

機関番号：84502

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20540326

研究課題名(和文) 軟X線ダイナミクス計測のための高速APD検出器の開発

研究課題名(英文) Development of APD photon counting fast system for soft x-rays

研究代表者

岡田 京子 (OKADA Kyoko)

(財)高輝度光科学研究センター・利用研究促進部門・研究員

研究者番号：70399616

研究成果の概要(和文)：

軟X線を高精度・高速・広ダイナミックレンジでエネルギー分解型フォトンカウンティングする、小型の軟X線用高速APD測定器システムの開発を行った。軟X線領域での測定器システムの開発に存在する様々な技術的バリアを克服した、小型の軟X線用高速APD測定器システムの開発を行ない、目標とする性能を達成した。さらに、測定素子を、検出器としての理解と共に、物性的・材料学的にも理解した上で改良する事により、この測定器システムの特性と軟X線磁気円二色性(XMCD)を組み合わせ、スピントロニクス材料に含まれる特定元素の磁気情報を選択的に、かつ定量的に探ることができることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：

We have developed APD (Avalanche PhotoDiode) photon counting system for soft x-ray experiments at SPring-8. APD detectors for hard x-ray are widely used at synchrotron radiation facilities taking advantages of the high time-resolution and the wide dynamic-range. However, the present APD doesn't cover soft x-ray region. The purpose is to develop a new APD detector especially for soft x-rays, where the sensor has to be installed in ultra high vacuum. The lower noise level and the higher gain are required as the technical subject to achieve in the development. We have succeeded in detecting the soft x-rays and have observed x-ray bunch structures of synchrotron radiation, and a soft x-ray magnetic circular dichroism measurement.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：(1)軟X線、(2)X線検出器、(3)放射光、(4)磁性、(5)高速時分割測定、(6)ダイナミクス計測、(7)APD(アバランシェフォトダイオード)、(8)XMCD(磁気円二色性)

1. 研究開始当初の背景

近年のスピン트로ニクス材料の開発や高速記録デバイス開発 (MRAM、スピンバルブ等) や基礎物性研究において、軟 X 線を利用したダイナミクス実験、つまり、スローモーションで詳細に物理観察を行う時分割測定が注目されている。この研究には、ナノ秒 (10 億分の 1 秒) レベルの高速性を保ちつつ、かつ広ダイナミックレンジで精度良く測定することが必要である。しかし、現状では、これに最適な測定器が存在しない。よって、この目的に適した測定システムを開発する必要がある。

2. 研究の目的

軟 X 線を高精度・高速・広ダイナミックレンジでエネルギー分解型フォトンカウンティングする、小型の軟 X 線用高速 APD 測定器システムの開発を行う (APD: アバランシェフォトダイオード)。硬 X 線領域に比べ、軟 X 線領域 (500-2000eV) での測定器システムの開発には様々な技術的バリア (軟 X 線対応、超高真空対応 ($<1 \times 10^{-7}$ Pa)、微小信号の取得、低ノイズ化など) が存在する。

そこで、我々はこれらを克服する、小型の軟 X 線用高速 APD 測定器システムの開発を行うことを第一目的とする。具体的には、この測定システムの目標は、(1) 軟 X 線領域 (500eV ~ 2000eV)、超高真空中 ($<1 \times 10^{-7}$ Pa) で時分割測定ができる事、(2) 1 レンジ (アテネータを交換せずに測定する) 高速反射率測定 ($1 \sim 10^8$ cps) ができる事、(3) 磁場下での高速測定ができる事、である。

さらに、この検出器システムの特性と軟 X 線磁気円二色性 (XMCD) を組み合わせることで、スピン트로ニクス材料に含まれる特定元素の磁気情報を選択的に探って、実用サンプルへの応用を目指すことを第二目的とする。

3. 研究の方法

測定システムの作成および基礎特性評価は実験室の大気中で行う。軟 X 線を用いた特性評価および軟 X 線 MCD の測定は、SPring-8 の軟 X 線ビームライン BL25SU (軟 X 線固体分光) の超高真空中で行う。

