

## バルク結晶成長機構研究チーム活動報告

早川泰弘（静岡大電子研），稲富裕光（JAXA），岡野泰則（大阪大学），新船幸二（兵庫県立大学），M. Arivanandhan（静岡大電子研），小澤哲夫（静岡理工科大学），木下恭一（JAXA），荒井康智（JAXA），塚田隆夫（東北大学），久保正樹（東北大学），杉岡健一（東北大学）

### Activity Report of Research Group on Bulk Crystal Growth

*Yasuhiro Hayakawa*<sup>1)</sup>, *Yuko Inatomi*<sup>2)</sup>, *Yasunori Okano*<sup>3)</sup> *Kouji Arafune*<sup>4)</sup>,  
*Mukannan Arivanandhan*<sup>1)</sup>, *Tetsuo Ozawa*<sup>5)</sup>, *Kyouichi Kinoshita*<sup>2)</sup>, *Yasukoto Arai*<sup>2)</sup>,  
*Takao Tsukada*<sup>2)</sup>, *Masaki Kubo*<sup>2)</sup>, *Kenich Sugioka*<sup>2)</sup>

- 1) Reseach Institute of Electronics, Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu 432-8011
  - 2) JAXA, 3-1-1 Yoshinodai, Chuo-ku, Sagami-hara, Kanagawa 252-5210
  - 3) Graduate school of Engineering Science, Osaka University, 1-3 Machiganeyama, Osaka 560-8531
  - 4) University of Hyogo, 8-2-1 Gakuenn Nishi-machi, Nishi-ku, Koube 651-2197
  - 5) Department of Electrical Engineering, Shizuoka Institute of Science and Technology, 2200-2 Toyosawa, Fukuroi, Shizuoka 437-8555
  - 6) JAXA, 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505
  - 7) Tohoku University, 6-6 Aramakiuji Aoba, Aoba-ku, Sendai 980-8579
- \*E-Mail: [royhaya@ipc.shizuoka.ac.jp](mailto:royhaya@ipc.shizuoka.ac.jp)

Abstract: The activity of “research group of bulk crystal growth” is introduced. (1) The joint meeting of “Hikari group” and “Alloy Semi group” was conducted and discussed on the results obtained at the International space station. (2) The 2<sup>nd</sup> China- Japan Joint Workshop on Material Science in Space was held in China and discussed on the experiment using Chinese recovery satellite.

*Key words:* Space experiment, International space station, Chinese recovery satellite, Alloy semiconductor, SiGe, InGaSb

#### 1. はじめに

本研究チームの目的は、バルク結晶成長のモデル化・理論の構築と、それに基づく結晶育成・評価技術の高度化である。そのためには、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。微小重力環境の利用は対流が物質の輸送過程に及ぼす影響を極めて小さくできる。従って、対流が強く抑制された状態での結晶成長界面の形態変化、結晶成長速度の時間変化、試料中の温度、濃度のリアルタイム計測を行うことにより、界面形態の不安定性と結晶中の欠陥発生機構の解明を目指す。また、国際宇宙ステーション内実験（Hikari 実験、Alloy Semi 実験）で得た知見や情報に基づいて、均一組成混晶半導体バルク単結晶や傾斜機能性材料の製造技術の発展に貢献する。今年度は、(1)宇宙実験結果を検討する合同会議の開催、(2) 中国の回収衛星を利用した高品質三元混晶半導体結晶成長実験に関する日中科学協力会議を開催し、情報交換と研究討論を行った。

#### 2. 今年度の活動内容

##### 2-1 宇宙実験結果に関する合同会議の開催

Hicari チームでは、SiGe 結晶成長に関する国際宇宙ステーション実験を実施している。また、Alloy Semi チームでは InGaSb 結晶成長に関する国際宇宙ステーション実験を行っている。これらのチームが 2014 年 10 月 21 日（火）に東北大学工学部化学・バイオ系研究棟に集まり、宇宙実験結果に関する合同会議を開催した。稲富裕光氏から宇宙実験の概要、木下恭一氏と荒井康智氏から SiGe 結晶成長実験結果、塚田隆夫氏のグループから SiGe 結晶成長に関する数値解析結果が報告された。また、早川から InGaSb 結晶成長実験結果、岡野泰則氏から数値解析結果が紹介された。混晶半導体バルク結晶成長機構と均一組成結晶成長について議論した。これらの内容に関しては、本シンポジウムにおいて木下恭一氏から「微小重力下における TLZ 法による均一組成 SiGe 結晶育成」の紹介が、また早川から「国際宇宙ステーション内の微小重力環境下における混晶半導体結晶成長」の紹介が行われている。{研究内容の詳細はこれらの報告を参照}

