

# ISS・きぼう利用ミッション

## 「微小重力環境下における混晶半導体結晶成長（略称:Alloy Semiconductor）」

### 研究成果概要書

代表研究者： 稲富 裕光（JAXA 宇宙科学研究所）

平成 29 年 2 月

#### 1. 研究内容

$\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  三元混晶半導体はその組成比を変えることにより、発光受光の波長を  $1.7\ \mu\text{m}\sim 6.8\ \mu\text{m}$  の範囲で制御できるため、熱光発電デバイスや各種ガスセンサー等を作製する上で重要な材料である。しかし、地上で均一組成の良質な単結晶を成長させることは難しい。地上では対流の影響が大きいいため、結晶成長界面におけるカイネティクスと結晶成長速度や結晶品質との関係は未だよく理解されていないのが現状であり、結晶成長中の固液界面近傍での熱物質輸送過程の解明が必要不可欠である。

そこで、本宇宙実験は、微小重力環境下において  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  混晶半導体の結晶成長実験を行い、地上実験結果と比較することで以下の点を明らかにする：(1) 重力に起因した自然対流や拡散が混晶半導体結晶成長に及ぼす効果、(2) 混晶半導体の溶解や成長過程の面方位依存性。

#### 2. 実験方法

重力効果を調べるために、GaSb 種結晶/Te 添加 InSb/GaSb 供給原料から構成されるサンドイッチ構造の試料を用いて地上実験と微小重力実験を行い、GaSb の種結晶と供給原料の溶解量、結晶成長速度、In 組成分布、欠陥密度分布を測定し、比較検討した。また、結晶面方位効果を明らかにするために、GaSb 結晶面方位の異なる 4 種類の試料(111)A、(111)B、(110)、(100)を用いた。結晶の成長速度と界面形状を調べるために、結晶成長中に 2 時間ごとに熱パルスを試料全体に印加することで意図的に不純物縞を形成しタイムマーカーとした。

#### 3. 実験結果および成果

当初の計画通り、全ての宇宙実験試料について組成分布・成長速度の測定に成功し、数値シミュレーションや結晶格子モデルとの比較が可能となった。その結果、対流が抑制された状態で以下の新たな現象が見出された。

- 1) 成長結晶中の濃度均一性の向上や欠陥の減少に留まらず、成長量が多く結晶成長の高速化が起こった(図1、2)。これは微小重力環境では物質が拡散のみで輸送されるので地上に比べて結晶の成長速度が遅くなるはずという従来の一般的考えでは説明できない結果である。数値シミュレーションにより、この原因は 1G では密度差対流が原料から成長界面近傍への均等な溶質輸送を阻害することによることが明らかになった。
- 2) 地上実験結果とは異なり、成長カイネティクスの影響が顕在化して(111)A、B 面の結晶が共に平坦に成長した(図3)。また、溶解量、成長速度についても面方位依存性が見られた。結晶格子モデルに基づく考察により、(111)A、B 面の成長・溶解過程の違いは単位胞中の結合数が異なることが原因と考えられる。

また、新たに開発した数値シミュレーションによる解析結果により、成長界面でのカイネティクスが原料結晶の溶解速度にも影響を与える可能性が示唆された。

#### 4. 成果発信状況

関連成果が、原著論文13報、解説2報、国際会議発表30件、国内会議発表15件、新聞記事1件、として公開され、また、学位取得3件、受賞等7件、外部資金獲得2件、につながっている。

