

特集：高輝度 X 線(Ⅱ)—MR 放射光利用—

§4. ビームライン

4-4. ダイヤモンド光位置モニタ

栄 久晴****, 青柳 秀樹**, 大浦 正樹*, 木村 洋昭**
大端 通**, 塩飽 秀啓*, 山本 樹***, 杉山 弘***
田辺 敬一朗*****, 小橋 宏司*****, 北村 英男*

*原研・理研大型放射光施設計画推進共同チーム,
**^(財)高輝度光科学研究センター・放射光研究所,
***高エネルギー物理学研究所放射光実験施設,
****石川島播磨重工業^(株), *****住友電気工業^(株), *****^(株)神戸製鋼所

Diamond Beam Position Monitor

Hisaharu SAKAE****, Hideki AOYAGI**, Masaki OURA*,
Hiroaki KIMURA**, Toru OHATA**, Hideki SHIWAKU*,
Shigeru YAMAMOTO***, Hiroshi SUGIYAMA***, Keiichiro TANABE*****,
Koji KOBASHI***** and Hideo KITAMURA*

*JAERI-RIKEN SPring-8 Project Team, **Japan Synchrotron Radiation Research Institute,
***Photon Factory, National Laboratory for High Energy Physics,
****Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., LTD.,
*****Sumitomo Electric Industries, LTD., *****Kobe Steel, LTD.

The photon beam position monitor using a diamond foil as a position sensitive device has been developed with the object of the utilizing on insertion device beamlines of the third generation synchrotron radiation facility such as the SPring-8 and it was tested on the undulator beamline of the Tristan Super Light Facility at KEK. The beam test results show that the diamond monitor can be operated in a photoconductive mode like a semiconductor detector. It has the linear working range of $\sim \pm 1$ mm and a position sensitivity of less than $3 \mu\text{m}$. The stability of the monitor was confirmed by the continuous operation still in the low photon beam intensity condition.

1. 序論

放射光を用いた実験の進歩にともない放射光の精密制御および安定供給が不可欠となってきた。そのため数ミクロン以下の高い位置分解能を持ち、厳しい熱負荷および放射線環境の下でも安定

に働く光位置モニタの開発が求められている。たとえば SPring-8 の挿入光源で発生する光のパワーおよびパワー密度は、11 kW および 470 kW/mrad² にも達する。これらの第三世代光源での要求を満たす光位置モニタとして、ダイヤモンド薄

**** 石川島播磨重工業^(株) 〒235 横浜市磯子区新中原町 1
TEL 045-759-2533 FAX 045-759-2578 e-mail hisaharu_sakae@ihi.co.jp

膜を位置検出素子として用い、光伝導モードで動作する光位置モニタの開発を行っている。ここでは本モニタの概要およびMRのビームラインで行ったビーム試験結果を以下に示す。

2. ダイヤモンド光位置モニタ

ダイヤモンド光位置モニタの検出部の概略構造を図1に示す。検出素子にはCVDの多結晶人工ダイヤモンドを用いた。ダイヤモンドの両面には電極を配置し、電極間に電圧を印加することによりダイヤモンド内部に電界を発生させる。ダイヤモンドに放射光が入射すると、放射光とダイヤモンドの反応により電子とホールのキャリアが生成される。キャリアは、電場に沿って移動し外部回路に電流を発生させる¹⁾。電極は、2次元でビーム位置が検出できるように4分割されている。各々の電極に流れる電流を測定し、下式の演算を行うことによりビーム位置を求めることができ

る。

$$X = A_x \times \frac{(I_{U-R} + I_{D-R}) - (I_{U-L} + I_{D-L})}{I_{U-R} + I_{D-R} + I_{U-L} + I_{D-L}} \quad (1)$$

$$Y = A_y \times \frac{(I_{U-R} + I_{U-L}) - (I_{D-R} + I_{D-L})}{I_{U-R} + I_{U-L} + I_{D-R} + I_{D-L}} \quad (2)$$

ここで、 I_{U-R} , I_{U-L} , I_{D-R} , I_{D-L} (U: upper, D: down, R: right, L: left) は各電極の電流値、 A_x , A_y は、校正係数である。本モニタは、ダイヤモンドの高い熱伝導率、低い熱膨張率、高い剛性や耐放射線性等の優れた特性により、熱および放射線の環境が厳しく他の半導体検出器は使用できないビームラインにおいても使用可能となる。

本モニタの光伝導電流は、ほぼダイヤモンドに吸収された放射光のパワーに比例する。従って、アンジュレータから放射される硬X線は、紫外線および軟X線に高い感度を持つ光電子放出型のモニタに比べて、本モニタで感度よく検出できる。

