X 線構造光による完全結晶のブラッグ反射の制御

Controlling Bragg reflection from a Silicon Crystal by X-ray Structured Light

理化学研究所　○香村 芳樹，澤田 桂，Chi-Feng Huang，石川 哲也

RIKEN SPring-8 Center, °Yoshiki Kohmura, Kei Sawada, Chi-Feng Huang, Tetsuya Ishikawa

E-mail: kohmura@spring8.or.jp

周期的な構造をもつ媒質を伝わる電磁波は、分散関係のギャップをもつ。分散面のギャップ内の周波数・波数に対応する光を入射されると、媒質中では伝搬が許されないために全反射する。この全反射がブラッグ反射であり、X 線領域では結晶構造解析などに利用されている。ギャップの大きさを操ることで、電磁波の伝搬や回折などを制御することができる。格子歪みや不純物などによって媒質の周期性が乱れると、格子歪みの量の 5-6 倍も X 線が横すべりする現象[1]が起こったり、ギャップ中に不純物準位が生じて媒質中を光が伝わることができるようになるなどして、ブラッグ反射が抑制される。本講演では、媒質として完全結晶を用いて周期性を保ちつつ、照射する X 線に位相変調させることで、ブラッグ反射を制御できることを示した。

本研究では、分散面のギャップが閉じた状態を作るために、シリコン結晶の禁制反射面である(222)面に着目した。実験では、禁制反射面であるシリコン(222)面のブラッグ角で 9keV の X 線を入射させ、反射率を調べた。禁制反射では、シリコンの単位胞の構成原子の周囲に対称に存在する電子雲は、destructive な干渉を起こして反射を打ち消している。入射光が構造をもたない場合の反射率を測定したところ 2×10^{-3} 程度であり、非常に小さい値ではあるものの非ゼロであった。これは、原子周囲の非対称な電子雲や原子間の結合電荷の分布[2]に由来すると考えられる。

次に、階段状の位相差 π の飛びを周期的に与えた X 線の構造光をシリコン(222)面に照射した場合の反射率について調べたところ、反射強度は、ブラッグ反射した X 線ビームに一様に観察された。この周期性を 40 周期おきに破った X 線構造光を照射した場合には、周期性の破れた領域でのみ、入射角度に依存して反射強度が増減する現象が見られ、結晶試料でのブラッグ反射を X 線ビームがもつ構造によって制御できた。この現象の理解のために、完全結晶の Takagi-Taupin 方程式[3]を X 線の構造光に応用したシミュレーションを始めている。

[1] Y. Kohmura *et al*., Phys. Rev. Lett. **104**, 244801 (2010), Y. Kohmura *et al*., Phys. Rev. Lett. **110**, 057402 (2013), K. Sawada *et al*., Phys. Rev. Lett. **96**, 154802 (2006).

[2] D. Mills and B. W. Batterman, Phys. Rev. B **22**, 6 (1980), M.A. Spackman, Acta Cryst. A**42**, 271 (1986).

[3] S. Takagi, J Phys. Soc. Jpn, **26**, 1239 (1969), D. Taupin, Acta Cryst. **23**, 25 (1967).

© 2020年 応用物理学会