中能量主動式光柵光束線設計

全國利用軟X光研究的用戶不斷增加，目前可提供的光束時間已漸不敷使用，為了因應此需求的增長，本中心將於BL08B偏轉磁鐵（Bending Magnet, BM）出口增建一全新中能量範圍（300 - 1000 eV）光束線。本文主要介紹此光束線之光學設計與功能評估，以及使用主動式光柵的優點。

馮學深、喻霽陽、黃良仁、曾金榮、鍾世俊（光束線組）

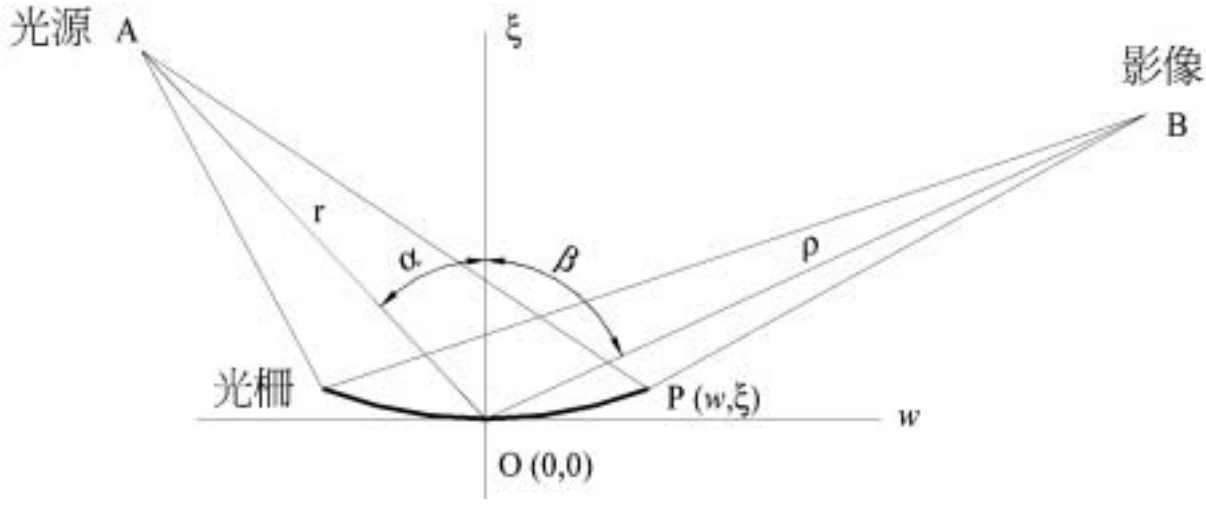
前言

本中心目前可提供軟X光給用戶進行實驗的偏轉磁鐵光束線共有BL11A（Dragon），BL20A（HSGM）及BL24A（WR）三條光束線。這些光束線所提供能區之光子，可用來激發大多數物質之內殼層電子，對很多研究領域，磁學、材料學而言是非常有用之工具。而目前此三條光束線之使用量已達飽和，為求提供用戶有充裕之光束線使用時段，本中心決定在BL08B出光口新建一條中能量之光束線，以紓解光束時間不敷使用之壓力。經過相關用戶多次討論後，確認目前用戶最需要之能量範圍為300 - 1000 eV。經本組初步設計評估，認為建造一條新的「龍」型光束線，並以新近開發的主動式光柵取代球面光柵，不但可以滿足用戶需求，更能提昇光束線之功能[1-3]。

主動式光柵（Active Grating， AG）

圖一是曲面光柵分光之幾何示意圖。傳統「龍」型光束線所用之球面光柵分光儀（SGM），其曲率半徑是固定的。在能量掃描時，成像距離 ρ 會隨之改變，故需移動出光狹縫位置，以維持光束線之解析力及光通量。但這樣仍然無法去除所有能區較高次之像差項：如彗星像差（Coma aberration），以致無法充分提高解析力。

為了提升分光儀之功能，本中心機械定位小組與光柵供應商共同研發製造性能特殊之主動式光柵。相對於傳統SGM，主動式光柵分光儀（AGM）乃利用高精密調整機制，令光柵在能量掃描時，能調整其表面曲率至最佳之工作條件：焦距，像差等。本中心已完成主動式光柵之調變機構，經實際測量，其結果顯示此機構能精確的控制鏡面之曲率半徑[4,5]，鏡面之型狀以方程式 $\xi(w) = aw^2 + bw^3$ 之方式調變，ξ 為鏡面

