

BERYLLIUM MIRROR FOR ELECTRON BEAM DIAGNOSTICS USING VISIBLE SYNCHROTRON RADIATION LIGHT AT NEWSUBARU

Yoshihiko Shoji¹, Kouji Takeda
NewSUBARU/SPring-8,
1-1 Kouto, Kamigori, Ako-gun, Hyogo, 001-0001

Abstract

A flat beryllium mirror for the beam diagnostics was designed and fabricated for the electron storage ring, NewSUBARU. The structure of the mirror was based on the design by T. Mitsuhashi at KEK. We applied small modifications to his design so that to match NewSUBARU storage ring. We have got a technical and financial support from KEK, according to the "comprehensive support program for the promotion of accelerator science and technology".

ニュースバルの可視放射光を使ったビームモニター用ベリリウムミラー

1. はじめに

現在ニュースバルは放射光を用いたビームプロファイル計測用に3つのポートを設置している。全て初段ミラーは銅ブロックに金をコーティングしたもので、面精度に不安がある。建設時からの2カ所の真空窓には曇りも出ているが、交換にはリング本体の大気解放が必要となるので、行っていない。比較的新しい1カ所はvisibility monitor[1]やcoherent radiation計測[2,3]に使用している。これらとは別に、double sweep streak camera[4]をBL6に寄生する形で設置しているが[5]、中間にあるcylindrical mirrorの為にvertical beam focusingが難しいという問題を抱えている。今回、高精度モニター用の初段ミラーを製作し、これらの問題解決を目指す事にした。

設置位置は、入射点下流で長直線部上流の偏向電磁石からの未使用ポートである。この位置は、放射光利用ビームライン設置には不便である一方、FEL用のトンネル開口部を使って、可視放射光を遮蔽トンネル外へ導き出せるので、床下のピットを通す面倒が無いという利点をもつ。

2. 初段ミラーの設計

ミラー本体はKEK三橋利之氏の設計を基本とした。2種類あった基本設計案は、いずれもビーム軌道面上のX線が直接ミラーを照射する設計である。一つは冷却効率が高い堅牢なブロック構造の設計[6]、もう一つは中央部を薄く2mmとして、X線による熱負荷を軽減した設計[7]である。我々は前者を採用したが、その理由は以下である。

Fig.1は、電子エネルギー1.5 GeV、蓄積電流500 mAで運転し、光源点から2.37mの離れた位置にBe板

を置いた場合の透過放射光パワーの計算値である。エネルギースペクトルはビーム軌道面(y=0)上の計算値を用いて、X線の透過率は、LBLのデータベースの値[8]を使用した。2mm厚のミラーでも45°傾けると透過率は17%であり、ミラーを薄くする意味は無い。電子軌道面上では、ミラー表面わずか0.2mmで放射パワーの約半分が失われる。

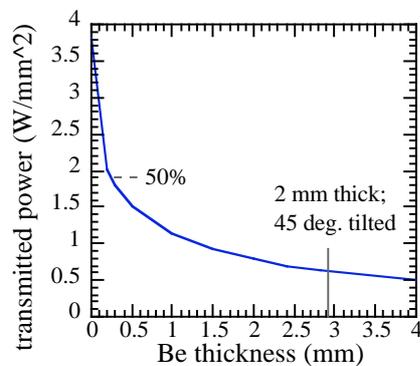


Fig.1 Transmitted power through Be plate when the ring is operated at 1.5 GeV.

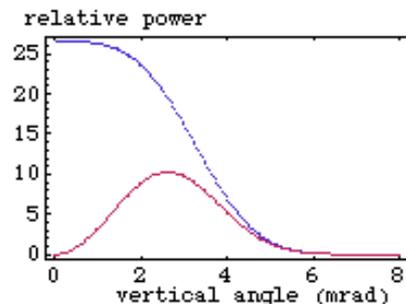


Fig. 2 Distribution of 600 nm radiation along the vertical axis when the ring is operated at 1.0 GeV.

¹ E-mail: shoji@lasti.u-hyogo.ac.jp

ラインのacceptanceを決める開口部は36.8mrad (H)×11.5mrad (V)である。Fig. 2は600nmの可視光強度の垂直方向角度分布だが、垂直方向のacceptanceは十分である事がわかる。

ミラー設置位置は光源点から2.37mなので、水平方向の45°傾けたミラー面上での開口部イメージは124mm(H)×27mm(V)である。ミラー制作上の歪みはミラー周辺部で大きくなり易いので、大きめのミラーが望ましい一方で、均一な熱負荷を与える為に、水平方向にはミラー面全面に光が当たる必要がある。NewSUBARU用のミラー面は、96mm(H)×30mmで、ICF204フランジが使えるギリギリの大きさとした。

Fig. 3にミラーの概略図を示す。本体は厚さ45mmのBeブロックで、背面に冷却水管と銅ブロックを銀ロ付けした構造である。両側面に余分な放射光を吸収する為の銅アブゾーバーを配置し、背面の銅ブロックに金薄膜を挟んでネジ止める。

