

尾松孝茂

千葉大学融合科学研究科
教授

トポロジカル光波の全角運動量による新規ナノ構造・物性の創出

§ 1. 研究実施体制

(1)「千葉大」グループ

① 研究代表者:尾松孝茂 (千葉大学大学院融合科学研究科、教授)

② 研究項目

- ・「全角運動量」が制御された高出力トポロジカル光源の開発
- ・「全角運動量」が制御された未踏波長域トポロジカル光源の開発
- ・トポロジカル光波によるカイラル構造制御
- ・「全角運動量」が制御されたトポロジカル光波によるナノ構造体創成と新機能性デバイス応用

(2)「北大」グループ

① 主たる共同研究者:森田隆二 (北海道大学大学院工学研究院、教授)

② 研究項目

- ・「全角運動量」が制御された超短パルス・トポロジカル光源の超広帯域・超短パルス(サイクル域)化・高繰返し化・高出力化
- ・ポンプ・プローブ軌道角運動量・全角運動量変換に基づくキャリアダイナミクス観測法のリング構造試料への適用および観測手法の最適化
- ・トポロジカル光波による面発光レーザーの軌道角運動量変換メカニズム解明と制御

(3)「物材機構」グループ

① 主たる共同研究者:栗村 直 (物質・材料研究機構、主幹研究員)

② 研究項目

- ・紫外トポロジカル光発生デバイスの光学設計およびナノ電極構造設計
- ・紫外トポロジカル光発生デバイスの試作

§ 2. 研究実施の概要

トポロジカル光波とは、光波面のトポロジカルな構造から現れる軌道角運動量($m\hbar$)と偏光によって現れるスピン角運動量($s\hbar$)の量子力学的なベクトル和($j\hbar=m\hbar+s\hbar$)で与えられる光パラメータ「全角運動量($j\hbar$)」を有する光波の総称である。本研究チームは、トポロジカル光波が物質と相互作用すると、物質がトポロジカル光波の「全角運動量」を受取り、カイラルな螺旋構造体(カイラル構造体)へ変形する現象を世界で初めて発見した。

一般に、アゾポリマーにレーザー照射すると、シストランス光異性化反応と光勾配力を介して起こる質量移動によって薄膜表面に凹凸のレリーフ(表面レリーフ)ができる。質量移動は必ずレーザーの偏光方向に沿って起こるので、レーザー光の偏光をいかに制御しようとも螺旋の表面レリーフ(カイラル表面レリーフ)は決して形成されない。

本研究チームは、トポロジカル光波を照射することでアゾポリマー表面にカイラル表面レリーフができることを世界で初めて発見した。今年度は、カイラル表面レリーフの2次元アレイ化、さらには、スパッタリング法を用いて金膜コーティングすることでプラズモニク素子への応用の可能性を明らかにした。また、エレクトロニクスの標準試料であるシリコン単結晶のカイラル構造体を形成することにも成功した。

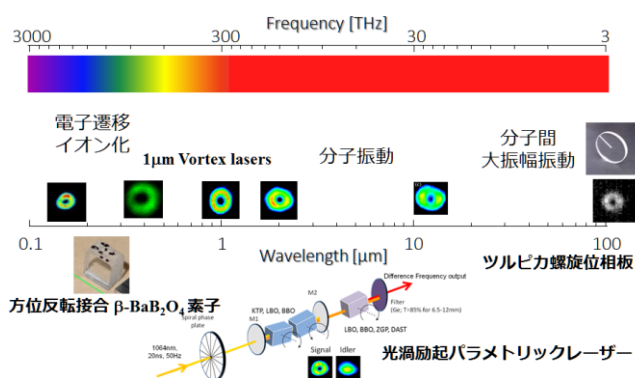
今後は、これらカイラル構造体の光学特性評価を行う。具体的には、カイラル構造体近傍に現れる近接場光の解析を行う。

これらの研究は、トポロジカル光波の「全角運動量」を物質の構造変化として記録する研究であるということもできる。トポロジカル光波の「全角運動量」の潜在能力を十二分に活用するには、トポロジカル光波の発生を行うとともに、その「全角運動量」を精密に計測する必要がある。そこで、高精度軌道角運動量分解測定法および円筒対称固有モード分解測定法を独自に考案した(北大グループ、論文執筆中)。発生させたさまざまなトポロジカル光波の軌道角運動量スペクトル、固有モード特性を高精度に計測するとともに、千葉大と連携してトポロジカル物質科学、トポロジカルデバイス工学への応用に適したトポロジカル光波のパラメータを明らかにする。

また、多様な物質の構造・物性制御へトポロジカル光波を応用するため、さらなる未踏波長光源の開発を進めた。新規開発した主軸反転常温接合型 β -BaB₂O₄素子を用いた深紫外(266 nm)の高出力紫外トポロジカル光源、中赤外(6-12 μm)における連続波長可変トポロジカル光源(パルスエネルギー>100 μJ)、テラヘルツ波帯で使用できる螺旋位相板などの開発に成功した。この結果、深紫外からテラヘルツ波帯までほぼすべての周波数でトポロジカル光波を発生できるようになった。これらの成果は米国光学学会学術誌 *Optics Express*、米国物理学協会学術誌 *Applied Physics Letters* に掲載された。

この他、波長帯域 760 - ~850 nm、パルスエネルギー~1 mJ、パルス幅 27 fs のトポロジカルチャージ可変超広帯域超短パルス・トポロジカル光波発生にも成功した。

トポロジカル光波の発振波長



今年度の代表的論文 3 編

[1] “Tunable mid-infrared (6.3–12 μm) optical vortex pulse generation,” K. Furuki, M.-T. Horikawa, A. Ogawa, K. Miyamoto, T. Omatsu, *Optics Express*, **22**, (2014) 26351-26357.

[2] “Direct observation of the topological charge of a terahertz vortex beam generated by a Tsurupica spiral phase plate,” K. Miyamoto, T. Akiba, K. Suizu, T. Omatsu, *Applied Physics Letters*, **104**,

(2014) 261104.

[3] "Frequency-resolved measurement of the orbital angular momentum spectrum of femtosecond ultra-broadband optical-vortex pulses based on field reconstruction," K. Yamane, Z. Yang, Y. Toda, R. Morita, *New Journal of Physics*, **16**, 053020 (2014)