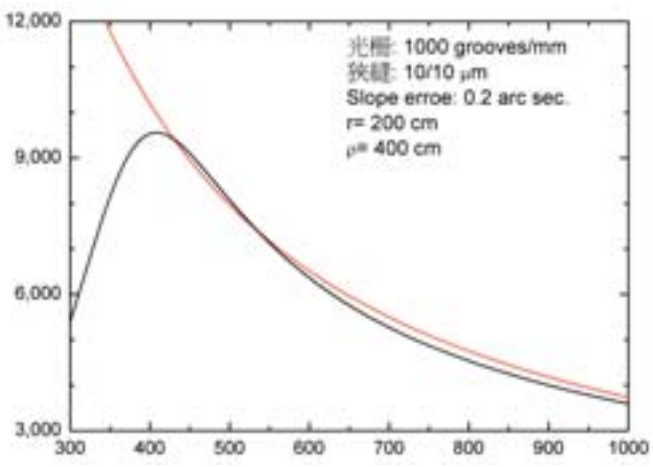


圖一　曲面光柵分光之幾何示意圖。一般之球面光柵，鏡面方程P(w, ξ)可表為 $\xi(w) = aw^2$ ，a為常數。而主動式光柵 $\xi(w) = aw^2 + bw^3$，而且在一定範圍內a及b皆可調。

高度，w為光行進在光柵上之分量（如圖一所示）。依據光學聚焦公式，a參數決定鏡面之曲率半徑，b參數可修正彗星像差。

主動式光柵之應用可帶來如下優點：（一）由於主動式光柵可依不同能量之所需而精確地調變曲率半徑，故可維持分光後之光束像距不變，因而可使照在樣品上之光斑大小，不會隨光束能量不同而改變，減少實驗參數。（二）當引入b參數修正彗星像差後，在較低能量區域，分光儀的解析力可大幅改善，從而提高系統之能量解析力。

SGM與AGM解析力之比較如圖二所示，入光及出光狹縫設定為10 μm，光柵之線密度為1000 grooves/mm，入射角86.5°，光柵之slope error為0.2弧秒（arc sec.）。依據解析力之計算公式，分別算出SGM（黑線）與AGM（紅線）之解析力。

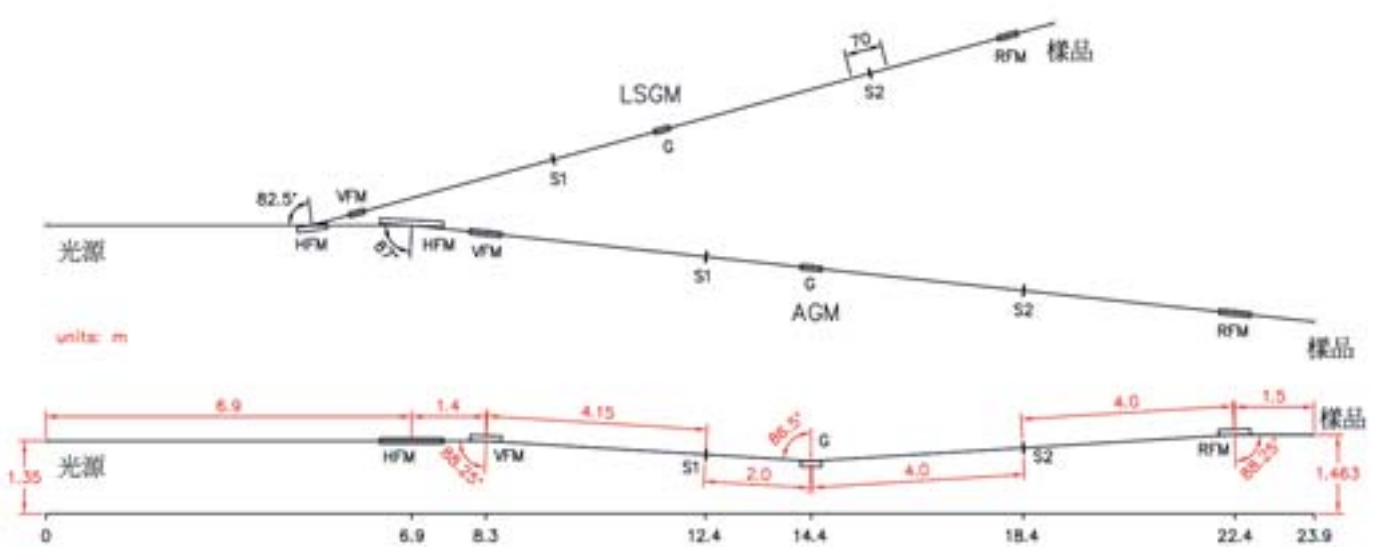


圖二 SGM（黑線）與AGM（紅線）之解析力比較。

能量在400 eV以上，SGM及AGM之解析力相當，且皆隨能量增加而下降，這是由於狹縫及光柵的slope error所造成的。而在小於400 eV的低能量區，AGM之解析力明顯較SGM好，主要是因為AGM的設計沒有彗星像差之故。

