

シリコン歪み結晶による X 線の巨大横すべり現象

香村芳樹、澤田桂、田中義人、石川哲也(理化学研究所)

完全結晶を用いた Bragg 反射では、分散面にギャップ(Δk)が生じる。実空間で、結晶に歪みが存在し、逆空間で、Bragg 条件近傍であるという二条件が満たされると、X 線波束は、結晶中を伝播中、歪みと、結晶の周期性による分散関係を感じる。この際、波数空間と実空間の両方の性質を反映した(Berry 位相に関連した)補正項が大きく効いて、巨大な横ずれを起こす事が予言されている[1、図 1]。X 線波束の横ずれ量は、歪み量 u に比例し、比例係数は $k/\Delta k=1/\delta$ のオーダーとなる(ただし、 k :X 線波数)[1]。15keV の X 線に対する Si 結晶の場合で、 $1/\delta=3 \cdot 10^7$ であり、10 nm 程度の歪みから、容易に mm のオーダーの X 線波束の横ずれが生じる事が予言されている。波長の二乗に反比例して短波長で大きな効果が生じる点が応用上興味深い。我々は、この理論の実証に成功した。

実験は、SPring-8、アンジュレータービームライン BL19LXU にて、15keV の X 線を用いて行われた。分光器下流に結晶光学系を入れ、ビームのエネルギー分散、角度発散を低減した。両面研磨された $100\mu\text{m}$ の Si 結晶試料を用いた。試料を Wax 固定した際僅かに湾曲し結晶歪みを生じた。X 線を Bragg 角 18 度程度で結晶に入射させた所、X 線は結晶中を約 5mm 伝播し、結晶の縁に到達しピークを生じた(図 2)。縁から X 線は、再び入射光に平行に、14 秒角以下の極低発散角で出射された。これらは、理論[1]から予言された結果である。全反射を利用しない X 線導波効果であり、極低発散角の出射光が得られる。

我々は、吸収の小さいダイヤモンド単結晶、エピタキシャル結晶を使った実験でも同様の効果を実証した。100 フェムト秒~1 ピコ秒程度で高速応答する光学素子や実験手法を目指して開発しており、X 線 FEL や ERL と呼ばれた次世代放射光科学に不可欠な基礎技術に発展する可能性がある。また、身近な結晶の周期ポテンシャルが Berry 位相の効果を生む事が実証されたため、基礎物理学の多方面への展開が期待される。

[1] Sawada et al., PRL, **96**, 154802 (2006)

[2] Y. Kohmura, et al., Phys. Rev. Lett. **104**, 244801 (2010), B.W. Adams, Physics **3**, 50 (2010)

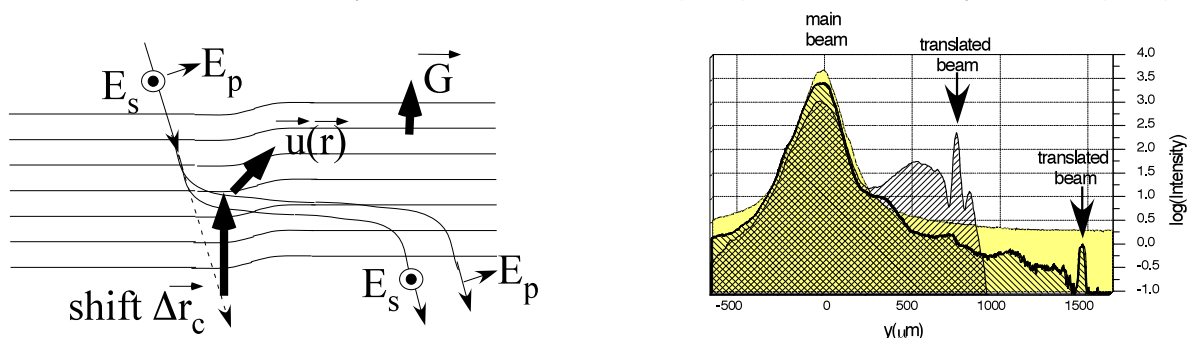


図 1 (左). 歪み結晶を透過する X 線の軌跡。図 2 (右). 実験結果の一次元プロファイル。メインピークから右方向へ X 線ビームが伝播し、ピークが形成された。結晶を Off-Bragg 条件に設置した場合と、Bragg 条件近傍に設置し、X 線入射位置を二通り変えた場合のプロファイルを併記した。