

コヒーレント光とフレネル・ゾーン・プレートを用いた 極小領域回折像観察

鈴木 拓^a, 吉塚 和治^a, 鈴木 芳生^b, 竹内 晃久^b, 高野 秀和^b,
上杉健太郎^b, 辛 埴^{c,d}

^a北九州市立大学・国際環境工学部, ^b高輝度光科学研究センター,
^c理化学研究所, ^d東京大学物性研究所

背景

第三世代型放射光施設から得られる高輝度かつ高コヒーレントX線により、干渉を生かした実験が近年容易になりつつある。コヒーレント性を生かした実験の中で、もspeckle像観察は比較的新しい手法であるが、先行しているspeckle実験はいずれもアンジュレータより得られる高輝度光を20~5 μm 径のピンホールで絞って試料に入射しているため、S/N比が悪く、時間分割実験や高コントラスト像を得ることは困難であった。

本研究グループはSPring-8BL47XU、20XUにおいて、フレネルゾーンプレート(以下FZPと略称)による集光光学系を用いたspeckle実験を行い、先述の欠点を解消することに成功している。先行して行ってきた硬X線回折/散乱speckle実験において、 $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CuO}_x$ 単結晶をはじめ、いくつかの超伝導単結晶の回折スポットを測定し、そのいずれもが超伝導転移点付近でspeckle散乱強度を著しく増大させるという挙動をとらえることに成功した。ごく最近APSでは軟X線speckle像観察によりSiNの外部磁場変化に伴う磁気ドメイン構造のspeckleパターン変化を観察し発表したが、同方法は試料を100nm厚以下に保つ必要があり、試料の準備に極めて高度な技術を要求し、イットリウム系やビスマス系など、重い金属を含む材料への応用は事実上不可能であった。

前申請ではこれら従来法の欠点を克服できることを示すことができたが、一方で解析上の困

難、たとえばレーザー光を用いた散乱speckle実験において確立しているような開口径と粒径の関係などが必ずしも成立していない事や、004反射像解析において、独立した解析を行うことが非常に難しいことなどもあきらかになってきた。本申請ではSi単結晶板上に粒径の明らかなMgO粉末を塗布し、回折面上に置けるspeckle像を取得し、回折とスポットサイズの関係について調査することを目的として実験を行った。また前回測定したNbSe₂単結晶の回折speckle像を再度計測し、画像再構成のための計算方法を検討し、回折・干渉像から結晶構造内部でのspeckle像の原因を検討することを目的とした。

実験

実験はBL20XUの医学利用棟実験ハッチ内ステーションに外注製作した軟/硬X線回折・散乱計を設置して行った。FZPはNTTアドバンストテクノロジー社製で、最外輪帯幅0.1 μm 、直径100 μm 、焦点距離16cm(8 keV)のものを用いた。試料は小角散乱用としてMgO

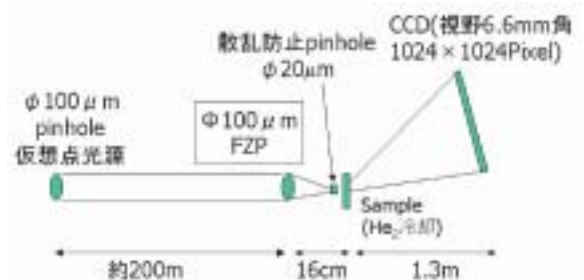


図1 回折speckle光学配置図。100 μm ピンホールはBL20XU上流光学ハッチに設置されている。

粉末 (ϕ 0.01、0.05、0.1、0.2 μ m) を用いた。また、BaTiO₃に対しX線を斜入射し、全反射speckleを行った。実験を行った際の光学配置図を図1に、装置外観写真を図2に示す。

検出器は浜松フォトンクス社製軟X線用CCDカメラを用いた。同カメラはリレーレンズとCCD部分を交換することで種々の空間分解能及びフレームレートを持つ。今回は1024×1024pixel、1フレームあたり数msec～30minの露光が可能なCCDを使用し、リレーレンズは空間分解能13.2 μ mのものを使用した。



図2 装置外観写真

結果と考察

図3 (a)、(b) に0.01ならびに0.05ミクロン径のMgOを表面に塗布したSi (111) 単結晶回折スポットのspeckle像を示す。

0.01 μ mにおけるspeckle像は著しく弱く、またスポットサイズはあまりサンプル粒径に大きな影響を与えていない様子が観察できた。これはspeckle像ではフーリエ成分がスポットサイズを構成しているため、散乱体サイズがさほど実像に影響を与えているためだと考えられるが、詳細は解析中である。

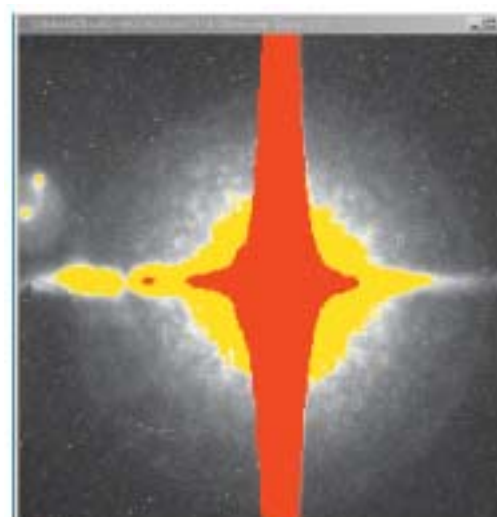


図3 (a) MgO ϕ 0.01 μ m Si (111) 回折像

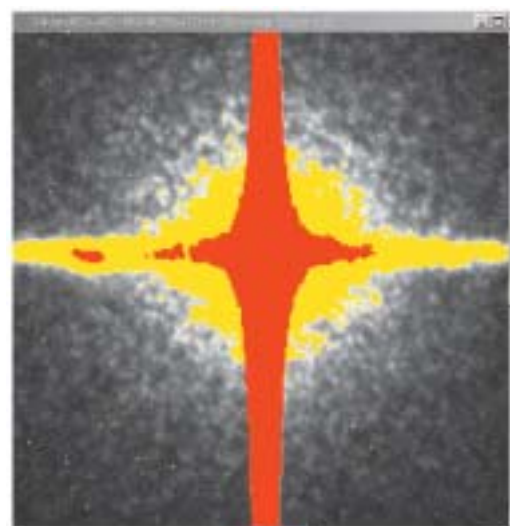


図3 (b) MgO ϕ 0.05 μ m Si (111) 回折像