##### 2-2 中国の回収衛星を利用した高品質三元混晶半導体の結晶成長実験の日中科学協力

地上では未だ成功していない均質組成の

In<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>Sb 単結晶の育成をめざす。「きぼう」実験では、InGaSb の In 組成を 0.03 とし、重力や結晶面方位が混晶半導体の溶解課程と成長過程に及ぼす効果を明らかにすることを目的としたが、中国回収衛星実験では、InGaSb の In 組成を 0.11 と高くし、さらに結晶成長に最適な温度速度で冷却することで、均一組成結晶成長を目指す。

2014 年 12 月 21 日に中国山東省において、第 2 回日中宇宙科学に関する会議を開催した。会議には、日本側から稲富裕光氏、岡野泰則氏と早川が出席した。中国からは、中国科学院上海珪酸塩研究所の Joanding Yu 教授、Weiqing Jin 教授、山東大学の Jiyang Wang 教授、中国科学院半導体研究所の Xingwang Zhang 教授、中国科学院金属研究所の Xinghong Luo 教授をはじめ 12 名が出席した(図 1)。日本と中国の結晶成長に関する研究、中国回収衛星実験の電気炉や振動試験に状況等について報告がなされた。今後も継続して日中会議を実施することにした。



図 1 第 2 回日中宇宙科学に関する会議

### 3. 来年度の活動

- (1) Hicari チームと Alloy チームの宇宙実験結果に関する合同会議を開催
- (2) 第 3 回日中宇宙科学に関する会議を沖縄で開催
- (3) 宇宙実験試料解析の推進

### 4. 今年度の成果

研究成果のリストを下記に記載する。

#### 4-1 学術雑誌掲載論文リスト

- (1) K. Abe, S. Sumioka, K.-I. Sugioka, M. Kubo, T. Tsukada, K. Kinoshita, Y. Arai, Y. Inatomi, "Numerical simulations of SiGe crystal growth by the traveling liquidus-zone method in a microgravity environment", *J.Crystal Growth*, **402** (2014) pp.71-77.
- (2) R.Basu, S.Bhattacharya, R.Bhatt, M.Roy, S.Admad, A.Singh, M.Navaneethan, Y.Hayakawa, D.K.Aswal and S.K.Gupta, "Improved thermoelectric performance of hot pressed nanostructured n-type SiGe bulk alloys", *J.Materials Chemistry A*, **2**, pp.6922-6930 (2014).
- (3) K.Sakata, M.Mukai, Y.Inatomi, T.Ishikawa, G.Rajesh, M.Arivanandhan and Y.Hayakawa,

"Viscosity of molten InSb, GaSb and In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Sb alloy semiconductors", *Int. J. Thermophysic*, **35**, p p.352-360 (2014).

- (4) K.Sakata, M.Mukai, M.Arivanandhan, G.Rajesh, T.Ishikawa Y.Inatomi and Y.Hayakawa, "Crystal growth of ternary alloy semiconductor and preliminary study for microgravity experiment at the International space stations", *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences*, **12**, [29], pp.Ph31 - Ph35 (2014)
- (5) K. Kinoshita, Y. Arai, O. Nakatsuka, K. Taguchi, H. Tomioka, R. Tanaka, S. Yoda, "Growth of two inch Si<sub>0.5</sub>Ge<sub>0.5</sub> bulk single crystals", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **54** (2015) 04DH03.
- (6) K. Kinoshita, Y. Arai, T. Tsukada, Y. Inatomi, H. Miyata, R. Tanaka, "SiGe crystal growth aboard the International Space Station", *J.Crystal Growth*, (2015, in press).
- (7) M.Omprakash, M.Arivanandhan, T.Koyama, Y.Momose, H.Ikeda, H.Tatsuoka, D.K. Aswal, S.Bhattacharya, Y.Okano, T.Ozawa, Y.Inatomi, S.Moorthy Babu and Y.Hayakawa,"High power factor of Ga-doped compositionally homogeneous Si<sub>0.68</sub>Ge<sub>0.32</sub> bulk crystal grown by the vertical temperature gradient freezing method", *Crystal Growth & Design* (2015, in press).
- (8) Y.Okano, H.Mirsandi, Y.Inatomi, Y.Hayakawa and S.Dost, "A numerical study on the growth process of InGaSb crystals under microgravity with interfacial kinetics", *Micro Gravity Sci & Tech* (2015, in press).

