

準結晶固体中の局所的な熱振動異常の直接観察に成功

- 電子顕微鏡によるナノ領域計測の更なる可能性 -

平成15年1月23日

独立行政法人物質・材料研究機構

科学技術振興事業団

【概要】

独立行政法人物質・材料研究機構（理事長：岸 輝雄）材料研究所非周期系材料グループ（ディレクター：蔡 安邦）の阿部英司主任研究員は、科学技術振興事業団（理事長：沖村 憲樹）及びアメリカ・オクリッジ国立研究所の Stephen J Pennycook（スティーブ・ペニクック）博士と共同で、準結晶*1 固体中の局所的な原子熱振動*2 異常を、電子顕微鏡直接観察により捉えることに世界で初めて成功した。

今回の成果により、電子顕微鏡が固体中の原子の並びや種類だけではなく、その熱ゆらぎなどに起因する極微小変位（ $\sim 0.01\text{nm}$ （千億分の1メートル）のオーダー）に関する情報までも得ることが可能であることが示された。従来、このような微小変位情報を実空間で直接捉えることは非常に困難であるとされていただけに、本成果は物質・材料中における局所ナノ領域の物性測定の幅を広げる新たな手法として、更なる応用・展開が期待される。

なおこの成果は、科学技術振興事業団戦略的創造研究推進事業の研究テーマ「準周期構造を利用した新物質の創製」の一環として得られたもので、1月23日付け英国科学誌「ネイチャー」で発表される。

1. 研究の背景

電子顕微鏡は固体物質中の原子配列を直接観察できるため、局所的な欠陥構造など周期を持たないような領域の原子の配列を知るための最有力手法である。近年の技術的な発展により、原子レベルのオーダー（ $\sim 0.1\text{nm}$ ）まで電子ビームを細く絞り込むことが可能となった。これを走査プローブとして用いる走査透過電子顕微鏡法（STEM）は、従来の高分解能電子顕微鏡法とは原理的に異なるプロセスで原子像を得るため、これまで得られなかった局所構造情報取得の可能性が見込まれていた。

準結晶は、通常の結晶のような周期性を持たないが、準周期とよばれる長距離秩序を持つ奇妙な固体である。理論的に、フェイゾンと呼ばれる準結晶特有の局所的な熱ゆらぎ現象が予測されていたが、準結晶固体中の「どこ」でそのような現象が顕著になるのか、といった実空間分布に関する情報は得られていなかった。フェイゾン挙動の解明は、準結晶のような奇妙な構造がなぜ安定になれるのか、という本質的な問いに対する答えに直接結びつくと考えられている。

2. 今回の研究成果

今回、環状暗視野検出器と組み合わせた STEM（環状暗視野走査透過電子顕微鏡法（ADF-STEM）と呼ばれる）（図1）を用いて、アルミニウム・ニッケル・コバルトの化合物である準結晶固体の原子像を、室温（約 20 ）と高温（約 830 ）で撮影した。その結果、高温状態ではある特定の位置での像強度が著しく上昇することが判明した（図2）。詳細な検討により、この強度上昇は、これらの位置におけるアルミニウムの原子振動振幅が（相対的に）異常に大きくなっていると考えるとよく説明できることが分かった。周期性・非周期性を問わず、固体中の局所的な熱振動異常を直接観察した初めての例である。

さらに、これらの特定のアルミニウム原子における局所的な熱振動異常は、フェイゾンゆらぎとして解釈が可能であることも併せて示され、準結晶中のフェイゾンゆらぎを原子レベルで直接捉えた最初の例ともなった。

3. 研究の意義と今後の展開

今回の研究結果は、電子顕微鏡が固体中の原子配列のみならず、その熱振動などに起因する極微小変位までも捉えることが可能であることを示した。局所的な振動異常や微小歪みは、その物質の物理特性を直接支配する因子となるため、ナノレベルで微細構造制御された材料の新たな特性評価法としての展開がおおいに期待される。

また、今回得られたフェイゾンゆらぎの実空間分布の情報は、準結晶構造の安定性に関する理論的、実験的側面からの議論に新たな展開を促すものと考えられる。

用語説明

1. 準結晶

結晶は、ある単位構造の繰り返しによる周期構造として理解される。準結晶は、このような周期性とは異なる長距離秩序を有する固体で、5回対称などの周期性と相容れない回転対称性によって特徴づけられる。

2. 熱振動

ある温度における固体中の原子は静止しているわけではなく、安定点を中心として非常に高い振動数で振動している。その振動の振幅は、一般に0.01nmのオーダーである。

(問い合わせ先)

独立行政法人 物質・材料研究機構

広報・支援室 TEL : 029-859-2026

(研究内容に関すること)

