

ストリップライン構造を有する挿入光源ビームライン用光位置モニタの設計

DESIGN OF X-RAY BEAM POSITION MONITOR EQUIPPED WITH MICROSTRIPLINE STRUCTURE FOR UNDULATOR BEAMLINE

青柳秀樹[#], 高橋 直

Hideki Aoyagi[#], Sunao Takahashi

Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)

Abstract

A photocathode equipped with microstripline structure is a good candidate for a detector head to measure pulse intensity, pulse beam position and pulse timing of X-ray beam in synchrotron radiation facilities. Conceptual designs about a position sensitive monitor for bending magnet beamlines and that for insertion device beamlines are described.

1. はじめに

放射光施設における利用実験では様々な実験手法が用いられており、中でも極短時間に進展する現象を放射光ビームのパルス性を利用した時分割計測で解析する手法が広く利用されている。これらの実験の精度や信頼性を高めるためには、光源となる蓄積リングでの電子ビームのパルス毎の安定化が欠かせない。大型放射光施設 SPring-8 では、この電子ビームの安定化への取り組みが精力的に行われており、中・長期のみならずパルス毎の安定化についても高いレベルで実現している^[1,2]。また、利用実験においても様々な研究成果が既に報告されている。その一方で、今のところ放射光ビームの動態（強度、位置、タイミング）をパルス毎に観測する完成された手法は実現されていない。利用実験の更なる高精度化を達成するために、これまで以上にビームの安定化とその診断が求められることから、放射光ビームの動態をパルス毎に正確に把握することが必要不可欠である。

SPring-8 は真空封止型アンジュレータを光源としたビームラインが主体となっている。この真空封止型アンジュレータは超高輝度 X 線ビームを発生するので、それに伴って放射光の全出力エネルギーも増大する。挿入光源用ビームラインの機器設計において、高い熱負荷に耐えることが重要な前提条件となる。そのため、大強度放射光ビームの動態をパルス毎に計測する放射光モニタの開発は困難であった。

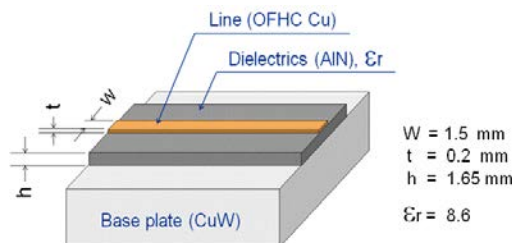


Figure 1: The basic structure of a detector head with microstripline structure.

1.1 検出素子の基本構造

加速器ビーム診断で普及しているストリップライン型ビーム位置モニタは高周波特性に優れているが、荷電粒子（電子）ビームの通過により誘起されるパルス電場を信号として取り込むので、耐熱性については特段の考慮はなされていない。一方、放射光ビームの診断の場合、直に大強度放射光を受光面に照射する必要があるため、高い耐熱性が要求される。この耐熱性の問題を克服するために、特性インピーダンスを 50Ω に整合させたマイクロストリップライン構造 (Fig. 1) を光電子放出型の検出素子に採用した放射光モニタ (Fig. 2) を考案した^[3,4,5]。出力信号が単極性の電流信号であることを特徴とする。光電子放出の光電面（受光面）となるストリップ導体（無酸素銅、OFHC）を、電気的絶縁性を保ち熱伝導率の高い誘電体基板（窒化アルミ、AlN）を介して、冷却ベースとしても機能する GND 基板（銅タングステン、CuW）に取り付けたものである。銅タングステンは、熱膨張率が低い材質で窒化アルミとの接合（真空ろう付け）に適するので選択されている。試験用検出素子を偏向電磁石ビームラインにおいて評価した結果、Figure 3 の青色の実線で示すように、出力信号のパルス長を 0.2 nsec FWHM に抑えることに成功し、2nsec 間隔のパルスを確実に分離できることを確認した。この結果は、放射光の動態を計測できることを示唆するものである。また、このモニタの特徴として、検出素子の構造が比較的シンプルであるため、検出部の形状を修正する自由度