#### 4-2 学会等口頭発表

- (1) K. Kinoshita, Y. Arai, T. Tsukada, Y. Inatomi, H. Miyata, R. Tanaka, "SiGe crystal growth aboard the International Space Station", *E-MRS Spring 14 Conference (Session Solidification in microgravity)* 29 May (2014) Lille, France.
- (2) K. Kinoshita, Y. Arai, O. Nakatsuka, K. Taguchi, H. Tomioka, R. Tanaka, S. Yoda, "Growth of two inch Si<sub>0.5</sub>Ge<sub>0.5</sub> bulk single crystals", *Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, (Session C-9, No. 2)* Sept. 8-11 (2014) Tsukuba, Japan.
- (3) K. Abe, S. Sumioka, K. Sugioka, M. Kubo, T. Tsukada, K. Kinoshita, Y. Arai and Y. Inatomi, "Numerical study of transport phenomena in SiGe crystal growth process by the traveling liquidus-zone method under microgravity", *10<sup>th</sup> Asian Microgravity Symposium, Oct. 28-31, Seoul, Korea.*
- (4) Y. Arai, K. Kinoshita, T. Tsukada, Y. Inatomi, "Homogenous SiGe Crystal Growth Experiment in the International Space Station", *10<sup>th</sup> Asian Microgravity Symposium, Oct. 28-31, Seoul, Korea.*
- (5) 阿部敬太、住岡沙羅、杉岡健一、久保正樹、塚田隆夫、木下恭一、荒井康智、稲富裕光：微小重力下での TLZ 法による SiGe 結晶成長プロセスの数値解析並びに結晶内組成均一化条件の提案、第 51 回日本伝熱シンポジウム ESP306、5 月 21 日) 5 月 21 日~23 日 浜松。

