

レーザー物質科学研究領域の研究紹介

レーザー物質科学

本研究領域では、超高強度レーザーによる放射線発生メカニズムの解明とその解析科学への応用展開、及び、極短パルスレーザーによるナノアブレーションと固体表面のナノスケール構造形成の物理解明とそのレーザー極微細（ナノ）加工や物質改質・創成（新しい物質科学）への応用の研究を行っている。我々が開発した世界最高の出力安定性をもつ高強度短パルスレーザー装置“T⁶レーザー”により、これまで明らかにできなかった物理機構解明とその応用研究に取り組み、以下に示す成果を得た。

● 加工閾値フルエンスより弱いフェムト秒レーザーが予備照射されたチタンの表面光学特性

金属表面に高強度レーザーを照射した際に、融解や蒸発、プラズマ化により表面層が飛散、剥離される現象をアブレーションという。アブレーション後の金属表面には微細な構造が形成され、その表面物性が変化する。このため、金属表面に新たな付加価値を付与する手法としてアブレーションの物理と応用が研究されてきた。我々は、制御されたアブレーションの達成を目標に、複合レーザービームを用いたアプローチを試みており、金属表面の過渡的な光学特性を制御するためのレーザーパルスと、アブレーションを誘起するレーザーパルスを組み合わせることで、単一のレーザーパルス照射には見られない表面改質を実現してきた。本発表では、過渡的な光学特性がどのように変化しているかを詳細に調べた結果を報告する。

● 中赤外自由電子レーザーによる微細周期構造形成閾値の比較

アブレーション閾値フルエンス近傍の短パルスレーザーを材料に照射すると、照射したレーザーの波長よりもはるかに微細な周期構造（LIPSS）が誘起される。その形成メカニズムとして多くのモデルが提唱されているが、その全貌はいまだ明らかではない。その要因として、周期構造の空間スケールが波長よりも小さく、構造が形成される時間スケールも極めて短いため、形成のダイナミクスを時々刻々と観察することが難しいことがあげられる。これを解決するべく、波長の長いレーザーによる周期構造形成と、その形成過程の高時間分解計測を目的として研究を行っている。微細構造を作るレーザーの波長を長くすることで、可視光による時間分解計測が可能になると期待される。本発表では、中赤外の自由電子レーザーによる微細周期構造形成を行った結果を報告する。

● 物質表面周期構造形成を目指した高強度テラヘルツ波光源開発

高強度テラヘルツ波で半導体や金属表面上にLIPSSを形成し、形成過程の様子をポンププローブ法により観測することを目指し、パルス面傾斜法による高強度テラヘルツ波光源の開発を行った。大気の実験において、レーザーエネルギー40 mJにおいて、最大0.12 mJ 中心周波数0.7 THz のテラヘルツ波の発生に成功した。しかし、低周波成分が多く、集光強度が低いためSiへ周期構造を形成するためには、さらなるテラヘルツ波の高強度化が不可欠であり、現在は、より高エネルギーのレーザーが使用できる環境を実現するために真空中でのテラヘルツ波発生に取り組んでいる。真空中では、テラヘルツ波は最大0.2 mJを発生させることができ、効率は0.22%を得ている。今後はより高強度のテラヘルツ波光源の開発、およびLIPSS形成閾値が低い物質の選定を行っていく予定である。

● 光パラメトリック増幅によるフェムト秒誘導光を用いた sub-eV 領域共鳴場探索の拡張

宇宙に存在するエネルギーのうち、人類が理解している通常の物質はわずか5%に過ぎない。残りの95%は、物質との相互作用が非常に弱いため直接観測することのできていない暗黒物質(27%)と、宇宙の加速膨張を説明する暗黒エネルギー(68%)であると考えられている。本研究では、暗黒成分の候補である、低質量共鳴場を発見することを目指している。もし仮に共鳴場が存在した場合、その場を介して二つの光子は極めて稀に散乱を起こす。この散乱を捉えることができれば、未知場の発見することができる。そこで、高密度の光子塊を発生させ、さらに共鳴散乱を誘導するための場を導入し、共鳴場を介した光子-光子散乱を観測する実験を行っている。

● 超高速時間分解電子線回折

近年、電子回折法によるナノスケールの構造解析に高時間分解能を付加した超高速電子回折法の研究が行なわれ、数100フェムト秒程度の時間分解能で原子レベルの構造変化を捉えたとの報告がある。我々は、新たな電子源としてレーザープラズマ電子源を用いた超高速電子回折法の実証を目標に研究を行っており、これまでに80fsのパルス幅という、世界最短のパルス幅を持つシングルショット電子回折装置の開発に成功した。