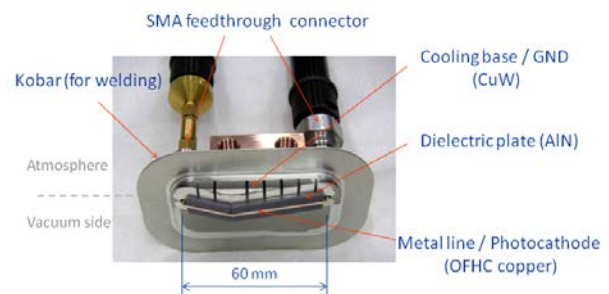


Figure 2: Photograph of the detector head.

[#] aoyagi@spring8.or.jp

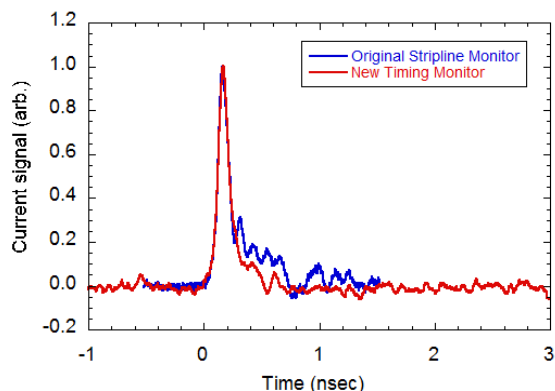


Figure 3: Improvement of the pulse shape.

が高く、様々な用途に合わせることができる。

1.2 タイミング計測専用型

マイクロストリップライン構造を検出部に採用した放射光モニタは、出力パルス長が短いという特徴がある。したがって、その検出部の構造を修正することによりタイミング計測に特化させることが出来る^[6]。Figure 2 に示した検出部は位置敏感型として機能させるため、受光面を放射光軸に対して斜めに配置させた。この場合、放射光軸と検出部との距離が変化することにより、パルスの立ち上がり開始時間に変動が大きく生じてしまう。偏向電磁石ビームライン用に開発されたタイミング計測専用型では、Figure 4 に示すようにストリップラインを放射光ビームに垂直に配置させることにより、放射光の変動に対してパルスの立ち上がり開始時間の変動を抑えることが可能となる。この検出素子は、帯域を広げた SMA コネクタの採用と、受光部の金属ラインと SMA コネクタへの接合箇所の特異インピーダンスの整合を改良したことにより、高周波特性も高められている。Figure 3 の赤色の実線で示すように、本タイプの改良型検出器から得られたパルス波形は、メインのパルスの後に続くリング成分が改善されている。更に、時間分解能を上げるために、Figure 5 で示すように、1 対の信号引き出し線の片方を開口端とすることで、直接波と反射波の両方を観測することにより、パルスタイミングの精度を高くすることが出来る。Figure 6 に実際の観測データ

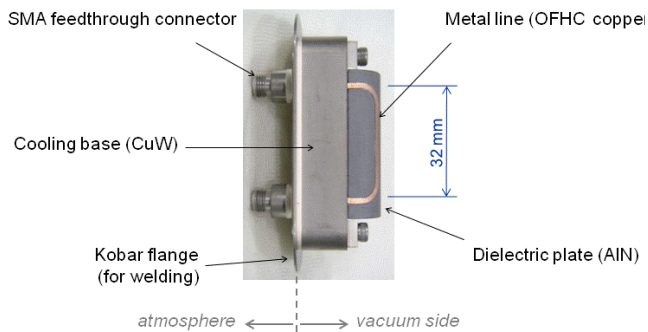


Figure 4: Structure of the detector head for a timing monitor.

