

6. 高度利用技術開発

X線集光結像光学系を用いた マイクロビームと顕微鏡に関する研究

1. 研究開発の目的

第三世代放射光光源によって高輝度X線マイクロビームが実現可能となってきたが、実際にこの光源の性能を引き出すための高精度集光結像光学素子はまだ開発途上である。本研究チームのメンバーは以前から全反射ミラー、積層型フレネルゾーンプレート、屈折レンズ等の硬X線用光学素子の開発を進めている。本研究では、各種硬X線用集光結像光学系の開発を進め、顕微鏡への応用を目指す。特に20keV以上、100keV程度までの高エネルギーX線の光学系を中心として開発を進める。目標分解能としては0.1 μm と設定していた。

2. 2002年度研究内容

2-1 ハイフラックスビームラインBL40XUを用いた高速結像顕微鏡

BL40XUで、FZP光学系による結像顕微鏡のテスト実験を行った。BL40XUは円偏光ヘリカルアンジュレータによって、高調波の影響が小さい準単色X線が利用できるビームラインである。このアンジュレータ放射の準単色性を利用することによって、分光器無しでのフレネルゾーンプレート(FZP)光学系による顕微鏡実験が可能になり得る。FZPは回折を利用した光学素子であり、その焦点距離は波長に反比例するために、集光結像に用いるためには単色X線の利用が不可欠である。しかしながら、焦点震度を考慮すると回折限界の分解能を得るために必要なX線のエネルギーバンド幅はFZPの全ゾーン数の逆数に等しいことが分かっている。BL40XUでのアンジュレータ放射のバンド幅はおおよそ1%程度である。したがって、ゾーン数100程度のFZPであれば、回折限界の分解能が得られる可能性がある。その場合、結晶分光器を用いないBL40XUにおいては、分光器を用いる通常のビームラインに比較して100倍以上のフラックス密度が得られ、短い露光時間での顕微鏡像計測が期待出来る。

今回の実験では全ゾーン数100のFZPを用いて結像顕微鏡のテスト実験を試みた。用いたFZPは電子線リソグラフィの技術で作成されたもので、ゾーン材料はタンタル1 μm 厚さ、最外輪帯幅0.25 μm 、8keVでの焦点距離160 mmのものである。このFZPは既に結晶分光器を備えたビームライン(BL47XU)でマイクロビームや結像顕微鏡のテストが行われたものであり、実験的に回折限界の集光結像性能が確認されている^{[1][2]}。実験装置の構成を図1に示す。X線エネルギー8.34keV、X線光学系倍率11.3の

条件で実験を行った。図2に得られた顕微鏡像の一例を示す。試料は対物FZPと同一の仕様のFZPであり、もっとも外側の構造は0.25 μm のライン/スペースである。ゾーンプレートの最外構造まで明瞭に解像されている。露光時間はビームラインのガルバノシャッターで決めており、図2の像は露光時間1.5ミリ秒で測定したものである。これによって、従来の分光器を用いたビームラインでの実験に比べて大幅な露光時間の短縮(1秒→1.5ミリ秒)が可能になった。

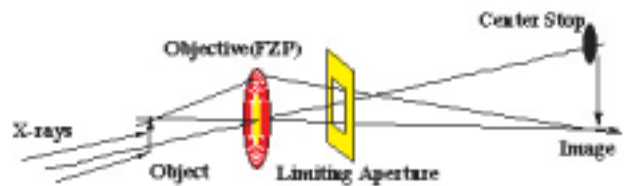


図1 結像顕微鏡装置構成図

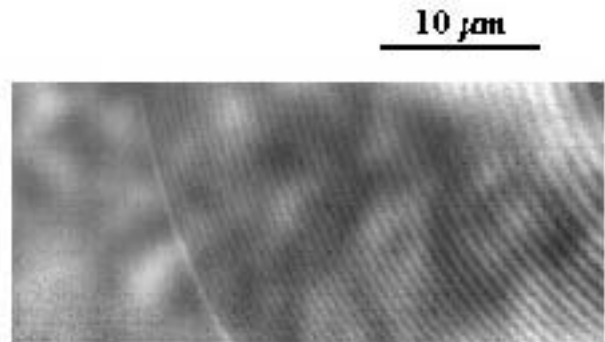
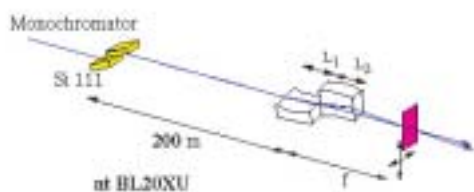


図2 結像顕微鏡像

2-2 全反射非球面光学系によるマイクロビーム生成

放物面Kirkparick-Baez型光学系の開発と評価実験を行った。新たに制作した二枚組ミラーにより二次元集光が可能になった。実験装置の構成を図3に示す。実験はBL20XUの下流実験ステーションで行った。ミラー材料は白金コート光学ガラスであり、平均視射角2.8mrad、ミラー長さL1 = 45 mm, L2 = 45mm、焦点距離は上流ミラーで100mm、下流(集光点側)ミラーで50mmである。集光実験と走査型顕微鏡の結果を図4に示すが、12keVでの集光ビームサイズとして、110 nm × 150 nm が達成され、100 nmのライン/スペースパターンが解像されている。



Experimental Setup of X-ray Microbeam/Scanning Microscopy with Total-reflection Mirror Optics (Kirkpatrick-Baez Configuration)

図3 実験装置の構成

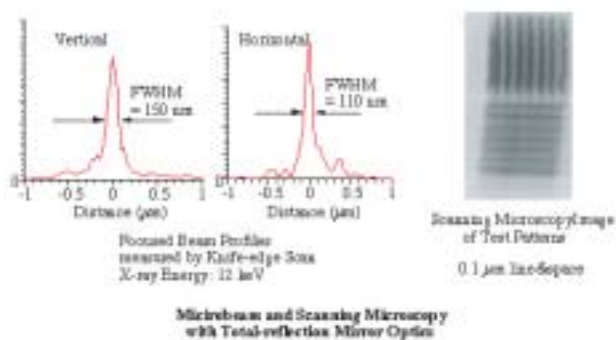


図4 実験結果

参考文献

- [1] Y. Suzuki, A. Takeuchi, H. Takano, T. Ohigashi and H. Takenaka : Jpn. J. Appl. Phys. **40** (2001) 1508.
- [2] A. Takeuchi, H. Takano, K. Uesugi, and Y. Suzuki : SPIE Proceedings **4499** (2001) 29

利用研究促進部門
顕微・分析グループ
鈴木 芳生