

S1-1

超短時間光・物質相互作用の理解・制御が切り開く新材料・物性・デバイスの探索と創生

Quest for new materials and devices expanding human intellectual horizons

by exploring ultra-short time scales of light-matter interactions

○塚本新¹*Arata Tsukamoto¹

Abstract: How and how fast are material properties are manipulated or observed by light? Virtually, nothing is known about the behavior of material after being excited on a sub-picosecond timescale. The aim of our project is to explore and clarify ultra-short time scales of light-matter interactions. This will support the quest for new materials and devices and drive to develop such as energy efficient ultrafast information processing/recording technologies. The collaboration between advanced theory and modelling, state-of-the-art material preparation, cutting edge experiments, brings together the necessary expertise from the Nihon University and should lead to the development of advanced computational and synthesis tools for the quest of a new materials and devices.

1. はじめに

今日、種々の元素を原子レベルで制御する知見と技術を手に入れ、多種多様な機能性材料、デバイスを勝ち得ている。一方、時間領域において物性を良く理解しその技術的利用を達成しているのは数 100ps (ピコ秒) オーダーであり、fs (フェムト秒) という遙かに短時間で物質への作用を可能足らしめる超短パルス光生成技術の発展した現在においても、この fs 時間領域は依然未踏領域として存在する。この未踏領域の理解・制御を図ることは、近年要請が高まる超高速情報処理、新規光機能材料や超微細低エネルギー消費デバイス創生の指導原理の一つとして不可欠な知見につながるものと考えられる。本研究プロジェクトは、我々の理解・制御可能な時間の版図を広げ、新材料・デバイスの創生を図るものである。

本目標遂行には広範な物理/化学/光学の基礎的知見に加え、大規模数値計算の検討、超微細構造作成/加工技術、超短時間/超微量計測技術の有機的集約が不可欠である。物理学、化学、量子理工学、電気工学、電子情報工学の基礎/応用分野を包含する研究者群が本学理工学部内で結集し、"先端光物質相互作用研究ユニット"を組織するとともに、本学「先端材料科学センター」を物理的拠点とした有機的な研究環境整備により、本学文理学および海外との連携も含む、新たな新材料・物性・デバイスの探索と創生を切り開く研究基盤を形成する。

2. 研究テーマの概要

近年の実験計測技術、ナノテクノロジー、超短パルス光源の飛躍的な進歩に伴い、物理/化学/光学/電子情

報工学分野において、より「詳細」な光と物質の相互作用を考慮しなければ理解し得ない新現象が多数報告され、応用展開への試みが盛んとなり、超高速情報処理、新規光機能材料や超微細低エネルギー消費デバイス創生への期待が高まっている。「詳細」とは、光と物質の相互作用の“自己無撞着性”、“空間的非一様性”、そして“超短時間応答”である。本プロジェクトは、「分野横断型研究課題：超高速高密度なスピン情報記録手法の形成」を通じた各基盤要素の集約化と、派生する新規デバイス創生への展開に向け、上記三つの観点から、専門領域の異なる、理論、計算機科学、実験研究者による融合研究を展開する。

1) 自己無撞着性：

電子と電磁場のダイナミクスが露わに結合した自己無撞着な状態に注目し、プラズモン、ポラリトン、近接場をキーワードとし、極短時間の電子間作用、高速交番電磁場、電磁場の近接作用の複合効果を理解応用することにより、局所的エネルギー伝搬、新規光応答

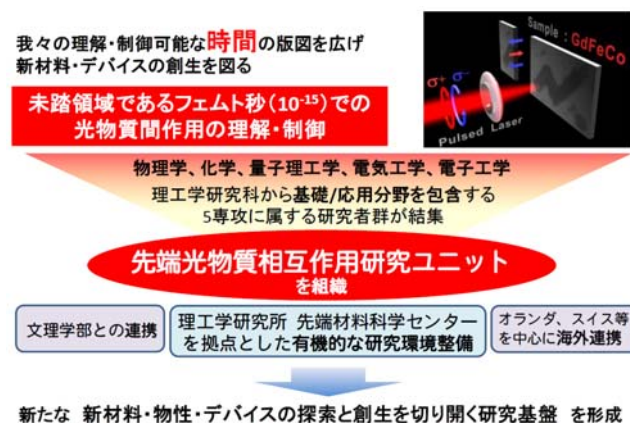


Fig. 1 Outlook of project

1 : 日大理工・教員・電子, Department of Electronic Engineering, CST, Nihon-U.