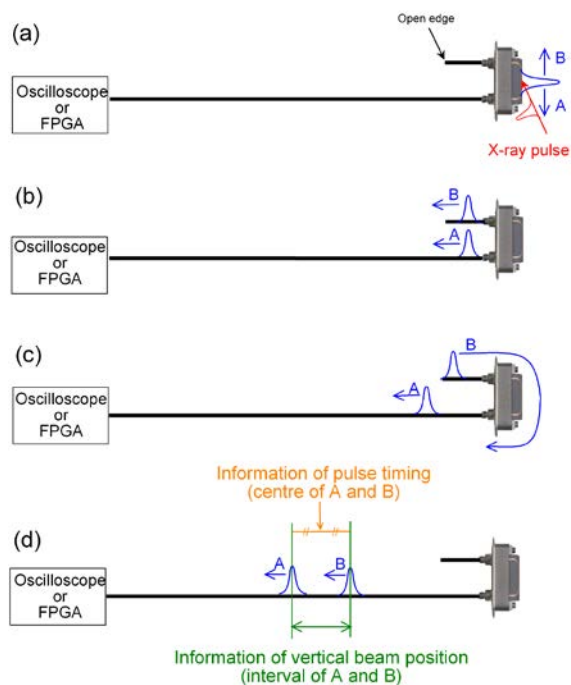


Figure 5: Schematic view of pulse transmission with the open end on one of the output connector.

を示す。2つのパルスの中心は、放射光ビーム位置が変動しても中心のタイミングは変動しないことが分かる。この二つのパルス間隔は放射光ビームの入射位置に対応する。

2. 偏向電磁石ビームライン用放射光モニタの概念設計

放射光の位置を正確に測定するためには、位置敏感型検出素子を複数配置させ、信号の配分比を計測することが有効である。Figure 7 にその概念図を示す。偏向電磁石ビームラインからの放射光の位置を測定するために、上下一対の検出素子を光軸面から上下にオフセットした位置に配置させている。出力信号の安定化を図るために、真空中に放出された光電子が再び検出素子に戻ることを防ぐ必要がある。

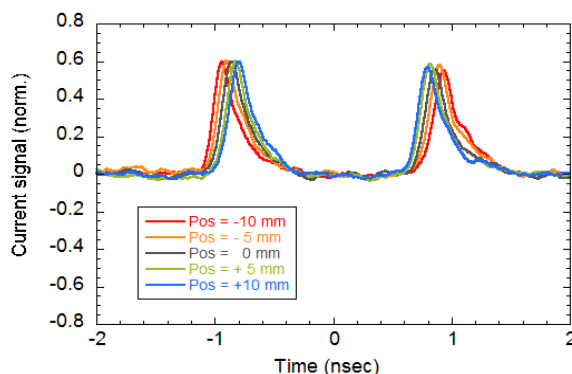


Figure 6: Position dependence of the interval between two pulses.

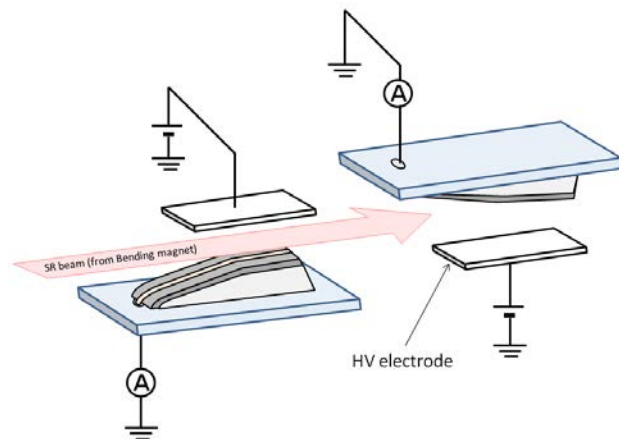


Figure 7: Schematic view of a position sensitive monitor for bending magnet beamline.

