

平成 20 年 3 月 28 日

平成 19 年度「バルク結晶成長機構 WG」活動報告書

代表者所属 氏名

宇宙航空研究開発機構 稲富裕光

1 構成メンバー

(順不同)

氏 名	所属
稲富裕光	JAXA
足立聡	JAXA
新船幸二	豊田工業大
宇佐美德隆	東北大
柿本浩一	九大
寒川義裕	九大
木下恭一	JAXA
田川俊夫	首都大東京
塚本勝男	東北大
長汐晃輔	JAXA
夏井坂誠	JAXA
早川泰弘	静岡大
古川義純	北大
真木孝雄	オリンパス工業

2. 本年度 WG 会合開催実績

- (1) 第 1 回：平成 19 年 11 月 27 日
- (2) 第 2 回：平成 19 年 12 月 5 日
- (3) 第 3 回：平成 20 年 3 月 18 日
- (4) 第 4 回：平成 20 年 3 月 19 日
- (5) 第 5 回：平成 20 年 3 月 26 日

3. 活動目的

本 WG では、微小重力環境を利用してバルク結晶成長のモデル化・理論の構築と、それに伴う結晶育成・評価技術の高度化を行うことを目的とする。

4. 活動内容

本年度のWG研究費の大半は、S-520 ロケット 24 号機実験の準備、熱パルス法による $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$ 結晶成長速度測定法の開発、ISS実験を想定した地上

実験に必要な試料、機器などの物品購入に充てた。

(1) 「きぼう」 船内実験室第 2 期利用に向けた候補テーマ応募

「微小重力環境下における混晶半導体結晶成長」に関するテーマを応募するに当たり、本バルクWG会合にて内容を検討した。 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$ 三元混晶半導体結晶成長に対する(1)溶質輸送効果と(2)結晶面方位依存性を調べ、高品質な均一組成混晶半導体バルク結晶成長の要因を明らかにすることを目的とした。その結果、「きぼう」の温度勾配炉を用いた実験の候補テーマとして採択された。

(2) S-520 ロケット 24 号機実験準備

本 WG が提案し平成 18 年度に正式採択された「S-520-24 号機を使った低重力での結晶成長実験」のための地上参照実験実施と搭載装置の機能試験、PI 用地上支援装置の開発を予定通り終了し、来年度初頭の振動試験、噛み合わせ試験の実施、7 月下旬の打ち上げに向けた準備を進めている。

(3) 平成 21 年度以降の JAXA 観測ロケット実験の応募

結晶の溶解及び成長に対する溶質輸送効果と面方位依存性を解明すべく、顕微干涉計 (24 号機搭載品とは別) を使って温度差法による $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ 結晶成長のその場観察実験を行うことを本WG会合で検討し、応募した。

(4) 均一組成 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$ 混晶半導体バルク結晶成長の試み

均一組成の混晶半導体を成長させるために、熱パルス法を用いて成長速度を求める方法を開発した。窒化ボロ

ン容器にInSb/GaSb構造試料を挿入し、これを石英アンブルに封入した後、一方向温度勾配をつけた電気炉に設置した。熱パルス法で求めた成長速度と温度勾配から算出した最適な速度で温度降下させることで、任意のIn組成比を持つ均一組成 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$ 結晶成長を行った。組成分析とInSb-GaSb擬似二元相図より溶液内の温度勾配を $1.7^\circ\text{C}/\text{mm}$ と求めた。また、パルス縞より成長界面位置と成長速度の関係を求め、各々の組成比に対応する冷却速度を決定した。目標組成まで温度差法で成長させた後、適切な冷却を加えることで組成 $0.1\text{mol}\%$ 以内の均一組成の $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{Sb}$ 結晶と $\text{In}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{Sb}$ 結晶が成長出来る可能性を示した。

以上の研究成果は（１）の「きぼう」実験テーマ応募の際の基礎データとなった。

(4) X線透過法による溶液濃度分布のその場観察

InGaSb バルク結晶の成長機構を理解し、制御するためには、原料の溶解速度、結晶成長速度、溶液中における溶質輸送に関する情報が不可欠である。X線は溶液を透過するので、X線を用いて界面形状や濃度分布をリアルタイムに取得し、画像化する方法を開発した。GaSb 種結晶/Te 添加InSb/GaSb 供給原料から構成される試料を用いて、X線透過法により結晶成長時の溶液中のIn濃度分布の時間変化を測定した結果、GaSb 供給原料に近い高温側の溶液中のIn濃度がGaSb 種結晶に近い低温側の溶液中のIn濃度よりも低くなっていることや、GaSb 種結晶近傍にInGaSb 結晶成長領域が存在することを見出した。これらの予備実験の結果から、X線透過法を用いて、溶液中の濃度分布の時間変化と結晶成長過程を測定できる可能性を示した。