大気中/超高真空中の条件で、軟 X 線に対する基礎特性データを取得する。

4. 研究成果

(1) 軟 X 線を高精度・高速・広ダイナミックレンジでエネルギー分解型フォトンカウ

ンティングする、小型の軟 X 線用高速 APD 測定器システムの開発・構築を行った (図1参照)。そして、特性評価を行ない、以下の結果を得た。

- ① 大気中でチェックソース ^{55}Fe (5.9 keV) からの硬 X 線を用いて評価した。その結果、我々が硬 X 線用として通常用いている APD に比べても遜色の無い性能、 $S/N \sim 20$ が得られることがわかった。
- ② 超高真空中 ($<1 \times 10^{-7}$ Pa) で SPring-8 から単色性の高い軟 X 線を用いて評価した (図2参照)。その結果、軟 X 線の高感度測定に成功し、Mn の L_{II} - L_{III} エッジ近傍の吸収構造が取得できた (図3参照)。
- ③ 放射光に特有なバンチ構造の取得に成功し、目標とする下端のエネルギー 500eV で、バンチインターバル 23.4 ns の構造を 0.4ns の時間分解能で取得できた。これらより、目的にほぼ合致した高速時間特性やエネルギー特性等の性能も達成されたことがわかった。
- ④ 超高真空中で、SPring-8 の BL25SU の軟 X 線を用いて、特定元素を含むサンプルの測定を行った。CoFe (4nm)/MnIr (10nm) の二層構成の交換結合膜を試料として MCD スペクトルが取得できることを確認した。これらの結果より、軟 X 線での MCD スペクトルの取得がこの測定器システムでできる事がわかった。

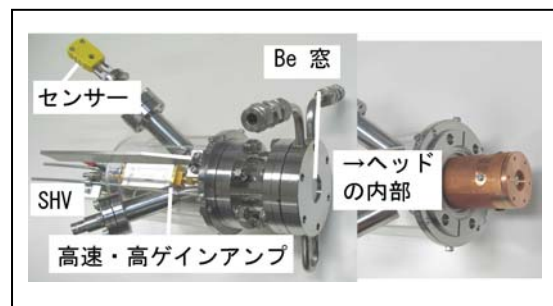


図1. 軟 X 線を高精度・高速・広ダイナミックレンジでエネルギー分解型フォトンカウンティングする、小型の軟 X 線用高速 APD 測定器システム。このシステムで使用している高速・高ゲインアンプは特別に開発されたアンプである。大気中で使用する際には Be 窓を装着した状態で使用する。超高真空中 ($<1 \times 10^{-7}$ Pa) で使用する際には、Be 窓部分を取り外し、センサーヘッドを直接、超高真空中に挿入する。



図2. SPring-8の軟X線ビームラインBL25SU(軟X線固体分光)での実験の様子。白丸の中が、我々が開発した小型の軟X線用高速APD測定器システムのセンサーと主要な部分。図の右側から軟X線が入射し、ターゲットで散乱した軟X線をこの軟X線用高速APD測定器システムで受ける。超高真空中($<1 \times 10^{-7}$ Pa)での実験。

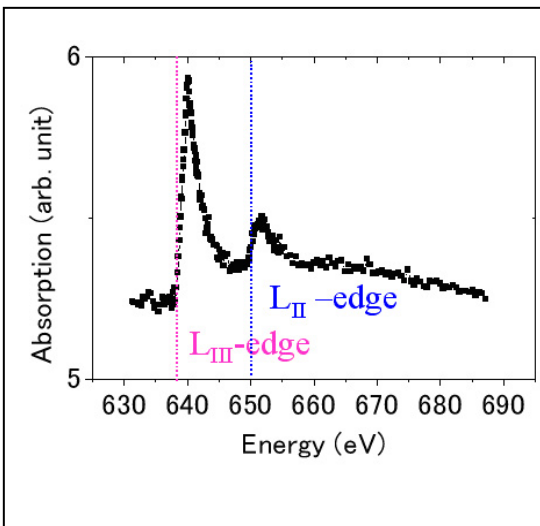


図3. SPring-8の軟X線ビームラインBL25SU(軟X線固体分光)で、我々が開発した小型の軟X線用高速APD測定器システムで測定したMnの L_{II} - L_{III} エッジ近傍の吸収構造。従来の測定方法に比べ、遜色ないS/N比が得られている。