3. 実験結果

3.1 実験条件

本モニタはアンジュレータの下流20 mの位置に設置し、ビーム試験を行った。実験は、ビームエネルギー8 GeV、ビーム電流30 μ A~5 mA、アンジュレータの一次光のエネルギー~8.4 keV (K値: 1.1) の条件で行った。

3.2 信号特性

アンジュレータ光が本モニタの中央を通過した時のダイヤモンドに印加した電圧に対する各電極の電流信号の変化を図2に示す。電流信号は電圧の増加に従って大きくなり、電圧の極性が変わると電流の方向は反転する。信号の発生が光電効果による場合は電流の方向は変わらないので、本モニタは光伝導モードで働いていることが分かる。また電流信号は電圧の増化にともなって飽和して

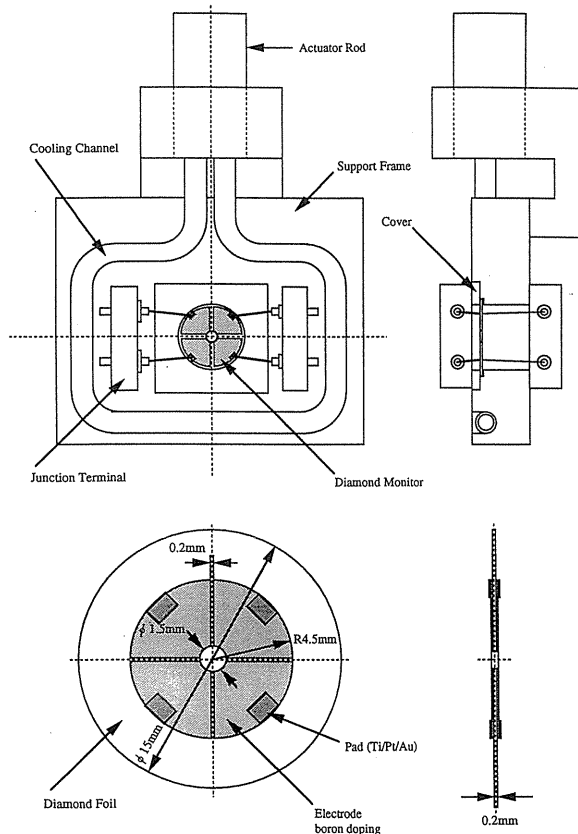


Figure 1. A schematic view of the diamond monitor.

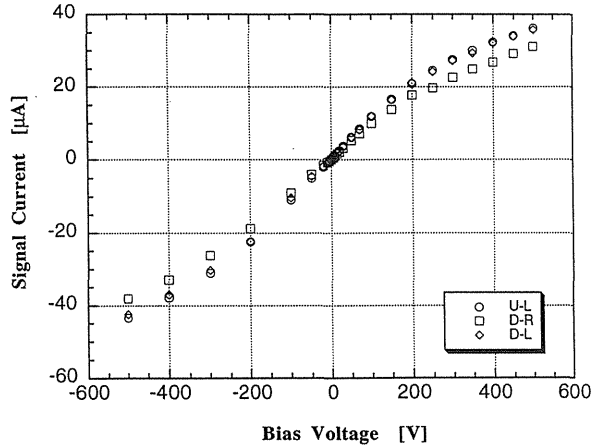


Figure 2. The signal current from each electrode as a function of bias voltage (Eb: 8 GeV, Ib: 30 μ A, K: 1.05).

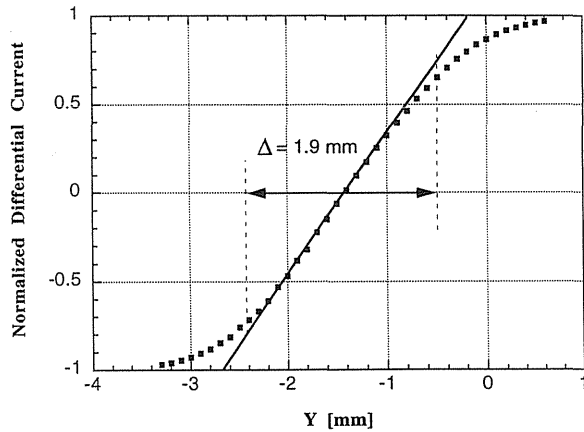


Figure 3. Calibration curve of the monitor with bias voltage of -25 V (Eb: 8 GeV, Ib: 0.15 mA, K: 1.07).

