

シリコンクラスターのクラスタービーム生成法

Cluster beam Method for Si nanoparticle

研究者名 西村公宏

要旨

サイズが数 nm から数十 nm の超微粒子は構成原子の大半がその表面に存在することから、バルク材料とは違った性質を示すことが期待される。しかし、その構造や物性を実験的に測定するためには素性の確かな粒子表面を生成することが必要不可欠である。

ガス中におけるレーザー蒸発を用い、原子数が 30 ~ 4000 のシリコンクラスタービームを生成することに成功した。飛行時間型質量分析計によりクラスターのサイズ分布を測定し、その圧力依存性を調べた。生成チャンバーの圧力が高いとサイズは大きい方にシフトし、またクラスターの速度も大きくなる。ビームの大部分はシリコン原子数が数千のナノ粒子である。クラスターの速度分布はそのサイズに依存し、小さいクラスターほど速度は大きい。速度分布の観測結果はクラスターが不活性ガス流中での分子衝突によって加速されることを示しており、モデル計算により説明できる。

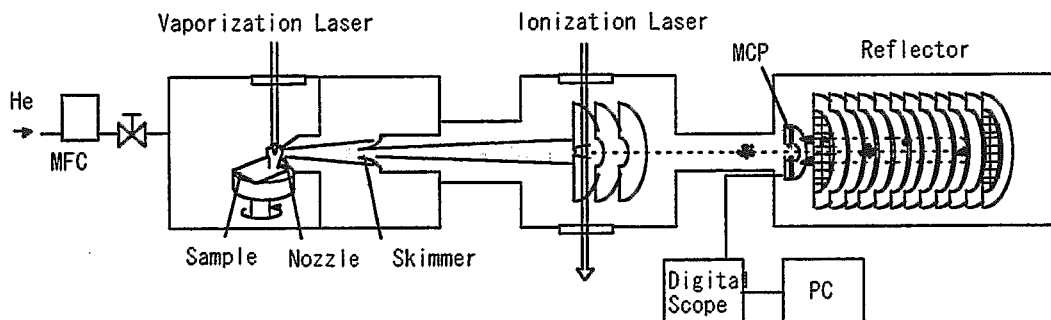


図1 ガス中レーザー蒸発装置と飛行時間型質量分析装置

生成したクラスターを差動排気によってヘリウムガス流とともに高真空中へ導く。蒸発レーザーに対し、イオン化レーザーを T_d (ディレイ時間) だけ遅れて照射して、クラスターの質量分布を測定する。

