

X 線スペckルによる BaTiO₃ の分極クラスターの観察

並河一道

東京学芸大、日本原子力研究開発機構、科学技術振興機構 CREST

Observation of Polarization Clusters in BaTiO₃ by Use of X-Ray Speckle

Kazumichi Namikawa

Tokyo Gakugei University, JAEA, CREST-JST

<Synopsis>

Polarization clusters appearing in paraelectric phase of BaTiO₃ are observed by X-ray laser speckle. Spatial correlation function is deduced from speckle intensity distribution. Mean size of polarization clusters, mean distance between two clusters, and mean polarization of the clusters are obtained from spatial correlation function. Time correlation function of speckle intensity is measured by use of Michelson type optical delay system and streak camera. Relaxation time of polarization in clusters is obtained. ERL X-ray sources are the best candidate to apply this method to investigate dynamics of inhomogeneous structure in materials.

誘電体の分極ドメインや分極クラスター、磁性体の磁区、銅酸化物高温超伝導体の電荷ストライプなどのナノサイズの2次構造は、応用の観点からも基礎の観点からも物質科学の重要な階層と位置づけられている。特に、これらの動的ふるまいは物性発現の鍵を握る極めて重要な結節点である。しかしながら、これまで行なわれてきたナノサイズの2次構造に関する研究の多くは空間的・時間的な平均構造に関するもので、空間的・時間的な局所構造を明らかにするような研究は極めて少なかった。

最近の高輝度光源の出現によって、今日では固体による干渉性散乱が観察できるようになり、誘電体や磁性体を対象としたスペckルの観察がおこなわれ、これらの物質の空間的・時間的なスペckル像のゆらぎに関する知見が得られるようになってきた。しかしながら、高輝度光源といえども、放射光 X 線の空間コヒーレント成分は極めて小さく、ビームの 10⁻³ 程度しかなく、放射光によるダイナミクスの研究は 100μs 程度が限界である。これに対し、プラズマ基盤の軟 X 線レーザーは、空間コヒーレント成分はビームの 80% 以上もあり、1 パ

ルス当たりの光子数は 10^{10} 程度もある。この光源によると 10ps 弱の分解能でダイナミックスの研究を実行することができる。

プラズマ基盤の軟 X 線レーザーを用いて BaTiO₃ の分極クラスターのスペックルが観測された。スペックルは、分極クラスターの複屈折に起因するもので、分極クラスターは位相散乱体として働いている。観測された密度相関関数から分極クラスターのサイズ、クラスター間距離および分極の大きさの温度依存性に関する知見が得られた¹⁾。このような分極クラスターの温度依存性に関する知見は BaTiO₃ の相転移の機構を論ずる上で欠かすことの出来ない情報であるが、静的特性に関する知見とともに重要な情報は動的特性に関するものである。ビームスプリッターとマイケルソン型の遅延光路によって時間差のあるダブルパルスビームを生成し、スペックルの強度相関を測定して分極クラスターの緩和の特性時間が求められた。このような研究は、X 線自由電子レーザーやエネルギー回収型ライナックなどの強力なコヒーレント光源の実現によって空間的にも時間的にもその適用領域が広がっていくであろう。

これらの研究は Tai RenZohn,(SINAP), 岸本牧(JASEA)らとの共同研究による。

1) R. Z. Tai, K. Namikawa, et al., Pys. Rev. Lett. 93, 087601 (2004).