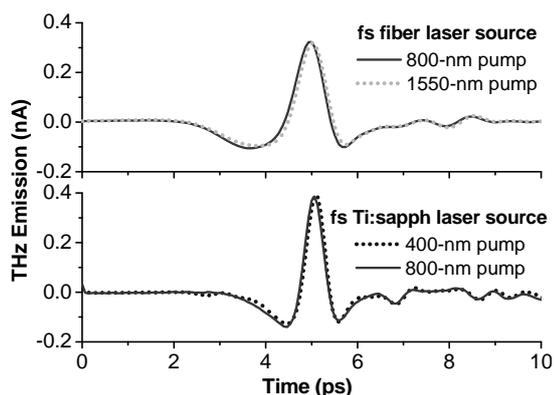


Fig.4. Wavelength dependence of THz emission from Fe(3nm)/Pt(2nm) spintronic bilayer.

### 4. まとめと今後の展望

本年度に行った素子の試作およびその評価結果から、Fe/Pt 金属二重層のスピントロニック素子の基本特性、すなわち最適な膜厚および励起波長依存性を評価することができた。今後は最適化された、Fe/Pt

金属二重層にメタマテリアル構造を導入し、スピントロニック素子からの THz 波放射に対するメタマテリアルの影響を評価する。

### 謝辞

素子作成にご協力いただいた、佐賀大学の郭其新教授およびその研究室の方々、また、Kaiserslautern 大学の René Beigang 教授および Photonics Center, Kaiserslautern の Garik Torosyan 博士に感謝いたします。また膜厚依存の評価実験に協力いただいた福井大学大学院工学研究科博士後期課程の Miezal Talara さんに感謝いたします。

### REFERENCE(S)

[1] Torosyan, *et al*, Scientific Reports, Vol. 8, 1311 (2018) (DOI:10.1038/s41598-018-19432-9)