(2) 現状の測定システムおよび測定素子(APD素子)の問題点を明らかにし、高精度で定量的な応用実験の為に必要な以下の3点を明らかにした。測定素子を、検出器としての理解と共に、物性的・材料学的にも理解した上で改良する事により、この測定器システムの特性和軟X線磁気円二色性(XMCD)を組み合わせて、スピントロニクス

材料に含まれる特定元素の磁気情報を選択的に、かつ定量的に探ることができることがわかった。

- ① 測定素子(APD素子)の検出器としての挙動の物性的な解明。
- ② 測定素子(APD素子)自体の材料学的なミクロな理解。
- ③ ①~②を元にした、測定素子の物性的・材料学的な改良。

(3)我々が開発した、軟X線を高精度・高速・広ダイナミックレンジでエネルギー分解型フォトンカウンティングする、小型の軟X線用高速APD測定器システムの性能は現時点で世界のトップクラスにある。このシステムを用いれば、放射光に特有の時間構造を軟X線領域でも高時間分解能で詳細に検出する事ができ、更に、軟X線でのMCDスペクトルを取得する事もできるのである。

(4)今後の展開を目指し、測定素子を、検出器としての理解と共に、物性的・材料学的にも理解した上で改良を施す予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計5件)

- ① 岡田京子、中村哲也、岸本俊二、角田匡清、河内泰三、児玉謙司、漆原良昌、松下智裕、櫻井吉晴、“反射軟X線MCD時分割計測システムへのAPDの応用(9P032)”、第23回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウム、平成22年1月9日(会期: 1/6-1/9)、兵庫県姫路市イーグレひめじ
- ② 岡田京子、中村哲也、岸本俊二、角田匡清、河内泰三、児玉謙司、漆原良昌、松下智裕、櫻井吉晴、“放射光を用いた反射軟X線MCD時分割計測システムへのAvalanche PhotoDiode (APD)の応用(8a-ZF-11)”、2009年秋季第70回応用物理学会学術講演会、平成21年9月8日(会期: 9/8-9/11)、富山県富山市 富山大学
- ③ Kyoko Okada, Tetsuya Nakamura, Shunji Kishimoto, Masakiyo Tsunoda, Taizo Kawauchi, Kenji Kodama, Yoshimasa Urushihara, Tomohiro Matsushita, Yoshiharu Sakurai, “Feasibility study of

applying APD for synchrotron soft x-ray measurements”, The International Workshop on New Photon Detectors (PD09)、平成 21 年 6 月 24 日～26 日、長野県松本市 信州大学

④ 岡田京子、中村哲也、児玉謙司、松下智裕、河内泰三、岸本俊二、櫻井吉晴、“先端的なスピントロニクス材料の磁気構造・ダイナミクスへの時分割測定の実用 (12P054)”、第 22 回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウム、平成 21 年 1 月 12 日(会期：1/9-12)、東京都 東京大学(本郷)

⑤ 岡田京子、中村哲也、河内泰三、岸本俊二、櫻井吉晴、“大強度軟X線用の高速検出器の開発”、第 45 回アイソトープ・放射線研究発表学会、平成 20 年 7 月 2 日(会期:7/2-7/4)、東京都 日本青年館

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田京子 (Okada Kyoko)

(財)高輝度光科学研究センター・利用研究促進部門・研究員

研究者番号：70399616

(2) 研究分担者

中村哲也 (Nakamura Tetsuya)

(財)高輝度光科学研究センター・利用研究促進部門・主幹研究員

研究者番号：70311355