

金沢大学総合メディア基盤センター 佐藤正英  
 名古屋大学理学研究科 上羽牧夫  
 名古屋市立大学システム自然科学研究科 三浦均

本研究課題では結晶表面上のステップのパターンを調べている。特に、前方に一定の速度でステップから遠ざかる直線的な粒子供給源がある場合のステップの不安定化を、フェーズフィールドモデルを用いて調べている。

このモデルは低温でガリウム(Ga)を入射時のシリコン(Si)(111)微斜面でのステップの不安定化を念頭においたモデルである。Si 表面では Ga を入射することでステップ下段の近傍から表面構造の転移が起きる。表面構造の相境界は転移に伴って過剰になった Si 原子を結晶表面上に放出しながらステップから遠ざかる。以上のことを考慮に入れて、ステップ前方に一定の速度で遠ざかりながら一定の原子を供給する直線的な粒子の供給源を考えている。

実験ではテップが楕状のパターンを形成することが観察されている。我々のモデルでも、ステップの異方性があり粒子供給源の速度が比較的遅い場合に、楕の歯状パターンが作られる。ステップがマリンス - セカーカ型の不安定性を起こして細かい突起状パターンが形成された後、粗大化を経て楕状パターンが形成される。現在は、粗大化を楕の歯状のパターンを作る過程に焦点を当てている。

これまでの研究から、最終的に表れる楕の歯の間隔が、粒子供給源の速度とともに変化することが分かっている。図 1 のように、比較的低速度側では、速度が増加するにもなって楕の歯の間隔も狭くなっている。これに対して、高速側では、速度が増加するとともに楕の歯の間隔が広がる。低速側では楕の歯の間隔は粒子源速度の二分の一乗で狭くなっている。初期に起きるマリンスーセカーカ型の不安定からも、初期の不安定化の波長は粒子源速度の二分の一乗で減少することから、初期の不安定化の影響が反映されていると考えられる。一方で、楕状の解があると考えると、楕の歯の先端の曲率が大きい枝のほうが、ギブストムソン効果によって速く成長することができると考えられる。その性質を持っているものが高速側の解であると考えられる。

まず、ほぼ同一の枝間隔になる条件で高速側と低速側では過飽和度の分布や枝の形状がどのように異なるかを調べた。図 2 は高速度側での形状と過飽和度の分布を表している。枝の輪郭は白い線で表している。濃淡は濃度の変化を表しており、左側の濃い部分は

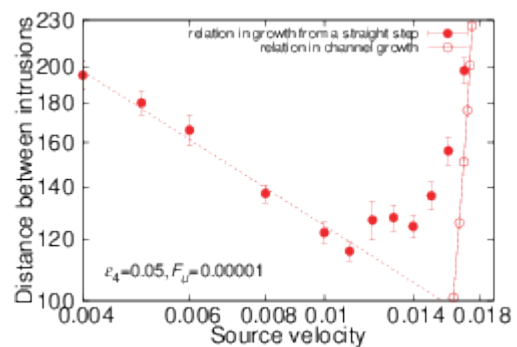


図 1 粒子源速度と楕の歯の間隔の関係

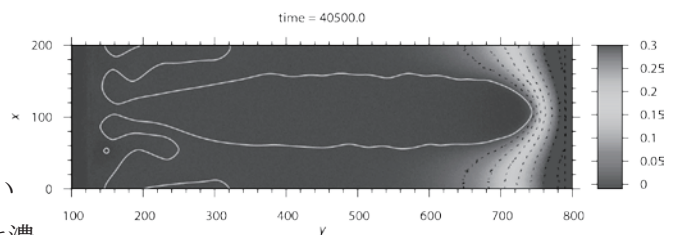


図 2 低速度側での過飽和度とステップ形状

低過飽和度の領域で右側は高過飽和度の領域である。点線は等過飽和度線を表している。ステップの前方近傍で急激に濃度に変化していることが分かる。図3は低速度側での形状と過飽和度の分布である。濃度勾配が高速度側ほど形成していないことが分かる。また、ステップと粒子供給源の距離も狭くなっている。濃度勾配が先端近傍以外ではあまりできていないことを反映して、高速側の形状よりも先端が鋭くなっている。

図4と5は、高速度側と低速度側での櫛の歯状の枝の間隔の時間変化(図4a,図5a), 櫛の歯の先端と粒子供給源の間の時間変化(図4b, 図5b), および粒子供給源に対するステップ先端の速度の比の時間変化(図4c, 図5c)を表している。

高速度側(図4)の場合には、比較的早く粒子供給源に追いつていることが分かる。また、粒子供給源に追いついた後にもゆっくりと粗大化が進んでいることもわかる。これに対して低速度側(図5)では、一旦、ステップが粒子供給源から大幅に引き離される。そののちに、粒子供給源よりも大幅に速く成長し始めたのち粒子供給源に追いつき、粒子供給源と同じ速度で成長することが分かる。これら2つの粗大化の過程の違いは、図1に見られる低速度側と高速度側での枝間隔の粒子供給源速度依存性の違いと関連していると考えられる。現在、関連性をより詳細に説明することに取り組んでいる。

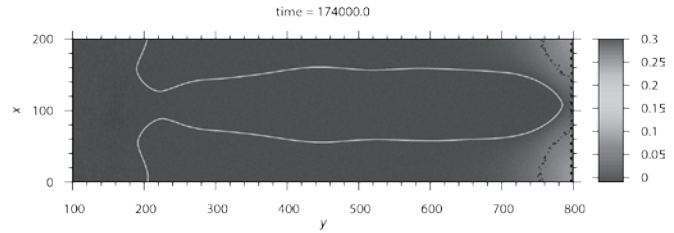


図3 高速度側での過飽和度とステップ形状

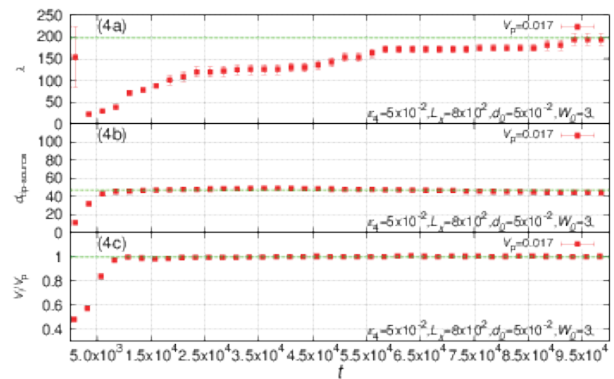


図4 高速度側での枝間隔, 先端と粒子供給源の距離, ステップ先端の速度の時間変化

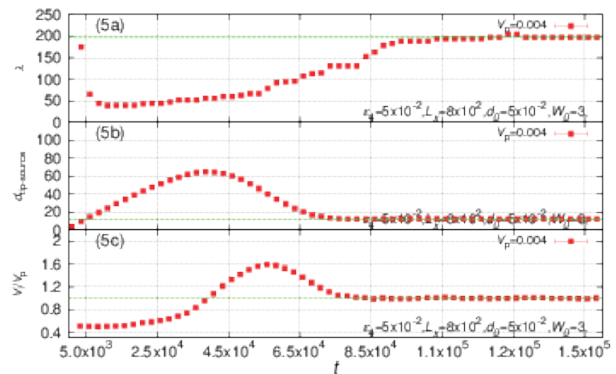


図5 高速度側での枝間隔, 先端と粒子供給源の距離, ステップ先端の速度の時間変化