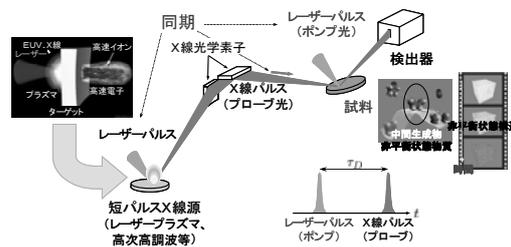


ディビジョン番号	1
ディビジョン名	物理化学

大項目	1. 分子分光学および分子集合体の構造
中項目	1-5. 強光子場分子科学
小項目	1-5-9. 短パルス X 線による時間分解分光

概要（200字以内）

物質中の原子配列ならびに元素の結合状態を調べるツールとして X 線は広く利用されている。高効率光触媒、ナノスケール物質創生を目指した材料合成等の素過程解明、生体組織での光反応過程研究等において、原子レベルでの構造ならびに化学結合状態の動的過程を観測することが必要となっている。こうした観点から、短パルス X 線（レーザープラズマ X 線、レーザー高調波等）を観測用プローブとして利用する研究が活発化している。



高強度レーザー励起 X 線源による時間分解 X 線分光の概念図

現状と最前線

通常の実験室規模の設備で、軟 X 線から X 線領域における短パルスを得る方法としては、レーザー高次高調波、レーザープラズマなどが有力である。これらのフェムト秒レーザーで励起される超短パルス X 線源は、一般に繰り返し周波数が比較的 low 平均フラックスの面では不利ではあるが、パルスあたりの光子数では大型放射光装置出力に匹敵し、ピコ～サブピコ秒のパルス幅を容易に実現できるという特徴を有する。レーザープラズマ X 線発生におけるナノ構造配列ターゲットの採用 1)、ならびに高次高調波発生における最適位相整合技術開発 2) などにより、レーザー励起による軟 X 線ならびに X 線の発生効率が 2 桁近く改善され、また高出力フェムト秒レーザーシステムの高繰り返し化の研究も進展している。これらの研究において、日本の研究グループが先導的な役割を果たしてきていることを強調したい。また、このタイプの X 線源においては、励起レーザーパルスと X 線パルスとが自動的に同期しており、光励起によって誘導される超高速現象をポンププローブ型のシステムで計測するために、この上ない利点となっている。

以上のような超高速 X 線源の特徴を生かして、時間分解 X 線分光分析（回折、吸収分光、光電子分光など）による物質ダイナミクス（原子配置、電子エネルギー構造などの高速変化を直接計測する）の研究分野が開拓されつつある。現在まで超短パルスレーザーによる結晶の高速融解や結晶歪の緩和計測が主として X 線回折法で試みられている。

また、時間分解X線吸収分光の手段により、光励起半導体中の電子正孔プラズマの緩和過程計測、レーザーブレーション粒子分析等が試みられている。最近では、時間分解X線吸収微細構造(XAFS)計測により、高強度レーザー光照射に伴う半導体表面の高速融解現象による電子構造ならびに原子配列の時間発展を直接観測することに成功している。3) X線吸収スペクトルに現れる微細構造XAFSは、吸収に回折現象が重なって生じるものであり、物質中の局所構造解析の道具として着目されている。このXAFS解析による構造決定法は、X線回折が適用し難い非晶質、粉体等にも応用できるという特徴を有している。時間分解XAFS計測と軟X線顕微鏡技術との融合も試みられており、レーザー照射された試料の状態変化の時間発展のみならず、空間分布発展も同時に計測することが可能な分光システムも実現されようとしている。4) こうした高出力フェムト秒レーザーを種とした超短パルスX線源(レーザープラズマX線、高次高調波など)は今後、X線光学技術、X線計測技術の進展と相俟って、原子スケール、フェムト～ピコ秒の時間分解能で物質応答を解明する物性研究での中心的役割を担い、ナノテクノロジー、バイオテクノロジーなどの発展に大きく貢献してゆくものと期待される。また、時間分解X線吸収分光は、レーザーでは計測不可能な高密度プラズマ内部状態の診断手法としても重要であり、EUV露光光源開発、核融合研究にも有益な情報を与える手法として期待される。

(参考文献)

1. T. Nishikawa et al., Jpn. J. Appl. Phys. 42, L990 (2003)
2. 玉木裕介、板谷治郎、小原寛、緑川克美、レーザー研究、12、225 (2001)
3. K. Oguri et al., Appl. Phys. Lett. 87, 011503 (2005)
4. 中野秀俊、小栗克弥、岡野泰彬、西川正、プラズマ・核融合学会誌 82、675 (2006)

将来予測と方向性

- ・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題
広帯域X線結像光学素子の開発によるナノ～サブミクロンレベルの空間分解能と高次高調波等によるフェムト秒時間分解能とを融合した分光システムの実現により、高強度レーザー光に対する局所的な反応・構造変化等の直接観測。
- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題
フェムト秒レーザー励起量子ビーム源から放出される高速電子・イオンなどと短パルスX線およびレーザー光とを複合的に活用した時間分解計測の実現。

キーワード

レーザープラズマX線、高次高調波、X線分光、XAFS、高強度フェムト秒レーザー

(執筆者： 中野 秀俊)