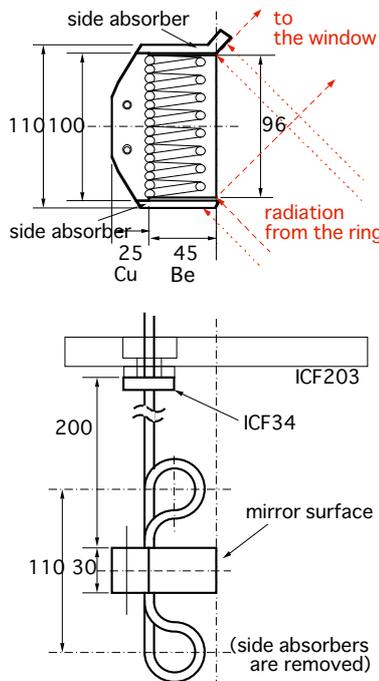


Fig. 3 Initial design of the Beryllium mirror.

KEKではミラー全体を可動式として、非使用時には光軸から外してX線によるダメージ軽減を図っているが、NewSUBARUでは(予算の関係もあって)常時設置とした。但し、ダメージを受けたミラーの再研磨を容易にする為、重くて嵩張るICF204フランジからミラーを取り外せる設計にした。ミラー冷却水配管はICF34フランジに溶接し、真空側からICF204フランジに取り付ける構造である。

4. ミラー面平面度の計測

まず放射光による熱負荷の無い状態での平面度や粗

さを、SPring-8の大橋治彦、三浦孝紀両氏に測定して頂いた。

走査型白色干渉計でミラー面を11カ所測定した結果をTable 1に示す。表面粗さは6-7nmRMSであった。更に位相シフト干渉計で平面度を計測した結果をFig. 4に示す。鞍型が振じれた形状で、面精度は $\lambda/2.2$ であった。但し中央部40mm(H)×12mm(V)の範囲ならば $\lambda/10$ であったので、許容範囲とした。

Table 1 走査型白色干渉計(ZygoNewView20HR)によるミラー面の粗さの測定結果。2種類の測定倍率で面上の11カ所測定。測定結果の単位はnm。

Lens	X 2.5			X 50		
	View area	H2.7XV2.1 mm ²		H136XV102 um ²		
H resolution	4.72 um			0.64 um		
	PV	RMS	Ra	PV	RMS	Ra
Average	218	7.0	5.2	63	6.6	5.2
Std. Dev.	102	1.4	1.0	23	1.8	1.6
Maximum	420	9.4	7.1	116	10.3	8.7
Minimum	121	5.0	3.8	41	4.7	3.7

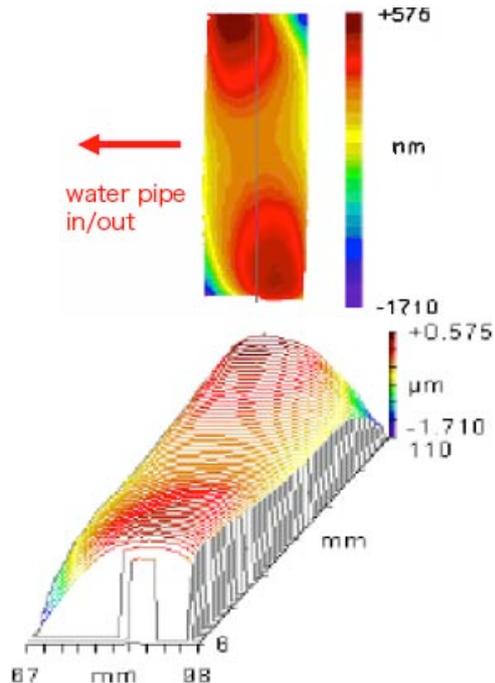


Fig. 4 位相シフト干渉計(ZygoGPI)による平面度測定結果。

5. 光取り出し窓

真空中から大気中への放射光取り出し窓の断面図をFig. 5に示す。これも三橋氏ら[9]の設計を基本とした。フランジはICF152、開口部は80 mmφである。この他にSPring-8の設計も参考にしている[10]。

SPring-8の経験では、窓材として石英を使う限り

汚染による曇りは心配無いという事だが、今回は予算の都合でBK7とした。

メタルOリングはHELICOFLEX200-100-90.2 A5で、シール面に突起を持つ。SPring-8の経験では、突起を持たない通常のメタルOリングでも100°C以上のベーキングに耐えたとの事だが、安全策をとった。突起付きOリングは締め付け力が小さく、ガラスの歪みも小さいと考える事もできる。我々は締め付けによるフランジ間ギャップ減少がOリング当たり0.5mm(メーカー推奨限界0.9mm)縮小するように管理した。因にボルトの締め付けトルクは75kg/cmであった。ベーキング前だが、現時点でリークは無い。

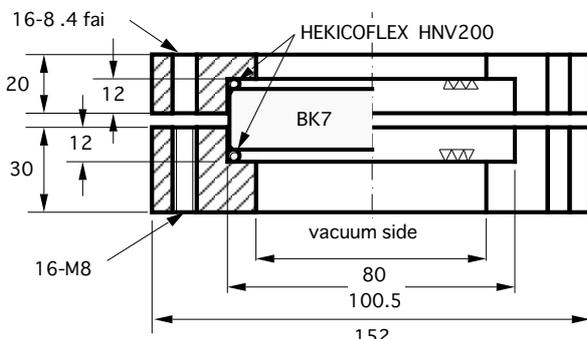


Fig.5 Cross section of the vacuum view window.

