## BL40XU 高フラックス

本ビームラインはヘリカルアンジュレータを光源とし、 分光器を使用せずに2枚の全反射ミラーでビームを集光す ることにより、擬似単色の高輝度X線ビームを使用できる ビームラインである。このビーム特性を活かして、回折、 散乱、XAFS、イメージングなど、多様な利用実験が行わ れている。本ビームラインには共同利用実験に供されてい る実験ハッチ1と、CREST研究プロジェクトにより建設 された実験ハッチ2がある。

## 1. 実験ハッチ1

実験ハッチ1では、2010年度に引き続き非結晶試料の 時分割X線回折、XPCS(X-ray Photon Correlation Spectroscopy)、1分子計測、Quick-XAFS、マイクロビ ーム回折実験等が行われている。ここでは新たな試みとし て行われた、マイクロビームを利用した硬X線フーリエ変 換ホログラフィー(FTH)の実験を紹介する。

通常のX線回折散乱実験では、散乱が検出器に記録され る段階で位相情報が失われるため、散乱像をそのまま逆フ ーリエ変換して試料の実空間像を復元することは不可能で ある。しかし、試料の近傍に小さな参照物体を置き、コヒ ーレントなX線で試料と同時に照射すると、参照物体と試 料からの散乱の干渉により位相情報が保存され、試料の実 空間像を復元することができる。この解析法における空間 分解能は参照物体の大きさで決まるので、理論的にはこれ を単原子サイズとし、波長の短い硬X線を用いれば原子分 解能で試料の構造を決定できるはずである。しかし、現実 には参照物体を小さくすれば試料との干渉が小さくなるう え、硬X線は物質との相互作用が少ないため実用的な信号 強度を得るのは不可能である。

そこで今回、同一の試料-参照物体の組を同じ向きで多数並べることにより、信号強度を増加する可能性について 検討した<sup>[1]</sup>。図1はこの目的のため作成したテストパター ンで、金箔上に漢字の「上」と左下の参照点の組を5×5個 のマトリクスに並べている。図2は8 keVの硬X線を用い て記録した散乱像で、試料と参照点の干渉によるモワレ縞 の他に、マトリクスに由来する格子状のサンプリングが認 められる。図3はこれを逆フーリエ変換した像で、「上」 の字がきれいに再生されているのが分かる。散乱像はイメ ージングプレートを用いて50 μmのピクセルサイズで記 録したものであるが、イメージインテンシファイヤと冷却 CCDカメラを組み合わせれば分解能は劣るながら、僅か 500 msの露光で実像再生が可能な散乱像が記録された。



図1 金箔上に作成したテストパターン。



図2 図1のパターンの散乱像。



図3 図2の散乱像の逆フーリエ変換像。

このように、同一の試料-参照物体の組を多数並べること は信号強度を上げるうえで有効であることが実証された。 これは同一形態の試料が多数調製できる生体分子の構造決 定に特に有効であると考えられる。また BL40XUの準単 色光 (△E/E~2%) でも十分にFTH 測定ができることも 証明された。

 Iwamoto, H. and Yagi, N.: J. Synchrotron Rad., 18 (2011) 564–568.

## 2. 実験ハッチ2

実験ハッチ2では、サブミクロンサイズの集光X線を用 いたピコ秒時間分解能での時間分解測定を可能にするピン ポイント構造計測装置を利用した長期利用課題(次世代光 ストレージ開発のための相変化微粒子材料のピンポイント 構造計測:実験責任者 山田 昇(パナソニック株式会 社))が2010年度から行われている。

この研究では、エコ時代、グリーン時代に適した理想的 ストレージとしての期待が大きいプラズモニック近接場光 とナノ相変化微粒子の相互作用を応用した次世代の大容量 光ストレージの開発を進めている。

これまでBL40XU実験ハッチ2にて行われてきた光ス トレージ開発のためのCREST研究や長期利用課題では、 十分な信号強度を得るために実デバイスと比較して相変化 材料の膜厚を厚く(~300 nm)する必要があった。2011年 度は、実デバイスの膜厚に近い100 nm厚のGe<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub>試 料を使用したレーザーポンプー放射光プローブ時間分解測 定実験を行った。

膜厚の薄い試料からでも十分な回折強度を得るためにモ ノクロメータを利用せず、アンジュレータからの⊿E/E~ 2%の準単色光を直接利用し、さらにゾーンプレートによっ て、ビームサイズを縦2.8 µm、横3.5 µmに集光した。また、 結晶化レーザーのパルス幅を130 fsから300 psに広げ、薄膜 試料の結晶化に対応できるようにした。さらに、X線とレー ザーを試料表面で交差させる際に問題となるディスク回転 時の面ブレを抑制するため、ディスク表面の位置を変位セ ンサーで計測し、フィードバック制御により一定にする機 構を試料回転ステージに組み込み、面ブレ量をこれまで  $0 \pm 5 \mu m から \pm 1 \mu m に抑制できるようにした。X線はX線$ チョッパーを使用して12 bunches + 1/14 filling モードのト レイン部分を切り出し、342.1 nsの時間幅を持つ1 kHzのパ ルスX線として利用した。レーザー照射による相変化材料 の結晶化過程はアバランシェフォトダイオード検出器 (APD) とマルチチャンネルスケーラ (MCS) を使用して時 間分解能1.6 nsの回折強度変化として記録した(図4)。

図5はレーザーパルスの強度をそれぞれ、476,420,355, 313 nJにして結晶化させた時の200反射の回折強度の時間 変化を APD-MCS で測定したものである。1つのプロファ



図4 今回開発した時間分解測定用システム



図5 レーザー強度ごとの200反射の回折強度の時間変化プロ ファイル

イルの測定にかかる時間は900秒であるが、十分なS/N比 での測定ができており、レーザーのパルス強度によって回 折強度プロファイルの形状が変化していることがわかる。 この原因については現在考察を進めているところである が、今回実デバイスに近い試料の時間分解測定のために開 発したシステムが次世代光ストレージ材料の相変化過程の 測定ツールとして機能していることを示している。

2012年度は、2011年度結晶化に成功した微細ドットパ ターンを持つ試料についてこのシステムを利用した時間分 解測定を行う予定である。

## 利用研究促進部門

バイオ・ソフトマテリアルグループ 岩本 裕之、太田 昇、八木 直人 ナノテクノロジー利用研究推進グループ 安田 伸広