そのためには、各検出素子を上流側と下流側にずらすことで、光電子収集電極を検出素子の前面に取り付けることが可能となる。

このモニターを用いれば、耐熱性の観点からも偏向電磁石からの放射光ビームのパルス毎の位置変動を計測できると考えられる。しかしながら、検出素子が偏向電磁石からの放射光で常時照射される熱量は $1\text{W}/\text{mm}^2$ 程度以下であるのに対し、標準型挿入光源からの放射光では $100\text{W}/\text{mm}^2$ 程度となるため、検出素子の耐熱性を抜本的に改良することが求められる。

3. 挿入光源ビームライン用放射光モニタの概念設計

ストリップライン構造の金属ラインに挿入光源からの放射光ビームを直接照射させる方法では検出素子の耐熱性を格段に向上させることは困難である。そのため、検出素子の高周波特性をある程度犠牲にすることになるが、ライン金属の先端にダイヤモンド板を取り付けることにより実効的な照射断面積を減らす構造を検討した。Figure 8 は、4枚で1式となる検出部の下側2枚の部分を示す。ダイヤモンドは熱伝導率が非常に高く、かつX線に対する吸収係数が低いため、ヒートシンクとして十分機能する事が期待できる。光電子放出面は、ダイヤモンド板の一部に限られたに金属蒸着を施すことにより電気的な浮遊容量を減らすなどして、高周波特性の低下を抑える工夫が必要である。また、ダイヤモンド板と水冷ブロックの接合面の熱伝達係数を高めることも、検出素子の耐熱性の向上のために必須事項である。

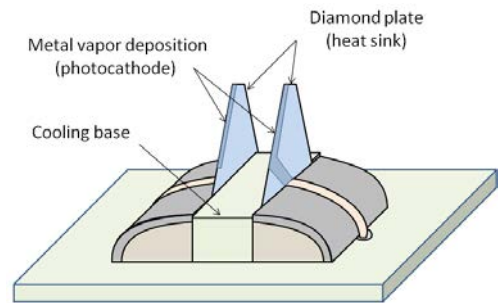


Figure 8: Schematic view of a position sensitive monitor for insertion device beamline.

4. まとめと今後の課題

ストリップライン構造を有する放射光モニタは、パルス毎の放射光ビームの動態（強度、位置、タイミング）を診断するモニタとして期待できる。偏向電磁石ビームライン用の位置敏感型放射光モニタは、2つの検出素子を上流側と下流側にずらし、各検出素子の前面に光電子収集電極を取り付けることで実現可能である。挿入光源ビームライン用の位置敏感型放射光モニタは、検出素子の耐熱性を格段に向上させるために、ストリップライン構造の先端にダイヤモンド板を取り付け実効的な照射面積を低減させる構造が有効である。これを実現させるために、ダイヤモンド板の除熱方法の確立が今後の重要な課題である。

謝辞

本研究を進める上で公益財団高輝度光科学研究センターの中村剛氏、小林和生氏、木村滋氏、大沢仁志氏に貴重なアドバイスを頂いています。本研究はJSPS 科研費 26390122 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] T. Nakamura et al., Proc. of the 9th EPAC 2004, 2649.
- [2] T. Nakamura, K. Kobayashi, Proc. of ICALEPCS 2005 PO2.022-2.
- [3] H. Aoyagi et al., "Unipolar signal from a synchrotron radiation beam monitor with microstripline", Proc. of the 3rd Annual Meeting of PASJ 159-162 (2006).
- [4] H. Aoyagi et al., "Performance of Frontend Pulse-by-Pulse SR Beam Monitor with Microstripline Structure", AIP Conf. Proc. 879, 1018 (2007).
- [5] H. Aoyagi et al., "RF Properties of Coaxial Feed-through Connectors for Design of a Frontend Pulse-by-Pulse SR Beam Monitor", AIP Conf. Proc. 879, 1010 (2007).
- [6] H. Aoyagi et al., "Pulse-by-pulse X-ray Beam Monitor Equipped with Microstripline Structure", Proc. of DIPAC2011, MOPD91, 260-262.