6. 今後の予定

本年会直後の2008年夏にミラーをニュースバルの放射光取り出しポートに設置予定である。この他に、線形加速器からの入射ビームと dispersion free sectionからの coherent radiationを観測できるポートと、逆偏向電磁石による edge radiation観測を目的としたポートも増設できるようにゲートバルブを設置する予定である。

ミラー製作精度が十分であっても、放射光の熱負荷下での歪みが大きければ台無しである。これについては、2008年末から2009年にかけて可動式ピンホールアレイを設置し、放射光照射を受けた状態での変形を計測する予定である[11]。

単なる電子ビームプロファイル計測ならば、FZPを用いた soft X-ray 集束や、hard X-ray 用 pin-hole cameraの方が高分解能を期待できる。しかし NewSUBARUの新規ミラー設置の主目的は、可視光を用いた様々なR&Dのベースを提供する事にある。具体的には double sweep streak cameraへの使用や、トップアップ入射の改善を目指した fast gated ICCD camera[12-15]の導入と、coronagraph [16]、更には長波長成分の干渉効果計測へと発展させる、等である。このミラーによって、兵庫県立大の学生教育も、より高いレベルで行う事ができると期待している。

7. 謝辞

本件に関してKEKの大学等連携支援事業による技術的および財政的支援を受けました。特に技術的指導を行って下さった三橋利之氏に感謝いたします。更にSPring-8加速器部門の高野史郎、正木満博両氏にもアドバイスを頂きました。また、ミラー面計測を引き受けて下さった、SPring-8光源・光学系の大橋治彦、三浦孝紀両氏にも感謝いたします。

参考文献

- [1] 久尾信太郎、松原貴裕、橋本智、庄司善彦、安東愛之助、「NewSUBARUにおける放射光干渉計を用いたビーム診断」日本物理学会第59回年次大会2004/3/27-30、講演概要集Vol.59, No.1-1(20040303) p.105.
- [2] "Bunch compression at the SPring-8 linac and successive generation of THz pulse train in the isochronous ring", Y. Shoji, T. Asaka, H. Dewa, H. Hanaki, Y. Hisaoka, T. Kobayashi, T. Matsubara, T. Mitsui, A. Mizuno, S. Suzuki, T. Taniuchi, H. Tomizawa, and K. Yanagida, *Infrared Physics and Technologies*, vol.51 (2008) pp.394-396.
- [3] "Measurement of the Time Structure of a Coherent Synchrotron Radiation Burst in NewSUBARU", Yoshihiko Shoji, *Infrared Physics and Technologies*, vol.51, Issue 5, May 2008, pp.367-370.
- [4] "Bunch-by-bunch linac beam energy profile diagnostics using storage ring phase rotation and synchrotron radiation", T. Matsubara, S. Hisao, Y. Shoji, T. Asaka, and S. Suzuki, *Phys. Rev. ST-AB* No.9, 042801 (2006).
- [5] "Confirmation and Readjustment of Bending Magnet Beam-Line Optics Using SHADOW", T. Matsubara, K. Kanda, Y. Kato, S. Hisao, and Y. Shoji, *AIP Conference Proceedings* 879, pp.694-697 (2007).
- [6] J.W. Flanagan, S. Hiramatsu, H. Ikeda, K. Kanazawa, and T. Mitsuhashi, "Improved SR Extraction Chamber for KEKB LER SR Monitor", *Proc. PAC2003*, pp.2505.
- [7] Toshiyuki Mitsuhashi, Takahiro Katoh, "A Construction of Optical beam Profile Monitor for High Brilliance Configuration of the Photon factory", *Proc. EPAC'96*, TUP053L.
- [8] X-Ray Optics Tools, Center for X-ray optics, URL: <http://www-cxro.lbl.gov/index.php?content=/tools.html>.
- [9] T. Mitsuhashi, et al., *Proc. SAST2001*, pp.387-389.
- [10] M. Masaki and S. Takano, designed in 1999, private communication.
- [11] N. Takeuchi, et al., *Proc. PAC1999*, pp.859-861; T. Mitsuhashi and A. Tadano, *Proc. APAC2001*, pp.704-706.
- [12] B.K. Sheidt, *Proc. DIPAC 2005*, pp.24-26.
- [13] 栗島寛, et al., 2006日本放射光学会.
- [14] J.W. Flanagan, et al., *Proc. EPAC 2000*, pp.1119-1121.
- [15] T. Naito, et al., *Proc. EPAC 1998*, pp.1574-1576.
- [16] T. Mitsuhashi, *Proc. EPAC2004*, pp.2655-2657; *Proc. DIPAC 2005*, pp.7-11.