- (6) 住岡沙羅、阿部敬太、杉岡健一、久保正樹、塚田隆夫、木下恭一、荒井康智、稲富裕光：微小重力下における TLZ 法による均一組成 SiGe 結晶成長条件の数値解析的検討、化学工学会第 46 回秋季大会 (O115, 9 月 17 日)、9 月 17~19 日 伊都。
- (7) 荒井康智、木下恭一、高柳昌弘：宇宙環境を利用した均一組成 SiGe 結晶育成実験、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、9 月 17 日~20 日、札幌
- (8) 木下恭一、荒井康智、稲富裕光、塚田隆夫、宮田浩旭、田中涼太、阿部敬太、住岡沙羅：TLZ 法による微小重力下 SiGe 結晶成長実験、日本結晶成長学会第 44 回結晶成長国内会議、(08aB03、11 月 8 日) 11 月 6 日~8 日、東京
- (9) 住岡沙羅、阿部敬太、杉岡健一、久保正樹、塚田隆夫、木下恭一、荒井康智、稲富裕光：微小重力下で TLZ 法により成長した SiGe 結晶の軸方向・径方向組成分布の数値シミュレーション、日本結晶成長学会第 44 回結晶成長国内会議、(08aB04、11 月 8 日) 11 月 6 日~8 日、東京
- (10) 荒井康智、木下恭一、稲富裕光、塚田隆夫、阿部敬太、住岡沙羅：微小重力下で TLZ 法により成長した SiGe 結晶の詳細な軸方向・径方向組成分布計測、日本結晶成長学会第 44 回結晶成長国内会議、(08aB05、11 月 8 日) 11 月 6 日~8 日、東京
- (11) 木下恭一、荒井康智、稲富裕光、塚田隆夫、宮田浩旭、田中涼太、阿部敬太、住岡沙羅：微小重力下における TLZ 法による均一組成 SiGe 結晶育成の研究 (その 2)、日本マイクログラビティ応用学会第 28 回学術講演会、(26H02、11 月 26 日) 11 月 26 日~28 日、姫路
- (12) 住岡沙羅、阿部敬太、杉岡健一、久保正樹、塚田隆夫、木下恭一、荒井康智、稲富裕光：微小重力環境下で TLZ 法により成長した SiGe 結晶内組成分布の数値解析 1、日本マイクログラビティ応用学会 28 回学術講演会、(26H03、11 月 26 日) 11 月 26 日~28 日、姫路
- (13) 木下恭一、荒井康智、稲富裕光、塚田隆夫、宮田浩旭、田中涼太、阿部敬太、住岡沙羅：微小重力下における TLZ 法による均一組成 SiGe 結晶育成、第 29 回宇宙環境利用シンポジウム、講演番号 15、1 月 24 日~25 日、相模原 (2015)。
- (14) M.Omprakash, V. Nirmal Kumar, M.Arivanandhan, T.Koyama, Y.Momose, H.Ikeda, H.Tatsuoka, Y.Okano, T.Ozawa, Y.Inatomi, S.Moorthy Babu and Y.Hayakawa, "Ga doped  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  bulk crystal with homogenous composition and its thermoelectric properties" International Conference and Summer School on Advanced Silicide Technology 2014 (July 19-21, Tokyo University of Science, Katsushika Campus, Tokyo, Japan) (2014.7).
- (14) 早川泰弘、M.Omprakash、M.Arivanandhan、小山忠信、百瀬与志美、池田浩也、立岡浩一、岡野泰則、小澤哲夫、稲富裕光、S.Moorthy Babu、D.K.Aswal、S.Bhattacharya、"均一組成 SiGe 結晶成長と熱電特性"、電研共同研究プロジェクト・工学研究科プロジェクト合同研究会『シリコン系材料における熱電変換特性の向上』(静岡大学電子工学研究所、浜松市 (2014 年 7 月))
- (16) Y.Hayakawa, Y.Inatomi, K.Sakata, T.Ishikawa, M.Takayanagi, S.Yoda, Y.Kamigaichi, M.Arivanandhan, G.Rajesh, V.Nirmal Kumar, T.Koyama, Y.Momose, T.Ozawa and Y.Okano, "In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Sb alloy semiconductor crystal growth under microgravity at International Space Station (ISS)", The 9<sup>th</sup> International Conference on Diffusion in Materials (DIMAT2014) O-86 (August 17-22, 2014, Munster, Germany) (2014.8).
- (17) M.Omprakash, M.Arivanandhan, H.Morii, T.Aoki, T.Koyama, Y.Momose, H.Ikeda, H.Tatsuoka, Y.Okano, T.Ozawa, Y.Inatomi, S.Moorthy Babu and Y.Hayakawa, "In-situ observation of dissolution and growth processes of  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  in different temperature gradient", 13th International Conference on Global Research and Education (Inter-Academia 2014) (Riga Technical University, Riga, Latvia) (September 10<sup>th</sup> - 12<sup>th</sup>, 2014) p.166-167 (2014.9).
- (18) V.Nirmal Kumar, M.Arivanandhan, G.Rajesh, T.Koyama, Y.Momose, Y.Inatomi, K.Sakata, T.Ishikawa, M.Takayanagi, S.Kamigaichi, T.Ozawa, Y.Okano and Y.Hayakawa, "Growth of InGaSb alloy semiconductor crystal under 1G condition as a preliminary study for microgravity experiment at International Space Station", 13th International Conference on Global Research and Education (Inter-Academia 2014) (Riga Technical University, Riga, Latvia) (September 10<sup>th</sup> - 12<sup>th</sup>, 2014) p.265-266 (2014.9).
- (19) Y.Hayakawa, M.Omprakash, M.Arivanandhan, T.Koyama, Y.Momose, H.Ikeda, H.Tatsuoka, Y.Okano, T.Ozawa, Y.Inatomi and S. Moorthy Babu, "Thermoelectric properties of compositionally homogeneous Ga-doped SiGe bulk crystals", 12<sup>th</sup> European Conference on Thermoelectricity (ECT2014) P.1.2 (September 24-26, Madrid, Spain) (2014.9).
- (20) V.Nirmal Kumar, M.Arivanandhan, G.Rajesh, T.Koyama, Y.Momose, Y.Inatomi, K.Sakata, T.Ishikawa, M.Takayanagi, S.Yoda, Y.Kamigaichi, T.Ozawa, Y.Okano and Y.Hayakawa, "Growth and properties of InGaSb alloy semiconductor crystals grown under microgravity and 1G conditions", 第 74 回応用物理学会学術講演会、18p-PB9-1 (2014 年 9 月 17 日~9 月 20 日)(北海道大学札幌キャンパス)(北海道札幌市)。
- (21) M.Omprakash, M.Arivanandhan, T.Koyama, Y.Momose, H.Ikeda, H.Tatsuoka, Y.Okano, T.Ozawa, Y.Inatomi, S.Moorthy Babu, D.K. Aswal, S. Bhattacharya and Y.Hayakawa, "Growth of compositionally homogeneous P-type  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  bulk crystal for thermoelectric application", 第 74 回応用