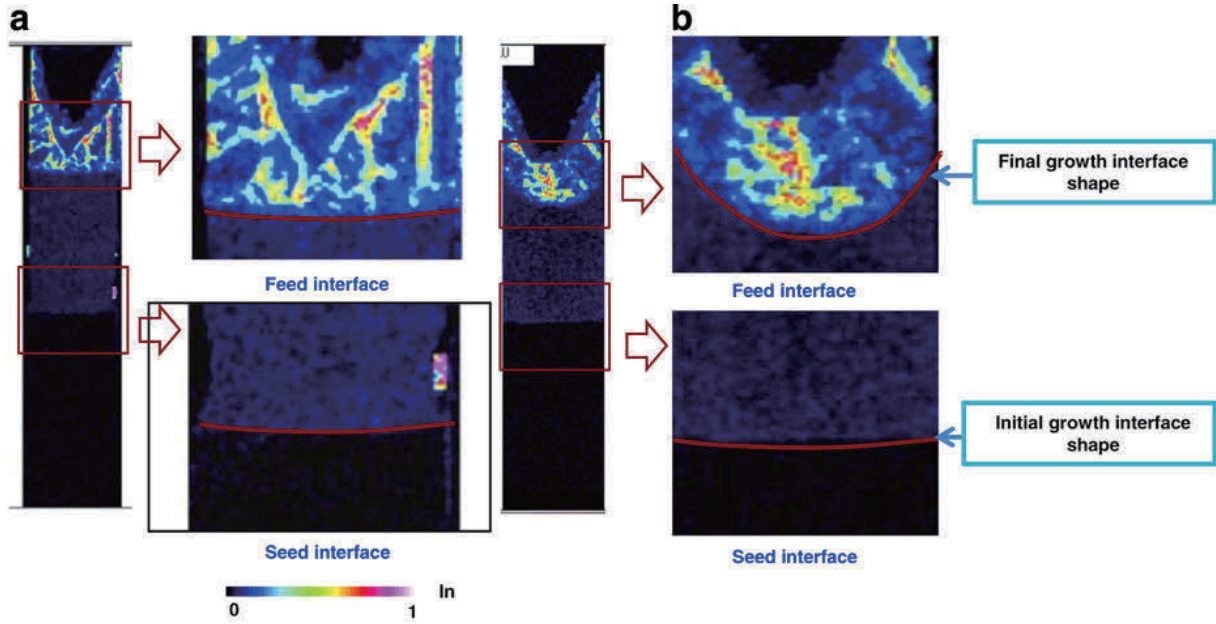


図1. 実験後試料の切断面におけるIn分布：(a) 宇宙実験試料、(b) 地上実験試料。[1]

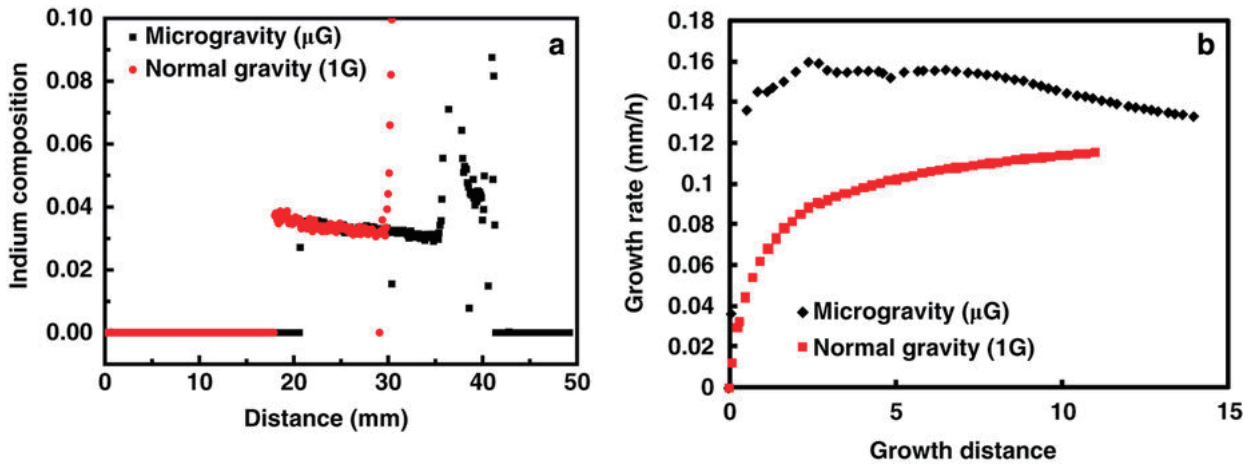


図2. 宇宙実験と地上実験試料の中心軸に沿った解析結果：(a) In 組成分布、(b) 成長速度。[1]

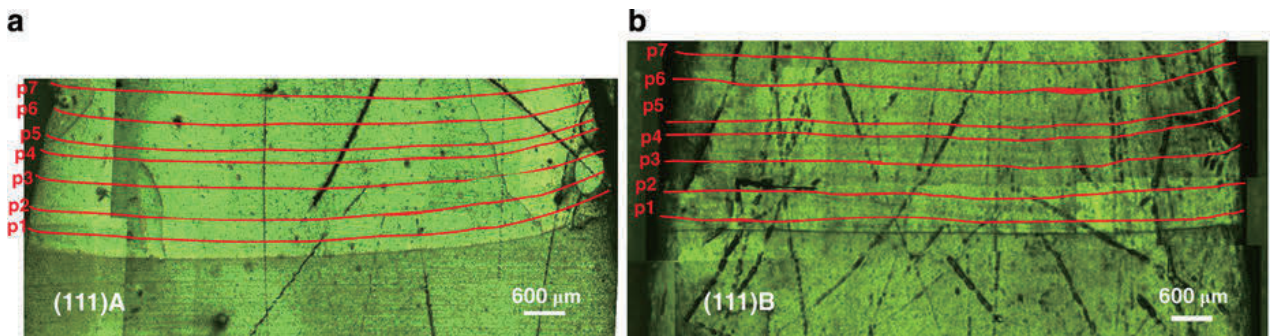


図3. 種結晶近傍の成長界面形状の時間変化：(a) (111)A、(b) (111)B。図中の赤い線は成長界面位置に対応する。[2]

参考文献

- 1) Y. Inatomi *et al.*, *npj Microgravity* **1** (2015) pp. 15011 1-6.
- 2) V. Nirmal Kumar *et al.*, *npj Microgravity* **2** (2016) pp. 16026 1-7.