くるが、これはダイヤモンド内のキャリアの移動速度の飽和によるものである。電圧を印加しない場合には、電圧を印加した場合に比べて2~3桁小さい光電効果による電流が観測された。

3.3 ビーム位置感度

本モニタのビーム位置感度を調べるために、モニタを水平および垂直方向に移動しながら測定を行った。垂直方向に移動した時の校正曲線を図3に示す。(2)式で示される総測定電流値で規格化した上下の電極の電流値の差は、ビーム軸近くでビーム位置に比例する。この直線からのずれが

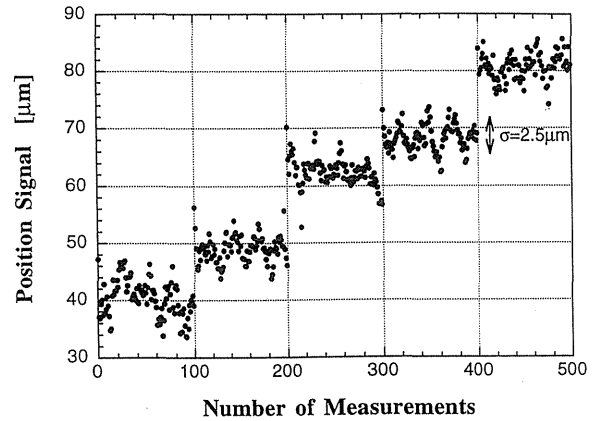


Figure 4. Scan measurement performed with 10 μ m step (Eb: 8 GeV, Ib: 1.15 mA, K: 1.1).

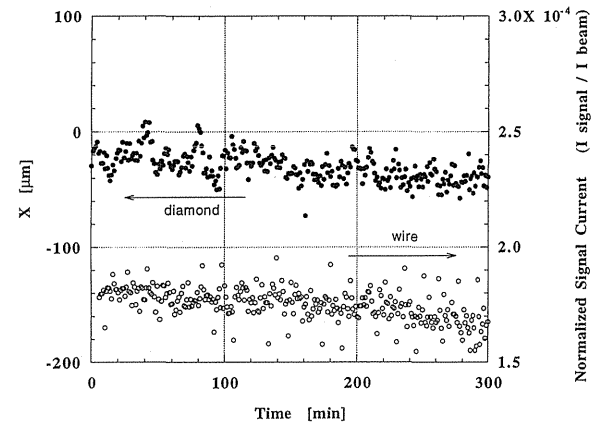


Figure 5. The horizontal beam position measured by the diamond monitor and normalized signal current of the wire monitor (Eb: 8 GeV, Ib: 130~50 μ A, K: 1.1).

10%以内のところをモニタの測定範囲であるとすると、いずれの方向についても測定範囲は ± 1 mmとなる。

垂直方向に10 μ m ステップでモニタを移動した時の測定ビーム位置の変化を図4に示す。この時モニタには10 Vの電圧を印加し、光伝導モードで運転を行った。明らかに測定位置のステップが観測でき、また位置信号の分布から本モニタは約3 μ mの位置感度を持つことが分かる。

3.4 安定度試験

6時間の連続測定を行った時のダイヤモンド位置モニタの測定位置およびワイヤモニタ²⁾の電

流信号の変化を図5に示す。ワイヤモニタにはダイヤモンドモニタの下流設置されたものを用い、本モニタと同時測定を行った。ワイヤモニタのワイヤは信号電流の空間分布の半値幅の位置に設置しているため、図5に示したビーム電流で規格化した電流値はビーム位置の変化に対応する。いずれのモニタの信号電流も、130~50 μA のビーム電流の変化に応じて減少している。また双方で同じビームの変動が観測された。

4. 結論

ビーム試験の結果、ダイヤモンド光位置モニタは光伝導モードで動作し、アンジュレータ光を精密に測定できることが確認された。光伝導モードでは、信号はダイヤモンドに吸収された放射光のパワーに比例するため、従来の光電効果型モニタに比べて、より高いエネルギー成分の光に対して

感度を持つ。これによりアンジュレータ光の位置測定の際に問題となる偏向電磁石からのバックグラウンドの影響の減少が期待できる。

また本モニタは、 $\pm 1 \text{ mm}$ の動作範囲および3 μm の位置感度を有することが確認された。ただし計測時間のビームのふらつきを考慮すると実際の位置感度はさらに良いものと推定できる。また連続運転では、放射線の影響による信号の減少は見られず、安定な動作を示した。本実験によりダイヤモンドの優れた特性を用いたダイヤモンド光位置モニタは、第三世代光源用の光位置モニタの有力な候補となりうることを確認できた。

参考文献

- 1) Y. Sugimoto: High Energy Quarterly, Vol. 10 No. 2, P. 59 (1993).
- 2) X. Zhang, et al.: Rev. Sci. Instrum., Vol. 66 No. 2, P. 1990 (1995).