

# フランクアタック粒子サイズ選別法

—新しい選別法の提案—

呉 海萍

大きさ数ナノメートルの微結晶を含むポーラスシリコンが室温で可視部領域の強い発光を示すことが発表されて以来、シリコンベースの発光素子として、ポーラスシリコンやシリコン微粒子は多くの研究者に注目されている。間接型半導体の発光現象が量子の空間閉じ込め効果の一例と一般的に考えられている。本研究ではサイズの揃ったナノ粒子の生成・サイズ制御・捕集法を確立し、シリコンナノ粒子の発光についてサイズ効果や表面効果を調べた。

ヘリウムガス中レーザーアブレーション法によって直径が一ナノから十数ナノのシリコンナノ粒子を生成し、クラスタービームとして真空中に引き出した。アルゴン分子ビームをクラスタービームに直交させるフランクアタック(Flank-attack)法によって、小さいクラスターがアルゴン原子の衝突により吹き飛ばされ、大きいクラスターだけをクラスタービームの下流に設置された基板上に捕獲した。ヘリウムガス圧を制御してシリコン粒子の最大サイズを制御することによって、平均粒径 6nm, 10nm, 11nm のシリコン微粒子をサイズ選別、捕集した。サイズ分布の相対半値幅は平均粒径  $d$  によらず、 $\Delta d/d \approx 0.3$ であった[1]。

フランクアタック法によってサイズ分布を持つシリコンナノ粒子の薄膜を作った。薄膜を大気中に暴露した後、レーザー光励起をすると、強い赤い発光が観察された。発光のピークは薄膜の場所によって変化した。すなわち粒子の平均サイズが 10nm から 3~4nm に変化すると、1.41eV ( $\lambda=880\text{nm}$ ) から 1.72eV ( $\lambda=720\text{nm}$ ) の間で変化した[2]。

[1] Wu, H.-P.; Nishimura, K; Kebaili, N.; Takayanagi K.; J. Appl. Phys., submitted.

[2] Wu, H.-P.; Okano, A.; Takayanagi K.; Appl. Phys. A, accepted.

