

「新機能創成に向けた光・光量子科学技術」

平成 18 年度採択研究代表者

五神 真

(東京大学大学院工学系研究科 教授)

「時空間モルフォロジーの制御による能動メゾ光学」

## 1. 研究実施の概要

(ねらい)

本研究では、東京大学グループが進めてきた微小球やナノキラル構造研究などのモルフォロジー-依存光学の研究、電子系や励起子系の巨視的量子状態の研究と農工大グループが積み上げてきた極超短パルス分光技術研究を融合させ、物質系の新たな知見を得ると共に、新しい光制御技術-能動メゾ光学-を確立する。この為以下の2つの研究課題を東京大学と農工大学で分担し、互いに連携させながら研究を進める。連携を実質化するために、共同で進める課題を設け実験を東京大学において一緒に行う。

(概要)

本年度は初年度であったが、当初達成目標を上回る進捗が得られた。人工ナノキラル格子構造による巨大旋光性の機構解明へ大きく近づいた。これは本研究の掲げるモルフォロジーに依存した光制御の原理を能動制御へとつなげる重要なステップである。東大グループと農工大グループの連携も効果的に機能しており、超短光パルス観測・制御の基礎技術向上のみならず、励起子系の巨視的量子状態の光制御などにつながる成果が現れ始めている。また光源開発、コヒーレント制御、間接遷移型半導体における電子正孔系の相制御やテラヘルツ波制御など、今後の成果が期待できる他のテーマも順調に進んでいる。

## 2. 研究実施内容

東大チーム:巨大光応答物質相探索とモルフォロジー制御光機能開拓

研究項目① モルフォロジー制御による光機能発現

①-1:形態に依存する光学応答の原理解明

(目的)

サブ波長スケールのパターンを周期的に並べた金属薄膜格子において見いだされた巨大旋光

性の起源を系統的实验により明らかにする。表面プラズモンモードなどの電磁結合モードとメゾ構造の関わりについて、物理的モデルを構築し、効果の設計予測に活用する。

(実施内容)

本年度の達成目標は、角度依存性よりプラズモン共鳴構造を明らかにし、原理解明に向けた指針を得て論文にまとめることである。

ピエゾ弾性光変調素子を用いた偏光測定システムにおいて試料方位制御装置を導入し、自動測定システムを構築した。これにより、人工ナノキラル格子における巨大旋光性の入射光角度依存性を系統のかつ詳細に調べることが可能になった。その結果、表面プラズモンモードの分散関係と旋光角のスペクトルが非常によく一致し、巨大旋光性の発現に表面プラズモン共鳴の効果が大きく寄与していることを実験的に明らかにした。この微視的メカニズムを明らかにするため、ヨーエンス大学との共同研究により電磁波分布数値計算を行った。その結果、キラルナノ格子の両界面に励起される表面プラズモン電場が非並行なねじれ構造を示すことを見出し、それを非局所的な光学応答として、定量的に表現する方法を提案した。以上の成果を論文にまとめる作業を進めた。

#### ①-2: モルフォロジー制御による非相反光学応答の発現

(目的)

磁性金属や半導体等を対象とし、空間モルフォロジーの最適化された人工物質系を用いて磁気光学と旋光性の複合による非相反的光学応答の発現を狙う。超低ノイズ光パルスを探プローブとした分光により、精密高感度検出を行う。ニッケルやパーマロイなどの強磁性金属や磁性半導体等を用いて、人工キラル構造によって旋光性を発現させることにより、磁気光学と旋光性の複合による非相反的光学応答の発現を狙う。

(実施内容)

目的とする磁気光学と旋光性の結合効果を系統的に計測するためには、光学系に適合させやすい外部磁場を準備する必要がある。そのため、ヘルムホルツコイルの設計と導入、立ち上げを実施した。また、パルス光源を利用した高感度スペクトル検出法について検討を行った。

#### 研究項目②: 巨大光応答物質相の制御と探索

##### ②-1: 極低温状態励起子系の光生成手法の高度化

(目的)