独立行政法人 物質・材料研究機構

材料研究所 非周期系材料グループ 主任研究員 阿部 英司

TEL : 029-859-2349 E-mail ABE.Eiji@nims.go.jp

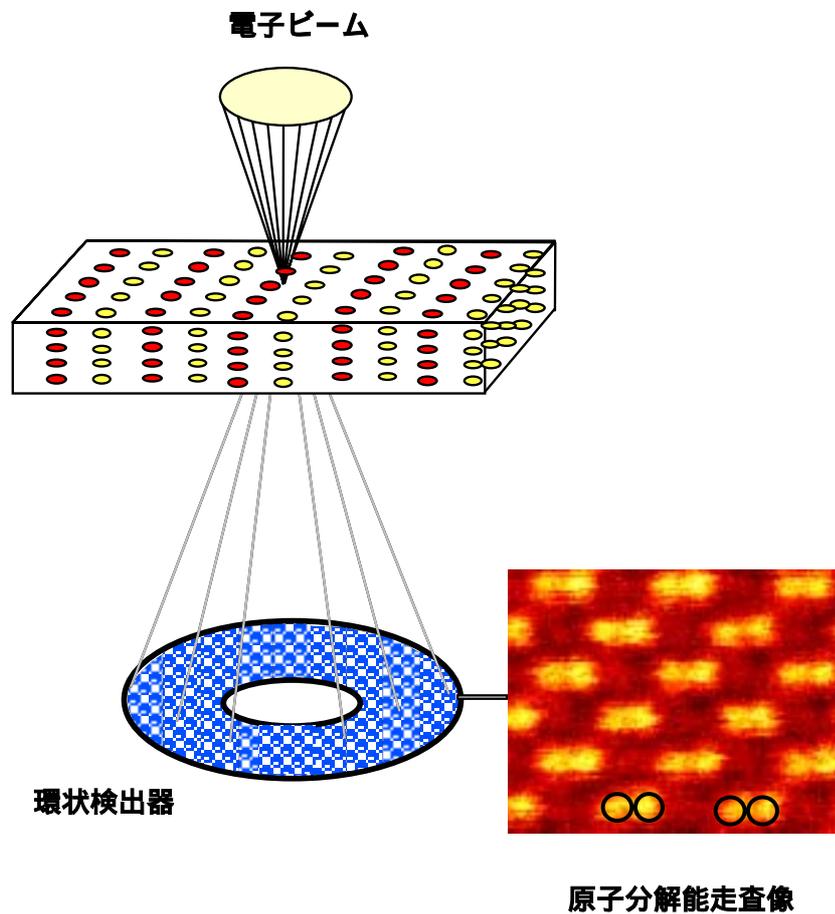


図1 環状暗視野走査透過電子顕微鏡法 (ADF-STEM)における原子像形成。
非常に細く絞った電子ビームを試料上2次元的に走査し、試料中の原子によりある角度方向に散乱されてできた電子強度を環状検出器にて測定する。

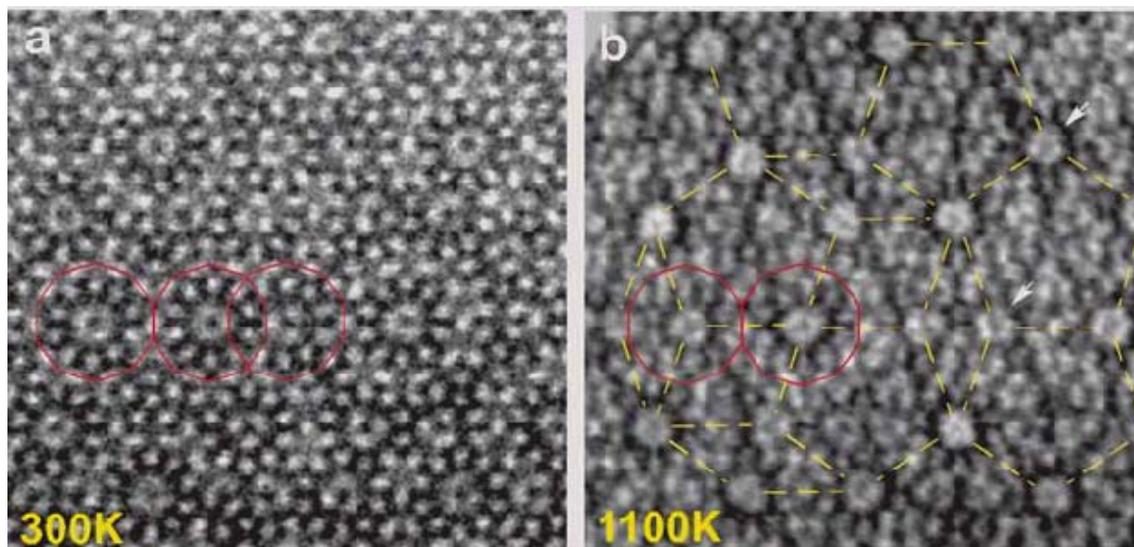


図2 Al-Ni-Co 正 10 角形準結晶の ADF-STEM による原子像。

(a)は室温(約 20)で、(b)は高温(約 830)でそれぞれ撮影した。図中赤で示した直径約 2 ナノメートルの 10 角形は、この準結晶の構造単位と考えられている原子クラスターである。高温においては、5 角形を基本とする準格子 (b 中の黄点線) 点上にある特定クラスターの中心近傍でコントラストが著しく強くなっている。この強度上昇は、クラスター中心にあるアルミニウム原子の熱振動振幅が異常に大きいためであると考えられる。