- 物理学会学術講演会、18p-PB10-1 (2014年9月17日-9月20日)(北海道大学札幌キャンパス)(北海道札幌市)。
- (22) ミルサンディハルヨ、山本卓也、高木洋平、岡野泰則、稲富裕光、早川泰弘、“微小重力環境下での InGaSb 結晶成長における界面カインティクスの影響に関する数値解析”, 第 63 回理論応用力学講演会、OS05-02-05 (2014年9月26日-9月28日)(東京工業大学 大岡山キャンパス)(東京都)。
- (23) Y. Inatomi, K.Sakata, T.Ishikawa, M.Takayanagi, S.Yoda, Y.Kamigaichi, M.Arivanandhan, G.Rajesh, V.Nirmal Kumar, T.Koyama, Y.Momose, T. Ozawa, Y.Okano and Y.Hayakawa, “Crystal growth of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  alloy semiconductor under microgravity at International Space Station (ISS) and comparison with ground based experiment”, The 10<sup>th</sup> Asia Microgravity Symposium 2014 (October 28-31, Seoul, Korea) (2014.10).
- (24) Y.Okano, H.Mirsandi, Y.Inatomi, Y.Hayakawa and S.Dost, “A numerical study on the growth process of InGaSb crystal under microgravity with interfacial kinetics”, The 10<sup>th</sup> Asia Microgravity Symposium 2014 (October 28-31, Seoul, Korea) (2014.10).
- (25) Y.Hayakawa, “Effect of gravity on the dissolution and growth processes of InGaSb ternary alloy bulk semiconductor”, The 16<sup>th</sup> Takayanagi Kenjiro memorial symposium (November 11<sup>th</sup> -12<sup>th</sup>, 2014, Shizuoka University, Japan) TP2-1-1 – TP2-1-5 (2014.11). Invited talk
- (26) 早川泰弘、M.Arivanandhan、V.Nirmal Kumar、G.Rajesh、小山忠信、百瀬与志美、稲富裕光、阪田薫穂、石川毅彦、高柳昌弘、上垣内茂樹、小澤哲夫、岡野泰則、  
“InGaSb 結晶成長に対する重力効果—国際宇宙ステーション内の微小重力下と 1G 下実験—”, 第 44 回結晶成長国内会議、NCCG-44、08aB07 (2014年11月5日-8日)(学習院大学)(東京都)
- (27) V.Nirmal Kumar, M.Arivanandhan, G.Rajesh, T.Koyama, Y.Momose, Y.Inatomi, K.Sakata, T.Ishikawa, M.Takayanagi, S.Kamigaichi, T.Ozawa, Y.Okano and Y.Hayakawa  
“Effect of gravity on InGaSb crystal growth—Microgravity at International Space Station and 1G conditions—”, 第 28 回日本マイクログラビティ応用学会学術講演会、(2014年11月26日—28日)(イーグレ姫路)(姫路市)。
- (28) H.Mirsandi, T.Yamamoto, Y.Takagi, Y.Okano, Y.Inatomi and Y.Hayakawa, “Numerical simulation of InGaSb crystal growth experiment on the ISS”, 第 28 回日本マイクログラビティ応用学会学術講演会、(2014年11月26日—28日)(イーグレ姫路)(姫路市)。
- (29) Y.Hayakawa, M.Arivanandhan, V.Nirmal Kumar, G.Rajesh, Y.Katsumata, T.Koyama, Y.Momose, Y.Inatomi, K.Sakata, T.Ishikawa, M.Takayanagi, S.Kamigaichi, T.Ozawa and Y.Okano, “InGaSb alloy semiconductor growth under 1G and microgravity”  
The 2nd China-Japan Workshop on Material Science in Space (December 20<sup>th</sup> – 22<sup>nd</sup>, 2014, Jinan, Shandong Province, Chin) (2014.12).
- (30) Y.Okano, H.Mirsandi, T.Yamamoto, Y.Takagi, Y.Inatomi and Y.Hayakawa, “Numerical investigation of melting and growth of InGaSb by using temperature gradient method”, The 2nd China-Japan Workshop on Material Science in Space (December 20<sup>th</sup> – 22<sup>nd</sup>, 2014, Jinan, Shandong Province, Chin) (2014.12).
- (31) Y.Katsumata, M.Arivanandhan, V.Nirmal Kumar, G.Rajesh, T.Koyama, Y.Momose, Y.Inatomi, K.Sakata, T.Ishikawa, T.Ozawa, Y.Okano and Y.Hayakawa, “Effect of gravity on the growth of InGaSb ternary alloy semiconductor bulk crystals”, SRM University - Shizuoka University Joint Symposium (January 7<sup>th</sup>, 2015, Shizuoka University, Hamamatsu, Japan) (2015.1).
- (32) M.Omprakash, M.Arivanandhan, T.Koyama, Y.Momose, H.Ikeda, H.Tatsuoka, D.K.Aswal, S.Bhattacharya, Y.Okano, T.Ozawa, Y.Inatomi, S.Moorthy Babu and Y.Hayakawa, “Growth of compositionally homogeneous P-type SiGe bulk and thermoelectric properties”, 2015 International Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University~Joint International Workshops on Advanced Nanovision Science / Advanced Green Science / Promotion of Global Young Researchers in Shizuoka University~, PS-10, pp.50, (January 27<sup>th</sup>-28<sup>th</sup>, 2015, Shizuoka University. Hamamatsu, Japan) (2015.1).
- (33) V.Nirmal Kumar, M.Arivanandhan, G.Rajesh, Y. Katsumata, T.Koyama, Y.Momose, Y.Inatomi, K.Sakata, T.Ishikawa, M.Takayanagi, S.Kamigaichi, T.Ozawa, Y.Okano and Y.Hayakawa, “Growth Process of InGaSb under Microgravity and Normal Gravity Conditions”, 2015 International Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University~Joint International Workshops on Advanced Nanovision Science / Advanced Green Science / Promotion of Global Young Researchers in Shizuoka University~, PS-17, pp.57 (January 27<sup>th</sup>-28<sup>th</sup>, 2015, Shizuoka University. Hamamatsu, Japan) (2015.1).
- (34) 早川泰弘、稲富裕光、阪田薫穂、石川毅彦、高柳昌弘、上垣内茂樹、M.Arivanandhan、V.Nirmal Kumar、G.Rajesh、小山忠信、百瀬与志美、小澤哲夫、岡野泰則、  
”国際宇宙ステーション内の微小重力環境下における混晶半導体結晶成長”, 第29回宇宙環境利用シンポジウム (2015年1月24日—25日)(宇宙航空研究開発機構 相模原キャンパス)(神奈川県相模原市)。
- (35) 早川泰弘、稲富裕光、岡野泰則、新船幸二、M.Arivanandhan、小澤哲夫、木下恭一、荒井康智、塚田隆夫、久保正樹、