5. 成果

原著論文

- 1) M. Haris, P. Veeramani, P. Jayavel, Y. Hayakawa and S. Moorthy Babu, “Growth and characterization of $\text{InAs}_x\text{Sb}_{1-x}$ bulk crystals and growth rate measurements“, Mater. Manuf. Process, vol.22, pp.404-408 (2007).
- 2) N. Murakami, T. Hikida, A. Konno, K. Arafune, T. Koyama, Y. Momose, T. Ozawa, M. Miyazawa, M. Kumagawa and Y. Hayakawa, “Growth of homogeneous InGaSb ternary alloy semiconductors on InSb seed”, J. Cryst. Growth (2008) in print.
- 3) Y. Hayakawa, T. Hikida, H. Morii, A. Konno, C. Chen, K. Arafune, H. Kawai, T. Koyama, Y. Momose, T. Ozawa and T. Aoki, “In-situ observation of composition profiles in the solution by X-ray penetration method”, J. Cryst. Growth (2008) in print.

国際会議発表

- 1) Y. Inatomi, K. Iwamoto, T. Maki, Y. Takagi, and K. Kuribayashi, “Visualization Experiments of Faceted Cellular Array Growth in Microgravity”, 3rd International Symposium on Physics Sciences in Space (Nara, Japan, 2007) C4-3 (2007.10).
- 2) N. Murakami, T. Hikida, A. Konno, K. Arafune, T. Koyama, Y. Momose, T. Ozawa, M. Miyazawa, M. Kumagawa and Y. Hayakawa, “Growth of homogeneous InGaSb ternary alloy semiconductors on InSb seed”, The 15th International Conference on Crystal Growth in Conjunction with the 13th International Conference on Vapor Growth and Epitaxy (Salt Lake City, Utah, USA, 2007) (2007.8).
- 3) Y. Hayakawa, T. Hikida, H. Morii, A. Konno, C. Chen, K. Arafune, H. Kawai, T. Koyama, Y. Momose, T. Ozawa and T. Aoki, “In-situ observation of composition profiles in the solution by X-ray penetration method”, The 15th International Conference on Crystal Growth in Conjunction with the 13th International Conference on Vapor Growth

and Epitaxy (Salt Lake City, Utah, USA, 2007) a28 (2007.8).

- 4) M. Haris, M.S. Babu, Y. Hayakawa and P. Veeramani, "Bridgman Growth and Characterisation of GaSb and $\text{InAs}_x\text{Sb}_{1-x}$ Crystals", The 15th International Conference on Crystal Growth in Conjunction with the 13th International Conference on Vapor Growth and Epitaxy (Salt Lake City, Utah, USA, 2007) (2007.8) rad06.
- 5) T. Tanaka, A. Konno, T. Hikida, C.H. Chen, Y. Saitou, T. Koyama, Y. Momose, Y. Okano and Y. Hayakawa, "Growth of homogeneous InGaSb ternary alloy bulk semiconductors by temperature freezing method using feed crystal", 6th International Conference on Global Research and Education "Inter-Academia 2007" (Hamamatsu, Japan, 2007) 17C, p.99 (2007.9).
- 6) C.H. Chen, T. Hikida, A. Konno, H. Morii, H. Kawai, T. Koyama, Y. Momose, T. Ozawa, T. Aoki and Y. Hayakawa, "In-situ measurement of composition profiles in the solution by X-ray penetration method", 6th International Conference on Global Research and Education "Inter-Academia 2007" (Hamamatsu, Japan, 2007) 16C, p.101 (2007.9).
- 7) Y. Hayakawa, N. Murakami, T. Hikida, A. Konno, T. Tanaka, C.H. Chen, T. Koyama, Y. Momose, K. Arafune, T. Ozawa and Y. Okano, "Preliminary Experiments for the Growth of Homogeneous Alloy Semiconductors under Microgravity", 3rd International Symposium on Physics Sciences in Space (Nara, Japan, 2007) C2-6 (2007.10).
- 8) C.H. Chen, T. Hikida, H. Morii, T. Koyama, Y. Momose, T. Aoki and Y. Hayakawa, "In-situ measurement of composition profiles in the In-Ga-Sb solution by X-ray penetration method using a CdTe CCD sensor", 3rd International Symposium on Physics Sciences in Space (Nara, Japan, 2007) MP37 (2007.10).

国内会議発表

- 1) 田中智之、陳 崇浩、今野有希子、疋田卓也、村上倫章、小山忠信、百瀬与志美、小澤哲夫、岡野泰則、早川泰弘、"均一組成 InGaSb 結晶成長に対する温度勾配効果"、第 65 回応用物理学会学術講演会、7a-ZA-14 (2007 年 9 月).