の発現を図る。具体的には、ナノ構造形成技術を駆使し極微小光導波路、偏光応答量子光学素子、単一光子検出/生成、光応答高分子構造/磁性材料形成の検討を行い、超高速スピン情報検出原理の基盤とする。

2) 空間的非一様性：

ナノ構造体近傍で形成される近接場光は相互作用距離が電磁場発生源程度であり、極めて微視的な領域でも光は一様であると見なせなくなる。これにより入射光の回折限界を超え桁違いに小さな領域への集光が可能となり、マクロ-マイクロ現象の媒介として、また、超短時間の光利用局所領域物性探索/制御を図る。具体的には、計算機科学的局所領域の光応答検討とナノ構造アンテナ形成により超短パルス光のナノスケール集光素子開発の基盤とする。

3) 超短時間応答：

光の照射時間が数十 fs (フェムト秒) という、電子系やスピン系でのエネルギー散逸時間、あるいは原子の振動周波数に匹敵する短時間領域に達すると、物質内に極めて非平衡かつ非断熱的過程が誘起される。これら従来極短時間作用故に顕在化しなかった種々の相互作用やエネルギー散逸過程の理解により過渡応答の積極的利用を図る。具体的には、量子・古典混合理論および計算機科学的手法に基づく超短時間光応答の理解と、超短時間光/磁気応答時間分解計測技術を駆使した光物性解明/制御の検討を行い、超短時間光スピン制御 (記録) 法開発の基盤とする。

上記三点の相補的研究検討に基づく超短時間光・物質相互作用の理解と制御法の検討、具体目標として掲げた超高速高密度なスピン情報記録手法の検討を通じ、新材料・物性・デバイスの探索と創生に係る理学・工学的知見を得る。

3. 研究環境整備計画の概要

本プロジェクト目標遂行のため、これまで透過型電子顕微鏡に代表される、原子レベル観察による先端材料研究の実施拠点として機能してきた本学先端材料科学センターへ、大規模数値計算の検討、超微細構造作成/加工、超短時間/超微量計測機能を付与するために進めている主な環境整備計画を以下に述べる。

①微細加工形成装置整備：電子線描画装置

重点基盤技術要素となる微細加工について、電子線描画装置の導入によるマスク形成に、既設真空エッチング装置、収束イオンビーム加工装置を相補的に用い微細加工能力を 10nm スケールへと高め、素子デザイン的大幅なスケールダウンを可能とする。ナノ構造ア

ンテナ/導波路、光応答素子形成、極微小領域電気/磁性評価用二次元微細配線の作成を可能とする。

②基礎物性計測環境装置整備

：無冷媒型 SQUID-VSM 磁気特性測定システム
強磁場 (~7T) 発生、広範な温度可変 (1.8K~1000K) 可能な超高感度磁気物性測定装置の導入により広範な物性研究への利用を可能とする。特に超高感度微小磁化特性評価は、本研究対象の超薄膜/ナノ微粒子磁性体、電界効果磁性材料評価を可能とする。

③固体中電子/スピン状態計測評価装置整備

：スピン偏極光電子分光装置
物質の性質を決定づけるのはフェルミ面近傍の電子状態であり、本プロジェクトにおいてスピン分極状態を知ることは、超高速磁化反転制御の起源解明に必要不可欠である。その電子状態密度・スピン分極密度のエネルギー分布測定を可能とし、既設エリプソメータによる光学スペクトル分析と相補的に利用する。

④超薄膜/微細材料電気特性評価環境装置整備

：真空温度可変プローバー
超微弱信号検出可能かつ、温度可変 (10K~500K)、無冷媒強磁場印 (~2.25T) 可能なプローバーの導入により、微小試料/領域の I-V/C-V/比抵抗特性、ホール効果等電気特性評価を可能とする。

⑤計算科学環境設備整備：クラスター計算機

光応答数値計算に要求される大規模な演算量に高速対応可能な計算機システムとして、多数の計算機からなる”クラスター計算機”システムを導入する。

⑥強磁場下光物性研究用設備整備

：磁気光学実験用無冷媒超伝導マグネットシステム
多様な磁場 (最大励磁磁場強度：7 T) /低温環境 (1.5K-300K) 中で試料へ光学アクセス可能とする光学窓付超伝導電磁石を整備し、既設超短時間光パルス光源システムへ導入することで、多環境 (磁場/温度可変) 超短時間光磁気応答計測システムへと拡張する。分光計測等へも併用が可能である。

①~⑤については、既に基本設置が完了し、現在運用体制の構築中、また⑥についても H26 年度中に設置を完了する予定である。

4. まとめ

本プロジェクト概要を述べたが、領域縦断課題解決型研究目標設定を通じ有機的に機能する研究体制を形成し、結果としてプロジェクト名として掲げるように広範な基礎・応用研究活動に波及可能な研究拠点の形成を図る。