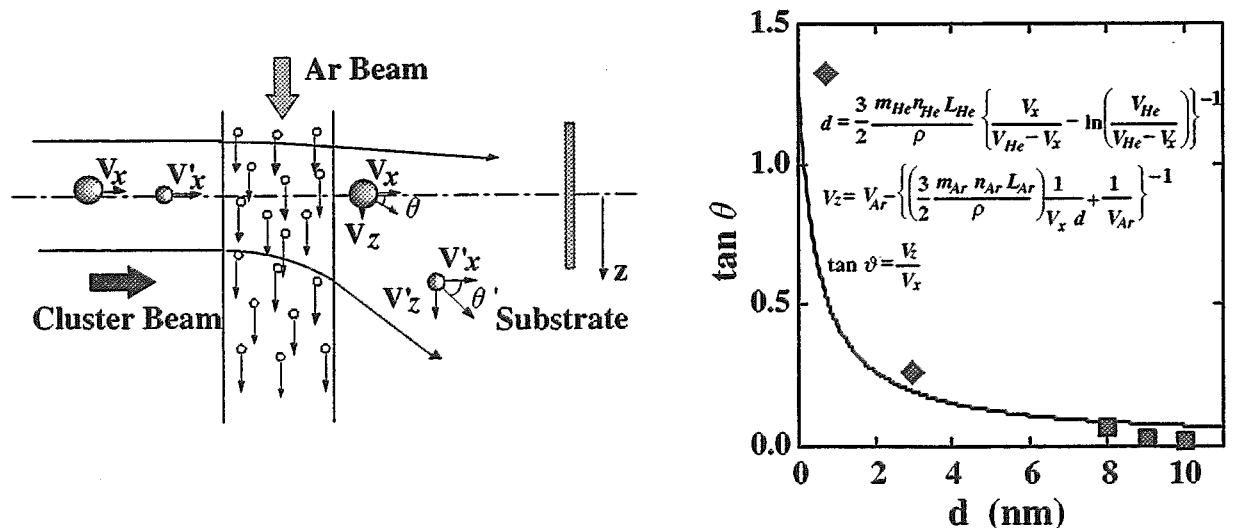


図 1. フランクアタックサイズ選別法の原理図。左は簡単なモデルによってアルゴン原子の衝突による粒子偏向角度の計算と実験値及び計算式。ここでは、 $d$ —粒子の粒径； $\rho$ —粒子の質量密度； $V_x$ —クラスタービーム中粒子の飛行速度； $V_z$ —クラスタービーム垂直の方向にアルゴン原子の衝突によって粒子が得た速度； $m_{\text{He}}, n_{\text{He}}$ —ヘリウム原子の質量，数量密度； $V_{\text{He}}$ —ヘリウムガスの流速； $m_{\text{Ar}}, n_{\text{Ar}}$ —アルゴン原子の質量，数量密度； $V_{\text{Ar}}$ —アルゴンガスの流速。実線はモデル式により計算値。■—電子顕微鏡観察より統計実験値。◆—飛行時間型質量分析計による質量分析結果により推測実験値。実験条件：He—8torr, Ar—30sccm。

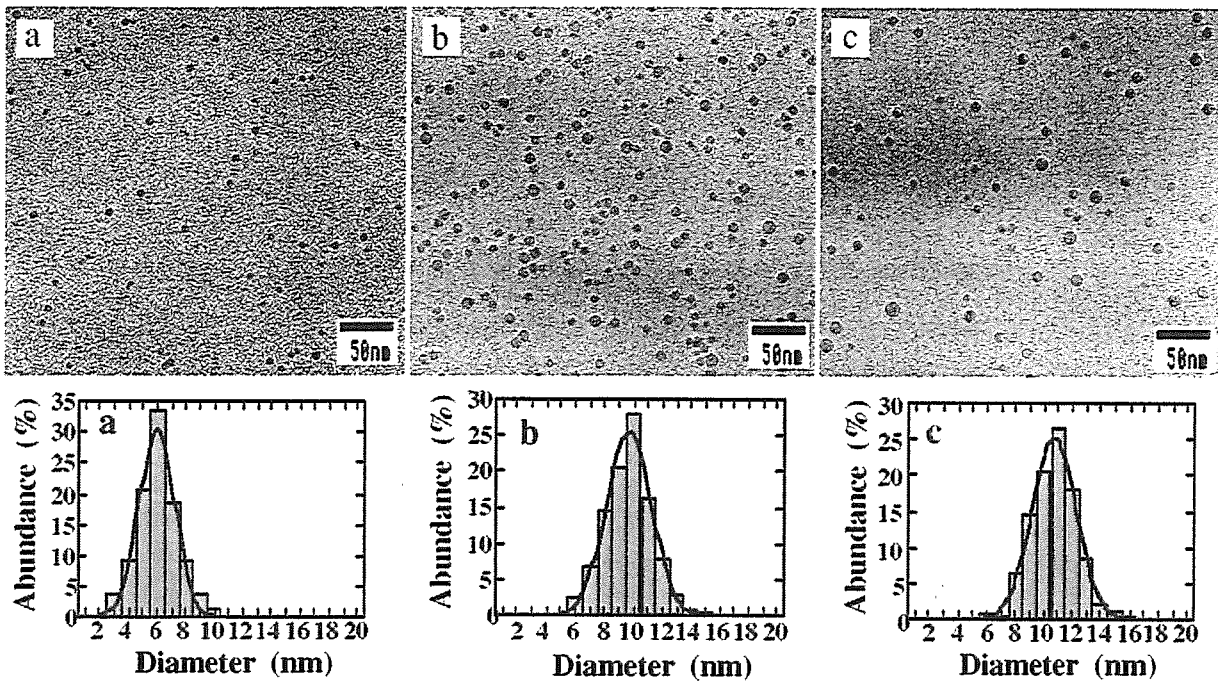


図2 フランクアタック法によるサイズ選別捕集した Si 微粒子の透過電子顕微鏡像。実験条件と平均粒径：(a) He 5.5torr, Ar 15sccm, 6nm；(b) He 8torr, Ar 30sccm, 10nm；(c) He 12torr, Ar 35sccm, 11nm。