光束線之設計

圖三是根據「龍」型光束線之概念，所設計之BL08B BM-AGM光束線光學系統配置圖。光源是偏轉磁鐵光源。在距離光源6.9米處放置一面水平聚焦鏡（Horizontal Focusing Mirror, HFM）將光束在水平方向偏折3°。其主要目的有二 ：（一）可吸收偏轉磁鐵光源所產生的大部分熱量，以減少垂直聚焦鏡和光柵可能因受熱而產生變形，避免造成光束的聚焦品質和能量解析力因熱載而下降。（二）減少光源在水平方向之發散，令後續之光學元件面積較小。考慮到光源的發散性及空間，我們選擇2倍的垂直縮像倍率（r1/r2）。垂直聚焦鏡（Vertical Focusing Mirror, VFM）將光束縮小聚焦到入口狹縫S1。而由於目前只考慮安裝一面光柵，經過計算，要在300至1,000 eV之能區間，達到10%以上之出光效率，我們選擇光束的入射角度為86.5°，而光柵之刻線密度為1,000 grooves/mm。而同時為了讓光束在通過光柵後的路徑平行於地面，有利於實驗站的設立，VFM及重聚焦鏡（Re-focusing Mirror, RFM）的入射角度皆為88.25°，最後光束線出口高度離地1.463米，各光學元件之參數如表一所示。



圖三 BL08B BM-AGM光束線各主要元件位置示意圖。

表一 BL08B BM-AGM光束線各光學元件參數

光學元件	水平聚焦鏡 HFM	垂直聚焦鏡 VFM	主動式光柵 AG	重聚焦鏡 RFM
大小 (L x W x T) mm^3	1200 x 70 x 50	570 x 70 x 50	230 x 50	400 x 50 x 50
形狀	橢圓型柱面鏡	圓柱面	可調變曲率光柵	環形鏡
入射角	87°	88.25°	86.5°	88.25°
曲率半徑 (m)	長軸：9.225 短軸：0.467	181.19	42 - 49	R=71.44， ρ =0.0666
基材	Si	Si	Ni	Si
鍍膜	Au	Au	Au	Au

預期功能

由於主動式光柵的引入，可修正彗星像差，故能大幅改善光束線在300 - 400 eV間的解析力，預計可達10,000以上，在狹縫為10 μm之情況下。在600 eV以下能量解析力仍能維持在6,000左右，與目前之HSGM相近。在高能量區解析力約3,500以上，雖較HSGM使用1,800 grooves/mm光柵之結果差，但仍可滿足大部份實驗之所需。

本光束線預計在2006年冬季時建成並開始試車。在這整個設計過程中，要感謝研究組及光束線組其它同仁提供很多討論和協助。

參考文獻

[1] H. S. Fung, *et al.*, NSRRC Annual Report 2002/2003, 142 (2003).
[2] H. S. Fung, *et al.*, AIP CONF. PROC., **705**, 655 (2004).
[3] 馮學深、陳建德、黃良仁、鍾世俊、張劍虹、曾金榮，SRRC/RBM/IM/02-02 (2002).
[4] 曾澤川、王端正、彭賢耀、管建銑、林家瑞，同步輻射研究中心簡訊 **48**, 16 (2001).
[5] S.-J. Chen, *et al.*, Nucl. Instrum. Methods, **A467-468**, 298 (2001).

同步輻射相關活動 2005年

Jun 14 - 15	CHESS Users Meeting	Ithaca, USA
Jul 4 - 8 4 - 7 20 - 26 21 - 27 26 - 30 27 - 31 30 - Aug 3 31- Aug 4	X05: 20th Intl. Conf. on X-Ray and Inner-Shell Processes IWORID-7: 7th Intl. Workshop on Radiation Imaging Detectors ICPEAC2005: 24th Intl. Conf. on Photonic, Elec. & Atomic Collisions HEP2005: Intl. Europhysics Conf. on High Energy Physics XRM2005: 8th Intl. Conf. on X-ray Microscopy IWP2005: 7th Intl. Workshop on Photoionisation 19th Annual Meeting American Protein Society SPIE 50th Annual Meeting	Melbourne, Australia Grenoble, France Rosario, Argentina Lisbon, Portugal Himeji, Japan Campinas, Brazil Boston, USA San Diego, USA
Aug 21 - 26 23 - 31 28 - Sept 1	27th Intl. Free Electron Laser Conference XX Congress of the Intl. Union of Crystallography 230th (ACS) American Chem. Society 230th Natl. Meeting	Stanford, USA Florence, Italy DC, USA
Sept 4 - 9 13 - 15	ECOSS-23: 23rd European Conf. on Surface Science UK SR (SRS and Diamond) Users Meeting	Berlin, Germany Daresbury, UK
Oct 14 - 15 17 18 20 27 - 28	SRC Users Meeting SSRL Users Meeting SRI Conference ALS Users Meeting NSRRC Users Meeting	Madison, USA Menlo Park, USA Baton Rouge, USA Berkeley, USA Hsinchu, Taiwan

請參考「加速器光源資訊聯盟網站」www.lightsources.org