杉岡健一, ”バルク結晶成長機構研究チーム活動報告”, 第 29 回宇宙環境利用シンポジウム (2015 年 1 月 24 日—25 日) 17  
(宇宙航空研究開発機構 相模原キャンパス)  
(神奈川県相模原市).

- (36) Y.Hayakawa, M.Arivanandhan, M.Omprakash, T.Koyama, Y.Momose, H.Ikeda, H.Tatsuoka, Y.Okano, T.Ozawa. Y.Inatomi, D.K.Aswal, S.Bhattacharya and S.Moorthy Babu, “Growth of homogeneous p-type and n-type  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  for thermoelectric application”  
International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICONN 2015), IL-20, pp.20 (February 4<sup>th</sup> – 6<sup>th</sup>, 2015, Department of Physics and Nanotechnology, SRM University, Kattankulathur, Kancheepuram, India) (2015.2).  
Invited Talk
- (37) Y.Inatomi, K.Sakata, M.Arivanandhan, G.Rajesh, V.Nirmal Kumar, T.Koyama, Y.Momose, Y.Okano, T.Ozawa and Y.Hayakawa, “Crystal growth of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  under reduced convection condition”、International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICONN 2015), IL-35, pp.32 (February 4<sup>th</sup> – 6<sup>th</sup>, 2015, Department of Physics and Nanotechnology, SRM University, Kattankulathur, Kancheepuram, India) (2015.2).  
Invited Talk

謝辞：本研究は JAXA、宇宙環境利用センターの多くの皆様のご支援をいただいた。科学研究費基盤研究(B)(No,22360316, 25289270, 25289087)、静岡大学電子工学研究所共同利用・共同研究経費を利用した。ここに、感謝いたします。