

課題番号 P-4

X線イメージセンサーを用いた半導体結晶成長過程 その場観察

[1] 組織

代表者：稲富 裕光

(宇宙航空研究開発機構)

対応者：早川 泰弘

(静岡大学電子工学研究所)

分担者：

田中 昭

(静岡大学電子工学研究所)

青木 徹

(静岡大学電子工学研究所)

Mukannan Arivanandhan

(静岡大学電子工学研究所)

岡野 泰則

(大阪大学大学院基礎工学研究科)

小澤 哲夫

(静岡理科大学)

[2] 研究経過

研究目的・概要：

混晶半導体の特色は組成比を変えることにより、禁制帯幅や格子定数を制御できることにある。デバイス設計の自由度を大きくするためには、InGaSb や SiGe 等の均一組成で高品質な混晶半導体バルク単結晶成長技術の開発が望まれている。しかし、均一で高品質な混晶半導体バルク単結晶成長には、困難な課題が残されている。問題点は、(1)結晶成長につれて結晶と溶液の組成が変化すること、及び(2)溶液の濃度分布と温度分布に揺らぎが生じる結果、成長界面が不安定になり多結晶化することである。

任意の組成を有する均一組成の混晶半導体単結晶成長を達成するための根本的な課題は、高温溶液中の熱・溶質輸送過程と結晶溶解・成長との関係を定量的に把握することである。X線は溶液を透過するため、X線イメージセンサーを用いた結晶成長過程の観察は極めて有効な方法であると期待される。

本プロジェクトの目的は、X線イメージセンサーを用いて溶液中の溶質濃度分布の温度と時間変化を観察し、混晶半導体結晶の溶解・成長と溶質輸送との関係を把握することである。また、本研究は国際宇宙ステーション内の微小重力環境下実験の地上参

照実験としても位置づけており、対流の極めて小さい環境下での実験結果と地上実験結果を比較することで、熱・溶質対流や界面方位が均一組成混晶半導体バルク単結晶成長に及ぼす効果を明らかにする。

本年度はX線イメージセンサーを用いた半導体結晶成長過程のその場観察と溶液対流の数値解析および宇宙ステーション内実験のための予備実験に重点を置いた。GaSb 種結晶、InSb、GaSb 供給結晶から形成されるサンドイッチ構造試料を GaSb 供給結晶が高温側になるように電気炉に設置し、X線透過強度の温度、時間依存性を測定した。その結果、高温側のGaSb供給結晶よりも低温側のGaSb種結晶が溶解しやすいことがX線透過像の観察により明確に示された。重力の関数として溶液中の流れ分布、温度分布、濃度分布を数値解析の結果、地上では密度差に起因する溶質対流が支配的となる結果、高温側のGaSb供給結晶よりも低温側のGaSb種結晶が溶解しやすいことが示された。一方、微小重力環境下では、高温側のGaSb供給結晶が低温側のGaSb種結晶よりも溶解しやすいことを予測された。

宇宙ステーション実験テーマとして、「微小重力環境下における混晶半導体結晶成長」テーマが採択された。予備実験として(1)カートリッジ材料と InGaSb 原料との腐食試験、(2)InGaSb 材料の蒸発率、濡れ性、粘性測定、(3)宇宙実験と同様仕様の電気炉を用いた熱パルス導入実験、(4)ロケット打ち上げ時の振動にアンブル(試料)が耐えられるかを調べるためのアンブル振動試験等を実施した。今後、宇宙実験で用いる試料の準備と地上参照実験を行ない、微小重力環境下実験後の試料特性を解析する。

