

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2007～2009

課題番号：19204032

研究課題名（和文） フェムト秒放射光 X 線パルス源の要素技術開発

研究課題名（英文） Development of experimental techniques for femto-second pulsed X-ray source

研究代表者

柿崎 明人 ( KAKIZAKI AKITO )

東京大学・物性研究所・教授

研究者番号：60106747

研究成果の概要（和文）：本研究では、物質の相転移や化学反応のダイナミクスを研究するための重要な要素技術である超短パルスレーザーと軟 X 線放射光パルスの精密な時間同期技術を確立し、それによって超高速時間分解軟 X 線分光実験を試み、本システムを用いた時間分解光電子分光実験装置の開発も行った。

研究成果の概要（英文）： We have developed the precise synchronization technique between ultra-short pulse laser and synchrotron radiation, which is one of the most important experimental techniques to study the dynamical processes in various optical phase transitions and chemical reactions. We have applied the new technique to develop a ultra-fast time-resolved photoemission spectrometer operated in soft X-ray region.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	20,000,000	6,000,000	26,000,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	21,600,000	6,480,000	28,080,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性 I

キーワード：フェムト秒、放射光、時間分解分光、相転移

## 1. 研究開始当初の背景

100 フェムト秒の時間スケールは、結晶格子及び分子振動や磁気モーメントの揺らぎと同程度であり、結晶相転移や化学反応における原子再配列及び分子再結合にかかる時間に対応する。そのため、レーザーを用いたポンプ・プローブ法を用いる時間分解分光実験によって相転移や反応ダイナミクスの研究がこれまで盛んに行われてきた。しかし、

利用できるレーザー光の波長は、可視光を中心とする波長領域に限られていた。一方、このフェムト秒光源として物質の格子定数と同程度の波長と内殻電子を励起するに十分なエネルギーを有する放射光 X 線を使用した場合には、1) 元素の特定 (X 線吸収)、2) 精度 0.01 Å の構造決定 (X 線回折)、3) 元素のスピンの軌道磁気モーメントの決定 (X 線円二色性) など、従来の光源では不可能な実

験ができるため、フェムト秒放射光 X 線は相転移や化学反応研究において強力な実験ツールになると期待される。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究では、フェムト秒放射光 X 線パルス光源の立ち上げに必要な要素技術を確認する。

(2) 開発した技術を国内の放射光施設に提供し、フェムト秒の時間幅で様々な X 線分光、回折、発光、散乱測定が可能な研究環境を用意する。

## 3. 研究の方法

(1) 本研究の要であるフェムト秒レーザーを導入し、KEK のテスト加速器を利用して 100 フェムト秒の X 線パルス光を作り出し、電子蓄積リング内の電子集団（バンチ）とレーザー照射を同期させる。

(2) 開発した技術を利用して、超短 X 線パルスとレーザーパルス光とを用いたフェムト秒分解のポンプ・プローブ実験を行う。

## 4. 研究成果

(1) 平成 19 および 20 年度は、放射光施設（フォトンファクトリー）の軟 X 線ビームラインで既存の電子分析器を用いて、レーザーと放射光の同期技術を開発することができた。また、軟 X 線パルスとレーザーパルス光とを用いたポンプ・プローブ法による時間分解光電子分光測定システムの性能を評価した。その結果、放射光源加速器内の電子バンチと同じ時間分解能（数 10 ピコ秒）で実験可能であることがわかった。

(2) 平成 21 年度は、前年度までに得た成果をふまえて、高輝度放射光施設（スプリングエイト（SPring-8））に建設・整備した最高性能の高輝度軟 X 線ビームライン BL07LSU

にレーザーシステムを移設し、より高い時間分解能と信号検出能力を持つ 2 次元角度分解飛行時間型電子分析器を本システムに移設して実験を行った。その結果、システム全体の同期及び遅延時間の制御を 10 ピコ秒以下で行うことができた。また赤外～可視光のフェムト秒レーザーパルスと軟 X 線放射光パルスを用いたポンプ・プローブ実験を BL07LSU で行い、半導体表面のキャリアダイナミクスを時間分解軟 X 線光電子分光測定で捉えることに成功した。

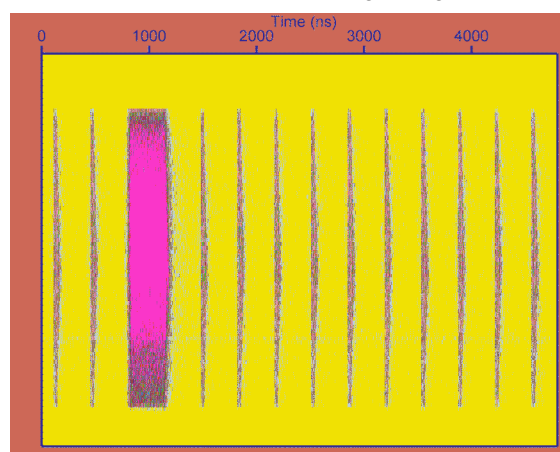
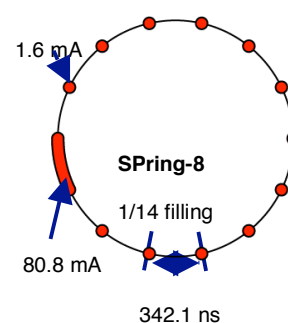


図 1. SPring-8 の軟 X 線パルスに同期して得られた Ag/Si(001) 表面の時間分解光電子分光信号。

(3) 本研究で開発した同期・遅延時間制御の要素技術は、時間誤差が放射光のパルス幅（約 50 ピコ秒）よりも十分小さいく、本研究が当初目指した目標は達成されたといえる。また本研究によって、世界に例のない新しい時間分解角度分解型軟 X 線光電子分光測定システムが初めて導入することができ

た。現在、本装置は全国共同利用実験に供されている。

#### 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計1件)

小河愛実、小宇佐優香、福島昭子、原沢あゆみ、雨宮健太、近藤寛、柿崎明人、松田巖  
「放射光と Laser の同期によるポンプ-プローブ時間分解光電子分光装置の開発」  
第23回日本放射光学会(2010年1月10日)  
イーグレ姫路(兵庫)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

柿崎 明人 (KAKIZAKI AKITO)  
東京大学・物性研究所・教授  
研究者番号：60106747

##### (2) 研究分担者

中村 典雄 (NAKAMURA NIRIO)  
東京大学・物性研究所・准教授  
研究者番号：10198228  
松田 巖 (MATSUDA IWAO)  
東京大学・物性研究所・准教授  
研究者番号：00343103  
奥田 太一 (OKUDA TAICHI)  
東京大学・物性研究所・助教  
研究者番号：80313120