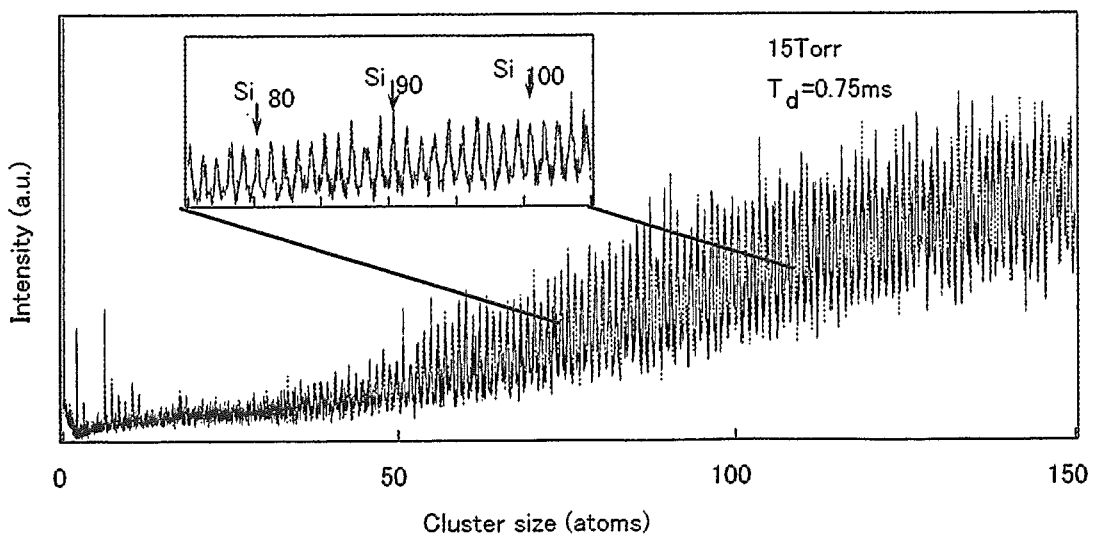


図2 低質量側の質量スペクトル

シリコン原子1個に対応するピークが分離され、観測されている。

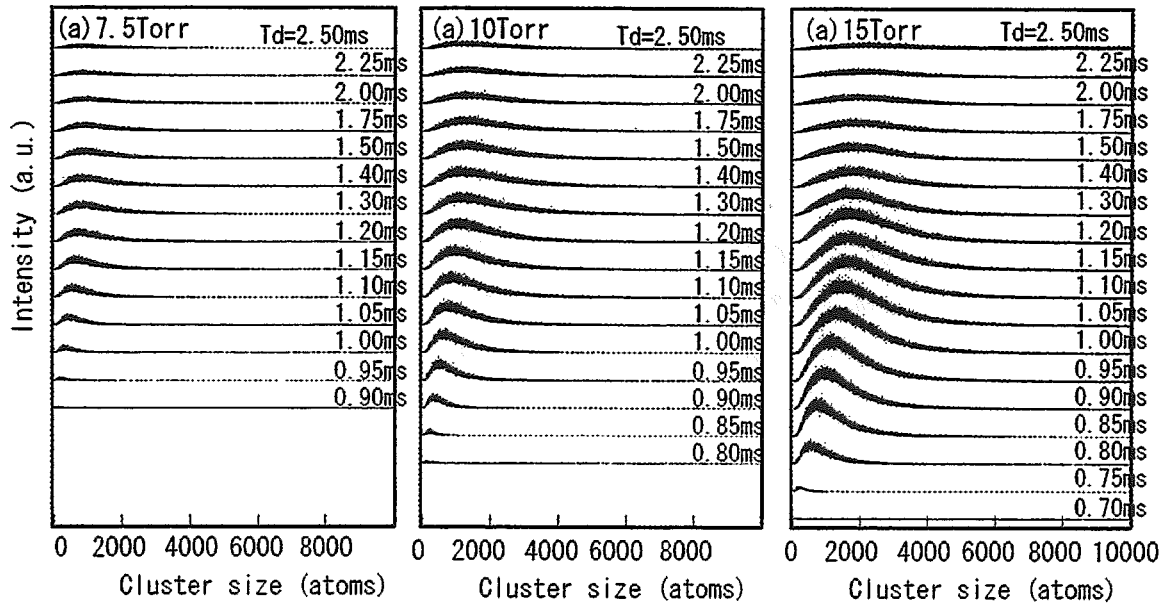


図3 クラスタースペクトルの質量スペクトルと蒸発チャンバー内の圧力 P の関係。(a)P=7.5Torr, (b)10Torr, (c)15Torr

ディレイ時間により質量スペクトルは変化する。小さいクラスターは早く観測され、大きいクラスターは遅れて観測される。これは、クラスターがサイズに依存した速度分布を持って飛行するからである。また、生成チャンバー内の圧力が高いほどサイズの大きいクラスターが生成し、飛行速度も大きくなる。

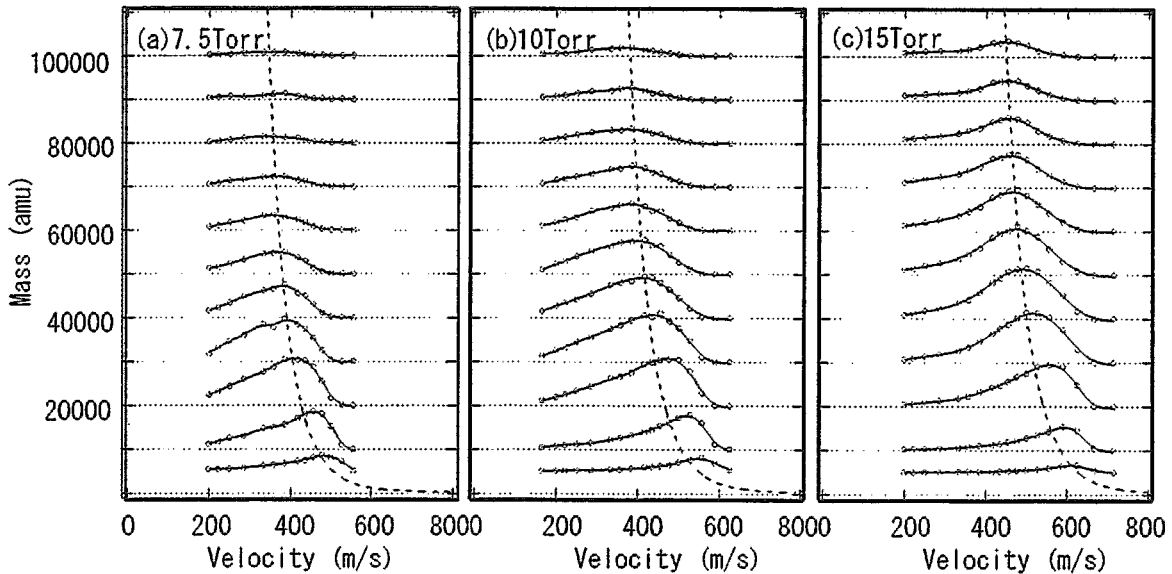


図4 クラスタースペクトルの速度分布。(点線はモデルによる計算値)

ディレイ時間 (T_d) を蒸発チャンバーのノズルからイオン化位置までの距離 (0.5m) を飛行する時間とみなして速度に換算し、クラスターサイズごとに図3の質量スペクトルの強度をプロットした。

一定速度のガス流中のクラスターの加速を剛体球の衝突モデルにより計算すると、加速距離 L での到達速度 V とクラスター質量 M の関係式として次式が得られる。

$$M = \frac{9\pi (mnL)^3}{16 \rho^2} \left\{ \frac{V}{V_{He} - V} - \ln \left(\frac{V_{He}}{V_{He} - V} \right) \right\}^{-3}$$

ここで、m はヘリウム分子の質量、n は単位体積あたりのヘリウム分子の数、 V_{He} はヘリウムの流速、 ρ はクラスターの密度である。計算では $V_{He}=1200\text{m/s}$ 、またヘリウム分子の数密度として (a) $n=0.80 \times 10^{23}/\text{m}^3$, (b) $n=1.06 \times 10^{23}/\text{m}^3$, (c) $n=1.59 \times 10^{23}/\text{m}^3$ を用いた。