励起パルスの時空間での精緻な制御により、励起子や電子正孔系を極低温高密度状態とする手法を開拓する。時空間でこれらのマクロな位相情報を可視化し量子物性を探る。4重極励起子などの内部スピン自由度にも着目し、多体効果によるスピン緩和の基礎原理探求や特異光応答の発現についても検討を行う。

(実施内容)

本年度の達成目標は、亜酸化銅オルソ励起子を対象としたパルス制御実験を進め、また CW ライマン分光法の原理を確立することである。

まず FROG(Frequency Resolved Optical Gating)による光パルス計測の立ち上げを行い、復元プログラムの作成を進め、超短光パルスの位相情報を抽出することに成功した。次に農工大チームの協力を得て、空間光変調器を用いた近赤外フェムト秒パルスの光位相制御を行った。その上で位相空間圧縮法を用いた2光子共鳴励起過程を用いると、亜酸化銅における極低温状態オルソ励起子の生成効率の制御が実際に可能であることを明らかにした。

## ②-2: 光と物質の相互作用を巨大化する物質相の探索

(目的)

本研究で開拓する原理をより広い物質系に適用するために、特異な光機能発現が期待できる物質系の探索を進める。

(実施内容)

本年度の達成目標は、極限環境において物質相探索を行うために、低温・磁場下での顕微分光システムなどを立ち上げることである。

## 農工大チーム: 時空間光波束操作による3次元構造の動的制御

### 研究項目①: 時空間波形制御技術の開拓

(目的)

モード同期フェムト秒パルスの絶対位相制御により電場波形を整形し、受動共振器内で加算増幅した後に高いピークパワーで取り出す次世代のフェムト秒光源を開発する。この光源を用いて、光波の2次元横モードの波面整形、時間領域偏光制御を施し、3次元時空間制御されたパルス光源を開発する。

(実施内容)

本年度は、液晶空間光変調器を用いたフェムト秒波形整形装置と、農工大グループの特許技術であるラピッドスキャン型時間分解分光計を組み合わせ、位相制御されたフェムト秒パルス光を照射した時の試料中のキャリアダイナミクスを測定する装置を完成させた。

また、農工大のフェムト秒波形整形装置を東大グループの実験室に移設し、亜酸化銅中における励起子生成の位相制御実験に適用した。

さらに本年度は、パルス列間の電場波形を完全に揃えるキャリアエンベロープ位相固定のレーザーの製作に着手した。特にキャリアエンベロープ位相の検出に必要なスペクトル干渉計の製作を行い、フォトニッククリスタルファイバによる広帯域光の発生に必要な、3次元ピエゾステージによるクローズドループ制御装置を製作した。

### 研究項目②: 能動的3次元時空間構造形成法の開拓

(目的)

パルス整形技術を用いて、3次元誘電率分布を動的に書き込む手法を開拓する。時空間波形整形により、モルフォロジー効果が顕著に現れるパターンを最適化する。偏光整形により、等方媒質中にも光学活性を能動的に誘起するなどして、モルフォロジー制御をさらに高機能化する。有機分子の選択的異性化等による新しいパターン形成法を開拓する。このように能動的に制御された3次元時空構造について、企業研究所での経験をもとにデバイス化への指針を検討する。

(実施内容)

本年度は、時間整形パルスを亜酸化銅中における励起子生成に適用した。これに加え、農工大グループ独自で勧めている位相制御パルスによる有機分子の選択的異性化の例として、レチナール分子の異性化を位相ロックパルス対で誘起し、その生成効率をクロマトグラフィーで分析する実験を行った。

### 3. 研究実施体制

五神 真「東大」グループ

研究課題:「巨大光応答物質相探索とモルフォロジー制御光機能開拓」

研究項目① モルフォロジー制御による光機能発現

①-1:形態に依存する光学応答の原理解明

①-2:モルフォロジー制御による非相反光学応答の発現

研究項目②:巨大光応答物質相の制御と探索

②-1:極低温状態励起子系の光生成手法の高度化

②-2:光と物質の相互作用を巨大化する物質相の探索

三沢 和彦「東京農工大」グループ

研究課題:「時空間光波束操作による3次元構造の動的制御」

研究項目①:時空間波形制御技術の開拓

研究項目②:能動的3次元時空構造形成法の開発