以下、研究活動状況の概要を記す。研究打ち合わせ・研究討論会を下記の日程で開催した。

(1) 2010年4月14日

場所：日本宇宙フォーラム

内容：「JEM2期利用テーマ個別調整会」

(2) 2010年4月26日 - 4月27日

場所：宇宙航空研究開発機構、筑波宇宙センター

内容：「きぼう」船内実験室第2期利用候補テーマ「微小重力環境下における混晶半導体結晶成長」の2010年度第1回検討会および試料分析実験

(3) 2010年5月20日 - 5月21日

場所：日本宇宙フォーラム

内容:「きぼう」船内実験室第2期利用候補テーマの第2回検討会および実験準備フェーズ移行に向けた外部評価

(4) 2010年6月20日-6月22日

場所:宇宙航空研究開発機構、筑波宇宙センター
内容:「きぼう」船内実験室第2期利用候補テーマの第3回検討会および供試体BBMの振動試験

(5) 2010年7月23日

場所:静岡大学電子工学研究所
内容:岡野先生と静大チームの「きぼう」船内実験室第2期利用候補テーマ第1回共同研究打ち合わせ
(6) 2010年7月27日

場所:宇宙航空研究開発機構、筑波宇宙センター
内容:「きぼう」船内実験室第2期利用候補テーマ第2期利用個別調整会

(7) 2010年9月2日

場所:静岡大学電子工学研究所
内容:岡野先生と静大チームの「きぼう」船内実験室第2期利用候補テーマ第2回共同研究打ち合わせ
(8) 2010年11月22日

場所:静岡大学電子工学研究所
内容:岡野先生と静大チームの「きぼう」船内実験室第2期利用候補テーマ第3回共同研究打ち合わせ

(9) 2011年1月18日-19日

場所:宇宙航空研究開発機構、筑波宇宙センター
内容:バルク結晶成長機構WG第1回会合及び地上予備実験

(10) 2011年1月26日

場所:宇宙航空研究開発機構、筑波宇宙センター
内容:バルク結晶成長機構WG第2回会合

(11) 2011年2月23日

場所:(株)IHIエアロスペース富岡事業所
内容:宇宙実験試料アンブル等封入作業

(12) 2011年3月7日

場所:宇宙航空研究開発機構、筑波宇宙センター
内容:バルク結晶成長機構WG第3回会合および個別調整会

[3] 成果

(3-1) 研究成果

InGaSb 混晶半導体結晶成長への溶質輸送効果を明らかにするために、X線イメージセンサーを用いて溶液中の溶質濃度分布を温度と時間の関数として測定した。GaSb 種結晶、InSb、GaSb 供給結晶から形成されるサンドイッチ構造試料を GaSb 供給結晶が高温側になるように電気炉に設置し、X線透過強度の温度、時間依存性を測定した。その結果、高温側の GaSb 供給結晶よりも低温側の GaSb 種結晶が溶解しやすいことが明確に示された。重力の関数とし

て溶液中の流れ分布、温度分布、濃度分布を数値解析の結果、地上では密度差に起因する溶質対流が支配的となる結果、高温側の GaSb 供給結晶よりも低温側の GaSb 種結晶が溶解しやすいことが示された。一方、微小重力環境下では、高温側の GaSb 供給結晶が低温側の GaSb 種結晶よりも溶解しやすいことが予測された。

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究は、画像科学と結晶成長を融合させた学際研究である点に特色がある。また、熱・溶質輸送効果と界面方位効果を把握し、任意の組成を有する均一組成混晶半導体バルク単結晶成長の手法を実験的、理論的に提案する点に学術的意義がある。

本共同研究プロジェクトは、静岡大学、宇宙航空研究開発機構、大阪大学、静岡理工科大学との研究者ネットワークを構築している。本研究は国際宇宙ステーション内の微小重力実験の地上参照実験としても位置づけており、対流の極めて小さい環境下での実験結果と地上実験結果を比較することで、熱・溶質対流や界面方位が混晶半導体バルク単結晶成長に及ぼす効果を把握できると期待される。また、本研究は InGaSb のみならず、SiGe や InGaAs 等の混晶半導体結晶成長にも適用できる一般的な概念の構築を目指している。

[4] 成果資料

論文リスト:

- (1) GRajesh, M.Arivanandhan, H.Morii, T.Aoki, T.Koyama, Y.Momose, A.Tanaka, T.Ozawa, Y.Inatomi and Y.Hayakawa, "In-situ observations of dissolution process of GaSb into InSb melt by X-ray penetration method" J.Cryst.Growth, vol.312, pp.2677-2682 (2010).
 - (2) M.Arivanandhan, Y.Saito, T.Koyama, Y.Momose, H.Ikeda, A.Tanaka, T.Tatsuoka, D.K.Aswal, Y.Inatomi and Y.Hayakawa, "Growth of $Si_{1-x}Ge_x$ bulk crystals with highly homogeneous composition for thermoelectric applications", J.Cryst.Growth (2011) in print
- プロシーディングリスト:
- (1) Y.Hayakawa, M.Arivanandhan, GRajesh, A.Tanaka, T.Ozawa, Y.Okano, K.Sankaranarayanan and Y. Inatomi, "Semiconductor alloy crystal growth under Microgravity" Proc. of the International Conference on Physics of Emerging Functional Materials (PEFM-2010) (Mumbai, India, 2010) 45-49 (2010)

出張報告

(1)氏名：岡野 泰則

所属：大阪大学大学院基礎工学研究科

期間：2010年7月23日

用務先：静岡大学電子工学研究所（浜松市中区城北3-5-1）

用務内容：第1回共同研究の打ち合わせ

主たる対応者：早川泰弘

(2)氏名：岡野 泰則

所属：大阪大学大学院基礎工学研究科

期間：2010年9月2日

用務先：静岡大学電子工学研究所（浜松市中区城北3-5-1）

用務内容：第2回共同研究の打ち合わせ

主たる対応者：早川泰弘

(3)氏名：岡野 泰則

所属：大阪大学大学院基礎工学研究科

期間：2010年11月22日

用務先：静岡大学電子工学研究所（浜松市中区城北3-5-1）

用務内容：第3回共同研究の打ち合わせ

主たる対応者：早川泰弘