

## <研究紹介・自己紹介>

研究項目 A01:公募研究

「テラヘルツ波メタマテリアルにおける表面波の特異な分散特性と機能」

研究代表者 高原 淳一 (大阪大学)

### 自己紹介

公募研究 A01 研究代表者の高原淳一です。私は 2010 年 10 月より同じ大阪大学の基礎工学研究科から工学研究科に異動し、現在はフォトンクス先端融合研究センター（略称：PARC、センター長 河田聡）の副センター長としてプラズモニクスを基盤技術とした文部科学省のイノベーション創出拠点プログラムを推進しています。専門はプラズモニクスおよび熱輻射制御とそのデバイス応用です。

私は 1986 年に大阪大学基礎工学部電気工学科に入学して以来、四半世紀ずっと阪大豊中キャンパスで暮らしてきましたが、今回吹田キャンパスにうつり新たな気持ちで研究室の立ち上げに取り組んでいます（現在、研究室の学生は 3 名です）。同じ大学内でも電気系と応物系とでは文化の違いを感じることもありますが、それもまた良い刺激となっています。

私はナノプラズモニクス、特にプラズモニック導波路の電磁界理論とそれを応用したナノ光集積回路の研究を行ってきました<sup>[1]</sup>。これをメタマテリアルへと拡張することで、メタマテリアルにおける表面波の理論を確立し、当該領域の推進に基礎的な面で貢献したいと考えています。また、具体的なシミュレーションをテラヘルツ領域で行うことにより、テラヘルツデバイスへの応用をめざします。

### 研究紹介

メタマテリアルによる左手系媒質（Left-Handed Material: LHM）の実現によって、フォトンクスで利用可能な光学媒質の領域が大幅に拡張されました。しかし、多くの研究はバルク LHM 中の波動伝搬に興味集中しており、表面波（2次元光波）に関する研究はほとんどすすんでいません。表面波は進歩が著しいプラズモニクスにおいては表面プラズモン

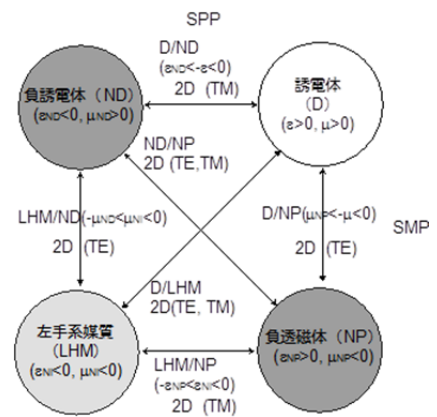


図1 6種類の光学ヘテロ界面

ポラリトン (Surface Plasmon Polariton: SPP) として中心的役割を果たしており、メタマテリアルにおける表面波の系統的な研究が必要です。

私の専門はプラズモニクスですが、これは負誘電体と誘電体の界面の電磁気学といえます。プラズモニクスでは負誘電体が中心的役割をするのですが、負誘電体の内部を光は伝搬できないので、Veselago ダイアグラムにおいて負誘電体中では光は非伝搬として、切り捨てられることも多いです。しかし、実はプラズモニクスで重要なのはバルクではなく界面なのです。誘電体・負誘電体界面すなわち第一と第二象限の境界を伝播する SPP (TM モード) としての表面波 (2次元光波) が主役であるといえます。自明のことですが、同様の表面波は第一と第四象限の境界 (誘電体・負透磁体界面) にも存在し、表面マグノン・ポラリトン (Surface Magmon Polariton: SMP) (TE モード) として知られています。

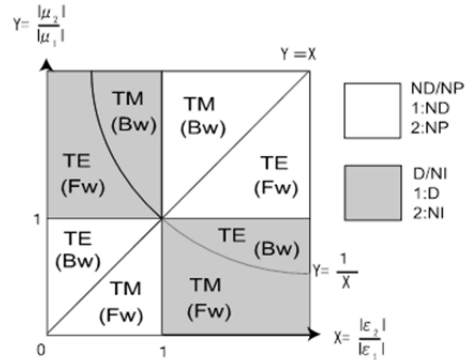


図2 D/LHM 界面の表面波の存在領域と偏光、FW/BW の分類: 白領域は ND/NP 界面、灰色領域は D/LHM 界面

私は 2004 年にこれを図 1 に示すような LHM を含む他の界面にも拡張し、光学ヘテロ界面と名前をつけました<sup>[2,3]</sup>。正と負という光学的に全く異質の材料同志の界面なので「光学ヘテロ」としています。光学ヘテロ界面は図 1 に示すように 6 種類の組み合わせがあります。これらの界面は互いに  $\epsilon$ 、 $\mu$  の符号が反対の性質を持つので、それぞれの界面に表面波が伝搬できます。そこでこれら 6 種類の光学ヘテロ界面のうち LHM を含む界面の表面波について、カイラル媒質も含めて系統的に物理的特性を解明したいと考えました。特に、LHM と誘電体との界面 (D/LHM 界面) においては TM と TE の両方の偏光が存在できるという特徴をもちます。これは SPP や SMP との本質的な違いといえます。後からわかったのですが、D/LHM 界面については、我々の提案とほぼ同時期に Shadrivov らにより存在条件が導かれています<sup>[4]</sup>。図 2 にその結果を示します。D/LHM 界面は誘電率と透磁率を変化させると、偏光 (TM/TE) による分類と前進波 (Forward Wave : FW) と後退波 (Backward Wave : BW) による分類によって、存在領域が完全に分離することがわかっています。この図が示すことは、FW と BW の境界線上でポインティングベクトルの値が 0 (stopping light 状態) となり、光が停止するという事です。もしメタマテリアルにより LHM



を実現したとすると、誘電率と透磁率をわずかに変えることにより、光を停止させたり、FW と BW を切り替えたりすることができるはずですが。これはおもしろいデバイス原理になる可能性を秘めています。

本研究では光学ヘテロ界面の表面波の分散関係を理論的に解明し、そのデバイス応用を目指します。特に、実際にメタマテリアルによる LHM を作製することが可能なテラヘルツ波を具体的な周波数の目標とします。

#### 参考文献

- [1] 高原淳一, ” プラズモニック導波路” 応用物理, 80(9) (2011) 772.
- [2] J.Takahara et al., *Optics & Photonics News* 10 (2004) 54.
- [3] J.Takahara, *Plasmonic Naniguides and Circuits*, Ch.2, ed. S. I. Bozhevolnyi (Pan Stanford Pub., 2009).
- [4] I.V.Shadrivov et al., *Phys.Rev. E* 69 (2004) 016617-9.