環状暗視野 STEM 法による局所的熱振動異常の直接観察

物質・材料研究機構 阿部 英司

Fig. 1 ADF-STEM 法の模式図と GaAs の原子像.

Fig. 2 Al 原子の TDS 分布の DW 因子(M) に対する変化. 点線は, M によって弱められたそれぞれの弾性散乱に対応する.

Fig. 3 $\text{Al}_{72}\text{Ni}_{20}\text{Co}_8$ 正10角形準結晶の構造単位である直径約 2 nm の10角形クラスターの (a) 室温 (300 K) と (b) 1100 K で撮影した ADF-STEM 像. それぞれに X-Y に沿った強度プロファイルを示してある. (c) $\text{Al}_{72}\text{Ni}_{20}\text{Co}_8$ 10 角形クラスターの構造モデル.

環状暗視野走査透過電子顕微鏡法 (ADF-STEM) における原子分解能像 (Fig. 1) は, 微小収束電子ビーム ($\phi < \sim 0.2 \text{ nm}$) を試料上走査した際, 個々の原子コラム一つ一つから主に熱散漫散乱 (Thermal Diffuse Scattering: TDS) されて検出器上へ到達する電子強度を独立に測定した結果として解釈することができる⁽¹⁾. TDS 強度は, 個々の原子コラムのデバイ・ワラー (DW) 因子 (原子熱振動振幅の平均自乗変位量により定義される) に敏感であることに着目し (Fig. 2), 準結晶化合物中で局所的に DW 因子異常を示す原子サイトの直接観察を試みたのが本研究である⁽²⁾⁽³⁾. Fig. 3(a), (b) はそれぞれ $\text{Al}_{72}\text{Ni}_{20}\text{Co}_8$ 準結晶の構造単位である10角形クラスターの室温 (300 K) と 1100 K その場観察で得た ADF-STEM 像である. クラスター中心近傍のコントラストを注意深く比べると, 矢印で示した Al 位置 (Al_α : Fig. 3(c)) における強度が顕著な温

度依存性を示すことが分かる. この温度に依存した可逆的な ADF 強度変化は, Al_α サイトにおける DW 因子が他の Al サイトのそれと比較して高温で異常に大きくなっているためであると解釈される (Fig. 3(c)). 周期系・非周期系を問わず, 固体中の局所的な熱振動 (DW 因子) 異常を直接観察した初めての例となった⁽²⁾⁽³⁾.

文 献

- (1) S. J. Pennycook and D. E. Jesson: Ultramicroscopy, **37** (1991), 14.
- (2) E. Abe, S. J. Pennycook and A. P. Tsai: Nature, **421** (2003), 347.
- (3) 阿部英司: 固体物理, **38** (2003), 881; 日本結晶学会誌, **45** (2003), 378.

(2004年7月28日受理)

Direct Observation of a Local Thermal Vibration Anomaly by ADF-STEM; Eiji Abe (National Institute for Materials Sciences, Tsukuba)
Keywords: scanning transmission electron microscopy, annular dark-field, thermal diffuse scattering, Debye-Waller factor, quasicrystal
TEM specimen preparation: crush method (ADF-)STEM utilized: JEM-2010F (200 kV, Cs=0.5 mm, detector inner angle $\sim 45 \text{ mrad}$)