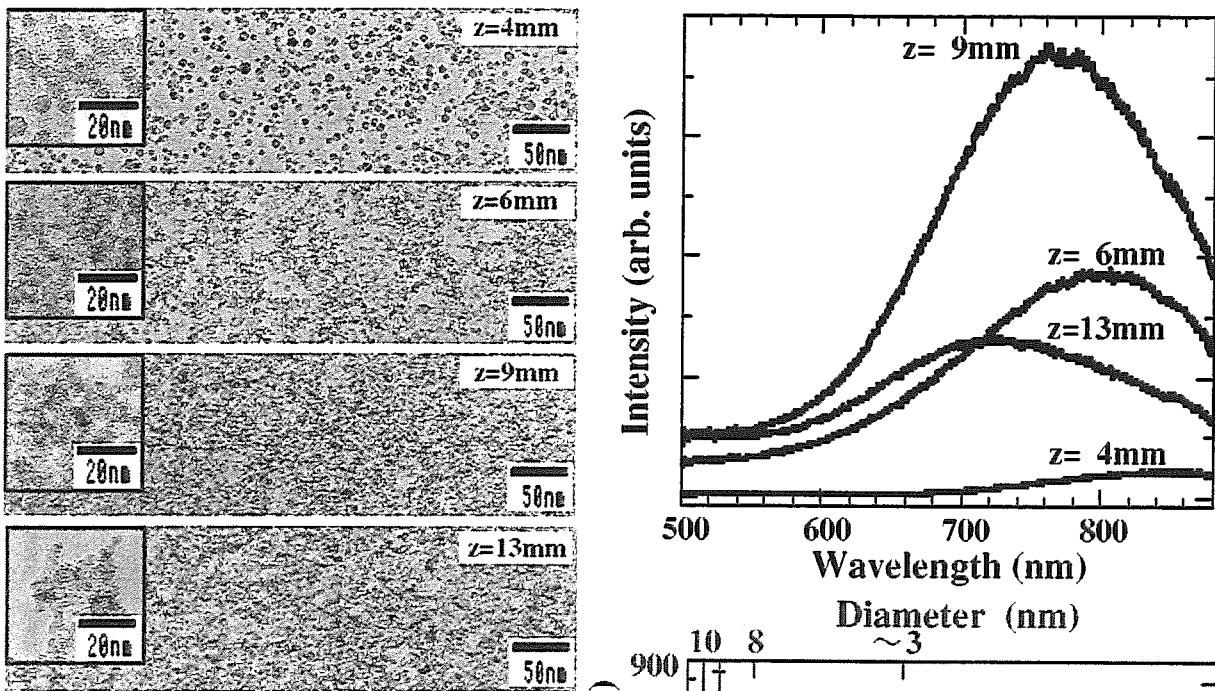


図3 フランクアタック法で作成したサイズ分布を持つ Si ナノクラスター薄膜の発光特性。薄膜作成実験条件：He-8torr, Ar-30sccm。

左：Ar ビームアタック方向  $z=4\text{mm}$ ,  $6\text{mm}$ ,  $9\text{mm}$ ,  $13\text{mm}$  各位置の薄膜の透過電子顕微鏡像。Si 粒子の平均粒径は  $z=4\text{mm}$  の位置に  $8\text{nm}$ ,  $z=13\text{mm}$  の位置に  $3\sim 4\text{nm}$  の粒子が多く見られる。クラスター軸から遠いほど平均粒径が小さいことを確認した。

右上： $z=4\text{mm}$ ,  $6\text{mm}$ ,  $9\text{mm}$ ,  $13\text{mm}$  各位置の薄膜の発光スペクトル。右下：発光ピークの  $z$  依存性。